

III-60 深い基礎の水平抵抗と形状効果

北海道開発局土木試験所 森 康夫
同 上 黒川 国夫
同 上 富沢 幸一

1. まえがき

水平力を受ける深い基礎は、地盤の土質特性・基礎の規模や施工法等に影響され複雑な挙動を示す。さらに、最近では、鋼管矢板基礎や地中連続壁を利用した基礎など大規模で様々な断面形状を有する基礎が採用されるようになってきた。このため、深い基礎の水平抵抗に関連した一連の試験調査を行い、検討を加えてきたが、今回その一環として室内で、断面形状を6種類に変化させた模型杭を設置し、水平載荷試験を実施した。本報文では、その実験内容と結果の概要について述べ、線形弾性地盤反力法等の適合性について検討するとともに、基礎の断面形状によって水平抵抗が異なる現象（形状効果）について若干の考察を加えた。

2. 実験概要

水平載荷試験は、室内のテストピット（ $A = 4.5 \times 4.3 \text{ m}^2$ 、 $H \div 2.5 \text{ m}$ ）内に造成した試験地盤に模型杭を設置し行なった。

地盤材料としては、砂および火山灰の2

種類（A、B地盤）を用い、試験に必要な層厚約1.0 mを4層に分けてタンパーにより締め固め地盤造成を行なったが、地盤の土質条件は、表-1、図-1に示すようなものとなっている。模型杭は鋼製で断面形状は、図-2に示すような6種類としCASE-2以外は、載荷幅（ $D = 40.6 \text{ cm}$ ）を一定とした根入れは、すべて1.0 mとし、検討の際、極小底面反力が無視できるように配慮した。なお、各杭は、ほぼ $\beta \leq 1$ でさ

3. 水平載荷試験結果

載荷試験は、一般的な緩速載荷試験手法に準拠して行なったが、試験結果得られた荷重 H と変位 y の関係、実測地盤反力等の代表値を図-3および図-6に示した。図-4は、地盤ごとに、同一変位に対する載荷重 H をとり、

CASE-1の荷重 H_1 を基準として他のCASEの荷重 H_n との比率 $e_n = H_n/H_1$ を求め、変位との関係で示したものである。これらの図によると $H \sim y$ の関係は、断面形状によって明らかに異なっているおり、水平抵抗はA、B両地盤ともCASE-2より $1 < 5 < 4 \leq 3 < 6$ の順に大きくなる傾向がある。

4. 考察

以上の結果にもとづき、 $y \leq 2 \text{ cm}$ で杭が比較的弾性的な挙動を示している範囲を対象として、検討を加える。

挙動解析手法としては、今回、図-5に示す地盤反力モデルをとりあげ検討したが、図-6には、CASE-4、 $H = 1 \text{ t}$ の場合について逆算 K 値を用い地盤反力分布 P と変位 y の各分布を計算し、実測値と対比して示した。図によると図-5（Ⅱ）のモデルが比較的よい適合性を有していることがわかる。なお、図-6の実測値は、杭前面

表-1 試験地盤の土質特性

	湿潤密度 $\rho_t (\text{kg/cm}^3)$	含水比 $w_h (\%)$	比重 G_s	三軸圧縮試験(UU)		試験地盤変形係数		
				地盤力 $C (\text{kg/cm}^2)$	内摩擦角 $\phi (^\circ)$	三軸圧縮 $E_c (\text{kg/cm}^2)$	孔内水平載荷 $E_b (\text{kg/cm}^2)$	平板載荷 $E_p (\text{kg/cm}^2)$
A地盤 (砂)	1.462	7.73	2.690	0.007	23.3	18.8	12.5	43.8
B地盤 (火山灰)	1.197	82	2.288	0.027	23.9	23.9	22.5	66.1

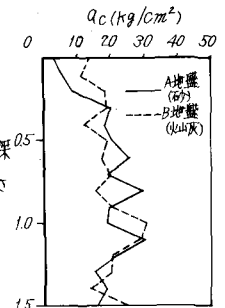


図-1 q_c 分布図

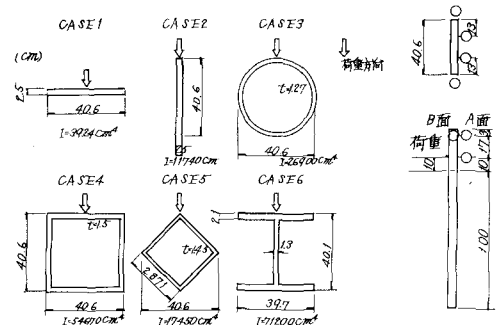


図-2 模型杭断面形状

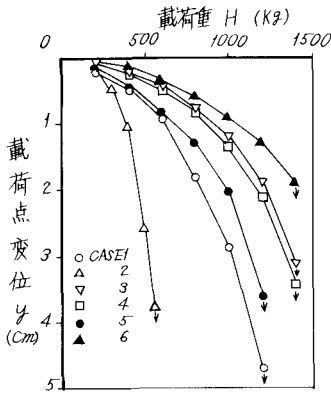


図-3 荷重H~変位y (B地盤)

の地盤反力Pのみの値であり。(II)モデルの計算から下述の側面地盤反力 $K_c \cdot y_c$ を除くと計算値と実験値は、かなり合致したものとなる。

形状効果を検討するため、杭に作用する全地盤反力 P を次式のように前面と側面の各地盤反力(P_h , P_c)に分離し扱うこととした。

$$P = P_h + P_c = \lambda (K_h \cdot y_h + d \cdot K_c \cdot y_c)$$

図-7に各杭のモデルを示したが、CASE-1については、 $K_c \approx 0$ 。CASE-2では、 $K_h \approx 0$ と考えることとし、CASE-3・5のように反力作用面に傾斜がある場合は、反力を面直角と面水平方向に分離し全反力を求めた。その結果、各CASEごとの地盤反力は、表-2のような計算式(深さ一定)で表わすことができる。

CASE-2の K_c の計算値は、 $G = E/2(1+\nu) \approx 0.35E$ ($\nu = 0.4$)の関係から $K_c = 0.35K_h$ として求めたものである。CASE-3・5の計算値は、 $K_h \cdot K_c$ を求める場合、変位 y の違いによる補正($K \cdot y^{-0.5}$)を行い求めた。また、実験値はすべてのCASEにおいて変位の回転中心がほぼ同一深さにあることから、地盤反力を同一変位の杭頭バネの比較によるものとして図-4から求めた。

この結果、実験値にバラツキがあり、CASE-3の計算値について検討の余地もあるが、実験値と計算値は総じて良い対応を示しており、図-6の地盤反力の対比結果等と勘案すると、 K_c による側面抵抗を考慮することにより杭の水平挙動(形状効果)を説明できることがわかった。

5. あとがき

今回、水平載荷試験結果にもとづき、深い基礎の水平挙動の解析モデルと形状効果に関して定性的な傾向をある程度明らかにすることができたと考えている。今後、現場実験結果等を取り入れながら、 K_h ・ K_c の地盤バネ特性などについても究明していきたい。

1) 松橋教保他：「道路橋における地下連続壁基礎の設計」基礎工 Vol.12, No.12 1984

3) 浅間 他：「杭おびケーソン基礎の設計計算例」山海堂 昭和48年

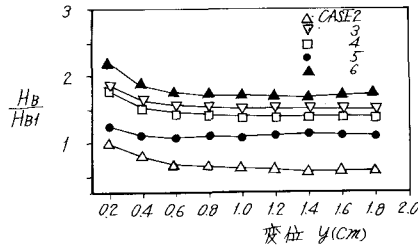


図-4 杭頭バネ (B地盤)

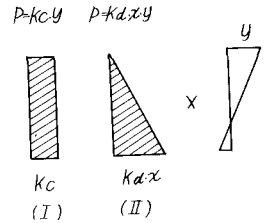


図-5 地盤反力計算モデル

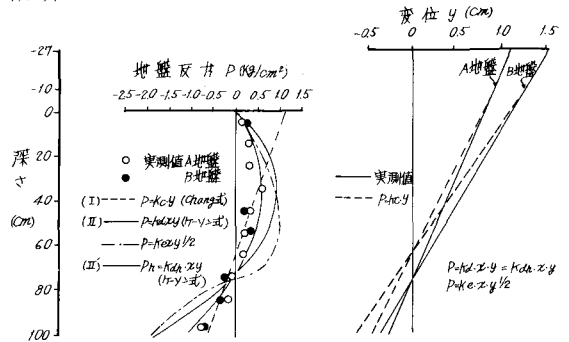


図-6 地盤反力P 変位y 分布図

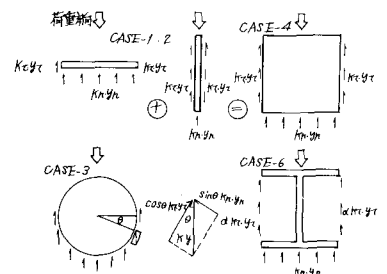


図-7 K_h ・ K_c モデル

表-2 形状効果

CASE	計算値 (地盤反力係数) $y = \text{const}$	実験値			
		$y=1\text{cm}$ (図-6 Ⅰ~Ⅳ)	$y=0.5\text{cm}$ A地盤	$y=0.5\text{cm}$ B地盤	$y=0.5\text{cm}$ A地盤
CASE 1 - Ⅰ	$K_h d$	1	1	1	1
2 - Ⅱ	$2d K_c$	0.7	0.55	0.6	0.7
3 - Ⅲ	$\frac{1}{2} (K_h d + K_c d)$	1.2 (1.5)	1.65	1.5	2.15
4 - Ⅳ	$K_h d + 2d K_c$	1.7	1.75	1.4	2.0
5 - Ⅴ	$\frac{1}{2} (K_h d + K_c d)$	1.14	1.1	1.1	1.4
6 - Ⅵ	$K_h d + 2d K_c$	1.7	1.7	1.7	1.8

上表中、CASE-3の計算は、 K_h を 0.5 と 0.5cm とした場合について示した。