

研究報告

東日本大震災を踏まえた河川管理施設の地震・津波対策について



宮武 晃司

河川政策グループ
研究主幹

1. はじめに

平成 23 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震では、東北地方から関東地方の広範囲にわたって河川の堤防が被災し、被災箇所は 2,000 箇所を超えた。このなかには、堤防機能を失するような大規模な被災も含まれている。この地震による河川堤防の被災は、過去の地震による堤防の被災と比較して、範囲も規模も甚大であった。

また、地震及び地震に伴う津波により、東北地方を中心に多くの堰・水門等の河川構造物も損傷を受け、津波来襲時の操作に支障を来したのもや、出水期を迎えるに当たっての応急復旧に困難を伴った施設もあった。

これらの被害は、かつて経験したことのないものであり、河川管理施設の構造・設計及び管理における多くの課題が浮き彫りとなった。その結果、大規模な地震、津波外力に対して、河川管理者が具体的にとるべき措置を検討する必要が生じたところである。

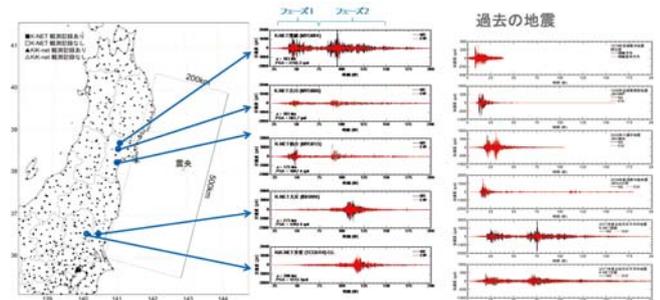
2. 地震・津波の状況

(1) 地震の状況

震源や震度分布などの基礎情報は、既に多くの文献等で紹介されているため、本稿では、河川管理上の視点から、今回の地震の特徴を紹介する。今回の地震の特徴として、①地震の揺れが大きかったこと、②継続時間が長かったこと、さらには③大きな余震が頻繁に起きたことの3つが挙げられる。

①地震の揺れが大きかったこと

今回の地震は、東北地方や関東地方の太平洋側で、水平方向の加速度がピークで 1000gal を超えた地域があるなど、地震の揺れが大きかった。



防災科学技術研究所：強震観測網 (K-NET, KIK-NET) のデータをもとに作成。
<http://www.kyoshin.bosai.go.jp/> kyoshin

図-1 地震動の加速度波形

②継続時間が長かったこと

この地震では、東北地方及び関東地方において、2分を越える継続時間（「50gal 以上の地震動が続いた時間」と定義）の地震動を観測した。これは、近年の大きな地震の地震動と比較して、長い継続時間であった。

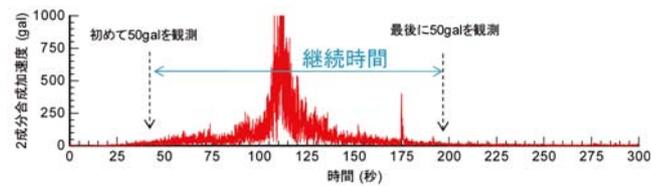


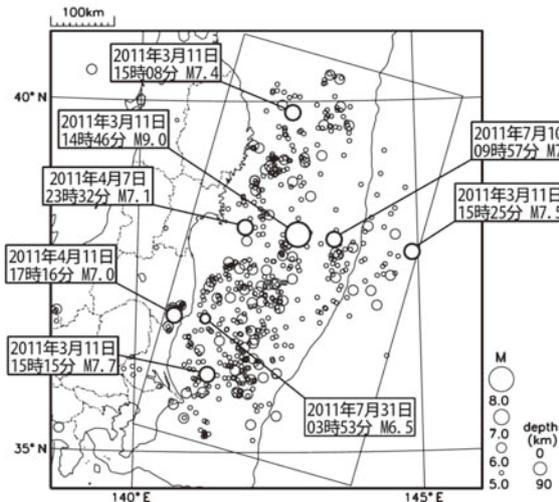
図-2 地震動の継続時間（既往地震との比較）

③大きな余震が頻繁に起きたこと

本震発生から一ヶ月以上が経過してもなお余震が続き、たびたび震度6に達する大きな余震が発生した。

| 期間 | 最大震度別回数 | | | | | | 震度4以上を 観測した回数 |
|-------------------------|---------|----|----|----|----|---|------------------|
| | 4 | 5弱 | 5強 | 6弱 | 6強 | 7 | |
| 3/11 14:00 - 3/31 24:00 | 81 | 15 | 6 | 0 | 1 | 1 | 104 |
| 4/ 1 00:00 - 4/30 24:00 | 40 | 7 | 0 | 2 | 1 | 0 | 50 |
| 5/ 1 00:00 - 5/31 24:00 | 14 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 16 |
| 6/ 1 00:00 - 6/30 24:00 | 7 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9 |
| 7/ 1 00:00 - 7/31 24:00 | 7 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 10 |
| 総計 | 149 | 27 | 8 | 2 | 2 | 1 | 189 |

(震度7は本震)



～「平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震」について(第52報) 気象庁H23.7.31～

図-3 余震の発生状況

(2) 津波の状況

①河川津波の遡上

河川津波が確認された水位観測所及び津波の痕跡が確認された最上流地点のデータより、直轄河川における河川津波の到達地点を整理した。

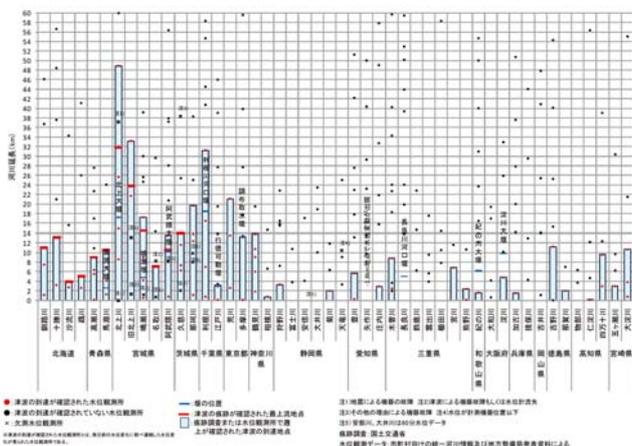


図-4 各河川の津波到達地点

東北地方太平洋沿岸における河川津波の到達地点は、馬淵川で河口から約10km、北上川で約49km、旧北上川で

約33km、鳴瀬川で約17km、名取川で約7km、阿武隈川で約13kmであった。

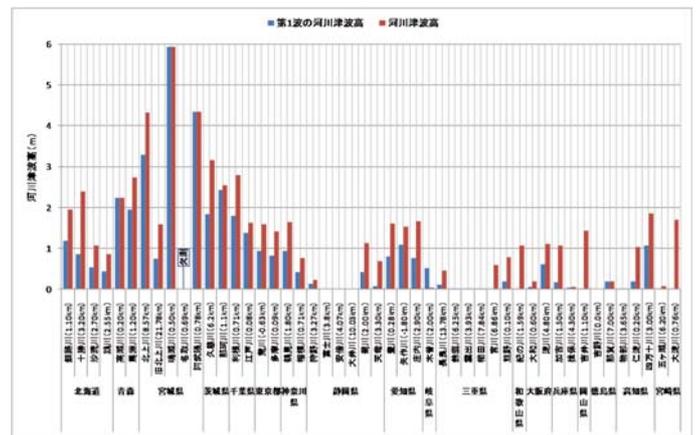
馬淵大堰(河口から2.6km)、北上大堰(同17.2km)、鳴瀬堰(同4.8km)、阿武隈大堰(同10.2km)では堰上流まで河川津波が遡上した。

その他の地域の河川津波の到達地点は、北海道太平洋沿岸の河川では4～13km、鹿島灘沿岸の河川では12～33km、東京湾の河川では3～21km、遠州灘以遠から九州沿岸でも複数の河川で10km程度の遡上があった。

②河川津波高

河口から一番近い水位観測所を対象に、河川津波高^(※1)を整理した。

(※1) 河川津波高とは、河川津波が無い場合の水位(平常水位)から、津波によって水位が最も上昇した高さの差。



※河口にも近く、かつ観測データが揃っている水位観測所の河川津波高を示す。
※グラフにおいて、欠測表示以外の河川のうち河川津波高が示されていない河川は、顕著な水位変化が確認できない河川である。
注1) 名取川: 地震による欠測。注2) 安藤川、大井川は60分水位データ。
水位観測データ: 市町村向けの統一河川情報データベースによる

図-5 各河川の河川津波高

直轄河川では、高瀬川、鳴瀬川、阿武隈川で第1波の河川津波高が大きく、その他の河川では第2波以降の河川津波高が大きかった。

③河川津波の伝播速度

津波は、地震発生から68分で北上大堰(河口から17.2km)に到達した。北上川の各水位観測所(福地、飯野川上流、北上大堰(下))における第1波の到達時刻及び第1波の立ち上がり時刻の時間差から河川津波の伝播速度を推定したところ、平均で約8m/sであった。

3. 検討の全体像

河川管理施設に関する地震・津波対策については、国土交通省水管理・国土保全局で、専門家の意見を聞きながら、具体的にとるべき措置について、その方向性や考え方も含めてとりまとめがなされた。大震災後の動きを表1にとりまとめた。

表-1 河川管理施設に関する動き

| | 地震対策(耐震対策) | 津波対策 |
|-------|---|---|
| 河川堤防 | <ul style="list-style-type: none"> ○河川堤防耐震対策緊急検討委員会(委員会:東海総合 東京大学大学院工学系研究科社会基盤学教授)を計4回開催:5月11日~8月12日 ○河川堤防の耐震対策に向けて(中間とりまとめ)(8月12日)をとりまとめ ○東日本大震災を踏まえた今後の河川堤防の耐震対策の進め方について(9月)をとりまとめ | <ul style="list-style-type: none"> ○河川津波対策検討会(産長:福岡雄二 中央大学研究開発機構教授)を計4回開催:7月1日~9月22日 ○河川への海上津波対策に関する緊急提言(8月22日)をとりまとめ |
| 堰・水門等 | <ul style="list-style-type: none"> ○東北地方太平洋沖地震を踏まえた河口堰・水門等技術検討委員会(委員長:山田正 中央大学理工学部都市環境学教授)を計4回開催:4月28日~9月14日 ○東日本大震災における河口堰・水門等の復旧に向けての緊急提言(5月20日)をとりまとめ ○東日本大震災を踏まえた堰・水門等の設計、操作のあり方について(9月)をとりまとめ | |

本稿では、これらの動きのうち、(財)国土技術研究センターが国土交通省の業務を受けて、検討作業に携わった、「河川堤防の耐震対策」と「堰・水門等の地震・津波対策」について、とりまとめ内容をもとにその概要を紹介する。

4. 河川堤防の耐震対策

(1) 被害の状況

土構造物である堤防は、液状化の影響を大きく受ける。前述した地震の特徴からも分かるように、今回の地震は液状化を広範囲に発生させ、堤防の被害を大きくしたものと推測される。そのため、東北地方、関東地方にわたる広範囲で堤防の被災が多数発生した。

なお、地震時の河川水位は平水位程度であり、地震前1ヶ月の累加雨量は、利根川水系で150mm程度、那珂川水系、久慈川水系で80mm程度、東北地方の各水系で40~50mm程度であり、過去5年の同時期の降雨量と同程度であった。

また、余震による被害の増大が確認された。

被災した堤防の中には沈下量が3mを超える箇所もあり、このような大規模な変形(沈下、のり崩れ、亀裂等)の原因は液状化であった。被害の形態としては、基礎地盤の液状化を原因とするものが多数発生した他、これまで地震による堤防の被災として主眼が置かれていなかった堤体の液状化による被災が多数発生した。

関東地方では、5/31時点で、被災箇所は920を数え、そのうち亀裂や陥没が明らかに計画高水位(H.W.L)以深である損傷や堤防全体に及ぶ損傷を受けた「大規模な被災箇所」が55箇所、H.W.L以深に達しない損傷や部分的にH.W.L程度の損傷を受けた「中規模な被災箇所」が149

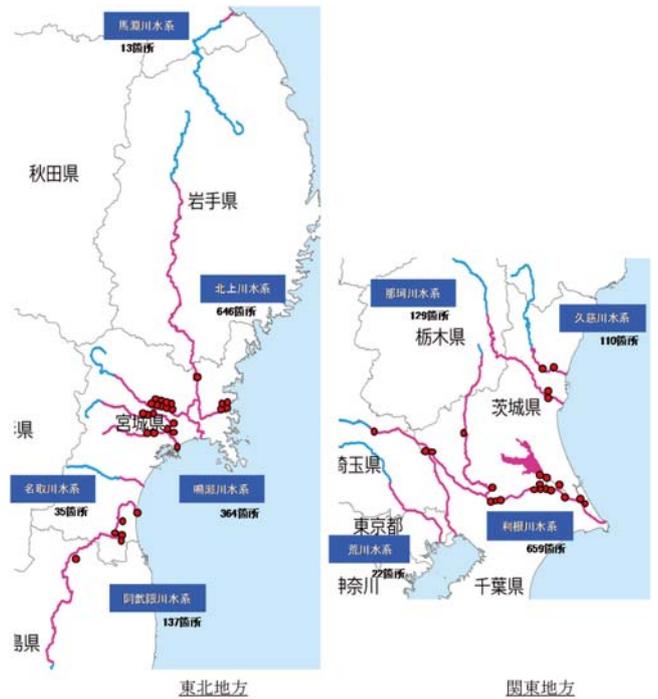


図-6 東日本大震災における堤防(直轄管理区間)の被災区域、被災箇所数

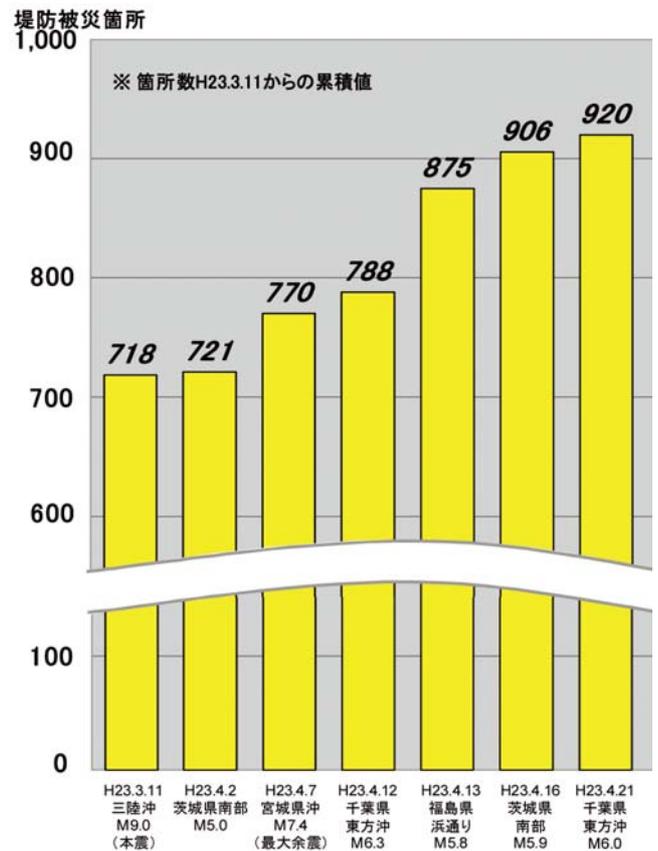
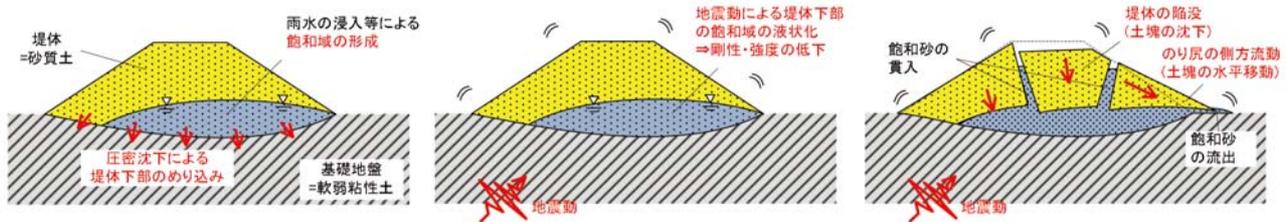


図-7 余震による被害の増大(関東地方)

【コラム】

【堤体の液状化】

堤体の液状化による堤防の被災が発生するプロセスは、次のように推定される。軟弱粘性土層上に築堤した場合、堤体下部の軟弱地盤層の上面が圧密沈下により凹状となる。凹状となる築堤後の圧密沈下の過程で、堤体の側方伸張変形により、堤体の密度の低下や拘束力の低下(ゆるみ)が生じていると考えられる。その凹部の堤体材料が砂質土の場合には降雨等の浸透水が滞留し、堤体内に飽和した堤体領域が形成される。この領域が地震動によって液状化することにより、剛性・強度が低下し、堤体のすべりや天端の亀裂・陥没等の変状が生じるものである。



(a) 地震前
基礎地盤が軟弱粘土の場合、地震前より、圧密沈下によって堤体が基礎地盤にめり込むように沈下する。沈下した部分は、築堤後の圧密沈下の過程で、堤体の側方伸張変形により、堤体の密度の低下や拘束力の低下(ゆるみ)が生じていると考えられる。また、堤体材料が砂質土の場合、基礎地盤の透水性が低い一方で堤体の透水性が高いため、堤体内に浸透した雨水等が堤体下部に滞留し、常時飽和状態となりやすい。実際には度重なる築堤履歴により堤体土は均質でないため、堤体下部の飽和した砂質土は川表側あるいは川裏側のみに偏在することもある。

(b) 地震発生～液状化発生
地震動によって堤体下部の飽和砂質土が繰返しせん断を受け、過剰間隙水圧の上昇とともにその剛性・強度が低下する。特に、堤体下部の砂質土がゆるい場合は、飽和域の砂質土が流動的に変形する。

(c) 液状化発生～変状の進展
堤体下部の飽和域の液状化により、飽和域より上方の堤体土が水平方向に伸張変形する。このため、のり面、のり肩、天端にわたって堤防縦断方向の亀裂が発生する。のり尻部の水平変位が小さい場合はのり尻付近ははらみ出す程度の変状にとどまるがのり尻付近の水平変位が大きい場合亀裂が進展して飽和域より上方の堤体土がいくつかの土塊に寸断される。この天端付近の土塊が沈下・傾斜することで、天端に陥没・傾斜を生じることがある。また、変状を生じたのり尻付近から液状化した堤体下部の砂質土が流出して噴砂として見られる場合や、開口した亀裂に液状化した堤体下部の砂質土が貫入し、沈下した元の天端付近やのり肩、のり面付近に噴砂として見られる場合がある。

箇所、さらに比較的軽微な損傷だった「小規模な被災箇所」が716箇所となっている。大規模な被災箇所の内11箇所、堤体の液状化が発生したことが、被災後の土質調査等で推定された。

一方、東北地方では、被災箇所は1195箇所、その内地震による被害と確認できるのが773箇所。さらに「大規模な被災箇所」は22箇所、堤体が液状化したと推定されたのは19箇所となっている。

(2) とりまとめの概要

被災状況等を踏まえ、委員会の議論は多岐にわたったが、中でも特にポイントとなるとりまとめ事項を3つ選定し紹介する。

- ①耐震性能照査手法のあり方
- ②対策の進め方
- ③堤体の液状化に対する対応

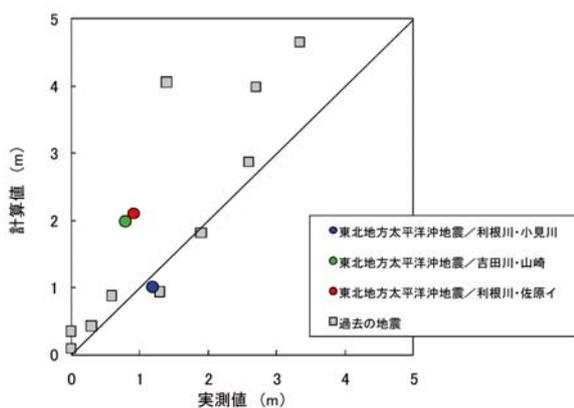
①耐震性能照査手法のあり方

耐震性能照査は、平成19年3月に国土交通省から通知された「河川構造物の耐震性能照査指針(案)」(以下「指針(案)」)により実施されている。今回の地震では、基礎地盤の液状化によって被災を生じたと推定される箇所のうち、代表的な箇所において、指針(案)に示されている手法で計算した沈下量と実測の沈下量を比較したところ、実

測値に比較して計算値が大きく算定される傾向があるものの、その関係は過去の地震における検討結果の傾向と著しく大きな違いは見られなかった。

そのため、とりまとめでは「指針(案)に規定された基礎地盤の液状化を対象とした耐震性能照査は、現状では実用上妥当なものと考えられ、当面の照査の緊急性に鑑みると、今次の被災を踏まえて直ちに手法を改める必要はないと考えられる。」「また、今次の地震のような長い継続時間の地震動の影響を直接的には反映していないこと等を踏まえると、地震時の堤防の変形解析の精度向上に向けて更なる研究を進める必要がある。」とされている。

さらに、平成19年度以降照査が実施されてきたが、これは堤防の基礎地盤の液状化による沈下、変形を照査対象事象としたものであり、堤体の液状化を考慮した耐震性能照査は実施されてこなかったことから「今後は、基礎地盤の液状化による沈下、変形に加え、堤体の液状化による沈下、変形も照査の対象事象に含める必要がある。」とし、「これまでに基礎地盤の液状化による沈下、変形を対象とした照査を実施済みの区間においても、堤体の液状化による沈下、変形を対象とした照査は実施されていないことから、基礎地盤の液状化を対象とした照査とは別に、照査対象全区間において、堤体の液状化による沈下、変形を対象とし



※今次の地震における基礎地盤の液状化による被災箇所と推測される3箇所（利根川：小見川、佐原イ、吉田川：山崎）において、ALIDを用いた計算値と実測した沈下量を比較した。
 ※外力は被災箇所直近のK-Net観測所（佐原）や国総研強震観測所（小見川、山崎）の地震動を用いた。また、堤防土質構造は、地震後のボーリング調査結果（利根川：小見川・佐原イ）や地震計設置時のボーリング調査結果（吉田川：山崎）に基づきモデル化

過去の地震：豊田耕一、石原雅規「自重解析による河川堤防の地震被害事例の解析」第60回土木学会年次学術講演会講演概要集，2005.9. より引用

図-8 計算沈下量と実測沈下量の関係

た照査を実施する必要がある。」と記述されている。

なお「今次の地震による堤防の大規模な被災と現在まで照査及び対策が進捗していない状況に鑑み、今後早急に照査を実施し、その結果に基づいて対策を行うことが必要である。」とされ、スピード感をもった照査実施の必要性が記述されている。

②対策の進め方

これまでの耐震点検の結果、地震動に対する安全性が不足していると判断され、基礎地盤の液状化による沈下・変形に対する対策工（ドレーン工や矢板工など）が施工された堤防では、今回の地震で、大規模な被災は確認されていない。一方、地震動に対する安全性が不足していると判断されたにもかかわらず対策が未施工であった堤防では、大規模な被災が生じている箇所も見られた。このことより、これまでに施工された対策工は、今回の地震において一定の効果を発揮したものと推定される。

これらの事実を踏まえ、地震動に対する当面の基礎地盤の液状化による沈下・変形に対する対策工として、とりまとめでは「これまでに施工されてきた実績のある対策工（工法、規模）を当面の主要な手段とし、レベル2地震動^(※2)に対する具体的な設計方法を確立し、対策を行っていく必要がある。」と記述している。

(※2) 現在から将来にわたって考えられる最大級の強さを持つ地震動

また、対策区間延長によっては、耐震対策に多額の費用

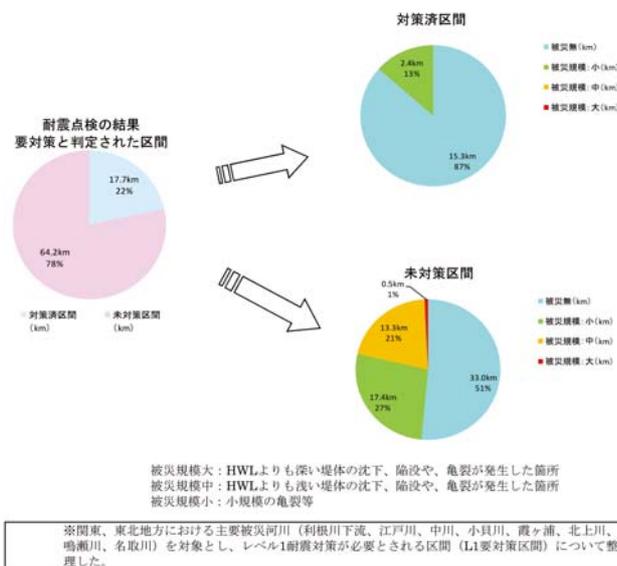


図-9 要対策区間における堤防の被災状況

を要することとなるため、優先度を考慮した対策の推進が必要とされる。とりまとめでは「人口や資産が集中している地域は、地震後に洪水、高潮、津波等による浸水により甚大な被害が発生することが想定され、また、ゼロメートル地帯等地形上排水が困難な地域も被害が大きくなることが想定されることから、対策の優先度を検討するにあたっては被害の範囲や程度等の社会的影響度を考慮する必要がある。」さらに、過去の経験から、地震被害は同様の箇所でも繰り返し起きる傾向があるため「過去に地震により被災した堤防で、耐震性を考慮せずに復旧し、その後大規模な拡張等が行われていない堤防は、再び大規模な地震外力を受けた場合には、沈下、変形を生じる可能性が高いと考えられるため、優先的に対策を実施する等の配慮が必要である。」と記述している。

なお、今回の地震では、津波による被害を中心に甚大な人的、物的被害が広域多方面に生じたことも影響し、沈下、変形した堤防の復旧については、これまでの地震による被災後の復旧と比較して時間を要したことから、「耐震性能が不足している箇所に対する対策が完了するまでには、今後ある程度の期間を要することや対策が施工されても、大規模な地震が発生した際には堤防の沈下、変形が生じることも想定される。このようなことから、周辺市街地も含めた広範な被災及び出水期の被災も想定し、対策の施工状況も踏まえ、危機管理対応を準備しておくことも重要である。」と記述している。

③堤体の液状化に対する対応

従来の堤防の耐震性能照査では、堤体の液状化には主眼が置かれていなかったが、今回の地震において、堤体の液状化による大規模な堤防の沈下、変形が多く生じたことから、「堤体の液状化を対象とした耐震性能照査を行う必要がある。」とした上で、「堤体の液状化の可能性の高い区間の、堤体材料、基礎地盤の土質、堤体内の水位を的確に把握することが必要である。まずは、浸透を対象とした堤防の詳細点検の際に地盤調査を実施している場合や堤防の天端の補修履歴等が存在する場合には、これらの成果を活用する。しかし、既存の地盤調査で堤体内の水位が適切に把握できていない場合や、近傍に既存のデータがなかったり、不足する場合には、新たにサウンディングやボーリング等を実施し、堤体材料や密度、基礎地盤の土質、堤体内の水位を的確に把握する必要がある。」とし、既存のデータの活用を基本に、必要に応じて追加調査を実施するなど、今回得られた堤防の液状化メカニズムを念頭に、照査を行っ

ていくことが求められている。

一方、定量的な評価については、「堤体の液状化による沈下、変形を定量的に評価する変形解析手法を提案するには検証に時間を要するが、耐震性能照査の緊急性に鑑みると、基礎地盤の液状化による沈下、変形の照査とは別に、当面の照査に適用する方法を検討する必要がある。」とし、照査手法の開発が、今後の課題として位置づけられている。

また、堤体の液状化による沈下、変形に対する対策としては、既設堤防においては、堤体内の水位を完全に除去すること及び大規模な開削を伴うことなく堤体の下部の強度を向上させることは極めて難しいため、「既設堤防における堤体の液状化による沈下、変形に対しては、当面、「堤体内の水位を低下させる対策」等としてドレーン工が主な対策になると考える。」としている。

(他にも重要な事項がとりまとめられており、読者には是非とりまとめ資料をお読みいただきたい。)

http://www.jice.or.jp/sonota/t1/pdf/2309_houkoku.pdf

表-2 地震及び河川津波による堰・水門等の被害及び発生事象

| 設計・構造の調査結果 | 設備 | 地震による発生事象 | 河川津波による発生事象 | 地震及び河川津波による発生事象 |
|-------------|----|--|--|--|
| | 扉体 | - | - | 河川津波により河口堰のシェル構造の扉体が浮き上がり（北上大堰、阿武隈大堰）、開度計のメッセンジャーワイヤの乱巻き、戸当りの変形、開閉装置の損傷が発生し、その後の操作に支障を来した事例があった。 |
| 戸当り・固定部・支承部 | - | 地震動により扉体が揺れ、上部戸当り及びその固定部（軽構造部）が損傷し、戸当りからローラが外れたため、開閉操作不能となった状態等、河川津波を迎えた事例があった。しかしながら、扉体及びローラの損傷がなかったため、固定部の修理を行うことで、ゲート開閉機能が速やかに復旧した（真野川水門）。 | - | - |
| 電気・制御施設 | - | - | 河川津波により、予備発電設備が水没、流失したり（月浜第一水門、開上水門、野蒜水門）、機側操作盤が水没、流失、損傷（月浜第一水門、月浜防潮水門、開上水門）するなどの事例があった。 | - |
| 開閉装置 | - | - | 電源の損失や、機側操作盤の水没等によりゲート操作不能となった水門においては、仮設電源と仮設油圧ポンプにより、ゲートの開閉機能を確認した事例があった（月浜第一水門）。 | - |
| 遠隔操作設備 | - | - | - | 遠隔操作を導入していた水門施設のうち、2施設（月浜第一水門、野蒜水門）では今回の津波時に遠隔操作を実施できたが、6施設（月浜第二水門、月浜防潮水門、市柳川水門、野蒜水門、開上水門、新浜水門）では、地震による商用電源の停電により、遠隔操作によるゲート操作ができなかった。また、光ファイバケーブルが切断し、遠隔操作が不可能となった事例（月浜第二水門）や、監視カメラが流出した事例（月浜第一水門、月浜第二水門、月浜防潮水門）もあった。 |
| 漂流物対策 | - | - | 河川津波の遡上に伴い下流からボートが流され、ゲートに接触した事例があった（阿武隈大堰）。また、他の河川でも船舶や流木など多数の漂流物が確認された。 | - |
| 水門等と堤防との接合部 | - | - | 水門と接続する堤防が津波の越流等により局所的に決壊した事例があった（月浜第二水門、釜谷水門）。 | - |
| 水理観測 | - | - | 河川津波に関する施設設計のためには、設計外力となる流速の測定が必要であるが、河川津波により計測ができなくなった水位観測所があるほか、水位データの記録期間が長く、河川津波の水位変化を再現できない観測所があった。 | - |
| 操作上の留意点 | | 地震による発生事象 | 河川津波による発生事象 | その他 |
| 状態把握 | - | 大津波警報が発令されたため、津波に備えて遠隔操作をしようとしたところ、地震動により開度計のメッセンジャーワイヤの取付金具が破損するなど水門扉の状態監視ができなくなっていたため、ゲート両端の同調が取れず、操作した結果として片吊りの状態となってしまった事例があった（馬淵大堰）。 故障した場合に動かなくなった施設は表示されるが、故障の箇所や状況が分かるようなシステムになっていない（馬淵大堰）。 | - | - |
| 操作開始時間 | - | 操作開始時間よりも早く河川津波が到達する可能性がある施設がある。 | - | - |
| 操作員の安全 | - | 水門・機側操作員の被災事例があった。また、遠隔操作設備を導入していたが、設備の更新作業中であったため、遠隔操作できず、機側操作を実施した事例もあった（真野川水門）。 | - | - |
| 総合的な機能確保の工夫 | - | - | - | 今回の震災では、水門等の全閉操作に伴い内水被害が問題となる事例はなかったが、全閉状態が継続すると、内水被害が懸念される。全閉又は全開の操作しか定めていない事例が多いなかで、一部の水門では、内水の自然排水に影響がない範囲までゲートを降下（中間開度）させ、津波に備えることを操作細則に定めている事例があった（高松川水門）。 |



写真1:津波により制水ゲートが浮き上がっている状況(阿武隈大堰)



写真2:ゲート両端の同調がとれず片吊り状態となっている状況(馬淵大堰)

5. 堰・水門等の地震・津波対策

(1) 被害の状況

堰・水門等に関する地震及び河川津波による被害及び発生事象を表2に整理した。

地震により、戸当りからゲートのローラが外れたため、開閉操作不能となった被害や、開度計のメッセージワイヤーの取付金具が破損するなど扉体の状態把握ができなくなっていたため、ゲートの両端の同調がとれず、操作した結果として片吊りの状態となってしまった被害などが発生している。

また、津波によりシェル構造の扉体の浮き上がりや、予備発電設備の水没・流出により開閉操作不能となった被害などが発生している。

(2) とりまとめの概要

前章と同様に、ポイントとなるとりまとめ事項を3つ選定し紹介する。

- ①操作の考え方
- ②操作員の安全確保
- ③設計構造の考え方

①操作の考え方

操作の検討にあたっては、「堰と水門は機能が異なるので、考え方、操作は明確に区別して考えることが必要」とした上で、「堤防の機能を有している水門等は、河川津波の際には高潮の際と同様に、ゲートを閉めることを基本とする。」とし、「堰は多目的施設であるため、堰上流への塩水の混入による利水障害が頻繁に生じないように、津波の規模が小さいと予想される場合には、平常時の状態のまま操

作を行わず、津波の規模が大きいと予想される場合には、必要に応じてゲートを全開することを基本とする。」としている。

ただし、堰については、利水障害等の社会的影響も考慮し、個別施設の操作については、「想定される状況毎に津波防御効果、利水障害等の社会的影響、堰上流の堤防の整備状況、施設の構造的特徴、施設の損傷や復旧に要するコスト・時間等を総合的に評価して判断することとする。特に、利水を目的に持つ堰においては、堰の開閉操作や津波によるゲートの損傷によって利水障害が生じないように十分検討する必要がある。この場合、予測した規模の津波が予測通り来襲する場合のみならず、予測に反して大きな津波が来襲する場合(見逃し)や、予測に反して津波が来襲しない場合(空振り)も念頭において検討することが必要である。」としている。

②操作員の安全確保

今回の地震では、津波による操作員の被災事例が報告されており、とりまとめでは「操作員の安全確保のため、機側操作を行うことが不適切な場合は遠隔操作を原則とし、その旨を操作規則等に記載する必要がある。」と基本的な考えが記述され、速やかに対応すべき事項として「操作員の安全確保の観点から、情報伝達システムの強化や操作施設の安全対策等、操作環境の改善が必要である。」「今回得られた知見を活かした研修・技能訓練等の実施等、確実に操作を行うための取り組みを進めていく必要がある。」や「施設点検や補修・更新工事を行う場合は、河川津波来襲時の関係者の安全確保策や、点検・工事中の操作方法について、あらかじめ定めておく必要がある。」ことが記述

されている。

また、河川津波が到達するまでの時間が短いと想定される場合はフラップゲートなどの採用により「自動化」「無動力化」も可能な限り採用する必要があることが記述されている。

③設計構造の考え方

基本的な考え方として、施設の諸元等を定める場合の津波の設計外力には、「施設計画上の津波」^(※3)を用いることとし、「今回の経験を踏まえて、施設計画上の津波に対して堰・水門等が保持すべき性能を規定し、施設設計の手法等を見直していく必要がある。」としている。

また、「自然災害は常に施設計画を上回る現象が生じる可能性があることを十分認識する必要がある。」とし、「最大クラスの津波」^(※4)来襲時にあっても、堰についてはゲートを開閉し定められた状態にできるように、水門等については扉体を閉鎖できるように、危機管理上の対応が可能な構造とすることが求められる。」と記述している。

(※3) 最大クラスの河川津波に比べて発生頻度は高く、河川津波高は低いものの大きな被害をもたらす河川津波。

(※4) 発生頻度は極めて低いものの、発生すれば甚大な被害をもたらす最大クラスの河川津波。

今回の地震では、地震動により扉体が揺れ、上部戸当り及びその固定部（軽構造部）が損傷し、戸当りからローラが外れたため、開閉操作不能となった状態で、河川津波を迎えた事例があった。また、河川津波により堰のシェル構造の扉体が浮き上がり、開度計のメッセンジャーワイヤの乱巻き、戸当りの変形、開閉装置の損傷が発生し、その後の操作に支障を来した事例や、予備発電設備が水没、流失したり、機側操作盤が水没、流失、損傷するなどの事例があった。

このため、速やかに対応すべき事項として「扉体形状や重量等の特性から、河川津波の流体力により扉体の浮き上がりが生じる可能性のあるものの抽出や、その影響の有無について点検、調査を行う必要がある。」「扉体の浮き上がりが生じて開度が把握できるよう、扉体の移動量を開閉装置の回転量として計測する方法等、開度計測の二重化を図る必要がある。」や「地震に伴い商用電源が停電した場合においても操作ができるよう、予備発電設備の設置とともに、その自動起動や遠隔起動等の対策を行う必要がある。遠隔操作に必要な光ファイバーケーブルや監視カメラについては、施設計画上の津波において切断されないよう

な構造や設置箇所とする必要がある。また、最大クラスの津波も考慮して、遠隔操作については、別系統での二重化を進めることが望ましい。」ことが記述されている。

また、戸当りからローラが外れ開閉操作不能となった事例では、扉体及びローラの損傷がなかったため、固定部の修理を行うことで、ゲート開閉機能が速やかに復旧したことを参考に、今後、検討や研究・開発が必要な事項として、「施設が損傷した際の復旧を考慮すると、例えば、門柱や扉体等の重要な部分や修復が困難な部分が損傷するより先に戸当りの軽構造部等の修復が容易な部分が損傷するような構造にするなど、設備・部位毎にレベルを分けて設計を行う考え方を検討する必要がある。」と、設計の根幹に立ち返って技術基準を見直す必要があることも記述されている。

(他にも重要な事項がとりまとめられており、読者には是非とりまとめ資料をお読みいただきたい。)

<http://www.jice.or.jp/sonota/t1/pdf/01arikata.pdf>

6. おわりに

我が国は氾濫原における人口や資産の集積が著しく、堤防や堰・水門等はこれらを洪水、高潮等から防御する重要な構造物である。河口部等の低平地では、平常時の河川水位が地盤高より相対的に高いところも多く、また、大規模地震の発生後には津波の河川遡上も同時に発生することが考えられる。そのため、地震によって堤防や堰・水門等が被災した場合、平常時の潮位や地震に伴う津波、堤防の復旧までの間に生じる洪水、高潮による水位上昇に伴い、甚大な浸水被害が発生する懸念がある。

また、我が国は地震国であり、東海、東南海、南海地震をはじめとして、いつどこで大規模な地震が発生してもおかしくない状況にあり、これらの地震を対象とする対策は急務となっている。

以上のことから、東日本大震災で得られた河川堤防や堰・水門等の被災に関する知見を整理し、今後の耐震対策手法や津波対策の改善等に反映させるべく、この報告を踏まえ、関係者の努力により、河川管理施設の地震・津波対策が着実に進められることが期待されている。