

III-B253 遠心模型実験による深い円形立坑に対する水平地盤反力についての検討

西松建設技術研究所 正会員 萩原 敏行
西松建設土木設計部 正会員 藤井 利侑

西松建設技術研究所 正会員 今村 真一郎
西松建設技術研究所 正会員 野本 寿

1. まえがき

筆者らは、乾燥砂中の深い円形立坑に作用する土圧と周辺地盤の変形挙動を明らかにすることを目的として、遠心模型実験と弾塑性有限要素解析により一連の研究を実施している^{1), 2)}。本報文では、遠心模型実験結果に基づいて、深い円形立坑に対する水平方向地盤反力係数の検討を行った結果について以下に報告する。

2. 遠心模型実験の概要

遠心模型実験に使用した立坑模型実験装置は、図-1に示す通りである。実験装置の詳細については別報²⁾を参照されたい。実験には、気乾状態の豊浦標準砂 ($G_s = 2.63$, $D_{50} = 0.18 \text{ mm}$, $e_{\max} = 0.961$, $e_{\min} = 0.593$) を試料として用いた。

深い円形立坑に対する水平方向の地盤反力係数を求めるために、以下のような手順で実験を実施した。まず、重力場で試料容器内に、二つ割れの立坑模型を設置し、気乾状態の試料を用いて空中落下法により、相対密度70%程度となるよう模型地盤を作成した。遠心加速度を 589 m/s^2 (60g) まで徐々に加速し、静止土圧を計測した。その後、モーターを駆動させ、立坑可動部を 0.75 mm/min の速度で上下平行に主働方向に 0.125 mm 水平変位させた。引続き、静止状態まで戻し、今度は受働方向へ 0.125 mm 変位させた。再度静止状態まで戻し、これを1サイクルとして計5サイクル繰り返した(図-2)。今回設定した半サイクルの全変位 (0.25 mm) は、試料の平均粒径の2倍以内となるように設定した。このため、立坑に繰り返し変形を付与したことによる模型地盤の変形は少なく、地盤は弾性域に近い状態を保持しているものと判断した。

3. 実験結果および考察

図-3は、立坑壁面での深さ方向2地点における繰り返しによる水平土圧の変化をまとめたものである。また、図-4は、模型地盤中に設置した土圧計の応答結果である。図-3の立坑壁面の計測結果は、浅い位置において1サイクルの中でややヒステリシスが見られるが、これは、立坑壁面と地盤との間の壁面摩擦が起因していると予想される。一方、立坑周辺地盤内の結果(図-4)からは、主働・受働側の区別なく、地盤はほぼ弾性的な応答を示していることが認められる。

これらの結果より、各深さについて最小自乗法により勾配を求め、水平方向の地盤反力係数 (K_h) を推定してみた。図-5は、このようにして求めた K_h を、深さ方向の分布として整理したものである。

建築基礎構造設計指針⁴⁾では、地盤調査結果に基づいて杭の水平地盤反力係数として次式を規定している。

$$K_h = 0.8 \cdot \alpha \cdot E_0 \cdot B^{-3/4} \quad \dots \dots \dots (1)$$

ここで、 α : 定数 (= 4)

立坑・水平地盤反力・土圧・模型実験

〒242-8520 神奈川県大和市下鶴間2570-4 TEL 0462-75-1135 FAX 0462-75-6796

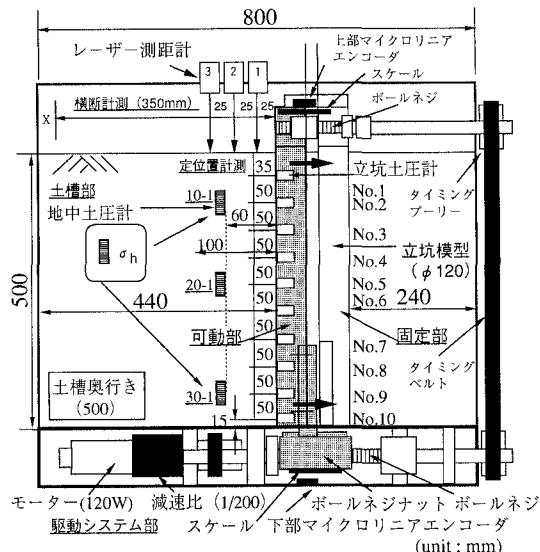


図-1 立坑実験システム概要図

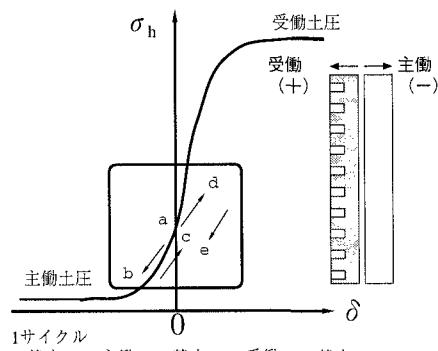


図-2 立坑変位方向の模式図

E_0 : 变形係数 ($=19,600 \text{ kN/m}^2$)

B：杭幅

一方、地盤の変形係数から水平方向の地盤反力係数を算定する現行の山留め設計基準式として、大深度土留め設計・施工指針⁵⁾では次式が用いられている。

Γ : 变形系数 /

R : 换算基礎幅 (1,000 mm)

B_H: 換算基礎幅 (=1,000 cm)

図-5には、()内の数値を用いて(1)、(2)式から得られた結果とともに、Bouafir and Garnier (1991)⁶⁾による中密な乾燥砂地盤中での杭の水平載荷遠心模型実験より算定された結果を比較のために示した。なお、変形係数の値は、豊浦標準砂の三軸圧縮試験より求めた結果を用いた。

プロタイプ深さ20mまでの K_h は、深さ方向によらずほぼ一定な分布を示している。これは、現行の杭の基準値や既往の遠心実験値とほぼ一致している。深さが20mを越えると、実験値の K_h は深さとともに直線的に急増するようになり、 K_h に拘束圧依存が認められる。そして、深さ30m付近では(2)式の結果にほぼ一致している。このことは、現行の山留め指針の K_h は、大深度に対してはほぼ妥当であるものの、30mよりも浅い深さに対してもこの式を適用すること、および深さによらず K_h を一定値とすることについては、検討を要することを示唆している。図中の立坑周辺坑地盤内の水平地盤反力係数については、立坑壁面の結果に比べやや低めの値で、深さとともに直線的に増加している。

今回は限られた実験データではあるものの、大深度立坑に対する K_h については、深さに応じた値の設定が必要であると考えられる。また、実地盤は、室内模型実験の再構成地盤とは異なり、エイジングや固結等の影響もあること、 K_h は立坑の変位モード・レベルや地盤定数の選定等に大きく依存することから、地盤条件等を変えた実験を継続的に実施する予定である。

4. まとめ

今回の実験結果より、プロトタイプ深さ20mまでの円形立坑に対する水平方向の地盤反力係数は、深さ方向によらず一定とする現行の基準にほぼ一致したが、20m以深では深さ方向に依存する結果が得られた。大深度円形立坑に対する水平方向の地盤反力係数は、研究事例も少ないことから、実設計への適用に向けて今後検討を加えてきたい。

謝 辞： 本研究を実施するにあたり、貴重な御助言ならびに御指導を頂いた東京工業大学工学部 日下部 治教授、中央大学理工学部 藤井 齊昭教授に対し心から謝意を表わします。

【参考文献】 1) 藤井・萩原・日下部：乾燥砂中の深い円形立坑周辺地盤の主働時破壊メカニズム、土木学会論文集、No.541/Ⅲ-35, pp.87-98, 1996. 2) 今村・藤井・野本・萩原：大深度円形立坑遠心模型実験（その1～3）、第32回地盤工学研究発表会、1997. 3) 今村・野本・藤井・萩原：大深度円形立坑に作用する主働土圧について、根切り・山留めの設計、施工に関するシンポジウム発表論文集, pp.265-272, 1998. 4) 日本建築学会：建築基礎構造設計指針、1988. 5) 大深度土留め設計・施工指針・先端技術センター、1993. 6) Bouafir, A and Garnier, J. Experimental study of P-Y curves for piles in sand, Proc. of Centrifuge 91, pp.261-268, 1991.

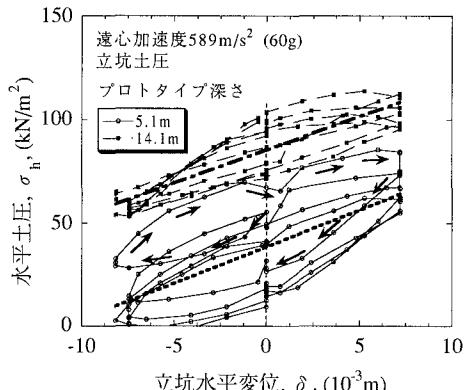


図-3 立坑水平変位に伴う土圧変化
(立坑壁面土圧)

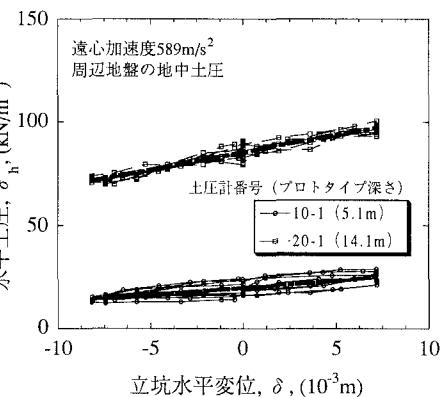


図-4 立坑水平変位に伴う土圧変化
(立坑周辺地盤土圧)

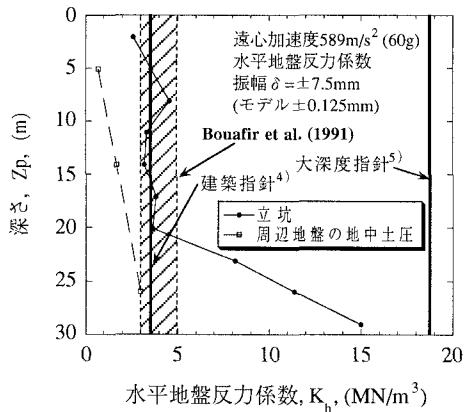


図-5 水平地盤反力係数の深さ方向分布