

# 杭の周面抵抗と影響半径に関する一考察

千代田化工建設（株） 正 藤岡 豊一 日本鉄道建設公団 正 青木 一二三

## 1. まえがき

従来、杭の周面摩擦力と変位関係が杭頭載荷と相反載荷で同じと仮定して相反載荷試験の結果を杭頭載荷に換算している。しかし、両試験の周面摩擦力が等しくても軸力分布と周面地盤の影響範囲が相違する<sup>1)</sup>ため、杭体の弾性変位と周面地盤の影響半径を考慮して換算する必要があると思われる。本論文は杭と地盤のすべりを考慮して地盤のせん断変形をモデル化し、場所打ち杭 17 本の周面摩擦力度と変位の関係から影響半径を逆算し、両試験の影響半径の相違について考察したものである。

## 2. 杭の周面抵抗のモデル化

杭が上向きに変位した時の周辺地盤の変形を図－1に示す。地盤のせん断応力（ $\tau_r$ ）とひずみ（ $\gamma$ ）の関係を指数曲線  $\tau_r = \tau_{\max}(1 - e^{-a\gamma})$  で近似し、せん断応力が図－2のように杭周面から線形的に減少するものとする。杭と地盤の間にすべりが無い場合、杭中心から  $r$  の位置の地盤変位（ $w$ ）は次式で表わされる。<sup>2)</sup>

$$w = \frac{1}{a} \left[ \{ \tau_{\max}(r_m - r_o) - f_o(r_m - r) \} \ln \left\{ 1 - \frac{f_o(r_m - r)}{\tau_{\max}(r_m - r_o)} \right\} + f_o(r_m - r) \right] \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここに、  $f_o$  : 杭の周面摩擦力度

$\tau_{\max}$  : 最大せん断応力

$r_o, r_m$  : 杭の半径と影響半径

$a$  : 定数

影響半径（ $r_m$ ）は一定ではなく杭頭変位（ $y_o$ ）につれて増加し、次式で近似される。<sup>2)</sup> 式中の  $b, c$  および  $d$  は定数である。

$$y_o = b(r_m/r_o)^2 + c(r_m/r_o) - d \quad \dots\dots\dots (2)$$

杭と地盤の間にすべりがある場合、杭外周に厚さ（ $r_1 - r_o$ ）の薄いすべり層を考え、すべり層のせん断応力（ $\tau_s$ ）とひずみ（ $\gamma_s$ ）を次の指数曲線でモデル化する。

$$\tau_s = \tau_{\max}(1 - e^{-A\gamma_s - B}) \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$\gamma_s = (y_o - w_o)/(r_1 - r_o) \quad \dots\dots\dots (4)$$

ここに、  $y_o, w_o$  : すべり層の内外の変位

$r_o, r_1$  : 杭心からすべり層内外までの距離

$A, B$  : 定数

すべり層の厚さは 10 mm 程度と薄いのですべり層内のせん断応力は一定で、周面摩擦力度（ $f_o$ ）に等しいとすると、(3)と

(4)式から杭の変位はすべり層の変位（すべり量）と地盤の変位の合計として表わされる。

$$y_o = \frac{r_1 - r_o}{A} \left\{ \ln \frac{\tau_{\max}}{\tau_{\max} - f_o} - B \right\} + w_o \quad \dots\dots\dots (5)$$

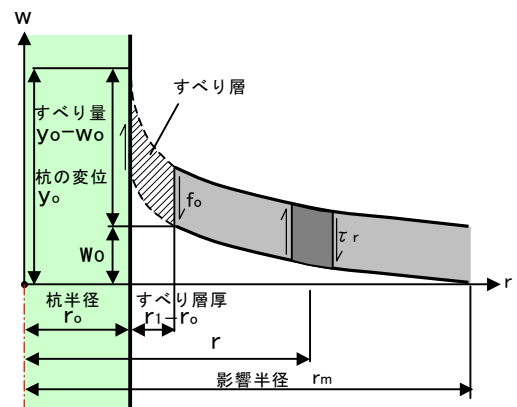
(5)式の  $w_o$  は杭心から  $r_1$  の位置の地盤変位であるが、すべり層が薄いので(1)式に  $r=r_o$  を代入して求まる。

$$w_o = \frac{r_m - r_o}{a f_o} \left[ (\tau_{\max} - f_o) \ln \left( 1 - \frac{f_o}{\tau_{\max}} \right) + f_o \right] \quad \dots\dots (6)$$

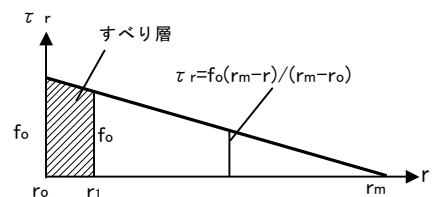
JR 富山駅近くで場所打ち杭の相反載荷試験を行い、同時に周辺地盤（GL－6m）の鉛直変位を計測した。こ

キーワード: 周面摩擦力, 場所打ち杭, 鉛直載荷試験

〒230-0051 横浜市鶴見区鶴見中央 2-12-1 Tel 045-506-2647 Fax 045-506-9295



図－1 杭周辺地盤の変位の模式図



図－2 地盤内せん断応力の変化

の時に得られた平均周面摩擦力度と変位関係および地盤の鉛直変位を前述の式を用いて回帰分析し、図-3に示す。地盤は多層から構成されるが、各層が個々に挙動するのではなく全層が合成されて挙動すると考えて平均周面摩擦力度と杭の変位で解析した。同図からすべりを考慮した解析結果が実測値と良く合っている。

### 3. 影響半径の解析

場所打ち杭 17 本の平均周面摩擦力度と変位の関係を前述の式を用いて回帰分析し、杭の変位と影響半径の関係を地盤別に整理して図-4～図-6に示す。実線が杭頭載荷で点線が相反載荷試験である。凡例にはデータ番号と最大平均周面摩擦力度( $f_{max}$ )を記載している。

図-4 は砂礫地盤の影響半径を比較したもので、STA1～3とTKS1～3は各々同一地点での試験結果である。同図から杭頭載荷の影響半径が相反載荷試験より大きく、その差は初期の段階で生じ、杭の変位と共に両者の差が若干小さくなるもののほぼ同じような差で影響半径が増加することが分かる。また、影響半径は $f_{max}$ が大きい程大きい傾向が認められる。

図-5 は砂質地盤の影響半径で、杭頭載荷試験時の影響半径が相反載荷試験時より若干大きい。図-6 は粘性土地盤の影響半径で両試験とも砂礫地盤や砂質地盤に比べ小さく、両者の差がほとんどない。また、杭の変位に伴って増加する割合も他の地盤より少ない。

相反載荷試験の初期の影響半径は地盤に関係なく杭半径の 1.7 倍程度とほぼ一定であるが、杭頭載荷試験の初期の影響半径は $f_{max}$ が大きいほど大きい傾向がある。

### 4. まとめ

杭と地盤間のすべりを考慮してモデル化を行い、場所打ち杭 17 本の周面摩擦力度と変位関係を回帰分析して影響半径を求めて比較した。この結果、砂礫地盤では杭頭載荷試験の影響半径が相反載荷試験より大きく、特に初期の段階でその差が生じ、杭の変位と共に若干小さくなるものの概して同じような差で影響半径が増加する傾向がある。一方、粘性土地盤では両試験の影響半径はあまり差が認められない。相反載荷試験の初期の影響半径は地盤に関係なく杭半径の約 1.7 倍程度である。

今後は杭体の挙動だけでなく周辺地盤の変位も同時計測して定量的な評価を行いたいと考えている。

### 参考文献

- 1) 藤岡・青木：相反載荷試験結果の杭頭載荷換算に関する一提案，第 34 回地盤工学研究発表会，1999 年 7 月
- 2) 藤岡・青木：杭の周面抵抗－変位関係に及ぼす載荷方向の影響，第 35 回地盤工学研究発表会，2000 年 6 月

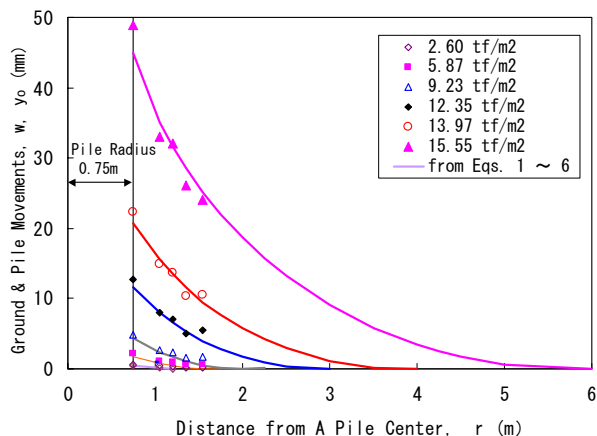


図-3  $\phi 1,500$  試験杭周辺地盤の鉛直変位

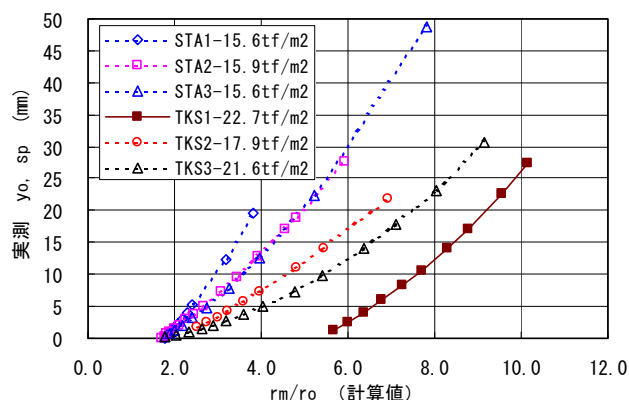


図-4  $y_o - rm/r_o$  関係の比較 (砂礫土)

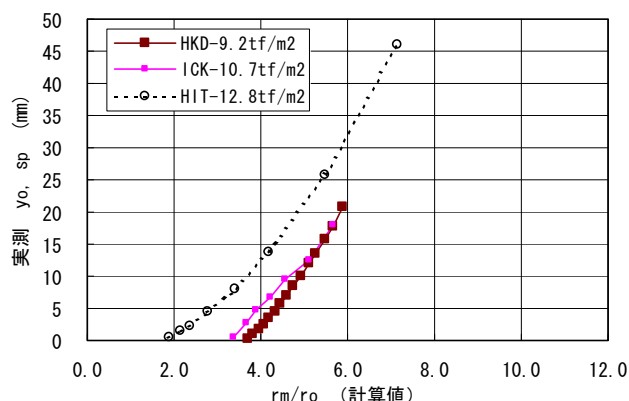


図-5  $y_o - rm/r_o$  関係の比較 (砂質地土)

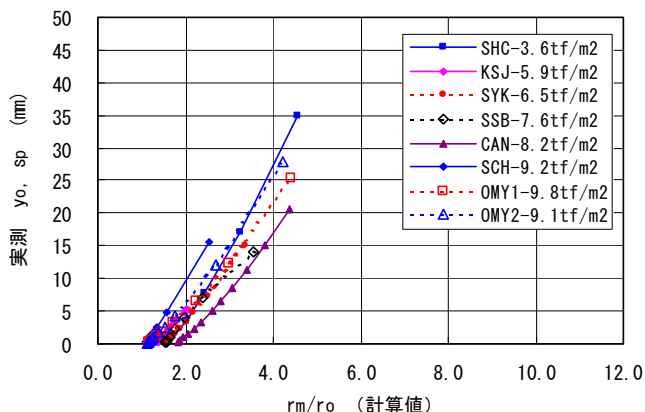


図-6  $y_o - rm/r_o$  関係の比較 (粘性土)