

CDM工法（セメント系深層混合処理工法）

－ ICT活用技術と国土強靱化への取り組み－

CDM研究会 徳永 幸彦

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48社

官民一体で技術開発に取り組んでいる

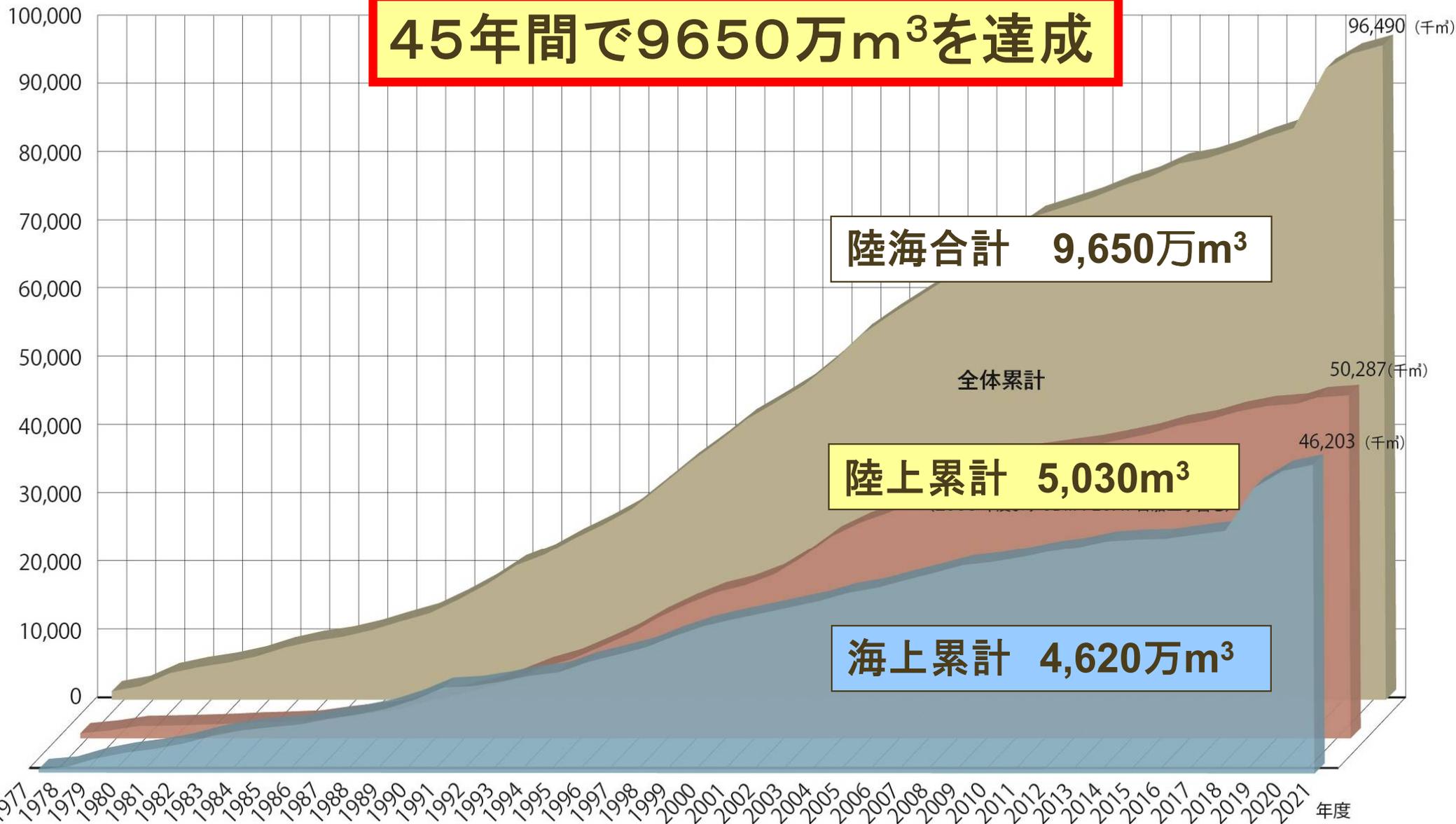


(主な活動内容)

- 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 (1977~2022)

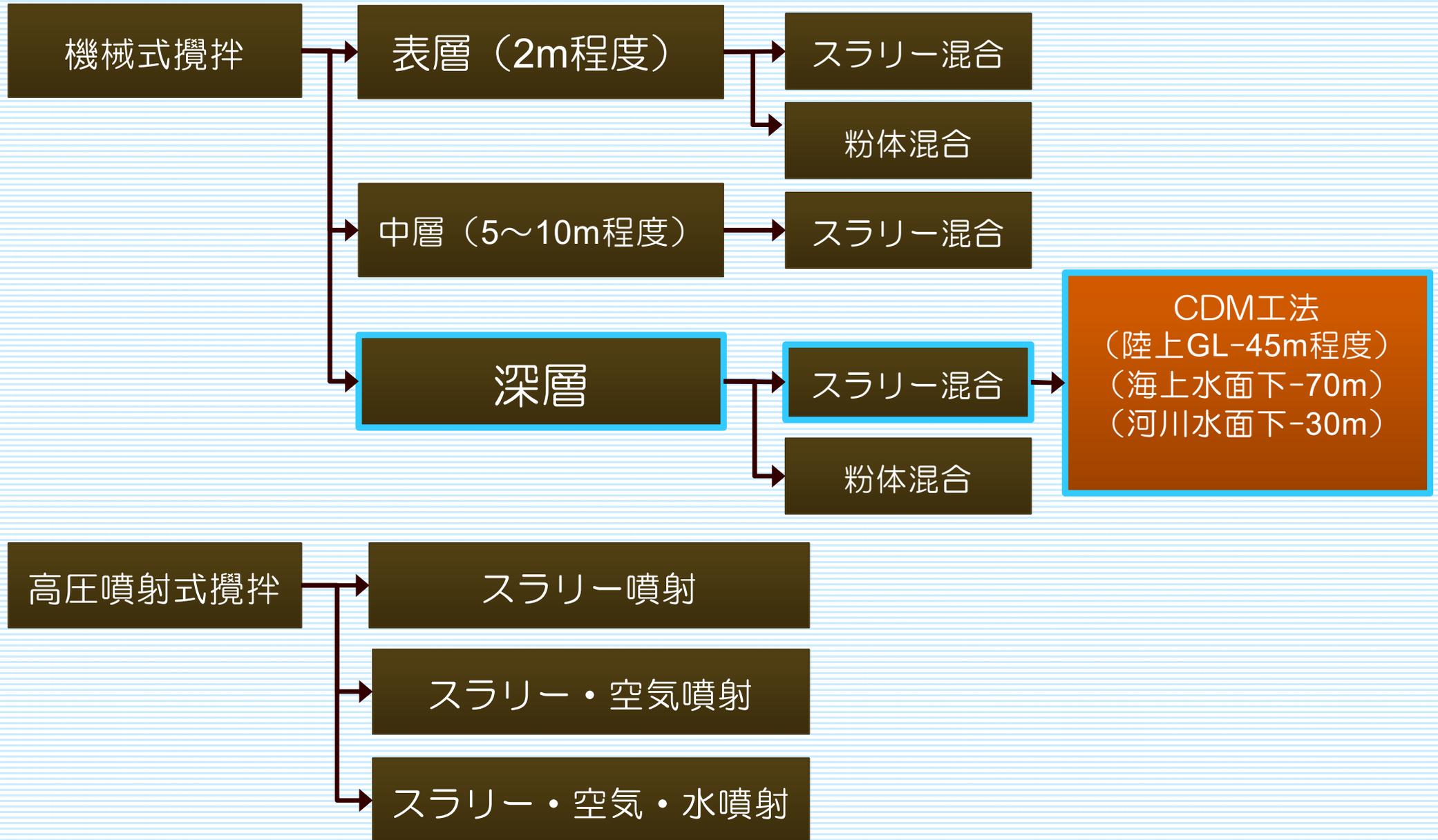
処理土量 (千 m^3)





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

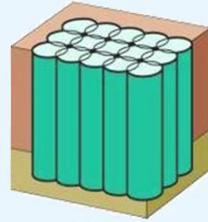
CDM工法 一攪拌混合



CDM工法

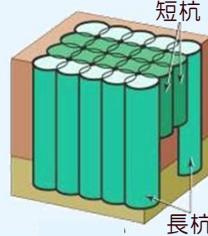
(Cement Deep Mixing : 深層混合処理工法)

目的や用途によって
いろいろなカタチに
並べていくよ!



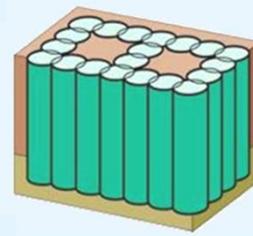
ブロック式

改良体が一体として
外力に抵抗。安定性
が高い。



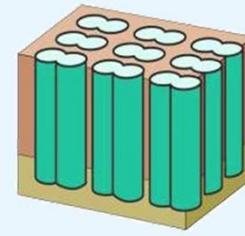
壁式

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。



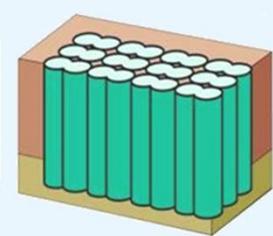
格子式

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-35m、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 →

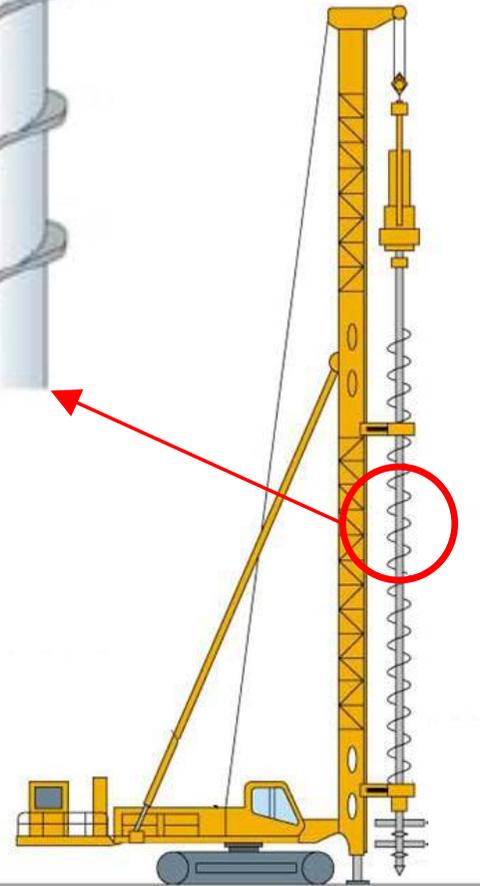
標準化の動き

港湾基準	● 1989年～ 港湾基準	● 1999年～ 沿岸センター
マニュアル類	● 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	

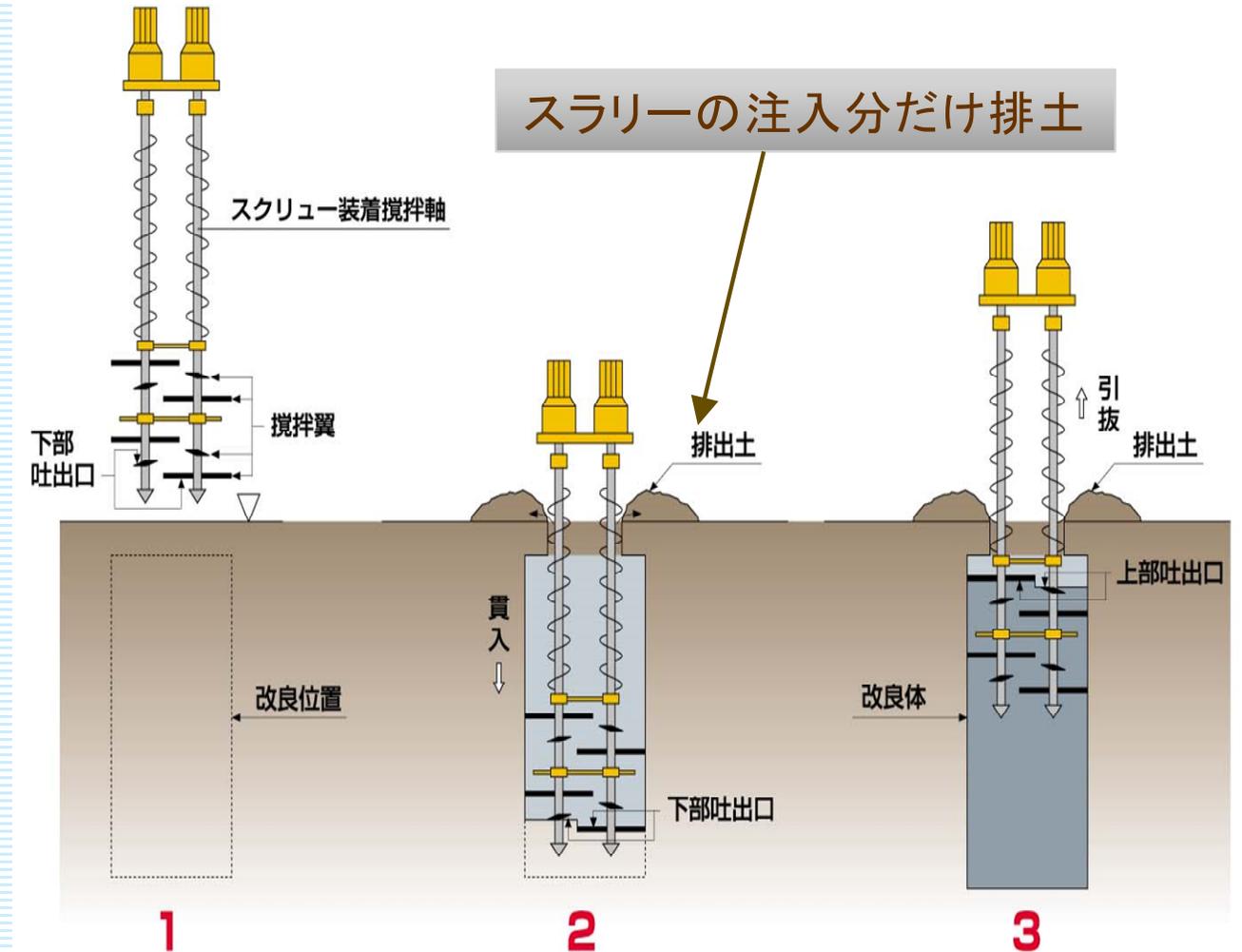
CDM-LODIC工法

—変位低減型CDM工法—

排土：スクリュー



CDM-LODIC機



位置決め

貫入・排土

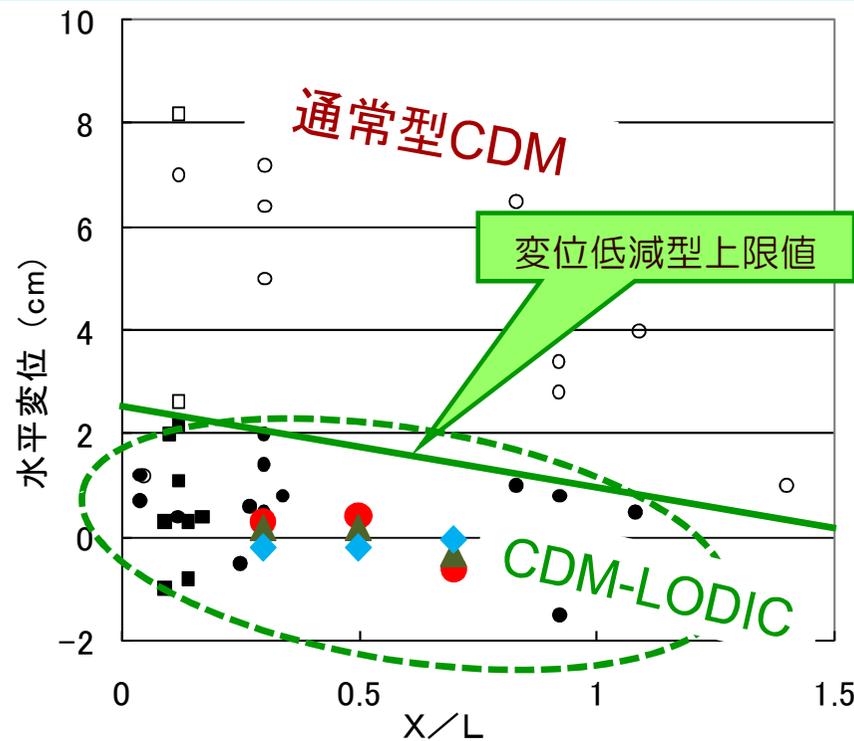
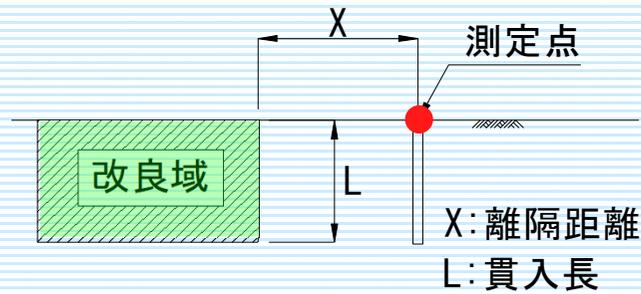
引抜・スラリー吐出・攪拌・排土

(ほぐして排土しながら貫入、先端処理部分のみ、下部吐出口よりスラリー吐出し攪拌混合)

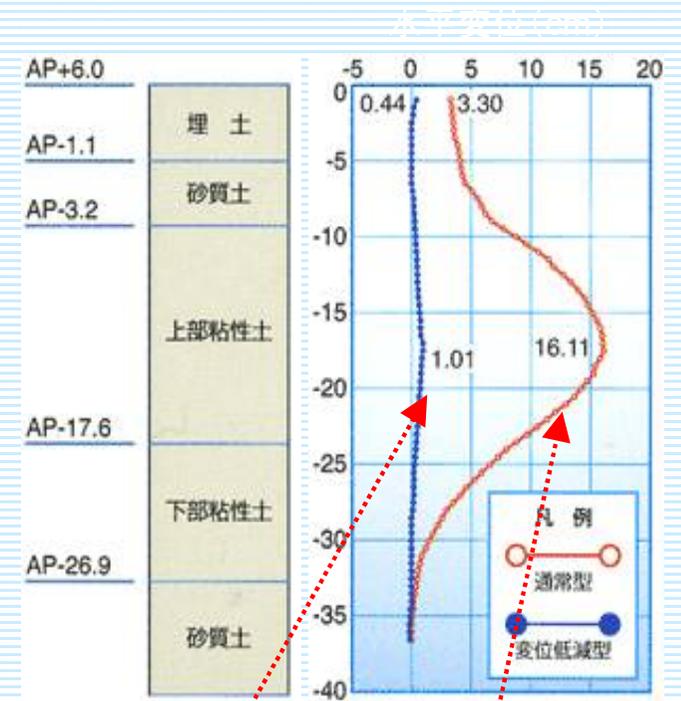
(上部吐出口よりスラリー吐出し攪拌混合し引抜きながら排土を行う)

CDM-LODIC工法 —変位低減量—

■ 地表面変位量



■ 地中変位量



CDM-LODIC

通常CDM

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)

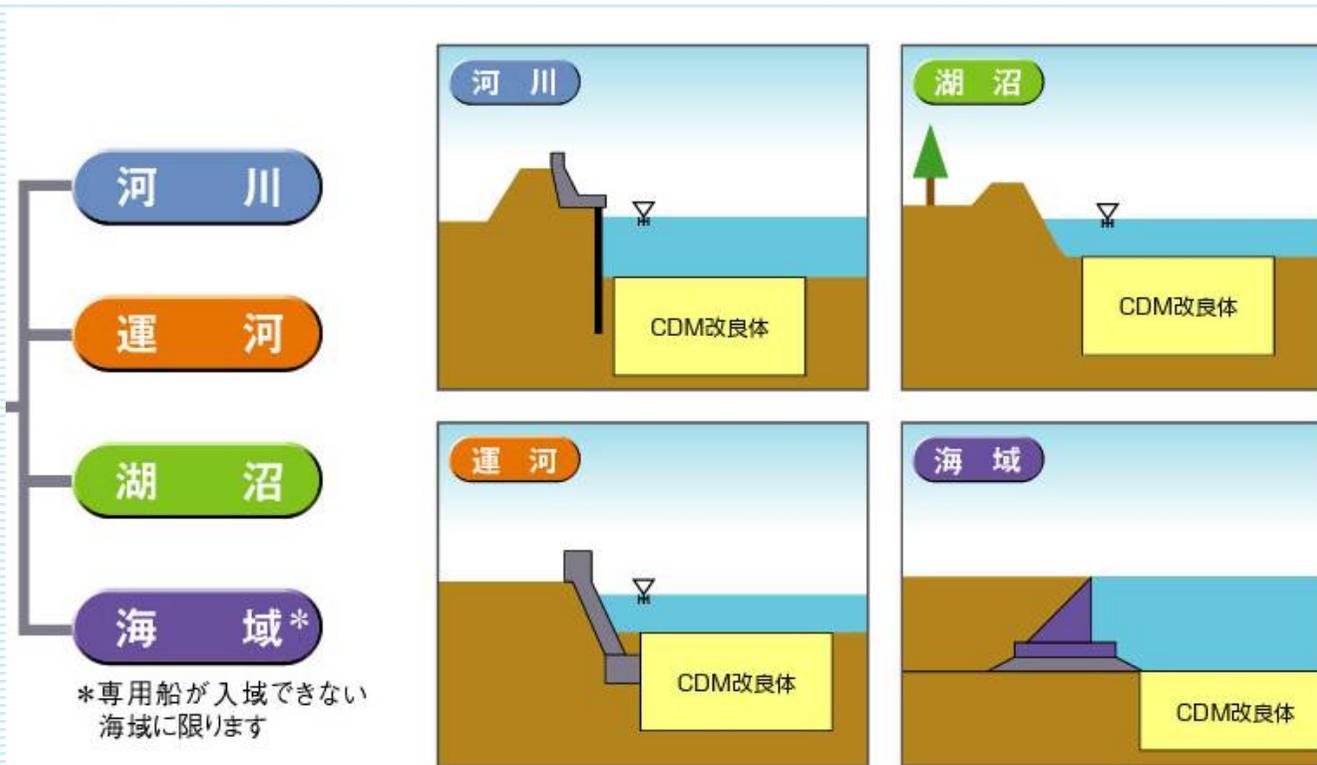


CDM-FLOAT工法 —陸上機搭載台船方式CDM工法—

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





CDM船でのICT活用技術

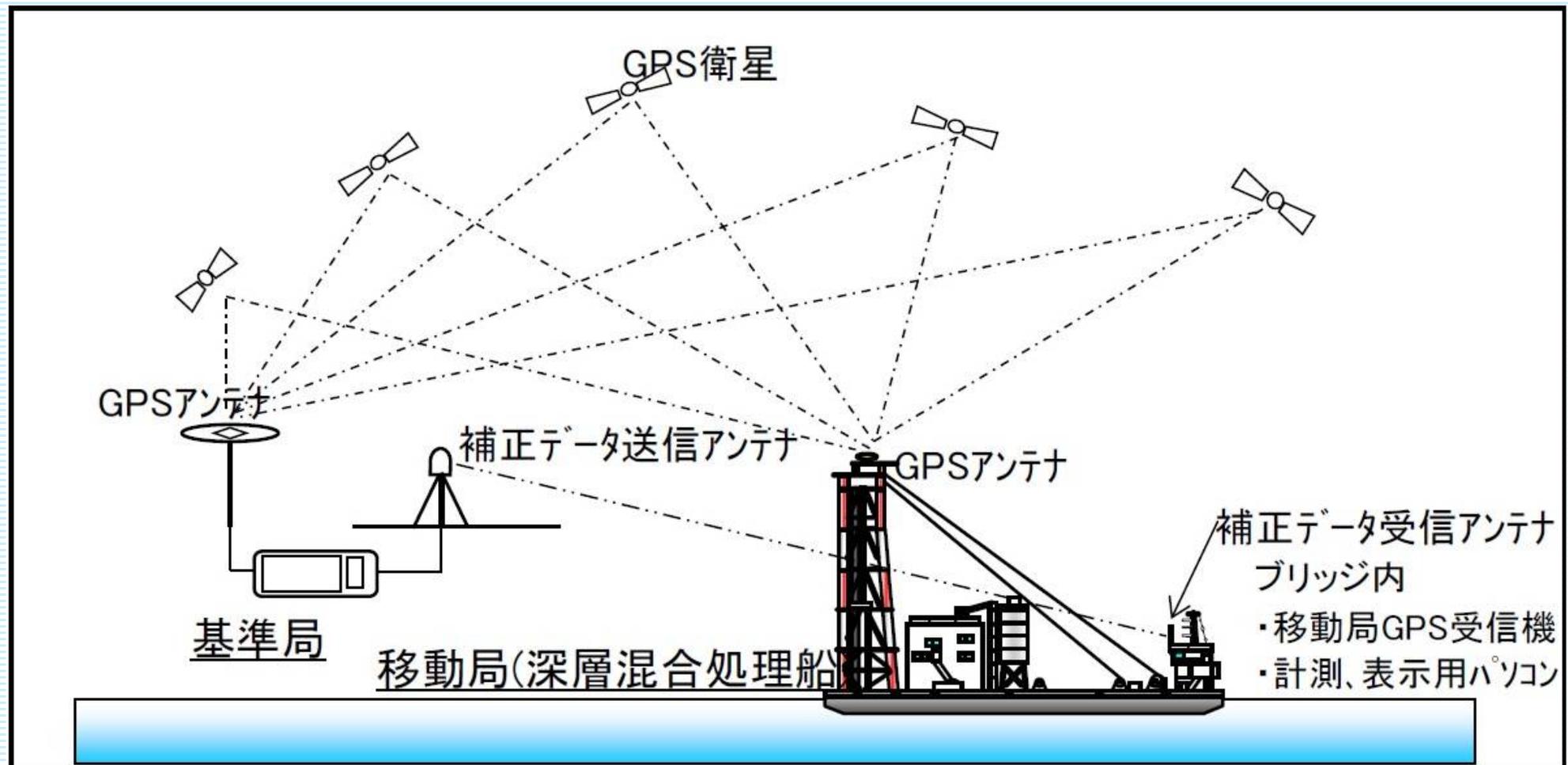
衛星測位システムを用いたCDM船の位置決め

CDM船での施工データの共有化



改良杭の位置決め概念図

基準局からの送信された補正データとGNSS衛星から直接得られたデータから自身の位置をリアルタイムで計算するため、信頼性の高い位置決め作業を実現



潮位測定のご概念図

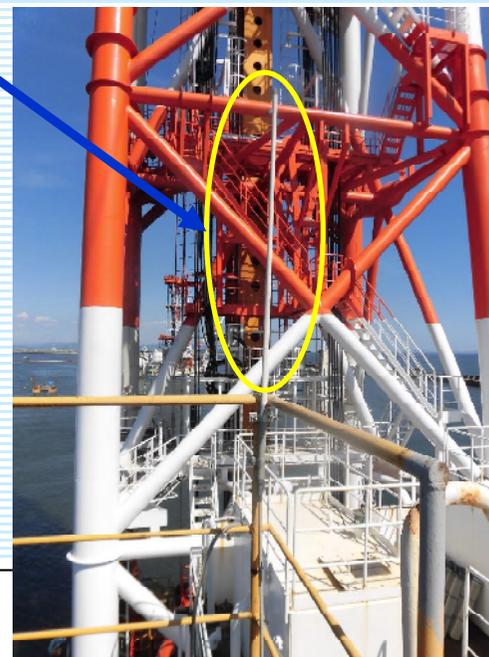


送信アンテナ

潮位検出部

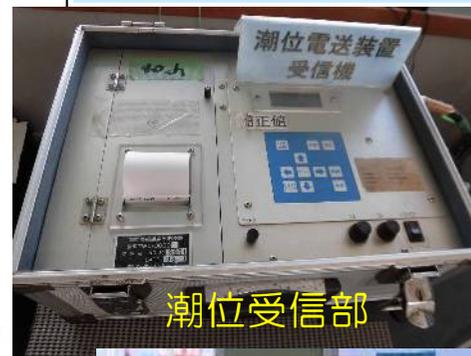
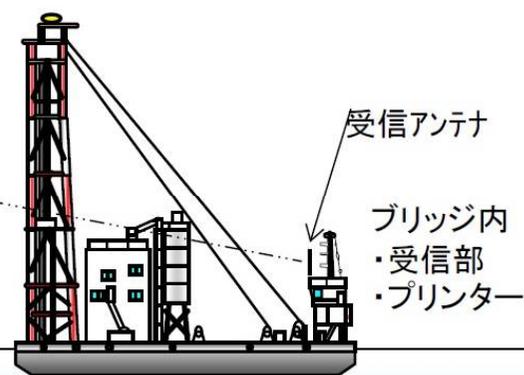
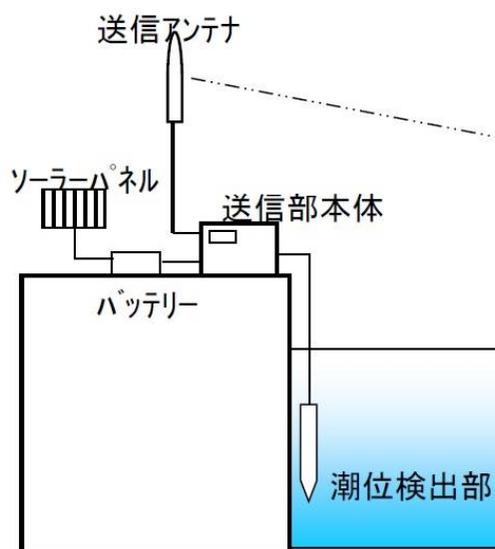
潮位測定は自動潮位計で行います。測定精度は±1 cmで、2分ごとに計測を行い、データを出力します。

受信アンテナ



潮位検出・送信側

受信側(深層混合処理船)



潮位受信部



自動化設備



操作室



機関監視室

処理機の昇降・回転数の管理は自動運転で、CDM船の杭打設位置への移動も含めワンマンでの施工が可能である。

スラリーの製造、注入スラリー量の管理も自動で制御。

打設情報の共有化

杭の位置決め、杭番号、処理機の貫入・引抜き速度、回転数、セメントスラリーの吐出量、着底管理（電流値・トルク）の施工データが共通の管理画面で作業員間で共有化されています。



操作室



機器監視室



応接室



居室



CDM—FLOAT工法の ICT活用技術

トータルステーションを用いた位置決め
潮位管理機能付き施工管理システム



トータルステーションによる自動位置決め

ビルや構造物がGPS電波の障害となるため
CDM-FLOATではトータルステーション
による位置決めが主流

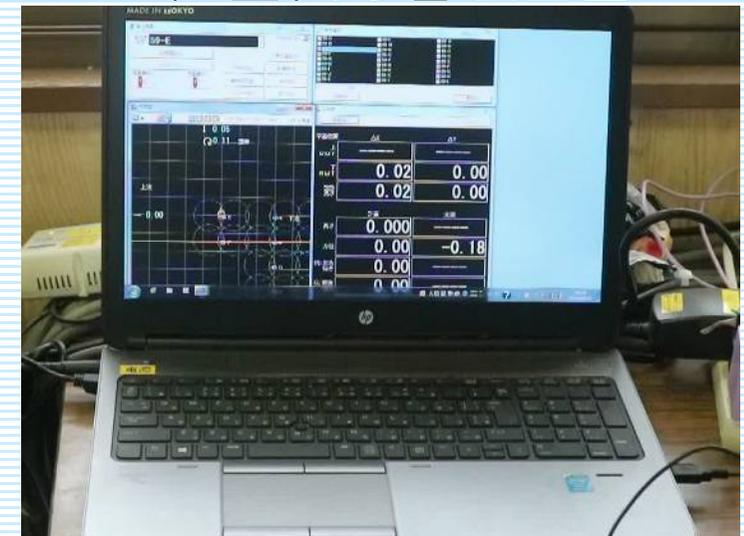
トータルステーション



反射プリズム



位置決め管理画面



トータルステーション2台で台船の位置をリアルタイムで測量している
操作室にて、管理画面を見ながら設計の杭位置に台船を移動する



陸上施工でのICT活用技術

GNSS(衛星測位システム)を用いた位置決め

ICT施工による出来高、出来形管理の効率化

ICTの活用による検査の効率化

進化するCDM工法!
ICT*技術の積極的活用
～正確な位置情報 編～

CDM ICT
*Information and Communication Technology (情報通信技術)

今まで位置決めは事前に計測した目串を目安に

誘導員の誘導と施工機オペレータの目視で決めていたんだけど

あれ? 微小のスレ

人の目だけではどうしても微小のスレができてしまう

CDM *Navigate*

GNSS (衛星測位システム)

人工衛星を使った位置情報で

運転席のモニタに目標の距離や方向が映せるようになったよ!

位置情報を取得

GNSS 受信機

GNSSで取得した位置情報から目標位置までの距離・方向を割り出し、施工機運転席のモニターに表示

施工機オペレータだけで目標位置まで移動できるね!

移動・施工

進化するCDM工法!
ICT技術の積極的活用
～施工の見える化 編～

CDM-Si
CDM share information

ICT技術で位置情報の他にも

施工機に設置されている各検出器から取得した情報を運転席のモニターに表示

施工情報をリアルタイムで確認できたり

施工機運転室

取得したデータを3DCGで視覚化

施工状況を3DCG*で把握することができるようになったんだ!

*3Dコンピュータ・グラフィックス

とってもわかりやすい!

施工情報はPCやタブレットから現場以外でも確認できるぞ!

クラウドや無線LANで施工情報を共有

タブレット

施工管理データの見える化

施工画面

施工管理画面のスクリーンショット。左側にはプロジェクト情報（日付、時刻、坑道ID）と各種センサーのリアルタイムデータ（深さ、最大貫入深さ、回転数）が表示されています。右側には掘削位置のグラフと掘削速度のグラフが確認できます。

施工画面(チャート)

施工画面のチャート表示。複数のメトリックを同時に監視するためのグラフインターフェース。深さ、回転数、および給送速度のトレンドを視覚的に把握できます。

集計表(日)

統計打設日報

日	深さ	回転数	給送速度	...
08/19	11.3	12.0	12.1	...
08/20	11.9	12.0	12.1	...
08/21	12.0	12.0	12.1	...
08/22	12.0	12.0	12.1	...
08/23	12.0	12.0	12.1	...
08/24	12.0	12.0	12.1	...
08/25	12.0	12.0	12.1	...
08/26	12.0	12.0	12.1	...
08/27	12.0	12.0	12.1	...
08/28	12.0	12.0	12.1	...
08/29	12.0	12.0	12.1	...
08/30	12.0	12.0	12.1	...
08/31	12.0	12.0	12.1	...

集計表(累計)

出来高累計表

日	深さ	回転数	給送速度	...
08/19	11.3	12.0	12.1	...
08/20	23.2	24.0	24.2	...
08/21	35.1	36.0	36.3	...
08/22	47.0	48.0	48.4	...
08/23	58.9	60.0	60.7	...
08/24	70.8	72.0	72.4	...
08/25	82.7	84.0	84.5	...
08/26	94.6	96.0	96.6	...
08/27	106.5	108.0	108.7	...
08/28	118.4	110.0	110.8	...
08/29	130.3	112.0	110.9	...
08/30	142.2	114.0	111.0	...
08/31	154.1	116.0	111.1	...

材料管理画面

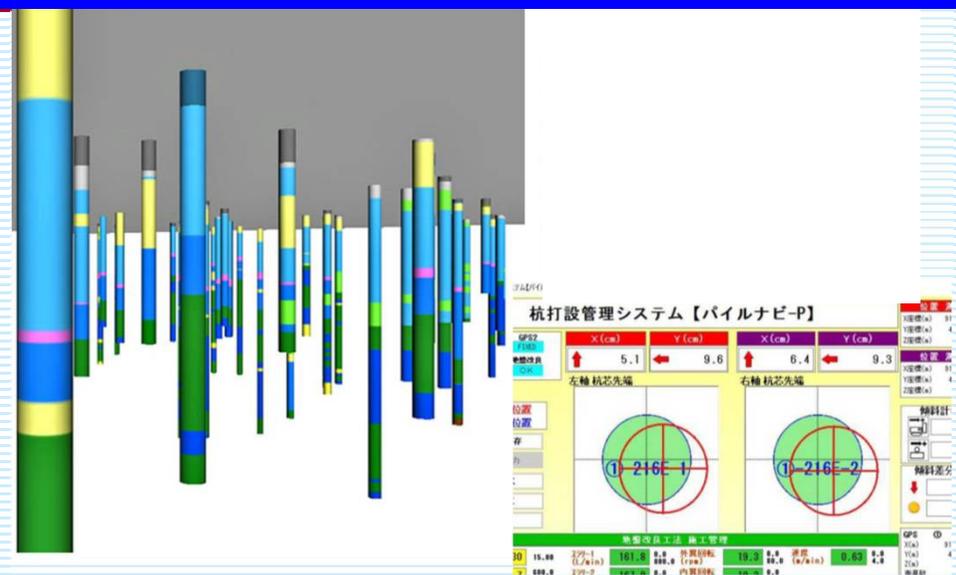
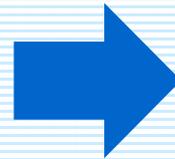
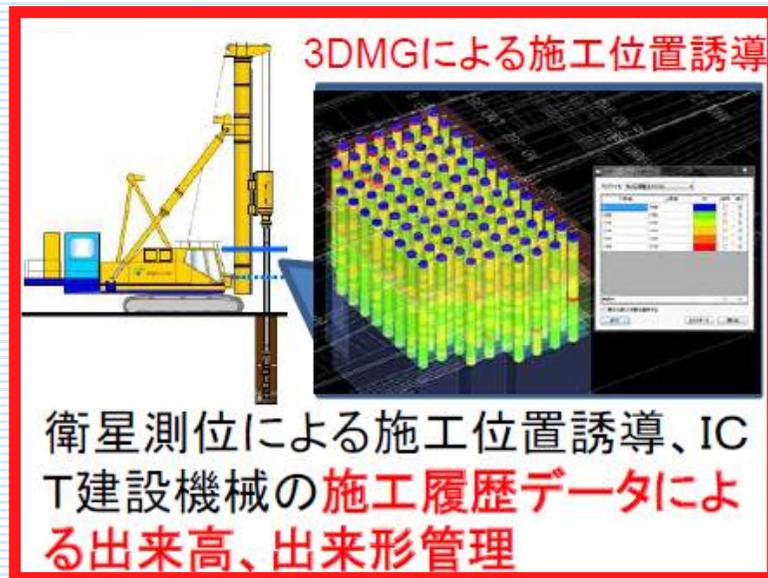
出来高累計表

日	深さ	回転数	給送速度	...
08/19	11.3	12.0	12.1	...
08/20	23.2	24.0	24.2	...
08/21	35.1	36.0	36.3	...
08/22	47.0	48.0	48.4	...
08/23	58.9	60.0	60.7	...
08/24	70.8	72.0	72.4	...
08/25	82.7	84.0	84.5	...
08/26	94.6	96.0	96.6	...
08/27	106.5	108.0	108.7	...
08/28	118.4	110.0	110.8	...
08/29	130.3	112.0	110.9	...
08/30	142.2	114.0	111.0	...
08/31	154.1	116.0	111.1	...

施工指示書作成

施工指示書作成画面のスクリーンショット。パラメータ入力欄と、掘削位置のグラフが確認できます。

ICT施工による出来高、出来形管理の効率化

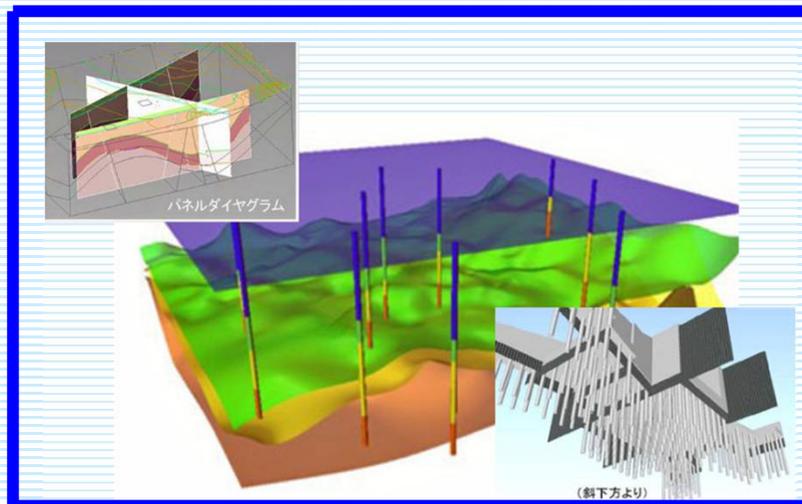


施工記録の3D化表示

- 杭ごとの平面位置の誤差
- 着底判定データ(電流値)
- 深度ごとのスラリー量

(3D)CADへの表示と変換

- 3D図の応用
- 360度可視化



ICT活用技術のまとめ

- GNSSにより、位置誘導、施工位置確認ができます。
- CADデータ上の進捗状況が確認できます。
(マップ表示)

サーバーを活用することで、

- 施工中の状況を各所でリアルタイムに監視できます。
- 施工済みデータを随時再生できます。
- 杭打設結果表を3Dで表示できます。

CDM工法の国土強靱化への取り組み



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

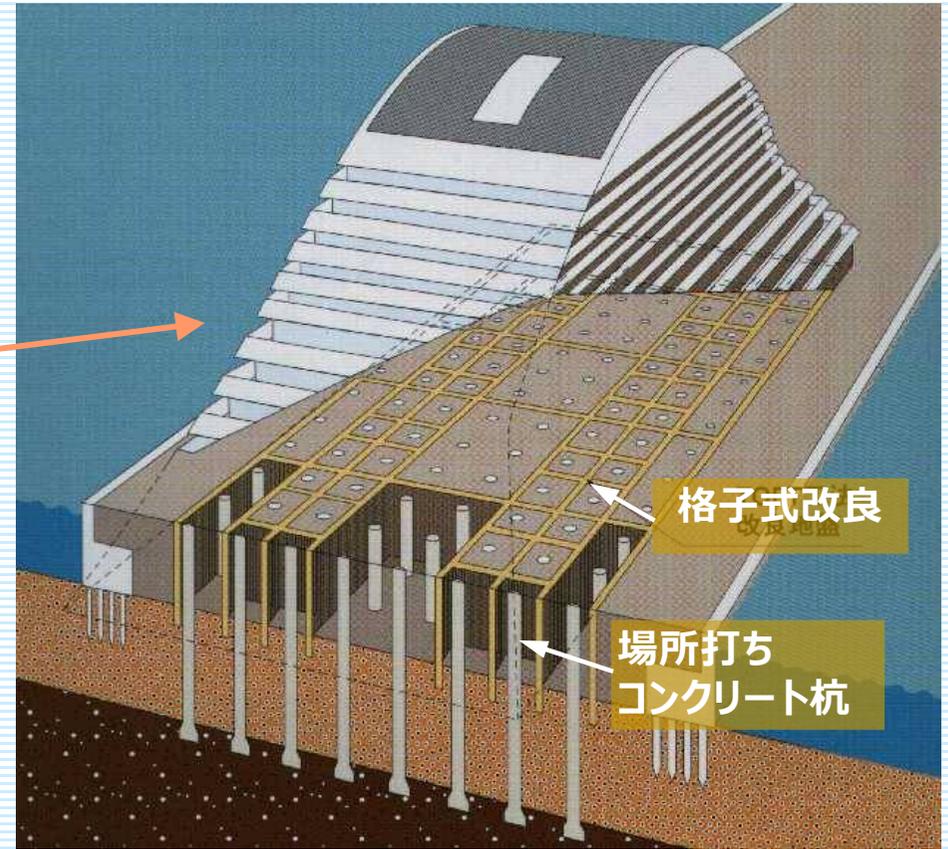
既設河川護岸の
耐震補強

既設岸壁の耐震補強



合理的な液状化対策工法の開発

CDM格子状改良 (1995年 兵庫県南部地震)



地上14階建のホテル



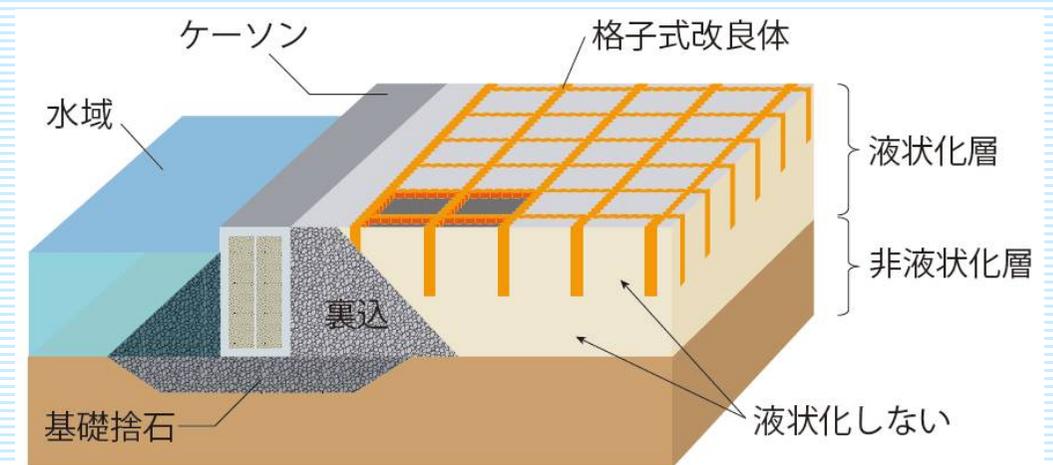
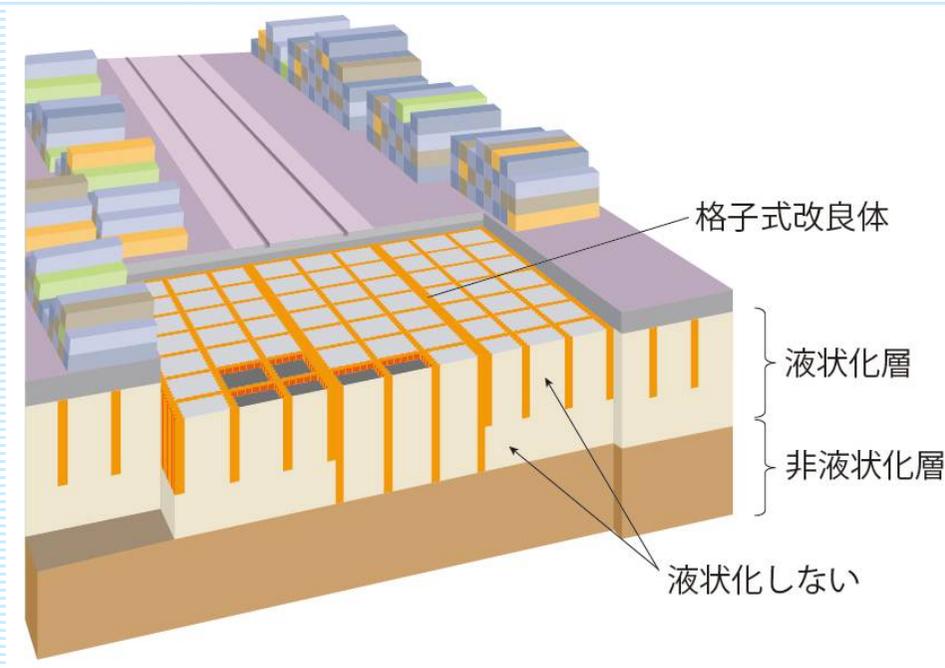
建物周辺の未改良箇所の被害

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

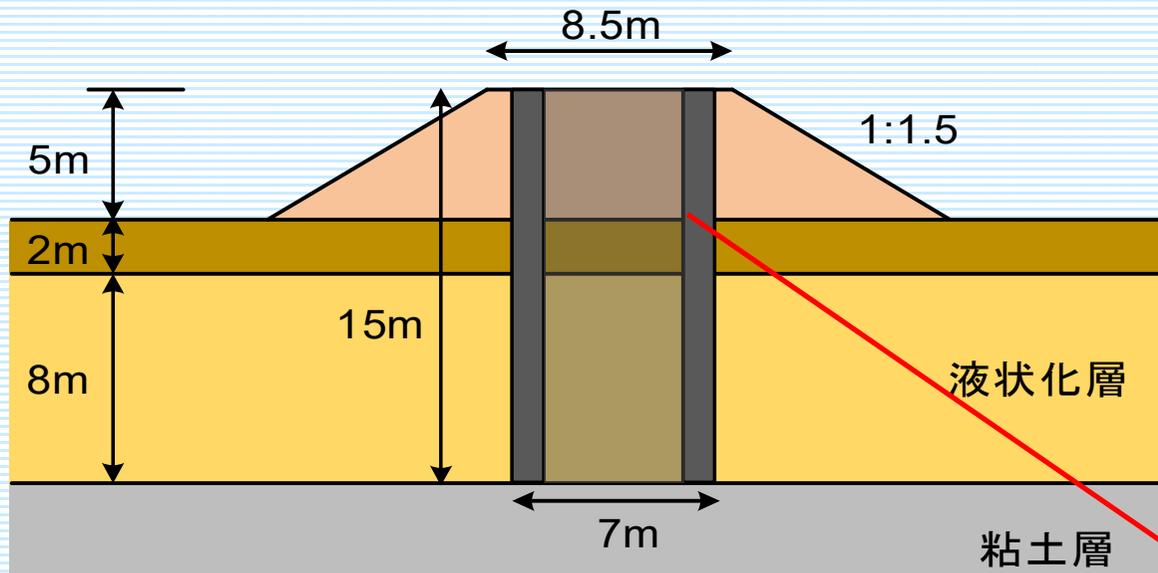


越流によって堤体が裏法面から崩壊する被害が発生してきた。

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!



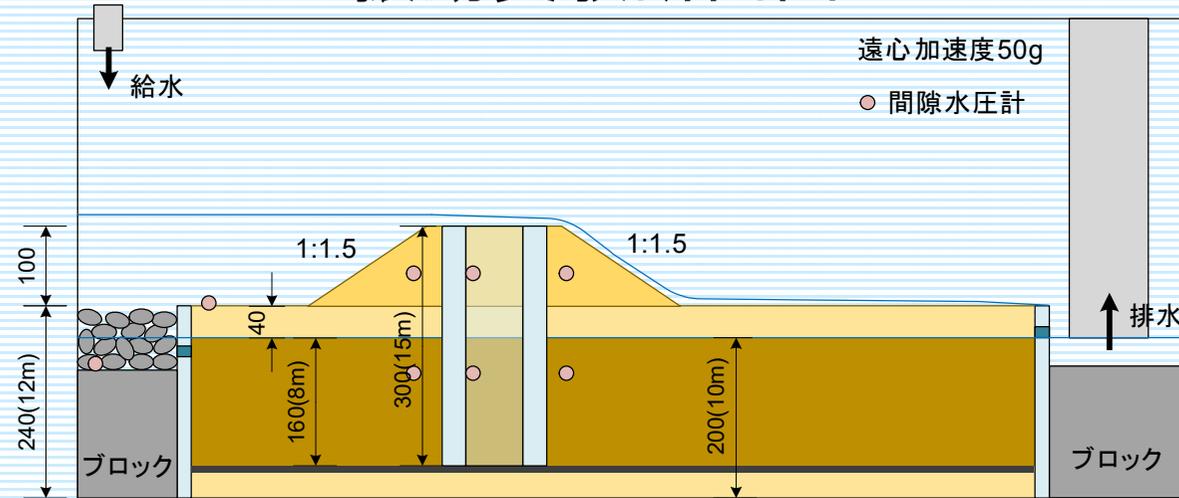
堤防DM補強工法

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

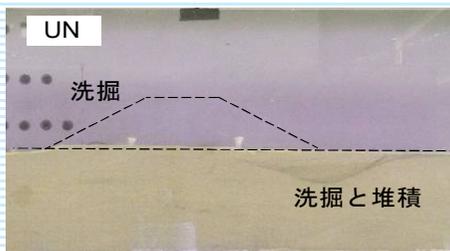


効果の確認 固化処理工法を用いた堤防補強

振動実験断面図

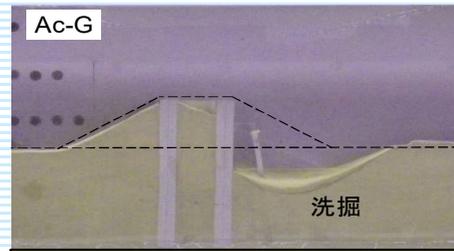


① 無対策



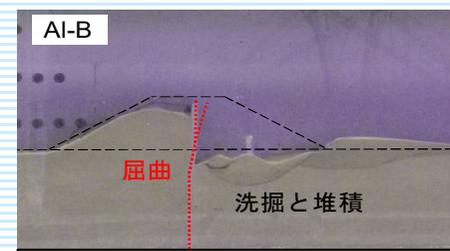
洗掘され、堤体が喪失する

② 格子式



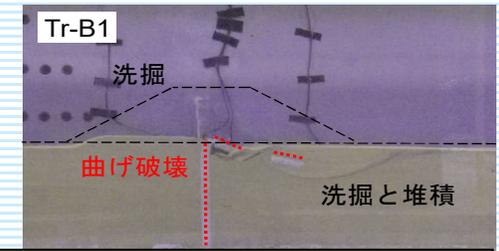
裏法面は洗掘されるが、天端高さが保たれる。

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



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。

ご清聴ありがとうございました