

平成 28 年熊本地震における鋼矢板工法で補強した河川堤防の被害分析

九州大学大学院 学 ○山本 秀平 東京工業大学環境・社会理工学院 正 笠間 清伸
 国土交通省九州地方整備局 非 大野 誠 基礎地盤コンサルタンツ株式会社 正 田中 淳
 応用地質株式会社 正 塚元 伸一

1. はじめに

河川堤防の沈下や側方流動の抑制を目的とした工法の一つに鋼矢板工法¹⁾があり、熊本県の河川堤防において多く用いられている。平成 28 年熊本地震が発生し、河川堤防において地盤沈下等の被害を生じた。本文では、熊本地震において鋼矢板工法で補強した河川堤防の地震時被害に関する分析結果を報告する。

2. 鋼矢板工法の概要

鋼矢板工法には支持層まで貫入する着底支持鋼矢板工法 (以下、着底工法と呼ぶ) および支持層まで貫入しないフローティング鋼矢板工法 (以下、フローティング工法と呼ぶ)、着底工法とフローティング工法を組み合わせた部分フローティング式鋼矢板工法 (以下、PFS 工法と呼ぶ) がある。図-1 には、熊本平野の加勢川、白川、浜戸川および緑川における各鋼矢板工法施工位置および PFS 工法の形状概略図を示す。熊本平野は、浅い深度で沖積砂質土層が広く分布し、PFS 工法はこれらの軟弱地盤の河口部において多く施工されている。

3. 分析手法

熊本地震による河川堤防の被害要因として、基礎地盤の液状化と堤体の液状化が挙げられる²⁾。そこで、熊本県の四河川の堤防地点を対象に、基礎地盤および堤体の液状化判定を実施した。基礎地盤の液状化は道路橋示方書³⁾に基づいて実施し、必要となる地盤情報は九州地盤情報共有データベース 2012⁴⁾を用いた。地表面の最大加速度は、国総研道路地震防災研究室が提供するデータを使用した。

図-2に、対象とした河川堤防周辺の液状化層厚 H_L の分布を示す。図中の○はボーリング地点であり、その周辺の地点の値は、逆距離荷重法 (補間点から観測点までの距離で重みを付けた補間法) により推定した。なお、ボーリングデータが不足する地点における液状化判定結果は、今後精査する必要がある。堤体の液状化判定は、河川堤防の耐震点検マニュアル⁵⁾に基づき、地盤情報が存在する地点において実施した。表-1に鋼矢板工法ごとで分類した200mピッチの堤体の液状化判定結果を示す。河川堤防の被害程度を表す指標として用いた沈下量は、熊本地震前後において200mピッチで実施された堤防天端の鉛直変位から、地殻変動による広域沈下量を引いた値を用いた。また、沈下量がマイナスとなり隆起した箇所が全体で53地点あり、被害分析の対象から除外した。

4. 分析結果

図-3に堤体の液状化がないと判定された地点、つまり基礎地盤の液状化による沈下量の確率密度分布および統計値を示す。図より、全ての沈下量は0.4m未満であり、鋼矢板別に比較すると、沈下量0~0.1mの範囲に着底工法が71%、無対策が19%、フローティング工法が65%、PFS工法 (片側) が63%、PFS工法 (両側) が41%分布した。

図-4に基礎地盤の液状化層厚と沈下量の関係を示す。図より、液状化層厚の増加に伴い、地震時沈下量も



図-1 熊本平野における鋼矢板工法の施工位置

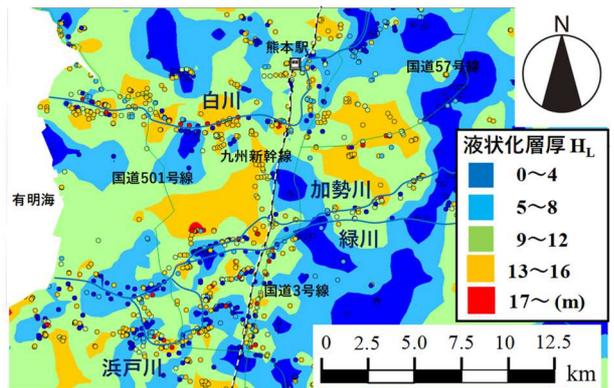


図-2 熊本平野における液状化層厚の分布

表-1 鋼矢板別の堤体の液状化地点数

堤体の液状化	無対策	フローティング	PFS片側	PFS両側	着底工法
あり	26	0	1	9	0
なし	105	21	20	67	16

増加する傾向にある。表-2 に回帰直線を示す。表中の COV は変動係数を表し、この値が小さいほど回帰式の相関が相対的に高いことを示している。式中の傾きは、液状化層厚に対する沈下量の割合を表し、無対策区間では平均的に液状化層厚の 0.81% の沈下が生じたことを意味する。この傾きを東北地方太平洋沖地震により被災した関東地方の河川堤防と比較すると、平均的に液状化層厚の 19% の沈下が生じた事例があり⁶⁾、熊本地震における液状化による沈下量は小さいと言える。鋼矢板別に沈下抑制効果を平均値を用いて評価すると、フローティング工法が無対策の場合の沈下量の 88%、PFS 工法 (片側) が 56%、PFS 工法 (両側) が 88%、着底工法が 10% となった。

図-5 に堤体の液状化による沈下量の確率密度分布および統計値を示す。なお、堤体の沈下量は、実測沈下量から表-2 で示す基礎地盤の予測沈下量を引くことで求めた。図より、基礎地盤の沈下量は、全て 0.4m 未満であるのに対し、堤体の沈下量は無対策区間において最大 1.558m を記録するなど沈下量 0.4m 以上の地点が存在し、熊本地震による河川堤防の大規模な地震時沈下量の主要因は、堤体の液状化と考えられる。無対策の地点における堤体の沈下量が 0~1.6m の範囲に幅広く分布したのに対し、PFS 工法の地点では沈下量が 0.2m 未満であった。また、表-4 より無対策の平均沈下量と比較すると、PFS 工法 (片側) は 5%、PFS 工法 (両側) は 10% の沈下量となり、PFS 工法が堤体の沈下を抑制したと言える。

5. 結論

鋼矢板工法で補強した河川堤防の地震時の沈下抑制効果を堤体と基礎地盤の液状化に分けて検討した。得られた知見を以下に記載する。

- 1) 熊本地震において基礎地盤の沈下量は、対策工法によらず全て 0.4m 未満であった。
- 2) 基礎地盤の液状化が発生した地点では、無対策と比較してフローティング工法が 88%、PFS 工法 (片側) が 56%、PFS 工法 (両側) が 88%、着底工法が 10% の沈下量となり、鋼矢板工法が河川堤防の地震時沈下抑制に有効であることを示す。
- 3) 無対策区間における堤体の沈下量は、最大値が 1.558m、平均値が 0.439m であったことから、平成 28 年熊本地震における主要な河川堤防の被害は堤体の液状化が原因であったと考えられる。
- 4) 堤体の液状化が発生した地点では、無対策の場合の沈下量と比較して PFS 工法 (片側) は 5%、PFS 工法 (両側) は 10% となり、沈下量は 0.2m 未満であった。

謝辞：なお、本研究は「国総研道路地震防災研究室」から地震動に関するデータ提供及び、「国際圧入学会 PFS 工法の適用条件の拡大と地震時挙動評価に関する技術委員会」から様々な意見をいただきながら進めている。記して、関係者各位には深甚の謝意を表したい。

【参考文献】1) 落合ら：新形式鋼矢板工法による軟弱地盤沈下対策と性能設計：PFS 工法，基礎工，34 巻，6 号，pp.88-91，2006。2) 国土交通省九州地方整備局：緑川・白川堤防調査委員会報告書本編，pp.209-256，2017。3) (公社) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，V 耐震設計編，2012。4) (公社) 地盤工学会九州支部：九州地盤情報共有データベース，2012。5) 国土交通省水管理・国土保全局治水課：レベル 2 地震動に対する河川堤防の耐震点検マニュアル，2012。6) 牛腫ら：東日本大震災による河川堤防の被災状況について，河川技術論文集，第 18 巻，pp.363-368，2012。

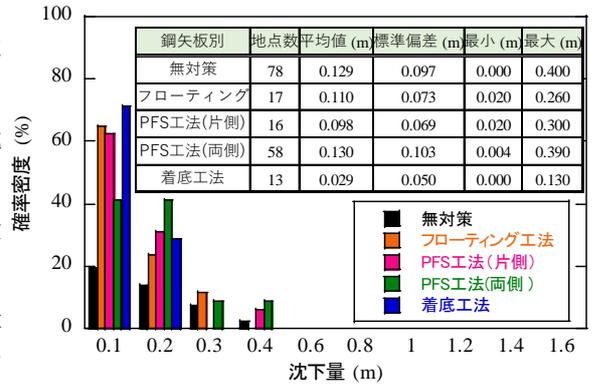


図-3 基礎地盤の沈下量の確率密度分布

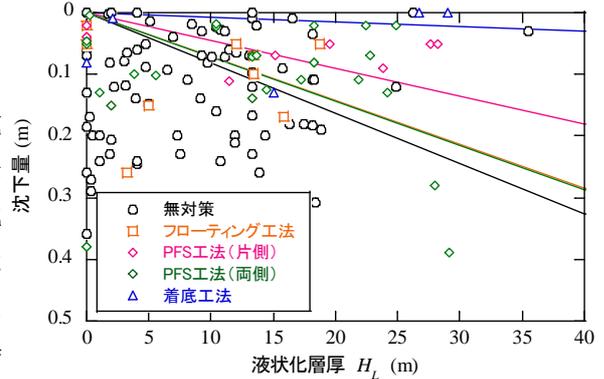


図-4 液状化層厚と沈下量の関係

表-2 堤体の液状化なしの回帰式

鋼矢板	地点数	回帰式	COV
無対策	78	$S=0.0081433 \pm 0.0025958 \cdot H_L$	0.13
フローティング	17	$S=0.0071293 \pm 0.0041106 \cdot H_L$	0.10
PFS工法(片側)	16	$S=0.0045108 \pm 0.0030876 \cdot H_L$	0.10
PFS工法(両側)	58	$S=0.0071532 \pm 0.00160854 \cdot H_L$	0.11
着底工法	13	$S=0.00077671 \pm 0.0015612 \cdot H_L$	0.06

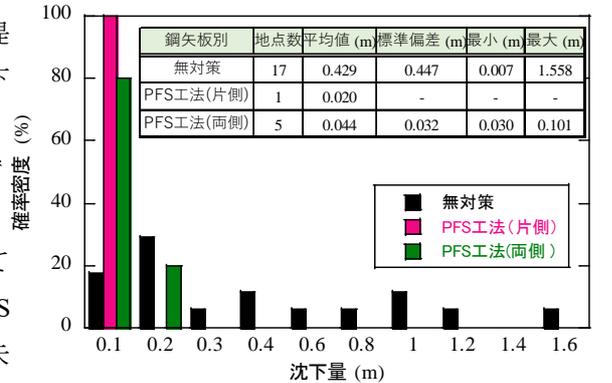


図-5 堤体の沈下量の確率密度分布