

---

第14回 IPA 圧入工学セミナー in 金沢 2024

～能登半島地震からの復興・災害対策～

# 地震・豪雨に対する鋼矢板を用いた 河川堤防強化技術について

2024年10月9日

一般社団法人 鋼管杭・鋼矢板技術協会

河川堤防小委員会 乙志 和孝

---

## 本日の発表内容

1. 国土交通省の河川堤防に関する技術検討会等の動き

2. 鋼矢板を用いた堤防補強技術

3. 実験による検証

4. 設計手順・試設計例

5. 採用事例・現地調査例

---

## 本日の発表内容

1. 国土交通省の河川堤防に関する技術検討会等の動き

2. 鋼矢板を用いた堤防補強技術

3. 実験による検証

4. 設計手順・試設計例

5. 採用事例・現地調査例

# 1. 国土交通省の河川堤防に関する技術検討会等の動き

【令和元年台風19号での堤防の決壊】

<国管理河川> 12箇所

■ 3地整5堤防調査委員会 [2019/10~2019/12]

- ・東北地整：阿武隈川上流，鳴瀬川水系(吉田川)
- ・関東地整：荒川水系(都幾川・越辺川)，那珂川水系久慈川
- ・北陸地整：千曲川

■ 令和元年台風第19号の被災を踏まえた河川堤防に関する技術検討会〔第1回:2020/2/14, 第2回:3/25, 第3回:6/12〕

各堤防調査委員会の報告を受け、今後の堤防強化の方向性を検討

社会資本整備審議会 河川分科会

■ 気候変動を踏まえた水災害対策検討小委員会

〔第1回:2019/11/22, 第2回:2020/1/17, 第3回:3/17, 第4回:5/26, 第5回:6/26〕

産学官が共同で技術研究開発を実施する体制を構築し、さらなる堤防強化に向けた開発を実施すべきであると答申された。(2020年7月)

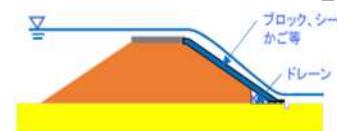
■ 河川堤防の強化に関する技術検討会(2022年5月20日)

「粘り強い河川堤防」の新技术評価指針が公表され、自立型の補強方法として鋼矢板二重壁が掲載。さらに今後の産官学での共同検討体制案も提示された

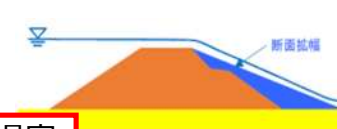
- 「緊急的な河川堤防の強化方策の方向性(案)」と「対策工法の検討(案)」を提示
- 民間技術の調査のため関係業界団体(15団体)への意見聴取⇒14団体から81件の提案

検討の対象とする工法(案)

「表面被覆型」

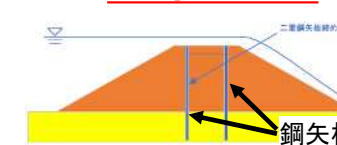


「断面拡幅型」



鉄鋼業界からの提案

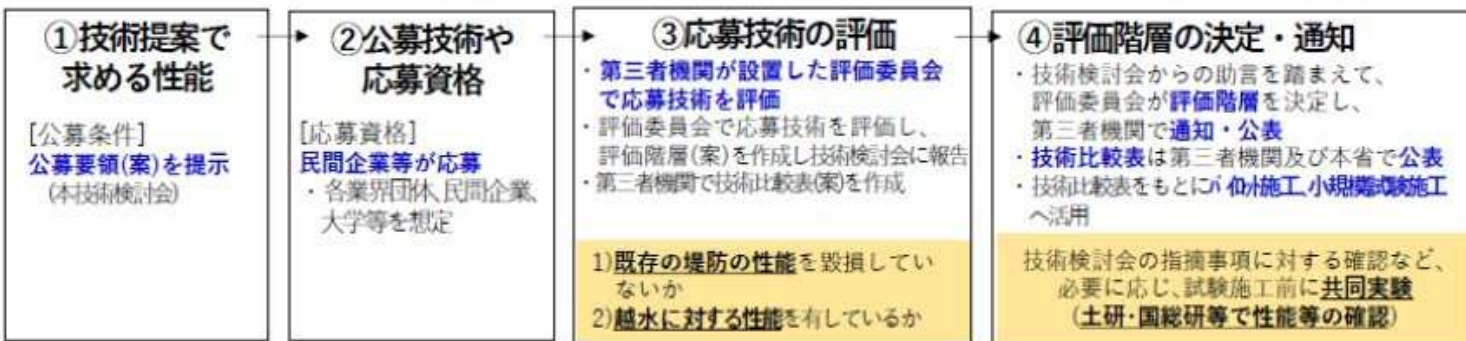
「一部自立型」



出展: 国土交通省 第五十七回 河川分科会配布資料

## ◆2023年3月 越水に対して「粘り強い河川堤防に関する技術」の公募開始

- 提出された応募資料に基づき、越水に対して「粘り強い河川堤防」の技術の評価を行うとともに、評価した技術について、個々の技術の特徴を明らかにした「**技術比較表**」を作成し公表する。
- 技術比較表は、**工事発注に際して発注者が各技術の比較検討に活用**できるようにするものであり、**パイロット施工**への活用を想定している。

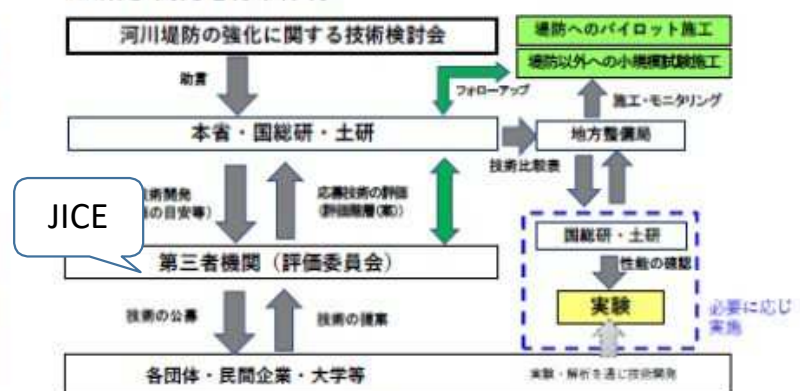


### 【河川堤防の強化に関する技術検討会】



技術検討会の様子(令和4年5月20日)

### ■研究・開発を行う体制



※今後の技術開発状況等を踏まえ、将来変更されることがある

### 公募の対象技術

- |             |        |
|-------------|--------|
| ○表面被覆型      | [募集対象] |
| └─ ブロック …   | ○※1    |
| └─ シート …    | ○※2    |
| └─ かご工 …    | ○※3    |
| └─ As舗装 等 … | ○※3    |
| ○自立型        |        |
| └─ 鋼矢板 …    | ○※4    |
| └─ Co擁壁 等 … | ○※4    |
| ○その他構造 …    | ○※5    |

- ※1：表面被覆型の法面に「吸出し防止材+コンクリートブロック」を用いた工法のうち、国総研等の技術資料(案)に沿った方法で構造検討が可能な工法は、技術提案を求めない。
- ※2：河川堤防の表面被覆型としての実績はあるが、現時点で越水に対する性能は確認できていない構造である。
- ※3：越流堤などで実績はあるが、河川堤防での実績や知見の蓄積が少ない。
- ※4：自立式特殊堤の実績はあるが、越水に対する性能に関して実績や知見の蓄積がない。
- ※5：これまでに土堤でその他構造を実施している実績や知見がない

<出典:「河川堤防の強化に関する技術検討会」(国土交通省)

[https://www.mlit.go.jp/river/shinngikai\\_blog/teibou\\_kentoukai/dai01kai/index.html](https://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/teibou_kentoukai/dai01kai/index.html) を基に複製・引用 >

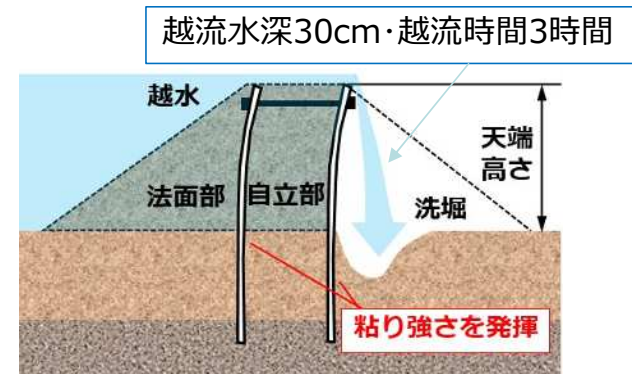
## ◆技術提案に求められる性能

### ①既存の堤防の機能を毀損しないこと

- 堤防に求められる基本的な機能
- 設計に反映すべき事項
- 設計にあたって考慮すべき事項

### ②越水に対する性能を有すること

越流水深30cm・越流時間3時間の越水に対する性能を維持している状態を実験、実験で検証された手法による解析のいずれかで確認



#### 【堤防に求められる基本的な機能】

- 常時の健全性を有する構造
- 計画高水位以下の浸透に対する安全性
- 地震動の作用に対する安全性
- 波浪等に対する安全性
- 基本的機能を長期的に維持できる構造

#### 【設計に反映すべき事項】

- 不同沈下に対する修復容易性
- 基礎地盤と堤体の一体性・なじみ
- かさ上げ、拡幅の機能増強の容易性
- 損傷した場合の復旧容易性
- 基礎地盤・堤体構造の不確実性に対する安全性

#### 【設計にあたって考慮すべき事項】

環境及び景観の調和／事業実施による地域への影響／公衆の利用維持管理の容易性／経済性／建造物の耐久性／施工性

#### 【越水に対する粘り強い性能を有する構造であること】

- 越水に対する粘り強い性能を有する構造
- 決壊までのプロセス・破壊の変状連鎖図
- 信頼性（技術の熟度等）
- 越水性能を有する構造とするための施工上の留意点
- 越水性能を維持するための維持管理上の留意点

構造安全性に関する検討【本パートで報告】

長期健全性の確保に関する取組み【次パート】

## 【論点】 評価階層（案）

○**応募技術**は、評価の基本的な考え方に基づき、①既存の堤防の性能を毀損しないこと、②越水に対する性能を有することについて**評価し、A～Dの「評価階層」で評価の分類を行う。**

評価階層	①既存の堤防の性能を毀損しないこと		②越水に対する性能を有していること	技術の活用先
	計画高水位以下の安全性	設計に反映・考慮すべき事項		
分類A	土堤と同等以上	土堤と同等以上	有している	堤防 (全国展開)
分類B	土堤と同等以上	技術に <b>改善の余地あり</b> 技術開発の継続が望まれる	実験結果等で確認しており、 現地での不確実性等が残る	堤防 (優先的に施工すべき区間に活用)
分類C	技術に <b>改善の余地あり</b> 技術開発の継続が望まれる	技術に <b>改善の余地あり</b> 技術開発の継続が望まれる	実験結果等で確認しており、 現地での不確実性等が残る	盛土 (構造令適用外の区間で試験)
分類D	技術に課題あり	技術に課題あり	技術に課題あり	なし (活用しない)

※実験又は実験により検証された手法による解析

### 【評価階層のイメージ】



<出典:「河川堤防の強化に関する技術検討会」(国土交通省)

[https://www.mlit.go.jp/river/shinngikai\\_blog/teibou\\_kentoukai/dai01kai/index.html](https://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/teibou_kentoukai/dai01kai/index.html) を基に複製・引用 >

**[R4技術公募審査結果]** (※2024年6月結果公表)

・**鋼矢板二重壁工法の評価は「C分類」** → **小規模試験施工へ移行**

- ・全16工法中、B分類=4工法(表面被覆型、河川堤防で実績有) ※A分類は無し  
C分類=1工法(**自立型**、鋼矢板二重壁)

評価階層	② 既存の堤防の性能を毀損しないこと		②越水に対する性能を有していること
	計画高水位以下の安全性	設計に反映・考慮すべき事項	
分類 A	土堤と同等以上	土堤と同等以上	有している
分類 B	土堤と同等以上	土堤と同等とはいえないが、改善の余地があり、技術開発の継続が望まれる	実験結果等※で確認(現地での不確実性等が残る)
分類 C	土堤と同等とはいえないが、改善の余地があり、技術開発の継続が望まれる	土堤と同等とはいえないが、改善の余地があり、技術開発の継続が望まれる	実験結果等※で確認(現地での不確実性等が残る)
分類 D	技術に課題あり	技術に課題あり	技術に課題あり

※実験または実験により検証された手法による解析



---

## 本日の発表内容

1. 国土交通省の河川堤防に関する技術検討会等の動き

2. 鋼矢板を用いた堤防補強技術

3. 実験による検証

4. 設計手順・試設計例

5. 採用事例・現地調査例

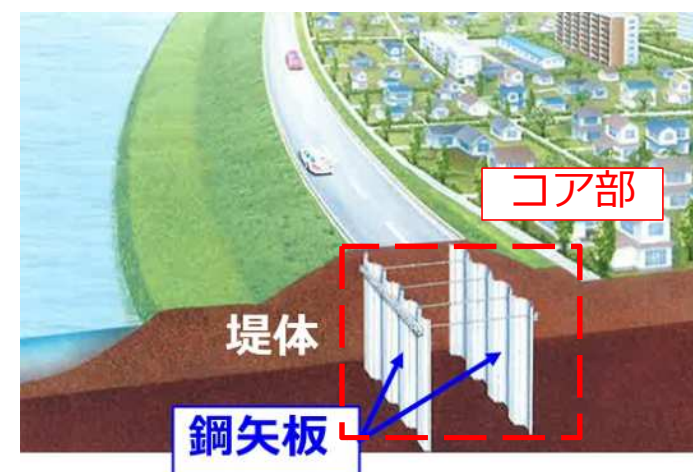
## 2. 鋼矢板を用いた補強技術

	無対策	対策後
基盤漏水		
越水・堤体漏水		<p style="color: red; border: 2px solid red; padding: 5px;">鋼矢板二重壁を用いた補強</p>
液状化		<p style="color: yellow;">堤防高確保</p>

## ◆鋼矢板二重壁による補強技術の特徴

堤体内に鋼矢板を打設，支持地盤へ根入れすることにより，  
構造的に堅固なコアを形成する構造

- ・ **コア部により堤防高さを保持、重要箇所の破堤防止**
- ・ **洪水時・地震時等の様々な外力条件に対応**
- ・ 法線方向に連続した構造
- ・ 耐用年数の設定に応じた寿命設計が可能
- ・ 景観・自然環境への配慮が可能
- ・ **新たな用地確保が不要、省スペース施工**
- ・ 安定した品質の補強を短工期で実現



---

## 本日の発表内容

1. 国土交通省の河川堤防に関する技術検討会等の動き

2. 鋼矢板を用いた堤防補強技術

**3. 実験による検証**

4. 設計手順・試設計例

5. 採用事例・現地調査例

### 3-1.実験による検証結果概要

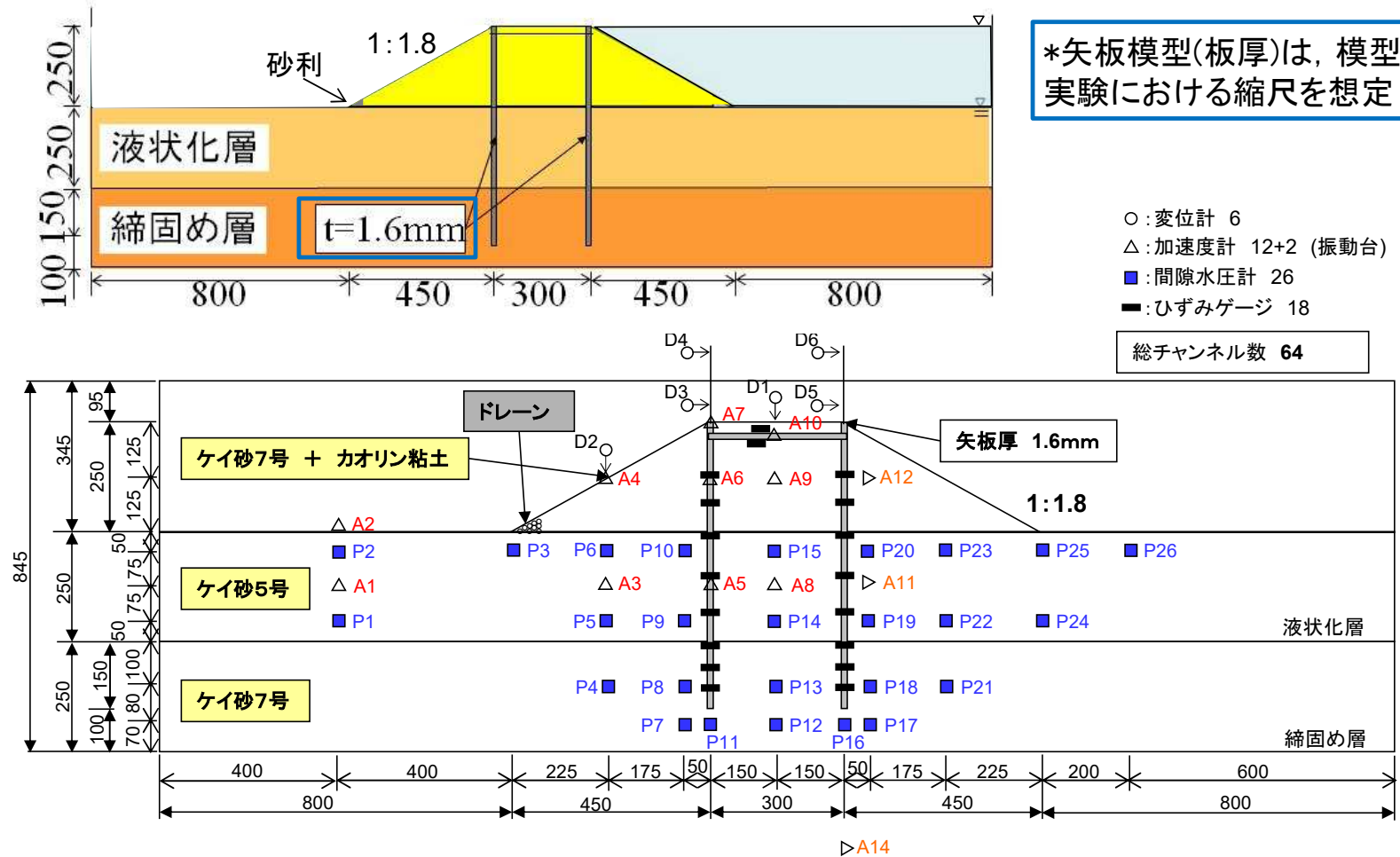
下記の被災状況を想定した実験を実施。

①～③で補強効果が十分に発揮されることを確認した。

	想定した被災状況	検証方法	試験ケース	結果概要
①	越流または越波	模型土層での越水試験 (縮尺1/25程度)	補強なし 補強あり	・鋼矢板二重壁により天端高さが保持され、補強なしの場合に生じていた「天端の低下→越流量の増加→破壊の促進」が防止される。
②	地震(液状化)	模型土層を振動台により加振 (縮尺1/25程度)	補強なし 補強あり	・大地震時において、堤防下の地盤の液状化に対しても、鋼矢板二重壁と矢板内の地盤により、堤防の天端高さを保持される。
③	洪水&地震(液状化)複合作用	模型土層での浸透試験後、振動台による加振と越水試験 (縮尺1/30程度)	補強なし 補強あり	・鋼矢板二重壁により基盤漏水までの時間が延びる。 ・加振後、越水後ともに鋼矢板二重壁により天端高さが保持される。

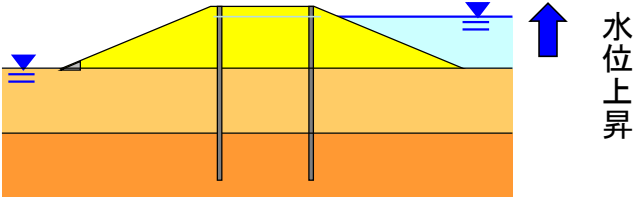
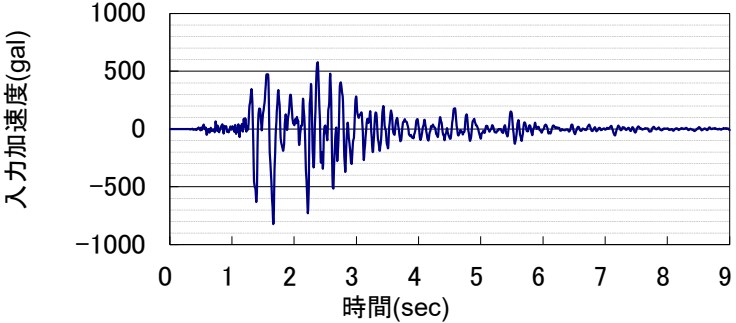
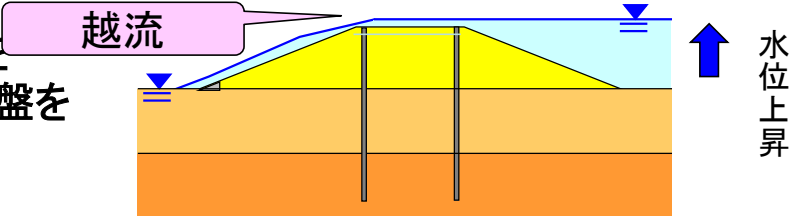
今回説明

## 3-2.洪水 & 地震複合作用の実験概要



古関潤一・田中宏征・乙志和孝・永尾直也・金子勝:矢板で補強した堤防の模型実験, 生産研究 第61巻, 第6号, 東京大学生産技術研究所, 2009.11.

## 3-2.洪水 & 地震複合作用の実験概要

	項目	内容
①	浸透	<p>一方の水位を水平地盤部の地表面位置に保ちながら、反対側の水位を地表面から最大20cmまで上昇させ一定に保つ。</p> 
②	加振	<p>両側の水位を地表面に戻した状態で、水平加振を行う。</p> <div data-bbox="383 847 1296 1002" style="border: 1px solid black; background-color: yellow; padding: 5px;"> <p>1995年神戸海洋気象台で観測された加速度記録(NS成分)を卓越周波数が5Hzとなるように波形を調整</p> </div> 
③	浸透	<p>加振で損傷を受けた状態で、①と同様に片側の水位を上昇させる。</p>
④	越水	<p>③に引き続き片側の水位をさらに上昇させて越流を生じさせる。越水等による洗掘を想定し、裏法面地盤を模擬洗掘させる。</p> 

## 3-2.洪水 & 地震複合作用の実験結果

### ◆ 浸透実験<補強なし(土堤のみ)>

実験開始

水位差0mm



開始12分後

+100mm



開始35分後

+150mm



開始60分後

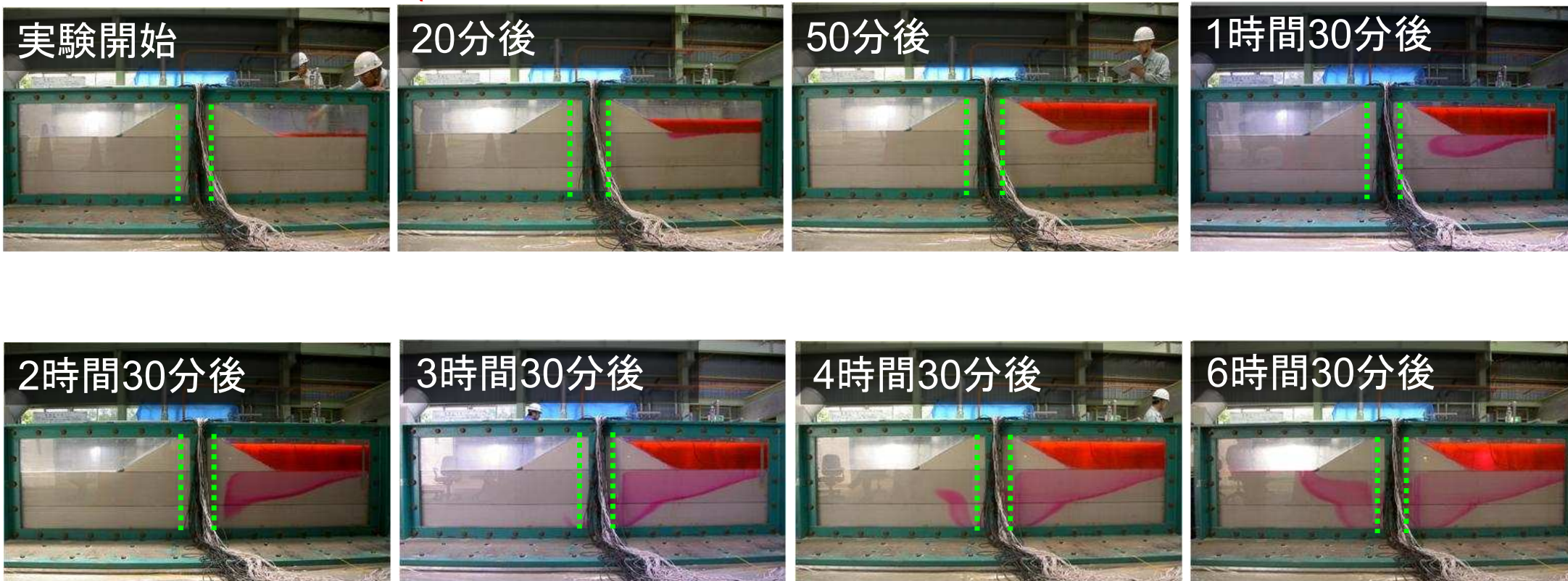
+200mm





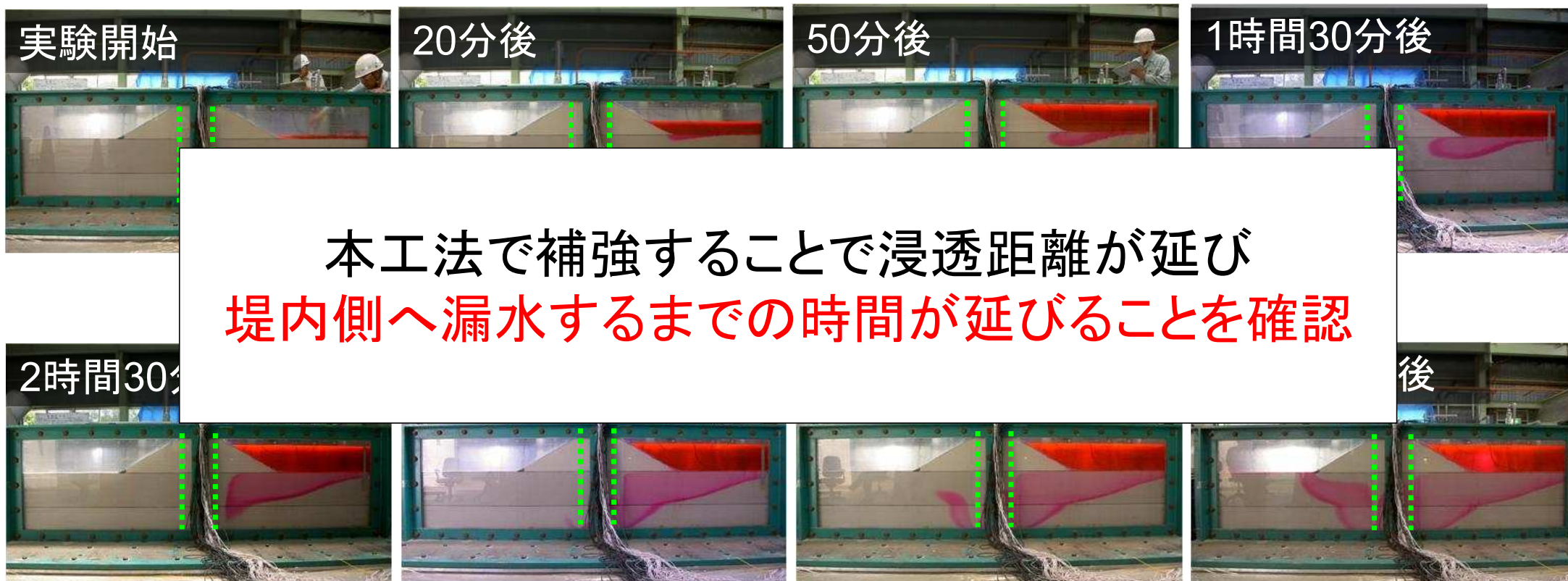
## 3-2.洪水 & 地震複合作用の実験結果

### ◆浸透試験<補強あり(鋼矢板二重壁を用いた補強)>



## 3-2.洪水 & 地震複合作用の実験結果

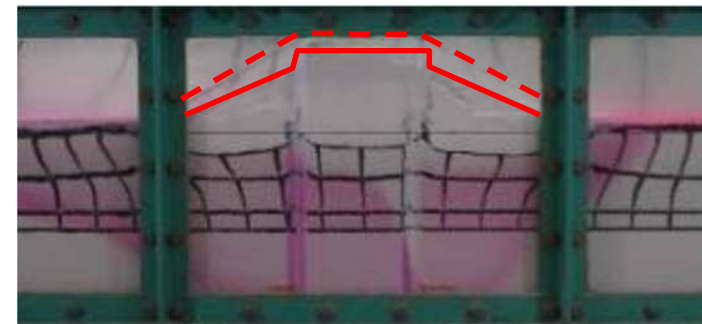
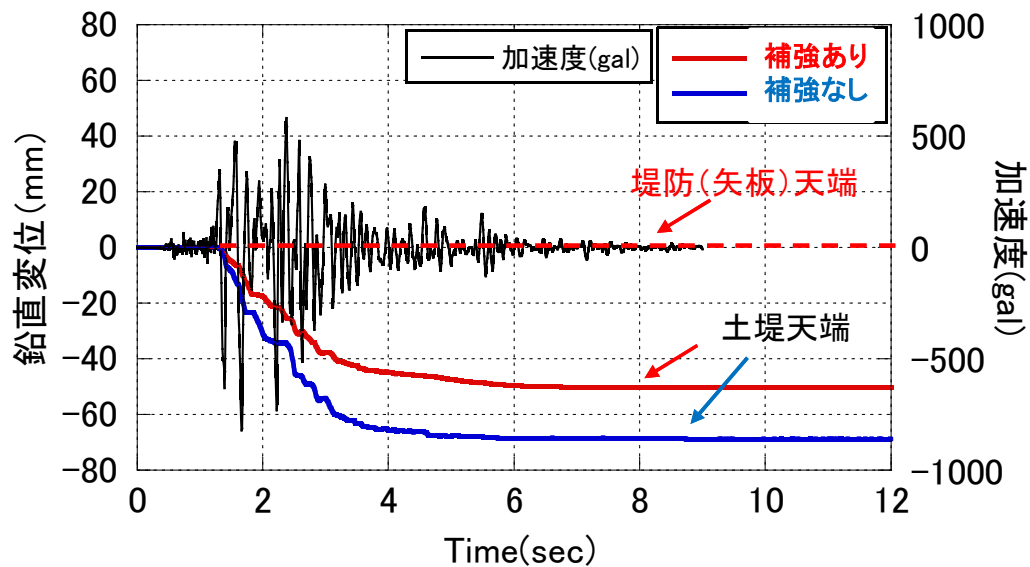
### ◆浸透試験<補強あり(鋼矢板二重壁を用いた補強)>



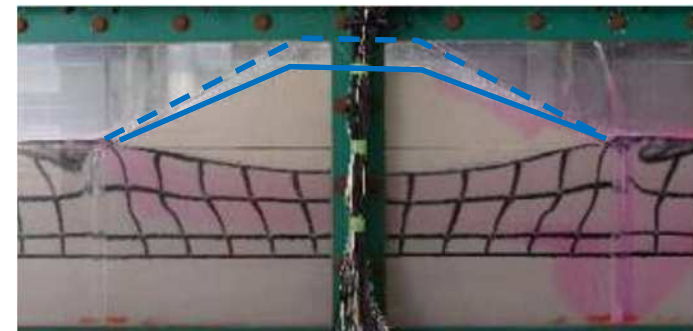
## 3-2.洪水 & 地震複合作用の実験結果

鋼矢板二重壁で仕切られた内側の液状化層における側方流動が抑えられることで堤防天端の沈下量が低減できる

### ◆加振実験



補強あり(鋼矢板二重壁を用いた補強)



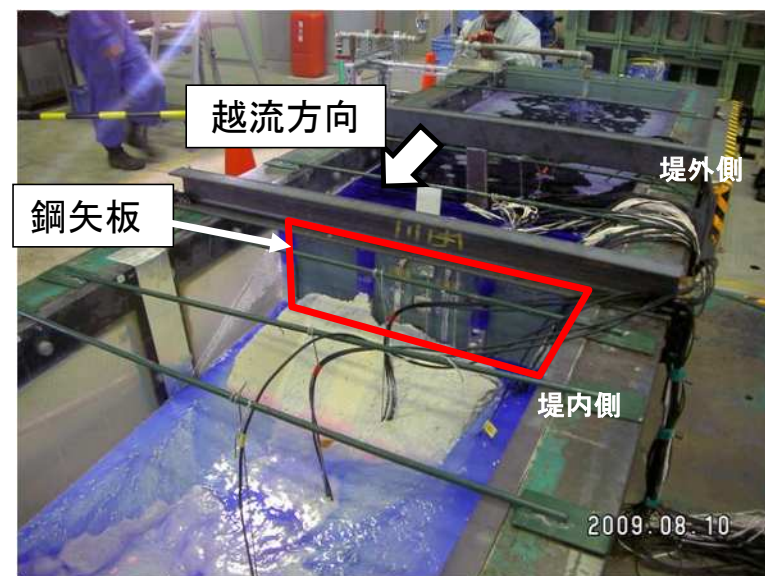
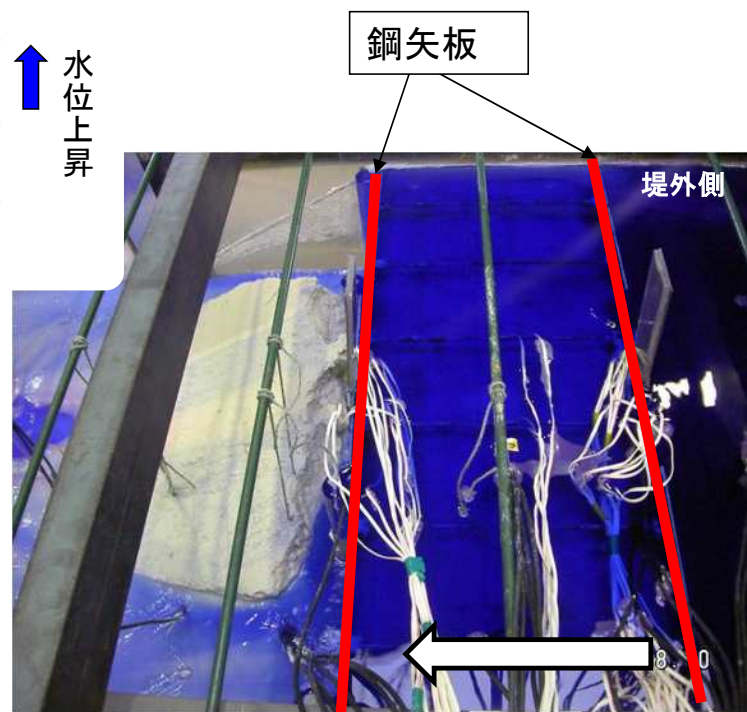
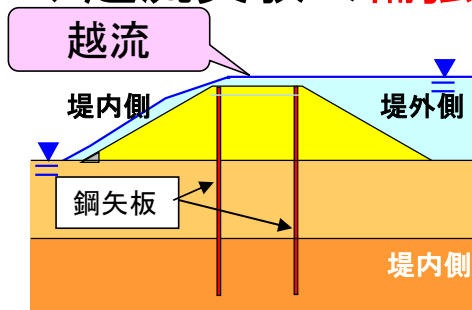
補強なし(土堤のみ)

点線: 試験前  
実線: 試験後

## 3-2.洪水 & 地震複合作用の実験結果

鋼矢板二重壁により、天端高さが確保され堤防機能が維持される越水による破堤抑止効果を確認

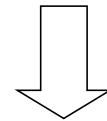
### ◆越流実験<補強あり(鋼矢板二重壁を用いた補強)>



越流により堤内側の法面は崩壊するものの堤体高さは維持

### 3-3.洪水 & 地震複合作用の実験結果まとめ

天端部の限定範囲の二重鋼矢板締切り



浸透・加振(液状化)・越流の複合作用に対しても、  
浸透水の遮断や**壊滅的な破堤の防止などの効果があり、**  
**総合的な対策として「鋼矢板二重壁を用いた堤防補強技術」**  
が活用できる可能性があることを確認した。

---

## 本日の発表内容

1. 国土交通省の河川堤防に関する技術検討会等の動き

2. 鋼矢板を用いた堤防補強技術

3. 実験による検証

4. 設計手順・試設計例

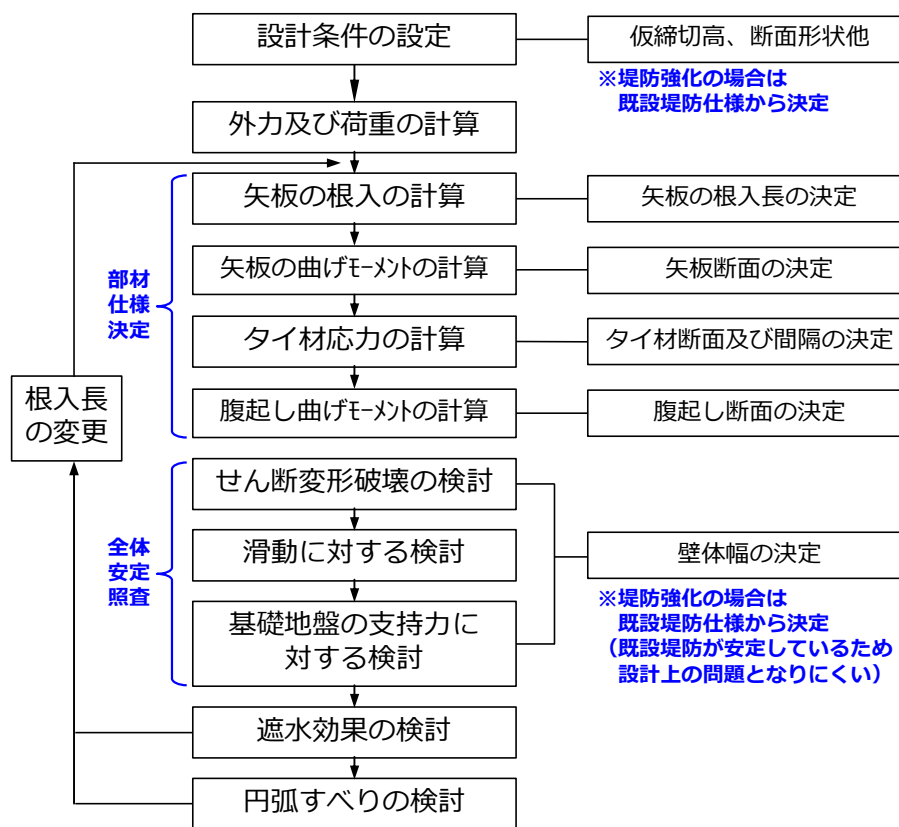
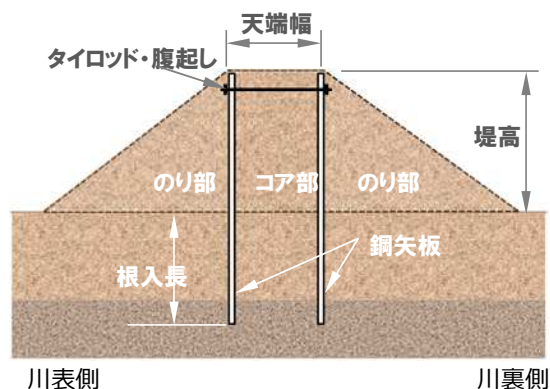
5. 採用事例・現地調査例

# 【鋼矢板二重壁構造の設計について】

・常時、計画高水位時、地震時、波浪時、  
越流・洗掘時について 設計を行い、  
最も厳しい諸元を最終仕様

- ◆鋼矢板型式、規格、長さ
- ◆鋼矢板二重壁の幅
- ◆タイ材仕様
- ◆腹起し仕様

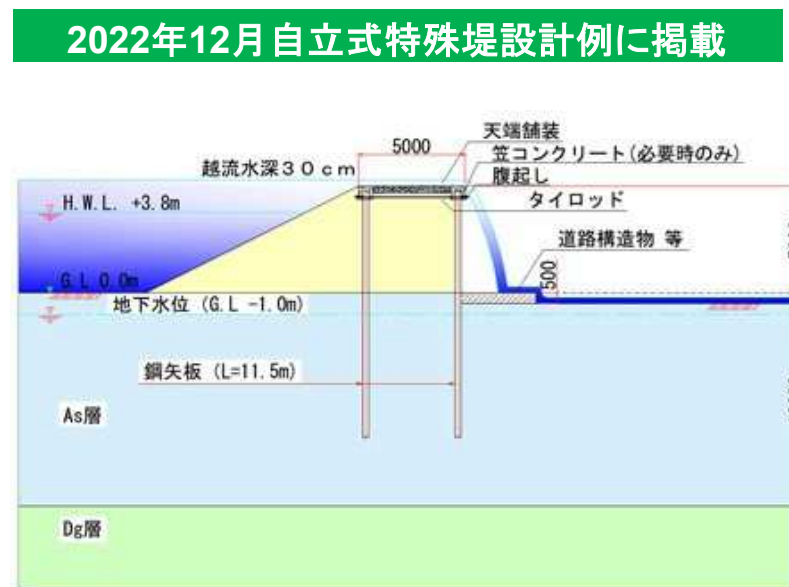
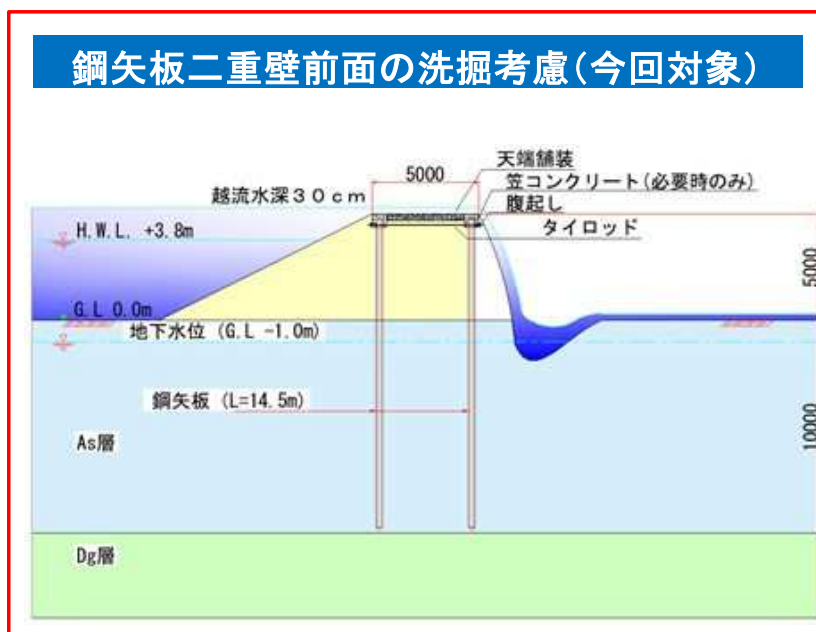
について設計にて最適諸元を 選定



【出典】(フロー図)国土技術研究センター、「鋼矢板二重式仮締切設計マニュアル」、平成12年12月(一部加筆)

## 【「粘り強い河川堤防」に関する鋼矢板二重壁構造の設計について】

- ・2022年12月「粘り強い河川堤防の技術開発に当たっての参考資料【自立型】」が国総研・土研連名で公開
- ・鋼矢板二重壁(自立式特殊堤)の設計例の掲載有  
→ 矢板前面の洗掘は考慮せず、水叩き構造(道路等)との併用例の記載有
- ・今回の技術公募は、矢板前面の洗掘を考慮したケースで、前述の自立式特殊堤の設計例を参考に、越流と洗掘を考慮した設計例を提案、試設計例を提示





---

## 本日の発表内容

1. 国土交通省の河川堤防に関する技術検討会等の動き

2. 鋼矢板を用いた堤防補強技術

3. 実験による検証

4. 設計手順・試設計例

5. 採用事例・現地調査例

## 実施例① 貯水池の災害復旧

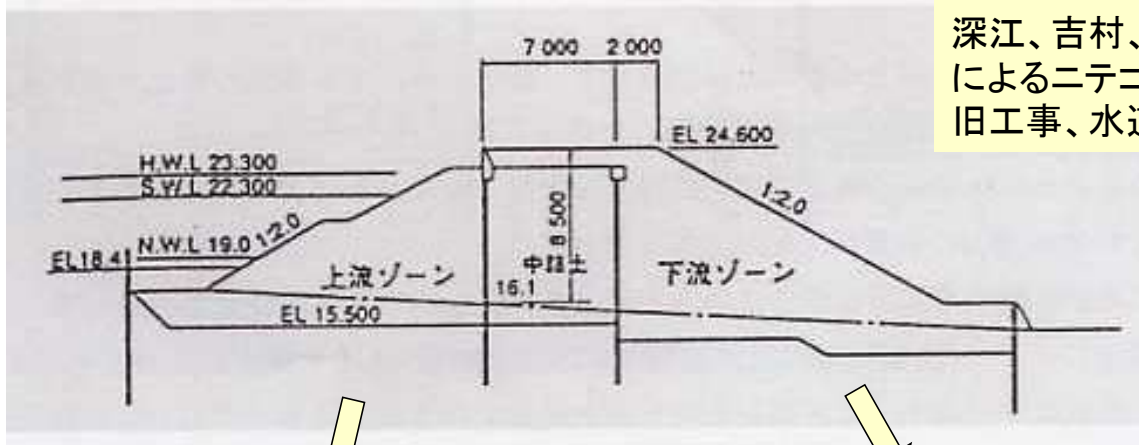
**Niteko Dams Complex**

**1995 Kobe, Japan  
Earthquake**



# 実施例① 貯水池の災害復旧

## ◆ 兵庫県西宮市ニテコ池

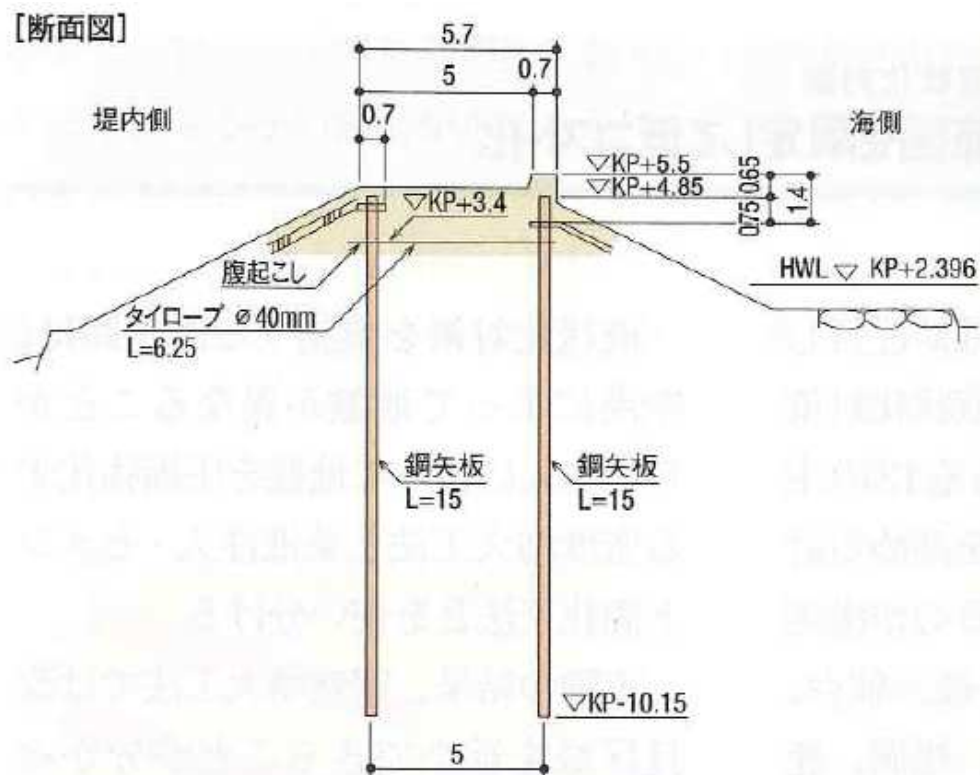


深江、吉村、須藤：兵庫県南部地震によるニテコ池の被災状況と災害復旧工事、水道協会雑誌、66-7, H9.7



## 実施例② 海岸堤防の耐震補強

### ◆ 愛知県三河港 海岸堤防

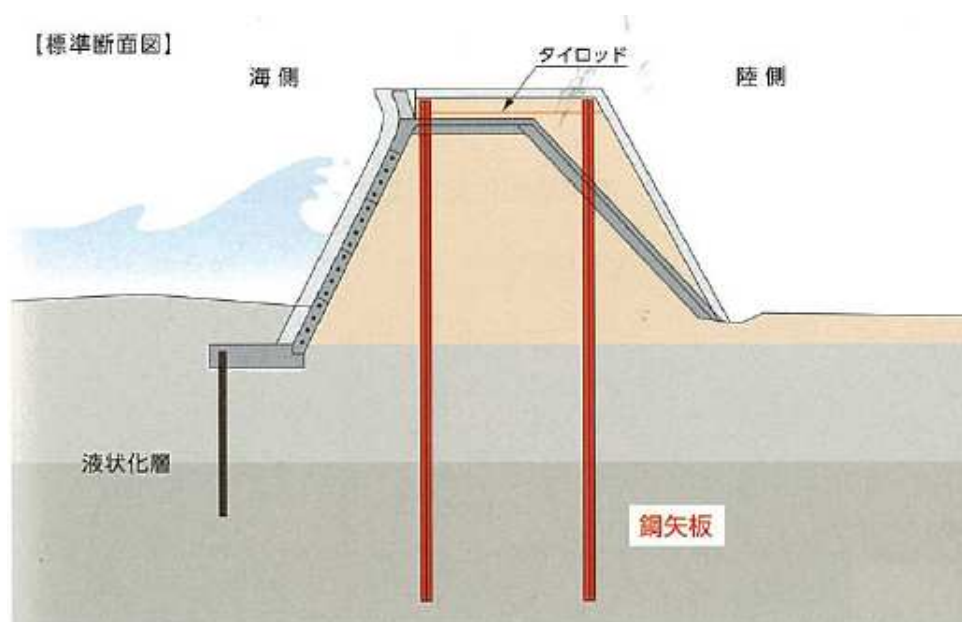


2009.10.23日経コンストラクション抜粋

二重式鋼矢板による液状化対策として採用

## 実施例③ 海岸堤防の液状化対策

### ◆ 高知県仁ノ海岸堤防



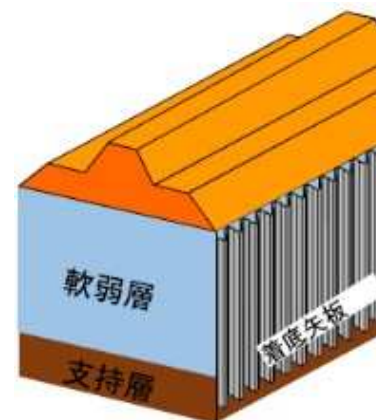
インプラント構造～災害復旧・国土防災・都市再生・インフラ整備～コンセプト&適用例, IPA国際圧入学会より

## 【実堤防の現地調査】

### 鋼矢板 堤防補強の調査結果分析

熊本県では、液状化対策を目的とした鋼矢板工法による堤防補強が多く採用された。

**平成28年熊本地震、平成29年7月九州北部豪雨、令和2年7月豪雨**の自然災害によらず、鋼矢板と地盤との間で鉛直・水平方向ともにクラックや陥没箇所の見られず、鋼矢板が地盤と一体で挙動していると考えられる調査結果を得た。



緑川、白川、浜戸川  
計5箇所調査



出展：九州大学 笠間清伸, 他 「鋼矢板で補強された河川堤防の健全度調査」より引用

## ◆目的

### ◆堤防に求められる基本的な機能を長期的に維持できる構造であることが重要

→**目的**：堤体内に鋼矢板を設置することでの影響評価

→**取組**：鋼矢板二重壁構造の既設堤体の経年変化を調査

### ◆堤体の経年変化による想定リスク

#### (1) 堤体外部

- ・外観変状による弱部発生 → **調査方法**：堤体外観変状の計測
- ・天端沈下による越水被害増大 → **調査方法**：ドローンによる沈下量の計測

#### (2) 堤体内部

- ・堤体内の鋼矢板と地盤間の水みちの発生（一体性・なじみの消失）  
→ **調査方法**：スクリーウエイト貫入試験による地盤の緩み分布の計測



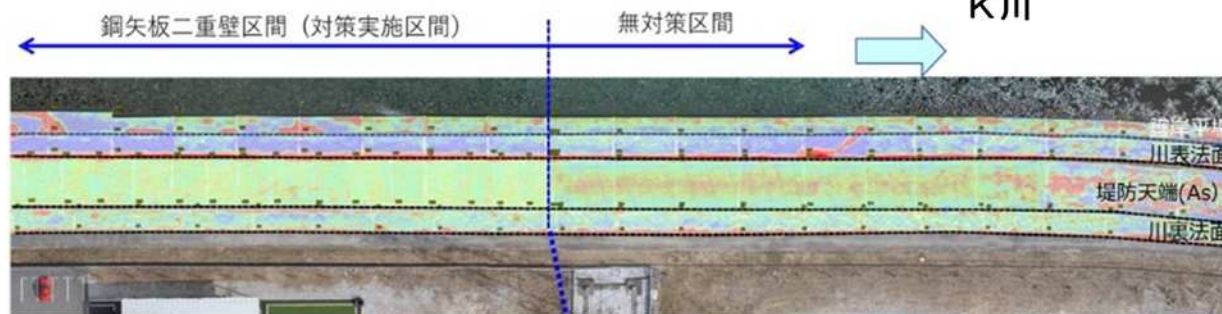
## ◆外観調査およびドローン測量:調査結果

### □調査結果

#### (1) 外観調査 (目視点検)



#### (2) ドローン測量



- ◆いずれの対策区間においても堤防天端の不陸は小さい。  
→鋼矢板を十分に根入れすることで、堤防天端高を維持している

### □調査場所 (K川)

※対策後の被災履歴はなし

- ◆区間①②③とも変状の発生割合は対策有無で大差はなし

→対策・無対策とも三面張のほぼ同等の外観を保持している

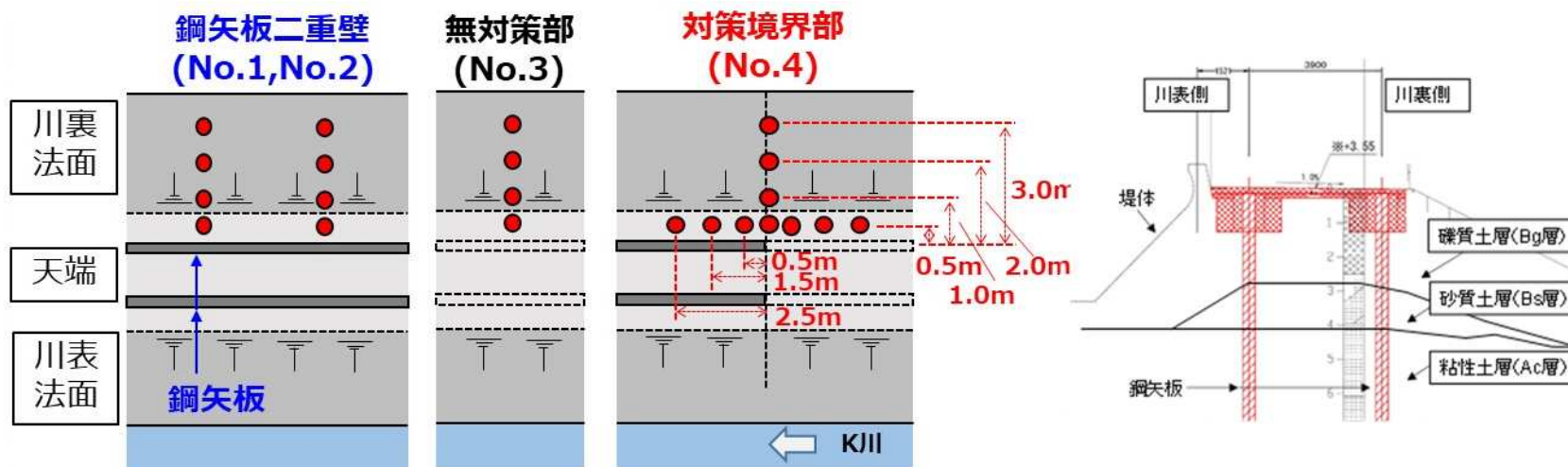


出典: 国土地理院地図に加筆



# ◆スクリーウエイト貫入試験による地盤の緩み分布の計測：調査内容

## □調査場所（K川）



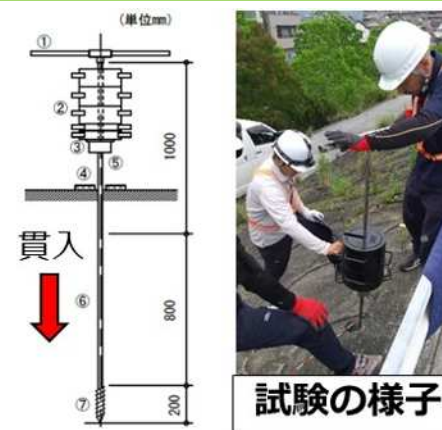
## □調査方法（スクリーウエイト貫入試験）

- ・荷重による貫入 ( $W_{SW}$ ) と回転貫入 ( $N_{SW}$ ) から地盤の貫入抵抗を測定.
- ・稲田らが示した以下式を用い換算N値を算出.

$$N = 2W_{SW} + 0.067N_{SW}$$

$W_{SW}$  : 荷重 (kN) ,  $N_{SW}$  : 半回転数 (回)

出典：地盤調査の方法と解説 (地盤工学会)

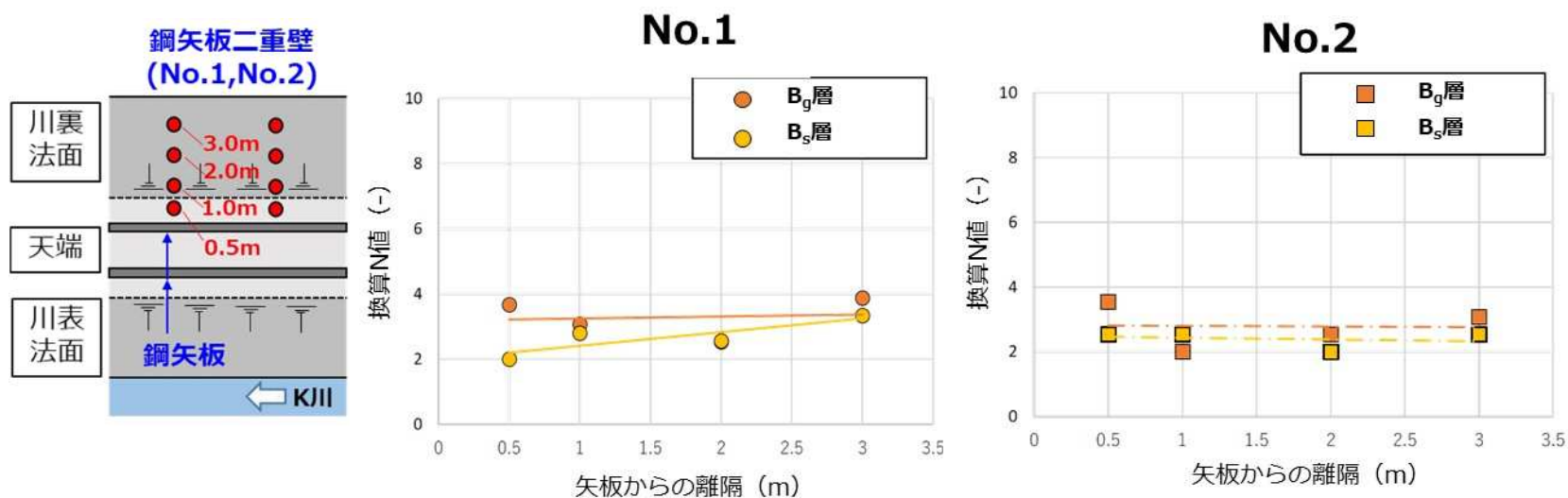


## ◆スクリューウェイト貫入試験による地盤の緩み分布の計測：調査結果

### □調査結果

堤体地盤を構成する砂質土層( $B_s$ 層)と礫質土層( $B_g$ 層)を対象に分析

### (1) 鋼矢板二重壁 (横断方向)



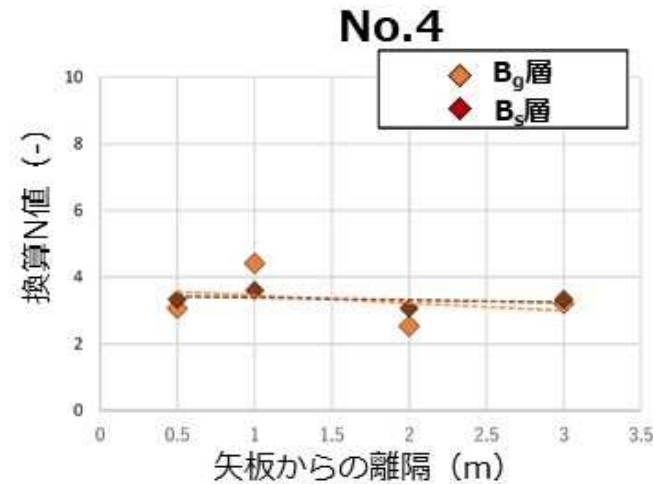
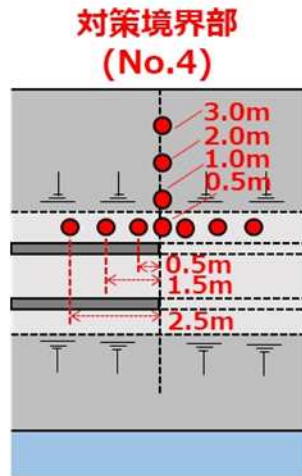
◆横断方向において、堤体幅方向に対して大きな強度変化は見られず、鋼矢板周辺で地盤の緩みは発生していない。

→鋼矢板を十分に根入れすることで、浸透経路長が確保され、鋼矢板と地盤間にパ〇化〇ンク等による水みちの発生が抑制されていると推察

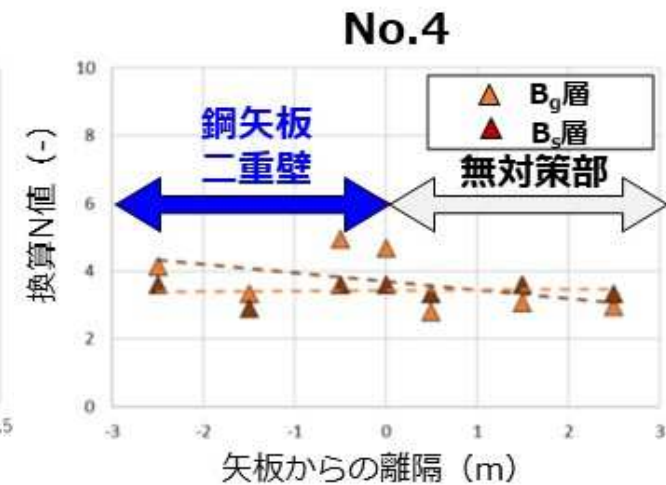
## ◆スクリーウエイト貫入試験による地盤の緩み分布の計測：調査結果

### (2) 対策境界部

・ 横断方向



・ 縦断方向



- ◆横断方向に加え、縦断方向でも大きな強度変化は見られず、対策境界部においても地盤の緩みは発生していない。
- 縦断方向での対策端部に限界動水勾配を超えるような局所的な動水勾配の高まりによる $\rho^{\circ}$ 化 $\rho^{\circ}$ が等の現象は見られない結果

## ◆まとめ

- ・越水に対する「粘り強い河川堤防」として、海岸堤防等で実績を有する鋼矢板二重壁の技術整備を推進.
- ・堤防の長期安定性について、鋼矢板設置による影響明確化を目的に、本構造を有する既設堤体の経年変化を調査.
- ・今回、以下知見を得られた。
  - ①外観調査（目視点検）を実施、変状の発生割合は対策有無で大差なかった.
  - ②ドローン測量では、いずれの対策区間でも堤防天端の不陸は小さかった.
  - ③スクリーウェイト貫入試験で地盤の強度分布を実測、堤防の横断方向・縦断方向において、鋼矢板周辺及び対策境界部で大きな変化が見られなかった。
    - 横断方向：鋼矢板が十分に根入れされ、浸透経路長が確保されたこと
    - 縦断方向：対策端部の浸透流の廻り込みが限界動水勾配を超えるような局所的な動水勾配の高まりを誘発せず、パ化<sup>ン</sup>グ等が生じなかったことを示唆しており、鋼矢板と周辺地盤に一体性・なじみを有すると考えられる.

### 今後の取組み：

粘り強い河川堤防として、鋼矢板二重壁で対策を施した場合の経年変化に関する技術データ・知見を蓄積し、長期的な視点での維持管理の在り方を整備する