

3. 被害調査と復旧・復興に向けた提言

3-1 では、弊社報告書「東日本大震災 被害調査報告」平成 23 年 6 月の中から、震災から約 3 ヶ月の現地調査報告内容を抜粋して示す。

3-2～3-4 では、同報告書から、復旧・復興に向けた当時の提言内容を再掲する。著者の所属も当時のままとしている。

3-1 発災直後の被害調査概要

編集委員会

1. 河川・港湾の被害

調査項目及び対象施設等を表1にまとめる。

表1 主な調査地点と被害状況（一覧）

項目		対象施設等	写真、図等
港湾・海岸	①	宮古市田老町、山田町、大槌町、南三陸町、東松島市にある港湾・海岸施設	写真1~3、図1
河川・砂防施設	②	釜石市、大槌町、山田町、宮古市田老町の河川護岸・砂防施設、等	写真4
	③	阿武隈川（下流域）、鳴瀬川（下流域）、北上川（下流域）	写真5~6
水門・重力式ダム	④	防潮水門（歌津川河口、水尻川）南沢川水門、岳ダム	写真7~8
ダム	⑤	岩手・宮城・福島県内のダム23基	図2~3

・港湾・海洋①：

【被害と特徴】宮古市田老町では海面上10mの防潮堤を超える津波が来襲し、防潮堤の転倒や堤内地に大被害が、山田町、大槌町でも防潮堤、漁港施設や堤内施設に壊滅的被害があった。南三陸町では岸壁、防潮堤等の施設に破壊・転倒・沈下被害が、東松島町では松島湾側で護岸が背面から津波被害を受けた。各港湾・海岸付近では津波によって多くの船舶・車・コンテナ等が漂流したり、湾内に沈没したりして港湾機能に支障が生じている。

【課題及び留意点】従来の設計対象津浪に対し人命・財産を守り被害を最小限に抑えるとともに、発生確率が非常に低い最大級の津波に対して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災害を防ぐことが重要。今後はハード対策として、津波に対してもレベル1と2の区分を設定し、施設に対する要求性能（使用性、重複性）を求めることや、ソフト対策として、シミュレーション技術を活用し被害規模や対策効果を予測することで、地域の実情にあった提案を実施する必要がある。



写真1 防潮堤破壊と堤内の様子



写真2 岸壁部と防潮堤の破壊状況



写真3 打ち上げられた船舶（釜石港、気仙沼漁港）

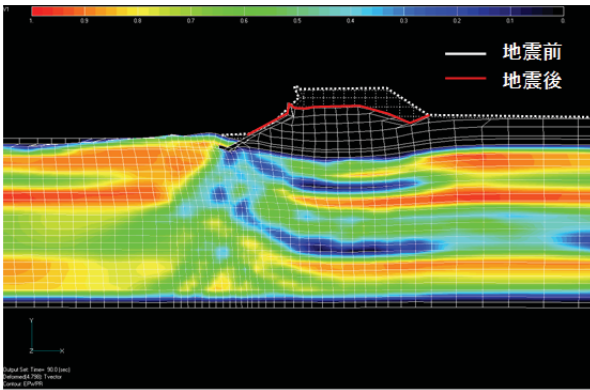


図1 動的解析 (FLIP)

・河川・砂防施設②:

【被害と特徴】調査地域の中では、釜石で遡上した津波の引き波で護岸が転倒した例が見られたが、それ以外では、津波の影響が無く、河川護岸・樋門等河川構造物に被害は見られなかった。河川のHWL以下の津波の遡上に対しても構造物の被害は見られなかった。大槌町、山田町、宮古市では山火事の発生も確認した。

【課題及び留意点】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。



写真4 甲子川 護岸転倒状況

・河川・砂防施設③:

【被害と特徴】津波の遡上～堤防越流による被災（阿武隈川）や浸水（鳴瀬川）、津波による堤防決壊（北上川）が見られた他、各河川の下流域では液状化が原因とみられる堤体沈下・流動（阿武隈川右岸 22.0k 付近）、法尻部の堤体孕み出し（鳴瀬川左岸 11.1k 付近）、側方流動又は基礎地盤剛性低

下が原因とみられる堤防天端の縦断亀裂（北上川 26.5k 付近）、等が見られた。鳴瀬川河川堤防を対象に、2003年宮城県北部地震での被害状況を対比したところ、両地震とも被害は一般に液状化が発生しやすいとされる「自然堤防」部に集中していること、河口部から 30k 超までの範囲で、地震動は東北地方太平洋地震の方が大きいにも係わらず、被害箇所数は同地震の方が少なくなっていることから、宮城県北部地震後に堤防が強化復旧（堤防再構築、地盤改良）された効果が発現されたものと考えられる。

【課題及び留意点】堤防再構築や地盤改良による堤防の強化復旧を、耐震対策として取り上げること、出水期と地震が重なった場合のハード・ソフト面での対応、地盤沈下が発生していることに留意し、堤防整備に際しての余裕高の再照査が必要である。



写真5 震災直後の被災状況⁶⁾

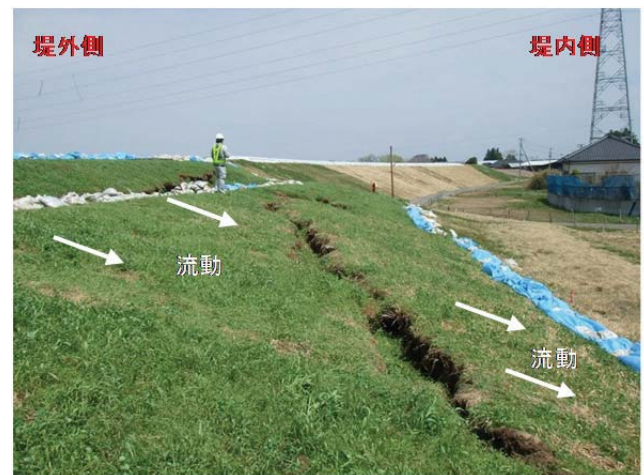


写真6 堤防法面の被害

・水門・重力式ダム④：

【被害と特徴】津波による鋼製門扉、操作橋の流失や戸当り部の損傷、地震動による門柱基部のひび割れ、管理橋の損傷や戸当り部の損傷が見られた。

【課題及び留意点】津波による構造物部材の流出を防止するための設計法・照査法の検討や、地震動の実現象を踏まえた構造物に設計法改良や付属物に着目した地震対策の検討が必要である。



写真7 水尻川河口付近の防潮水門



写真8 操作橋・管理橋の流出

・ダム⑤：

【被害と特徴】重力式ダム9基では、堤体目地や打継目でのひび割れは見られたものの、機能低下を招く被害は無く、ロックフィルダム4基においても機能低下を招く被害は無かった。アースダムでは、決壊した藤沼ダム等、機能低下を招く被害が生じたが、損傷を受けたダムはi.レベル2地震動照査に用いる加速度応答スペクトル程度の地震を受けていることや、ii.河川管理施設等構造令以前に竣工されたダムであることが分かった。

【課題及び留意点】アースダムの中でも築造年代の古いダムや均一形式のダムへの補強対策、及び漏水対策が必要である。



図2 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3 藤沼ダム堤体の被害状況

2. 道路・橋梁の被害

調査項目及び対象施設等を表2にまとめる。

表2 主な調査地点と被害状況(一覧)

項目	対象施設等	写真、図等
岩手県三陸地区	① 国道45号に架かる乙部橋、宮古大橋、宝来橋・宝来橋側道橋、矢の浦橋、片岸大橋、荒川橋、沼田跨線橋、川原川橋、気仙大橋、等	写真9~10
宮城県	② 国道45号に架かる歌津大橋、水尻橋、古川橋、新飯野川橋、天王橋、新天王橋、鳴瀬大橋、三陸道利府JCT付近	写真 11~13
福島県	③ 福島県北部沿岸部に架かる小塚橋、釣師橋、浜畑橋、相馬東大橋、新館野橋、上立切橋	写真 14~15
茨城県	④ 常陸太田市周辺の機初橋、里川橋、幸久橋、ひたちなか市周辺の湊大橋、新那珂川、勝田高架橋	写真 16~23

・岩手県三陸地区①:

【被害と特徴】 強震の慣性力による目立った被害は確認できず、主たる被害原因は“津波”であると想定され、主桁や防護柵等の流出被害が生じている。限られた被害情報だけであるが、重いPC桁を有する橋梁(乙部橋、宝来橋、等)や、多くの支承で上向きの力に抵抗できる多主桁を有する橋梁(矢の浦橋、等)は桁流出への抵抗力が高い

こと、アップリフト止めの無い橋梁(沼田跨線橋、気仙大橋、等)は流出の可能性が高いと考えられる。

【課題及び留意点】 国道45号のように、緊急輸送道路にかかる橋梁に限っては、流出しない津波対策を講じた橋梁が必要である。現地で確認した事象や今後蓄積される情報を踏まえ、計画に反映させることが必要である。



写真9 乙部橋状況



写真10 宝来橋側道橋の流失状況

・宮城県②:

【被害と特徴】調査エリアでは、津波による被害と地震動による被害の両方が見られた。津波による被害には、歌津大橋、水尻橋での桁流出等があった。地震動による被害では、i.変位制限構造の損傷（新天王橋、等）、ii.桁衝突（三陸道利府JCT付近）、iii.支承の損傷（天王橋）、iv.トラス上横斜材の座屈（天王橋）、v.ダンパー取付けブラケットの損傷（鳴瀬大橋）等が見られている。

【課題及び留意点】今回の調査で、落橋に至った要因の1つとして津波による上揚力が確認された。現在、この津波による影響について、な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である。



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）

写真11 桁の流失

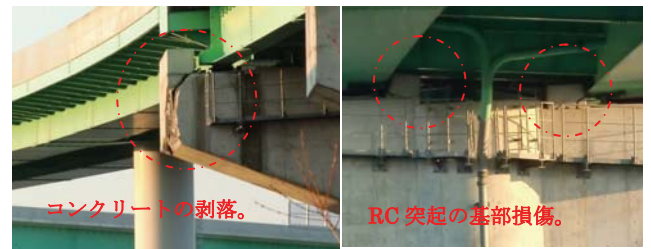


写真12 変位制限装置の損傷（三陸道利府JCT付近）



写真13 変位制限装置の損傷（新天王橋）

・福島県③:

【被害と特徴】海岸沿いの橋梁は、津波によって流出（小塚橋、釣師橋、上立切橋）や、支承の浮き上がり被害（浜畑橋）が発生した。相馬東大橋では、鋼板桁とRCラーメンとの掛け違い部の伸縮装置・地覆の損傷が見られた。新館野橋では、津波による橋台背面の土砂流出があったが、本体構造の損傷は見られなかった。河川と桁下までの高さが2m程度と低かったため、津波により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いと推定されている。

【課題及び留意点】 今後の復旧にあたり、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等、総合的な検討が必要である。

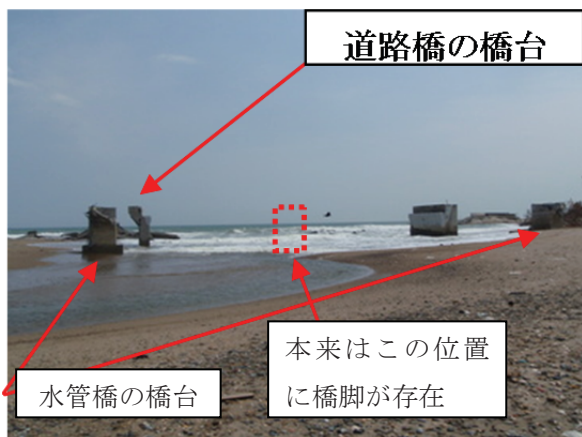


写真14 小塚橋被災状況



写真15 相馬東大橋の被災状況



写真16 全景



写真17 橋台固定支承部



写真18 固定橋脚



写真19 遊間異常



写真20 全景



写真21 固定支承脱落

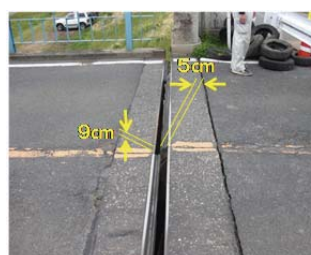


写真22 伸縮装置ゴム破断

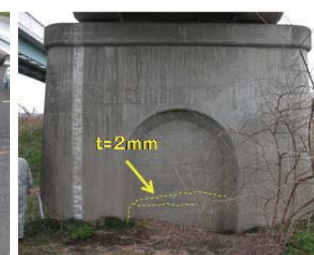


写真23 隔壁ひびわれ

・茨城県④：

【被害と特徴】 調査エリアでは津波による被害は無く、地震動による被害が各所で見られた。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）の損傷に留まっている。レベル1.5相当の地震動にタイプA支承が損傷し、残留変位や遊間異常、橋台部の段差等が発生している。

3. 都市施設の被害

調査項目及び対象施設等を表3にまとめる。

表3 主な調査地点と被害状況（一覧）

項目		対象施設等	写真、図等
津波からの避難	①	宮古市～釜石市、大船渡市、陸前高田市、気仙沼市、南三陸町、女川町、石巻市、仙台市若林区、名取市	図4～5
宅地造成地盤	②	仙台市青葉区折立5丁目、太白区緑が丘3丁目	写真24～25
下水道施設・管路害	③	千葉県浦安市、茨城県、白石市、仙台市（南蒲生・蒲生浄化センター）	図6、写真26
公園緑地	④	花巻市・遠野市・塩釜市・大槌町の各種公園・広場、等12か所	写真27～36
ガレキ処理	⑤	岩手県・宮城県の沿岸地域（報告は宮城県内のみ）	写真37～38

・津波からの避難①：

【被害と特徴】各市町の津波被害の状況を調査し、各地の津波高や被害概要を把握した。地域の犠牲者の半数以上は65歳以上の高齢者に多いこと、学校が高台にあることから15歳未満の犠牲者は比較的少ないこと、等人的被害の特徴について把握した。また、今回の震災を振り返って、1) 避難行動、2) 津波避難ビル設置、3) 行政や医療施設の設置、4) 情報伝達方法、等の視点から問題点を指摘した。

【課題及び留意点】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るようになっていない。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していく必要がある。本報告は推測による部分も多いが今後、学協会活動や住民ヒアリング等で明らかにし地域防災に寄与したい。



図4 石巻市の概況（地図はAlpsMapより）

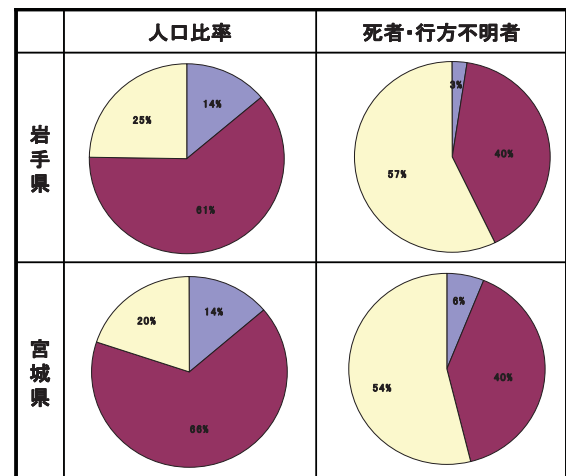


図5 年齢別の犠牲者の比率

人口：平成22年時点¹⁾

犠牲者：岩手県・宮城県 HP²⁾³⁾の

リストから算出（4/21時点）

・宅地造成地盤②：

【被害と特徴】青葉区折立地区では、折立小学校南側の谷埋め盛土で谷部下流側への活動や、谷部側面と地山と盛土の境界付近で盛土部の変状が見られた。太白区緑が丘地区では、盛土全体が北東方向の谷部下流側への変動や、折立地区と同様に地山と盛土との境界付近で盛土部のみの変状が見られた。これらの変状要因として、盛土内の高地下水位や施工時不備による盛土の強度不足等が考えられる。

【課題及び留意点】 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や危険度判定手法等、机上での検討に関する問題がある。設計・施工に関しては、実際の盛土被災箇所と危険度判定結果及び安定検討結果との検証、対策工の有効性の検証、といった問題がある。



写真 24 未対策造成地盤の被害状況 (折立地区)



写真 25 対策済造成地盤の被害状況 (緑ヶ丘地区)

・下水道施設・管路の被害③：

【被害と特徴】 下水道管路延長 66,013km のうち 946km が被害（目視ベース）、下水道処理場 64 か所に被害が発生した。管路は東北から関東にかけて大規模・広範囲の液状化が発生し管路閉塞、人孔隆起、不陸や滞水等被害が発生した。処理施設では沿岸部の浄化センター・処理場で津波により建屋の壁・柱の破壊、電気機械施設の破壊や浸水による機能停止、場内管路の破壊、等の被害が生じた。

【課題及び留意点】 今回のような大規模な津波に

対して被害を完全に防ぐことは不可能である。処理場においては、流入水のポンプアップ、簡易沈殿、塩素滅菌後の放流が行える防災計画、緊急対応体制構築、資機材確保等、被災した場合を想定した場合に最低限必要な機能を確保できる対策を準備しておく必要がある。



図 6 蒲生浄化センター被災状況



写真 26 蛸の浦浄化センター内部被災状況

・公園緑地④

【被害と特徴】 釜石湾に面した嬉石公園で津波による施設の著しい流亡被害が見られた。花巻広域公園では、施設劣化が要因と考えられる工作物や小端積の倒壊、切盛境界部での地盤の側方流動、等の被害が認められた。

その他、救援・救助の活動拠点として利用されている都市公園や高台の津波避難場所の状況を確認したが、都市公園ではライフラインの被災による被災生活の著しい制限等を確認するとともに、津波避難場所ではスペースや市街地からアクセスの問題が指摘された。

【課題及び留意点】 都市公園の切盛境界での速報流動に関する被災リスクを考慮することや小規模工作物の健全性確保が課題である。また、これら

施設は、被災地の生活支援と陸上自衛隊の活動拠点として活用されることから、震災時利用の円滑化並びに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。津波避難所については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が必要である。



写真 27 嬉石公園の被災状況



写真 28 湾曲したすべり台



写真 29 浄化槽の浮き上がり



写真 30 柵のビーム部の脱落



写真 31 園路のクラック



写真 32 駐車場の側方流動



写真 33 小端積の倒壊



写真 34 四阿の倒壊



写真 35 広場の吹き出し等の利用



写真 36 公園入口に仮設トイレの設置

・がれき処理⑤

【被害と特徴】4/13～19に、宮城県内の各市町のガレキ撤去及び処理状況を調査した。市町によって分別状況にばらつきがあり、県の指導が十分に行き届いていない状況にあった。各市町の一次仮置場の分別状況がその後の処理方法（処理工程、処理費）に多大な影響を与えることから、一次仮置場の調査を行うとともに、今後のガレキ処理の支援メニューについて宮城県に企画提案を行った。

【課題及び留意点】①全域で一次仮置場確保が必要。②地域によって分別状況がバラバラなため今後の処理方法、処理コスト、処理期間に悪影響を及ぼす。③県で計画している5箇所の処理施設のシステムに、ガレキの地域特性を反映させる必要がある。④夏場の環境悪化対策。⑤被災者への悪影響を避けるため、がれき処理のスピードを優先する。



写真 37 衛生状況の悪化



写真 38 多賀城市 分別状況

参考文献

- 1)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>
- 2)岩手県ホームページ：
<http://www.pref.iwate.jp/>
- 3)宮城県ホームページ：
<http://www.pref.miyagi.jp/>

3-2 津波被災市街地の状況と都市復興のあり方

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 他

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。



図1 岩手県大船渡市

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）

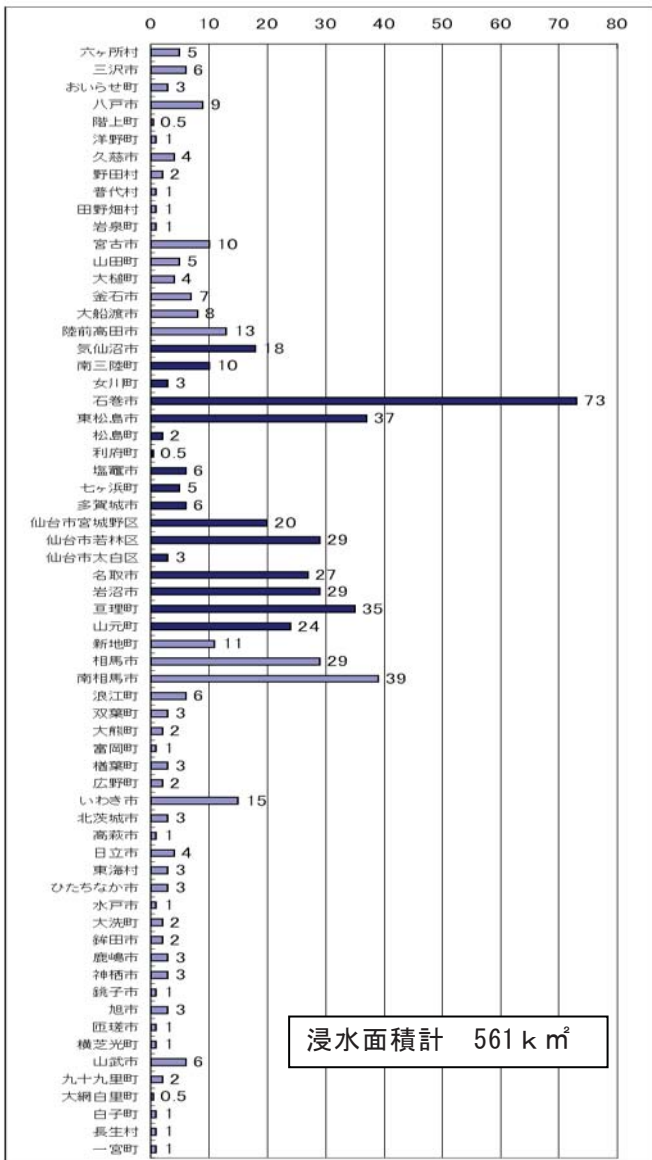


図6 浸水面積 (km²) (青森県～千葉県)

データ：国土地理院（平成23年4月18日）より弊社作成

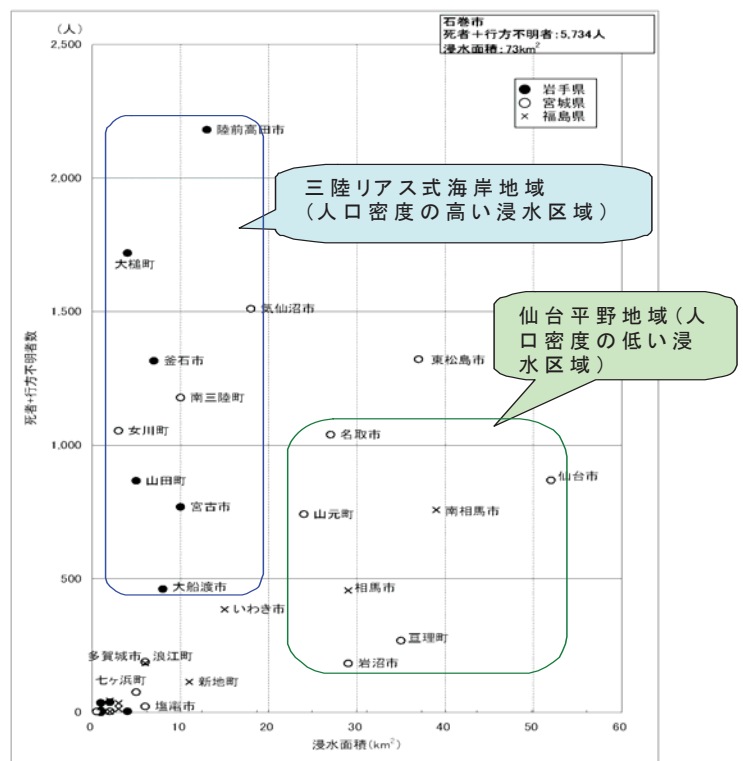


図7 浸水面積と死者・行方不明者数（弊社作成）

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。

まず、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。

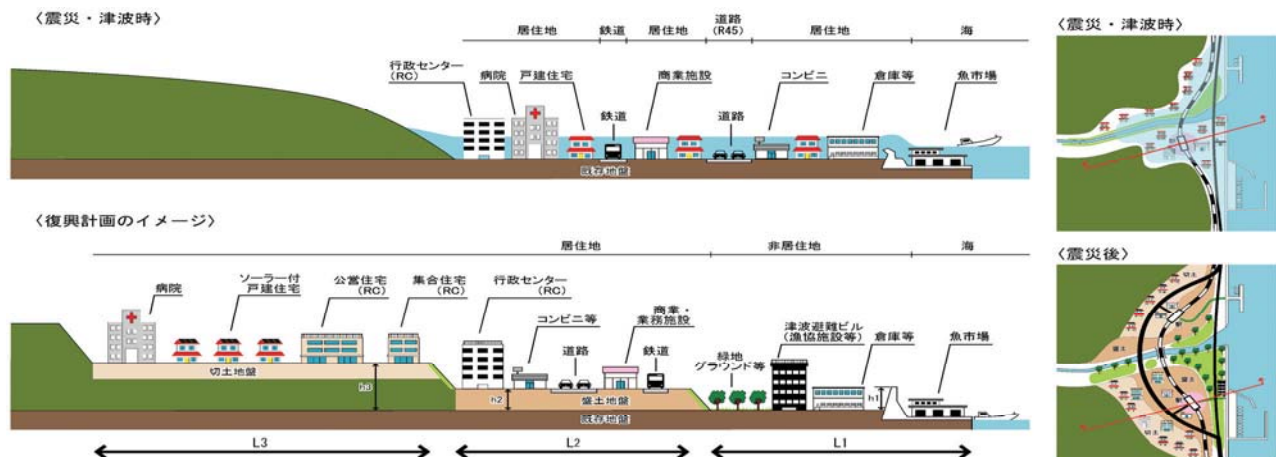


図8 市街地の再生方法イメージ図(弊社作成)

(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る、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）

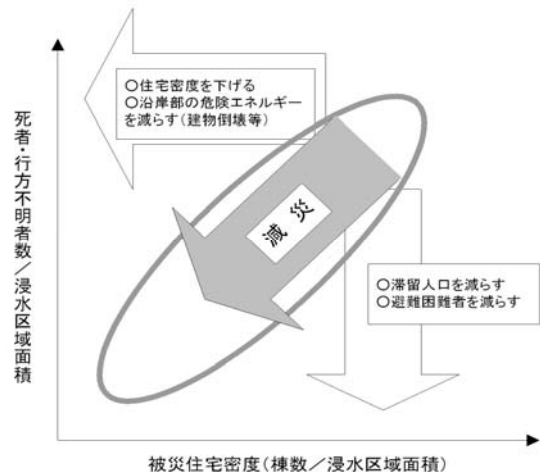


図9 津波被災の減災イメージ図（弊社作成）

3-3 広域液状化被害を防ぐ

保全・耐震・防災事業部
東京支社 保全・耐震・防災部
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）。

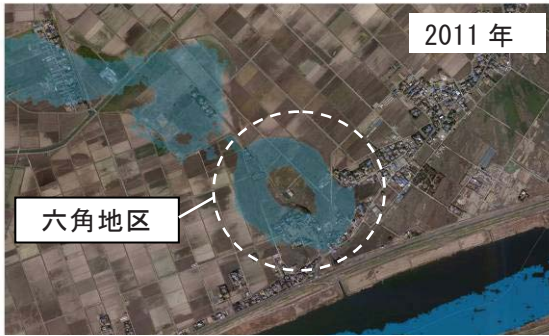
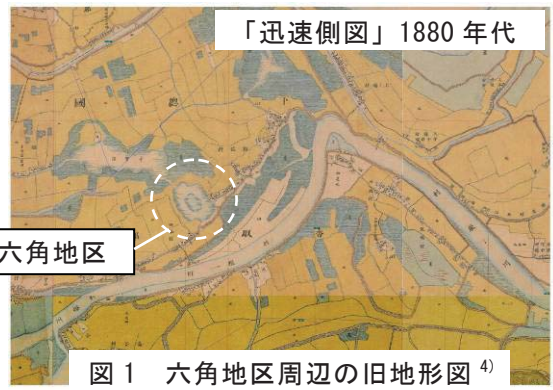
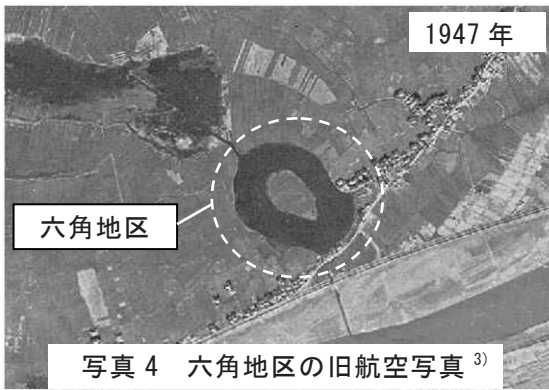


写真5 六角地区の震災後航空写真
と旧航空写真の重ね合わせ写真

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、霞ケ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。

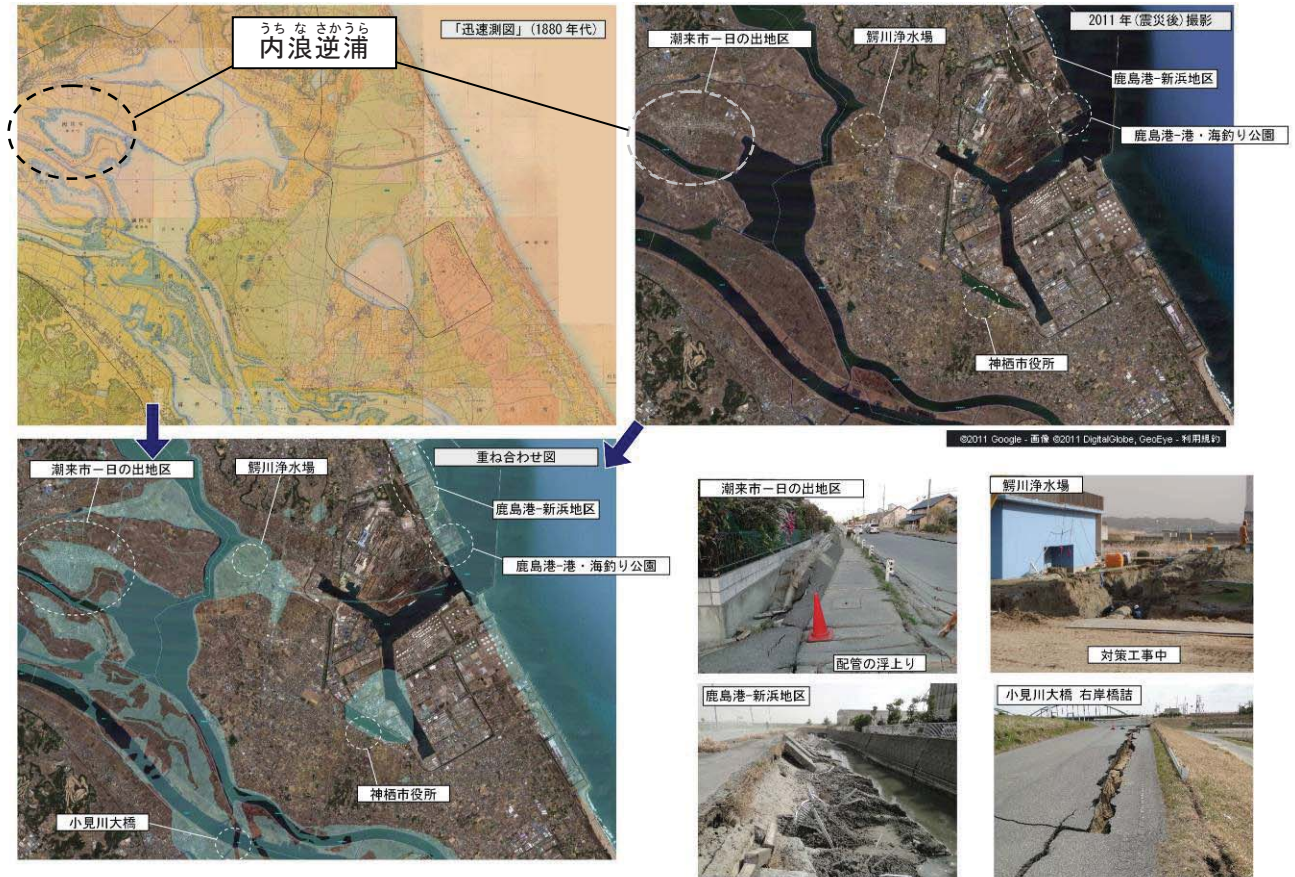


図2 潮来市、鹿嶋市周辺の旧地形図と航空写真の重ね合わせ 及び 被災状況写真⁴⁾

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)

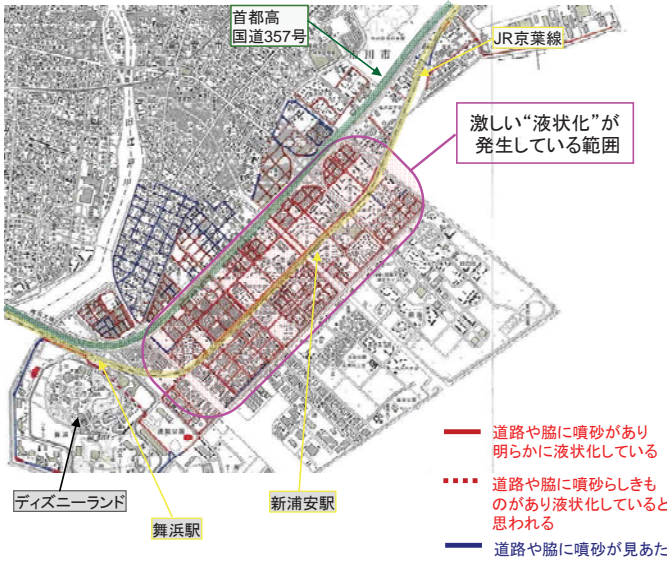


図3 浦安市の液状化発生範囲⁵⁾



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

浦安市の浦安駅周辺地区は“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。

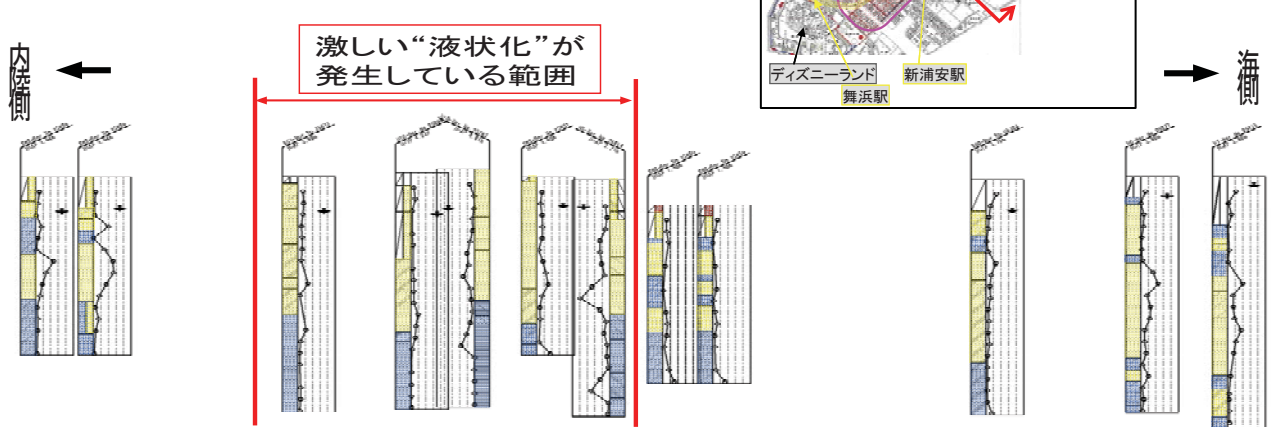


図4 浦安市の代表的なボーリング柱状図⁶⁾

(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。

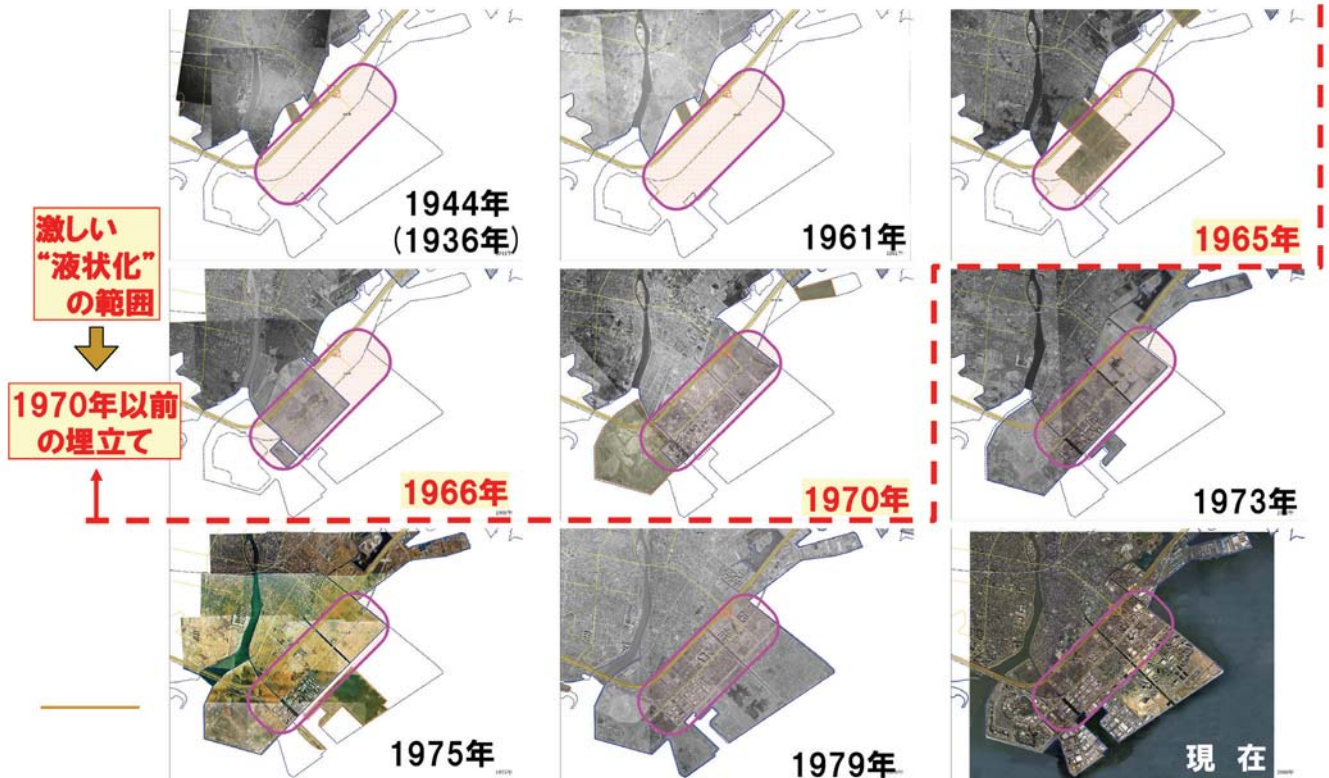


図5 浦安市の埋め立て履歴 3)の画像から作成

(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（七重浜）
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）

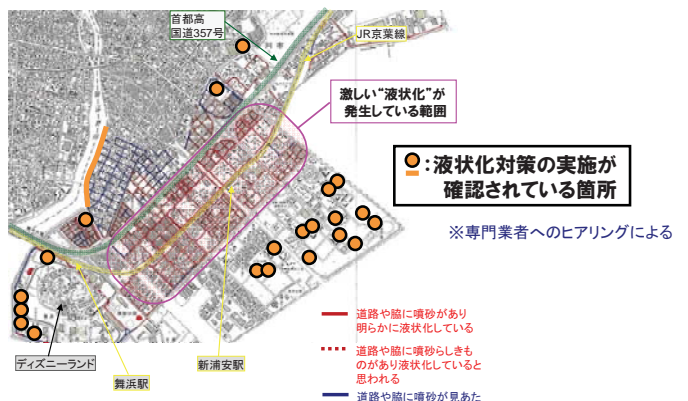


図6 液状化対策の実施が確認された箇所

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）

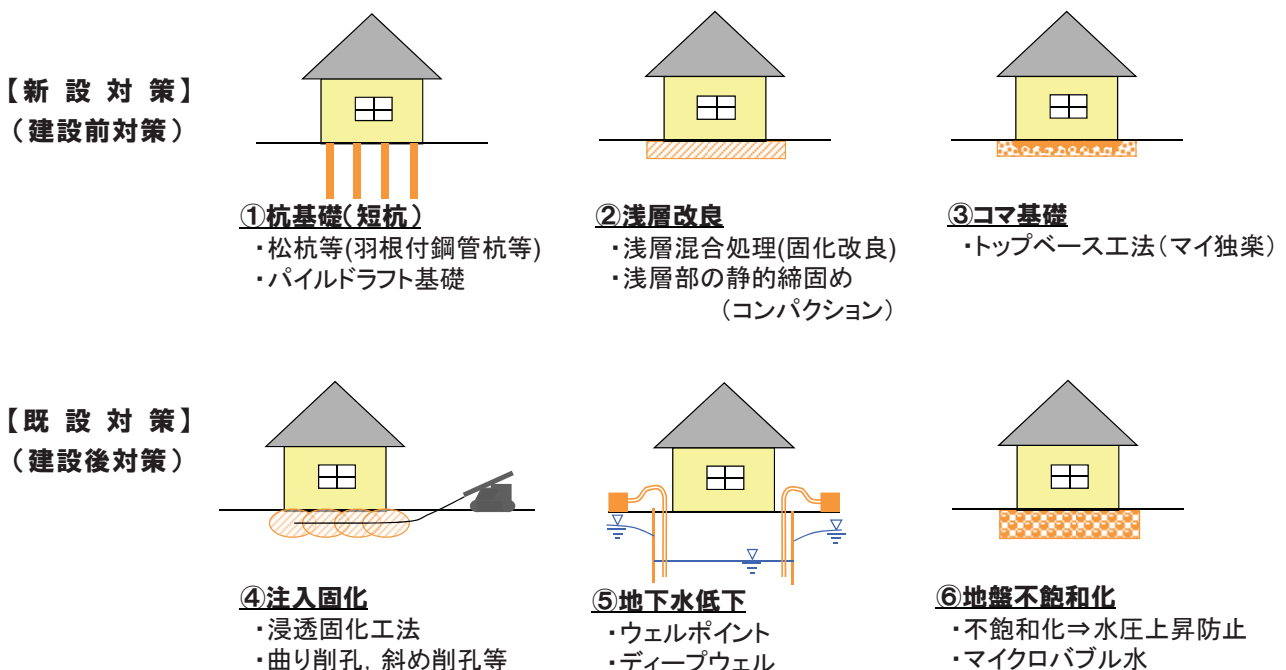


図7 一般家屋を対象にした液状化対策（案）

／“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思われる。

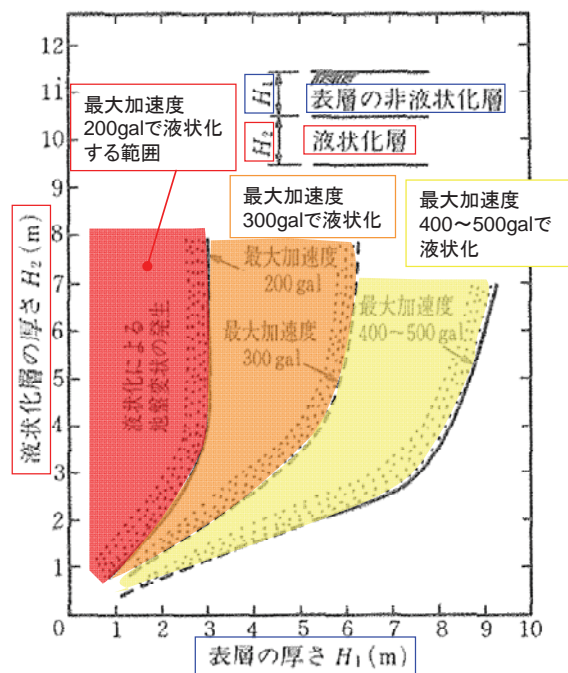


図8 表層の非液状化層厚及び深部の液状化層厚と地表での液状化発生との関係⁸⁾

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

3-4 下水道機能の回復を早めるために

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道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容易であるが、雨水管や污水幹線の場合には、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

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)。



写真5 津波に襲われる南蒲生処理場(仙台市 web)

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、



写真6 津波被害を受けた処理場の事例(宮城県内)



写真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。



写真8 流入ポンプ棟からの仮配管（宮城県内）



写真9 場内に設けた仮設沈殿池（宮城県内）



写真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。



写真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。