

シートパイルによる杭基礎の耐震補強効果の3次元解析検証

(株)大林組 正会員 ○杉江 茂彦, 山本 忠久, 平尾 淳一
 (株)鉄道総合技術研究所 正会員 西岡 英俊, 神田 政幸, 西村 昌宏

1. はじめに

既設の杭基礎にシートパイルを打設してフーチングと接合させることにより耐震性能を高める補強工法については、大型模型実験(例えば¹⁾, ²⁾)によりその効果と水平荷重の負担メカニズムが確認されている。本報告では、既設の鉄道RC壁式橋脚の耐震補強を想定し、3次元有限要素法解析によりシートパイルによる補強効果を検証したので報告する。

2. シートパイルによる杭基礎補強の解析モデル

地盤および橋脚基礎部の解析モデルを図-1に示す。地盤の初期応力の計算後に上部構造および列車荷重の鉛直方向荷重($P_v=3800\text{kN}$)を載荷し、続いて地震時慣性力を模擬した水平方向荷重($Ph=7400\text{kN}$)を橋軸直角方向に載荷した。変形の対称性から基礎部および地盤の2分の1をモデル化領域とした。またモデルの底部・側部境界については面外方向変位を拘束した。

(1) 地盤のモデル化

地表より砂質の埋戻土($N=2$)が堆積し、層厚約10mの砂層($N=15$)と粘土層($N=10$)が杭支持層の砂礫層($N=50$)に続いている。地盤の応力ひずみ関係については、図-2に示す龍岡³⁾の調査結果を基に、実測事例(図中の白○群)の分布から剛性低下の関係式(緑線)を設定した。粘土・砂礫層についても同じ剛性低下の関係式を用いた。

(2) 基礎部のモデル化

シートパイル(以下SPと記述)の設置は地表から-8mまでとしシェル要素(弾性体)で模擬した。SPと地盤間にはすべり・剥離が可能な薄層要素を設けた。またフーチングとSPは剛結とし、SPによる構成面の各面同士(前・背面と側面間)は非接合とした。橋脚・フーチングおよび杭の各部はソリッド要素(弾性体)で模擬し、フーチング底面と地盤には離間を設けた。解析コードにはGRASP3D⁴⁾を用いた。

3. 解析結果

水平方向荷重を10%載荷($Ph=740\text{kN}$)した段階での計算結果を示す。

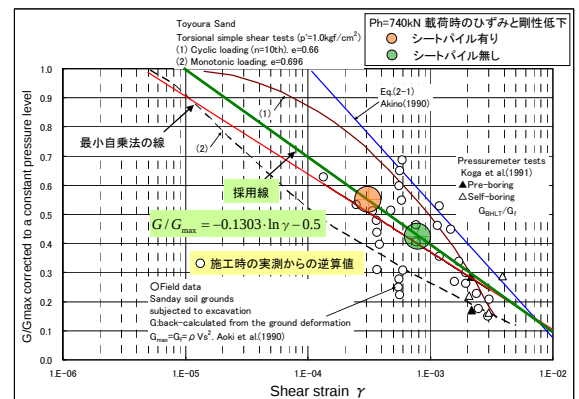
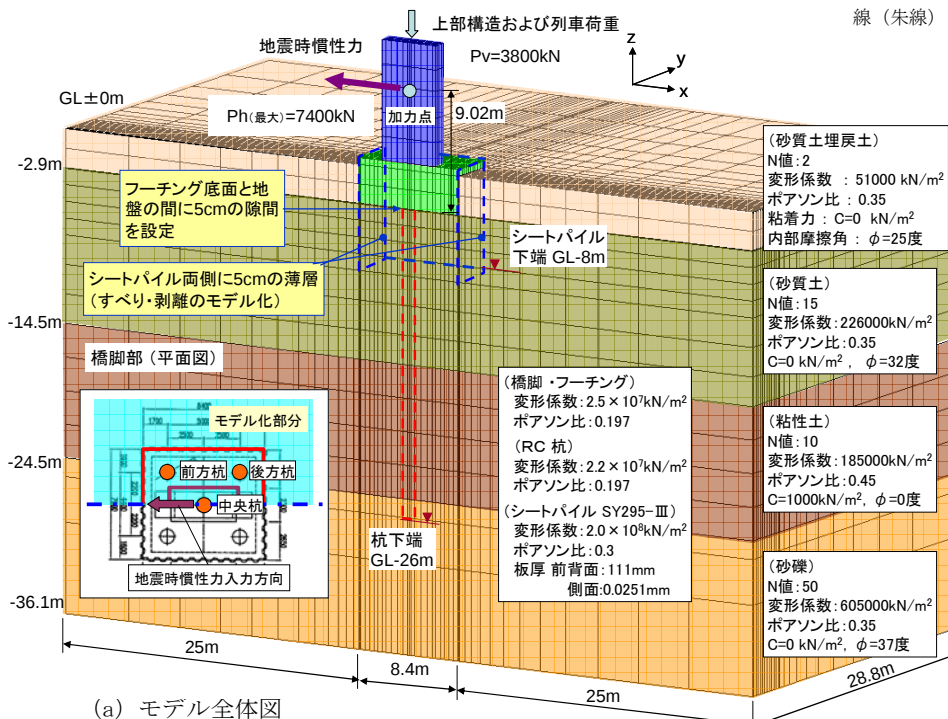
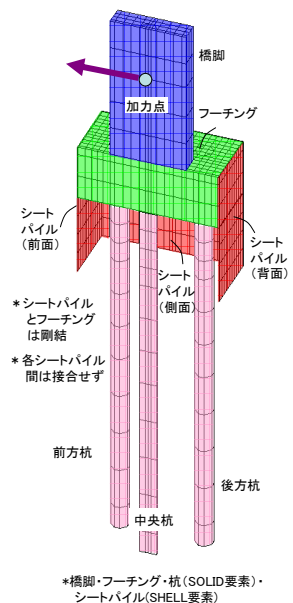


図-2 砂質土地盤での $G/G_{\max} \sim \gamma$ 関係の研究調査事例(龍岡・木幡・金・渋谷, 1992)³⁾

*上記の文献3)からの引用図に○群の最小自乗法の線(朱線)と今回設定の線(緑線)、を加筆修正



(a) モデル全体図



(b) 基礎部抜き出し図

図-1 シートパイルによる補強を施した杭基礎の有限要素法解析モデル

キーワード : 杭, シートパイル, 耐震補強, 有限要素法解析

連絡先 : 〒204-8558 東京都清瀬市下清戸4-640 (株)大林組技術研究所 地盤技術研究部 TEL : 042-495-1097

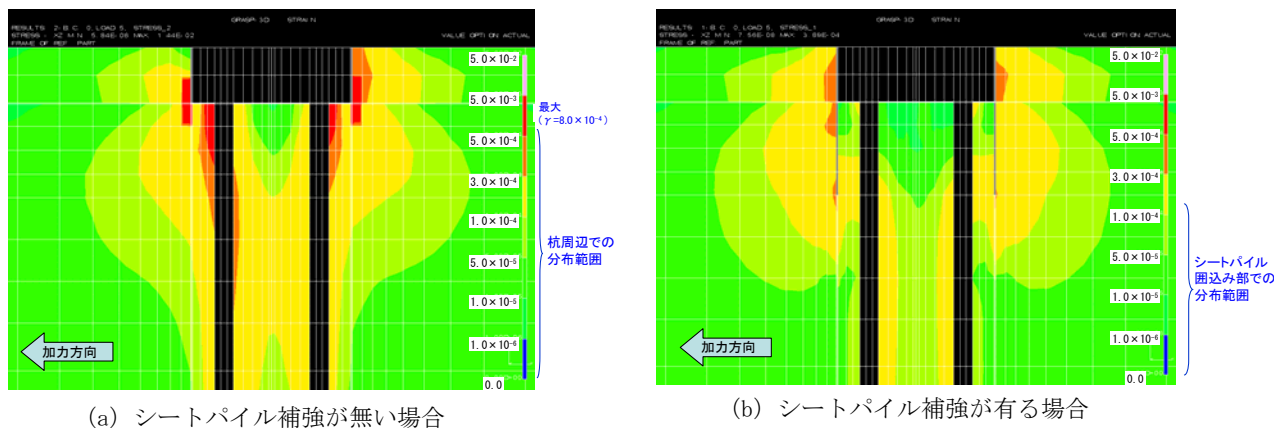
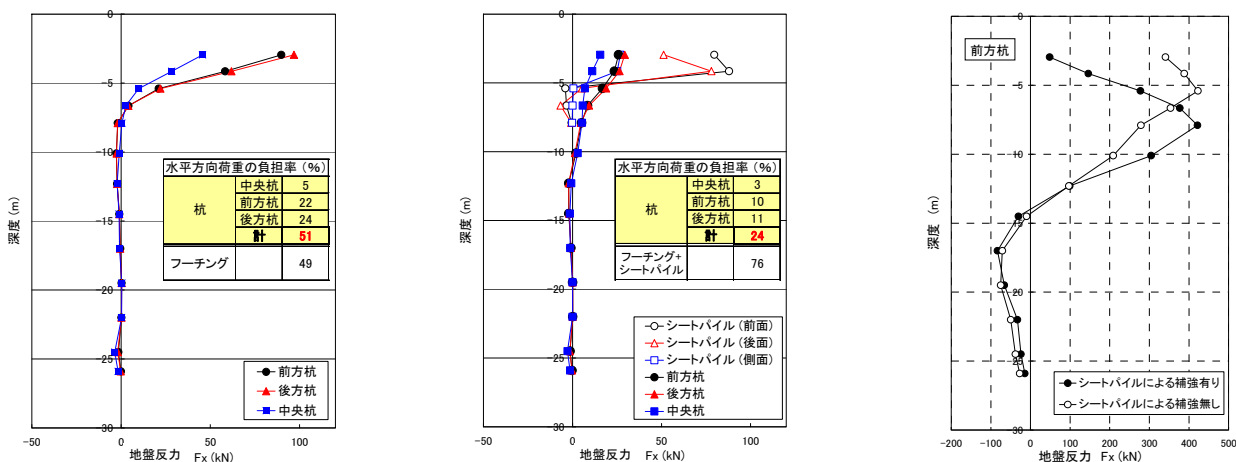


図-3 杭基礎周辺地盤のせん断ひずみ (γ) の分布 (前方杭と後方杭の中心を通る断面位置), 水平加力 $Ph=740\text{kN}$



(a) シートパイル補強が無い場合 (b) シートパイル補強が有る場合

図-4 杭およびシートパイルの荷重負担と割合, 水平加力 $Ph=740\text{kN}$

図-5 最大加力時の地盤反力分布
前方杭部, $Ph=7400\text{kN}$
弾塑性解析 (Drucker-Prager)

この荷重レベルにおける基礎部周辺の地盤の剛性低下の割合は最大 50%程度であった (図-2 参照)。

(1) シートパイルに囲まれた地盤の挙動

地盤のせん断ひずみ (γ) の分布を図-3 に示す。前方杭と後方杭の中心を通る断面での値である。S P による補強が無い場合では $\gamma > 1 \times 10^{-4}$ (黄色表示) の領域が広く生じており、杭頭付近では最大値 $\gamma = 8 \times 10^{-4}$ が得られている。一方、S P による補強が有る場合では全般的に $\gamma < 1 \times 10^{-4}$ に低減しており、S P に囲まれた内部の地盤が一体となって変位する傾向が認められる。

(2) 杭基礎部の荷重負担割合

S P による構成面および杭が受ける地盤反力の分布を図-4 に示す。基礎各部の荷重負担の割合も併せて表示している。地盤反力は各深度の節点荷重値の総和を負担層厚で除してプロットしている。杭部の荷重は杭頭部で最大値を示し、S P の有無によらず前方杭と後方杭の荷重が中央杭の 2 倍程となっている。また、S P 無しでは杭部 (前方・後方・中央の各杭の和) とフーチング部の荷重負担割合は各々 50% となっているが、S P 有りでは杭部の荷重負担は 25% 程度と半減している。S P による杭部の荷重負担の低減傾向については西岡ら¹⁾、樋口ら²⁾ による静的・動的な水平加力の模型実験と同様の結果が得られた。

また、別途に弾塑性解析 (Drucker-Prager の破壊規準使用) を実施し、杭部の地盤反力の上限值 (有効抵抗土圧) を検討した。地盤要素の破壊判定に用いた各層の強度定数 (粘着力 C および内部摩擦角 ϕ) を図-1 に併示する。最大加力までの載荷過程で杭部の地盤反力が概ね上限値に至っていることを確認した。図-5 に最大加力時の地盤反力分布を前方杭を例に示す。S P 補強による杭部の地盤反力の上限值 (有効抵抗土圧) の軽減と発生断面力の低減効果が認められる。

4. まとめ

3次元有限要素法解析により、シートパイルを用いた杭基礎への補強効果について以下が得られた。①シートパイルに囲まれた領域の地盤では拘束効果によりせん断ひずみの発生が低減した。②シートパイルが水平方向荷重の一部を受け持つことにより杭の荷重負担が軽減された。

参考文献 1), 2) 西岡・神田ら, 樋口・平尾ら: シートパイルで補強された杭基礎の模型実験, 土木学会第63回年次, 3-425, 3-426, 2008
3) 龍岡・木幡・金・澁谷: 原位置調査・室内試験・逆解析による土と岩の変形係数 (その1) - 原位置試験・室内試験・逆解析 データの比較 -, 東京大学 生産研究, 44巻10号 (1992. 10) 4) Ohta, H., Iizuka, A., Omote, Y., Sugie, S.: 3-D analysis of soil/water coupling problems using elastoviscoplastic constitutive relationships, Proc. 7th Int. Conf. Computer Methods and Advances in Geomechanics, Vol. 2, 1991