III-85　かたい砂層と洪積粘土層における鋼管杭の支持力試験

（株）日建設計　正会員　松井　彰
　　〃　　玉置　亨
　　〃　○横山義泰

1. まえがき

相対密度の極めて大きい砂および砂礫層中に鋼管杭を打ち込んだ際の支持力特性と、硬い洪積粘土層中にマサツ杭としての鋼管杭を打ち込んだ際の支持力特性の把握を目的として実施された1例について以下に報告する。

2. かたい砂層に打ち込まれた杭について

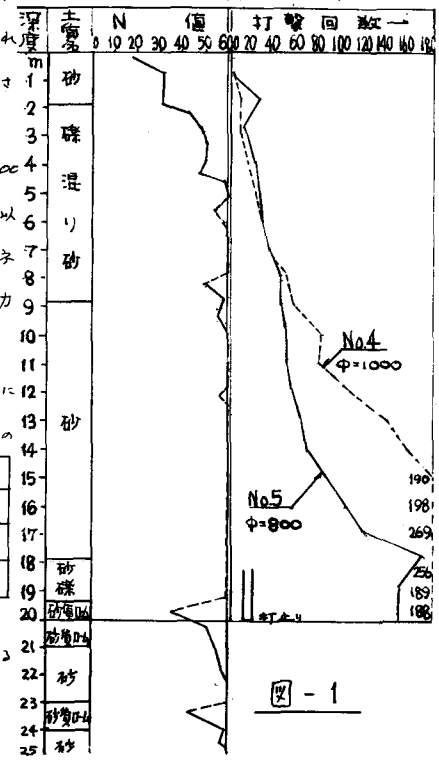
重要構造物の基礎杭を用いるのに際し、その地盤が相対密度の極めて大きい砂礫層であり、そこへ鋼管杭を打設したとき（特殊な例であるが）各種の支持力公式をそのまゝ適用してよいかどうか、また鉛直支持力はどの程度であるか見当がつかない。そこで実際に載荷試験で確かめることになった。試験現場附近の地盤構成は図－1に示されているように、表層のごく一部を除いて、GL－20m付近まではN＞50の極めてよく締った沖積統の砂（粒径が均一な細砂で砂分が80～90%）および砂礫層よりなり、それより深部は（図には示されてないが）N≒40～50の非常にかたい砂質ローム層を主体とした地層である。試験に用いた鋼管杭はφ812.8 t=16, l=24m（以下φ800という）およびφ1016 t=16, l=20m（以下φ1000という）の各3本（いずれも先端開放杭）で、それぞれ1本ずつ先端補強リングを有している。なお杭の打止め深さはGL－18m～－20mである。

使用した杭打機はM-43, MB-70の2種であるが、φ800, φ1000共、GL－11.5m程度までは前者で打込み可能であったが、それ以上の深さになると、N値が減少しているにも拘らずより打撃エネルギーの大きいMB-70を必要とした。このことは杭周面マサツ力が全支持力のかなりの割合を占めていることを示している。

次にMB-70のみを使用してGL-20mまで打ち込んだ結果を表－1に示す。この表によるとφ800とφ1000との間には明らかに打撃数の差がみられるが、これをさらに50cm毎の打撃数に分析して考察すると、図－1に示すようにGL－9m程度まではφ800とφ1000との間の打撃数の差は殆んどなく、それ以深になると急速にφ1000の方が増し、ほゞ倍程度の値となっている。これはGL－9m程度迄の浅い部分では杭打機の打撃エネルギーが、

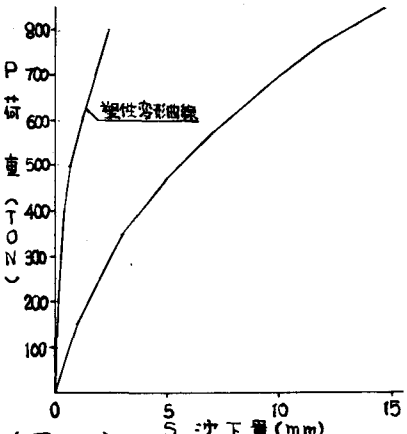
杭種	打撃数	備考
φ800	1955回	杭先端補強リング なし
φ1000	3313	〃 なし
φ1000	2790	〃 あり

表－1　経到終打撃数



図－1

杭径の差を充分カバーし尽す程大きいためであろう。それより深い部分では周面マサツ力が支配的になり、その差が現われていると考えられる。また杭打込み後の杭内部地盤高はφ800でGL-3m前後、φ1000ではGL-1.5m前後で、いずれにしても杭先端の閉塞効果は小さく、杭周面マサツ力がその支持特性の中で支配的であることを示している。次に杭先端がGL-18mの場合の許容支持力をHileyの簡略公式で求めると（杭打機MB-70使用）φ800杭の平均許容支持力は862T、φ1000杭は1075Tとなり、ほぼ杭径の比に等しくなっている。また鋼杭の純断面積比にもなっていて、これは先端支持の影響よりも杭周面マサツ力の影響の方が優越していることを示している。（杭先端GL-20mの場合も同様）

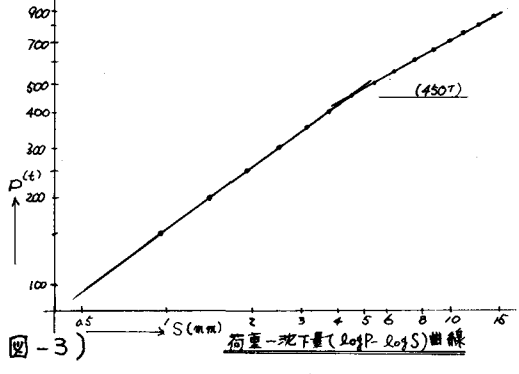


（図－2）荷重～沈下量曲線（平均値）

一方前述の6本の杭のうちφ800の1本について、短期と長期載荷試験を実施したが、その結果から図－2，3を抜粋して示す。結果を要約すると、

(i) 極限支持力は900T、許容支持力は300Tとした。この値は杭材料より検討しても充分安全である。

(ii) 降伏支持力は450T（図－3）としてもよいが必ずしも降伏点とはいえない。杭を支える地盤全体としては降伏現象は生じていない。



（図－3）荷重－沈下量（logP－logS）曲線

(iii) 沈下量が非常に小さい。850T載荷時でも15mm以下である。このようなかたい地盤では杭応力の測定が困難で、杭と地盤の夫々の弾性変形量を分離できなかったが、全沈下量に比べ塑性変形量が小さく、かなり弾性的な地盤といえる。

(iv) 長期載荷試験は短期載荷試験終了後、3日間放置した後、280Tの荷重で7日間載荷したが、載荷直後に約3mm沈下し、その後の沈下の進行は認められなかった。このことからも許容支持力300Tはまず問題のない値であることがわかった。

次に各種の杭打公式を検討する。φ800の杭先端がGL-18mの場合を例にとって示したのが表－2である。砂質土の場合は比較的よく当てはまるといわれているにも拘らず、各公式とも載荷試験で得られたRa＝300Tと比較すると相当過大な値を示し、杭々のエネルギー損失を考慮したHiley式でさえもかなり大きな値を与えている。表－2にも示したように式中で用いられている安全係数のとり方を工夫するのも1つの方法かと思われる。

また静力学的公式としてよく用いられるMeyerhof式によると表－3のようになり、やはりかなり過大な値を与える。

公式の種別	極限支持力 Rd	式に与えられた安全係数 F	許容支持力 Ra	Ra＝300Tとした時の安全係数
Hiley 式	1670T	2.5	670T	5.6
Redtenbacher(Terzaghi)式	1145	2.5	460	3.8
Weisbach 式	2045	5	408	6.8
Engineering News 式	8700	6	1445	29.0
Modified Engineering News 式	8520	6	1420	28.5
Sander(Merriman) 式	16050	8	2010	53.5
日本建築学会式	1255	3	420	4.2

表－2　（杭打公式による）

杭種	先端支持力	マサツ支持力	許容支持力
φ800	568T	184T	752T
φ1000	790T	229T	1019T

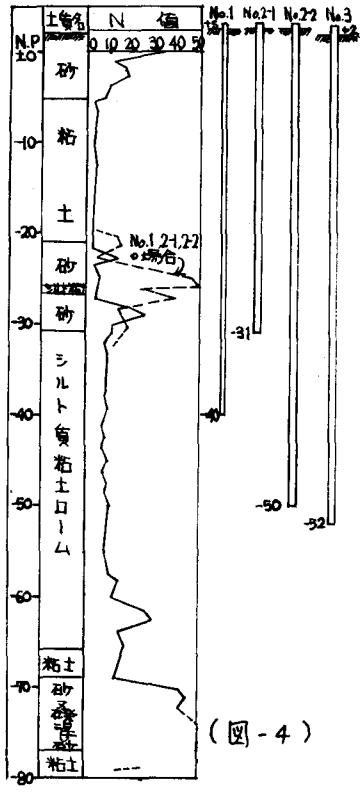
表－3　（Meyerhof式による）

表－3によると支持力のうちでマサツ支持力の割合は約1/4しかないが、前述の如く実際には逆の関係になる筈で、当地盤のような締った砂層ではこの公式をそのまゝ適用するのは不適当といえる。

以上述べてきたように、このような地盤での杭の支持力は先端支持力よりもむしろ周面マサツ力から推定すべきであろう。この例の場合、もし杭全長に均等にマサツカが働くものとし、先端支持力を無すれば約19$^{T}/m^{2}$の周面マサツカが働いていたことになる。また杭打公式については現状では施工管理的な利用に限るべきであろう。

3. かたい洪積粘土層中のマサツ杭について

鋼管直杭式桟橋の設計に際し、その支持層が-60～-70^{m}までないため、その上にある約30^{m}の層厚の洪積粘土層（N値10～15）中に完全なマサツ杭として支持させることになった。この場合、洪積粘土の杭周マサツカ（付着力）がどれだけ期待できるかが問題になった。洪積粘土のqu は一般に相当大きく、この場合も2.0～5.0$^{kg}/_{cm^{2}}$であり、このような粘性土に対する付着力については何ら決め手がないのが実情のようである。既往のデーターや研究により港湾構造物設計基準では付着力の最大値を3.5$^{T}/m^{2}$としているが、これらは全て沖積粘土を対象としたもので、これを適用するのはあまりにも不経済である。そこで載荷試験により実測し、あまり例のない洪積粘土中のマサツ杭の支持力特性を調べることにした。



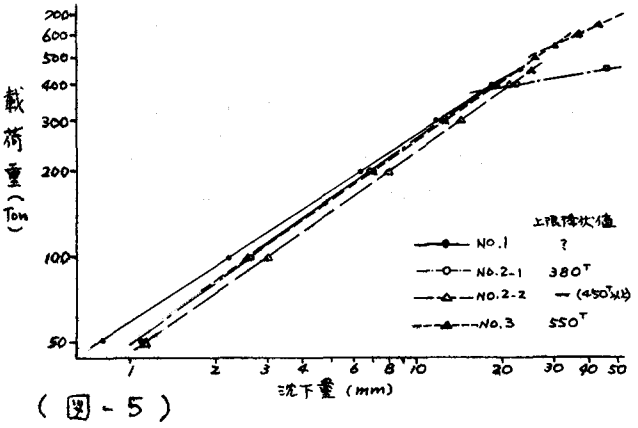
（図－4）

載荷試験は図－4に示す地層で3本の試験杭（φ812.8 t=9.5）により4回に分けて実施した。No.1杭は設計当初推定した深さのもの。No.2杭は中間砂層までの支持力を求めるものと、洪積粘土中の杭応力を充分測れるように根入れを深くしたもの（No.1杭では洪積粘土部分に伝達される軸力が小さく、また測点も不足した）この2段に分けて行った。No.3杭はNo.2杭の2段目と同目的で、さらに長期載荷によるクリープ特性を検討した。

当地盤の土質試験結果の概要を示すと

	沖積粘土層	洪積粘土層
自然含水比	60～80 %	50～60 %
単位体積重量	1.55 $^{T}/_{m^{3}}$	1.7～1.75 $^{T}/_{m^{3}}$
間ゲキ比	2.0	1.7～1.3
一軸圧縮強度	0.35～0.5 $^{kg}/_{cm^{2}}$	2.0～5.0 $^{kg}/_{cm^{2}}$ (平均3.5 $^{kg}/_{cm^{2}}$)

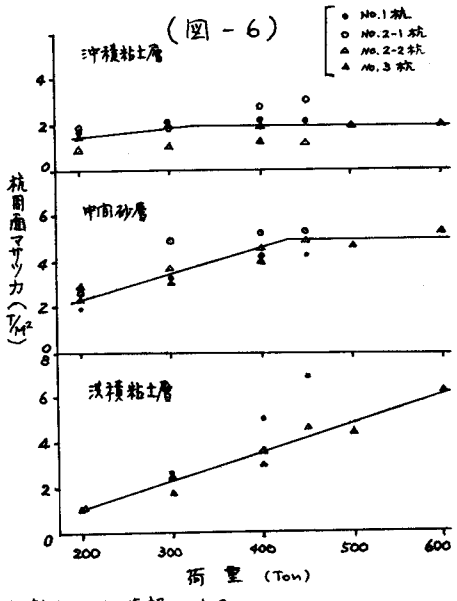
載荷試験は一定荷重を等時間で載荷する急速載荷で行い図－5の結果を得た。同時にワイヤーストレンゲージにより杭応力の測定も行った。これらの結果のうちNo.1とNo.2-2は載荷架構の不備や杭頭



（図－5）

応力が大きくなりすぎたりで充分な載荷重に至らず、明らかな上限降伏値は求められなかった。No.2-1は中間砂層迄の支持力として上限降伏値380^{T}、No.3は洪積粘土層も含めて上限降伏値550^{T}を得た。一方杭応力の分布から各層毎の軸力分担量を求め、各層毎の平均付着力を求めた(図-6)これは杭頭載荷重とその時作用していた付着力の関係を示すもので、沖積粘土層と中間砂層にみられるように荷重が増加しても付着力が一定になるところがみられるが、この附近でこれらの層の付着力が降伏したと解釈でき、前述の降伏支持力とよく合致する。洪積粘土層では荷重に比例して付着力は増加していて、このデーターからは折点は見出せない。しかし降伏点は荷重と変位の関係から求められるもので、前述のように550^{T}附近が降伏点と考えられる。これは洪積粘土層の変位をとり出してその付着力との関係を求めても確認できる。

(図-6)



このようにして各層の付着力、とりわけ平均粘着力C≒17.5T/m²程度のかたい洪積粘土の付着力が、C_a=5.5~6.0T/m²であることがわかった。なお600^{T}載荷時の杭先端の軸力は36^{T}にすぎなかった。

また長期載荷試験はNo.3杭で実施し、許容支持力又は降伏支持力附近として300^{T}, 500^{T}の2段階を選び、夫々72時間の載荷を行った。300^{T}では沈下の進行は認められず、500^{T}では時間と共に僅々に少なくなる傾向がみられ、また降伏点に達していないことが確認された。(全沈下量は26mm)

4. 結語

かたい砂層における杭の支持力は、大抵の場合先端支持力の計算をすれば充分な値となるので、周面マサツ力の方は軽視し勝ちであるが、実際には逆に周面マサツ力に重点をおいて決定する必要があることを述べた。ここで示した周面マサツ力1T/m²(N≒50の砂層の場合)は多少乱暴な数字ではあるが、設計時の目安にはなるであろう。

一方、かたい洪積粘土層の杭周面マサツ力(付着力)については、土質試験から得られる粘着力が一般に大きいだけに見当がつかないのが実情である。そこで洪積粘土層中の長いマサツ杭から実測した結果、付着力C_a=5.5~6.0T/m²(C≒17.5T/m²の洪積粘土の場合)の値をえた。

上記2例は特殊な例といえるが、特に後者は港湾施設がますます地盤条件の悪い所に建設される傾向にあるだけに、いくらかでも参考になれば幸いである。最後ではあるがこれらの試験の計画、実施に御協力下さった関係各位に心から感謝いたします。