

人工排水材による過剰間隙水圧消散工法の性能規定設計法への対応と3.11の調査結果

～ DEPP工法のご紹介 ～



『グリッドドレーン工法』
(運輸省評価証番号 第92205号)

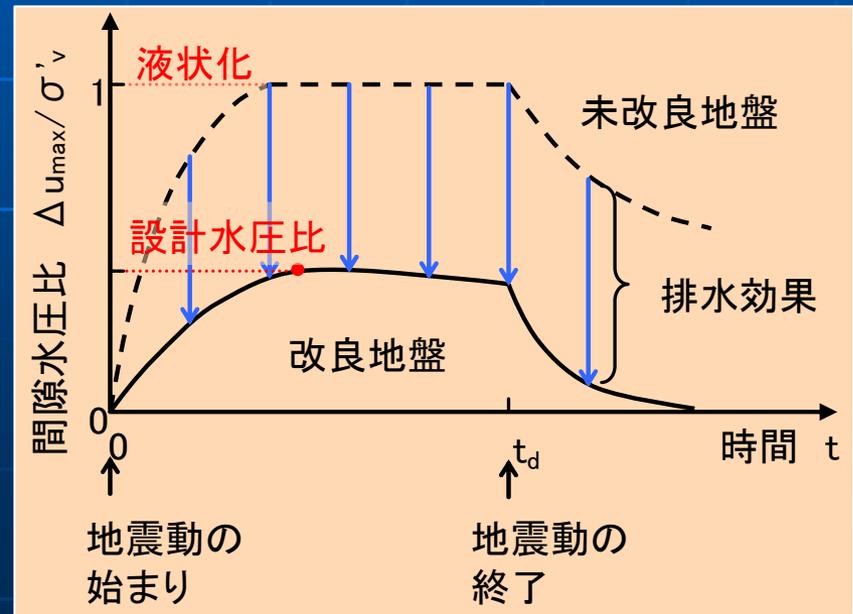
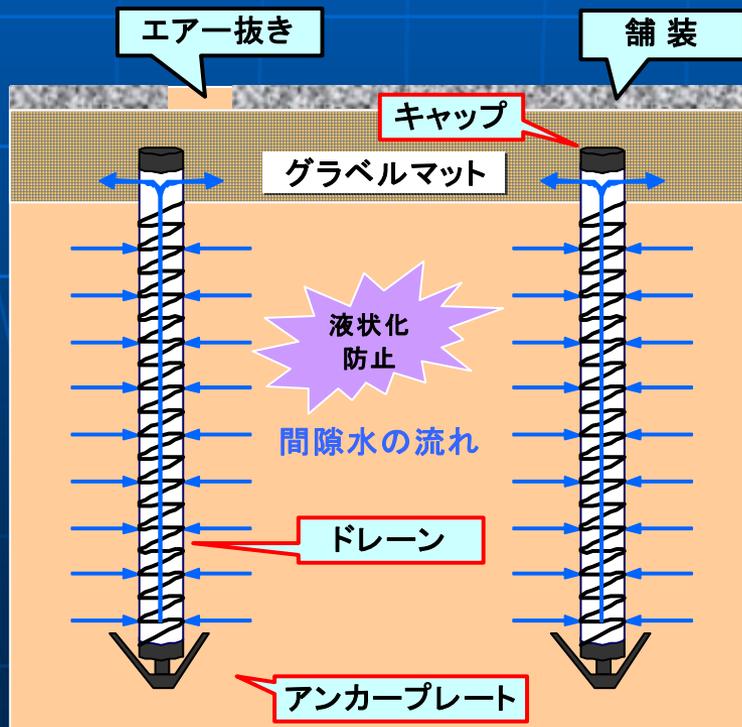


『スパイラルドレーン工法』
(運輸省評価証番号 第92206号)

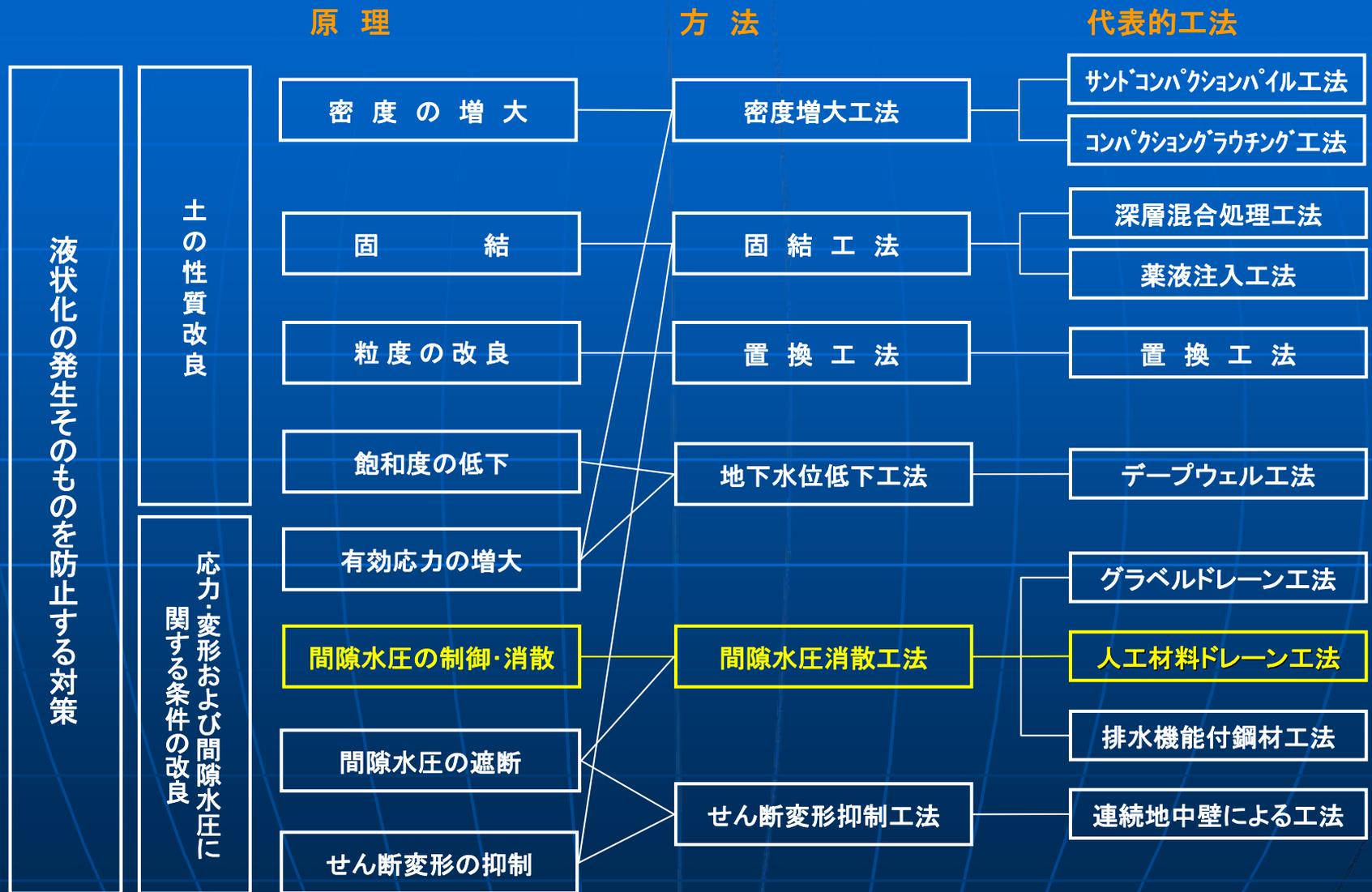
平成23年度 第1回 技術発表会(PAT)
2012.2.20 at 仙台港湾空港技術調査事務所

DEPP工法とは

- DEPP工法 (*Dissipation of Excess Pore Water Pressure Method*) は、液状化の可能性のある砂地盤中に合成樹脂製のドレーンを打設し、地震時に発生する過剰間隙水をドレーン内に速やかに流入させ、過剰間隙水圧の上昇を抑制する液状化防止工法
- 地震時の過剰間隙水圧比を所定の設計水圧比以下に抑えるようにドレーンピッチを決定する



液状化対策工法の原理と工法



■ ドレーン材料

工 法		グリッドドレーン	スパイラルドレーン
断面形状		矩形断面	円形断面
	幅	165mm	フィルター部径 有効径95mm (外径100mm)
	厚 さ	30mm	補強体内径 81mm
質 量		960g/m	375g/m
材 質	通水路材	半硬質塩化ビニール樹脂	高密度ポリエチレン
	フィルター材	オレフィン系メッシュ	高密度ポリエチレン製繊維
等価円半径		5.0cm	4.75cm (ウェルジスタンス計算時: 4.05cm)
透水係数		700cm/sec ($i = 0.25$) 480cm/sec ($i = 0.5$)	980cm/sec ($i = 0.25$) 800cm/sec ($i = 0.5$)
1ロールの長さ		80m	80m
概要図			

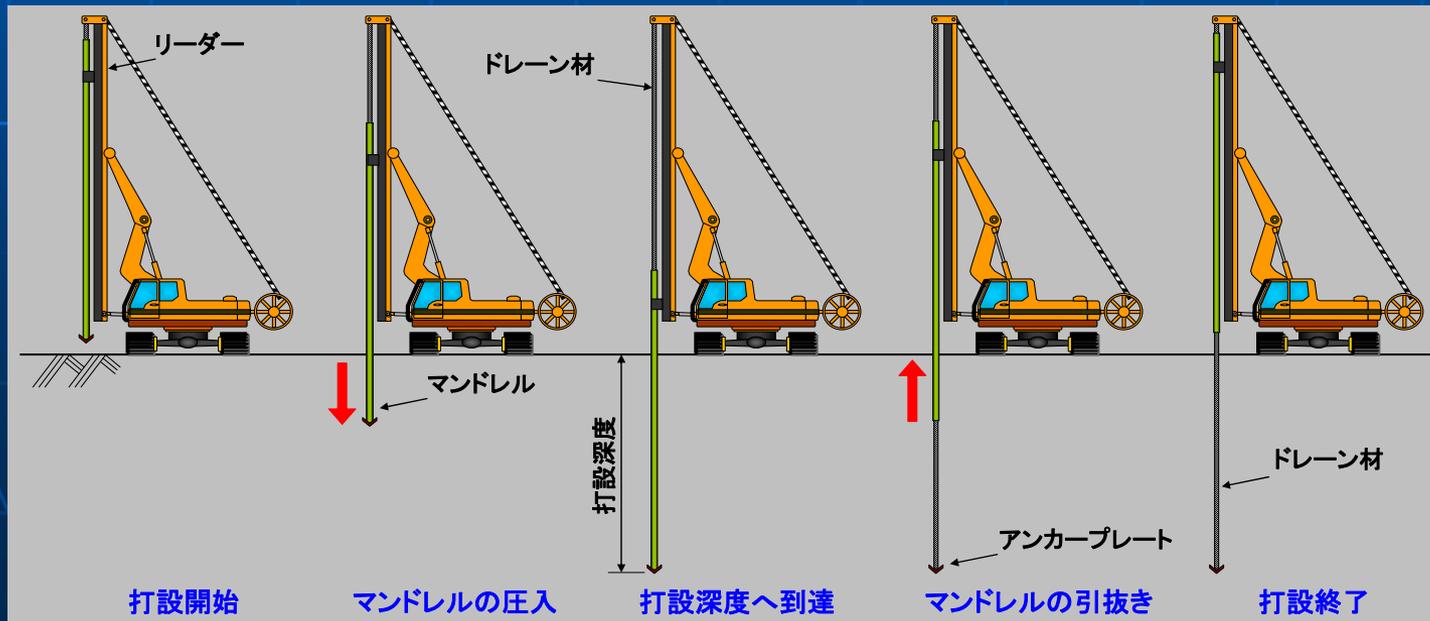
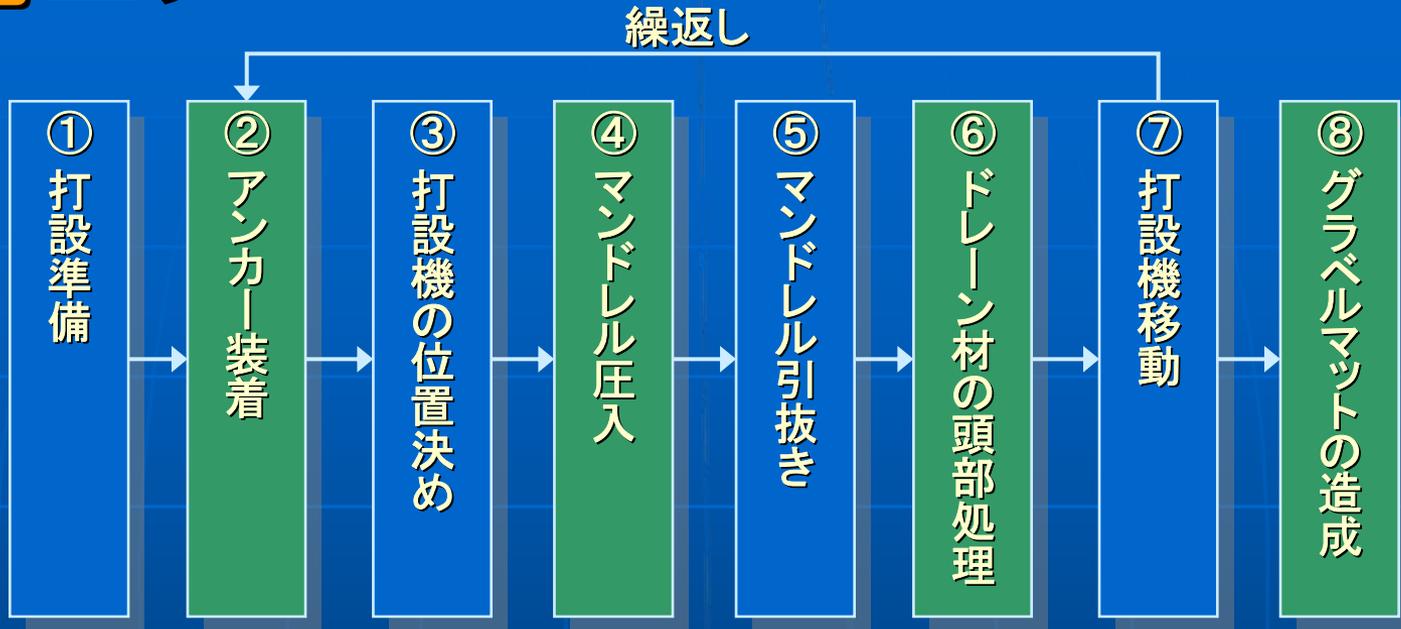
■ DEPP工法の特長

- 1) 振動や騒音がほとんど発生せず、また地盤の土圧上昇や盛上りを抑制できるため、施工時に周辺への影響を与えない
- 2) ドレーン材は目詰まりしにくく、また劣化しないため、排水能力を半永久的に保持できる
- 3) ドレーン材は温度変化や衝撃に強く、耐久性に優れている
- 4) ドレーン材は軽量で施工時のハンドリングが容易
- 5) 斜め打設(～30°)に対応でき、既設構造物の隣接部でも施工可能

■ 他工法との比較

工 法	対策の原理	施工費	騒音 振動	土圧	排土	斜め 施工	構造物 直下
薬液注入	薬液・固化	×	○	○	○	○	○
SCP	砂杭・動的締固め	○	×	×	△	×	×
SAVE	砂杭・静的締固め	○	○	×	△	△	△
CDM	セメント攪拌・固化	△	○	△	×	×	×
CPG	セメント圧入・締固め	○	○	×	○	△	△
DEPP	ドレーン・間隙水圧消散	○	○	○	○	△	×

■ 施工フロー



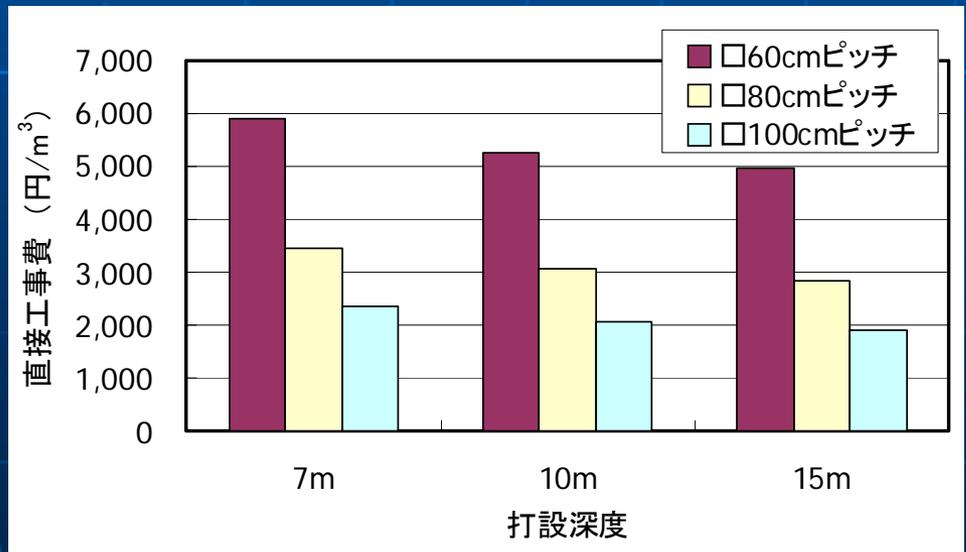
■ 専用打設機

機種	大深度直打専用機	直打・斜打兼用機	自走式小型打設機
打設機写真			
機械名	PC300LC-SF	EX220LC	UL-20
最大打設深度	35 m	20m	10m
最大傾斜角度	—	30°	30°

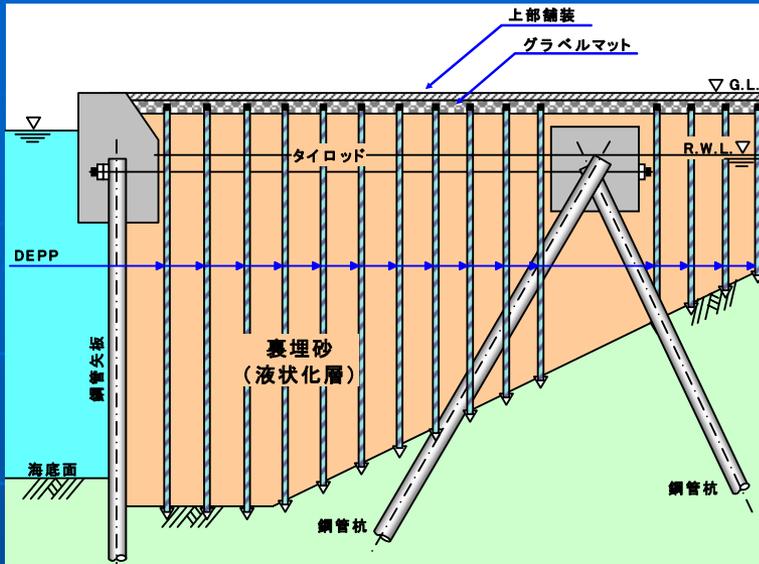
■ 概算コスト

【積算条件】

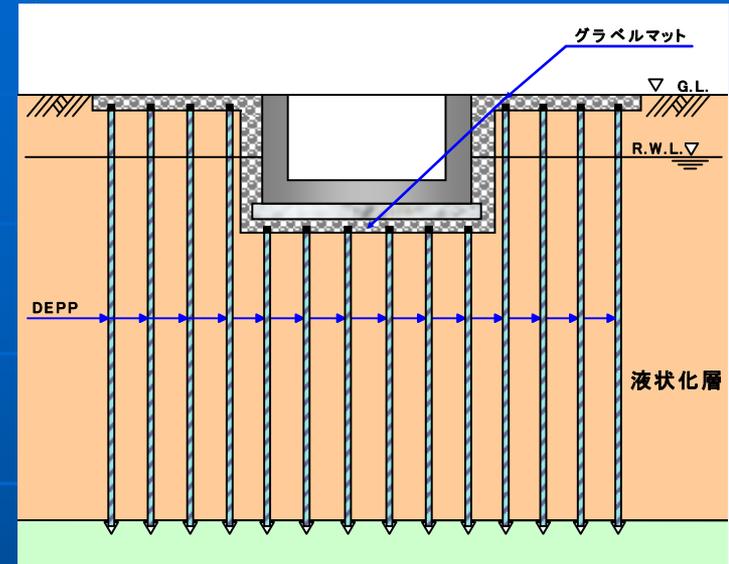
- ・直接工事費ベース
- ・起算数量：1,000m²
- ・打設本数：
 - 60cmピッチ → 2,778本
 - 80cmピッチ → 1,564本
 - 100cmピッチ → 1,000本
- ・グラベルマット層厚：30cm
- ・空気抜きマス：5基



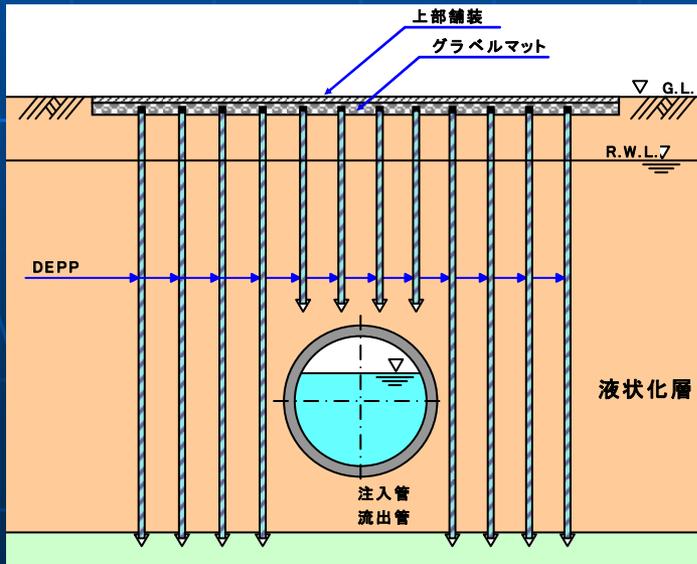
■ 工法の適用例



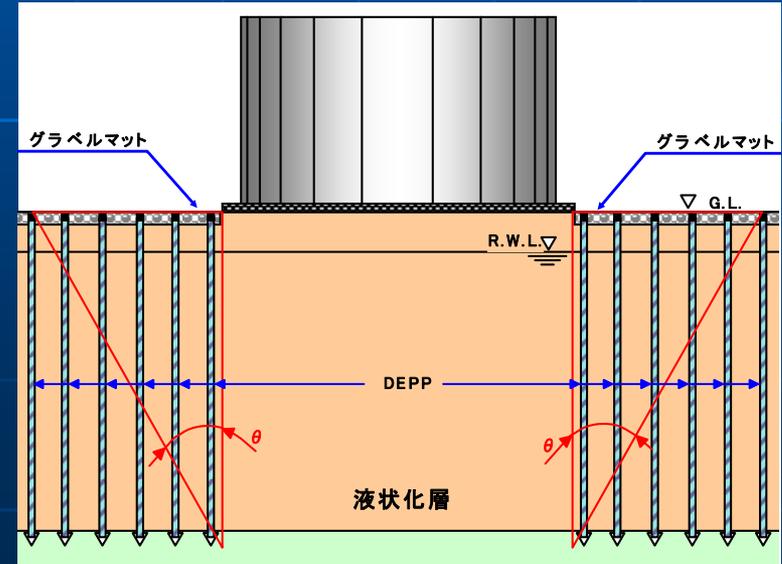
① 控え式矢板岸壁・護岸



② 地下構造物周辺・直下



③ 既設埋設管の周辺



④ タンク等・既設構造物周辺

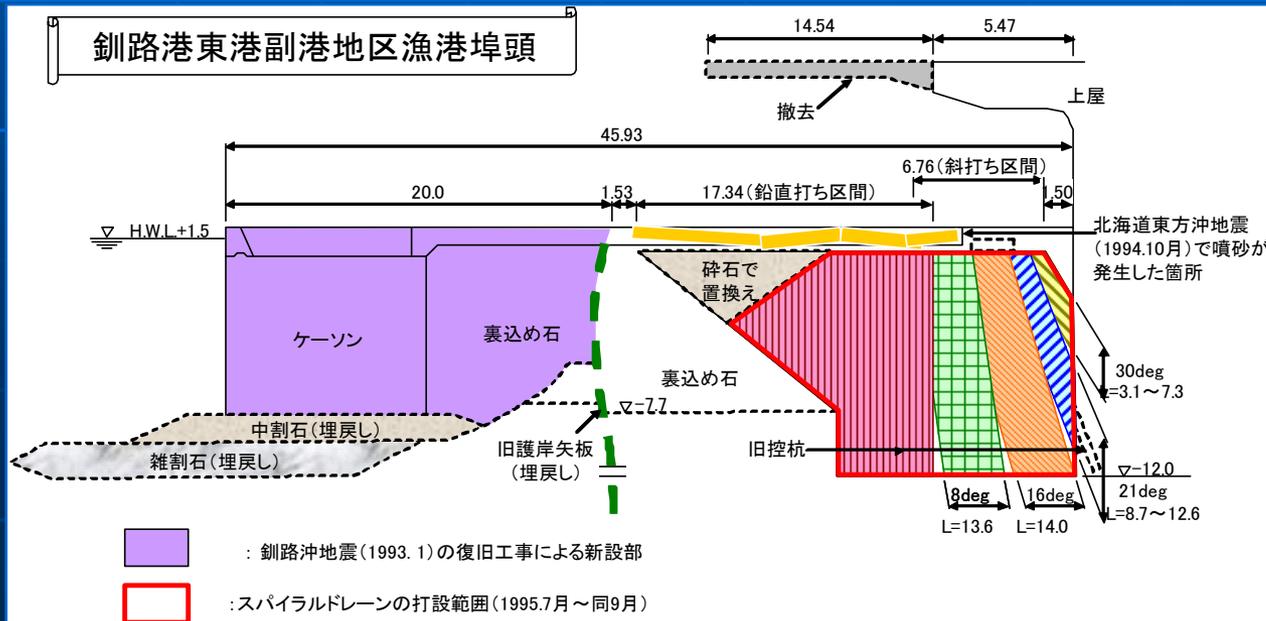
■ 施工実績(2011年9月現在)

工事件数:82件

施工本数:248,611本

施工延長:3,038,846m

- 矢板式岸壁背面: 千葉港・東京港・横浜港他
- 水道水の取水管周辺: 千葉県印旛郡取水場
- 高架橋橋脚基礎: 和歌山県田辺市
- セル岸壁中詰: 北海道室蘭市
- 斜め打設: 北海道釧路港【北海道東方沖地震(1994)災害復旧】



2003.9.26
十勝沖地震(M8.0)後の
状況

■「DEPP工法 技術資料(2011.07版)」の改訂

1. ドレーン設計法の性能設計への対応

- ① マンドレル(ドレーン打設用外管)圧入に伴う N 値の補正
- ② 港湾の液状化判定チャートを利用した F_L 値の算出
- ③ 液状化判定深度を重み係数とする F_L 値の平均値(F_{Lave})の算定
- ④ 地震波の波形特性を考慮した地震動継続時間(t_d)の設定
- ⑤ 振動台実験に基づく地震時排水沈下量の算定法

2. FLIPによる動的解析法の適用

過剰間隙水圧比の上昇に応じ、部分的な地盤剛性低下を考慮したFLIPによる動的解析照査

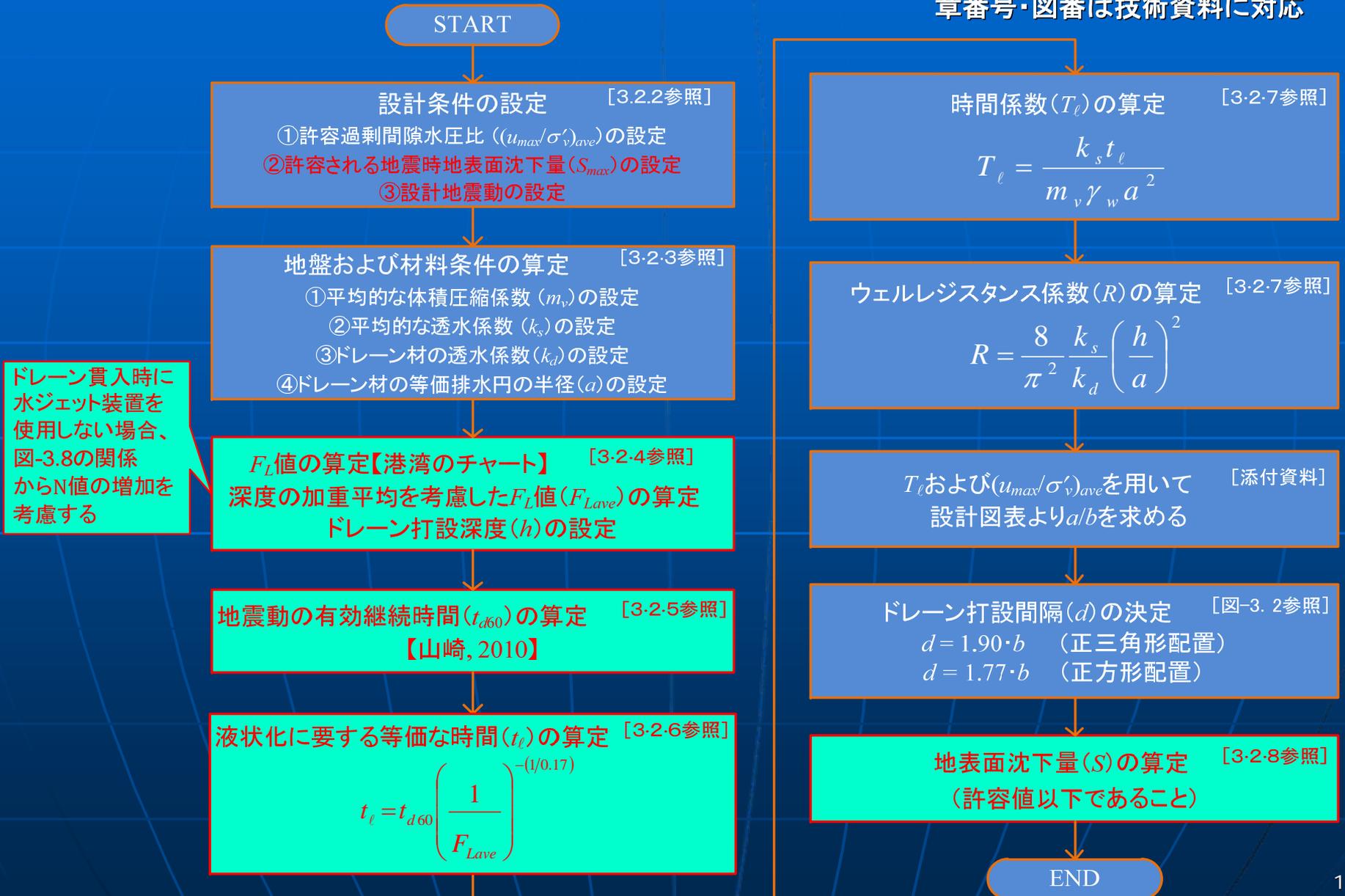
3. 東北地方太平洋沖地震後の DEPP施工地点の現地調査レポート

- ① 東京港15号地木材埠頭岸壁
(Lv.1地震動相当:沈下を含めて被害なし)
- ② 仙台塩竈港・向洋埠頭岸壁
(Lv.2地震動相当:15cm程度の排水沈下のみ)



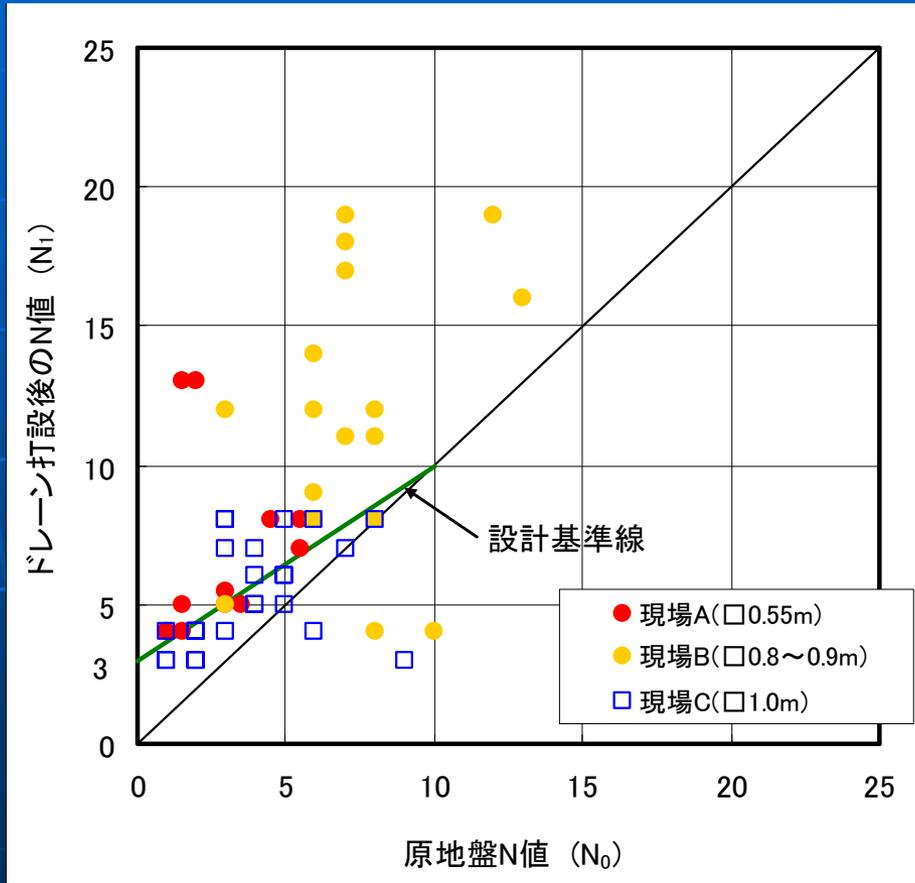
■ 新設計法のフロー

※赤字が変更箇所
章番号・図番は技術資料に対応



■ ドレーン設計法の改訂①

● マンドレル圧入によるN値の補正



$$N_1 = 0.7N_0 + 3$$

N_0 : 補正前のN値

N_1 : 補正後のN値

N値の小さな範囲 ($N_0 < 10$) で
 $\Delta N = 0.5 \sim 3.0$ の増加を見込む

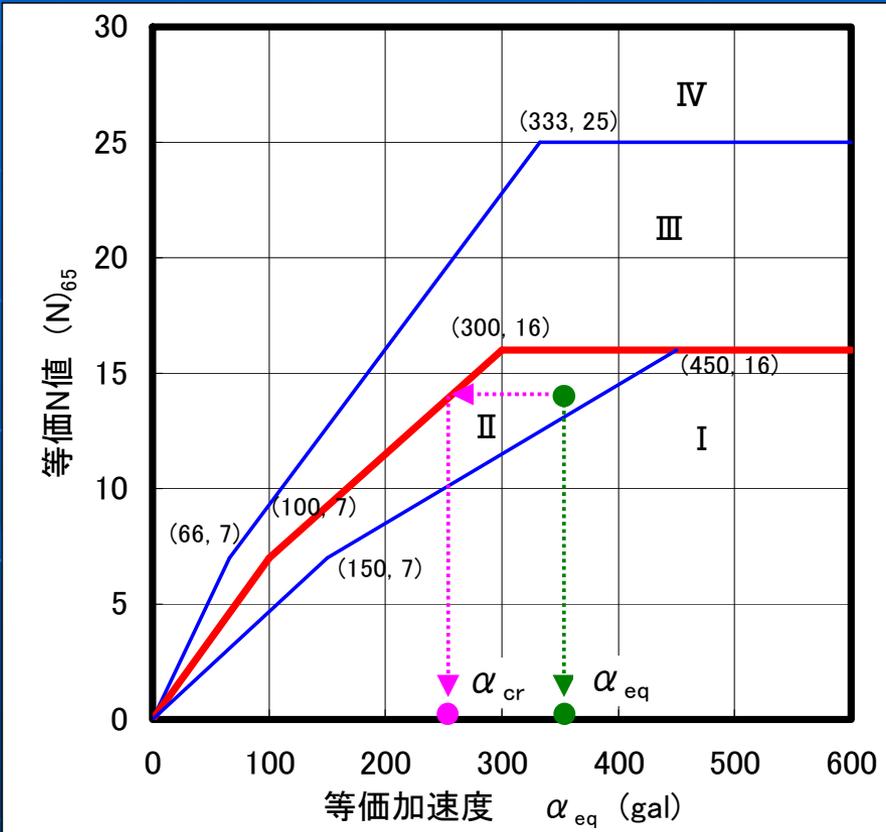
※ なお、補正はマンドレル圧入時に
ウォータージェットを併用しない
場合に限る

ドレーン打設前後の地盤のN値の変化

■ ドレーン設計法の改訂②

● 港湾の液状化判定チャートを利用した F_L 値の算定

カテゴリⅡ/Ⅲの境界ライン上の α_{cr} を利用して F_L 値を算定する



$$F_L = \frac{\alpha_{cr}}{\alpha_{eq}}$$

α_{cr} : 限界N値に対応する
限界等価加速度



深度を重み係数(w)とする F_L 値の加重平均(F_{Lave})を求める

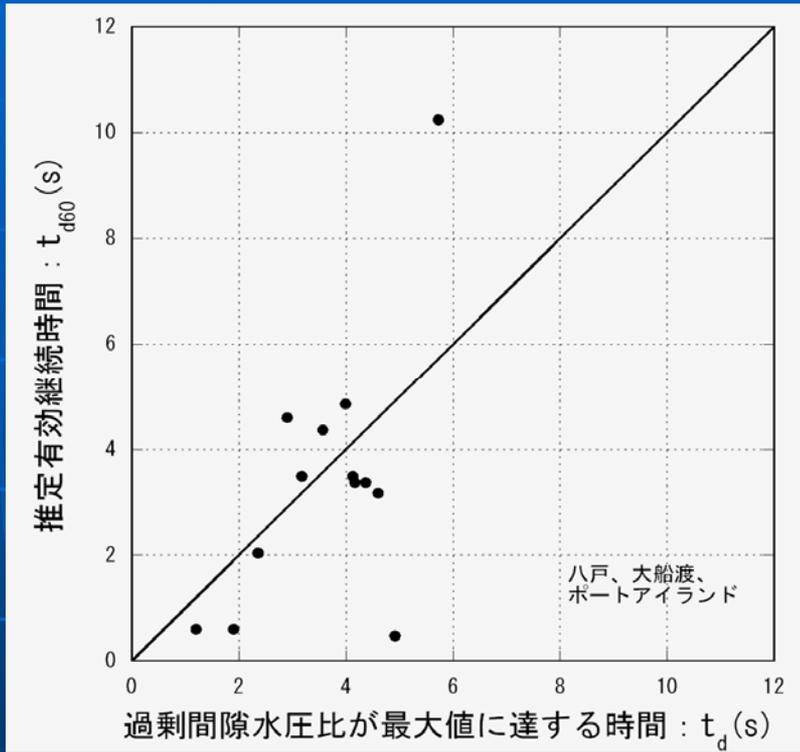
$$F_{Lave} = \frac{\sum_{i=1}^n w_i \cdot F_{Li}}{\sum_{i=1}^n w_i}, \quad w_i = 1 - \frac{z_i}{h}$$

h : 液状化層の下端深度
 z_i : 計算点の深度

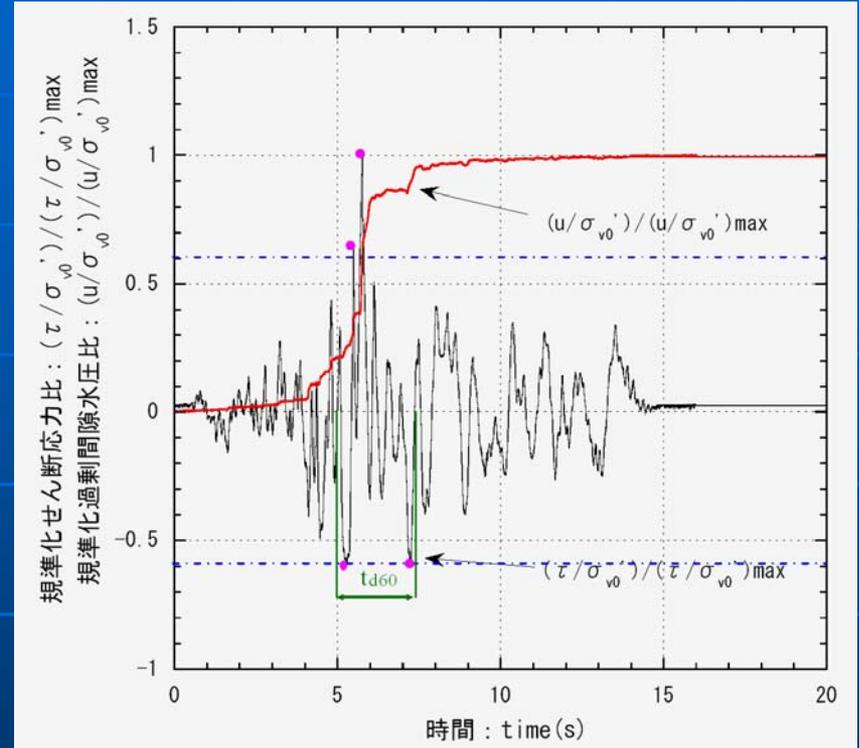
液状化判定チャートにおける α_{eq} と α_{cr} の関係

ドレーン設計法の改訂③

● 地震動有効継続時間の推定【山崎, 2010】



推定有効継続時間と過剰間隙水圧比が最大値に達するまでの時間の比較



規準化せん断応力比と規準化過剰間隙水圧比の時刻歴

$$t_d \approx t_{d60}$$

最大せん断応力の60%以上の応力振幅(半波)を含む時間帯を地震動有効継続時間とする

$$t_\ell = t_{d60} \cdot \left(\frac{1}{F_L} \right)^{-1/0.17}$$

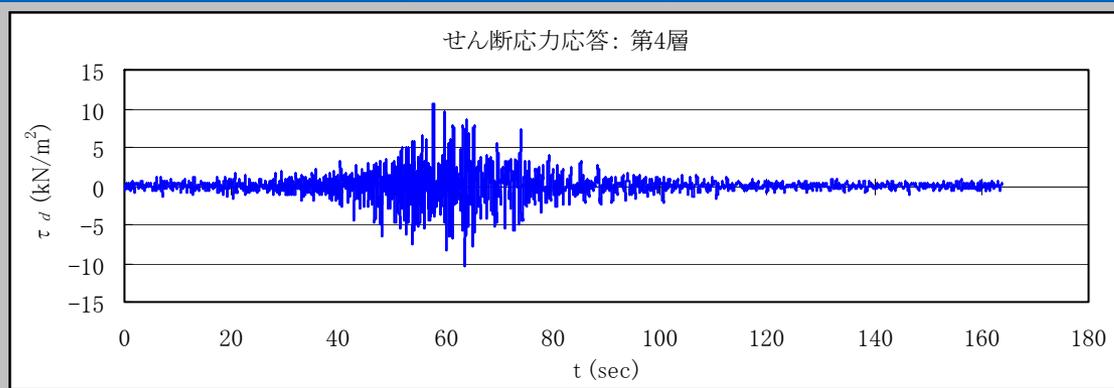
液状化に要する等価な時間(t_ℓ)は左式で評価

ドレーン設計法の改訂④

地震動有効継続時間の算出プログラム

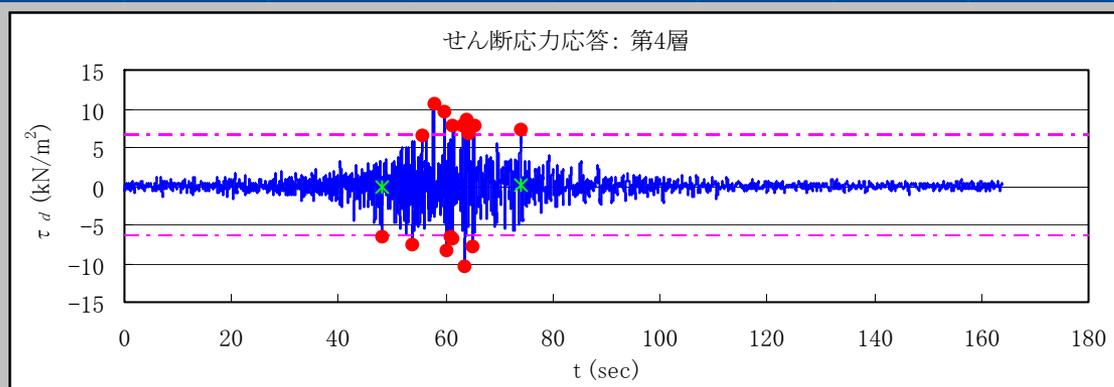
① せん断応力応答データの読込

第4層 4.60m	
F_L	0.83
しきい値	0.60
w	
d_{max}	
t_{start}	
t_{end}	
t_d	
ファイル読込	td 計算



② t_{d60} の自動算出

第4層 4.60m	
F_L	0.83
しきい値	0.60
w	0.57
d_{max}	10.74
t_{start}	47.98
t_{end}	74.10
t_d	26.12
ファイル読込	td 計算



検討サイトの地震波形特性に応じた
 t_{d60} を容易に評価できる



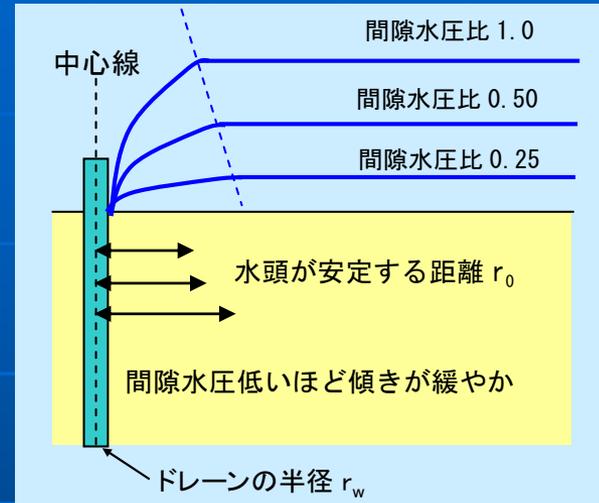
従前の設計法では地震マグニチュード
に応じた値を一意的に与えていた

ドレーン設計法の改訂⑤

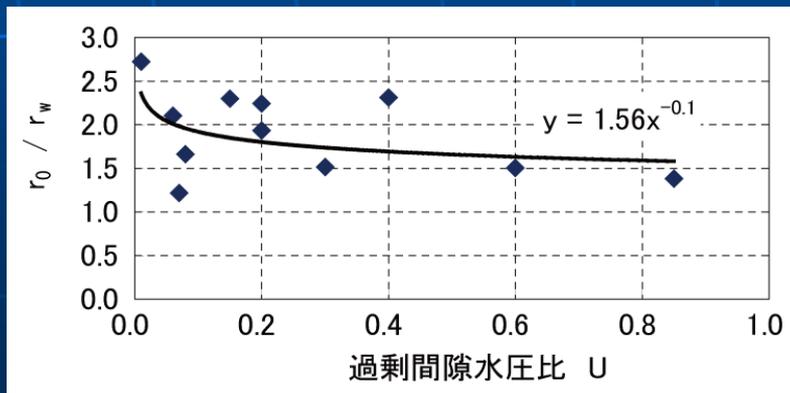
地震時の地表面沈下量(S)の算定



ドレーン打設地盤の大型振動台実験



ドレーン周辺の過剰間隙水圧分布



ドレーン影響範囲(r_0 / r_w)と過剰間隙水圧比の関係

◎井戸の理論を実験結果に適用

$$S = \frac{qt}{\pi b^2} = \frac{2k_s m (u_{\max} / \sigma'_v)_{ave} \sigma'_v t}{b^2 \gamma_w \ln \left[1.56 \cdot (u_{\max} / \sigma'_v)_{ave}^{-0.10} \right]}$$

k_s : 地盤の透水係数

b : ドレーン等価有効円の半径

m : 透水地盤厚

t : 地震の加振時間

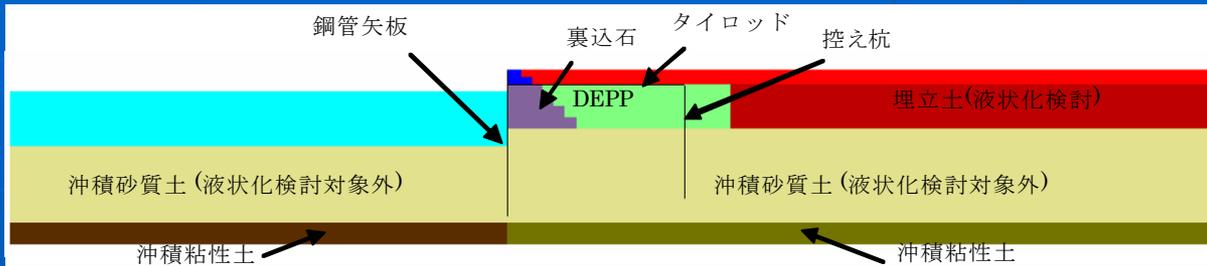
σ'_v : 有効土被り圧

(=地震の有効継続時間 t_d)

γ_w : 水の単位体積重量

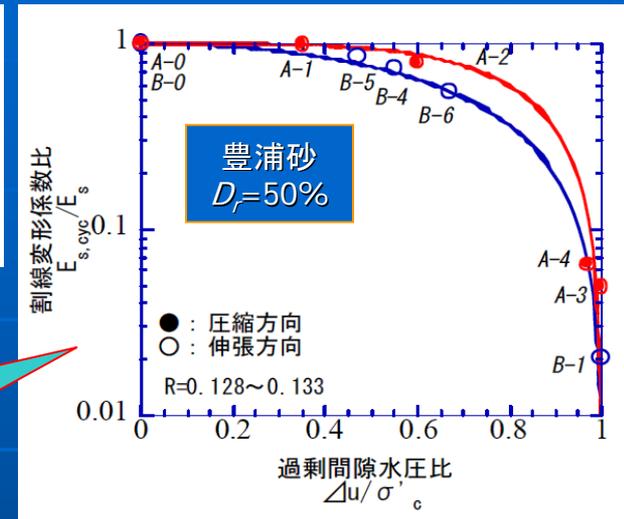
※ ただし、 t が長くなる場合には上限値を設定

FLIPによる解析例

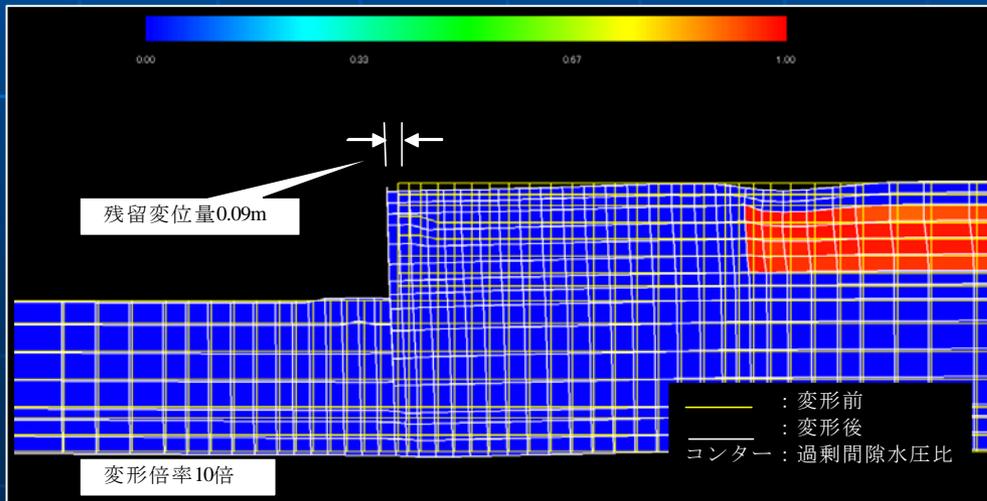


解析断面【矢板式岸壁(控え直杭式)】

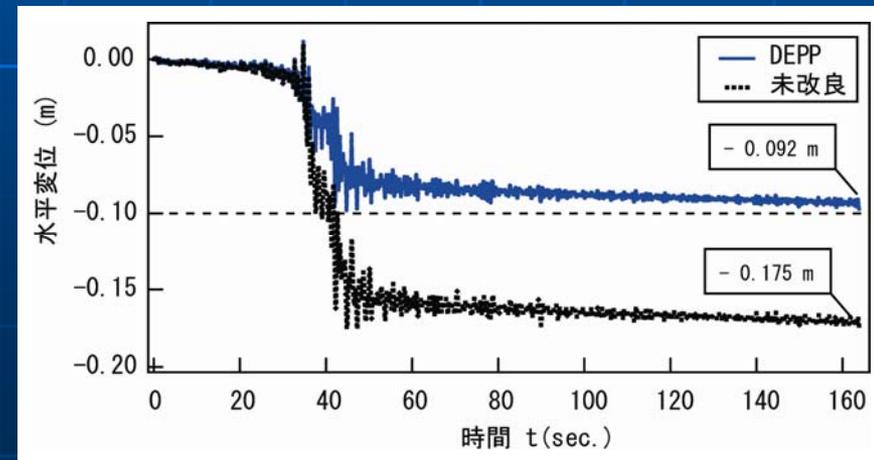
設計過剰間隙水圧比
 $(\Delta u_{max}/\sigma'_v)_{ave} = 0.25 \sim 0.5$ に
 応じて、せん断剛性を
 5~20%低減する



繰返しせん断後の単調載荷試験時の
過剰間隙水圧比と変形係数の関係



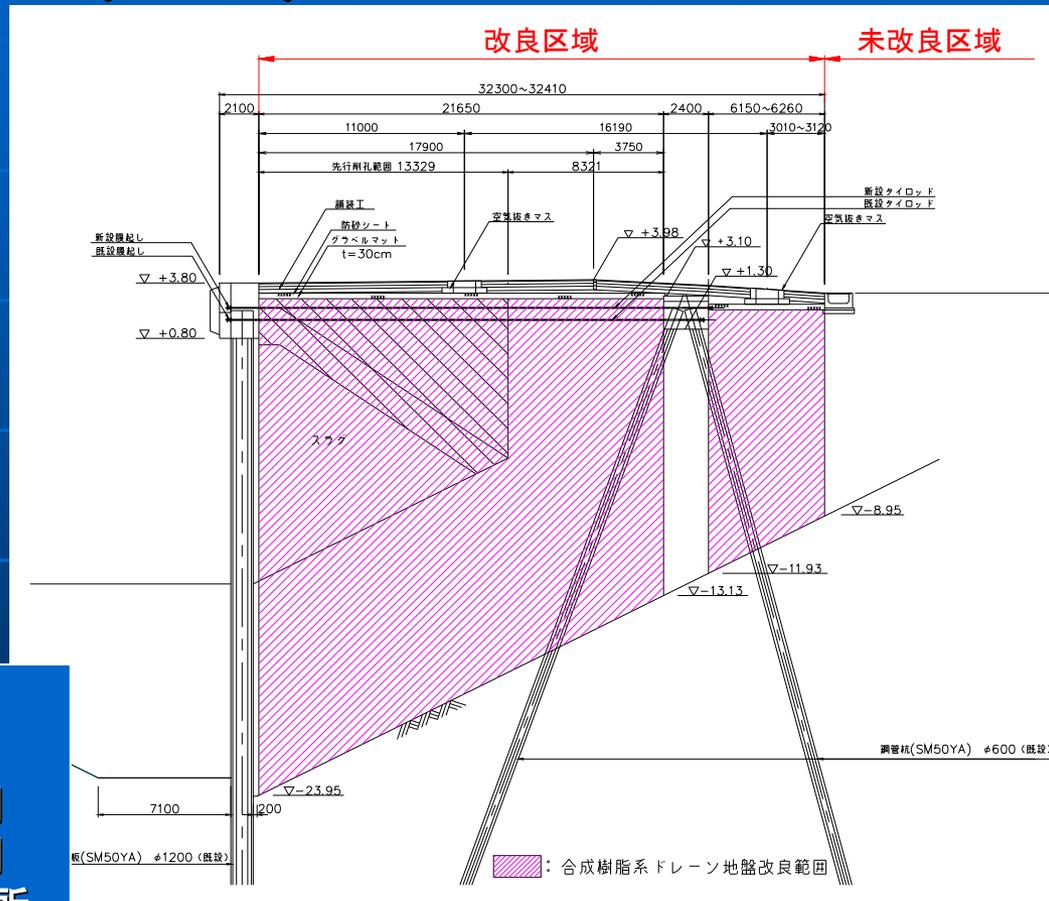
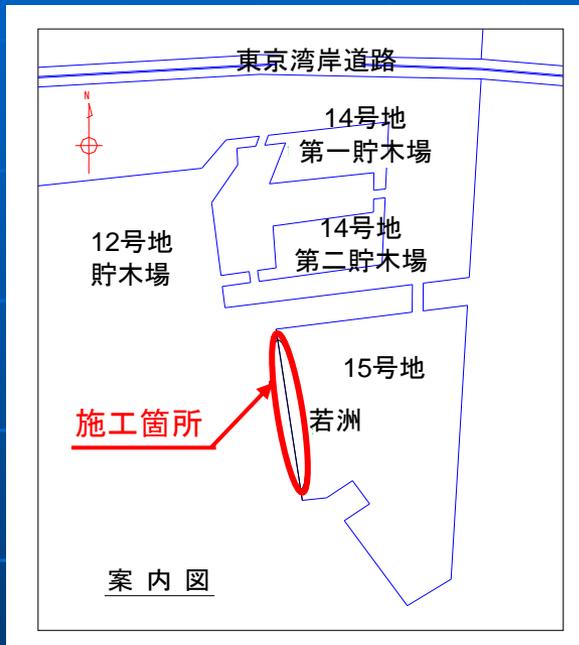
残留変形図 (DEPP改良地盤; Lv.1地震動)



鋼管矢板天端における
水平変位時刻歴(Lv.1地震動)

■ 東北地方太平洋沖地震(2011)後の DEPP施工地点の状況(その1)

● 東京港15号地木材埠頭岸壁(-12m) LDバース ①



施工場所 : 東京都江東区若洲6番地地内
(15号地木材埠頭)

工期 : 平成13年10月~平成14年3月
平成14年10月~平成15年2月

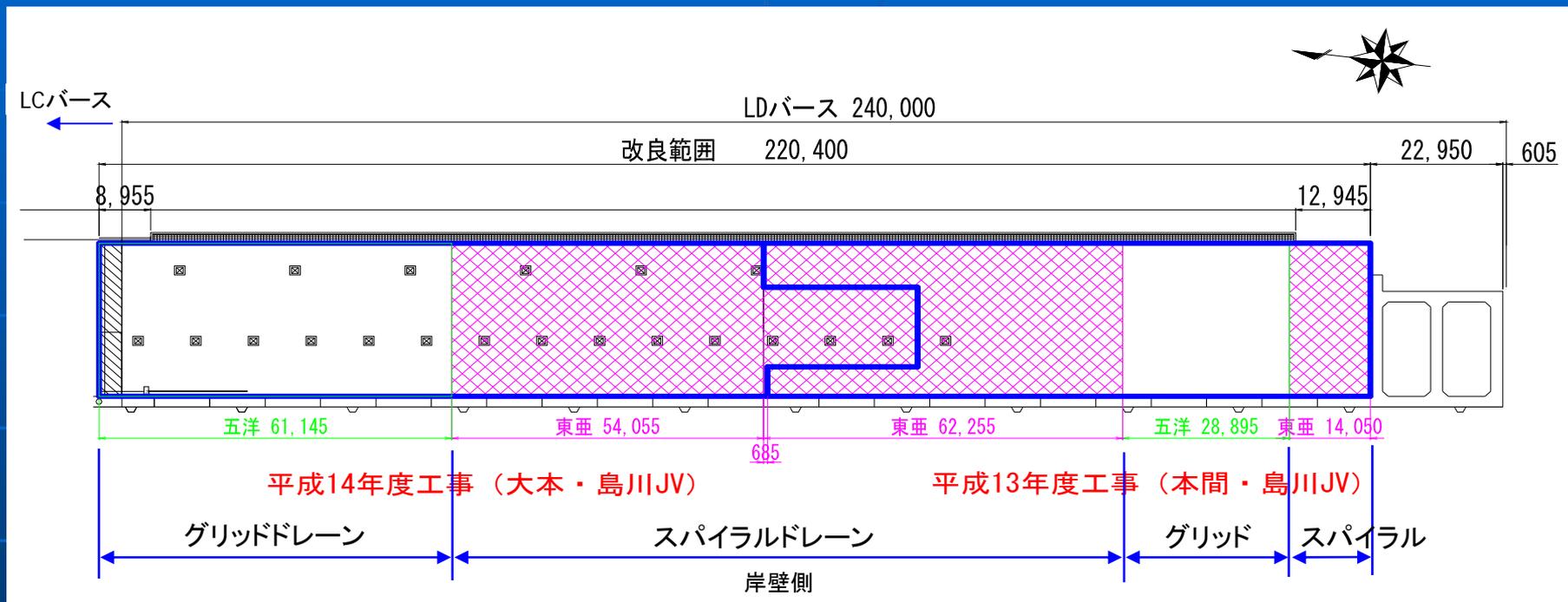
発注者 : 東京都港湾局東京港建設事務所

施工業者 : 本間・島川建設JV(平成13年度)
大本・島川建設JV(平成14年度)

岸壁標準断面図

地震後の状況(その1)

東京港15号地木材ふ頭岸壁(-12m) LDバース ②



LDバース施工平面図

◎ 施工仕様

改良深度 : H=11.1~26.1m	打設間隔 : @=50~55cm
施工幅 : B=30.39m	施工延長 : L=220m
総打設本数=23,004本	総打設延長=405,598m

地震後の状況(その1)

東京港15号地木材ふ頭岸壁(-12m) LDバース ③

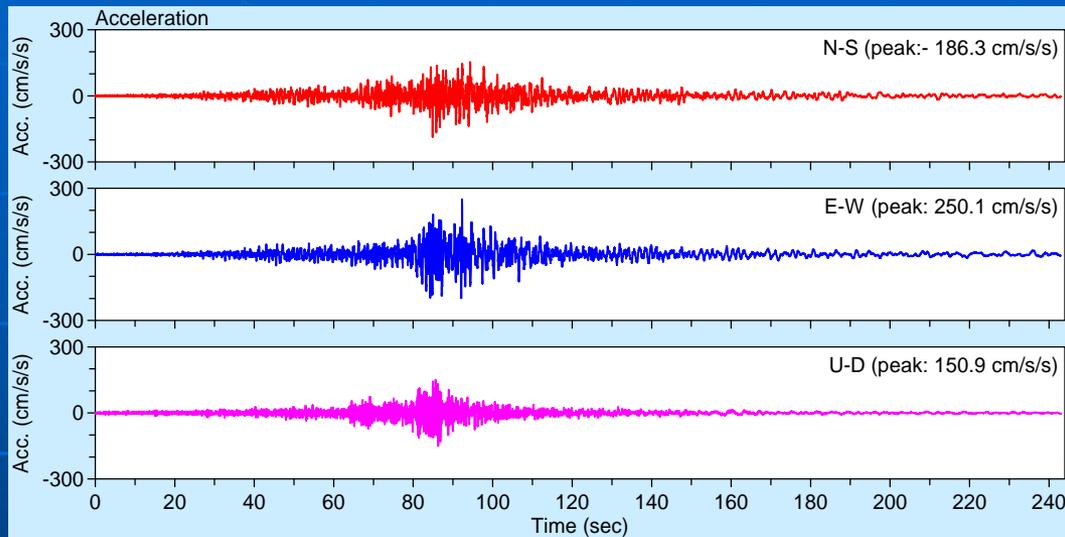
◎ 周辺部の観測地震動



グリッドドレン施工状況



スパイラルドレン施工状況

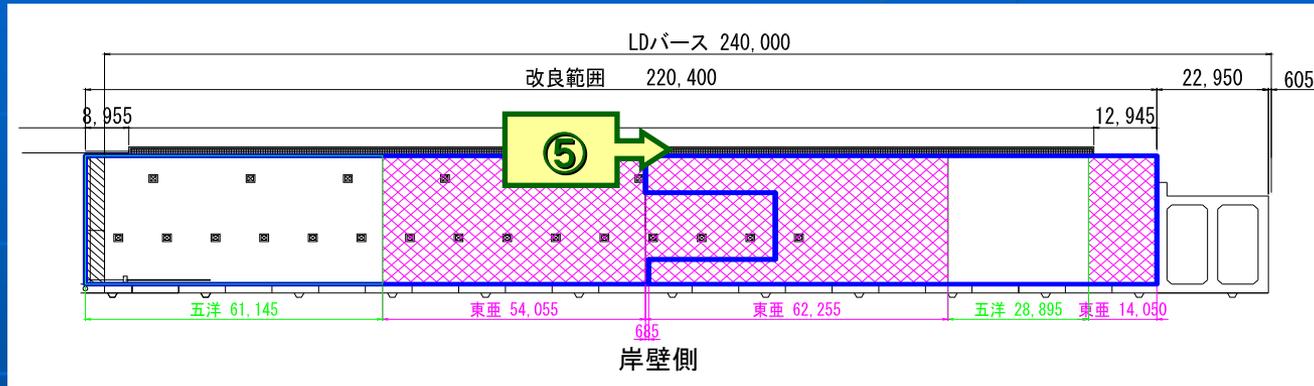


K-net八枝 最大加速度250.1gal E-W

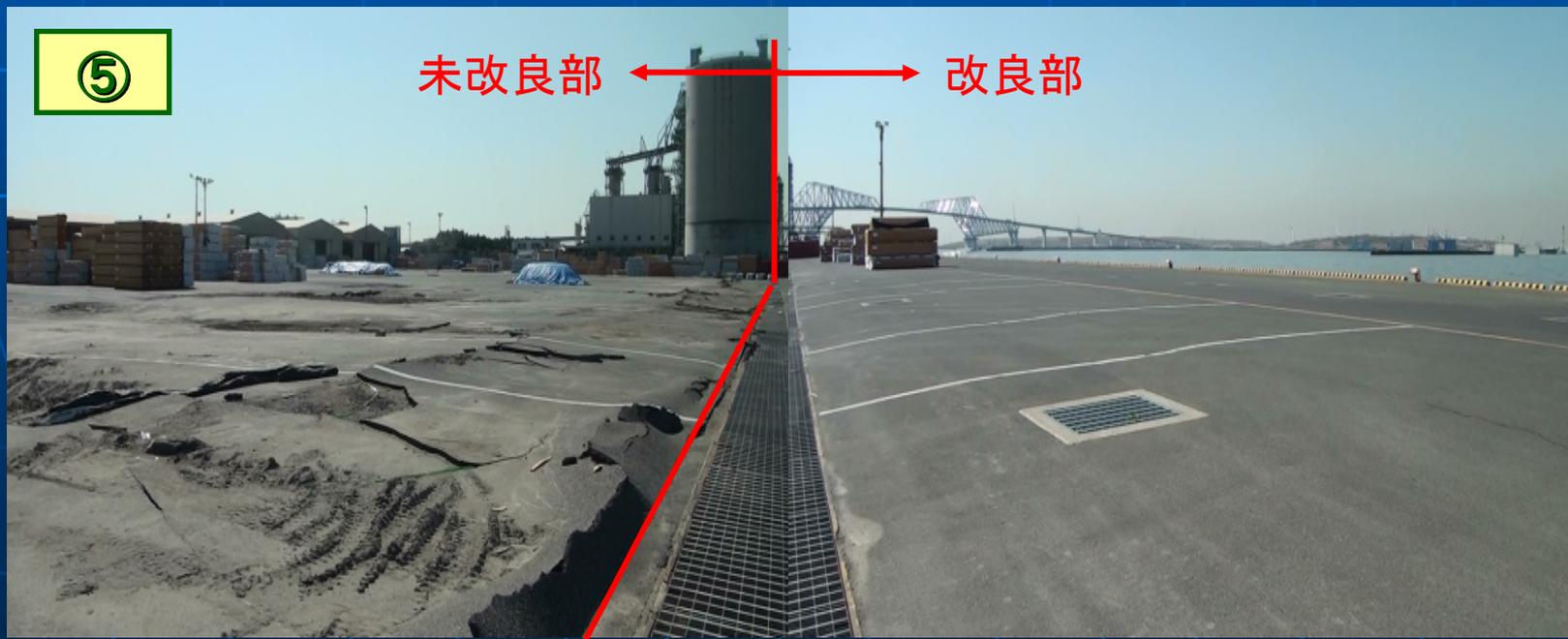


■ 地震後の状況(その1)

● 東京港15号地木材ふ頭岸壁(-12m) LDバース ④



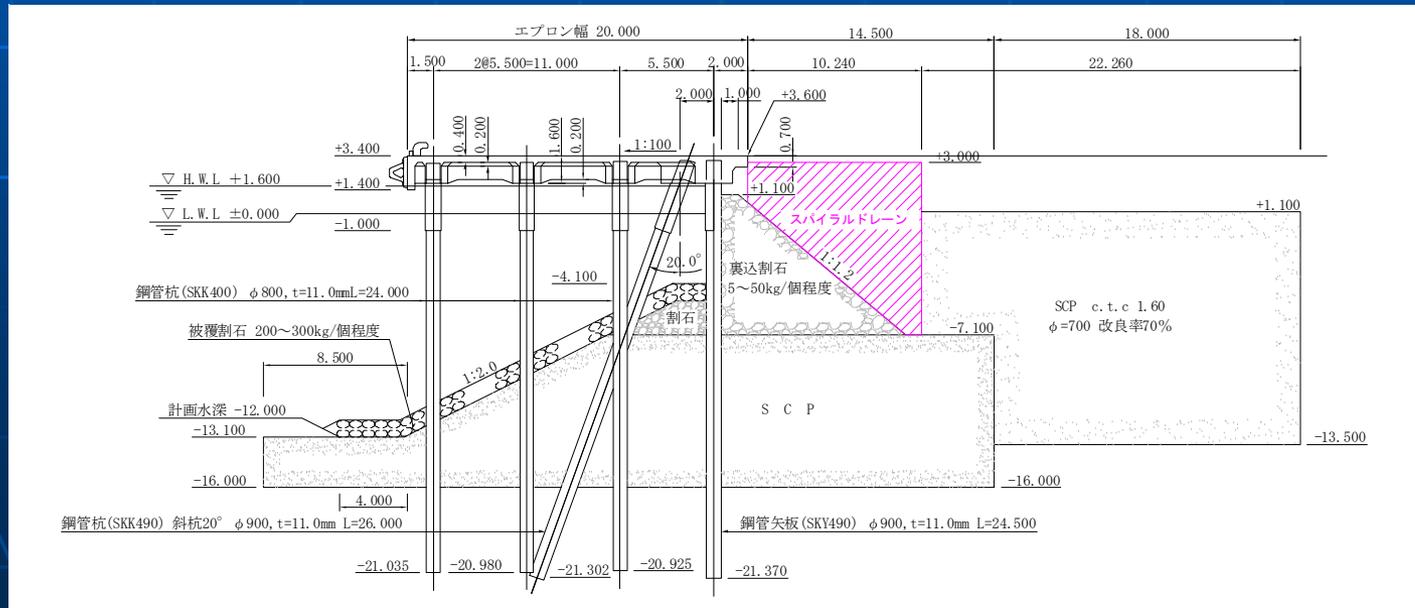
- ◎DEPP改良部は、液状化・沈下・岸壁のはらみ出し等含めて無被害
- ◎背後のストックヤード(未改良部)で液状化被害が大きい



■ 東北地方太平洋沖地震(2011)後の DEPP施工地点の状況(その2)

● 仙台塩竈港・仙台港区向洋埠頭岸壁(-12m) ①

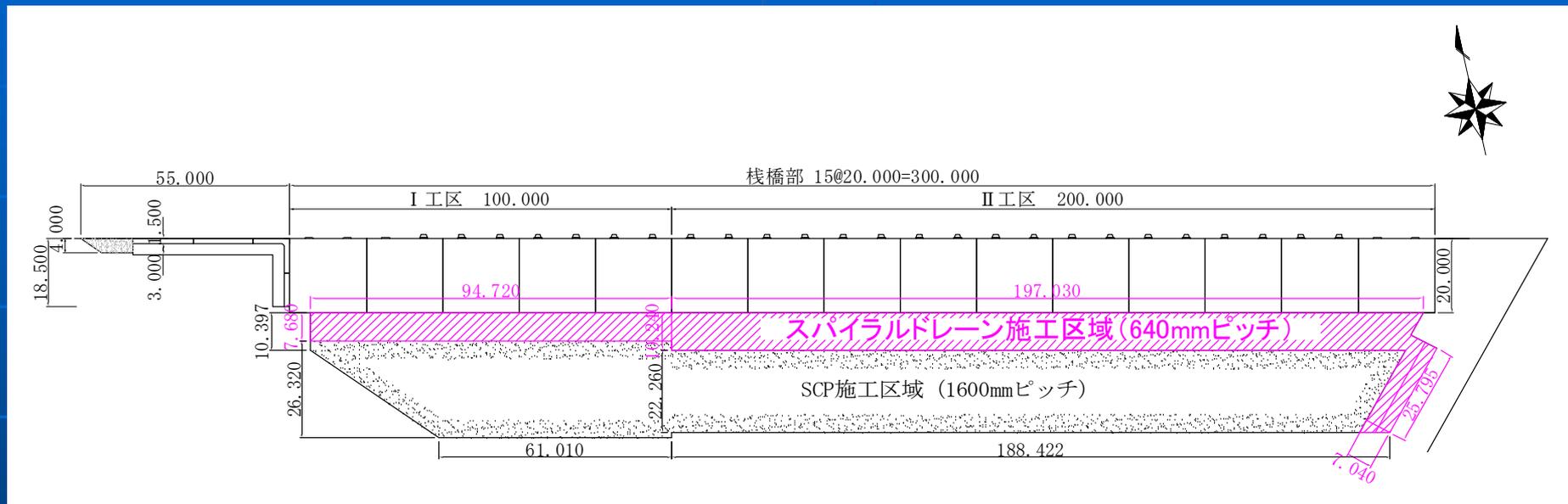
施工場所 : 宮城県仙台市宮城野区中野
 (仙台港・向洋埠頭)
工期 : 平成7年5月～平成7年10月
発注者 : 運輸省第二港湾建設局本部
施工業者 : 国土総合建設(現 あおみ建設)



岸壁標準断面図

■ 地震後の状況(その2)

● 仙台塩竈港・仙台港区向洋埠頭岸壁(-12m) ②



向洋岸壁施工平面図

◎ 施工仕様

改良深度 : H=2.3~10.1m (平均6.3m)

施工幅 : B=7.68m, 10.24m, 7.04m

総打設本数=7,116本

打設間隔 : @=64cm

施工延長 : L=320m

総打設延長=44,930m

地震後の状況(その2)

● 仙台塩竈港・仙台港区向洋埠頭岸壁(-12m) ③

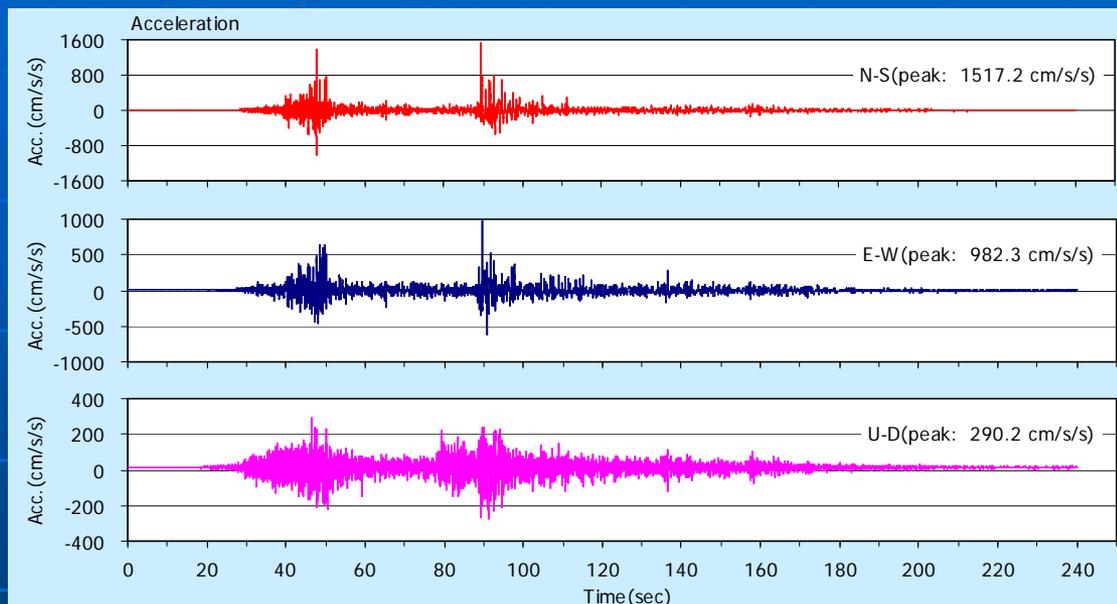
◎ 周辺部の観測地震動



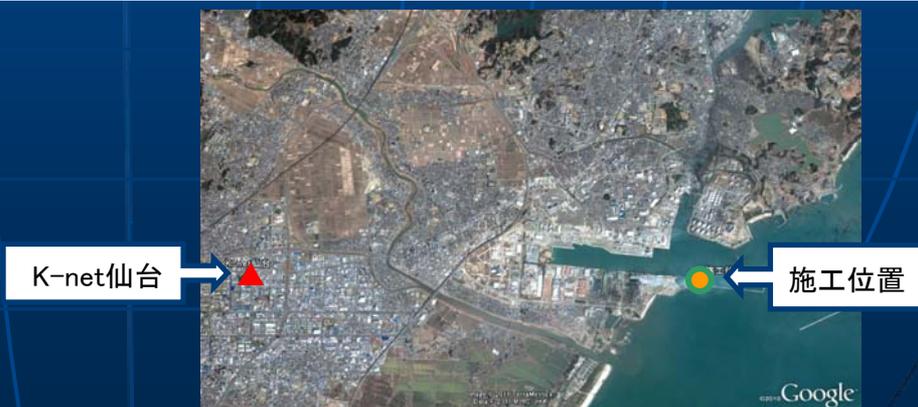
スパイラルドレン施工状況(a)



スパイラルドレン施工状況(b)

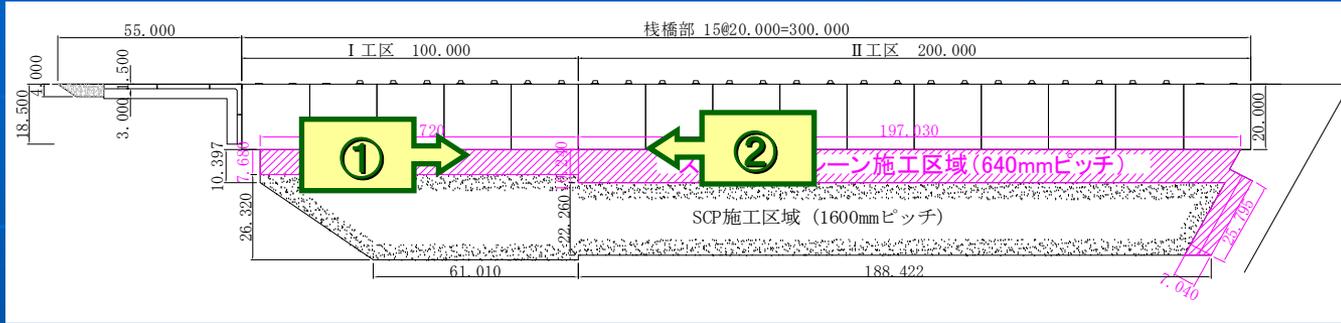


K-net仙台 最大加速度 1517.2gal N-S



■ 地震後の状況(その2)

● 仙台塩竈港・仙台港区向洋埠頭岸壁(-12m) ④



- ◎岸壁背面のDEPP改良部は約15cmの排水沈下のみ、岸壁に被害なく、段差は速やかに復旧
- ◎護岸(未改良部)で液状化被害が大



■ 今後の展望

● DEPP改良地盤のねばり強さの検証

『排水工法は、想定以上の地震動で液状化してしまえば、無対策地盤と同様に變形し、ねばり強さに欠ける』との一部方面からの指摘に対し……



◎排水工法の特長である地震時排水(体積ひずみ:2~3%)を促すことで、万一の液状化後も地盤剛性の回復を助け、地震後の崩壊的なせん断變形(せん断ひずみ:10%以上)の発生を防ぐことができる【たとえば、風間, 2010】

◎Lv.2地震動を受けたと思われる仙台港・港向洋埠頭は15cm程度の排水沈下のみで、DEPP改良地盤に目立つ被害はなかった



ドレーン遠心載荷実験の状況

ドレーン打設地盤の遠心載荷実験や部分排水を考慮した動的解析により検証中!

《DEPP工法研究会 URL》

<http://www.depp-koho.jp/>

Fin.

ご静聴、ありがとうございました。