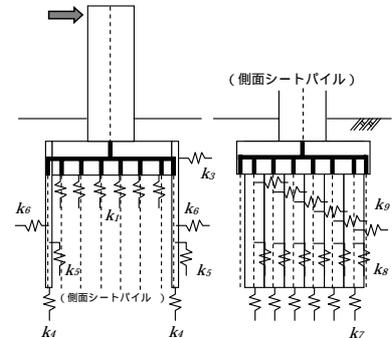


シートパイル基礎の地盤反力特性と評価

(財)鉄道総合技術研究所 正会員 千葉 佳敬, 神田 政幸
 西日本旅客鉄道(株) 正会員 前田 友章, 中本 陽介
 ジェイアール西日本コンサルタンツ(株) 正会員 森井 靖博

1.はじめに 鋼矢板併用型直接基礎（一般にシートパイル基礎と呼ぶ）は、従来では直接基礎の構築が不可能であった砂質土で N 値 20~30 未満, 粘性土で N 値 10~30 未満の地盤においても直接基礎と同じ工程で構築できる新しい基礎形式である。今回, 実橋脚の載荷試験においてシートパイルの施工方法の違いでマニュアル¹⁾に比べ有利な支持力特性を確保できることがわかった²⁾。本論文は, 載荷試験の分析を行うとともにマニュアルモデルとの比較および荷重載荷位置の違いによる比較のからシートパイル基礎の地盤反力特性の特長について述べる。

2.地盤抵抗特性の考え方 シートパイル基礎は, 二次元骨組み解析でモデル化でき, その際に配置する地盤バネは図-1 に示すモデルとしている^{1),3)}。詳細を表-1 に示すが, 表中の記号の説明は文献^{1),4)}に詳しい。地盤バネについて補足をすると, フーチングに配置する k1 は, 直接基礎に準じておりフーチング下端の複数の節点に分布させて配置し, シートパイルの地盤拘束効果により偏心, 傾斜の影響を無視して上限値を求めてよい。前背面シートパイルに配置する k4~k6 は, 先端解放打込み H 形鋼杭(以下: H 鋼杭と呼ぶ)に準じたモデルである。ただし, k6 の水平地盤反力係数から算定される 1/β の区間の鉛直せん断バネ(k5)は無視する。また, 前背面シートパイルの外側と内側については, 水平力の作用方向でどちらか一方の地盤との接触が強まり, 他方は土圧が低減すると考えられ, 片側のみ考慮する。側面シートパイルに配置する k7~k9 も H 鋼杭に準じたモデルであり, 手前側と奥側のシートパイル 2 枚分の地盤反力特性を考慮する。前背面シートパイルとは違い, 1/β の範囲にも考慮してよい。



フーチング底面	前背面シートパイル	側面シートパイル(2面)
k1 (底面鉛直)	k4 (先端鉛直)	k7 (先端鉛直)
k2 (底面せん断)	k5 (鉛直せん断) 片面	k8 (鉛直せん断) 外面 x2
k3 (前面水平)	k6 (水平) 内面側	k9 (水平せん断) 外面 x2

図-1 シートパイル基礎の地盤抵抗モデル

表-1 シートパイル基礎の地盤バネの詳細

	バネ名称	地盤反力係数	上限値
フーチング底面	k1 (底面鉛直)	砂質土: $k_v = f_{ik}(2.3\alpha E_0 B_v^{-1/2})$ 砂質土・粘性土の互層: $k_v = f_{ik}(1.7\alpha E_0 B_v^{-3/4})$ 粘性土: $k_v = f_{ik}(1.3\alpha E_0 B_v^{-1})$	$q_u = q_{u0} + \gamma z D_f$ 粘性土: $q_u = f_{ik} N_c I_c \alpha_0 c$ 砂質土: $q_u = q_{u0} I_p I_{\beta} B_v \gamma_{e1} N_f + f_{ik} q_{u0} D_f (N_q - 1)$
	k2 (底面せん断)	考慮しない	考慮しない
	k3 (前面水平)	$k_h = f_{ik}(1.7\alpha \alpha E_0 B_h^{-3/4})$	$R_{hp} = f_{ip} \alpha_h L (\sum p_{pi} H_i \cos \delta_{pi})$
前背面シートパイル	k4 (先端鉛直)	$k_v = f_{ik}(3.2\alpha E_0 B_v^{-3/4})$	砂質土: $q_p = f_{ik}(300N)$ 10000(kN/m ²) 砂礫: $q_p = f_{ik}(300N)$ 15000(kN/m ²) 硬質粘性土または軟岩: $q_p = f_{ik}(4.5q_u)$ または $f_{ik}(100N)$ 20000(kN/m ²)
	k5 (鉛直せん断) 片面	砂質土: $k_{sv} = f_{ik}(0.09\alpha E_0 W^{-3/4})$ 粘性土: $k_{sv} = f_{ik}(0.3\alpha E_0 W^{-3/4})$	砂質土: $r = f_{ik}(3N)$ 150(kN/m ²) 砂礫: $r = f_{ik}(4N)$ 200(kN/m ²) 粘性土: $r = f_{ik}(q_u/2)$ または $f_{ik}(10N)$ 150(kN/m ²)
	k6 (水平)	$k_h = f_{ik}(0.6\alpha E_0 W^{-3/4})$	砂質土: $p_s(z) = f_{ip} \alpha_{\gamma} \gamma z K_p$ 粘性土: $p_s(z) = f_{ik} \alpha_h (\gamma z + 2c)$ 6c(地震時 9c)
側面シートパイル(2面)	k7 (先端鉛直) x2面 (手前側・奥側)	$k_v = f_{ik}(3.2\alpha E_0 B_v^{-3/4})$	砂質土: $q_p = f_{ik}(300N)$ 10000(kN/m ²) 砂礫: $q_p = f_{ik}(300N)$ 15000(kN/m ²) 硬質粘性土または軟岩: $q_p = f_{ik}(4.5q_u)$ または $f_{ik}(100N)$ 20000(kN/m ²)
	k8 (鉛直せん断) 外面 x2面 (手前側・奥側)	砂質土: $k_{sv} = f_{ik}(0.09\alpha E_0 W^{-3/4})$ 粘性土: $k_{sv} = f_{ik}(0.3\alpha E_0 W^{-3/4})$	砂質土: $r = f_{ik}(3N)$ 150(kN/m ²) 砂礫: $r = f_{ik}(4N)$ 200(kN/m ²) 粘性土: $r = f_{ik}(q_u/2)$ または $f_{ik}(10N)$ 150(kN/m ²)
	k9 (水平せん断) 外面 x2面 (手前側・奥側)	砂質土: $k_{sh} = f_{ik}(0.09\alpha E_0 W^{-3/4})$ 粘性土: $k_{sh} = f_{ik}(0.3\alpha E_0 W^{-3/4})$	砂質土: $r = f_{ik}(3N)$ 150(kN/m ²) 砂礫: $r = f_{ik}(4N)$ 200(kN/m ²) 粘性土: $r = f_{ik}(q_u/2)$ または $f_{ik}(10N)$ 150(kN/m ²)

3.載荷試験のシミュレーション 当該現場は, 礫混じり地盤であったためシートパイルの打設はオーガー先行掘削 + セメントベントナイト置換え工を施工した後にシートパイルを圧入していた²⁾。載荷試験の評価では, シートパイルと地盤間の支持力伝達は置換え固化体を介してなされると解釈し, 前述の地盤バネモデルに改良を加えた。具体的には, k5,8,9 のシートパイルと地盤との最大周面支持力度 r で定義される上限値を H 鋼キーワード シートパイル基礎, 周面支持力度, 地盤反力係数, 荷重分担率

連絡先 〒185-8540 東京都分寺市光町 2-8-38 (財)鉄道総合技術研究所 TEL 042-573-7261

杭での $r = 3N$ から場所打ち杭相当の $r = 5N$ とした。ここで N は N 値である。図-2 にそれぞれの評価値で載荷点を基礎天端から 0.8m 上方とした荷重～変位曲線を示す。同図によれば天端水平変位が小さい範囲では両者に差は無いが、天端水平変位が 20mm を超えたところから差が現れ、 $r = 5N$ の評価は、マニュアル準拠の場合に比べ最大で 50%近い支持力向上が確認できる。

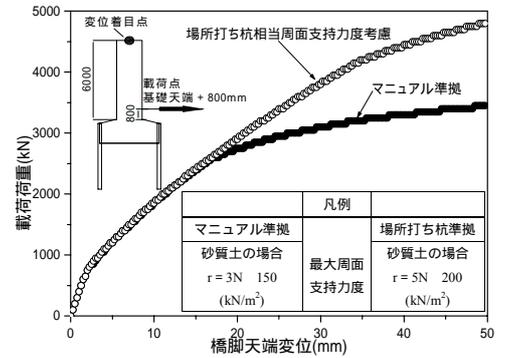


図-2 荷重～変位曲線

4. 各地盤バネ定数の分担比の検証 次に実設計に用いた地盤バネモデルの荷重分担率を分析した。ここでの方法は、各バネを無視したモデルで計算を行い得られた荷重～変位曲線の形状に着目し荷重分担率を求めた。図3～5にフーチング、前背面、側面シートパイルでの荷重分担率を表した荷重～変位曲線と各地盤バネでの荷重分担率を示す。各地盤バネの分担率での記号 $k1 \sim k9$ は図-1 と表-1 に対応している。全般には、フーチング部の分担よりもシートパイル部に配置された地盤バネの分担が大きい。

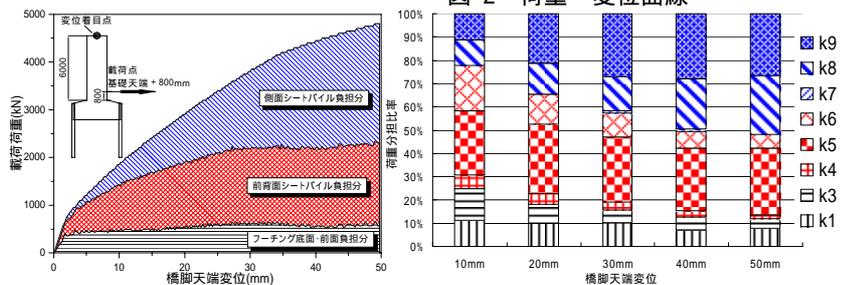


図-3 部位毎の荷重分担状況と各地盤バネの荷重分担状況（周面支持力 5N 評価、載荷点 基礎天端+0.8m）

図-3 と 4 は、周面支持力度に着目した比較である。これによると支持力の増分は側面シートパイルの分担率が主要因であり、地盤バネ毎では上限値が大きくなる $k5, 8, 9$ の内 $k9$ の分担増加が確認できる。

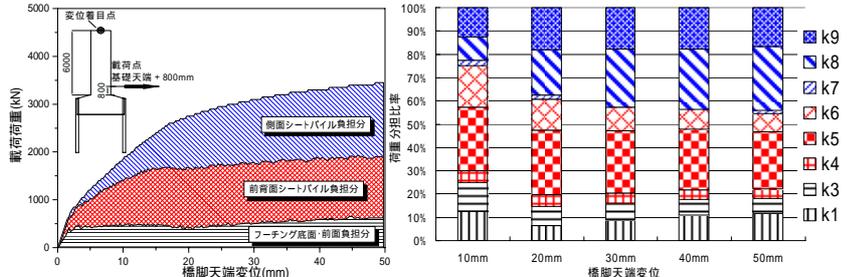


図-4 部位毎の荷重分担状況と各地盤バネの荷重分担状況（周面支持力 3N 評価、載荷点 基礎天端+0.8m）

図-4 と 5 は、載荷点位置に着目した比較で天端載荷では回転モード、基礎天端上方 0.8m 載荷ではスウェイモードが卓越する。これによると地盤バネ毎では、回転モードに対してシートパイルの鉛直せん断バネ ($k5, 8$) の分担が大きく、スウェイに対してシートパイル水平バネ ($k6, 9$) の分担が大きくなっている。

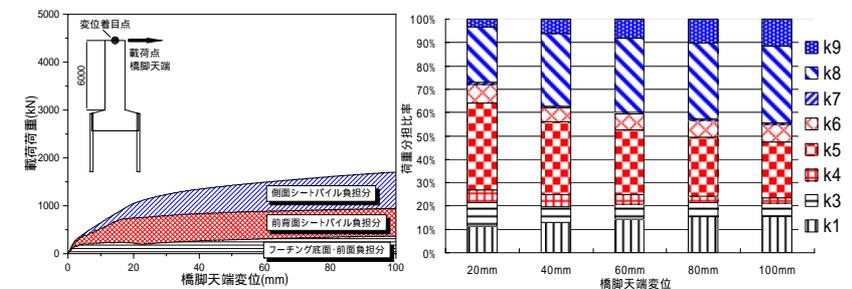


図-5 部位毎の荷重分担状況と各地盤バネの荷重分担状況（周面支持力 3N 評価、載荷点橋脚天端）

5. まとめ

検討結果をまとめると次の通りである。

- 1) セメントベントナイトなどで置換え後にシートパイルを打設した場合、固化体強度が所定の値を満足できればシートパイル基礎の周面支持力度は場所打ち杭相当と評価できる。それによる支持力向上分は、主に側面シートパイルの荷重分担率の増加であった。
- 2) マニュアルに準拠した地盤バネを用いた設計モデルでの橋脚変形モードの違い(回転・スウェイ)に着目した荷重分担率を示した。これによると回転成分の場合は、シートパイルの鉛直せん断バネ $k5$ および $k8$ の分担率が高く、スウェイモードでは、シートパイルの水平地盤バネ $k6$ および $k9$ の分担率が高い傾向であった。

参考文献 1) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物に適用するシートパイル基礎の設計・施工マニュアル, 研友社, 2006 2) 前田, 神田, 出羽, 中本, 近藤：シートパイル基礎の施工および載荷試験, 第 61 回土木学会年次学術講演会 2006.9(投稿中) 3) 西岡, 神田, 千葉, 館山, 喜多, 平尾, 崎本：シートパイル基礎の設計に用いる骨組解析モデルの検証, 第 61 回土木学会年次学術講演会 2006.9(投稿中) 4) 運輸省監修, 鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説 基礎構造物・抗土圧構造物, 丸善, 2000.6