液状化起因の河川堤防破壊形状に関する基礎的実験

東北学院大学工学部環境建設工学科　学生会員　○水野　桜
東北学院大学工学部環境建設工学科　阿部　大志
東北学院大学工学部環境建設工学科　正会員　飛田　善雄*

1 はじめに

東北地方太平洋沖地震では、多くの河川堤防が破壊された。大きな破壊を示したケースでは、液状化が卓越したことが報告されている。国土交通省東北地方整備局の報告に基づき、液状化現象に起因する堤体の破壊形状の特徴についてまとめる。さらに、水槽を用いた極めて簡単な実験装置を用いて、液状化層の上に堤体を形成し、振動を与え液状化を発生させ、それに伴う堤体下層地盤の変状・移動を調べた。さらに、下層地盤より上向きに浸透流を与え、堤体の破壊形状に与える影響を調べた。

2 河川堤防被害概要[1)]

国土交通省東北地方整備局のまとめでは、今回の震災により、管内の馬淵川、北上川、鳴瀬川、名取川、阿武隈川など５水系９河川の直轄河川の堤防に損傷を受けた。

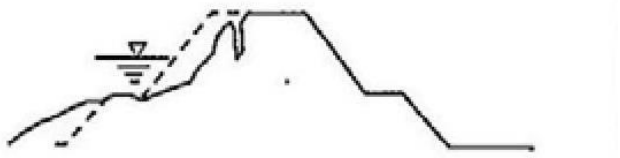
1195 箇所にのぼる被災が生じ、うち 773 箇所は堤防の被災であった。さらに、堤防が決壊・崩壊した箇所は 32 箇所にのぼる。被災箇所全体の延長は約 115 ㎞、そのうち堤防被災延長は約 98 ㎞に及び、５水系の有堤延長の１割を超え、名取川水系では２割と高くなっている。

堤防被災箇所 773 箇所のうち、堤防決壊・崩落等の大規模な被災は北上川、鳴瀬川、阿武隈川に集中しており、「決壊・崩落」、「陥没・沈下・亀裂」の被災は、堤防被災箇所全体の約６割を占め、その延長は約 66 ㎞であった。

3 河川堤防被害の分類

被害が特に甚大であった 29 箇所が緊急復旧工事の対象になった。その内、津波被災及び樋門被災を除く 22 箇所について、堤防の被災形態を分類した。

Ⅱ型１箇所、Ⅴ型２箇所、Ⅵ型 19 箇所となり、堤防全体が計画水位高以下に沈下したⅥ型が今回の被害の大多数を占めている。図１に、Ⅴ型、Ⅵ型の被災形態の分類の概要を示す。



Ⅴ型　堤体のすべり崩壊または、深い縦断亀裂、陥没

Ⅵ型　堤体の沈下、陥没、はらみ出し
（変形が HWL より浅い）

Ⅵ’型　堤体の沈下、陥没、はらみ出し
（変形が HWL より深い）

図１　被災形態分類[1)]

4 浸透流による堤防地盤破壊実験

水槽を用いた簡単な実験装置を用いて、液状化砂層の上に堤体を作成し、振動を与え液状化を発生させ、それに伴う堤体下層砂地盤の移動を調べた。

さらに下層地盤より上向きに浸透流を与え、様々な条件下での堤体の破壊形状に与える影響を調べた

5 実験条件と主な破壊形態

代表的な実験結果を示す写真を図２に収録する。

実験を行った条件と主な破壊形態を表１にまとめる。

キーワード：河川堤防、被災形態、液状化
＊東北学院大学工学部環境建設工学科（宮城県多賀城市中央１丁目 13 番１号、022-368-7396）

６ 実験結果

本実験での様々な条件における地盤の破壊形態、堤体の沈下等に関する観察結果を箇条書きにすると、以下のようになる。

・動水勾配が非常に大きい状態で堤防の下の地盤に上向き浸透流を与えると、水膜が発生し、その膜が水道(みずみち)となり横に広がり、堤防が大きく沈下する。

・動水勾配が小さい状態で堤防の下の地盤に上向き浸透流を与えると、水道(みずみち)が横に広がるといった現象は見られず、水が地表面に染み出すのみで、堤体の大きな沈下や崩壊は見られない。

・動水勾配が小さい状態でも、上向き浸透流を与えながら振動を与えることによって、水道(みずみち)が横に広がり、堤防が沈下することがある。

・動水勾配が非常に大きい状態で水を堤防なしの水平地盤に流すと、水道(みずみち)が横に広がるといった現象は見られず、垂直上方向への流れのみが見られる。堤体の存在が水道 (みずみち) の発生に影響を与える。

・動水勾配が小さい状態で堤防なしの水平地盤に水を流すと、水道(みずみち)が横に広がるといった現象は見られず、水が地表面に染み出す。

・堤防の真下ではなく、左右どちらかに片寄った場所から上向き浸透流を与えた場合、水道(みずみち)が横に広がり、堤防が回転し、破壊が起こる。

７ 考察及びまとめ

本実験では、短時間で大きな破壊を観察するため、動水勾配を大きくして実験を行った。よって、実際の現場では起こりえないであろう大きな破壊形状が観察できた。本実験の範囲内では、水膜や水道（みずみち）空隙(ボイド)の発生などの浸透流に伴う局所的な変形が発生することが大きな沈下や破壊と強い関係をもつことがわかった。

水道(みずみち)や空隙(ボイド)が発生することにより、地盤内の支持力が局部的に失われ、下層地盤が流動し、それに伴い堤防の破壊が起こることは実際の堤防の被害の一形態として考えられる。今回の実験では、破壊現象を観察することを第一目的に極端な条件での実験を実施した。今後、実験条件をより明確にして、液状化に伴う堤体の破壊形態に関する研究を継続したい。

図２　上向き浸透流を与えたときの堤体の崩壊
（上向き浸透流により、堤体下の地層の支持力が失われ、堤体が沈降している様子が観察された）

表１　実験条件と破壊形態

	条件	主な破壊形態
①	水位差 110 cm　振動無	みずみちが横に広がり、沈下
②	水位差 110 cm　振動有	みずみちが横に広がり、沈下
③	水位差 36 cm　振動無	水が染み出してきたのみ
④	水位差 36 cm　振動有	みずみちが横に広がり、沈下
⑤	水位差 110 cm　振動無・締固め	みずみちが横に広がり、沈下
⑥	水位差 36 cm　振動無・締固め	水が染み出してきたのみ
⑦	水位差 110 cm　振動有・締固め	みずみちが横に広がり、沈下
⑧	水位差 36 cm　振動有・締固め	みずみちが横に広がり、沈下
⑨	水位差 110 cm　振動有・斜め下	みずみちが横に広がり、沈下
⑩	水位差 76 cm　振動有・斜め下	みずみちが横に広がり、沈下
⑪	水位差 110 cm　堤防・振動無	浸透流がまっすぐ上向きに流れた
⑫	水位差 36 cm　堤防・振動無	水が染み出してきたのみ
⑬	水位差 110 cm　堤防無・振動有	浸透流がまっすぐ上向きに流れた
⑭	水位差 36 cm　堤防無・振動有	水が染み出してきたのみ

８ 参考文献

1)　「北上川等堤防復旧技術検討会」について：北上川等堤防復旧技術検討会　報告書　本編、東北地方整備局 HP〈http://www.thr.mlit.go.jp/Bumon/B00097/K00360/taiheiyouokijishinn/kenntoukai/110414/02seturitu.pdf〉