

摩擦試験による砂-杭材間の摩擦特性の検討  
(その2 試験結果と実杭の摩擦抵抗との対応)

正会員○小椋仁志\*  
同 山肩邦男\*\*  
同 伊藤淳志\*\*\*  
同 加藤史彦\*\*\*\*

1. 序 同名論文(その1)では、地盤と杭材との一連の摩擦試験<sup>4)~13)</sup>の結果をまとめて報告した。本文では、これらの試験結果と実際の杭の摩擦抵抗との対応関係について考察する。

2. 摩擦抵抗のピーク値の範囲 図1は、砂の相対密度 $D_r=80\%$ 、初期垂直圧 $\sigma_{n0}=1.0\text{kgf/cm}^2$ の時の摩擦抵抗のピーク値 $\tau_f$ を比べたものである。鋼板の表面粗さ $R_{max}$ が大きくなるほど、定圧条件と定体積条件の $\tau_f$ の差は大きくなっている。特に、 $R_{max}=100\mu\text{m}$ で湿潤砂の場合は顕著である。この図には、実杭の載荷試験で実測されたN値が10の場合の打込み杭(既製杭)と場所打ち杭の周面摩擦力の範囲<sup>17)~18)</sup>を併記した。N=10は、下平ら<sup>19)</sup>によるN値と砂の相対密度、上載圧の関係式(側方拘束条件の場合の式)に、 $D_r=80\%$ 、 $\sigma_{n0}=1.0\text{kgf/cm}^2$ を代入して得た値である。これから、既製杭に対応した $R_{max}=10\sim 20\mu\text{m}$ の試験値は、打込み杭の載荷試験での実測値の範囲内にあることが分かる。場所打ち杭に対応した $R_{max}\geq 100\mu\text{m}$ の場合は、定体積条件の湿潤砂での試験値のみが実測値よりも大きくなっている。

3. 摩擦抵抗のピーク値とN値との関係 摩擦試験の全ての $\tau_f$ の値と、推定N値との関係を図2に示す。推定N値は、摩擦試験において $\tau$ が $\tau_f$ に達した時の $D_r$ や $\sigma_n$ の値を、下平らの提案式<sup>19)</sup>に代入して求めた。同図より、 $R_{max}=10\sim 50\mu\text{m}$ の場合はほぼ $\tau_f=N/2(\text{tf/m}^2)$ の關係に、 $R_{max}\geq 100\mu\text{m}$ の場合はほぼ $\tau_f=N(\text{tf/m}^2)$ の關係に近似できることが分かる。文献<sup>17)</sup>の打込み杭の近似式 $\tau_f=N/3$ 、文献<sup>18)</sup>の場所打ち杭の近似式 $\tau_f=N/2$ と比べると、本試験結果は1.5~2倍大きいことになる。現場の実測値はひずみ計からの換算値であって精度の良いものではないこと、また、必ずしも摩擦抵抗の極限值に達した時の値ではないこと、一方、図2のN値は $D_r$ や $\sigma_n$ からの推定値であることなどを併せ考えると、今回の一連の摩擦試験で得られた測定値は、大まかな範囲において実杭の摩擦抵抗を説明し得るものと考えてよさそう。

4. 試験結果から見た杭周の状態 同名論文(その1)で述べた諸現象から杭周の摩擦抵抗の挙動について、以下に推論する。

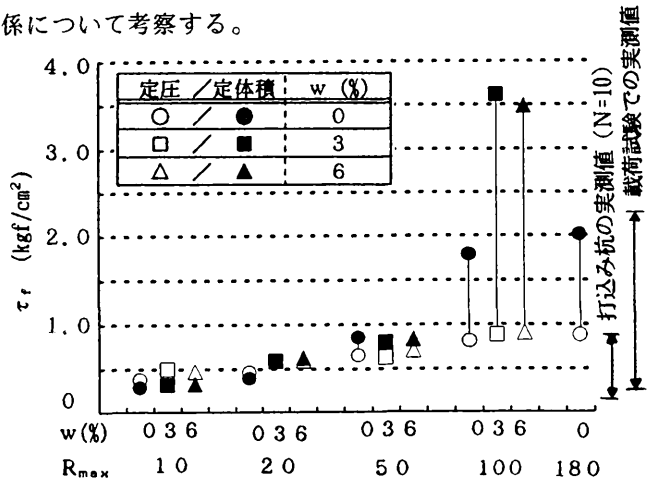


図1 ピーク値 $\tau_f$ の比較  
[ $D_r=80\%$ ,  $\sigma_{n0}=1.0\text{kgf/cm}^2$ ]

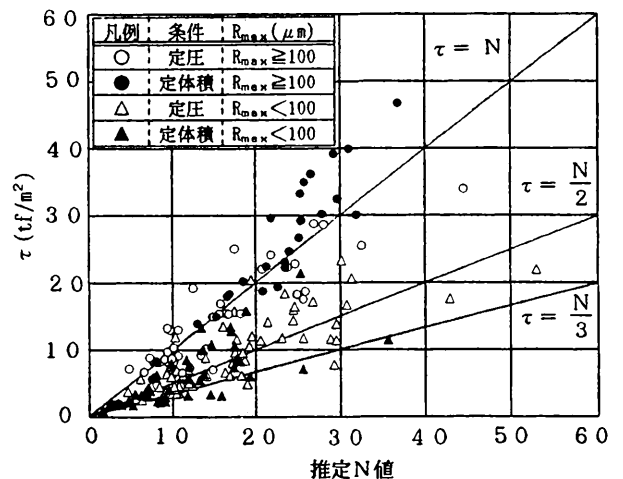


図2  $\tau$ -N値関係

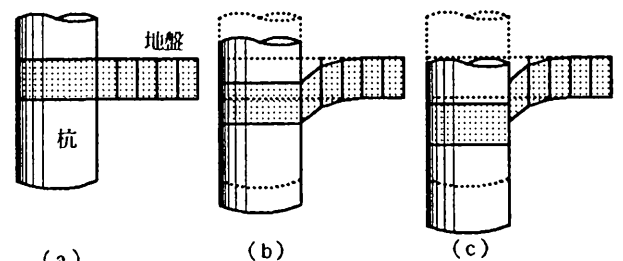


図3 すべりと地盤の変形

地盤の変形と杭周のすべり 摩擦試験では、 $\tau < \tau_i$ の範囲では砂のせん断変形が、 $\tau > \tau_i$ ではすべり変形量が卓越している。これらから、杭が鉛直荷重を受けた場合、杭の沈下量が小さい間は図3(b)のように地盤のせん断変形が卓越して進行する。摩擦抵抗が極限值に達すると、同図(c)のように杭体と地盤との間のすべりが進行する。

杭周のすべりの発生位置 摩擦試験では、 $R_{max} < 100 \mu m$ では $\tau_i / \sigma_n$ は $R_{max}$ の影響が大きく、 $R_{max} \geq 100 \mu m$ では $D_r$ の影響が大きくなっている。このことから、打込み杭( $R_{max} < 100 \mu m$ )では、すべりは杭体と地盤との間で生じ、摩擦抵抗はそれらの間の摩擦強度で決まる。これに対して、場所打ち杭( $R_{max} \geq 100 \mu m$ )では、すべりは地盤内で生じ、地盤のせん断強度が摩擦抵抗の極限值になるものと考えられる。

摩擦抵抗-沈下量関係 摩擦試験の結果では、 $D_r$ や $\sigma_{no}$ 、 $R_{max}$ が同じであっても、 $\tau$ は含水比 $w$ や拘束条件によって大きく変化する。一例として、図4(a)、(b)に $D_r=80\%$ 、 $\sigma_{no}=1.0 \text{ kgf/cm}^2$ のときの $\tau$ -せん断変形量 $S_d$ 関係を示す。(a)は $R_{max}=20 \mu m$ 、(b)は $R_{max}=100 \mu m$ の場合であり、それぞれ打込み杭と場所打ち杭に対応している。なお、 $w=6\%$ の試験結果は、3%の場合とほぼ一致しているので省略する。実際の杭が鉛直荷重を受けた時、杭周地盤の拘束条件は定圧条件

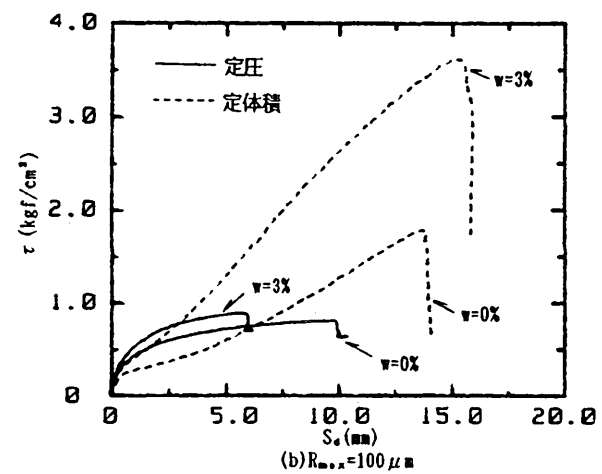
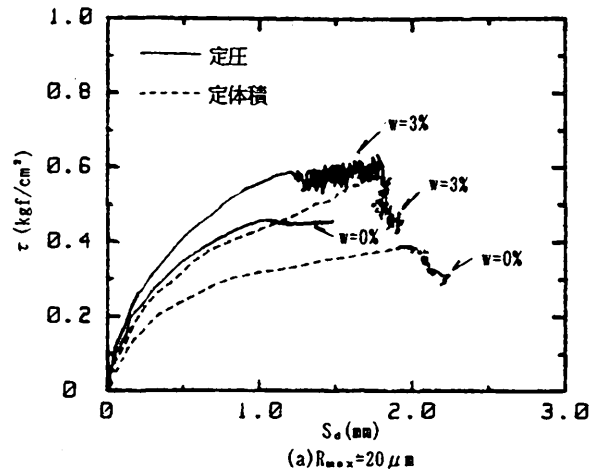


図4  $\tau$ - $S_d$ 関係

と定体積条件の間であって、沈下量の増大に伴って変化するものと考えられる。また、杭周地盤は多くの場合湿潤状態である。したがって、実際の地盤における $\tau$ - $S_d$ 関係は、図の曲線群の上限と下限の間にあるものと推測される。ただし、現状ではこの間のどこに位置するかを特定することはできない。

参考文献 1)山肩、伊藤、山田:鉛直荷重を受ける杭の摩擦~沈下関係式の近似解について、第24回土質工学会、pp1265~1268、1989 2)山肩、伊藤、大野:杭の鉛直荷重~沈下性状に関する解析法について、第25回土質工学会、pp1333~1334、1990 3)山肩、伊藤、大野、倉本:杭の繰返し鉛直載荷試験における荷重~沈下性状(その1)、(その2)、第26回土質工学会、pp1335~1338、1990 4)山肩、伊藤、小椋、山田、加藤:中型単純せん断試験機における砂の強度・変形特性、第24回土質工学会、pp519~520、1989 5)山肩、小椋、伊藤、加藤:中型単純せん断試験機を用いた砂~モルタル板間の摩擦試験、建築学会大会、pp1409~1410、1989 6)山肩、伊藤、小椋、加藤:中型単純せん断試験機を用いた砂~鋼板間の摩擦試験(その1 砂の密度と表面粗さの影響)、第25回土質工学会、pp709~710、1990 7)山肩、小椋、伊藤、加藤:砂~鋼板間の摩擦せん断試験結果に関する一検討、建築学会大会、pp1643~1644、1990 8,9)山肩、伊藤、小椋、加藤、小森:文献6)と同名(その2 定体積条件での試験結果)、(その3 定体積条件と定圧条件での試験結果の比較)、第26回土質工学会、pp717~720、1991 10)山肩、伊藤、小椋、加藤、小森:一方向繰返し載荷による砂~鋼板間の摩擦せん断試験、建築学会大会、pp1473~1474、1991 11,12)山肩、伊藤、小椋、加藤、小森:文献6)と同名(その4 湿潤砂の単調摩擦せん断試験)、(その5 繰返し荷重をうける定体積条件での試験結果)、第27回土質工学会、pp1499~1502、1992 13)山肩、伊藤、小椋、加藤:文献6)と同名(その6 定体積条件での湿潤砂の摩擦せん断試験)、第28回土質工学会、1993 14)Potyondy, J.G.: Skin Friction between Various Soils and Construction Materials, Geotechnique, Vol. 11, No. 4, pp339~353, 1961 15)岸田隆夫:砂~金属面間の摩擦抵抗に関する基礎的研究、東京工業大学学位論文、1979 16)上杉守道:Friction Between Dry Sand and Construction Materials, 東京工業大学学位論文、1987 17)日本建築学会:建築基礎構造設計指針、pp228、技報堂、1988 18)土質工学会:杭基礎の低騒音・低振動施工法と支持力、pp332、1986 19)下平、山肩、伊藤、南坂:砂地盤における標準貫入試験の結果に関する考察、第21回土質工学会、pp27~30、1986

\* (株)ジオトップ・工博 \*\* 関西大学教授・工博 \*\*\* 関西大学専任講師・工博 \*\*\*\* (株)鴻池組技術研究所・工修