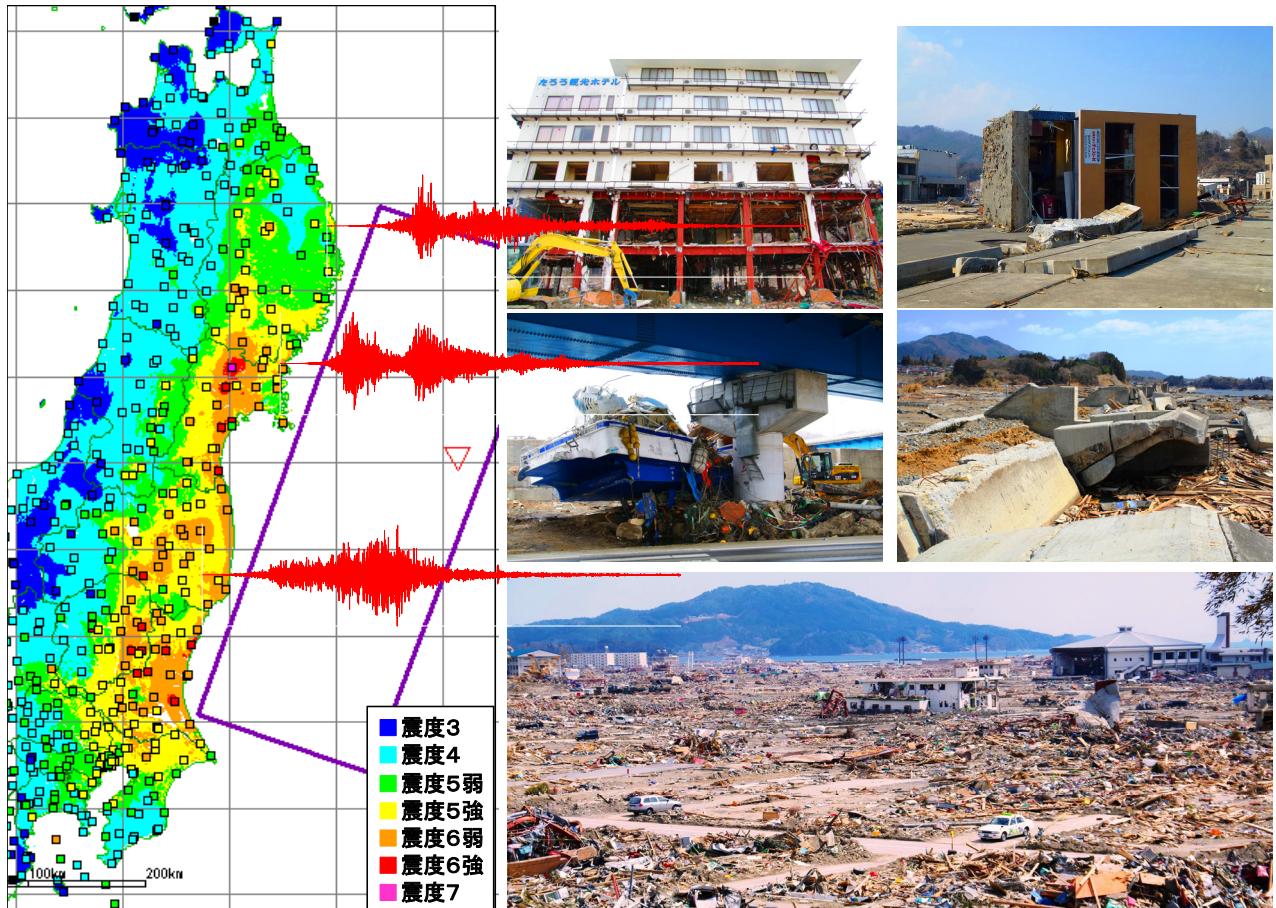


東日本大震災 被害調査報告



平成 23 年 6 月



株式会社エイト日本技術開発
Eight-Japan Engineering Consultants Inc.

当社の活動が新聞記事に取り上げられました。

建設通信新聞 2011年(平成23年)6月1日(水)

震災からの新生

コンサルの貢献

エイト日本技術開発は、3月11日の地震発生直後に設置した震災対策本部を解散、6月1日付で震災対策・復興企画部を発足させ、復旧・復興に軸足を移す。磯山龍二取締役常務執行役員総合企画本部長は、「東日本大震災の復興を支援することにも、ここでの経験を西日本の地震、津波対策に生かすため提案していく」と支援室設置の狙いを説明する。

震災後に東北、関東の被災状況を独自に調査、26チーム延べ262人が現地に行った。将来のことを考えてチームにはできるだけ若手技術者を加え、現場を目に焼き付けさせた。調査結果の一部をホームページに掲載しているが、今月3日、テレビ会議システムを使って全社に報告、情報の共有化を図る。

エイト日本技術開発

- 1 -



宮古市の集積場でヘドロをサンプリング中

件の計25件となっている。復興にはさまざまな技術、分野で貢献する用意があるが、この中でも特に都市計画、廃棄物処理を挙げる。

廃棄物処理は同社の得意分野の一つである。がれき処理が大きな課題になると判断、4月中旬に岩手、宮城両県の市町を広く範囲に調査した。仮置き場などがれきの集積場所やヘドロの実態を調べた。不燃物やヘドロの処理、最終処分について提案するとともに、中期的な視点に立った新ごみ処理システムも企画提案する方針だ。

防災公園は従来から力を入れているが、新たに津波対策緑地も提案する。平時は市民のための緑地として利用、震災時は津波避難場所に使って避難活動を支援する。

一方、同社は災害リスク低減を重点5事業分野の一つに位置付けている。

中長期の視点から 新ごみ処理提案も

国土交通省や地方自治体から要請を受けた下水道、橋梁の点検など緊急対応は5月19日現在、東北18件、関東7

E・J 総力挙げて支援協力

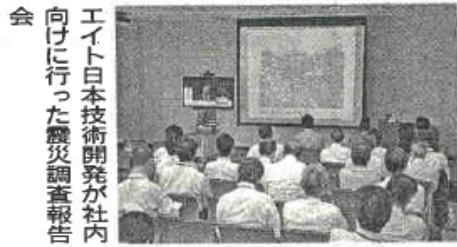
東京ガスの防災システム「シユープリーム」には当初から開発に携わった。

東京ガスの供給停止 システム瞬時に稼働

東京ガス管内の約4000カ所に地震計を設置、大きな揺れが起きた場合はガスの供給を瞬時に停止、事故を未然に防ぐ。2000年ごろから供用しているが、今回の地震で初めて稼働した。

東京ガスの社内向け防災システムで提案した被害状況や災害対策本部の対応状況が把握できる「災害情報ステーション」とともに、中小規模のガス会社に今後導入を働きかける。

阪神大震災では区画整理、団地造成を手掛けたほか、1995年には同震災を教訓にした東京都復興マニュアルも作成した実績がある。「今回の復興計画はまるごと全体をつくり直さないといけない。総合力が必要で、全社・全技術を挙げて支援に協力したい」(磯山本部長)。近代設計などE・Jホールディングスのグループ会社だけでなく、協力会社も動員する方針だ。



エイト日本技術開発が社内向けに行った震災調査報告会

被災地の被害
社内で調査報告
エイト日本技術開発
建設コンサルタント

河川・港湾や保全・耐震・防災など各部の担当者が、津波による橋桁の落下や河川堤防の崩壊、広範囲に及んだ浸水被害状況を説明。津波に備えたまちづくりの必要性なども報告された。

同社は震災直後から現地入りし、主に下水道や橋の被害を調査してきた。今後は都市計画策定の支援なども行う予定という。

(重成啓子)

のエイト日本技術開発(岡山市北区津島京町)は3日、東日本大震災の被災地で各事業部が行ってきた被害調査結果を発表する社内報告会を本社などで開いた。

独自のアイデアを盛り込んだ復興計画を打ち出すため、全社で情報を共有する狙い。グループ4社の全従業員を対象に、岡山、東京など計20会場をテレビ会議システムで結んで実施した。



復興取り組み
エイト日本技術開発
震災被害調査報告会

エイト日本技術開発は3日、東京都中野区の本社で東日本大震災の被害調査報告会を開いた。同社が独自に調査した被災状況調査の報告会で、東京本社をメイン会場に、岡山、札幌、東北といった各支社にもサテライト会場を設けた。また、グループの近代設計も札幌と東京、大阪で報告会を中継した。

冒頭、小谷裕司社長が「今回の調査は単なる被災状況の調査でなく、将来の復興提案に役立つものでなければならぬ」と参加した社員に訴え、震災復興にグループが力を結ぶことを誓った。

調査報告会を開いた。同社が独自に調査した被災状況調査の報告会で、東京本社をメイン会場に、岡山、札幌、東北といった各支社にもサテライト会場を設けた。また、グループの近代設計も札幌と東京、大阪で報告会を中継した。

冒頭、小谷裕司社長が「今回の調査は単なる被災状況の調査でなく、将来の復興提案に役立つものでなければならぬ」と参加した社員に訴え、震災復興にグループが力を結ぶことを誓った。



東京会場
独自のアイデア提言
エイト日技が震災報告会

エイト日本技術開発は3日、東京都中野区の東京本社で、震災被害調査報告会を開いた。

小谷裕司社長は、阪神大震災との相違点として被害が広範囲、厳しい財政下での復興、情報通信網が発達している中で復興の3点を指摘、「報告会は単に調査報告だけでなく、復興に向けた当社独自のアイデアを提言できる機会にしたい」とあいさつした。

佐伯光昭副社長が被害の特徴や教訓などを説明したあと、現地を調査した担当者がそれぞれの被害状況を報告した。

独自のアイデア提言
エイト日技が震災報告会

エイト日本技術開発は3日、東京都中野区の東京本社で、震災被害調査報告会を開いた。

小谷裕司社長は、阪神大震災との相違点として被害が広範囲、厳しい財政下での復興、情報通信網が発達している中で復興の3点を指摘、「報告会は単に調査報告だけでなく、復興に向けた当社独自のアイデアを提言できる機会にしたい」とあいさつした。

佐伯光昭副社長が被害の特徴や教訓などを説明したあと、現地を調査した担当者がそれぞれの被害状況を報告した。

報告会は支社・支店だけでなく、近代設計などグループ会社にもテレビ会議システムを使って中継した。

目 次

<ul style="list-style-type: none"> ■ 東日本大震災被害調査報告書の発刊に向けて 	<ul style="list-style-type: none"> 小谷裕司（代表取締役社長） 	001
<ul style="list-style-type: none"> ■ エイト日本技術開発の震災対応 	<ul style="list-style-type: none"> 磯山龍二（災害対策本部副本部長（当時）） 	003
<ul style="list-style-type: none"> ■ 東日本大震災がもたらしたもの ―被害の特徴・教訓と今後の対処方策― 	<ul style="list-style-type: none"> 佐伯光昭（災害対策本部長（当時）） 	006
<ul style="list-style-type: none"> ■ 東北地方太平洋沖地震の概要（地震と地震動） 	<ul style="list-style-type: none"> 末富岩雄（東京支社 保全・耐震・防災部） 福島康宏 	026
<ul style="list-style-type: none"> ■ 河川・港湾の被害 	<ul style="list-style-type: none"> 1) 港湾・海岸の被害と対策の進め方 鈴木 誠（広島支店 河川・港湾室） 関勇二・板野誠司 2) 河川・砂防施設の被害と山火事 山本 剛（中国支社 河川・港湾部） 田淵政一・片山哲雄 3) 阿武隈川・鳴瀬川・北上川の被害 土谷基大（東京支社 保全・耐震・防災部） 岩田克司・藤本哲生 4) 河川構造物（コンクリート構造）の被害 藤田亮一（関西支社 保全・耐震・防災部） 5) 岩手・宮城・福島県内のダムの被害 尾儀一郎（関西支社 保全・耐震・防災部） 黒田修一・藤田亮一・藤本哲生・福島康宏・見掛礼一郎 	032 036 040 046 050
<ul style="list-style-type: none"> ■ 道路・橋梁の被害 	<ul style="list-style-type: none"> 1) 岩手三陸地区の橋梁の被害 美藤友郎（東京支社 保全・耐震・防災部） 2) 宮城県内（国道45号線沿い）の橋梁の被害 古屋知真（関西支社 保全・耐震・防災部） 高木正行（東京支社 保全・耐震・防災部） 3) 福島県北部沿岸部の橋梁の被害 鷲見英信（東京支社 構造部） 4) 茨城県の橋梁の被害 古閑徹也 	061 067 072 076
<ul style="list-style-type: none"> ■ 都市施設の被害 	<ul style="list-style-type: none"> 1) 津波からの避難 田中 努（東京支社 保全・耐震・防災部） 末富岩雄・福岡淳也・福島康宏・井上雅志 2) 宅地造成地盤の被害 木村隆行（東京支社 ジオエンジニアリング部） 金聲漢・山本裕雄・斎藤正朗 3) 下水道施設・管路の被害 嘉戸大治（関西支社 保全・耐震・防災部） 4) 公園緑地等の被害と津波対策緑地の提案 落合直文（東京支社 地球環境・エネルギー部） 梶原俊之・宮内大悟・伊丹結里 5) ガレキ処理の現状と今後の課題 千葉民和（地球環境・エネルギー事業部） 	080 086 089 093 099
<ul style="list-style-type: none"> ■ 復旧・復興に向けて 	<ul style="list-style-type: none"> 1) 津波被災市街地の状況と都市復興のあり方 中世古篤之（グローバルビジネス本部） 大塚正治・今林周次・藤田民雄・林勝正 島遵・田辺晋・松島進他 2) 広域液状化被害を防ぐ 佐伯宗大（東京支社 保全・耐震・防災部） 3) 下水道機能の回復を早めるために 田口由明（東京支社 保全・耐震・防災部） 	104 108 114
<ul style="list-style-type: none"> ■ 6/3 被害調査報告会より「巨大津波と広域液状化からの復興に向けて」 	<ul style="list-style-type: none"> ○趣旨説明 磯山龍二（災害対策本部副本部長（当時）） ○特別講演：防災（津波・高潮災害）と計算工学 ～高品質計算(HQC)を目指して～ 樫山和男（顧問・中央大学理工学部） ○まとめ 磯山龍二（災害対策本部副本部長（当時）） ○今後の復旧・復興への取り組み方 佐伯光昭（災害対策本部長（当時）） 	117 118 121 122
<ul style="list-style-type: none"> ■ 資料 	<ul style="list-style-type: none"> ○東北・関東大震災の復旧・復興の協力・支援に関する対処方針について ○改めて社会資本整備とその「無駄」を考える ―防災・減災の立場から― 	123

【 表紙の写真 】

地図：防災科学技術研究所の K-NET データより作成した計測震度分布と波形

写真（左上）：岩手県宮古市田老「たろう観光ホテル」

写真（左中）：岩手県宮古市「45 号線の橋脚（下は 106 号線）」

写真（右上）：宮城県牡鹿郡女川町「3階建て直接基礎のビル」

写真（右中）：岩手県陸前高田市「高田松原の防波堤」

写真（下）：岩手県陸前高田市「市街地（右手八角形の建物は市民体育館）」

東日本大震災被害調査報告書の発刊に向けて

平成23年3月11日14時46分、宮城県牡鹿半島沖を震源として発生した東北地方太平洋沖地震は、日本の観測史上最大のマグニチュード9.0を記録するとともに、1900年以降に世界で発生した地震の中では、チリ地震(1960年M9.5)、アラスカ地震(1964年M9.2)、スマトラ沖地震(2004年M9.1)に次ぐ4番目の規模となりました。波高10m以上、最大遡上高40m以上にものぼる大津波が発生し、東北地方から北関東地方の太平洋沿岸部に壊滅的な被害をもたらすとともに、地震の揺れや液状化現象、地盤沈下、ダムの決壊などによって、北海道・東北・関東の広大な範囲で被害が発生し、各種ライフラインも寸断されました。死者・行方不明者は約24,000人にものぼり、直接的な被害額は25兆円以上とも試算され、未曾有の大災害となりました。ここに、東日本大震災でお亡くなりになられた方々のご冥福をお祈り申し上げますとともに、被災された方々に心よりお見舞い申し上げます。

弊社におきましては、地震発生から1時間も経ずして佐伯副社長を本部長とする災害対策本部を東京本社に設置するとともに、東北支社・東京支社を現地本部とし、職員の安否確認、被害状況把握並びに復旧支援を展開して参りました。現地におきましては、震災直後から、市町村からの下水施設被害調査・災害査定設計の依頼をはじめ、国・県等との災害協定関連協会から、道路災害調査支援や橋梁点検、海岸施設被災調査、漁港・港湾施設被災調査支援依頼があり、弊社並びにEJグループ傘下各社の協力を得ながら復旧支援に努めて参りました。関係各位の皆様には改めて感謝申し上げます。

この東日本大震災は、地震の規模が超巨大であったことに加え、阪神淡路大震災と比較して、大きく様相を異にする3つの点が挙げられると思います。

1つは、被害地域の広域性です。

直接的な被災地が複数県にまたがり広域であり、防災体制においても、地方と中央の縦の連携だけでなく、地方自治体間の横の連携を強化するなど見直しが必要であると思われれます。そのほか、被災地各県に立地する企業やエネルギー施設の被災により、日本全国や海外の企業活動・生産網並びに国民生活に甚大な影響が及んでいます。

また2つ目は、厳しい財政下での復興です。

被害の規模が極めて大きく、直接的な被害に限っても25兆円以上と阪神淡路大震災の3倍程度が想定され、供給網を通じた諸産業への影響や放射能問題、電力供給のひっ迫を通じた影響などを加えるとその額は甚大です。国債残高が大きく、復興財源の確保が容易でない状況下での復興であること、また、人口の高齢化や限界集落が多い地域の復興であることなど社会的環境が大きく異なっています。

3つ目は、情報通信技術の活用の大きな可能性です。

阪神淡路大震災当時は、インターネット元年と呼ばれる頃であり、携帯電話も十分普及していなかったが、現在は、ツイッターや動画配信など新たなコミュニケーション手段が普及した状況下にあります。新しいまちづくりや災害に強いまちづくりなどを計画する上で、情報通信技術を最大限活用することが重要です。

この大震災は、わが国の防災体制、危機管理、社会資本整備のあり方等に根源的な問いを投げかけています。今までの常識をはるかに超えた大災害を発生させ、過去の大震災との様相の違いも踏まえ、この現状とどう向き合い、そして、どう乗り越えていくか、様々な問題が我々にも課せられています。

弊社におきましては、被災地復旧支援に努めるとともに、各事業部を中心に当社独自のインフラ施設の被害調査を実施するとともに、復興対策に向けた技術的な提案を行って参りました。震災からの単なる復旧ではなく、長期的観点に立った「地域社会の再生」のみならず、「新たな国土づくりの視点の確立」が求められており、当社の今後の展開に向けた重要な役割として取り組んでいく必要があります。

去る6月3日の「東日本大震災 被害調査報告会」は、多くの方々に被災状況の把握を行っていただくとともに、今後の諸施設の防災やまちの復興業務に向けたアイデア等を頂き、EJグループとして、今なにをすべきか、課題と展望を提示し「新たな国土づくり」に向けた英知の結集の必要性を発信できたと思います。そして本日、それを報告書にまとめることができました。

ここにある報告は、震災後26回、延べ262人日の弊社の専門家が自主調査した貴重な記録と意見であります。現地に行った技術者は、私たちコンサルタントが計画・設計・補強などを行ってきた構造物やまちの惨状を目の前にし、自然の力の凄まじさとマニュアルエンジニアであってはならぬことを改めて心に刻みつけたことと思います。その思いを忘れることなく、本当に安全で安心なまちづくりや国土の形成の実現に向かって、自己研鑽と質の高い業務成果に取り組んで参りたいと考えております。

この報告書が、その契機になりますことを祈念するとともに、今後とも、関係各位のご理解とご支援ご協力をお願い申し上げ、発刊に向けての挨拶とさせていただきます。

平成23年6月20日
代表取締役社長 小谷裕司

エイト日本技術開発の震災対応

株式会社エイト日本技術開発
 災害対策本部副本部長
 現 取締役常務執行役員

磯山龍二

1. 地震発生

2011年（平成23年）3月11日（金）岡山本店にて役員会議中の14:46分、磯山の携帯に緊急地震速報が入った（当社独自のシステムで一定規模・震度以上の地震があると主要なメンバーに配信）。宮城県でM7以上の地震が発生、とっさに「想定宮城県沖地震」と思った。ところが次々と入るメールではどんどんマグニチュードが大きくなっていく。そして、岡山でもゆっくりとした揺れが始まった。これは大変な事態になっているテレビをつけると津波警報、さらに続々と津波に呑まれる町の映像などが映し出された。

会議は即座に災害対策本部会議に移行、災害対策要領などに基づき、役割分担、今後の対応などを決めた。東北支社長、東京在住の役員もその日は移動できず、翌日、土曜の午後、東京本社で第2回の災害対策本部会議を開催、ここで、東北支社長を仙台に帰すとともに東北支社への救援隊を翌日日曜に送り込むことを決定、手分けしてすぐに買出しに走った。ただし、前日の帰宅困難の影響を受けてか、毛布、水、食料など調達にはだいぶ苦労したようである。

2. 災害対応組織

3月12日には今回の震災対応組織を決定した（図1）。この組織は災害対策要領などをベースにしているが、今回の震災の規模、広域性に応じて柔軟に決定したものである。

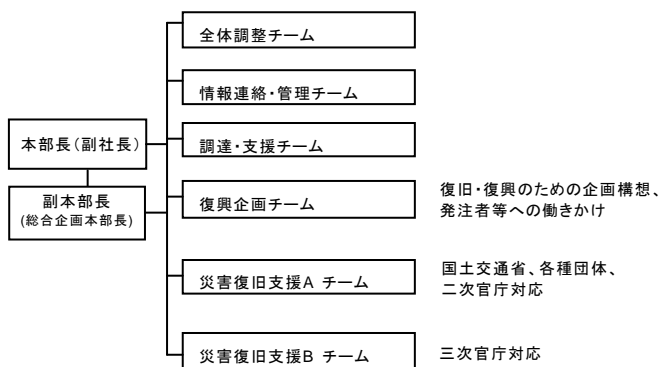


図1 災害対策本部組織

3. 災害対応組織

災害対策本部組織の立ち上げとともに、東北支社救援、建設コンサルタント協会との連絡、調整、応援要請の受理、被害調査など様々な活動が土曜から一斉に開始されたがこの中で、3月14日には社長のメッセージ、16日には災害対策本部長の対処方針が示され、以降、この方針に基づく対応がなされた。対処方針の概要を以下に示す。

(1) グループ企業への支援活動の展開

被災地域における EJEC および近代設計の東北支社における就労環境に対する手当て

(2) 国交省等と業界団体との間で締結されている災害対応協定への協力

(社)建設コンサルタント協会東北支部並びに関東支部等の業界団体が発注機関と締結している協定に基づいて、復旧支援活動に積極的に参加協力

(3) 被災地域への復旧・復興支援への働きかけ

津波の襲来により壊滅的な被害を受けた地方公共団体への積極的な復旧・復興支援の働きかけ

(4) 今後の巨大地震災害への取組

グループ内部の課題として、今回のマグニチュード M9.0 の巨大地震の発生による被害状況や当社のその直後の対応で明らかになった問題点や課題、対処方策などを学習し、今後発生が予想される「東海・東南海・南海地震」や「首都圏直下型地震」の震前対策への事業展開に反映させる

(5) 関連学会活動への積極的な参画

4. 緊急対応業務

緊急の調査などの要請は3月15日から入り始め、3月中には16件の要請を受け付けている。市町から直接の要請、建設コンサルタント協会を通じての要請など様々であったが、要請を受けたもののほとんどに対応した。対象は下水道、道路、橋梁、海岸、港湾など多岐に渡り、内容的には調査から災害査定まで一貫して行う業務が多く、全国から技術者を現地に派遣することはもちろんグループ会社を総動員してこれら業務に対応した。

結果的には 28 件の要請に対して 27 件について対応を行った。また、この報告の執筆時点 (6/9) においても多くの業務に対応中である。



災害査定設計へ向けた下水道管路の調査の様子

5. 被害調査

災害対策本部長の対処方針にあるように、まずはこの震災の状況を把握するため、地震発生の翌日から調査活動が始まった。仙台周辺はもちろんであるが、関東においても、社員は休日なども利用して千葉県湾岸地域、茨城県太平洋沿岸、横浜などの調査を行っている。また、東北の太平洋沿岸地域についても、発注者要請による調査は別として、4 月初めから構造、河川、港湾、ライフライン、地質・地盤、都市計画、防災などの専門家チームが順次現地に入り独自の調査を行った。

会社として公式記録されている調査は 26 回、延べ 262 人日に及んだ。調査チーム編成に当たっては、ベテランに必ず若手を配することとし、特に若手技術者にこの被害状況を見させることに配慮した。



被害調査の様子 岩手県大槌町にて

6. 情報の共有と発信

社内において情報共有を確実なものとするため、通常業務で用いているノーツの掲示板に加え、イントラの情報掲示板 (通常のブラウザで利用

を開設した。被害調査結果など様々な情報がこの掲示板により共有された (図 2)。また、被害調査結果の一部は当社ホームページに随時掲載され、社外に向けて発信された (図 3)。



図 2 イントラネットの掲示板



図 3 インターネットホームページでの情報公開

7. おわりに

地震発生から 3 月が過ぎようとしているが、この原稿執筆時点 (6/10) における死者は約 1 万 5 千人、行方不明者は約 8 千 500 名と戦後最大の被害であることは間違いないが、いまだ被害が定まらない状態である。しかし、現地では復旧、復興に向けた動きがようやく活発化してきている。

当社においても地震直後からの被害調査結果等に基づき、社内で様々な復旧、復興の企画、構想を練ってきたが、5 月末に国土交通省都市・地域整備局の復興へ向けたプロポーザル (40 件が同時に出された) に 2 件の特定を受けた (宮古・山田の被害調査、山田の復興パターン調査)。現在、現地事務所の設置、予備的な調査など社内体制を整えつつ本格的な活動へ向けての準備作業を行っている。

この未曾有の災害に対して当社として今後とも復興へ向けて知恵と体力を振り絞って最大限の努力をしていく所存である。

付表 当社の被害調査地域一覧

県	市町村	避難所・役場	防災公園	市街地	液状化	造成地・自然斜面	港湾・海岸	河川構造物	砂防	ダム・調整池	橋梁	上下水道施設・管路	廃棄物
青森県	八戸市							●					●
岩手県	宮古市	●		●			●	●	●		●	●	●
	山田町	●		●			●	●	●		●	●	●
	花巻市		●							●			
	遠野市		●										
	大槌町	●	●	●			●	●	●		●	●	●
	釜石市	●	●	●			●	●		●	●	●	●
	奥州市					●							
	大船渡市	●		●			●			●	●	●	●
	陸前高田市	●		●			●				●		●
	栗原市				●					●		●	
宮城県	気仙沼市	●		●			●				●		●
	登米市										●		
	南三陸町	●		●			●	●			●		●
	女川町	●		●			●						●
	石巻市	●		●	●		●	●			●	●	●
	東松島市	●		●			●				●	●	●
	塩竈市						●					●	●
	多賀城市						●					●	●
	柴田郡									●			
	仙台市若林区			●							●		
	仙台市太白区			●		●							
	仙台市泉区			●							●		
	仙台市青葉区			●		●				●			
	仙台市宮城野区					●					●	●	
	名取市	●		●			●	●		●	●		●
	岩沼市						●	●				●	●
	柴田町			●	●	●						●	
白石市			●	●	●						●		
亘理町						●	●			●		●	
山元町												●	
福島県	福島市					●				●			
	相馬郡										●	●	
	相馬市						●				●		
	二本松市									●			
	田村郡									●			
	大玉村									●			
	郡山市			●						●			
	須賀川市	●								●			
	岩瀬郡									●			
	石川郡									●			
	白河市					●				●		●	
	西白河郡									●			
	いわき市			●			●						
茨城県	北茨城市						●						
	常陸太田市										●		
	ひたちなか市							●			●		
	那珂市										●		
	土浦市			●	●								
	つくば市			●							●		
	稲敷市				●			●			●		
	取手市							●					
	行方市	●									●		
	潮来市			●	●						●	●	
	鹿嶋市			●	●		●	●			●	●	
	神栖市			●	●							●	
	千葉県	香取市			●	●			●			●	
船橋市				●	●								
習志野市					●			●			●	●	
浦安市				●	●		●	●			●	●	
佐倉市											●		
千葉市				●	●			●				●	
東京都	中央区									●			
神奈川県	横浜市				●								

東日本大震災がもたらしたものの

- 被害の特徴・教訓と今後の対処方策 -

株式会社エイト日本技術開発
取締役 震災対策・復興企画統括
佐伯 光昭

1. まえがき

平成23年3月11日(金)午後2時46分に牡鹿半島東方沖約130kmを震源として発生した東北地方太平洋沖地震は、マグニチュードM9.0とわが国有史以来の最大規模のものであった。死者、行方不明者はおよそ2万3千人を超え、そのほとんどがこの地震により生じた巨大津波によってさらわれて命を落とした方々であった。加えて東京電力福島第一原子力発電所の第1号機～4号機の被害とそれに伴う事故がわが国初めての衝撃的な事態となり、その収束に向けた迅速な対処と周辺地域の住民避難や放射能汚染が深刻な社会問題となっている。

本文では、まず、この地震の特性とそれが原因となった東日本大震災の被災の概況と特徴を整理し、その構造を明らかにして教訓を浮き彫りにする。そして今後のわが国を巡る地震発生の危険性を踏まえた震災対策計画の課題と対処方策を指摘するとともに、この度の大地震で深刻な被災を受けた地域の復興計画や事業展開の基本的な考え方に言及する。

2. 地震及び津波と被害の概況

(1) わが国の地震環境と被害地震の発生状況

改めて地球規模でのわが国の地震環境を考えてみよう。図1¹⁾に示すようにわが国は太平洋、フィリピン海、北米およびユーラシアの4つの表層地殻を構成するプレートが界合する世界でもまれな地球の営力の影響を強く受ける位置にあり、全世界の年間地震エネルギーの約10%が日本周辺に集中するものと考えられている。太平洋プレートやフィリピン海プレートは年間2～3cmの速さで東方や南方から日本列島に向かって押し寄せており、それが北米プレートやユーラシアプレートの上に浮かぶわが国土にストレスを生じさせ、それが世界でも有数の大地震の頻発地域にさせている原因となっているのである。

理科年表²⁾の地震カタログによれば、416年以来、今日まで420回余、わが国のどこかに被害を

もたらした地震が発生している。また、江戸幕府が開かれて以来、約410年の間に350回余の被害地震が生じており、約1年2カ月に1回の割合で国土のどこかで被害を伴う大きな地震が生じていることになる。これら地震の脅威にさらされている以上、国防とならんで地震災害の軽減が重要な国家目標でなければならないはずである。

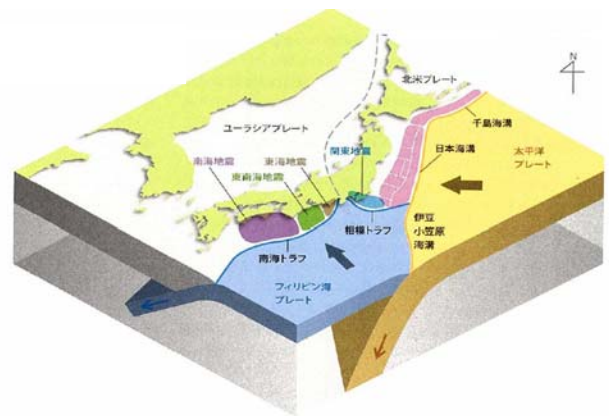


図1 海溝型地震のメカニズム¹⁾

(2) 今回の地震と津波の概要

そのような中で、去る3月11日午後2時46分、図2³⁾に示す宮城県牡鹿半島東方沖のおよそ130km、深さ24kmを震源とする東北地方太平洋沖地震が発生した。三陸沖の日本海溝沿いに北は青森県沖、南は茨城県沖に達する南北450km、東西200kmという広大な震源域を有するわが国有史以来最大のマグニチュード(以下、Mと略記)9.0の巨大地震であった。M9.0級の巨大地震はこの東北地方太平洋沖地震を含めて、表1に示すように世界でこれまで6回しか発生していない。表2には東北地方太平洋沖地震の各地の気象庁震度の概要をまとめておく。震源域での断層のずれは、上記の450×200=9万平方kmの広がりをもつ震源域で20～40m程度と考えられている³⁾。ちなみにM7.3の兵庫県南部地震の際には、およそ50kmの活断層にそって、2m程度のずれが生じたこと³⁾と比べると、改めてM9.0の地震エネルギーの大きさに驚かざるをえない。

また、この地震の余震の発生状況を図 3⁴⁾ に示す。同図にはこれまでの大地震の際の余震についても本震後の累積の発生回数も示した。今回の地震では、これまでになく多くの余震が生じたことがわかる。有史以来、最大規模の地震であったことが余震の数もわが国観測史上、最多となったことを示唆している。

地震動の特性については、最大加速度は宮城県栗原市の観測地点で、水平成分で 2,699gal 強、鉛直成分で 1,879gal⁶⁾ であった。地震動の特性で重要なことは、

- ① 主要動の継続時間が数分以上と極めて長く、観測地点によっては震度 3 以上の揺れが 3 分以上も続いたこと
- ② 主要動の卓越周期が 0.2~0.3 秒と、これまで大きな被害を生じさせた地震の揺れに比べて短かったこと

の二つであった。図 4⁷⁾ には、今回の地震動の加速度波形を兵庫県南部地震で記録されたものと比較して示す。あきらかに今回の地震の主要動の継続時間が長く、その繰り返し回数も多いことが見てとれる。このことが、震源域から遠くはなれた茨城県南部や千葉県の東京湾岸地域では、比較的長い周期成分の振幅が減衰しにくいために沖積低地や埋立地に液状化が生じた大きな要因となったのである。また、図 5⁷⁾ には、地震動の周期特性をあらわす加速度応答スペクトル曲線をこれまで観測された大地震のものと比較して示す。建物や構造物の被害を生じさせやすい周期 0.8~1.5 秒程度の加速度応答値が兵庫県南部地震等のこれまでのおもな地震の観測記録にくらべて小さくなっていることがわかる。これが津波の影響を受けなかった地域での死者・行方不明者の数、建物や構造物の被害がそれほど著しいものにならなかった要因と考えられる。

このような地震動の特性のほかに、地震によって生じた現象として大きな地殻変動が生じたことが特徴的である。震源域内の海底では鉛直方向に 4~5m の隆起、震源域の西方の陸地に向かって 2m 程度の沈下、そして陸上では最大 1.2m にもおおよぶ沈下⁸⁾ をもたらした。そのメカニズムは、図 6¹⁾ に示すように太平洋プレート上面の断層(滑り)面が本土を構成する北米プレートの下にもぐりこむため、その上方の北米プレートがもりあがり隆起する。その反動で西方の陸地側の北米プレートが沈みこむという、いわば北米プレートの褶曲(上下)運動の結果、生じるものと考えられている。この陸地側の沈みこみが津波襲来後の浸水域の拡

大をもたらしたのである。

津波の概況については、図 7⁴⁾ に各地での津波の高さを示す。北海道から九州沿岸に津波の影響が及んだことがわかる。津波の最大高さは、岩手県大船渡で 11.8m に達した。また最大の遡上高さは岩手県宮古市姉吉で 40.5m⁹⁾ に及び、観測史上最高の 1896 年の明治三陸津波での同県大船渡市綾里での 38.2m を超えていた。これまでにないエネルギーで津波が襲ったことを示している。写真 1 に宮城県南三陸町の被災状況、写真 2 に同町災害対策本部屋上からの津波襲来の状況を示す¹⁰⁾。

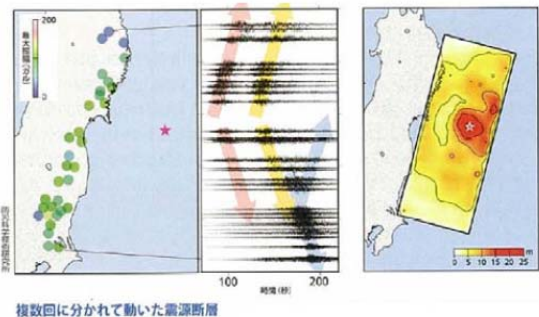


図 2 震源の位置と数回に分かれて動いた震源断層³⁾

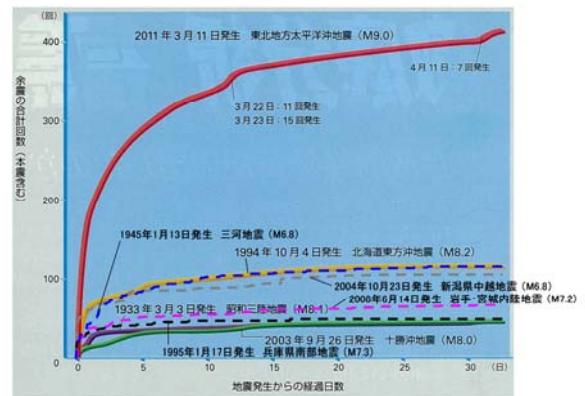


図 3 余震の累積発生回数^{4) 5)}

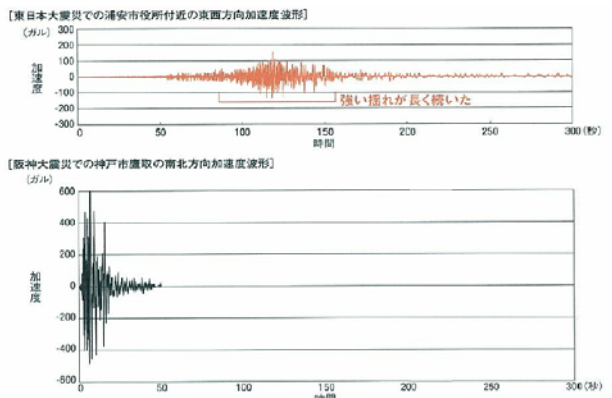


図 4 東日本大震災と阪神大震災の加速度波形⁷⁾

■ 加速度応答スペクトル(過去の地震7クラスの地震との比較)

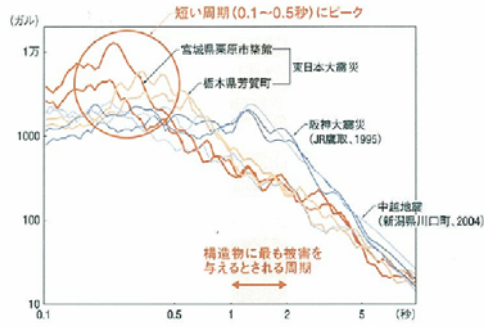


図5 地震動の加速度応答スペクトル⁹⁾
— 既往の地震の記録との比較 —

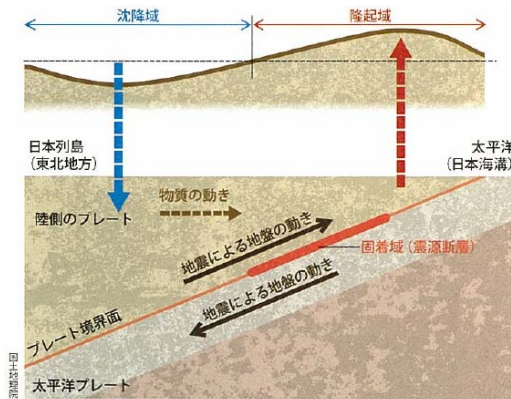


図6 今回の地震によって生じた地殻変動の模式図¹⁾

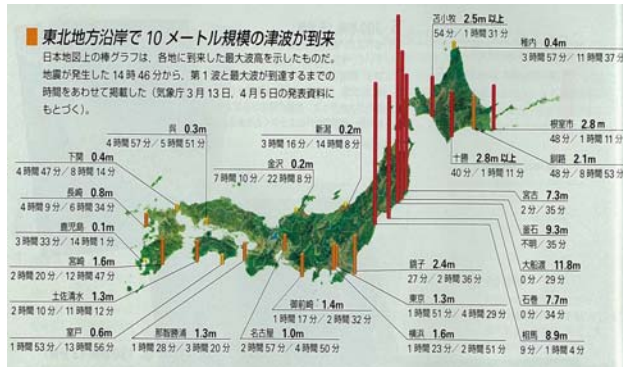


図7 今回の地震で各地に到達した津波高さ⁴⁾

表2 今回の地震の諸元と各地の気象庁震度

諸元及び地点		
発生日時	平成23年3月11日14時46分ごろ	
震源位置	宮城県牡鹿半島東方130km、深さ24km	
マグニチュードM	9.0	
各地の気象庁震度	7	宮城県栗原市
	6	仙台 宇都宮 日立 水戸 つくば
	5	盛岡 秋田 福島 前橋 さいたま 千葉 東京 横浜 甲府
	4	釧路 帯広 函館 青森 山形 静岡 長野 新潟 名古屋



写真1 南三陸町の津波被災状況
— 遠景の建物は町の災害対策本部 —



写真2 南三陸町災害対策本部屋上での津波襲来状況¹⁰⁾

表1 世界のM9を超える巨大地震

名称	発生年	マグニチュードM
カムチャッカ地震	1952	9.0
アリューシャン地震	1957	9.1
チリ地震	1960	9.5
アラスカ地震	1964	9.0
スマトラ島沖地震	2004	9.0
東北地方太平洋沖地震	2011	9.0

(3) 被害の概要

表3¹¹⁾には今回の大震災の被災状況を、図8¹²⁾には電力、上水道及び都市ガスなどライフライン施設の機能支障の程度をあらわす震後の復旧状況をそれぞれ示す。表4には参考までに関東大震災、阪神・淡路大震災の状況と比較して整理した結果を示す。また表5には今回の津波の被災状況を明治三陸津波以降の昭和三陸津波やチリ地震津波の状況と比較した結果を示す。

表 3 東北大地震災 被害の概要¹¹⁾ 警察庁 5月24日 現在

	人的被害(人)		住家被害(戸)			その他 被害箇所数				
	死者	不明者	全半壊	全半壊	浸水	道路	道路橋	斜面	堤防	鉄道
北海道	1	—	—	—	729	—	—	—	—	—
東北										
青森	3	1	1,300	—	—	2	—	—	—	—
岩手	4,474	2,937	19,768	15	2,101	30	4	6	—	—
宮城	9,083	5,300	82,400	119	2,405	1,571	23	51	4	23
福島	1,581	477	29,934	80	391	19	3	9	—	—
その他	2	—	117	—	—	30	—	29	—	—
関東										
茨城	23	1	10,477	37	1,861	307	41	—	—	—
千葉	19	2	3,422	5	1,697	1,573	—	45	—	1
その他	16	—	1,980	5	1	437	—	47	—	2
その他地域	—	—	—	—	36	1	—	—	—	—
合計	15,202	8,718	149,398	261	9,221	3,970	71	187	4	26

表 4 これまでのわが国の主な地震災害との比較

	関東大震災 1923.9.1	阪神・淡路大震災 1995.1.17	東日本大震災 2011.3.11	
マグニチュード	7.9	7.3	9.0	
震源	相模湾～房総半島プレート境界	淡路島プレート内直下型	日本海溝沿いプレート境界	
死者・行方不明	10万5千余人	6,437人	23,982人(5月22日)	
住家被害 全・半壊	21万1千余戸	24万9千余戸	14万8千余戸(5月22日)	
主な被害の範囲	東京、千葉、茨城、埼玉、神奈川、静岡	神戸、芦屋、西宮、尼崎、宝塚、明石の各市	青森、岩手、宮城、福島、茨城、千葉、東京	
被害状況	火災	東京下町、横浜で甚大焼死者多数	神戸市内で発生	津波浸水地域で発生
	津波	相模湾沿岸甚大	発生せず	東北関東太平洋沿岸で甚大
	土木構造物の被災の特徴	落橋や河川堤防の被災が顕著。日本橋等アーチ橋の被害が極めて少なかった	既存不適格の構造物、特に橋や高架で顕著	海岸堤防、防潮堤の被害甚大、津波の遡上による橋桁の落下や河川堤防の崩落が顕著。地震動による構造被害は比較的小さい
その他特記事項	余震 多発 被害額は当時のGDPの4割超の55～65億円と推定	余震 少 被害額 約30兆円	余震多発 今後? 直設被害額25兆円(原発被害含まず) 世界初の原発被害・事故	

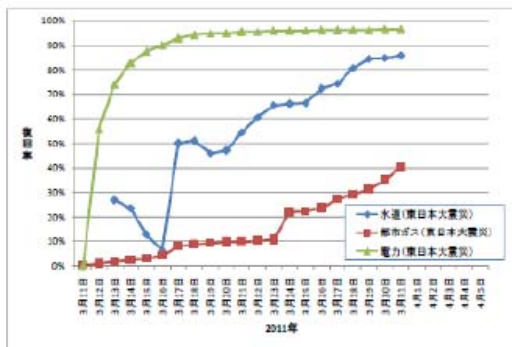


図 20 東日本大震災における水道・都市ガス・電力の「復旧率＝(延べ停止戸数－停止戸数)／延べ停止戸数」の推移 (電力については東北電力管内のみ)

出典:土木学会 ライフライン復旧概況(時系列編)
岐阜大 能島教授

1995年 1月17日 → (20日後) → 2月6日
2011年 3月11日 → (20日後) → 3月31日

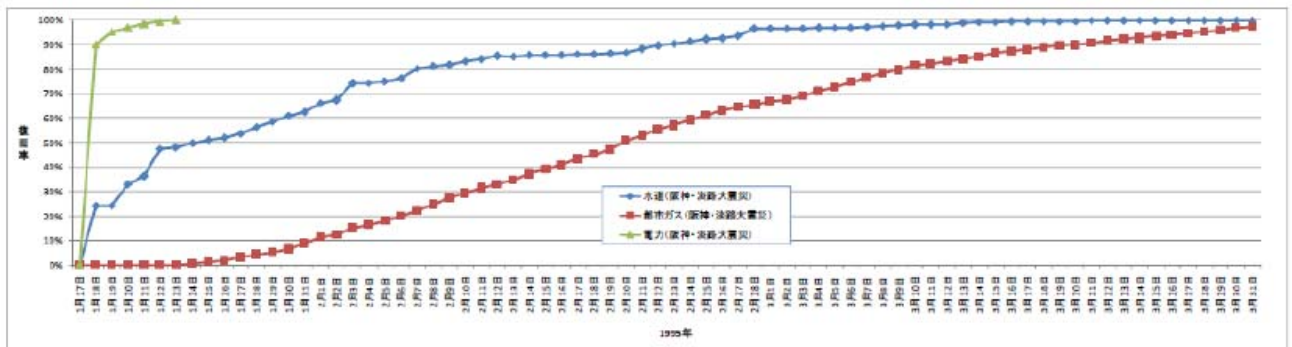


図 21 阪神・淡路大震災における水道・都市ガス・電力の復旧率の推移

図 8 ライフライン(電力、水道、都市ガス)の復旧状況¹²⁾

表 5 これまで三陸沿岸を襲った津波被害の比較

	明治三陸地震津波	昭和三陸地震津波	チリ地震津波	東北太平洋沖地震津波
地震の発生年月日と時刻	1896.6.15 午後8時半前	1933.3.3 午前3時過ぎ	1960.5.24 午前2時～5時	2011.3.11 午後3時～5時
マグニチュード	8 1/4	8.1	8.5	9.0
震源位置と発生機構	釜石沖約200km 海溝側太平洋プレートの浅部での滑りにより発生	釜石沖約200km 太平洋プレート内のアウトラーズ地震と想定	南米チリ沖	牡鹿半島沖130km 地震波の解析結果では陸地側の深部の断層の滑りと海溝側浅部の滑りとが交互に発生
死者・行方不明者合計	21,893	3,017	142	2万名強と推定
被害家屋数 全半壊流失 ()内:流失戸数	約1万2千戸 (9,879戸)	約1万6千戸 (4,885戸)	4万戸強 (1,474戸)	約16万戸
津波遡上高さ (m)	綾里38.2m 吉浜22.4m 田老14.6m	綾里28.7m	三陸沿岸5～6m、他の地域で3～4m	宮古市姉吉: 40.5m

これらの結果から東日本大震災の被害を概観すると次のようにまとめられる。

- ① 死者・行方不明者の数はおよそ2万4千人に達する。これは、おそらくわが国の地震災害史上、関東大震災に次ぐ規模であり、死者のおよそ90%が津波による溺死となっている。地域別では宮城県下で1万4千人余りと全体の60%を占めている。
- ② 住家被害では、やはり宮城県下で全半壊が8万2千棟強と全体のおよそ55%を占めている。岩手県の被害に比べ、福島県での全半壊戸数がおよそ1.5倍のおよそ3万棟に達しているこ

とや、茨城県下でも1万棟を超える被害が生じていること、そして、浸水被害で茨城、千葉の両県下で全体9,200棟余のおよそ4割弱の3,500棟を超えたことなどが注目される。これらは、やはり津波の影響が関東地方の太平洋沿岸にまで広く及んだことを示している。なお火災による全半焼も宮城県下で119棟と全体の46%を占めたが、福島や茨城県下合計でもそれと同程度生じたことが目につく。宮城県下では気仙沼市で津波により港湾施設から油が漏出して火災が生じた。

- ③ インフラ関連の被害については道路や斜面で、千葉県下での状況が宮城県と同程度となっていること、茨城県やその他の関東地域のものも合わせると東北各県下での件数を超える状況となっていることが注目される。これは、震源から遠く離れた関東北部や千葉県など東京湾岸地域の震度3以上の揺れが3分以上も続いた地震の継続時間の長さによる液状化発生の影響が関係しているものと考えられる。東北各県での道路橋や被害はどれも津波による落橋や交通支障による被災である。鉄道については、東北新幹線を除いては津波の影響によるものと考えられる。なお、茨城県下での道路橋の被害が41か所と、全体の71か所の6割に近い数値となっており、となりの千葉県では皆無となっていることが注目される。これについては、茨城県下は今回の震源域の南部により近いこと、地震動の強さが千葉県下のそれよりも大きかったことが効いているのではないかと考えられる。
- ④ ライフライン施設の復旧状況については、電力が最も早く復旧し、ついで上水道、都市ガスの順に遅くなっている。これはこれまでの大きな地震の場合と共通であるが、阪神・淡路大震災の状況と比べると、図8からわかるように、電力ではやや遅れがみ、上水道や都市ガスについては、逆にやや早くなっている。ただし、宮城、岩手、福島の各県では津波による被害の影響を大きく受けて、これら各施設の復旧の進みぐあいはかばかしくないのが実情である。
- ⑤ 今回の大震災と1923年の関東大震災、1995年の阪神・淡路大震災の状況とを比較して表4にまとめているが、災害の規模は関東大震災がわが国最大であること、阪神・淡路大震災は津波の影響も受けず神戸市を中心とする周辺の限られた地域における家屋の倒壊や火災、道路橋等の建造物の被災が特徴であったことがわかる。一方、東日本大震災では、太平洋沿いの広い地

域に津波が襲いかかったことに加えて原子力発電所の被害と事故が甚大であったことなどがこれまでにない被災の様相であった。

- ⑥ 津波被害については、表5に明治三陸津波、昭和三陸津波そしてチリ地震津波と対比して整理した結果を示しているが、津波そのものの規模や被害家屋の数では今回が最大となっていて、M9.0の地震の震源が日本海溝沿いに大きく南北方向に広がっていたため津波が襲来した地域も北海道から沖縄まで及んだことを示している。なお、死者・行方不明者の数については、津波の襲来が明治三陸津波に比べてはるかに広い地域に及んだにもかかわらず、今度の津波では明治三陸津波のおよそ2万2千名を下回る見込みであることが注目される。

以上、記してきたように、今回の大震災は、地震、津波に加えて福島第一原子力発電所の被害と事故の複合災害であろう。上記の被害の全体像を考えると、原子力発電所の影響がわが国のみならず、世界に及ぼした影響が深刻かつ重大なものであることは認めた上で、あらためて地震災害としては津波による広範な太平洋沿岸地域に与えた影響が最も大きい。地震の影響については、地震動の卓越周期が一般的な建物や構造物の揺れやすい周期に比べて短かったため、地盤の液状化や宅地造成盛土、古いアースダム等の土建造物での被害以外は、それほど著しいものではなかった。このことは、社会インフラの健全性の確保にとっては、M9.0の巨大地震のわりには不幸中の幸いといえるものの、原子力発電所の原子炉建屋や原子炉本体の収容構造には逆に熾烈な影響を及ぼしたのかもしれない。近い将来発生の可能性が高いといわれている「東海・東南海・南海地震」や「首都圏直下地震」などで、今回の地震と同じような地震動の卓越周期を呈する保証はないことに留意しなければならない。仮にM8を超える巨大地震で卓越周期が1~2秒程度となった場合には建物や各種構造物に過酷な影響を及ぼす事態を、あらかじめ考えておくことが震災対策計画を実効ならしめるために極めて重要な課題である。

3. 各種インフラ施設の被害の特徴と災害の構造

(1) 津波が引き起こした被害

1.に記したとおり、巨大津波の襲来により2万3千名を超す多くの生命が犠牲となったほか、広範な沿岸居住地域での家屋の流失や火災が生じた。そして、それらによる膨大な量の瓦礫が生じるこ

ととなった。これらに加え、次のような津波による各種インフラ施設の被災が特徴的であった。

- a. 福島第一原子力発電所 1号機～4号機原子炉建屋に付随する各種施設の被災
- b. 津波防波堤、防潮堤など海岸堤防の破壊 (cf. 写真 3)
- c. 港湾施設や漁業・水産業施設の壊滅的被害
- d. 津波の遡上による河川堤防の崩壊
- e. 橋梁の上部構造(桁)の転落 (cf. 写真 4)
- f. 沿岸の下水道処理施設の被災 (cf. 写真 5)

特に、a、b、e、f については、わが国でも初めてのできごとであり想像を超える津波の破壊的な強さを思い知らされることとなった。

なお、建物の被害については、現場の状況からは鉄筋コンクリート造に比べて、鉄骨造のものが津波に対しては弱かったようである。



写真 3 海岸施設の被災状況 (南三陸地区)



写真 4 道路橋の津波による桁の落下の状況
(国道 45号 南三陸地区 歌津大橋)



写真 5 南蒲生ポンプ場の津波による被災状況

(2) 液状化とそれによるライフライン施設や家屋など建物の被害など

仙台周辺、茨城県や千葉県や東京湾岸地域では地盤の液状化が広域的に発生した。それにより、各種のライフライン施設、特に、上・下水道の管路が各地で多く被災を受けた。このため、長期に及ぶライフライン施設の機能障害が生じ、住民の生活への支障が深刻なものとなった。なお、仙台市内の都市ガスについては、新潟からの仙台までのパイプラインからの緊急供給ができたこともあって、阪神・淡路大震災での供給復旧よりも短い期間で回復することができたようである。

(3) 土構造物の被災

仙台や福島市内での宅地造成地で盛土部分の地すべり様の変状、崩壊が目立った。また、福島県下の農業用のため池でアースダムの被災が多く発生した。いずれも、建設後半世紀以上経過したものであるが、その中には、写真 6 に示すように堤体に大規模な変状が発生して破堤し、ダムの下流域で 6 名が死亡、1 名が行方不明となる惨事を引き起こした事例があった。



写真 6 福島県 藤沼貯水池の被災状況

(4) 復旧事業の遅れ

上記、各種インフラの復旧事業の展開の進みぐあいについては、震後3ヶ月経過時点でも、必ずしも順調に推移していないようである。これについては、M5.0以上の余震の回数が500回を超えるような状況¹³⁾、津波浸水地域が地殻変動で最大1mにも達する地盤沈下が生じたことや1万人を超えた行方不明者の搜索と膨大な瓦礫の処理がなかなか進まないことが原因と考えられる。福島県の太平洋沿岸部では、これらに加えて、原発被害と事故による周辺地域への放射能拡散の影響や放射能に汚染された瓦礫の処理、そして福島、茨城、千葉県などで生産された食物の放射能汚染の風評被害などの要因が加わり、事態を深刻ならしめている。

復旧展開の遅れが目立つのは、政府の政治主導という基本姿勢にもかかわらず、官僚機構に対するリーダーシップの欠如や信任不足によるところが大きいように感じられてならない。

このような状況の下で、国道の復旧は迅速だったことは特筆されるべきであろう。国土交通省東北地方整備局では、三陸沿岸地域の孤立の解消を期して、仙台以北の国道4号を脊髄とし、それから枝状に、石巻、気仙沼、陸前高田、大船渡、釜石、宮古を結ぶ国道の早期啓開を可能ならしめる点検・診断と復旧展開を「くしの歯」作戦と名付けて、その任に当たるテック・フォース・チームを震後直ちに招集し、陸、空から展開させることとした。その結果、震後5日目の3月16日には概ね、国道4号からのアプローチが可能となり、その二日後の3月18日には国道45号、同6号の97%が啓開を終了したのである¹⁴⁾。

(5) 大震災をもたらした災害の構造

ここで、今度の東北太平洋沖地震が引き起こした大震災の構造を考えてみる。高橋は災害の起こる要因としてある環境の下での、「素因」、「誘因」そして「拡大要因」を取りあげ、それらの相互関係を図9¹⁵⁾のように整理している。また、佐伯は地震災害の構造として図10¹⁶⁾に示すように分析しており、地震災害の規模は高橋が提案したこれらの要因に加え、「被害抑制要因」としての「震前対策」と「震後対策」が有効に作用するか否か、その程度で決まるものとしている。

このような整理の考え方を今回の大震災に当てはめると以下のようにあらわすことができる。

まず、「素因」には、津波被害を受けやすい三陸や仙台湾以南の海岸地形がまず挙げられる。次い

で地盤条件、たとえば東京湾岸北部の液状化が生じやすいゆるい砂質地盤の存在などである。

「誘因」は、言うまでもなくわが国有史以来最大規模のM9.0東北地方太平洋沖地震とそれに伴う大津波の発生である。

「被害拡大要因」には、沿岸低地に集中した市街地や集落の存在やライフライン相互のシステム間の連鎖、津波に対する住民の防災意識と避難行動のギャップなどが挙げられる。加えて、万一、被害や事故が発生した際、危険性の極めて高い原子力発電所の立地も重要な要因である。

「被害抑制要因」については、震災の事前対策としての原子力発電所を含む各種インフラの整備～補強状況、震後対策としての市街地の不燃化対策や住民の避難誘導計画の推進状況、ライフラインの機能確保のためのバックアップシステム整備状況などのハードからソフトまでのさまざまな対策があげられる。

今回の大震災は、これらの要因相互の力関係、すなわち、「誘因」としての地震と津波の規模が有史以来、わが国最大のものであり、このことが「素因」である太平洋沿岸の地形や地盤条件の下で「被害拡大要因」のレベルが「被害抑制要因」をはるかに上回ったことによってもたらされたものと言える。

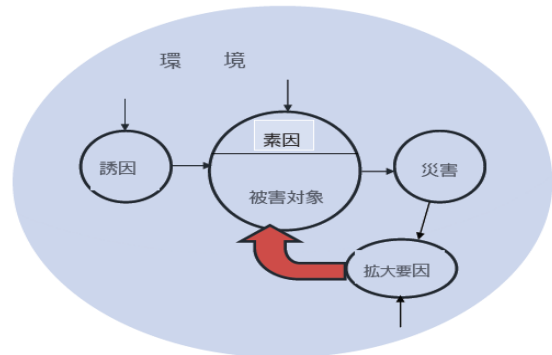


図9 災害の起こる「素因・誘因・拡大要因」の相互関係¹⁵⁾

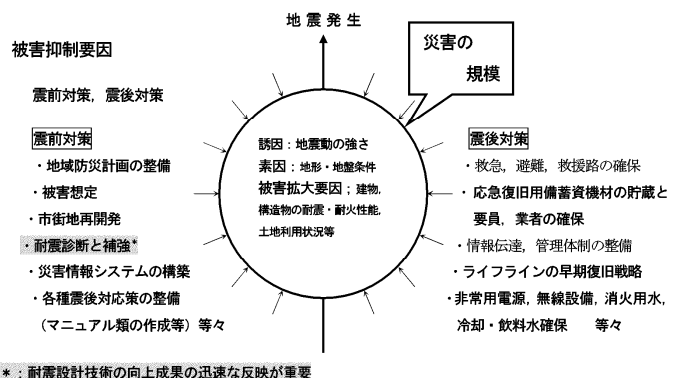


図10 地震災害とその軽減対策の関係の概念¹⁶⁾

4. 震災の教訓と課題

前章までまとめてきた東日本大震災の全体像から、浮かび上がってくる教訓と課題について考えてみたい。教訓については大きく次の5つの事項に分けることができそうである。

- ① 被害の様相を考えることのむずかしさ⇒モグラ叩きゲーム
- ② 自然現象としての地震や津波の脅威の再認識
- ③ 災害規模の増大や複合災害の可能性の理解
- ④ 低頻度巨大地震がもたらす災害への備えの必要性
- ⑤ 原子力発電所の被害と事故による安全神話の崩壊

まず、①の被害の様相を考えることのむずかしさについては、これまで大地震の生じるたびに、震源の位置もその規模、そして被害の様相も専門家の予期し得ないものとなっているという事実を重ねてきたことである。例えば、1995年の阪神・淡路大震災やそれ以降の平成19年新潟県中越沖地震など被害地震の最近の発生状況を見ても、地震が生じた後にはいろいろ専門家から説明や解説がおこなわれてきたが、その地震が生じる前の警告や注意喚起の情報はどれ一つなかったのが実情である。そして地震による被害が生じるたびに、その前には思いもかけない被災の形態や様相を目の当たりにしてきた。

今回の東北太平洋沖地震のM9.0という規模や南北450km、東西200kmという震源域の広がり、そして津波の規模や強さなどの災害の「誘因」としての現象、さらには津波による沿岸地域の破壊、巨大な津波防波堤や橋梁、各種建物の被災、そして福島第一原子力発電所の被害と事故などについては、おそらくは専門家の誰もが事前には考えていなかった事象が生じたのである。耐震工学や地震工学の研究や技術の水準は大地震のたびに生じた被害状況の調査、分析を行いながら進展する経験工学的要素の強いものであるから、現象の後追いになりがちなのは否めない。そのような意味で今回の地震でもこれまで備えてきた震災対策の水準や範囲を超えた事態が生じたわけで、筆者は、遺憾ながら、またも“もぐら叩きゲーム”となってしまったと感じざるを得ず、あらためて専門家の末席に連ねる身として、真摯にかつ謙虚に専門家の使命と責務を顧みるべきだと考えている。

②の自然現象としての地震や津波の猛威の再認識については、地球の歴史や地球の内部構造に係わる問題であるとの再認識が必要であろう。再現期間1,000年オーダーの極めて低い発生頻度の巨大地震が起これば、その発生の地理的条件によっては悲惨な大災害となるのである。今回の地震の再来ではないかと考えられている869年の貞観地震(M8.3±1/4と推定)では古文書に1,000名を超える溺死者が生じたことが記録されている¹⁷⁾。同様にわが国に比べて、あまり地震活動が活発ではない外国の事例では、1755年11月1日にポルトガル南西部に大災害を生じさせたM8.5、死者およそ6万2千人のリスボン地震²⁾や1811年12月から2月にかけて米国ミズーリ州セントルイス市南方ニューマドリッド付近でM8.0の大地震が3回続けて生じた事例²⁾も記録されている。このようにわが国ばかりでなく外国での低頻度の巨大地震が生じた事実も忘れてはならない。

いずれにせよ、われわれは地球上で、最も地震活動の活発な位置に国土を置いているという事実、そして世界第3位のGDP大国として、高度に発達した資本主義、自由主義経済の下でグローバルに展開しているという事実が、地震災害のポテンシャル～リスクを世界のどの主要国の中で最も高くしているという事実を冷厳に受け止める必要がある。地震の規模や地震動を予測するのは、地震の発生が地球の営みの結果であるという不確定性の高い現象だからこそ、その推定には不確定性が高く、したがって、地震による建物や各種インフラ施設の耐震性の評価や被害の状況を的確に予測、想定することも当然のこととして不確定性が高く、ばらつきが大きいものだという事柄も、わが国民として知っておくべきであろう。

③の災害規模の増大や複合災害の可能性の理解については、故寺田寅彦博士が、関東大震災後11年経過した1934年に書きあらわした随筆「天災と国防」¹⁸⁾の中で、自然災害について次のように蘊蓄のある興味深い記述をしていることに着目すべきであろう。

「(前略) 考えなければならないことで、しかもいつも忘れられがちな重大な要項がある。それは、文明が進めば進むほど天然の暴威による災害がその劇烈の度を増すという事実である。(中略) 文明が進むに従って人間は次第に自然を征服しようとする野心を生じた。(中略) 災害の運動エネルギーとなるべき位置エネルギーを蓄積させ、いやが上にも災害を大きくするように努力しているものはたれあろう文明人そのものなの

である。もう一つ文明の進歩のために生じた対自然関係の著しい変化がある。それは人間の団体、なかんずくいわゆる国家あるいは国民と称するものの有機的結合が進化し、その内部機構の分化が著しく進展して来たために、その有機系のある一部の損害が系全体に対してはなはだしく有害な影響を及ぼす可能性が多くなり、時には一小部分の傷害が全系統に致命的となりうる恐れがあるようになったということである。(中略) 二十世紀の現代では日本全体が一つの高等な有機体である。各種の動力を運ぶ電線やパイプが縦横に交差し、いろいろな交通網がすきまもなく張り渡されているありさまは高等動物の神経や血管と同様である。その神経や血管の一方所に故障が起こればその影響はたちまち全体に波及するであろう。(中略) それで、文明が進むほど天災による損害の程度も累進する傾向があるという事実を十分に自覚して、そして平生からそれに対する防御策を講じなければならないはずであるのに、それがいっこうにできていないのはどういうわけであるか。そのおもなる原因は、畢竟そういう天災がきわめてまれにしか起こらないで、ちょうど人間が前車の顛覆を忘れたところにそろそろ後車を引き出すようになるからであろう。(後略)

上記の一連の指摘は、災害が文明の進展にしたがってその拡大の可能性を高めるようになること、社会の組織が高度化、複雑化するにつれて、その運営システムの一部に支障が生じるとそのシステム全体に波及するとか、社会機能を担うさまざまなライフラインシステム間相互の連鎖によって、あるシステムに支障が生じるとシステム総体の機能が損なわれる可能性に言及したものである。そして、そのような傾向があるという事実を認識しながら、普段の対応をしないのは天災が極めて稀にしか生じないため、自分は大丈夫とたかをくくっているからだと言っている。ちなみに上記の引用した文章の最後のくだりが「天災は忘れたところに...。」という寺田博士の警句となって社会に伝わってきたルーツと考えられている。

このように、文明の進化が災害の様相を複雑にするとともに災害のポテンシャルを高めるものだという示唆は 21 世紀の今日、極めて貴重なものであり、これからの巨大地震の備えに不可欠な教訓として認識すべきである。

なお、巨大地震の発生と活火山の噴火との関係、特に M8.5 超級の「東海・東南海・南海地震」タイプの西南日本太平洋沖の巨大地震の発生時期と富士山の噴火との関係も考えられることが指摘されており¹⁹⁾、富士山の噴火の影響を受けることが想定される首都圏では、これらが複合した災害の

シナリオも考えておくことが必要と考えられる。

つぎに④の**低頻度巨大地震がもたらす災害への備え**についてであるが、再現期間 1,000 年を超すような今回のような巨大地震の襲来を考えた場合の対応を定めておかなければならないということである。筆者は国家の使命は、国民の生命と財産の確保が第一義であり、それゆえに、国には「国の安全保障～国防」と「世界でも稀な規模となる地震災害に対する防災・減災」の二つの政策を国の二大目標として遂行して行く責務があるものとする。この後者の視点に立って、つぎに襲ってくるであろう巨大地震 (the next big earthquake) に備えるためにも、“**想定外の事態**”だとして逃避するのではなく、考えうる最悪のシナリオを想定した防災・減災のための国家戦略の大綱を早急に確立することが、経済のグローバル化が進む下でわが国のカントリー・リスクを低減するためにも求められるのである。

最後に⑤の**原子力発電所の被害と事故による安全神話の崩壊**についてであるが、2007 年の新潟県中越沖地震の際に、東京電力柏崎原子力発電所の施設に生じた被害がわが国で初めての事象であった。この被災による施設の耐震性能の発揮については、いくつかの問題点や課題が国際原子力機関 (IAEA) の現地での調査を踏まえた評価結果²⁰⁾で明らかにされた。そのような最近における経緯があつての今回の地震による福島第一原子力発電所の衝撃的な被害と事故の発生であった。

震後三ヶ月を経た時点の状況では、原子炉の炉心溶融が生じたことや原子炉本体の冷却装置自体の構造の損傷があつたことが新たに報じられて来ており、地震発生後の津波の襲来による非常用電源装置の被害とその後の対処に関する事故が問題とされていた震後の報道内容と大きく異なる様相を呈している。要は、絶対に安全だといわれていた原子力発電所本体の耐震性が必ずしもそうでないことがはっきりしたわけで、いわゆる安全神話が脆くも崩れ去つたという事実が世界に知られることとなった。

この安全神話という概念について外岡秀俊は著書²¹⁾の中で次のような興味深い説明をしている。すなわち、

『神話』とは危機に対して脆弱な現実を覆い隠す被膜であり、普段は意識されることなく、崩れることによってしか露呈しない社会の合意事項だ。」そして「大切なのは、災害によって露呈した社会の合意事項のど

の部分崩壊されたのか、その箇所と原因を探り、確定して行くという作業だろう。その場合に、合意のレベルがどこにあるのかを、その都度明らかにしておく必要がある。社会の合意と言っても、技術者や専門家、法曹、消費者など、各職種、各層によってその認知度や了解の範囲が大きく異なるからだ。」(中略)「『神話』は技術者や専門家が独自に創りあげ、流布することによって成立するのではない。『神話』は実は、一定の専門家の合意がさまざまな網の目を通じて社会に流布される間に、次第に緩められて変質し、当事者ですら、気がつかないうちにその変質した合意を暗黙のうちに受け容れることによって成立する。その時点で、専門家は、責任と権限を持った技能集団ではなく『神話』を解釈する巫女、ないしは預言者に近い集団に転化する。専門家の合意は、社会的合意にならない限り、また新たな『神話』を紡ぐことにしかならないだろう。」

まさに、震後、原子力安全委員会のトップの発言も含め東京電力や経産省の原子力保安・安全院が今回の事故を地震や津波の現象を想定外であったとして説明しようとしていることが、上記の外岡の指摘の内容と密接に関係しているように考えられる。すなわち、上記の文章の中での「一定の専門家」の存在が、その表現で意味しているよりもっと限定的ないわゆる“原子力村”の中に限られていて、その分野以外の客観的な判断を果たしうる専門家の参画が十分で無いままに多重のフェイルシステムがあるから安全だという説をマスメディアを通して流布し、それが社会に定着してしまっただように思われるのである。

なお、上記、福島第一原子力発電所と同じようなメカニズムで機能支障に陥った事例については、1978年宮城県沖地震の際の仙台市の下水道施設の状況が参考になるものと思われる。それは名取川の下流域にあるポンプ場で停電により処理場のポンプが稼働不能となったため、直ちに非常用電源装置が作動したものの、その冷却に必要な水が断水したために非常用電源装置の機能が停止し、下水処理ができなくなった事故であった。それにより汚水を名取川に緊急放流せざるを得ない事態に陥ることとなった。要は、フェイルセーフ的な機能を期待するバックアップシステムが停電と断水といった異なるライフライン施設の機能支障によって連鎖的に影響を受けたために作動しなかったことが事故の原因だったのである。まさに上記の寺田博士の指摘そのものであり、原子力発電所の機能確保面から求められる耐震性能の発揮の中身が問われることになる。

いずれにしても最近、首相の諮問組織として畑

村東大名誉教授を委員長とする事故調査委員会の第三者機関としての成果が待たれるところである。

以上の安全神話に関する問題提起は、あらためて、専門家の倫理と使命～存在意義と行動の内容が問われることを示唆するものであり、きわめて低頻度の巨大地震に対する安全性を議論するには、自然科学と工学技術の立場の相違を社会的共通認識とする必要があるのではないのだろうか、要は、現象の不確定性をどう評価し、安全性とコストのトレードオフの問題に対して、当該プロジェクトの工期に間に合わせるために、どのように工学的意思決定を行うのかということが技術者の使命であることを再認識すべきなのであろう。

以上、今回の大震災の様相に照らして5つの教訓を指摘したが、土木工学、地震工学の立場での今後の課題としては、つぎの三つにまとめられよう。

- i. 低頻度巨大地震に対する防災・減災の基本方針やそれを実効ならしめる制度設計や施策の体系化などの対応戦略や計画(案)の策定
- ii. 今回の大震災で被災を受けた公共インフラ施設の復興水準や計画(案)の策定
- iii. 原子力発電所の耐震性能評価の見直しのための適用基準等の検討と策定

なお、このうちiiiについては、筆者の専門外であり、以下の5.では一般的な記述に留めることとする。

5. 今後の対処方策について

(1) わが国をめぐる今後の地震発生の危険性

もしも、このたびのM9.0の東北地方太平洋沖地震が1,100年余り前の貞観地震(869年M8.3±1/4)の再来だとするならば、その発生前後、数十年の間の被害地震の発生状況を真剣に考えてみる必要がある。すなわち、

- 830年 出羽、秋田 M7.0～7.5
- 841年 伊豆 M7.0 丹那断層の活動か?
- 850年 出羽、庄内 M7.0
- 863年 越中、越後 M7.0以上?
- 868年 播磨、山城 M7.0以上 山崎断層帯の活動
- 878年 関東諸国 相模、武蔵 M7.4
- 880年 出雲 M≒7.0
- 887年 仁和五畿七道地震 M8.0～8.5

と理科年表²⁾のカタログによれば8つの被害地震が記録されている。これらの地震の震央の位置を図11²²⁾に示す。

このうち、特に下線を施した地震が注目される。

878年の地震は関東南部から西部の内陸に生じた直下型地震のタイプ、また887年の地震は、いわゆる東南海～南海地震と同じ震源域を有する巨大地震と考えられる。よって、今回の東北地方太平洋沖地震が869年の貞観地震を再現する発震機構であるとすれば、これら二つのタイプの地震の先触れとしてみなすこともできよう。「首都圏直下地震」や「東海・東南海・南海地震」が近い将来、生じる確率が高いとされている地震調査・研究の最近の見解とむすび合わせてみると、その備えを真剣に考えなくてはならない。

また、M8超級の巨大地震では、断層の走向方向の両端延長部分で、本震と同じようなメカニズムで多くの地震が生じる可能性があることにも注意する必要がある。今回の地震を考えると北方では1968年十勝沖地震(M7.9)や1994年三陸はるか沖地震(M7.5)が生じているのに対し、南方の房総沖では近年、大きな地震の発生が無い。歴史をさかのぼれば、1677年に(延宝)房総沖地震(M8.0)が発生し、千葉から茨城の沿岸に津波が襲来して犠牲者200名以上に達したとの記録が残されている。この海域での巨大地震の発生もここ半年か1年ぐらひは警戒すべきとの指摘⁸⁾があるので、注意を払うべきであろう。

ここで近代的な地震観測が始まってからのわが国の被害地震の発生状況をながめてみる。

表6、7は片山²³⁾がまとめた1891年の濃尾地震以降、死者1,000人を超えた地震の一覧および第二次大戦敗戦直後の1948年の福井地震から後の死者20人を超えた地震の一覧である。これらの表から戦後に生じた地震で死者1,000人を超えた地震は福井地震以降ではその47年後の1995年の兵庫県南部地震まで一度も無かったこと、その間、死者100名を超えた地震は、1983年の日本海中部地震と1993年の北海道南西沖地震の二つのみで、いずれも津波被害による犠牲者が生じたものであったことがわかる。

このようにわが国の第二次大戦敗戦後の復興期や1960年代からの高度経済成長期に、たびかさなる台風などによる豪雨災害は多かったにせよ、地震の影響が少なく、国土が平穏な時期に相当していたことは、きわめて恵まれていたと言えよう。それが1995年の阪神・淡路大震災をきっかけにして、M7を超える内陸直下型地震が各地で多く発生するようになり、この2011年3月11日の午後2時46分をむかえることとなった。20世紀末から21世紀に入って、もはや戦後50年も続いた静穏の時代から大地動乱の時代に突入したという認識

を全国民で共有し、近い将来、襲ってくるであろう次の巨大地震に対する備えを講じておかなければならないのである。

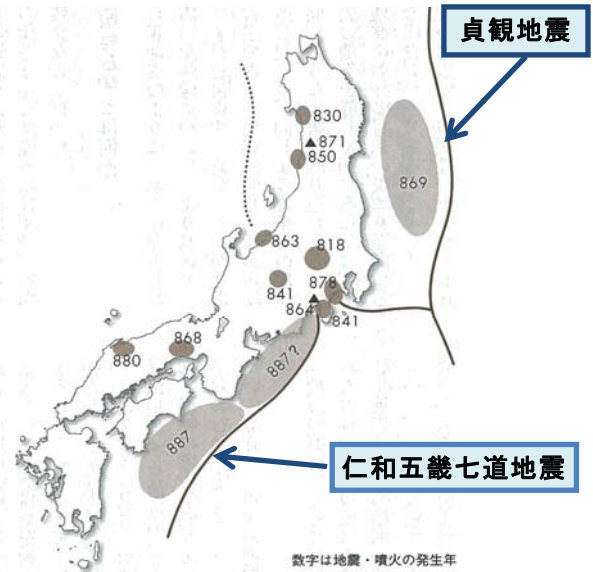


図11 869年貞観地震の発生前後のわが国の被害地震の発生状況²²⁾

表6 濃尾地震(1891年)以降の死者1000人以上の地震²²⁾
 (『テクノライフ選書 大地が震え 海が怒る——自然災害はなくせるか』
 首藤伸夫・片山恒雄、オーム社、1996年、に加筆修正)

西暦 (日本語)	地震名	M	死者数	その他
1891年 (明治24)	濃尾地震	8.0	7,273	わが国の内陸地震として最大、建物全半壊22万余、全焼7000以上、断層、山崩れ、液状化
1896年 (明治29)	三陸地震 津波	7.6	21,959	陸上の被害なし、死者の大半は岩手県、家屋流出、全半壊1万以上、波高30m以上のところあり
1923年 (大正12)	関東大震災	7.9	142,000	プレート間(海溝型)巨大地震、死者の多くは火災による、家屋の全半壊約25万、焼失約45万
1927年 (昭和2)	北丹後地震	7.3	2,925	京都府北西部、家屋全壊1万2000以上、焼失約3700、直交する2つの断層が生じた
1933年 (昭和8)	三陸地震 津波	8.1	3,064	地震の揺れによる被害なし、家屋流出4000以上、波高25mに達したところあり
1943年 (昭和18)	鳥取地震	7.2	1,083	家屋全壊約7500、半壊約6000、地割れ・地変多し、2つの断層が発生した
1944年 (昭和19)	東南海地震	7.9	1,223	家屋全壊1万7600以上、半壊3万6500以上、名古屋被害多し、紀伊半島に最大波高10mの津波
1945年 (昭和20)	三河地震	6.8	2,306	家屋全壊7200以上、半壊1万6000以上、断層、波高1mほどの津波あり、規模のわりに被害大
1946年 (昭和21)	南海地震	8.1	1,330	家屋全壊1万1000以上、半壊2万3000以上、流失約1450、焼失約2600、最大波高6mの津波
1948年 (昭和23)	福井地震	7.1	3,769	家屋全壊3万6000以上、半壊1万4000以上、焼失3800、断層生ず、福井市にとって直下型地震
1995年 (平成7)	兵庫県南部地震	7.2	6,432	家屋全壊約10万5000、半壊約14万4000、住家全半壊約6000以上、神戸でライフライン被害大、重傷者8782、断層45km

表7 福井地震（1948年）から後の死者20人以上の地震²³⁾
 (『テクノライフ叢書 大地が震え、海が怒る——自然災害はなくせるか』
 首藤伸夫・片山恒雄、オーム社、1996年、に加筆修正)

西暦 (日本暦)	地震名	M	死者数	その他
1952年 (昭和27)	十勝沖地震	8.1	28	家屋全壊815、半壊1324、流失91、最大波高4mの津波が北海道南部、東北北部を襲う、不明5人
1960年 (昭和35)	チリ地震 津波	8.5 (不明含む)	142	チリ沿岸の巨大地震による津波、最大波高6m、家屋全壊1571、半壊2183、流失1259
1964年 (昭和39)	新潟地震	7.5	26	家屋全壊1960、半壊6640、浸水1万5298、新潟市で著しい液状化被害、最大波高5mの津波
1968年 (昭和43)	十勝沖地震	7.9	49	全壊673、半壊3004、浸水527、傷527、山崩れ多、最大波高5mの津波、RC建物被害目立つ
1974年 (昭和49)	伊豆半島沖地震	6.9	30	傷102、死傷者の多くは地滑りによる、家屋全壊134、半壊240、断層が生じた
1978年 (昭和53)	伊豆大島近海地震	7.0	25	傷211、家屋全壊96、半壊616、道路損壊1141カ所、崖崩れ191カ所、断層が見られた
1978年 (昭和53)	宮城県沖地震	7.4	28	傷325、家屋全壊1183、半壊5374、造成宅地、ガス・水道・電氣などのライフライン被害が目立った
1983年 (昭和58)	日本海中部地震	7.7	104	死者のうち100人は津波、傷163(104)、全壊934、半壊2115(499)、流失52(52)、()内は津波
1984年 (昭和59)	長野県西部地震	6.8	29	傷10、家屋全壊14、半壊73、一部破損565、道路損壊258カ所、死傷者の大半は崖崩れ、土石流による
1993年 (平成5)	北海道南西沖地震	7.8 (不明含む)	230	内199人は奥尻島、家屋全壊594(奥尻432、うち火災192)、市街地に10mを超える津波
1995年 (平成7)	兵庫県南部地震	7.2	6,308	

(2) 低頻度巨大地震への備えのあり方と改善方策

極めて稀にしか生じない M8 超級の巨大地震に対する国家戦略としての備えはどのような内容が必要とされるであろうか。わが国のどこかの地域に悲惨な災害をもたらしたこのような巨大地震は、個々の震源域では再現期間 1,000 年のオーダーで生じるのだが、総体としてみれば 100 年～200 年間隔でどこかの地域が影響を受けることになることに着目すべきである。このような視点に立って、このような巨大地震に対する国の施策の現況をレビューすると次の 4 つの事項が見直しや再検討などの対象として浮かび上がってくる。

すなわち、

- a. 災害対策を所掌する行政組織や法体系の見直し
 - b. 津波災害も包含した震災対策に関する基本方針の策定
 - c. 事前対策としての被害軽減のためのインフラ施設の整備(新設及び既設の耐震補強)の水準と社会的合意形成
 - d. インフラ施設の被害想定の手法の見直しと新たな制度の導入など
- の 4 項目である。

まず、a の災害対策を所掌する行政組織や法体系の見直しについてであるが、現行では内閣には防

災特命担当大臣が置かれている。内閣府の所掌として防災部門がおかれ災策統括官(防災担当)の下で、災害対策の総合的推進として、つぎの 10 の取組²⁴⁾が行われている。

- i 地震対策、ii 火山対策、iii 大規模水害対策、iv 防災訓練、v 災害時要援護者の避難支援、vi 災害被害を軽減する国民運動の展開、vii 防災ボランティアの活動の環境整備、viii 企業の防災力向上の推進、ix 国際防災協力の推進、x 被災者生活再建支援制度

この他、災害発生時の対応として、情報対策室を設け、被災情報の迅速な収集把握に努めて、応急対策への対応と政府調査団の派遣の計画、決定を行うことや、災害が大規模で国家的対応が必要な場合には防災担当特命大臣を長とする「非常災害対策本部」を設置し、迅速な応急対応を可能ならしめるような仕組みとなっている。

また、内閣府には中央防災会議がもうけられている。内閣総理大臣が会長となり全閣僚と有識者(地方公共団体の長及び実務家)で構成され、内閣総理大臣や防災担当大臣の諮問に応じて重要事項を審議し、意見を述べる等の機能を有するとともに防災基本計画の実施の推進等、執行機関としての性格も有している。

このような防災対策に関する国の施策を推進する組織の下で、現行の法体系では上位の法律として「災害対策基本法」が位置づけられている。この法律はつぎの 6 つが骨子²⁴⁾となっている。

- i 防災に関する責務の明確化、ii 総合的防災行政の整備、iii 計画的防災行政の整備、iv 災害対策の推進、v 激甚災害に対処する財政支援等、vi 災害緊急事態に対する措置

この中で重要なのは、ii と iii で国、都道府県、市町村各レベルの防災会議の設置と防災計画の策定を義務付けていること、また、iv の災害対策の推進では、市町村は防災業務に第一義的に責務を負うこととされており、市町村長に住民の避難の指示、警戒区域の設定、応急公用負担等の権限が付与されていることである。

このような災害対策の最上位の国の法律の規定で、今回の巨大地震の対策がはたして有効に機能したのであるか。その回答が見直しの方向でなければならぬ。

まず、津波による重大な被害が青森、岩手、宮城、福島、茨城、千葉の各県にきわめて広域的に及んだことに対して、各県や市町村の地域防災計画ではそもそも対処ができなかったことに加え、政府で設置する「非常災害対策本部」の機能も十

全でなかったことが挙げられる。

本来、「災害対策基本法」の制定の背景には戦後復興期から昭和33年の狩野川台風、そして翌年の伊勢湾台風までの一連の豪雨災害に対する経験がベースになっている。一方、M8 超級の巨大地震のように建物や構造物の被害ばかりでなく、津波の襲来による人的、物的被害の拡大や河川や海岸堤防の破壊、変状、地盤の液状化、山崩れや宅地造成地盤の変状、港湾施設の被害に加えて、電力、上・下水道、ガス、情報・通信、廃棄物処理施設などの広汎な各種ライフラインの被害など、きわめて多岐にわたる被害の様相を呈する現象に対しては、このような豪雨災害を主とした備えでは、市町村や都道府県、特に府県レベルでは対処しうる人員も不足するし、的確かつ迅速な対応ができないのは当然である。特に、震後3ヶ月経過した現時点で最も深刻なのは、瓦礫処理の進みぐあいはかばかしくないことである。国の方針が二転三転し地元の自治体ではその対応に日々悩みが増しつつある。

現在、巨大地震に備えた対応については、現行の想定東海地震に対する昭和53年施行の「大規模地震対策特別措置法」や昭和55年の「地震財特法：地震防災対策強化地域における地震対策緊急整備事業に係る国の財政上の特別措置に関する法律」、平成7年の阪神・淡路大震災直後に施行された「地震防災対策特別措置法」、そしてその後平成14年の「東南海、南海地震に係わる地震防災対策の推進に係わる特別措置法」、同16年の「日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に係わる地震防災対策の推進に係わる特別措置法」などの法体系の整備²⁴⁾がなされている。

今回の大震災をきっかけにして、これらの体系と内容をあらためて見直し、上記の想定地震の他に「首都圏直下地震」も対象にした巨大地震の発生を特定した広域的な震災対策計画の策定を推進すべきである。

この他、それらの計画の推進に当たる国レベルでの震災業務を所掌する組織、たとえば米国の連邦緊急事態管理庁 FEMA (Federal Emergency Management Agency) 的な機能を有する組織を設置し、発災後、速やかに、防衛省や国土交通省の各地方整備局や関係する都道府県からの技術職からの支援組織も含めた、救急・救援から応急復旧、本復旧までの震後対応を一元化する体制を整備することも有効な施策と考えられる。上記の FEMA では、「総合地震対策指針 企業編、自治体(郡、市および大都市)編」：Comprehensive

Earthquake Preparedness Planning Guidelines for Corporate, County, City and Large City」を定めており、市および大都市編では準備および被害軽減(地震が発生する数年～数十年前から準備しておくべき活動)の対策の一環として地震安全対策および構造被害軽減を課題に挙げ、必要な業務の内容と役割分担を具体的に示している。大都市編では問題となる建物と構造物とを特定し、危険度にもとづく分類と公共の安全に対するリスク評価の実行を掲げていること、米国土木学会からの支援を受けることなどが示されているのが注目される。

次にbの津波災害も包含した震災対策に関する基本方針の策定については、筆者は阪神・淡路大震災の直後で、土木学会の耐震基準等基本問題検討会議で起草した「土木構造物の耐震基準に関する第一次提言³³⁾」で取り上げられ、国の防災基本計画にも取り入れられた二段階の地震動、すなわちレベル1、レベル2に対応した耐震性能の要求水準を定めることが望ましいのではと考えている。

去る5月10日に開催された土木学会東日本大震災特別委員会 第1回津波特定テーマ委員会では、今回の津波の特性と位置付けとして

- ・ 場所によっては、貞観津波(869年)クラスか、それ以上
- ・ 貞観津波クラスの巨大津波の発生頻度は、500年～1,000年に一度と想定

と指摘し、海岸保全施設の復旧と設計方針として、すべての人命を守ることが前提であり、主に海岸保全施設で対応する津波レベルと海岸保全施設のみならず、まちづくりと避難計画を合わせて対応する津波レベルの二つを設定するとしている。

すなわち、

津波レベル1；

海岸保全施設の設計で用いる津波高さ。数十年から百数十年に一度の津波を対象とし、人命及び資産を守るレベル

津波レベル2；

津波レベル1をはるかに上回り、構造物対策の適用限界を超過する津波に対して、人命を守るために必要な最大限の措置を行うレベル。ただし、地震発生後に来襲する津波には、避難の可否を予測することは困難なので、地震発生後は必ず避難しなければならないとしている。

今後は、この基本的な考え方に準拠した津波防波堤や海岸堤防の被災地における復旧設計や全国に展開するこれらの施設の耐震補強設計に適用す

るために、目標耐震性能をできるだけ早く具体化し、その照査基準や手法を確立することが急務の課題である。

なお、今回の地震で被災した釜石や大船渡での湾口津波防波堤の復旧をどの様な水準で対処するかが注目される場所である。被災したとはいえ、津波の威力を減じさせる効果は図 12²⁶⁾ に示すように確認されており、今回の津波の規模が明治三陸津波を超えた有史以来最大のものであったことを考えても、その役割を十分果たしたものと考えられよう。筆者としては、上記の津波レベルの考え方からすれば、復旧工事に当たっては、今回の津波を超えない高さで復旧するのではなく、当初計画の諸元に戻す、つまり現状復旧の原則で行うことで差し支えないのではと考えている。

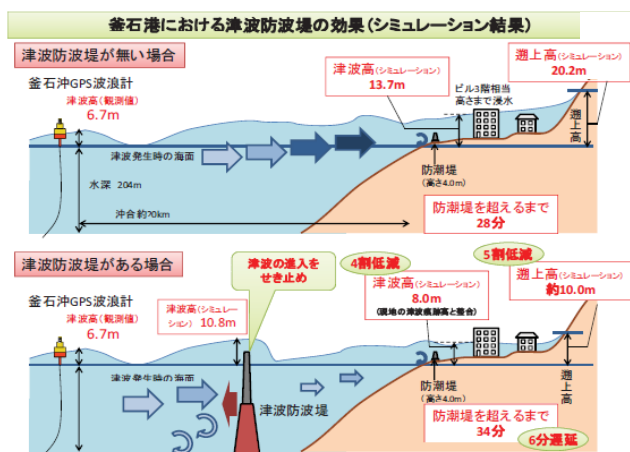


図 12 釜石湾口防波堤の効果の推定 ²⁶⁾

また、今回の地震で大津波警報が出されたにもかかわらず、本震後 30~40 分経過した時点で津波が到達する前になぜ多数の方々が避難できずに津波に巻き込まれたかということの分析も重要であり、その結果も踏まえて上記の津波レベル 2 における津波避難のあり方についても震災対策計画の中で明らかにする必要がある。

また、上記の寺田寅彦博士の指摘も踏まえ、21 世紀の成熟した文明社会において、巨大地震に対する防災・減災を積極的に推進するためには、過去の地震災害の反省から個々の建造物の耐震性能を高めることはもちろん、当該施設の構造系や機能を担保するシステムとしての耐震性能の確保や想定外事象の発生も考慮した、システム全体のリスクを最小化する対処、たとえば、ライフライン施設や原子力発電所の施設などでは

- ▶ 当該施設全体の機能を担保するシステムを構成するサブ・システム間相互の接続部位や装置

の耐震性能確保のための配慮・工夫

- ▶ 停電の際の非常用電源の複数設置によるシステム機能の信頼性確保及び非常用電源エンジンの冷却水の確保など
- ▶ 施工段階での設計思想の確認の徹底による施工ミスリスク回避策の徹底

などの対応の必要性を耐震対策の基本方針に取り入れる必要がある。

この他、震後の救急・救命活動や避難所の運営や住民の生活支援などに関する行政手続き等の当事者としての被災地の病院や地方公共団体や学校、そして企業などの事業継続計画 (BCP) についても、その策定の必要性と内容骨子についても、震災対策計画の中に織り込む必要がある。

三番目の課題である c の事前対策としての被害軽減のためのインフラ施設の整備 (新設及び既設の耐震補強) の水準と社会的合意形成については、わが国がバブル崩壊以降、内需が停滞し、財政状態も人口減少、高齢社会に突入したこともあって、きわめて逼迫している状況の下で、上記のような、20 世紀末からの大地動乱の地震活動が活発化するという災害リスクに対して、どのようにお金をかけて備えをすべきかという選択の問題であると認識する必要がある。

そのためには、つぎの二つの課題を解決することが必要である。

- i 現状での各種インフラ施設での耐震化コストの情報公開
- ii 二段階の地震動の強さや津波の規模 (レベル 1、レベル 2) に応じた耐震性能の目標と所要コストに関する社会的合意形成

現在、i に関する情報はほとんど国民に開示されていないのが実情である。特に電力や、上下水道、ガスなどのライフラインの受益者負担としての料金に占める耐震化費用はもちろん、道路や鉄道、各種建造物の建設コストに占める耐震性確保に必要な費用は明らかにされていない。国民はわが国が世界でも有数な強震頻発地域に位置することを知りながら、インフラ施設の耐震安全性の確保にどれだけのお金がすぎ込まれているのか知らされていない。このような状況を変えることが国民の防災意識の向上にも寄与するので、関連情報の開示に必要な検討作業を進めるべきである。

ii については、地震動の強さや津波の高さの想定に関する不確定性の評価の問題と関係するものである。このような不確定性を有する作用外力のばらつきの平均値~中央値的な値をとるか、それ

とも安全側に余裕を見込んで割り増した値を採用するか、その場合には建設コストは増えるが被災による損害は減ることになるという、いわば“トレードオフ”の問題を広く受益者や納税者に公開して、社会的合意を形成しようとするものである。わが国では i 自体が開示されていない状況から実際に実行しようとするときさまざまな問題が生じるかもしれない。イデオロギーが絡んだ反対のための反対などの行動も生じる可能性があるが、きちんとした合理的な説明ができれば、世論としての最大公約数的なものに収束することもできるのではと考えている。

5(1)に記したわが国の今後の地震活動が活発化し、被害の発生するリスクが高まる状況の中で、どのように必要な社会資本に係わる事業を進めて行くかについては、平常時の費用便益解析で採用される要因のみで評価することは適切ではない。土木学会では2000年10月、阪神・淡路大震災の後の「耐震設計等に関する第3次提言」²⁷⁾の中で、レベル2地震動に対する耐震性能として損害回避便益と耐震化費用に基づく費用便益分析を基礎に決定すべきであり、具体的には施設の地域特性、利用特性および重要度ランクなどに応じて決定する簡易な手法を早急に開発すべきこと、そしてその損害回避便益には地震の際の間接的な損害も含んだカタストロフィックな影響を考慮して算出すべきことを指摘した。また、佐伯²⁸⁾は低頻度の巨大地震に対する備えのためには、無駄を排したり、効率性のみを重んじたりするだけでは不十分であり、防災・減災の要因を加味した適度な冗長性を加えた社会システムとしての付加価値の高いものとすべきであることを提案した。

今回の大震災の状況を踏まえ、国土交通省 社会資本整備審議会計画部会 道路分科会事業評価部会では、去る5月26日に開催した第3回部会で、事業評価手法についても、これまでの費用便益解析(CBA)で考慮する要因に加え、「防災・減災」の効果を反映すべきとの資料が提出された。上記した地震工学や土木計画学の立場からの意見が具体的な施策に反映されつつあるのは画期的なことと考えられる。

ここで震災対策に関する社会的な合意形成の参考になる事例として、米国カリフォルニア州サンフランシスコ湾東部沿岸地域の水道企業体(EBMUD: East Bay Municipal Utility District)で行われた耐震補強プロジェクトを紹介する²⁹⁾。

供給人口約120万人を抱えるこの企業体は、近い将来マグニチュード7級の直下型地震の発生に

備え、供用中の各種施設に対して詳細な耐震性の調査・診断を実施した。

その結果、現状のままでどのような被災が生じるのかをビジュアルに表現した被害想定シナリオを利用者である住民、企業に公開した。あわせて最低限の緊急対応の他に4段階の耐震性向上計画の内容とコストを提示し、利用者と地震直後の消火活動への影響および飲料水供給の程度を含む議論を市当局内部はもちろん、都市計画委員会、住民団体、企業団体、ロータリークラブなどの地域活動団体、退職者団体や生活弱者団体などを個別に対象とした公聴会を開催して議論を徹底して行う機会を設けたのである。そして全体として189百万ドル、日本円にしておよそ150億円あまりの事業規模を決定し、1994年から2005年の12年間で事業を完成した。この費用は今後30年間に平均的な利用者が年間一人あたり約20ドル、日本円にしておよそ1,600円の負担となった。これらの事業内容は上記の利害関係者や団体に対する教育・広報活動を通して周知が図られた。

このような情報公開を前提とした巨大地震の災害予防、減災対策の実施に関する社会的合意のプロセスを、わが国でも厳しい財政状況の下で積極的に試みることも認識すべきではあるまいか。

震前対策の財源の確保方策については、上記のような受益者負担による手段に加え、税による対応も考えられる。静岡県では、1978年に施行された「大規模地震対策特別措置法」に基づいて各種の対策を実施してきたが、その財政的な基盤はその2年後に施行された「地震防災対策強化地域に係る国の財政上の特例措置に関する法律」による国庫からの助成が主なものであった。しかしながら県では対策実施の緊急性を配慮し、これに加えて独自に県内の経済界の協力を得て、新税による財源の確保に努めた。法人税に対する超過課税を1979年度から10ヵ年については10%、続く1993年度までは7%の割増率で行い、のべ1,500億円余りの独自財源を確保して、**県、市町村、民間の地震対策事業に充当した**³⁰⁾。ちなみに、このような法人超過課税は当時、東京都、大阪府、京都府、神奈川県、愛知県、兵庫県などで行われていたが地震対策を目的としたものは静岡県のみであった。

なお、今回の大震災を契機に研究・開発を含む復旧・復興関連の予算が急激かつ膨大になることが考えられる。しかしながら阪神・淡路大震災の場合には数カ年で防災関連予算が急減し、今回の大震災の前には、国及び地方の財政状況が悪化していることもあり、必ずしも十分な震災対策事業

の展開ができていない状況である。このような“喉もと過ぎれば熱さも…”という傾向は米国でも同じと見えて、B.A.Bolt³¹⁾によれば被害地震が起こった後には急激に予算が膨脹し、政治的な支援が活発となるが、1年程度の半減期を持つ減衰曲線で急激にしぼんでいく状況だと述べている。いずれにせよ、上記のような今後の地震活動が活発化する中で、震災対策を計画的に進めて行くには、以下に提案する「地震災害アセスメント制度」の導入もふくめて、恒常的に必要な予算と財源とを確保して実践していくことについて、社会的な合意形成を図っていく必要がある。

最後の4番目の課題であるdの**インフラ施設の被害想定の手法の見直しと新たな制度の導入**などについては、**i 被害想定の手法や精度に関すること**、**ii 想定外の規模の現象が生じた場合の対処に関すること**の二つに分けられる。

このうち、**i**については現行の被害想定の手法が地震工学や耐震技術に即したものを採用しておらず、物理的にきちんとしたリスクの評価が定量的に為されていないため、リアリティに欠けることが問題である。日野³²⁾は、地域防災計画で定められてきた内容が阪神・淡路大震災の際に役立たなかったとする指摘が各方面から出されたことに着目して問題点を整理している。この中で被害想定について、想定される被害程度が示されておらず、都道府県レベルのものでも精度が粗く、市町村レベルに適用するには適切でないとしている。また、予防対策実施の優先順位や目標水準が明確でないことも指摘している。要は、現状では地域防災計画の作成には、各種インフラを管理する組織の技術職の関与はほとんどないままに、防災部署の事務職が既往の事例を参考に観念的に被害率などを想定しているものと推察される。本来の被害想定結果を事前の予防対策に反映させるためには、対象となる建物やインフラ諸施設やこれらの周辺地盤の挙動を力学的、物理的な方法によってリアリティのある挙動の予測した結果に基づくものでなければならない。

力学的、物理的に適切な被害想定を行うには、つぎの二つのシナリオを考える必要がある。一つは当該施設的设计時点での基準と震災対策計画時点での技術水準とのギャップが被害を生じさせる原因であるとする考え方、二つ目はそのギャップが無くても想定する地震の際に各種インフラ施設が存在する地点での地震動の強さの推定の際の不確実性や、当該構造物や周辺地盤の強さなどの

不確実性の存在によって安全性が想定よりも低くなって被害が生じるとする考え方である。

一般に、前者については、地域防災計画での想定地震と各種インフラ施設での耐震基準で規定された地震動の条件とは整合していないのが現状である。一方でインフラ施設の管理者サイドでは、耐震基準を遵守した整備や補強をしているのに、なぜ被害想定しなければならないのかという疑問が常にあるように感じられる。後者については、不確実性の高い地震動が作用した場合の建物や各種インフラ施設の構造物の挙動も不確定的になることへの対応である。

このような課題の解決には、阪神・淡路大震災の後で土木学会の耐震基準等に関する基本問題検討会議が起草した「土木構造物の耐震基準等に関する第二次提言」³³⁾で指摘したインフラ施設に対して適用する「地震災害アセスメント制度」の導入を図ることが有効と考えられる。この制度は5～10年ごとに、その時点での地震工学や関連工学や技術の水準を踏まえた最新の評価・診断手法により、高度な能力と豊かな経験を有する専門技術者が想定地震の諸元や地震動のハザードの不確実性を考慮した解析、設定を行って、都市や地域の建物や各種インフラ施設に対する耐震性の評価や被災状況や復旧過程の想定を行うものである。それらの結果を震災対策計画の被害想定に反映し、上記3番目の課題cで指摘した社会的合意形成のプロセスを通して、震前の補強による予防対策のみならず震後対策に有効な施策として防災・減災のための事業を計画的に推進する上で有効な手段となりうるものと考えられる。この制度はまた、人命確保のための避難方策、住民への教育・啓蒙等の事業を戦略的に推進するためにも有効な施策となるものと期待される。

図13には各種インフラ施設の地震災害軽減のサイクルを示す。

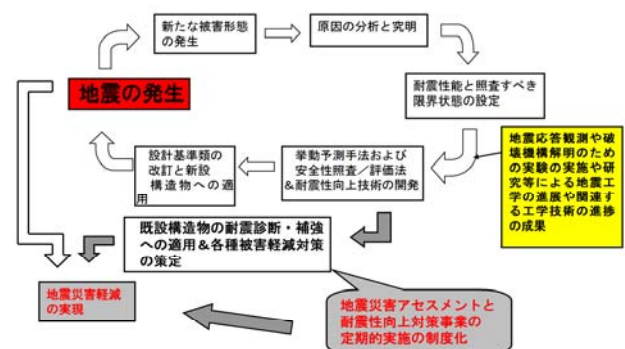


図13 地震被害軽減のサイクル

この図からわかるように地震工学や耐震技術の進展をタイムリーに取り入れた地震災害アセスメントを定期的に行うことで現在、供用中の施設に対して耐震性能を向上させるのに有効な手段と考えられる。

さて、ここで忘れてならない重大な課題である ii の“想定外”の規模の現象が生じた場合の対応について考えてみよう。

防災計画を作成する国や地方公共団体の立場としては、これまでは、想定外の事象が発生したことを考えたくないし、対処できないことは計画に書きたくないというスタンスであったことは否めないところであろう。想定外のことを触れたり、考えたりすること自体、“背德的”だという意識、特に、原子力発電所の安全性についてはそのような意識があったように感じられる。もちろん、その背景には財源難や必要人員の確保が困難な事情もあったものと考えられる。

しかしながら、今回の大震災で明らかになったことは、想定外の事象が起きて、国民の生命は救わなければならないということであり、そのためのハード、ソフトの施策を戦略的、計画的に実行することが急務の課題に浮かび上がったのである。“想定外”を対処できないことの理由や言い訳にはできないことを防災担当者はあらためて認識しなければならない。

また、このことと関連して国、地方公共団体における防災対策のプロフェッショナル～専門家の存在が巨大地震に対する防災や減災にとって不可欠なことを指摘したい。現状では、たまたま運が悪い職員が大災害に遭遇して、防災担当者としての責務を担うという状況になっているのかもしれない。この点についても上記の土木学会の「土木構造物の耐震基準等に関する第二次提言」の中で、国や地方公共団体において“防災専門家を養成すべきこと”が謳われている。あらためて、国や都道府県において、真剣かつ具体的にその組織体制に関する検討を進め、速やかに対処方を推進すべきである。

そもそも“想定外”とは一体、何を意味するものなのであろうか。今回の大震災の誘因となった M9.0 の「東北地方太平洋沖地震」の強さはレベル 2 地震動なのか。それよりも超えた想定外の巨大地震の地震動なのか。津波はどうだったのか。筆者の感覚では、地震の規模 M9.0 は再現期間 1,000 年以上の地震であったとしても、地震動は加速度応答スペクトル曲線の分布をみてもレベル 2 相当と考えて然るべき程度であったと考えている。問

題は津波の大きさであり、これについてはすでに上記の通りである。いずれにせよ、今後の震災対策計画を定めるには、地震動の予測の不確実性も考慮した「想定外」の概念規定を明確にすることが必要である。

ちなみに、去る 3 月 23 日付で、土木学会、地盤工学会そして都市計画学会の各会長が共同で「今回の震災は、古今未曾有であり、想定外と言われる。われわれが想定外という言葉を使うとき、専門家としての言い訳や弁解であってはならない。このような巨大地震に対しては、先人がなされたように、自然の脅威に畏れの念を持ち、ハード(防災施設)のみならずソフトも組み合わせた対応が重要であることを、あらためて確認すべきである。」との緊急声明を公表している。このような考え方を専門家は念頭において最悪のシナリオに対してもハード、ソフト両面からなる効果的な対策を組みあわせること、そして想定されるハザードの大きさに応じ、「公助」、「共助」、「自助」の概念とそれらに応じた対策の仕分けをおこなって、広く地域住民や企業関係者の理解と協力を求めていく必要がある。

(3) 被災地の復興計画や事業の展開

震後三か月が過ぎた現在、なかなか被災地の復興が思うような進捗を遂げていない。これには津波により行方不明となった方々がまだ 8 千名近くも残っていることや瓦礫の処理が陸上や海底で難渋をきわめていることが大きいものと考えられている。

このような状況で、国土交通省では都市・地域整備局発注で津波被災地の復興手法調査業務 40 件あまりが 5 月末にプロポーザル方式で発注された。これら業務の目的は対象の津波被災地域について、①被災状況等の調査、分析を行い、その成果を地方公共団体に提供するとともに、復興計画の具体化に応じて国に求められることが想定される技術的助言等に即応できるよう、②被災状況や都市の特性、地元の意向等に応じた市街地復興のパターンを分析し、③これに対応する復興手法等について調査・検討を行うものである。

ここで重要な要因の一つに復興計画に関する土地利用の制限の問題がある。宮城県では 1933 年の昭和三陸津波の教訓を生かした独自条例(規則)を制定し、津波による浸水が予想される沿岸部の住宅建築を原則禁止するという罰則付きの厳しい内容を定めた³⁴⁾。同年の県公報によると、正式名称は「海嘯罹災地(かいしゅうりさいち)建築取締規則」であり、昭和三陸津波の発生から約 3 カ月後

の6月30日に公布、施行されたようである。これにより津波で被災する恐れがある地域内では、知事の認可なく住宅を建築することを禁止され、工場や倉庫を建てる場合は「**非住家 ココニステハ、キケンデス**」の表示を義務付け、違反者は拘留か科料に処せられるとある。県私学文書課によると、この取締規則は現在、存在しないが、廃止された記録もない。1950年の建築基準法施行後、市町村が災害危険区域を指定し、住宅建築を制限できるようになり、役割を終えたものと思われる。

この他、国レベルでは内務省大臣官房都市計画課から1934年3月に提出された「**三陸津波に因る被害町村の復興計画報告書**」の内容も興味深い³⁵⁾。その序文には「(前略)永久に浪災を防御し、又は之を避けるべき安住の地を築設し、以って生活の安定と便益を確保する(中略)務めて姑息なる施設を避け(後略)」と記述されている。

本文には「**津波防護対策**」として、津波の波高が高く、その破壊力も大きくなるリアス式海岸の奥の限られた平坦部しかないようなところでは、「いかなる工作物を設けるとも津波防護の対策とはならぬ。部落移転を敢行する外に方法が無い。所謂浸水型の地方に就いては津波防護の方法が考えられる。」「(津波災害を)忍びて、単なる日常生活の多少の不便を忍びえざる筈はない。」として、部落の高地移転を推奨している。この他、敷地の地上げ、防浪堤、防浪建築、街路の整備、埋立て及び護岸、避難道路、防潮林、防波堤の整備を提唱している。

市計画や復興事業については、「漁農聚楽、必ずしも海岸に密接して居住するを必要とせず・・・部落敷地を高地に移転するは他のいかなる防浪対策より勝れるものなり。」とか「高地移転を行い得る部落に在りては・・・建築禁止区域の設定も止むを得ざる方策・・・」などといった表現もある。

このように1933年の昭和三陸津波の後で宮城県や国が示した上記の施策は、少なくとも現在でも通用する考えであることには間違いの無いところではある。しかしながら、21世紀の今、往時とは格段の文明が進展している中、これらの78年前の対策の内容と水準で良しとするのか、真摯に考えるべきではなからうか。たとえば、

- 沖合の海底に設けた津波波高観測計測システムを活用した早期津波情報検知システムの開発とその住民避難情報伝達システムへの利用
- 携帯電話などの情報通信ツールを用いた避難情報の伝達
- 避難への自動車の活用とそのための道路拡幅

や線形の改良

- 沿岸部に築造する鉄筋コンクリート造の人工地盤により嵩上げした避難地や事業用地の確保

などが考えられよう。いずれにせよ後背地域を含む被災地の地形条件や産業構造、当該地域の就労人口や通勤地域なども踏まえた将来の地域産業の振興策とも一体となった本格的復興計画の策定が期待される。当然ながら三陸縦貫自動車道や国道45号そして鉄道の復旧計画との整合も視野に入れた地域の発展に有効な計画としなければならない。また、三陸地域の特色を生かした産業、特に第一次産業である漁業、水産業の振興策として、被災地の人口動態、特に就労可能人口の将来推計結果も踏まえ、これまでの個人が主体となって事業展開する形態に代わって新たな事業会社の設立・運営も考慮すべきであろう。その場合にはPPPの仕組みを活用した効率的かつ高付加価値な企業の創成といった観点からの新たな取り組みについても積極的に検討し、地域住民間の合意形成も含めて推進方を図っていくことが望まれる。

6. まとめ

以上、東日本大震災がもたらしたものと題して、被害の概要と特徴、教訓と課題そしてこれからの対処方策について、一通り概観してきた。その結果、次のように要約することができる。

- ① 今回の大震災はM9.0の巨大地震とそれによってひき起こされた巨大津波、そして原子力発電所の被害と事故の発生からなる世界でも未曾有の複合災害といえよう。中でも、津波による被害が甚大であった。なお、M9.0の巨大地震にしては、地震動の卓越周期が0.2～0.3秒と建物や橋が揺れやすい周期に比べて1/4～1/5と短かったため、それら構造物の被災が著しくなかったことは不幸中の幸いであった。
- ② 特に本州北部の青森県沖から千葉県沖まで襲来した津波の猛威は凄まじく、およそ2万人を超える死者・行方不明者を生じさせた。
- ③ 復旧に当たって国道のライフラインとして機能は震後、比較的早く回復できたものの、津波被災地での行方不明者の捜索もあって、瓦礫の処理が大幅に遅れることになり被災地の復興に大きな支障となっている。つぎの巨大地震の発生に間に合うように今回の震災の教訓として合理的な瓦礫処理に関する効率的な行政システムの確立を講じる必要がある。

- ④ 高度に文明化したわが国の社会において、震災の様相は複雑、多岐にわたり、災害拡大のポテンシャルはきわめて大きくなっていることに留意しなければならない。このため社会インフラ単独ばかりでなく異なるインフラシステム相互間での連鎖を考えた冗長性の高いトータルの防災・減災が可能なネットワーク・システムを構築することが求められる。
- ⑤ 今回の地震動は M9.0 というきわめて大きな地震エネルギーの発露であり、震源から遠く離れた千葉県や神奈川県の大東京湾沿岸部で主要動の継続時間が長く続いたことや、その繰り返し回数が多かったため、埋め立て地やゆるい砂質地盤の液状化が各所で生じ上・下水道施設や住居に甚大な被害を生じさせた。
- ⑥ 巨大津波への防災・減災対策や被災地の復興を進める上で必要となる津波の規模と対策の目標水準の考え方が、阪神・淡路大震災以降に確立した土木構造物の耐震性能照査に対して適用する二段階の地震動のレベル、すなわち、**レベル 1、レベル 2** と同じような**二段階の概念で規定**される方向が打ち出されつつある。
- ⑦ わが国の最近の地震の活動状況は戦後半世紀に及ぶ静穏期を経て、20 世末、1995 年に発生した兵庫県南部地震を契機に活発となり、今世紀に入り、今回の巨大地震の発生をもって、いよいよ本格的な大地動乱の時代に入ったようである。今後は西南日本及び関東南部から房総沖でのプレート境界で発生する巨大地震をはじめとして、首都圏直下地震や内陸の活断層タイプの直下型地震が頻発する可能性が高くなることを覚悟すべきである。また、東海地震や東南海地震の発生と富士山の噴火との相関性も指摘されており、これらが前後して発生する最悪のシナリオについても考えておくことが望ましい。
- ⑧ このようなリスクに備えるためにも国の震災対策を司る法体系や組織の再編が急務の課題であり、中央防災会議等での震災対策計画に関する戦略的、建設的な建議が求められるところである。今回の大震災の教訓を糧に「東海・東南海・南海地震」や「首都圏直下地震」などへの備えを速やかに着手すべきである。
- ⑨ 特に津波被災地の復興には、高規格道路や鉄道など基幹インフラの計画と整合させた土地利用に関する新たなアイデアの創出や今後の人口減少の動向も踏まえた将来に希望の持て

る、これまでの地域産業や生活基盤の枠組みにとらわれない新たな事業展開の枠組みの構築や、情報化の進展に伴う新たなコミュニティの創成などの将来に向けた視点で住民の地域復興の機運を高めて推進して行くことが必要である。

7. あとがき

あらためて東日本大震災の様相をみつめると、津波による影響の甚大さに圧倒させられた。また液状化の発生による被害も著しかったことが強く印象に残った。

ここに、大震災で亡くなられた多くの犠牲者のご冥福と被災地域の速やかな復興、被災者の方々のご健康を心からお祈り申し上げる。

本文を執筆するに当たり、保全・耐震・防災事業部の森副事業部長、同事業部東京支社の田中保全・耐震・防災部長、同総合防災・保全チームの三村 PM ほかの各位に貴重なご支援と情報提供をいただいた。ここに記して感謝の意を表する次第である。

なお、原子力発電所の被害と事故については筆者の専門外でもあり、本文では深く言及することは避けさせていただいた。ただ、世界でも初めての原子力発電所災害でもあり、わが国のみならず世界各国の電力・エネルギー政策に重大かつ深刻な影響を及ぼしたことは間違いない。今回の一連の事象を重大な教訓にして、原子力発電に係わる方々に再発の防止と安全性、信頼性の更なる向上を期していただくための格段のご尽力、ご努力を祈念して筆をおくこととする。

引用文献

- 1) 日経サイエンス 2011.6 月号
- 2) 国立天文台編、理科年表、平成 23 年版、丸善(株)
- 3) 平田 直: マグニチュード 9.0 の衝撃、科学、vol.81 No.5、2011 年 5 月号
- 4) Newton 2011 年 6 月号
- 5) 気象庁: 内陸及び沿岸で発生した主な地震の余震回数比較 (マグニチュード 4.0 以上), 「平成 20 年 (2008 年) 岩手・宮城内陸地震」の特集, http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/2008_06_14_iwate-miyagi/yoshin_hikaku.pdf, 2008 年 8 月
- 6) 防災科学技術研究所 K-NET 平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震による強震動についての特集ページ

- http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/topics/html20110311144626/main_20110311144626.html
- 7) 日経コンストラクション 2011.5.9 号
 - 8) 岡田義光：2011年東北地方太平洋沖地震に伴った地殻変動と誘発現象、科学、vol.81 No.5、2011年5月号
 - 9) 土木学会 東日本大震災特別委員会津波特定テーマ委員会報告会 6月13日資料
 - 10) 宮城県南三陸町 HP
 - 11) 警察庁 HP：2011年5月24日 現在の被害集計に基づき、一部改編
 - 12) 土木学会 HP：ライフライン復旧概況(時系列編)、岐阜大学 能島教授作成
 - 13) 気象庁 HP：
http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/2011_03_11_tohoku/aftershock/
 - 14) 国土交通省社会資本整備審議会計画部会道路分科会第13回分科会 東日本大震災の対応と課題 2011年5月23日
 - 15) 高橋浩一郎：災害論 一天災から人災へ、東京堂出版、pp11、1977年5月
 - 16) 佐伯光昭：展望 地震災害軽減方策のあるべき姿と今後の課題、土木学会論文集、No.658 /VI-48、pp1-18、2000年9月
 - 17) 宇佐美龍夫：最新版 日本被害地震総覧[416]-2001、東京大学出版会、2003
 - 18) 寺田寅彦：天災と国防 (初出：昭和9年11月 経済往来)、ワイド版岩波文庫102、寺田寅彦随筆集、第5巻 小宮豊隆編、1993.6
 - 19) 鎌田浩毅：今そこにある富士山噴火・東海・西日本大地震、文芸春秋、株式会社文芸春秋、2011年7月号
 - 20) IAEA, “PRELIMINARY FINDINGS AND LESSONS LEARNED FROM THE 16 JULY 2007 EARTHQUAKE AT KASHIWAZAKI-KARIWA NPP” REPORT TO THE GOVERNMENT OF JAPAN, 2007
http://www.iaea.org/newscenter/news/2007/kashiwazaki-kariwa_report.html
 - 21) 外岡英俊：地震と社会 「阪神大震災」記、上巻、みすず書房、1997.11.
 - 22) 寒川 旭：地震の歴史を活かした災害対策を、中央公論、2011年6月号、pp36~45
 - 23) 片山恒雄：東京大地震は必ず起きる、文春新書280、2002年10月
 - 24) 内閣府 HP
 - 25) 土木学会 耐震基準等に関する基本問題検討会議：耐震基準等に関する第一次提言、1995年5月
 - 26) 国土交通省港湾局：釜石港における津波による被災過程を検証、2011年4月1日、
http://www.mlit.go.jp/report/press/port05_hh_000019.html
 - 27) 土木学会 土木構造物の耐震設計法に関する特別委員会：耐震設計等に関する第三次提言、2000年10月
 - 28) 佐伯光昭：改めて社会資本とその「無駄」を考える 一防災・減災の立場から一、橋梁と基礎、2011年1月号
 - 29) Diemer, D.M.: ANTI-SEISMIC MEASURES ON WATER SUPPLY IN CALIFORNIA, Proc.of Water & Earthquake '98 Tokyo, IWSA International Workshop,1998.11
 - 30) 井野盛夫：抗震 東海地震へのアプローチ、pp.95-99、静岡新聞社、2000.2.
 - 31) ブルース・A・ボルト著、松田時彦・渡邊トキエ訳：地震、pp.292、古今書院、1995.3.
 - 32) 京都大学防災研究所編：地震防災計画の実務、第2章 地域防災計画の現状と問題点、pp.9-36、1997.4.
 - 33) 土木学会 耐震基準等に関する基本問題検討会議：耐震基準等に関する第二次提言、1996年1月
 - 34) www.47news.jp/CN/201104/CN2011040601000544.html
 - 35) 家田 仁：東日本大震災の復旧・復興に向けて東日本大震災をどう見るか～地域基盤の総合的フェイルセーフ化に向けて～、一般社団法人流域水管理研究所主催 第1回緊急特別講演会、2011年5月11日、ppt 資料

東北地方太平洋沖地震の概要(地震と地震動)

株式会社エイト日本技術開発
保全・耐震・防災事業部
東京支社 保全・耐震・防災部

末富岩雄・福島康宏

1. はじめに

2011年3月11日14時46分頃、三陸沖から茨城県沖に及ぶ巨大地震が発生した。気象庁により、「2011年東北地方太平洋沖地震」と命名され、政府は災害名称として、「東日本大震災」と呼んでいる。

気象庁による地震の規模(M)は、発生直後は7.9、16時の報道発表第1報で8.4、17時30分の第3報で8.8、3月13日12時55分の第15報で9.0と少しずつ大きく修正されている。発震機構は、西北西—東南東方向に圧力軸を持つ逆断層型で、プレート境界で発生した地震である¹⁾。

宮城県栗原市築館で震度7が観測されるなど、東北から関東地方の多くで震度5以上の強い揺れが観測された。

2. 過去の地震と想定地震

三陸地区では、過去に何度も津波に見舞われ、多くの犠牲を払ってきた。そのため、堤防などハード面の対策、避難訓練などソフト面の対策、において国内でも最も精力的に取り組んできた地域である。岩手県では三陸地震、宮城県では宮城県沖地震、福島県・茨城県では福島県沖及び塩屋崎沖地震を、津波を伴う海溝型地震として想定しているが、今回の地震は、これらの想定地震が同時に起きたことに相当する。以下に、過去の地震の概要を記す。

2.1 明治三陸地震

1896年6月15日20時頃、三陸沖約200kmで発生した地震(M=8.5)で、揺れは強くなく震度3程度であった。死者は約22,000人に及び、その多くが岩手県内である²⁾。死者数は今回と同程度であるが、当時は現在より人口が少なく、吉浜村で人口の約9割が亡くなるなど、犠牲者の比率は今回より高い。

2.2 昭和三陸地震

1933年3月3日2時半頃に発生した地震(M=8.1)で、揺れはやや強く震度5程度であった²⁾。深夜ではあったが、揺れが強かったため、多くの人は

目を覚ましている³⁾。死者は約3,000人と明治の際よりは大幅に減少している。津波の高さが7~8割程度とやや小さかったこともあるが、まだ明治の際の記憶が焼きついており、速やかに避難行動をとった人々が多かったものと推察される。

この後、1960年チリ地震、2011年チリ地震があるが、今回とは条件が異なるので省略する。ただし、人々の津波に対する意識に影響した可能性はある。

2.3 貞観の地震

東北地方で地震の記録が残るのは、江戸幕府が開かれる17世紀以降である。ただし、869(貞観11)年の地震については、大津波により広い範囲で被害が生じたことが記録に残っている²⁾。

最近になって、石巻平野・仙台平野でジオスライサーを用いた地盤調査により、津波堆積物の分布が面的に明らかになってきた⁴⁾。再現期間も600~1300年と推定されている(さらに前の3回の痕跡も発見)。津波シミュレーションにより、想定宮城県沖地震よりもはるかに大きい地震があったのではと、その地震像が明らかになってきていた。ただし、それは、この数年のことである。

なお、1611(慶長16)年にも、大きな地震があり、三陸地震や宮城県沖地震よりも広い範囲での地震であった可能性が高いが、詳しいことはまだ明らかでない。

3. 断層の破壊過程

今回のように断層域が広大になると、観測波形を時刻を合わせて並べるだけでも、およその様子は把握できる。図1は、東京大学地震研究所によるもの⁵⁾で、防災科学研究所によるK-NET、KiK-netの波形を太平洋岸に沿って南北に並べたものである。

最初の大きな断層破壊は宮城県沖で起きている(最初に大きく揺れている、図中の紫色の線)。その数十秒後に宮城県沖で大きな断層破壊が再び起きて同様に伝播している(水色)。そして、三つ目の断層破壊が茨城県北部の、陸に近い沖合で起き

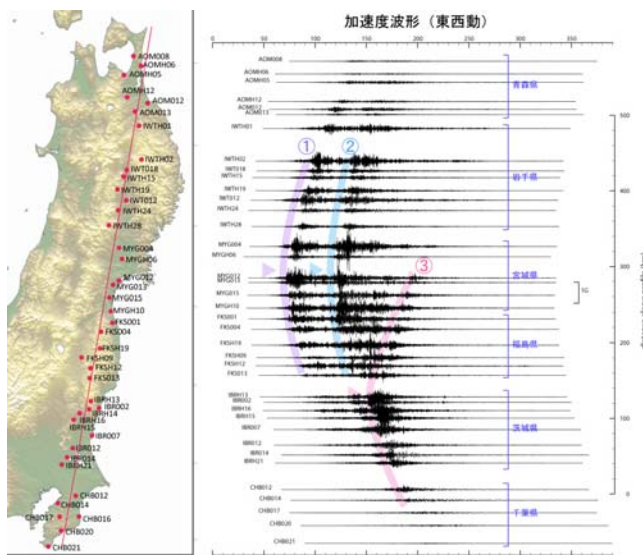


図1 加速度波形と断層破壊の関係⁵⁾

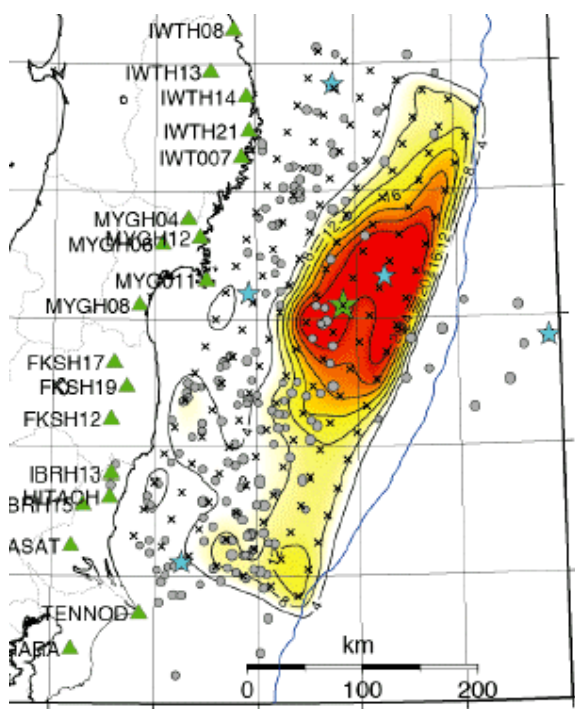


図2 断層面上のすべり分布の推定例
(気象庁気象研究所による¹⁾)

たと考えられる (赤色)。

東北地区では2つの波群が見えるのは①②に対応し、首都圏では長くコトコト揺れた後に大きく揺れたのは、①②は遠く③が主となったものである。図2は波形を用いて震源インバージョンにより断層上のすべり分布を推定した例¹⁾である。図1の内容と概ね対応している。

4. 震度分布の推定

被害と地震動の大きさの関係を検討する上では、被害地点で地震記録が得られるわけではないので、

地震動分布が必要となる。本章では、観測記録の補間により250mメッシュ単位での評価を行う。

(1) 地震観測記録

波形データが公開されている防災科学技術研究所 K-NET 及び KiK-net⁶⁾、港湾地域強震観測⁷⁾、気象庁⁸⁾、横浜市高密度強震計ネットワーク⁹⁾、のデータから計測震度、SI 値等の地震動指標を算出する。補間推定には、K-NET278 点、KiK-net166 点、気象庁 36 点、港湾 13 点、横浜市 86 点の値を用いる。

(2) 地盤条件

末富ら¹⁰⁾で実施したように防災科学技術研究所の地震ハザードステーション¹¹⁾から公開されている若松らによる250mメッシュの地形分類及び AVS30 (深さ30mまでの平均S波速度)を用いる。増幅度評価も、末富ら¹⁰⁾による非線形モデルを用いる。

(3) 推定結果

末富・福島¹²⁾では、IDW法(距離の重み)による補間推定を行った。この場合、やや特定の観測値の影響が強かった(局所的な要因と思われるのに対し、広域で大きくなっていった)。そこで、図3に示すように、今回の観測値を用いて、断層からの最短距離xのみをパラメータとする距離減衰式を回帰分析により構築する。○で示した観測値は、(2)の250mメッシュでのAVS30を用いて、工学的基盤(Vs=600m/s相当)に引き戻した値である。赤線で示した定数項を入れた式の方がより観測値への適合性がよいので、これを採用する。log内の定数項の値は一義的に決まらないので、既往の距離減衰式を踏まえ、ここでは50としている。この式をトレンド成分として、Kriging法により推定した計測震度分布を図4に示す(プログラムRASMO使用¹³⁾、最大加速度、SI値、最大速度についても同様に算出している)。海岸付近で大きい他、内陸の低地部で大きくなっており、文献12)より、改善されていると考えられる。

5. 余震と誘発地震の影響

M=9.0の巨大地震なので余震でもMが7を越えるものが多発している(図5)。また、余震域から推定される断層面とは全く異なる箇所での地震(誘発地震)も多く、翌日未明に発生した地震では、柴村付近に大きな被害をもたらし、3/15の地震では静岡県で大きな揺れが観測された。

5.1 30分後の余震

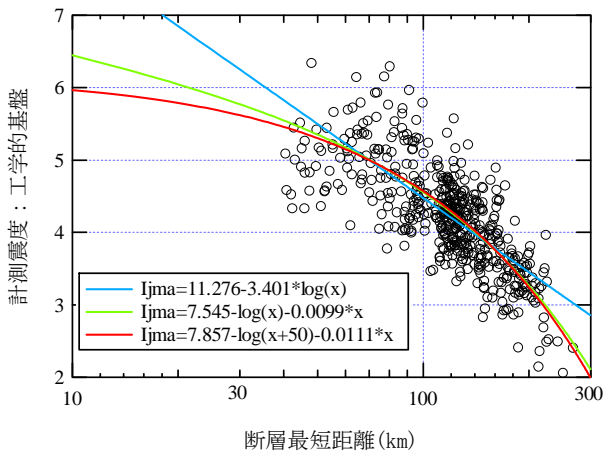


図3 計測震度の距離減衰

(○: 地表での観測値を工学的基盤に引き戻した値)

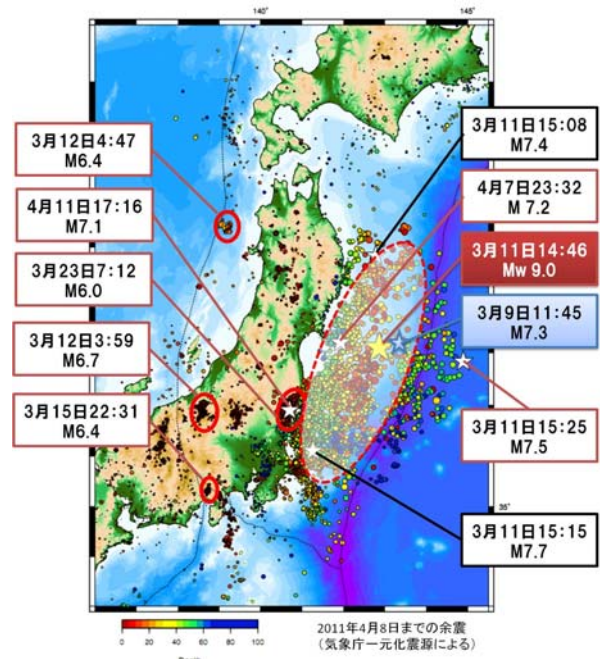


図5 主な余震・誘発地震の位置 (東京大学地震研究所⁵⁾による)

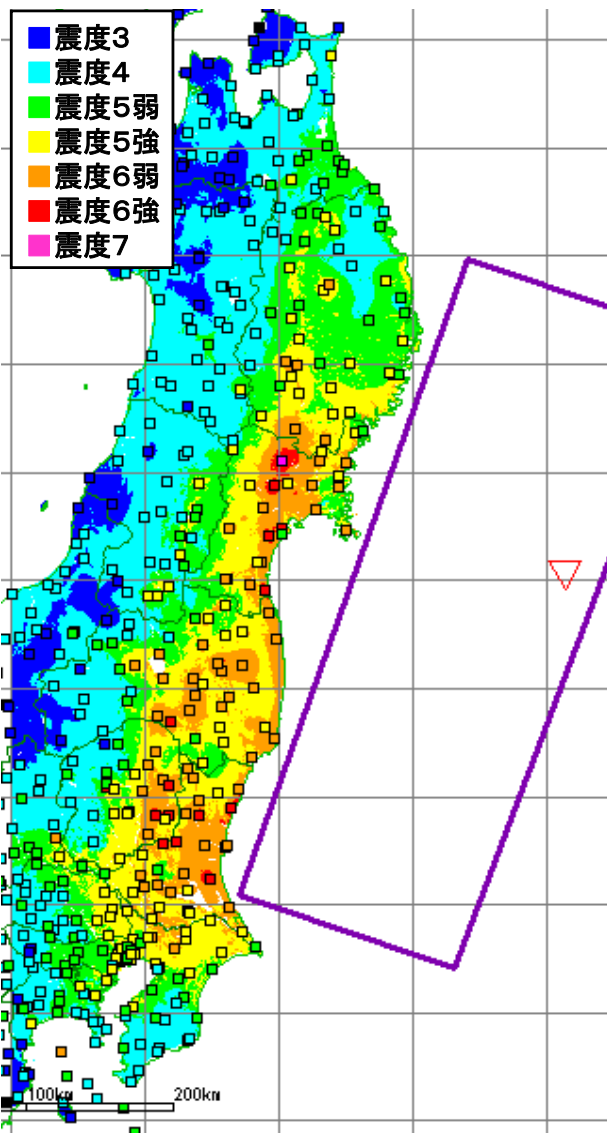


図4 計測震度の250mメッシュ推定分布

(▽: 震源、□: 推定断層、■: 観測値)

茨城県沖でM=7.7の地震が、本震から約30分後に発生している。いくつかの目撃証言として、本震で噴砂現象が生じていたところ、この余震によ

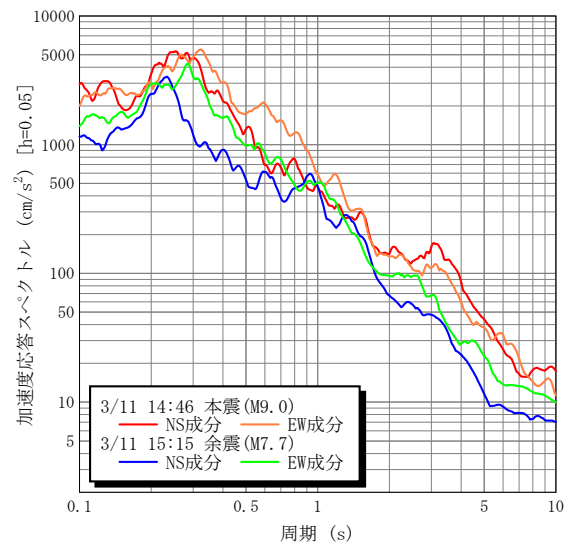


図6 K-NET 銚田における加速度応答スペクトル

り強く噴出したとある。

K-NET 銚田 (IBR013) における加速度応答スペクトル (減衰5%) を図6に示す。ほぼ本震に匹敵する大きさである。

5.2 4月7日の余震

4月7日23時32分頃に宮城県沖の深さ約65kmでM=7.1の地震が発生し、宮城県で最大震度6強を観測した(図7)。

発震機構は西北西-東南東方向に圧力軸を持つ逆断層型であり、震源が深いこと、余震分布が南東傾斜であることから、プレート境界の地震ではなく、太平洋プレート内で発生した地震とされて

いる (図 8) ¹⁾。

この地震では、東北電力管内で最大 4,006,382 戸と大規模な停電が発生した ¹⁴⁾ (ほぼ東北全体の 7 割に相当)。復旧は、10 日 0 時 15 分である。原因は、原子力安全・保安院によるとスイッチの切り替えの設定ミスで保護装置が働かなかったためである ¹⁵⁾。また、東北自動車道では、平泉前沢 SA 付近で盛土が長さ 30m ほどにわたって崩れ、通行止めとなった (10 日に復旧)。この付近では、住宅被害も少なくなく、10 日に応急危険度判定が実施されていた。

図 9 に K-NET 北上 (IWT012)、図 10 に K-NET 仙台 (MYG013) における加速度応答スペクトルを示す。周期 1 秒以下では、部分的に本震を上回る周期帯もある大きさである。

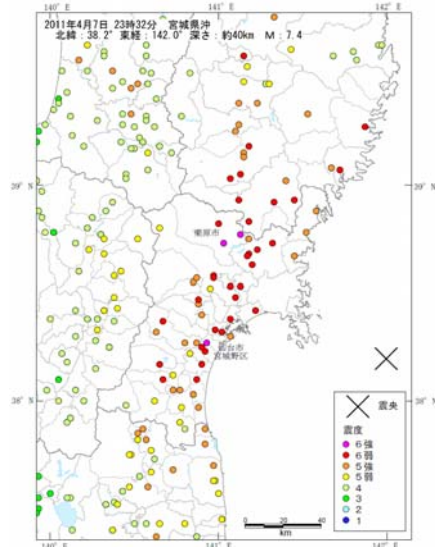


図 7 震度分布 (4 月 7 日の余震)

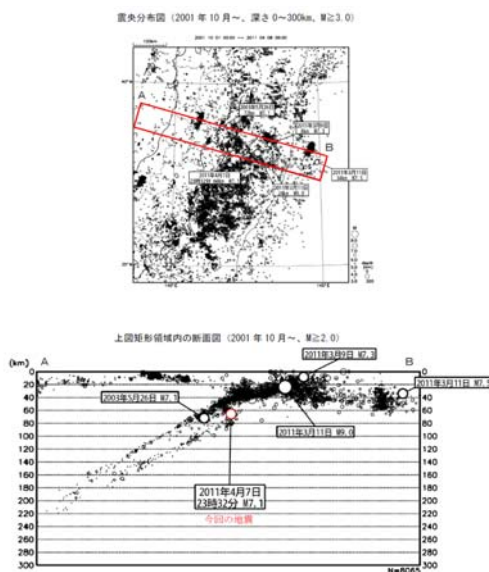


図 8 余震の分布と 4 月 7 日の余震の位置

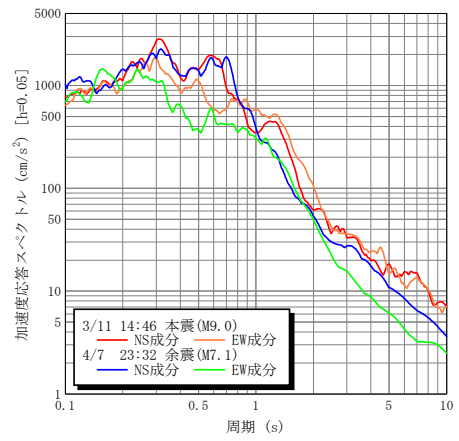


図 9 K-NET 北上における加速度応答スペクトル

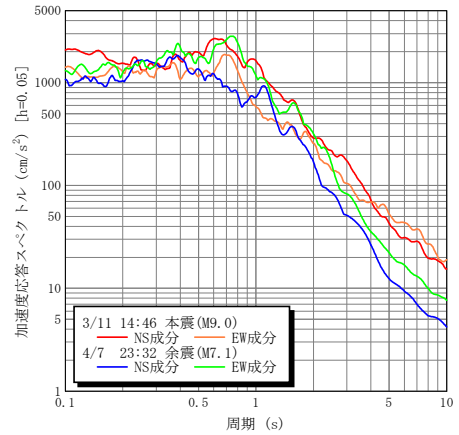


図 10 K-NET 仙台における加速度応答スペクトル

5.3 4 月 11 日の活断層による地震

4 月 11 日 17 時 16 分頃に福島県浜通りの深さ約 6km で M=7.0 の地震が発生し、福島県と茨城県で最大震度 6 弱を観測した。

この地震の発震機構は、西南西-東北東方向に張力軸を持つ正断層型で、地殻内の浅い地震であ

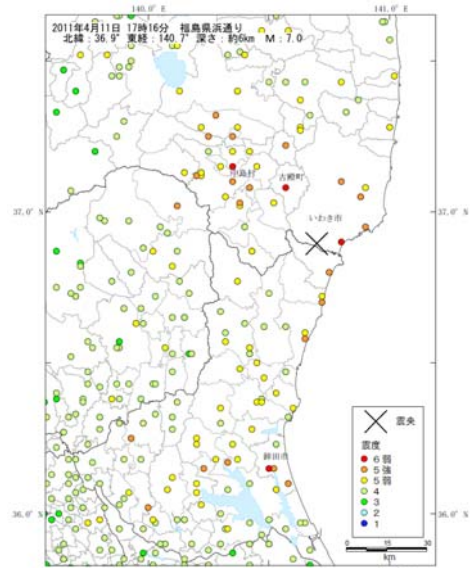


図 11 震度分布 (4 月 11 日の地震)

る ¹⁾。産業総合技術研究所により、断層が地表に露頭したことが報告されている ¹⁶⁾。

いわき市を中心に、停電、住宅倒壊、崖崩れ、等の被害が発生した。

6. 観測地震動の特徴

6.1 周波数特性

主な観測記録の加速度応答スペクトルを重ねて図12に示す。また、1995年兵庫県南部地震や2007年新潟県中越沖地震など国内での主な強震観測記録との比較を図13に示す。いずれも、水平2成分を合成した値を示している。

既往の主な記録と比べると周期1秒以上では小さい。地震規模が巨大であることから、周期20秒辺りの通常の構造物に影響しない成分で大きいようである。K-NET 築館(MYG004)の周期0.24秒で約13,000cm/s²という極めて大きな最大加速度応

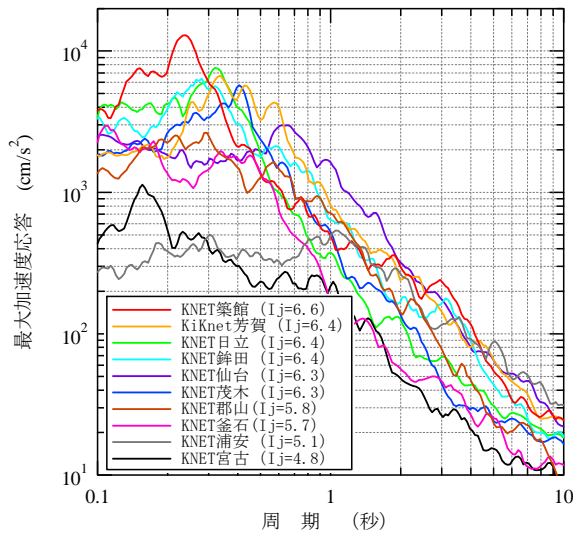


図12 観測記録の加速度応答スペクトル (減衰5%)

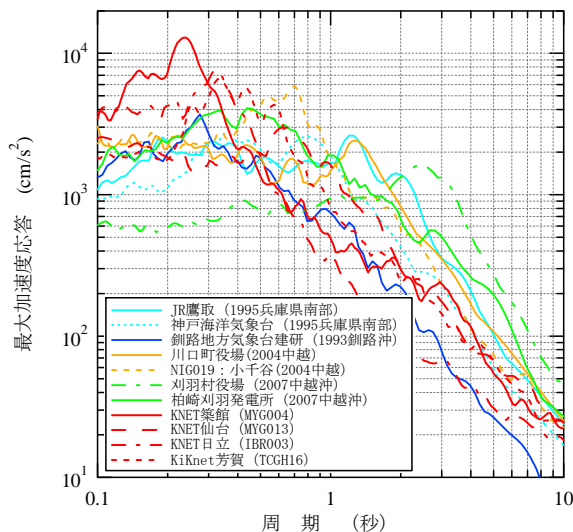


図13 既往地震の加速度応答スペクトルとの比較 (減衰5%)

答となっている。加速度波形を図14に示す。かつ他の観測点でも、0.5秒以下の短周期成分が著しく卓越している。図15にK-NET 築館での常時微動のフーリエスペクトルを示す。4Hz (周期0.25秒)付近で卓越しており、地盤条件と関連していると考えられる。また、高さ1.5m程度駐車場位置より上に地震計はあり、上では大きく増幅されていることがわかる。このような局所的条件により大きく揺れた地点と考えられ、周囲での建物被害は少ない。K-NET 日立等も、盛土上に置かれており、同様に局所的条件が影響していると考えられる。

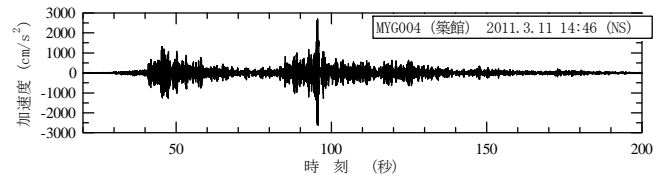


図14 K-NET 築館における観測加速度波形 (NS)

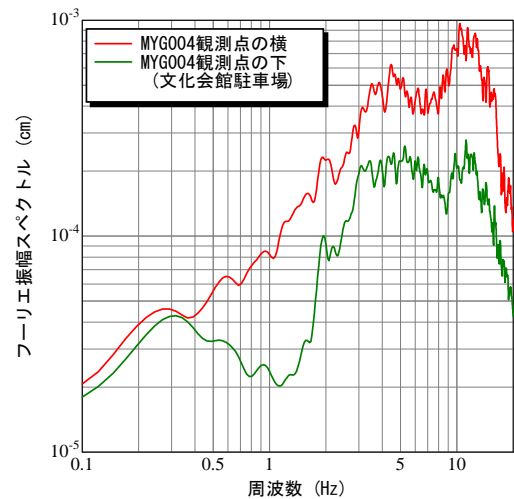


図15 常時微動のフーリエ・スペクトル

6.2 継続時間

図16は、国内における主要観測加速度波形を並べたものである。縦軸は少し変えているが、横軸は合わせてある。1995年阪神淡路大震災や2004年新潟県中越地震の波形は20~30秒であるのに対し、今回の地震は120秒程度続いており、極めて長い。M=8.0で同じプレート境界型である2003年十勝沖地震と比べても1.5倍程度ある。

継続時間が長いことが、被害に影響していると考えられ、その典型例が地盤の液状化である。図17は、K-NET 稲毛(千葉市美浜区)での観測波形である。時刻120秒付近で、サイクリックモビリティにより急激に大きな加速度が現れた後、液状化に至ったと推察され、観測点敷地内では大量の噴砂が見られた。

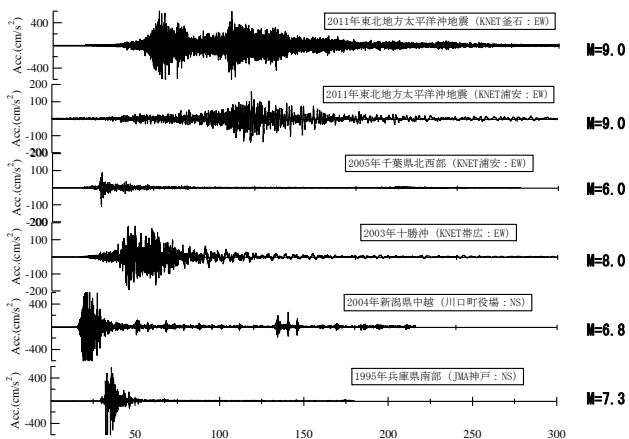


図 16 過去の地震記録との継続時間の比較

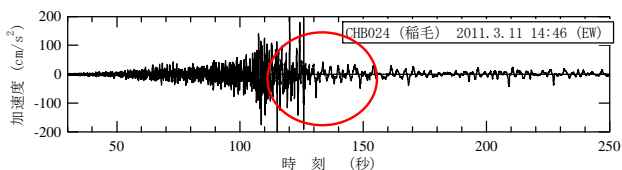


図 17 液状化地点の波形 (KNET 稲毛)

6.3 首都圏における地震動

首都圏では、東京ガス株式会社の地震防災システム SUPREME により、約 4000 点の地震観測網が構築されている。図 18 は、その観測値を収集・表示している Jishin.net (会員制) による SI 値分布図¹⁷⁾である。東日本大震災に関しては、防災科研 K-NET 及び KiK-net、国土交通省、横浜市による高密度強震観測網による記録からの値も示している。SUPREME では、50m メッシュの SI 値分布推定、液状化危険度推定、導管被害推定が地震発生から 10 分以内に行われている。

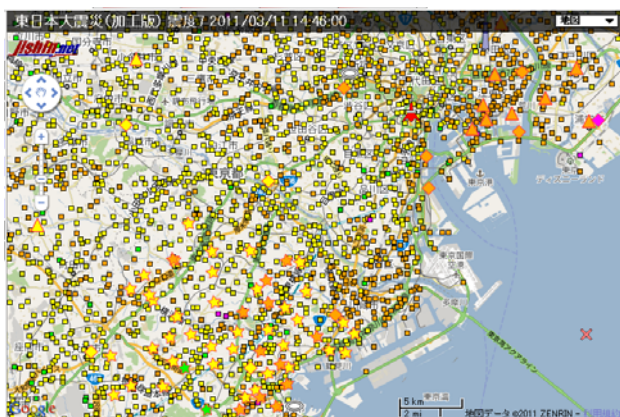


図 18 首都圏における高密度 SI 値分布 (TG 情報ネットワーク : Jishin.net¹⁷⁾ より)

今後、地震動分布の高精度化をさらに進めると共に、各種被害と地震動との関係について検討を進める予定である。本研究では、防災科学技術研

究所強震観測網、港湾地域強震観測、横浜市強震計ネットワークのデータを使用させて頂きました。関係各位に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 気象庁 : 気象庁発表情報、
<http://www.jma.go.jp/jma/menu/jishin-porta1.html#b>
- 2) 宇佐美龍夫 : 最新版 日本被害地震総覧 [417]-2001、東京大学出版会、2003 年
- 3) 山下文男 : 津波てんでんこー近代日本の津波史、新日本出版社、2008 年
- 4) 産業技術総合研究所 活断層・地震研究センター : 貞観地震に関する成果報告、報道等、
<http://unit.aist.go.jp/actfault-eq/Tohoku/press.html>
- 5) 東京大学地震研究所 : 2011 年 3 月東北地方太平洋沖地震、
http://outreach.eri.u-tokyo.ac.jp/eqvolc/201103_tohoku/
- 6) 防災科学技術研究所 強震観測網 web サイト :
<http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/>
- 7) 港湾地域強震観測 web サイト :
<http://www.mlit.go.jp/kowan/kyosin/eq.htm>
- 8) 気象庁 web サイト : http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/kyoshin/jishin/110311_tohokuchihou-taiheiyouuki/index.html
- 9) 横浜市高密度強震計ネットワーク web サイト :
<http://www.city.yokohama.jp/me/anzan/kikikanri/eq/>
- 10) 末富岩雄・石田栄介・福島康宏 : 全国即時地震動分布推定のためのモデル構築に関する一検討、第 13 回日本地震工学シンポジウム論文集 CD, PS3-Sat-23, 2010 年
- 11) 防災科学技術研究所 地震ハザードステーション : <http://www.j-shis.bosai.go.jp/>
- 12) 末富岩雄・福島康宏 : 2011 年東北地方太平洋沖地震 (東日本大震災) における地震動分布の推定、土木学会第 66 回年次学術講演会 (投稿中)
- 13) (独) 防災科学技術研究所 川崎ラボラトリー : 文部科学省大都市大震災軽減化特別プロジェクト「Ⅲ.1 震災総合シミュレーションシステムの開発」公開ソフトウェア、2007 年
- 14) 東北電力 web サイト :
<http://www.tohoku-epco.co.jp/index.html>
- 15) 経済産業省原子力安全・保安院 web サイト :
http://www.nisa.meti.go.jp/earthquake_index.html
- 16) 産業技術総合研究所 活断層・地震研究センター : 平成 23 年東北地方太平洋沖地震速報、
<http://unit.aist.go.jp/actfault-eq/Tohoku/index.html>
- 17) ティージー情報ネットワーク web サイト :
<http://www.jishin.net/>

港湾・海岸の被害と対策の進め方

株式会社エイト日本技術開発
河川・港湾事業部
中国支社

鈴木誠・関勇二・板野誠司

1. はじめに

去る平成23年3月11日に発生した東日本大震災は、想定規模をはるかに超えたM9という巨大地震に伴う大津波により多くの人命・財産が失われた未曾有の大災害であった。

河川・港湾事業部では、この災害から港湾・漁港・海岸の復旧・復興の支援を行なうため、現地被害調査を実施した。ここに、現時点での国等の研究機関の調査・方針等も踏まえ当社の考えを報告する。

2. 現状の防災施設の整備の考え方

一般の防波堤や海岸堤防は、50年確率規模の波浪や伊勢湾台風級の高潮に対して安全を確保するよう整備されてきた。整備水準は、背後地の重要度等を考慮して海岸・港湾管理者が総合的に判断して決定されてきた。

津波が考えられる地域では、記録が残っている過去100年程度の期間に起きた津波を対象とした設計となっている(久慈、宮古、釜石、大船渡、小名浜では明治三陸沖地震、仙台塩釜、石巻、相馬では宮城県沖地震による津波を想定)。当然、今回のような1000年に1度の地震・津波に対応したものではない。

このような想定規模を超える大地震等の災害に対しては、ハード対策とソフト対策の連携で対応してきた。

3. 東日本大震災による地震・津波被害

3.1 10mをこえる巨大な津波の概要

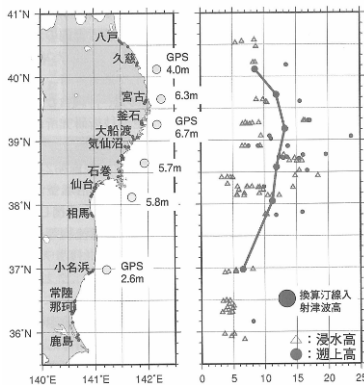


図1 津波の痕跡高さ GPSのデータにもとづく換算汀線入射津波高¹⁾

今回のM9の地震によって巨大な津波が発生している。図1に今回測定された津波の痕跡高を示す。津波高は、岩手県の宮古付近から福島県の相馬付近で特に高く10m以上となっている。

この巨大津波を国土交通省港湾局のGPS波浪計が観測しており、例え

ば、釜石港沖合い18kmで水深204mにあるGPS波浪計によって6.7mの津波が15時12分に観測された。

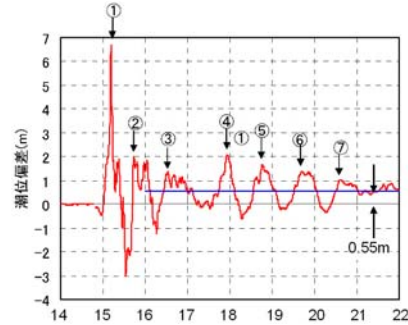


図2 岩手南部沖波浪計観測値(3月11日)²⁾

3.2 巨大な津波の海岸への来襲・遡上

図3、表1は、代表的な海岸断面について津波の進入の様子を説明したものである。

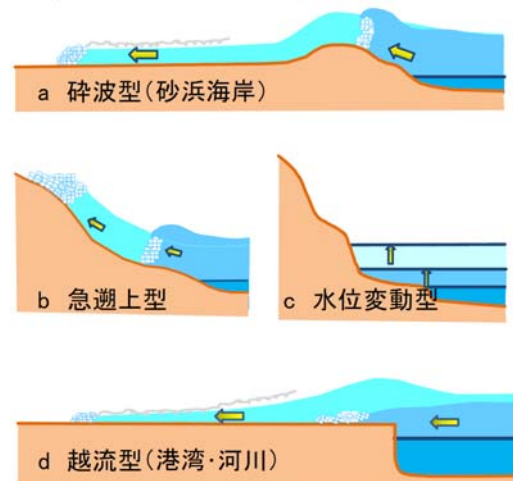


図3 代表的な海岸断面と巨大な津波の侵入²⁾

表1 津波タイプとその特徴^{2)に加筆}

タイプ	特徴
a 砕波型 (砂浜海岸)	一般的な海岸で海底勾配が緩い場合、10km~30kmのスピードで内陸数キロまで進入した。(陸前高田、仙台湾など)
b 急遡上型	リアス式海岸で地形が急勾配な場合、砕けながら非常な勢いで斜面を駆け上がる。(綾里湾など)
c 水位変動型	海岸がさらに急になっている場合、海岸では津波はあまり砕けず、水位が上下する。(大船渡長崎地区)
d 越流型 (港湾・河川)	港内は水深が大きいため、津波が海側で砕けることは少なく、水位が上昇して岸壁などを乗り越えて市街地に侵入する。

なお、津波高さの表現方法は複数あるため、過去のデータ等と比較する際には留意が必要(図4参照)である。

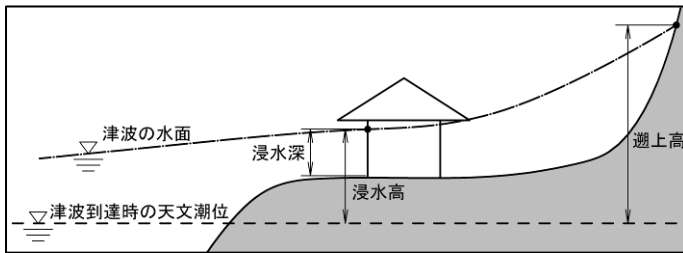


図4 津波痕跡高さ表現の種類²⁾に加筆

- 浸水深: 津波到達時の推定天文潮位から建物壁等に残る浸水痕跡までの高さ
- 遡上高: 津波到達時の推定天文潮位から斜面などに残る遡上(はい上がり)痕跡までの高さ
- 浸水深: 地表面から建物壁等に残る浸水痕跡までの高さ

3.3 巨大津波による壊滅的被害

(1) 被害の種類

10m程度の津波の破壊力は巨大である。表2は10mクラスの津波を対象に人的被害以外の津波被害の種類を取りまとめたものである。

表2 10m程度の津波の被害²⁾

陸域・一般の被害	建物の破壊・流出(木造家屋の壊滅的破壊、コンクリート建物の3階以上の浸水)
	車の流出
	火災の発生
	タンクの破壊と油流出
	鉄道・道路・橋梁の破壊
	地盤沈下
	田畑の冠水
	港と海域の被害
港と海域の被害	港湾施設の破壊・浸水(上屋、クレーン等)
	材木、コンテナ流出
	漂流物の港内航路への沈下
	航路洗掘と埋没
	海浜・海岸林の消失
	水産養殖施設の流出
	海岸・港湾構造物の被害
突堤・離岸堤の破壊	
堤防・護岸(防潮堤)等の破壊	
水門・陸閘の破壊	

(2) 各地の港湾・海岸施設等の被災状況

1) 岩手県

①宮古市田老町

当地は過去の明治三陸沖地震、昭和三陸沖地震等でも津波被害を受けていることもあり、海面上10mの高さの防潮堤をエックス字に約2.5km整備していた。しかし、これを越える津波が来襲したため防潮堤は転倒し堤内地も大きな被害を受けた。



写真1 破堤箇所全景

(防潮堤は押し波、引き波双方で転倒)

②山田町、大槌町

両町とも漁港施設、防潮堤が破壊され、堤内は壊滅的な被害を受けている。



写真2 防潮堤破壊と堤内の様子



写真3 岸壁部と防潮堤の破壊状況

2) 宮城県

①南三陸町

報道等で町全体が壊滅的な被害を受けたが、岸壁、防潮堤等、海際の施設も破壊・転倒・沈下を確認した。



写真4 岸壁部と防潮堤の破壊状況

②東松島市

野蒜海岸から半島を津波が通過し、松島湾側では

護岸が背面から津波を受けた地域である。護岸は転倒し、速い流れにより木造家屋は破壊されている。



写真5 護岸の転倒と木造家屋破壊の状況

また、今回の津波被害の全般的な特徴として、過去十分強度があるといわれていたコンクリート建造物が、海岸付近でいくつも倒壊していたことが挙げられる。今後避難ビルを計画する上で、建物高さとともに構造体として、今後の課題になると考える。

3.4 漂流物の被害

港湾・海岸付近においては、津波によって多くの船舶・車・コンテナ等が漂流して港湾施設に衝突したり、陸上に乗り上げるなどの被害が発生している。また、港内に破壊された家屋や車等が沈没して港湾機能に支障が生じている。



写真6 打ち上げられた船舶（釜石港、気仙沼漁港）

3.5 津波防波堤の被害と効果

釜石と大船渡などには、津波（明治三陸沖地震等）と波浪の低減を目的に湾口部に防波堤が設置されていた。結果的にこれらの防波堤は被災したが、津波の第一波のピーク時近くまでは比較的粘り強く抵抗し、津波高4割低減や浸水時間6分遅延の効果があつたことをシミュレーション解析（港湾空港技術研究所）にて検証している。

倒壊は、ビデオ観察、再現計算から、想定以上の水位差、強力な水平力、ケーソン目地部からの速い流れによる滑動、基礎マウンドの洗掘が主要因とされている。

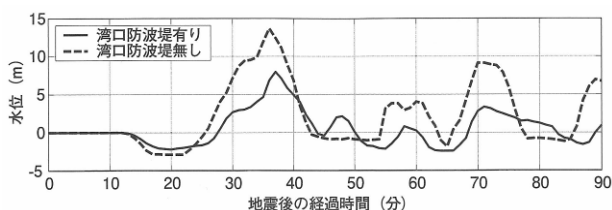


図5 釜石港須賀地区における津波高の計算結果¹⁾

3.6 地震による被害

今回の地震は、東北地方から関東地方の広大な地域で被害が発生した。港湾施設被害にも地域性が見られた。青森県から岩手県においては、地盤の浅い部分に比較的硬質な岩が存在すること、埋立地が比較的少ないこと、地震動特性が港湾施設に被害が生じやすい周波数帯と比較して比較的短周期成分が卓越していたため、地震動による被害程度は小さかったと考える。

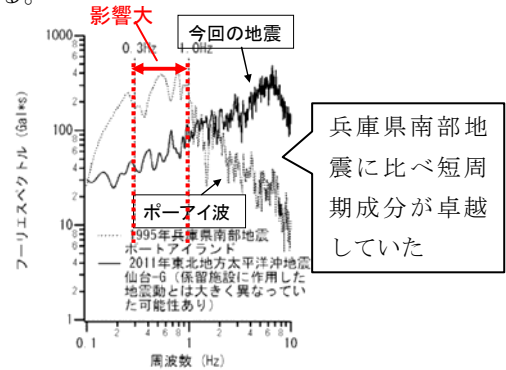


図6 仙台港G地震動フーリエスペクトル比較²⁾に加筆

一方、宮城県・福島県・茨城県の港湾施設は、液状化現象の発生が確認されており被害が大きかった。



写真7 液状化による被害状況（相馬港）

4. 今後の地震・津波対策の進め方

4.1 基本的考え方

インド洋大津波、ハリケーン・カトリーナ、今回の東日本大震災など、通常の設計を超えるような津波や高潮に対しても備えておくことが重要である。

すなわち、従来の設計対象津波に対しては、人命はもちろん、財産も守り被害を最小限に抑える。そして、発生確率が非常に低い最大級の津波に対しては、最低限、人命を守る対策を考え、重要施設の壊滅的被害を防止し甚大な二次被害防堵ことが重要である。以下、ハード対策、ソフト対策について今後の方向性・考え方を記述する。

4.2 ハード対策

(1) 今後の津波外力・施設要求性の方向性

現行の港湾基準では、地震動、波浪（高潮）に対しレベル1、2の区分をしているが、津波は曖昧な状態であった。今後は津波に対してもレベル1（おおよそ1/100年）、レベル2（おおよそ1/1000年）を設定する。

施設に対する要求性能も地震動と同様、レベル 1には“使用性（損傷しない or わずかな損傷）”、レベル 2には“修復性（軽微な修復で機能回復）”、“安全性（致命的損傷を受けない）”を求めていくことになる。

(2) ハード設計における今後の課題

レベル 2 津波に対する防災施設の粘り強さ（例えば越流後の損傷）の発揮、津波、余震といった連続作用に対する設計法、流れに対する評価と設計法の確立等が必要と考える。

4.3 ソフト対策(シミュレーション技術を活用した「津波から逃げ切る」海岸整備の提案)

ハード対策とソフト対策が連携した取り組みを行い、まず、「人的被害 0」を目指す必要がある。

(1) 人的被害に向けて

東北地方は、過去より津波被害の経験がありハード対策として、津波防潮堤等の施設整備が行なわれてきた。また、ハザードマップの公開、避難訓練など実施されており比較的防災意識が高い地域のはずであったが、現実には多くの人的被害が生じた地区があった。これは、最近、大きな津波を実際に体験していないために、多くの人は、実際に津波が来ると考えず「すぐに避難行動をとった人」と「とらなかつた人」で生死を分けた結果となった。

また、地震後の大津波警報などの避難情報がうまく伝わったかどうかを検証する必要がある。

(2) シミュレーション技術の活用

対象地域の防災計画・設計において、想定される自然災害の被害規模や対策効果を予測することは重要である。その予測手法として、シミュレーション技術は有効なツールである。コンピュータ技術の進歩により災害などの現象の予測が可能となった。

(3) 今後の津波対策への提案

シミュレーション技術を活用し、ハード対策とソフト対策の連携により、地域の実情にあった提案が可能になる。

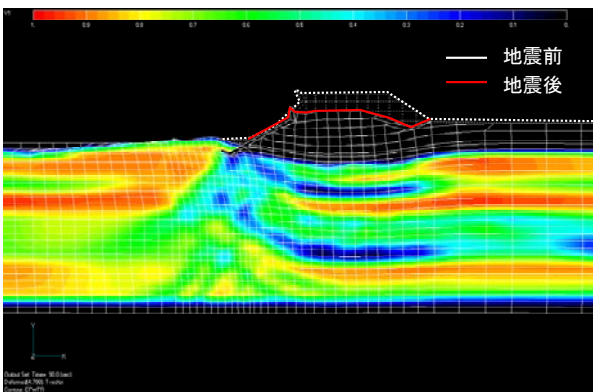


図7 動的解析 (FLIP)

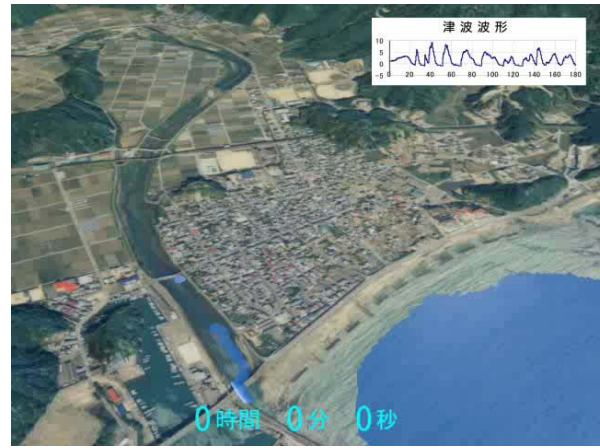


図8 津波氾濫シミュレーション

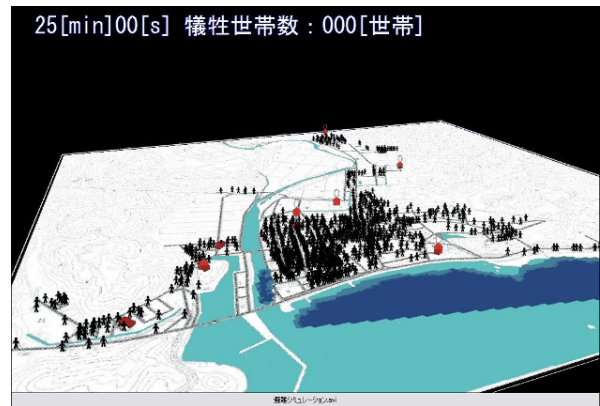


図9 津波避難シミュレーション (マルチエージェントモデル)

今後より必要と考えるシミュレーション解析を以下に示す (図 7、8、9 参照)。

- ①地震動（液状化）に対する動的解析 (FLIP 等)
- ②津波氾濫シミュレーション
- ③避難行動シミュレーション (マルチエージェントモデル)

「津波から逃げ切る」を指標として①+②の結果を用い、避難行動のシナリオを③の手法で評価し、ハード対策とソフト対策の検討に用いる。

5. おわりに

今回の東日本大震災は、1000年に1度という大災害であった。一方、西日本においては、東海・東南海・南海地震が近い将来予想されておりこれらへの対応も緊急の課題である。国の専門部署による被害調査結果や今回の被災調査で得られた貴重な知見を生かし、他事業部とも連携しつつ、今後の地震・津波対策に関し独自の提案を実施していく所存である。

以上

参考文献

- 1) 港湾 Vol.88 May 2011
- 2) 港湾空港技術研究所資料 No.1231「2011年東日本大震災による港湾・海岸・空港の地震・津波被害に関する調査速報」

河川・砂防施設の被害と山火事

株式会社エイト日本技術開発
 河川・港湾事業部
 中国支社 山本 剛
 東京支社 田淵政一・片山哲雄

1. はじめに

平成23年3月11日14時46分に東北地方太平洋沖を震源とする地震（最大震度7、マグニチュード9.0）が発生した。地震と津波による未曾有の大災害となった。

今回の災害で特徴的なものとしては、津波が想定範囲を超えたものであったといえるが、山火事の発生もあった。ここでは、岩手県大槌町、山田町、宮古市で発生した山火事現場の状況把握を目的として実施した調査結果、ならびに同市町の河川・砂防施設の被害状況についてあわせて報告する。

2. 東日本大震災による地震・津波被害概要

2.1 調査箇所

- (1) 釜石市（河川護岸、河川堤防の状況）
- (2) 大槌町（山火事の状況、河川・砂防施設の状況）
- (3) 山田町（山火事の状況）
- (4) 宮古市田老地区（山火事の状況、河川護岸の状況、砂防施設の状況）

2.2 被害状況

(1) 釜石市

二級河川 甲子川の河川施設の被害状況は、全体的に被害箇所は少ない。しかし、特徴的なものとしては、パラペット護岸が川側に転倒していることである。（写真1）



写真1 甲子川 護岸転倒状況

この箇所は、津波が護岸天端を越え遡上してい

る区間である。転倒の原因は、(写真2)に示すように護岸背後の地形が谷地形となっており、遡上した津波の引き波が集中したことにより破壊したと考えられる。

一方、河口部に近い左岸護岸は、背後の地形が谷地形となっていないため、堤内地の家屋は被害を受けているが、護岸に被害は見られなかった。

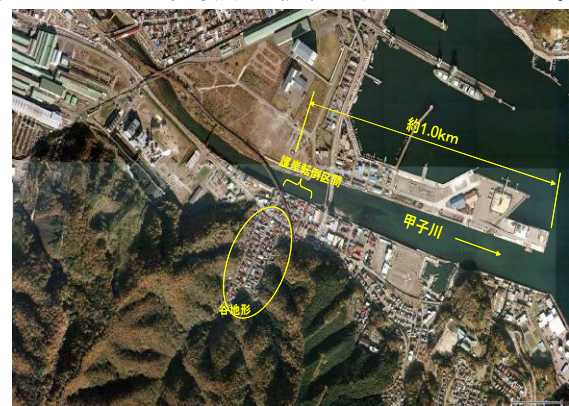


写真2 甲子川 河口~1kmの空中写真

(2) 大槌町

二級河川 小鍬川の津波遡上域には河川内にゴミ等が残置されており、河口から約2.5km付近まで遡上したことが窺われる。（写真3）

この地点の左岸側にある河川構造物の樋門を確認したが、ひび割れ等は確認出来なかった。（写真4）また、樋門より100m程度下流の左岸には土石流危険溪流が流入している。ここも津波の影響がなく、砂防えん堤には異常はなかった。（写真5）

小鍬川の河口部には、水門がある。この水門は明治29年の三陸大津波TP6.4m対応として平成18年度に竣工されている。

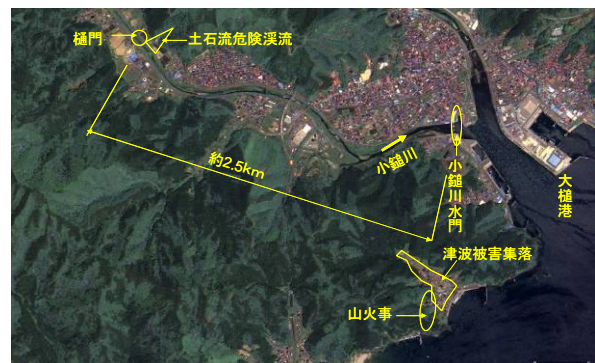


写真3 小鍬川 河口~2.5kmの空中写真

今回の津波の高さは 10m程度との調査結果があり、この水門では津波を防ぐことはできなかった。



写真4 河川構造物の樋門

切り株の焼け方は生木に比べて激しいことがわかる。



写真7 切り株の燃焼状況



写真5 土石流危険溪流の砂防えん堤

これら山火事発生域の樹木が立ち枯れた場合、表土層が脆弱化し比較的小さい降雨でも土砂移動が生ずる危険性がある。したがって今後の斜面状況観察は重要と考えられる。

(3) 山田町

山田町田ノ浜地区で山火事の痕跡を確認した。海際の宅地等で発生した火事が、斜面樹木域に燃え広がった状況がうかがえた。(写真8,9)



写真8

次に、大槌町と釜石市の境界付近で山火事の痕跡を確認した。(写真6)

下草及び木本の樹幹下部が炭化した状況である。山の裾にある住宅は津波被害からは免れていたが、裏山が山火事となっていた。この火事は、斜面の反対側が津波被害を受け住宅火災が発生し、延焼したためである。



写真6 森林斜面火災痕跡

写真9



山火事は、大槌町同様に下草が焼失し、樹木(生木)の下部(胸高以下の部分)が黒くなっている状況で、樹冠部の枝葉は通常の緑のままであった。

かなり広い範囲の痕跡を確認したが、どのエリアも状態は上記と同様であった。また、一部消火時に切り倒したものと想定される切り株群が確認された。(写真10)

下草、切り株及び伐採した樹木等 水分が少ないものだけが燃えている状況である。(写真7)



写真10 樹木の切り株の状況



写真13 長内川 河口から1.5km地点の床固工の状況 (流水による磨耗あり)

(4) 宮古 (田老地区)

田老漁港に流入する長内川には、砂防指定が掛けられ、流路工や床固工、砂防えん堤工が設置されている。(写真11)

津波の影響は、河口から約1.3kmのところまで及んでいるが、護岸天端を越流していないため河川施設及び砂防施設に損傷等は見受けられない。(写真12)

河口から1.5km地点の床固工は、震災の影響よりむしろ土砂が混入した流水による磨耗が進行している状況である。(写真13)

長内川の右支川の状況も長内川本川と同様に河口から1.5km地点にある砂防えん堤工には、異常は見受けられない。土砂の異常堆積も確認できなかった。(写真14)

同じく右支川で河口から1.0km付近には、がれきの残存が確認でき、津波の遡上痕がわかる。流路工にも被害は見られない。(写真15)



写真11 長内川 河口~1.5kmの空中写真



写真14 長内川右支川 河口から1.5km地点の砂防えん堤工の状況 (異常なし)



写真12 長内川 河口から約1.3km付近の護岸の状況 (護岸被害なし)



写真15 長内川右支川 河口から1.0km地点の流路工の状況 (流路工には被害なし)

長内川右支川の河口から 1.0 km 付近の左岸には、津波被害から免れた住宅がある。しかし、住宅の裏山は山火事が発生していた。(写真 16)

これは斜面の反対側が長内川本川の河口から 1.0 km 付近であり、津波の被害を受け、住宅火災が発生したため、裏山に火災が発生し飛び火し延焼したものと考えられる。(写真 17)

火事の様子は、他地区と同様、下草や放置された間伐材が主に燃焼していた。



写真 16 津波被害を受けていない住宅の裏山火災状況



写真 17 写真 16 の反対斜面の火災状況

3. 今後の展開

(1) 山火事斜面の継続的な調査

山火事発生域の樹木が立ち枯れた場合、表土が脆弱化し比較的小さな降雨でも土砂移動が生ずる危険性がある。

しかし、現状では下草や樹木の幹下部の樹皮が焦げている程度であり、すぐに枯れるような状態ではないと思われる。そこで、斜面の植生の状況をしばらく観察することが重要である。

植生状況把握の 1 つに植生活性度で判断する方法がある。植生活性度は、人工衛星に搭載されたセンサによって観測された衛星データを用いて植物の生物・化学的な特性に裏付けされた指標で判

断するものである。

斜面の植生状況が良くないことが判明すれば、急傾斜危険箇所調査ならびに必要なに応じて土砂災害対策検討が必要である。

(2) 津波遡上対策

今回調査した河川については、津波の影響のないところでは、河川護岸・樋門等河川構造物に被害箇所は見当たらなかった。また、河川の HWL 以下の津波の遡上については、流れが逆になっただけで上述と同様、河川構造物には被害がみられなかった。

津波が堤防を越流する場合は、津波の遡上方向によって堤防損傷のパターンは異なると考えられる。(川側からの越流と引き波による破損のパターンなど)

今回調査した河川の中には、河口に水門が設置されていたところもある。津波の遡上を防止するために、今後防潮堤が設置されると思われるが、河口部には、既存にあるものと同様な機能を持つ水門が設置されることとなる。

突然発生する津波に対して水門の操作方法は、どうあるべきか、現状の管理方法を基準に検討する必要がある。河口部が漁港等になっていれば漁船が通る可能性もあり、津波発生時に自動的に閉塞できない。安全を確認しつつ速やかに操作するため、遠隔操作等が必要である。

4. おわりに

以上、岩手県大槌町、山田町、宮古市の山火事現場を中心に被災状況を取りまとめた。

西日本でもマグニチュード 8 クラスの南海・東南海・東海地震に近い将来予想されており、今回調査した岩手県と同様な市街地の背後が山地という地形では、山火事が発生する可能性は高い。津波は免れても山火事の延焼による被害(直接的な火災あるいは、長期的な山腹斜面の不安定による土砂災害)が想定されることから、市街地火災が山火事へとつながらないような対策が必要である。

被災地の復興計画に当たっても、山火事のような二次的な被害対策も考慮した計画が必要であると思われる。

以上

阿武隈川・鳴瀬川・北上川の被害

株式会社エイト日本技術開発

保全・耐震・防災事業部

東京支社 保全・耐震・防災部

土谷基大・岩田克司・藤本哲生

1. はじめに

2011年3月11日に東北地方太平洋沖地震(Mw=9.0)が発生し、宮城県栗原市築館で最大震度7が観測されるとともに、東北地方を中心に北海道から九州地方まで震度6弱～震度1が観測された¹⁾。また、東北地方の太平洋沿岸部で広範囲にわたり津波により甚大な被害が生じた。

本稿は、図1に示すように、東北地方太平洋沖地震により緊急復旧を要する被害を生じた阿武隈川、鳴瀬川、北上川(いずれも1級河川)の河川堤防を中心に被害調査を実施し、その結果をまとめたものである。さらに、鳴瀬川の河川堤防については、2003年宮城県北部地震においても甚大な被害が発生しているため、地盤条件や地震動条件等に着目し、今回の被害との比較考察を行った。

(1) 調査概要

被害調査は目視により行い、2班(A班、B班)に別れて実施した。

【A班】

調査期間：2011年4月24日～26日(3日間)
 調査員：岩田克司、佐々木秀典、土谷基大、毛利龍司、片根弘人

対象河川：阿武隈川(下流域)、鳴瀬川(下流域)

【B班】

調査期間：2011年4月23日～25日(3日間)
 調査員：尾儀一郎、黒田修一、藤本哲生
 対象河川：北上川(下流域)

(2) 河川堤防被害の概要

今回の地震で、阿武隈川では57箇所(内、堤防の緊急復旧箇所7箇所)³⁾、鳴瀬川では156箇所(内、堤防の緊急復旧箇所7箇所)⁴⁾、北上川では、204箇所(内、堤防の緊急復旧箇所3箇所)⁴⁾において堤防に被害が発生している。図1には、各河川で緊急復旧が実施された箇所を示している。

2. 津波被害

(1) 阿武隈川河口部

図2に阿武隈川河口周辺部における津波浸水域⁵⁾を示す。浸水域は、海岸線より概ね3km内陸まで及んでいる。



図1 調査および河川堤防被害位置²⁾³⁾⁴⁾

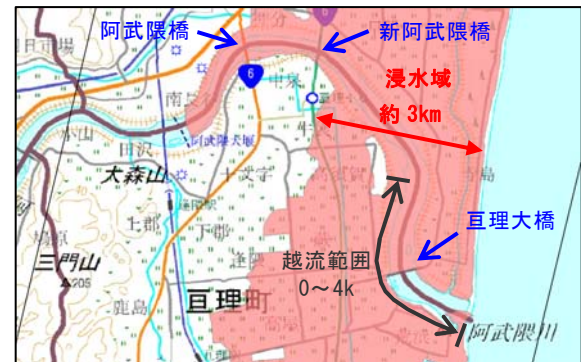


図2 浸水範囲(阿武隈川河口部)⁵⁾



写真1 堤防法面の流出

写真 1 に河口付近(亘理大橋の右岸側上流部)における堤防被災状況を示す。本地点では、堤防の堤内側法面が流出・崩壊し、周辺田畑に海水が残存していた。これは、河川を遡上した津波が堤防を越流したことによるものと推測される。ただし、図 2 に示す河口部から 4km の範囲より上流側の堤防では、このような被災形態は見られず、津波が越流した範囲は 0~4km の範囲であったと考えられる。

(2) 鳴瀬川河口部

図 3 に鳴瀬川河口周辺部の津波浸水域⁵⁾を示す。津波が河口より 4~5km 程度遡上し、内陸についても海岸線から 4~5km 程度の範囲まで浸水域が



図 3 津波浸水範囲(鳴瀬川河口部)⁵⁾



写真 2 国道 45 号南側の区域

及んでいる。

写真 2 に国道 45 号南側の区域の状況を示す。この区域では、写真に示すように、海岸線から約 2km 離れた JR 仙石線高架橋位置まで漁船が流される等、一帯に瓦礫が運ばれており、津波による海水が未だ残存していた。

一方、写真 3 に国道 45 号北側の区域を示す。この区域では浸水はあったようであるが、道路盛土の存在により、津波による甚大な被害は免れている状況であった。

(3) 北上川河口部

図 4 に北上川河口周辺部の津波浸水域⁵⁾を示す。津波が河口より 12km 程度遡上している。

写真 4 に左岸-0.8k 地点の状況を示す。本地点では、津波により堤防が決壊しており、調査実施時点(2011.4.24 時点)では逆 T 式擁壁および大型土のうにより仮復旧が行われていた。ただし、写真に示すように、仮復旧された堤防が余震により再度被災していた。

写真 5 に左岸 10k 付近の状況を示す。この地点まで津波が到達しており、川表側(堤外側)の法尻部に設置されていた蛇籠が流出していた。また、瓦礫もこの付近まで達していた。

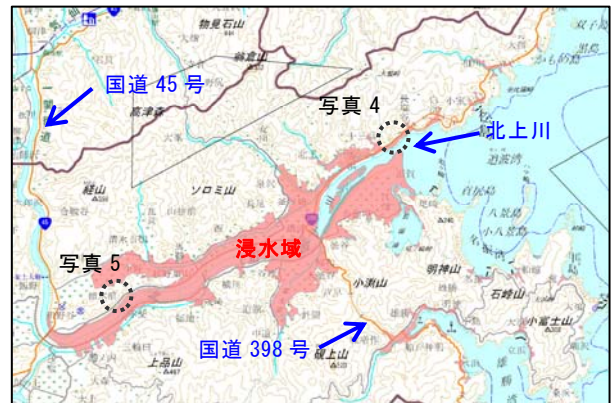


図 4 浸水範囲(北上川河口部)⁵⁾



写真 3 国道 45 号北側の区域



写真 4 仮復旧された堤防の被害



写真5 堤防法尻部(堤外側)の被災状況

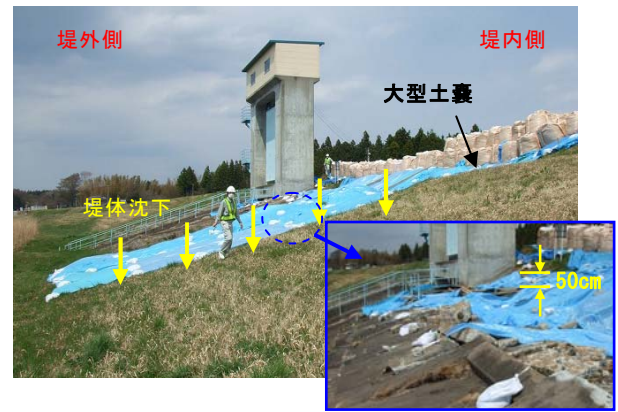


写真8 樋門周辺の護岸被害

3. 地震被害

(1) 阿武隈川下流域

写真6～写真8に阿武隈川右岸22.0k付近における被害状況を示す。本地点は、震災直後に緊急復旧箇所として指定⁶⁾されており、調査実施時点(2011.4.26時点)では、鋼矢板二重締切りによる仮堤設置によって応急復旧が実施されていたため(写真6)、詳細な被害状況は現地では確認できなかった。写真7は震災直後の状況⁶⁾であるが、堤体にすべり破壊が生じたというよりは、全体的に堤体が潰れた(沈下・流動した)ような破壊形態であ

る。この破壊形態から、本被害は堤体直下の基礎地盤の液状化が原因である可能性が高いと考えられる。

また、本地点から200m程度上流側に樋門(1970年竣工、基礎は建設年代から杭基礎構造であると推定される)がある(写真8)。ここでも地盤の液状化に伴うものと見られるが、堤体が沈下し(門柱基部で約50cm沈下)、護岸ブロックが損傷していた。樋門については、目視可能な範囲で門柱・操作台を調査したが、特に変状はなかった。

ただし、本地点でも堤体直下の基礎地盤が液状化している可能性が高いため、函体の目地開きや函体底板下の空洞化(杭基礎構造の場合)が発生している可能性があり、今後、詳細な調査が必要である。



写真6 鋼矢板二重締切りによる仮堤

(2) 鳴瀬川下流域

写真9～写真11に鳴瀬川左岸11.1kにおける被害状況を示す。堤防天端において40cm程度の段差(滑落跡)、堤内側の法面では堤体縦断方向に開口亀裂(開口幅約20cm)が複数箇所を確認された。堤防法尻部では、堤体が孕み出し、柵が道路方向に押し出されていた。

本地点では、法面に噴砂跡が確認できたため、



写真7 震災直後の被災状況⁶⁾

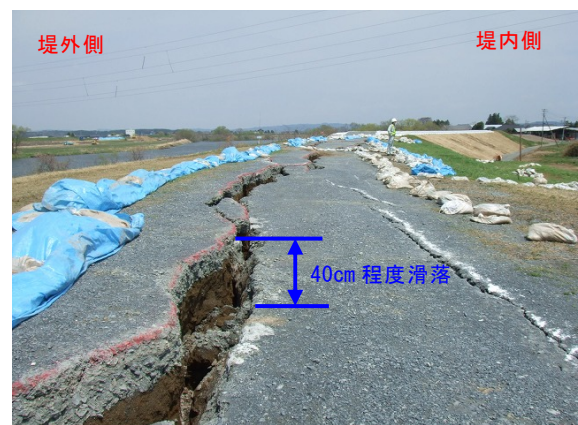


写真9 堤防天端の被害

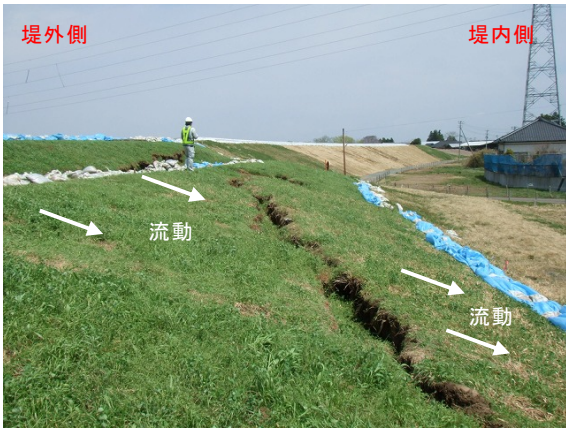


写真10 堤防法面の被害

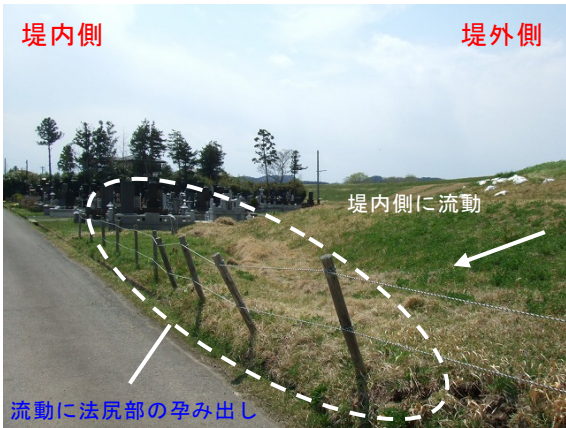


写真11 堤防法尻の被害

堤体直下地盤が液状化したものと考えられる。これにより、液状化した地盤が地盤高の低い堤内側へ側方流動し、このような被害に至ったものと推察される。

(3) 北上川下流域

写真12に北上川 26.5k 付近の状況を示す。調査前日(2011.4.23)の大雨(近傍の米山雨量観測所の24時間雨量:28mm)¹⁾で河川水位が上昇し、一部の高水敷で冠水している箇所があった。

本地点の周辺の堤防で確認された変状は、堤防天端に縦断方向の軽微な亀裂がある程度であり、噴砂跡は確認できなかったが、地震動により基礎



写真12 高水敷の冠水状況

地盤(もしくは堤体)が液状化し側方流動を生じた、あるいは、地震動により基礎地盤(もしくは堤体)の剛性が低下し、沈下を生じたものと推察される。

4. 2003年宮城県北部地震との被災状況の比較

2003年7月26日に宮城県北部地震(Mj=6.2)が発生し、宮城県の矢本町矢本、宮城南郷町木間塚、鳴瀬町小野において最大震度6強が観測された¹⁾。本地震では、今回の地震(2011年東北地方太平洋沖地震)と同様に鳴瀬川河川堤防に甚大な被害(被災箇所70箇所⁷⁾、内、緊急復旧箇所13箇所⁸⁾が発生している。これらの堤防被害の要因は、今回の地震と同様に、基礎地盤もしくは、堤体の液状化によるものと指摘⁹⁾されている。

本章では、上記2地震によって甚大な被害が生じた鳴瀬川河川堤防を対象に、地盤条件および地震動条件に着目し、各地震動での被害状況を比較することで被災要因に対する考察を行った。

(1) 微地形分類

図5に微地形分類図(250mメッシュ)¹⁰⁾を示す。図中には、宮城県北部ならびに東北地方太平洋沖地震において甚大な被害が生じた堤防の被災箇所(緊急復旧箇所)を併記している。

河口から概ね10kの地点で山地から平野(後背湿地)へと地形が大きく変化し、鳴瀬川周辺では自然堤防が分布している。そして、両地震動での堤防被害は、一般に液状化し易いとされるこの自然堤防部に集中している。

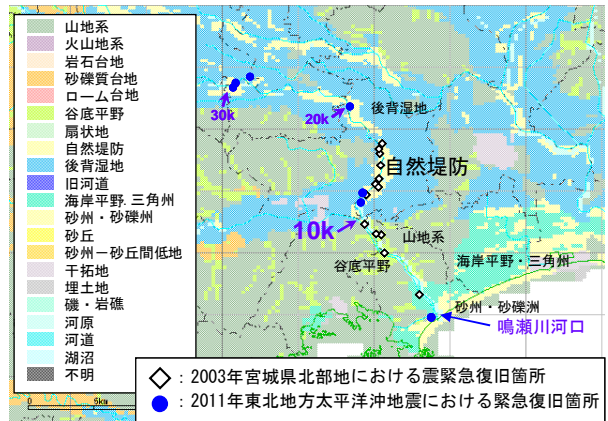
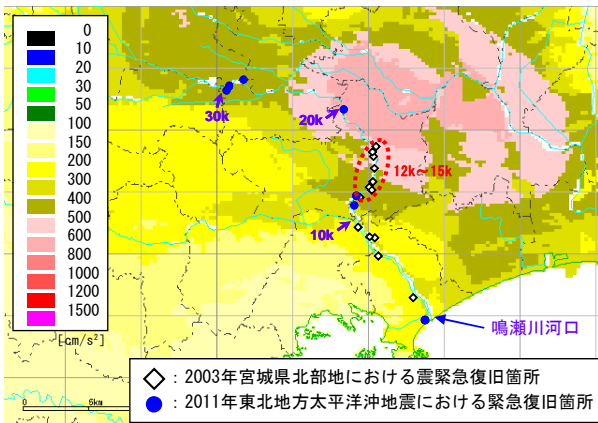


図5 微地形分類(250mメッシュ)¹⁰⁾

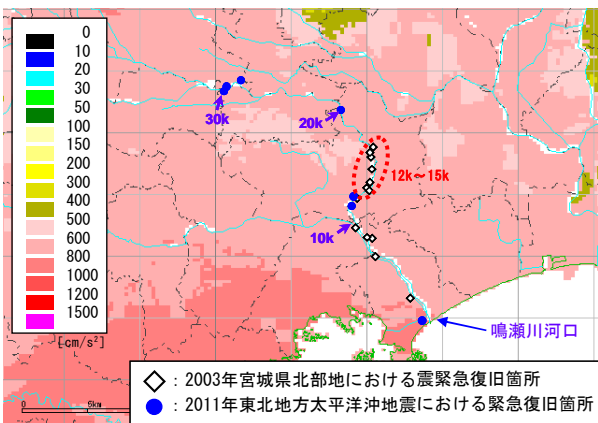
(2) 地表面最大加速度

図6に両地震動における本震の地表面最大加速度分布図(5HzPGA:5Hz以上の周波数領域をカットした地表面波形の最大加速度)¹¹⁾を示す。本図についても両地震動における被災箇所を併記している。

宮城県北部地震では、河口部より20k付近で最大800 cm/s²(図6(a))となり、被災の集中する5k



(a) 2003年宮城県北部地震



(b) 2011年東北地方太平洋沖地震

図6 地表面最大加速度の比較¹¹⁾

～15k では 300～600 cm/s²(図-4.2(b))で分布している。

一方、東北地方太平洋沖地震では、河口部から30k 超まで 800cm/s²で一様に分布しており、最大加速度としては、本地震の方が宮城県北部地震に比べ 1.3～2.7 倍程度大きい。

ただし、被災箇所としては、東北地方太平洋沖地震の方が少なくなっている。

(3) 堤防の耐震対策の効果について

図6に示すように、地表面最大加速度としては、東北地方太平洋沖地震の方が宮城県北部地震よりも大きくなっているが、被害箇所数としては東北



写真13 鳴瀬川右岸 13.1k 地点の状況

地方太平洋沖地震の方が少ない。特に、宮城県北部地震において被災が集中した 12k～15k 区間では、被災箇所が大幅に減少している。

写真13は今回の調査で撮影した右岸 13.1k 地点(宮城県北部地震における緊急復旧箇所)の状況を示す。このように、12k～15k 区間では今回の地震では大きな被害が生じていなかった。

宮城県北部地震では、緊急復旧箇所 13 箇所の中でも特に被災程度の大きかった 12k～15k 区間の被災箇所(左岸 12.2k～12.5k、左岸 12.7k～13.5k、右岸 13.0k～13.5k、右岸 14.7k～15.0k の計 4 箇所)については、本復旧時に全面的に旧堤防を撤去した後、再築堤している。さらに、図7に示すように、これらの復旧箇所は、旧堤防撤去に伴い、堤防直下の基礎地盤浅層部の地盤改良(固結)を実施¹²⁾している。つまり、12k～15k 区間の堤防については、堤体および基礎地盤が強化復旧されているため、この対策効果により今回の地震被害を低減できたものと考えられる。

一方、30k 地点では、宮城県北部地震よりも大きな地震力が堤防に作用しており、12k～15k 区間のように堤防が強化されていないため、今回の地震により新たに被災が発生したのと考えられる。

なお、東北地方太平洋沖地震では河口部で被害が生じているが、これは津波により特殊堤が流出した箇所であり地震動によるものではない。

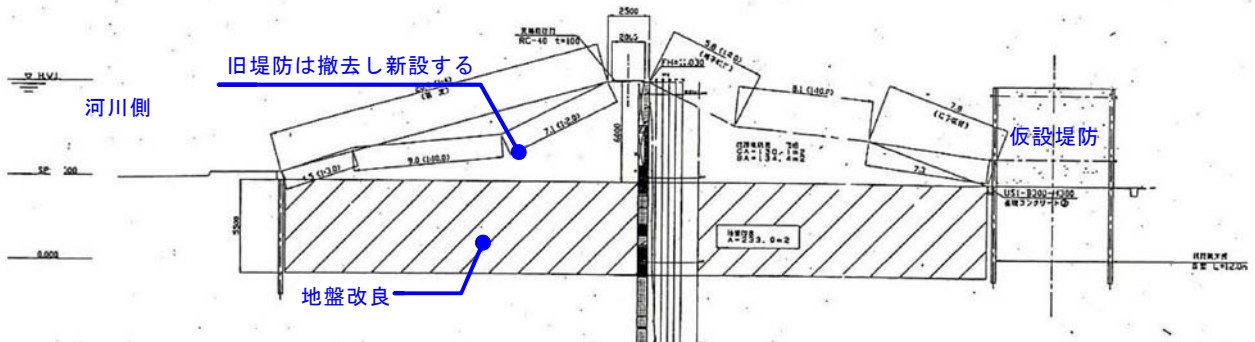


図7 本復旧横断面図(鳴瀬川左岸右岸 12.96k～13.194k)¹²⁾

5. まとめおよび今後の課題

(1) まとめ

本稿では阿武隈川、鳴瀬川および北上川における河川堤防の被害調査結果をまとめるとともに、鳴瀬川については 2003 年宮城県北部地震による被災との比較を行い、堤防の耐震対策工の効果について考察した。以下にこれらの結果をまとめる。

- [1] 各河川の河口部では、津波により甚大な被害が生じていた。ただし、一部区域で海岸線に平行して通る道路盛土が津波を遮断・抑制し、壊滅的な被害を免れている様子が見られた。
- [2] 各河川の下流域で発生した堤防被害の主要因は、堤体もしくは基礎地盤の液状化である可能性が高い。これは、従来言われてきた河川堤防の被害要因に関する見識と一致する。
- [3] 今回の地震における河川堤防の被害は、2003 年宮城県北部地震での被害と比較し、被災箇所(緊急復旧箇所)自体は減っている。これは、宮城県北部地震によって被災した箇所において堤防が強化復旧(堤防再構築、地盤改良)されていたことが要因であると考えられる。
- [4] 堤体材料や施工管理状況が不明な旧堤防を撤去し新たに築堤することや、基礎地盤を地盤改良することは、堤防の耐震対策として一定の効果があることが確認された。

(2) 今後の課題

- [1] 堤防再構築や地盤改良による堤防の強化復旧は耐震対策として一定の効果が認められたことから、今回被災していない堤防区間に対しても耐震対策を積極的に実施する必要がある。
- [2] 余震活動が活発化しており、今後 M7 クラスの余震が発生する可能性が高い。このような地震が出水期と重なった場合には、更に被害が拡大する可能性がある。このため、ハード面での対策を進めるとともに、周辺住民に避難意識を高めるようなソフト面での対応が望まれる。
- [3] 今回の地震により広範囲にわたり地盤沈下が発生している(図 8)⁴⁾ことに十分留意し、堤防整備にあたっては余裕高の再照査が必要である。

参考文献

- 1)気象庁ホームページ:<http://www.jma.go.jp/jma/index.html>
- 2)Google マップ:<http://maps.google.co.jp/>
- 3)国土交通省東北地方整備局 仙山河川国道事務所:平成 23 年(2011 年)東日本大震災 被災状況速報(河川・海岸編)第 12 報
- 4)国土交通省東北地方整備局 北上川下流河川事務所:地震被害情報(第 102 報),H23.5.27
- 5)国土地理院ホームページ: <http://www.gsi.go.jp/>
- 6)国土交通省東北地方整備局 河川部:東北地方太平洋沖地震における河川関係の被害及び復旧状況(第 2 報)~16 箇所にて緊急復旧を実施中~,H23.3.27
- 7)国土交通省東北地方整備局:宮城県北部を震源とする地震による東北管内情報について(第 27 報),H15.7.29
- 8)国土交通省東北地方整備局 北上川河川事務所:北上川河川事務所地震情報,H15.8.12
- 9)中山修,鈴木善友:宮城県北部地震における堤防の被災メカニズム,(財)国土技術研究センター JICE REPORT vol.7,2005.3
- 10)地震ハザードステーション J-SHIS:
<http://www.j-shis.bosai.go.jp/>
- 11)(株)エイト日本技術開発:2011 年東北地方太平洋沖地震被害調査報告 地震と地震動,2011.6
- 12)国土交通省東北地方整備局北上川河川事務所ホームページ:平成 15 年 7 月 26 日宮城県北部を震源とする地震 鳴瀬川・北上川被害状況 (http://www.thr.mlit.go.jp/karyuu/_update/whatsnew/h15/2003_7_26_jishin_sokuhou/index.htm)

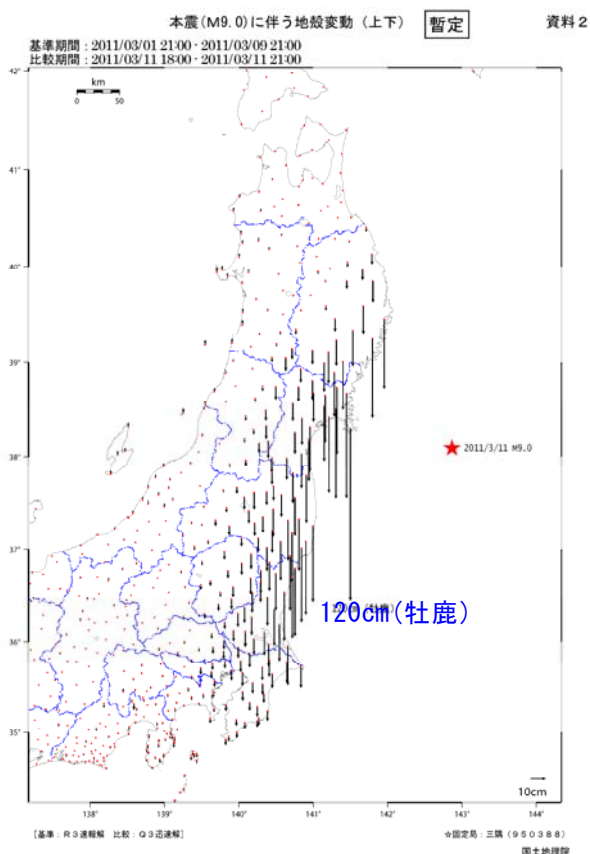


図 8 地盤沈下調査結果⁵⁾

河川構造物(コンクリート構造)の被害

株式会社エイト日本技術開発
保全・耐震・防災事業部
関西支社 保全・耐震・防災部

藤田 亮一

1. はじめに

本論では、コンクリート造の河川構造物(水門・重力式ダム)の被害状況について報告する。水門の被害は津波によるものと地震動によるものに大別され、深刻な被害は主として津波によるものであった。重力式ダムは本体の損傷はほとんど認められず、付属構造物に若干損傷が見られる程度であった。

2. 水門の被害

2. 1 被害の特徴

水門の被害として特徴的に確認されたのは以下の状態である。

(1)主に津波による被害

- ・鋼製門扉、操作橋の流失
- ・戸当り部の損傷

(2)主に地震動による被害

- ・門柱基部のひび割れ
- ・管理橋の損傷
- ・戸当り部の損傷

津波による被害については、津波襲来時に上部にあった操作橋や門扉が流失する傾向にあり、下部にあったものは残存しているものが多かった。道路橋の上部構造と同様に揚圧力・浮力による被害と思われる

一方、地震動による被害については、本体は損傷なしあるいは軽微な損傷にとどまっており、付属物が損傷する傾向であった。構造物の安全性の観点では被害がほとんど無かったが、機能保持の観点では問題が生じていたと思われる。

以下にそれぞれの事例を列挙する。

2. 2 津波による被害例

津波による被害例として、南三陸町の河口付近に設置された防潮水門の例を挙げる。写真1は歌津川河口付近の防潮水門の被災状況である。参考として平成21年頃に同施設を撮影した写真を写真2に示す。



写真1 歌津川河口付近の防潮水門



写真2 平成21年頃の様子



写真3 門柱付近の損傷状況



写真4 水門と操作橋の流出

本施設は3門の水門を有しているが、そのうちの1門が流出しており、同じ箇所のお操作橋も上流側に落下している。写真3に示すように、戸当たり部の上部でコンクリートが欠損しており、津波襲来時に巻き上げられていた門扉が津波により押し流される際にゲートの主ローラーから大きな荷重が作用してコンクリートが破損したと考えられる。操作橋にはチェーンタイプの落橋防止装置がついているが、門扉が流出した箇所については津波により定着部から引き抜かれてしまっている。操作橋直下に門扉があり、津波の波力が操作橋に伝わりやすい状況になっていた(操作橋の下を水が通り抜けず、せき上げのような効果により波力が操作橋に作用した)と考えられる。

もう一つの被災事例として水尻川河口付近の防潮水門を挙げる。写真5および写真6は被災前後の水門の状況である。さきほどの事例と同様に、上部にあった操作橋が流失している(写真7)。門扉は全て残存していたが、戸当たり部を確認すると、主ローラーが戸当たりコンクリートに衝突したと思われる痕跡が確認できた。門扉が津波により押し流され、主ローラーと戸当たりが激しく衝突したと思われる。

この戸当たりコンクリートについては、FEMによる解析で、かなり大きな津波力が作用しても損傷が限定され致命的な状態にはならないことが他施設における検討で確認できている。今回挙げた施設についても、設計時の想定以上の荷重が作用していたと思われるが、戸当たりコンクリートの



写真7 操作橋・管理橋の流出



写真8 ローラーの衝突痕

損傷が限定的であったのは解析結果とよく整合しているといえ、設計上 NG であったとしてもそれが直接機能消失にはつながらないと考えられる。

2.3 地震動による被害例

次に、地震動による水門の被害例として南沢川水門を挙げる。当該施設は北上川の支流である南沢川が合流する箇所にある施設である。昭和56年に竣工しており、いわゆるレベル2地震動に対しての設計はなされていないと考えられるが、この付近は震度6弱程度の揺れを生じており、入力された地震動のレベルはレベル2相当であったと推定される。したがって、それなりに損傷を生じてもおかしくない状況であったと思われるが、損傷は極めて限定的であった。

写真9は南沢川水門の被災後の外観であるが、二径間の片側で上部の操作橋が撤去されていた。支持金物に切断したような痕跡が見えることから(写真10)、地震後に不安定になっていたものを切断・撤去したと考えられる。撤去された操作橋は管理橋上に保管されていた(写真11)。門柱にも若干のコンクリートの損傷が認められたが、いずれも付属物とのとりあい部に生じており、構造



写真5 水尻川河口付近の防潮水門



写真6 平成21年頃の様子

物本体の振動が原因では無く、付属物との振動周期の差に起因するものと思われる。以上のように、構造本体には大きな損傷は生じておらず、付属物の損傷が目立っていた。



写真9 南沢川水門

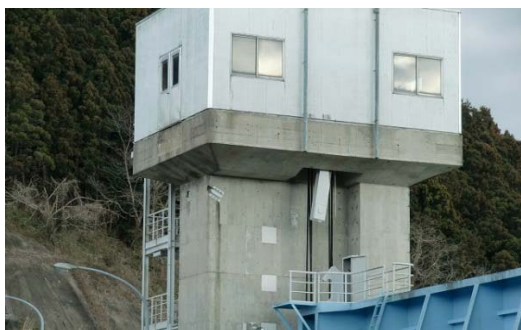


写真10 操作橋支持部の損傷



写真11 撤去された操作橋



写真12 門柱基部のひび割れ

3. 重力式ダムの被害

3.1 被害の特徴

重力式ダムの被害として特徴的に確認されたのは以下の状態である。

(1) 堤体本体の被害

- ・ 堤体軸線折れ点でのひび割れ、目開き
- ・ 堤体目地、打継目でのひび割れ、目開き

(2) 付属構造物の被害

- ・ 一体型取水塔建屋の損傷
- ・ 管理橋高欄の損傷

堤体本体の被害はほとんど認められなかったが、堤体軸線が折れ線になっているような構造変化点を有するもので若干ひび割れ等が確認された。

付属構造物の被害については、堤体天端付近に設置された施設に被害が多く見られた。重力式コンクリートダムの堤体天端の加速度は、一般に基部の3～5倍に増幅されるため、大きな加速度で付属物が損傷したと考えられる。

3.2 堤体の被害例

堤体の被害例として岳ダムを挙げる。当該ダムの堤体軸線は2カ所で折れ曲がっているが、そこにひび割れや目地の目開きが生じており、構造的な弱点となっていたと考えられる。堤体下流面にはところどころコンクリートの剥落が確認された。管理事務所の方の話によれば、堤体の漏水量は地震前後で変化していないようであり、上記のような損傷は認められたものの、堤体の健全性は保たれていると考えられる。



写真13 岳ダムの堤体下流側



写真14 堤体天端(軸線が折れている)



写真 15 堤体のひび割れ

3. 3 付属施設の被害例

付属施設の被害例として三春ダムの例を挙げる。当該ダムでは堤体の損傷は確認できなかったが、堤体一体型の取水塔建屋と、堤体天端の高欄でコンクリートのひび割れや剥落が確認された。

取水塔建屋については、堤体天端での本体との取り合い部であり、堤体によって取水塔が大きな加速度で振動させられた結果であると思われる。

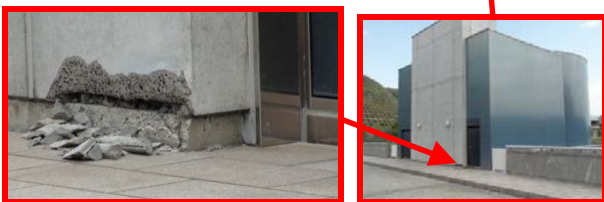


写真 16 取水塔建屋基部のコンクリート剥落



写真 17 堤体天端の高欄のひび割れ

同様な理由から、堤体天端にある高欄にも鋼製手摺とコンクリート壁の接合部付近でひび割れが多数生じていた。堤体はレベル2地震動相当の荷重に対しても大きな損傷は生じないが、付属施設、特に耐震設計をしていないものについては損傷を生じる可能性が高く、場合によっては機能面で大きな支障を生じる可能性があるといえる。

4. おわりに

本論では、コンクリート造の河川構造物(水門・重力式ダム)の被害状況について報告した。津波による部材の流失についてはこれまでにあまり知見が無かったため、これからの地震対策の中で設計法・照査法を含めて検討していく必要があると考えられる。地震動による被害については、設計法にはまだ十分反映されていないものの、解析と実現象はある程度整合していると思われる。今後は、実現象をふまえた設計法の改良や、本体構造以外の付属施設・付属物に着目した地震対策が重要になってくると考えられる。

岩手・宮城・福島県内のダムの被害

株式会社エイト日本技術開発

関西支社 保全・耐震・防災部

尾儀一郎・黒田修一・藤田亮一・藤本哲生

東京支社 保全・耐震・防災部

福島康宏

神戸支店 河川・港湾部

見掛礼一郎

1. はじめに

2011年3月11日14時46分に発生した東北地方太平洋沿岸地震は、三陸沖から宮城県沖、福島県沖、茨城県沖にかけて生じたプレート境界型低角逆断層の破壊によるもので、マグニチュード9.0という我が国周辺に発生した地震としては最大級の規模の地震となった。断層の大きさは約500km×200kmに達すると言われている。気象庁¹⁾は当初、マグニチュードを7.9と速報したが、その後、9.0と修正した。この地震により、三陸沖から宮城県沖、福島県沖、茨城県沖の広範囲な地域で地震動による被害だけでなく津波による甚大な被害が生じた。日本政府はこの地震による震災を東日本大震災と命名された。

今回の地震では海岸部での津波による被害が大きくクローズアップされているが、内陸部、特に福島県内では日本のダム史上最悪の被害となった

藤沼ダム決壊の被害^{6),8)}も発生した。本報では、岩手、宮城、福島県内のダム被害に着目し、ダム本体および附属施設の目視による被災状況や、地震動とダム堤体被害との関係について整理した結果を報告する。

2. ダムの調査結果

2.1 調査概要

表1に現地調査を実施したダムの一覧を示す。また広域地質図³⁾に、今回調査したダムの位置をプロットした結果を図1に示す。今回調査したダムのうち、ダム本体に被害を受けたダムは、福島内陸部のいわゆるグリーンタフ地帯に位置し、ダム本体に大きな被害を受けていないダムの多くは海側の花崗岩地帯に位置している。グリーンタフ地帯は、新第三紀や第四紀の固結度の弱い層を主体としている。調査は弊社の自主調査であり、

表1 ダム調査箇所と被害概要

調査日	名称	形式	部位	変状の種類
2011/4/23	田瀬ダム	重力式	堤体	天端付近のコンクリート片の剥落、本体変状なし
			貯水池周回道路	舗装面の亀裂、段差(すべり崩壊による)
	日向ダム	重力式	堤体天端道路	舗装面の亀裂、堤体本体に変状なし
	綾里川ダム	重力式	進入道路	舗装面の亀裂・段差、堤体本体に変状なし
2011/4/24	金越沢ダム	ロックフィル	取水塔建屋	壁面クラック、堤体本体に変状なし
			堤体天端道路	舗装面の亀裂
	相川ダム	ロックフィル	洪水吐	橋梁背面の沈下
2011/4/25	樽水ダム	ロックフィル	—	変状なし
	大倉ダム	アーチ(2連)	堤体天端道路	舗装面の亀裂(アバット)
	釜房ダム	重力式	—	変状なし
2011/5/13	山の入ダム	アース	取水設備、進入路	取水設備の張コン陥没、湖内進入路の変状
	岳ダム	重力式	堤体・周辺法面	打ち継目クラック、吹付けコンクリート剥離
	三ツ森ダム	アース	堤体	天端クラック、上流のり面変状
2011/5/14	高柴ダム	アース	洪水吐	モルタル剥離
			—	変状なし
	三春ダム	重力式	取水塔建屋、高欄	クラック、堤体本体に変状なし
	金沢ダム	重力式	—	変状なし
	深田ダム	アース	堤体	天端クラック、リップクラック乱れ
2011/5/15	藤沼ダム	アース	堤体	堤体の破堤
			下流域	下流域3km集落まで被災
2011/5/15	龍生ダム	重力式	—	変状なし
	羽鳥ダム	アース	堤体	下流側のり面表層崩壊
	西郷ダム	アース	堤体	天端縦断クラック、上流側のり面変状
	堀川ダム	ロックフィル	堤体	天端路肩ずれ、リップクラック乱れ
2011/5/16	赤坂ダム	アース	堤体	天端クラック、上・下流のり面変状
	千五沢ダム	アース	—	大きな変状なし

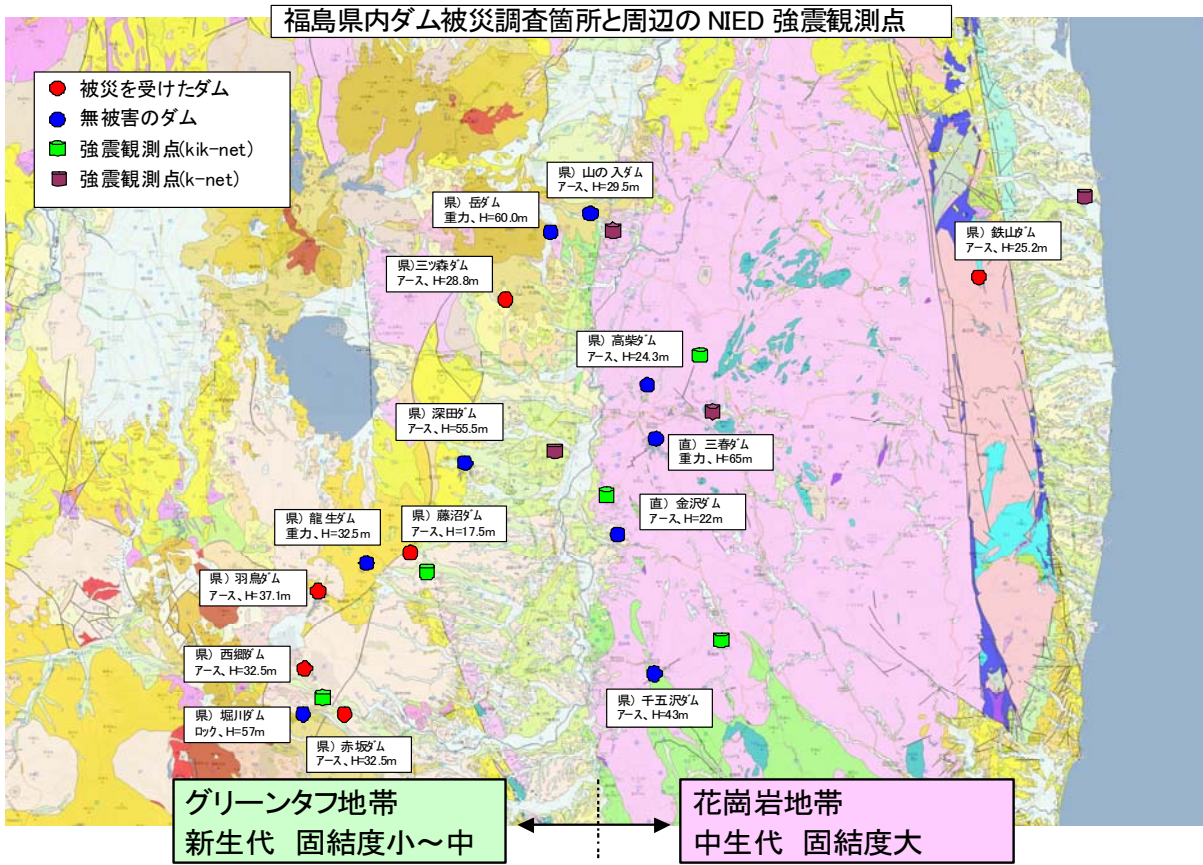
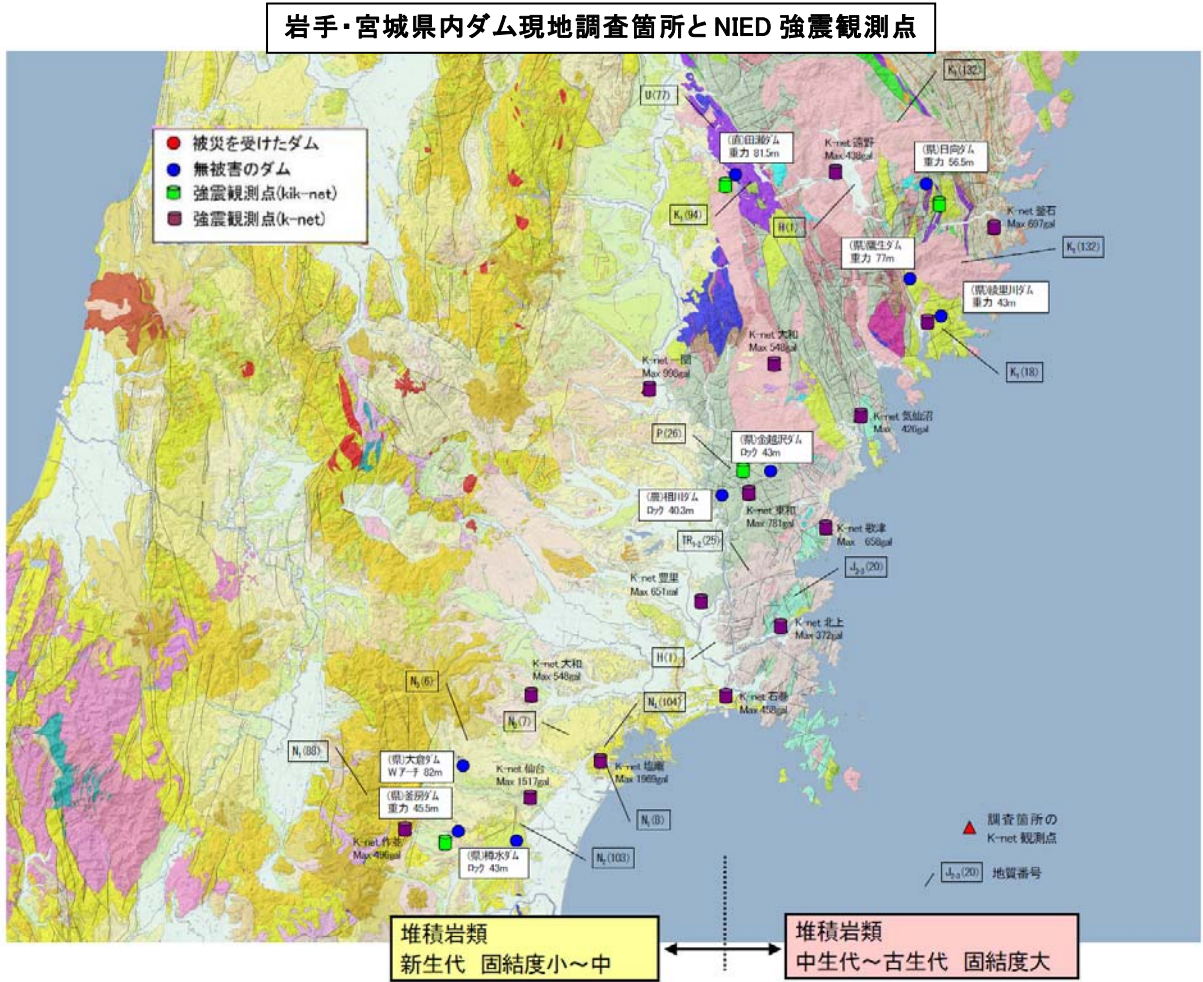


図1 ダム現地調査位置と広域地質図

漏水量や変形等の堤体観測結果の情報は得られないことから、調査は堤体の変状等に着目した目視調査を基本とした。また、現地計測が可能な箇所では常時微動観測を行い、ダム堤体の固有周期を確認し、近傍の強震観測点(NIED 観測点)²⁾から推定した地震動とダム堤体被害との関係について整理した。

2.2 重力式ダム調査結果

重力式ダムの調査は、岩手～福島県内の9箇所について実施した。調査ダムは、堤高 $H=32.5\sim 81.5\text{m}$ 、気象庁震度階で5強～6弱¹⁾に位置するものであった。

(1) 目視調査結果

ダム堤体本体は、ダムの機能に影響を及ぼすような被害はなく、図2に示すように堤体軸線折れ点、堤体目地、打継目でのひび割れ、目開きなど構造変化点での損傷が見られた。



図2 岳ダムでの構造変化点での損傷

一方、付属構造物の被害は、一体型取水塔建屋、図3に示す管理橋高欄の損傷であった。一般に重力式ダムでは、堤体天端の加速度は基部の3～5倍になるため、大きな加速度により付属物が損傷を受けたものである。



図3 三春ダムにおける高欄部ひび割れ

(2) 重力式ダムのクラック損傷判定

調査対象とした重力式コンクリートダムでは、堤体本体への損傷はなく、図4に示す損傷判定図からもクラックを生じていないことが確認される。この損傷判定図は、100ケース超のパラメータスタディに基づき、堤高と基盤加速度から重力式ダムの損傷程度を概略推定することが可能であり、今後、ダムのレベル2地震動耐震性能を評価する際の、一次スクリーニングや動的応答解析を用いた計算結果の照査に活用できるものである。

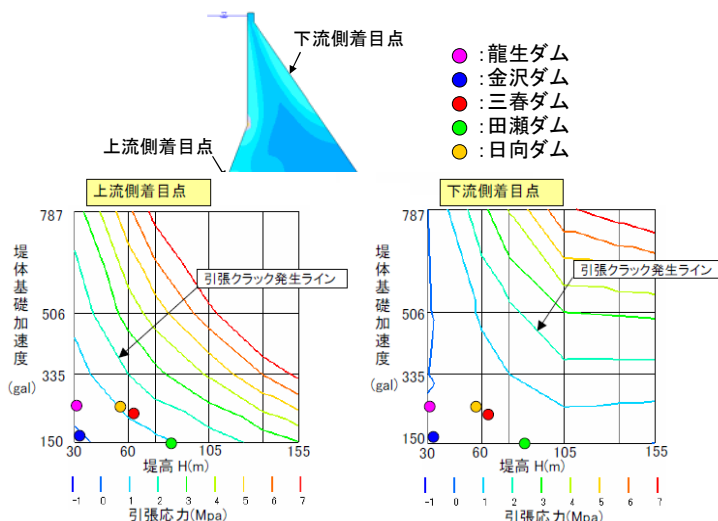


図4 重力式ダムのクラック損傷判定図

2.3 フィルダム調査結果

フィルダムの調査は、岩手～福島県内の4箇所のロックフィルダム、10箇所のアースダムについて実施した。ロックフィルダムは、堤高 $H=40.3\sim 57\text{m}$ 、アースダムは、堤高 $H=17.5\sim 55.5\text{m}$ 、気象庁震度階で5強～6弱に位置するものであった。

ロックフィルダムでは、堀川ダムにおいて、天端路肩のずれや、上下流面におけるリップラップ材の乱れ等は見られたが、ダムの機能に影響を及ぼすような被害は発生していない。一方、アースダムについては、藤沼ダムの決壊等、ダム機能に影響する大きな被害が発生した。以下、被害の大きかったアースダムについての被害概要を述べる。

(1) 三ッ森ダム

1) ダムの概要

三ッ森ダムは、 $H=28.8\text{m}$ のアースダムである。

2) 震度と地震外力

当該ダム近傍の気象庁震度は、震度5強(大玉村)¹⁾であった。ダム近傍には強震観測点はないが、最も近いk-net 二本松の観測点で、地表最大加速度は391gal²⁾であった。

堤体形式	均一型アースダム	
堤高(m)	28.8	
堤頂長(m)	205	
堤体積(m ³)	265,000	
総貯水容量(m ³)	720,000	
流域面積(km ²)	16.1	
湛水面積(ha)	8	
法面	上流側	1:2.5
勾配	下流側	1:2.5
竣工年	1940年	
ダム事業者	福島県	

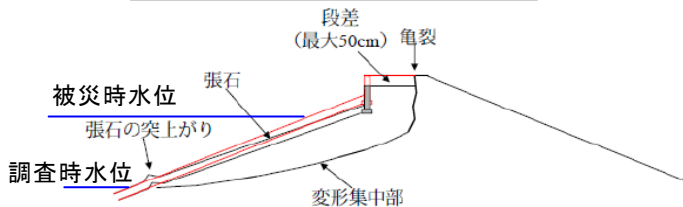


図5 ミツ森ダム概要図⁵⁾

3) 貯水位

地震発生時の貯水位の状況は不明であるが、被災の状況から判断すると常時満水位程度はあったかと思われる。調査時点でも水位低下放流がなされており、2割程度の貯水位であった。

4) 目視調査結果

当ダムは、今回の調査で見たアースダムのうち、最も被災状況が大きなダムのひとつである。

調査の結果、天端と上流面において、大きな変状が確認できた。その他、右岸余水吐き掘削法面のモルタルの剥離が挙げられる。

堤体全長にわたり堤頂に縦亀裂が発生。上流側に開口幅 70cm、沈下 70cm の段差を生じる。



上流側パラペットが傾斜、沈下を生じる。

上流側張石面の変状



張石が全長にわたり筋状に付き出る。すべり面下端と推測される

余水吐きや取水設備、およびこれら構造物と堤体盛土との接合部等については、特に変状は認められなかった。

天端のクラックは、ダム軸方向ではほぼ堤長全体に入っており、幅 80 cm、深さ 70 cm、上下流の段差は最大 50 cm 程度以上の規模である。

クラックの規模は、堤体中央部ほど大きいようであった。この状況から地震によって、上流側にすべり破壊が生じたようである。この影響は上流面にも現れていた。上流面の変状は、このすべりを裏付けるべく、表層のリップラップ材が浮上り、その配列が乱れており、大きく損傷していることが伺える。ちなみに、リップラップ材の浮き上がりは 8 cm ~ 10 cm であった。パラペットの堅壁そのものが上流側に傾いていた。上流面の低標高部では、堤体そのものがはらみだしており、これがすべり面の下端となっているようである。

5) 原因の推定

地震直後、どの程度貯水位があったかは定かではないが、地震に伴う上流側への円弧すべりによるものと考えられる。

6) 今後の対応

今回の地震動の調査結果と併せて、原因究明を行う必要がある。ダム天端で見られる段差から想定すると、コア部もそれなりに損傷しているものと考えられる。今後は、先ずコアの損傷度合いを

図6 ミツ森ダム堤体被害状況

把握することが大切である。このためには、クラックの進展範囲を確実に把握することが重要であり、クラックに石灰水を流し込み固結を待ってトレンチ掘削を行う目視調査や塩水を用いた電気探査等を行う必要がある。この結果を踏まえ、上流側の円弧すべりの検討を行い、被災時の現象を同定する必要があり、堤体材料の試験を行い、物性値を確認しておくことが必要である。

(2) 藤沼ダム

1) ダムの概要

藤沼ダムの概要を図 7 に示す。堤高 H=18.5m の均一型アースダムである。

堤体形式	均一型アースダム	
堤高(m)	18.5	
堤頂長(m)	133	
堤体積(m ³)	99,000	
総貯水容量(m ³)	1,504,000	
流域面積(km ²)	8.8	
湛水面積(ha)	20	
法面	上流側	1:2.8、1:2.5
勾配	下流側	1:2.5
竣工年	1949年	
ダム事業者	江花川沿岸土地改良区	

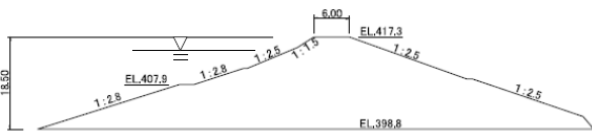


図 7 藤沼ダム概要図

2) 震度と地震外力

当該ダム近傍の気象庁震度は、震度 6 弱 (須賀川市長沼支所) 1) であった。図 8 に示すようにダムから 2km の位置に kik-net 長沼の強震観測点が

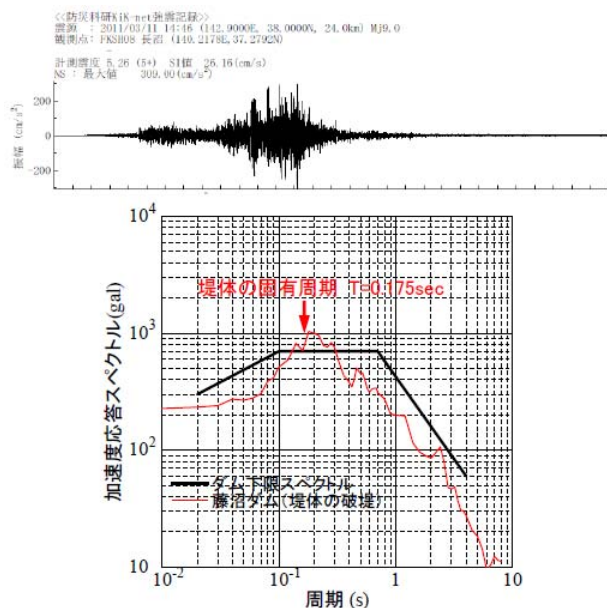


図 8 藤沼ダム近傍での観測波形

あり、地表面最大加速度は 309gal²⁾であった。

2) 貯水位

地震発生時の貯水位は、田植えに備えほぼ満水位に近い状態であった。

3) 目視調査結果

藤沼ダム周辺の被災状況を図 9 に、ダム堤体の破堤状況を図 10 に示す。当ダムは、堤高 18.5m の均一アースダムである。アースダムのポイントは、いかに浸潤線を下げられるかという点にあり、このためドレーン等を配置することが必要不可欠である。しかし、湖岸の銘板によるとそのようなドレーンはなく、アースダムでありながらグラウトがなされている。アースダムにおいて、グラウトすることを前提とすることは考え難い。いつの時点で、このグラウトがなされたかは定かではないが、おそらく漏水が激しくなり、やむを得ず、グラウトにより対処せざるを得なかったものと考えられる。このように漏水が多いということは、施工当事、十分な締め固め施工がなされていなかったことが想定される。

一方、現地の方の証言によると、地震後、土煙を上げながら黒い波が来たことと、地震後 20 分の時点で堤体の越流が始まっていたとの証言から地震発生直後に壊れたようである。地震被災直後にすべり破壊→越流破壊につながったもの



図 9 藤沼ダム下流側等の被害状況

藤沼ダム本堤の被害



③ ダム軸左岸側から右岸望む
右岸側の堤防は堤長の1/3が全て流出する。最初の破堤箇所・湖水の集水箇所



② ダム軸右岸側から左岸望む
左岸側の堤防は残存し、堤体の下流側は筋状に流水で浸食され、流出する。



④ 右岸側破堤断面



① ダム破堤遠景
下流側へのすべり破壊(推定)により本堤が破堤する。

図 10 藤沼ダム堤体の被害状況

と推測される。また右岸側の奥には破堤を免れた副堤があるが、貯水池側に大きくすべり破壊を生じていた。この現象は、本堤の破堤が一気に起こり、急激な水位低下に伴う残留間隙水圧によるものと推測される。

4) 破堤のメカニズム

今回の被災のメカニズムとしては、継続時間の長い地震力によって、先ず上流側ブロック張り上端を始点とした下流側へのすべり面が発生し、すべりに伴う残留変形が堤高不足を生じさせ、貯水が集まりやすい右岸側に越流が発生し、浸食とともに堤体が耐えられなくなり、堤体を押し流したものと想定される。図 11 は、下記に示す堤体の状況・目撃者の証言に基づき、破堤メカニズムを試算した結果である。

- ① 地震時の水位はほぼ満水位であった。⁴⁾
- ② 右岸側の破堤箇所は完全に流出しており、すべり破壊により崩れた。同材料と想定される副堤は円弧すべりで破壊している。
- ③ 地震 20 分後に堤体の越流が始まっていた。⁴⁾

堤体材料は現地状況から砂質粘土と想定され、満水状態での浸潤面、想定されるすべり面とそのすべり面に生じる残留変位を算定したものである。粘着力を持った土質の場合、安全率が最小となる円弧は、深い大きなすべりが一般的であるので、本堤右岸よりの最大断面で破堤したものと推測

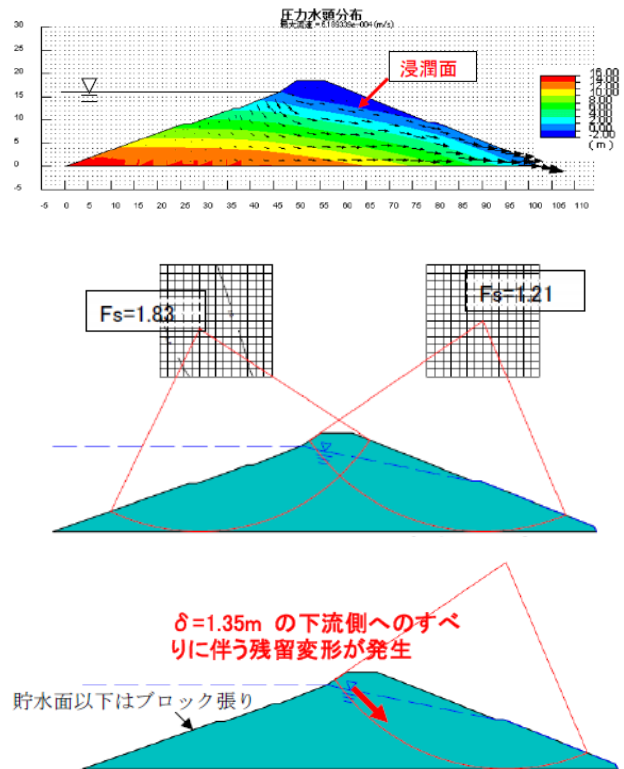


図 11 破堤メカニズムの推定

る。これに対し左岸側では、堤体がほぼ水平面を呈し残っているが、これは、施工時の転圧層沿いに、堤体がなくなったもので、この点からも施工時の転圧不足が想定される。今後、この藤沼ダムをどのように復旧するのかは、現時点では不明で

あるが、従来どおりの利水容量が必要ならば、同じ規模のダムを建設することになると想定される。ダムサイト地質から想像すると、アースダムの可能性は高いが、遮水性の確保には十分留意する必要がある、5.今後の課題・留意点に示す上流側にコアゾーンを設けた型式が良いと考えられる。

5) 今後の対応

- ① 逆解析
現地材料特性を反映した、被災状況の再現。
- ② ダムサイト周辺の地質構造の把握。
- ③ 堤体材料の賦存量の検討とダムの型式検討。

(3) 羽鳥ダム

1) ダムの概要

羽鳥ダムの概要を図12に示す。堤高 H=36.8m のゾーン型アースダムである。

2) 震度

当該ダム近傍の気象庁震度は、震度5強（天栄村）¹⁾であった。

3) 貯水位

地震発生時の貯水位は不明であるが、他の速報等の写真からみると、3/30時点での水位は、満水位から5~6m程度低い水位であったと思われる。調査時点ではそれほど水位は下げられておらず、満水位から7~8m程度低い水位かと想定された。

堤体形式		中心コア型アースダム
堤高(m)		37.15
堤頂長(m)		169.5
堤体積(m ³)		318,000
総貯水容量(m ³)		27,321,000
流域面積(km ²)		42.7
湛水面積(ha)		201
法面	上流側	1:2.8、1:2.5
勾配	下流側	1:2.5
竣工年		1956年
ダム事業者		東北農政局

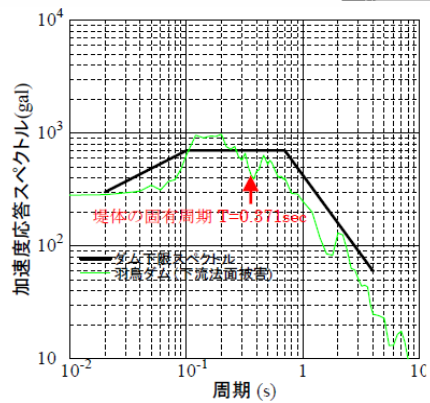
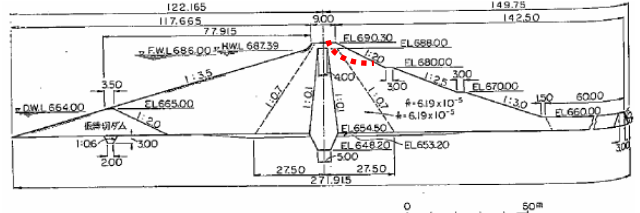
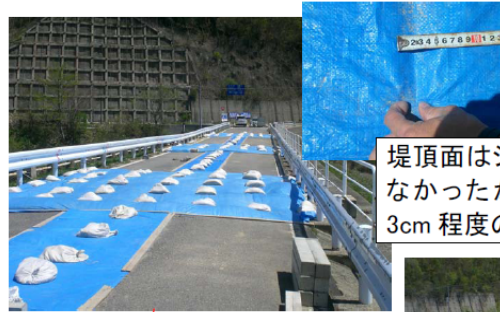


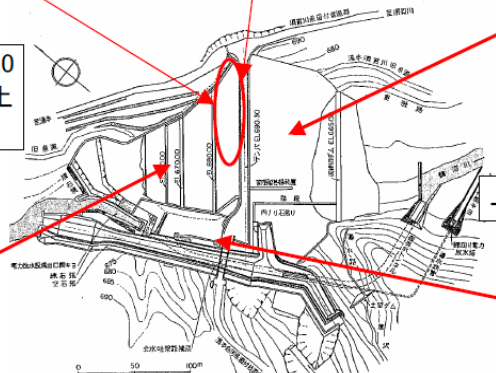
図12 羽鳥ダム概要図⁷⁾

下流側法面の変状。堤頂面の沈下と下流側に沈下が発生する。シートで覆われ確認できなかったが、法面に亀裂が発生する。



堤頂面はシートで覆われ確認できなかったが、舗装継目に沿って3cm程度の開きが発生する、

下流側のみ変状は法面勾配が 1:2.0 と急なため生じたためと推測。なお上流側の法面勾配は 1:3.5 である。



上流側法面には目立った変状なし



管理橋アバット部の損傷

図13 羽鳥ダム堤体の被害状況

3) 目視調査結果

図 13 に被害状況を示す。調査の結果、天端のクラックと、それに伴う下流面、天端高欄、管理橋アバット部において変状が認められた。余水吐きや取水設備には、変状は認められなかった。天端のアスファルト舗装に生じたクラックは、ダム軸方向のもので堤体の中央部から右岸側にかけて見られた。ブルーシートが掛けられ、確認できていないが、クラックの位置は天端の中央に 2～5cm の幅で入り、天端幅が 9m と広いので、ダム軸を境としたアスファルトの施工継目に沿って発生したものと想定される。他ダムと異なり上流面の変状は無く、下流面に変状が見られることが特徴である。下流面の変状は、天端 (EL.690.3m) から一段目の小段 (EL.680.0m) 間の法面に見られた。天端の肩からわずかに下流面の法面が凹型にへこみ、法高の 1/3 程度の高さあたりでわずかにほらみだしている状況であった。この一段目の小段を越えて、さらに下位標高には影響がなかった。天端高欄の天端や基礎部分においてコンクリートの剥離が見られた。

4) 原因の推定

地震に伴う下流側への表層すべりによるものと考えられる。最上段法面に発生したすべりは、最上段ののり面勾配が 1:2.0 と、他の法面勾配(1:3.5)に比べ急なため、慣性力によるすべり破壊と推測される。

(4) 西郷ダム

1) ダムの概要

西郷ダムの概要を図 14 に示す。堤高 H=32.5m のゾーン型アースダムである。

2) 震度と地震外力

当該ダム近傍の気象庁震度は、震度 6 弱 (西郷村熊倉) ¹⁾であった。ダムから 2.5km の位置に kik-net 西郷の強震観測点があり、地表面最大加速度は 1062gal²⁾であった。

3) 貯水位

地震発生時の貯水位は、他の速報等の写真をみると、ほぼ満水位に近い水位であったものと思われる。調査時点では満水位から 10m 程度下がりの水位と思われ、水位低下放流がなされていた。

4) 目視調査結果

西郷ダムも三ッ森ダムと同様、被害の大きいダムである。被害は、天端のクラック、それに伴う天端パラペットの傾斜と上流面の変状が挙げられる。特に上流面は今回調査したダムの中で、最も広範囲に傷んでいる。その他、右岸直上流の取水施設近傍の法面崩壊や、余水吐きのコンクリート

堤体形式	中心コア型アースダム
堤高(m)	32.5
堤頂長(m)	220
堤体積(m ³)	360,000
総貯水容量(m ³)	3,299,000
流域面積(km ²)	10.6
湛水面積(ha)	330
法面勾配	上流側 1:2.8、1:2.5 下流側 1:2.5
竣工年	1955 年
ダム事業者	東北農政局

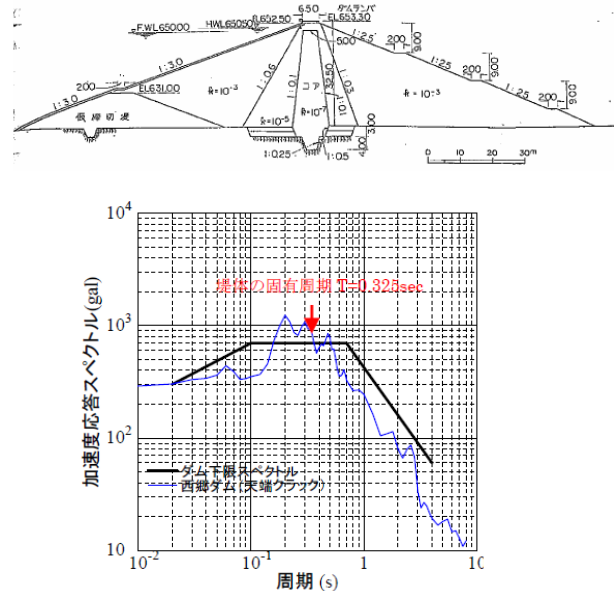


図 14 西郷ダム概要図⁷⁾

片の欠けや、ブロック積み擁壁へのひび割れ等が確認できた。天端のクラックは、ダム軸方向に堤頂全体に及び、クラックの規模は、大きなもので幅 30～50cm、深さ 50～100cm であった。

このクラックは、数条入っており、一番大きなものは、天端の中心付近に位置するクラックであった。このクラックは、コア部まで影響しているものと思われる。農工研の調査では亀裂深度は 3m 以上の可能性があることが報告されている¹⁰⁾。上流側へのすべりの影響により、天端のパラペットが上流側に押し出されるように傾斜している。最も顕著にこの現象が把握できるのは、左岸アバット部の継目である。上流面の変状は局部的なものではなく、ほぼ全体におよぶものである。このうち、最も大きい変状は、ダム高が高くなる堤体中央部で生じており、調査時点の貯水位よりも低い標高にまですべりが及んでいると推測される。これは、上流面の波打ち際について堤体を真横から望んだ場合、一直線になっていないことから伺えた。また、石張材を押さえている基礎コンクリートは、堤体の中央部において法尻方向に大きく凸型に変形している。この変形は、円弧すべりの影響によるものであり、基礎コンクリートの継目

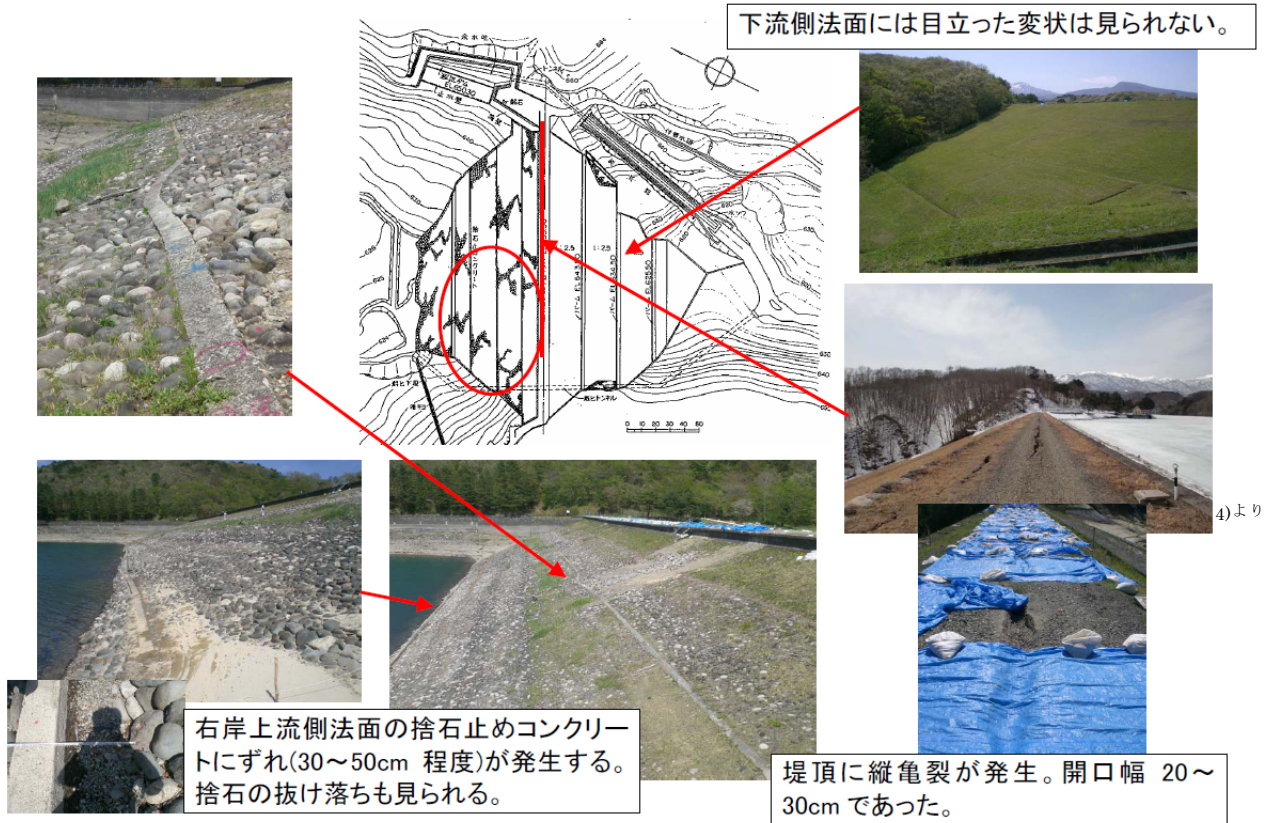


図 15 西郷ダム堤体の被害状況

部でのズレはもちろん、石張材の配列が大きく乱され、30cmもの段差が生じている箇所もあった。

4) 原因の推定

地震直後、ほぼ満水位に近かったことから、地震に伴う上流側へのすべりによるものと考えられる。

3. ダム本体の固有周期と想定地震動

3.1 ダム本体の固有周期

ダム本体の固有周期を把握することを目的として、常時微動観測を行った。観測方法は、ダム敷地内の天端及び法尻等に計測機器を置き、100Hzサンプリングで6分間計測を行った(データ数:36,000)。計測機器は、(株)システムアンドデータリサーチ製のNew PICを用いた。

図 16 に観測されたダムの固有周期とダム種別による固有周期の経験式の比較を示す。アースダム、ロックフィルダムの経験式と概ね一致する傾向にある。簡易で短時間な微動観測によりダムの固有周期を把握でき、ダムの動的特性を把握する上で有効なツールとして用いることが可能である。

3.2 ダム基礎での想定地震外力

ダム近傍(数km以内)にNIED強震観測点²⁾を持つダムについて、ダム基礎位置での地震動を

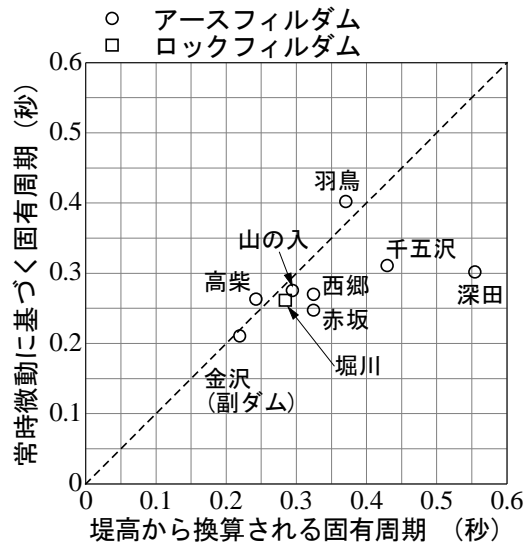


図 16 常時微動観測によるダムの固有周期

想定し、被害を受けたダムと無被害のダムについて「大規模地震に対するダム耐震性能照査指針(改訂素案)・同解説」⁹⁾の照査用下限スペクトルとの比較を行った。

ダム基礎位置での地震動は以下の手順で想定した。Kik-Net強震観測点では同一観測点で地表面と基盤岩の2深度で地震波が観測されている。

また地震計設置位置での地層情報が公表されている。そこで地質図から強震観測点とダム基礎岩盤が同一地質構成であることを確認し、観測され

た地表面波形をダム基盤相当の岩盤（重力式ダムでは $V_s=2000\text{m/s}$ (CM 級岩盤相当)、フィルダムでは $V_s=700\text{m/s}$ (D ~CL 級岩盤相当)) に重複反射波理論により引き戻し、ダム上下流方向に角度補正を行い、ダム基礎位置での想定地震動とした。

図 17 に被害を受けたダムと被害を受けていないダムの加速度応答スペクトルを示す。

被害を受けたダムは、照査用下限スペクトルを上回るものが多いが、無被害のダムは、総じて照査用下限スペクトルより下回っているものが多い傾向にあることが判る。

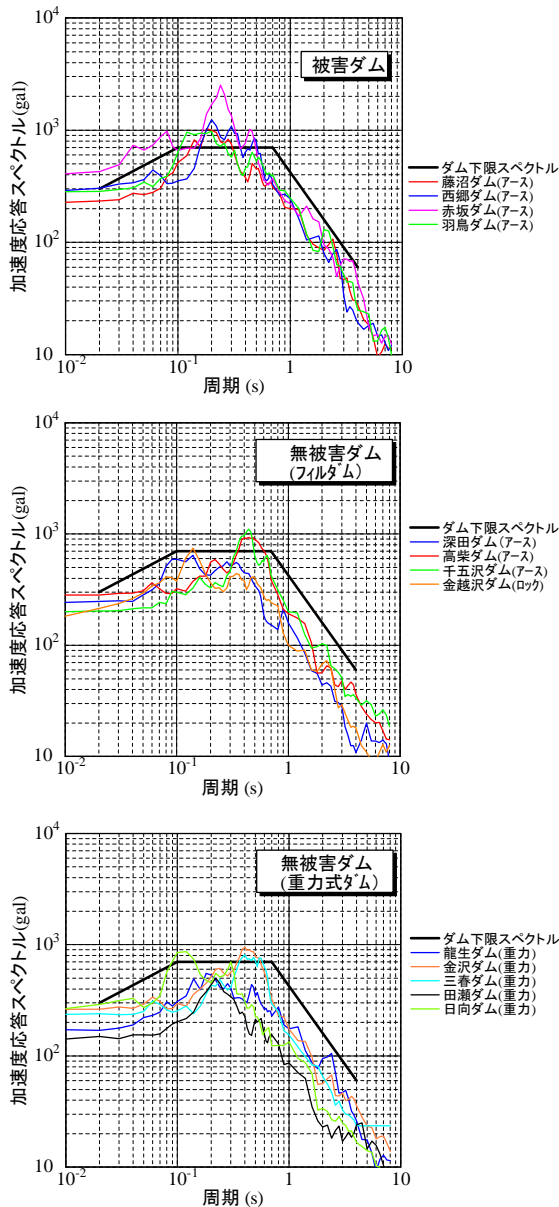


図 17 各ダム基礎で推定した加速度応答スペクトル

4. アースダムの被害傾向

4.1 地震外力

前述したように、図 17 に示す堤体に被害を受けたアースダムの加速度応答スペクトルより、堤

体に損傷を受けたダムは、ダムのレベル 2 地震動照査に用いる照査用下限加速度応答スペクトル程度の地震動を受けていたと推測される。ただし、大規模な被災を生じ、壊した藤沼ダムの地震動が特に大きかった訳ではなく、堤体材料や継続時間の長い地震動の繰返し特性などの要因からの分析が必要である。

4.2 ダム竣工と堤高の関係

ダム竣工と堤高の関係を図 18 に示す。図には、日本のダムにおける設計基準が制定された 1957 年ダム設計基準、河川法に基づき制定された 1976 年河川管理施設等構造令のラインを併記した。図より、堤体に何らかの損傷を受けたダムは、河川管理施設等構造令以前に竣工されたダムである。また損傷を受けたダムの内、破堤や明瞭なすべり破壊を生じているダムは均一型の形式が多い傾向にある。一方、堤高と被災に明瞭な関係はないこ

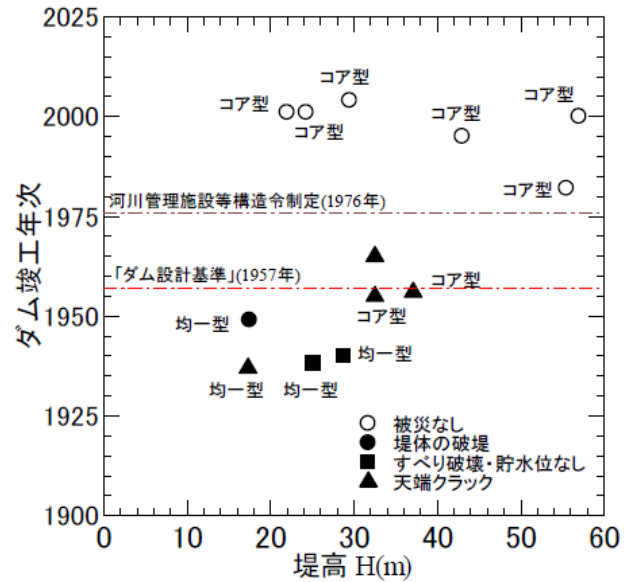


図 18 ダム竣工と堤高の関係

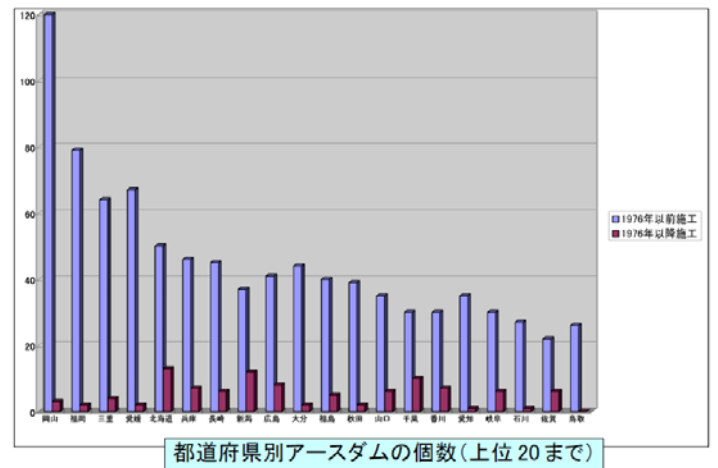


図 19 都道府県別アースダムの個数

とが判る。ダム便覧（(財)ダム協会）の集計表によると、全国に分布するアースダム（高さ15m以上）は約1300箇所余りある。図19に都道府県別のアースダムの個数を全国上位20位までを集計した結果である。アースダムは、その大半が河川管理施設等構造令（1976年）以前に竣工されたダムである。

5. 今後の課題・留意点

- ① 被害を受けたアースダムは、河川管理施設等構造令（1976年）以前に竣工された古いダムである。今後、築造年代の古いダム（特にダム設計基準が制定された1957年以前）や均一型形式のダムについては、破堤した時の下流域への影響を踏まえて、現状の安定性を調査し、安定性が不足するものは補強対策を行うことが急務である。
- ② 補強対策で留意すべきことは、既設堤体に期待できる遮水性の程度が重要であり、遮水性が不足する場合は堤体補強に加えて漏水対策を併せて行うことが必要である。

- 地震の災害調査報告：東北地方太平洋沖地震により被災したフィルダム調査
- 6) 東北大学東日本大震災緊急報告会：川越、風間、横尾、小野：福島県須賀川市藤沼湖結果について
- 7) 農業土木学会：農業土木工事図譜第二集フィルダム編（1973）
- 8) 日経コンストラクション：追跡東日本大震災 アースダムが決壊して犠牲者、2011.4.11
- 9) 国土交通省：大規模地震に対するダム耐震性能照査指針(改訂素案)・同解説、2009
- 10) 農研機構 農村工学研究所：東日本大震災報告会 2011.5.31

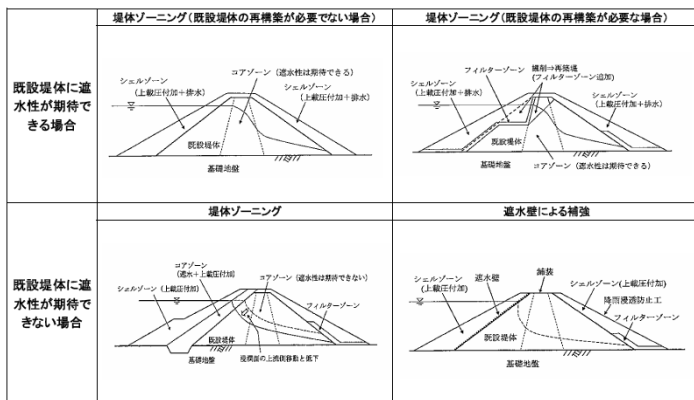


図20 アースダムの補強概念図

- ③ 藤沼ダム決壊の発生機構については、堤体の状況・目撃者の証言、想定地震外力の限られた情報による推論であり、原因を特定するものではない。

参考文献

- 1) 気象庁：気象庁発表情報、
<http://www.jma.go.jp/jma/menu/jishin-porta1.html#b>
- 2) 防災科学技術研究所 強震観測網 web サイト：
<http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/>
- 3) 産業技術総合研究所 20万分の1日本シームレス地質図
- 4) 社団法人ダム工学会第一次調査団 松本、佐々木、雨宮：ダムの被害調査（福島県南部）
- 5) 地盤工学会 福島、北島、谷 東北地方太平洋沖

岩手三陸地区の橋梁の被害

株式会社エイト日本技術開発
 保全・耐震・防災事業部
 東京支社 保全・耐震・防災部

美藤 友郎

1. はじめに

三陸国道事務所管内の一般国道45号は、弊社で過去に橋梁点検、橋梁補修設計、耐震補強設計などの業務を実施しており、弊社の関係者が何度となく足を運んだ地区である。以下に、東北地方太平洋沖地震での甚大な被害を受けた三陸地区における橋梁の被害について、以下に述べる。

2. 三陸地区の特徴

岩手三陸地区はリアス式海岸という地形的特徴から、陸地は起伏が多く、急な傾斜の山地が海岸にまで迫っている。そのため、平地が少なく、市街地は、港、河口を中心に集まっており、過去に多くの津波被害を受けてきた地域である。

さらに、三陸地区には南北をつなぐ高速道路は無く、現在、三陸縦貫自動車道が大船渡、釜石、宮古、久慈の市街地周辺のごく一部の範囲で開通し、鋭意建設が進められているものの、現時点では南北を縦断する道路は、国道45号のみである。

3. 調査概要

調査対象: 一般国道45号において弊社が、点検、補修設計、耐震補強設計を行ってきた橋梁の被害状況、他

調査者: 森副事業部長、高木 (PM)、美藤 (PM)

調査日程: 4/4 (月) ~ 4/5 (火)



図1 調査位置図

4. 関連業務

三陸地区において、弊社では橋梁関連で、過去に以下の業務を実施している。

【耐震補強設計】

H17 新田橋設計業務 (三陸国道事務所)

※局長表彰

H21 関谷高架橋補強設計業務 (三陸国道事務所)

H21 織笠高架橋補強設計業務 (三陸国道事務所)

【補修設計】

H20 三陸国道構造物保全対策設計業務 (三陸国道事務所)

【橋梁点検業務】

H19 三陸地区橋梁点検業務 (東北技術事務所)

※事務所長表彰

H20 三陸地区橋梁点検業務 (東北技術事務所)

H21 三陸地区橋梁点検業務 (東北技術事務所)

H22 三陸地区橋梁点検業務 (東北技術事務所)

以下に、過去に点検、補修設計、耐震補強設計を実施してきた橋梁並びにその周辺の橋梁他の被害状況について報告する。

5. 調査結果

5.1 概要

岩手三陸地区は、3/11の地震において、計測震度で5弱~6弱の地域が多く、地震による慣性力による目立った被害は確認できず、主たる被害要因は“津波”であった。

これまで、耐震補強など地震時の慣性力に対するの挙動、損傷事例およびその対策については、数多く経験しているものの、津波荷重(浮力)という橋梁設計において、これまで全く考えたことのない荷重が作用した結果を目にして、現地ではかなり頭の中が混乱した。

以下に、大きな被害を受けた橋梁だけでなく、被害の小さかった橋梁も含めて被害状況について示し、限定された事例から多少の無理を承知の上で、流失事例から流されやすいあるいは流されにくい形式、状況などについて整理する。

5.2 各橋梁の被害状況

(1)乙部橋 (田老町)

橋 長：L=38.9m

橋梁形式：PC2 径間単純プレベーム合成桁橋

海岸線からの距離：約 1km

EJEC 関連業務：H17 耐震補強、H20 橋梁点検

被害状況：防護柵破断・流失、桁・下部工は被害無し

乙部橋は、橋面の防護柵が基部から破断して一部を残してほぼ欠損している。橋梁本体については支承周り、変位制限構造、橋脚ともに損傷は見られない。また、下流側 200mほどの位置に架かっていたと思われる橋梁（鋼2単純H鋼桁・2連）のうち、1径間分は乙部橋の下流側すぐ近くのところにあった（写真1）が、もう1径間は乙部橋を超えてさらに上流側にあった。この橋梁が津波により流され、乙部橋を超えて、防護柵をなぎ倒して通過したようである。



写真1 乙部橋状況

(2)宮古大橋 (宮古市)

橋 長：L=308.2m

橋梁形式：鋼単純合成箱桁・2連、鋼4径間連続非合成箱桁

海岸線からの距離：約 1km

EJEC 関連業務：H20 補修設計、H22 橋梁点検

被害状況：主桁一部変形、検査路・排水管破断

宮古市役所近くに位置し、船が衝突する姿がテレビで放送されていた橋梁である（写真2）。桁に船などの接触痕はあるものの、著しい損傷は見られない。津波は桁下以下の高さであったようである。



写真2 宮古大橋

(3)宝来橋、宝来橋側道橋 (下閉伊郡山田町)

■宝来橋

橋 長：L=80.0m

橋梁形式：PC単純ポステン箱桁・2連

海岸線からの距離：約 10m

EJEC 関連業務：H22 橋梁点検

被害状況：無し（路面に土砂堆積）

■宝来橋側道橋

橋 長：L=91.4m

橋梁形式：鋼単純鋼桁（デッキプレート）・3連

海岸線からの距離：約 10m

EJEC 関連業務：H22 橋梁点検

被害状況：上部工流失

宝来橋は、山田湾に面しており、関口川を跨ぐ橋梁である。宝来橋は海側、宝来橋側道橋は山側に位置しているが、海側・道路橋のPC桁は目立った損傷は確認できなかったものの、上流側にある鋼桁（デッキプレート）は、50mほど上流まで流され、上下逆さまになり、堤防の上に横たわっていた（写真3,4）。



写真3 宝来橋側道橋の流失状況



写真4 流失し天地逆になった宝来橋側道橋

起点側の土工部が流失していたため、橋梁も含め通行止めであった。しかしながら、山田町は平行して自動車専用道路である三陸縦貫自動車道（山田道路）が一部完成しており（図2）、緊急車両、自衛隊の車両などのうち、山田町を通過するだけの車両がそちらを通過していたため、山田町市街地には著しい渋滞は見られなかった。



図2 山田湾周辺

(4) 矢の浦橋（釜石市）

橋長：L=108.6m
 橋梁形式：鋼3径間連続鋼床版鈹桁橋
 海岸線からの距離：約0m
 EJEC 関連業務：H20 橋梁点検
 被害状況：桁衝突痕多数、防護柵変形、背面盛土沈下

釜石港の近く、甲子川に架かる3径間の鋼床版鈹桁橋である（写真5）。矢の浦橋については、鋼床版で比較的重量が軽いということもあり、流失している可能性があると思っていたが、意外に

も橋梁本体には目立った損傷は見られず、防護柵が変形あるいは欠損している程度であり、仮設ガードレールが設置されていた。

しかしながら、併設している上流側の水管橋については、3径間のうち2径間が流失しており、上流側の南リアス線（大船渡～釜石）よりもさらに上流まで（300mほど）流されていた（写真6）。



写真5 矢の浦橋



写真6 矢の浦橋上流側の水管橋の流失

(5) 片岸大橋（釜石市）

橋長：L=68.0m
 橋梁形式：鋼単純合成鈹桁・3連
 海岸線からの距離：約100m
 EJEC 関連業務：H22 橋梁点検
 被害状況：主桁の変形、1部防護柵流失

防潮堤のすぐ近くに位置する橋梁で3径間のうち、最も縦断線形が低くなっている径間についてのみ、防護柵が流失し、主桁の下フランジが大きく変形していた（写真7）。また、すぐ海側に県道の橋梁（PC プレテン床版橋）が新たに架設されていたが、片岸大橋における水位からみて、完全に水没したと思われるものの、防護柵が変形している以外は特に損傷は見られなかった。



写真7 片岸大橋 上部工の変形

(6)荒川橋 (釜石市)

橋 長：L=40.0m

橋梁形式：PC 単純ポステン T 桁・2 連

海岸線からの距離：約 600m

EJEC 関連業務：H20 補修設計、H22 橋梁点検

被害状況：無し



(被災前：H22.10) (被災後：H23.4)

写真8 荒川橋

国道45号の荒川橋については、周辺の電柱、木々、看板などは一切無くなっていた(写真8)ものの、橋梁には目立った損傷は見られず、桁などの状況を見ても水位が桁付近まで上がった形跡はなかった。しかしながら、図3に示すように荒川橋を挟んで海側に県道、町道の橋梁が2橋、上流側に南リアス線の橋梁が1橋の4橋が並んでいる場所であり、最も下流側にあるPC場所打ち中空床版橋(図3,①下流側市道;熊の川橋)については、パッド型ゴム支承が流失していた。また残っているゴムパッドも津波により横に移動しており、浮力を受けつつ横から押されていたことが伺えた。また、荒川橋のすぐ下流にある昭和初期に建設されたであろうと思われる3径間のRC桁(図3,③旧荒川橋)については、老朽化も著しく流失の可能性が高いと想像していたが、目立った被害は見られなかった。さらに、上流側の南リアス線の鉄道の橋梁(図3,④)については、3径間PC桁のうち河川上の最も桁高の高い径間が流失し、上流側数十mのところ、横たわっており、支間中央から2つに折れ、シースがむき出しになっていた(写真9)。



図3 荒川橋周辺の橋梁の状況



写真9 荒川橋上流の南リアス線の落橋

(7)沼田跨線橋 (陸前高田市)

橋 長：L=65.2m

橋梁形式：PC ポステン単純 T 桁・3 連

海岸線からの距離：約 200m

EJEC 関連業務：H19 橋梁点検、H20 補修設計

被害状況：上部工流失



(被災前：H21.4) (被災後：H23.4)

写真10 沼田跨線橋 流失状況

3径間すべての上部工が完全に流失し(写真10)、上流側20m程度のところまで流されていた。跨線橋であったが、鉄道は機能していないため、線路上を埋める形で、盛土にて迂回路が確保されていた。また、T桁の桁間に落橋防止としてRC突起が設けられていたが、RC突起の基部や橋脚の基部には水平力によるひびわれは見られなかった。つまり、衝撃的に浮力が作用し浮き上がったものと思われる。



写真 11 沼田跨線橋 橋台背面から橋脚を撮影
(8)川原川橋 (陸前高田市)

橋 長：L=28.8m

橋梁形式：PC ポステン中空床版

海岸線からの距離：約 300m

EJEC 関連業務：H20 橋梁点検

被害状況：背面土流失、防護柵変形

橋梁本体は流失等しておらず、橋梁としての構造は何とか保っているものの、A1 側背面土が流失しているため、国道が分断されていた。調査時点(4/5)では、仮橋が設置されており (写真 11)、片側交互通行で供用されていた。同仮設橋梁は、昭和 54 年に日本鉄塔工業(株)が北陸地方整備局に納めた製品であり、北陸で保管されていたものが利用されているとのことであった。それほど前から応急組立橋が存在していたこと、その応急組立橋が現在まで北陸地整に保管されていたこと、それが今、陸前高田市で利用されていること、に驚いた。



写真 11 川原川橋 応急橋梁による交通確保
(9)気仙大橋 (陸前高田市)

橋 長：L=181.5m

橋梁形式：鋼 3 径間連続非合成鈹桁橋、鋼 2 径間

連続非合成鈹桁橋

海岸線からの距離：約 300m

EJEC 関連業務：H19 橋梁点検

被害状況：上部工流失

ダンパー設置、支承をゴム支承に取り替えなどにより耐震補強が実施されていた橋梁である。ダンパーについては、下部工付のアンカーボルトは損傷が見られなかったものの、上部工側との接合ブラケットのボルトが破断していた (写真 12)。また、数年前の耐震補強でダンパー設置に加えて、支承をゴム支承に交換しているが、直角方向のサイドブロックおよびアップリフト対策が施されている支承ではなかったため、浮力に抵抗するものが無く、ゴム支承が破断し (写真 14)、桁が流失したようである。



写真 12 気仙大橋 A1 橋台 前面の状況



写真 13 気仙大橋 (起点側より撮影)



(被災前：H19. 5)

P3 橋脚



(被災後：H23. 4)

A1 橋台

写真 14 気仙大橋 ゴム支承破断

5.3 桁流失について

今回調査したごく限定された橋梁からの情報だけではあるが、桁流失に着目し、5.2 に示した事例から得られた知見を以下に整理する。

① P C 橋の方が鋼橋よりも流れにくい

☞当然であるが、重いP C 桁の方が流失に対する抵抗性が高い。

例) (1)乙部橋、(5)宝来橋、宝来橋側道橋

②多主桁の橋梁は流れにくい

☞多主桁橋梁は、上向きの力に多くの支承で抵抗するため冗長性を有している。逆に2 支点の場合などは、1 つの支承側浮力で破壊されると、残りの支承に荷重が集中し破壊されてしまうので流されている。特に荒川橋上流の南リアス線の橋梁については、桁高が高いことに加え、浮力及び水平力により2 支承のうち片側に大きな上揚力が作用し、一方の支承が壊れたのち、もう片方も損傷したものと推定できる。

例) (9)矢の浦橋、矢の浦橋の上流側水管橋、荒川橋上流側の南リアス線の橋梁

③アップリフト止めの無い橋梁は流失の可能性が高い。

☞P C 橋であってもプレテン形式の場合、パッド型支承が一般的なであり、アンカーバーも設置されているものの、上向きの力には抵抗せず、浮力で流されているものが多い。

例) (14)沼田跨線橋、(16)気仙大橋



写真 14 アップリフト止めの有る支承

つまり、コンクリートの多主桁橋で、支承にピンチプレートが設置されている支承 (BP 沓など) を使用している橋梁は津波による桁流失に対する抵抗性は高いと言える。

津波による損傷メカニズム及びその対策方法について、シミュレーションにより浮力を求め、対策設計の荷重を定めるのは、津波の大きさ、地形、進行速度、流失物による水平力の増大など多くの要素が関係し、困難であると現地を見て感じた。

今後、海岸線近くの同じような位置に橋梁を設置するのであれば、設計荷重の設定は困難であるものの、上記のような定性的な情報をより多く整

理し、“流れにくい橋”を建設しておくことが必要である。

6. おわりに

岩手三陸地区における橋梁の被害は、地震による慣性力の影響はあまり見られず、圧倒的に津波によるものであった。

耐震補強は一定の効果があつたが、細々と橋梁の予防保全的観点からの橋梁点検、補修設計、詳細調査を行ってきたことは、“流失”により一瞬にして消し去られた。

現地を見た際には、壊滅的な街の状況など、様々な被害を目にするにつれ、津波の圧倒的な破壊力に、思考回路が停止し、なぜ壊れるのか、など考えてもムダなようにも思えた。

気を取り直し、「5.3 桁の流失について」に述べたような定性的なことは言えるのではないかと考えた。その作用荷重の大きさを求め、設定することはできなくとも、5.3 に述べたような定性的な情報をより多く集め、津波抵抗性の高い橋梁はどのようなものかを整理しておくことは重要なことである。

三陸の地形を考えた場合、海沿いに市街地が発展し、道路が必要となるのはやむを得ない状況にある。市町村道を含む全ての橋梁が津波に対して流失しないようにすることは、現地の被害状況から見て、不可能であると思われる。しかしながら、国道4 5号のような被災時に緊急輸送道路となるような道路は、自衛隊の緊急車両をはじめ、復旧のための各種緊急車両が通行する。それらに限っては流失しない津波対策を講じた橋梁が必要であると強く感じた。

三陸地区は、津波に対する意識が高い地域であり、我々も橋梁点検業務などの際には、津波ハザードマップを作業計画書に入れ、津波浸水想定区域内での作業については、十分留意の上実施していた。一方、心のどこかで「ここまで津波が来るはずない」と思っていたのも事実である。この4年間ほどの間に、年間の1/3～1/2 ぐらいの期間、弊社の誰かが現地で作業を行っている状態であった。その間、地震が発生したことも何度かあったが、幸いにも3/11の地震の際には、関係者が誰も現地に居なかった。このことは奇跡的であったと言っても過言ではない。

今後は、今回、現地で確認した事象、今後蓄積される最新の情報を踏まえた橋梁計画を行っていきたいと考えている。 (以上)

宮城県内(国道45号線沿い)の橋梁の被害

株式会社エイト日本技術開発
 保全・耐震・防災事業部
 関西支社 保全・耐震・防災部
 古屋 知真

1. はじめに

平成23年3月11日午後2時46分頃に発生した東日本大震災により、多くの橋梁が損傷した。

特に、耐震対策済みの橋梁についても損傷していたことから、設計において想定していない被害が発生したということが、一つの問題点として挙げられる。

本調査では、宮城県の国道45号線沿いの8橋梁(図1)の被害状況を確認すると共に、想定外の被害について、被災状況から損傷メカニズムを分析し、今後予想される巨大地震に備え、現行の設計基準の課題を整理した。

調査日程：平成23年4月2日～4月6日
 調査エリア：図1に示す。(対象橋梁8橋)

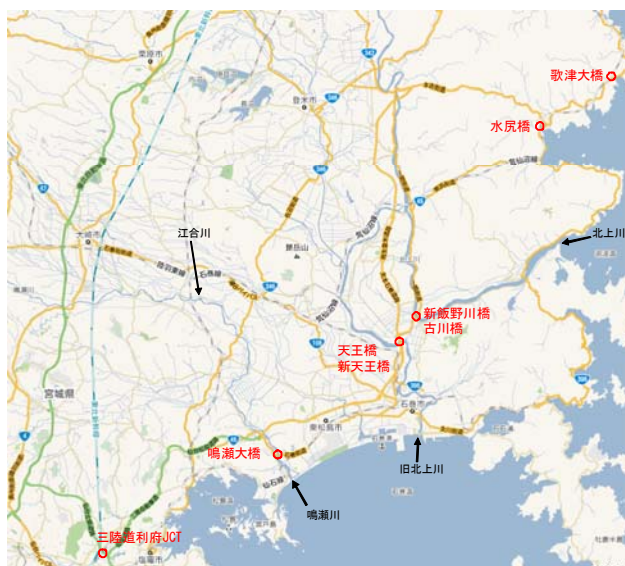


図1 調査エリア

2. 主な被害の概要

調査により確認された主な被災状況を表1に示す。本震災における被害は、大きく「津波による被害」と「地震動による被害」であった。中でも、津波による被害が大きく、上部構造が流されてしまった橋梁が見られた。一方で、地震動による被害については、落橋に至るような被害は無く、津波に比べ軽微であった。特に下部構造については、ほとんど被害は見られなかった。

表1 調査結果概要

調査対象橋梁	被災状況	要因
1 歌津大橋	桁の流失 RC橋脚の損傷	津波
2 水尻橋	桁の流失 橋台背面盛土の流失	津波
3 古川橋	特に大きな損傷なし	-
4 新飯野川橋	特に大きな損傷なし	-
5 天王橋	トラス上横斜材の座屈 沓座コンクリートの損傷 支承サイドブロックの損傷	地震動
6 新天王橋	変位制限構造(鋼製ブラケット)の損傷 橋台背面土の沈下	地震動
7 鳴瀬大橋	ダンパー取付けブラケットの損傷	地震動
8 三陸道利府JCT付近	変位制限構造(鋼製ブラケット)の損傷 桁衝突	地震動

特徴的な被害を以下に示す。

2.1 津波による被害

(1) 桁の流失

沿岸部では、津波により桁が流失している橋梁が見られた(図2)。PCケーブルやブラケットといった落橋防止構造が設置されていた橋梁についても、津波により、落橋に至っていた。落橋は、橋として「安全性」「供用性」「修復性」が確保できない致命的な被害(道路橋示方書に定義される耐震性能3を満足しない)であり、今回の地震被害の中で、最も大きい橋の被害と言える。



左：被災前(歌津大橋) 右：被災後(歌津大橋)



左：被災前(水尻橋) 右：被災後(水尻橋)

図2 桁の流失

(2) 盛土の流失

津波により、橋台背面の盛土が流失し、パラペット背面が見える橋梁が見られた（図3）。



(JR 気仙沼線清水浜駅付近)

図3 盛土の流失

2.2 地震動による被害

(1) 変位制限構造の損傷

橋軸直角方向の変位制限装置の損傷が一部の橋梁で見られた（図4、図5）。比較的長い継続時間の繰返し荷重により、大きい変位が発生していたと考えられる。

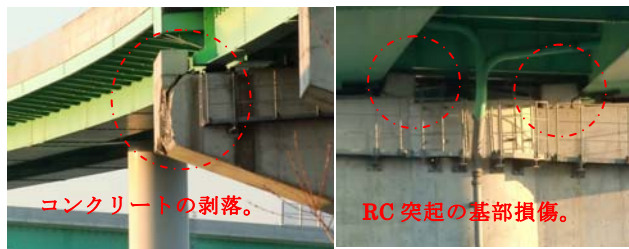


図4 変位制限装置の損傷（三陸道利府 JCT 付近）

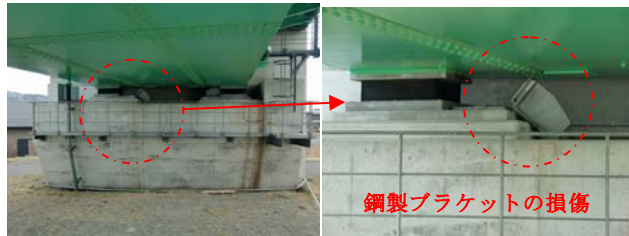


図5 変位制限装置の損傷（新天王橋）

(2) 桁衝突

橋台部、掛け違い橋脚部において、桁の衝突による桁端部の損傷が一部の橋梁で見られた（図6）。比較的長い継続時間の繰返し荷重により、大きい変位が発生していたと考えられる。



(三陸道利府 JCT 付近)

図6 桁衝突

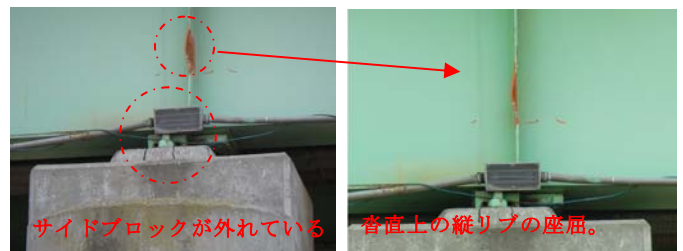
(3) 支承の損傷

天王橋にて、固定支承の沓座コンクリートの損傷（図7）、サイドブロックの損傷（図8）、沓直上の縦リブの座屈（図8）が見られた。



左：天王橋 A2 橋台側面 右：天王橋 A2 橋台前面

図7 支承の損傷



(天王橋 P6 橋脚)

図8 支承の損傷

(4) 上部構造の損傷

天王橋にて、トラス上横斜材の座屈が見られた（図9）。



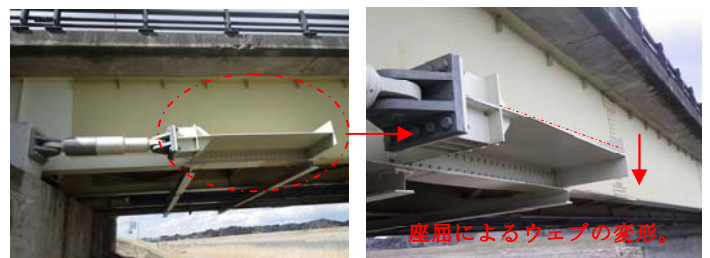
左：破断部（天王橋）

右：座屈部（天王橋）

図9 トラス上横斜材の座屈

(5) ダンパー取り付けブラケットの損傷

鳴瀬大橋 A1 橋台にて、ダンパー取り付けブラケットの座屈が見られた（図10）。座屈に対する設計がなされていなかったと考えられる。



(鳴瀬大橋 A1 橋台)

図10 ダンパー取り付けブラケットの損傷

3. 歌津大橋に見る津波被害

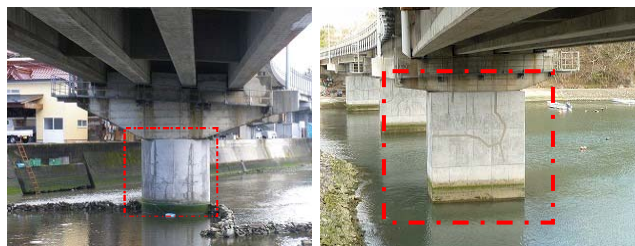
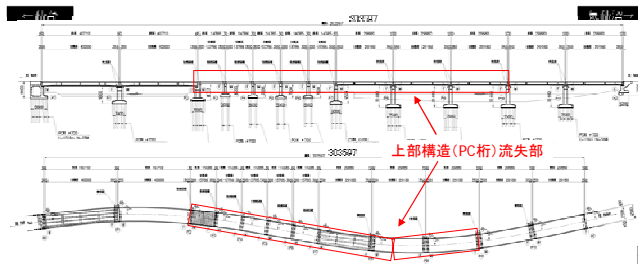
今回の調査対象橋梁のうち、津波による被害(桁の流失：図2)が最も大きかった歌津大橋の被災状況から、被災要因を考察すると共に、現行の設計基準の課題を整理した。

3.1 構造概要

当該橋梁は、1972年竣工の橋長303.6m全12径間のPC橋であり、H14道路橋示方書に準じた橋脚のRC巻立て補強(図11)、落橋防止システム(図12)の設置が実施済みであった。

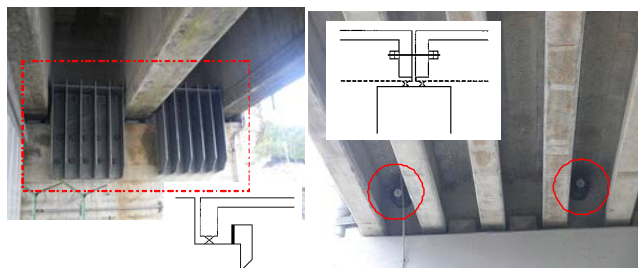
表2 歌津大橋橋梁諸元

・橋長	303.60m
・総幅員	8.30m
・径間数	12径間
・上部工形式	PC2径間単純ポステン桁橋 +PC5径間単純プレテンT桁橋 +PC5径間単純ポステン桁橋
・下部工形式	ラーメン式橋台、T型橋脚、逆T式橋台
・基礎形式	PC杭、直接基礎
・竣工年度	1972年
・設計活荷重	TL-20
・適用示方書	昭和39年 鋼道路橋設計示方書



左：P1 橋脚 右：P9 橋脚

図11 橋脚のRC巻立て補強（震災前撮影）



左：橋台部（鋼製ブラケット）
右：掛け違い部（PCケーブル）

図12 落橋防止システム（震災前撮影）

3.2 津波による被害

津波により両端2径間を除く、8径間のPC桁が、上流側に流されていた(図13～図15)。落橋防止構造であるPCケーブルは破断し、一部の鋼製ブラケットがコンクリートから剥がれ落ちている状況が確認された(図16)。



図13 歌津大橋_津波による桁流失



(被災前) (被災後)

図14 津波による桁流失前後



図15 上流側に流されたPC桁



図16 落橋防止構造の損傷

3.3 桁の流失メカニズムについて

特徴的な被害が確認された P9 橋脚、P7 橋脚の被災状況より、桁の流失メカニズムについて考察した。いずれも、津波による水平力以外に、大きな上揚力が作用し、落橋に至っていることが確認できる。

(1) P9 橋脚被災状況

P9 橋脚については、梁前面に図 18、図 19 に示すような桁の橋軸直角方向の移動に抵抗する鋼製ブラケットが設置されていた。しかし、この鋼製ブラケットに損傷が無く、桁のみが流失していたことから、水平力が作用する前に一度、桁がブラケット位置よりも高く浮き上がった後に、落橋したと考えられる。

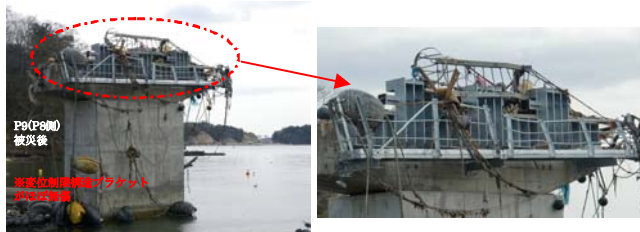
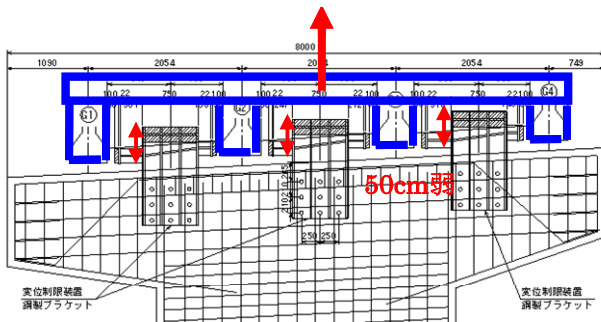


図 17 P9 橋脚の変位制限構造



※桁が 50cm 以上浮き上がらなければ、水平方向の移動に対し、ブラケットが損傷する構造であった。

図 18 P9 橋脚上の桁流失メカニズム



※橋軸直角方向への変位に対し、ブラケットが抵抗する変位制限構造が設置されていた。

図 19 変位制限構造の類似構造 (A2 橋台)

(2) P7 橋脚被災状況

P7 橋脚については、陸側の鋼製ブラケットが損傷しているものの、海側のものは損傷していないことが確認された。図 21 に示すように、津波により桁が浮き上がった後に、落橋に至ったと考えられる。



(被災前) (被災後)
図 20 P7 橋脚の変位制限構造



※桁の海側が浮き上がった後に、陸側への水平力が作用していたと考えられる。

図 21 P7 橋脚上の桁流失メカニズム

(3) 類似被災事例 (水尻橋)

歌津大橋同様、桁の流失が確認された水尻橋についても、支承のピンチプレートが持ち上げられる形で損傷していることから、桁が浮き上がる方向に、力を受けていたと考えられる。



図 22 類似被災事例 (水尻橋)

4. 今後の設計の課題

被災調査の結果、落橋防止システムが設置されていたにもかかわらず、結果的には落橋してしまっている橋梁が見られた。落橋防止システムは、想定外の地震力や変位、変形に対し、橋として致命的な損傷である落橋を防ぐためのフェールセーフ機構であるが、今回の津波に対しては、機能しなかったと言える。

今後の設計では、これまで考慮されていなかった津波に対する対策が課題となる。

今回の調査では、落橋に至った要因の一つとして津波による上揚力が確認された。しかし一方で、一部の委員会 (※) の実験研究より、伝播してくる波の状態 (段波、孤立波、砕波等) や、橋梁の構造諸元 (桁高、主桁形状等) により、津波が橋梁構造物に与える影響は、異なることが確認されている。現在、この津波による影響について、ま

だ十分な情報が蓄積されていない状況であり、今後、更なる実験研究等によるデータ蓄積に基づく設計法の確立が必要と考える。

※「地震時保有水平耐力法に基づく耐震設計法研究小委員会（平成 22 年（社）土木学会地震工学委員会）
「津波が橋梁に及ぼす影響評価 WG」

5. まとめ

今回の橋梁を対象とした調査では、津波による被害が大きく、地震力による被害は、比較的軽微であることが確認された。特に、津波による被害については、桁が落橋しており、2次被害、復旧性という観点からも今後避けなければいけない被害と言える。今回のような津波の影響は、現行の設計では想定されていないため、宮城県以外の地域も含め、今回の橋梁の津波被害データを整理、分析することで、津波を考慮した設計法確立のための基礎資料とすることが重要であると考えられる。

福島県北部沿岸部の橋梁の被害

株式会社エイト日本技術開発
 保全・耐震・防災事業部
 東京支社 保全・耐震・防災部
 高木 正行

1. はじめに

平成23年3月11日14時46分ごろに三陸沖を中心とするマグニチュード9.0の巨大地震が発生した。この地震により東日本の太平洋沿岸を中心として高い津波が発生し、甚大な被害が生じた。本報告は、福島県北部沿岸部（新池町、相馬市）における橋梁の被災状況について速報的に報告するものである。

2. 調査概要

調査対象：福島県北部沿岸部（新池町、相馬市）
 の津波による被災を受けた橋梁
 調査者：森副事業部長、菖蒲迫(PM)、高木(PM)
 調査日程：平成23年4月26日
 調査位置：図-1 参照



図-1 調査位置図

3. 橋梁の被害状況

3.1 小塚橋

小塚橋は、1971年に建設された橋長L=40.8mのPC2径間単純プレテンT桁橋である。海岸線沿いに架橋されている橋梁である。

道路橋の上部構造と隣接する水管橋の上部構造がともに津波により流出しているとともに、道路橋の橋脚も流出している（写真-1）。橋台は残っており、躯体断面の相対的に小さい橋脚が流されたものと推定される。基礎形式は不明であるが、近接する橋梁が杭基礎であることから、杭基礎であると推定される。

道路橋の上部構造は300m~400m程度陸側に1径間分が流されていることが確認できた。橋梁の上部構造や橋脚だけでなく、前後の盛土も流されており、道路として壊滅状態である。

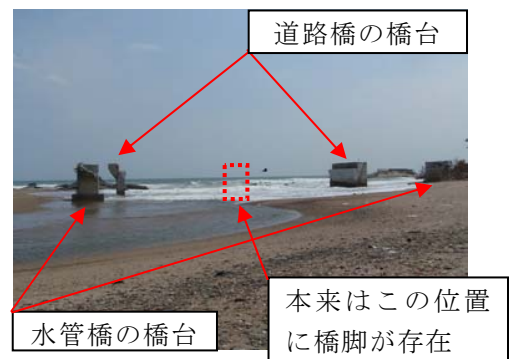


写真-1 小塚橋被災状況(その1)

また、北側の橋台のウイング付け根部には大きなひびわれが生じており（写真-2）、上部構造がパラペットに衝突して生じたものと推定される。橋台には震災前からアルカリシリカ反応が原因と思われるひびわれが生じていたため、これが大きなひびわれとなった原因と推定される。



写真-2 小塚橋被災状況(その2)

3.2 釣師橋

釣師橋は、1935年に建設された橋長L=13.0mのRC2径間単純T桁橋である。本橋梁は海岸線から400m程度の位置に架橋されており、上部構造が津波により流出している(写真-3)。本橋梁は、河川と桁下との高さが2m程度と低いものの、幅員が4m程度と小さく、上部構造と下部構造を連結する構造はないため、流出したものと推定される。



写真-3 釣師橋被災状況

現在は、写真-4に示すようにコルゲート管により応急復旧が行われており、自衛隊などの車両が往来していた。



写真-4 釣師橋応急復旧状

3.3 浜畑橋

浜畑橋は、1983年に建設された橋長L=85.7mのPC3径間単純ポステンT桁橋である。本橋梁は海岸線から100m程度の位置に架橋されている。高欄にはガレキが残っており、津波の影響があったものと推定されるが、上部構造の流出はなかった(写真-5)。



写真-5 浜畑橋の状況

しかしながら、北側橋台の支承部に近接して確認したところ、海側の支承3基に浮き上がりが生じており(図-2)、津波により上部構造が持ち上げられた痕跡として確認できる。写真-6はG5桁の支承の浮き上がり状況、写真-7はG6桁の支承の浮き上がり状況であるが、最も海側に位置するG6桁の支承ピンチプレートはボルト破断により脱落している。ピンチプレートのような浮き上がりに抵抗する装置がなければ、流出していた可能性も否定できない。

また、支承には震災前から腐食が発生しているため、今回の津波で海水の影響を受けたことによる今後の損傷の進行が懸念される。

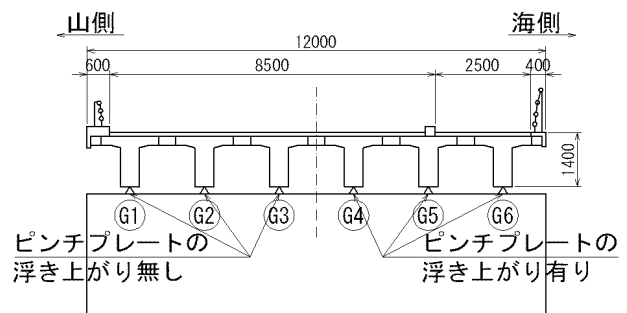


図-2 浜畑橋の支承の浮き上がり状況



写真-6 浜畑橋の支承の浮き上がり(その1)



写真-7 浜畑橋の支承の浮き上がり(その2)

3.4 相馬東大橋

国道6号の相馬東大橋は、2006年に建設された橋長L=669.0mの鋼鈹桁とRCラーメンからなる混合橋である。

写真-8、9に示すように、鋼鈹桁とRCラーメンとの掛け違い部の伸縮装置および地覆に損傷が生じた。



写真-8 相馬東大橋の被災状況(その1)
(磐城国道事務所ホームページより)



写真-9 相馬東大橋の被災状況(その2)

鋼鈹桁の支承はゴム支承であり、水平力分散支承もしくは免震支承であると推定される。伸縮装置の損傷状況から橋梁自体は相当程度揺れたものと思われるが、写真-10に示す通りゴム支承に残留変形は残っていない。



写真-10 支承の被災後の状況

今回の地震動は、道路橋示方書耐震設計編(H14.3)に示されるレベル1地震動より大きく、レベル2地震動より小さい、レベル1.5地震動クラスと言ってよいと思われる。橋梁における耐震設計思想として、伸縮装置はレベル1地震動に対

して機能を確保するように設計し(レベル1地震動よりも大きい場合は壊れる)、支承はレベル2地震動に対しても機能を確保するように設計することを考えると、本橋梁の被災状況は耐震設計における想定通りであると考えられる。現在は、写真-11に示す通り、鉄板を敷いて応急復旧がなされており、緊急輸送道路としての機能を果たしている。



写真-11 伸縮装置部の応急復旧状況

3.5 新館野橋

新館野橋は、1991年に建設された橋長L=28.8mのPC単純ポステンT桁橋である。本橋梁は海岸線から200m程度の位置に架橋されており、特に橋梁本体構造に損傷は見られなかった(写真-12)。ただし、防護柵は破壊され跡形もなく、下流側には津波によって運ばれてきたガレキがひっかかっている(写真-13)。

また、南側の海側の橋台背面の土砂が津波により流出している(写真-14)。踏掛板の下面の土砂も流出しており、路面上ではカラーコーンで規制を行っていた。

本橋梁は、河川と桁下との高さが2m程度と低いため、上部構造に作用する浮力よりも上方から作用する水圧の方が大きく、上部構造が流出しなかったものと推定される。



写真-12 新館野橋の被災状況(その1)



写真-13 新館野橋の被災状況(その2)



写真-16 上立切橋の被災状況(その2)



写真-14 新館野橋の被災状況(その3)

3.6 上立切橋

上立切橋は、1993年に建設された橋長L=17.0mのPC単純プレテン中空床版橋である。本橋梁は海岸線から500m程度の位置に架橋されているにもかかわらず、上部構造が津波により流出している(写真-15)。



写真-15 上立切橋の被災状況(その1)

橋台には上部構造の移動制限として機能するアンカーバーが残されている(図-16)。アンカーバーは曲がっておらず、橋台パラペットにも損傷は見られないため、上部構造は真上に持ち上げられて流出したものと推定される。

4. おわりに

今回調査を行った福島県北部沿岸部の橋梁は、津波により大きな被害を受けている。特に、海岸線沿いに建設されていた道路は、盛土や橋梁といった構造にかかわらず津波により流出しており、道路自体が跡形もなくなっており、壊滅的な被害を受けている。橋梁に着目すれば、橋脚が流出している橋梁も確認され、相当大きな津波力が作用したものと推定される。

また、相馬東大橋については、耐震設計における想定通りの被害が発生しており、今回作用したと思われるレベル1.5地震動に対しては、その妥当性が確認できたと考えられる。

今後の復旧にあたっては、ルートの見直しや道路縦断線形(高さ設定)、橋梁上部構造の津波に対する落橋防止対策など、総合的な検討が必要と考えられる。

茨城県の橋梁の被害

(常陸太田市およびひたちなか市周辺)

株式会社エイト日本技術開発
 構造事業部
 東京支社 構造部

鷲見英信・古閑徹也

1. はじめに

平成23年3月11日に発生した東日本大震災はマグニチュード9.0を記録し、東北地方を中心に、地震によって引き起こされた津波による被害がクローズアップされることとなった。

一方で地震動による被害も各所で確認されており、本報告では、茨城県常陸太田市およびひたちなか市周辺の橋梁(6橋)の、地震動による被災状況調査結果をとりまとめたものである。

2. 調査概要

調査概要を以下に示す。

【調査日時】：平成23年4月21日(金)

【調査対象】：茨城県常陸太田市～

ひたちなか市周辺の橋梁(図1)

【調査方法】：近接目視



図1 調査位置図¹⁾

3. 調査位置と地震観測結果

3.1 常陸太田市周辺

(1) 対象橋梁

調査した橋梁は表1に示す3橋であり、いずれも小規模河川を渡る橋梁であった。

表1 常陸太田市周辺の調査対象橋梁

番号	路線名	橋名	橋長(m)	幅員(m)	橋梁形式	竣工年
1	県道61号	ハタノメバシ機初橋	110.9	5.5	鋼ゲルバー-鉄桁	1951年(昭和26年)
2	国道239号	サトガワバシ里川橋	180.2	6.0	コンクリートゲルバー	1956年(昭和31年)
3	国道293号(旧道)	サキクハシ幸久橋	284.9	6.0	鋼ゲルバー-鉄桁 コンクリートゲルバー	1935年(昭和10年)

(2) 地震観測結果

架橋位置最寄の地震観測所は国土交通省常陸太田事務所であり、架橋位置からの距離は1.8~4kmである(図2)。

本地点の観測結果を国土交通省河川・道路等施設の地震計ネットワーク情報²⁾に基づき整理した。なお、地震の観測波形などは非公開である。

表2 地震動整理結

項目	値
震度	6弱
S I 値	66kine
最大加速度	756gal



図2 地震観測所と橋梁との位置関係¹⁾

(3) 調査結果

①機初橋（鋼ゲルバー-鋸桁橋）

機初橋は写真1～4に示すとおり、大規模な慣性力の作用によって、固定支承部の橋座面にひびわれ損傷が発生し、上部工の移動に伴う遊間異常が生じていた。

橋体工の損傷は見受けられなかったが、橋座面の損傷を受けて通行止めとされていた。

ひびわれの原因は、設計年次の古い橋梁であるため、橋座面の耐力不足と考えられる。



写真1 全景



写真2 橋台固定支承部



写真3 固定橋脚



写真4 遊間異常

②里川橋（コンクリートゲルバー橋）

里川橋は写真5に示すとおり、大規模な慣性力の作用によって、固定線支承の脱落が発生し、これによって遊間異常が生じている。

支承が複数個所損傷しており、写真7のとおり橋台に対して橋軸方向に5cm、直角方向に9cmと大幅なずれが確認され、通行止めの状態であった。



写真5 全景



写真6 固定支承脱落

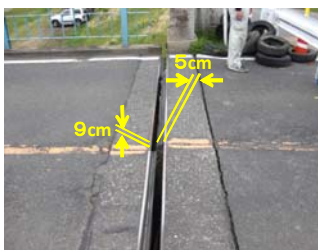


写真7 伸縮装置ゴム破断



写真8 隔壁ひびわれ

③幸久橋（鋼ゲルバー-鋸桁橋）

幸久橋は写真9～12に示すとおり、大規模な慣性力の作用によって、ピン支承部が損傷し、上部工の移動に伴う遊間異常が生じていた。

橋体工の損傷は見受けられなかったが、支承の損傷を受けて通行止めとされていた。



写真9 全景



写真10 ピン支承移動



写真11 遊間異常



写真12 支承部損傷

3.2 ひたちなか市周辺

(1) 対象橋梁

調査した橋梁は表2に示す3橋であり、いずれも一級河川那珂川を渡る橋梁であった。

表3 ひたちなか市周辺の調査対象橋梁

番号	路線名	橋名	橋長 (m)	幅員 (m)	橋梁形式	竣工年
4	国道245号	ミナトオオハシ 湊大橋	330.1	6.0	鋼ランガー	1952年 (昭和27年)
5	東水戸道路	新那珂川大橋 アプローチ部	150.0 ~200.0	9.25	連続鋼箱桁	1999年 (平成11年)
		シンナカガワオオハシ 新那珂川大橋	533.0	22.9	鋼床版斜張橋	1999年 (平成11年)
6		カツタコウカキョウ 勝田高架橋	382.6	9.3	連続鋼板桁	1999年 (平成11年)

(2) 地震観測結果

①観測結果値

架橋位置最寄の地震観測所是那珂湊であり、架橋位置からの距離は1.8～3.5kmである(図3)。

本地点の観測結果を防災科学研究所の強振ネットワーク K-NET[®]に基づき整理した。

表4 地震動整理結果

項目	値
震度	6弱
S I 値	58kine
最大加速度	554gal

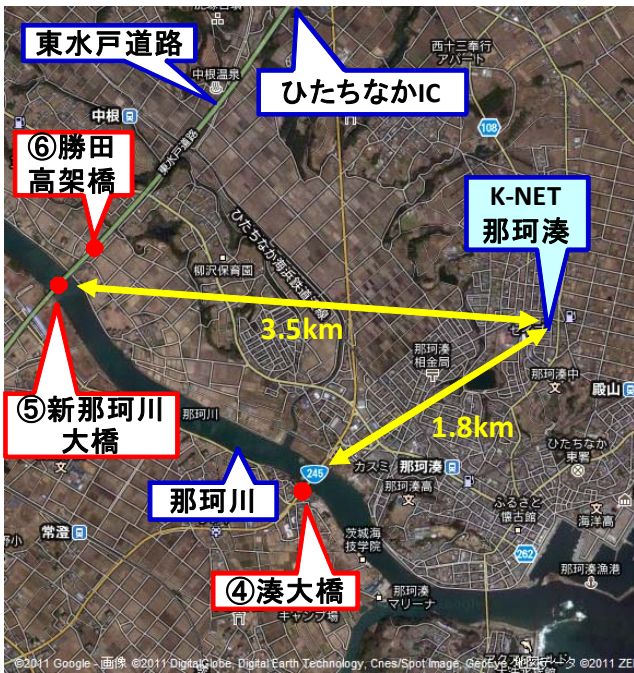


図3 地震観測所と橋梁との位置関係¹⁾

②道路橋示方書の設計用波形との比較

K-NET では地震波形も公開されているため、那珂湊で得られた地震波形を加速度応答スペクトルに変換し、道路橋示方書⁴⁾にて用いられている地震波形との比較を簡易的に行った。

架橋位置は河口付近であり、液状化も各所で確認されたことから、地盤種別はⅡ種～Ⅲ種地盤相当とし、ここでは道路橋示方書のⅡ種地盤の加速度応答スペクトルに、今回得られた値を重ねてみ

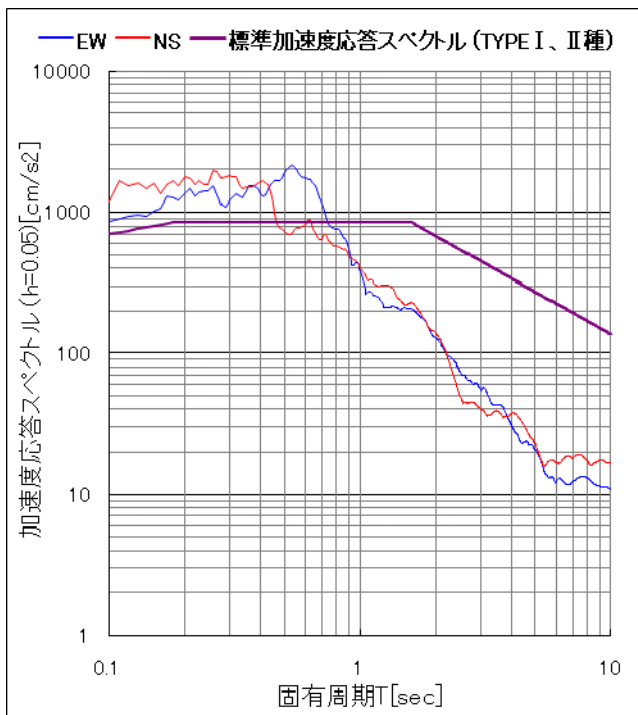


図4 水平成分の加速度応答スペクトルと設計用応答スペクトルの比較 【H14 道示V編、TYPE I】

ることとした。

【比較結果の考察】

- ・短周期区間（固有周期 0.7sec 以下）では、標準加速度を超過しており、レベルⅡ相当と考えられる。
- ・0.7sec を境に加速度は下がり、1.5sec 程度ではレベルⅠ相当まで下がっている。
- ・1 質点系の構造（単純桁、ゲルバー桁）や橋台などについては、固有周期が短いことから大きな慣性力が作用したものと考えられる。
- ・計測震度や SI 値に近いことから、隣接する常陸太田市においても、同様の傾向であったと考えられる。

(3) 調査結果

①湊大橋（鋼ランガー桁）

湊大橋は写真13に示すとおり、調査時は通行止めとなっていた。写真14～15に示すとおり、復旧作業が進められており、詳細の確認に至らなかった。

作業中の支点上では、応急処置として桁連結工が設置されていた。他の橋同様、支承及び橋座付近が損傷したため、桁を連結し、ベントによる仮受けをしていたと考えられる。なお、現在は通行規制が解除されている。

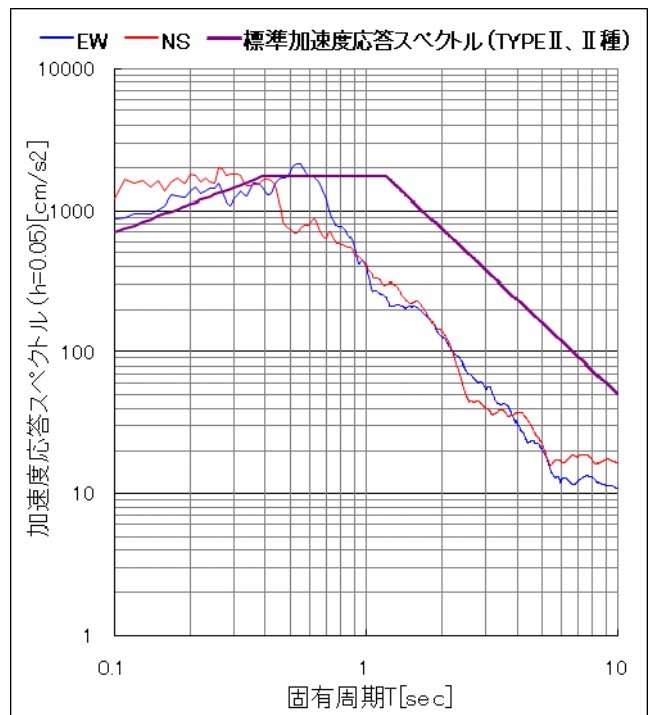


図5 水平成分の加速度応答スペクトルと設計用応答スペクトルの比較 【H14 道示V編、TYPE II】



写真13 全景



写真14 桁連結工



写真17 全景



写真18 破断ボルト



写真15 ベント仮受



写真16 復旧作業状況



写真19 伸縮装置

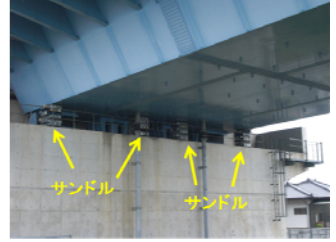


写真20 仮受状況

②東水戸道路 新那珂川大橋（鋼斜張橋）

調査時、東水戸道路は通行可能であった。他の橋と比べ、東水戸道路は比較的新しい橋である。

橋梁本体に大きな損傷は見受けられなかったが、中間橋脚付近では破断したボルト（写真18）を発見した。支承付属物の部材と考えられる。端支点部（ひたちなか IC 側）では、伸縮装置の排水装置部の損傷（写真19）と桁の仮受状況（写真20）を確認した。下部工については、激しい液状化と地盤沈下にさらされたことを確認した（写真21、22）。



写真21 液状化痕跡

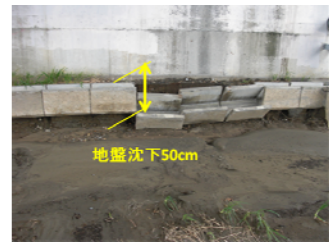


写真22 地盤沈下跡

③東水戸道路 勝田高架橋（連続鋼鈹桁橋）

勝田高架橋は那珂川の左岸側で、新那珂川大橋の北側に位置する。本橋は橋長が 382m と長く、支承もゴム支承による反力分散構造と見受けられる。写真24～26に示すとおり、端支点部では PC ケーブルの変形や排水装置の損傷、変位制限構造の損傷を確認でき、地震により、橋軸方向に大きな変位が生じたと考えられる（端横桁と RC 突起の衝突）。

また、橋台前面には仮受用のベントが設置されていた。



写真23 全景

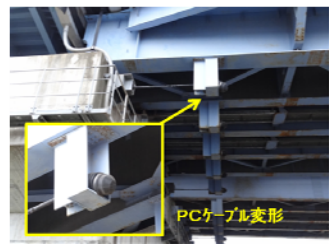


写真24 PCケーブル



写真25 橋台前面

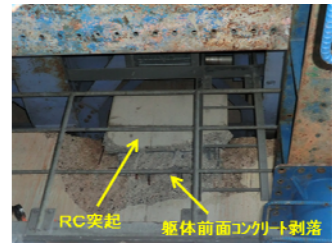


写真26 変位制限構造

4. おわりに

本報は、東日本大震災による道路橋の被災状況を地震動による影響の観点から速報的にとりまとめた。本調査の結果、いずれの橋梁も本体の損傷は少なく、付属物（支承・伸縮装置・落橋防止システム）の損傷にとどまっていることを確認した。

地震データの整理結果からは、レベル 1.5 相当の地震動であったと考えられ、タイプ A 支承の損傷により、残留変位や遊間異常、橋台部の段差等が発生したものと考えられる。

参考文献

- 1) Google マップ : <http://maps.google.co.jp/>
- 2) 国土交通省：河川・道路等施設の地震計ネットワーク情報 <http://www.nilim.go.jp/japanese/database/nwdb/index.htm>
- 3) 防災科学技術研究所：K-NET 強震記録 <http://www.bosai.go.jp/>
- 4) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編

津波からの避難

株式会社エイト日本技術開発

保全・耐震・防災事業部

東京支社 保全・耐震・防災部

田中努・末富岩雄・福岡淳也・福島康宏・井上雅志

1. はじめに

東日本大震災では、死者・行方不明者合わせて約 23,500 人、全壊家屋約 105,000 棟と甚大なる被害を生じており（6/2 時点）¹⁾、その多くが津波による被害である。本報告では、津波による市街地の被害状況と防災施策の効果・課題について、現地調査や各種資料に基づきとりまとめる。

現地踏査は、下記のスケジュールで行った。短時間で広域を回ったため、十分な調査を行えたとは言いが、代表的な箇所について、報告する。

4月11日：宮古市～釜石市

4月12日：大船渡市・陸前高田市・気仙沼市

4月13日：南三陸町・女川町・石巻市

4月14日：仙台市若林区・名取市

2. 各地の市街地被害の概要

図1は主要な調査地点の市街地における浸水高さを示したものである。リアス式の三陸沿岸と平地が広がる石巻市以南では、大きく様相が異なる。明治三陸津波²⁾、今回³⁾とも調査対象とした市街地に該当する箇所の値を資料から選択したものである。明治三陸津波の田老での値は、伝聞による推測値である⁴⁾。15mを越えた南三陸町の志津川、女川町とも明治三陸津波の際には、それほど津波は高くなく、犠牲者も多くない。やはり15m程度であった陸前高田市も明治三陸津波の際の値を把握できず示していないが、3m程度である。震源域

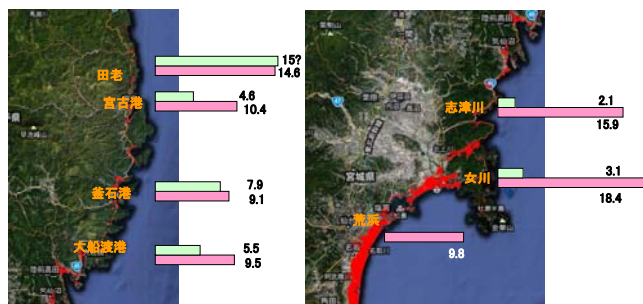


図1 市街地における浸水高(m)

■：明治三陸津波、■：今回

との位置関係や波の波長・周期が関係しているかと考えられ、今後の解明が待たれる。

主な調査地点について、以下に被害概要を示す。

2.1 宮古市

宮古市中心部は港から少しづつ標高が高くなっていく。住宅地の多くは浸水域より奥にあり、浸水エリア内でも形をとどめているものが多かった。図2は宮古駅から市役所付近まで、徐々に浸水高さが変化する様子を示したものである。調査をした4/11には、宮古駅前では、電力は復旧しており、既に飲食店も営業を再開していた。その後も、中心部では順調にライフラインは復旧している。市役所は閉伊川に近く、防波堤を津波が乗り越える映像などが捉えられている場所であるが、1階が使用不能となったものの上階は使えている。

2.2 陸前高田市

15mを越える津波が襲い、海岸から遠く離れた市役所さえも飲み込まれている。また、地盤沈下が最も顕著で、80cmを越えている。

図3に概況を示す。木造住宅はすべて流されて瓦礫と化し、RC造建物のみが形をとどめている。これらの建物も、3～4階まで津波に襲われ、室内は散乱している(市役所と県立高田病院は4階建、ホテルは7階建である)。

2.3 南三陸町

明治・昭和の三陸津波で、志津川での津波は高くなく、近隣の市町村に比べ犠牲は少なかった。にもかかわらず、町は、津波避難ビルの指定、避難ルート案内設置など、精力的に津波避難に取り組んできていた。職員は3階建ての防災庁舎にとどまって広報・情報収集に務めていたが、その屋上までが津波に飲まれることを事前に想定することは困難であろう。

ほぼ街は潰滅し、行政・医療とも拠点を失い、復興へ向けて困難な状況である。



図2 宮古市中心部の概況（地図は Google より）



図3 陸前高田市の概況（地図は AlpsMap より）

2.4 女川町

15m を越える津波が襲った。特徴的なのは、数棟の RC ビルが転倒したことである。現地の状況を見たのは1ヶ月後で既に周囲で瓦礫撤去作業が始まっていたので、被災時の状況は把握できなかった。転倒の原因としては、波力の強さに加え、浮

力の作用、液状化の影響、等、が考えられている（例えば3)5)。メカニズムの解明は重要であるが、この場合も、転倒に至ったのは一部であり、少なくとも高い津波が条件となっていると考えられ、一般的には耐震性がある RC 造ビルであれば、津波避難ビルとして活用可能と考えられる。



写真1 女川町中心部の状況

2.5 石巻市旧北上川河口付近

石巻市の浸水エリアは広く、東岸側と西岸側で被害の様相が異なっていた旧北上川河口付近について調査した。図4に概況を示す。西岸側ではほとんどの木造建物が流され瓦礫と化していたのに対し、東岸側では形をとどめているものが多い。石巻漁港では、道路の陥没や岸壁のはらみ出しが見られ、液状化があったと推察される。



図4 石巻市の概況 (地図はAlpsMapより)

2.6 名取市

仙台市若林区から名取市閑上地区にかけては、平坦な土地が広がっている。多くの犠牲者が出たのは、海岸に近い住宅地であるが、調査日はその付近に入ることはできなかった。少し内陸側は農地であり、写真2に示すような光景が延々と続く。このような場所では、避難が可能な高いところは学校等に限定される。仙台東部道路が奥への侵入を防ぎ、かつ避難場所となったことから、盛土構造物の効用が考えられている。

また、距離が長くなれば、車の利用の是非が問題となる。山下氏⁴⁾も震災前に記しているように、地域の事情に応じた方法を構築していく必要がある。

る(車はダメの原則論のみでは現実的でないが、石巻市街など日頃から渋滞するところでの車による避難は危険である)。



写真2 名取市の農地の状況

3. 人的被害の特徴

図5は、15才未満、16~64才、65才以上の3区分で年齢別の人口比率を表したものである。65才以上の割合の全国平均は19.0% (2431万人:平成15年)であり、宮城県はほぼ全国平均、岩手県は全国平均より高齢化が進んでいる。これに対し、犠牲者(死者・行方不明者)の半数以上が、65才以上の高齢者となっており、やはり、高齢者が逃げ遅れた(避難できなかった)ことは明瞭である。避難生活で体調を崩す方も高齢者が多く、今後関連死も加わると、さらに比率が高くなる可能性がある。一方で、15才未満の犠牲者は少ない。特に岩手県では3%に留まっている。学校が高台にある場合が多く、かつ確実に避難誘導していることが、その理由と考えられる。

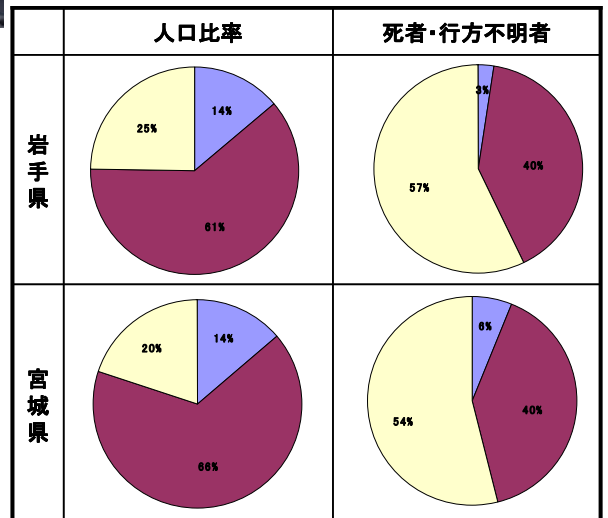


図5 年齢別の犠牲者の比率

人口:平成22年時点⁶⁾
 犠牲者:岩手県・宮城県HP⁷⁾⁸⁾の
 リストから算出(4/21時点)

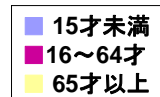


図6は宮城県・岩手県沿岸部の甚大な津波被害を受けた市町村について、推定浸水域に住む人口(津波被災者数)と、死者・行方不明者数をまとめたものである。

死者・行方不明者については、総数約 25,000 人のうち石巻市が 5,649 人と全体の 2 割近くを占め、2,212 人の陸前高田市、1,982 人の気仙沼市が続いている。また、推定浸水域に住む人口についても石巻市が 112,276 人と群を抜いている。

また、推定浸水域に住む人口に対する死者・行方不明者数の割合で見ると、女川町(15%)、大槌町(14%)、陸前高田市(13%)等の市町村において高い被害率を示しており、これらの地域ではおよそ 10 人に 1 人が犠牲になったことがわかる。

図7は、各市町村における総世帯数に対する津波による浸水被害を受けた世帯の割合を示したものである。80%前後の市町村が少なくなく、これらでは、街全体を再建していくこととなる。30~50%程度の市町村では水産業は大きな被害を受けているものの、行政機能は比較的維持されている。

図8は各市町村の浸水域における土地利用構成を示している。宮城県南部では農地が浸水域の多くを占め、リアス式海岸のエリアでは建物用地が浸水域の多くを占めている。



図6 津波被災者に占める死者・行方不明者の割合
復興.info「東日本大震災による津波遡上、津波浸水範囲」⁹⁾に加筆

※1 各県災害対策本部の発表資料⁷⁾⁸⁾(4/27 時点)を基に作成

※2 総務省統計局:「東日本太平洋岸地域のデータ及び被災関係データ」⁶⁾(4/25)を基に作成

4. 防災対策の検証

4.1 避難場所と津波ハザードマップ

1995年阪神・淡路大震災の際は、多くの命が建物倒壊による圧死により失われた。即死に近く、建物の耐震化を進める以外に防ぎようがない被害であった。一方、津波に対しては時間のゆとりが多少はある(今回は約30分)ので、速やかに避難すれば多くの人は助かることができる。したがって、安全な避難方法を事前に住民に周知するため、津波ハザードマップを作成するなどの取り組みが行われてきた。

それにもかかわらず、今回多くの命が失われた要因は以下に大別できると思われる。

- 1) 住民が速やかな避難行動をとらなかった(堤防の過信等)
- 2) 避難した場所が適切でなかった(十分な高さがなかった)
- 3) 安全な場所への避難が困難であった

1)については、複数の報道調査によれば、全体のおよそ4割の人が該当する。家族等の近親者を心配したりして遅れた場合など、情動的にやむ得ない場合も多く含まれるであろう(それゆえに、

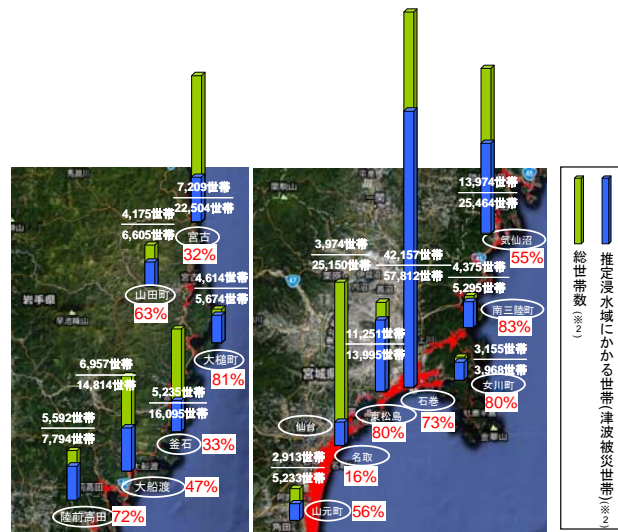


図7 各自治体の津波被災世帯数の割合
総務省統計局⁶⁾(4/25)を基に作成

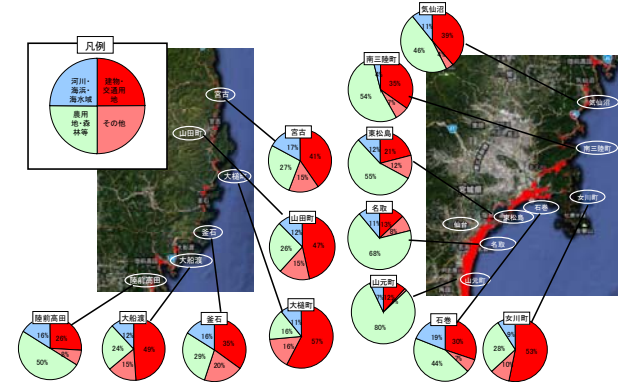
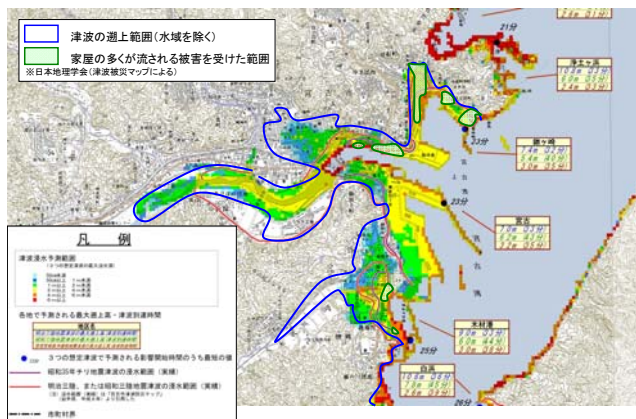


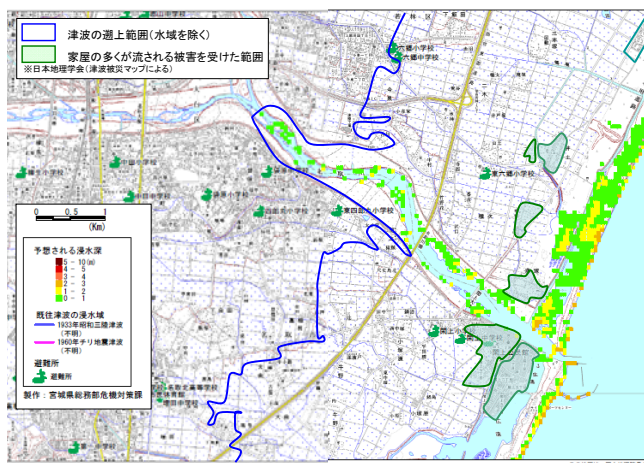
図8 各自治体の浸水範囲における土地利用割合
総務省統計局⁵⁾(4/25)を基に作成

「津波てんでんこ」と言い伝えられている⁴⁾のではあるが)。2)については、過去の被害事例に照らし今回は著しく高い場合やむを得ない部分があるが、多くの人がそうであったように基本的にはすぐにより高い場所へ移動できる場所へ避難することが望ましい。一方で、不適切なケースも見られた。事前に十分な協議がなされていないと、限られた時間で適切な判断をすることは困難である。3)は、仙台市若林区～名取市のように、低地が続いて、かつ高い建物がない場合、安全な場所への移動が車以外では困難となる。また、要援護者の移動には時間を要するので、高台が遠くなくても、やはり時間が足りなかった可能性がある。

自治体による想定と実際のギャップについては、**図9**(a)宮古の例のように、三陸海岸では多少の差異はあるものの浸水域としては大きな狂いはなく、所定の高台に避難すれば助かったはずである。図(b)の名取市の例のように、海岸付近のみで浸水という想定であれば、住民が避難行動をとらなくても無理はなく、また避難する場所もなかった。



(a) 宮古市宮古港¹⁰⁾¹¹⁾



(b) 名取市関上地区¹¹⁾¹²⁾

図9 浸水予測と実際の浸水域の比較

4.2 津波避難ビル

津波避難ビルは、内閣府ガイドライン¹³⁾で『津波浸水予想地域内において、地域住民等が一時もしくは緊急避難・退避する施設(人工構造物)』と定義されている。構造的要件として、1981年以降の建設、RCまたはSRC構造、高さ要件として、想定される浸水深が2mの場合は3階建て以上、3mの場合は4階建て以上、と記されている。

今回の地震でも、RC造の多くは流されることなく留まっており強度は有している(女川町など一部倒壊したものもある)。しかしながら、高さについては15mもの津波が襲った場所では、4階さえも冠水しており、場所に応じた指定が重要であること、余裕があれば少しでも高い場所へ避難する必要性を周知すべきこと、がわかる。**写真3**は建設時から津波避難ビル機能を持たせた典型的な例である。南三陸町の海岸近くにあり、近くの公園にいる人などにとって貴重な避難場所となる位置にある。ところが、ここの屋上にも津波は達している。それでも、避難した約50人は、胸の下まで津波に浸かって手摺につかまりかろうじて無事だった(朝日新聞による)。津波避難ビルの難しさを感じさせる事例である。



写真3 典型的な津波避難ビル
(南三陸町の町営住宅)

4.3 行政施設・医療施設

市役所・町役場が被災し行政機能が十分に果たせなくなったり、病院が被災し十分な医療を施せなくなった事例がいくつか見られた。**写真4**は大槌町役場であり、町長も亡くなっている。**写真5**は南三陸町中心部にある公立志津川病院で、この西棟は5階建てであり、4階まで津波に襲われた。限られた時間で入院患者を5階に引き上げられたのは4割程度であり、看護師も犠牲になっている。入院機能を有する病院は、津波を避けた位置に建設する必要がある。ただし、学校は郊外の高台に

設置しやすいが、日常生活のためには、役場・病院は生活の中心の場に置かざるを得ない。いずれも、小規模の自治体であるので、難しい問題である。



写真4 大槌町役場



写真5 公立志津川病院

4.4 情報の伝達

今回の地震では、気象庁は 14:49 (地震発生から3分後) に大津波警報を発表している¹⁴⁾。しかしながら、十分に危険性が伝わっていなかったゆえに、直ちに避難した人の割合が小さかったと考えられる。防災行政無線や消防団の活動等により、情報そのものはかなりの人に伝わっていたと思われる。ただし、「また津波警報か！」程度にしか受け取っていない住民が多かった。ところが、大津波警報はそれよりも危険度が高いものである。したがって、現在の気象庁の発表方法は、市民の安全行動を適切に促せてはいないようである。気象庁は、6月から「津波警報の改善に向けた勉強会」を開催すると発表している¹⁴⁾。

5. おわりに

津波浸水域に住んでいた人の約1割が死亡または行方不明となっている。2004年スマトラ沖地震など海外の事例に比べれば、犠牲率は低く、地震

国日本の防災意識が高いことの現れである。一方、三陸津波など過去に何度も被災し、「津波てんでんこ」という言葉に代表されるように伝承が行われ、ハード・ソフトの両面から対策が取られてきた三陸地区の割には、多くの犠牲が出たとも言える。

今後の防災対策を考える上では、なぜ避難をしなかった人が少なからずいたのか、を明らかにするなど、原因を明らかにしていく必要がある。本報告内容は推測による部分が多い。今後、学会活動等を通じて、住民へのヒアリング等でこの点を明らかにし、地域防災に寄与したいと考えている。

参考文献

- 1) 消防庁：平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震(東日本大震災)について(第126報)、平成23年6月2日、<http://www.fdma.go.jp/>
- 2) 宇佐美龍夫：最新版 日本被害地震総覧[417]-2001、東京大学出版会、2003年
- 3) 独立行政法人港湾空港技術研究所：2011年東日本大震災による港湾・海岸・空港の地震・津波被害に関する調査速報、港湾空港技術研究所資料、No.1231、2011年4月
- 4) 山下文男：津波てんでんこー近代日本の津波史、新日本出版社、2008年
- 5) 小長井一男・清田隆ら：
Piles for RC/Steel-frame buildings pulled up by tsunami at Onagawa Town,
<http://konalab.main.jp/east-japan-eq/>
- 6) 総務省統計局：統計でみる都道府県・市区町村(社会・人口統計体系)、
<http://www.stat.go.jp/data/ssds/index.htm>
- 7) 岩手県ホームページ：
<http://www.pref.iwate.jp/>
- 8) 宮城県ホームページ：
<http://www.pref.miyagi.jp/>
- 9) 復興.info：東日本大震災による津波遡上・津波浸水範囲、<http://www.fukkou.info/>
- 10) 岩手県：岩手県津波浸水予測図、
http://www.pref.iwate.jp/~hp010801/tsunami/yosokuzu_index.htm#yosokuzu
- 11) 日本地理学会：津波被災マップ、
<http://danso.env.nagoya-u.ac.jp/20110311/>
- 12) 宮城県：宮城県第三次被害想定調査 津波浸水域予測図、http://www.pref.miyagi.jp/kikitaisaku/jishin_chishiki/tunami/yosokuzutop.htm
- 13) 内閣府：津波避難ビル等に係るガイドライン(平成17年)
- 14) 気象庁：気象庁発表情報、
<http://www.jma.go.jp/jma/menu/jishin-porta1.html#b>

宅地造成地盤の被害

株式会社エイト日本技術開発
 ジオ・エンジニアリング事業部
 東京支社 ジオ・エンジニアリング事業部
 木村隆行、金聲漢、山本裕雄・斎藤正朗

1. はじめに

地震時における谷埋め盛土造成地の崩壊は、1995年兵庫県南部地震、2004年新潟中越地震で被害が多発し、2011年3月の東北地方太平洋沖地震においても多くの谷埋め盛土地盤の崩壊が起きた。仙台市においては、1978年宮城県沖地震にて宅地造成地盤の被害が多発し、調査・対策工が実施された。しかし、今回の地震においても再度被災起きた。その被害の状況を以下に報告する。

2. 「宅地造成等規制法」

2.1 大規模盛土造成地変動予測調査

「宅地造成等規制法」の改正(H18.9.30)により、下図フローに従い、仙台市では第一次スクリーニングを実施し、造成宅地地盤ハザードマップを2010年6月に公表した。

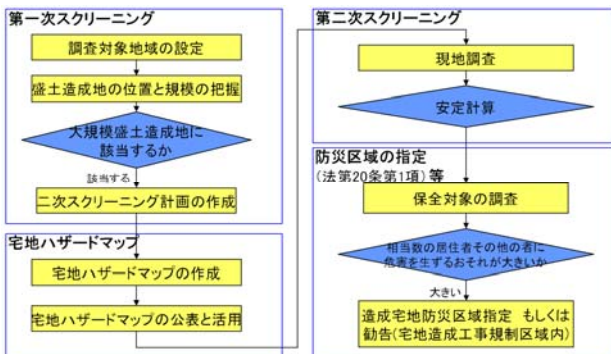


図1 大規模盛土造成地変動予測調査の流れ

2.2 造成宅地地盤ハザードマップ

公表された仙台市「造成宅地地盤図」のうち、今回の地震で被災した主な造成地盤の箇所を図-2に示した。その中で青葉区折立5丁目（対策工未実施）と、太白区緑が丘3丁目（対策工実施済み）の被災状況を次項に示す。

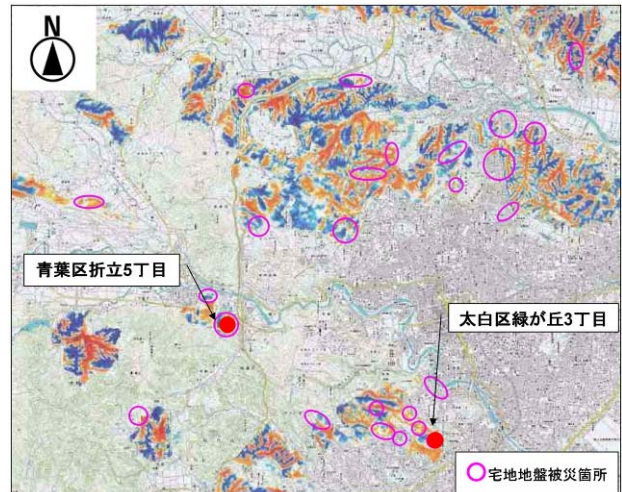


図2 仙台市の主な被災地と調査箇所

3. 被災状況

3.1 折立5丁目の被災状況

青葉区折立地区は1961年に造成されており、1960年の空中写真から折立5丁目付近の地形判読を行い、谷埋め盛土の範囲を推定した。その結果は図3に示すとおりであり、その中で特に変状が大きかったのは、折立小学校南側の谷埋め盛土である。当地の被災状況を写真1に示した。なお、当地はすべり対策工は未実施である。

写真に示すように、盛土全体が谷部下流側に滑動しており、盛土部末端は折立小学校へ向かって滑り出している（写真①）。また、谷部側面の地山と盛土との境界付近では、盛土部のみが変状を起こしていることが確認された（写真②、③）。



図3 折立5丁目の谷埋め盛土範囲



図4 緑が丘3丁目の谷埋め盛土範囲



写真1 未対策造成地盤の被害状況(折立地区)



写真2 対策済造成地盤の被害状況(緑ヶ丘地区)

3.2 緑が丘3丁目の被災状況

太白区緑が丘地区は1965～1972年にかけて造成されており、1961年の空中写真から緑が丘3丁目付近の地形判読を行い、谷埋め盛土の範囲を推定した。その結果は図4に示すとおりであり、当地の被災状況を写真1に示した。なお、当地は1978年宮城県沖地震後にすべり対策工を実施済みである。

写真に示すように、対策工未実施の折立地区のような甚大な被害は見られないものの、盛土全体が北東方向の谷部下流側に変動を起こしていることが確認された。また、盛土頭頂部付近などでは、折立地区同様地山と盛土との境界付近では、盛土部のみが変状を起こしていることが確認された(写真④、⑥)。

また、当地区では対策工として集水井および抑止杭工が成されており、今回の地震によって杭が谷側に押されていると共に、杭頭が地表目に露出していることが確認された(写真⑤)。

4. 危険度評価

一次スクリーニングによって抽出された谷埋め盛土の危険度評価の手法は、主に①点数方式によるものと、②ニューラルネットワークによるものがある。②による手法は、特定の過去の変動実績データを用いて予測モデルを構築するものであり、これに対して①による手法は、表1に示す「ガイドライン」に基づく点数表を基に各箇所を算出し、それを階級区分して図5に示すような変動確率曲線を基に危険度評価を行うものである。

今回は参考に①の点数方式によって被災箇所の点数化を行ってみた。表1に「ガイドライン」に基づく点数表を示した。これを基に折立地区と緑が丘地区の点数を算出すると、表1に示すように被害が甚大な箇所が26点に対して、被害が小～大の箇所は29点となった。

表 1 被災箇所の点数化の例

地区名	盛土厚さ(m)		盛土幅(m)		盛土幅/盛土厚さ		原地盤の勾配(度)		地下水		合計
	区分	点数	区分	点数	区分	点数	区分	点数	区分	点数	
	3以下	21	20以下	0	5以下	1	5以下	5	あり	1	
	3~6	12	20~50	3	5~10	2	5~10	4	なし	0	
	6~12	5	50~120	5	10~15	5	10~15	2			
	12より大きい	0	120より大きい	10	15より大きい	8	15より大きい	0			
折立5丁目(被害大)	5	12	60	5	12	5	9	4	なし	0	26
折立6丁目(被害小)	5	12	90	5	18	8	6	4	なし	0	29
緑ヶ丘3丁目(被害大)	5	12	100	5	20	8	9	4	なし	0	29

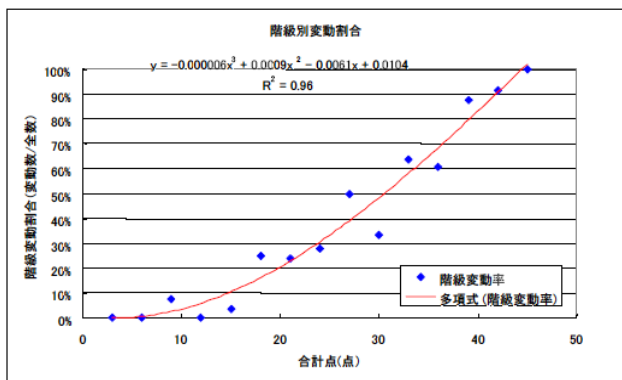


図 5 変動確率曲線の例

5. 解析

「ガイドライン」では、一次スクリーニングにより抽出された危険度の高い谷埋め盛土について、現地調査を行い地震時の安定性検討を行うこととなる。安定検討の手法は、二次元分割法もしくは三次元による解析が基本となる。三次元安定解析では、図6に示すように三次元地形モデルを作成して行うが、谷幅が狭いと側面抵抗による効果が大きくなるため、二次元安定解析よりも安全率が高くなる傾向がある。

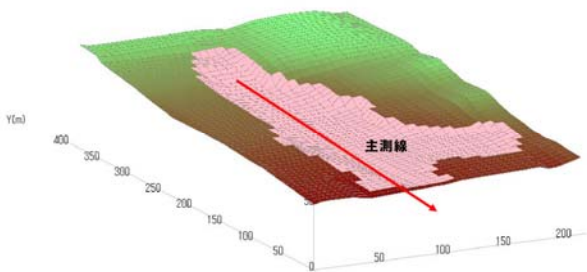


図 6 三次元安定形跡の地形モデルの例

6. 変状原因と今後の課題

6.1 変状原因

地震時の谷埋め盛土の変状要因としては、盛土内の地下水位が高い場合や、施工時の不備による盛土自体の強度不足が考えられる。これら変状要

因を下記に列記する。

- ・ 宅地盛土地盤の耐震設計はされていない
- ・ 盛土内の地下水位が高い
- ・ 造成時の施工の不備
- ・ 旧表土と盛土の境界が弱線となり滑動
- ・ 表層部が弱点となり滑動

etc

6.2 今後の課題

谷埋め盛土の変状予測では、一次スクリーニング時の抽出精度の問題や、抽出された盛土の危険度判定の手法の問題など、机上での検討に関する問題がある。また、実際の盛土被災箇所と危険度判定結果および安定検討結果との検証や、対策工の有効性の検証など、設計・施工に関する問題もある。これら問題点について下記に列記する。

- ・ 大規模盛土抽出の誤差
- ・ 危険度判定点数表の不備
- ・ 安定計算手法
- ・ 全体すべりと表層部すべりの区別対応
- ・ 地盤改良等の造成時の条件整理が困難
- ・ 被災状況の整理と対策工の有効性検証

etc

7. おわりに

上述したように、谷埋め盛土造成地における地震時の危険度評価や対策工検討においては、過去の地震を含めた被災状況から様々な問題点が顕在化している。今後は実施の被災事例を踏まえて、より現実的で精度の高い検討・解析手法を確立させるとともに、有効な対策工の検討も行っていく必要がある。

下水道施設・管路の被害

株式会社エイト日本技術開発
 保全・耐震・防災事業部
 関西支社 保全・耐震・防災部

嘉戸 大治

1. はじめに

東日本大震災では、被災調査対象の 135 市町村の下水道管路施設 66,013 k mのうち、目視ベースで 946 k mにわたる被害が確認されている。

また、64 箇所下水道処理場が被害をうけており、そのうち特に沿岸部の 19 箇所では、津波により、機能停止の状態が続いている。(平成 23 年 5 月 19 日現在)

今回、過去の震災の特徴と比較しながら、下水道管路・施設の被害状況を報告する。

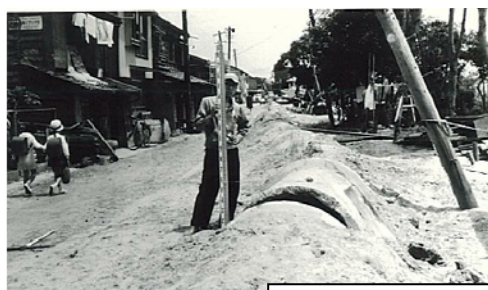
2. 過去の震災による下水道施設被害の状況

(1) 管路の被災状況

過去の震災では広範囲の液状化の影響を受け、管路の浮上や土砂堆積等の被害が発生している。

液状化被害の代表的な事例には、1964 年新潟地震や 1989 日本海中部地震に見られるように、周辺の透水性地盤（砂質土等）全体が液状化し、側方流動した地盤が変位、施設の移動、目地の破損・離脱、土砂の浸入というメカニズムがある。

このときの被害傾向として埋設深が 2 m 程度以内、陶管のように単体長が短いものに被害が集中しており、大規模な地盤の変状に追従できなかったものと予測される。



1964新潟地震

写真 1 過去の震災での下水管渠被害状況

(2) 処理施設の被災状況

処理場の被害としては、1978 年の宮城県沖地震での機能停止の例はあるが、比較的被災規模は小

さいものであった。

1995 年の兵庫県南部地震のとき、東灘処理場下水道施設が大きな構造被害を受けた下水処理場として初めて注目された。(写真 2)

このとき、護岸破壊による側方流動を要因とする破損、冠水の被害を受けている。

また、2004 年新潟中越地震の際には、流入渠継手破損、直接基礎構造物の傾斜等が見られている。



写真 2 1995 年兵庫県南部地震による東灘処理場の被害状況

3. 東日本大震災による下水道施設の被害状況

表 1 は、平成 23 年 4 月 8 日現在での下水道施設の被災状況を取りまとめたものである。

項目	箇所数
施設損傷した下水処理場	4 5 箇所
稼動停止した下水処理場	1 9 箇所
被災状況未確認の下水処理場	1 0 箇所
管渠被害状況{数量未確認}	マンホール隆起 道路陥没 その他

表 1 平成 23 年 4 月 8 日現在の下水道関連の被害状況

岩手県、宮城県、福島県の下水道処理場において津波による浸水被害が発生したほか、各地で施設損傷や機能停止などの被害が発生した。

管渠については、マンホールの隆起、道路陥没等の被害が発生している。

管路被害調査は主に内陸部で進んでおり、津波被害を受けた沿岸地区はこれから調査が行われ、徐々に被害状況が判明していくこととなる。

(1) 管路の被災状況

今回の地震では、関東から東北にかけ大規模、広範囲の液状化が発生している。

そのため管路には、過去の岩手・宮城内陸の震災時と同様に、液状化に伴う被害（閉塞、人孔隆起、管路不陸、滞水等）が発生している。

1) 液状化による閉塞

液状化により、細かい粒子の砂が地上に噴出、管渠内に堆積し、管路施設の閉塞などが発生している。

写真3は、千葉県浦安市の被災例である。液状化により細かい粒子の砂が人孔内に堆積、閉塞している。今回は地震動の継続時間が長く、管路や人孔の隙間や、人孔蓋の穴から砂が入りやすい条件があったものと想定される。



写真3 液状化による人孔の閉塞
(千葉県浦安市内)

2) 管の不陸、人孔隆起等

写真4は、茨城県内における、液状化による下水管渠の浮上の状況である。



写真4 液状化による管路の浮上
(茨城県内)

マンホールの隆起は、各地で確認されている。

写真5は宮城県白石市内での状況である。舗装を突抜け、1m以上も人孔本体が浮き上がっている。

いずれも管路の埋戻し土の液状化に伴い発生した事例と思われる。



写真5 液状化による人孔の隆起
(宮城県白石市内)

3) 路面の沈下

同様に埋戻し土の液状化により、路面の沈下も確認されている。

写真6は、宮城県栗原市の状況である。



写真6 液状化による路面沈下
(宮城県栗原市内)

反面、埋戻し土の液状化対策をとっている区間については、上記のような被害は少なく、従来の液状化対策であっても有効性もあるものと考えられる。

4) 沿岸部での被害状況

津波による被害を受けた沿岸部については、まだ十分な調査が行われておらず、今後さらに被害は増えることが予想される。

しかし、現地を踏査した印象では、地表面やどう路面の陥没やひび割れなどは確認できていない。地下構造物や管路の被害は地震の規模に比べ少ないのではないと思われる。

(2) 処理施設の被災状況

1) 内陸部での被災状況

内陸部では下水道施設の被害は、地震動によるかき寄せ機チェーン等設備の脱落による機能停止が主であった。

2) 沿岸部での被災状況

写真7は、仙台市の南蒲生浄化センターでの津波襲来時の写真である。管理棟の屋上からの撮影であるが、約100人の職員が避難している。



写真7 津波による南蒲生浄化センター
—浸水状況(仙台市 Web)

写真8は、津波による浸水後の同浄化センターの状況である。地上部にある配管や機械設備などは破壊されている。

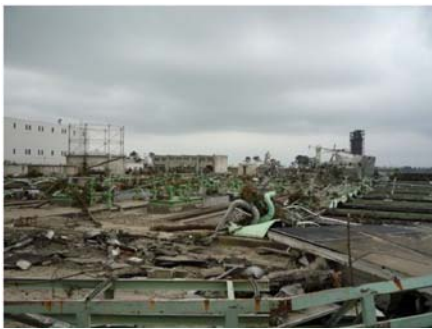


写真8 津波発生後の蒲生浄化センター
—被災状況(仙台市 Web)

センター内の被災状況を観察すると、程度の差はあるが、すべての建屋は津波の衝撃により壁、柱が破壊されており、地上の構造物、施設の被害は甚大である。

反応槽への海水の浸入、電気機械設備の海水の浸水により、当処理場は機能停止となっている。

反面、沈殿池、反応槽などの土木構造物については、大きな被害はみられなかった。

現在、バキュームカーなどにより応急対応を行っている。



図1 蒲生浄化センター被災状況

今回の津波では、南蒲生浄化センターのような大規模な下水処理施設に限らず、小規模な処理施設も被災している。図2は、岩手県大船渡市内にある、蛸の浦浄化センター(漁業集落排水施設)の状況である。

施設に近接して、国土交通省の津波監視小屋もあり、津波に対しては警戒していた地区であることはわかる。

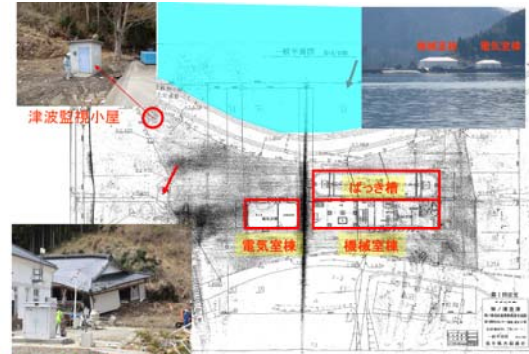


図2 蛸の浦浄化センター被災状況

津波の直撃を受けたにもかかわらず、一見すると建屋は破損されていないようにも見える。実際に、土木施設には、ほとんど被害が見られない。

しかし、電気室、機械室の内部は津波の直撃による冠水や破損のため、処理施設の機能は完全に停止している。(写真9参照)



写真9 蛸の浦浄化センター内部被災状況

同浄化センターの付近は、津波により建物などの被害は甚大なものとなっている。

しかし、道路や地表面には陥没、地割は見当たらず、管路自体の被害は小さいものと想定される。

そのため、地域の復興にともない、当該浄化センターに汚水が再び流入してくる可能性もある。しかし小規模ゆえに他施設に比べ優先度が低く、設備の復旧見通しは立っていないのが現状である。

4. おわりに

今回の震災による管路施設の被害状況は、液状化による管路、人孔の隆起や道路陥没など、過去

の震災での被災事例と同様の傾向が見られる。

沿岸部の下水処理場については、過去の事例のような地震動による建造物の破壊ではなく、初めて津波による大きな浸水被害が発生した。

これほど広範囲で大規模な下水処理場の機能停止は初めてのことではあるが、想定はしておかなければならないことでもある。

平成23年6月13日(※)現在で、津波により被災し、機能停止となった19箇所の処理場のうち、11箇所が応急対応中である。(図3参照)

時に対応できる体制の構築、資材の確保などが重要となる。

以上

(※：報告会後であっても、論文取りまとめ時点での最終データを使用した)

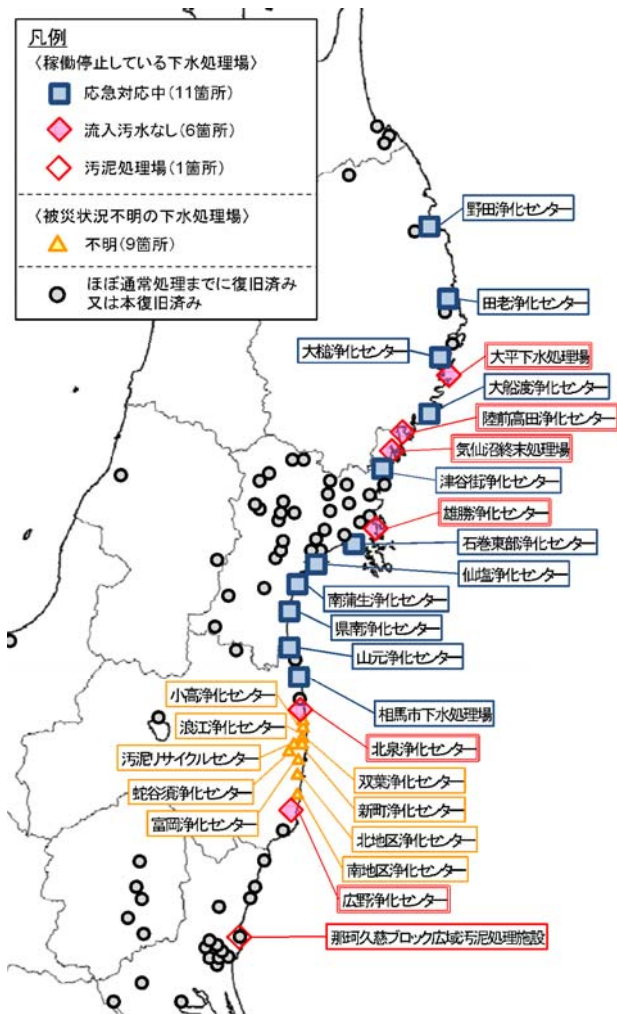


図3 平成23年6月13日現在被災した浄化センターの応急対応状況(下水道協会 Web)

今回のような大規模な津波などに対しては、被害を完全に防ぐことは不可能である。そのためには、被災を受けたときを想定し、最低限必要な機能を確保できるように対策とっておく必要がある。

処理場において最低限必要な機能は、流入水のポンプアップ、簡易沈殿、塩素滅菌後に放流することである。

そのためにはあらかじめ減災計画を立て、緊急

公園緑地等の被害と津波対策緑地の提案

株式会社エイト日本技術開発 地球環境・エネルギー事業部
 東京支社 地球環境・エネルギー部 緑・環境計画グループ
 落合直文・梶原俊之
 四国支社 地球環境・エネルギー室
 宮内大悟
 中国支社 地球環境・エネルギー部 緑・環境計画グループ
 伊丹結里

1. はじめに

緑・環境計画分野では、防災公園整備に係る調査・計画・設計に重点化を図っているところであり、特に既往災害の教訓情報に基づいた政府への政策提言や東京都防災公園整備事業や山梨県防災公園整備事業等の地方自治体への支援業務を展開し、地域の減災機能向上への貢献を問題意識として取り組んでいる。

東北地方太平洋沖地震は、既往災害情報では得られない広域的かつ津波による被災状況であるため、被災地調査を実施し、都市公園の被災状況及び震災時利用の実態把握や今後の津波対策における公園緑地のあり方研究の基礎情報を得ることを目的とする。

2. 調査行程

調査は、2011.04.20(水)に実施した。

調査行程を表1及び図1に示す。なお、今回の調査地は全て震度6弱を記録している。

表1 調査行程

時間	対象地	踏査内容
06:30	花巻広域公園(花巻市)	公園施設の被災状況
09:00	綾織地区農村環境改善センター(遠野市)	陸上自衛隊活動拠点(隊員生活支援・通信支援)設営状況
10:00	鈴子広場(釜石市)	陸上自衛隊活動拠点(隊員生活支援)設営状況 日本赤十字社応急救護拠点設営状況
10:30	サンフィッシュ釜石	広域物資拠点設営状況 釜石市災害対策本部
11:00	館山神社周辺(釜石市)	津波避難場所及び周辺の状況
11:30	平田総合公園(釜石市)	陸上自衛隊活動拠点(給水支援)設営状況
12:30	大平公園(釜石市)	公園施設の被災状況
13:00	嬉石地区(釜石市)	被災、避難路状況
13:30	台村公園及び周辺(釜石市)	被災、避難路、利用状況
15:30	廃校跡?(釜石市)	応急仮設住宅建設状況
16:30	大槌ふれあい運動公園(大槌町)	陸上自衛隊活動拠点(入浴支援・物資支援・隊員生活支援)設営状況 広域物資拠点設営状況
18:00	遠野運動公園(遠野市)	陸上自衛隊進出拠点

【コラム】～防災公園とは～

都市の防災機能の向上により安全で安心できる都市づくりを図るため、地震災害時に復旧・復興拠点や復旧のための生活物資等の中継基地等となる防災拠点、周辺地区からの避難者を収容し、市街地火災等から避難者の生命を保護する避難地等として機能する地域防災計画等に位置づけられる都市公園等

《当社技術のポイント》

『ストックを対象に総合化・効率化と利用改善効果を図る防災公園の計画・設計』を重点化し、公園施設の被災予測や震災時利用計画、防災公園管理運営マニュアル案等の作成に役立てるため、被災地での知見や教訓情報の蓄積に取り組んでいる。



写真 新潟中越地震の被災地調査

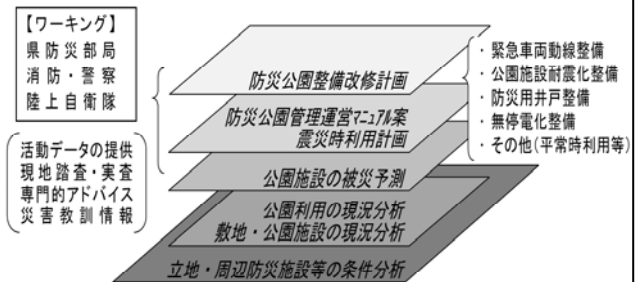


図. オーバーレイによる総合化・効率化

- バリアフリー化
 - 移動円滑化園路と緊急車両動線の重複に配慮し、バリアフリー化
- 公園の利用促進/老朽化施設の更新
 - 緊急車両動線を活用した3on3コート利用、園路拡幅による日常動線の円滑化
 - 緊急車両集結地整備による駐車場台数の増加
 - 園路及び駐車場舗装の更新、照明設備の更新、無停電化等に伴う機械設備の更新
- 維持管理コスト縮減
 - 防災用井戸による雑用水利用
 - 無停電化計画に伴う電力需要の最適化

図. 平常時利用の改善効果

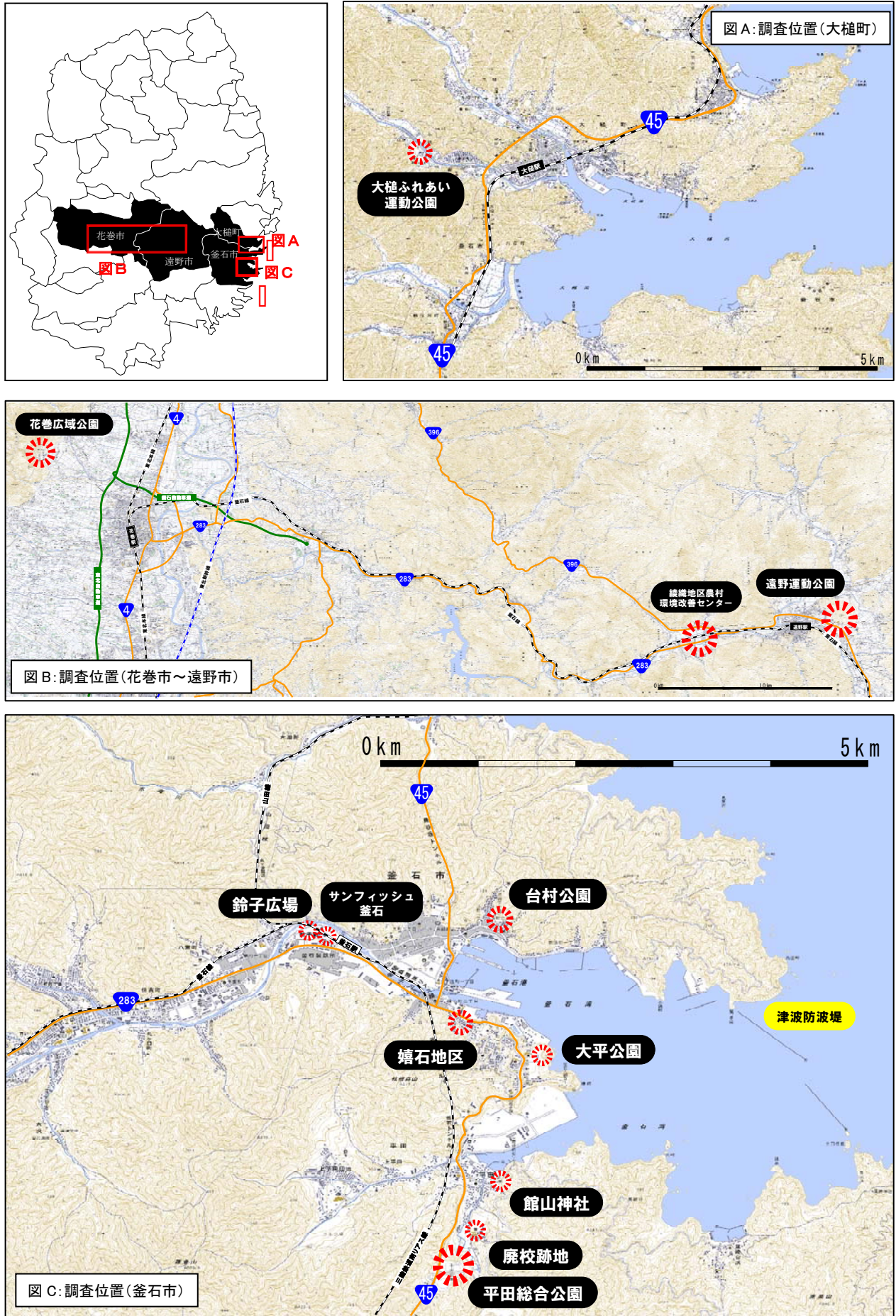


図1 調査位置

出典:国土地理院 1:25,000 地形図

3. 調査結果

3.1 公園施設の被災状況

東北地方太平洋沖地震は、その周期特性から地震動による構造物等の被害が少なかったことが指摘されており、調査地の公園施設も同様に地震動による被害は限定的であった。

(1) 花巻広域公園

花巻広域公園は、昭和57年7月に設置された県立都市公園であり、供用面積91.3ha、公園種別は広域公園である。

公園施設の被災状況は、中越地震の時と同様に、屋外便所の浄化槽の浮き上がり、柵のビーム部分の脱落、園路のクラック、切盛境と考えられる部分の側方流動が認められた。また、被災した公園施設には、施設劣化が要因となっていると考えられるもの（写真5、6）も見受けられた。



写真1 浄化槽の浮き上がり



写真2 柵のビーム部の脱落



写真3 園路のクラック



写真4 駐車場の側方流動



写真5 小端積の倒壊



写真6 四阿の倒壊

(2) 嬉石公園

嬉石公園は、昭和51年10月に設置された釜石市の街区公園で、供用面積は841㎡である。

嬉石公園の位置は、標高4m程で津波被害を受けた場所であり、地区内の津波痕跡からは標高12m程の津波高に見舞われたと想定できる。

公園施設の被災状況は、被災前の状況が全く判らないほどに津波による施設の流亡が著しく、激しく湾曲したすべり台が敷地内に唯一残ることで、公園であったことが判る。



写真7 嬉石公園の被災状況



写真8 湾曲したすべり台

(3) 得られた知見・教訓情報

花巻広域公園での地震動による公園施設の被災状況は、中越地震の時と同様に、盛土部分での地盤変状が確認され、特に切盛境での側方流動が認められ（写真4及び9）、都市公園の震災時利用を想定する場合には、切盛境での側方流動による面的な被災リスクを考慮することの重要性を改めて確認することができた。



写真9 小千谷市白山運動公園の切盛境の側方流動 (中越地震)

さらに、今回の花巻広域公園の調査では、平成21年度から公園施設長寿命化計画策定事業が実施されている社会背景を踏まえ、公園施設の劣化と地震動との観点から被災施設に注目している。

倒壊した四阿（写真6）は、屋根部分が大きく構造上の弱点を抱えていたと判断できるが、損傷箇所を注視すると、黒色を呈し腐食していたことが伺える（写真10）。

四阿のような小規模な工作物は、建築基準法の適用を受けない物が多く、構造上のチェックは簡易な方法で済まされる。また、林業振興の観点から地元産材の使用が奨励され、木製の在来工法で構築されるものが多く、これも構造上のチェックは簡易な方法となる。

しかしながら、このような木製の小規模な四阿について、地震動を考慮した構造計算を実施する必要性はないと判断するが、これまでの震災による知見や教訓情報を活かして、施設の健全度に対する日常管理の配慮や柱の計画更新、また計画・設計時における柱数や基部及び緩衝部等への鋼材の使用等の配慮が必要であると考えられる。



写真10 倒壊した四阿の腐食 (花巻広域公園)

3.2 都市公園等の震災時利用

東日本大震災では、2011.06.10 現在、自衛隊の大規模震災災害派遣の規模は 69,200 名（防衛省 HP より）、緊急消防援助隊の派遣規模は 28,620 名（総務省消防庁 HP より）に上り、他にも警察や民間団体等、大規模な救援・救助の活動が実施されている。

今回の調査では、都市公園等が救援・救助の活動拠点として震災時利用されている状況を確認した。

(1) 綾織地区農村環境改善センター（遠野市）

陸上自衛隊の活動拠点として、釜石市及び大槌町で展開する隊員の生活支援のため、駐車場を利用して隊員用の炊き出し行っていた。また、グラウンド端を利用して通信アンテナを設営し、通信支援を行い、いずれも被災地での隊員活動を支援するための利用となっていた。



写真11 通信支援の状況 写真12 駐車場利用の状況

(2) 鈴子広場（釜石市）

鈴子広場では、中央の広場部分を日本赤十字社が臨時診療所として、また周囲は、陸上自衛隊の活動拠点として利用していた。

臨時診療所は、津波後直ぐに、自前の発電機を持ち込み電源確保し設営された。一週間単位で全国の赤十字病院から医療機材及びスタッフが交代で派遣されていた。



写真13 鈴子広場の状況 写真14 臨時診療所の状況

鈴子広場の野外ステージのイベント用端子箱から陸上自衛隊が電力供給を受け、また屋外便所の手洗いから仮設便所へ給水供給され、公園のライフラインが活用されていた。

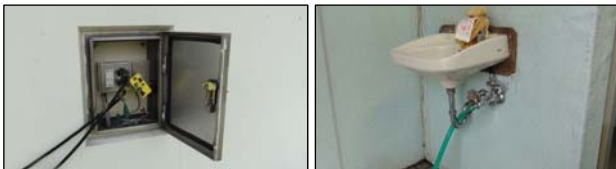


写真15 端子箱からの電力供給 写真16 屋外便所手洗いからの給水

(3) 平田総合公園（釜石市）

陸上自衛隊の活動拠点として、釜石市及び大槌町の被災地給水支援拠点利用が行われている。調査時点での部隊規模は約 300 人である。

多目的グラウンドを宿营地と車両集結地として、

グラウンド管理用通路を緊急車両動線として利用している。



写真17 宿营地の状況 写真18 緊急車両集結地の状況

(4) 台村公園（釜石市）

台村公園は高台に位置する街区公園で、公園及び周囲の家屋は津波被害を免れている。しかしながら、家屋は無事であってもライフラインの被災により生活が著しく制限されているため、地域の炊き出し、仮設トイレの場、救援物資の保管場所として、在宅罹災者の共同生活の場として利用している。なお、公園は津波避難場所。



写真19 広場の炊き出し等の利用 写真20 公園入口に仮設トイレの設置

(5) 大槌ふれあい運動公園（大槌町）

被災地の生活支援と陸上自衛隊の活動拠点、広域物資拠点として利用されており、①被災地の入浴支援、②物資支援とともに、③隊員の宿营地利用が行われている。また、町の④広域物資拠点として利用されている。

①と②は園路広場を利用し、③は多目的グラウンドを利用、④は野球場とテニスコートを利用し、多様な震災時利用が集中している。これは町内には公園緑地等のオープンスペースが不足しているためと考えられる。



写真21 広域物資拠点(テニスコート) 写真22 広域物資拠点(野球場)



写真23 陸上自衛隊による入浴支援 写真24 救援物資の配給支援



写真25 広場を利用した宿营地の状況 写真26 多目的グラウンドを利用した宿营地の状況

(6) 得られた知見・教訓情報

今回の調査では、運動公園や総合公園といった

都市基幹公園での救援部隊の活動拠点利用が目立ち、都市基幹公園の震災時利用の重要性和自治体単位で都市基幹公園を配置することの防災的意義を改めて再確認できた。

一方で、自衛隊等の利用実態と公園施設との関係を注視すると、緊急車両の通行を想定していないために、円滑な利用とは言い難い事例もあった。

この事例は、平田総合公園での緊急車両の転回半径と出入口の不整合や大槌ふれあい運動公園での仮設出入口やテニスコートへの車両進入不可等があげられる。また、緊急車両通行に伴う縁石や車止めの損傷、不陸の発生等も認められた。

震災時利用後の公園施設の復旧は、自治体の負担となることに配慮すると予め震災時利用を考慮した計画とし、震災時利用の円滑化と利用に伴う公園施設損傷を最小限に抑える工夫が必要である。

3.3 津波被害と津波避難場所の状況

東日本大震災では、津波被害の激甚さが大きな特徴であったため、釜石市の津波避難場所(図2)を調査し、緑地等の津波対策の状況を把握した。

(1) 館山神社周辺(釜石市)

館山神社は津波避難場所であり、周辺は津波の被害を受けているものの、津波浸水想定区域で津波被害は収まっており、釜石港の津波防波堤の効果を示唆するものであった。

境内に通じる階段は手摺が設置され、また避難場所には集会所があり、建物被災は限定的で、避難生活を支えていたと判断できた。



(2) 嬉石地区(釜石市)

高台に通じる階段(フットパス)があったが、市街地の連担状況から判断して、位置や幅等が十分であったのか検証することが課題である。

また、建物被災状況から、津波の到達方向と建物位置関係から避難路の安全性が既定される可能性があるかと推察できた。



(3) 浜町地区周辺(釜石市)

釜石港周辺には、幾つかの津波避難場所が指定されている。裏山の小さな場所は、狭さとともに

アクセスは決して良好ではなく、また避難生活は相当な制限を受けていたと考えられた。



写真31 佐々木家稲荷神社の津波避難場所と避難経路

(4) 得られた知見・教訓情報

津波被害は面的であり、また建物等位置関係から、波の到達も複雑である。そのため、高台に通じるフットパスを可能な限り多く確保し、避難時間の短縮化と避難経路の選択機会を高める工夫の必要性を感じた。また、津波避難場所は荒天時対応等に配慮することも検討課題である。

なお、津波避難ビルは、その効果を発揮したが、漂流物による建物閉塞に伴い、引き潮後に身動きができなくなるリスクを考慮する必要がある。



写真32 津波避難ビル1Fの被災状況



出典：釜石港救援情報図；海上保安庁
図2 釜石市の津波避難場所調査位置(赤枠)

4. 津波対策緑地の提案

釜石市の釜石湾に面した地域は、津波浸水想定区域内で被害が収まっていたことから、防潮堤の効果を知ることができた。しかし、釜石市の人的被害は死者 862 名、行方不明 391 名（6/13、17:00 時点；岩手県災害対策本部発表）と甚大で、今回のような大規模津波は、構造物だけで防ぐことには限界がある。したがって、30～100 年に一度のレベルの津波は構造物で財産と生命を守り、それ以上の津波は、ソフトとハードの対策を組み合わせ、生命を最低限守り、全体として減災となる工夫により津波に強いまちづくりを進めることが重要である。それでは、津波に強いまちづくりとは、どういうものであろうか。手法としては、高地移転、防浪地区、防潮林等が挙げられるが、今回は釜石市のようなリアス式海岸に位置する都市を想定し、緑地に着目した対策手法を提案する。

4.1 津波対策の課題

今回の調査で得た知見・教訓情報から、津波対策の課題として、次の3点があげられる。

① 多くの津波避難場所の確保

調査では、普段の防災訓練に参加していない人の多くが津波にさらわれたというヒアリングを得ているが、観光客等の訪問者を考慮すると、前項で述べたとおり、避難時間の短縮化と避難経路の選択機会を高めるために、多くの津波避難場所とそれに通じる避難経路を確保することが必要である。

② 津波避難場所の機能改善

今回のような津波、また遠地津波の場合には、津波避難場所での避難が長時間となるため、荒天時の配慮や光源、熱源の確保が必要で、防災対応の休憩舎の設置や緑地管理で得られる薪の保管等、避難生活の機能向上を確保する。

③ 救援部隊の活動拠点等の確保

丘陵地に都市基幹公園を配置し、被災直後に救援部隊の活動拠点に転用し、初動体制の早期確立を図り、減災に役立てることが有効であり、また復興期において津波の危険のない応急仮設住宅の建設用地を確保することに役立つ。

さらに、今回の報道等で専門家の指摘するところである④防潮林の整備や⑤漂流物対策を考慮することが必要である。

4.2 津波対策緑地

津波対策緑地は、市街地や周囲の高台のみどりを保全し、津波避難場所として役立て、さらに防災公園の設置や防潮林、漂流物対策の街路樹帯を配置して、みどりによる総合的な津波減災対策の

手法をイメージしたものであり、下記にその概念、配置イメージを示す。

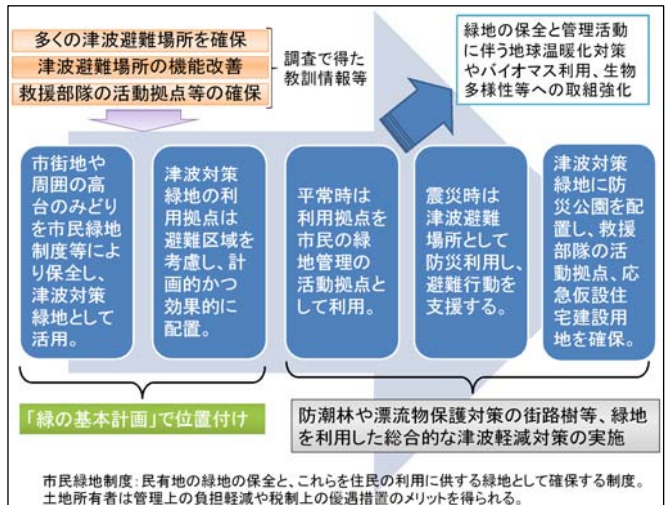


図3 津波対策緑地の概念



図4 津波対策緑地の配置イメージ

4. おわりに

今回の調査では、津波による被害の甚大さをまざまざと知ることができた。さらに、津波避難場所のヒアリングでは、避難途中で波に呑まれる様子を聞かされ、悔しさを訴えられた。

そして、被災地域の復興とともに、「東海・東南海・南海地震」や「首都圏直下型地震」に対して如何に対処すべきかを様々な分野で探求することが重要であり、造園分野に携わる身として公園緑地を活用した減災機能の効果的な発現について益々研鑽していきたいと強く感じた。

-了-

ガレキ処理の現状と今後の課題

株式会社エイト日本技術開発
地球環境エネルギー事業部
資源循環&エネルギーグループ

千葉民和

1. はじめに

我々資源循環グループは、今回の震災の当日から当社は設計に関わった東北の一般廃棄物処理施設の被害状況を確認するために、連日顧客に連絡し、必要な場合は現地に出向き調査してまいりました。

その動きと並行して、復興の第一歩となる「ガレキ処理」に関して何らかの支援できないかグループ内で模索し、当社独自のガレキ調査を行うこととしました。調査対象は岩手県、宮城県の津波被害を受けた沿岸地域、福島県については原発の問題があり社員の安全を考慮して今回は対象から外しました。

下記に示す報告内容は、宮城県に限定しております。また県に報告した詳細な内容は割愛して、ガレキ撤去の現状と処理にあたっての問題点を抽出することに重点を置いた報告となっております。

2. ガレキ処理に関する国、宮城県の基本方針

2.1 環境省

3月16日：基本方針・対応方針発表

3月17日：各都市及び関係団体に対し、被災市町村の災害廃棄物の処理について協力要請

5月16日：東日本震災に係る災害廃棄物の処理指針（マスタープラン）策定

2.2 宮城県

3月28日：知事方針発表「ガレキ撤去に1年、3年めどに処理」
「少なくとも1800万トン」

4月1日：震災廃棄物処理チーム設置「ガレキ1班2班3班」

4月11日：震災廃棄物復興基本方針（素案）

4月13日：宮城県災害廃棄物処理対策協議会設置

3. ガレキ処理に関する行政サイドの問題点

- ガレキ撤去及び処理に関して、国、県、市町村の役割が必ずしも明確になっていない。
- 分別状況が市町村毎にバラツキがあり、県の

指導が行き届いていない。

- 事業主体は飽くまで市町村であり、県は市町村からの委託がないと動けないとの建て前論で受け身になっている。現行法での処理を前提としており、補助金の流れが市町村を経由して県に入ることも影響している。
- 宮城県の場合、廃棄物処理施設の発注経験がなく、経験豊かなインハウスエンジニアが居ない。したがって、廃棄物事業の流れや、事業規模のイメージがなく、敏速な準備ができていない。因みに政令市である仙台市は、既に3か所での処理施設を発注済である。
- 知事が国の直轄処理に拘ったために、発注準備が戸滞ってしまった。

4. 震災以降の当グループの支援方針と活動履歴

- 3月12日～ 当社設計の工事中及び稼働中の施設の被害状況を調査
- 4月6日 宮城県環境部廃棄物対策課、ガレキ1班に対してヒアリング実施
- 4月13日～4月19日 第1回 ガレキ調査（一次仮置場）
- 気仙沼市、南三陸町、女川町、石巻市、東松島市、松島町、塩釜市、多賀城市、仙台市、名取市、岩沼市、亘理町、山元町
- 4月22日 宮城県環境部廃棄物対策課、ガレキ1班に調査報告及び企画提案を実施
- 4月28日 同上ガレキ1班にFRPの処理について提案及び意見交換
- 5月10日 同上ガレキ1班に支援業務の企画提案及び意見交換
- 5月19日 同上ガレキ1班に支援業務2の企画提案
- 5月25日～ 第2回 ガレキ追跡調査（一次仮置場）

5. 当社が行ったガレキ調査の目的と方法

5.1 調査目的

- 一次仮置場の分別状況が、後の処理方法（処

理工程、処理費)に多大な影響を与えることから、一次仮置場の調査が最優先課題であると判断した。

- ・過去の津波ガレキのデータが乏しいことから、現地調査が不可欠であると判断した。
- ・地域毎のガレキ性状の特性を把握するため。
- ・県が発注する仮設処理施設の処理システムに関して調査を反映させた企画提案をするため。
- ・県に対して計画支援業務を提案するためにニーズを把握するため。

5.2 調査方法

- ・市町村が行っている一次仮置場への集積状況を把握する。
- ・一次仮置場の場所を特定(座標)し、面積、交通状況を確認する。
- ・量を計測する。(概略)
- ・分別状況と前処理状況を確認する。
- ・臭い、粉塵を確認する。
- ・未分別混合ガレキの組成を概略把握する
- ・ヘドロを採取する
- ・管理状況を確認する



図1 汚泥の採取

6. ガレキ調査内容(概略)

6.1 気仙沼市

- ・分別状況:概ね分別しているが、未分別混合ガレキが圧倒的に多い。
- ・火災ガレキが多いのが特徴、産業系が多いので金属類と汚泥が多い。
- ・臭いが酷い、水産加工場が原因か?
- ・浸水した一般家庭のゴミが生活道路に山積み状態
- ・市内の地域毎でのガレキの性状が異なる、生活者とガレキ撤去車両、行方不明者の捜索が混在し、混乱状態。
- ・被災状況が複雑で、ガレキ処理には時間が掛かること必至。



図2 気仙沼市

6.2 南三陸町

- ・町全体が消失している。ガレキの多くは山側に押し流されている。
- ・分別状況は非常に悪いが、主に自衛隊が運んでいることが要因ようだ。
- ・汚泥は殆どなく、砂が多い。
- ・生活系のゴミは少なく、家屋の倒壊ガレキが殆どである。

6.3 石巻市中心部

- ・他の地域と比べて圧倒的にガレキの量が多い、既に一次集積所が満杯状態。
- ・分別状況は良好であった。
- ・津波被害が無かった所、浸水した所、半壊、全壊、消失と同じ地区の中で混在し、複雑怪奇である。
- ・石巻港の製造業、水産加工場等が壊滅的で、周辺は臭いや衛生面で最悪の状況。
- ・県内で最も時間が掛かることが予想される。



図3 衛生状況の悪化

6.4 東松島市

- ・分別状況は、10種類で良好である。
- ・過去の大地震の経験を活かしていることが感じられた。
- ・まだまだ行方不明者の捜索が続いており、撤去の時間がそれなりに掛かるようだ。



図4 東松島市 大量のタイヤ



図7 畳のカビ

6.5 塩釜市、多賀城市

- ・ 分別はかなりまめに実施されている。
- ・ 自動車系が多いのが特徴。
- ・ 半壊家屋が多く、解体が始まれば一挙に増えると予想される。



図5 多賀城市 分別状況



図8 野焼き



図6 多賀城市 コンクリ破砕機

6.6 名取市、岩沼市

- ・ 倒壊家屋の撤去は急ピッチで進んでいる。
- ・ 分別状況は良好である。

6.7 亶理町、山元町

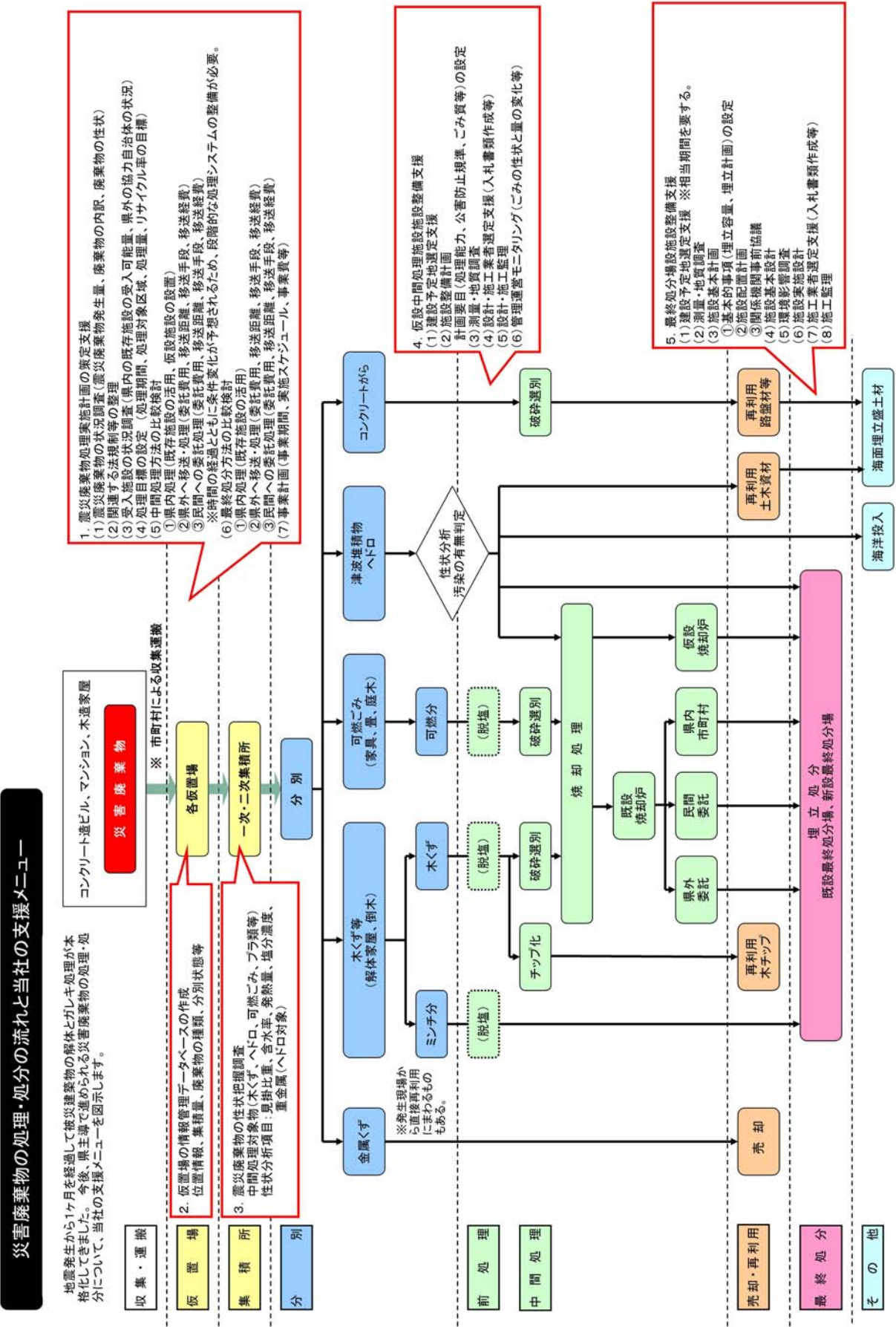
- ・ 亶理町の分別状況は非常に良好である。
- ・ 山元町は殆ど分別していない。倒木が多いのが特徴

7. 宮城県に提案した支援業務

宮城県廃棄物対策課ガレキ一班に対して、一次仮置場の調査報告書を提出し、説明した結果「多数の業者から多種多様な提案を受けたが、ここまで詳細の調査を実施し報告した会社は、エイトさんだけです」と高い評価を得た。その上で県が抱える問題点を率直に話し合い、下記内容の提案書、仕様書、見積書の提出を依頼され提出した。

- 市町村からの問い合わせ対応業務
- 震災廃棄物処理調整業務
- 民間事業者を含めた受入体制の技術確認業務
- 一次仮置場の定期モニタリング業務
- 震災廃棄物管理業務(簡易ホームページ作成含む)

8. 宮城県に行った企画提案 (ガレキ処理フロー)



9. 今後の支援方針

- ・ 県発注予定の支援業務への積極参加
- ・ 県が発注するガレキ処理事業への参画
- ・ 市町村災害廃棄物処理基本計画の企画提案
- ・ 中期的視点での「新ごみ処理システム構築」のための企画提案
- ・ 本格的復興に向けた、地域の再生可能エネルギー事業創出のための企画提案

10. まとめ

10.1 今後の課題

- ①全域で一次仮置場の場所の確保が火急の課題
(一次仮置場への搬入量は6月初旬時点で20～30%程度と推定する)
- ②一次仮置場での分別状況は地域によってバラツキが顕著で、今後の処理方法と処理コスト、処理期間に悪影響を及ぼすことが必至である。
- ③ガレキの性状は地域によって大きく異なり、県で計画している5ヶ所の処理施設の処理システムに地域特性を反映させることが重要である。
- ④夏場の環境悪化対策が大きな課題である。優先順位をつけた処理方法が必要である。
- ⑤ガレキ処理は復興の象徴であり、対応の遅れにより被災者の精神に与える悪影響は計り知れない。各方面からいろいろなアイデアが県に殺到しているようだが、スピードが最も優先されるべきと考える。

※6月13日に宮城県と県南ブロックの災害廃棄物処理基本計画を随意契約した。

津波被災市街地の状況と都市復興のあり方

株式会社エイト日本技術開発

グローバルビジネス本部:中世古篤之

都市・地域活性化事業部:大塚正治、今林周次、

藤田民雄、林勝正、島遵、田辺晋、松島進 等

1. はじめに

弊社の都市・地域活性化事業部の技術者十数名は、東日本大震災の発生後、数度に分けて、岩手県、宮城県、福島県の浦々の被災地調査を実施した。4月中下旬に、岩手県や宮城県内の主な被災市街地の基礎情報図とそれに基づく復興都市計画試案を作成し、県や市に提案してきた。

本稿では、岩手県と宮城県の被災地に焦点を合わせて、被災市街地の状況や都市復興の論点を整理する。また、東海・東南海・南海地震による大津波に対して備えるべきことも提示する。

2. 津波被災市街地^{*}の状況

2.1 津波被災市街地の様相

津波被災地は、三陸リアス式海岸部と仙台湾以南の平野部における2つの様相に分類できる。

(1) 三陸リアス式海岸部

沿岸市街地の基本的な都市構造は、北上山地から三陸海岸に流れ込む川の河口部周辺に、漁港・港湾・臨海工業地、背後地に商業・業務・宿泊・飲食施設と住宅が集積し、高台に学校、病院とミニ開発住宅地があり、沿岸地域を結ぶ国道45号沿道に飲食店や大型店舗が立地という構造である。

沿岸地域の拠点都市で、人口4~7万人の宮古、釜石、大船渡、気仙沼市では、漁港・港湾・臨海工業地と背後の市街地を合わせて250~500haが浸水し、その内8割程度の200~400haの範囲内の建造物は壊滅的な状態であり、人口比で1~3%の死者・行方不明者となっている。これらの都市は、市街地全体では900~1,500haの規模を有し、3~4割の市街地が浸水した。

一方、これら拠点都市の間に位置し、人口が1~2.3万人の山田町、大槌町、陸前高田市、南三陸町、女川町では150~300haの市街地が浸水し、ほぼ全て壊滅し、人口比で5~11%の死者・行方不明者となっている。これらの都市の市街地規模は200~400haであり、6割~9割が浸水した。

概して言えば、都市規模にかかわらず、壊滅市街地面積はそれぞれ150~400ha程度あり、これらをどう再生するかが基本的な課題である。



図1 岩手県大船渡市



図2 宮城県気仙沼市



図3 宮城県南三陸町

上記写真の出典：国土地理院 東日本大震災関連情報 (被災地域の斜め写真)

市街地^{*}：ここでいう市街地は用途地域指定エリアを指す

(2) 仙台湾以南の広大な平地部

石巻市～仙台市～山元町等の仙台湾沿岸域では、広大な平野部を有し、その内陸側に 5km を超える範囲まで津波が襲った。特に、浸水面積が 7.3 千 ha、死者・行方不明者が 5.7 千人の石巻市は、新産業都市政策により建設された港湾・漁港・工業団地や背後の商業地・住宅地が甚大な被害となり、東日本大震災の津波被災地の様相をほぼ全て包含した、象徴的な被災地となっている。

仙台市以南は、仙台港湾地区等を除いて、基本的に市街化調整区域であり、農地が多く、人口密度は低い。そのため、三陸地域に比べて、浸水区域面積比でみた死者・行方不明者は相対的に少ない。自治体単位で見れば、浸水地域は 2 千～5 千 ha であり、三陸地域とスケールが違う広大な浸水地域の土地利用の復興方法が課題になっている。



図4 宮城県石巻市 (平成23年4月7日弊社撮影)



図5 宮城県山元町

写真の出典：国土地理院 東日本大震災関連情報（被災地域の斜め写真）

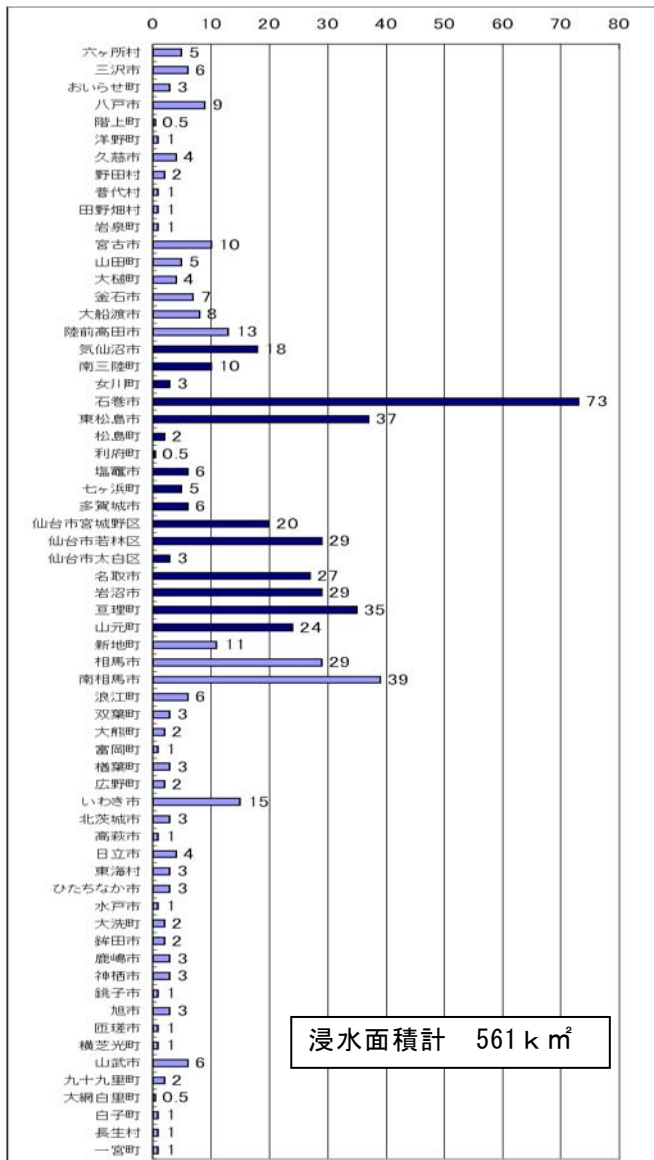


図6 浸水面積 (km²) (青森県～千葉県)

データ：国土地理院 (平成23年4月18日) より弊社作成

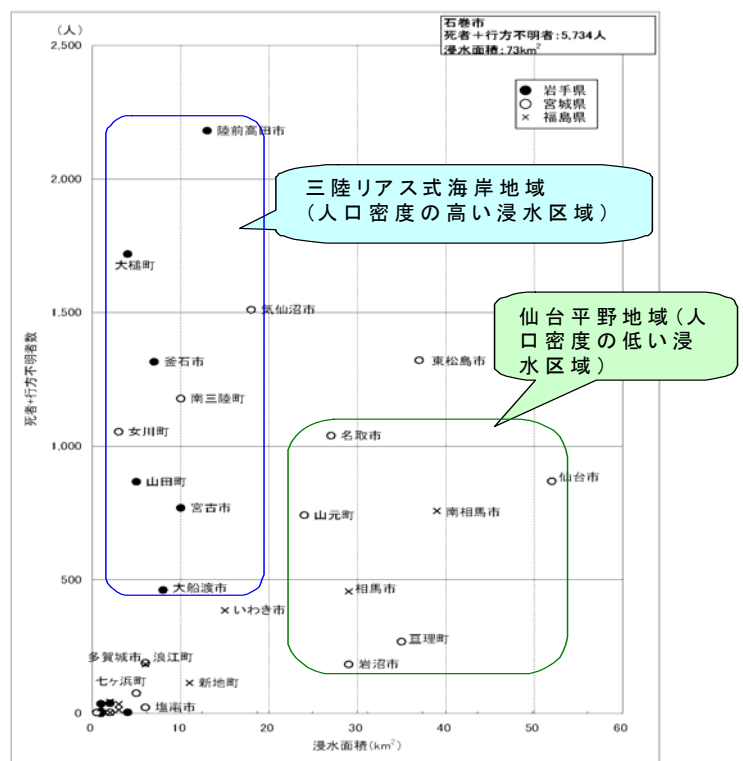


図7 浸水面積と死者・行方不明者数 (弊社作成)

データ：浸水面積は国土地理院、死者・行方不明者数は警察省発表資料 (平成23年5月22日) より弊社作成

3. 都市復興に向けた論点

被災地の中で、特に、甚大な被害になった石巻市、市街地全体がほぼ壊滅した岩手県の山田町、大槌町、陸前高田市、宮城県南三陸町と女川町の計2市4町は、市街地全体を再構築するマスタープランが必要であり、復興のみちのりは厳しい。

また、岩手県から福島県まで、被災地を視察してみると、防潮堤による津波対策、交通条件、過疎化・高齢化等の社会特性で共通する部分がある。しかし、浦々やまちごとに被災状況は異なり、復興条件としての地形、土地利用、産業等の面で様々な相違や個性がある。復興計画は、このような浦々やまちの個性と復興条件の相違を踏まえた、適切な計画づくりが求められる。

一方、被災後3ヶ月を経る中で、都市復興に向けてさまざまな共通する論点が提起されてきている。主な4つの論点について、以下に述べる。

(1) 復興市街地の空間像

目標とする復興市街地の空間像について、基本的な論点は2つ。安全レベルをどの程度確保するか、市街地の集約化をどの程度図るかである。

先ず、安全レベルについては、今回の津波の標高到達点、到達範囲、浸水深に対して、安全な市街地の配置や高さをどう設定するか、という論点がある。千年に一度という今回の津波を対象にする部分と人生に一度経験するような周期の津波を対象にする部分を使い分ける必要がある。例えば、今回のような津波が来ても被災を繰り返さないように、全て20m以上の高台市街地にするという計画は、コストや復興に要する期間からみて実現が困難と考える。図-8に示すように、安全レベル(標高)を3分類し、防潮堤計画と連携して、適切な避難ビルや避難公園等の配置、高台開発や

土地利用規制(居住用途規制)、建築規制(高度規制、耐震・防火規制)を併用しながら、適切にh1~h3とL1~L3のバランスを設定し、市街地を再構築することが実践的な対応と考える。

次に、もう一つの論点は市街地の集約化である。地域全体が人口減少・高齢化が急速に進みつつある中で、浦々に散在する漁村集落や農家集落が被災した。公平で適切な医療・福祉・行政・公共交通等のサービスの提供や安全・安心で衛生的な生活環境を再生・維持するためには、歩いていける範囲のひとまとまりの市街地に居住地を集約し、一定水準のインフラや公共施設を備えることが効率的である。単身高齢者世帯が増える中で、集合住宅をもっと増やす必要もある。しかし、住み慣れた場所は離れ難く、歴史的なコミュニティもあり、居住地の地理的統廃合に対する反対は根強いものがある。一定の集約化を実現しつつも、住民意向を踏まえて、集団移転、部分移転又は個別移転が選択できる柔軟な方策も必要である。

(2) 浸水域の跡地利用

石巻市、三陸地域、仙台平野では、面積規模は異なるが、沈下したり、液状化したり、塩分や災害廃棄物が混合する浸水区域の跡地利用が大きな課題である。甚大な被害となった浸水区域では、住宅等の居住空間活用は回避し、農地、産業・物流用地、太陽光・風力・バイオ等の再生可能エネルギープラント用地、緑地、スポーツ公園、廃棄物処理用地等への土地利用転換が考えられる。

跡地利用方策は、知恵とアイデアの出どころである。決して放置せず、産業再生、雇用創出、暮らし環境向上に向けた積極的で前向きな活用方策の提案が求められる。福島原発事故もあったことから、着目すべきは瓦礫処理と連携した、再生可能エネルギー用地としての活用方法である。

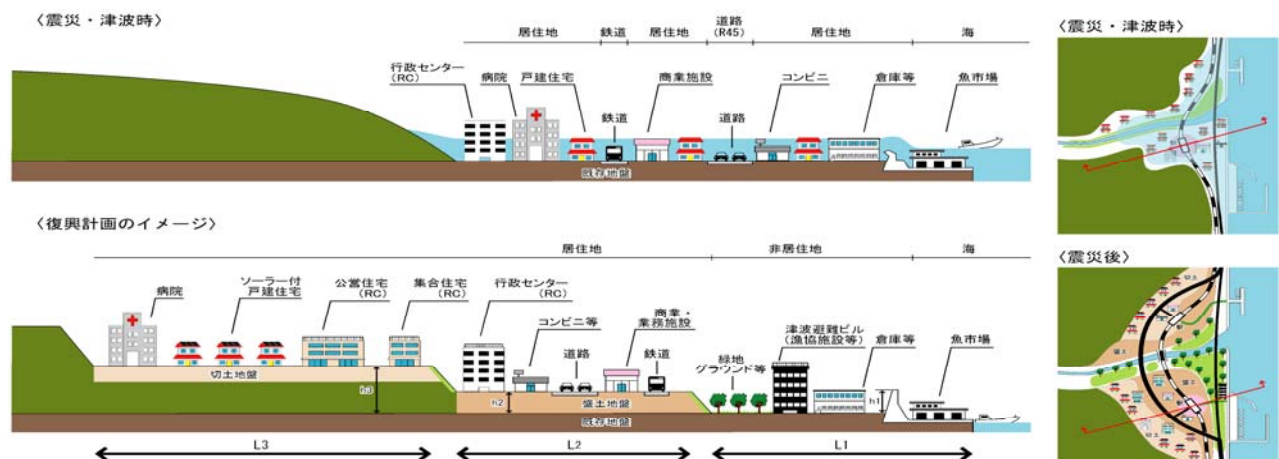


図8 市街地の再生方法イメージ図 (弊社作成)

(3) 広域復興プロジェクトの展開

個々の自治体単独では、人口回復に寄与するような都市復興を成し遂げることは難しい。しかし、現在までのところ、自治体単独の自助努力的な取り組みしか見えず、津波被災の悪影響ばかりが危惧され、将来が不安視される状況である。

このような中で、東北地方復興を牽引する広域プロジェクトの展開が期待される。三陸地域、仙台湾地域、仙台平野などをエリアとする広域的な連携プロジェクトが必要である。三陸自動車道全通や南北方向の鉄道復興の時期の宣言、太平洋岸と日本海岸を連絡する国際物流ネットワーク構築、再生可能エネルギー・水産系・農業系の新たな事業展開や国際的な水産・津波・エネルギー研究開発拠点整備など、元気がでるビッグプロジェクトが提案され、承認され、動きだすことが必要である。

(4) 復興プロセス

復興は、早期に、段階的に、着実に進めなければならない。人口減少が顕著な被災地では、雇用機会を喪失すると人口転出に歯止めがかからない。

漁業・養殖業の再生、水産加工業の再生、農林業の再生など、重要なインフラ整備と土地活用方策の優先順位をつけて、3年以内には、復興市街地を段階的に供給しながら、基幹的な産業基盤、医療・福祉・教育・買物・交通等の暮らしを支える生活必需機能を回復し、人々が集い、憩い、小さなビジネスが立ち上がる、復興を牽引する中心地を形づくらねばならない。そして、震災後 10 年以内、できるだけ早く、次世代に継承する復興都市づくり事業が完了することが理想である。

肝心なことは、毎年、着実に復興していくプロセスが、姿として眼前に現れていくことである。全体プランが合意できても、具体的なプランが右往左往し、早期に何一つ事業が実現できず、市民が希望を失うことになってはならない。

4. 東海・東南海・南海地震に備えて

4.1 避難の円滑化

金曜日の午後 2 時 46 分の地震発生後、数十分を経て、大津波が東北地方を襲い、2 万 4 千名ほどの死者・行方不明者が発生した。比較的時間的ゆとりがあったにもかかわらず、避難は円滑に行われなかった、と言わざるを得ない。今後さまざまなレビューが行われ、その原因と結果の因果関係が解き証されることになる。

避難訓練、大津波警報の発令や避難勧告・誘導はどんな効果があったのか、指定していた避難地

の認知度や安全性はどの程度であったかなどである。これらの経験や教訓が、東海・東南海・南海地震による津波危険地域に早急に水平展開される必要がある。

4.2 重要施設の再配置・安全性向上

病院が被災し、機能しなくなったことに対する批判は辛らつである。重傷者を救えず、被災者に長時間の苦痛を強いら、被災後、数ヶ月たっても医療ケアを受けるのが不便な状況が続いたからである。また、多くの学校が避難場所として機能した一方で、多くの児童が学校周辺で尊い命を失ったところもある。さらに、多くの行政職員が建物もろとも津波にさらわれ、避難対応、救急措置、応急復旧の指示系統が麻痺した例もみられた。

津波に備えて、病院、学校、市役所等の重要施設は、十分に安全な高台に再配置し、耐震構造化し、津波被災後に備える自律的なライフライン機能と空間的ゆとりを持たなければならない。

4.3 都市空間の再構築(減災への取り組み)

東日本大震災の教訓として、防潮堤を高くするような浸水区域を小さくする方策に執着していた発想を転換しなければならない。むしろ、予想される津波浸水区域内の人口(夜間、昼間人口)を減らすこと、海岸沿いの危険エネルギー(木造住宅、木材、駐車車両等)を減らすこと、津波避難ビルや高台公園までの短距離避難システムを構築することを目標にすることが必要である。

また、大津波に備えて、都市の断面設計を適切に行い、高台居住地整備、沿岸域の建物高さ・構造・用途規制の実施、都市計画避難路整備等が望まれる。これらは国内の多くの沿岸都市が怠っている。津波対策を地域防災計画任せにしてきたことも合わせて、都市計画行政にとっての大きな反省点である。(文責：中世古篤之)

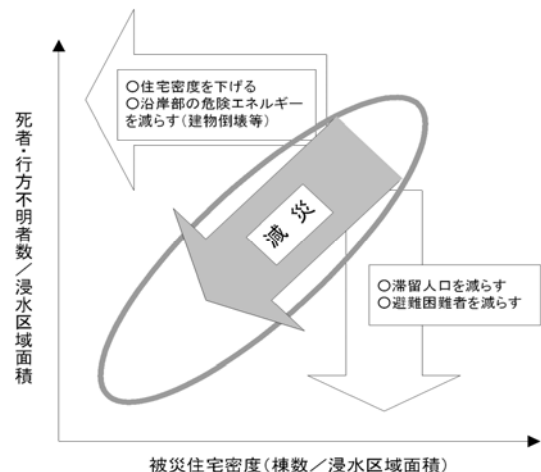


図 9 津波被災の減災イメージ図 (弊社作成)

広域液状化被害を防ぐ

株式会社エイト日本技術開発
 保全・耐震・防災事業部
 東京支社 保全・耐震・防災部
 地下・地盤技術グループ 佐伯 宗大

1. はじめに

今回の地震での被害の特徴として、広域にわたり発生した液状化による被害があげられる。これにより、埋設管、一般家屋等に大きな被害が生じ、改めて、液状化に対する“備え”の重要性を十産させられた。

本稿では、液状化による特徴的な被害を整理するとともに、その被害事例から得られた知見・教訓を示すとともに、液状化被害を防ぐために必要な対策等についても取りまとめた。

2. 今回の地震での特徴的な液状化被害

2.1 “噴砂”による特徴的な被害

今回の震災において、液状化に伴い噴砂が噴き出す映像が、報道等で流され、広く知られることとなった。

この噴砂により、車が埋もれ、身動きが取れなくなるなど、その量は、日本で過去に発生した地震の中でも最大級であった（写真1(a)参照）。しかし、同様の被災は、同年2月に発生したニュージーランド・クライストチャーチ地震でも発生しており、やはり、車が埋もれ身動きが取れないところが見られた（写真1(b)参照）。

また、遡ってみると、同様の被害は、1964年の新潟地震でも発生しており、激しい液状化が発生すると、車が埋もれる程度の被害が生じる可能性があることが分かる（写真1(c)参照）。



(a) 今回の地震



(b) クライストチャーチ地震



(c) 新潟地震¹⁾

写真1 液状化に伴う浮上り被害

2.2 激しい“液状化”が発生した地域①

次に、非常に激しい“液状化”が発生した地域の特徴的な被害と特徴について示す。

(1) 茨城県稲敷市六角地区

茨城県稲敷市六角地区では、写真2に示すように、非常に激しい“液状化”が発生し、家屋が大きく沈み込み、傾いてしまったり、電柱が倒れてしまうなどの被害が生じていた。



写真2 六角地区の液状化による特徴的な被害
 震災後に Google が公開している航空写真を見ると、この六角地区付近は、噴砂のひどい範囲が円く浮き出る様な形になっていることが分かる（写真3参照）。



写真3 六角地区の噴砂発生状況²⁾

この地区について、古い航空写真³⁾及び旧地形⁴⁾を調べてみると、「落掘」と言われる地形（過去の洪水の際に流水によって浸食されてできた凹地で、池状に残っている地形）で水が溜まっていた箇所を、人工的に埋め立て作られた地区であることが判明した（写真4~6, 図1参照）。

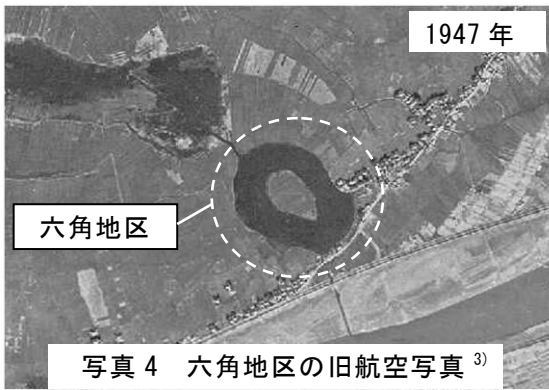


写真4 六角地区の旧航空写真³⁾

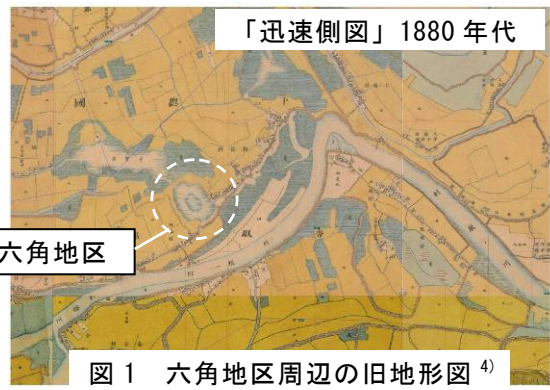


図1 六角地区周辺の旧地形図⁴⁾

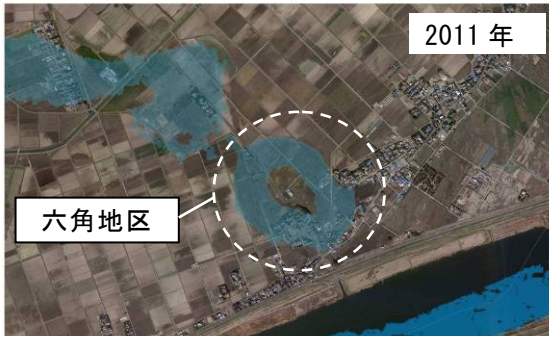


写真5 六角地区の震災後航空写真
と旧航空写真の重ね合わせ写真



写真6 六角地区周辺の震災後航空写真
と旧地形図の重ね合わせ

(2) 茨城県潮来市、鹿嶋市周辺地区

六角地区と同様の、潮来市、鹿嶋市周辺でも見られた。

図2には、この地区周辺の旧地形図と現在の地形の重ね合わせ図および、被災状況写真を示すが、少なくとも100年ほど前までは、海、湖、川であ

ったような地区において、“激しい”液状化が発生していた。

特に、日の出地区は、特徴的な地区であり、霞ヶ浦から繋がっていた「内浪逆浦」と呼ばれていた地区を埋め立てて出来たのが同地区であり、非常に“激しい”液状化が発生していた。

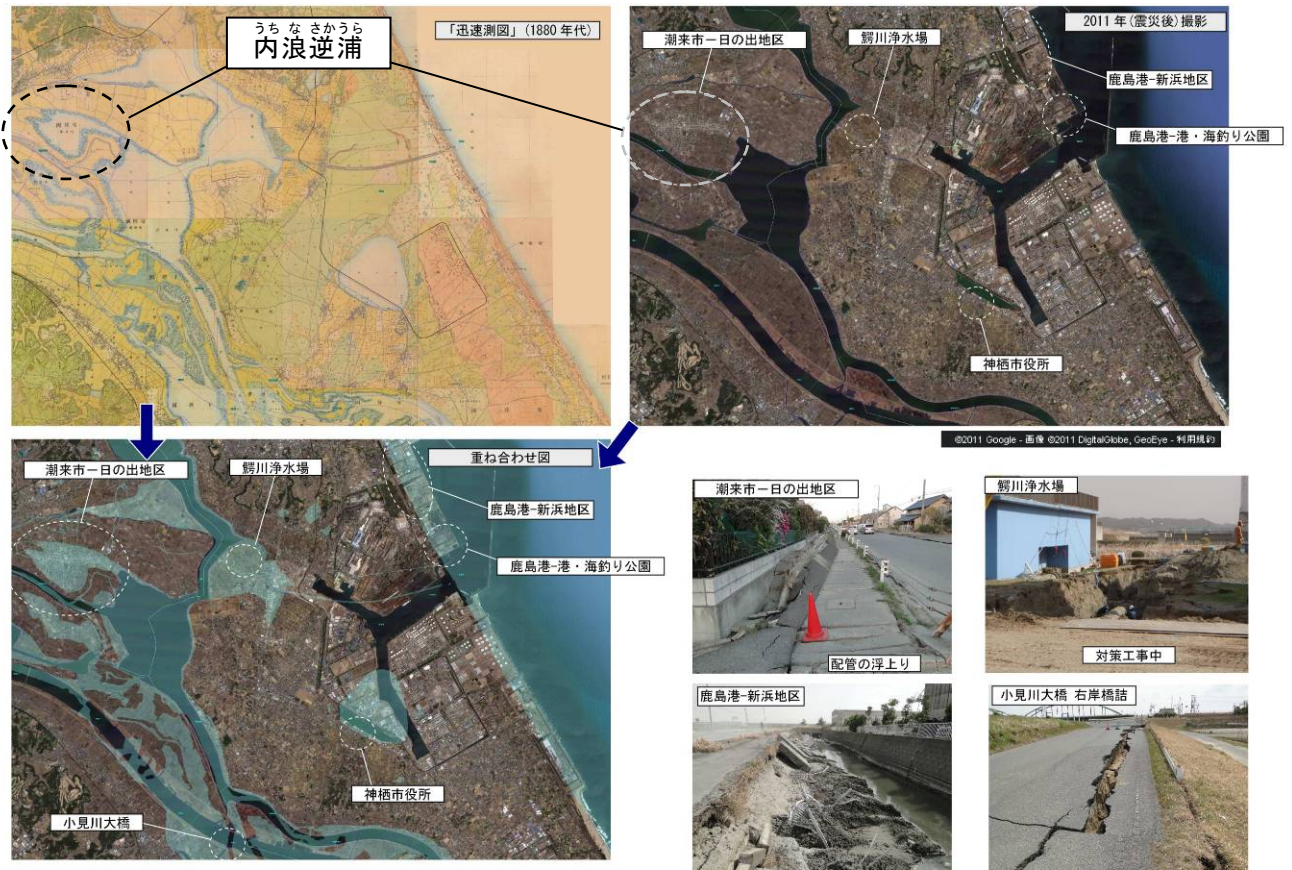


図2 潮来市、鹿嶋市周辺の旧地形図と航空写真の重ね合わせ 及び 被災状況写真⁴⁾

2.3 激しい“液状化”が発生した地域②

(1) 千葉県浦安市での液状化被害

千葉県浦安市では、同地区にあるディズニーランド[®]の駐車場などでも大量の噴砂が見られ、液状化被害を受けたことで非常に有名になった。写真7、8には、浦安市でみられた大量の噴砂の写真を示す。

図3に、安田ら⁵⁾の調査した、液状化の発生している地区を示す平面図を示す。同図中にあるように、新浦安の駅周辺の地区で激しい液状化の発生がみられるが、これに比べ、それより海側の地区では、新浦安駅周辺ほど激しく液状化している状況ではない。(現地を確認すると、全く液状化していないわけではなく、液状化の発生は見られる)



写真7 浦安市での噴砂の発生状況 (片付作業中)

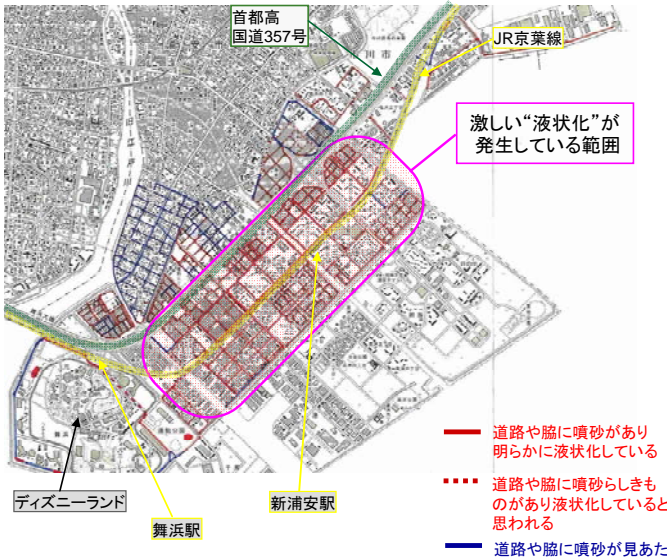


図3 浦安市の液状化発生範囲⁵⁾



写真8 ディズニーランド 駐車場での噴砂の発生状況 (片付作業中)

(2) 浦安市の地盤状況

浦安市の新安駅周辺地区は“埋立て地”であることは有名である。その埋め立て年代により、埋め立てられた土の性情等に違いがあり、海側の地区では激しい液状化が発生していなかった可能性を考え、同地区の地盤調査資料を確認した。

図4に代表的な柱状図を並べて示すが、激しい液状化が発生している地区と、海側の地区とでは、

特に大きな違い(たとえば、粘性土が主体となっているなど)が見られはしなかった。

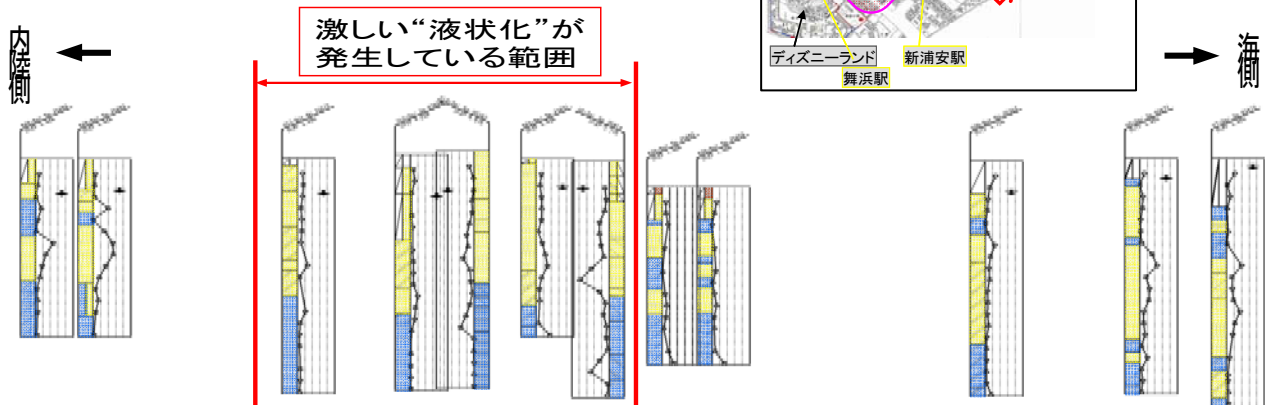


図4 浦安市の代表的なボーリング柱状図⁶⁾

(3) 浦安市の埋立て履歴

次に、旧航空写真をもとに、浦安市の埋め立て履歴を整理した。図5に、埋め立て履歴図を示す

が、激しい液状化が発生した範囲は、1960～1970年頃に埋立てられた地区であることが分かる。

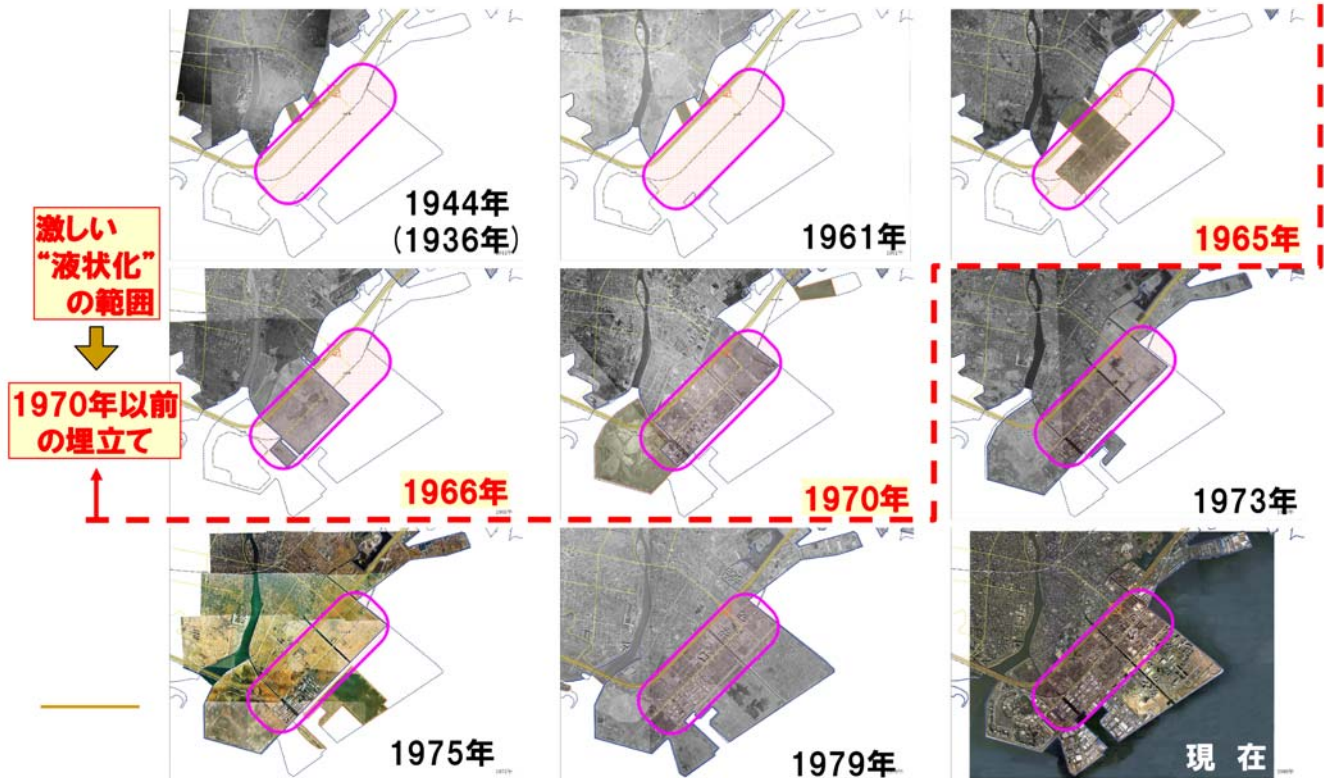


図5 浦安市の埋め立て履歴 3)の画像から作成

(4) 1960～70年代に何が起きたか

1960～70年代に、何が起きていたのか？を振り返ってみた。

ちょうどこの年代の真中である、1964年には、“新潟地震”が発生し、広範囲にわたる液状化により、橋梁が落橋したり、マンションが傾くなど、後まで語り継がれる、有名な被害が発生した(表1参照)。

この地震の発生により、“液状化”というものが、世に広く知れ渡るようになり、これを契機として、1971年には、道路橋耐震設計指針に液状化判定方法が初めて導入された。

また、1968年に発生した十勝沖地震においては、“埋戻し砂”の液状化、“埋立て砂”の液状化が確認、報告された。また、1973年根室半島沖地震でも“埋立て地盤”が液状化している(表1参照)。

上記の状況から推察するに、1970年代以降の埋立て地においては、液状化の発生に対する対策を考えている可能性がある。つまり、激しい液状化が発生していなかった、海側の地区は、何らか、液状化に対する対策が取られていた箇所が多かった可能性が考えられる。

表1 1960～70年頃の液状化が発生した地震⁷⁾

地震名	年月日 (現地時間)	マグニチュード M	震央位置	震源深さ (km)	代表的な液状化の 形態または被害
アラスカ	1964. 3.27	8.4	61.1°N 147.6°W	20	沿岸地盤の前壊(バルテーズ市、アンカレッジ市)
新潟	1964. 6.16	7.5	38.4°N 139.2°E	40	広範囲にわたる水平砂地盤の液状化(新潟市)
十勝沖	1968. 5.16	7.9	40.7°N 143.6°E	0	埋戻し砂の液状化(八戸市) 埋立て砂の液状化(七重町)
サンフェルナンド	1971. 2. 9	6.6	34.4°N 118.4°E	13	アースダムの崩壊
根室半島沖	1973. 6.17	7.4	42.9°N 146.0°E	40	埋立て地盤の液状化

実際に、液状化対策等の地盤改良の専門業者へヒアリングした結果、同地区では、サンドコンパクションパイル等の液状化対策が実施されていた箇所が多く確認された(図6参照)

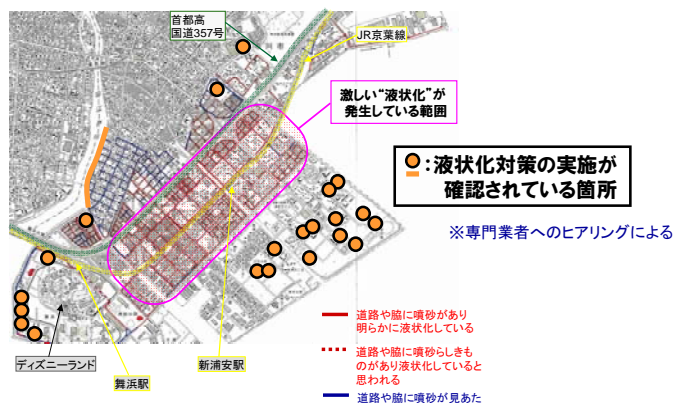


図6 液状化対策の実施が確認された箇所

3. 本震災で得られた液状化に関する教訓等

以上示してきた、今回の被災状況及びその被災地区の特徴等から、得られた液状化に関する教訓等をいかに示す。

(1) “噴砂” 自体が被害になる

これまで噴砂は、その発生により液状化発生の確認がされる程度の認識がなされているに過ぎず、それ自体が被害になることは、あまり認知されていなかった。しかしながら、今回の震災においては、その大量の噴砂が街を埋め尽くし、復旧の妨げになるだけでなく、側溝等を埋めてしまい、その機能を失わせるなど、非常に深刻な影響を与え、“噴砂” 自体が被害になることを認識させられた。

(2) 一般家屋の液状化に対する備えが不十分

今回の液状化被害の特徴として、多くの一般家屋に沈下・傾斜等の被害が生じたことが挙げられる。一般家屋のような小規模構造物に対しては、これまで液状化に対する対策など考えられておらず、今回の被災状況を踏まえると、備えとして不十分であったことは否めない。

(3) 人工的に作られた低地の地盤は要注意

先に示した通り、“激しい”液状化が発生した地区は、埋立て地等人工的に作られた低地の地盤であることが判明した。これについては、過去の震災経験からも指摘されてきたことではあるが、今回改めてこれが確認され、特に宅地等の建設に際しては、注意する必要があると言える。

(4) 液状化対策実施箇所は液状化しづらい

浦安市の事例を整理すると、何らかの液状化対策が実施されている範囲では、“激しい”液状化の発生は確認されず、ある程度以上の対策効果があったものと考えられる状況であった。

4. 液状化被害を防ぐために

以上示した内容を踏まえ、液状化被害を防ぐためにできる備え、今後検討が必要な項目等について以下に示す。

4.1 液状化に対する備え

(1) 旧河川、湖沼部等を埋立てた箇所の抽出

今回の液状化被害の特徴である、“人工的に作られた低地”の地盤で発生しやすい“激しい”液状化を避けるため、同箇所(旧河川、湖沼部等を埋立てた箇所)を抽出し、基本的には、宅地等への利用を避けることが必要であると考えられる。

(2) 液状化対策の実施

一般家屋のレベルでは、液状化対策として確実である液状化層全体の地盤改良の実施は、コスト面から見て非現実的である。このため、ある程度の沈下は致し方ない(許容する)が、傾斜(不同沈下)を防止するような対策を施すことが重要であると考えられる。

この観点から見たときに想定される液状化対策の分類を、図7に示す。

新設対策(建設前対策)としては、“①杭基礎(短杭)”(短い杭を打設して不同沈下を防ぐ方法)

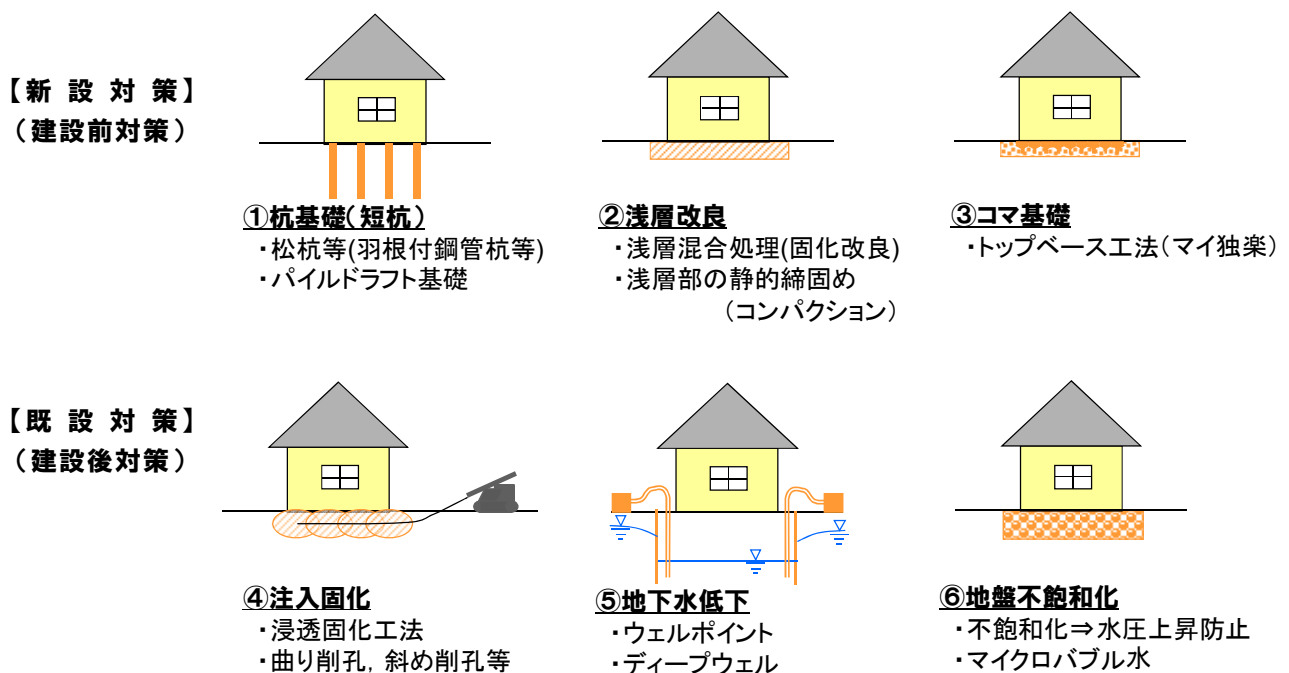


図7 一般家屋を対象にした液状化対策(案)

／“②浅層改良”（固化改良）により防ぐ方法／“③コマ基礎”により防ぐ方法などが考えられる。これらは、それぞれの家屋の規模等各種条件に応じて使い分ければ、比較的安価に対策できるものと考えられる。

一方、既設対策（建設後対策）については、“④注入固化”と呼ばれる工法が、最も確実性の高い工法と考えられる。この工法は、家屋の脇から削孔し、固化剤を注入する工法であるが、非常に公費が高いため、実際には、一般家屋のレベルでの適用は困難と言わざるを得ない。

“⑤地下水位低下”については、効果は期待できるが、水を抜き続けなければならず、ランニングコストがかかってしまうこと、常時沈下が問題になる可能性があることなどから、必ずしも適した工法とは言い難い。

コスト面、効果面のバランスがとれている可能性があるものとしては、“⑥地盤不飽和化”が考えられる。この工法は、空気を地中に送り込み、これにより地盤を“不飽和”状態にし、液状化しづらくするものである。これについては、まだ研究段階であり、効果、適用性ともに明確になっていないことが多いが、その他の対策に比べ、格段にコストが安い対策になる可能性がある。

4.2 現実的な液状化対策を実現するために

一般家屋を対象とした液状化対策としては、先の図7に示したような対策が考えられるが、いずれも、液状化層全体を対象するわけではなく、その一部の表層付近に対する対策にとどめるものである。一般家屋を対象にした場合、コストの面から見て、この程度の対策に留めざるを得ない。

しかし、その効果の確実性を明確にするためには、地表面付近に設ける“非液状化層”の厚さにより、地表面に現れる液状化の影響の違いを明確にしておく必要がある。

図8には、石原⁸⁾の表層の非液状化層厚及び深部の液状化層厚と地表での液状化発生との関係図を示す。このチャートにあるように、“日液状化層厚”と“地表での液状化の発生”との関係が示されたものは、これ以外にはあまり存在しない。

今後、このように、“非液状化層厚”に着眼し、液状化の影響を評価するような研究が進めば、先に示した液状化対策の効果が、明確になり、より効率的な対策が施せるようになっていくことにつながると考えられる。

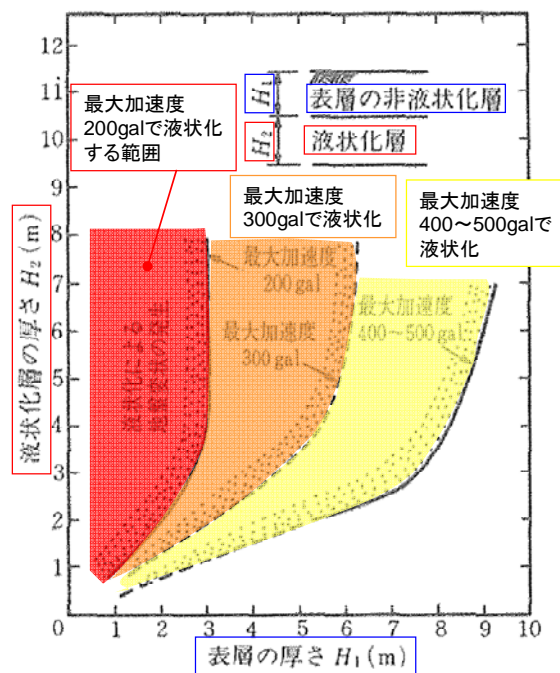


図8 表層の非液状化層厚及び深部の液状化層厚と地表での液状化発生との関係⁸⁾

5. まとめ

液状化は直接的に人命を奪う被害につながることは少ないが、社会に対してボディーブローのような被害を与える。今回の液状化被害からの教訓を踏まえ、より効果的な液状化に対する“備え”を施し、少しでも、同被害による社会への影響が軽減されていくことを願うとともに、我々も、できる限りの協力・貢献をしていきたいと考える。

以上

参考文献

- 1)長岡技術科学大学 大塚悟:「北陸における地震・地盤災害の教訓～地盤情報の利活用の展望」、ほくりく地盤情報システム講演会,
<http://www.jiban.usr.wakwak.ne.jp/event/file/kouenkai.pdf>
- 2)Google マップ, <http://maps.google.co.jp/maps>
- 3)国土地理院ホームページ:国土変遷アーカイブ,
<http://archive.gsi.go.jp/airphoto/search.html>
- 4)農業環境技術研究所ホームページ:歴史的農業環境閲覧システム, <http://habs.dc.affrc.go.jp/>
- 5)東京電機大学地盤工学研究室ホームページ,東京湾岸の液状化地区, <http://yasuda.g.dendai.ac.jp/kantoeq.html>
- 6)千葉県地質環境インフォメーションバンク:
<http://www.pref.chiba.lg.jp/pbgeogis/servlet/infobank.index>
- 7)土質工学会:液状化対策の調査・設計から施工まで,平成5年3月
- 8):石原研而,Stability of Natural Deposits during Earthquakes,11thInt.Conf. on S.M.F.E.,Vol.1,pp321~376,1985

下水道機能の回復を早めるために

株式会社エイト日本技術開発
 保全・耐震・防災事業部
 東京支社 保全・耐震・防災部

田口 由明

1. はじめに

東北地方・太平洋沖地震による下水道施設被害については、現在、宮城・福島・岩手の各県の内陸部を中心に災害査定調査が進められ、詳細な被害状況が明らかになりつつある。しかし、大規模な津波や液状化により被災した地区では、詳細調査が遅れ、未だに使用ができない、或いは暫定的な対応を行っている状況にあり、その復旧に目処はたっていない。一方で、生活排水は電気・水道・ガス等の機能回復に伴う下水道への流入量の増加に加え、時節から降水量の増加に伴う被災管路への地下水浸入量の増加も想定されるため、排水不良等による衛生環境の悪化、低地での浸水等、今後の二次的な被害が危惧されている。

このような下水道の大被害、長期化を考慮すれば、恒久的な施設復旧工事が困難であっても相当の下水水量に対応可能な施設能力（流下、揚水、処理）を早期に確保するための対応能力を高めることが重要となる。本稿では、今回の被災教訓を踏まえて、今後の「下水道地震対策における大規模災害への備え」について一考察した。

2. 管路被害と機能確保の事例

2.1 管路被害の特徴

現時点で明らかにされている特徴的な被害には、千葉県、茨城県等の一部に見られる大規模な液状化に伴う管路施設の浮上や閉塞（写真1参照）があげられる。宮城県、福島県等の内陸部では、岩手・宮城内陸地震等でも見られた埋戻し土の液状化に伴うマンホール浮上も散見された。

2.2 管路機能の確保事例

このような被害に対し流下機能を確保するために一般的に用いられる手法には、仮設配管及び仮設ポンプによるバイパス機能の確保がある（写真2参照）。流量の少ない汚水管の場合には、設置するポンプや必要となる動力源の規模も小さく比較的調達が可能であるが、雨水管や汚水幹線の場合には、資機材や燃料の確保も予めの備えが必要となる。写真3は釜石市における対応事例である。



写真1 管路被害の事例（浦安市）



写真2 仮設配管の事例（潮来市）
 （注）併設は上水道管（左）



写真3 水管橋暫定機能確保の事例（釜石市）
 （注）右が流出した独立水管橋

2.3 トイレ機能の確保事例

下水道被害時に直面する課題は、トイレ機能の喪失である。新潟県中越地震時にはこのことが健

康問題へと発展したことは記憶に新しい。その後、下水道の地震対策計画では、選択と集中による流下機能確保とともに、下水道施設直結の水洗型仮設トイレ(トイレ下の管路を定期的にフラッシュ)の確保に配慮している。写真4は宮城県東松島市における設置事例であるが、住民からは「洋式型が衛生的」で好評と聞いている。



写真4 仮設トイレの設置事例
(注) 右：洋式型トイレ、左：フラッシュ用マンホール

3. 処理場被害と機能確保の事例

3.1 処理場被害の特徴

今回の地震で被災した下水処理場、ポンプ場の多くは津波で被災した沿岸部に位置し、津波の波力や浸水により土砂等の浸入や堆積、設備の流出や損傷、非常用電源や水源の喪失等が生じ、未だ機能停止中の施設もある。また、千葉県、茨城県等の広域な液状化が生じた地区の処理場では、設備の転倒や脱落、構造物の傾斜、継ぎ手部損傷等による機能阻害が生じた。写真5は仙台市南蒲生処理場の津波来襲時の状況を、写真6は津波による土砂堆積や上部施設の流出状況を示す。また、写真7は津波の波力(或いは漂流物)により損傷した大船渡市下水処理場の建屋を示す。

3.2 処理場機能の確保事例

新潟県中越地震で被災した堀之内浄化センターでは、流入渠の損傷によって流出した下水を仮設水路、仮設沈殿池で簡易処理を行うことで応急対応した。現在の下水道施設の減災対策計画は、この教訓を基に検討されている。今回の被災施設でも一部ではこの方法で処理機能を確保している。また、流入管が深い処理場の場合には、仮設揚水施設の確保も重要となる。宮城県内では、一時、多賀城市、岩沼市等で流域下水道からの下水の溢水が問題視されたが、流入ポンプ棟の構造被害がなかったことが幸いし、揚水ポンプが確保された処理場では、写真8、写真9の事例のように揚水～仮設沈殿処理～消毒・放流を確保できている。

暫定対応の場合の処理水質の確保については、沈殿池能力を確保しSSを低減し、初期は固形塩素との接触を確保(写真10参照)し大腸菌群数を制御する。しかし、流入水量の増加に伴い処理能力が不足するため段階的に消毒機能を高めていく必要がある。また、長期化すれば水処理以外に、沈殿汚泥の処理も必要となる(南蒲生処理場では汚泥脱水機能を確保した;国土交通省 web)。



図5 津波に襲われる南蒲生処理場(仙台市 web)



図6 津波被害を受けた処理場の事例(宮城県内)



図7 津波被害を受けた処理場の事例(大船渡市)

4. 下水道地震対策における大規模災害への備えについて

災害調査を通じ、前述の水管橋の暫定対応等、一部の下水道管理者においては、比較的大規模な非常時対応がリソース制約の下で適切に行われた。大津波に襲われながらも職員の安全な避難が行え

たこと、被災後に代替施設を迅速に確保できたこと等は、今後の地震対策のあり方に重要な影響を与えるものであると考えます。**写真 11**は大船渡市下水処理場における流入ポンプ設備から反応槽（沈殿池機能）までの仮設配管を示すが、職員の方が直接配管工事を行ったと聞いている。予め、津波による被災を想定し、施設の状態を予測して配管材料、仮設ポンプ等の資機材を確保し、訓練に基づき適切に配置できたことが、機能阻害の低減につながった事例である。



図 8 流入ポンプ棟からの仮配管（宮城県内）

を今回教訓として得た。全ての対策をハードに依存することは、対策費用や技術的な制約から困難である。これらをクリアし対策を完成させるには長期間を要することを想定すれば、ソフト対応による被害（リソース被害も含む）の最小化、被災直後の対応がより重要となることは明白である。



図 11 流入ポンプ棟からの仮配管（大船渡市）

ハード対策の実現には管理者特有の事情も多分に影響する。そこで、構造物の安全性確保の目標水準、被災時の暫定対応による機能回復手段等の選択、並びに、これらのハード対策を柔軟に組み合わせ統括しその効果を最大限活用する「ソフト対応」の構築が重要となる。このような「総合的な地震対策」が、平等に住民の生命、健全な都市機能を守ることに寄与するものと考える。

トイレや浸水等、住民の生活に密接に関与する下水道施設の地震対策を効果的に進めるためには、コンサルタントエンジニアの知恵と工夫が求められ、我々も具体的な提案に取り組んでいる。そのデザインの一つに、管理者と協働し策定する「下水道BCP」がある。

「総合的な地震対策」の実現には、下水道管理者の裁量の拡大、判断が必要となる。一方で事業実施には国の支援も不可欠であり、管理者の発想と行動が活かされるよう制度創りが重要と考える。

5. おわりに

下水道施設に限らず今回の大震災の被災状況を目の当たりにし、大きなショックを受けた。一方で、住民の視点に立って、これまでの地震対策のあり方について考え直す良い機会ともなった。私に今、何ができるのかを改めて考え、今後の業務に役立て、微力ながら復興に参画していきたい。

最後に、本調査にあたり、貴重なご助言、寛大なご理解とご協力を頂いた関係者の皆様に感謝を致します。



図 9 場内に設けた仮設沈殿池（宮城県内）



図 10 暫定的な塩素消毒の事例（宮城県内）

これまでの地震対策は、構造物の耐震化等のハード面での対応に注力してきた。想定される地震に対し、耐震化を進めることは当然重要である。しかし、地震はいつどこで起きてもおかしくないという状況下、計画を超える現象が発生すること

6/3被害調査報告会より「巨大津波と広域液状化からの復興に向けて」

6月3日に被害調査報告会を行いました。ここでは、「巨大津波と広域液状化からの復興に向けて」と題し、専門分野ごとに復旧・復興に向けた包括的な提案を行なうセッションを設けました。当初予定していた討議は残念ながら時間の都合上行なうことはできませんでしたが、当社の各分野の専門家から復旧・復興に向けての解決策の提案が行われました。

ここでは、当日司会を務めた磯山災害対策本部副本部長(当時)の趣旨説明とまとめ、当社特別顧問の檜山和男先生の特別講演、そして佐伯災害対策本部長(当時)の全社員への呼びかけをご紹介します。



○ 趣旨説明

災害対策本部副本部長 磯山龍二

ここまで様々な方面にわたって被害を報告していただきましたが、実は我々が調べてきたことの一部しか報告できないことや、業務対応で行っているので言えない部分もありました。その辺をカバーする意味で、少し専門分野ごとに包括的な話をさせていただきます。

特に、今回突きつけられた課題に対してどうすれば良いか、復旧・復興にむけてどうしていったら良いのか、という提案を含めて提示していただきたいと思います。時間があれば討議もしたいのですが、時間が無いので提示というところで終わってしまうと思いますが、ご了承ください。

私からの発表は省略しますが、一つだけ。お手元の資料を見ていただきたいと思います。明治三陸津波の遡上高さや被害、復興の事例などですが、これは土木学会の海岸工学委員会のHPに掲載してあるものです。津波防災の大家である首藤伸夫先生が、今回の震災の状況も踏まえて過去の事例を豊富に比較検討されて、シリーズでたくさん論文を発表されています。これは今回の震災復興において非常に貴重な資料となりますので、特に復旧・復興に関わる方々には是非熟読していただきたいと思います。

では、次の専門分野の方から、総括的なお話から今後の対応についてお話させていただきます。

- ・河川・港湾事業部 今後の地震・津波対策の進め方
- ・都市・地域活性化事業部 津波被災市街地の状況と都市復興のあり方
- ・保全・耐震・防災事業部 広域液状化被害を防ぐ
- ・保全・耐震・防災事業部 下水道施設の復旧を早める

注) これらの発表は、論文として、収録しました。



○特別講演:防災(津波・高潮災害)と計算工学 ～高品質計算(HQC)を目指して～

中央大学理工学部 都市環境学科計算力学研究室 教授
 樫山和男 (当社特別顧問)

1. はじめに

「防災と計算工学」というタイトルでお話しさせていただきますが、私が言いたいことは一点です。「高品質計算:ハイクオリティコンピューティング」を目指しましょうということです。

私は 30 年前に卒業研究で津波のシミュレーションをやりました。それから 30 年たった今も大きくは進んでいないのです。むしろ「もう津波のシミュレーション研究は終わったのではないか」という感があり、シミュレーション研究をやっている人が少なくなっているのが現状です。しかし、30 年前と今とではコンピュータのスピードは 100 万倍も早くなっているのです。それなのに、どうしてもっと進んでいかないのか・・・と常々思っております。



私はよく機械や航空の分野の人とつきあっていますが、土木は他分野に比べてコンピュータの進歩が設計や計画にあまり活かされていないのではないかと思います。

すぐく高精度化すれば良いのかと言うと、ちょっと違います。フルで3次元解析をすれば、本当に現象を再現できるのかもしれませんが、広域に適用するとなるとまだコンピュータのハードとソフトの両面で実用的ではありません。ですから、そこは現状を見据えながら、できるだけ高品質に計算をしようということで、お話ししたいと思います。

つまり、実用を意識して「より正確にモデル化しましょう、より正確かつ高速に計算しましょう、より正確に現象を把握しましょう」ということです。

2. 高品質計算を用いた津波シミュレーション

1) 今求められる津波シミュレーション

シミュレーションは計画・設計において活かされなくてはならないので、まずは複雑な地形や構造物の形状を正確に考慮する必要があります。

今まで広域の津波シミュレーションでは、一般に構造物の形状というものは「粗度」という形で間接的に考慮していました。粗度というのは構造物が壊れないという前提での抵抗として扱っています。今回の震災で、我々は構造物が津波により破壊されていく過程を目の当たりにしたわけです。そうすると、やはり構造物の形状は少なくとも考慮して、それが壊れたら、瓦礫となって流れて行き、瓦礫が構造物に当たって、さらに構造物に被害を与える・・・ということまでシミュレーションしないと、今回の津波の被害も説明できないのではないのでしょうか。ですから、「構造物の倒壊はせめて考慮しましょうよ」ということです。

そうなるとこれまでに比べて計算時間がかかりますので、高速に計算する必要がありますが、これにはいろいろなテクニックがあります。また、計算結果をわかり易く見せることも大事だと思います。特に防災の教育という意味では非常に大事です。

2) GISデータの活用

様々な GIS のデータを使えば正確な地形や構造物の形状データを作ることができます。図 2 は、安政-南海地震で壊滅的な被害を受けた地域のシミュレーションに用いた地形と構造物のモデルですが、こういった構造物の

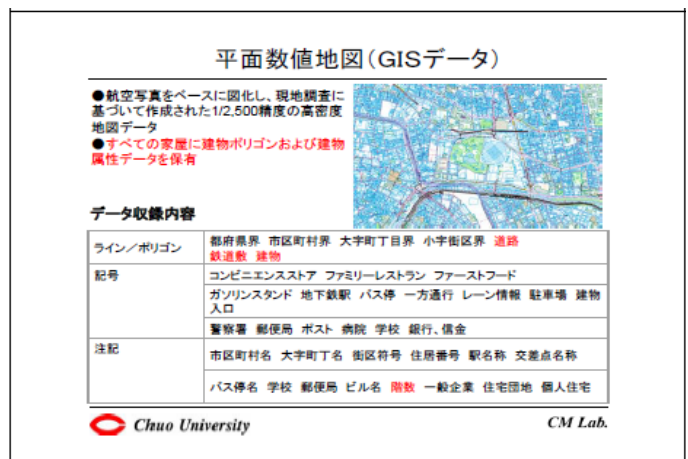


図 1 GISデータの活用例

形状を粗度という形で表現していたのが、先ほどの鈴木副事業部長の説明にあった従来のシミュレーション手法です。

3) 建物の形状・倒壊による影響の考慮

我々は更に構造物の倒壊を考慮するため、図3のように構造物の形状と配置を考慮しました。ただし、この地区は電子データが無いので、紙地図から電子化しました。このように一軒一軒建物を見て、木造かコンクリートかを判断してデータ化しました。

構造物が壊れるとそれが瓦礫となって流れますので、壊れた後にはちゃんとメッシュもできなければなりません。ですから、こういうメッシュを構造物の中にも組み込んで解析しました。アニメーションがお見せできないので残念ですが、結果、構造物が倒壊して移流していく様が見えるわけです。あとでご関心のある方には、上映したいと思います。

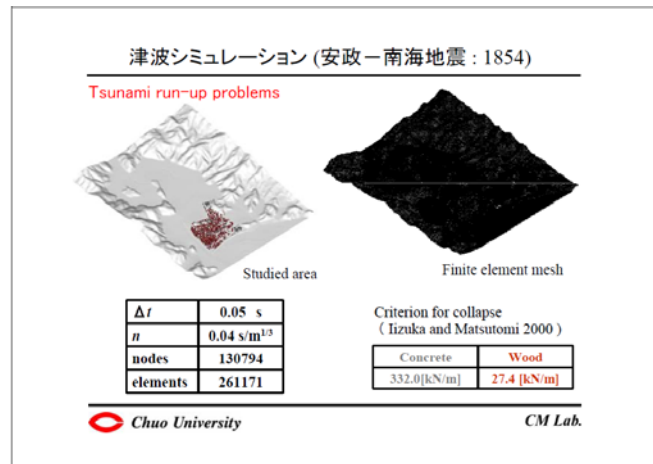


図2 建物の形状を考慮した場合のシミュレーション例 (安政-南海地震)

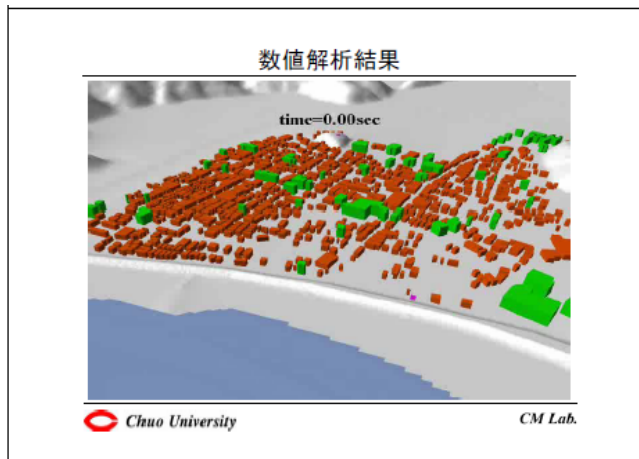


図3 建物の形状の電子データ化

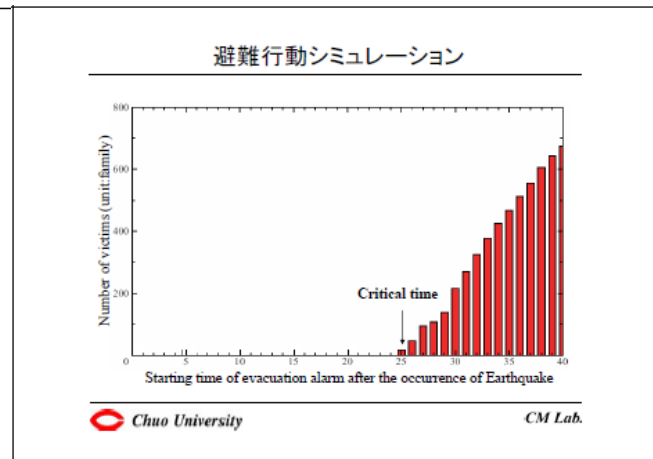


図4 有限要素分割によるメッシュ化

4) 避難行動シミュレーション

人的被害を予測するためには、避難行動シミュレーションということも併せてやります。この例では図6のように、地震が発生してから 25 分くらいまでに、避難を開始すれば全員助かります、ということがわかるわけです。

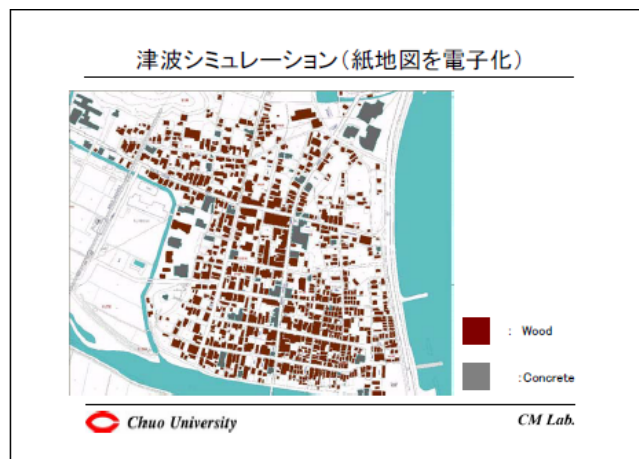


図5 シミュレーション結果

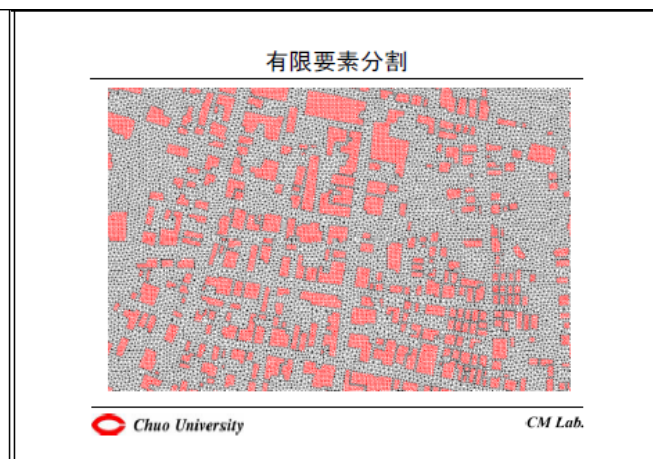


図6 避難行動シミュレーション結果

5) 建物の倒壊・流出による流体力増幅効果

震災のテレビ映像を見て驚きましたが、津波で構造物が瓦礫となって流れる・・・海水が押し寄せてくるのではないのです。この効果をやはり考慮しなければなりません。簡単な例ですが、構造物を2つ直列に並べて、構造物が壊れるか壊れないか、瓦礫となって流れるか流れないか、この違いを計算しました。

図7は構造物が壊れないと仮定した場合です。この場合、後方の構造物に作用する流体力は、前方の構造物に作用する流体力に比べてかなり小さくなります。

これに対して前方の建物が壊れると、水位もあまり減衰しませんので、図8のように後方の構造物は前方の構造物とほぼ同じ流体力を受けることになります。

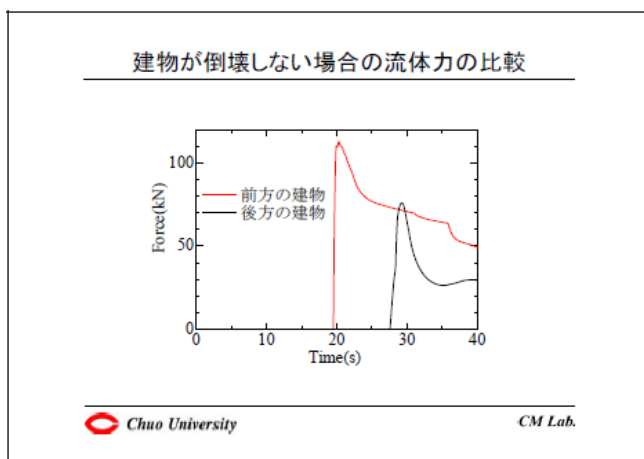


図7 建物が倒壊しない場合の流体力

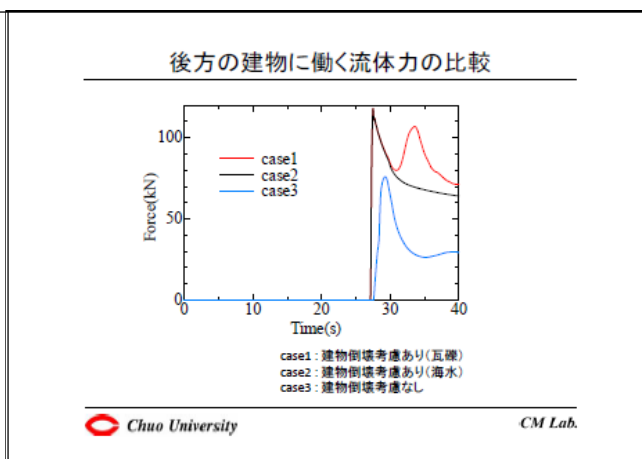


図8 建物が倒壊・流出した場合の流体力

さらに、建物が瓦礫となって、重い混相流体となって流れて、当たっていくという効果を考慮すると、2回目のピークをむかえるのです。そして、例えば構造物の倒壊の基準がこれくらいだとすると、どんどん壊れていきます。この結果から、ドミノ倒しのような現象が今回見られたのは、瓦礫や漂流物の効果が大きかったのではないかということが言えます。

6) 高度なシミュレーションを可能とする技術

計算負荷を軽減するためには、並列計算が有効です。今は並列計算も簡単にできるようになり、かつ並列コンピュータもずいぶん安くなってきたので、並列計算をどんどんやりましょう、ということです。

それから高品質な可視化という点では、POV-Rayなどのソフトがあります。こういったフリーのソフトでも写真と見分けがつかないような品質で結果を表示できます。

また、バーチャルリアリティ技術に基づく立体視も、今は安価で実現できます。この映像は、被験者がスクリーン画面の前に立つと向こうから洪水が来て、洪水現象を疑似体感できるというものです。

高品質な可視化(POV-Rayの利用)

- POV-Rayとは
 - ◆ レイトレーシング法(視点からの光線の反射、屈折を追跡計算)を用いた三次元CGソフトウェア
- ◆ POV-Rayの特徴

① 高性能、高品質
② 多くのコンピュータシステムに対応している
③ ネットワーク上に多くの情報がある
④ フリーウェアである

<http://www.povray.org/>

図9 可視化手法例:POV-Ray

おわりに

防災(津波・高潮)と計算力学について、

- ・より正確にモデル化する(プリ・プロセス)
 - ☞ GIS/CADを用いたモデリング
- ・より正確かつ高速に計算する(メイン・プロセス)
 - ☞ 構造物の考慮、並列計算
- ・より正確に現象を把握する(ポスト・プロセス)
 - ☞ VRに基づく可視化

の観点から述べた。

これらの計算技術の有効活用は、**高品質計算(High Quality Computing)の実現**において重要である。

図10 おわりに

3. おわりに

駆け足でお話ししてきましたが、この津波を契機に、ハイクオリティコンピューティングをもうすこし真剣にやっていったらいかがでしょうか？ やって行きませんか？ と最後に申し上げたいと思います。

○ まとめ

災害対策本部副本部長 磯山龍二

本来はここからディスカッションで議論を深めたかったのですが、時間が無いので、ここで終了したいと思います。

現地調査は一応終わりました。災害査定およびそれに関する調査等、関係者の方々には相当頑張っただきまして、現在でも動いております。最新の話では山田町・宮古市の調査と復興計画が本格的に動き出します。これから本日聞いておられる社員もかなりの確率で関係することになると思いますので、本日のようなアカデミックな議論もしながら、実際の現場で復興に当たって行きたいと思いますので、よろしくお願いします。

○ 今後の復旧・復興への取り組み方

災害対策本部長 佐伯光昭

災害対策本部長としてみなさんにいろいろとご協力いただいたことについて、厚く御礼申し上げます。

本日の報告を聞いていて感じたことが、2 つありますので、時間が無い中で、最後に指摘させていただくわがままをお許しください。

1 つは、都市全体、インフラ全体のシステムの相互連関ということを考えてときに、田口さんの発表された話のように、巨大地震の際に施設の機能維持をはかるために、それぞれ担当の専門分野の方々が何を考え、何をなすべきかということです。システム全体の機能保持のために構成する各システム側でどのような配慮が必要なのかについて、よく考え、機能発揮に係わるリスクを評価して、適切な対策をとっていくことが重要だということです。

2 つ目は、今日の発表の中には、大変有益なシーズが含まれていたと思います。これから我々が優れた技術で安全で快適な社会の創出に貢献するための有効なアイデアがいくつもありました。6 月 1 日の会社新年度から、新たに震災対策・復興企画部という組織を立ち上げますが、その中で、各事業部においてどう具体的に R&D を進めて行くか、それらの優先順位をきちんとつけて行くことが大切です。

これらの推進は、わが国の地理的環境や自然環境を考えれば国防と並ぶ重要な国家目標である自然災害の軽減にとって極めて有意義なことであり、我々の社会的な役割を果たすことになるのだという認識を、社員一人一人が持っていただきたいのです。そして、コンサルタント技術者として、今回の地震による未曾有の大震災の復旧・復興とこれからの関東、東海沖から紀伊半島、四国沖そして日向灘、南西諸島沿いの日本海溝沿いの M8 超級の巨大地震への防災・減災対策の推進に向けて、参画しうる環境下に身を置くことの意義を重く受け止め、どのように係わって社会に貢献して行くのか、一人ひとりが真剣に考えていただきたいと思います

わが国も 21 世紀の人口減少社会を迎えて、財源が厳しい状況の中で、どのように安全・安心できる社会の構築を進めて行くか、難しい課題が山積しています。このため、われわれの知恵と知的価値を如何に発揮していくかが問われています。まさにインフラソリューションコンサルタントとしての使命を自覚し、みなさん一人ひとりがその実践に努めていただきますようお願いいたします。

以上



資料

平成 23 年 3 月 16 日

E・J グループ傘下会社
役員・社員各位

E・J ホールディングス(株) 代表取締役会長
(株)エイト日本技術開発 代表取締役副社長
E・J グループ東北・関東大震災対策本部長
佐伯 光昭

東北・関東大震災の復旧・復興の協力・支援に関する対処方針について

去る 3 月 11 日に発生したマグニチュード 9.0 の東北地方太平洋沖地震による東北・関東大震災は、わが国、有史以来、最大規模のいたましいものとなっています。おそらく犠牲者は 2 万人を超えるものと想定されます。心ならずも命を落とされた方々、そして 50 万人にも達する多数の被災者に対し、心からのお悔やみとお見舞いを申し上げます。

また、EJ グループの EJEC、KSC の仙台在住の役員、社員におかれましては、本人、ご家族の安全は確認されたものの住居の被災やライフラインの機能の被害による生活への支障を受けられていることに対しても、ここにお見舞いを申し上げます。

一昨日、E・J ホールディングス(株)および(株)エイト日本技術開発の小谷代表取締役社長より、「東北・関東大震災の復旧・復興に関する協力・支援へのお願い」が文書にて各位に表明されました。わたくしは、E・J グループ全体の震災対策本部の長として、このマグニチュード 9.0 の巨大地震による未曾有の大震災の復旧そして復興協力および支援の対応責任者の重責を担うことになりました。

ここに、上記の小谷社長発の要請に応え、所期の目的の達成に向けて、各位のご理解とご協力を得るために、去る 12 日（土）午後に開催しました第 1 回震災対策本部会議の結果を踏まえて、基本的な対処の考え方を以下に明らかにすることとします。

なお、これら復旧・復興に関する支援・協力などの展開に当たっては、従事していただく社員の安全に万全を期すため、当本部が

- ① 予断を許さない危機的な状況が拡大しつつある東京電力福島第一原子力発電所の被害の状況
- ② 今後、発生の可能性が残されている M7～8 級の余震

等の情報を時系列的に確実に把握しながら、現場作業に従事する社員の安全の確保に最大限努めて、危機管理の徹底を図っていきます。このため携帯メールの活用、緊急地震速報の伝達を可能ならしめる措置など必要な対応を講じて行きます。

この他、今回の地震の震源域を外れた北陸や中部山岳、東海地域、関東南部でのマグニチュード 6 超の内陸直下型地震も 3 月 11 日午後 2 時 46 分に発生した本震以降、断続的に生じていることにも EJEC、KSC の中部支社、東京本社、同支社管内の各位には注意していただく必要があります。

このような事態で、特に注意していただきたいのは、通常の豪雨災害や土砂災害、そして被害が局地的であった阪神・淡路大震災とは異なる深刻な様相とリスクを抱えているということです。各職場におかれてもテレビやラジオ、インターネット等での情報把握に努めていただくようお願いいたします。

(1) グループ企業への支援活動の展開

まず、被災地域における EJEC および KSC の東北支社における就労環境に対する手当てを行います。すでに EJEC では、13 日の日曜日に第一陣として斎藤保全・耐震・防災事業部長を団長とする支援隊 5 名を 2 台の自動車で救援物資を積み込み、関越道から新潟、天童経由にて 12 時間をかけて仙台市の東北支社に派遣しました。そして 17 日午後には、澤 取締役を団長とする 3 名が第二陣として岡山本店を出発し、東北支社から要請のあった物資を送り込むこととしました。KSC では、今日 16 日、名古屋で調達した必要な救援物資を東京本社より仙台の支社まで送ることと承っております。今後は、EJEC、KSC とともに協力・連携して、両社東北支社の後方支援を行うことと考えています。

(2) 国交省等と業界団体との間で締結されている災害対応協定への協力

(社) 建設コンサルタンツ協会東北支部並びに関東支部等の業界団体が発注機関と締結している協定に基づいて、復旧支援活動に積極的に参加協力して行きます。国交省直轄や県管理の河川や道路、港湾、漁港施設などの被害状況調査への協力や災害査定、そして復旧設計とそれに関連した測量、地盤調査などへの参画を積極的に働きかけて行きたいと考えております。すでに、14 日には EJEC 東北支社岩本副支社長が (社) 建設コンサルタンツ協会東北支部長 (復建技術コンサルタント(株) 遠藤社長) に積極的な協力の申し入れを行うとともに、昨 15 日には同社の斎藤 保全・耐震・防災事業部長も旧日技最後の東北支社長として旧知の同支部長に面談し同様な意向を表明していただきました。

今後、被害の全体的な状況が明らかにされていく段階で、当グループ経営トップの国交省東北並びに関東地方整備局幹部への積極的なアプローチも行う所存であります。

(3) 被災地域への復旧・復興支援への働きかけ

津波の襲来により壊滅的な被害を受けた地方公共団体への積極的な復旧・復興支援の働きかけです。特に、瓦礫などの災害ゴミの処理計画から始めて、地域づくり、まちづくりそしてそれらの基盤となる上・下水道やガスなどライフライン施設の整備を原点に立ち戻って行う必要があります。これらの計画や調査、設計、施工監理までの復興事業に、当グループの幅広い技術分野と阪神・淡路大震災の復興で発揮した特色ある実績を EJEC のグローバル・ビジネス本部と保全・耐震・防災事業部などを主体に PR することにより、ワン・ストップ・ソリューション型のコンサルティング・サービスを展開して行くことです。このプロセスでは PPP を活用した事業形態も視野に入れたプロモーションも積極的に行っていくことが必要と考えています。

(4) 今後の巨大地震災害への取組

グループ内部の課題として、今回のマグニチュード M9.0 の巨大地震の発生による被害状況や当社のその直後の対応で明らかになった問題点や課題、対処方策などを学習することです。そして、それらの結果を、今後、近い将来、発生が確実視されている「東海・東南海・南海地震」や「首都圏直下型地震」の震前対策への事業展開に反映させるという観点から、当グループのこれからの主要な技術～業容開発や人材育成戦略、そして発災後の業務継続計画 (BCP : Business Continuity Plan) に反映させていくことです。

それにより、同業他社との差別化を実現し、これからの健全で持続可能な成長の“きっかけ”にしなければなりません。

(5) 関連学会活動への積極的な参画

今回の大震災の様相、特徴、インフラ施設の津波以外の原因による被災の特徴や原因の究明や、

復旧・復興に係わる事業の展開などに関する検討などの土木学会や地盤工学会など関連諸学会への活動に、積極的に取り組むこともわれわれの専門職業人としての重要な使命であると認識して、できるだけ参画していただきたいと思っております。

以上の取組には、当グループのすべての役員、社員が自らの使命として認識していただくことが前提であることは言うまでもありません。上記、(2)、(3)の取組に対しては、グループ会社総体としての協力、連携が不可欠であり、EJECにおいても、必要に応じて営業職ならびに技術者の配置転換も積極的に行なわなければならないものと思っております。

なお、現時点では、上記の通り、東京電力福島第一原子力発電所の被害の拡大が最も懸念される所です。これが最悪の事態となれば、広範な被災地域の復旧・復興事業の展開に大きな支障となり、わが国ばかりでなく国際的にも経済活動に深刻な影響を及ぼす世界で初めての巨大複合災害となります。特に、この先、(2)(3)の各種の現地調査が精力的に進められることとなりますが、その対応に当たっては、同発電所の事態の推移を注意深く見守り、関係当局の指示に従い、社員の健康を損ねるリスクを最大限排除する必要があることは上記の通りです。

さて、今回の大震災は高度に発達した文明の成果を享受してきた先進的な資本主義国において、初めての大規模な津波襲来による人的、物的損害と高いエネルギー効率を誇ってきた原子力発電所の被災という深刻な巨大災害の様相を示したものです。

各位のこれからの対処の参考に、故 寺田寅彦博士がその随筆「天災と国防」の中で記述されている文章の一部を添付資料に示しておきますので、お目通しいただければと思います。

私たちは、未曾有の東北・関東大震災の復旧・復興に関わるに当たり、この先哲の指摘をかけがえのない遺訓としてかみしめ、インフラ整備や国土保全など広く防災事業に従事するコンサルティング・サービスを生業とする技術者として、一人ひとりが専門職業人としての高い志と矜持を擁して自らの取り組むべき使命と考えて行動して行こうではありませんか！

このことを通して、E・Jグループの新たなブランドや企業文化の創出のきっかけになることを大いに期待してやみません。

以上

【添付資料】 出典：寺田寅彦：天災と国防（初出：昭和9年11月 経済往来），
ワイド版岩波文庫 102，寺田寅彦随筆集、第5巻小宮豊隆編、1993.6

「(前略) 日本はその地理的の位置がきわめて特殊であるために国際的にも特殊な関係が生じいろいろな仮想敵国に対する特殊な防備の必要を生じると同様に、気象学的、地球物理学的にもまた、きわめて特殊な環境の支配を受けているために、その結果として特殊な天変地異に絶えず脅かされなければならない運命のもとに置かれていることを一日も忘れてはならないはずである。

地震、津波、台風のごとき西欧文明諸国の多くの国々にも全然無いとは言われなくても、頻繁にわが国のように劇甚な災禍を及ぼすことははなはだまれであると言ってもよい。わが国のようにこういう災禍の頻繁であるということは一面から見ればわが国の国民性の上に良い影響を及ぼしていることも否定し難いことであって、数千年来の災禍の試練によって日本国民特有のいろいろな国民性のすぐれた諸相が作り上げられたことも事実である。

しかしここで一つ考えなければならないことで、しかもいつも忘れられがちな重大な要項がある。それは、文明が進めば進むほど天然の暴威による災害がその劇烈の度を増すという事実である。(中略) 文明が進むに従って人間は次第に自然を征服しようとする野心を生じた。そうして、重力に逆らい、風圧、水力に抗するようないろいろの造営物を作った。そうしてあつぱれ自然の暴威を封じ込めたつもりになると、どうかした拍子に檻を破った猛獣の大群のように、自然があばれ出して高樓を倒壊せしめ、堤防を崩壊させて人命を危うくし財産を滅ぼす。その災禍を起こさせたもののはたれあろう文明人そのものなのである。

もう一つ文明の進歩のために生じた対自然関係の著しい変化がある。それは人間の団体、なかんずくいわゆる国家あるいは国民と称するものの有機的結合が進化し、その内部機構の分化が著しく進展して来たために、その有機系のある一部の損害が系全体に対してはなはだしく有害な影響を及ぼす可能性が多くなり、時には一小部分の傷害が全系統に致命的となりうる恐れがあるようになったということである。

(中略) それで、文明が進むほど天災による損害の程度も累進する傾向があるという事実を十分に自覚して、そして平生からそれに対する防御策を講じなければならないはずであるのに、それがいっこうにできていないのはどういうわけであるか。そのおもなる原因は、畢竟そういう天災がきわめてまれにしか起こらないで、ちょうど人間が前車の顛覆を忘れたころにそろそろ後車を引き出すようになるからであろう。

(後略)」

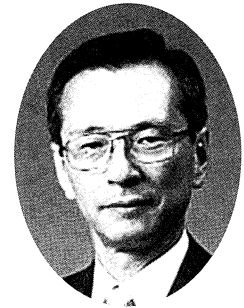
年頭所感

改めて社会資本整備とその「無駄」を考える

—防災・減災の立場から—

E・Jホールディングス(株) 代表取締役 会長
(株)エイト日本技術開発 代表取締役 副社長執行役員

Saeki Mitsuki
佐伯光昭



新年おめでとうございます。

一昨年9月の新政権誕生後、マニフェストに掲げた政策実現のため、“事業仕分け”が行われ、社会資本整備の諸事業も「無駄」や「効率性」等の観点から、予算の縮減やスーパー堤防事業のように廃止の方針が明らかにされました。

年初早々、重たい話題で恐縮ですが、厳しい財政状況の下で高齢化、人口減少などの深刻な問題を抱えている一方で、地震や火山、豪雨等による世界でも有数の災害の脅威に晒されているわが国の社会資本整備のあり方と「無駄」との関係を論じてみることにします。

辞書によれば、「無駄」とは「それをしただけの甲斐が無いこと」、「用ななもの」、また、このほかに「余剰」、「冗長さ」等と表現されています。

本来、国家の最も重要な使命は自国民の生命と財産を守ることにあります。よって、国が担うべき第一義的な施策は「国防」と「防災」の二つとなります。

寺田寅彦博士は1934年に刊行された著書「天災と国防」の中で、わが国の地理的条件の特殊性から国際的にも複数の仮想敵国に対する特殊な防備が必要なことに加え、気象学的、地球物理学的にも極めて希少な環境の支配を受けて天変地異に絶えず脅かされるという運命の下に置かれていることを一日も忘れてはならないこと、加えて、1923年の関東地震、1934年の室戸台風の災禍の状況から、“文明が進めば進むほど天然の暴威による災害がその劇烈の度を増すという事実である。”との重要な指摘をされました。博士は、また自然災害の猛威を一般の人々は時とともに忘れて行くが“少なくとも一国の為政の枢機に参与する人々だけは、この健忘症に対する診療を常々怠らないようにしてもらいたい”との現在にも通用する重要な警鐘を鳴らしています。

わが国では、第二次大戦後の復興から高度経済成長期を経て、現在では、道路・鉄道、河川・港湾、電力やガス、上・下水道などの各種インフラが都市、地域の防災や社会経済活動など、人々の生活を支える不可欠な機能を果たしています。そして大都市のほとんどが沿岸の軟弱地盤が厚く堆積した沖積平野に位置しており、河川の水位が周囲の地盤の標高よりも高いところも多く、万一、破堤すれば内水氾濫により重大な人的、物的被害を生じることになります。また、大地震が起これば、緩い砂質地盤が液状化して建物やライフラインの諸施設に被害を生じさせるおそれが高いのです。中央防災会議の調査によれば、東海、東南海、南海の各地震が今後30年間に生じる確率は60～90%弱、そしてこれらM8級の三つの地震はそれぞれ単独に発生するばかりでなく、ほぼ同時に起こる可能性も高く、その場合には経済損失が約80兆円、死者は約25,000名、全

壊、全焼の建物はおよそ94万棟と試算されています。また、東京とその周辺では今後30年間にM7級の「首都圏直下地震」が生じる確率が70%、死者は約11,000人、約85万棟の建物の全壊、焼失、そして経済損失は112兆円と推定されています。これらの数値は現在の国家予算が90兆円規模、阪神・淡路大震災での死者が6,400名余、建物の全壊、焼失が約11万棟、経済損失として20兆円強と算出されていることを比べても深刻です。

このように大地震を取り上げても、それは国民の生命、財産そして生活を脅かす近未来の確定的な事象と考える必要があります。予防としての補強対策事業ばかりでなく、各種インフラの整備自体も、例えば道路のネットワーク化のように、災害時に冗長性を発揮させ、救命や復旧活動などの減災性を向上させる有効な手段となることを認識すべきです。単に、費用便益分析の考えで地点間の移動時間や燃料消費面での便益効果等の平常時機能のみに着目して「無駄」であると画一的に仕分けすることは適切ではないのです。平常時で「無駄」と評価されても、その路線が発災後に道路網としての機能を発揮して人命救助や周辺地域からの復旧支援活動、復旧から復興までの経済活動への貢献など計量化が困難な効果をもたらすことを評価すべきです。まさかの時に「適度な冗長性」を発揮して災害を軽減しうる平常時での「無駄」の効用も考えることが必要です。

今、大切なのは、寺田博士の遺訓を糧に、わが国の置かれた自然条件から大地震や大型台風などによる災害の発生を確定事象と捉え、国家戦略として「国防」と並ぶ位置づけで「防災」の基本方針を確立し、道路や河川、港湾、資源・エネルギー関連の供給・処理施設など各種の社会基盤を防災・減災対策にも役立つ「適度な冗長性」を有した拠点施設を含むシステムとして整備することです。確かに人口減少、高齢社会を迎えて、急増する社会保障費への対応も喫緊の課題ですが、社会保障制度自体、国民が安心して勤労するための仕組みであって目的ではありません。今こそ国力の充実を期して、平常時の維持・更新に自然の猛威への防災、減災の効果も加味したインフラ整備を着実に進めなければなりません。これには、社会資本整備に豊かな経験と優れた能力を有する土木技術者の参画により、想定災害の被害予測を踏まえた効果的な予防や減災対策の内容と費用を、各種のインフラ施設が発災後に確保すべき機能の水準をパラメータにして明らかにすることが可能となります。そして、その妥当な水準と財源確保の方策について国民的な議論を通して合意を形成し、それに必要な対策事業を計画的に実践していくことが、次に襲来する自然の猛威に対する備え～防災、減災に不可欠となるのです。

本資料または東日本大震災に関するお問合せは、下記の事業所までお願い致します。

株式会社エイト日本技術開発 事業所一覧

<http://www.ejec.ej-hds.co.jp/index.html>

本 店 〒700-8617 岡山県岡山市北区津島京町三丁目1番21号 TEL. 086-252-8917

本 社 〒164-8601 東京都中野区本町五丁目33番11号 TEL. 03-5341-5111

東北支社 〒984-0074 宮城県仙台市若林区東七番丁161番 TEL. 022-712-3555

青森営業所・盛岡営業所・秋田営業所・山形営業所・福島営業所

東京支社 〒164-8601 東京都中野区本町五丁目33番11号 TEL. 03-5341-5151

札幌支店 〒060-0807 北海道札幌市北区北七条西7丁目1番地30 TEL. 011-757-9510

北関東支店 〒330-0062 埼玉県さいたま市浦和区仲町1丁目4番10号 TEL. 048-823-3640

横浜支店 〒231-0005 神奈川県横浜市中区本町2丁目10番地 TEL. 045-651-4175

千葉事務所・長野営業所・新潟営業所・水戸事務所・山梨事務所・高崎営業所

中部支社 〒460-0008 愛知県名古屋市中区栄三丁目10番22号 TEL. 052-262-9901

三重事務所・金沢事務所・南信営業所・岐阜事務所・静岡事務所

関西支社 〒532-0034 大阪府大阪市淀川区野中北一丁目12番39号 TEL. 06-6397-3888

神戸支店 〒652-0047 兵庫県神戸市兵庫区下沢通三丁目1番25号 TEL. 078-521-2601

京都支店 〒604-8106 京都府京都市中京区堺町通御池下丸木材木町670番地1 TEL. 075-255-6662

和歌山支店 〒640-8203 和歌山県和歌山市東蔵前丁4番地 TEL. 073-431-9889

福井事務所・紀南営業所・大津事務所・福知山事務所・奈良事務所

中国支社 〒700-8617 岡山県岡山市北区津島京町三丁目1番21号 TEL. 086-252-8917

鳥取支店 〒680-0921 鳥取県鳥取市古海字下池ノ内502番2 TEL. 0857-26-2710

松江支店 〒690-0001 島根県松江市東朝日町151番地34 TEL. 0852-21-3375

山口支店 〒753-0051 山口県山口市旭通り一丁目10番10号 TEL. 083-924-3277

浜田支店 〒697-0062 島根県浜田市熱田町20番地1 TEL. 0855-27-0041

広島支店 〒732-0055 広島県広島市東区東蟹屋町15番3号 TEL. 082-263-7771

益田営業所・岩国営業所・津山営業所・倉吉営業所・長門営業所

四国支社 〒790-0054 愛媛県松山市空港通二丁目9番29号 TEL. 089-971-6511

徳島支店 〒770-0856 徳島県徳島市中洲町二丁目8番地 TEL. 088-623-1283

高知支店 〒781-8135 高知県高知市一宮南町一丁目8番36号 TEL. 088-845-6226

高松支店 〒760-0047 香川県高松市塩屋町8番地1 TEL. 087-823-5585

宇和島営業所

九州支社 〒812-0013 福岡県福岡市博多区博多駅東一丁目16番14号 TEL. 092-441-4344

熊本支店 〒862-0913 熊本県熊本市尾ノ上一丁目12番1号 TEL. 096-360-4435

大分営業所・佐賀営業所・長崎事務所・鹿児島営業所・沖縄事務所

東日本大震災被害調査報告

発 行 2011年6月20日
編 者 災害対策本部 復興企画チーム
発行者 災害対策本部長 佐伯光昭
発行所 株式会社エイト日本技術開発
〒164-8601 東京都中野区本町 5-33-11
<http://www.ejec.ej-hds.co.jp/>
印刷所 吉備サプライ有限会社

本書の著作権は、株式会社エイト日本技術開発に
帰属します。著作権者の事前の承諾なく、本書の
全部もしくは一部を複写・複製・転載することは
できません。

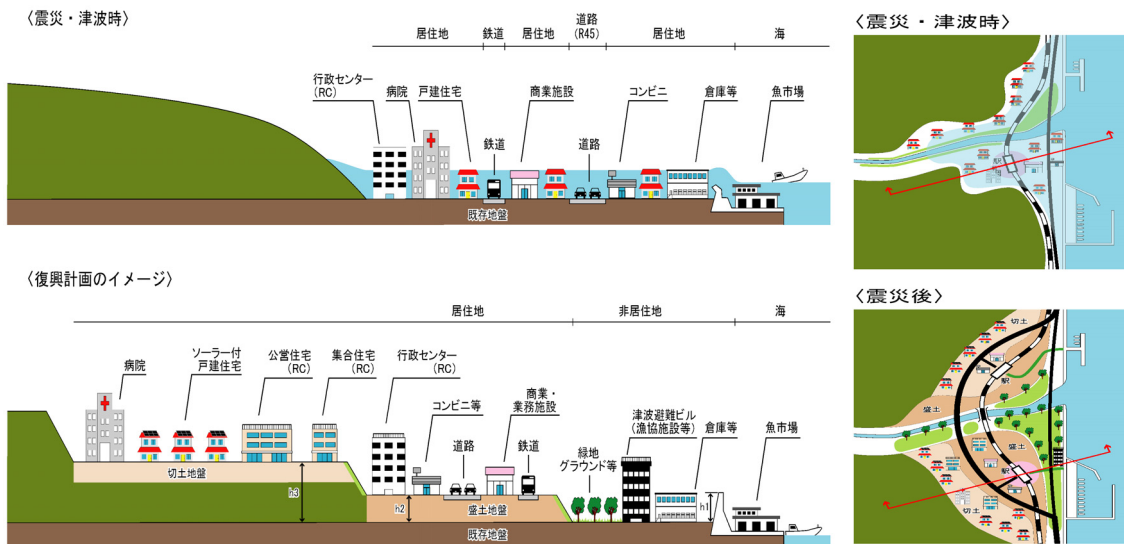
がんばろう 日本！



岩手県宮古市現地事務所



岩手県山田町現地事務所



復興計画のイメージ



株式会社エイト日本技術開発
Eight-Japan Engineering Consultants Inc.