

# 荒川湾岸橋大径鋼管ゲイの鉛直載荷試験

齋藤二郎 芳賀孝成  
内藤和章 崎本純治

## Vertical Loading Test of Large-Diameter Steel Pipe Pile at Arakawa-Wangan Bridge

Jiro Saito Takashige Haga  
Kazuaki Naito Junji Sakimoto

### Abstract

Driving and vertical loading tests were performed for the purpose of investigation into the characteristic of bearing capacity of  $\phi 1,500$ -mm steel pipe piles used in foundations of the Arakawa-Wangan Bridge. Measurements of penetration and stress per hammer stroke were made in the driving test. The maximum stress of a pile during driving was about  $800 \text{ kg/cm}^2$  and since this value was comparatively small it was considered there would be ample safety. The vertical loading test was done by a slowly accelerated loading method through which a maximum load of 1,400 tons was applied. Displacements of pile head, pile tip, mud inside pile and reaction pile as well as pile stress were measured. As a result of the test it was recognized that the pile did not yield at maximum load and the safety factor was higher than 3. It was clarified that skin friction accounted for the greater part of the bearing capacity while end bearing was small at 20 percent at maximum load.

### 概要

道都高速荒川湾岸橋の基礎に用いられる直径1.5mの鋼管ゲイの支持力特性を調べるため打込試験と鉛直載荷試験を行なった。打込み試験では、一打撃当りの貫入量、打撃応力などの測定を行なった。クイ打ち時の最大応力は  $800 \text{ kg/cm}^2$  で安全であることがわかった。鉛直載荷試験は、最大荷重 1,400 t の緩速載荷試験で行ない、クイ頭、クイ先端、管内土、反力ゲイの各変位、クイ体応力を測定した。

試験の結果最大荷重に達してもクイは降伏に至らず安全率は3以上あることが認められた。また支持力の大部分は周面摩擦力が受け持ち、先端支持力の受け持つ割合は最大荷重においても20%と小さいことがわかった。

### 1. まえがき

クイの支持力の推定には色々な方法があるが、実際に載荷して確認するのが最も確実な方法である。

荒川湾岸橋の基礎には  $\phi 1500$  の大径鋼管ゲイが使われることになったが、このような大径ゲイの支持力については、これまで調査、載荷例が少なく支持力の推定が困難であった。

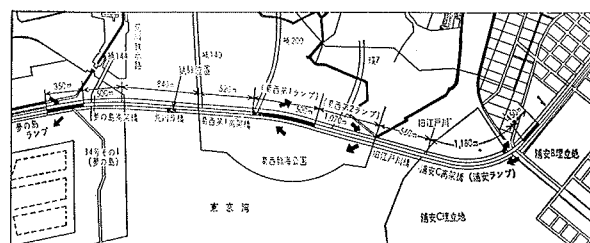
本載荷試験は、設計で用いた基礎ゲイの支持力 (450 t) を実際に確認することを目的として基礎ゲイの施工段階において実施したものである。なお本試験では、支持力機構、クイ先端の閉塞効果についても検討した。

また、本試験に先だてクイ体の安全性の確認と一般ゲイの施工管理の資料を得ることを目的としてクイ

打ち時に打撃応力、貫入量等の測定を行なった。

### 2. 工事概要

荒川湾岸橋は図一に示すように荒川放水路をまたぐ全長840mの橋で、夢の島と葛西・浦安地区を結ん



図一 荒川湾岸橋位置図

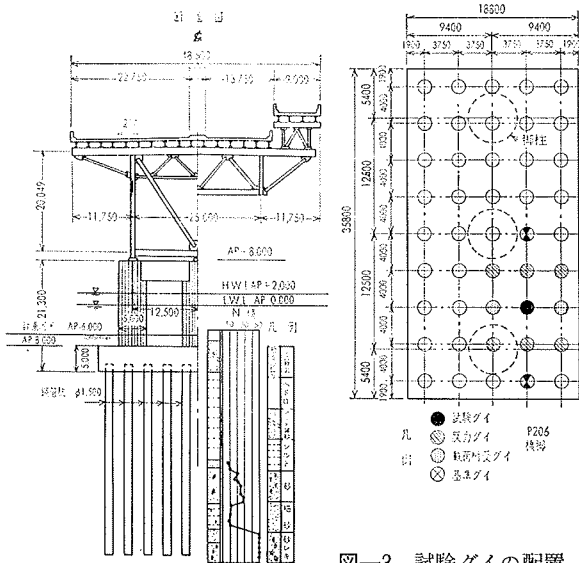


図-2 橋梁基礎断面図

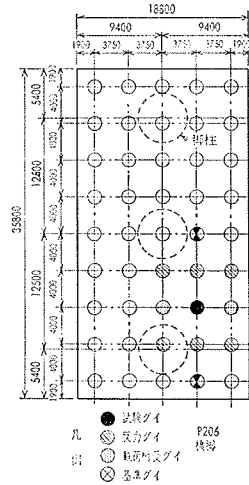


図-3 試験グイの配置

ている。この橋は将来東京湾環状道路となる。橋脚はP201～P208の8基で構成されている。

基礎工事は、支持層がAP-50mと非常に深いこと、施工時の水深が15m程度であること、現場作業の安全、省力化、工程短縮など種々の条件を考慮して新しい工法が採用された。すなわちこの工法は基礎1基当たり26～60本の、長尺の大口徑鋼管グイを打込み、次に、フーチングと枕梁を一体として製作して鋼橋脚を工場から現場まで大型起重機船で運搬し、すでに打込まれている鋼管グイの上に据付け、さらに鋼管グイと鋼橋脚の結合はプレパックドコンクリートで行なうものである。図-2は基礎の断面図である。

### 3. 試験の概要

#### 3.1. クイの形状

試験グイはφ1500の鋼管グイでグイ長は52.5mである。肉厚は試験グイの上部26.5mが22mmの他はすべ

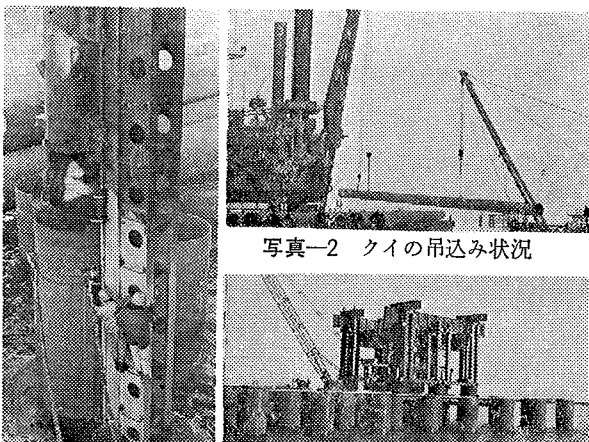


写真-1 クイの打込

写真-3 載荷装置全景

て19mmである。試験グイとその他のクイの断面諸元を表-1に示す。

#### 3.2. 打込み試験方法

クイの打込みは、工法上極めて厳しい精度を要求されるため、打込み精度の高い自己昇降式のクイ打船「浮島」を使用し、ハンマーはMB70を使った。

クイの打込み試験は、図-3に示すP206橋脚グイ中の試験グイの位置で行ない、計測内容は表-2にまとめて表示している。写真-1と写真-2はクイの打込み状況と吊込み状況を示す。

く	い	外径 mm	断面積 cm <sup>2</sup>	周長 m	長さ m	肉厚 mm	鋼材断面積 cm <sup>2</sup>	単重量 kg/m	断面2次モーメント cm <sup>4</sup>	
試験	くい	1500	17671.5	4.71	525	上部26.5 下部26.0	22 19	1021.5 884.0	802.0 694.0	2789986.4 2424097.8
その他	のくい					51.5	19	884.0	694.0	2424097.8

表-1 くいの断面諸元

区分	測定項目	測定次数	測定回数	測定機器	備考
打込試験	打撃回数	—	5m以下1m毎以下50m毎	ストップウオッチ	1)打込やぐら：自己昇降式クイ打船「浮島」
	ラム落下高	—	1m毎	目視	2)油圧ハンマー：MB70
	1打撃の貫入量	1ヶ所	5m以下1m毎以下50m毎	アラノ用紙粘付	3)ラム重量：2200kg
	クイ体のゆがみ	1)断面X 3号=33点	5m以下1m毎以下50m毎 5区1ヶ所	精密 変形計PM-5E	打撃回数：38～60回/min 1打撃圧縮量：21500kg-cm 3)キヤップ：かまし厚3.50cm
鉛直載荷試験	一般グイの打撃回数	—	5m以下1m毎以下50m毎	ストップウオッチ	
	荷重	1点	載荷や卸荷	フルトン管圧力計	1)載荷装置：設計荷重 1650 ton
	クイ頭沈下量	4点	○：始末荷重、0荷重 △：10、1.2.5.10、15分 以後15分毎、観測内の 変位は0.5分	ダイヤルゲージ	2)油圧ジャッキ：500 ton 分機型 油圧ジャッキ4台
	クイ頭水平移動量	2点	○：始末荷重、0荷重 △：10、15分以後15分 毎、観測内の荷重は0.5分	精度 1/50mm	ラム径 326φ
	クイ先端沈下量	3点	○：始末荷重、0荷重 △：10、15分以後15分 毎、観測内の荷重は0.5分		3)油圧ポンプ 電機機：200 V×4P×L5KW 2台 ポンプ：ロータリーポンプ2台
	反力グイ挿入量	6点	○：始末荷重、0荷重 △：10、15分以後15分 毎、観測内の荷重は0.5分		ポンプ ポンプ吐出量：5 l/min (2台)
	鋼橋脚上部の沈下量	2点	○：始末荷重、0荷重 △：10、15分以後15分 毎、観測内の荷重は0.5分		ポンプ
	クイ頭-クイ先端 相対変位量	2点	○：始末荷重、0荷重 △：10、15分以後15分 毎、観測内の荷重は0.5分		1)油圧コントロールユニット
	クイ体頭部応力分布	3点	○	ストロークゲージ KFC-5-CI-11	減圧：自動接点ゲージ方式
	クイ体ゆがみ量	1)断面X 4号=44点	○	ストロークゲージ +変形計SM-60B	非方式 荷重計：6φ×200kg/cm <sup>2</sup> 500 ton ケーブル
気温・天候・時間	—	各サイクル4回	温度計等		

表-2 試験計測内容一覧表

#### 3.3. 鉛直載荷試験方法

鉛直載荷試験は、打込み試験に使用したクイを用いた。

載荷には、500 tの油圧ジャッキ4台を使用し、反力としては周囲のクイの引抜摩擦抵抗力を利用した。反力グイの数は6本である。ジャッキ荷重を直接受ける主桁と反力グイとの連結は、テンション材を介して引抜力が6本に均一に伝わる構造とした。載荷装置の平面図、正面図を図-4に示す。

載荷試験方法は、土質工学会「クイ鉛直載荷試験基準-1971」のB方式（緩速サンクル方式）とし、最大荷重は1400 t、サイクル数は7で行なった。

載荷試験の計測内容は、打込試験同様、表-2にまとめて示している。変位測定の基本となる不動点として図-5に示す規準グイを考えた。規準梁はこの2本の規準グイの上に架設し、これから各測定点の絶対変位を求めた。写真-3は載荷装置の全景を示している。



5. 載荷荷重とクイ変位

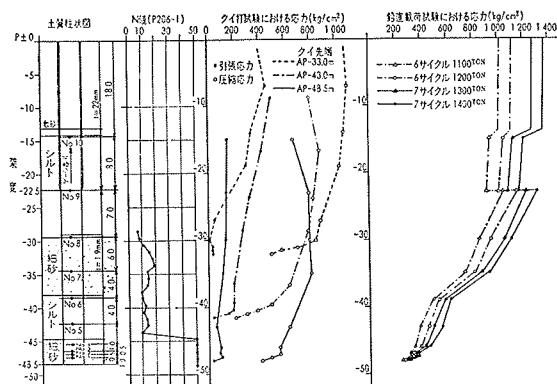
図一8は、クイ頭部の試験結果図である。これによれると、クイは最大荷重1400 tで総沈下量 32.45mm 残留沈下量4.22mm を示す。また、設計荷重の450 tでは、総沈下量 8mm, 残留沈下量 0.1mm を示している。荷重と変位の関係を調べると、総沈下量は荷重につれてほぼ線形的に増加している。1000 tあたりで勾配が少し急になっているが以後また落着いているのでこの変曲点が支持地盤の降伏によるものとは判定しにくい。残留沈下量曲線も同様の結果で、降伏とは判定しがたい。また図一9はクイ頭での変位と荷重の log P-log S 曲線、図一10は S-log t 曲線であるが、この2つの図からもクイの降伏した兆候は認められない。図一11は、クイ先端での沈下量-荷重曲線である。これによると、最大荷重時の総沈下量は5.42mm, 残留沈下量は2.53mmを示している。

図一12は、クイ頭、クイ先端でのバネ定数-荷重の関係を示したものである。設計荷重 450 t でのクイ頭バネ定数は 550t/cm 程度である。

6. 打込時と鉛直載荷時のクイの応力

図一13は打込時および鉛直載荷試験時におけるクイの応力分布を示したものである。打込時よりも鉛直載荷試験時の方が深度方向の応力減少量は大きい。これは打込時には周面摩擦力が十分に発揮されないことと動的荷重と静的荷重の相違によるものである。

鉛直載荷試験におけるゲージ No. 10~No. 9 で応力が急変しているが、これは管厚の変化によるものである。7サイクル 1400 ton の荷重時におけるクイ応力は、クイ頭部で 1370 kg/cm<sup>2</sup> を示し、クイ先端で 300 kg/cm<sup>2</sup> 程度を示す。これらの諸数値はいずれも許容圧縮応力以内にある。なお打込時の最大応力は約 1100 kg/cm<sup>2</sup> である。



図一13 クイの応力分布

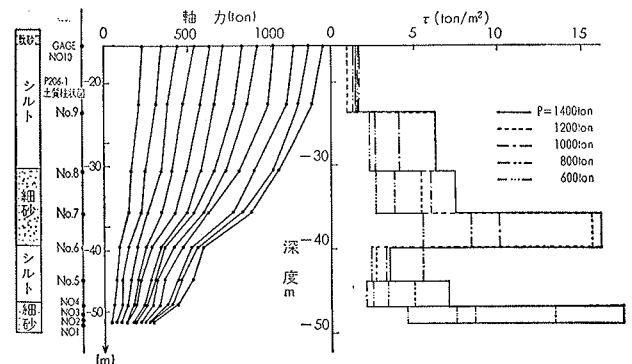
7. 周面摩擦力

図一14にクイの軸力分布と各土層間の摩擦応力分布を示し、図一15に、各ゲージ間の平均周面摩擦応力と荷重の関係を示している。

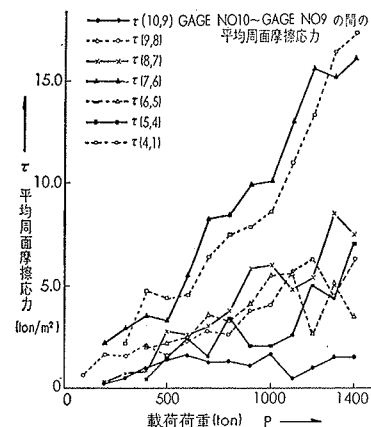
図一14より軸力の変化は上下両砂層において顕著に表われ、上下両シルト層における変化はあまりみられない。これから砂層における周面摩擦力はシルト層のそれに比し、かなり大きいことがわかる。

図一14, 15から最大荷重時の摩擦応力 $\tau$ では、支持層である下部砂層の $\tau(4, 1)$ の 17t/m<sup>2</sup>が最大で、次は上部砂層の $\tau(7, 6)$ の 16t/m<sup>2</sup>である。シルト層は上部シルト層の $\tau(9, 8)$ で 6t/m<sup>2</sup>, 下部シルト層の $\tau(5, 4)$ で 7t/m<sup>2</sup>である。また、同じシルト層、同じ砂層においても、上部より下部の方が摩擦応力は大きくなっている。この原因は実際には深さによって土質定数が変化しているからであろう。

図一16は、各ゲージ間の平均周面摩擦応力と、クイと地盤の相対変位の関係を示すものである。変位の増大と共に周面摩擦応力は一般に増加するが増加率は段階的に変化している。これから変位と周面摩擦力は単純な線形関係でないことがわかる。砂層内の摩擦応力度は相対変位が大きくなるにつれ高くなっており、



図一14 クイ軸力と周面摩擦力の深度方向分布



図一15 載荷重と平均周面摩擦力

この程度の変位では最大摩擦応力度に到達していないと考えられる。ちなみに、 $\tau(4, 1)$ は相対変位 5mm で 17t/m<sup>2</sup>を示している。また、同じ変位に対して一番大きな抵抗を示しているのは $\tau(4, 1)$ で、一番小

さいのが  $\tau(8, 7)$  である。これは摩擦応力に関する因子である土被り厚、内部摩擦角のいずれもが小さいためである。次に、シルト層内の摩擦応力度に関して言えば、 $\tau(6, 5)$ 、 $\tau(9, 8)$ 、 $\tau(10, 9)$  はそれぞれ変位が、4.5mm、13mm、7mm のときに最大となり、変位がそれ以上になっても  $\tau$  は同等の値かもしくは若干小さな値を示している。 $\tau(5, 4)$  は変位が小さくこの部分の地盤との最大周面摩擦力までは到達していないと考えられる。砂質地盤内の  $\tau(4, 1)$ 、 $\tau(7, 6)$ 、 $\tau(8, 7)$  もこれと同様の状態にあると思われる。

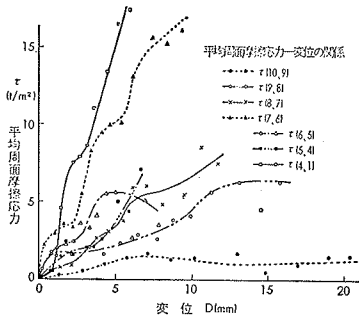


図-16 変位と平均周面摩擦力

### 8. 先端伝達荷重

図-17は、荷重—先端伝達荷重、荷重—周面摩擦力の関係を示したものである。この図から、最大荷重1400 tでの先端荷重は、280 tであることがわかる。

図-18は、載荷荷重に対する先端伝達荷重および周面摩擦力の割合を示している。この図から先端に伝達される荷重割合は、載荷重 500 t までは載荷重に比例して増加しているが、それ以上になると一定の値、すなわち20%となっており、このクイは、荷重に対して摩擦グイとして働いていることがわかる。

### 9. 閉塞効果

閉塞効果は、先端を閉塞したクイの支持力  $R_s$  と閉塞していないクイの支持力  $R_{us}$  の比  $n = R_{us}/R_s$  で表わ

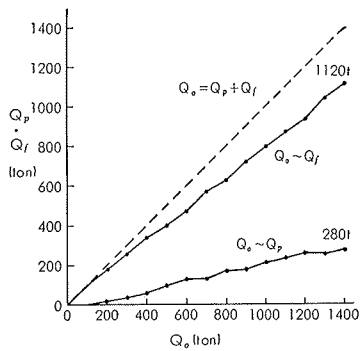


図-17 先端伝達荷重と周面摩擦力

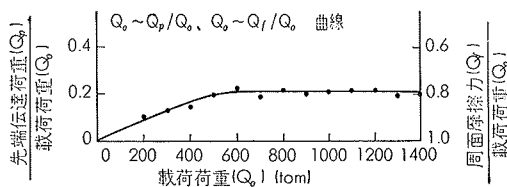


図-18 載荷重と先端伝達荷重比

される。

今回の試験では、この比は求められないので、クイ先端の沈下量と管内土の先端沈下量の大小を知り、クイが閉塞しているかどうかを判断した。

クイが閉塞状態であれば、管内土の先端沈下量とクイ先端沈下量は等しいはずであり、不完全閉塞状態であればクイ先端の沈下量が管内土先端沈下量より大きいはずである管内土の先端沈下量は管内土変位測定位置の変位から鋼管の縮み量を差し引けば求める。

こうして両者の沈下量を比較したのが表-3である。この結果をみると、このクイは不完全閉塞状態であることがわかる。

サイクル	載荷荷重 (ton)	沈下量 (mm)				
		① クイ先端絶対沈下量	② 管内土面絶対沈下量	③ 管内土圧縮量	④=②-③ クイ先端管内土沈下量	⑤=①-④ クイ先端とクイ先端管内土相対変位量
6	1100	243	1260	1221	39	204
	1200	330	1456	1356	100	230
7	1300	285	1643	1503	140	145
	1400	358	1806	1572	234	125

表-3 閉塞効果の判定

### 10. あとがき

今回載荷試験を行なったクイは海底面より約18mも自立し、さらに下に14mもN値0の軟弱シルト層があるため載荷時にクイの座屈が心配された。このため載荷装置を精度高く架設し、試験時には細心の注意を払って載荷を行なった。最大荷重 1400 ton で試験杭の水平変位は約24mm、反力杭の引抜量は 5~9mm であった。

鉛直載荷試験においてはクイの周面摩擦力は当初予想していた値よりもはるかに大きく支持力は十分に得られることがわかった。しかし降伏荷重まで載荷するには至らなかったため大径グイの支持力機構、先端閉塞効果を十分に検討できなかったのは残念である。

今後、この種の大径グイは数多く施工されると思われるが、そのためには数多くの試験を実施して上記の問題点を解明してゆく必要がある。

### 謝辞

本試験の実施に際し、終始御指導御援助をいただいた首都高速道路公団と荒川湾岸橋 JV 工事々務所の関係諸氏に感謝の意を表します。