

勝海舟が伝えた堤防漏水対策技術の再評価と 設計法の提案

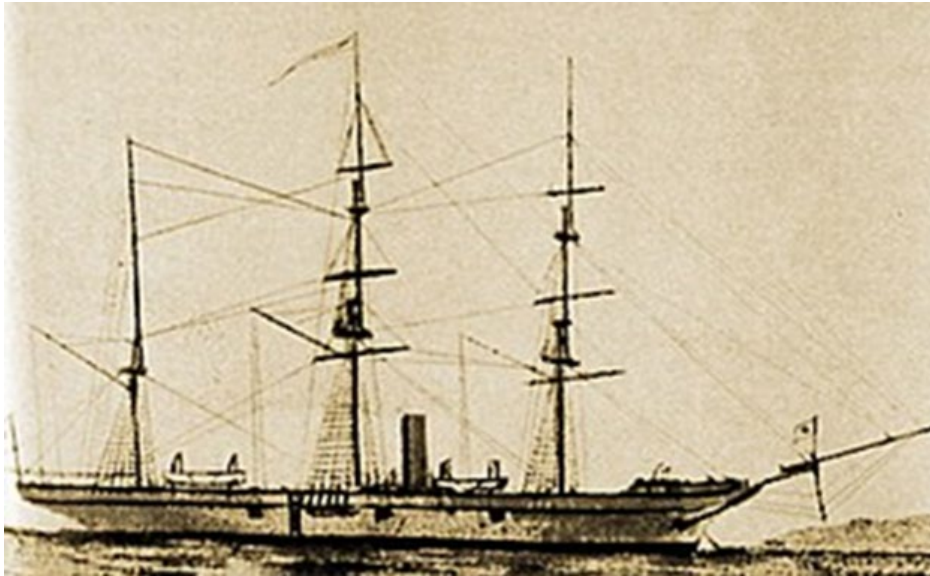
土木研究所
地質・地盤研究グループ
石原 雅規

1. 勝海舟と伝えた技術
2. 勝海舟が伝えた技術の効果
3. 効果発揮メカニズム
4. 設計法の提案
5. まとめ、今後の課題

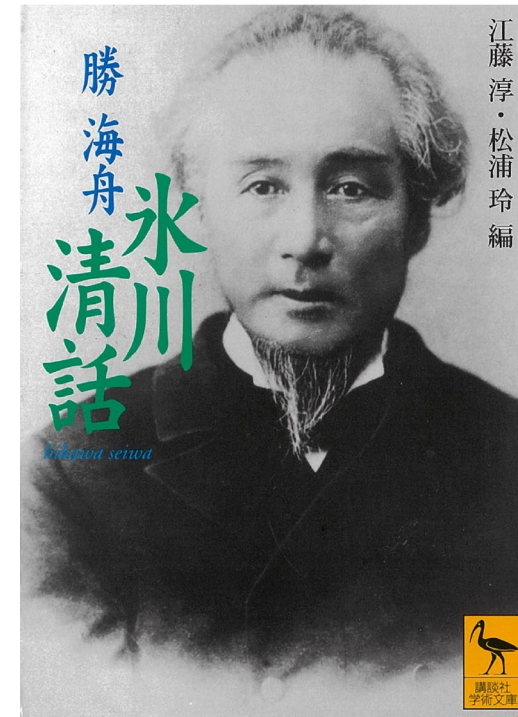
勝 海舟 (1823-1899)

幕末～明治時代の幕臣、政治家。蘭学、西洋兵学を修得し、1860年咸臨丸艦長として渡米。その後軍艦奉行に就任、神戸に海軍操練所を開き、坂本龍馬らを教育。戊辰戦争では西郷隆盛を説得し、江戸城の無血開城に成功。新政府では海軍大輔、参議兼海軍卿、元老院議官等を歴任。

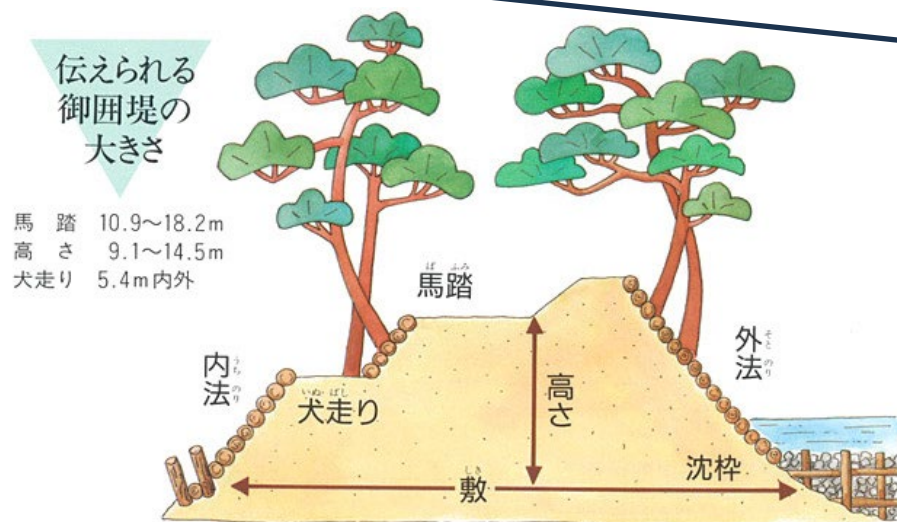
晩年の談話を集めた回顧録として『氷川清話』が出版されている。



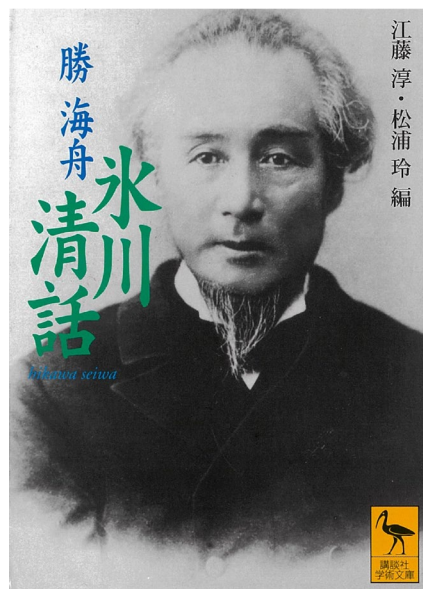
咸臨丸



治水のことは十分注意しろと言っていたのに今回の災害だ。明治政府は、少しは目が覚めたか。江戸幕府の堤防の造り方は、明治政府の堤防の造り方と違った。江戸幕府は堤防の堤脚に注意したものだ。堤防を築造するときは、**地下を2メートル近く掘り、底から段々と締め固めた**上で、やっと外に顔を出したものだ。堤防が外に現れたら、ただ泥土を積み上げ柳を植えたりしておくだけだった。見かけは悪いけどどんな洪水にも安心していられた(略) **尾張の織田信長も、駿府の加藤清正もみな地下を掘り込んで、地盤を固めてから堤防を築いた。**かつては、ただの素人でさえこのように丈夫に堤防を築いたものだ。それが今日この頃、やれ何々博士とか、やれ何々技師だけができるものと思って、高い給料を払ったあげく、**少しばかりの洪水で堤防がブクブクと壊れてしまう。**



江戸時代初期に造られた堤防の例
(木曾川：御囲堤)

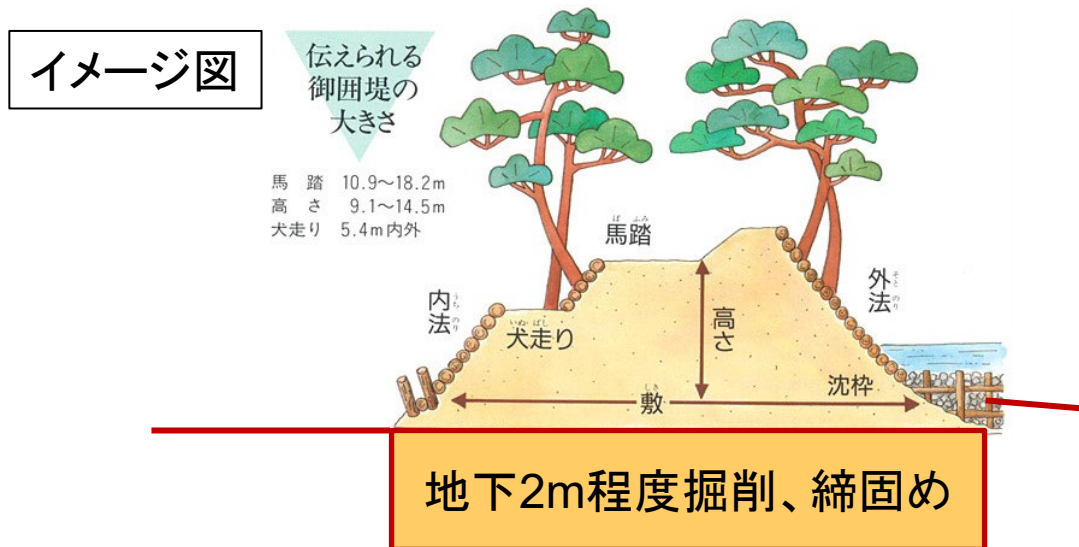


※今回の災害：明治29年に
発生した洪水被害

勝海舟：氷川清話
講談社学術文庫より

勝海舟によると…

- ・ 堤防を築造するときは、地下を2メートル近く掘り、底から段々と締め固めた
 - ・ みな地下を掘り込んで、地盤を固めてから堤防を築いた
- ⇒ 堤体を埋込むことで安全性を大幅に向上できることを経験的に理解していた？



明治～大正時代の技術者の著書にも同様の記述がある

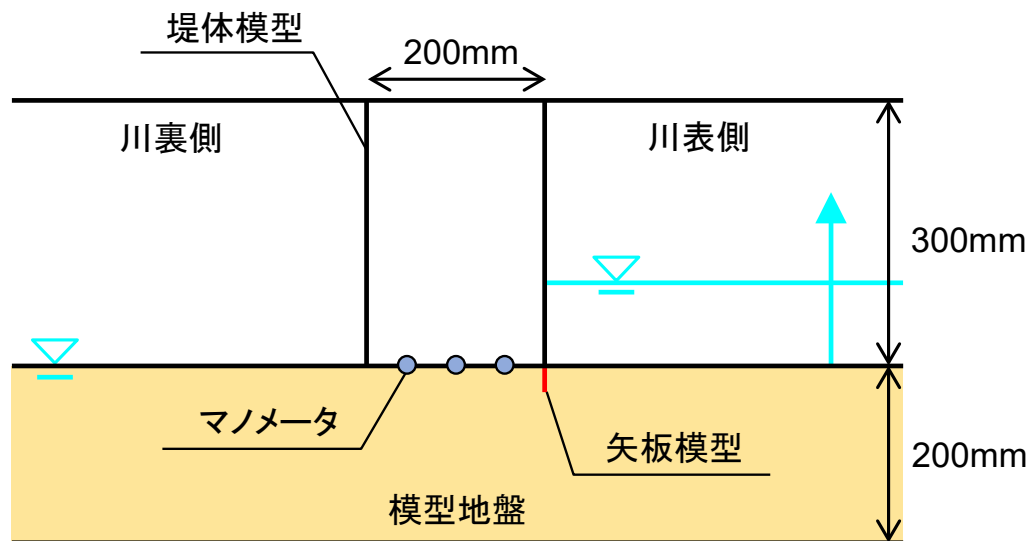
長崎敏音「河工学」

河川敷地地盤は堅牢なるを要す。もし地質が軟泥あるいは粗悪である場合は、敷地中心に幅1間、深さ3尺以上を掘り取り、粘土を詰め立てる。これを敷地鋼土という。

山本晃一：河川堤防の技術史、技法堂出版より

- 堤防の漏水対策の効果を確認するため、下表の7ケースの模型実験を実施
- 基礎地盤の飽和後に、川表側の水位を20mmずつ上昇
- 堤体模型下の隙間は、基礎地盤の沈下に追随しない(なじみが悪い)ような硬い粘性土等の堤体や樋門等の下にできる隙間を想定

【実験模型例】

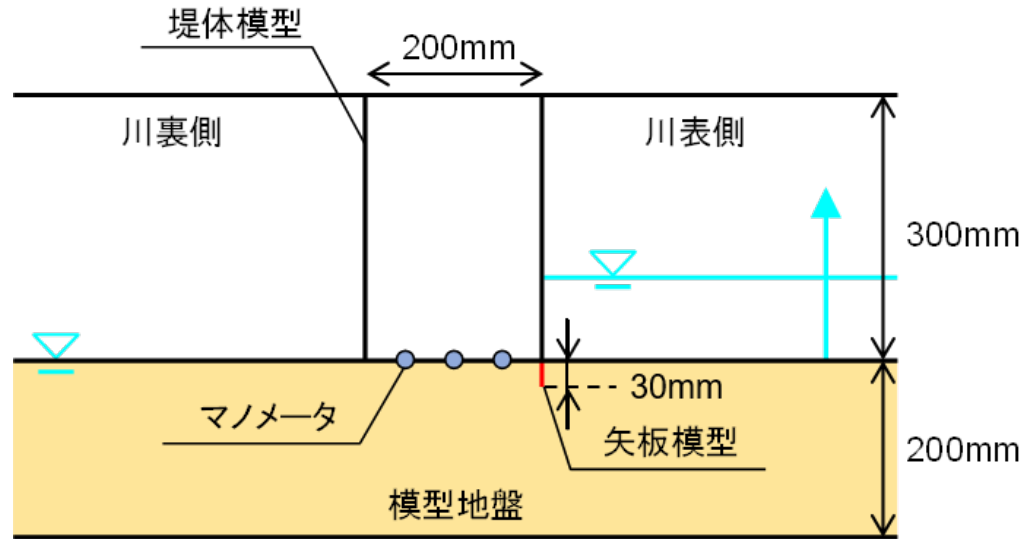


【実験ケース】

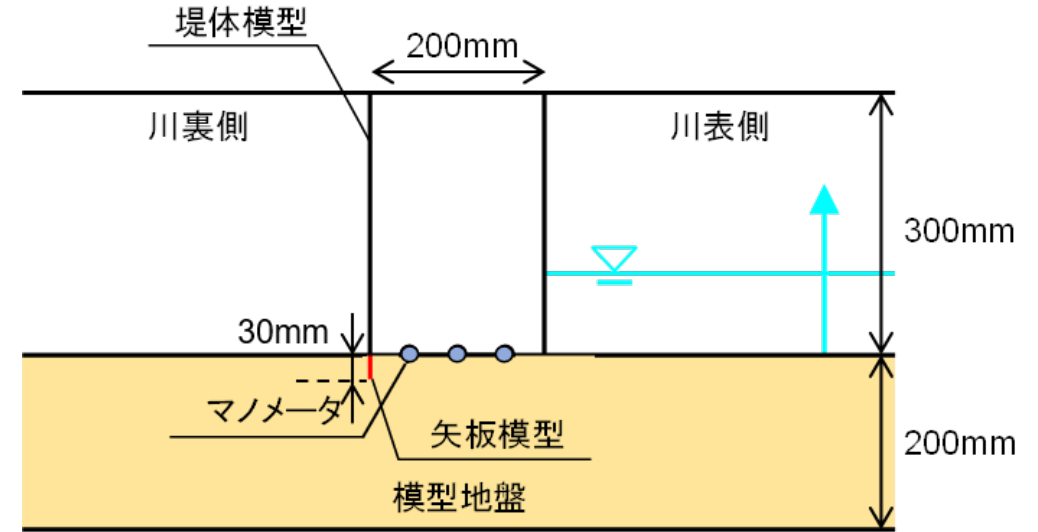
ケース	矢板の根入れ長	基礎地盤への堤体埋込み	堤体模型底面の材質	隙間(※)
1	表30mm	－	アクリル板	3mm
2	裏30mm	－	アクリル板	3mm
3	表裏30mm	－	アクリル板	3mm
4	裏60mm	－	アクリル板	3mm
5	－	表裏30mm	アクリル板	3mm
6	－	－	アクリル板	隙間なし
7	－	－	ビニールシート	隙間なし

※堤体模型底面と模型地盤の間

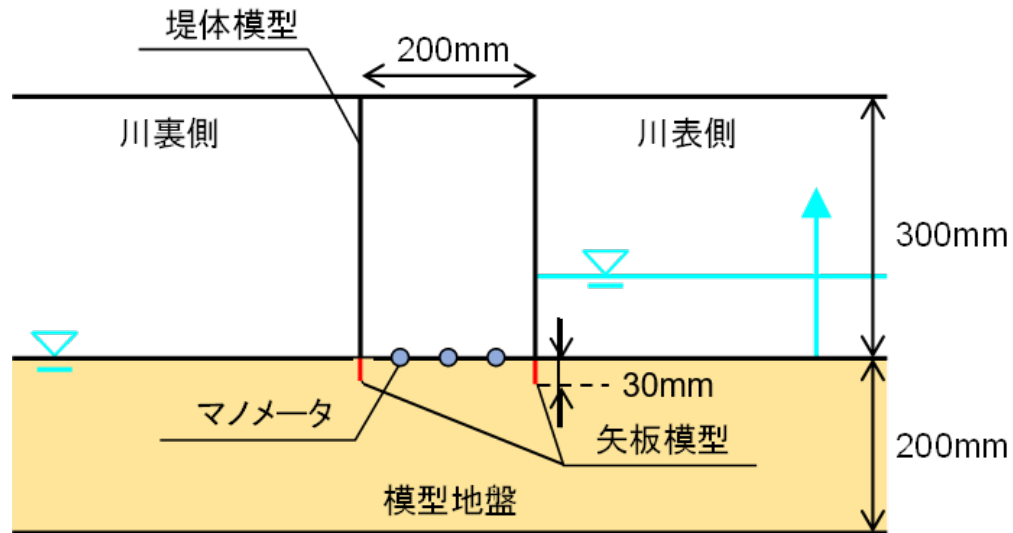
2. 勝海舟が伝えた技術の効果



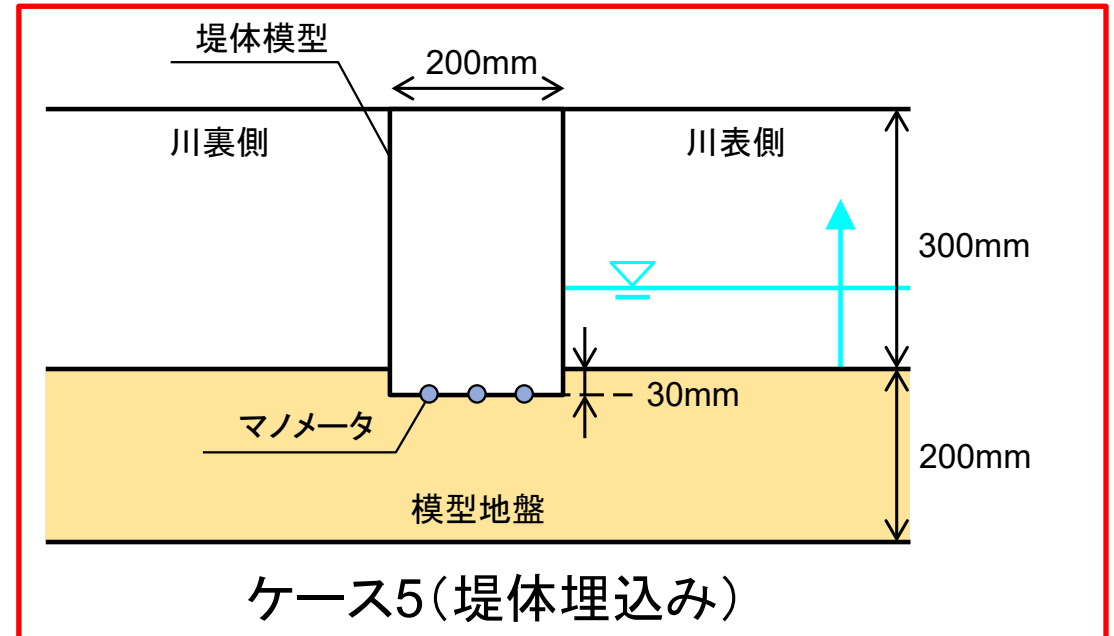
ケース1(川表矢板)



ケース2(川裏矢板)



ケース3(表裏両側矢板)



ケース5(堤体埋込み)

ケース1 川表矢板

- 00:21:00ごろ
噴砂(WL=4cm)
- 02:11:00ごろ
破壊(WL=14cm)



矢板
(30mm)

ケース5 堤体埋込み

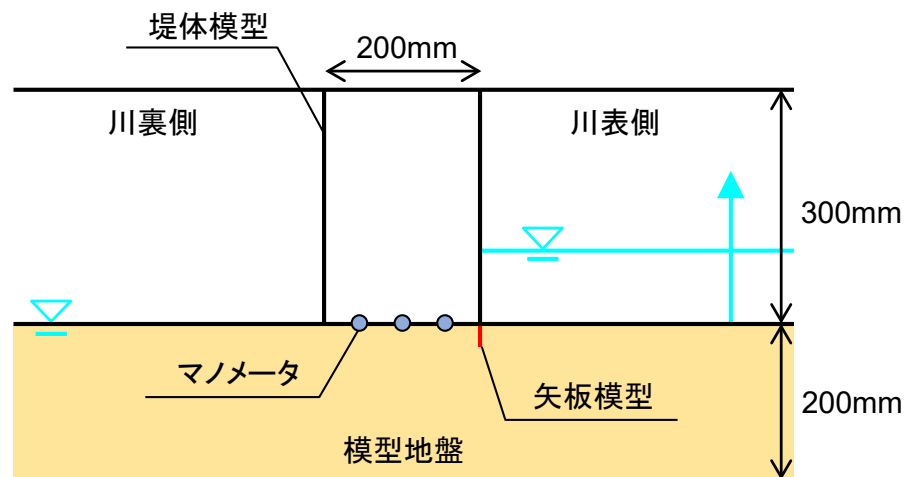
- 03:30:00ごろ(省略)
小規模噴砂(WL=26cm)
- 04:00:00まで(省略)
破壊せず終了



埋込み
(30mm)

2. 勝海舟が伝えた技術の効果

実験模型例 表矢板



・ 表矢板

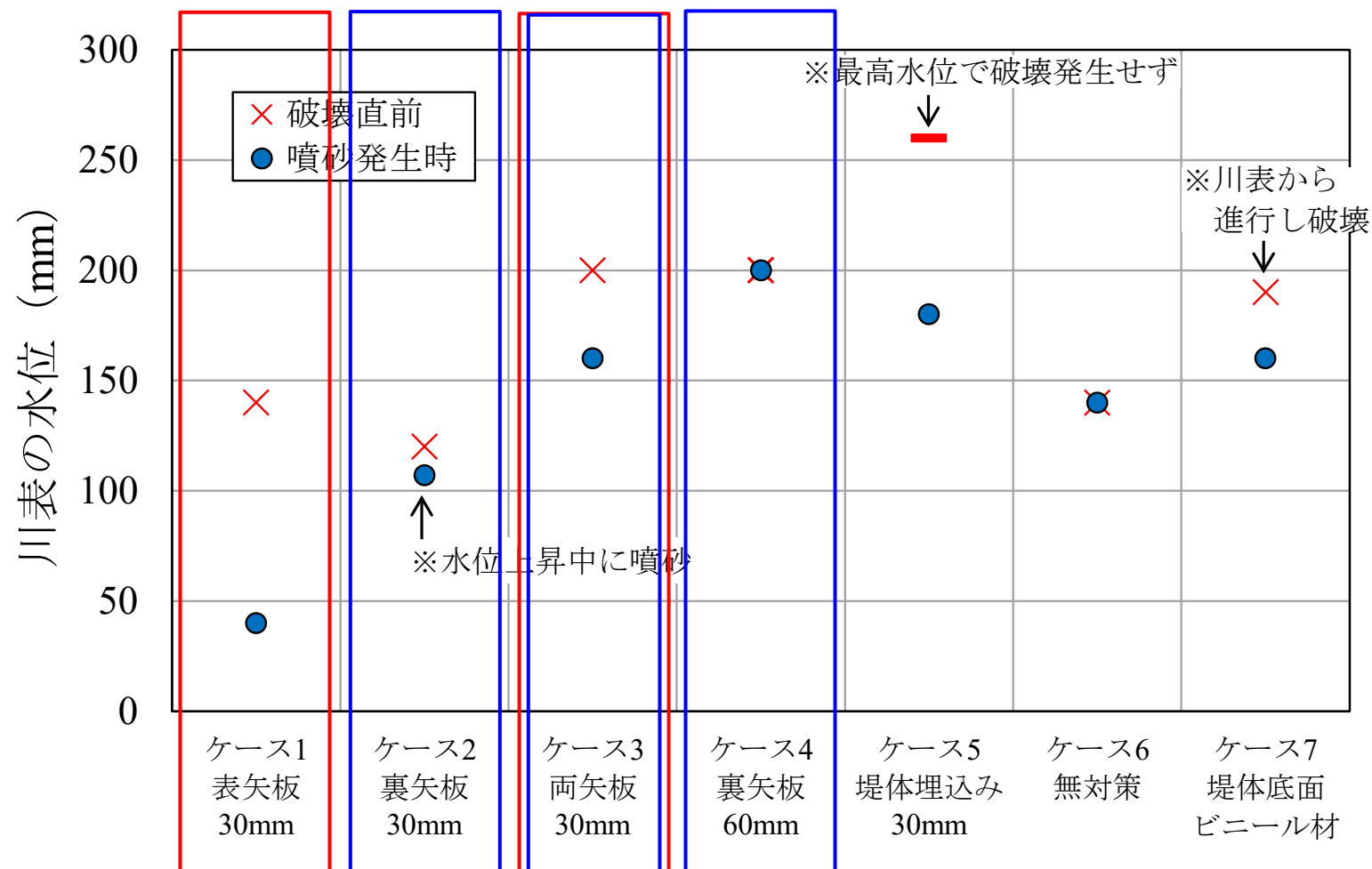
低い水位で噴砂が生じるが、大漏水までの水位差が大きい。水防活動が可能

・ 裏矢板

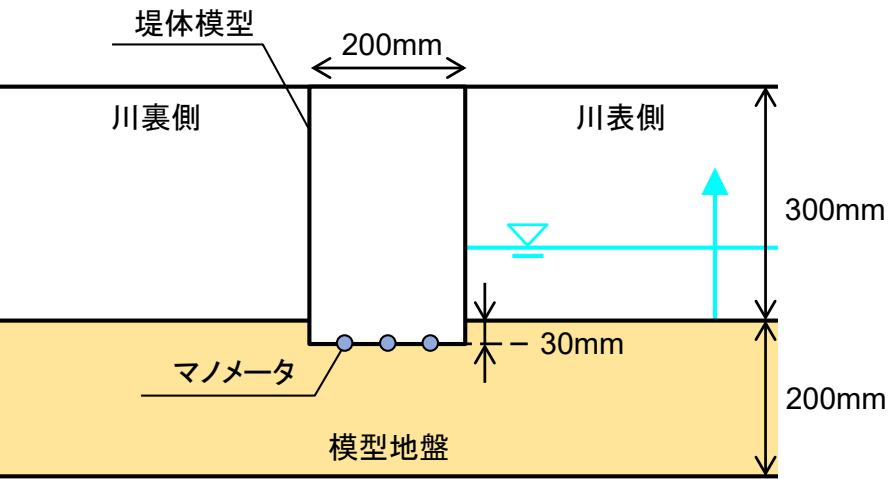
噴砂の直後に大漏水。水防活動不可能

・ 共通

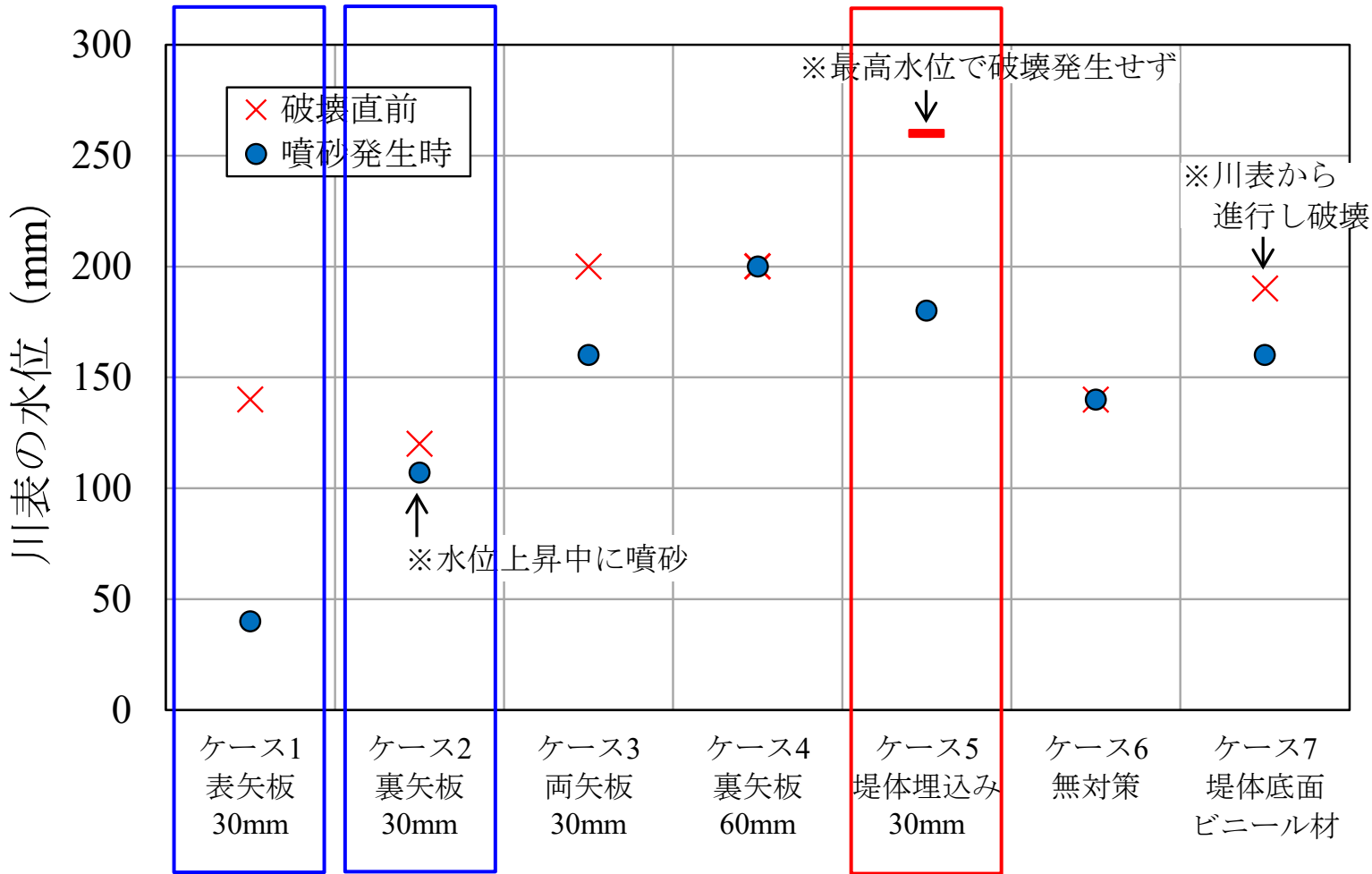
浸透路長に応じた水位で大漏水



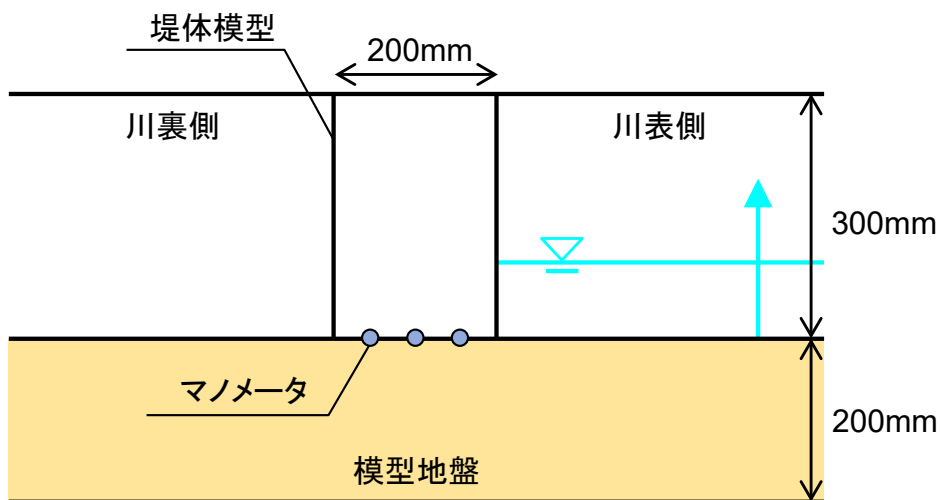
実験模型 堤体埋込み



・埋め込み
同じ浸透路長の矢板に比べ、
高い水位で噴砂、大漏水発生せず



実験模型 矢板なし

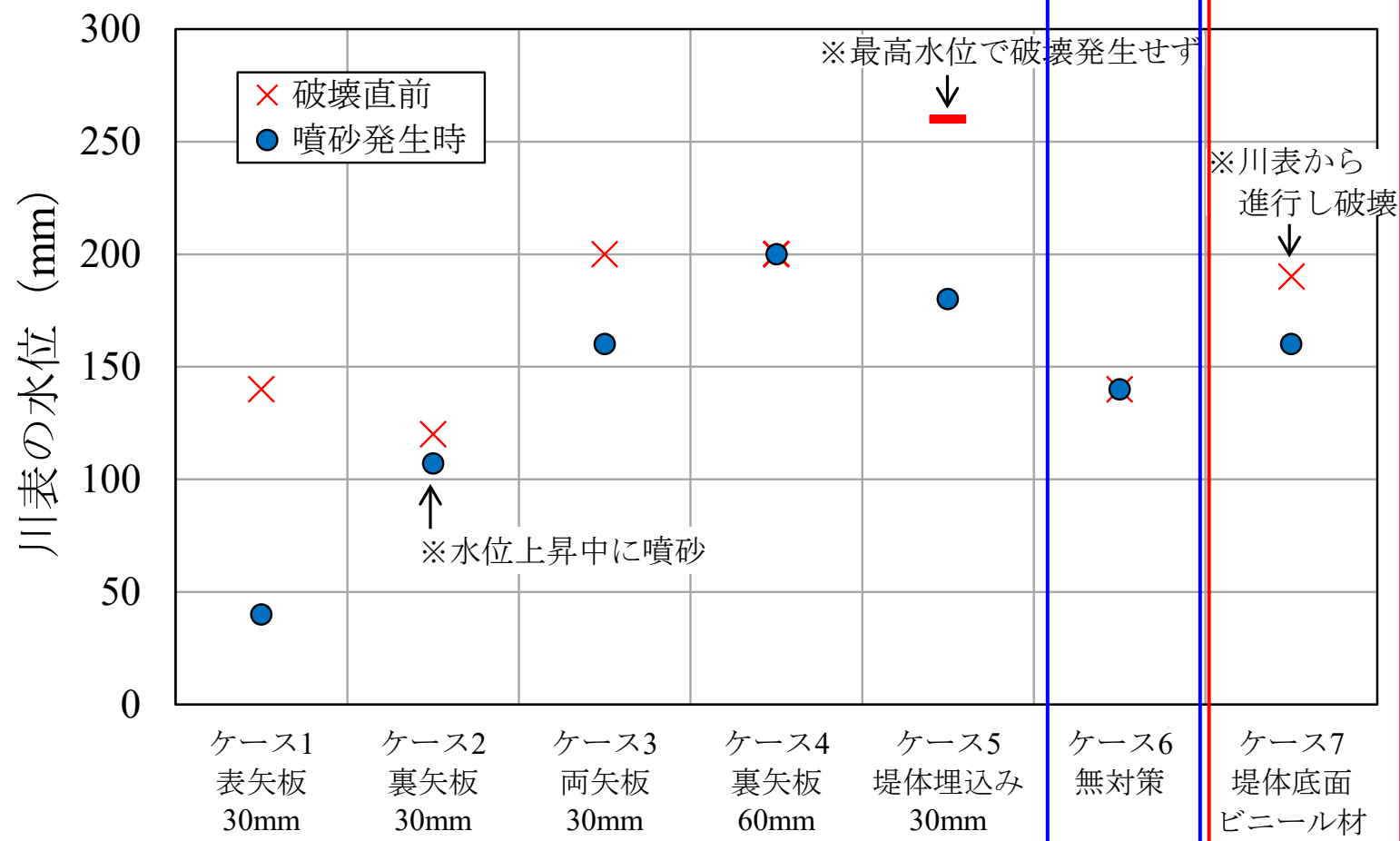


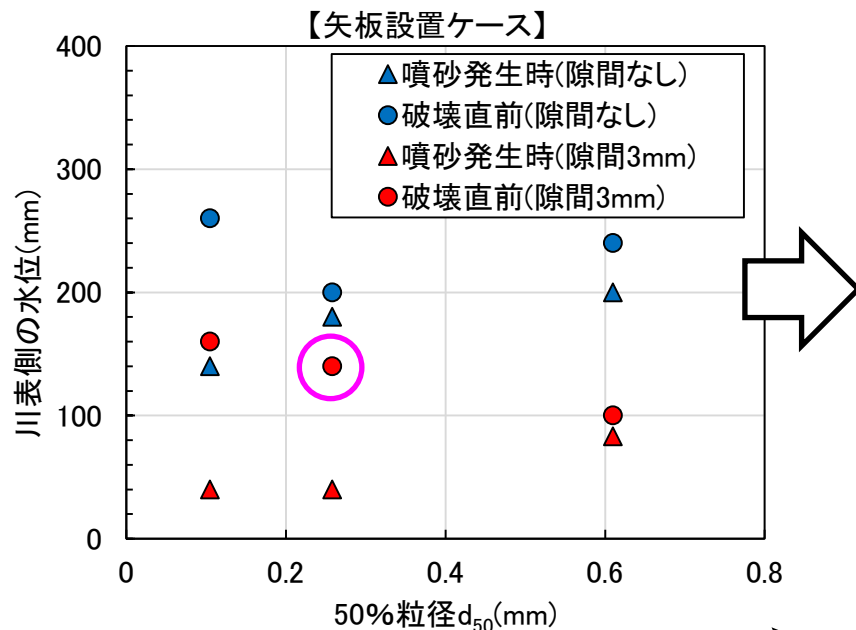
【いずれも矢板なし】

・底面アクリル(隙間なく密着している)
噴砂発生時および破壊直前水位は矢板
30mm相当、水防活動不可能

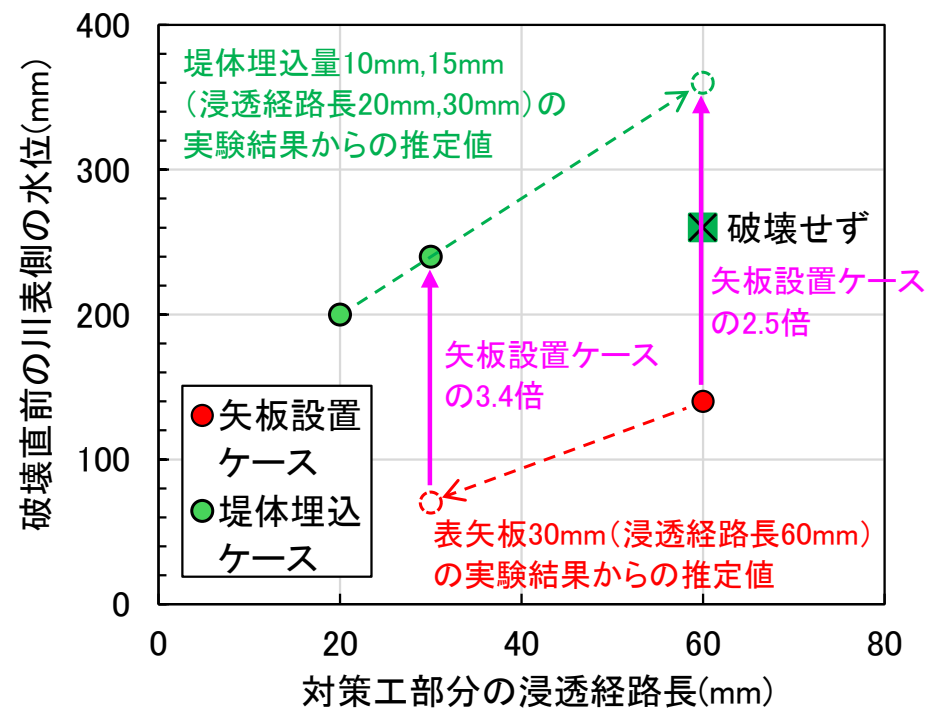
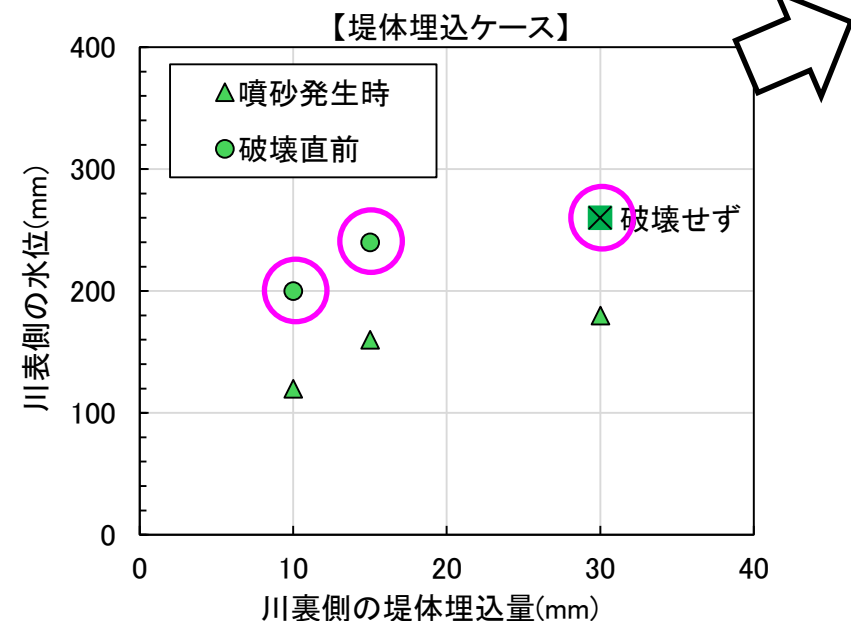
・底面ビニール

(堤体と基礎地盤の馴染みが極めて良い)
川表の水位が堤体内の水位を上回った時
点で進行。水より重い土で作られた堤防で
は、壊れることはない。





矢板部分の浸透経路長と破壊直前の水位が比例すると仮定して、同じ浸透経路長での破壊直前の水位を推定し、両者を比較



・堤体埋込みでは矢板設置と比較して、破壊直前の水位が2.5～3.4倍大きい
⇒堤体埋込みで高い漏水対策効果

実験結果まとめ

- 矢板は、浸透路長に応じた対策効果を発揮
- **埋め込みは、浸透路長以上の効果を発揮**
- 堤体と基礎地盤の馴染みの影響は大きい
隙間、密着（土粒子の拘束低い）、密着（土粒子の拘束高い）
密着（土粒子の拘束高い）では、パイピングは生じない
- 【共通】川裏から順番に変状が進行。
噴砂と大漏水のタイミングの理解には重要

実験結果からの新たな疑問

- **埋め込みが高い対策効果を発揮するメカニズムは？**
- 密着（土粒子の拘束高い）は現実的に可能か？密着（土粒子の拘束高い）の評価方法は？

【実験結果】



実験開始時



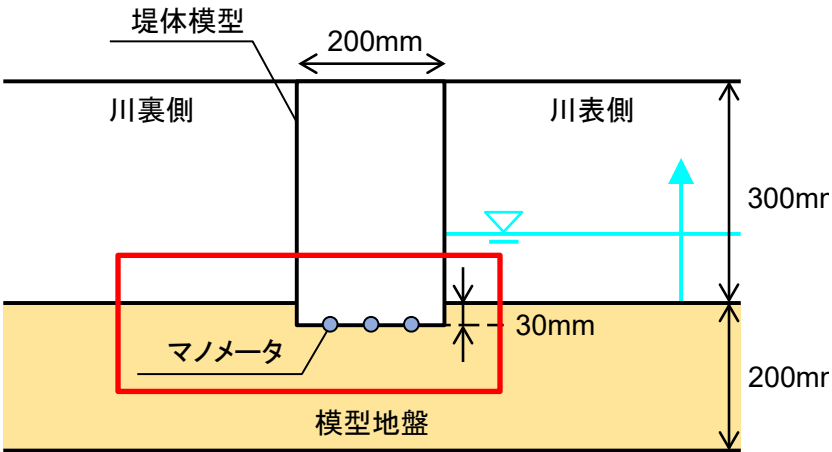
実験中(2:00:00経過)



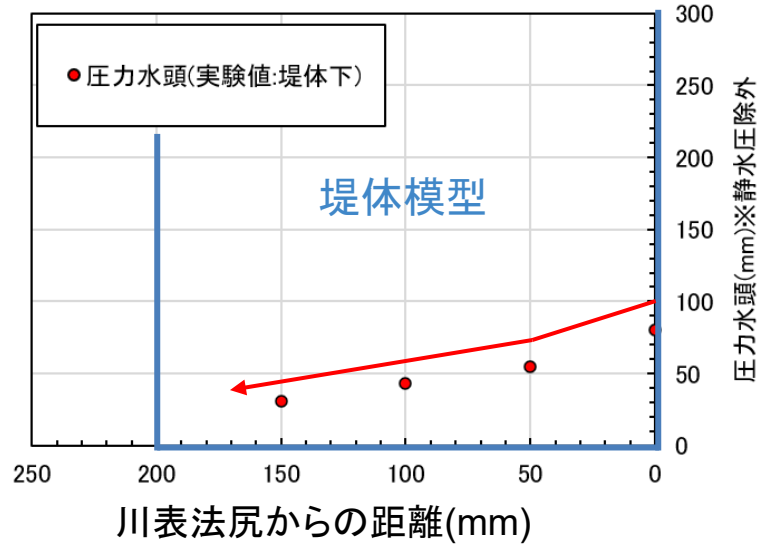
実験終了(4:00:00経過)

- ・埋め込みでは、底面の隙間が川表側から徐々に埋まり、なじみの良い状態となる

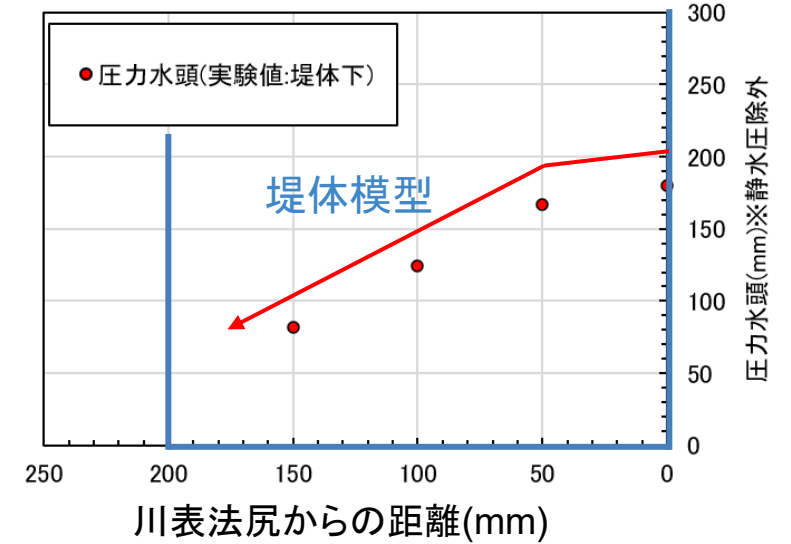
【実験結果】



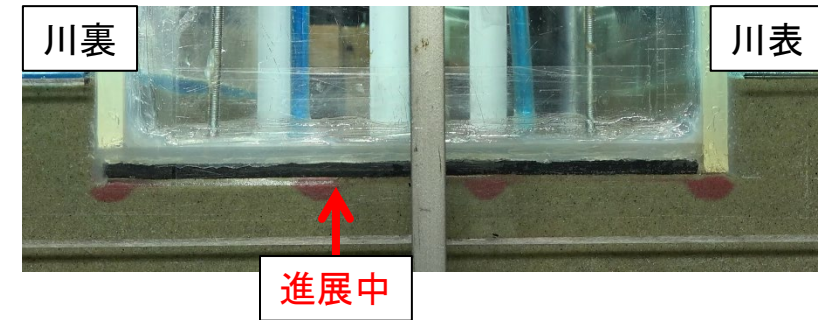
隙間あり(埋まりだす直前)WL=8cm



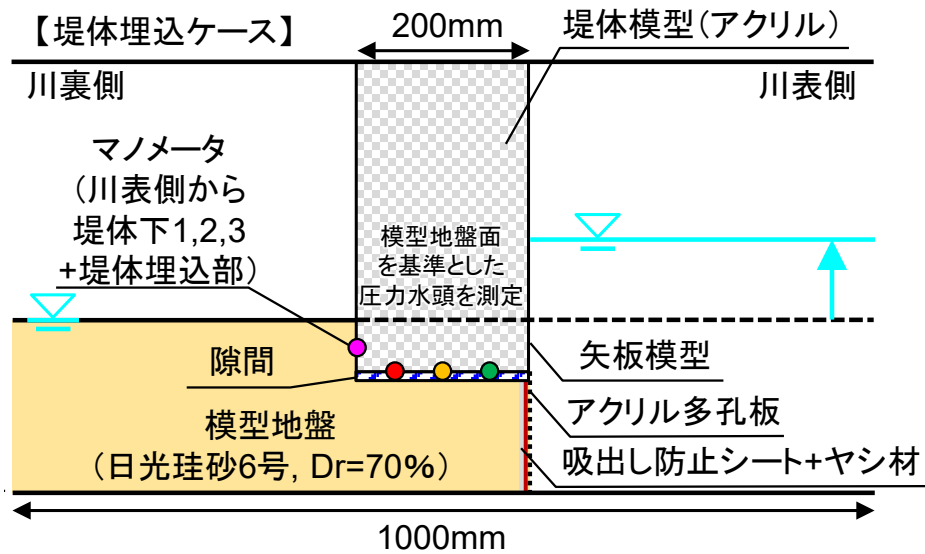
隙間の埋まりが進展中(噴砂発生)WL=18cm



- ・隙間がある時に比べ、隙間が埋まっている時は、堤体下のマンメータの値(圧力水頭)が、堤体下部から傾きが急になっている→堤体底面で抵抗している

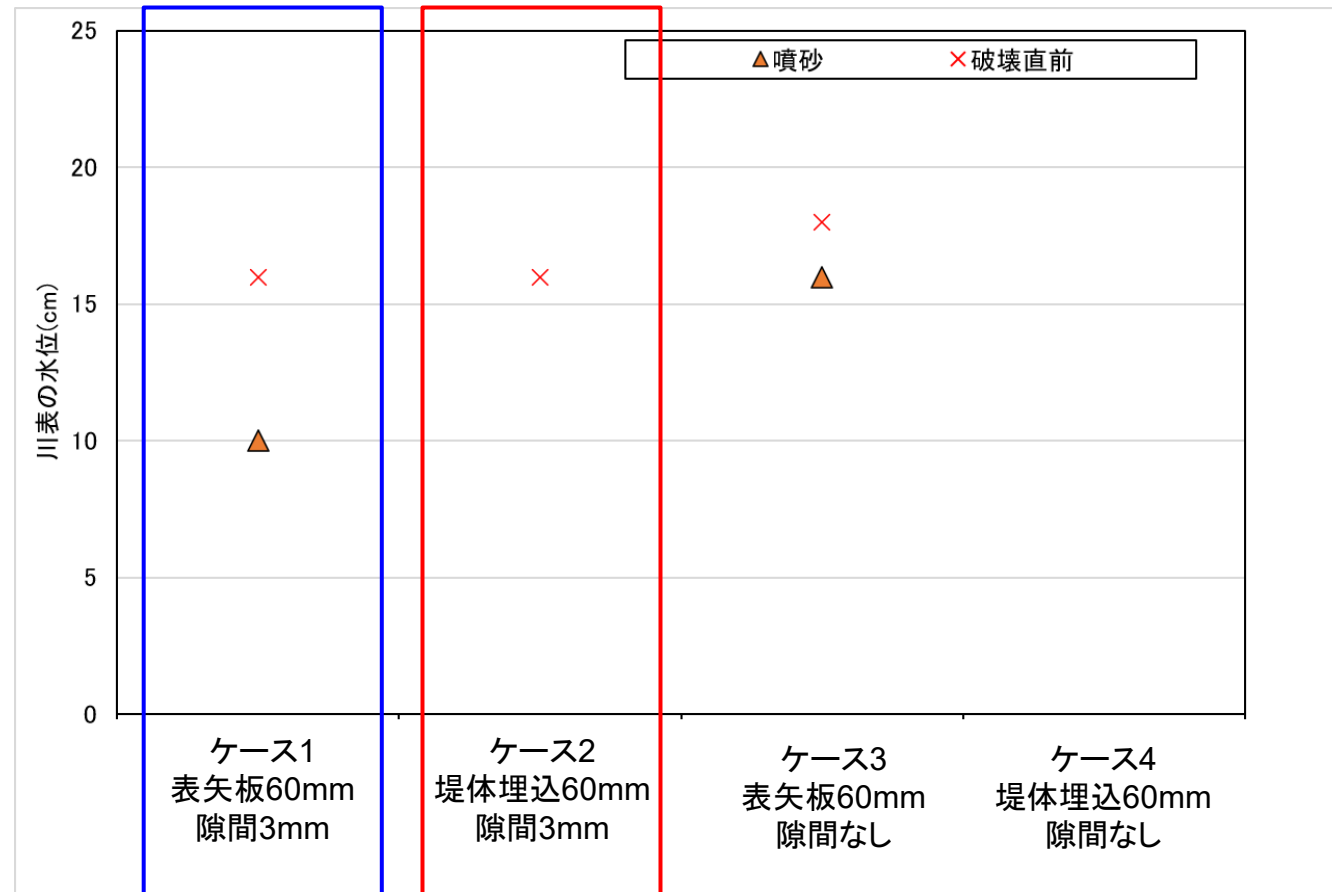


【実験結果】



川表地盤なし(この状態のまま埋まらず)

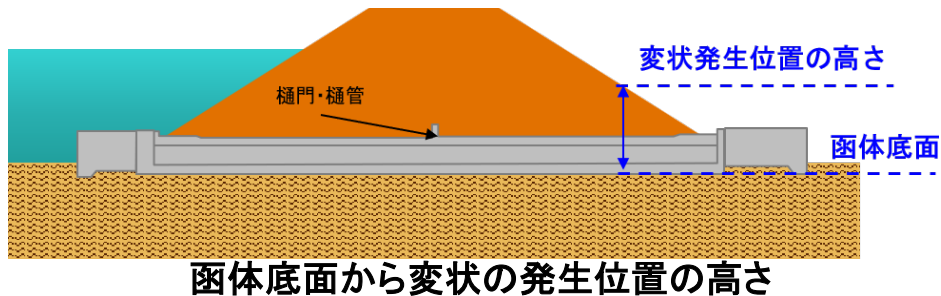
- 後に川表の地盤がないケースを実施したが、隙間は埋まらず、川表矢板と同程度の水位で破壊



【考察】

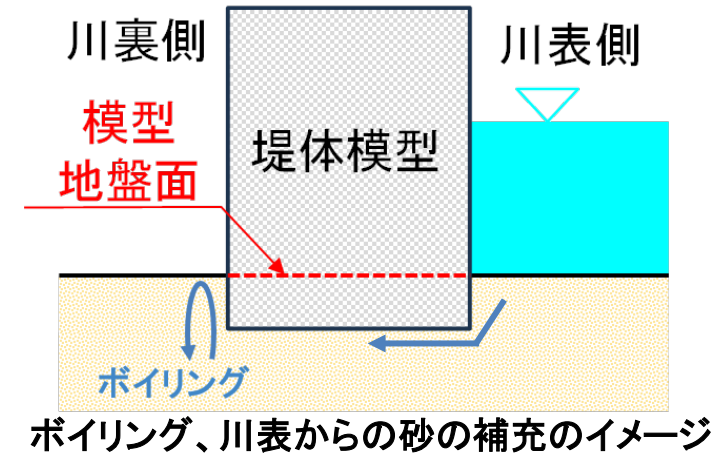
- ・川裏側のボーリングで砂の水平方向の移動が抑制？
川表側からの砂の移動で補充可能と推測される

- ・樋門の被災事例でも同様の傾向あり
函体底面から変状の発生位置の高さを調べると、
函体底面から変状の発生位置が高い(大型の)堤防の件数が少ない
→変状や破壊が起きにくい

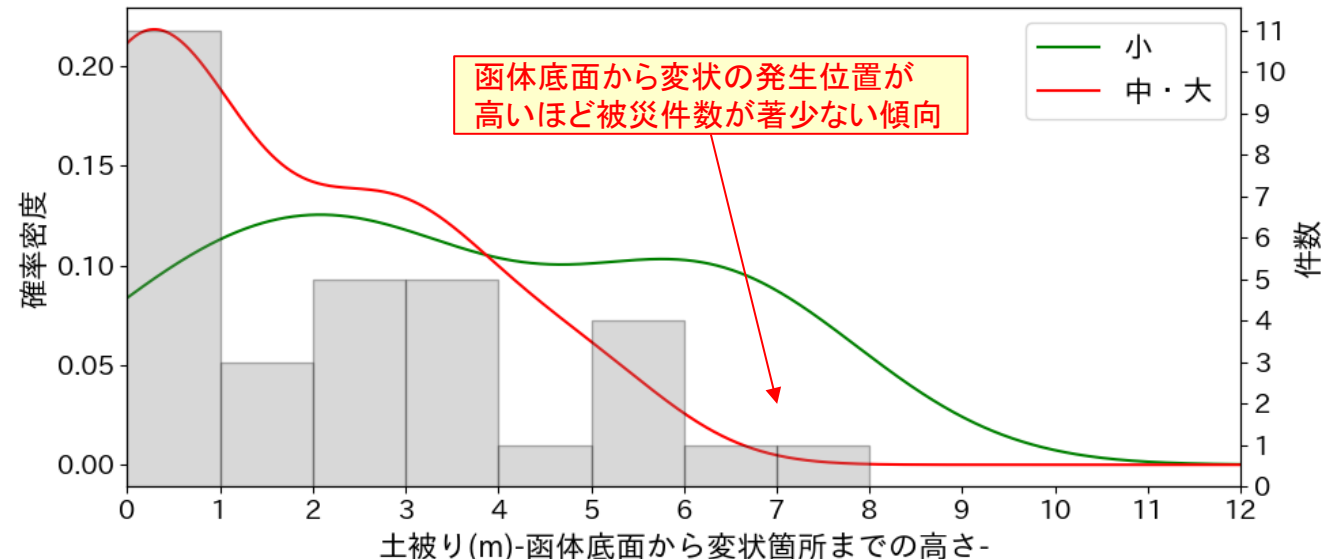


【課題】

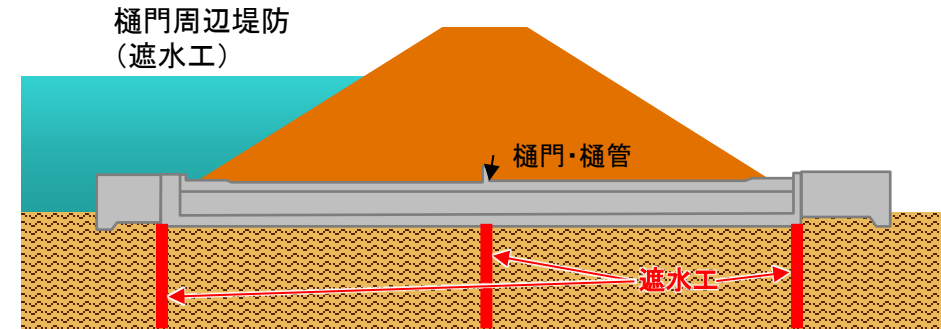
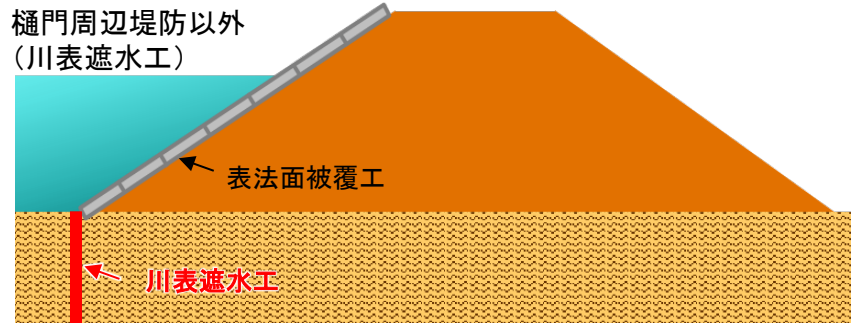
- ・洪水継続時間の影響
- ・隙間ができない条件の明確化



被災程度		件数	備考
小	漏水や噴砂のみ	13	堤体及び基礎地盤、樋門本体に変状が発生しているか否かで分類
中・大	変状、決壊	18	
計		31	



- 河川堤防の漏水対策として鋼矢板による遮水工が用いられる。
- 一般の堤防：川表遮水工で、不透水層までの設置が基本
- 樋門周辺堤防：川表だけでなく川裏、堤防中央付近にも設置



○遮水工の設計法

土堤	- 浸透流計算 <u>局所動水勾配またはG/W</u>
樋門 高規格堤防等	レーンの加重クリープ比 (浸透路長) $C \leq C_w = \frac{\text{浸透路長}}{\text{川表と川裏の水位差}}$

【基礎地盤のパイピング破壊に対する安全性】

被覆土層なし	$i < 0.5$ i : 裏法尻近傍の基礎地盤の局所動水勾配の最大値
被覆土層あり	$G > W$ G : 被覆土層の重量 W : 被覆土層基底面に作用する揚圧力

同じ漏水対策の矢板でも構造物の有無によって、

- 異なる設置位置
- 異なる設計法

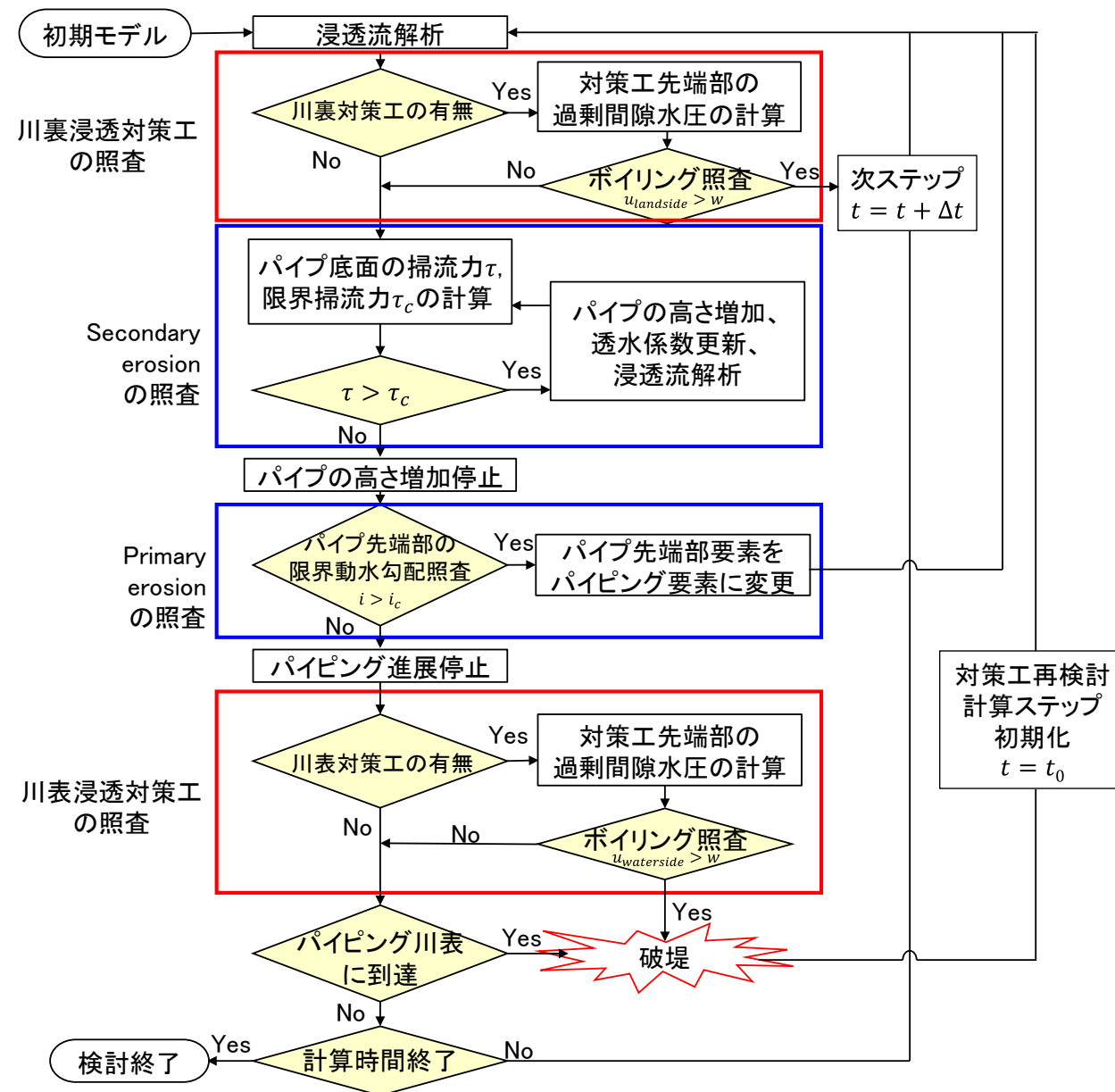
が用いられている。



模型実験により漏水対策の矢板等の効果を確認
 → 漏水対策の効果や効果が発揮される
 メカニズムの再考

提案する設計法の条件

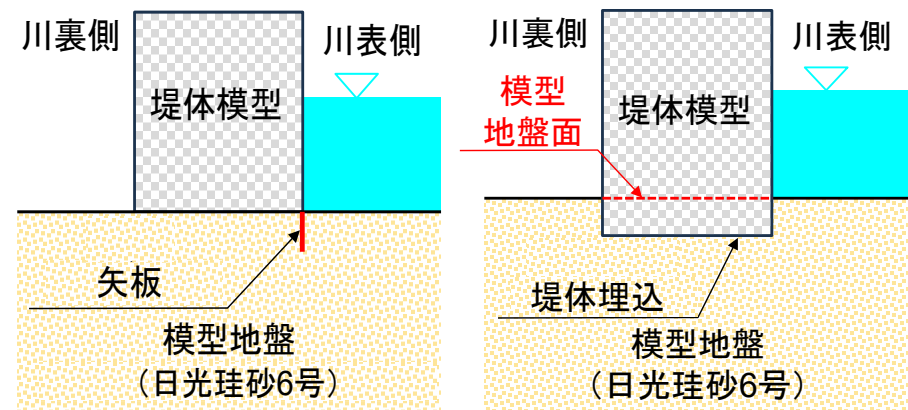
- 一般の堤防、樋門周辺堤防で、異物との境界の有無を反映しつつも、同じ考え方
- (実験結果より)川裏からの変状の進行を考慮



実験の概要

埋め込み(勝海舟伝)と矢板(従来工法)の対策効果に関する浸透模型実験

- ・矢板効果(破壊)は、経路長に応じる
- ・裏矢板はいきなり破壊
- ・埋め込み効果は経路長以上(2~3倍)
 - ← 空隙が埋まることで、パイピングが発達しない
- ・変状の進行を考慮することが重要



まとめ

- ・変状の進行を踏まえた、矢板及び埋め込みの浸透対策効果評価法、これに基づく設計法の骨子を提案

今後の課題

- ・埋め込みによる空隙充填効果の閾値
- ・土粒子の密着の可能性、評価法

参考文献

1) 勝海舟: 氷川清話, 講談社学術文庫 2) 山本晃一: 河川堤防の技術史, 技法堂出版 3) 丸田ら: 矢板の設置位置による基盤漏水に対する効果の違いに関する小型浸透模型実験, 第59回地盤工学研究発表会, 2024. 4) 石原ら: 堤体底面状態による基盤漏水発生状況の違いに関する小型浸透模型実験, 第59回地盤工学研究発表会, 2024. 5) 佐々木ら: 樋門等構造物周辺の堤防の変状発生位置に着目したカーネル密度推定による分析, 土木学会第81回年次学術講演会, 2026