

オープンケーソン工法における摩擦抵抗低減効果の判定事例

宮崎大学工学部 正員 藤本 康

学生・長友重恵

西 和弘

1. まえがき

最近、橋脚基礎にオープンケーソン工法を採用する場合に、その周辺摩擦抵抗の低減策としていわゆる粒状滑材を利用する事例がみられるようになってきた。この粒状滑材は、当初、下水管等の比較的小口径管敷設時の推進効率を高める目的で開発されたもので、特に砂質土地盤で効果的であるとされ、その有効性はすでに砂と滑材の混合試料を用いた室内実験や現場の工事で実証されている。しかし、オープンケーソン工法の場合には、大断面であることや土層の変化が下水管等の敷設時に比較して激しいことなどのため採用事例が少なく、滑材使用の有効性に関する資料の蓄積はまだ十分ではない。特に粘性土層についてのデータは皆無に近い。ところで、最近、図-1に示すような橋脚のオープンケーソン工事に関与する機会があったのでその粘性土層に対する滑材による摩擦抵抗低減効果判定のために行った基礎的実験の結果を本文で報告する。

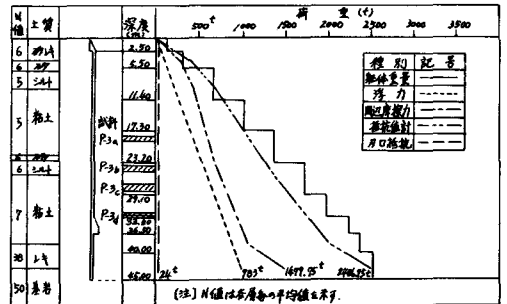


図-1. P3オープンケーソンの地下管埋図

2. 地盤の土質工学的特性と実験方法

(1) 地盤の土質工学的特性

対象地盤の土質柱状図は図-1に示したとおりで、支持層までのN値が5~7の粘性土層から、図に示した深度の不攪乱試料4種(P3a~d)を採取した。それら試料の土質工学的性質を表-1に示す。これらの試料はいずれも過圧比が1.7~2.9の過圧無粘土であった。

(2) 実験方法

実験は次のシリーズで行った。①テスト-A: 各試料の排水直接せん断試験、②テスト-B: 粘土とコンクリート面との間の排水直接せん断試験、これにはせん断面が粘土供試体(厚さ5mm)と同一直径(60mm)のコンクリート円板(厚さ5mm)との接触面になるように供試体とコンクリート円板を試験機にセットした。③テスト-C: テストBで粘土供試体とコンクリート円板との接触面に一定濃度の粒状滑材を塗布した場合の排水直接せん断試験。せん断試験機はいずれも改良型一面せん断試験機である。せん断は、ケーソン側面に作用する土圧を考慮して、すべて直応力 $\sigma = 0.4, 0.8, 1.5, 2.3 \text{ kg/cm}^2$ の正規圧負荷域内という条件下で行った。

3. 実験結果と考察

(1) 応力・変形関係: 図-2, 3及び4に代表例として試料P3cの各テストシリーズによる応力・変位関係を示す。これらによると、テスト-B及び-Cではピーク応力の出現がテスト-Aに比較して急激で、ピーク時の変位量はテストAの $\frac{1}{4}$ ~ $\frac{1}{2}$ となっている。垂直変位はテスト-Cがテスト-A及び-Bの場合に比較して極端に小さくなっている。

表-1 試料土の土質試験結果

試料番号	P3a	P3b	P3c	P3d
深 度	10.0~12.5	12.5~15.0	15.0~17.5	17.5~20.0
粒 径	0.075mm %	0	0	0
砂 分 %	10.8	2.5	3.6	0.7
シルト分 %	76.2	68.5	61.9	61.3
粘土分 %	13.0	29.0	34.5	38.0
含水率 %	33.1	36.8	36.2	42.2
液性指数	25.8	20.3	22.5	23.6
塑性指数	9.3	16.5	13.9	16.8
日本統一液限 (CL)	2.16	2.67	2.82	2.67
自然含水率 %	40.6	31.6	39.5	42.3
液 限 %	1.739	1.732	1.853	1.811
塑 性 指 数 %	1.10	0.82	1.12	1.10
圧 縮 係 数	76.3	100.0	79.0	100.0
圧 縮 係 数	0	0.24	0.29	0.26
圧 縮 係 数	35.0	21.5	19.5	27.5
圧 縮 係 数	4.0	3.9	4.2	4.8
圧 縮 係 数	2.88	1.75	1.76	1.78
圧 縮 係 数	0.399	0.307	0.407	0.442

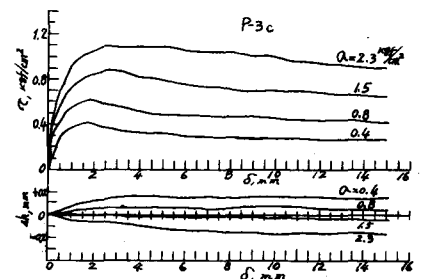


図-2. 試料P3cのせん断応力・変位曲線

ピーク応力を越えた後の応力-変位関係は、滑材を塗布しない粘土とコンクリート接触面（テスト-B）が最も早く残留応力状態に落ち着き、定常的な摩擦抵抗を示すようになる。これに対して、滑材を塗布したテスト-Cでは、ピーク応力を越えて一旦応力が低下した後再び応力が緩やかに上昇し、終局的にはピーク応力と同等かあるいはそれ以上の抵抗値にまで達して残留状態に到するという特殊な傾向を示している。ただし、この終局的な抵抗値はテスト-A及び-Bのピーク応力以上になることはない。以上のような傾向は他のすべての試料についても同様に認められている。

テスト-Cに現われた特殊な応力-変位関係は、せん断変位の進行に伴って試験機の構造上、滑材を塗布したコンクリート円板をせん断箱の不動部にセットしたためにせん断変位の進行に伴って塗布した滑材が上都可動部に損壊された状態になったことに起因するものと考えられる。現在、この現象は実物ケーソンの沈下速度資料と照合中である。

(2) せん断抵抗の低減率：図-5と図-6は試料P-3bとP-3cのテスト-A（試料粘土のピーク強度 T_p ）及びテスト-B（滑材を塗布しない試料粘土とコンクリート面との間のピークせん断抵抗 T_{pc} ）に対するテスト-C（滑材を塗布した場合の試料粘土とコンクリート面との間のピークせん断抵抗 T_{pci} ）の低減効果を示したものである。これらによると、① T_{pc} は T_p に対して、直応力 σ の小さい範囲で10～20%の低減を示しているが、 $\sigma > 1.5 \text{ kg/cm}^2$ になると逆に2～10%増大している。② T_{pci} は T_p に対して、20～50%低減し、低減率は σ が大きくなると若干低下する傾向をみせている。③実際の設計施工に必要な T_{pci} の T_{pc} に対する低減率は、②の低減率より僅かに低いが10～50%を示し、この場合も σ が大きくなると若干低下する傾向を示している。

(3) せん断抵抗成分の変動：表-2に各試料のピーク応力時と定常状態応力時のせん断抵抗成分、いわゆる強度定数（ C_d , ϕ_d 並びに C_{dr} , ϕ_{dr} ）の値をまとめて示した。これによると、テスト-Aとテスト-Bの（ C_d , ϕ_d ）並びに（ C_{dr} , ϕ_{dr} ）との間には特記すべき差は認められないが、滑材を塗布したテスト-Cにおいては C_d , C_{dr} 共にほとんどゼロになるという顕著な傾向が認められた。つまり、粘性土においては、滑材の使用によりせん断抵抗角も若干低減するが、粘着抵抗成分がゼロになるという結果が得られたことになる。

4. あとがき

従来、この種滑材は砂質土に対して効果的とされていたが、この実験により粘性土に対してもかなり有効であることが確認された。今後、3-(1)の応力-変位関係で認められたピーク応力を越えた後の変位の進行に伴うせん断抵抗の増大傾向を、実物ケーソンの沈下速度との関連から検討する必要がある。

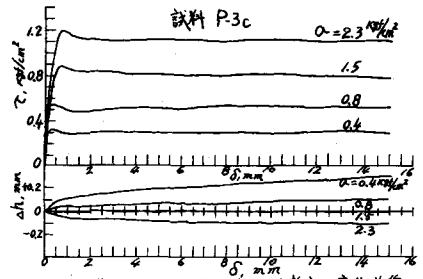


図-3. 粘土とコンクリート面とのせん断応力-変位曲線

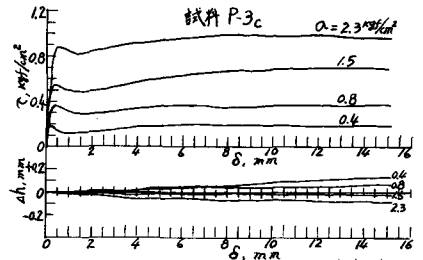


図-4. 粘土と滑材塗布コンクリート面とのせん断応力-変位曲線

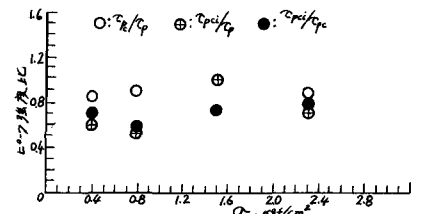


図-5. ピーク強度比と直応力との関係 (P-3b)

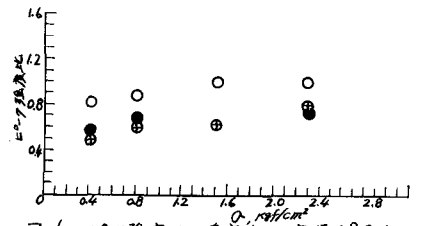


図-6. ピーク強度比と直応力との関係 (P-3c)

表-2. せん断抵抗成分(強度定数)

試料	A		B		C	
状態	C_d (kg/cm²)	ϕ_d (°)	C_d (kg/cm²)	ϕ_d (°)	C_d (kg/cm²)	ϕ_d (°)
試料 P-3a	0.	35.0	0.130	26.8	0.	27.5
試料 P-3b	0.240	21.5	0.230	19.0	0.120	17.0
試料 P-3c	0.240	27.5	0.	33.5	0.	17.3
試料 P-3d	0.290	19.5	0.190	24.8	0.	21.5
定常状態	C_{dr} (kg/cm²)	ϕ_{dr} (°)	C_{dr} (kg/cm²)	ϕ_{dr} (°)	C_{dr} (kg/cm²)	ϕ_{dr} (°)
試料 P-3a	0.	27.5	0.060	26.8	0.	28.3
試料 P-3b	0.100	20.0	0.180	20.0	0.	19.0
試料 P-3c	0.140	18.8	0.140	22.0	0.	19.0
試料 P-3d	0.	27.5	0.	30.0	0.	13.8