

III-457 乾燥砂中の深い円形立坑に作用する土圧の遠心模型実験とFEM解析

西松建設	正会員	藤井	利侑
群馬大学	正会員	萩原	敏行
宇都宮大	学生員	田口	敦
西松建設	正会員	石橋	貢

1. はじめに

筆者らは、前報^{1), 2), 3)}で遠心模型実験装置を用いて乾燥砂中の深い円形立坑に作用する土圧実験を行い、主働土圧分布が軸対称の杭周面に作用する土圧を評価するBeresantsevの解析解⁴⁾にほぼ等しくなり、二次元のRankineの土圧分布とは大きく異なることを確認した。

本報告は、弾塑性FEMにより、先に実施した土圧計測の遠心模型実験の数値解析を行い、円形立坑周面に作用する主働土圧について実験値との比較を行った結果を報告するものである。

2. 弾塑性FEM

遠心模型実験の実験方法および結果についての詳細は、前報³⁾に報告されている。比較を行った遠心実験結果は、模型砂地盤の相対密度70%、遠心加速度100Gの条件で実施したケースである。土の破壊基準にはMohr-Coulomb式を用い、塑性ポテンシャルは、Drucker-Prager式を適用した。計算は、平面ひずみ状態でのダイレイタンス角 ψ が内部摩擦角 ϕ に一致する関連流れ則に近い条件で行った。有限要素プログラムは、先に鶴飼⁵⁾が発表した三次元弾塑性FEMプログラムを用い、これを軸対称問題に適用できる形に修正した。

解析は、図-1に示すような有限要素メッシュ(要素数64、節点数531)を用いた。有限要素は、6面体の辺と中点に節点を有する20節点のアイソパラメトリック要素を用い、Gauss点は8点とした。境界条件は、地盤背面はz方向自由、底面は滑らかとした。

主働状態の再現は、遠心実験の条件に従い立坑周面を仮定したA-A'断面の節点を水平方向に強制変位2mmを与えることにより行った。立坑に作用する土圧は、①~⑧の要素のGauss点での土圧(上下の平均値)により評価した。2mmまでの変位増分ステップは2000とした。解析に用いた入力パラメータを表-1に示す。内部摩擦角は、平面ひずみ圧縮試験の結果を用いた。

3. 解析結果および考察

図-2は、静止状態から主働状態に至るまでの各深さでの土圧係数(K)の変化を遠心模型実験と解析とで比較した結果である。立坑を水平変位させる前の実験地盤の土圧分布は、静止土圧係数 K_0 をJakyの式($K_0=1-\sin\phi=0.331(\phi=42^\circ)$)で近似した分布にほぼ等しくなっている²⁾。遠心実験の水平土圧は、立坑の変位とともに浅い位置(深さ3.5cm)から順次深い位置へと一定値に近づいており、解析でも同様な傾向が認められる。また、一定値に収束する土圧係数は、深い位置程小さい値となっている。実験、解析結果とも、 δ/H (δ :立坑水平変位量、H:立坑高さ)が0.3%を超える付近から、水平土圧がほぼ一定値に収束している。

深さ3.5cmの実験結果は、立坑変位に伴い凹凸を有する分布となっているものの、深さ8.5cm、13.5cmの結果は、 $K=0.05$ 付近に収束しており、解析結果と同程度の値である。全体として見れば、解析結果は実験結果と良い対応を示している。

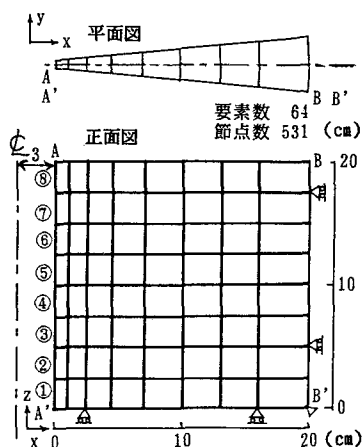


図-1 有限要素メッシュ

表-1 解析に用いた入力パラメータ

弾性係数	E	200(kgf/cm ²)
ポアソン比	ν	0.375
単位体積重量	γ	1.52(tf/m ³)
内部摩擦角	ϕ	42.0°
ダイレイタンス角	ψ	42.0°
静止土圧係数	K_0	0.331

図-3は、立坑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、Beresantsevの解析解($\phi=42^\circ$)⁴⁾も比較のために示してある。図より、実験値と解析値との間には以下の共通点が認められる。(1) 水平土圧は、立坑の水平変位量が2 mmではほぼ一定値に収束している。(2) 水平土圧は、 $z/r=2.0$ (z :深さ, r :立坑半径)までの浅い位置での収束が早く、それより深い位置ほど収束しにくくなる。(3) 土圧分布は、立坑変位量が増大するにつれて浅い位置からBeresantsevの解析解に次第に近づき、変位量2 mmではBeresantsevの結果にほぼ等しくなる。

立坑の水平変位量が2 mmでの無次元化した主働土圧分布を示したものが図-4である。実験値は、浅い位置で多少のバラツキがあるものの、深い位置での再現性は良好となっており、解析値とBeresantsevの結果を挟むように分布している。解析結果は、 $z/r=0.4$ 付近までは二次元のRankineの主働土圧分布の線上にあり、深い位置ではBeresantsevの理論値より平均 20%大きめではあるが、土圧分布の形状はBeresantsevの結果にほぼ等しくなっている。

今回の解析結果は、遠心実験結果を良く近似している。

4. おわりに

今回対象とした立坑半径に対する深さの比が5.0程度の範囲までは、立坑周面に作用する土圧分布に関して、関連流れ則に近い条件を適用した弾塑性FEM解析結果により、遠心模型実験結果を説明できるようである。

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広島大学工学部 日下部治教授、群馬大学工学部 鶴飼恵三助教授に対し心から謝意を表します。

【参考文献】

- 1) 藤井利侑・萩原敏行・日下部 治: 遠心模型実験装置による乾燥砂中の深い立坑の土圧計測の試み、第45回土木学会年次学術講演会、pp.962-963,1990.
- 2) 藤井利侑・日下部 治・萩原敏行・石橋 貢: 遠心装置による乾燥砂中の深い立て坑の土圧計測実験、第46回土木学会年次学術講演会、pp.644-645,1991.
- 3) 田口 敦・日下部 治・萩原敏行・藤井利侑: 乾燥砂中の深い立て坑の土圧に関する遠心模型実験(その1)、第26回土質工学研究発表会、pp.1583-1584,1991.
- 4) Beresantsev, V.G: Earth pressure on the cylindrical retaining walls, Brussels Conf. on Earth Pressure Problems, II, pp.21-27,1958.
- 5) 鶴飼恵三・萩原敏行・井田寿朗: 弾塑性FEMによる2次元及び3次元斜面安定解析、第36回土質工学シンポジウム論文集、pp.1-6,1991.

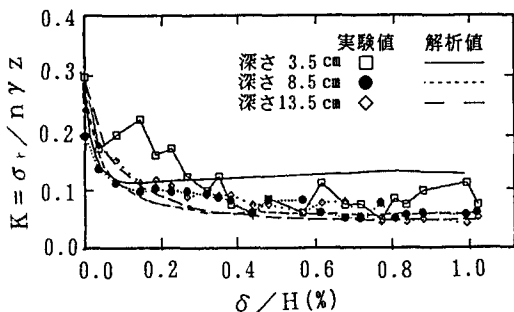


図-2 立坑変位に伴う土圧係数の変化

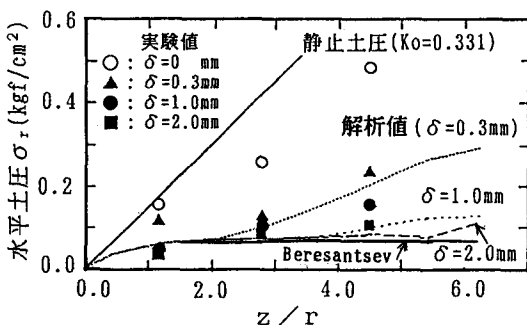


図-3 立坑変位に伴う土圧分布の変化

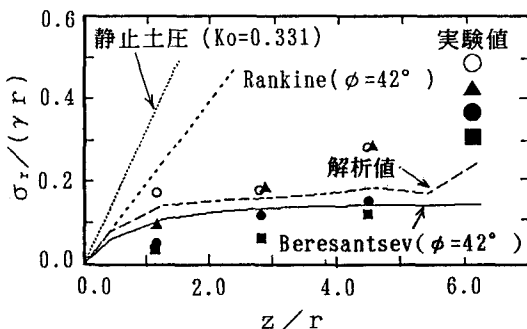


図-4 主働土圧分布の比較