

Ⅲ - B193

乾燥砂中の大深度円形立坑の遠心模型実験

—（その1）静止土圧と主働土圧—

西松建設技術研究所 正会員 今村眞一郎
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 野本 寿
群馬大学工学部 正会員 萩原敏行

1. はじめに

筆者らは、乾燥砂中の深い円形立坑に作用する土圧に関する研究を行っている¹⁾。前報までに、プロトタイプ深さ20mまでの主働時における土圧分布は、Beresantsevの解析解によりほぼ近似されること、さらに、遠心模型実験より得られた主働時の地盤の破壊形状と地盤内の応力分布について軸対称の弾塑性有限要素解析の結果と良好な一致を確認するとともに、土圧分布と破壊メカニズムとの相関性を明らかにした¹⁾。

近年、都市とその近郊で、掘削深さが50mを越える深い立坑が既に20例を越えて建設されつつある。これらの大深度円形立坑の設計には、2次元のRankineの土圧式が経験的な側圧係数による土圧式が用いられているのが実情であり、大深度における円形立坑の合理的な設計法を確立するための研究が急がれる。

そこで、本研究では深さ50mの大深度円形立坑に作用する土圧の解明を目的として、大深度円形立坑の実験装置を新たに開発して遠心模型実験および解析を行った²⁾。本報文では、この立坑模型実験装置を使用して行った遠心実験の静止土圧および主働土圧の計測結果について以下に報告する。

2. 実験概要

図-1に、実験に用いた立坑模型実験装置の概要図を示す。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、表-1に示す気乾状態の豊浦標準砂を試料として用いた。実験方法は、以下のとおりである。

まず、重力場で試料容器内に、立坑模型を設置する。二つ割れの立坑は、予め3.6mmの隙間を開けておく。次に、気乾状態の試料を用いて空中落下法により、相対密度が70%程度となるよう模型地盤を作製する。遠心加速度を所定の加速度まで加速する。次にモーターを駆動させ、立坑の片側の可動部を0.75 mm/minの速度で平行に水平変位させ主働状態を模擬する。立坑の上下変位の精度管理は、マイクロリニアエンコーダ（回折光干渉方式、測定レンジ50mm、精度0.8 μm）を立坑固定部側の上下に各1台設置し、上下の変位偏差が1/100mm以内となるように管理する。その間、立坑に作用する水平土圧（計測点は、深さ方向に10点、土圧計最大容量392kN/m²）の計測を行う。なお、これらの土圧計は、予め検定試験を行っており、立坑に作用する水平土圧計測時の精度を確認している²⁾。

遠心実験は、遠心加速度598m/s²（60g）にて実施し、プロトタイプの立坑径（Dp）は7.2 m、立坑深さ（Hp）は30 mに相当する。

表-1 豊浦標準砂の物理・力学的特性

比重	Gs	2.63
最大間隙比	e _{max}	0.961
最小間隙比	e _{min}	0.593
平均粒径	D ₅₀	0.80
内部摩擦角	φ'	42°

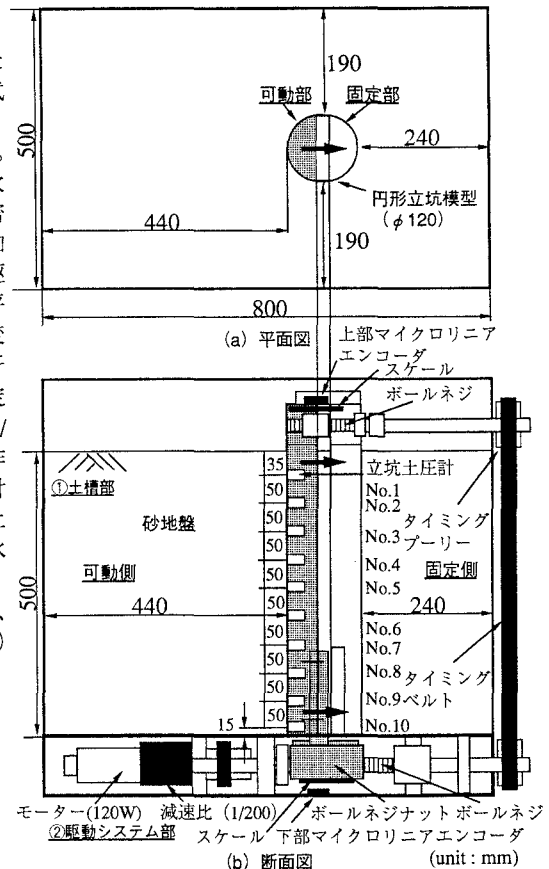


図-1 立坑システム概要図

立坑・静止土圧・主働土圧・模型実験

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

なお、本実験では中央大学所有(有効半径3.05m、最大搭載容量9.62MN・m/s²)の遠心模型実験装置を使用した。

3. 実験結果および考察

(1) 静止土圧

図-2は、遠心加速度増加に伴う静止土圧係数 $K_0 (= \sigma_h / n \gamma h)$ の変化を示している。 K_0 は浅い位置ほど高い値を示すが、深い位置ほど加速度増加に伴い減少し、加速度598m/s²(60g)では地盤の正規圧密状態を示すJakyの実験式 $K_0 = 1 - \sin \phi'$ (内部摩擦角 $\phi' = 42^\circ$)の値0.33に近づく傾向が見られる。深い位置では最初から正規圧密状態になっていると考えられる。

図-3は、加速度598m/s²での深さ方向の静止土圧分布を示している。静止状態の水平土圧分布は、ばらつきはあるものの最深部付近のデータを除いてほぼ深さ方向に直線分布を示している。これは、図中に示した K_0 をJakyの式より仮定した結果にほぼ等しい。

(2) 主働土圧

図-4に、立坑水平変位に伴う土圧係数の変化を示す。 x 軸に立坑水平変位(δ)を立坑モデル深さ($H=500\text{mm}$)で除したものを、 y 軸に立坑各深さでの水平土圧を理論土被り圧で除した土圧係数 K で表し、静止状態から主働状態に至るまでの変化を示している。 K 値は、 $\delta/H=1.0 \times 10^{-3}$ の立坑水平変位レベルまでの低下が著しく、その後ならかな減少傾向を示している。また K の値は、最初深い位置から一定値に近づき始め、順次浅い位置が収束する傾向を示している。主働(塑性)状態となるひずみレベルは、他の実験ケースでも $\delta/H=1.0 \times 10^{-3}$ 付近であることが確認された。この結果は、市原ら³⁾による土圧実験から得られた主働状態となるひずみレベルとはほぼ対応している。

図-5は、立坑水平変位に伴う深さ方向の水平土圧分布の変化を示している。図内にはランキン土圧およびBeresantsevの解析解⁴⁾も比較のために示した。立坑水平変位量が増大するにつれて各深さの土圧は減少し、 $\delta/H=1.0 \times 10^{-3}$ の立坑水平変位レベルでは深さ方向によらずほぼ一定な水平土圧分布となり、二次元のランキン土圧とは異なり、Beresantsevの結果にほぼ等しくなっている。

4. まとめ

本実験により得られた知見は以下のとおりである。

- 1) やや密な乾燥砂地盤では、静止土圧係数は遠心加速度の増加に伴い減少するが、深さ30mにおける静止土圧分布は最深部付近のデータを除いてほぼ深さ方向に直線分布を示している。静止土圧係数(K_0)は、Jakyの式により仮定した結果にほぼ等しい。
- 2) 立坑に作用する主働土圧分布は、二次元のランキン土圧とは異なり、深さ方向によらずほぼ一定な水平土圧分布となり、Beresantsevの結果にはほぼ一致する。
- 3) 円形立坑周辺地盤が主働(塑性)状態となるひずみレベルは、 $\delta/H=1.0 \times 10^{-3}$ 付近であることが確認され、既往の研究成果との整合性も示唆された。

【参考文献】 1) 藤井ら：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) 今村ら：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(投稿中). 3) 市原ら：壁変位中における土圧特性と裏込め砂のせん断特性の相関、土木学会論文集、第176号、pp.61-74、1970. 4) Beresantsev, V.G.: Earth pressure on the cylindrical retaining walls, Conf. on Earth Pressure Problems, pp.21-27, 1958.

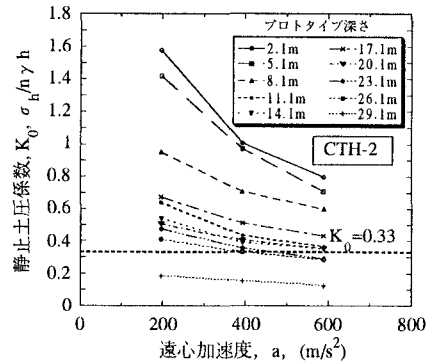


図-2 遠心加速度と静止土圧係数の関係

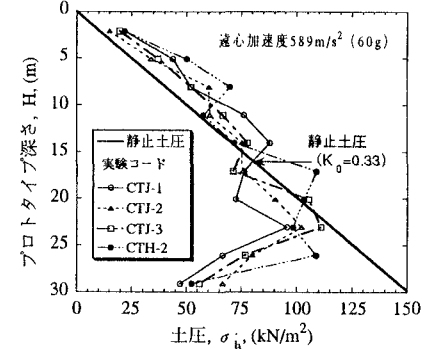


図-3 深さ方向の水平土圧分布

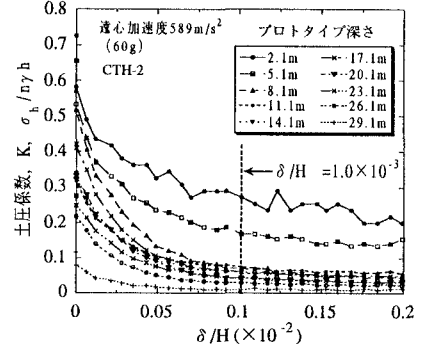


図-4 立坑水平変位に伴う土圧係数の変化

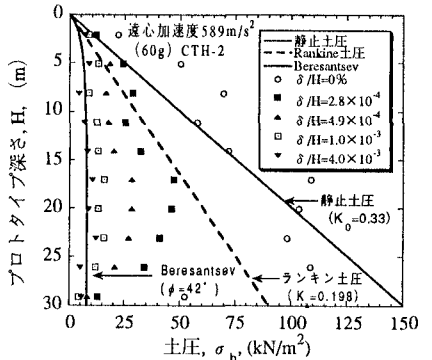


図-5 立坑水平変位に伴う水平土圧分布