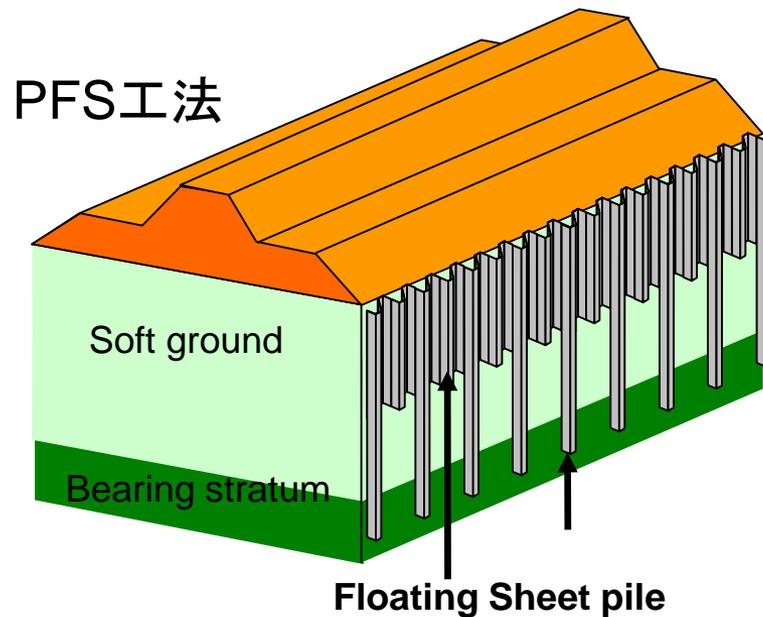


河川堤防における鋼矢板対策工法の耐震性能について

～熊本地震における被災状況からの考察～



熊本大学
大谷 順

謝 辞

- 本講演内容は、国際圧入学会の技術委員会(TC3)の成果である。
- 特に本発表資料については笠間先生(東京工業大学)に提供いただいた
- 熊本地震のデータについては国土交通省九州地方整備局より提供いただいた。

- PFS工法の概要
- 国際圧入学会での活動
- 熊本地震における鋼矢板工法の耐震性
- 最後に

・PFS工法の概要

開発の経緯

- ・実務でのニーズ
(河川堤防の沈下対策、軟弱地盤対策、経済性)
- ・1975年代(昭和50年代)に九州大学と建設省九州地方整備局
河川部との懇談会
- ・1987年九州大学と菊池川工事事務所との共同研究
- ・その後、熊本工事事務所が加入(多くの対象地域を持つ)
- ・**2003年(平成15年)**に「矢板研究会」(委員長:落合九州大学
名誉教授)を立ち上げ
- ・研究会は産官学のメンバーで構成
- ・**2005年(平成17年)**にPFS工法研究会として技術資料を出版

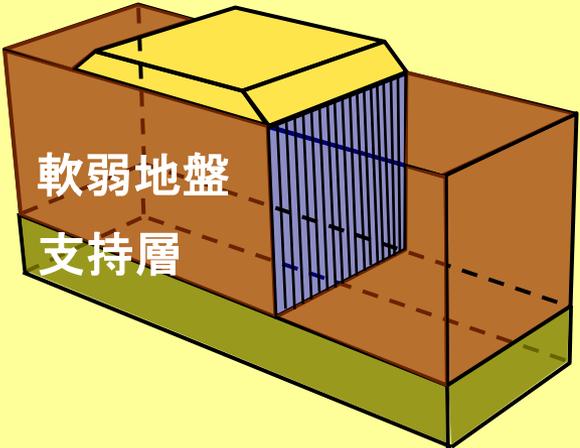
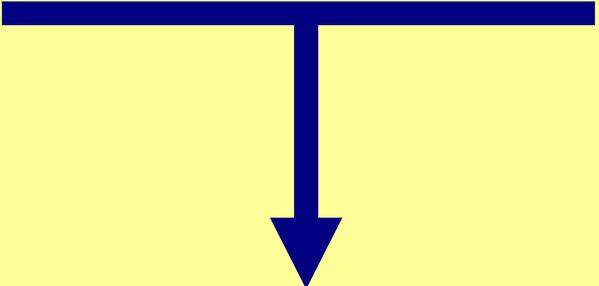
キーポイント:発想の転換、経済性、産官学連携

軟弱地盤上に盛土構造物などを建設する

周辺地盤の沈下、側方流動の抑制

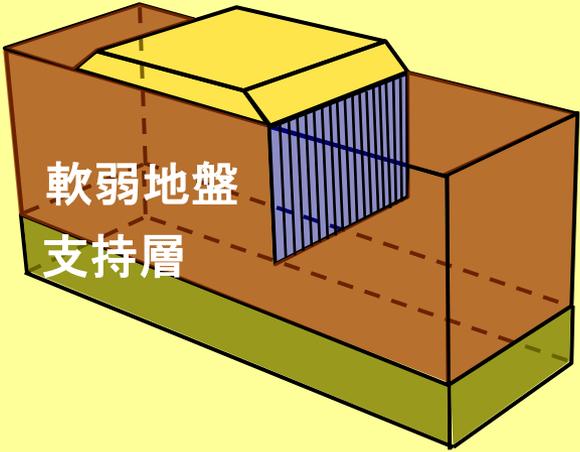


鋼矢板工法



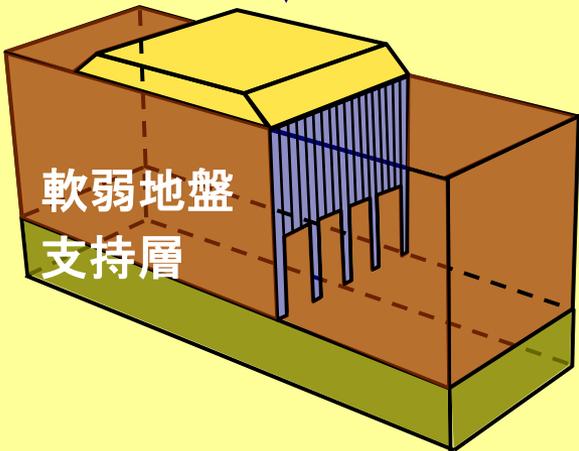
・着底鋼矢板工法

地盤変形抑制効果 **高**
コスト **高**



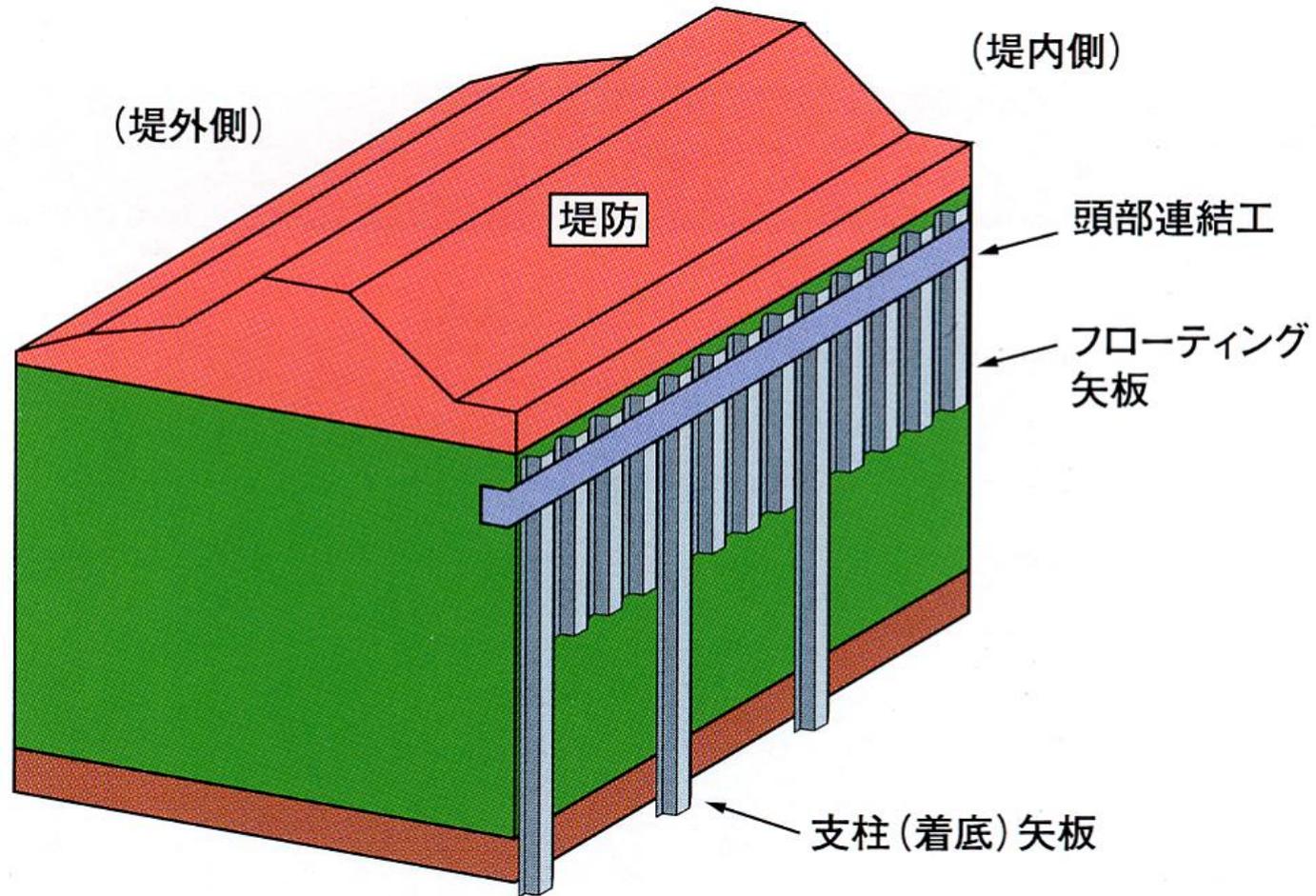
・フローティング鋼矢板工法

地盤変形抑制効果 **低**
コスト **低**

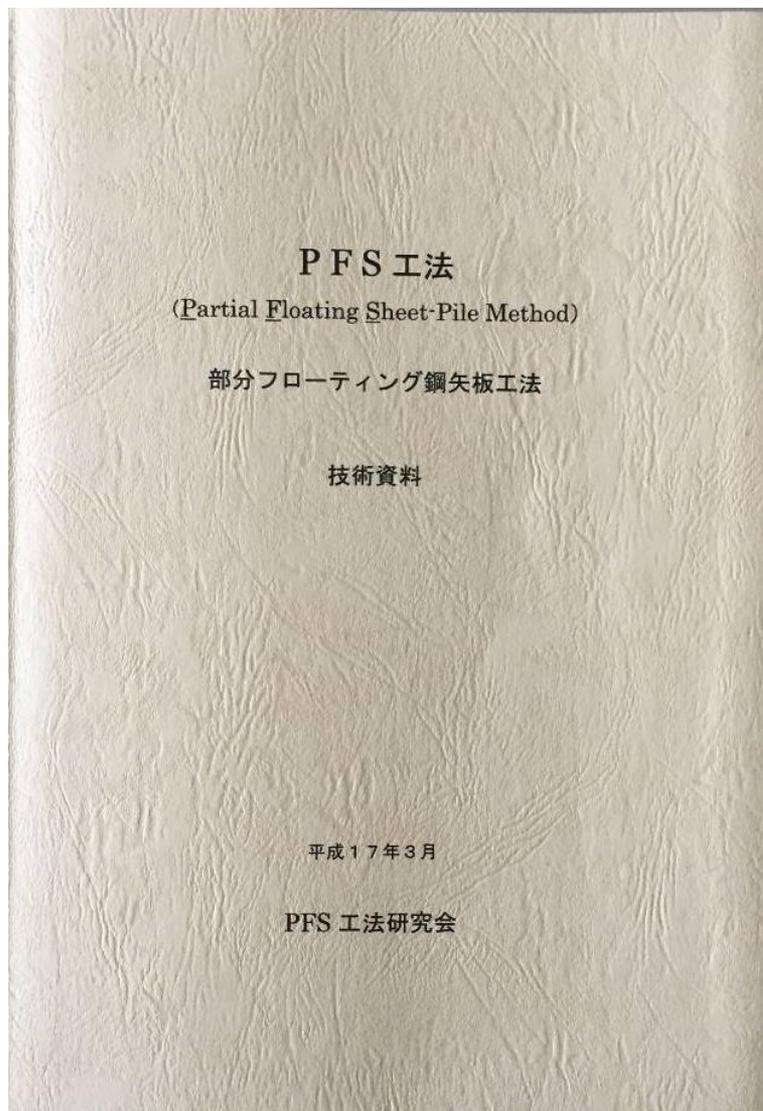


・PFS工法(部分フローティング鋼矢板工法)

部分フローティング鋼矢板工法 (PFS工法)

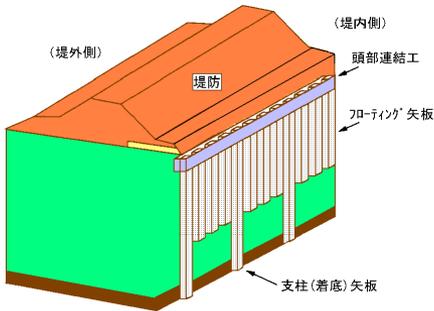


PFS工法技術資料(平成17年)

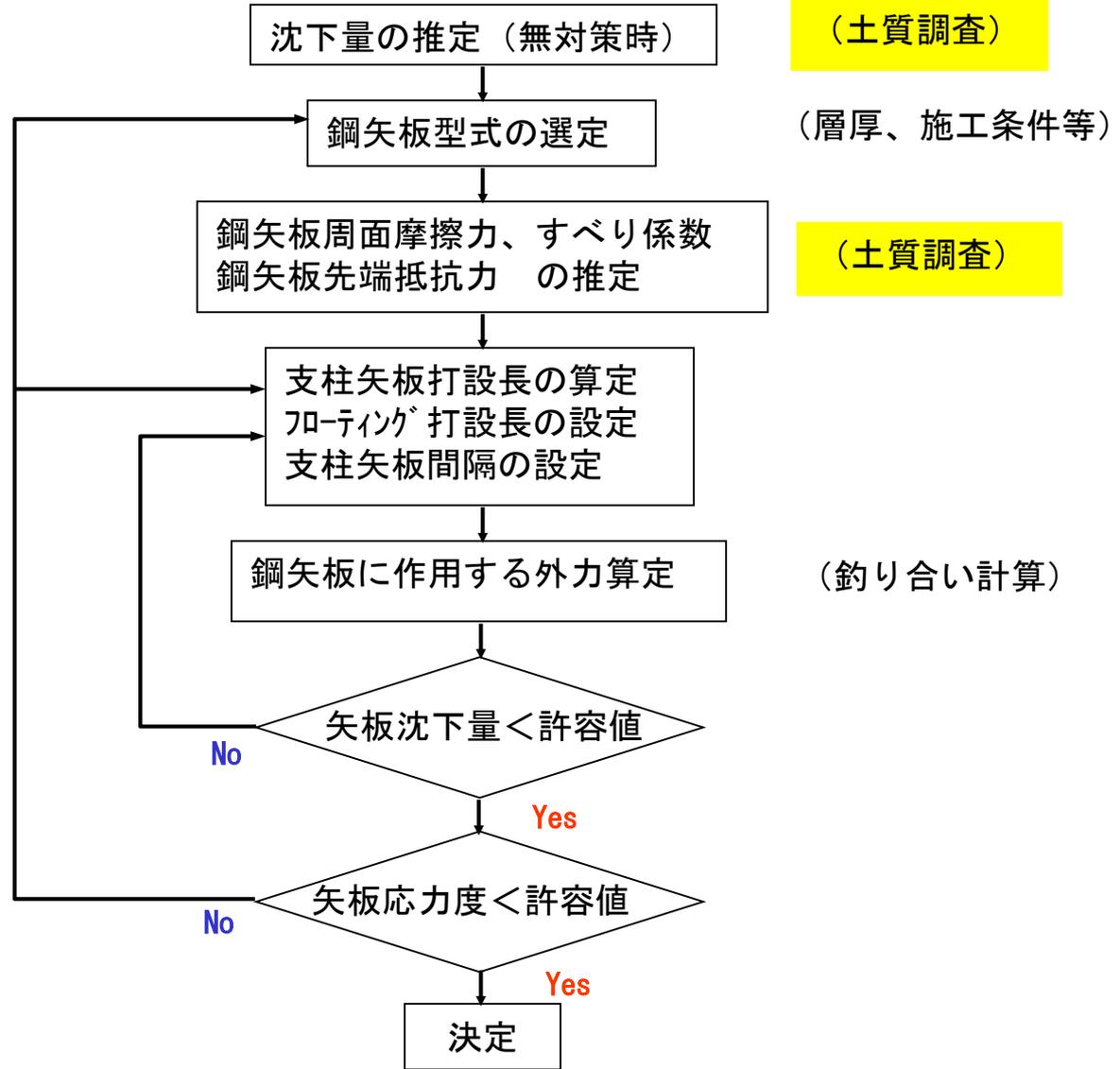


目 次	
はじめに	1
1. 軟弱地盤上での盛土の沈下現象およびその対策工法	3
2. 鋼矢板を用いた盛土建設時の沈下対策に関するこれまでの知見	9
2. 1 文献調査(熊本平野以外)	9
2. 2 熊本平野での試験施工	15
2. 2. 1 地盤特性	15
2. 2. 2 実測結果	29
3. 鋼矢板を用いた沈下対策工法の設計に関する検討	61
3. 1 適用性・適用範囲および設計の考え方	61
3. 2 調査	65
3. 3 数値解析による検討	77
3. 4 設計法の提案	107
3. 4. 1 概要	107
3. 4. 2 極限つりあい法による設計	113
3. 4. 3 解析解による設計法	127
3. 4. 4 地盤バネモデルによる設計法	155
3. 5 施工法	193
調査・設計・施工マニュアル(案)	197
参考資料	233
1. 熊本平野でのSBFIT試験の適用	234
2. PFS工法のコスト縮減効果検討	255
3. 熊本平野での試験施工 状況写真	259

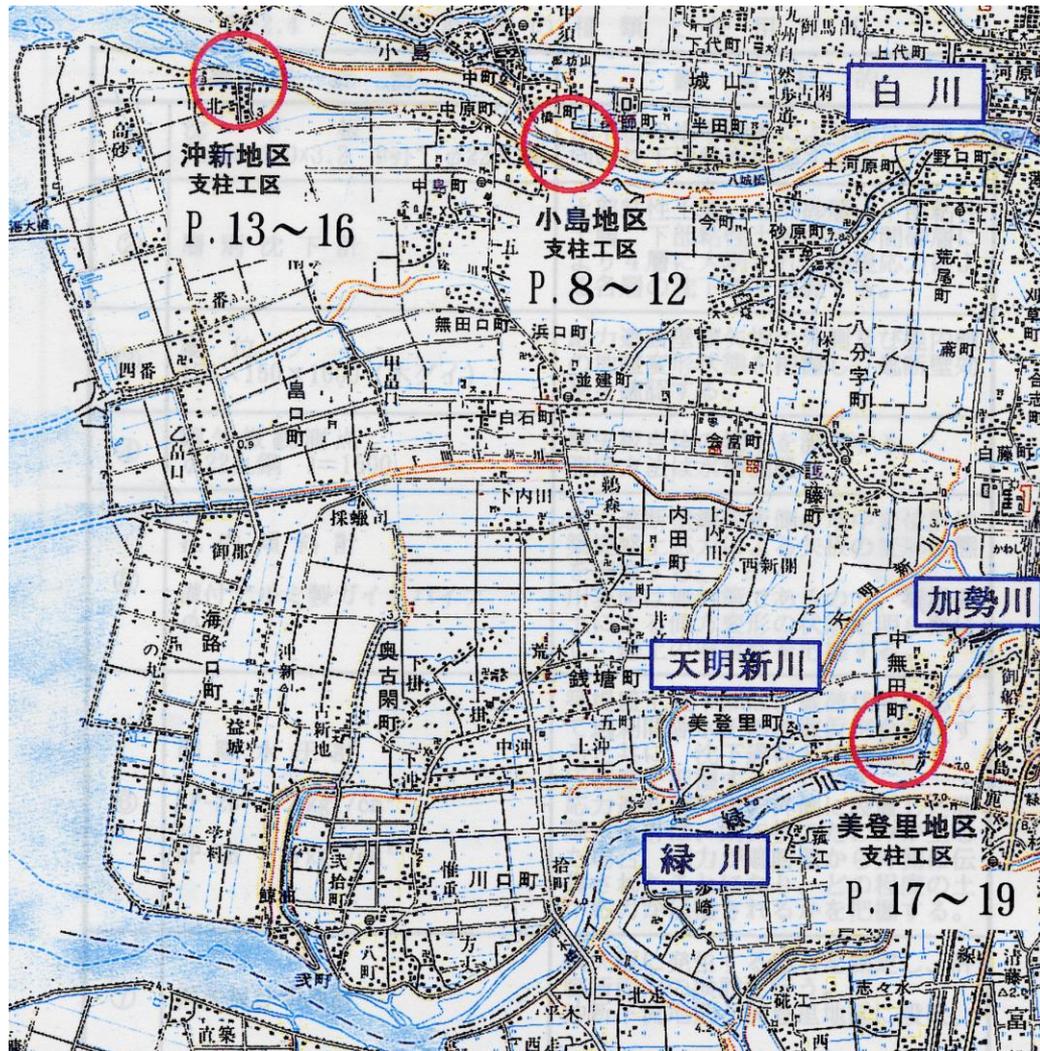
設計手順



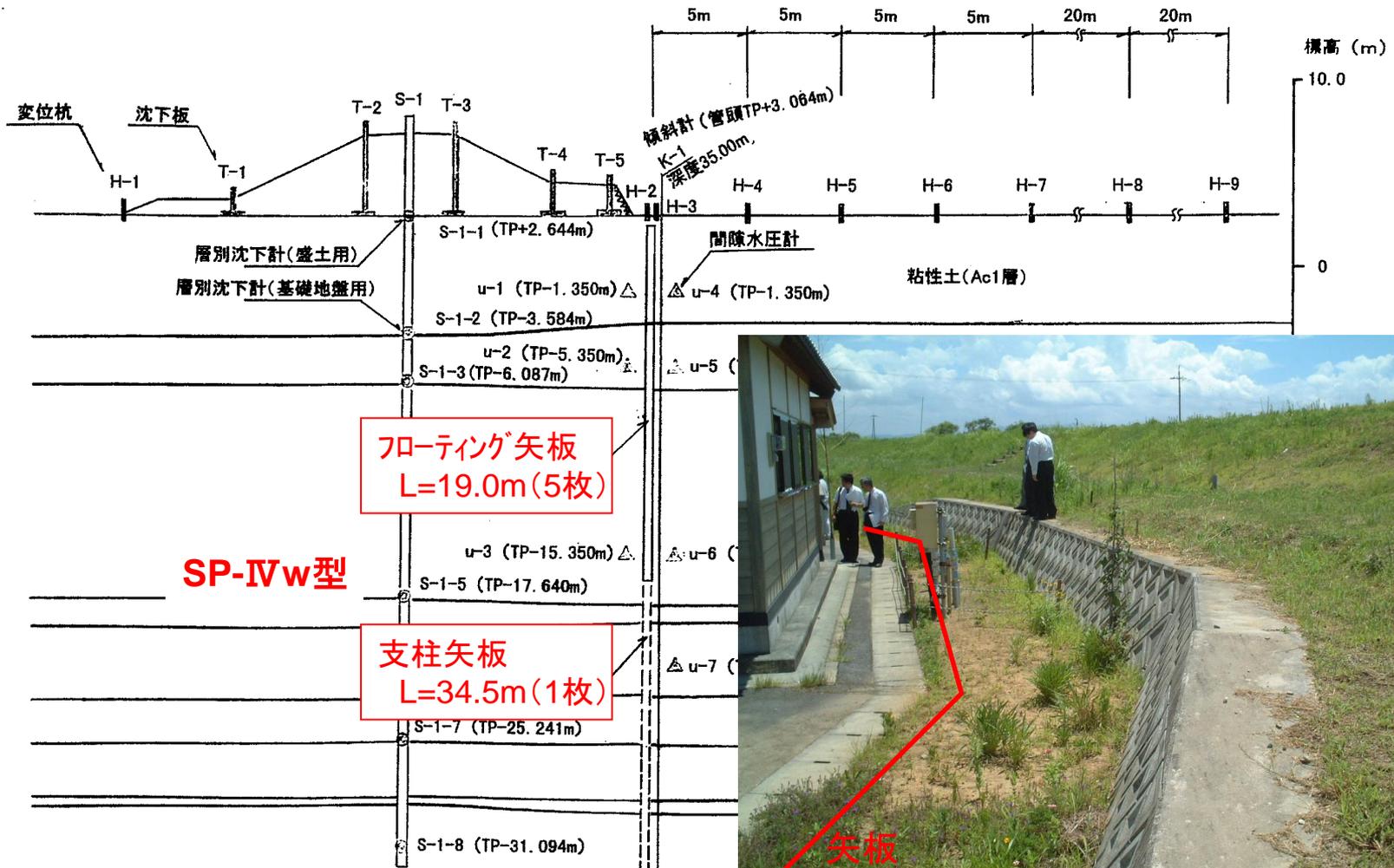
部分フローティング形式
(PFS工法)



熊本県/白川・緑川 —PFS工法施工例—



熊本県/緑川(美登里地区) PFSS工法



フーティング矢板
L=19.0m(5枚)

SP-IVw型

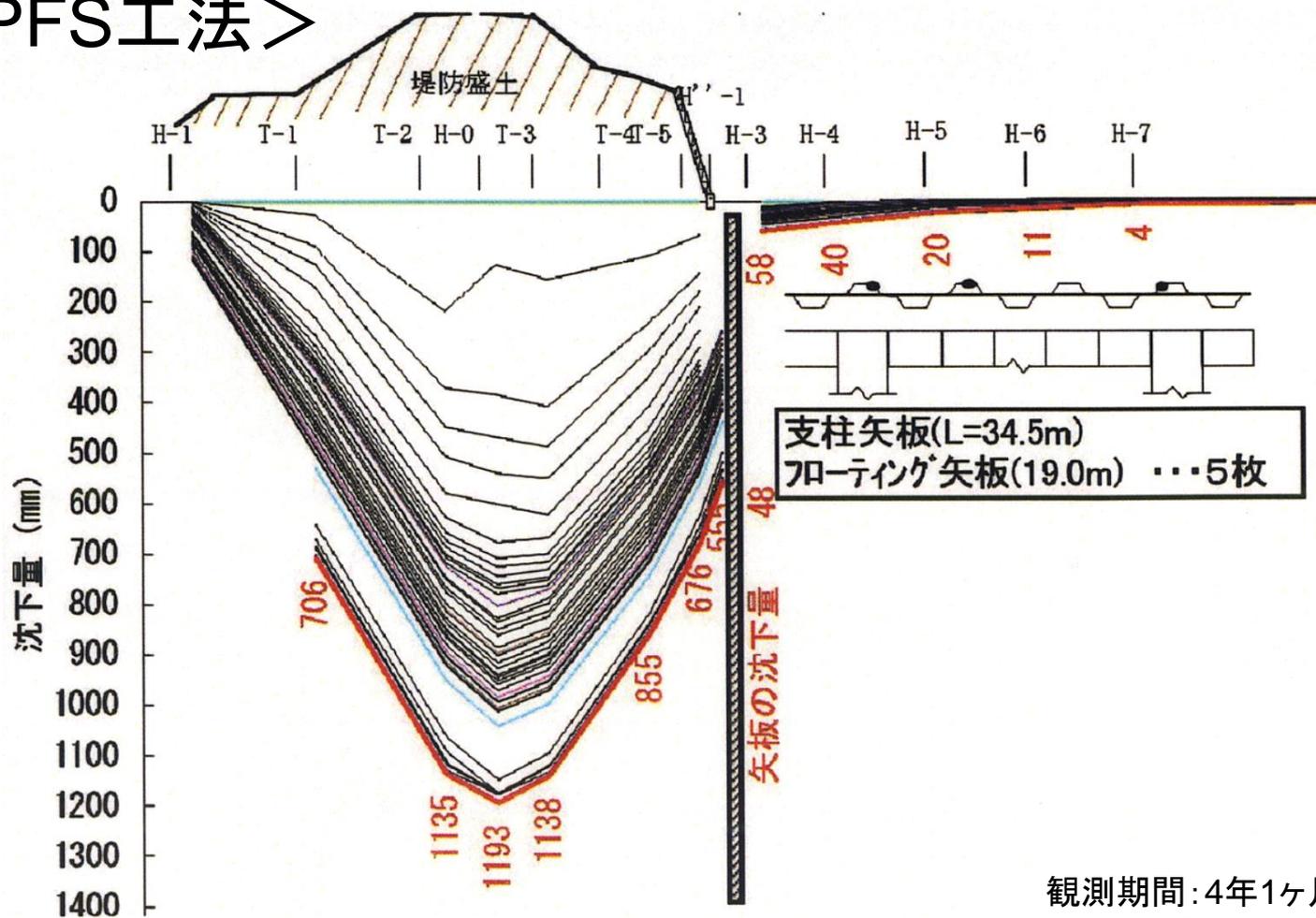
支柱矢板
L=34.5m(1枚)



矢板
打設位置

熊本県/緑川(美登里地区) 計測結果

<PFS工法>



- ・国際圧入学会での活動

PFS工法の高度化に向けて適用範囲の定量化

(1) PFS工法の適用条件としての側方流動
の定量化

(2) 地震時挙動の確認と耐震設計の考え方

IPAにおける委員会の立ち上げ

- ・鋼矢板工がこれまでの仮設工から永久構造物へ
- ・施工技術としての圧入工法の発展
- ・1995年、2011年、2016年の大規模地震の発生
- ・首都圏(**災害対策**)における社会基盤整備のニーズ
- ・PFS工法研究会の技術資料刊行から10年以上経過
- ・新技術の国際的情報発信の重要性

最終的には、
国土強靱に資する低コストで地震時でも効果が期待できる工法開発

 PFS工法を対象に活動

委員会での活動内容

委員会名：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

設置期間：3年間（2017－2019）

委員長	大谷 順	熊本大学大学院 先端科学研究部
幹事長	妙中 真治	新日鐵住金株式会社 技術開発本部 鉄鋼研究所 鋼構造研究部 地盤鋼構造GR総括
幹事	笠間 清伸	九州大学 大学院工学研究院防災地盤工学研究室 准教授
委員	石原 行博	株式会社技研製作所 圧入技術推進室 課長
委員	飛田 哲男	関西大学 環境都市工学部 都市システム工学科 准教授
委員	中井 健太郎	名古屋大学 大学院 工学研究科 土木工学専攻 准教授
委員	西岡 英俊	中央大学 教授

他、国土交通省を含めて全18名で組織

- 本委員会では、5つのWGを設定して活動
 - 1) データ収集WG: 実際の現場データの収集と解析、
 - 2) 実験WG: 遠心模型実験による検討、
 - 3) 解析WG: 数値解析による検討、
 - 4) 設計WG: 設計法についての検討、および
 - 5) 海外WG: 国際活動に関する検討である。

熊本地震における鋼矢板工法の耐震性



2016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要因分析

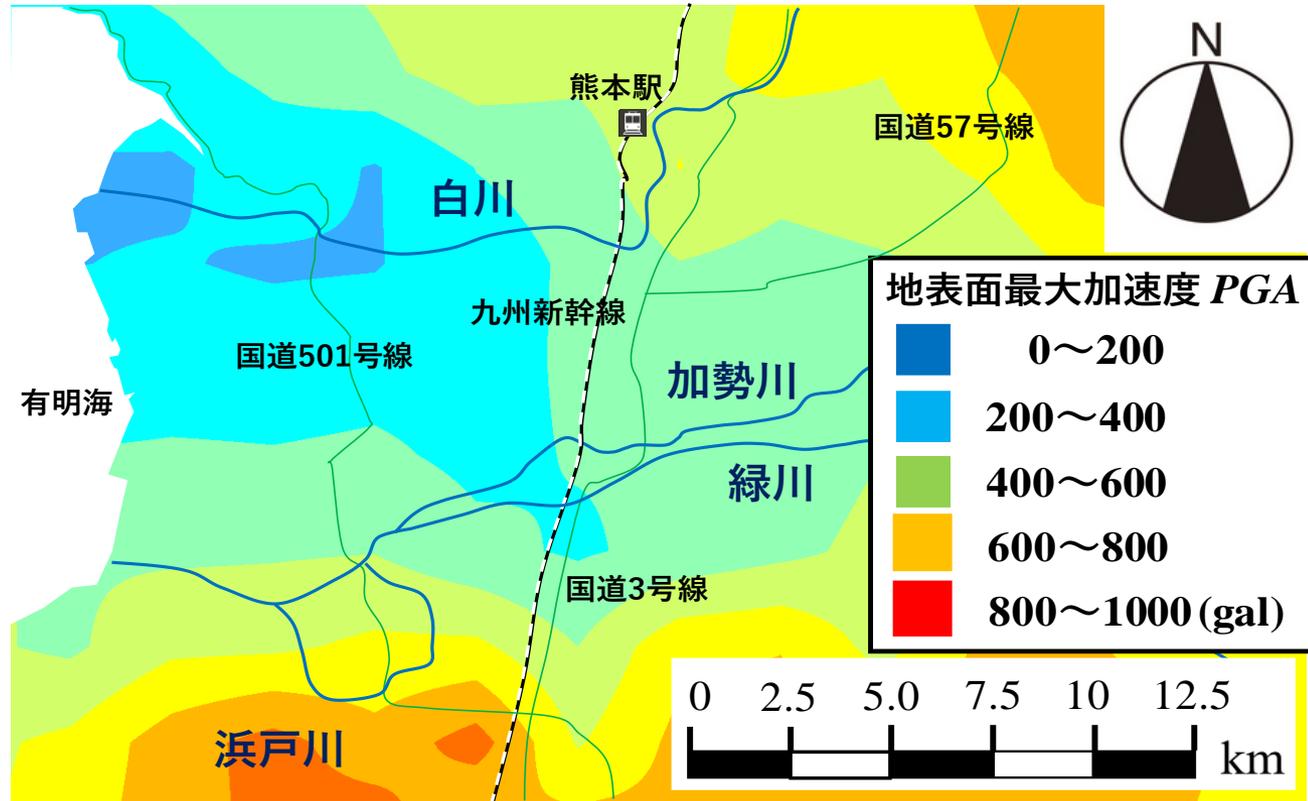
目的:

実地盤における各種鋼矢板工法の地震時の変形抑制効果を評価することを目的として、2016年熊本地震で被災した河川堤防の地震時沈下挙動を、鋼矢板工法の種類、形状、対策位置（堤内側と堤外側）と各工法の組合せなどに着目して整理し、河川堤防の堤体およびその基礎地盤の液状化に着目した沈下量の定量的な分析を実施

2016年熊本地震



4月14日にM6.5,
4月16日にM7.3



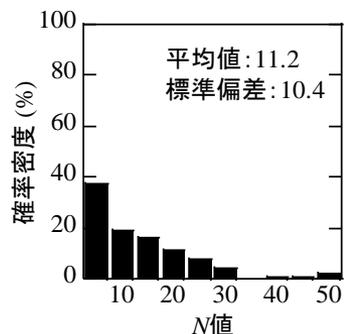
熊本平野(白川と緑川付近)での加速度分布

熊本平野の地盤条件

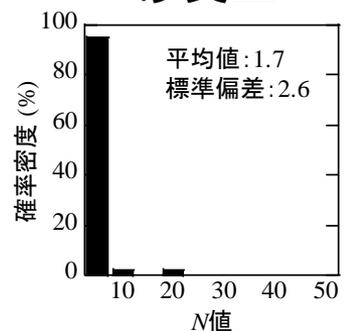
熊本県
全域土
質定数

土質	単位体積重量 γ_t (kN/m ³)			細粒分含有率 F_c (%)			平均粒径 D_{50} (mm)		
	n	μ	σ	n	μ	σ	n	μ	σ
礫質土	10	1.904	0.172	294	15.1	9.2	-	2	-
砂質土	261	1.807	0.143	1004	25.2	13.6	-	0.3	-
シルト	547	1.628	0.214	799	82.1	17.8	-	0.025	-
粘性土	284	1.496	0.109	373	93.4	11.5	23	0.016	0.009

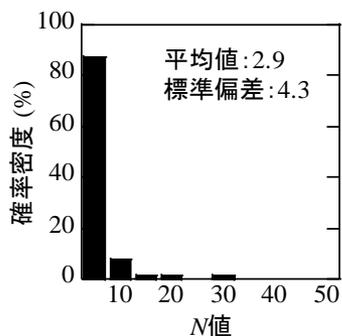
熊本県
四河川
のN値



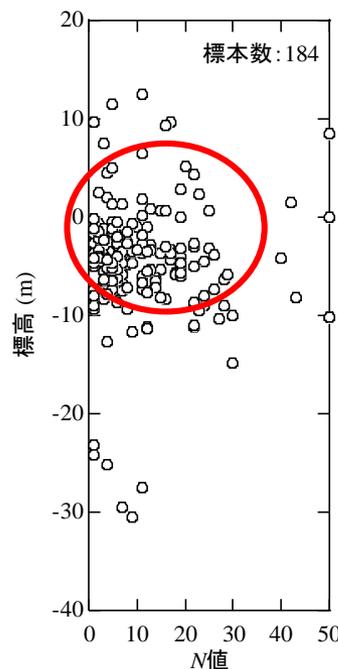
砂質土



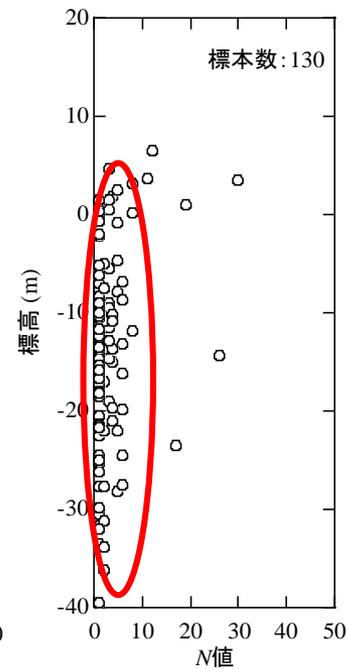
粘性土



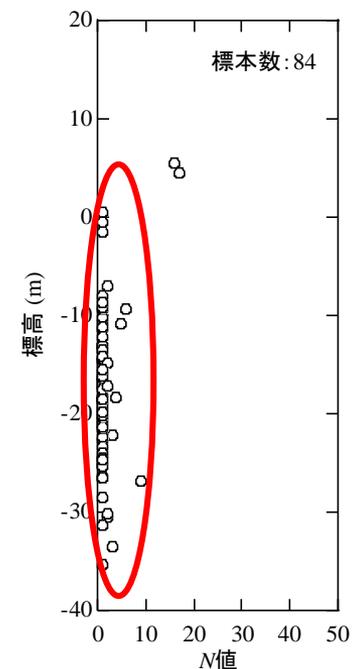
シルト



砂質土

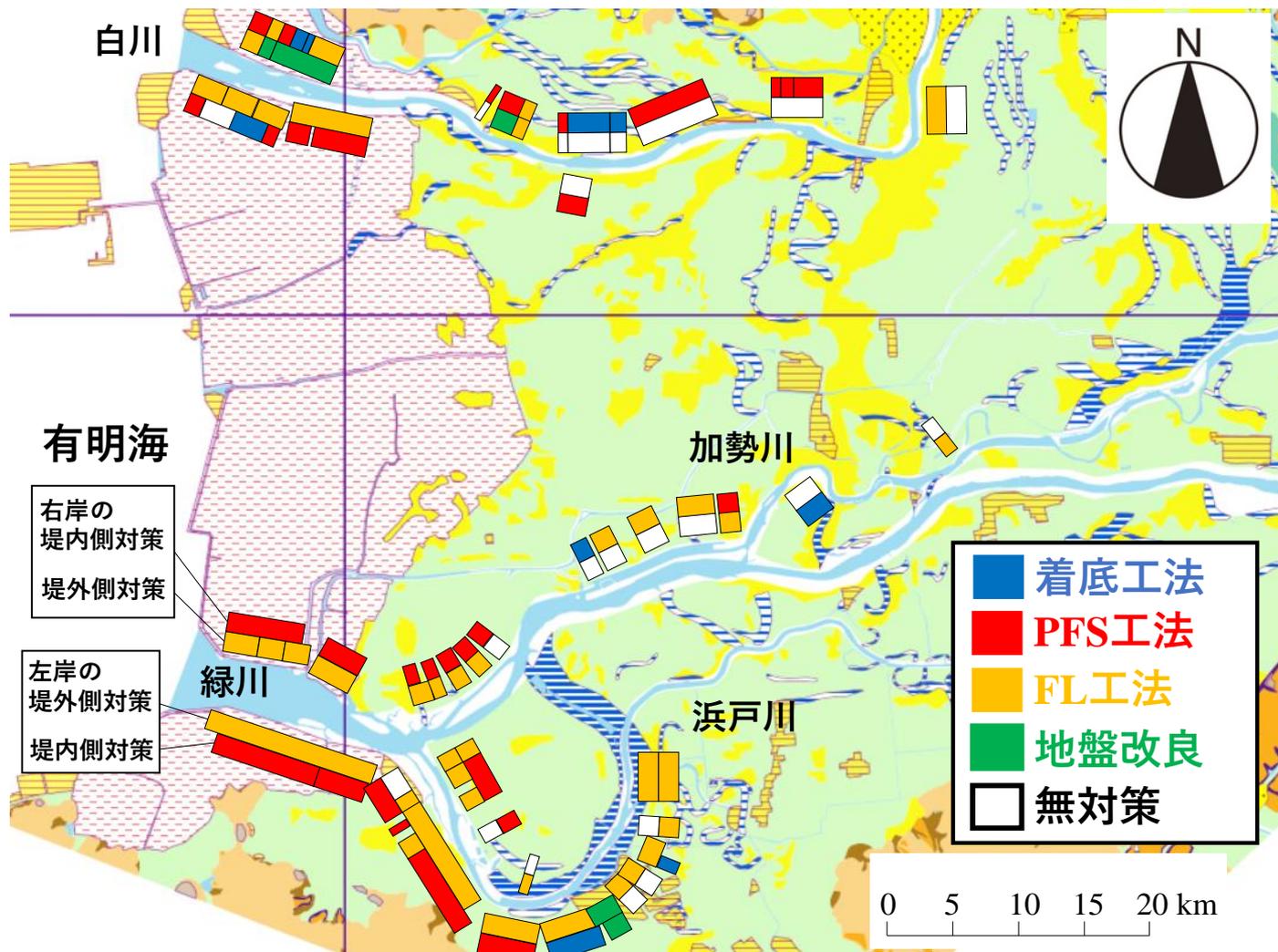


シルト



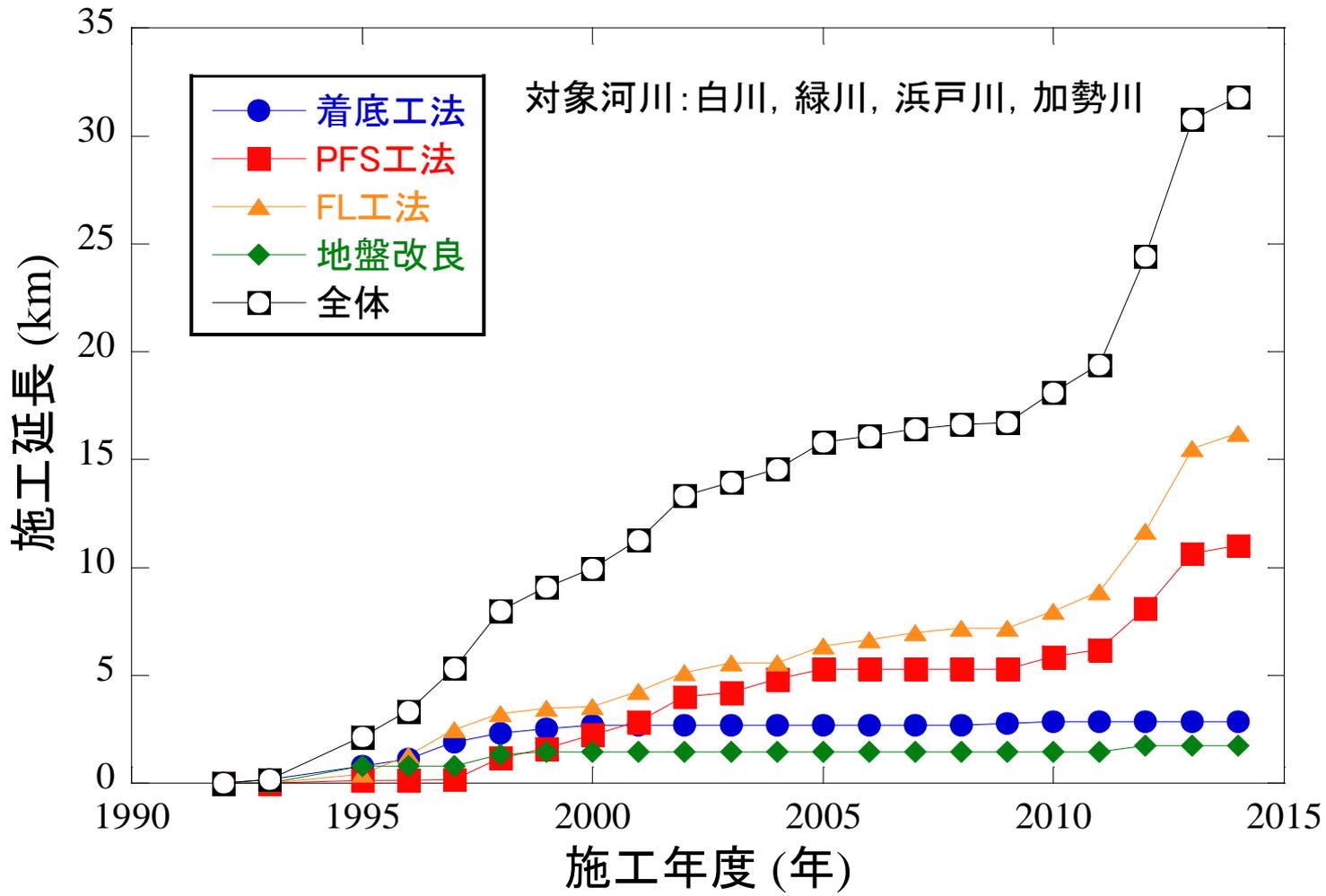
粘性土

鋼矢板工法の施工位置(工法別)

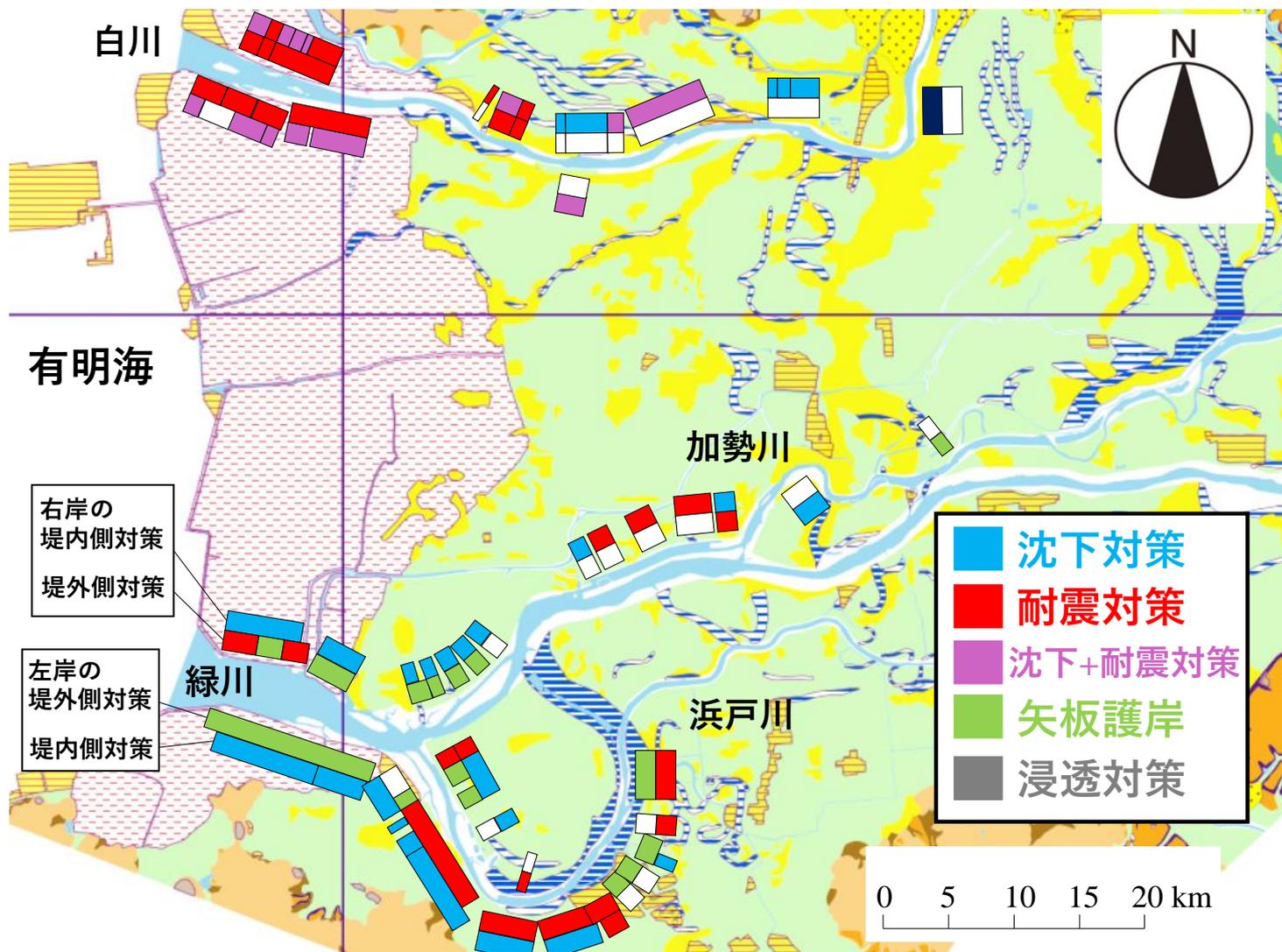


ここで、FL:フローティング

施工延長の変化(工法種別)



鋼矢板工法の施工位置(対策目的別)



白川の右岸側において、1993年頃から沈下対策および耐震対策を目的とした様々な工法（着底工法，FL工法，PFS工法および地盤改良）が試験施工的に実施。

2001年～2002年頃には、に堤内側において沈下対策を目的としたPFS工法と堤外側の耐震対策or矢板護岸整備を目的としたFL工法の組合せで施工。

- 沈下対策
- 耐震対策
- 沈下+耐震対策
- 矢板護岸
- 浸透対策

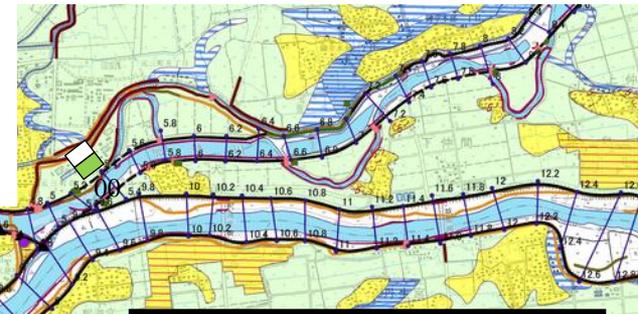
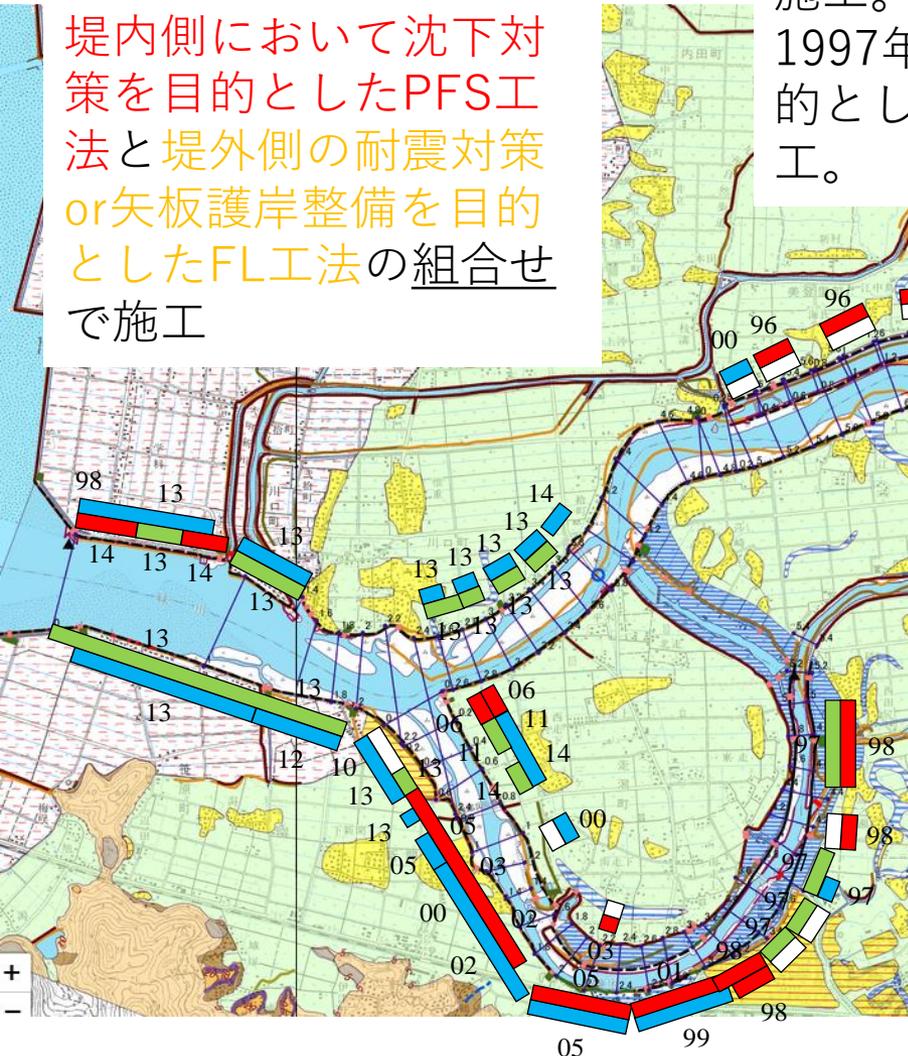
2010年に左岸側の河口付近で耐震対策としてFL工法が実施

2009年から2012年において沈下対策としてPFS工法が実施



緑川は、震災以降の2012～2014年にかけて堤内側において沈下対策を目的としたPFS工法と堤外側の耐震対策or矢板護岸整備を目的としたFL工法の組合せで施工

加勢川の右岸側において、1996年に耐震対策を目的としてFL工法が施工。左岸側において、1997年に沈下対策を目的とした着底工法が施工。

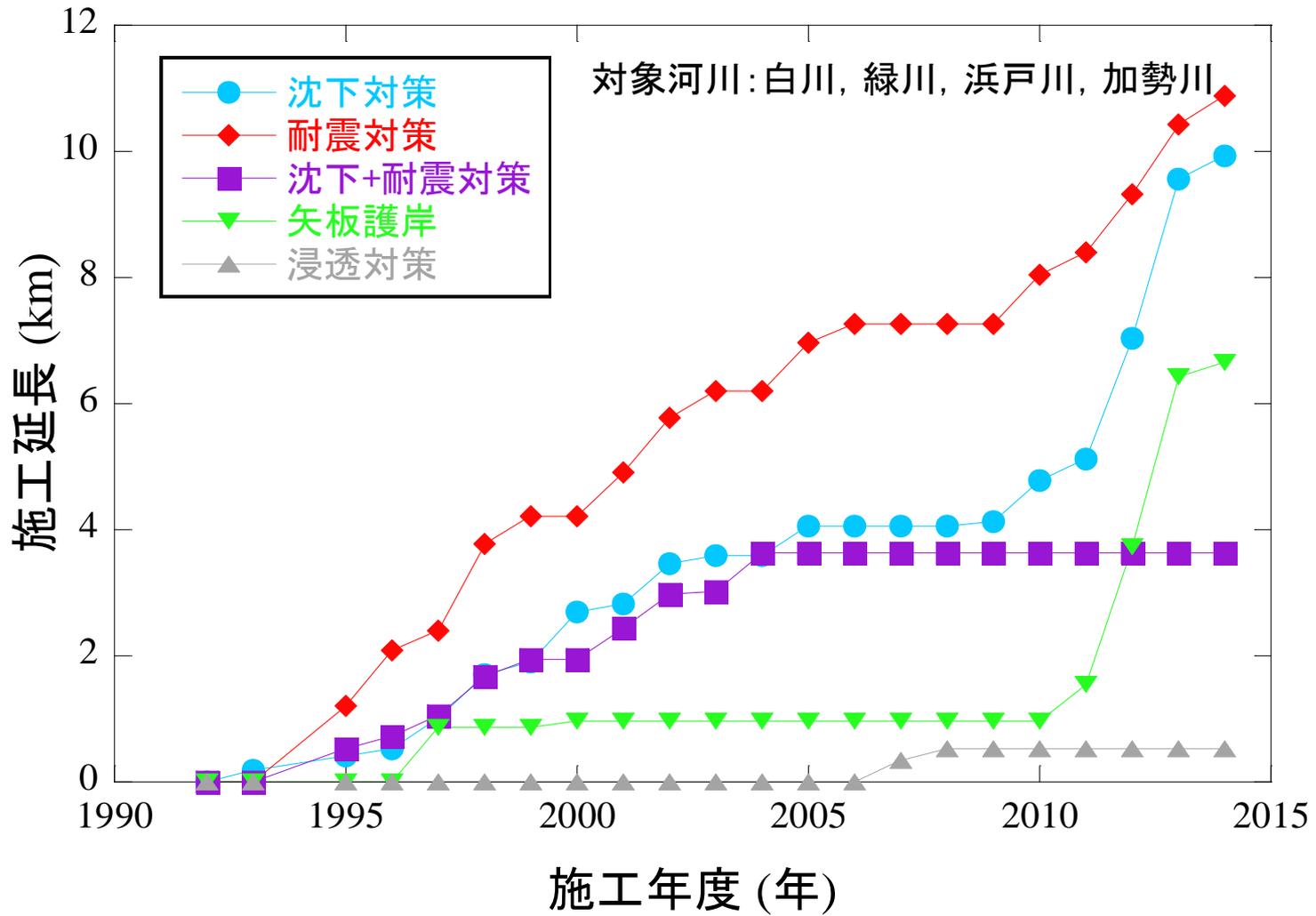


- 沈下対策
- 耐震対策
- 沈下+耐震対策
- 矢板護岸
- 浸透対策

浜戸川の左岸側において、1997年頃から沈下対策、耐震対策および矢板護岸整備を目的とした様々な工法（着底工法、FL工法、PFS工法および地盤改良）が試験施工的に実施。



施工延長の変化(対策目的別)



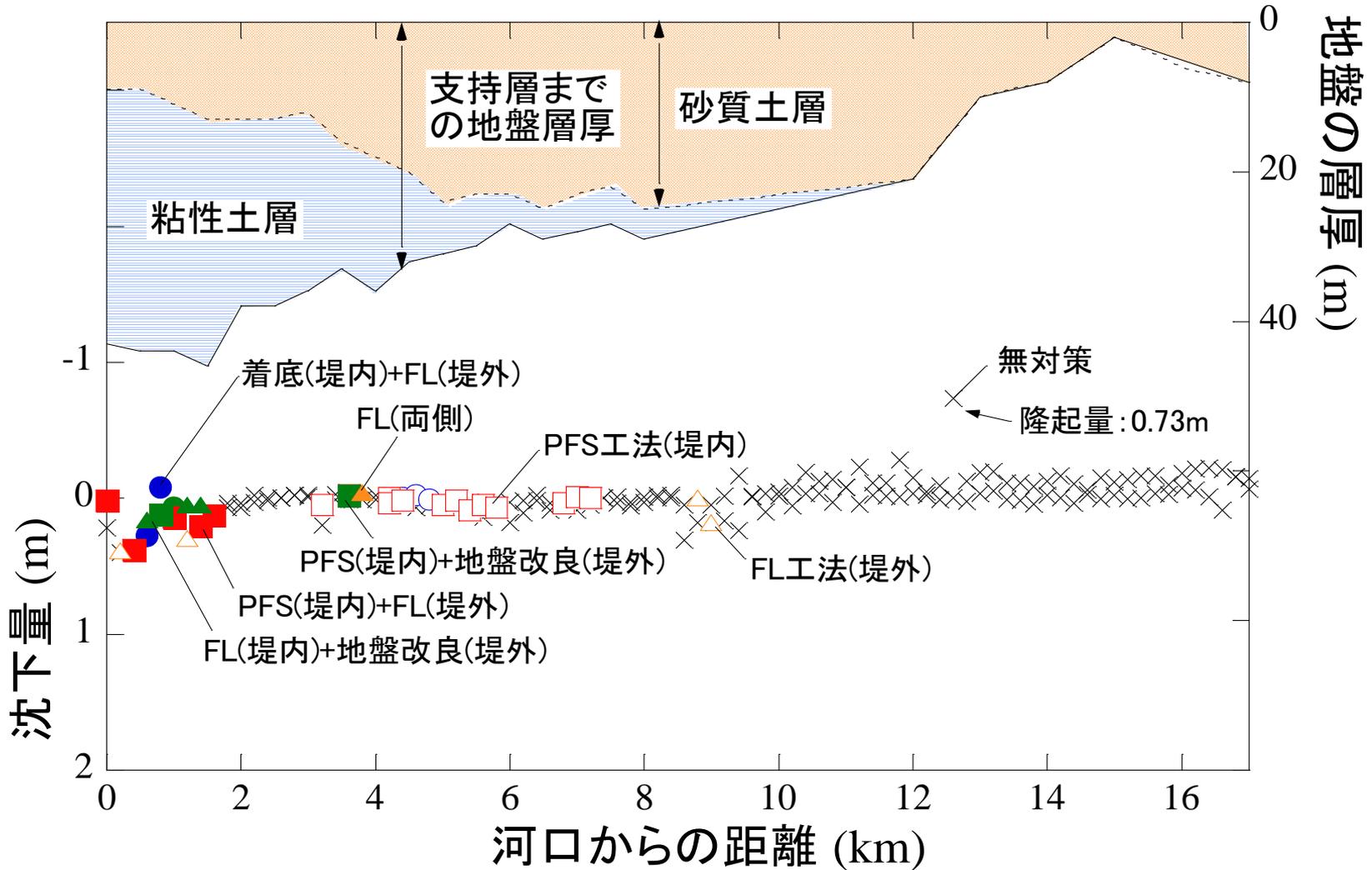
各種鋼矢板工法の矢板長さの統計値

	個 所 数	平均 値(m)	最頻 値(m)	変動 係数	最小 値(m)	最大 値(m)
着底工法	35	34.2	37	0.24	14	42
FL工法	121	14.6	15	0.41	8	30

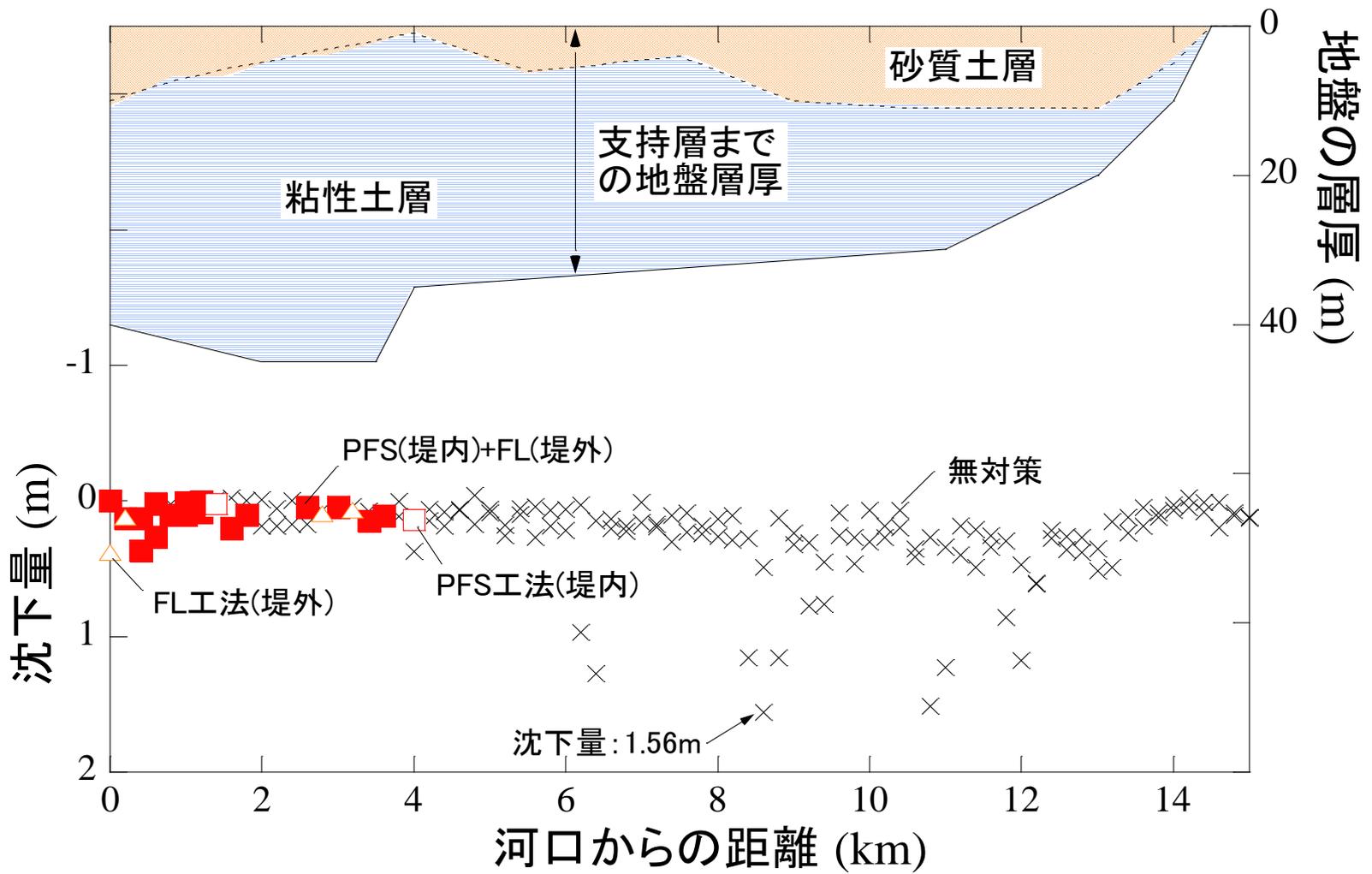
PFS 工法

着底矢板	99	38.7	40.5	0.13	28	53
FL矢板	99	25.5	25.5	0.22	11.5	36.5
矢板比	99	0.66	0.86	0.20	0.27	0.90

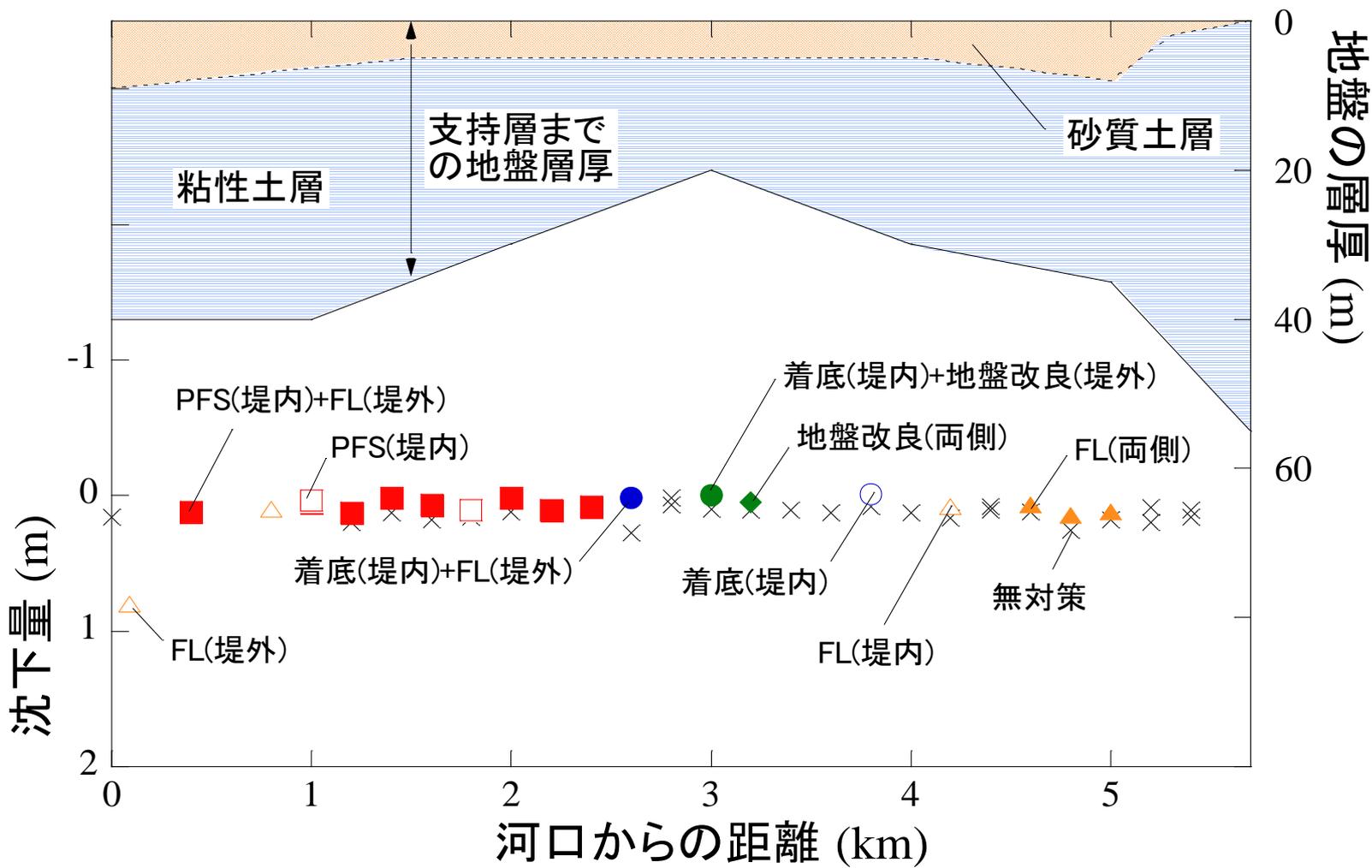
白川流域における沈下性状



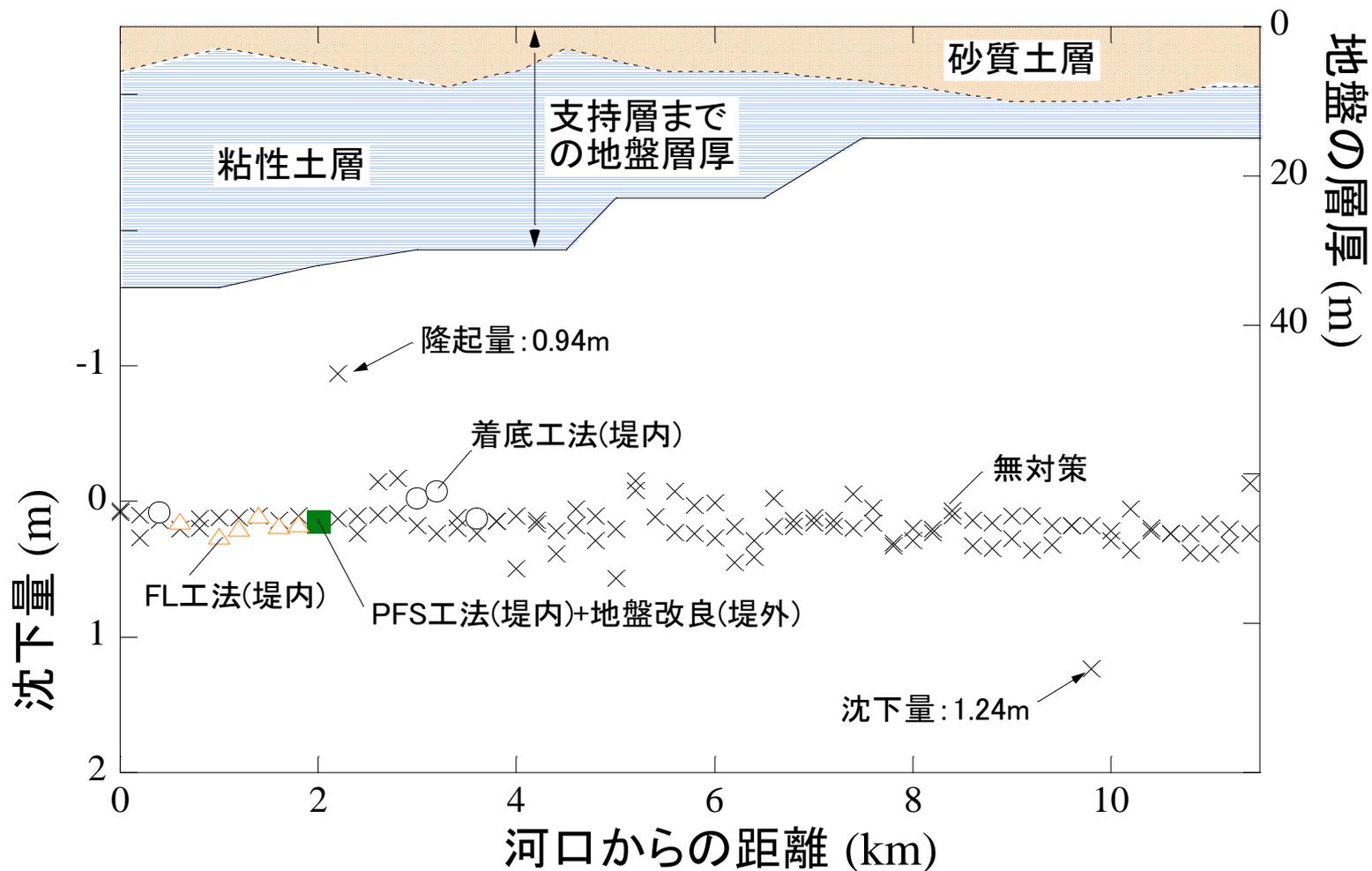
緑川流域における沈下性状



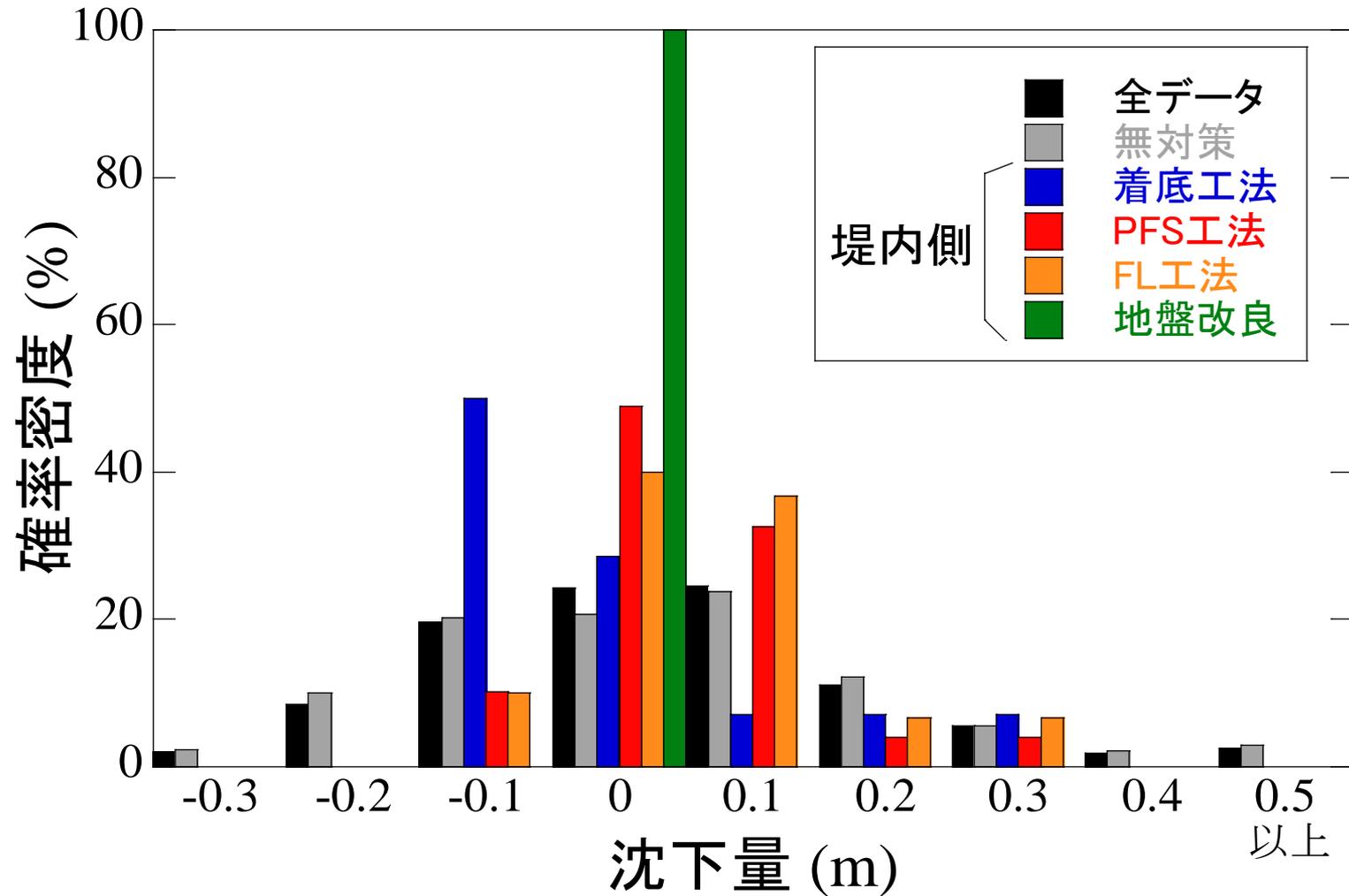
浜戸川流域における沈下性状



加勢川流域における沈下性状



沈下量の確率密度関数

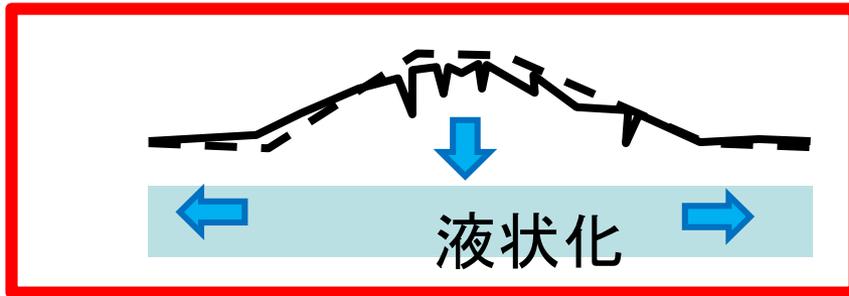


工法種別と地震時沈下量の統計値

堤内 (川裏)	堤外 (川表)	個所数	平均値 (m)	変動係数	最大値 (m)	最小値 (m)
全データ		645	0.10	2.24	1.56	-1.28
無対策		551	0.10	2.36	1.56	-1.28
着底 工法	FL工法	4	0.15	1.44	0.39	-0.08
	地盤改良	2	0.03	1.41	0.07	0.00
	無対策	8	0.01	5.06	0.13	-0.07
PFS 工法	FL工法	29	0.11	0.84	0.38	0.00
	地盤改良	3	0.08	1.09	0.15	-0.02
	無対策	17	0.04	0.90	0.14	-0.01
FL 工法	FL工法	4	0.08	1.11	0.15	-0.04
	地盤改良	3	0.09	0.73	0.16	0.05
	無対策	8	0.16	0.39	0.26	0.08
無対策	FL工法	15	0.13	1.00	0.39	-0.06
地盤改良	地盤改良	1	0.05	-	0.05	0.05
					0.38	-0.08

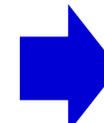
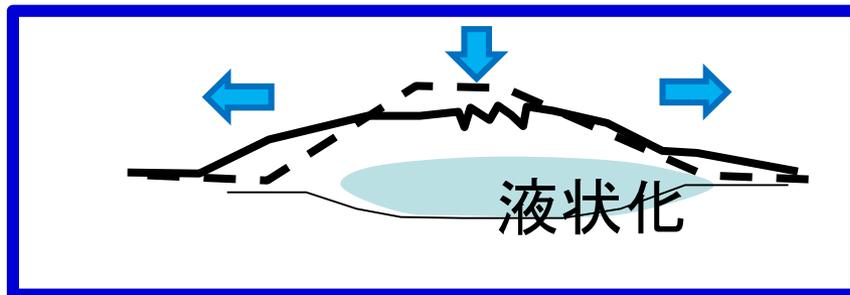
液状化についての分析

① 基礎地盤の液状化



基礎地盤の
液状化指標
(P_L, H_L, F_L)
を算出

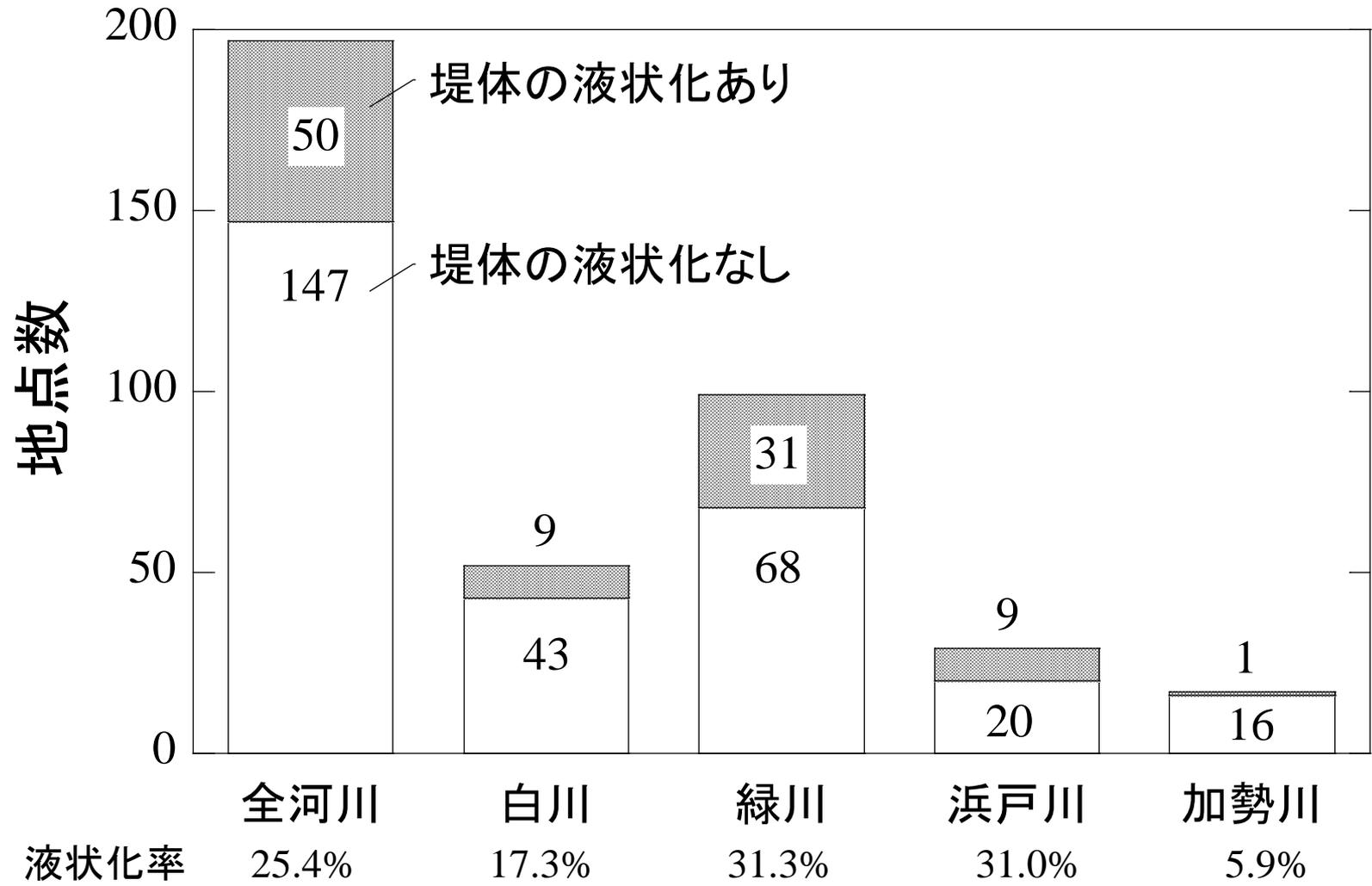
② 堤体の液状化



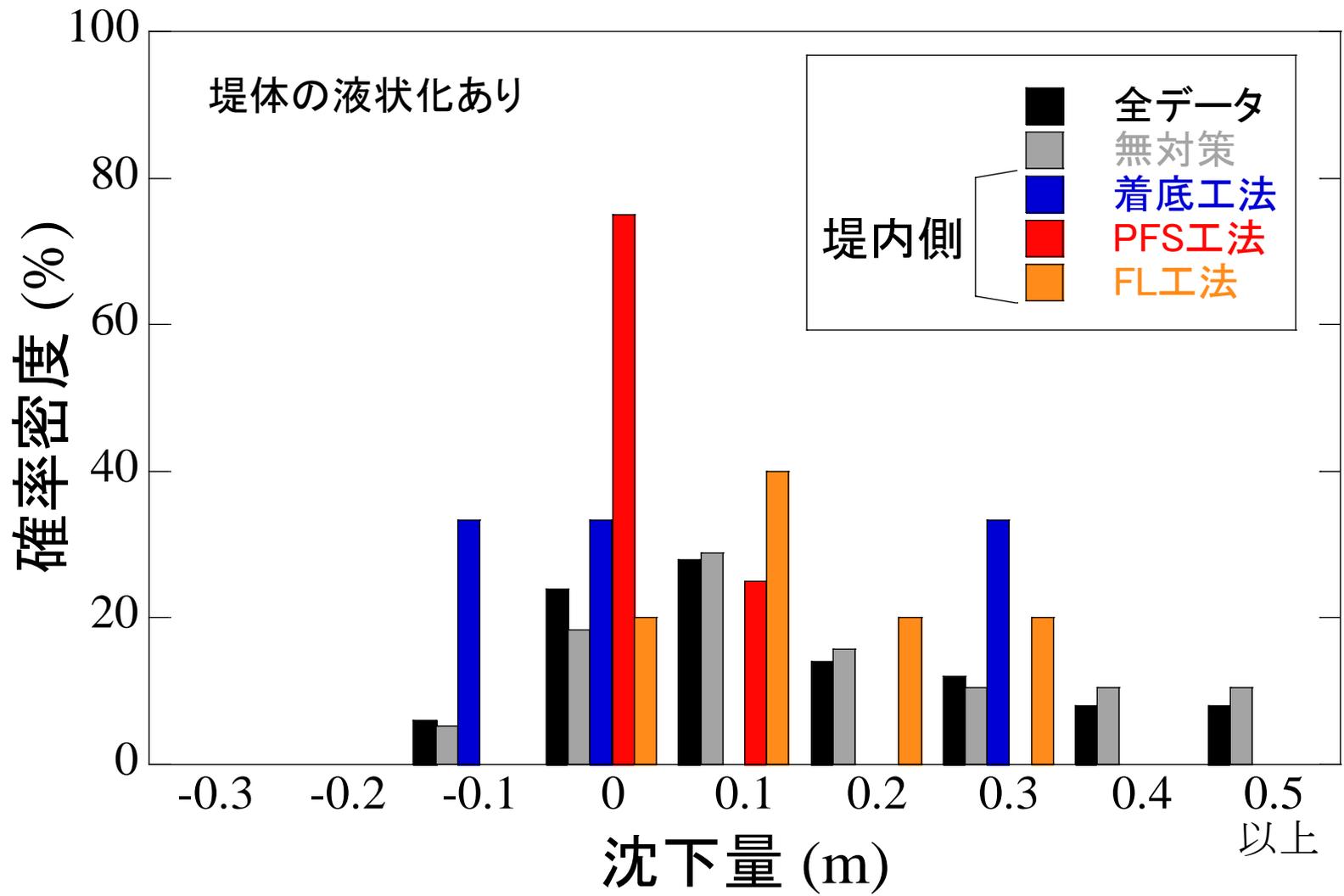
堤体の液状化
有・無
を分類

③ 基礎地盤と堤体の複合的な液状化

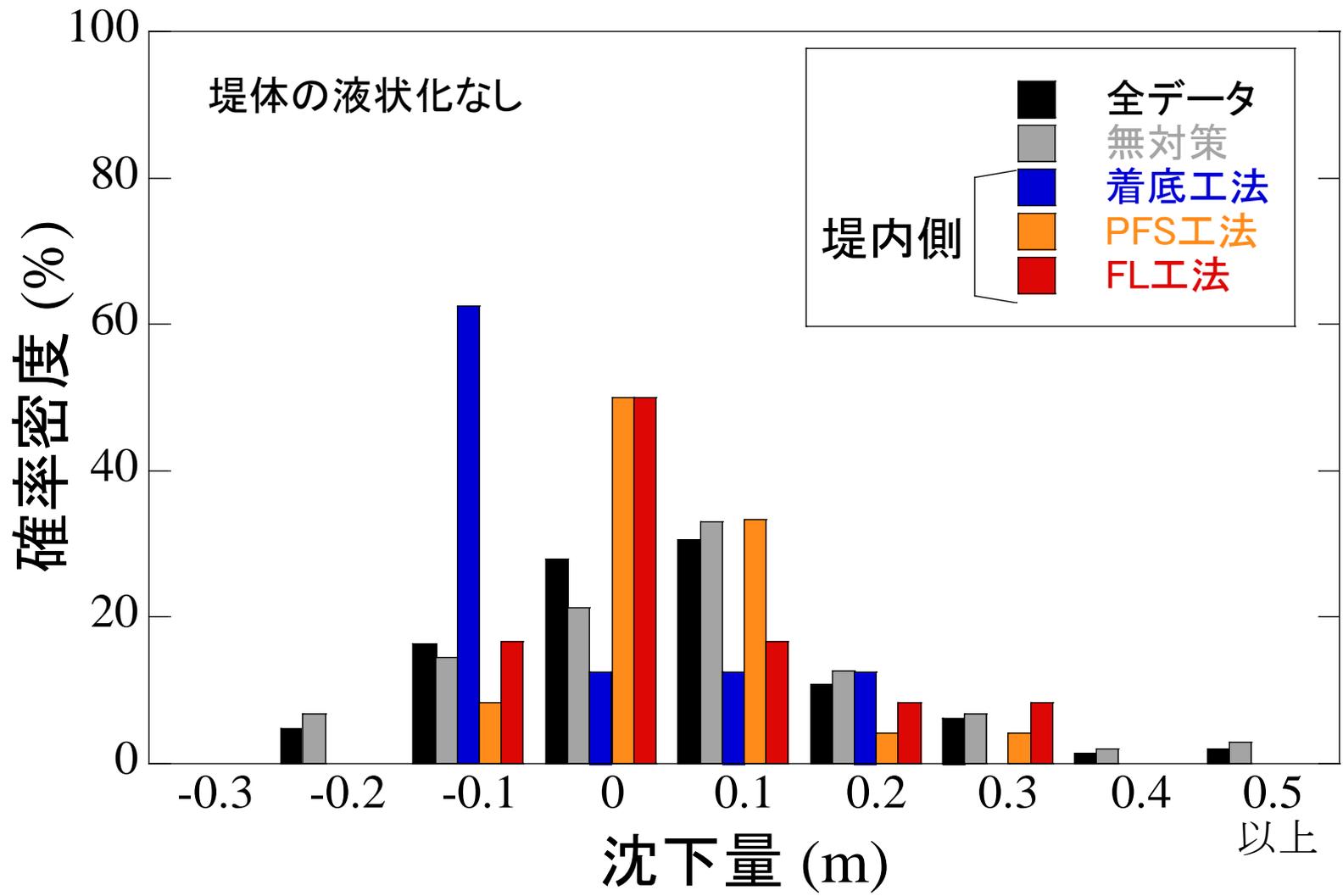
堤体の液状化判定結果



堤体の液状化ありと判定された堤防の地震時沈下量



堤体の液状化なしと判定された堤防の地震時沈下量



沈下量のまとめ

堤体の液状化あり

堤内 (川裏)	堤外 (川表)	個所 数	平均 値 (m)	最大 値 (m)	最小 値 (m)
全データ		50	0.23	1.16	-0.05
無対策		38	0.26	1.16	-0.05
着底 工法	FL工法	1	0.39	0.39	0.39
	地盤改良	0	-	0.00	0.00
	無対策	2	0.00	0.01	-0.02
PFS 工法	FL工法	3	0.02	0.02	0.02
	地盤改良	1	0.12	0.12	0.12
	無対策	0	-	0.00	0.00
FL 工法	FL工法	0	-	0.00	0.00
	地盤改良	3	0.11	0.15	0.07
	無対策	0	-	0.00	0.00
無対策	FL工法	2	0.34	0.38	0.30
地盤改良	地盤改良	0	0.00	0.00	0.00

堤体の液状化なし

個所 数	平均 値 (m)	最大 値 (m)	最小 値 (m)
147	0.13	1.56	-0.20
103	0.15	1.56	-0.20
2	0.10	0.28	-0.08
2	0.03	0.07	0.00
4	0.01	0.13	-0.07
14	0.12	0.37	0.01
2	0.06	0.15	-0.02
8	0.05	0.11	0.00
1	-0.04	-0.04	-0.04
2	0.05	0.05	0.05
3	0.16	0.26	0.08
6	0.11	0.39	-0.06
0	0.00	0.00	0.00

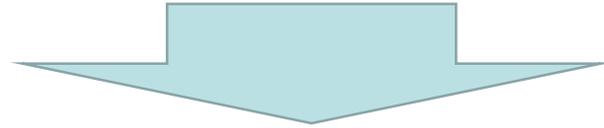
- 堤体の液状化が地震時沈下量の大きく影響する。
- 着底工法とPFS工法については、無対策堤防と比較して、堤内側を着底工法で補強した場合は沈下量を7~67%に、堤内側をPFS工法で補強した場合には33%~80%に低減していることがわかった。

熊本地震でのまとめ

- 無対策区間における河川堤防の沈下量は-1.28～1.56m以上の幅広い範囲に分布するのに対し、各種の鋼矢板工法で補強した河川堤防の沈下量は-0.08～0.39mの範囲に集中することから、鋼矢板工法が地震時沈下量の低減に有効であることを示唆する。
- 河川堤防の堤体の液状化率（堤体が液状化すると判定された地点を全体の液状化判定地点の数で割ったもの）は4河川全体で25.4%、白川、緑川、浜戸川および加勢川の堤体の液状化率は、それぞれ17.3%、31.3%、31.0%および5.9%となった。緑川と浜戸川での堤体の液状化が大きい結果となった。

最後に

堤体が液状化しない場合においては、鋼矢板による補強により平均沈下量は無対策区間よりも小さくなり、地震時の沈下挙動に対して鋼矢板による補強が有効であった。特に、無対策堤防と比較して、堤内側を着底工法で補強した場合は7～67%に、堤内側をPFS工法で補強した場合には33%～80%に地震時沈下量を低減していることがわかった。



- ・鋼矢板工法は地震時において有効
- ・地震時対策としては両岸において利用
- ・PFS工法は加えて経済的かつ施工性が向上