種々の鋼矢板工法で補強した河川堤防の平成28年熊本地震による被害の分析

九州大学大学院	学生会員	〇山本	秀平
九州大学大学院工学研究院	正会員	笠間	清伸
国土交通省九州地方整備局	正会員	大野	誠
応用地質株式会社	正会員	田辺	陽

1. はじめに

近年、周辺地盤の沈下や側方流動の抑制を目的とした軟弱地盤対策として鋼矢板工法が用いられる。その中で も部分フローティング式鋼矢板工法(以下、PFS 工法と呼ぶ)はフローティング鋼矢板と着底支持鋼矢板を交互 に打設することで応力遮断壁を構築し、盛土側の沈下の影響を縁切りにする新しい工法¹⁾であり、堤防周辺の地 盤沈下を抑制できるとともに、施工性、経済性に優れている。この工法は熊本県の河川堤防においても地盤沈下 対策として適用されている。しかし、2016年4月14日にマグニチュード6.5、4月16日にマグニチュード7.3 を記録する大規模な地震が連続して熊本県で発生し、PFS 工法が用いられた河川堤防において地盤沈下等の被害 を生じた。本文では、地震時の軟弱地盤に対する PFS 工法の沈下抑制効果の評価、沈下対策に有効な鋼矢板の 構造評価を目的として、鋼矢板工法で対策した河川堤防の地震時挙動に関する被害分析結果を報告する。

3. 鋼矢板の概要

軟弱地盤における河川堤防の地盤変状防止工法の一つに鋼矢 板工法がある。この工法は、堤防本体の基底破壊と盛土側面の 法尻外方に向かう変位を防止する目的で、鋼矢板の先端を軟弱 層下の支持層に貫入して堤防側面を締切るものである²⁾。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 底矢板と呼ぶ)及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、フローティング矢板と呼ぶ)、着底矢板とフロー ティング矢板を組み合わせた PFS 工法といったものがある。

図-1には、熊本平野の河川(加勢川、白川、浜戸川、緑川) における各対策工施工位置及び PFS 工法の形状概略図を示 す。対策工施工位置は、河川堤防の内側で川表、外側で川裏 の対策工を示す。熊本平野は、浅い深度で干拓地と氾濫平野 による沖積砂質土層が広く分布しており、PFS 工法はこれらの 軟弱地盤において多く施工されている。

図-2には、熊本平野の河川における各対策工の施工年度と 施工距離を示す。図より、着底矢板とフローティング矢板 は、2000年以降ほとんど施工されていないのに対し、PFS工 法は、2010年以降急激に施工が増加している。

3. 分析結果

表-1には国土交通省による河川堤防(加勢川、白川、浜戸川、 緑川)で測定された沈下量及び、地表面の地震動強さ(最大加速 度、スペクトル強度、計測震度)の結果を示す。スペクトル強 度とは、構造物が持つ固有周期帯域の応答スペクトルであり、 地震で構造物の被害の程度を表す指標である。なお、沈下量は 堤防の 200m ごとの測定値、地震動強さは地震計で観測された、 前震における 250m メッシュごとの最大値データ³⁾を算出、整 理している。これらのデータを用いて、地震動に対する対策工 を施した河川堤防の沈下挙動を比較する。

図-3には、対策工別・地形別のスペクトル強度と沈下量の関係を示す。スペクトル強度は、地震時沈下量と相関が高い指標である⁴⁾。また、地震動に対する沈下挙動を比較する上で、地震による揺れやすさである地盤特性も考慮する必要があり、治水地形分類図⁵⁾を基に、地形別に分類している。図より、無対策の沈下量に着目すると、スペクトル強度の増加に伴い、沈下



図-1 熊本平野の対策工施工位置及び PFS 工法形状概略図



(加勢川、白川、浜戸川、緑川)

表-1 沈下量と地震動強さ

	沈下量 (m)	最大加速度	最大速度	スペクトル強度	計測震度
		PGA (gal)	PGV (cm/s)	SI (cm/s)	I
観測点数	790	790	790	790	790
平均值	0.199	357.751	44.613	63.575	5.475
最頻値	0.210	261.119	46.862	55.664	5.331
標準偏差	0.206	114.620	12.002	18.478	0.226
最小	-1.184	216.163	16.802	23.959	4.885
最大	1.658	665.637	93.598	129.282	6.030

2

1.5

1

0.5

0

-0.5

-1

-1.5

20

量も増加する傾向にあり、沈下量 0~0.5m の範囲に帯状とな る。しかし、スペクトル強度 60cm/s と 80cm/s 付近で、沈下 量が 0.5m 以上の突出して大きい地点がある。これは、緑川の 河口からの距離 6km 付近と 8.5~9.5km、11~12km の氾濫平 ⁹ 野及び自然堤防で計測されたものであり、この地点では実際 に、堤体の亀裂や沈下、噴砂が確認され、緊急復旧工事箇所 となっていた。地盤の特徴としては、他の地点と比べて、軟 弱な沖積砂質土層が約 10m 程度堆積している地点も存在し、 液状化による変状が原因と考えられる。また、図より、スペ クトル強度 60cm/s 前後で約 1m の隆起が見られる。これは、 白川の上流である河口からの距離 12.6km と 17.2km の自然堤 防で計測された。この原因については、堤体の下に堆積する 約 20m の砂層の液状化も考慮して慎重に調べる必要がある。

図-4には、河口からの距離と対策工施工位置での沈下量の及び、白川の支持層までの地盤層厚のの関係を示す。各地形に着目すると、自然堤防は河口からの距離3~7kmに集中し、震源から比較的近く、スペクトル強度が高い地点や、砂層が25mと深く堆積する地点も存在するものの、沈下量はののの、沈下量はしたと、のの、沈下量は最大で0.49mであった。干拓地では、堤体に大きな変状が見られないことから、これは砂層の深さの影響よりも、支持層までの地盤層図-4厚が45mと深いことや、地下水位の深さ、間隙の大きい干拓地の地盤特性が沈下量に大きく影響したと考えられる。

図-5 には、対策工・地形別の沈下量範囲を表したパーセン タイル図を示す。なお、着底矢板は、干拓地では施工されて いない。全ての対策工において、沈下量は 0.5m 未満に抑えら れており、沈下量中央値に着目すると、対策工の中で着底矢 板が最も小さい 0.09m 程度であった。PFS 工法の沈下量中央 値を地形別に着目すると、自然堤防では 0.14m、氾濫平野で は 0.19m であり、無対策の 0.14、0.21m とほとんど差異は見 られない。しかし、沈下量範囲のばらつきに着目すると、氾 濫平野における無対策の沈下範囲は-0.40~1.66m に対して、

支持層までの地盤層厚 0.5 60 干拓地:黒 砂層 氾濫平野:桃 50 Ц フローティング矢板 0.4 自然堤防:青 PFS工法 ٥ 40 地盤の層厚 (m) Ê 0.3 着底矢板 30 沈下 0.2 20 0.110 0 0 3 8 4 河口からの距離 (km) 河口からの距離と沈下量及び地盤層厚の関係(白川) ボックス上下: 95%, 5% ボックス内の破線上下: 75%, 25% 1.5 中央線:50% (E 干拓地:黒 最大沈下量 0 # 1 氾濫平野:ね

0

Ц

۰ ،

08

0 0

80

スペクトル強度 SI (cm/s)

図-3 スペクトル強度と沈下量の関係

0 0

60

40

無対策

PFS工法

着底矢板

干拓地:黒

氾濫平野:桃

自然堤防:書

100

フローティング矢板

00080

120

140



図-5 対策工別の沈下量範囲

PFS 工法は 0.04~0.25m と、沈下量範囲を 90%程度抑えている。また、PFS 工法の干拓地での沈下量中央値 0.20m は、全対策工の中で最も大きな沈下量であった。これは、干拓地における PFS 工法の施工位置が、支持層までの 地盤層厚が 45m と深い、河口から 0.6km までの区間に集中していることが原因と考えられる。 結論

鋼矢板を用いた堤防補強効果について地震時の地盤変形抑制効果を検討し、得られた知見を以下に記載する。

- 1) 全ての対策工は、沈下量を 0.5m 未満に抑え、着底矢板の沈下量中央値は対策工で最も小さい 0.09m だった。
- 2) PFS 工法によって氾濫平野及び自然堤防では、無対策と比較して、沈下量範囲を 90%程度抑制した。
- 3) PFS 工法を施工した干拓地の沈下量中央値は、対策工の中で最も大きい 0.20m であるが、これは PFS 工法の 施工地点での、支持層までの地盤層厚の深さや、干拓地の地盤特性が沈下量に大きく影響したと考えられる。
- 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,pp88-91,2006,06.2)木水ら:盛土沈下対策工法として PFS 工法の効果に関する三次元数値解析,土木学会第65回年次学術講演会,III-240,pp479-480,2010,09.3)国総研道路地震防災研究室:2016年熊本地震地震動分布図,http://www.nilim.go.jp/lab/rdg/eq/16km/16km.htm,2018年3月8日閲覧.4)大矢ら:海溝型長継続時間地震動に対する砂質地盤上の防波堤沈下挙動に関する模型実験,港湾空港技術研究所資料,No1275,pp1-18,2013,09.5)国土地理院:治水地形分類図更新画像データ,http://maps.gsi.go.jp/#13/32.732996/130.682030/&base=std&ls=std%7Clcmfc2&blend=0&disp=11&vs=c1j0h0k0l0u0t0z0r0s0f1,2018年3月25日閲覧.6)国土交通省九州地方整備局:第2回緑川・白川堤防調査委員会資料,pp1-29,2016.06.10.