

H型PC杭の鉛直載荷試験報告

土木本部	基礎部	砂子洋一
土木本部	基礎部	中井将博
土木本部	基礎部	別所辰保
土木本部	機工部	根葉優

概要：これまでH型PC杭は、土留め擁壁および地下構造物の側壁に適用され、実績が増加している。しかし、近年、立体交差化工事では、これまでの用途以外に立体交差部での上部工重量等の鉛直荷重を支える橋台としての適用工事が増加している。そこで、H型PC杭の押し込み支持力の性能を確保するために先端処理方法及び施工方法の開発を行った。そして、同施工方法により施工されたH型PC杭が、道路橋示方書・同解説IV下部構造編¹⁾に示される推定式より算定される極限支持力以上の支持力を有することを鉛直載荷試験により実証した。

Key Words：立体交差化，橋台，中掘り杭工法，コンクリート打設方式，鉛直支持力特性

1. はじめに

これまでH型PC杭は、土留め擁壁および地下構造物の側壁に適用され、実績が増加している。一方、国土交通省は2006年度の道路局の重点施策として立体交差化事業を従来の2倍のスピードで実施する方針を掲げており、今後、立体交差化工事の増加が予想される。その場合、これまでの用途以外に立体交差部での上部工重量等の鉛直荷重を支える橋台としての適用が考えられ、H型PC杭の押し込み支持力の性能が必要となる。そこで、H型PC杭の押し込み支持力を確保するために、道路橋示方書・同解説IV下部構造編¹⁾に規定される中掘り杭工法のコンクリート打設方式に則った先端処理方法を提案し、その性能の確認を行った。本稿では、H型PC杭の先端処理方法と施工方法および鉛直載荷試験によるH型PC杭の鉛直支持力特性の結果について述べる。

2. 先端処理方法及び施工方法

2.1 施工フロー図

中掘り杭工法のコンクリート打設方式は、支持層に杭の外径（以下D）以上根入れすることになっているため、本工法は、先行掘削必須となる。本工法の施工フローを図-1に示す。

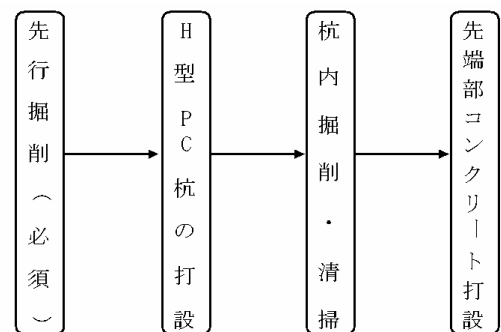


図-1 施工フロー図



砂子洋一



中井将博



別所辰保



根葉優

2.2 先行掘削

先行掘削は、図-2に示すようにφ800mmの二軸同軸式アースオーガでH型PC杭の全断面をカバーするように3カ所行った。掘削深度は、図-3に示すように刃口金物が杭先端より1D突出して設置されており、杭先端を支持層に1D根入れするため支持層から2Dの深度とした。二軸同軸式アースオーガによる先行掘削状況を写真-1に示す。

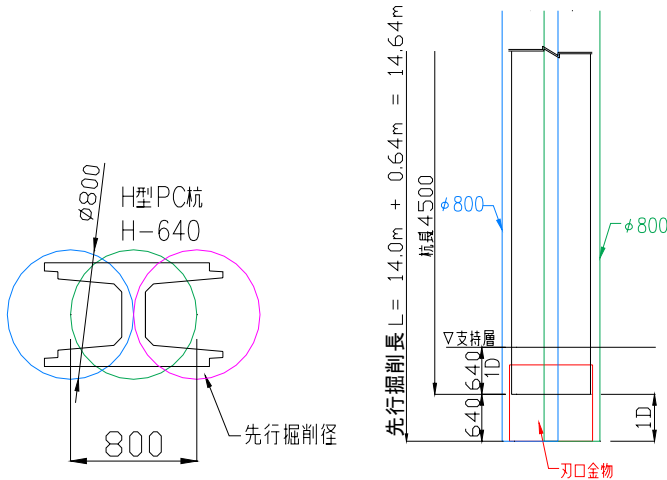


図-2 先行掘削平面図

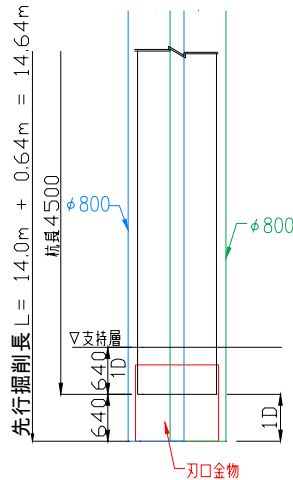


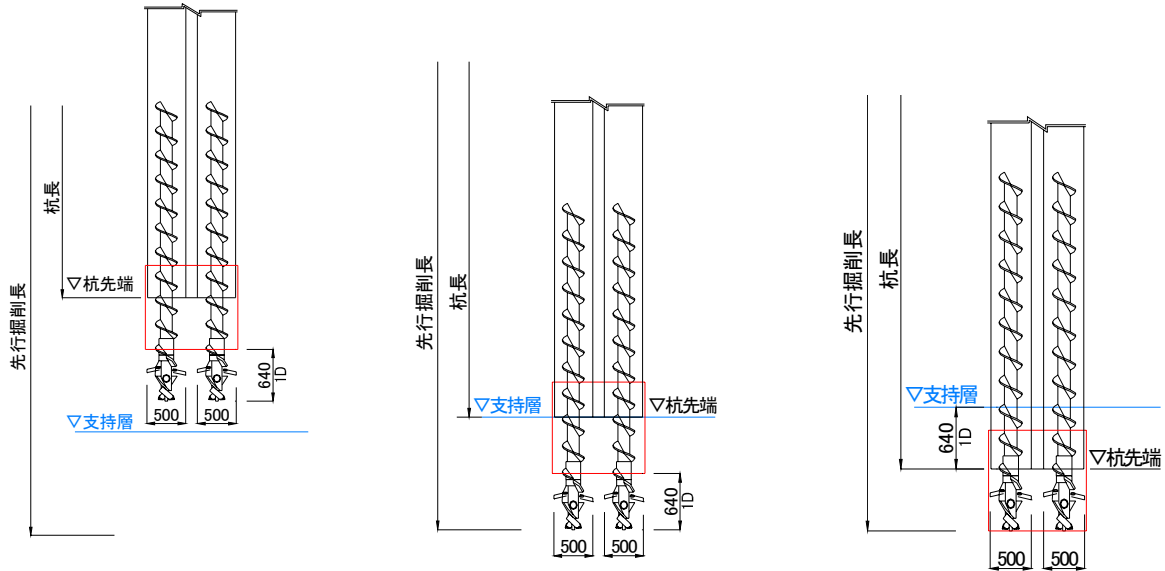
図-3 先行掘削断面図



写真-1 二軸同軸式アースオーガによる先行掘削状況

2.3 H型PC杭の打設

掘削中は、図-4に示すように、拡翼オーガが先行掘削深度までの状態では、刃口先端より1D程度先掘りしながら、排土・圧入した。拡翼オーガの先端が先行掘削深度（支持層より2Dの深度）に到達後は、先掘りを行ってはならない。打ち止め時には、拡翼オーガは、刃口金物内で正回転させ排土しながら予定深度まで杭のみを圧入して打設を完了した。



1)オーガが先行掘削深度までの状態 2)オーガが先行掘削深度到達時 3)打ち止め時

図-4 H型PC杭の打設時における拡翼オーガによる掘削状態

また、実験時は単杭で試験を行ったため刃口金物の設置位置が、ガイドの外側（図-5）となるため、刃口金物内で拡翼オーガを正回転させ、排土・圧入が可能であった。しかし、杭を連続して打設する場合は、図-6に示すように刃口金物の設置位置は、ガイドの内側となり、刃口金物内で500mmの拡翼を行うと刃口金物に接触する。そのため、拡翼幅を300mm程度に制限して打設

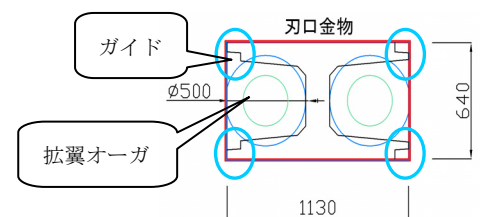


図-5 刃口金物設置位置図 (実験時)

を行う必要がある。

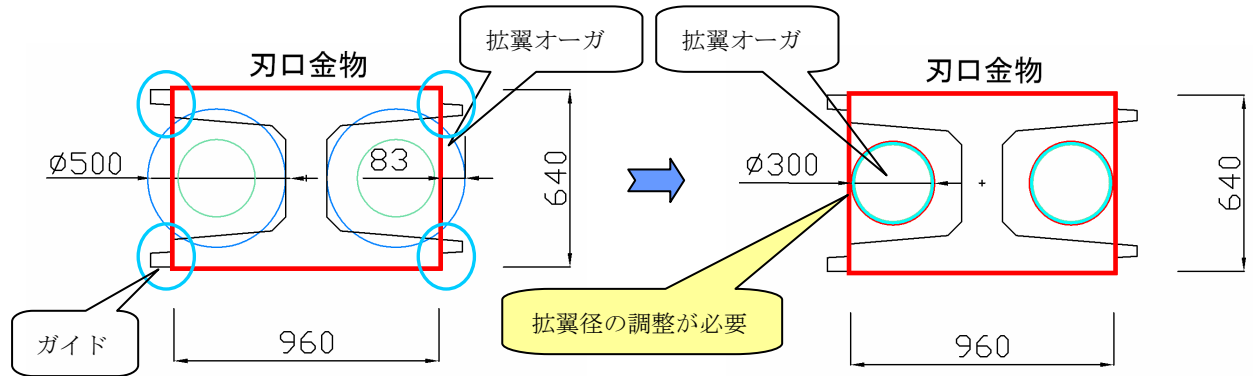


図-6 刃口金物と拡翼オーガの関係

2.4 杭内掘削・清掃

2.4.1 杭内掘削方法

杭内掘削は、H型PC杭技術マニュアル(平成18年)⁵⁾では、特殊掘削機(図-7、写真-2)を使用するのが標準である。本試験では、特殊掘削機の代用としてH型鋼の先端を鋭角にし、深さ500mmの泥だめを有するH型鋼掘削機を使用した。H型鋼掘削機の先端形状を図-8に示す。H型鋼掘削機は、パイロハンマを使用し、掘削部に打設する(写真-3)。その後クレーンでH型鋼掘削機を掘削部より引き抜き、泥だめに溜まった掘削土を高圧水を用いて地上で洗浄・排土した(写真-4)。

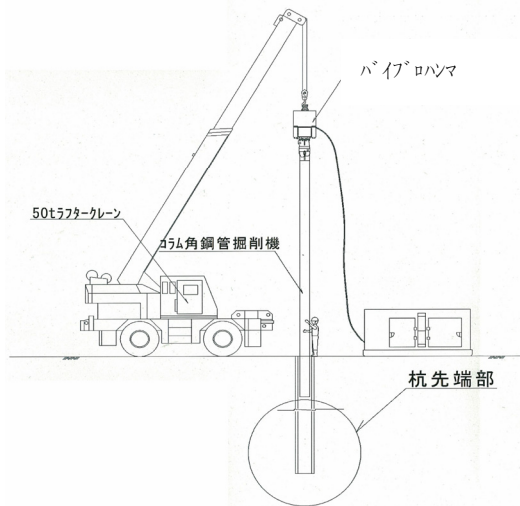


図-7 特殊掘削機概要図



写真-2 特殊掘削機による掘削状況

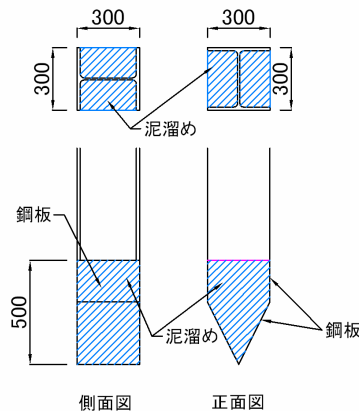


図-8 H型鋼掘削機の先端形状



写真-3 H型鋼掘削機による掘削状況

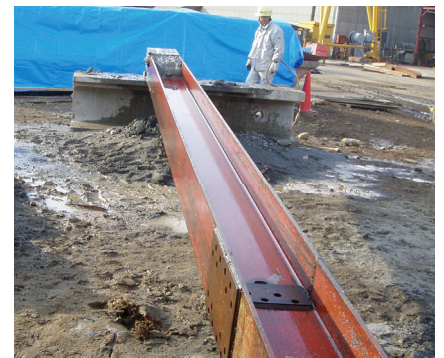


写真-4 泥溜め部の排土状況

2.4.2 清掃方法

H型PC杭の壁面の清掃は、高圧洗浄車及び大型強力吸引車により行った。清掃状況を写真-5に、清掃完了後の壁面の状況を写真-6に示す。



写真-5 壁面の清掃状況



写真-6 壁面の清掃完了

2.5 先端部コンクリート打設

先端部のコンクリートの打設は、道路橋示方書・同解説IV下部構造編¹⁾に基づいてトレミーによる打ち込みとし、先端部コンクリートの打設範囲は、図-9に示すように杭先端から4Dと刃口金物の内部とした。また、先端部コンクリートは、H型PC杭先端部に水が存在するため水中コンクリートとし、先端部コンクリートの設計基準強度は、 $24\text{N}/\text{mm}^2$ であるが、コンクリート標準示方書[施工編]³⁾より、水中施工時の強度は気中施工時の0.8倍とみなして配合強度を設定しなければならないため、配合強度を $30\text{N}/\text{mm}^2$ とした。

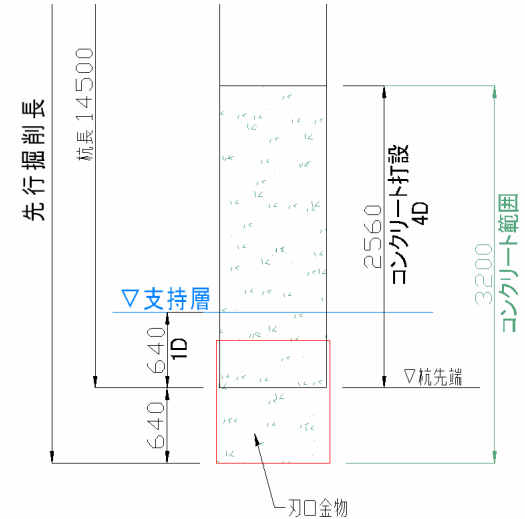


図-9 コンクリート打設範囲

3. 試験の概要

本試験の全体フローを図-10に示す。

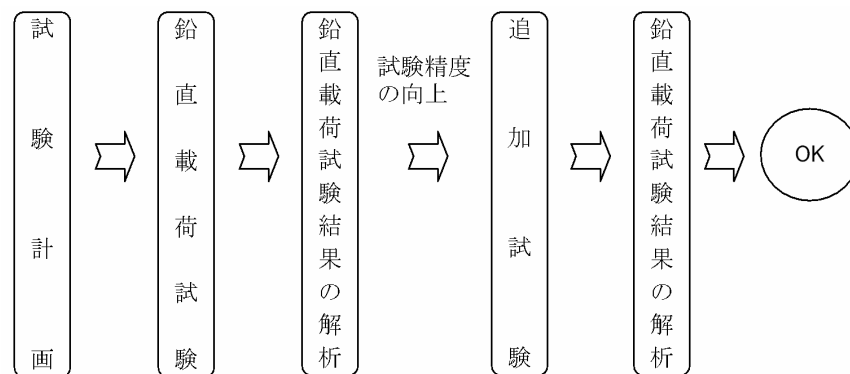


図-10 試験の全体フロー図

3.1 鉛直載荷試験

杭の鉛直載荷試験は、地盤工学会基準「杭の鉛直載荷試験方法・同解説」⁴⁾に基づいて、杭の押し込み試験方法で実施した。試験状況を写真-7に示す。



写真-7 鉛直載荷試験状況

3.1.1 試験内容

- ①杭種, 長さ : H640, L=14.5m (打設長 L=14.0m)
- ②設計基準強度 : 70N/mm²
- ③載荷装置 : グランドアンカーの引抜力を利用した載荷装置
L= 26.0m, φ165mm, 定着長 L=13.0m, 8本
計画最大荷重 Pmax = 9,000kN
- ④測定項目 :

変位量 (杭頭部変位量×4箇所, 杭頭部水平変位量×2箇所, 杭先端部沈下量×1箇所)

杭体のひずみ (2方向×5断面, 計10箇所) ひずみゲージは、図-11に示すように杭先端部, 杭頭部および粘性土と砂質土の層境付近に設置した。

時間 (時刻・経過時間), 荷重, 気温

3.1.2 土質条件

試験場所の土質は、粘性土であり、支持層は、N値30以上の砂層、表層部は、N値10以下の軟弱なローム層である。また、GL-9.0m程度にN値50以上の中間層が存在する。土質柱状図を図-11に示す。

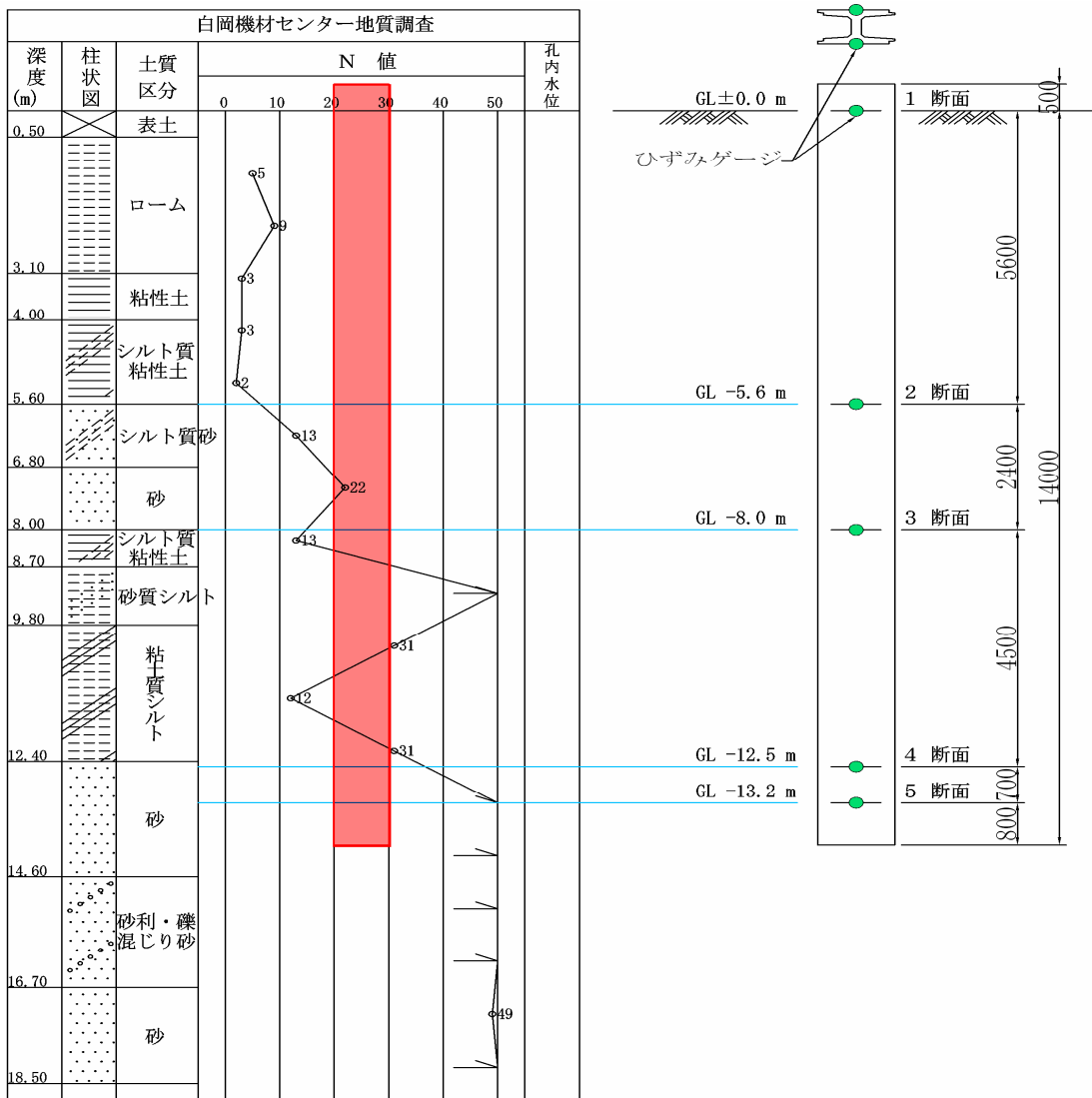


図-11 ひずみゲージ設置位置図および土質柱状図

3.1.3 載荷方法

載荷方法は、段階載荷方式の多サイクルとし、**図-12**に示すように9サイクル18段階、最大荷重9,000kNで計画した。このときの載荷速度と荷重保持時間は以下のようにした。

①載荷速度：荷重増加時 = 計画最大荷重 / 荷重段階数 = 9,000 / 18 = 500 kN/min

荷重減少時 = 荷重増加時 × 2 = 500 × 2 = 1,000 kN/min

②荷重保持時間と測定時期を**表-1**に示す。

表-1 荷重保持時間と測定時期

	荷重保持時間	測定時期
新規荷重段階	一律30分間保持し、次の荷重に移行する。	0, 1, 2, 5, 10, 15, 30 分
履歴内荷重段階	一律 2分間保持し、次の荷重に移行する。	0, 2 分
0 荷重段階	一律15分間開放し、次の荷重に移行する。	0, 5, 15 分

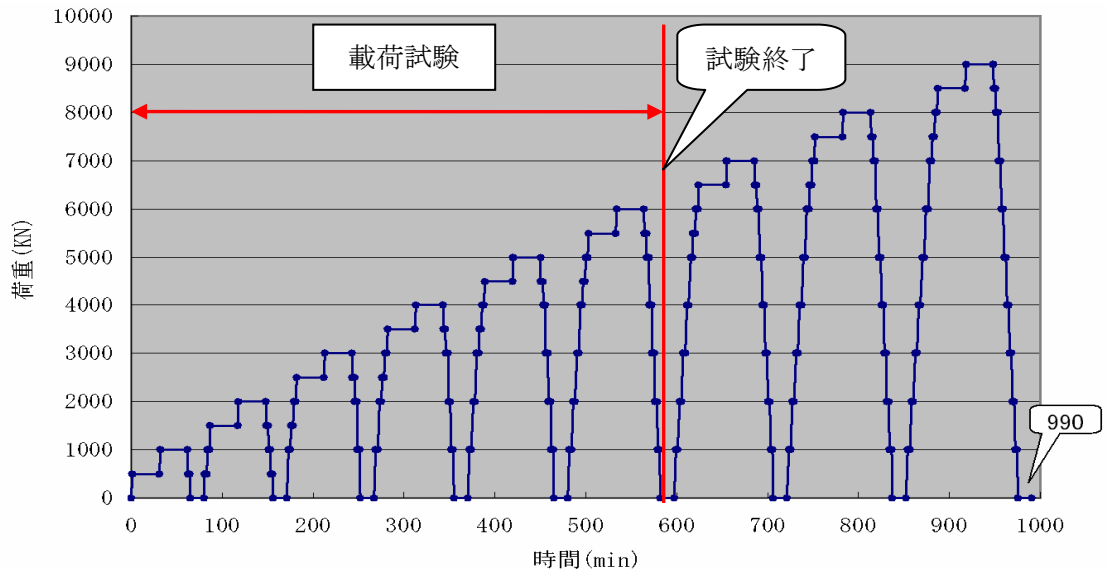


図-12 載荷サイクル

3.2 追加試験

鉛直載荷試験時に設置したひずみゲージの数は、H型PC杭本体に各断面2箇所であった。本試験では、鉛直載荷試験の解析精度を向上させるため、H型PC杭本体のひずみゲージ設置箇所を増やすとともに、先端部コンクリートにもひずみゲージを取り付け、断面内でのひずみのばらつきを把握するため軸方向荷重載荷試験を行った。供試体は、鉛直載荷試験に使用したH型PC杭を使用した。杭の引き抜きは、H型PC杭と先端部コンクリートとの付着性状への影響を考慮し、全周回転掘削機(MRO)を使用し、引き抜きを実施した。試験状況を**写真-8**に示す。また、載荷試験終了後、先端部コンクリートのコアを採取し、静弾性係数試験を行った。

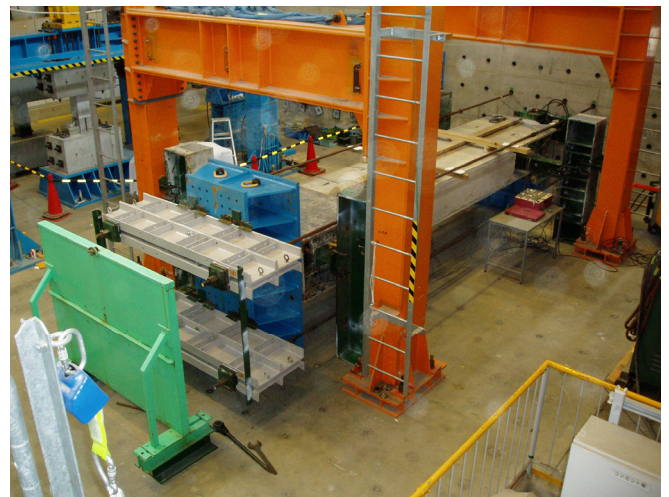


写真-8 軸方向荷重載荷試験状況

3.2.1 試験内容

- ①杭種, 長さ : H640, L=6.0m
- ②設計基準強度 : 70N/mm²
- ③載荷装置 : ゲビンデスターブを反力とした載荷装置, φ32mm, L=11.0m, 4本
- ④計画最大荷重 : 断面内でのひずみのばらつきを確認するための試験であることから, 載荷装置の規模, 経済性, 安全性を考慮し Pmax = 2,000 kN とした.
- ⑤測定項目 : 変位量 (ジャッキストローク×1箇所)
 杭体ひずみ (26箇所) ひずみゲージ設置位置を図-13に示す.
 杭体ひずみ(4,5断面)は, 鉛直載荷試験時と同位置とした.
- ⑥時間 (時刻・経過時間), 荷重

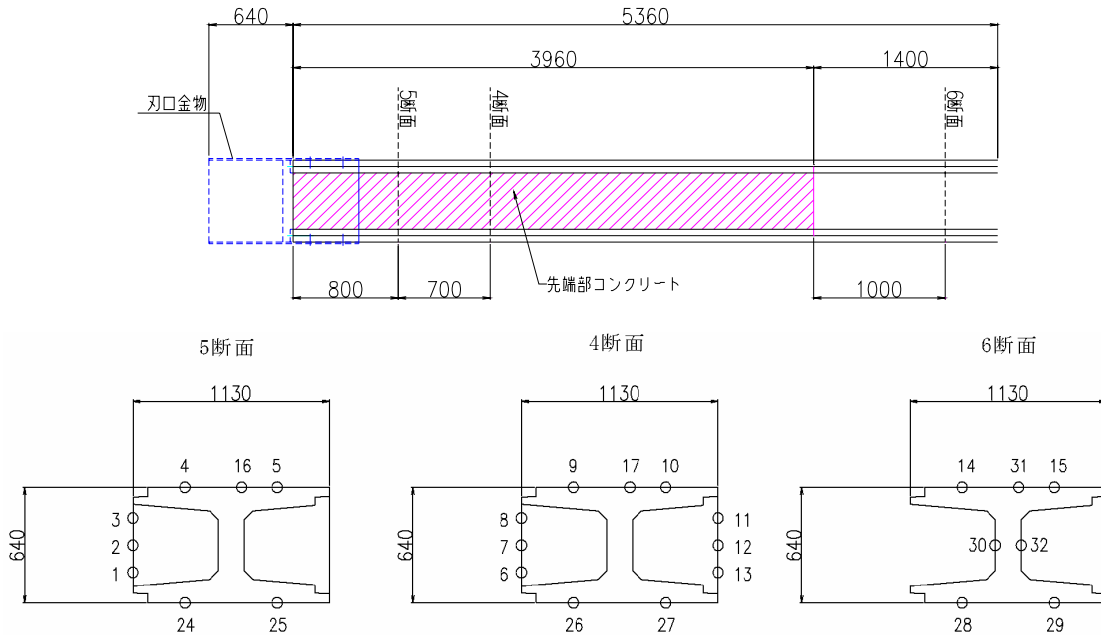


図-13 ひずみゲージ設置位置

3.2.3 載荷方法

- ①載荷速度 : 荷重増加時 = 計画最大荷重 / 荷重段階数 = 9,000 / 18 = 500 kN/min
 荷重減少時 = 荷重増加時 × 2 = 500 × 2 = 1,000 kN/min
- ②荷重保持時間と測定時期を表-2に示す.

表-2 荷重保持時間と測定時期

	荷重保持時間	測定時期
新規荷重段階	一律2分間保持し、次の荷重に移行する。	1分
履歴内荷重段階	一律2分間保持し、次の荷重に移行する。	1分
0 荷重段階		1分

- ③荷重段階を表-3に示す.

表-3 荷重段階

サイクル	サイクル間の最大荷重	荷重段階 (KN) 赤字 : 新規荷重
1	2,000 KN	0 - 500 - 1000 - 1500 - 2000 - 1500 - 1000 - 500 - 0

4. 試験結果

杭の鉛直載荷試験は、9サイクル18段階、最大荷重9,000kNを予定していたが、4サイクル8段階目の4,000kN 載荷中に、杭先端で杭短辺の10%変位量(64mm)に到達したため、6サイクルまでとした。

杭先端で杭短辺の10%変位量(64mm)に到達した時の荷重は、3,595kNであった。

試験の測定結果をもとに、荷重、変位量および時間を軸とした4象限の関係図にまとめた試験結果総合図を図-14、15に示す。

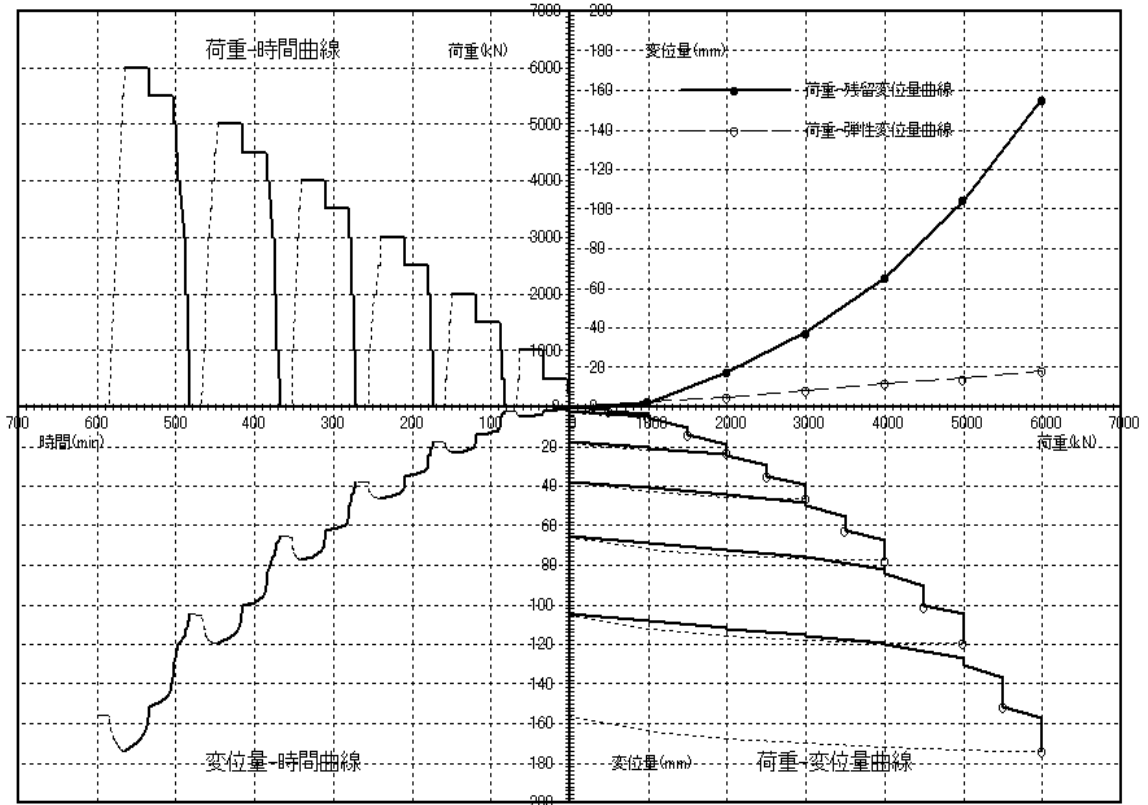


図-14 試験結果総合図(杭頭荷重～杭頭変位量)

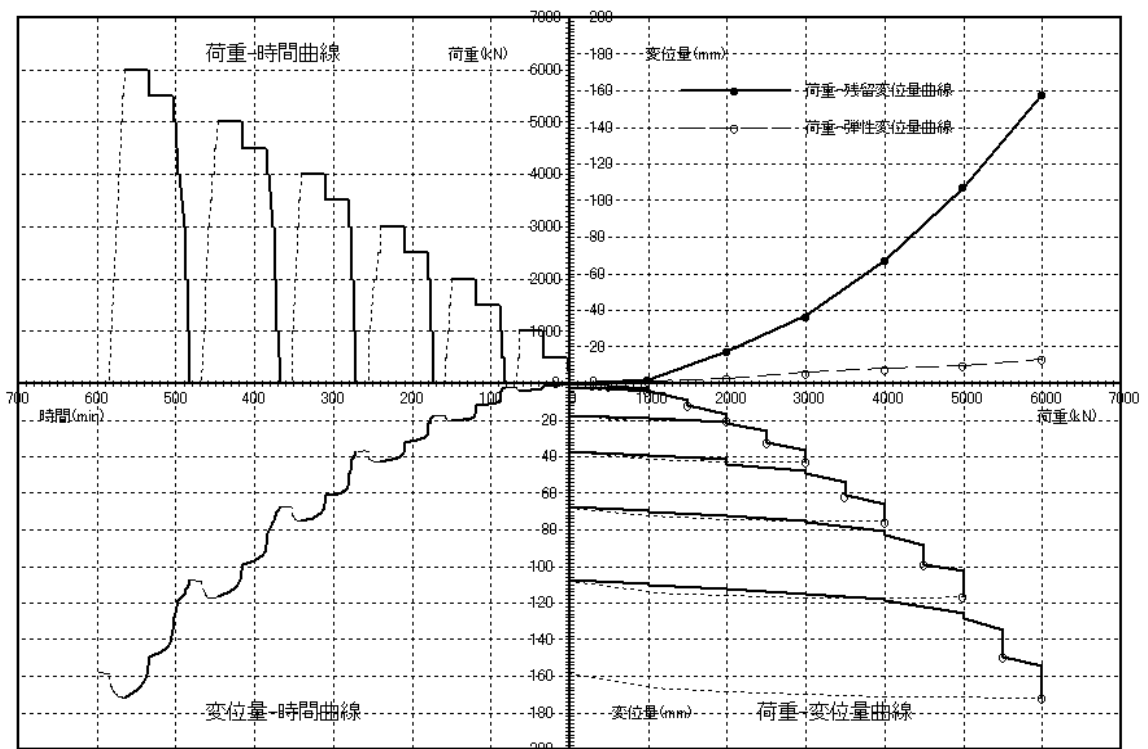


図-15 試験結果総合図(杭頭荷重～杭先端変位量)

4.1 試験の解析フロー

試験の解析フロー図を図-16に示す。

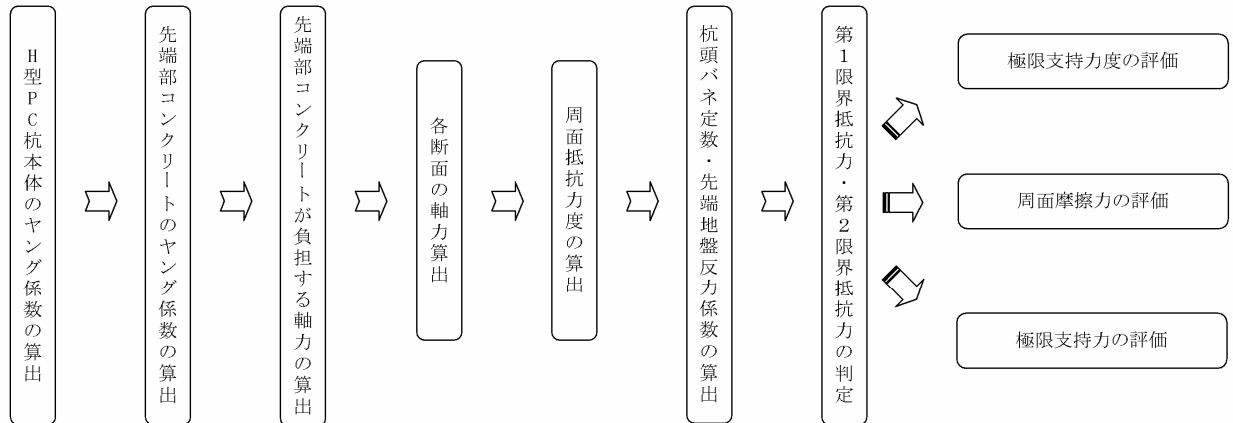


図-16 試験の解析フロー図

4.2 H型PC杭本体のヤング係数の算出

H型PC杭本体のヤング係数は、図-17に示すように載荷荷重から求めたH型PC杭本体のコンクリート応力度と周面摩擦力を受けない杭頭部（載荷位置）から500mm下がった位置でのコンクリートひずみの回帰曲線の傾きより求めた。

この結果、H型PC杭本体のヤング係数は、 $E_1 = 41982 \text{ N/mm}^2$ となった。

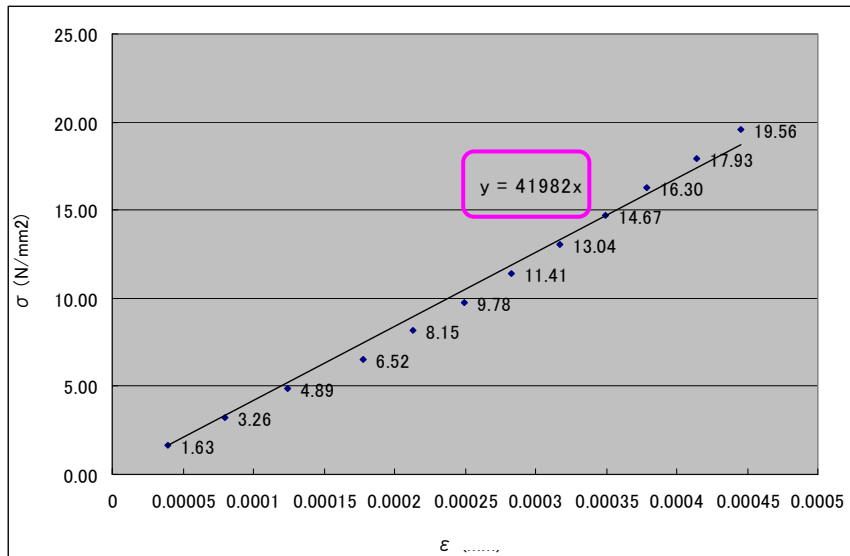


図-17 杭頭部付近でのコンクリートの応力～ひずみ曲線

4.3 先端部コンクリートのヤング係数の算出

図-18に示す位置でコアを採取し、静弾性係数試験を行った結果は、表-4の通りである。

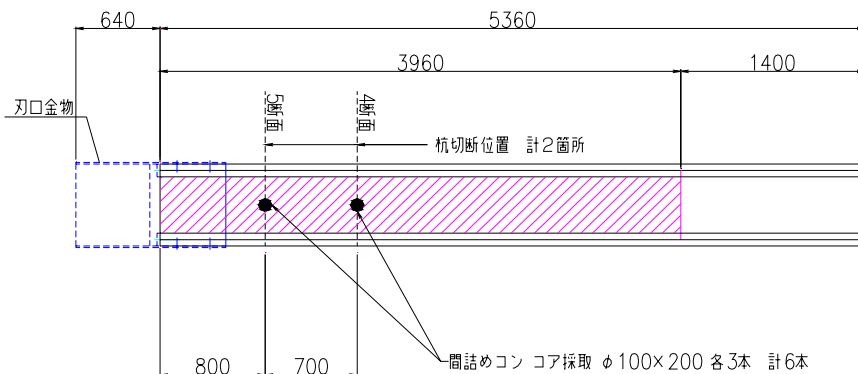


図-18 コア採取位置

表-4 先端部コンクリートの静弾性試験結果

配合	試験日	No.	直径 d (mm)			平均直径	高さ h (mm)		最大荷重 (kN)	圧縮強度 (N/mm ²)		ヤング係数 (kN/mm ²)				
			実測値				実測値	平均高さ		Ave.		Ave.				
			上端	中央	下端											
4断面	4月11日	1	99.40	99.51	99.53	99.48	199.19	199.14	401.0	51.6	48.8	28.7	30.6			
			99.41	99.48	99.56		199.09									
		2	99.54	99.72	99.53	99.57	195.95	195.54	346.5	44.5	29.8					
			99.62	99.51	99.48		195.13									
		3	99.70	99.71	99.53	99.62	197.29	197.69	391.5	50.3	33.2					
			99.55	99.63	99.60		198.08									
		5断面	4月11日	1	99.76	99.71	99.58	99.73	200.45	200.40	400.0	51.2		54.9	30.0	31.0
					99.85	99.83	99.64		200.35							
				2	99.61	99.69	99.75	99.68	198.33	198.49	422.0	54.1		29.1		
99.68	99.65				99.69	198.64										
3	99.56			99.64	99.49	99.46	200.13	199.87	460.5	59.3	34.0					
	99.31			99.33	99.45		199.60									

4.4 各断面の軸力算出

各断面の軸方向力は、次式により算出した。

$$P_i = \epsilon_{1i} \cdot E_1 \cdot A_1 + \epsilon_{2i} \cdot E_2 \cdot A_2$$

ここに、

P_i : i断面における軸方向力

ϵ_{1i} : i断面におけるH型PC杭本体の軸方向ひずみ (鉛直載荷試験時測定値)

E_1 : H型PC杭本体のヤング係数 (鉛直載荷試験時測定値 : 41,982 N/mm²)

A_1 : H型PC杭本体の断面積 (306,737 mm²)

ϵ_{2i} : i(4,5)断面における先端部コンクリートの軸方向ひずみ

E_2 : i(4,5)断面における先端部コンクリートのヤング係数 (追加試験での試験結果)

A_2 : 先端部コンクリートの断面積 (416,463 mm²)

ここで $\epsilon_{2i} = \epsilon_{1i} \cdot k_i$

k_i : i(4,5)断面における軸方向荷重載荷試験 (追加試験) 結果による補正係数

$$(k_4 = 0.313, k_5 = 0.322)$$

補正係数 (k_4, k_5) は、追加試験結果よりH型PC杭本体と先端部コンクリートのひずみの分担率より算出した。補正係数算出表を表-5に示す。

表-5 補正係数算出表

4断面						5断面					
H型PC杭本体			先端部コンクリート			H型PC杭本体			先端部コンクリート		
測定箇所	測定値 (μ)	平均 Ave4H (μ)	測定箇所	測定値 (μ)	平均 Ave4C (μ)	測定箇所	測定値 (μ)	平均 Ave5H (μ)	測定箇所	測定値 (μ)	平均 Ave5C (μ)
9	85	96	6	30	30	4	71	90	1	11	29
10	138		7	48		5	152		2	34	
26	48		8	50		24	44		3	41	
27	111		11	21		25	94				
			12	19							
			13	14							
k4 = Ave4C / Ave4H = 0.313						k5 = Ave5C / Ave5H = 0.322					

軸方向ひずみ分布図を図-19に、軸方向力分布図を図-20に示す。ここで、3断面のひずみゲージの測定値にはエラーがあるため、3断面のデータを削除した。

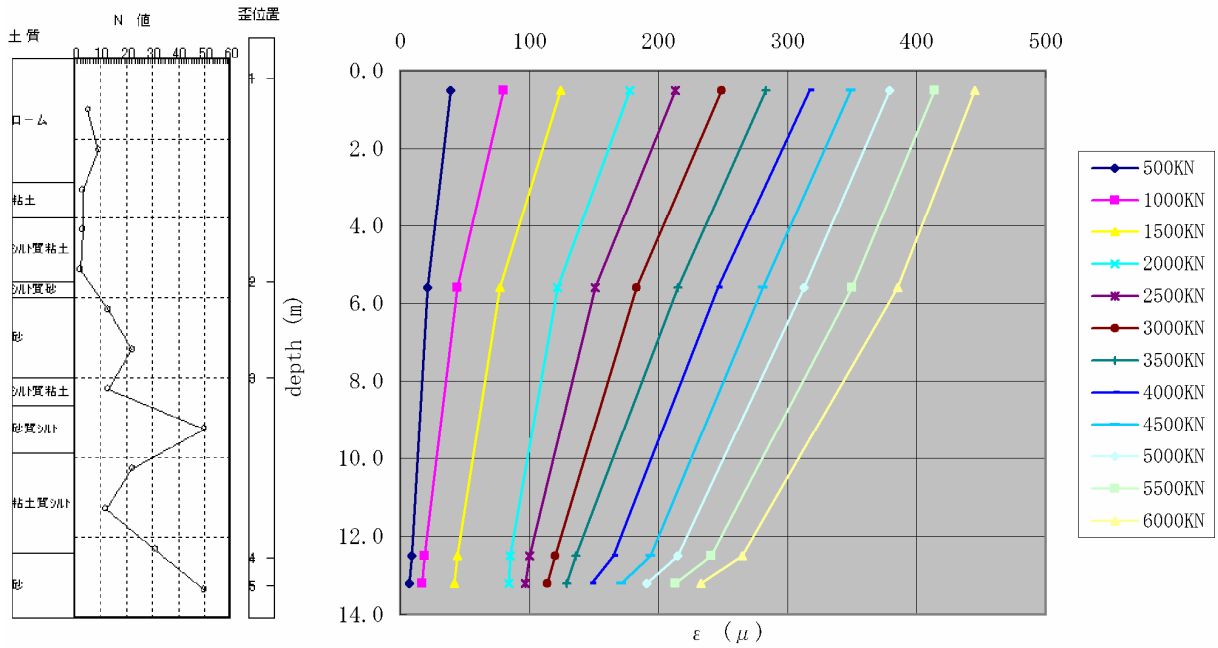


図-19 軸方向ひずみ分布図

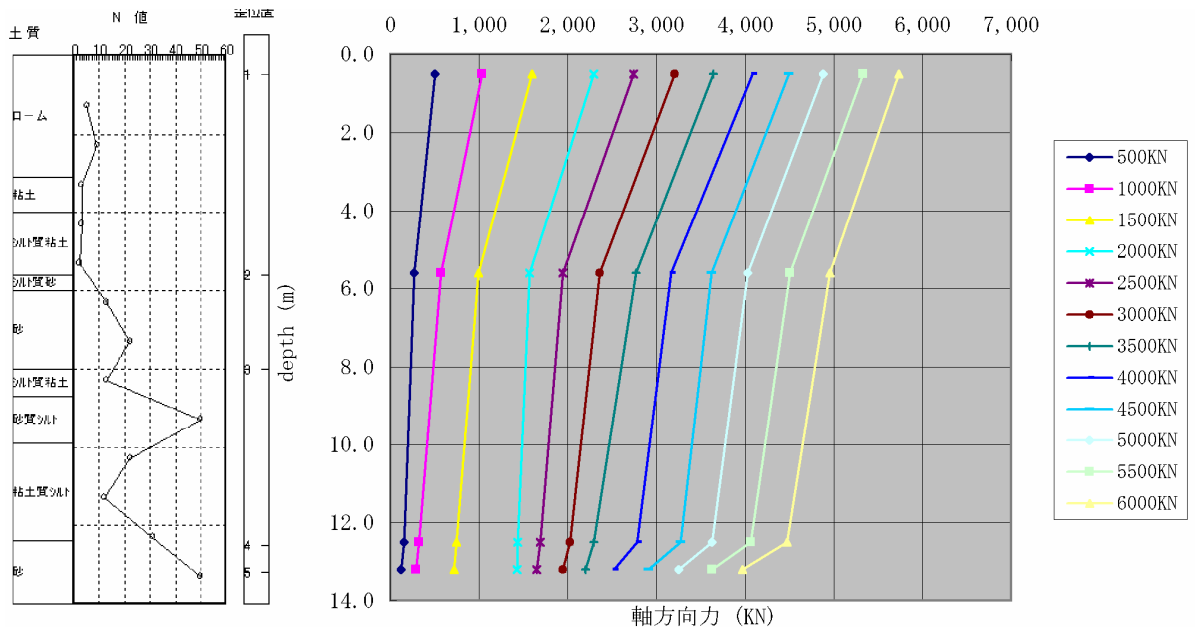


図-20 軸方向力分布図

4.5 周面抵抗力度の算出

周面抵抗力度は、次式により算出した。

$$f_i = (P_i - P_{i-1}) / L_i \cdot U \quad f_i : \text{周面抵抗力度(kN/m}^2\text{)}$$

P_i : i 断面における軸方向力(kN)

L_i : 層厚(m)

U : 杭の周長(m)

周面抵抗力度分布図を図-21に示す。また、杭短辺10% (64mm) 沈下時の周面抵抗力度と道路橋示方書・同解説の推定値との比較を図-22に示す。杭短辺10% (64mm) 沈下時の杭頭荷重は3,595kNであり、周面抵抗力度算出にあたっての各断面軸方向力は、杭頭荷重3,500kN時の値を採用した。

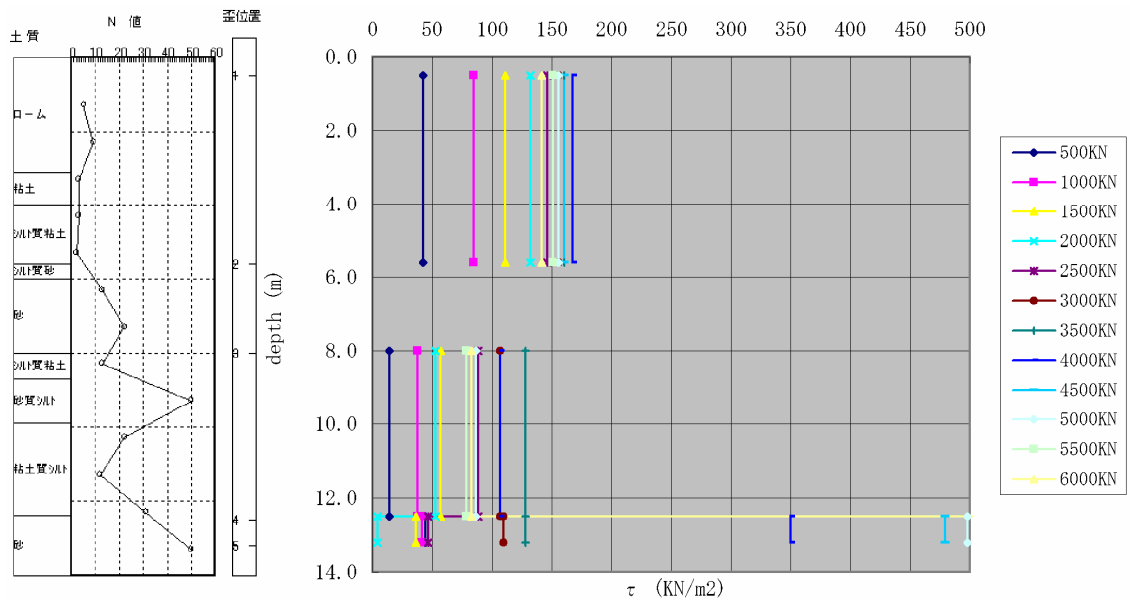


図-2 1 周面抵抗力度分布図

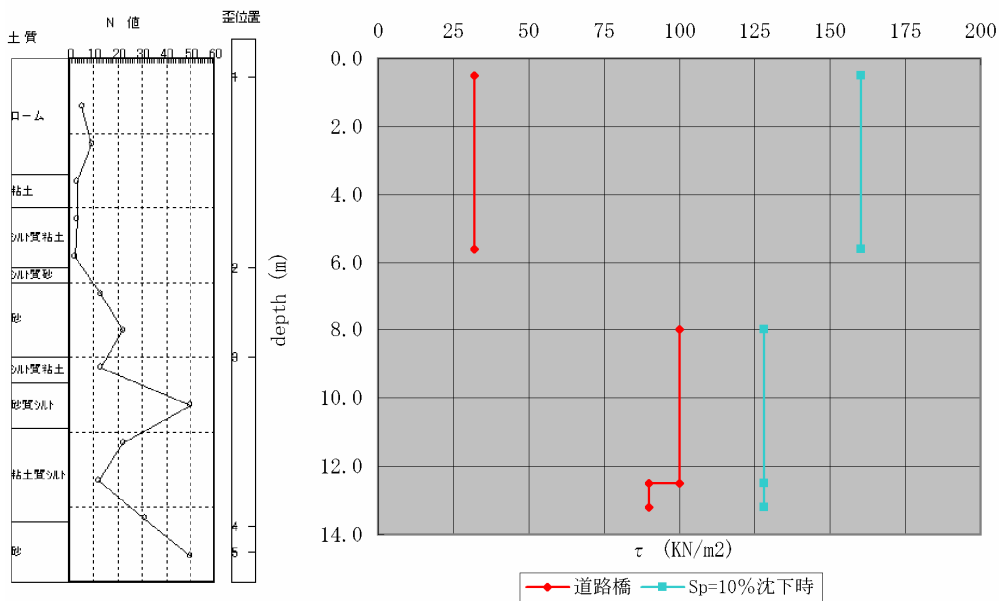


図-2 2 杭短辺 10% (64mm) 沈下時の周面抵抗力度分布図

4.6 杭頭の鉛直バネ定数・杭先端の鉛直地盤反力係数の算出

杭頭の鉛直バネ定数 K_v は、原点と荷重～変位曲線上の所定の点とを結ぶ割線勾配であり、式 4.6.1 により算出した。また、繰返し荷重に対する鉛直バネ定数 K_{vr} は、繰返し 0 荷重時の残留変位量 S_r と荷重～変位量曲線上の所定の点とを結ぶ割線勾配であり、式 4.6.2 により算出した。

$$K_v = P / S \quad \text{式 4.6.1}$$

$$K_{vr} = P / (S - S_r) \quad \text{式 4.6.2}$$

K_v : 杭頭の鉛直バネ定数

K_{vr} : 繰返し荷重に対する鉛直バネ定数

P : 所定の新規荷重

S : P に対応する杭頭変位量

S_r : 繰返し 0 荷重時の残留変位量

杭先端の鉛直地盤反力係数 K_v は、式 4.6.3 により算出した。また繰返し荷重に対する杭先端の鉛直地盤反力係数 K_{vr} は、式 4.6.4 により算出した。

$$K_v = q_p / S_p \quad \text{式 4.6.3}$$

$$K_{vr} = q_p / (S_p - S_{pr}) \quad \text{式 4.6.4}$$

q_p : 先端抵抗力度

S_p : 先端変位量

S_{pr} : 繰返し 0 荷重時の残留先端変位量

杭頭の鉛直バネ定数，杭先端の鉛直地盤反力係数の計算結果を表-6に示す．また，杭頭の鉛直ばね定数～杭頭変位量曲線を図-23に，杭先端の鉛直地盤反力係数～先端変位量曲線を図-24に示す．

表-6 計算結果一覧表

サイクル	載荷荷重 P (KN)	杭頭変位		杭頭バネ定数		杭先端			先端地盤反力係数	
		S (mm)	S-Sr (mm)	Kv (KN/mm)	Kvr (KN/mm)	qp (N/mm ²)	SP (mm)	SP-Spr (mm)	Kv (MN/m ³)	Kvr (MN/m ³)
1	500	1.83		273.22		0.1645	1.31		125.61	
	1,000	5.09	3.05	196.46	327.87	0.4010	4.07	2.04	98.52	196.57
2	1,500	14.36		104.46		0.9900	12.16		81.42	
	2,000	23.66	7.01	84.53	285.31	1.9787	20.31	4.55	97.43	434.88
3	2,500	34.90		71.63		2.2843	32.37		70.57	
	3,000	45.24	11.13	66.31	269.54	2.6853	42.94	12.31	62.54	218.14
4	3,500	59.55		58.77		3.0379	61.33		49.53	
	4,000	73.50	17.50	54.42	228.57	3.4859	75.37	15.34	46.25	227.24
5	4,500	96.31		46.72		4.0279	98.63		40.84	
	5,000	115.45	26.65	43.31	187.62	4.4994	116.70	20.89	38.56	215.39
6	5,500	149.04		36.90		5.0166	149.31		33.60	
	6,000	172.27		34.83		5.4881	171.60		31.98	

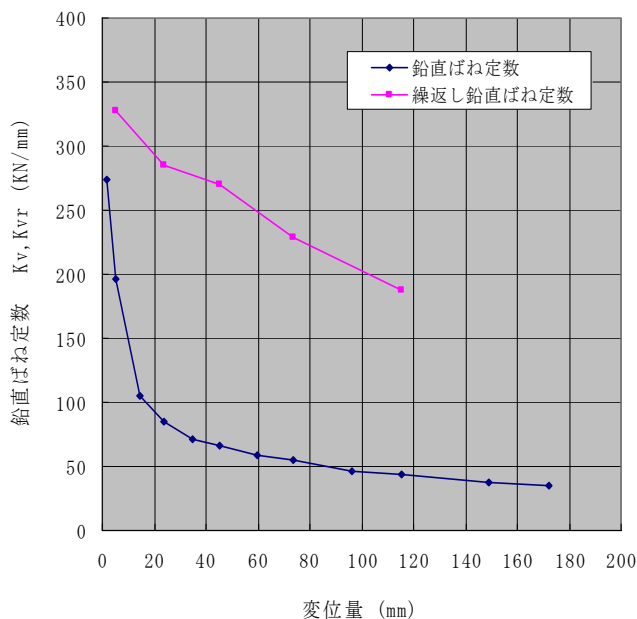


図-23 杭頭の鉛直ばね定数
～杭頭変位量曲線

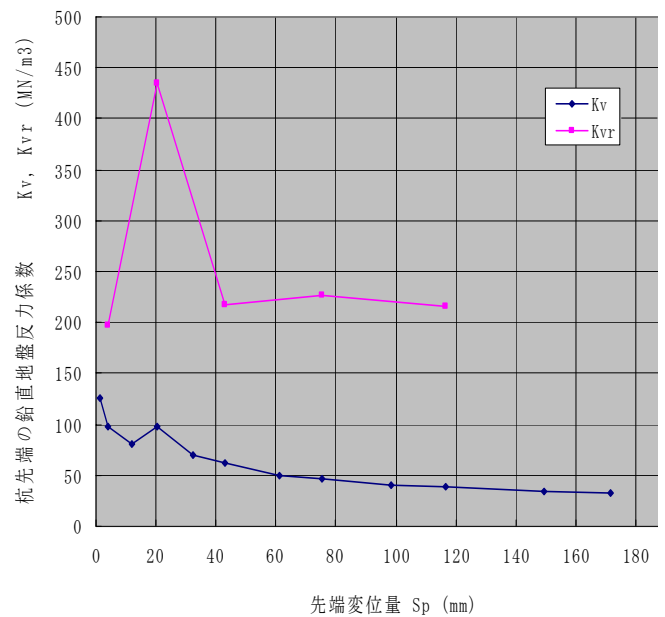


図-24 杭先端の鉛直地盤反力係数
～先端変位量曲線

4.7 第1限界抵抗力・第2限界抵抗力の判定

地盤工学会基準「杭の鉛直載荷試験方法・同解説」第2編杭の押し込み試験⁴⁾に基づいて，第1限界抵抗力，第2限界抵抗力を判定した結果を表-7に示す．

第1限界抵抗力は，杭頭荷重と杭頭変位量の関係図(図-25～27)では検出されなかったが，杭先端荷重と杭先端変位の関係図(図-28～30)では，第1限界抵抗力と考えられる折れ点が検出された．

また，第2限界抵抗力の判定は，杭先端変位量がH型PC杭短辺の10%(H640→64mm)に達した時の杭頭荷重を採用した(図-31)．

結果，第1限界抵抗力は現れなかったが，第2限界抵抗力は，3,595 kNとなった．

ここで，Po：杭頭荷重，So：杭頭変位量，Pp：杭先端荷重，Sp：杭先端変位量とする．

表-7 第1限界抵抗力・第2限界抵抗力の判定

	杭頭荷重		杭先端荷重	
	第1限界抵抗力 Py (KN)	第2限界抵抗力 Pu (KN)	第1限界抵抗力 Py (KN)	第2限界抵抗力 Pu (KN)
log P~log S	—	—	1,817	—
S~log t 曲線	—	—	—	—
$\Delta S / \Delta \log t \sim P$	—	—	1,794	—
総合判定	—	3,595	1,805	2,258

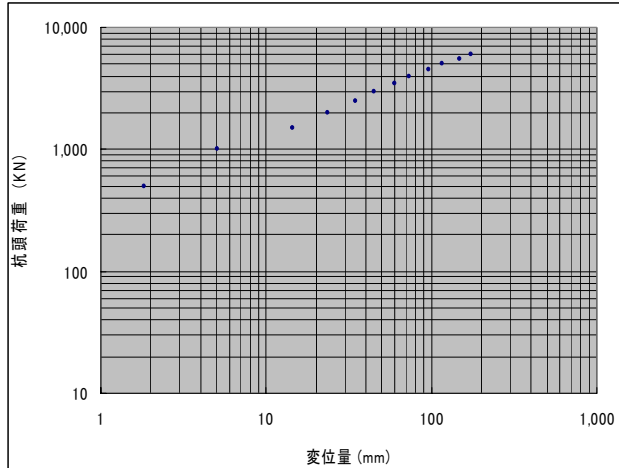


図-25 log Po~log So 曲線

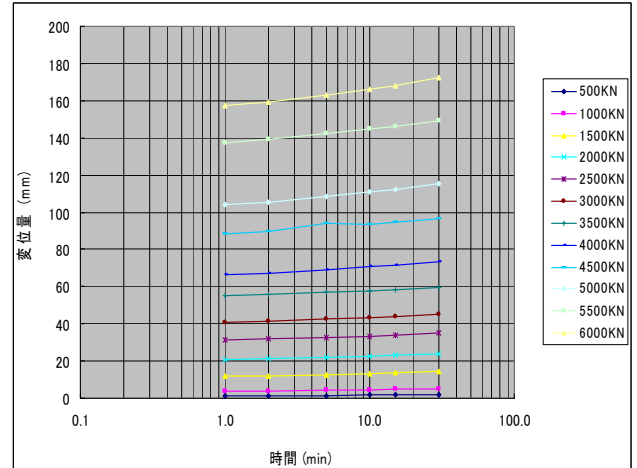


図-26 So~log t 曲線

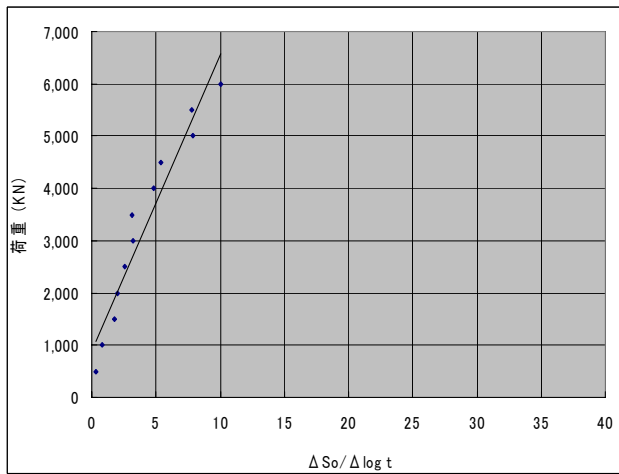


図-27 $\Delta S_o / \Delta \log t \sim P_o$

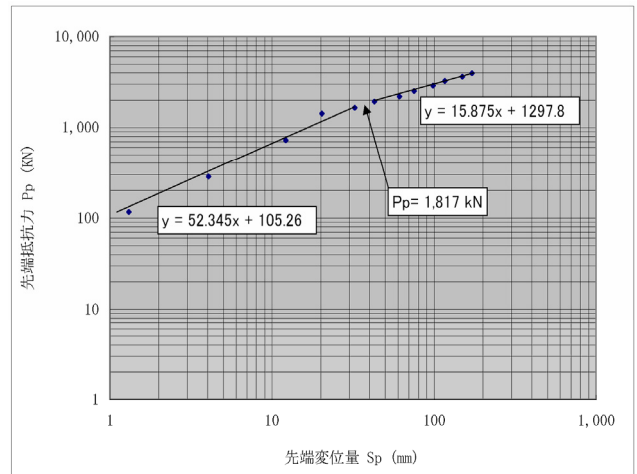


図-28 log Pp~log Sp 曲線

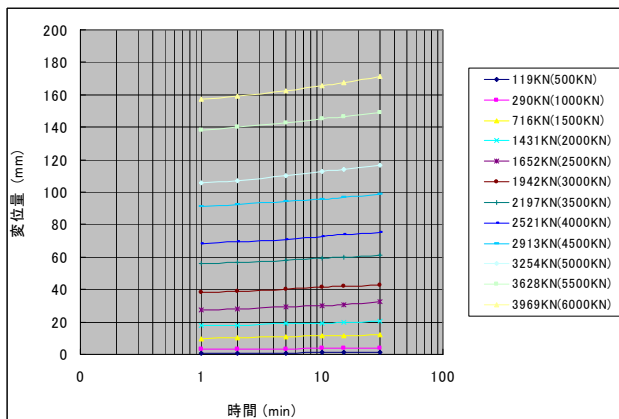


図-29 Sp~log t 曲線

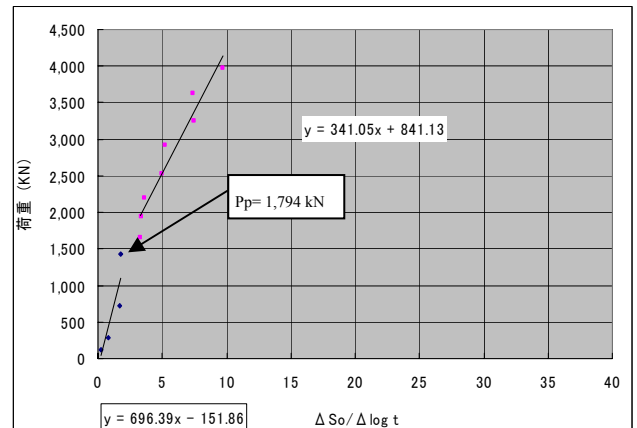


図-30 $\Delta S_p / \Delta \log t \sim P_o$

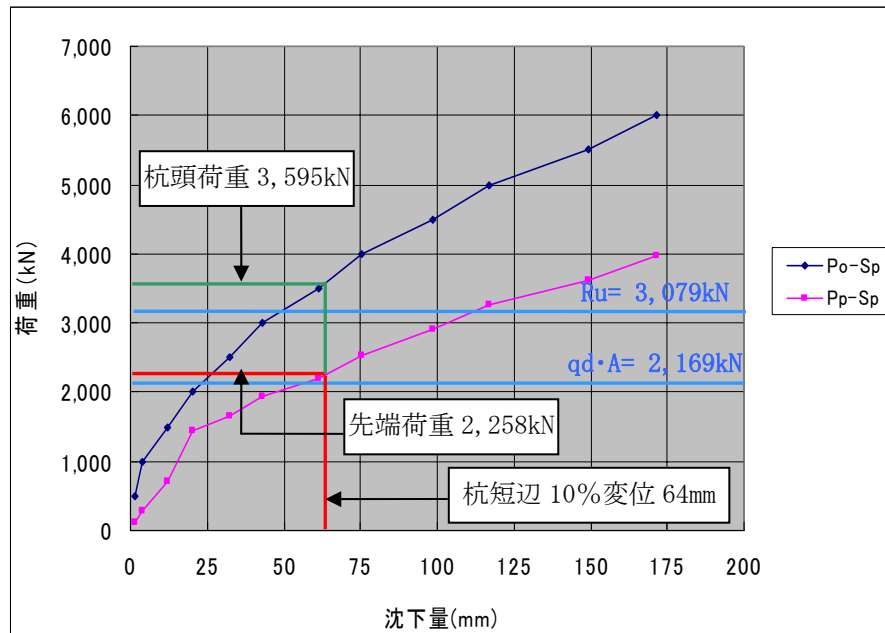


図-3 1 P~Sp 曲線

4.8 支持力特性の評価

4.8.1 道示の支持力推定式

各層の周面摩擦力度の計算結果を表-8に示し、道示¹⁾の支持力推定式に基づく計算結果を以下に示す。

コンクリート打設方式(場所打ち杭の極限支持力度を適用)

$$q_d = 3,000 \text{ kN/m}^2$$

杭先端面積

$$A = 1.13 \times 0.64 = 0.723 \text{ m}^2$$

杭の周長

$$U = 2 \times (0.96 - 0.225 - 0.1 \times 2) = 1.07 \text{ m}$$

杭の極限支持力

$$\begin{aligned} R_u &= q_d \cdot A + U \cdot \sum Li \cdot fi \\ &= 3,000 \cdot 0.723 + 1.07 \cdot 850.6 \\ &= 3,079 \text{ kN} \end{aligned}$$

表-8 周面摩擦力度

No	土質	N値	深度 (m)	Li (m)	fi (kN/m ²)	Li·fi (kN/m)
1	粘性土	4	5.6	5.6	32.0	179.2
2	砂質土	18	8.0	2.4	36.0	86.4
3	粘性土	15	8.7	0.7	100.0	70.0
4	粘性土	40	9.8	1.1	100.0	110.0
5	粘性土	31	12.5	2.7	100.0	270.0
6	砂質土	45	14.0	1.5	90.0	135.0
Σ				14.0		850.6

4.8.2 極限支持力度

$$2,258 / (0.64 \times 1.13) = 3,122 \text{ kN/m}^2 \text{ (試験結果, 図-3 1 より)} \geq 3,000 \text{ kN/m}^2 \text{ (道示IV}^1\text{) 表-解 12.4.1)}$$

4.8.3 周面摩擦力

$$3,595 \text{ kN} - 2,258 \text{ kN} = 1,337 \text{ kN} \text{ (試験結果, 図-3 1 より)} \geq 910 \text{ kN} \text{ (道示IV}^1\text{) 表-解 12.4.5)}$$

4.8.4 極限支持力

$$R_u = 3,595 \text{ kN} \text{ (試験結果, 図-3 1 より)} \geq 3,079 \text{ kN} \text{ (道示IV}^1\text{) 解 12.4.1)}$$

4.8.5 試験結果の考察

道示の支持力推定式による計算結果と本試験結果を表-9に示す。

極限支持力度、周面摩擦力および極限支持力とも道示の推定式を満足しているが、既往の鉛直載荷試験結果と比較すると余裕がないように思われる。

既往の鉛直載荷試験結果では、杭径の10%前後沈下すると支持地盤の破壊が起こり、荷重保持が不可能になることが判っており、鉛直載荷試験の経済性を考慮し、杭の鉛直載荷試験方法・同解説⁴⁾では、杭径の10%沈下時を極限支持力の判定基準としている。

本試験では、杭短辺方向10%(64mm)沈下後も載荷を続け、約3倍近くの沈下量(171mm)、6000kNまで載荷したにもかかわらず、地盤は破壊することなく、図-31のP~Sp曲線にみられるように荷重と変位量はほぼ比例し増加し続けた。これは、支持地盤に耐力が残っており、試験結果以上に極限支持力に余裕があることがわかる。

表-9 試験結果

	道示の推定式	試験結果	差
qd:極限支持力度 (kN/m ²)	3,000	3,122	+ 122
$U \cdot \sum L_i \cdot f_i$:周面摩擦力 $R_u - qd \cdot A$ (kN)	910	1,337	+ 427
R_u :極限支持力 (kN)	3,079	3,595	+ 516

5. まとめ

道路橋示方書・同解説IV下部構造編¹⁾に規定される中掘り杭工法のコンクリート打設方式に則り、施工を行ったH型PC杭は、N値30以上の砂質土地盤の支持層において、同示方書¹⁾に示される推定式より算定される極限支持力以上の支持力を有することが実証された。

謝辞

本試験の実施にあたり、多くの貴重なご助言を日本鋼構造協会塩井幸武専務理事より頂き、また、試験場所の提供と施工にあたっては、菱建基礎株式会社ならびに株式会社ピーエス機工の皆様、多大なご支援を頂きました。関係各位に、深謝の意を表します。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説IV下部構造編，2002.3
- 2) 日本道路協会：杭基礎設計便覧，2007.1
- 3) 土木学会：コンクリート標準示方書[施工編]，2002
- 4) 地盤工学会基準：杭の鉛直載荷試験方法・同解説，2002.5
- 5) H型PC杭工法研究会：H型PC杭技術マニュアル，2006.8