

掘削過程に伴う円形立坑の三次元効果に関する遠心模型実験手法の検討

京都大学工学研究科 学生会員 ○宮崎 祐輔,

京都大学工学研究科 非会員

Tanawat Tangjarusritatorn

京都大学工学研究科 正会員

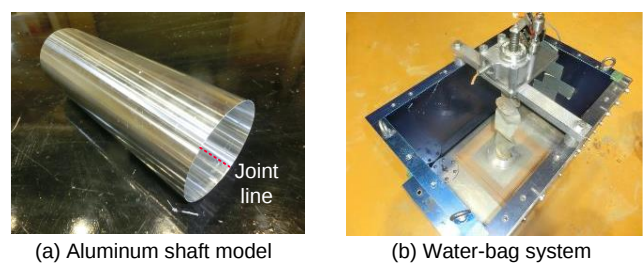
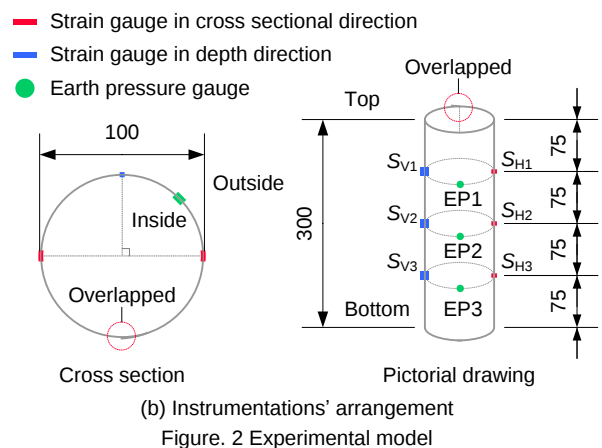
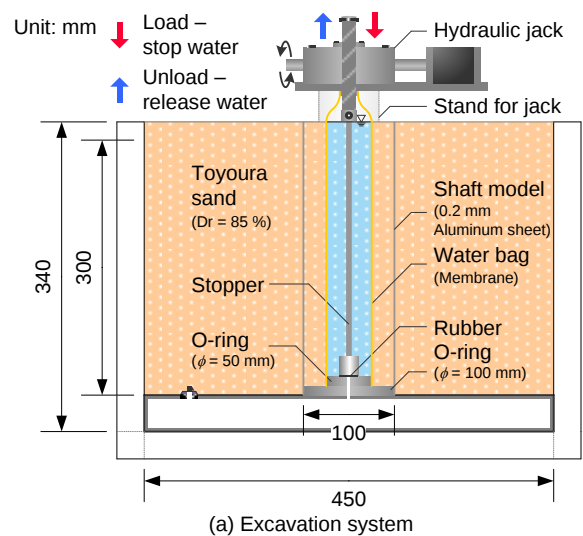
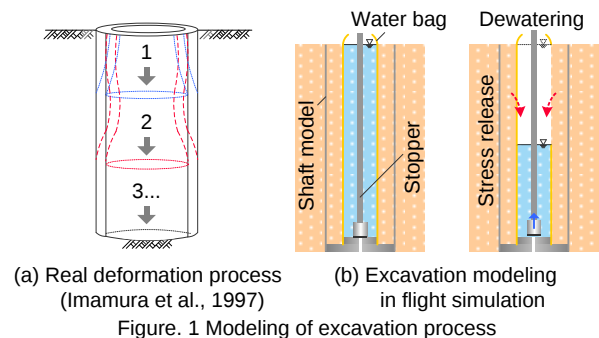
澤村 康生, 岸田 潔, 木村 亮

1. はじめに¹⁾

近年大深度地下空間の開発が積極的に進められており, 地下空間へのアクセスとして, 大深度・大断面の円形立坑が一般に構築される. 円形立坑は, 周辺地盤から作用する外圧を圧縮力に置き換える力学的に有利な構造であることが主たる理由である. これまで, 設計・施工の合理化を目的として, 遠心模型実験により掘削過程における立坑周辺地盤の変形モードと土圧の関係が検証されてきた^{2), 3)}. しかし, 掘削の再現の難しさから, ほとんどの場合二次元の矢板としてモデル化され, 円形立坑の三次元効果を検証した例は少ない. そこで, 本研究では, 遠心場において掘削過程に伴う円形立坑の三次元効果を確認する手法を検討した.

2. 実験概要

Figure. 1 に, 実施工における立坑の変位モード³⁾と本実験における掘削過程のモデル化を示す. Figure. 1(a)のような円形立坑の収縮変形は, 立坑内の地盤を取り除く, あるいは, 立坑内の応力を開放する, ことで再現可能であると考えられる. 本実験では, 立坑内の地盤にウォーターバッグを設置し, バッグ内の排水により立坑内の応力を開放する(Figure. 1(b)) ことで, 遠心場における掘削挙動を再現することを試みた. Figure. 2 に実験装置の概略図を示す. 本実験は剛土槽を用いて遠心加速度 50 G において実施した. 剛土槽内には排水用のタンクを設置している (Figure. 2(a)). ウォーターバッグは 2 mm 厚のメンブレンで作製した. ウォーターバッグ内の水がタンク内に排水されることで, 排水に伴う立坑内の地盤変形に抵抗することなくバッグは収縮する. これにより, 掘削状態を模擬した. バッグ内の排水は, ジャッキを介してピンを上下動させることで, 排水口を開閉する構造となっている. ウォーターバッグの容積は立坑模型の容積の 1/4 とした. 計測項目は, 立坑模型のひずみおよび土圧である. ひずみおよび土圧は立坑模型の内側と外側の両方で計測した(Figure. 2(b)). 立坑模型は, 明瞭な変形が生じやすいよう, 可能な限り薄い 0.2 mm のアルミ製シートを用いて作製した (Figure. 3(a)). 立坑内の掘削は, 50 G 到達後, ウォーターバッグ内を完全排水して実施した.



キーワード 遠心模型実験, 円形立坑, 掘削実験

連絡先 〒615-8540 京都市西京区京都大学桂 京都大学大学院工学研究科 TEL 075-383-3193

3. 実験結果

Figure. 4 に、掘削前後の立坑内の地盤を示す。実験後、立坑内の地盤が 70 mm 程度沈下したことを確認した。これは、バッグの容積から計算した沈下量 (75 mm) と概ね近い値を示した。以降の実験結果はプロトタイプ換算で示す。

Figure. 5 に、遠心加速度 50 G 到達までにおける土圧の時刻歴と、掘削過程に伴う土圧の変化を示す。Figure. 5(b) に示す、土圧の比は、50G 到達時における土圧 ($EP_{Initial}$) に対する計測値 ($EP_{Measured}$) として定義する。Figure. 5(a) より、立坑内側の土圧は深度方向に増加する分布を示したが、立坑外側における土圧は中央の $EP2_{out}$ が最も小さくなる分布を示した。一方、Figure. 5(b)より、掘削過程に伴う土圧変化は、 $EP2_m$ で最も顕著であり、初期値から 0.55 倍減少した。つぎに、Figure. 6 に、遠心加速度 50 G 到達時と掘削後における土圧分布を示す。同図には、掘削前の土圧係数を用いて、それぞれの土圧分布を参考を示す。図より、立坑内部における土圧分布は掘削に伴って主働側に推移し、立坑外部における土圧変化は受働側に推移したことがわかる。立坑内部の土圧はウォーターバッグの排水に伴う、応力開放により減少したと考えられる。一方、外周面側への土圧増加は、円形立坑の変形に起因すると考えられる。この理由を立坑模型のひずみ値から考察する。

Figure. 7 に、深度 3.75 m の立坑断面における曲げ・軸ひずみ関係を示す。圧縮ひずみ・内空方向の曲げをそれぞれ正とした。立坑断面方向の S_{H1} は、外曲げひずみの増大が収束し、内曲げに転じて軸ひずみが増加した。これは、外圧を軸力に転換して支持するためと考えられる。掘削を実施すると、軸ひずみが概ね一定のまま、内曲げ方向のひずみが減少した。一方、深度方向の S_{V1} は軸ひずみの減少に伴い外曲げ方向のひずみが増大した。このことから、立坑模型は S_{V1} の位置では外側に変形したため、立坑外側における土圧が受働方向に増加した可能性がある。

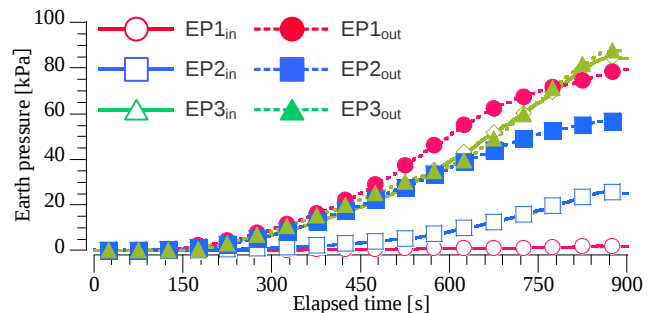
4. まとめ

円形立坑の三次元効果を検証することを目的として、ウォーターバッグを用いた掘削実験を実施した。今後は、排砂による掘削機構を実施し、手法の妥当性を比較検討する。謝辞: 本研究は大林財団奨励研究助成を受けて実施した。ここに記して謝意を表す。

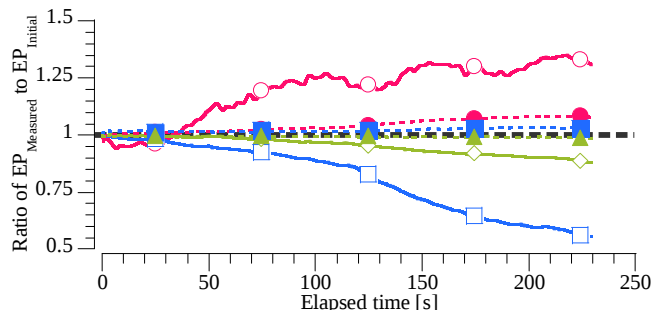
【参考文献】1) 岩波 基: 大深度立坑仮設山留め壁の設計の現状および課題, 地盤工学会誌, Vol.58, pp.24-27, 2010. 2) 藤井ら: 乾燥中の深い円形立坑周辺地盤の主働時破壊メカニズム, 土木学会論文集, No. 541/III-35, pp.87-98, 1996. 3) 今村ら: 大深度円形立坑に作用する土圧と周辺地盤の変形挙動に関する遠心模型実験, 土と基礎, Vol.45, No.10, pp.9-12, 1997.



(a) Before excavation (b) After excavation
Figure. 4 Experimental model before and after excavation



(a) Time history of earth pressure until 50 G



(b) Ratio changes of earth pressure during excavation

Figure. 5 Time history of earth pressure acting on shaft model

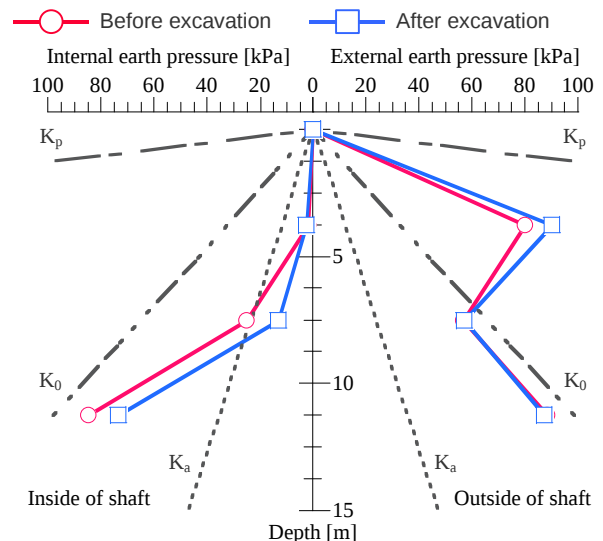
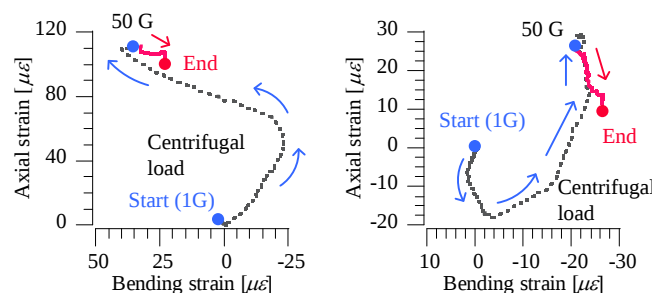


Figure. 6 Earth pressure distribution acting on shaft model



(a) Hysteresis curve of S_{H1} (b) Hysteresis curve of V_{H1}
Figure. 7 Bending strain vs. axial strain of shaft model at 3.75 m