

カーボネイト砂中の杭の周面摩擦力とその評価

九州共立大学 正 ○田中邦博
九州大学 正 安福規之
山口大学 正 村田秀一 兵動正幸
山口大学 学 辻 昭人 桑嶋啓治

1. まえがき 圧縮性の卓越したカーボネイト系の砂と比較的堅いシリカ系の砂の深い基礎を同一レベルで評価できる設計手法の確立を目的とし、著者らは、異なった応力条件下で行った小さな模型杭の載荷実験結果をもとに、試料の圧縮性を考慮した杭の先端支持力評価手法を提案した¹⁾。本研究は、周面摩擦力についても試料の力学特性の違いを踏まえた評価の可能性を実験的立場から検討したものである。

2. 実験概要 実験概要の詳細は文献²⁾に示す通りであるが、概述すると試料はDogs Bay砂とチイビシ砂(両者ともカーボネイト系の砂)及び豊浦砂(シリカ系の砂)の3種類で、気乾状態で用いた。また、応力状態 $K(=\sigma_h/\sigma_v)$ は0.5, 1.0, 2.0(上載圧 σ_v は50~500kPa、側圧 σ_h は50~500kPaの範囲で組合わせた)の3種類で、その時の相対密度 Dr は50%と90%の2種類である(以下では Dr が90%の場合を例に報告する)。

3. 用いた試料の摩擦特性 土と杭材の摩擦挙動を把握するため簡便性を重視した張らの報告³⁾を基に、改良型一面せん断試験機を用いて砂と杭材間の摩擦力の測定(50~400kPaの5段階の鉛直圧 σ_n を多段式で載荷し、ひずみ速度 2.5×10^{-3} mm/sec一定のひずみ制御方式)を行った。図-1は、砂と杭材の摩擦力(せん断応力) τ と水平変位 S の関係を σ_n の違いに着目して示したものである。(a), (b)にはDogs Bay砂及びチイビシ砂の結果が、(c)には豊浦砂の結果が示されている。図-2は、図-1で得られた摩擦力のピーク値を最大摩擦力 τ_{max} と定め、正規化した摩擦係数 $\mu(=\tau_{max}/\sigma_n)$ から求めた有効摩擦角 $\delta'(=\tan^{-1}\mu)$ と σ_n の関係を試料の違いに着目して示したものである。Dogs Bay砂の場合、 δ' は σ_n の増加とともに減少し、このような応力レベルでも応力依存性を示すことがわかる。一方、チイビシ砂と豊浦砂は多少のばらつきはあるものの、 σ_n の変化に因らずほぼ一定の値を示している。図-3は、模型載荷実験における周面摩擦力-沈下量曲線のピーク時で規定される最大周面摩擦力 F_{smax} と σ_h の関係を K の違いに着目して示したものである。 F_{smax} の発現の仕方には明確な σ_h 依存性が見られる。しかし、その発現パターンは試料によって異なり、Dogs Bay砂は上に凸の曲線を示し、チイビシ砂及び豊浦砂は対象とする応力域においてはほぼ直線的である。図-4は、杭材の表面が滑らかで、すべり破壊が試料と杭材の境界面で発生したと仮定した場合の実測の摩擦係数 $\mu_h(=F_{smax}/\sigma_h)$ 及び μ_h に基づいた摩擦角 $\delta_h(=\tan^{-1}\mu_h)$ と μ_h の関係を、 K をパラメーターにまとめたものである。Dogs Bay砂の場合、 μ_h は σ_h の増加とともに非線形的に低下し、その値はおおよそ0.2~0.4(δ_h は11~22度)の範囲にある。また、チイビシ砂及び豊浦砂の場合は、対象とする応力域において σ_h の変化によらずほぼ直線的で、その値はチイビシ砂がおおよそ0.23(δ_h は12度)、豊浦砂がおおよそ0.25(δ_h は14度)である。以上のことは図-3の場合と同様に Dr の変化に関係なく言える。また、このような傾向は前述の一面せん断試験に示された結果と良い対応を示しており、試料と杭材間の摩擦力の測定に改良型一面せん断試験機を用いることの有意性を示唆している。

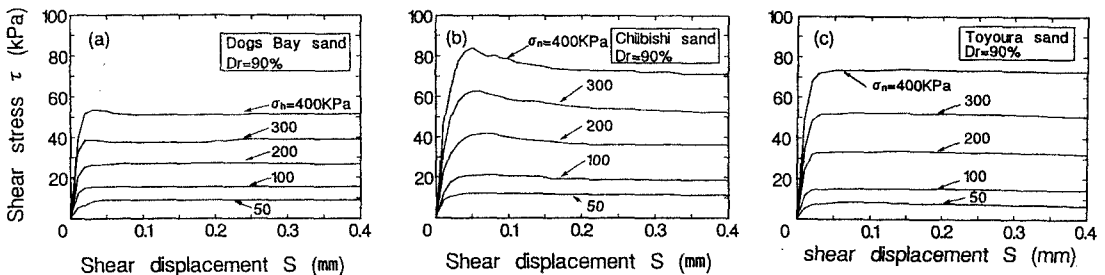


図-1 砂と杭材の摩擦力と水平変位の関係
(a)Dogs Bay砂 (b)チイビシ砂 (c)豊浦砂

4. 摩擦特性を考慮した杭の周面摩擦力の評価

周面摩擦力の評価に試料の摩擦特性の違いを取り入れる試みとして図-5を考へる。図-5は、一面せん断試験機を用いて得られた μ と模型杭載荷実験で得られた μ_h の関係をまとめている。二つの摩擦係数を比較すると、相対的には μ_h の方が大きく、二つの摩擦係数の比を $\beta (= \mu / \mu_h)$ なる係数で示すと、その値は、チイビシ砂の場合は0.76-1.31、Dogs Bay砂の場合は0.49-0.78の範囲に、豊浦砂の場合は0.50-0.76の範囲にある。この結果を踏まえ、最大周面摩擦力を μ 、それと μ_h との比 β 、三軸圧縮試験で得られた内部摩擦角 ϕ_{ch} 及び σ_v により関係づけると次のようになる。

$$F_{smax} = \beta \mu \sigma_h = \beta \mu K \sigma_v = \beta \mu (1 - \sin \phi_{ch}) \sigma_v \quad (1)$$

ここで、 β は平均的な値を用いると、チイビシ砂の場合は0.81、Dogs Bay砂の場合は0.52、豊浦砂は0.68となる。この様な考え方を用いることにより、周面摩擦力の発現に非線形性を取り入れた周面摩擦力の評価手法を提案することが可能となる。

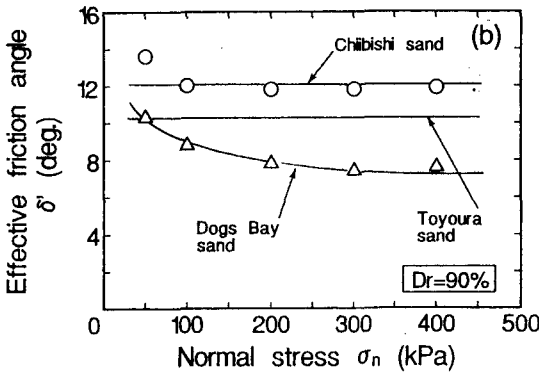


図-2 有効摩擦角と鉛直圧の関係

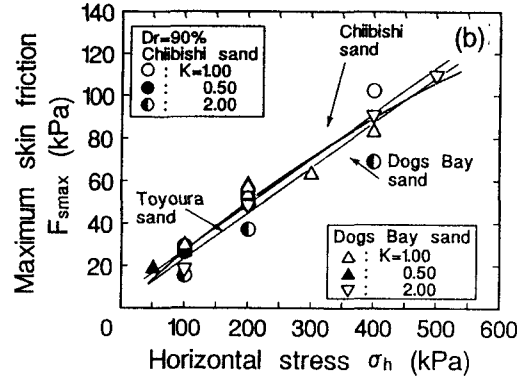


図-3 最大周面摩擦応力と側方圧力関係

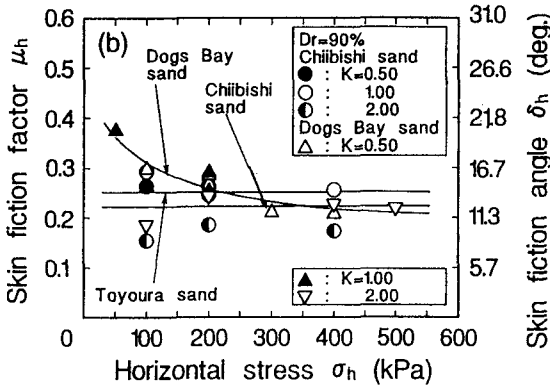


図-4 摩擦係数及び摩擦角と側方圧力の関係

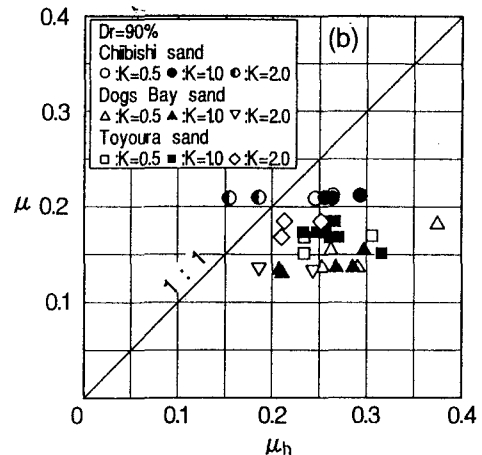


図-5 摩擦係数の相互関係

- 参考文献**
- 1) 安福他: 圧縮性の卓越した砂中の杭の先端支持力とその評価, 土木学会論文報告集, 第505号, III-29, 1994.
 - 2) 田中他: カーボネイト砂の力学特性とその砂中の杭の周面摩擦力特性, 土木学会論文報告集投稿中.
 - 3) 張他: 模型杭に作用する負の摩擦力と測定法に関する実験的研究, 土質工学会論文報告集, Vol. 22, No.4, 1982.