

鋼矢板による盛土構造物の補強・復旧

加藤 篤史¹・斎藤 勲¹・西山 輝樹¹・楠本 操¹

¹一般社団法人 鋼管杭・鋼矢板技術協会



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、津波によって海岸堤防の盛土構造が崩壊したのをはじめとして、河川堤防が液状化により沈下や法面崩壊するなど、盛土構造物が大きな被害を受けた。これに対して、耐震対策を施した河川堤防は大きな被災は見られなかったと河川堤防耐震対策緊急検討委員会で報告されている。本論文では、鋼矢板を用いた盛土構造物の耐震対策を紹介するとともに、対策効果を検証した模型実験の結果を示す。また、鋼矢板を用いた基盤漏水対策や洗掘対策などの技術も紹介する。

キーワード 鋼矢板, 盛土構造物, 地震, 液状化, 耐震

1. はじめに

これまで河川堤防は基盤漏水や洗掘、地震による液状化など多くの被害を受けており、先に発生した東北地方太平洋沖地震においても、液状化による河川堤防の沈下、法面崩壊や津波による海岸堤防の崩壊が発生している。一方、盛土構造物の補強・耐震対策として地盤改良工法や鋼材を用いた対策工法の開発も進んでいる。河川堤防耐震対策緊急検討委員会において、耐震対策を施した河川堤防は大きな被災は見られなかったとの報告があり、盛土構造物の耐震対策効果が見られた¹⁾。

鋼管杭・鋼矢板技術協会では「鋼矢板技術委員会」において、鋼矢板による盛土構造物の補強や耐震対策を普及させるための取り組みを行っている。本論文では、鋼矢板を用いた基盤漏水対策や洗掘対策、堤防耐震対策方法（法肩打設、法尻打設）を紹介するとともに、対策工法の有効性を検証した模型実験結果を示す。

2. 鋼矢板による盛土構造物の補強

ここでは、鋼矢板による盛土構造物の補強対策として、(1) 基盤漏水対策、(2) 洗掘対策、(3) 耐震対策に関して述べる。

(1) 基盤漏水対策

基盤漏水とは、図-1のように堤防直下に透水性の高い砂層またはレキ層がある場合、洪水時の水圧上昇により浸透水が透水層を通り、堤内側法尻付近の最も抵抗が小さい場所から漏水する現象である。漏水が発生すると法尻の崩壊が始まり、それが拡大することで最悪の場合は破堤にまで至る。

それに対し、図-2のように不透水層まで鋼矢板を打込み、止水壁を構築することで基盤漏水対策とすることが可能である。対策効果を確認するために、2次元浸透流解析を実施した。図-3に解析結果として流速ベクトルを

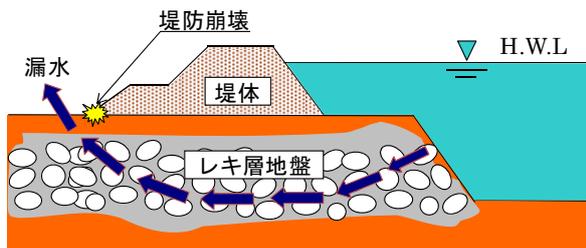


図-1 河川堤防下の基盤漏水

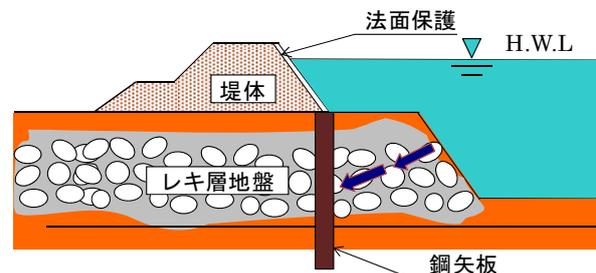
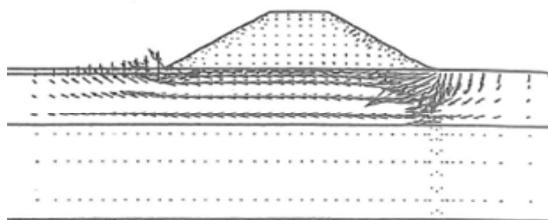
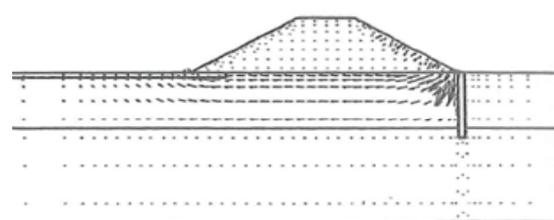


図-2 鋼矢板による基盤漏水対策



鋼矢板無し



鋼矢板有り

図-3 浸透流解析の結果

示す。無対策の場合は堤内側法尻の流速が大きくなっているが、鋼矢板により対策を施すことで透水層における流速が低減され、浸透破壊に対する安全性が向上したことがわかる。

(2) 洗掘対策

河川堤防や護岸の浸食被害は、基礎工前面の河床洗掘により発生する。図4に示すように、河床が洗掘されることで基礎工が浮き上がり、裏込め材の吸出しにより法覆工の破壊に至る。洗掘は洪水時に流量の増加に応じて河床高が低下する現象で、要因として河幅の変化、水路の湾曲・蛇行および砂州の発生などが挙げられる。この現象に対して図5のように護岸基礎に鋼矢板を用いると、前面の河床洗掘が設定した最深河床高まで下がった場合でも、自立式構造の護岸として堤防浸食を防護することができる。

(3) 耐震対策

今回の東北地方太平洋沖地震に限らず、過去の大地震においても液状化による盛土構造物の被害が多数発生しており、盛土構造物の液状化対策はますます重要性を増してきている。鋼矢板を用いた基礎地盤の液状化に対する補強構造は、鋼矢板の優れた施工性により盛土構造物の形状を保持したまま省スペースでの施工が可能である。ここでは、①堤防法肩に鋼矢板を打設する法肩補強タイプ（鋼矢板芯壁堤）、②堤防法尻に打設する法尻補強タイプに関して、構造の特長と効果を確認した模型実験の結果を紹介する。

① 法肩補強タイプ（鋼矢板芯壁堤）

堤体天端部に鋼矢板を打設して、堅固な二重鋼矢板締切りを構成したものを鋼矢板芯壁堤と呼ぶ。この構造に期待される効果は、i) 地震時に基盤の液状化が発生しても盛土天端の沈下を抑制することができる（液状化対策）、ii) 洪水時の越水により堤防の法面が洗掘を受けても、盛土天端高を確保することができる（洪水対策）、などが挙げられる。

i) 液状化対策

地震時に堤防基盤が液状化した場合、無補強の場合は図6に示すように堤体全体が崩壊してしまう。一方、図7のように鋼矢板によって補強した場合は、法面が崩壊しても盛土天端の沈下を抑制できると考えられる。

堤体内に鋼矢板を打設した場合の挙動および天端高さの保持効果を確認するために、振動台を用いた模型実験を実施した。図8のような長さ2,800×高さ845×奥行き340mmの土層内に、盛土、液状化層、締固め層を作成した。砂はケイ砂7号を用い、それぞれ湿潤密度 $\rho_t = 1.5\text{g/cm}^3$ 、相対密度 $D_r = 40\%$ 、相対密度 $D_r = 90\%$ を目標とした。水位面は地表面と一致させ、最大加速度を300gal、500galに調整し、2段階の加振を行った。

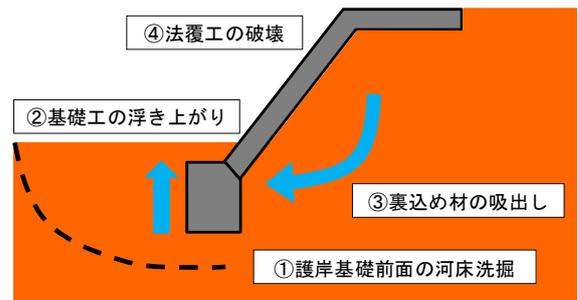


図-4 洗掘による護岸の破壊

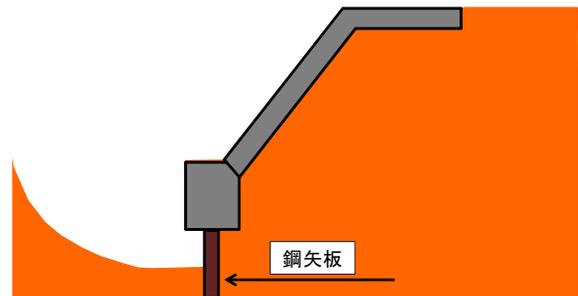


図-5 鋼矢板による洗掘対策

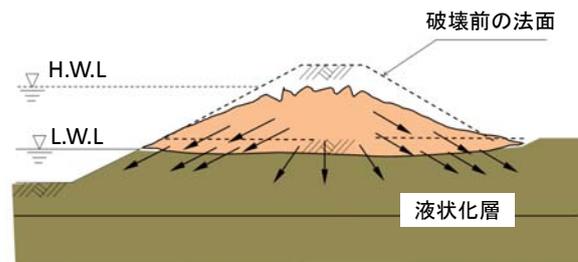


図-6 液状化時の挙動（無補強）

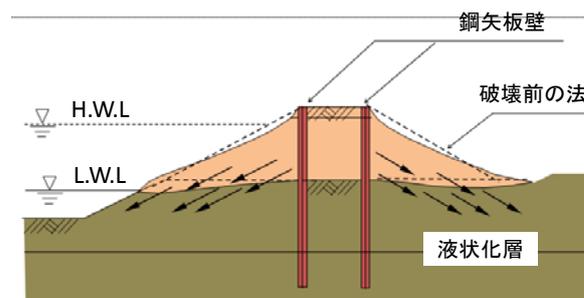


図-7 液状化時の挙動（鋼矢板芯壁堤）

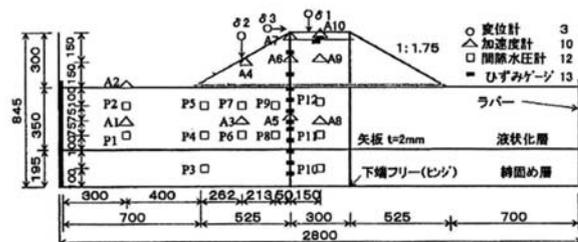


図-8 実験模型と計測位置

300gal における無補強の加振終了後の残留変形状態のスケッチを図-9 に、鋼矢板芯壁堤のスケッチを図-10 に示す。無補強の場合は天端中央の沈下量が 80mm 以上であったのに対し、鋼矢板芯壁堤の場合は 40mm と無補強の半分に低減された。この結果から、鋼矢板芯壁堤は液状化対策に有効であることが確認された。

ii) 洪水対策

洪水に対して、図-11 のように無補強の場合、越水時に法面の流失が起こり堤防が崩壊する危険がある。図-12 のように鋼矢板によって補強した場合は、越水で法面が流失しても天端高さを確保できると考えられる。

鋼矢板打設による浸透・越水対策効果を模型実験により確認した。図-13 に実験模型を示す。実験は以下の手順にて行った。

【手順 1】 水位を①から②(+15cm)へ上昇させ、それを維持しながら 60 分程度放置し、浸透流量の計測、堤防の観察を行う。

【手順 2】 水位を②から③(+30cm)まで上昇させ、それを維持しながらさらに 60 分程度放置し、その間の浸透流量の計測、堤防の観察を行う。

【手順 3】 5 l/min の越流を生じさせ、天端・法面の崩壊状況を観察する。

【手順 4】 破壊の進行が止まるごとに越流量を最大 50 l/min まで増加させて堤防の破壊を促進しながら、崩壊状況を観察する。

無補強の場合では、手順 3 後の写真-1 のように天端中央部から越流が始まり、天端破壊により越流量が急増し写真-2 のように堤体の崩壊に至った。一方、鋼矢板芯壁堤の場合、手順 3 後の写真-3 のように裏のりが徐々に削られたが、天端高さが保持されていたため注入量分の越流量しか発生しなかった。これにより、鋼矢板芯壁堤が洪水時の越流に対し破壊せず効果を発揮していたことを確認した。

以上 i) , ii) より、鋼矢板芯壁堤は、堤防の液状化対策や洪水対策に有効であることが確認された。

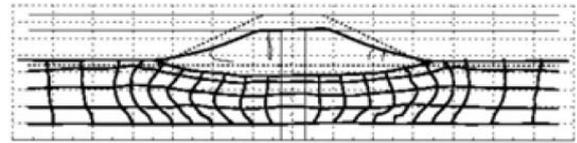


図-9 変形状態 (変位・無補強)

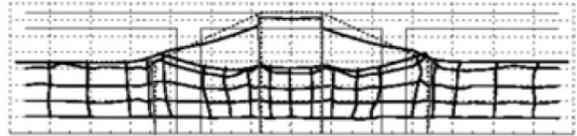


図-10 変形状態 (変位・鋼矢板芯壁堤)

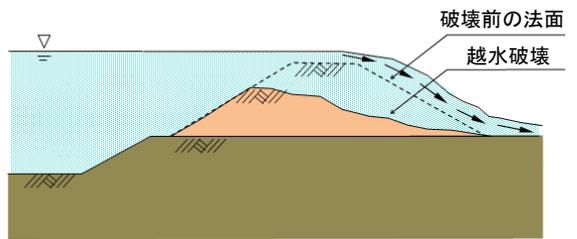


図-11 越水時の挙動 (無補強)

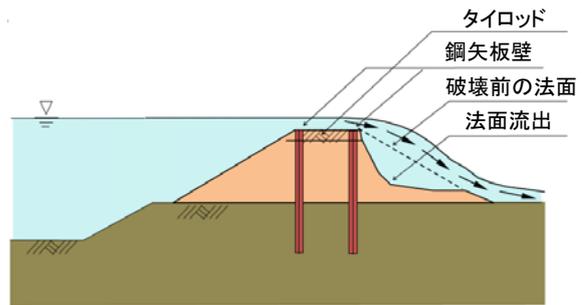


図-12 越水時の挙動 (鋼矢板芯壁堤)

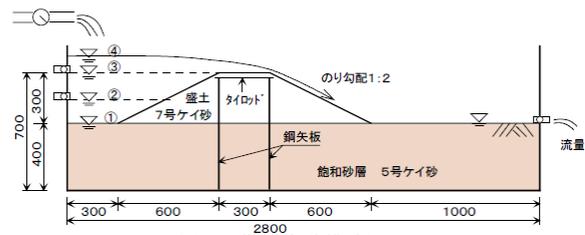


図-13 実験模型



写真-1 越流開始

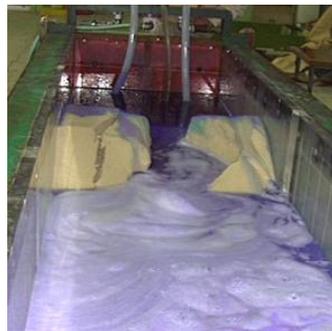


写真-2 堤体の破壊



写真-3 越流開始



写真-4 定常状態

②法尻補強タイプ

液状化のある基盤上に堤防が存在する場合に、堤防の法尻に鋼矢板壁を配置すると、地震時に基盤が液状化しても基盤の変形を抑制し、堤防の沈下量を小さくすることが可能である。図-14、15 に破壊形状の比較を示す。

3. 鋼矢板による盛土構造物の補強事例

(1) 基盤漏水対策

鋼矢板による基盤漏水対策の事例として、平成 11 年に施工された阿武隈川水害対策工事を紹介する。平成 10 年 8 月の集中豪雨により阿武隈川の広範囲で基盤漏水が発生し、これに対して延べ 28km に亘って止水矢板が打設された。長さ 6.0m～12.5m の鋼矢板 (2W, 3W) 約 20,000t が打設された。堤防断面図を図-16 に示す。

(2) 耐震対策

①法肩補強タイプ

平成 7 年の兵庫県南部地震により、貯水池であるニテコ池（西宮市）の堤体が壊滅的な被害を受けた。雨期前に堤防天端高さを確保するために、鋼矢板二重締切り工を設置し、早期に堤体を復元した。写真-5 に上流側堤体を示す。

②法尻補強タイプ

利根川河川堤防に補強対策として鋼矢板が打設されているが、東北地方太平洋沖地震においても大きな被害は見られなかった。また、写真-6 に示す JR 武蔵野線の鉄道盛土の補強や東海道新幹線の盛土補強にも、鋼矢板による耐震対策が採用されている。

4. まとめ

本論文では、鋼矢板を用いた盛土構造物の補強対策に関して、模型実験の結果や施工事例を紹介した。東北地方太平洋沖地震においても、液状化による河川堤防の沈下や法面崩壊が発生しており、盛土構造物の安全性の確保は急務となっている。これに対して、鋼矢板が盛土構造物の液状化対策・基盤漏水対策などの一助となれば幸いである。

参考文献

- 1) 財団法人国土技術センター：第一回河川堤防耐震対策緊急検討委員会 資料5
<http://www.jice.or.jp/sonota/t1/201105110.html>
- 2) 鋼管杭協会：鋼矢板を用いた河川堤防補強技術，H13.1
- 3) 鋼管杭協会：鋼矢板を用いた液状化・耐震対策（盛土構造物），H11.3
- 4) 鋼管杭協会：鋼矢板芯壁堤 鋼矢板による河川堤防補強工法，H14.3
- 5) 鋼管杭協会：鋼矢板による液状化・耐震対策

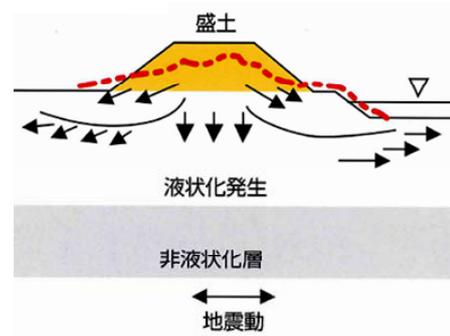


図-14 破壊形状の比較（無対策）

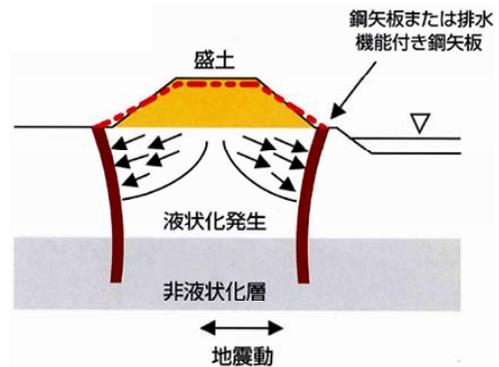


図-15 破壊形状の比較（法尻補強）

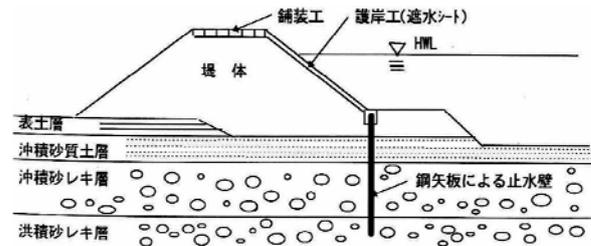


図-16 阿武隈川水害対策工事の断面図



写真-5 ニテコ池上流側堤体



写真-6 JR 武蔵野線の盛土補強