

III-13

海上における大口径鋼管杭の載荷試験について

関西国際空港(株) 正員 宮林 秀次
 関西国際空港(株) 正員 本山 薮

1. まえがき

大阪湾泉州沖約5kmの海上に建設される関西国際空港と、その対岸との間の交通アクセス確保のため、約3.75kmの連絡橋(道路・鉄道併用橋)が計画されている。連絡橋の上部構造は、海上中央部において、三径間連続トラス橋(3@150m6連)、両側部において三径間連続鋼箱桁橋等(3@109m等)となっている。又、下部構造は、コンクリート

を中詰した、鋼製ラーメン橋脚及び鋼製フーチングで、鋼管杭基礎となっている。しかしながら架橋位置付近の地盤は軟弱であり、支持杭の対象となる砂礫の支持層(S-4層)は2~3m厚と薄く、杭の周辺摩擦抵抗、薄層支持杭の先端支持力、杭の水平抵抗などが鋼管杭の支持力評価の重要な課題となっている。そのため、S-4層打止めのφ1500mmとφ1000mmの支持杭及びS-4層貫通のφ1500mmの摩擦杭を対象とし、現地海上において載荷試験を行い、鋼管杭の支持力特性等について調査したので概要について報告する。

2. 試験概要

試験項目は表-1のとおりである。杭の種類は、図-2に示すとおり、鉛直載荷試験、水平交番載荷試験、経時特性試験に供用する試験杭(T1~T3)3本、載荷時の反力をとるための反力杭(R1~R6)6本の計9本で、この他に、現地が海上であることから、変位測定のための基準梁を取付ける基準杭(K1~K4)4本(波浪防護管取付)を設けている。なお、各試験の目的及び内容は次のとおり。

(1) 鉛直載荷試験

各試験杭の、鉛直力に対する設計上の極限支持力を確認するとともに土質強度上の極限支持力とも比較、評価した。試験は土質工学会「クイの鉛直載荷試験基準・同解説」のA方法に準じた多サイクル方法とした。試験の計画最大荷重は、ボーリングによる地質データを用い、道路橋仕様書の手法により計算した推定極限荷重を参考に、T1杭1500t、T2杭1700t、T3杭1000tを前提として載荷サイクル及びステップを設定した。

又、上記に示す通常の鉛直載荷試験終了後、地震時の鉛直支持力検討のため、T2杭・T3杭において急速載荷試験を行い急速に荷重載荷した場合の杭の極限支持力を求め、耐震設計のための基礎資料とした。荷重載荷は適当なステップ(時間待ちなし)により、最大(極限)荷重まで1サイクルで一気に行った。

(2) 水平交番載荷試験

T1杭を対象に、水平力に対する支持力特性を調査し、杭の変位・変形特性などの試験結果より、地盤の横方向反力係数や減衰定数を評価した。試験は土質工学会基準の「杭の水平載荷試験方法・同解説」に準じた方法により、最大載荷荷重を30tとし、5サイクルに分割して載荷した。

(3) 経時特性試験

鉛直載荷試験に先立ち、T2杭を対象とし、持続荷重に対する沈下及び周面摩擦抵抗の経時変化を調査し、摩擦杭設計上の問題点となる長期的な特性の検討資料とした。持続荷重は常時の設計許容支持力程度

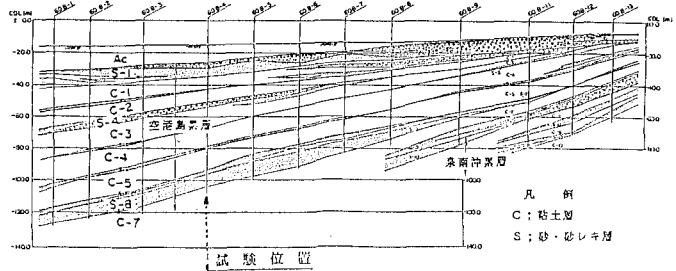


図-1 地質縦断図及び試験位置

表-1 載荷試験項目

杭名	杭の概要	支持力関係試験
試験杭	T ₁ 杭	S-4層打止めφ1500 杭 鉛直載荷試験 水平交番載荷試験
	T ₂ 杭	S-4層貫通φ1500 杭 経時特性・鉛直載荷試験 急速載荷試験
	T ₃ 杭	S-4層打止めφ1000 杭 鉛直載荷試験 急速載荷試験

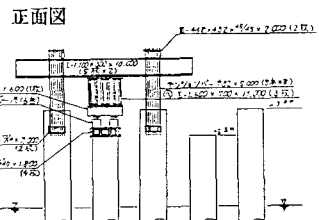
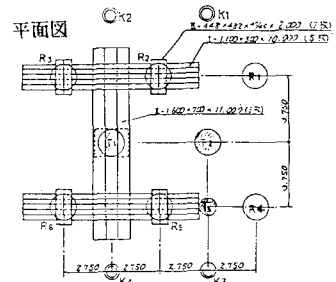


図-2 試験杭配置図

とし、500tとした。一定荷重500tまでの載荷は、100t増加毎に5分間の定荷重保持を行いつつ増圧した。載荷期間は工期的な問題から500tの荷重に設定後、13日間とした。

3. 試験結果及び評価

(1) 鉛直載荷試験

T1, T2, T3杭の極限(降伏)支持力は表-2のとおりであった。T1, T3杭の先端支持力は、土質定数準拠(道示式)の値に対して61%とかなり低めの値であり、S-4層での先端支持力は、あまり期待できないことが判った。一方、各杭における摩擦支持力度は、粘土層の場合、支持杭では土質定数值($q_u/2\sigma_{rc}$)に近似した値になっているが、摩擦杭では70%程度の値となっている。又、砂層の場合は、支持杭、摩擦杭とも土質定数值($N/5$)を大きく上回った値となっている。摩擦杭設計にあたっての摩擦支持力度の評価は、支持杭と摩擦杭で粘土層の摩擦支持力度がかかなり異なった結果を示しているため、T2杭(摩擦杭)に着目し次の様に考えた。

・各土層分担摩擦力の評価については、各土層毎に降伏値と考えられる値を求め、その値を評価の対象とする。

・各土層毎に得られた最大値についても評価の対象とする。但し、杭長、層厚等が各橋脚位置で異なるので、これらのバラツキを考慮してその値を若干低減して使用する。

・砂層に関しては、S-1, S-4層とも土質定数準拠の $N/5$ 上回り、1.2~2.0倍の値が得られているが、架橋ルート上におけるS-1, S-4層の土被りの変化、N値のバラツキの差等を考慮すれば、 $N/5$ を上回る評価は控える。

・Ac層については、最大値で $2t/m^2$ 程度の試験結果が得られているが、土質調査の結果は $N=0, C=1t/m^2$ 程度であるため、無視する。

(2) 水平交番載荷試験

chang式による横方向地盤反力係数の理論値と実測値の比較を図-4に示す。図中には載荷点における値(右側)と地表面における値(左側)を図示している。今回の試験は載荷点高さが大きく、その高さの違いだけで地表面と載荷点におけるバネ定数が変化し、当然同じ変位量でK値を比較すると、載荷点における値が大きくなっている。変位量10mm付近で表面変位を使ったK値は $0.2Kg/cm^2$ 程度で、(+)-ループ(-)-ループともほぼ一致した結果を得た。又、水平バネ定数も地表面変位量10mm付近で4.3程度。減衰定数も、横方向地盤反力係数と同様、地表面変位に着目すると、変位量10~30mmに対して0.085~0.095程度の値となっている。

(3) 経時特性試験

イ)沈下性状について：沈下量は、500t載荷後3~4日で沈下の進行が止まり安定した状態を示している。沈下の進行期である3~4日目の測定値を主体に、100年後の沈下量を推定しても、わずか2mm前後であり、長期沈下に関する設計への反映は考慮しなくて良いと考えられる。

ロ)摩擦応力度について：各層別の摩擦応力の経時変化を見ると、Ac, Tg, S-1層は微少な変化ながら減少の傾向にある。又、C-1, C-2層はほとんど変化なく、S-4, C-3, C-4層は微少な変化ながら増加の傾向にあると言える。

4. あとがき

本試験は、4km沖合の海上水深約15mでの大規模な載荷試験であり、波浪、風、温度変化等種々の問題はあったが、比較的良好なデータが得られたと考えている。今後、詳細なデータの整理・解析を行い、別の機会に発表することとする。なお、本試験の計画にあたって貴重な御指導を頂いた、空港連絡橋設計施工委員会(小西一郎委員長)、特に、下部工専門部会の柴田徹京大教授をはじめとする諸先生方、及び試験を実施した鋼管杭協会に対し、紙面を借りて謝意を表す。

表-2 試験及び土質定数に基づく鉛直支持力

	載 荷 試 験			土質定数準拠(道示式)		
	全体	先端	摩擦	全体	先端	摩擦
T1	1,180(97)	220(61)	960(113)	1,213	360	853
T2	1,310(83)	40(-)	1,270(80)	1,575	-	1,575
T3	900(106)	170(61)	730(129)	848	280	568

()内は、土質定数準拠に対する%

表-3 層別摩擦支持力度

土 質	層 別	土質定数に基づく 摩擦支持力度		試験結果に基づく 摩擦支持力度, kg/cm^2			
		平均値	Average	1200t	1300t	1400t	1500t
		kg/cm^2	kg/cm^2	kg/cm^2	kg/cm^2	kg/cm^2	kg/cm^2
Ac	10.00	0.10	0.06	0.11	0.17	0.18	0.18
Tg, S-1	9.40	0.44	0.36	0.91	0.94	1.01	1.11
C-1, C-2	15.70	0.80	0.54	0.55	0.58	0.61	0.55
S-4	2.85	0.87	0.64	0.97	1.06	1.18	1.25
C-3	9.55	1.38	0.95	0.64	0.74	0.89	1.14

：降伏値 A：最大値

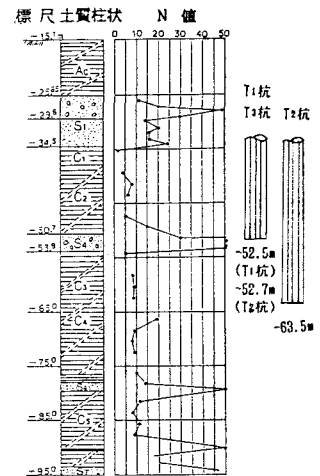


図-3 試験位置における土質性状

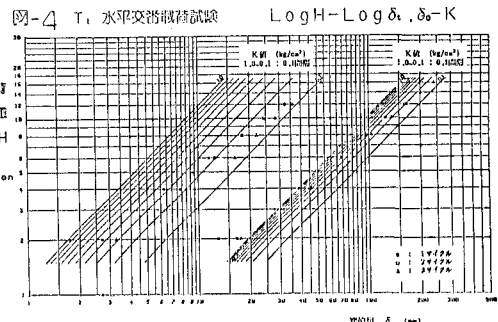


図-4 T, 水平交番載荷試験 Log H-Log δ, δ-K