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。





図 1 津波の痕跡高さと GPS のデータにもとづく換算汀 線入射津波高¹⁾

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	特徵
a 砕波型	一般的な海岸で海底勾配が緩い場合、
(砂浜海岸)	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	港内は水深が大きいために、津波が海側
(港湾・河	で砕けることは少なく、水位が上昇して
川)	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}

- 浸水高: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0	り津波	の被害	2)
-1-	~			~ ~ ~ ~ ~		

陸域・一	建物の破壊・流出(木造家屋の壊滅的破壊、			
般の被害	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	船舶の漂流・衝突と乗り上げ			
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	防波堤や岸壁の洗掘や滑動			
湾構造物	突堤・離岸堤の破壊			
の被害	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分遅延の効果があっ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ぐことが重要で 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 った人」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 田渕政一・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 小鎚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渓流が流入している。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)

小鎚川の河口部には、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 小鎚川 河口~2.5kmの空中写真

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



写真5 土石流危険渓流の砂防えん堤

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

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)

今回の津波の高さは 10m程度との調査結果が 切り株の焦げ方は生木に比べて激しいことがわか る。



切り株の燃焼状況

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





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)



写真10 樹木の切り株の状況

(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)





写真 12 長内川 河口から約 1.3 k m付近の護 岸の状況(護岸被害なし)



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

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



写真 15 長内川右支川 河口から 1.0 k m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 1.0km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 1.0km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)

火事の状況は、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は 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とりまとめた。

西日本でもマグニチュード8クラスの南海・東 南海・東海地震が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)

- 調查員 : 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 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



写真3 国道45号北側の区域

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

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^のされており、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^のであるが、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



写真6 鋼矢板二重締切りによる仮堤



写真7 震災直後の被災状況 ⁶⁾



写真8 樋門周辺の護岸被害

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 函体底版下の空洞化(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。

(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)が複数箇所に確認された。 堤体法尻部では、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ものと考えられる。

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。



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 仙台河川国道事務 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 箇所で緊急復旧を実施中 ~,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)国土交通省豊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)

河川構造物(コンクリート構造)の被害

株式会社工イト日本技術開発 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5 水尻川河口付近の防潮水門



写真6 平成21年頃の様子



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は思われるが、 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 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

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 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 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

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 本体および付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、

調査日	名称	形式	部位	変状の種類
2011/4/23		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
	田々ろろ		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
	鷹生ダム	重力式	取水塔建屋	壁面クラック、堤体本体に変状なし
	ム北泊ガノ	D A D J	堤体天端道路	舗装面の亀裂
2011/4/24	金越伏ダム	ロックノイル	洪水吐	橋梁背面の沈下
	相川ダム	ロックフィル	_	変状なし
	樽水ダム	ロックフィル	_	変状なし
2011/4/25	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
	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
2011/5/12	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
2011/ 3/ 13	ニツ本ダム	アース	堤体	天端クラック、上流のり面変状
			洪水吐	モルタル剥離
	高柴ダム	アース		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
2011/5/14		アース	堤体	天端クラック、リップラック乱れ
	深田ダム	アース		変状なし
	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

表1 ダム調査箇所と被害概要



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~ 81.5m、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。



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 ~57m、アースダムは、堤高 H=17.5~55.5m、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

三ツ森ダムは、H=28.8m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 面最大加速度は 391gal²⁾であった。



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。 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、ダム軸方向でほぼ堤長全体 に入っており、幅80cm、深さ70cm、上下流 の段差は最大50cm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8cm~10cmであった。パラペットの竪壁 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 三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
<mark>流域面積(km²</mark>)		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 ドレーンは無く、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とあることや、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



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

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思われ



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 要があり、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
 - 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。











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と広いため、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 には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	<u> に</u> 高(m)	32.5	
堤	堤頂長(m) 220		
堤	本積(m³)	360,000	
総貯2	<u> </u>	3,299,000	
流域	流域面積(km²) 10.6		
湛水	面積(ha)	330	
法面	上流側	1:2.8、1:2.5	
勾配	下流側	1:2.5	
剪	<u> </u>	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も 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、30 c m 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 Vs=2000m/s(CM 級岩盤相当)、フィルダムで は Vs=700m/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。





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





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

- 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。



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

- 気象庁:気象庁発表情報、 http://www.jma.go.jp/jma/menu/jishin-porta l.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

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