

水噴射型貫入装置の基礎的研究

Fundamental Study on Water-Jet Type Penetrator

浦 環*・小林 敬幸*・高橋 幸伯*
Tamaki URA, Hiroyuki KOBAYASHI and Yukinori TAKAHASHI

1. はじめに

最近の海洋工学の発達にともなう係留システムの進歩により、これまでの船用アンカーと異なって、鉛直に貫入でき、また、上方に引き抜く力に対して抵抗するアンカーの開発が望まれている。そういったアンカーの埋設法の一つとして、飽和砂の液状化を利用する方法が考えられる。たとえば、パイプの先端から水を噴射させて海底に貫入させると、噴出流の圧力によって海底土が液状化を起し、このパイプを小さな力で貫入させることができる(図1)。貫入させたのちに噴出する水を止めれば、それまで液状化していた海底土が元の状態に戻る。この現象を利用して、爪型のアンカーのように水平に引くことなくアンカーを海底に貫入でき、鉛直方向の引き抜きに対しても抵抗するアンカーの開発が可能である。

そこで本研究では、このような水噴射型貫入装置の貫入時に生ずる海底土の液状化領域に着目し、供給水頭と貫入抵抗との関係を実験によって検討する。また、透水理論に基づいて、液状化領域を推定し、実験との比較・検討を行う。

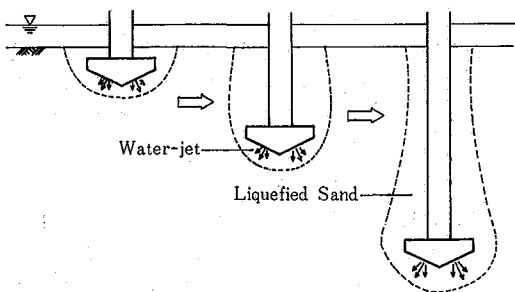


図1 水噴射型貫入装置の貫入

2. 水噴射型貫入装置による実験

2.1 実験装置

直径 50 cm, 深さ 60 cm の土槽に豊浦標準砂を入れ、上部に水噴射型の貫入装置を取りつけた(図2)。噴射口での水頭を一定に保ち、定速で貫入させ、貫入抵抗と砂中の過剰間隙水圧を計測した。

噴射口での水頭 H_0 は 0~100 cm, 貫入速度 V は 1.0~4.5 cm/s に変化させている。貫入装置の先端形状は図3, 図6中に示す2種類である。図3中のものは、外径 15 mm, 内径 13 mm の円筒である。図6中の円錐型の貫入先端形状は、直径 50 mm, 頂角 120° で、噴射口は斜面と直交した8個の5 mmφの孔である。それに続く上部のパイプは図3のものと同じである。

2.2 円筒型の貫入端による実験

図3に円筒型の貫入端を砂中に貫入させたときの貫入抵抗を示す。(a)は水を噴射しない場合、(b)は先端で

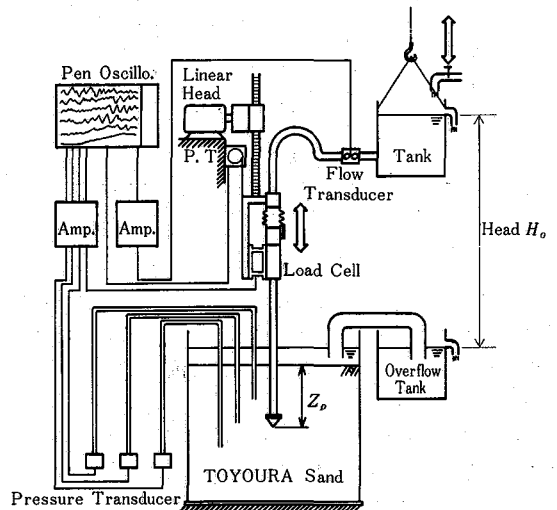


図2 実験装置の概略

* 東京大学生産技術研究所 第2部

研究速報

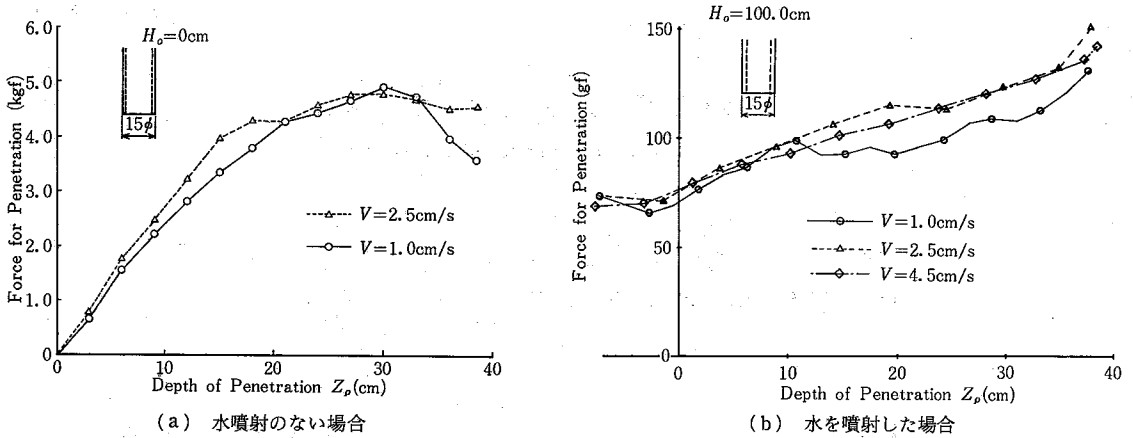


図3 貫入量と貫入抵抗との関係

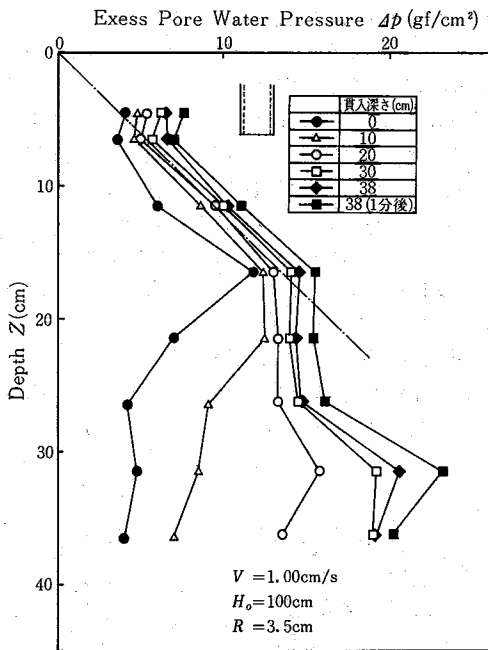


図4 過剰間隙水圧分布の変化

水頭 $H_0=100\text{cm}$ の圧力で水を噴射した場合である。水を噴射させて砂を液状化することにより、貫入抵抗が激減することが示されている。変位 0cm の場合の抵抗は、噴射する水の反力であり、この力が抵抗のかなり大きな割合を占めている。

図4は、水頭 $H_0=100\text{cm}$ 、貫入速度 $V=1.0\text{cm/s}$ のとき、中心から 3.5cm 離れた点での過剰間隙水圧 Δp の深さ方向の分布を、貫入深さ z_p にしたがって示している。図中の一点鎖線は、初期状態の砂の有効直応力 $\sigma'_v=$

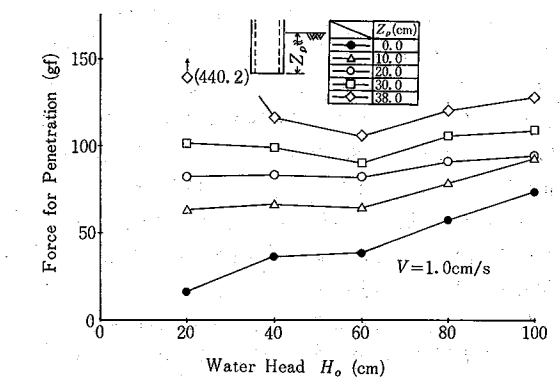


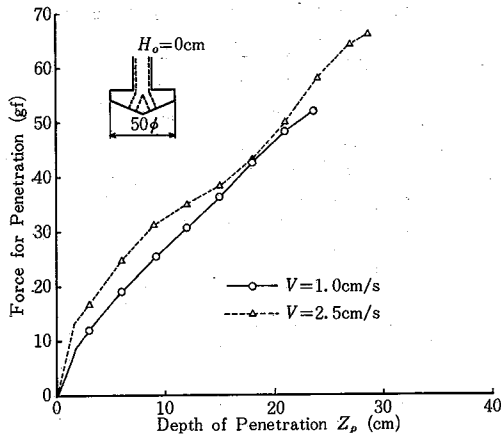
図5 先端水頭に対する貫入抵抗

$\gamma \cdot z$ である。ここで、 γ は砂の浮力を除いた見かけの比重量である。 Δp は、 σ'_v を越えないことがわかる。これは、砂が液状化したためであると考えられる。

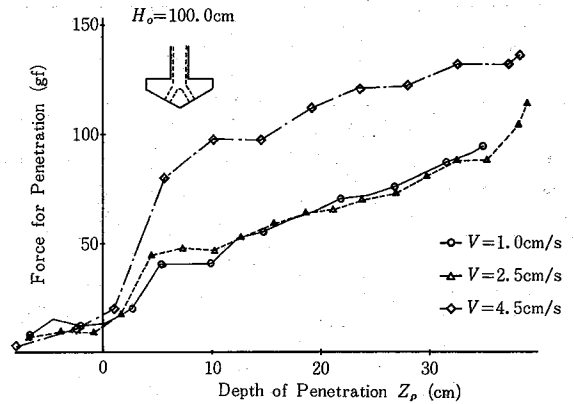
噴射口での水頭 H_0 を変えた場合の貫入抵抗を図5に示す。貫入深さ $z_p=10\sim 30\text{cm}$ の範囲では、貫入抵抗に対する H_0 の影響は少ない。 $H_0=20\text{cm}$ の場合 z_p が 30cm を越えると抵抗は急激に増加する。砂中の深い位置では、 H_0 が有効応力 σ'_v に対して相対的に小さくなるため、液状化が起こらず、したがって、貫入抵抗が増加するものと考えられる。

2.3 円錐型の貫入端による実験

貫入端の形状が円錐型の場合の、貫入深さと貫入抵抗の関係を図6-(a)、(b)に示す。図7は、 20cm 貫入した時点での H_0 と貫入抵抗との関係で、貫入速度 V を変えてある。貫入抵抗は、 H_0 が小さく V が速い場合に大きな値となる。これは、先端形状に見合うだけの液状化領域が作られないためであると考えられる。 V が速い場



(a) 水噴射のない場合



(b) 水を噴射した場合

図6 円錐型の貫入端による貫入抵抗

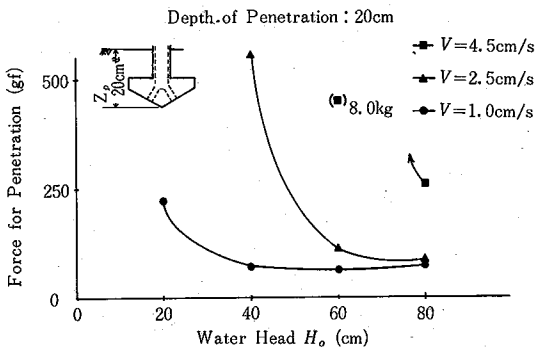


図7 先端水頭に対する貫入抵抗, 円錐型の場合

合には、液状化領域の広がる速度が遅いので、貫入抵抗が増加したと思われる。

3. 液状化領域の推定

3.1 数値計算法

液状化領域を推定するため、透水理論に基づいて、有限要素法による数値解析を行った。基礎方程式は、貫入速度の影響を無視し、定常状態と考え、透水理論によって、間隙水の水頭 h を未知量として、

$$k \nabla^2 h = 0 \quad (1)$$

となる。ここで、 k は透水係数である。上式を適当な境界条件のもとで解き、過剰間隙水圧 Δp を、

$$\Delta p = \gamma_w \cdot \Delta h \quad (2)$$

によって求め、後述する液状化条件により液状化領域を求めた。

3.2 液状化領域

液状化による応力の再配分がないものとして、次に定義される有効応力の1次の不変量

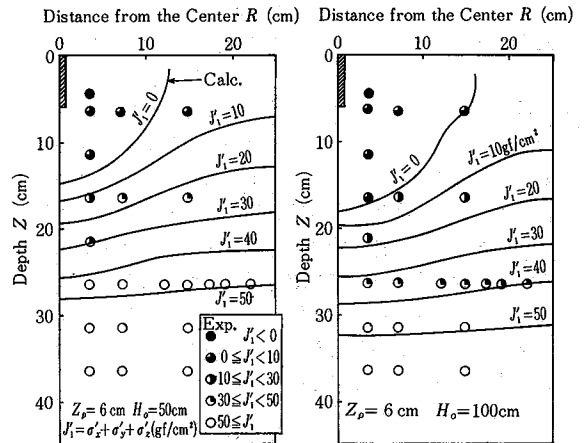


図8 J_1 の分布, 貫入量 6 cm の場合

$$J_1 = (2K_0 + 1) \gamma' z - 3 \Delta p \quad (3)$$

がゼロになると液状化すると判定される。ここで、 K_0 は静止土圧係数である。

3.3 解析例

液状化領域内では、浸透流の影響により砂構造が緩み、透水性が増大する。したがって、計算においては液状化領域中の透水係数は、実験により求めた値 $k=2.65$ cm/s を用いた。なお、非液状化領域中の透水係数は、豊浦砂の場合、定水位透水試験により $k=0.025$ cm/s である。また、 $K_0=1.0$ としている。

以下に、実験で用いた円筒型の貫入端についての解析結果を示す。図8は、貫入端が比較的上部の深さ 6 cm の位置にある場合、図9は、深さ 24 cm の場合の J_1 の分布で、それぞれ $H_0=50$ cm, 100 cm の2通りの解析結果と実験結果の比較である。これより、本解析法による解は、

研究速報

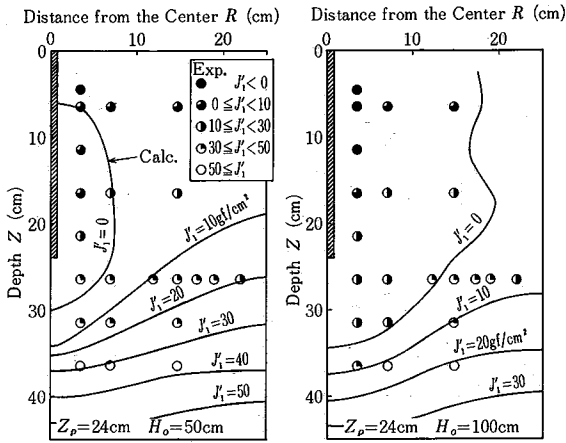


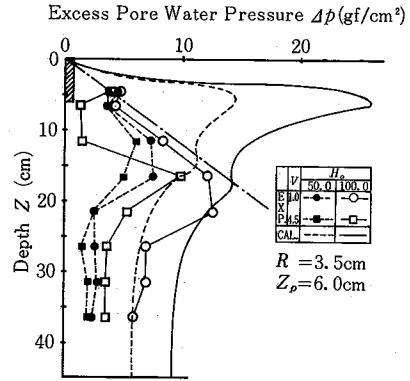
図9 J_1 の分布図, 貫入量 24 cm の場合

定量的には問題があるが, 定性的にはある程度現象を説明していると考えられる。また, 過剰間隙水圧の分布を図10-(a), (b)に示す。実験値は貫入速度の異なるもの2種を示す。

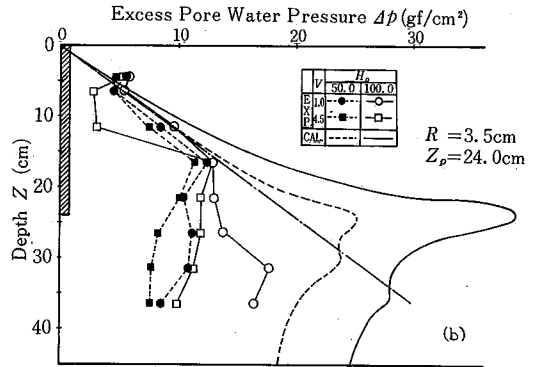
過剰間隙水圧の計算値は大きめの値を与えている。また, 液状化領域内では, 初期の有効直応力を越える結果となっている。これは, 液状化領域内では, 透水性の増大によって水が多量に上方に流れ, それと同時に砂粒子も上方へ押し流され, 砂層が大きく変形し, そのため, 実際には液状化領域内の間隙水圧が解析結果のように上昇しないことによる。本解析法では, 透水性の増大のみを考慮し, 砂粒子の運動を無視しているため, 液状化領域を過大に評価する結果となった。

4. ま と め

本研究によって, 水を噴射させ液状化領域を作りながら貫入させることは, 貫入抵抗を減少させる手段として有効であることが示された。透水理論に基づいた本解析法は, 現象をきわめて単純化したことを考慮すれば, 実



(a) 貫入深さ 6 cm



(b) 貫入深さ 24 cm

図10 過剰間隙水圧分布の計算値と実験値の比較

験結果をある程度説明していると考えられる。しかし, 液状化した領域中での水と砂の運動を無視しているため, 定量的には問題が残っており, この点は今後の課題であるとする。 (1984年3月24日受理)

参 考 文 献

- 1) 小林敬幸: “海底土の液状化を利用した水噴射型貫入装置の基礎的研究”, 東京大学修士論文, 1984