

## 重. 5 耐震対策済み堤防の再評価・再補強に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 22～平 24

担当チーム：材料地盤研究グループ（土質・振動）

研究担当者：佐々木哲也，石原雅規，谷本俊輔

### 【要旨】

兵庫県南部地震(H7)以降進められた河川堤防の耐震点検では、点検対象とされた約 1400km 区間のうち約 350km が要対策と判定され、うち約 170km について耐震対策が実施された。対策工法はのり尻に地盤改良や構造体を構築するものであり、中規模地震動（レベル1 地震動）に対し、堤防・基礎地盤・対策工の全体安定や対策工自体の外的・内的安定を確保するように諸元が設定されていた。一方、現在、大規模地震動（レベル2 地震動）に対する堤防の安全性を改めて評価すべく、直轄河川において耐震点検が進められているが、その中で、耐震対策済み区間の堤防の点検にあたっては、地震動の増加によって根入れ深さが不足するケース、内部破壊が生じるケースなどが存在することで、どの程度の効果を期待できるかが不明である。

そこで、本研究は、レベル1 地震動を想定して設計・施工された河川堤防の耐震対策工について、レベル2 地震動に対する耐震性の再評価およびレベル2 地震動に対して耐震性が不十分と判断された場合の再補強法について検討を行うものである。東北地方太平洋沖地震にて堤防の対策工が効果を発揮した事例がいくつか確認されたことから、平成 23 年度はその調査を行った。

キーワード：河川堤防，液状化対策，レベル2 地震動

### 1. はじめに

平成 7 年兵庫県南部地震を受けて、河川堤防の耐震点検および対策が緊急的に進められたが、当時の設計において考慮されていた地震動は、今日的に見れば中規模であり概ねレベル 1 地震動（以下、L1）に相当する。一方で、今日ではレベル 2 地震動（以下、L2）を対象とした堤防の耐震性評価が求められる<sup>1)</sup>。しかし、L1 に対して設計された耐震対策工は L2 に対して外的安定・内的安定等を満足せず、地震時挙動が不安定となることが考えられ、耐震性の評価が困難となることも考えられる。本研究は、L1 に対して設計・対策された堤防の耐震性の評価法についての検討を行うものである。

### 2. 東北地方太平洋沖地震における対策済み区間の堤防の被災状況

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、関東地方において、河川堤防の甚大な液状化被害が多数発生した。一方、兵庫県南部地震以降に液状化対策が行われた堤防については、その多くが中規模地震（現在でいうところのレベル 1 地震動相当）を設計外力として設計されたものであるが、このような対策がなされた堤防での被災がほとんど見られなかった。

図-1 は、中規模地震動に対する耐震点検により対策が必要と判定された箇所のうち、対策済み箇所と未対策箇所における

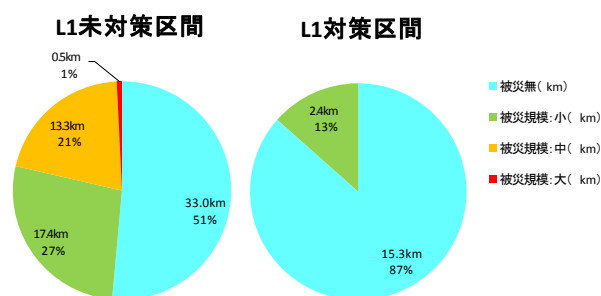


図-1 レベル1地震動に対する要対策区間における堤防の被災状況<sup>1)</sup>

所における、今回の地震における被災程度の割合を整理したものである。未対策箇所においては何らかの被災が 49%に生じ、大規模および中規模被災を合わせて 22%程度生じているのに対し、対策箇所では小規模被災が 13%生じているのみで、大規模、中規模被災は生じていない。今回の地震では、一部の地域ではレベル 1 地震動を大きく超える地震動が観測された地域もあるが、兵庫県南部地震以降に進められてきたレベル 1 地震動に対する液状化対策が、今回の地震に対して効果を発揮したといえると考えられる。中規模地震に対する対策工の設計は、改良範囲内に液状化を生じさせないことや、対策工が外的・内的に安定することを照査しており<sup>2)</sup>、中規模地震

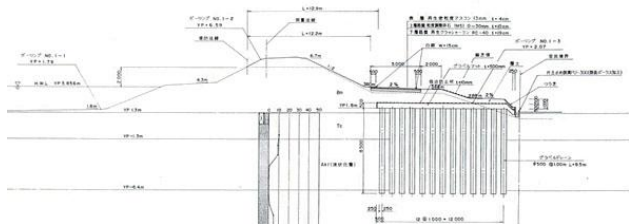


図-2 利根川右岸27.75k-51m~28.0k-1mにおける断面図  
(グラベルドレーンによる対策)



写真-1 液状化対策実施箇所の状況 (利根川右岸  
27.75k-51m~28.0k-1m) <sup>1)</sup>

動に対して十分な安全余裕を確保するように設計されていたため、結果として、大規模地震動に対しても対策効果を発揮したものと考えられる。

### 3. 対策工が効果を発揮した事例の調査

#### 3.1. 利根川右岸 28.0kp 付近 (小見川地先)

図-2、写真-1 に代表的な対策箇所の断面図、被災後の状況を示す。当該箇所では川裏側のり尻部にグラベルドレーンによる液状化対策が実施されている。被災後の状況から、目立った変状は認められていない。

#### 3.2. 鳴瀬川右岸 0.7k 付近 (中下地先)

1995年兵庫県南部地震以降に進められた堤防の耐震対策として、裏小段にサンドコンパクションパイル工法による対策が実施された箇所である。改良幅は5.8m、改良率は10.3%である。図-3に示すように、厚さ3-4mの砂層(As1)が存在し、この層が液状化することによって生じる被害を抑制するために裏小段の直下にサンドコンパクションパイルを施工したものである。

本地点では、対策工の効果を確認することを目的として地震計と間隙水圧計が同一断面内に設置されており、2003年7月宮城県北部の地震では、対策範囲・無対策範囲において過剰間隙水圧の上昇に差が生じるなど、締め固め改良の効果が確認されている<sup>3)4)5)</sup>。ただし、今回の地震においては、観測小屋が津波を受けたこともあり、改良範

囲内の地震計、間隙水圧計の記録が得られなかった。

今回の地震においては、天端に津波による漂流物が見られ、対策区間の下流端で越水によりり尻部に落堀が形成されり面が浸食された箇所(写真-3)があるなど、津波による影響は見られたものの、天端、裏のりには地震動による変形の痕跡や亀裂等の発生は認められなかった(写真-2、写真-4、写真-5)。対策区間の表のりや対策区間の上下流の堤防にも地震動による変状は確認されなかった。

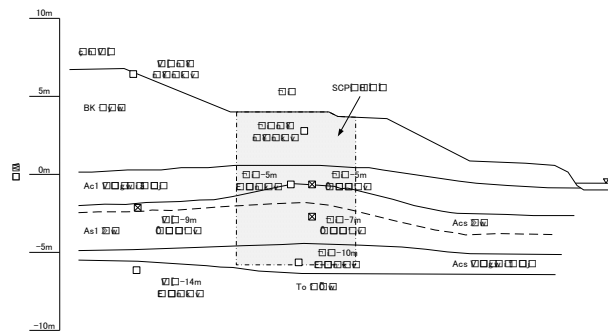


図-3 鳴瀬川右岸 0.7k (中下震動観測所付近) の断面図



写真-2 天端の状況



写真-3 対策区間下流の津波越流による浸食の状況



写真-4 裏小段の状況



写真-5 裏のり尻付近の状況

### 3.3. 鳴瀬川右岸 14.7k+90~14.9k+70 付近 (木間塚地先)

2003年7月宮城県北部の地震において、両のり肩付近に深さ2m程度の比較的大きな縦断亀裂が生じ、天端が数十cm沈下した。再度災害防止の観点から基礎地盤を浅層改良するとともに、改良土による堤体の全面切り返し、裏のり尻へのドレーン工の設置がなされた(写真-6)。対策区間の平面図を図-4に示す。

今回の地震では、対策区間に被害は見られず、隣接する上下流の堤防において縦断亀裂や天端の沈下(写真-7)、のり尻部の護岸の隆起(写真-8)が発生した。このため、基礎地盤の浅層改良、堤体改良、裏のり尻のドレーンによる対策効果が発揮されたことが分かる。ただし、対策実施区間と隣接する無対策区間の境界付近には、写真-9に示すような複数の横断亀裂が発生した。これは、対策の実施に際して、何らかの緩衝区間を設けるなど端部処理の必要性を示唆するものである。

なお、鳴瀬川左岸 12.1k 付近~12.5k 付近(砂山地先)、鳴瀬川左岸 12.7k 付近~13.5k 付近(二郷地先)、鳴瀬川右

岸 12.9k+61~13.1k+9.8(木間塚地先)についても同様に、2003年7月宮城県北部の地震により被災し、堤体改良、浅層改良、裏のり尻のドレーンの設置等による対策がなされた。これらの区間では、前後区間も含めて今回の地震における特段の変状が見られなかった。

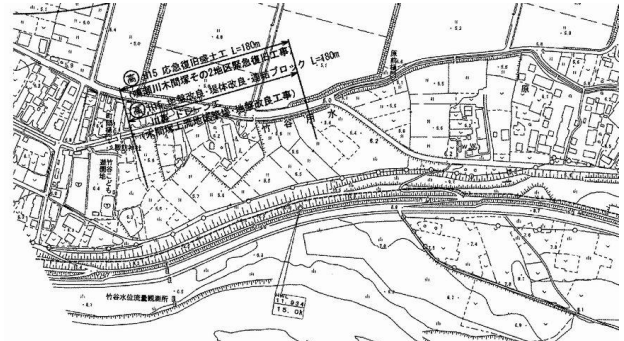


図-4 鳴瀬川右岸 14.7k+90~14.9k+70 付近 (木間塚地先) の対策区間平面図(東北地方整備局提供)



写真-6 対策区間 (写真奥のり尻にドレーンが設置されている区間)



写真-7 対策区間に隣接する堤防の沈下 (写真手前は対策区間)



写真-8 無対策区間における高水護岸の隆起

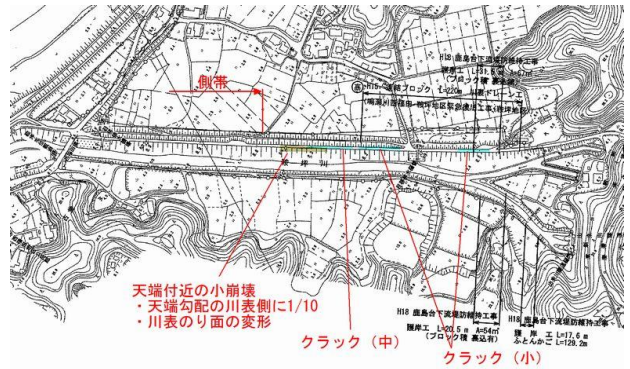


図-5 鞍坪川右岸0.4k~0.6k付近のドレーン工設置箇所の平面図(東北地方整備局提供。赤字は2003年宮城県北部の地震による被災状況)



写真-9 対策・無対策区間の境界付近に発生した複数の横断亀裂(手前が対策区間)



写真-10 ドレーン工設置状況

### 3.4 鞍坪川右岸0.4k~0.6k付近(宮城県東松島市)

2003年7月宮城県北部の地震において、堤防天端に縦断亀裂が生じ、表のりがはらみ出した。復旧では、堤体の部分切返しとともに、裏のり尻部にドレーン工が設置された。対策区間の平面図を図-5に示す。

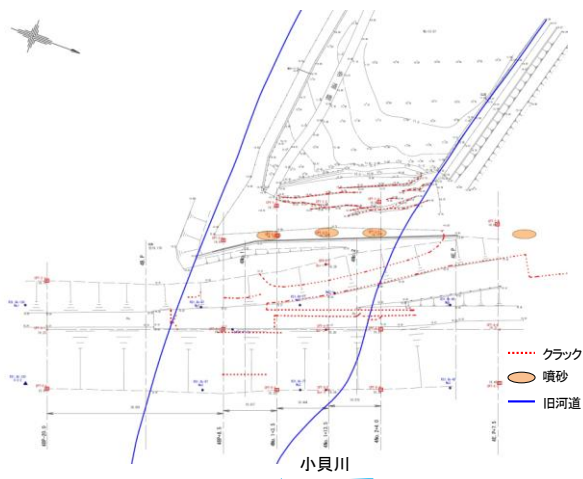
今回の地震では、写真-10に示すように、ドレーン工が設置された裏のりには目立った変状が見られなかったが、2003年と同様、堤防天端の縦断亀裂と表のりのはらみ出しが生じた。写真-11のとおり、隣接するドレーンを設置していない区間もドレーンを設置した区間とほぼ同じような被害が見られたが、変状を詳細に比較すると、堤防天端の傾斜や縦断亀裂の大きさ、のり肩部の小規模崩壊の状況は、ドレーン設置区間の方がやや軽微であった。基礎地盤の違いや堤体土の土質、施工等の影響も考えられるが、ドレーン工設置によって堤体内水位の低下、のり尻付近の過剰間隙水圧の消散促進、のり尻の抑え効果が期待されるため、上記のような差異が生じた可能性がある。今後、当該地点だけでなく、他の同様の対策実施箇所も含めて、さらなる詳細な分析が必要である。



写真-11 天端の傾斜(写真奥がドレーン工設置区間。手前より傾斜が緩い)

### 3.5 小貝川右岸31.8kp付近(上蛇地先)

図-6に示すように、本地点は、堤内地盤に三日月湖が残存していることから旧河道であるは明らかであり、現堤防と旧河道が交差する箇所付近において局所的に、天



(a) 平面図



(b) 天端付近の状況

図-6 小貝川右岸 31.8kp 付近の被災状況

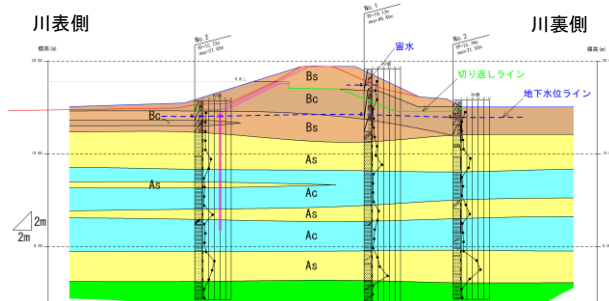


図-7 地質断面図

端の陥没、天端から裏のりにわたる縦断亀裂等の変状が生じた。天端の沈下量は最も大きな箇所でも 40cm 程度である。また、堤内側の三日月湖の矢板護岸に大きな残留水平変位が生じたが、一方で、川表側には顕著な変状が確認されず、変状は川裏側に集中して生じていた。

図-7 に示す地質断面図のうち、Bs 層は旧河道を埋めた際の埋土であり、その下に河川の氾濫による堆積物と見られる As 層が存在する。地震後に裏のり尻付近に噴砂痕が見られたことから、Bs 層あるいは As 層に液状化が生じたものと考えられる。表のり尻には遮水矢板 (II 型, L=12.5m) が設置されている。これは耐震性の向上を意

図して設置されたものではないが、液状化が生じた Bs 層あるいは As 層が川表側～川裏側にかけて広く分布する一方で、川表側に顕著な変状が生じなかったことから考えると、遮水矢板が川表側への変状を抑制したものと考えられる。

写真-12 は、本堤防の応急復旧として、表のりの表土の切り返しを行っている状況であるが、遮水矢板の設置位置から川側 (写真の右側) の護岸上面がわずかに隆起している状況が見て取れる。この様子から、実際にも堤体直下の地盤が側方に伸張変形しようとし、これを遮水矢板が川側の地盤の受働抵抗を得て抑制したものと考えられる。このように、耐震対策を目的としていない遮水矢板についても、堤防の地震被害を軽減したと見られる事例が確認された。

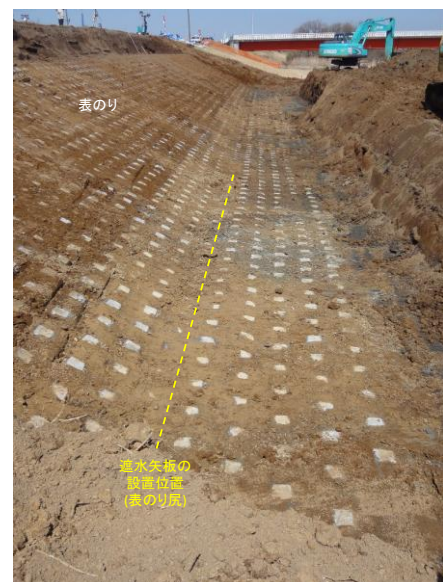


写真-12 応急復旧時における表のり尻付近の状況

#### 4. まとめ

本研究は、兵庫県南部地震以降に進められた河川堤防の耐震対策工について、今日的に考慮することが求められるレベル2地震動に対する対策効果の再評価、耐震性が不足すると判断された場合の再補強の方法について検討を行うものである。

平成 23 年度は、兵庫県南部地震以降に液状化対策が実施された箇所等について、東北地方太平洋沖地震における被災状況を調査した。得られた知見の概略をまとめると、以下のとおりである。

- 兵庫県南部地震以降に液状化対策が行われた堤防については、その多くが中規模地震 (現在でいうところのレベル1地震動相当) を設計外力として設計されたものであるが、このような対策がなされた堤防

での被災がほとんど見られなかった。

- ・ 調査を行った事例の中には、浸透対策として設置された遮水矢板やドレーン工についても、地震被害を軽減したものと見られる事例が確認された。
- ・ 過去に地震被害を受け、再度災害防止の観点から基礎地盤を浅層改良するとともに、改良土による堤体の全面切り返し、裏のり尻へのドレーン工の設置がなされた区間においても、その効果を発揮したことが確認された。

このように、東北地方太平洋沖地震による事例調査の結果からは、L1 に対して設計・施工された堤防の耐震対策工であっても十分な対策効果が認められる事例が多数確認された。

今後、これらの事例を対象とした数値解析等を行うことで、L1 に対して設計・施工された堤防の耐震対策工について、その効果を合理的に評価する方法について検討していきたい。

#### 参考文献

- 1) 河川堤防耐震対策緊急検討委員会：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報告書，2011.
- 2) 建設省土木研究所：河川堤防の液状化対策工法設計施工マニュアル（案），土木研究所資料，No.3513，1997.
- 3) 松尾修，日下部毅明，上原浩明，関沢元治，佐藤伸吾：2003年宮城県北部地震における締固め改良地盤での地震動・間隙水圧記録，第59回土木学会年次学術講演会講演概要集，I-775，pp.1547-1548，2004.
- 4) Takahashi, A. & Sugita, H. : Behavior of SCP-improved levee during 2003 Miyagiken-Hokubu Earthquake , IS-TOKYO, Performance-Based Design in Earthquake Geotechnical Engineering, pp.177-184, 2009.6.
- 5) 片岡正次郎，谷本俊輔，中島進，松橋学，高宮進：観測記録に基づく河川堤防の地盤改良効果の検討，第13回日本地震工学シンポジウム，2010.11.

## RESEARCH ON RE-EVALUATION AND RE-RETROFITTING OF COUNTERMEASURED RIVER LEVEE

Abstract : After 1995 Hyogo-ken Nanbu Earthquake, The seismic countermeasure for river levee was advanced in the whole country. Construction method of the countermeasure performs installation of ground improvement or structure on the end of slope, and the countermeasure was designed in consideration of the middle-scale earthquake motion (Level 1 earthquake ground motion). On the other hand, recently, although evaluation of seismic performance for the levees against a large-scale earthquake motion (Level 2 earthquake ground motion) is advanced in the river which a country manages, it is unknown what seismic performance the levee by which countermeasures were taken by the conventional method has. This study examines re-evaluation of seismic performance and re-retrofitting method of seismic countermeasured river levee which was designed by the conventional method against large earthquake motion. In FY 2011, we examined arrangement of investigation results of the specifications of countermeasures designed by the conventional method, the numerical analysis about countermeasure which demonstrated the effect in the off the Off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, and re-retrofitting method of seismic countermeasured river levee.

Key Words : River levee, countermeasure for liquefaction, Level 2 earthquake