

本州四国連絡橋公団 正員 吉田 巖
 中部地方建設局 " 多田 浩彦
 本州四国連絡橋公団 " 山根 哲雄

1. はじめに

くい基礎の一種である多柱基礎の群ぐい効果が基礎の応力変形挙動に与える影響は大きいものと思われるが、それについて十分な解析はなされていらないようである。群ぐい効果に影響するものとしては、くい本数、配置、くい形状、くい径、くい間隔等があり、これらが相互に関係し合うものであるが、本報告では多柱基礎に着目して、径10mの柱が1本の場合、配列を2方向に考えた2本柱の場合のそれぞれについて鉛直力、水平力を作用させ三次元有限要素法による解析を行ない、群ぐいの基本的な力学的性状を調べたものである。

解析に先立ち、三次元有限要素法の計算精度を確認するために、Mindlin, Boussinesqの理論解と近似するよう計算モデルの規模を設定し、さらにそれにもとづき、実物1/20大の多柱基礎模型に水平力が作用した場合について解析し実験結果と比較することにより、三次元有限要素法による解の妥当性を確かめた。

2. 三次元解析の理論解との比較

図-1に示すような2種類のモデルについて、表-1の条件のもとで 1)等分布水平力 2)鉛直集中力を作用させ 1)についてはMindlinの理論解 2)についてはBoussinesqの理論解と比較し、計算モデルの規模の相違による精度の検証を行なった。節点数は表-1に示すようにできる限り最

		モデルS	モデルL
モデルの平面規模	半径65mの多角形	半径250mの多角形	
深さ	95m	135m	
総節点数(全体)	2,763	3,431	
総要素数(全体)	3,088	3,808	
地盤の弾性係数	$3.9 \times 10^4 \text{ t/m}^2$		
地盤のポアソン比	0.3		

表-1 計算の規模と地盤定数

大となるよう選り、計算モデルの対称性を利用し、1/2モデルで計算した。その結果を図-2～5に示す。 等分布水平力の作用した場合、水平方向変位についてみるとモデルS

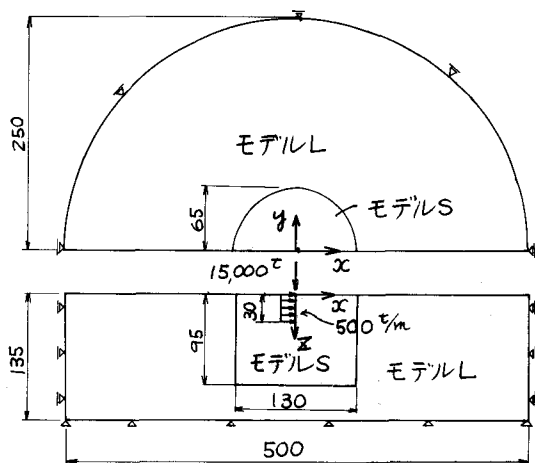
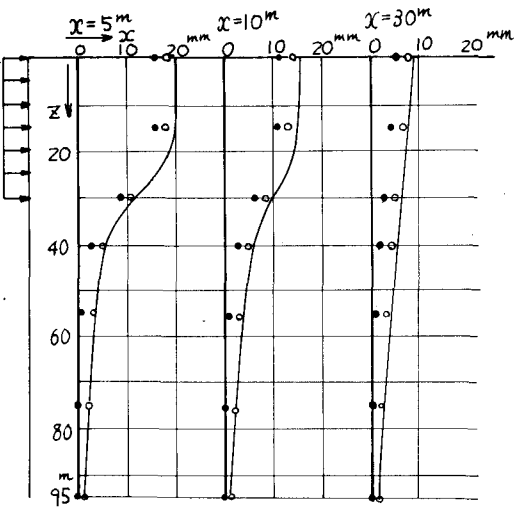
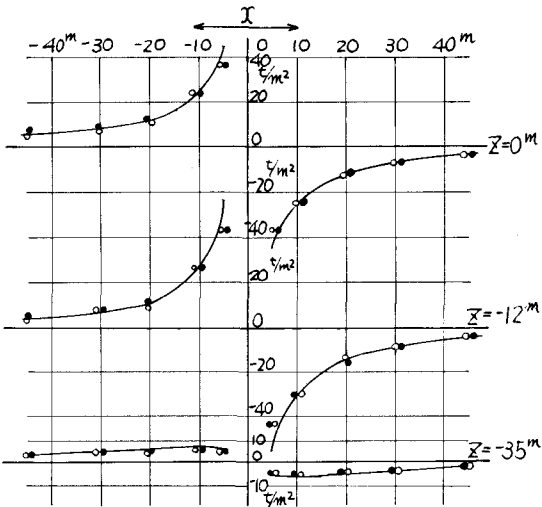


図-1 計算モデルの形状(1/2形状)

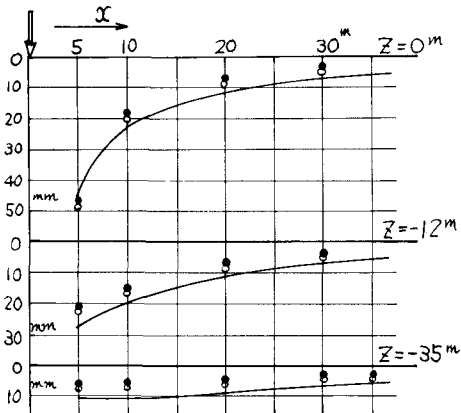
の規模では荷重桌から5 m離れに付近で理論解に対して80 %程度近似しており、10 m付近で70 %の近似であるがこれは境界の影響によるものと思われる。モデルの規模を横方向に4倍拡大したモデルLについては荷重桌より20 m以内で理論解の90 %程度の近似であり実用的な解と考えられる。応力についてみるとモデルSとモデルLとではほとんど差がみられず、いずれも理論解とよい近似を示している。鉛直力の作用した場合の鉛直方向変位についてみると、モデルSで荷重桌より10 mの深さまで理論解と約80 %、30 mで約70 %程度の近似である。深さ方向に1.5 倍したモデルLでは、それがそれぞれ約90 %、80 %程度となっている。又、鉛直方向応力についてみると、モデルS、Lでほとんど差はみられず理論解ともよい近似を示している。以上の考察から、応力に関してはモデルS、Lともに理論解とよい近似を示しているが、変位に関しては荷重桌より30 m程度の範囲まで注目するのであればモデルL以上の形状規模が必要と思われる。荷重桌より5 m付近に注目するのであればモデルSで80 %、モデルLで90 %以上の精度があるといえる。



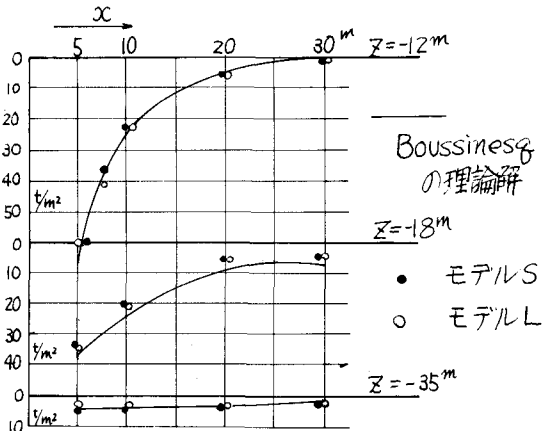
— Mindlinの理論解 ○ モデルL ● モデルS
図-2 x方向変位図



— Boussinesqの理論解 ● モデルS ○ モデルL
図-3 σ_x 分布図



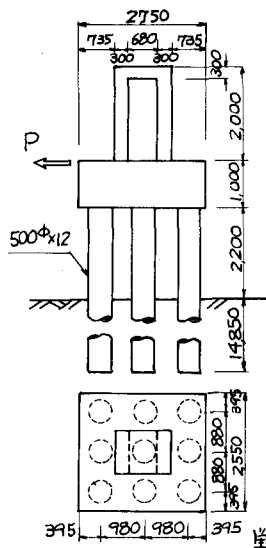
— Boussinesqの理論解 ● モデルS ○ モデルL
図-4 z方向変位図



— Boussinesqの理論解 ● モデルS ○ モデルL
図-5 σ_z 分布図

3. 実験値との比較

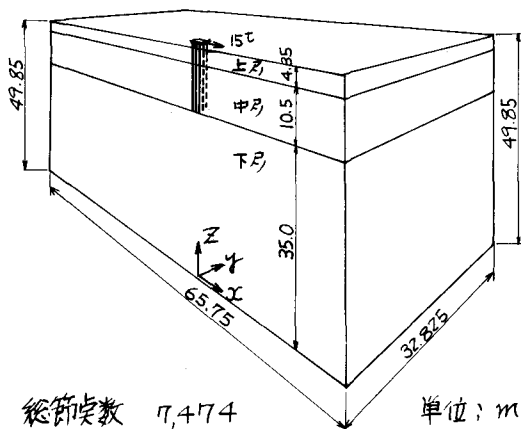
三次元の有限要素法による解析を実験値と比較するために、図-6に示すような大型多柱基礎模型を、前節2において検討した結果にもとづき、図-7に示すような計算モデルに設定し、頂版位置に水平集中力 P の作用した場合の解析を行った。地盤条件及び多柱基礎の諸定数を表-2に示す。



		$E(\text{t/m}^2)$	ν
地盤	上層(砂)	1×10^3	0.35
	中層(砂)	5×10^3	0.35
	下層(砂)	1×10^4	0.35
基礎	頂版	2.1×10^6	0.15
	柱	3.76×10^6	0.30

表-2 地盤及基礎の定数

図-6 多柱基礎の形状寸法図



総節点数 7,474

総要素数 9,128

図-7 計算モデルの形状(1/2形状)

中央柱の前面の水平変位を比較してみると、図-8に示すように、三次元有限要素法の結果が地表面近くで約3割、頂版位置で約1割実験値より大きい値を示している。この結果ここでも取り上げに程度の規模で、三次元有限要素法の解析を行えば、比較的良好な精度で解が得られ、多柱基礎の応力変形挙動をつかみうるものと思われる。

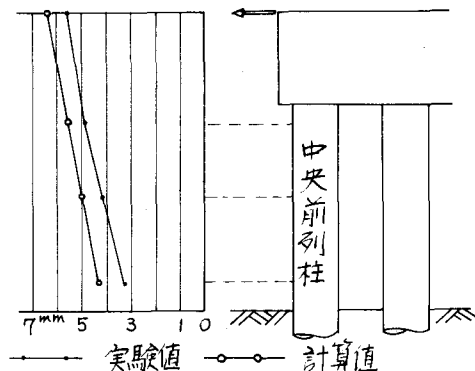


図-8 実験値との比較

4. 多柱基礎の群ぐい効果の検討

多柱基礎の群ぐい効果を検討するために、前節1, 2の考察にもとづき、三次元有限要素法により

1本柱 $H=V=10,000^t$		2本柱 $H=V=10,000^t$		
case 1	case 2	case 3	case 4	case 5

表-3 荷重図

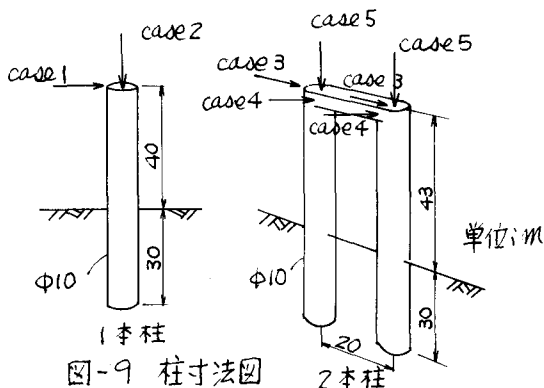


図-9 柱寸法図

	地盤	柱	頂版(2本柱)
弾性係数(t/m^2)	3.9×10^4	3.5×10^6	3.5×10^7
ポアソン比	0.3	0.15	0.15

	1本柱	2本柱
総節点数(全体)	2,894	4,693
総要素数(全体)	3,344	5,480

表-4 計算の規模及定数

図-9に示す1本柱、柱中心間20mの2本柱のそれぞれに表-3で示す水平力及び鉛直力を作用させ、図10に示すモデル形状のもとに解析を行なった。計算に必要な地盤条件、柱の諸定数は表-4に示す。

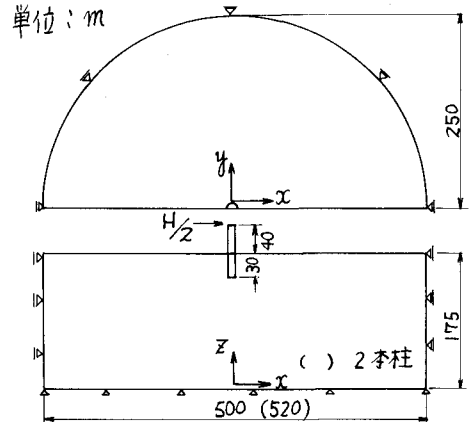


図-10 計算モデルの形状(1/2モデル)

図-11に柱地中部の水平変位及び鉛直変位を示す。水平力作用時の水平方向変位は荷重方向に2本並べたcase3では、1本柱よりむしろ小さい変位であるがこれは柱と結ぶ頂版のラーメン効果によるものと考えられる。また、荷重と直角方向に2本並べたcase4では、頂版の影響はわずか水平変位は15%増加しており、群ぐい効果と考えられる。鉛直力作用時の柱先端の鉛直変位は、2本柱の場合、1本柱の約40%増加している。今、case1において柱から荷重と直角方向に20m離れた地盤の変位に、case1の地中部柱変位を加え、case4の地中部柱変位と比較してみると、おおむね一致した結果を得る。(表-5) このことは柱と地盤が入れ変わったことによる地盤全体としての剛性の変化は無視でき、したがって、1本柱によって生じた地盤内の変位を重ね合わせることで、群ぐい効果による変位の増大を推定することが可能と思われる。一方荷重方向に柱が並んだ場合、頂版の剛性の影響があり、一樣な考え方はできない。さらに、鉛直荷重による鉛直変位も、柱の配置に依存せず、同様に1本柱による地盤の鉛直変位から、群ぐい効果による変位の増大の推定が可能と思われる。(表-6) 又、応力については同様の傾向は認められるが、変位のように明確ではない。

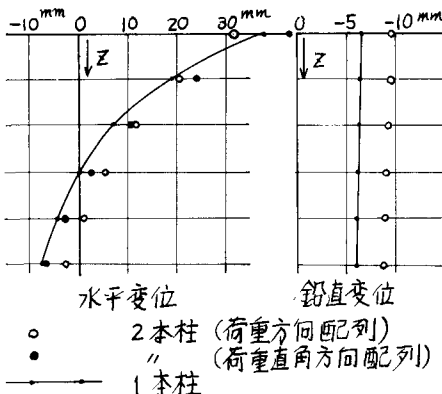


図-11 柱地中部の変位

深さ z (m)	0	9	18	30
(1) case1, 1本柱の水平変位	38.5	12.6	0.3	-7.4
(2) case1, 荷重と直角方向に20m離れた地盤の水平変位	5.4	3.8	2.1	0.6
(3) 計 (1) + (2)	43.9	16.4	2.4	-6.8
(4) case4, 2本柱の水平変位	44.3	16.7	2.3	-7.1

表-5 水平変位 (mm)

深さ z (m)	0	9	18	30
(1) case2, 1本柱の鉛直変位	-0.9	-6.6	-6.4	-6.2
(2) case2, 20m離れた地盤の鉛直変位	-2.8	-2.8	-2.7	-2.4
(3) 計 (1) + (2)	-9.7	-9.4	-9.1	-8.6
(4) case5, 2本柱の鉛直変位	-9.5	-9.1	-8.9	-8.6

表-6 鉛直変位 (mm)

本報告の計算結果の整理に当り、日本交通技術K.Kの藤田氏に助力いただいた。又、多柱基礎模型の載荷試験データは土木研究所基礎研究室よりいただいた。