

Ⅲ - B195

乾燥砂中の大深度円形立坑の遠心模型実験
— (その3) 主働時における地盤の破壊性状—

西松建設土木設計部 正会員 藤井利佑
西松建設技術研究所 正会員 今村眞一郎
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

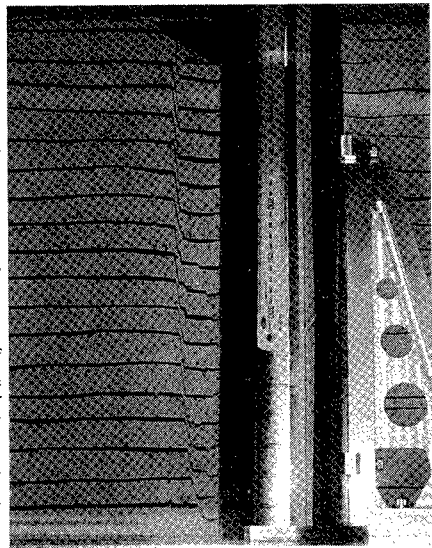
本研究では、別報(その2)¹⁾に引き続き、主働変形時の大深度円形立坑に作用する土圧と周辺地盤の破壊性状を明らかにすることを目的として実施した遠心模型実験の結果について報告する。本報(その3)では、主働時の立坑周辺地盤の破壊性状について考察した。

2. 遠心実験結果および考察

本報文では、別報(その2)¹⁾の実験ケースに示したCTJ-4、CTH-2の結果について報告する。この2つのケースは、立坑周辺地盤の破壊性状を確認するため、立坑の可動部を最大10mmまで主働側に水平変位させた。また、立坑の主働破壊時の地盤内の様子をより明確に捉えるために、地盤作製時には深さ25mmごとに、厚さ2mmの色砂層を水平方向に入れた。

写真-1(a)は、立坑のプロトタイプ深さ(H_p)30mを想定した主働変形後の立坑中央断面の破壊形状を示している。写真-1(b)には、比較のために過去にプロトタイプ深さ20mを想定した別のシステムを用いて、宇都宮大学で実施した遠心実験から得られた破壊形状を示している²⁾。2つの実験から得られたすべりはいずれも立坑底端部から発生し、すべり領域は共に立坑径の1/2程度となり、二次元の直線的破壊形状と比べて立坑周辺付近により局所的に発達し、底面でのすべり角も大きい特徴を示している。また、すべり面付近の色砂の様子から、立坑上部では立坑に沿ってほぼ等間隔で下方へ剛体的に滑り、深部では立坑下端に向かって滑っていることが推察される。

図-1は、写真-1のすべり線付近での色砂層の水平面に対するすべり方向の角度 β (単位; $^{\circ}$)の変化を立坑深さとの関係として示している。図の横軸は、それぞれの β を最上部の β_t の値で無次元化して表している。また、図の右側には深さ方向の主働土圧分布を示している。すべり角は、深さ $4/5H_p$ ($=24m$)付近まではほぼ一定値を保っているが、 $1/2H_p$ ($=15m$)付近ではすべり角 β が $80\sim90^{\circ}$ の値を示していることから、この付近の土塊は剛体的にほぼ鉛直下方へすべっていることが推察される。ただし、本実験では乾燥砂地盤であるため、立坑下方へ向かう角度として定義されるダイレイタンス角の存在により完全な鉛直方向となっていない。また、すべり角は $4/5H_p$ 以深では次第に減少し底部付近では急減している。立坑底部におけるすべり角は 40° であった。立坑に作用する主働時の水平土圧は深さ方向にほぼ一定であり、Beresantsevの解析解にほぼ等しい結果が得られている。このように、立坑に作用する水平土圧が深さ方向にほぼ一定となるのは、浅い位置から $4/5H_p$ ($=24m$)の深さまでの土塊が剛体的に下方へ動くためと考えられる。深さ10m以深では水平方向のアーチ作用により滑動力の一部が立坑深部の地盤に伝達され、立坑壁面に作用する土圧が低減される3次的効果が生じて



(a) 中央大モデル(2号機)



(b) 宇都宮大モデル(1号機)

写真-1 立坑中央断面の破壊形状

立坑・主働土圧・破壊・模型実験

〒105 東京都港区虎ノ門1-20-10 TEL 03-3502-7636 FAX 03-3502-0228

いると考えられる。また、写真-1 (a) で見られるように立坑壁面付近で摩擦の影響が観察されていることから、立坑壁面と周辺地盤のすべり面の境界で挟まれるサイロ効果が、立坑に作用する土圧の低減した一因と考えられる。

一方、宇都宮モデルで得られたすべり角度の変化はプロタイプ深さが異なるものの、すべり角が $2/3H_p (=20m)$ 付近の深さを境に変化する傾向と深さ方向の水平土圧分布について、今回の結果と定性的な一致が認められる。

図-2は、3点での定位置のレーザー変位計により得られた立坑水平変位に伴う可動側の地表面沈下および地中土圧の変化を示している。x軸には、立坑水平変位 (δ) を立坑深さ (H) で除したものを示している。 $\delta/H=2.0 \times 10^{-2}$ の立坑水平変位レベル付近まで地中水平土圧 (10-2, 20-1) は、深い位置から順に低減し収束しても、顕著な地表面沈下が認められないことが分かる。その後、地表面沈下は立坑の水平変位とともにほぼ直線的な増加を示し、沈下量は立坑に近いほど大きくなっている。そして、立坑水平変位が $\delta/H=1.0 \times 10^{-2}$ より大きくなると、立坑に近い位置 (laser 1) の沈下量が立坑変位とともに急増し、続いて25mm離れた位置 (laser 2) の沈下量が急増している様子が認められる。

写真-1 (a) で示した破壊断面形状と合わせて考察すると、土塊がほぼ剛体的にすべり始めるのは、立坑水平変位量 $\delta/H=1.0 \times 10^{-2}$ 付近からと考えられる。立坑上下端の同時水平変位による破壊は、水平変位に応じてまず立坑底部近傍ですべり、その後、地表面沈下量が急増し始める $\delta/H=1.0 \times 10^{-2}$ の立坑水平変位レベル以降では、 $1/2 H_p (=15m)$ 付近で写真より観察される数回のすべりが発生した後に、立坑底端部を通るすべりが発生し最終的破壊形状に至っていることが推察される。この数回のすべりの発生は、レーザー2の計測結果から変形終了時付近での急落的な地表面変化からも捉える (図-2中、矢印)。

図-3は、立坑水平変位に伴う土圧係数の変化を示している。y軸に、立坑各深さでの水平土圧 (σ_h) を理論土被り圧 ($n \gamma_d H$) 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 の値は立坑水平変位量が增大するにつれ、最初深い位置から減少し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。この傾向は、上述の立坑底端部付近から地表面へ進んでいく立坑周辺地盤の破壊プロセスを支持するものといえよう。

3. まとめ

本実験により、立坑上下端の同時水平変位による変位モードから得られる立坑周辺地盤の主働破壊は、立坑底部付近のすべりより始まり、その後、立坑の変位とともに次第に上部へと破壊が進展し、最後に立坑近傍に地表面クレータが形成されることが分かった。なお、観測された破壊形状の詳細な検討結果については後日報告したい。

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、宇都宮大学工学部 上野勝利助手に対し心から謝意を表します。

【参考文献】 1) 今村・藤井・野本・萩原：乾燥砂中の深い円形立坑の遠心模型実験（その1、2），土木学会第52回年次学術講演会講演概要集，1997（投稿中）．2) 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．

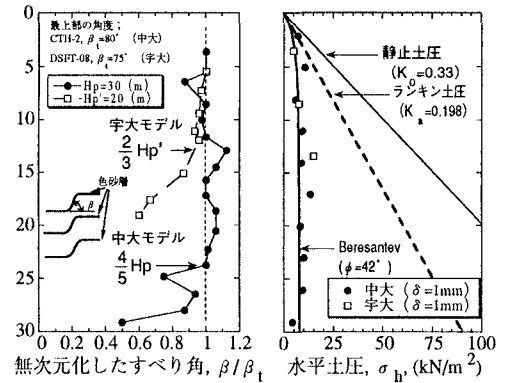


図-1 すべり面の色砂角度 β と立坑深さとの関係

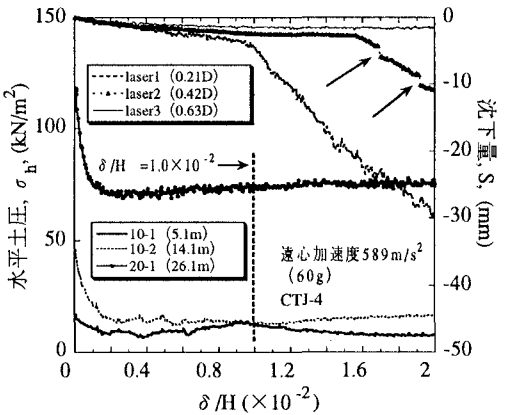


図-2 立坑水平変位に伴う地表面変状、地中土圧の変化

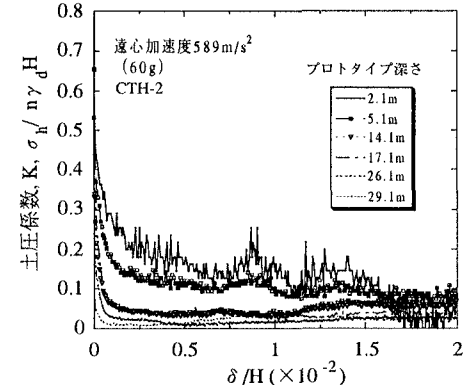


図-3 立坑水平変位に伴う土圧係数(K)の変化