

CDM工法（セメント系深層混合処理工法） —インフラ施設の防災・減災を図るCDM工法—

CDM研究会 小西 一生

CDM研究会

1977年 会員6社にて発足

CDM工法の普及及び技術の向上を目的に活動

現在、会員47社

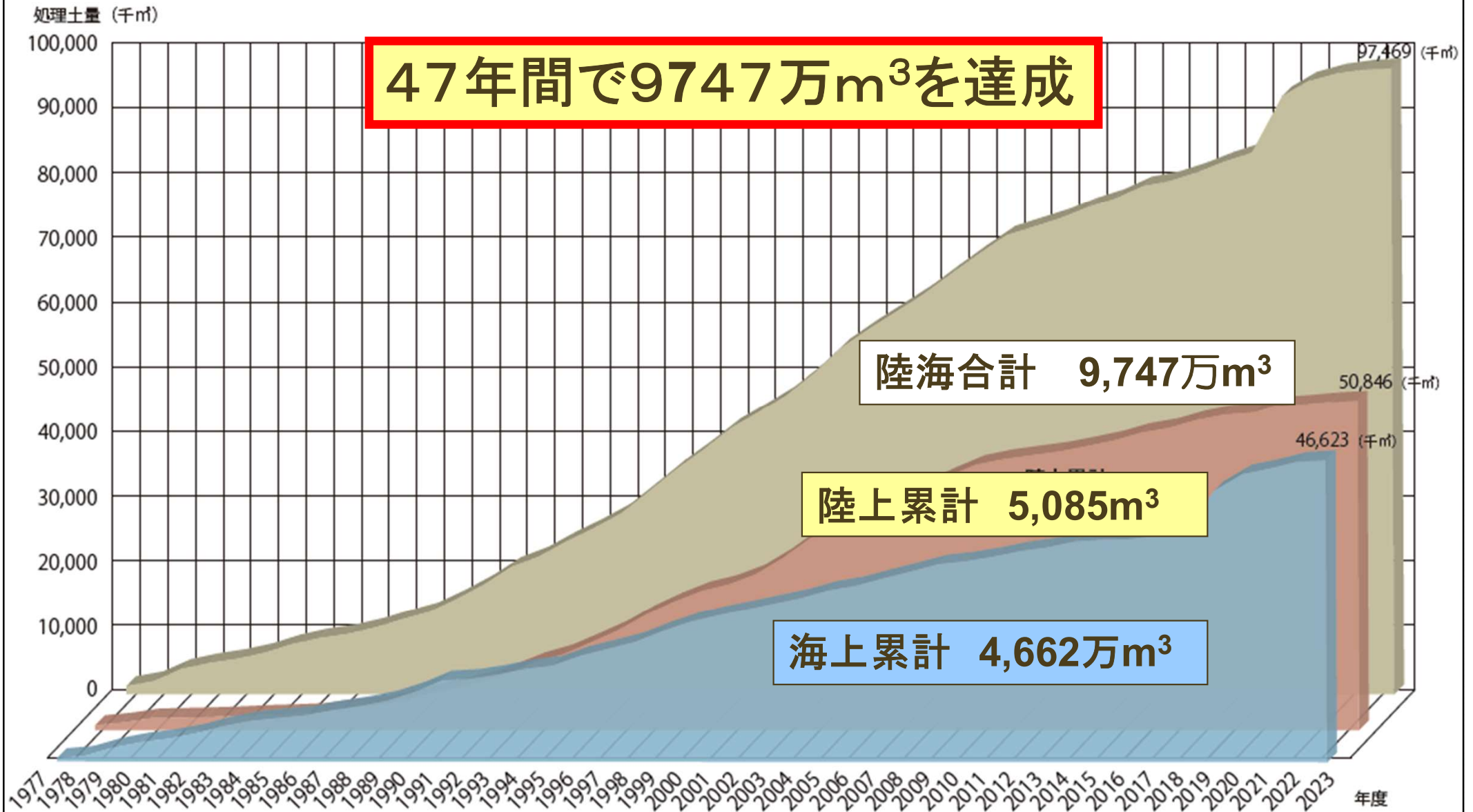
官民一体で技術開発に取り組んでいる

(主な活動内容)

- 工法の適用についての調査研究
- 設計基準や施工歩掛の研究
- 施工法や施工機械の開発研究
- 技術資料の収集整理
- 沿岸センター、土研マニュアルの作成・改訂



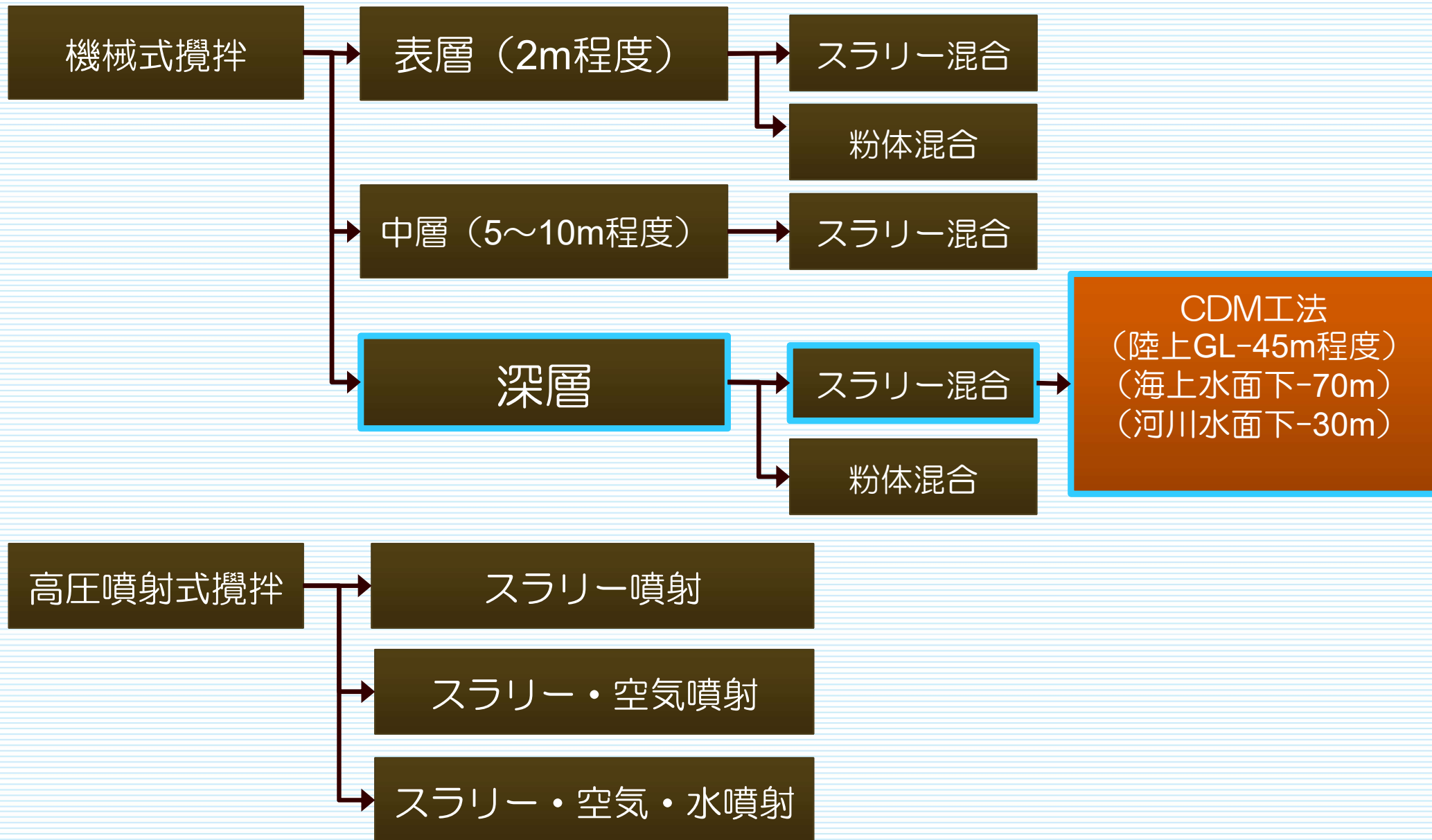
CDM工法実績 (1977~2023)





CDM工法の概要

セメント系固化材による地盤改良工法



CDM工法の特長

● 短期間で所要強度を確保

対象土質に応じた安定材添加量を設定することにより、短期間で所要の強度の改良土が得られる

● 変形（沈下）が微小

改良地盤の载荷に伴う変形は極めて少なく、上部構造物に影響を与えず、将来的な維持補修を必要としない

● 耐震性・遮水性にすぐれている

耐震性にすぐれた構造物基礎や処分場遮水壁を構築可能

● 確実な施工管理

施工管理システムにより、確実な施工管理と信頼性の高い地盤改良

● 無公害

低振動、低騒音工法なので周辺地域に影響を与えない

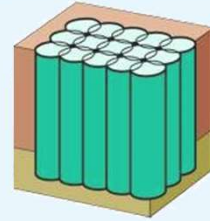
CDM工法 一攪拌混合



CDM工法

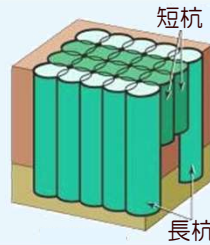
(Cement Deep Mixing : 深層混合処理工法)

目的や用途によって
いろいろなカタチに
並べていくよ!



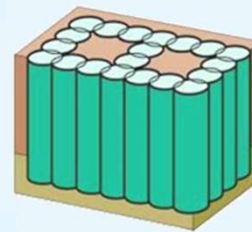
ブロック式

改良体が一体として
外力に抵抗。安定性
が高い。



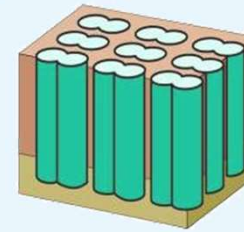
壁式

ブロック式に比べ、改良
体積が少なく経済的
で安定性も高い。



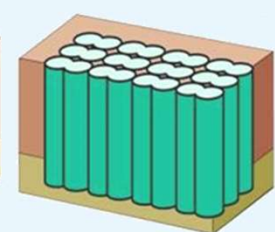
格子式

全体の安定はブロック
式と同じ。ブロック式
と壁式の中間。



杭式

最も経済的。水平力
の小さい場合に適用。



接円式

ブロック式と杭式の
中間。水平力の小さい
場合に適用。

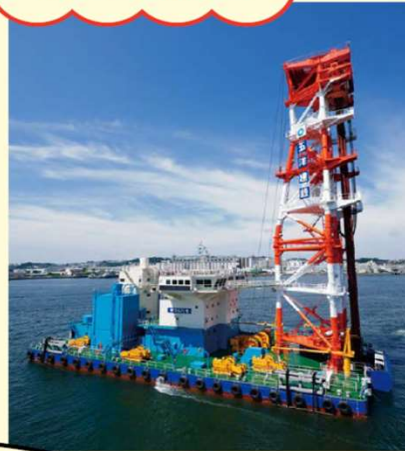
陸地での施工



河川での施工



海での施工



強固な地盤は
地震にも安心!



ダン
ダン

CDM工法は陸地、河川、海の
柔らかい地盤を固化させて
さまざまな用途に役立っているよ!

CDM工法の開発経緯



1977 **CDM 工法** →

施工法の信頼性向上 → 1998年CDM施工管理装置運用 →

変位低減型CDMの開発 → 1999年CDM-LODIC工法 →

大径化・多軸化の開発 → 2001年CDM-コラム、Land4工法 →

2004年CDM-Mega、 $\frac{1}{2}$ ・ $\frac{2}{3}$ 工法 →

2016年CDM-EXCEED工法 →

河川・運河での施工機の開発 → 2007年CDM-FLOAT工法 →

港空研との共同研究 合理的な液状化対策工法の開発 → 2012年 →

有効活用技術の開発 → 2018年 →

標準化の動き

| | | |
|----------------|-------------------------|----------------|
| 港湾基準 マニュアル類 | ●1989年～ 港湾基準 | ●1999年～ 沿岸センター |
| | ●1997年～ 建築センター | ●1999年～ 土研センター |
| 試験法 | ●2000年～：地盤工学会基準 JGS0821 | |

大径化

通常タイプ

Ø1000mm × 2(S=1.50m²)



● CDM/CDM-Mega工法

Ø1200mm × 2軸(S=2.17m²)

Ø1300mm × 2軸(S=2.56m²)

Ø1600mm単軸 (S=2.01m²)



● CDM-EXCEED工法

大断面、大深度、
硬質地盤施工が可能

1600mm × 2軸(S=4.02m²)

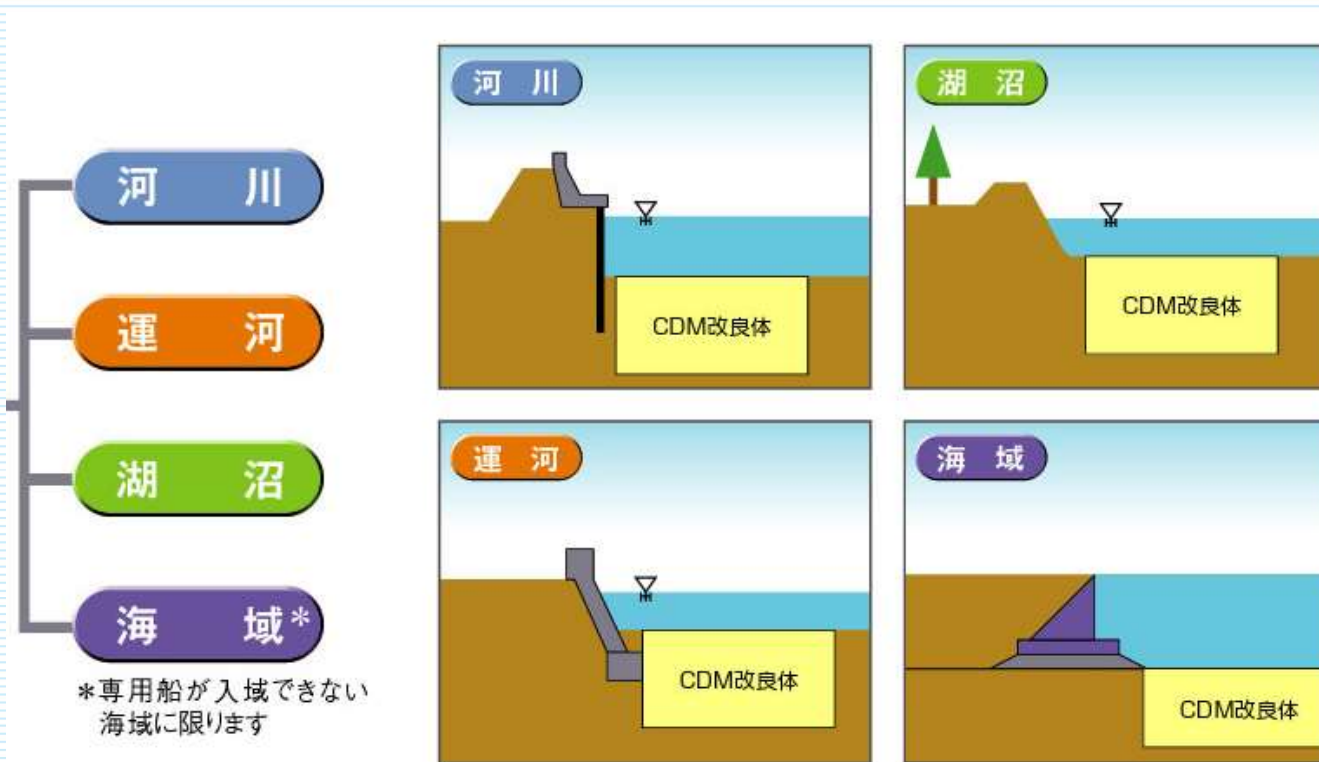


CDM-FLOAT工法 —陸上機搭載台船方式CDM工法—

河川、運河、湖沼、河口部などのCDM船が入域できない狭隘な場所での施工が可能。

台船に陸上CDM機を搭載して潮位管理機能付きシステム管理装置（CDM-FLOATシステム）により施工管理

CDM-FLOAT工法の用途

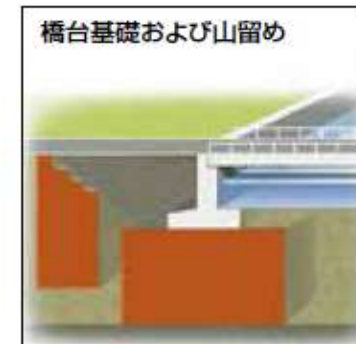
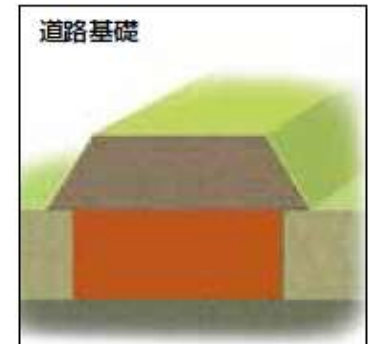
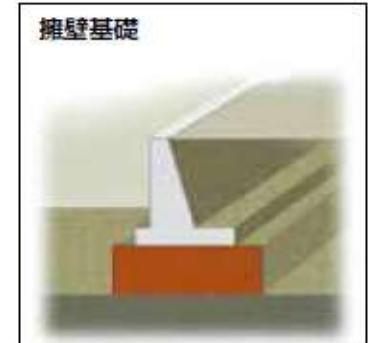
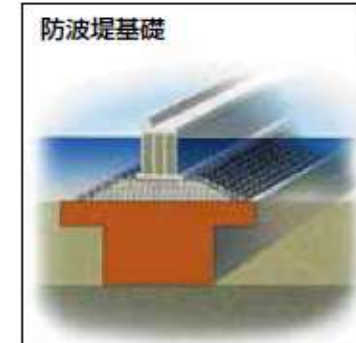
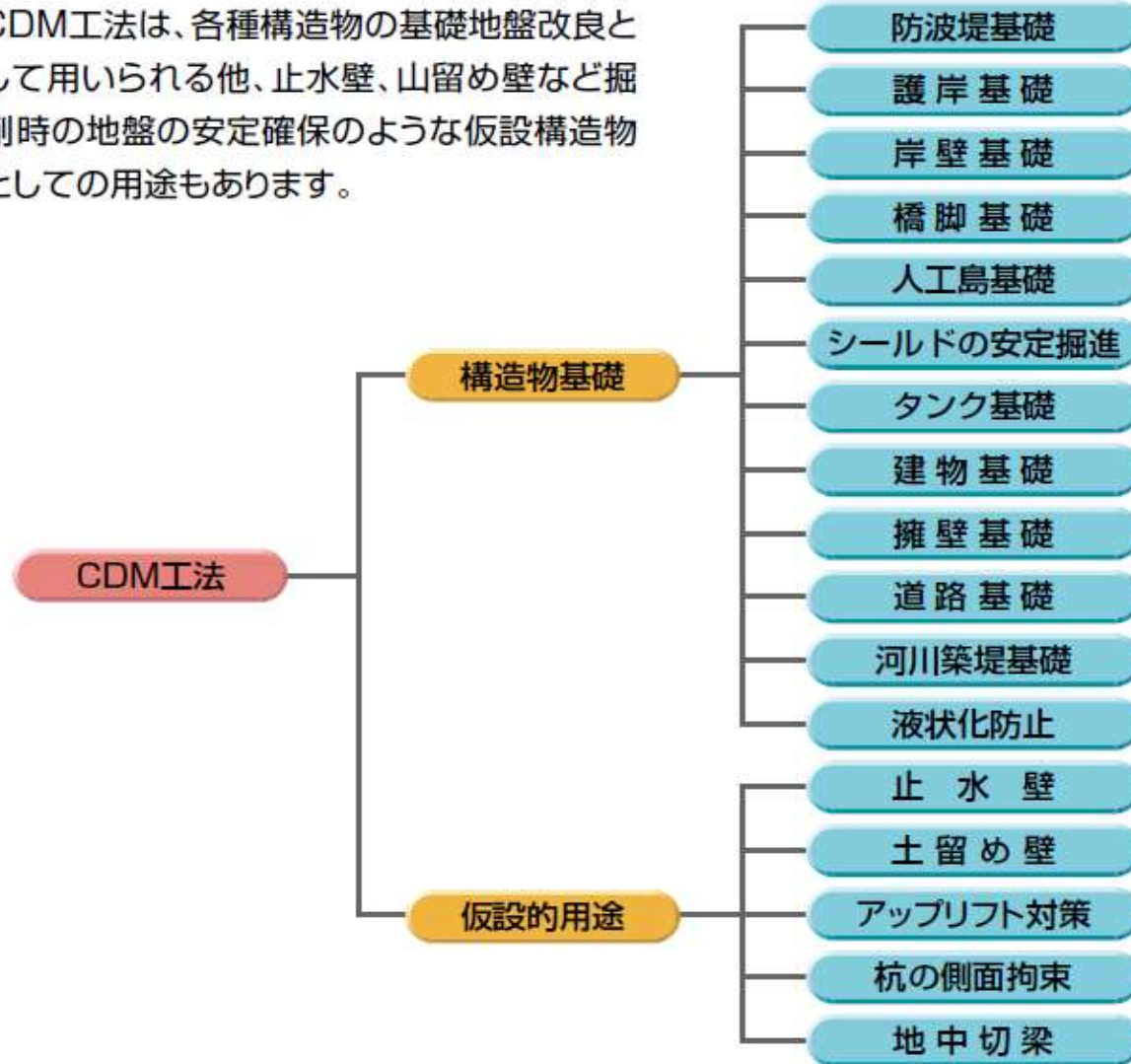


インフラ施設の防災・減災への取り組み



CDM 工法の用途

CDM工法は、各種構造物の基礎地盤改良として用いられる他、止水壁、山留め壁など掘削時の地盤の安定確保のような仮設構造物としての用途もあります。



CDM工法の用途

CDM工法って
どんなところに
使われているんだろう

陸地や河川、海辺の耐震補強や
液状化対策に利用されているよ

ほら見て

いろいろなところに
使われているんだな

もしかしたら
きみの足元も
CDM工法による
改良地盤かも

空港エプロン・誘導路の
液状化対策

建築物・タンク基礎の
液状化対策

高規格堤防の基礎

護岸の基礎

既設河川護岸の
耐震補強

既設岸壁の耐震補強

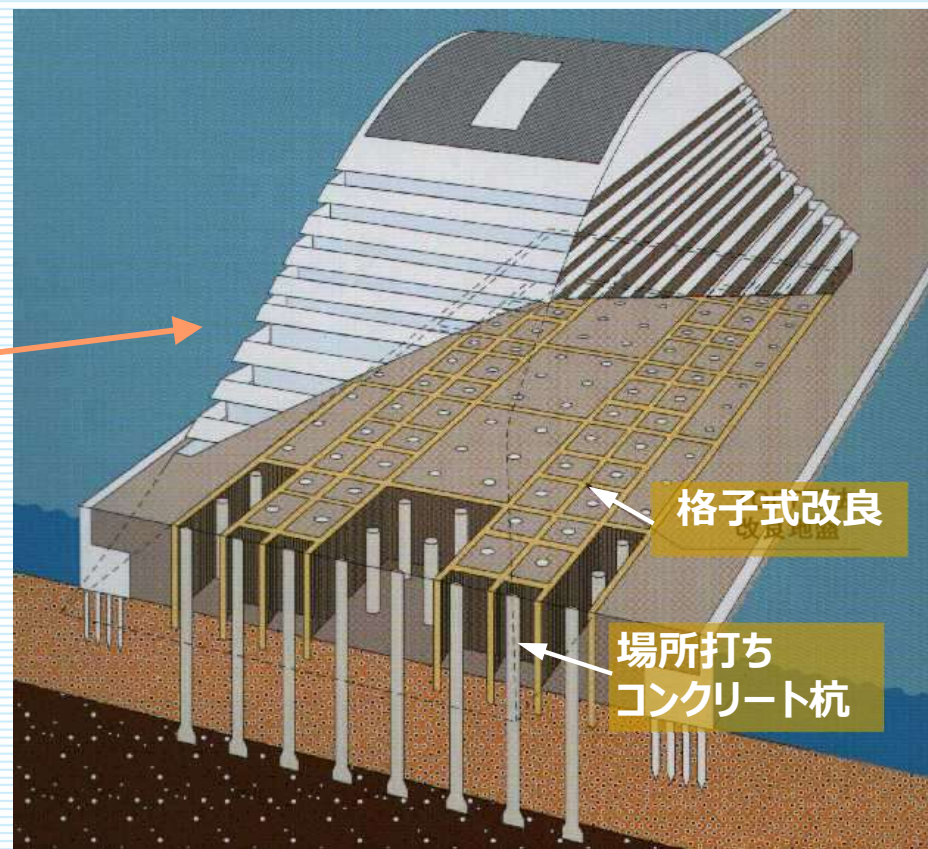
堤防DM補強工法

河川堤防などをCDM工法で補強することで、
地震、津波越流に耐える粘り強い構造にする技術

CDM格子状改良 (1995年 兵庫県南部地震)



建物周辺の未改良箇所の被害



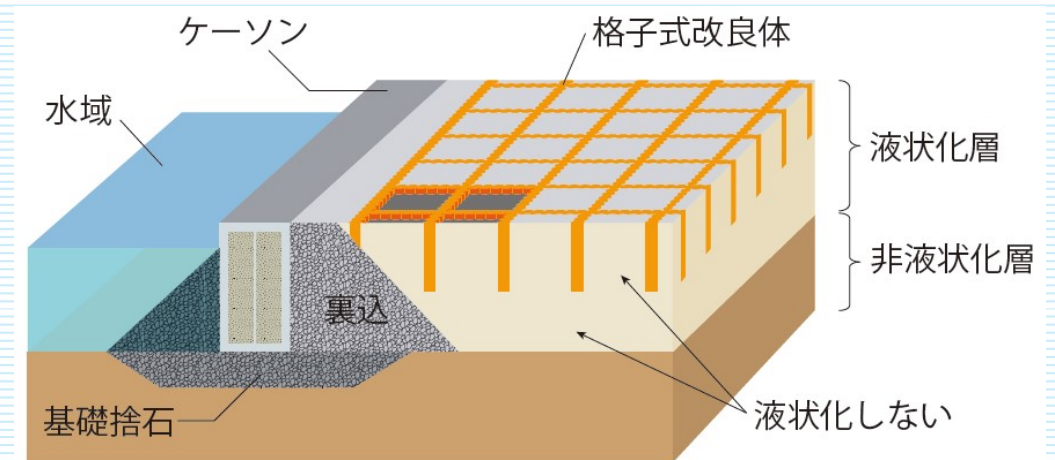
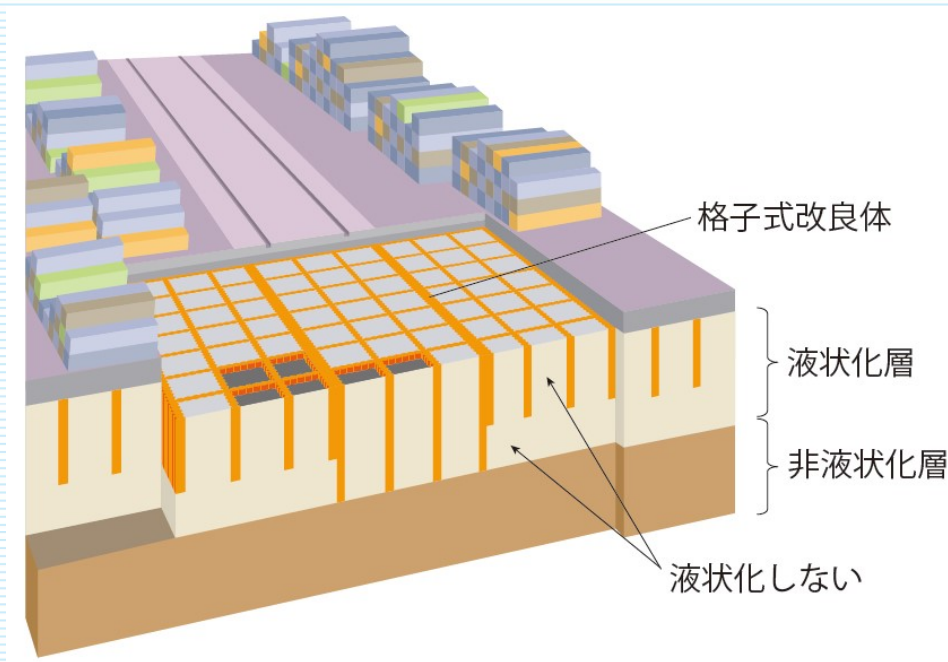
地上14階建のホテル

CDM格子状改良により、
基礎杭周辺地盤の液状化を防止

フューラット工法 — 浮き型格子状液状化対策工法

従来工法（格子状CDM）の 更なるコスト低減のため設計法を開発

- 上層のみをCDMによって格子状に改良し下層は未改良
- 設計・解析によって改良間隔・深度を決定
- 港空研と民間6社の共同研究



地震や津波による堤防の被害

地震による堤防の被災



地震動によって堤体が大きく沈下する被害が発生してきた。

津波の越流による堤防の被災

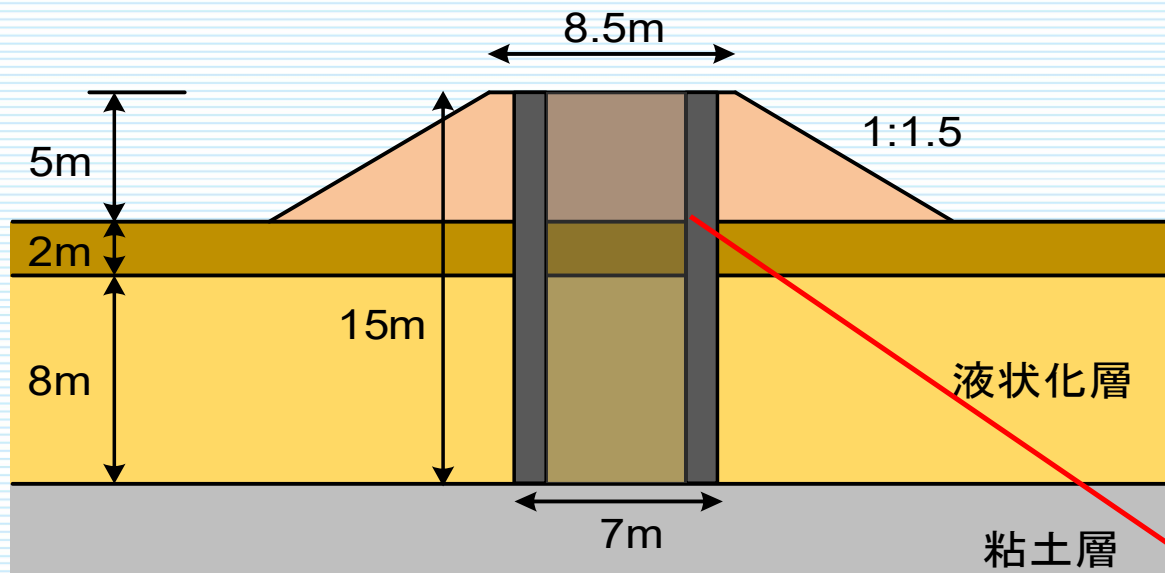


越流によって堤体が裏法面から崩壊する被害が発生してきた。

堤体全体を補強したり，強固な堤体を再構築したりするには，多大な費用が必要であり，現実的でない。

対策工法の提案 堤防DM補強工法

固化処理工法(地盤改良)による対策



格子状改良



ほかにもCDM工法を堤防に用いて

地震や越流*による堤防の崩壊を防いだり

*水が堤防を越えて溢れ出すこと

なるほど!



地震による堤防の被災



越流による堤防の被災

堤防DM補強工法

堤防に土を固める固化処理工法を適用し、越流や震災による堤防の沈下や崩落を防ぎます

格子状の改良体で堤防を補強

改良

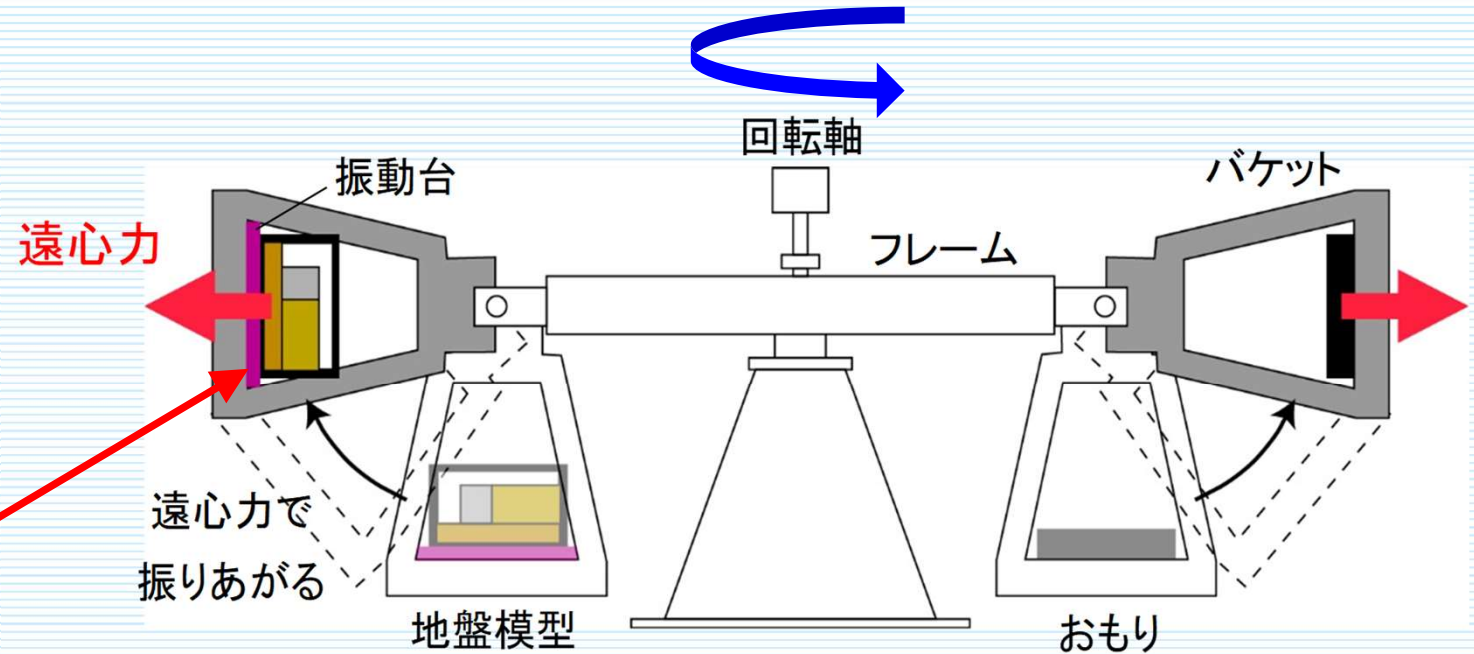
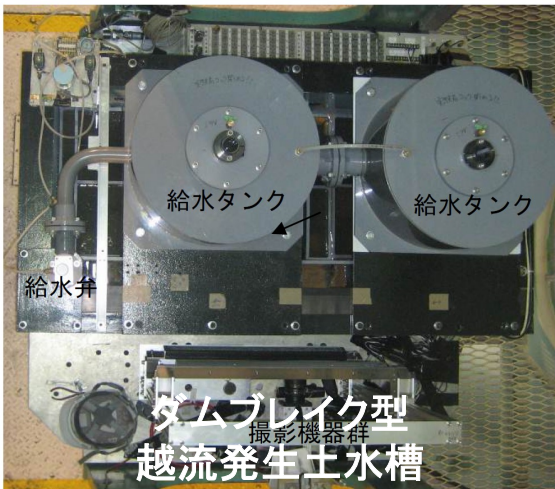
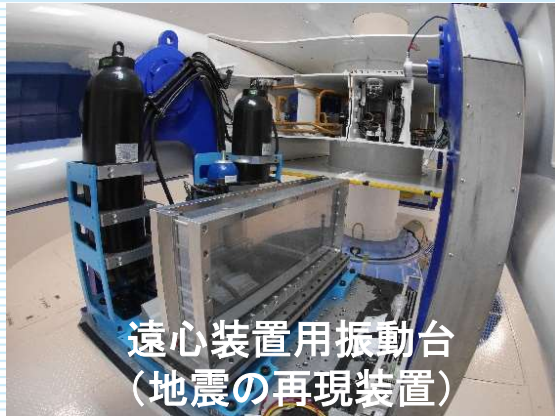
液状化層

支持層

液状化しない

提案工法の効果の確認

- 遠心模型実験によって、実物の土構造物の挙動を再現した。

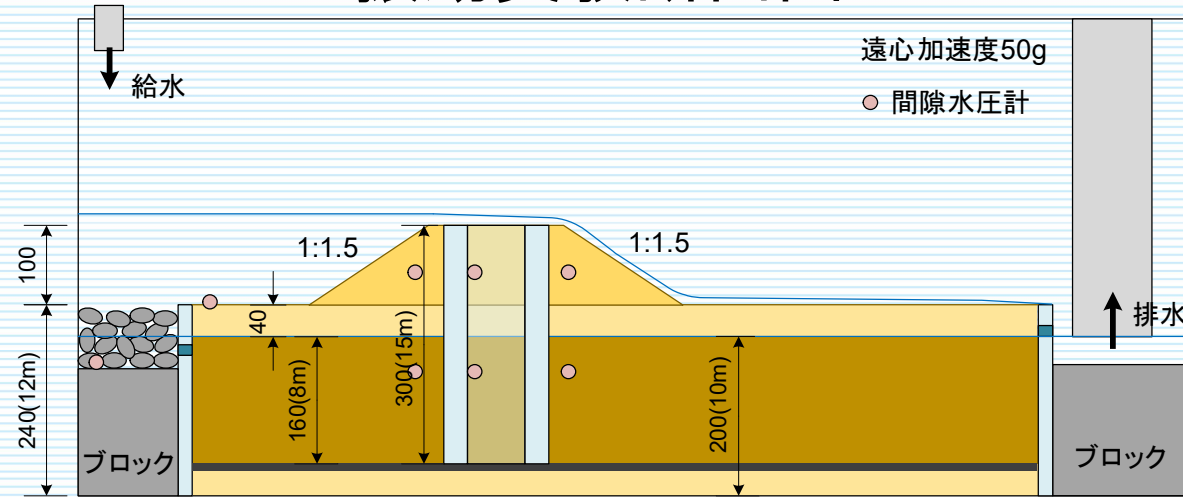


遠心模型実験装置の概念図

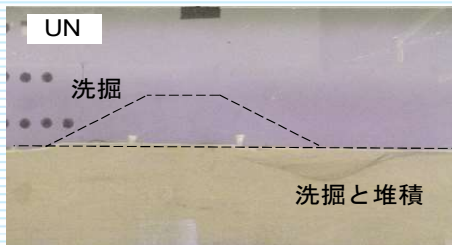


効果の確認 固化処理工法を用いた堤防補強

振動実験断面図

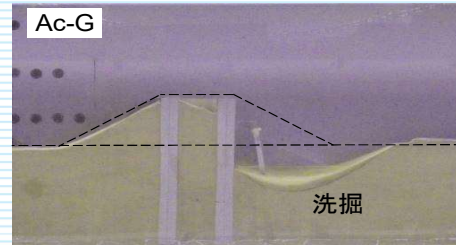


① 無対策



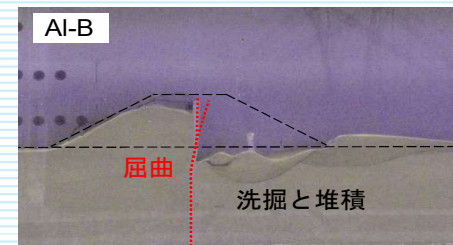
洗掘され、堤体が喪失する

② 格子式



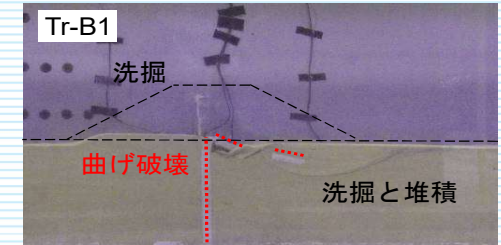
裏法面は洗掘されるが、天端高さが保たれる。

③ 矢板式



矢板や改良体が傾斜・屈曲する可能性がある。

④ 壁式

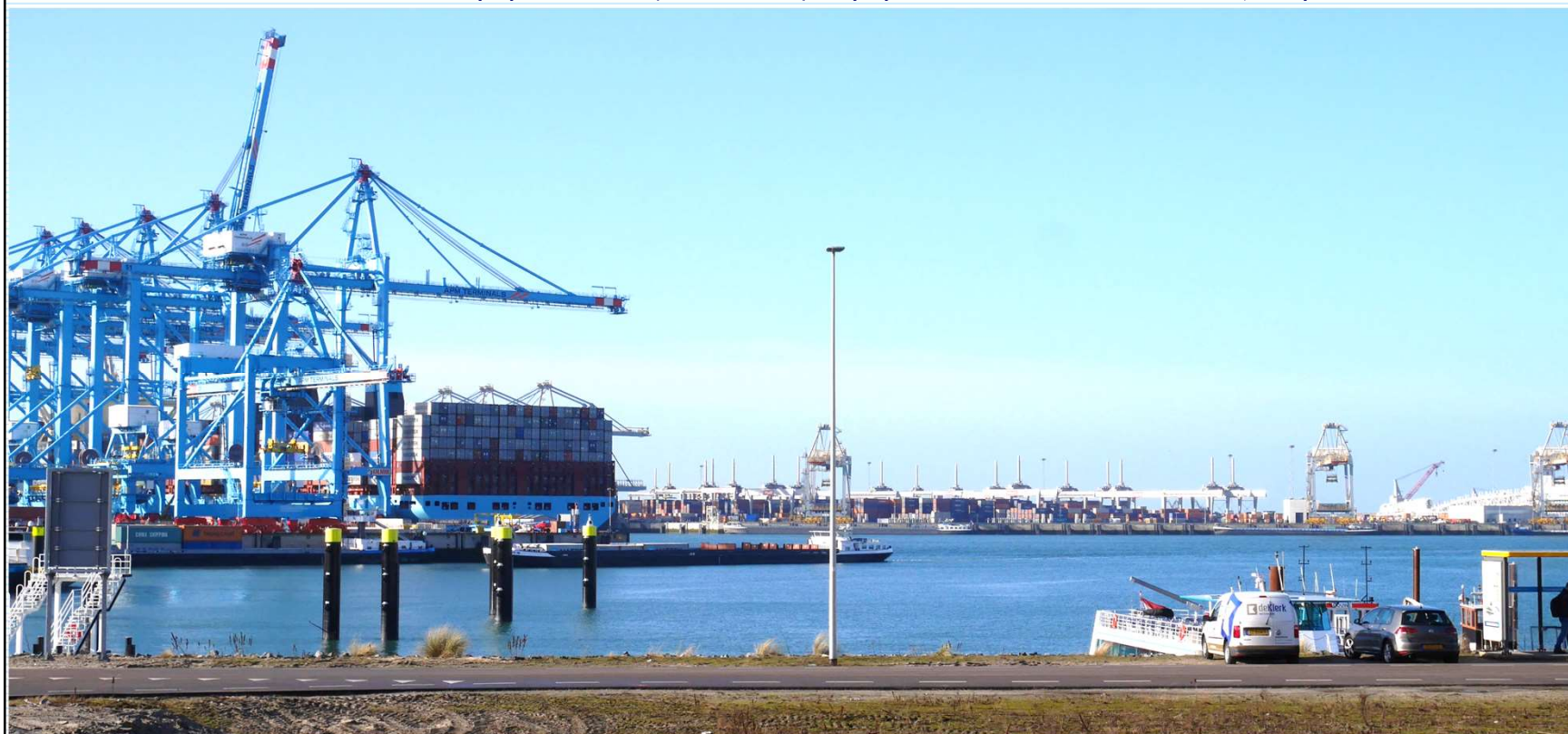


堤防DM補強工法のまとめ

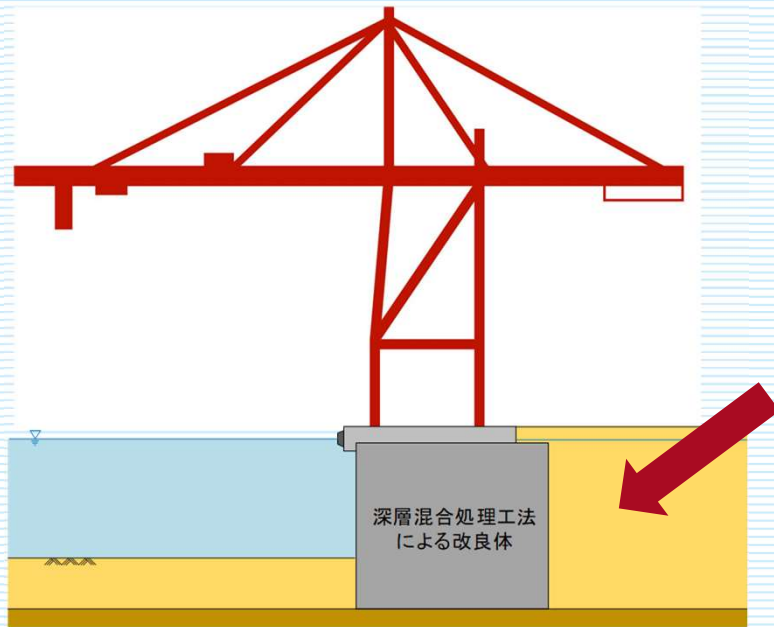
- CDM工法は、様々な構造物や施設の耐震強化に適用されています。
- 液状化対策には、格子式のCDM工法が、多くで採用されており、さらなるコスト削減に向けて、浮き型格子状液状化対策の（フューラット工法）が開発されています。
- 堤防を津波・越波から守るには、堤体内に格子式のCDMを構築することが非常に効果的でした。

CDM岸壁工法

CDM工法によってブロック状に地盤を改良し、
その改良体を岸壁本体工とする技術

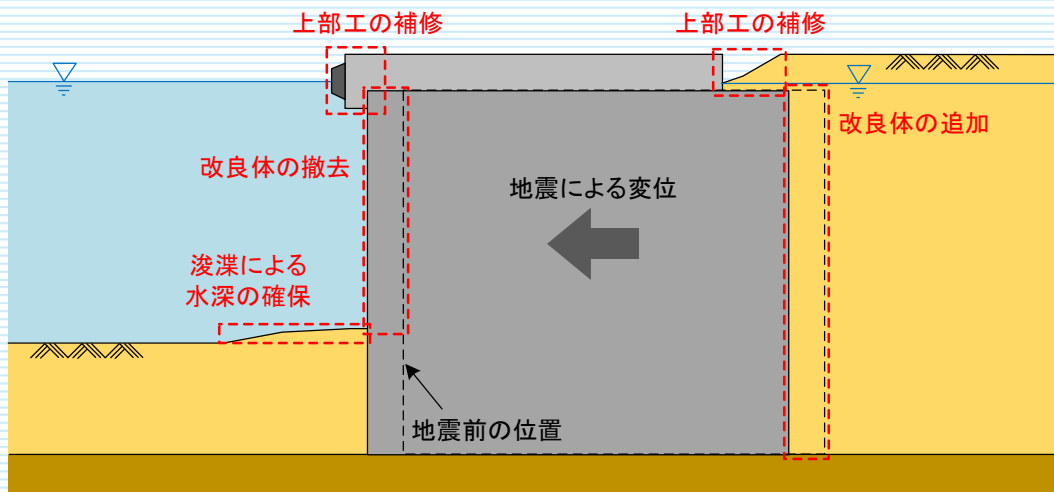


CDM岸壁工法（疑似重力式岸壁）



本工法の特徴

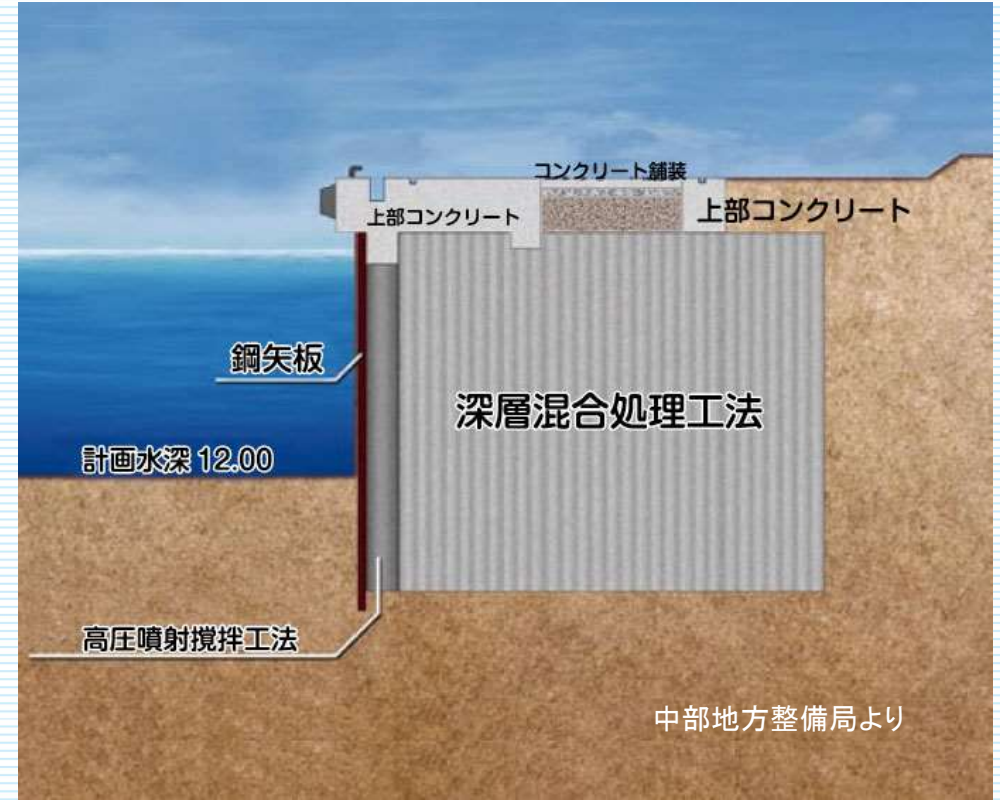
- ・地盤改良の利用による経済性の高さ
- ・既設岸壁への適用が可能
- ・信頼性の高いCDM工法の利用
- ・地震後の補修性の高さ



三河港で初導入

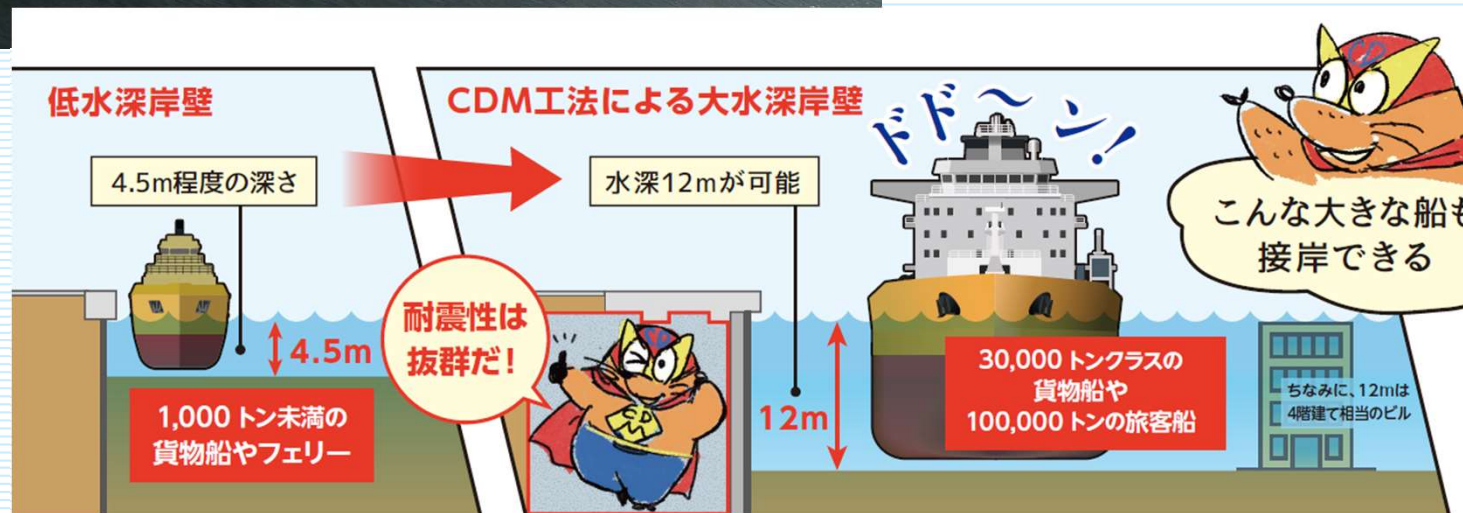
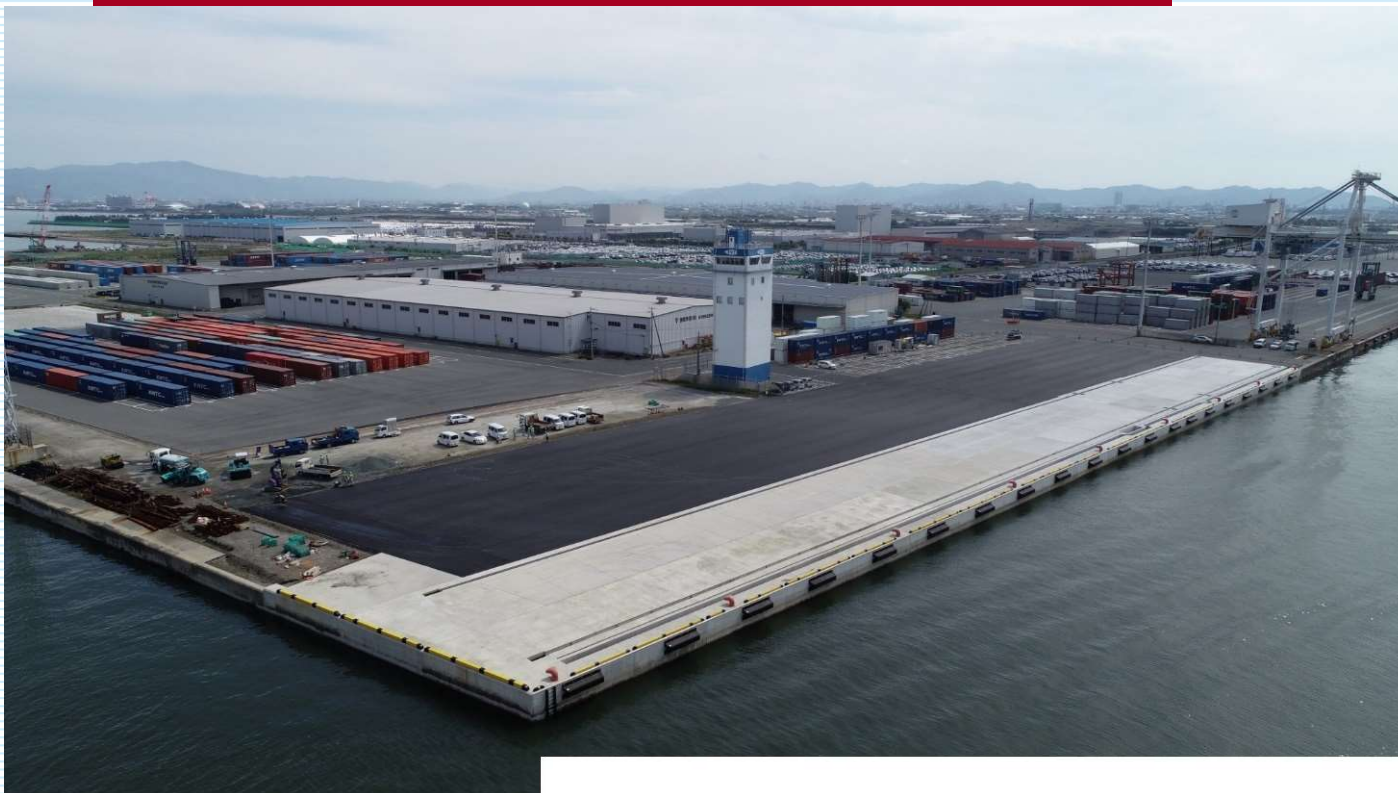


工事中の三河港神野地区岸壁



CDM岸壁工法の概略図

完成状況



洋上風車建設基地港への適用



工事のほとんどが陸上施工のため、コストを抑えることもできるよ

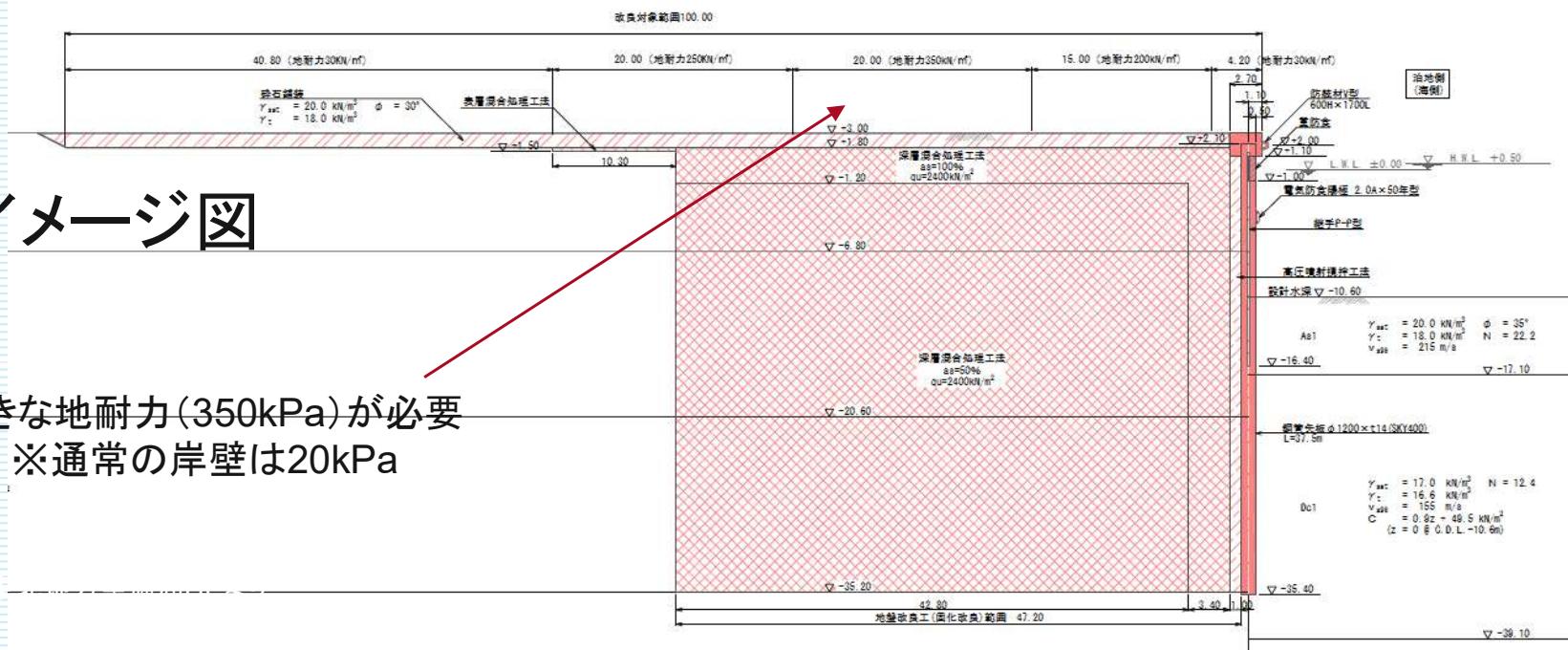
陸上だから工事が容易で早い

洋上風力発電の組立ヤードにも

CDMI法で完成した岸壁

※イメージ図

大きな地耐力(350kPa)が必要
※通常の岸壁は20kPa

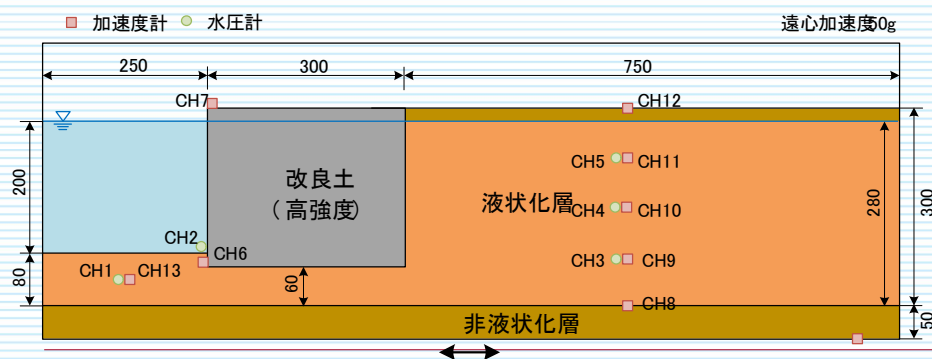
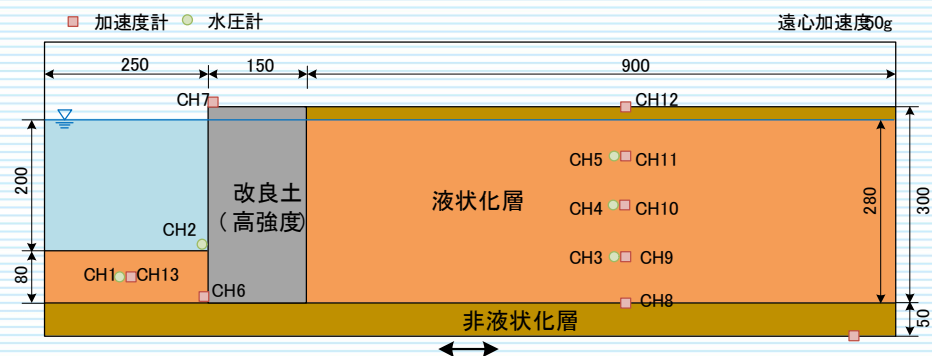
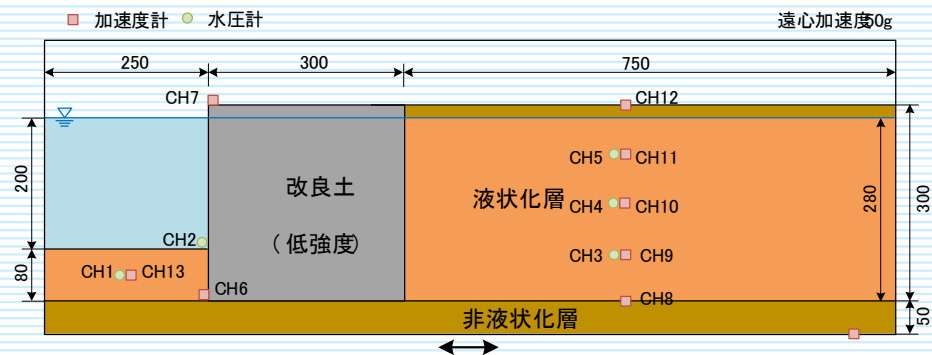


拳動確認のための遠心模型実験

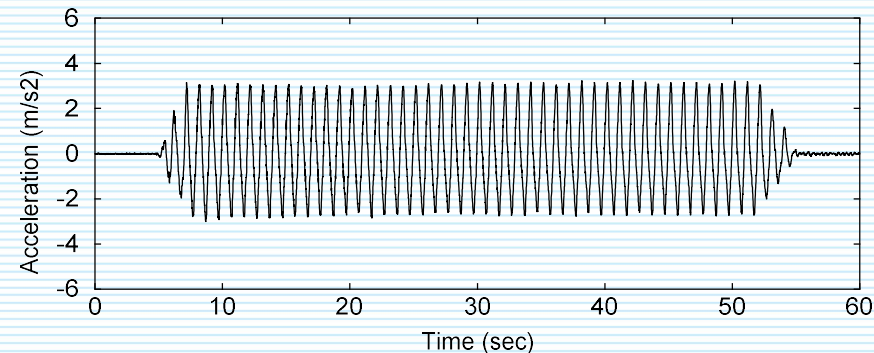


模型実験条件

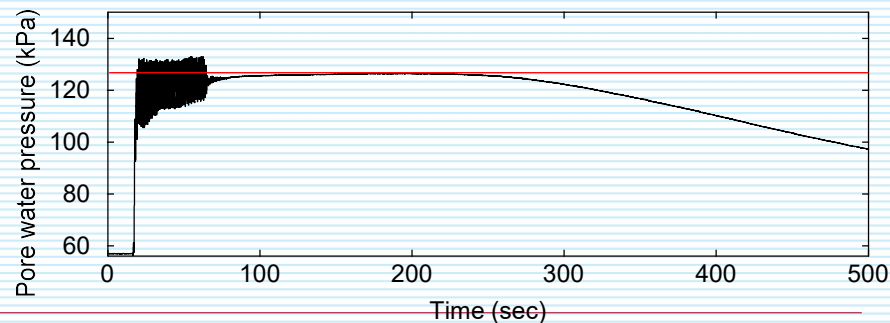
高橋英紀, 府川裕史, 浅田英幸, Nguyen Binh, 竹内秀克: 固化処理土で構築された岸壁の地震時挙動と安定性評価手法の検討, 土木学会論文集B3(海洋開発), Vol. 78, No. 2, pp. 1_589-1_594, 2022.



- 本体工: セメント改良砂
- 背後地盤・前面地盤: 液状化地盤
- 遠心加速度: 50g (10m岸壁)
- 振動: 正弦波50波 (300Gal・1Hz)

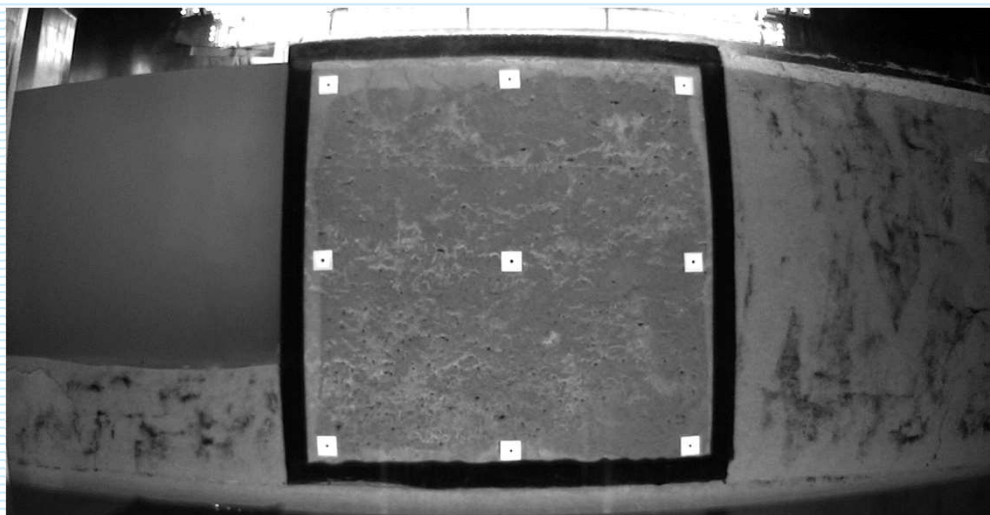


振動台の加振履歴



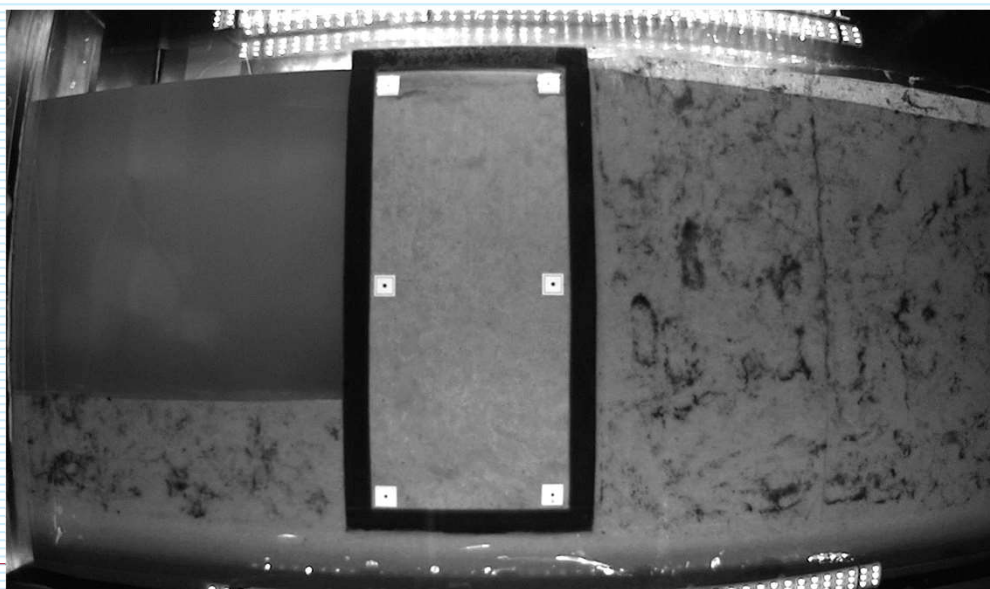
背後地盤の間隙水圧

振動時の様子（動画）



基本ケース

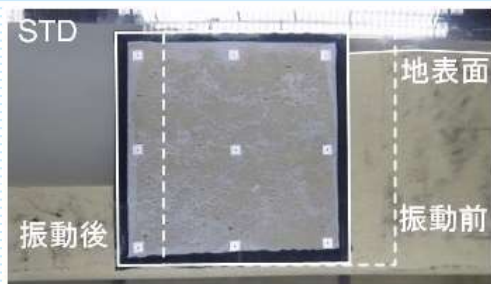
振動によって海側へ変位が発生するが、本土工の傾斜は小さい。このため、補修を行いやすい。



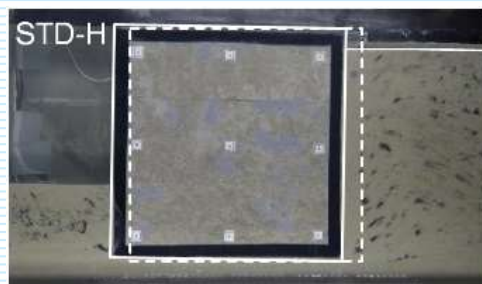
幅狭ケース

振動によって本土工が海側へ倒れ込む。軽微な修復は困難である。

振動後の状態（1）

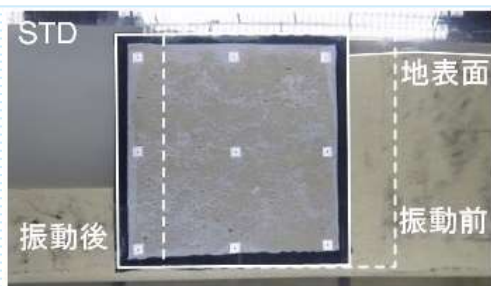


基本ケースSTD

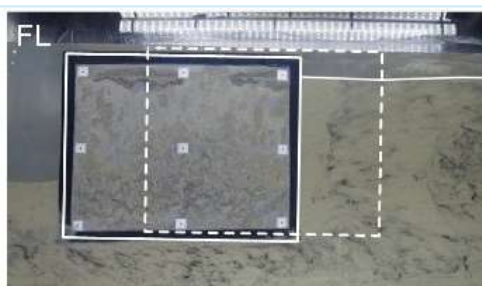


重くしたケースSTD-H

- 基本ケースSTDでは、傾斜せずに海側へせり出した。重量が増すSTD-Hでは、変位量は低減した。

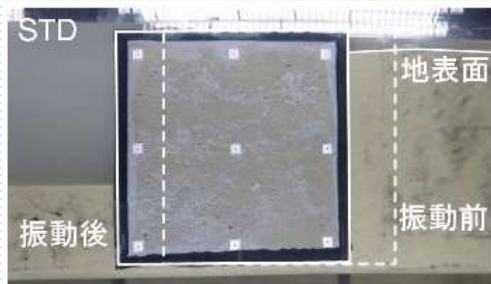


基本ケースSTD

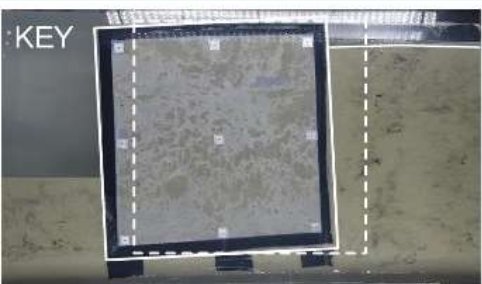


浮き型ケースFL

- 基本ケースSTDと同じ幅でも、浮き型にすると変位は増大した。



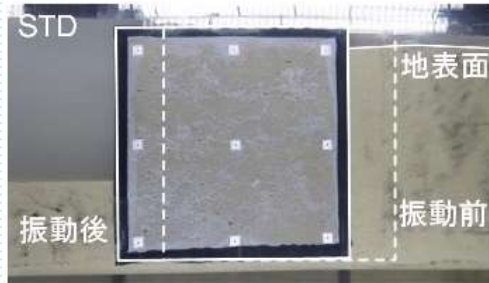
基本ケースSTD



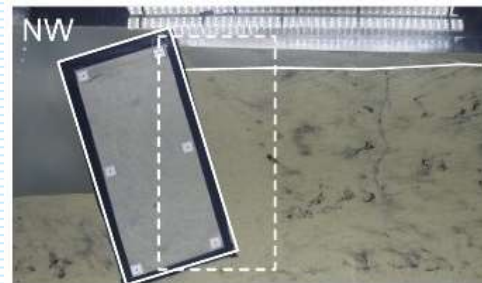
突起を付けたケースKEY

- 基本ケースSTDと同じ幅でも、着底部に突起を付けると変位はやや小さくなるが、やや傾く。あまり効果は得られない。

振動後の状態 (2)

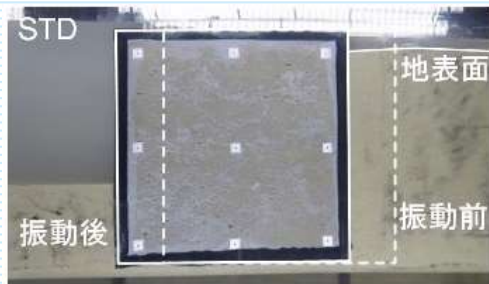


基本ケースSTD



幅を狭くしたケースNW

- 幅を狭くしたケースNWでは、基本ケースSTDに比べて、傾斜して海側へせり出した。

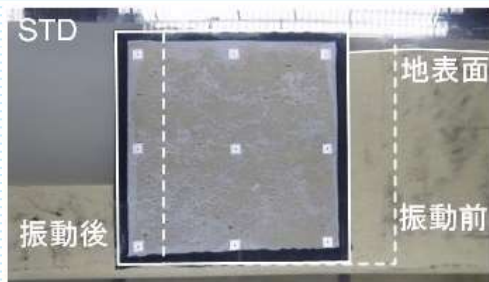


基本ケースSTD

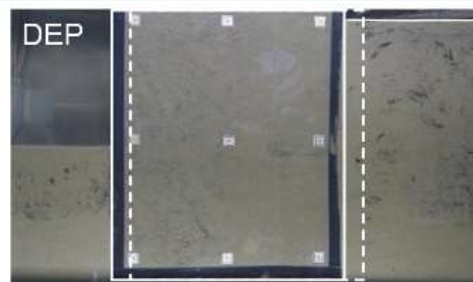


幅を広くしたケースWD

- 幅を広くしたケースWDでは、基本ケースSTDに比べて、変位量は低減した。



基本ケースSTD



根入れを深くしたケースDEP

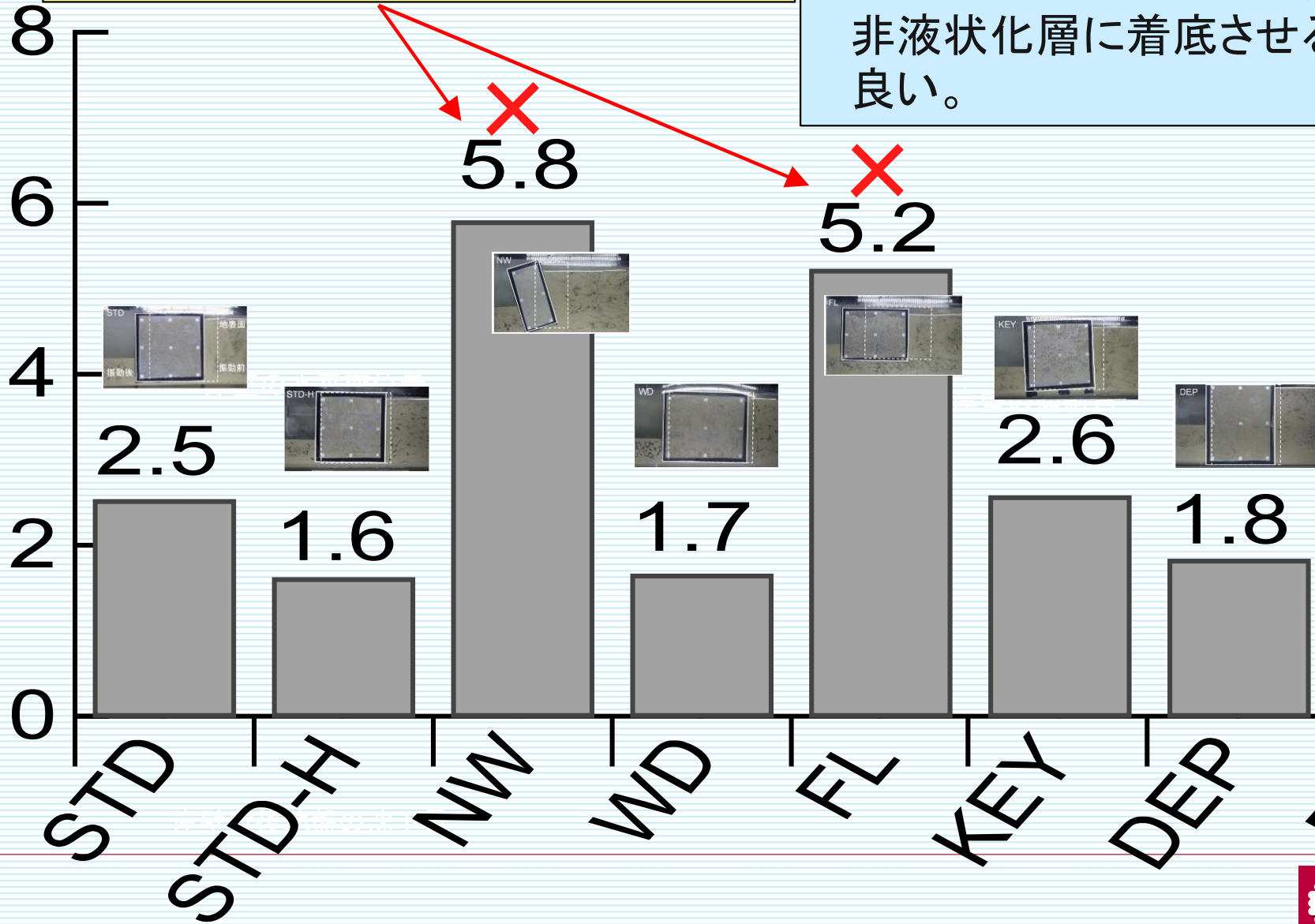
- 基本ケースSTDと同じ幅でも、根入れを深くしたケースDEPでは、変位量は低減した。

岸壁の水平変位

・幅狭(NW)や浮き型(FL)では、変位量が大きくなる。

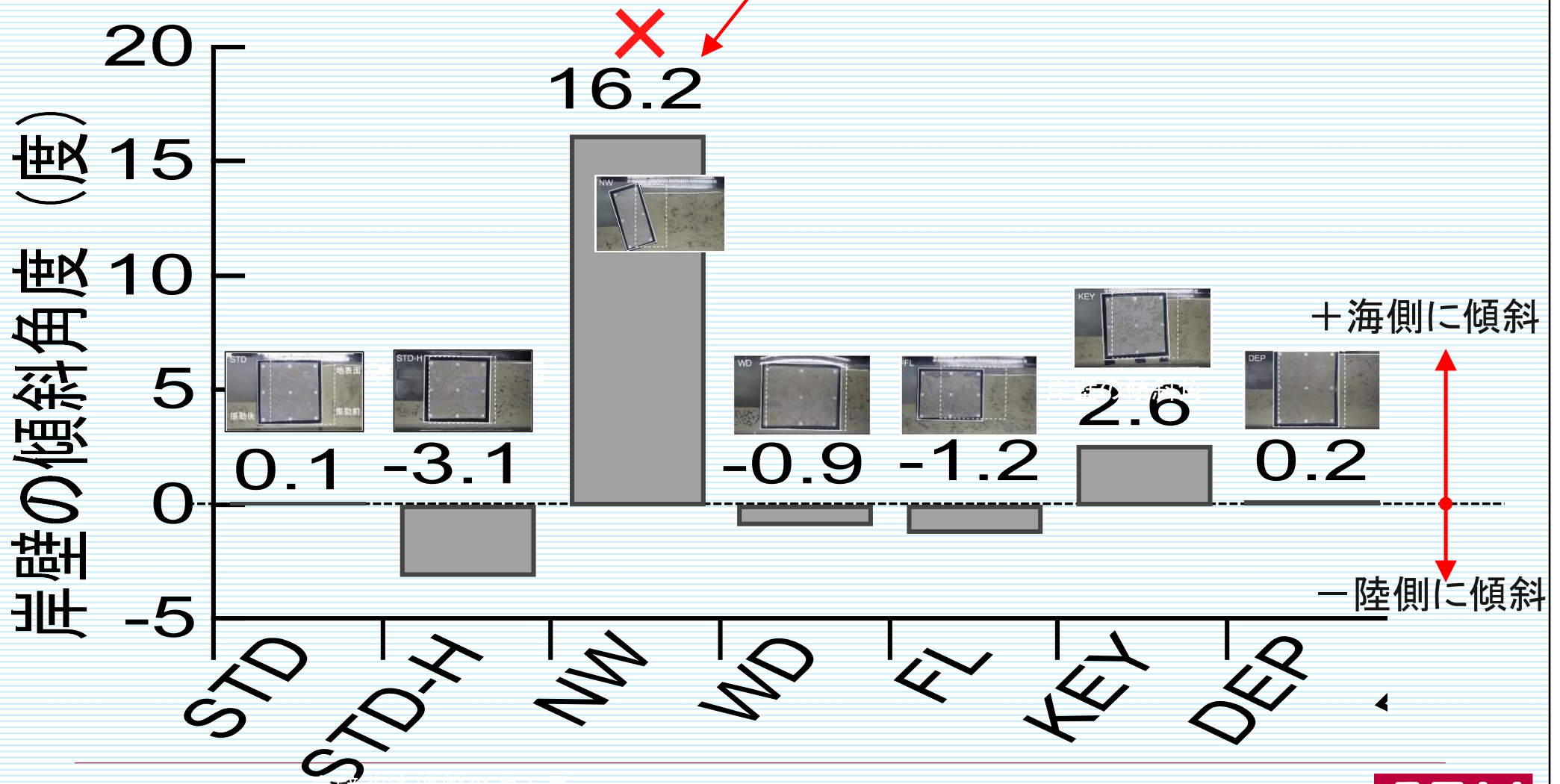
・固化処理土(本体工)には深さ程度の幅を設けた方が良い。非液化化層に着底させる方が良い。

岸壁法線の水平変位量 (m)

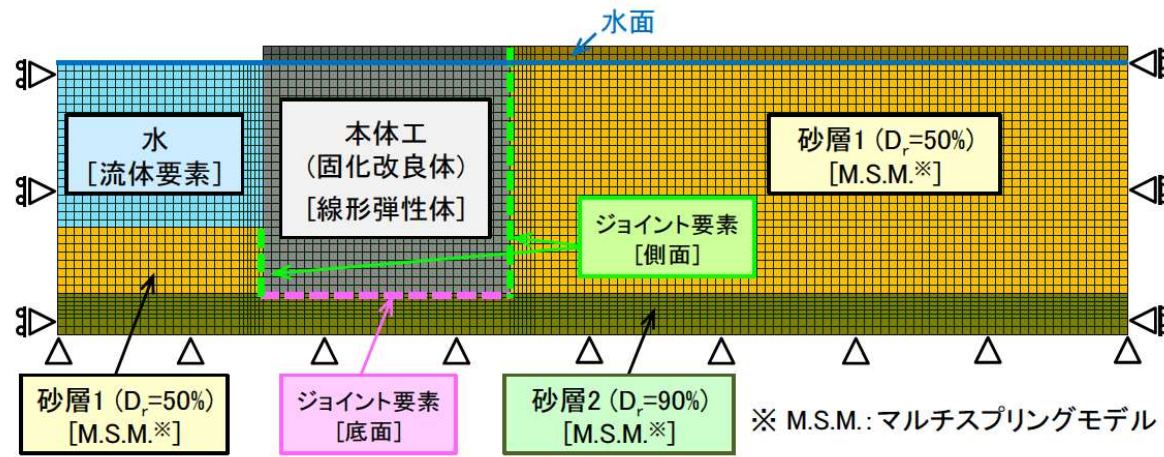


岸壁の傾斜角度

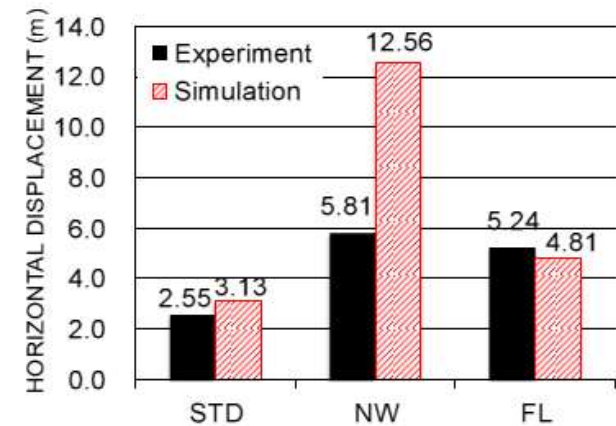
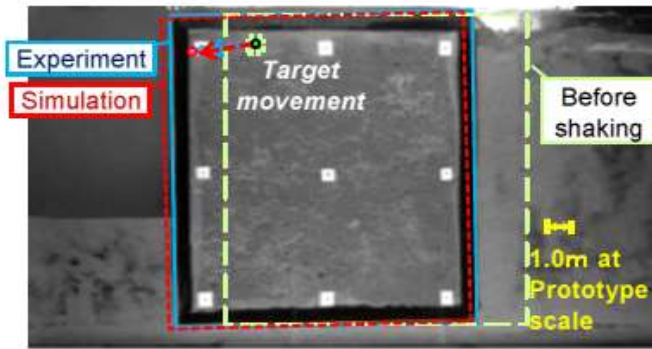
・幅狭(NW)では、傾斜が極端に大きくなる。



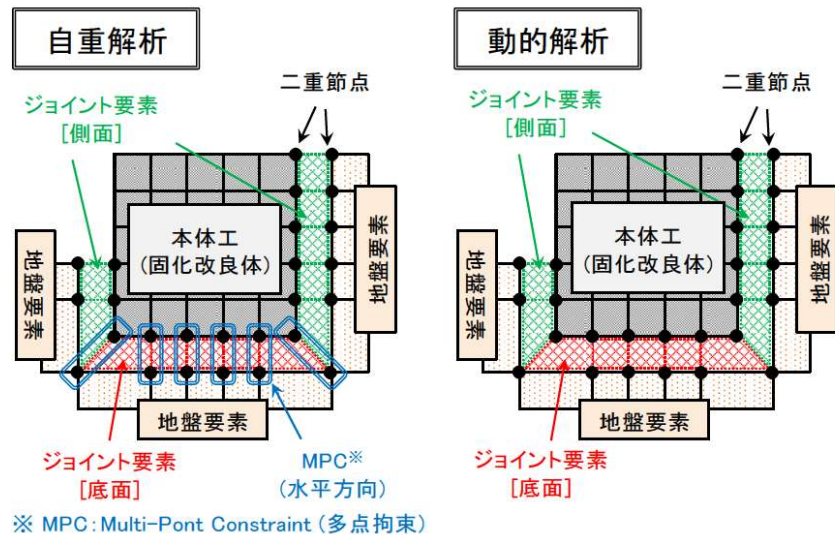
FEM(FLIP)での再現



FLIPでのモデル化



流石な実験とFLIPの結果は一致



本體工を流石な工学的にモデル化

FLIPによる変位量の推定が可能である

CDM岸壁工法のまとめ

- 主たる工事はCDMであり、高価な材料も不要であるため、経済性に優れています。
- また、陸上での工事が主で、海上作業がほとんどないため、隣接する供用岸壁に影響を与えることが少ない工法です。
- 耐震性にも優れていますが、仮に地震によって岸壁が海側に変位しても、補修が比較的容易で維持管理がしやすい工法です。

ご清聴ありがとうございました