

1

土研新技術ショーケース2010 in 名古屋

**杭と地盤改良を併用した複合地盤杭基礎**  
**による橋梁基礎の合理化技術**  
 — 軟弱地盤を克服する新基礎形式 —

CERI 独立行政法人土木研究所 寒地土木研究所  
 寒地基礎技術研究グループ 寒地地盤チーム

2

CERI 新技術開発の背景

道路機能ニーズの多様化・道路幹線網の整備促進  
 急峻な地形・多数の河川・都市部の土地利用

↓

構造物基礎 → 良質な地盤のみではなく、  
 不良土・特殊土での施工が不可避

↓

■ 特殊土（泥炭・火山灰）を克服する新基礎設計法  
 ■ 建設コスト縮減

3

CERI 複合地盤杭基礎の研究開発

従来設計法 → 複合地盤杭基礎

定義：軟弱地盤や液状化地盤中に施工する杭の周辺に固結工法・載荷重工法・サンドコンパクションパイル工法の複合地盤を形成し、地盤改良による増加せん断強度を杭の水平拵杭・支持力に反映する設計施工法

コンセプト：建設コスト縮減・耐震性向上

4

CERI 複合地盤杭基礎の建設コスト縮減効果

実用化：H15～H21年 北海道内15現場で採用

建設コストが -15 ~ -45% (平均 -30%)  
 大幅に削減

5

CERI 基本設計法-1

設計前提：杭基礎の設計法  
 改良地盤（複合地盤）= 反力体

固結工法の改良強度範囲  $qu = 200 \sim 500 \text{ kN/m}^2$   
 ↓  
 地盤構成則（地盤として扱う） = 材料試験・数値解析  
 ↓  
 剛性 = 粘性土地盤の約100倍程度、それに対し杭剛性は場所打ち  $2.5 \times 10^7 \text{ kN/m}^2$ 、鋼管杭  $2.0 \times 10^8 \text{ kN/m}^2$  と極めて大きい  
 改良体は基礎の代用とはならない

6

CERI 基本設計法-2

水平拵杭 → 極限平衡状態の釣合い  
 くさび理論の受働土圧領域  
 モール・クーロンの破壊基準  
 杭水平拵抗領域  
 ↓  
 地盤改良領域

杭の特性長  $1/\beta$   
 着底が望ましい = 境界部せん断力  
 受働土圧領域  $\theta = 45^\circ + \phi/2$

杭周辺の地盤改良領域  
 (3次元四角形領域)

CERI  
COLL REGION

7

### 基本設計法一三

杭の水平抵抗力 (水平地盤反力)  
 $K = \alpha \cdot E / 0.3 \left( (D/\beta)^{1/4} \cdot 1/0.3 \right)^{-3/4}$

① 固結工法

$C = C_p \cdot ap + as \cdot Co (1 - ap)$   
 $C_p = qup/2, Co = qu0/2, ap = Ap/A$

$C_p$ : 改良柱体のせん断強度  
 $Co$ : 原地盤のせん断強度

↓

$Ep = 100qup$   
 $E = Ep \cdot ap + as \cdot Eo (1 - ap)$

$Ep$ : 改良柱体の変形係数  
 $Eo$ : 原地盤の変形係数

改良柱体の強度と変形係数

CERI  
COLL REGION

8

② 載荷重工法  
プレロード・真空圧密工法

$C = C_0 + \Delta C = C_0 + m \cdot \Delta p \cdot U$

$C_0$ : 原地盤のせん断強度  
 $\Delta c$ : 圧密による増加せん断強度 =  $\Delta E$  (同等比)

試験施工で変形係数を再照査するのが望ましい

③ サンドコンパクションパイル工法

$K = ks \cdot as + kc(1 - as)$

直接的にK値算定が可能  
 $as$ : 改良率 砂杭のN値10-15程度

CERI  
COLL REGION

9

### 現場載荷試験による設計法検証

現場載荷試験実施の写真

試験装置・ひずみゲージ

地盤改良 DJM工法  $a_{UD} = 200 \text{ kN/m}^2$  改良率78.5%

複合地盤杭工法を採用した橋梁一般図・土質柱状・地盤改良形状

CERI  
COLL REGION

10

### 現場水平載荷試験

現場載荷試験実施の写真

試験装置・ひずみゲージ

CERI  
COLL REGION

11

### 水平載荷試験結果 H-y

杭水平載荷試験結果 (H~y)

\* 提案設計法=杭の地盤反力法 成立 \*


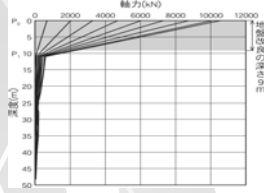
CERI  
COLL REGION

12

### 現場鉛直載荷試験

場所打ち杭 径1200mm L=48.5m n=2×3(当初4列)  
 地盤改良工 粉体系機械攪拌 DJM工法  
 $a_{UD} = 200 \text{ kN/m}^2$  改良率78.5%

CERI GOLD REGION 13

改良体内で軸力・周面摩擦発現  
 $f = C = qu_p / 2$

ネガティブフリクション (NF)

$$Ra = 1/1.5 (Ru' - Ws) + Ws - (NF + W)$$

\* 杭支持力=改良体・杭接合 問題なし\*

CERI GOLD REGION 14

<技術的懸案>

懸案A. 基礎の施工管理はどうするのか?

懸案B. 杭変形で改良体は損傷しないか?

懸案C. 地震時の基礎挙動に問題はないか?

<道路橋が定める要求性能・限界状態の確保>

■ 常時・L1 基礎が健全性を損なわず弾性挙動  
 ■ L2 塑性限界性能 許容塑性率

CERI GOLD REGION 15

懸案A 施工管理法 = 施工カルテ策定

<施工手順>

- ① 地盤改良 (変動係数低減管理=上限30%)
  - ・羽根切り回数 450回/m
  - ・一軸圧縮試験 頻度増加
  - ・三軸圧縮試験 設計値検証 均一性=並列ばね確保
- ② 杭施工 (改良体の損傷回避)
  - ・全周回転方式場所打ち杭
  - ・鋼管ソイルセメント杭 (同軸オーガ) 改良体と杭の接合確保

\* 施工カルテに記載 \*

- ・施工管理
- ・メンテナンス
- ・地震後の検証



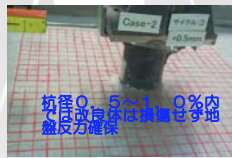
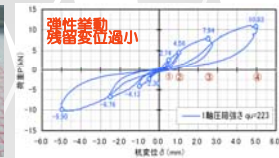
CDM工法

CERI GOLD REGION 16

懸案B 地盤反力照査・杭許容水平変位低減

実大規模実験: 杭の静的力学挙動・改良体の健全性評価

載荷試験 = 杭径10cm 改良体強度 $qu=200kN/m^2$ 相当

弾性変位過小  
 残変位1.7mm  
 1軸圧縮強度 $qu=223$

設計ルール

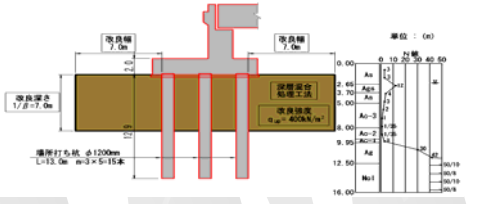
- ・常時 地盤反力照査 < 改良体の受働土圧
- ・レベル1地震時 杭許容水平変位量 杭径0.5% (通常1%)

改良体が損傷せず杭の弾性地盤反力法が成立

CERI GOLD REGION 17

懸案C1 複合地盤杭基礎の大規模地震時の耐震性

耐震性検討1: 動的非線形有限要素法解析



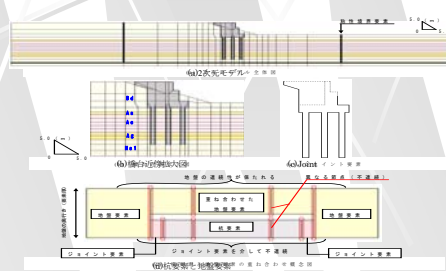
試験現場 鋼路管内 道路橋

場所打ち杭 杭径1200mm L=13m n=3×5(当初5列)

地盤改良工 CDM工法  $qu_p=400kN/m^2$  改良率78.5%

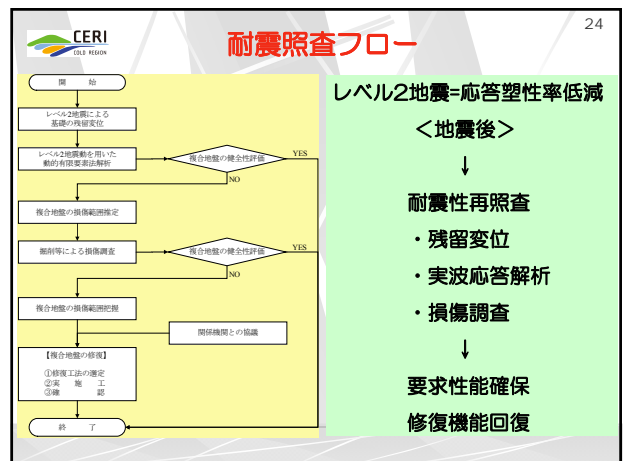
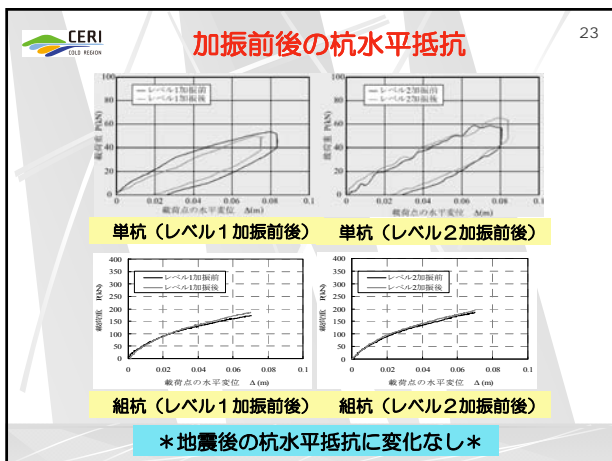
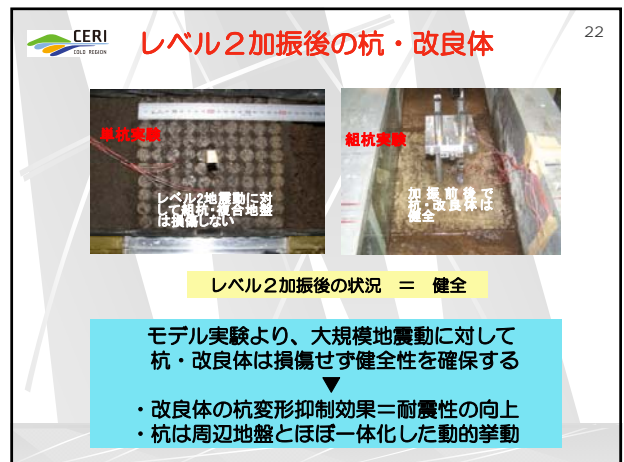
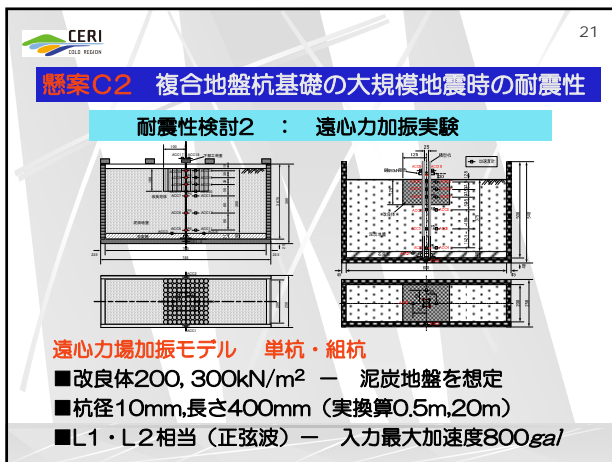
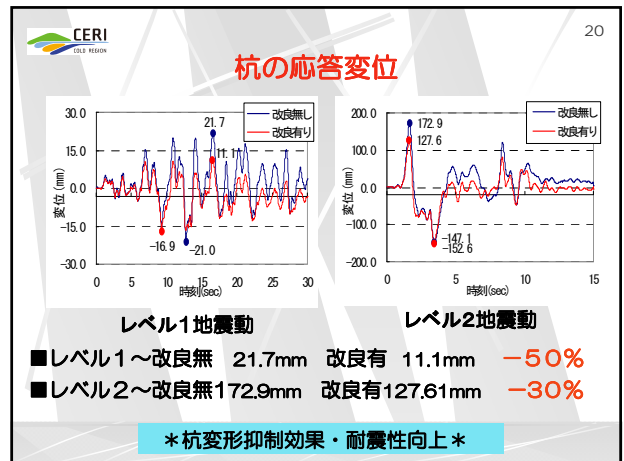
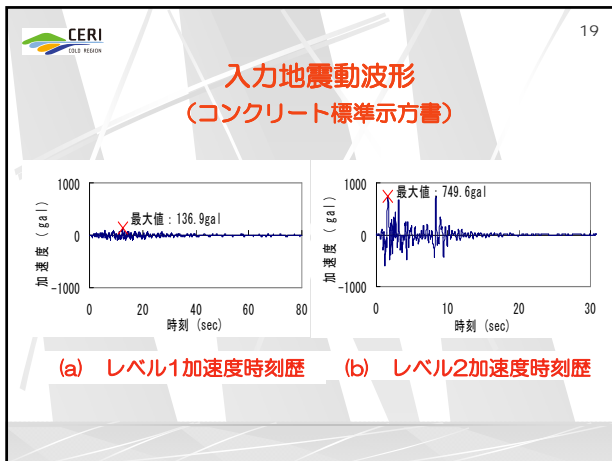
CERI GOLD REGION 18

解析モデルと構成則 (2次元動的非線形有限要素法)



■ ジョイント要素・非線形構成則、剛性~標準示方書

■ 3次元FEM相関=杭変位・回転~フーチング幅設定





### 北海道における複合地盤杭基礎の設計施工法に関するガイドライン

これまでの研究成果を反映し、土木研究所 寒地土木研究所より技術検討委員会の協議および関係機関への意見照会を経て、平成22年4月に設計施工法に関するガイドラインを策定

詳細はガイドライン参照

HPから無償ダウンロード可能

今後も、新工法・新技術の有効活用を研究し、土木工学の発展に寄与する。

E N D