

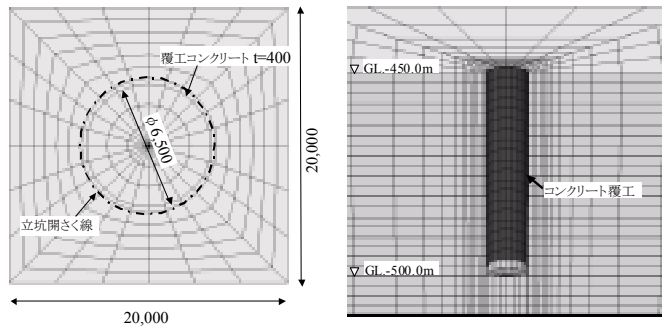
ショートステップ工法の地山安定化機構に関する数値解析的考察

三井住友建設(株) 正会員 ○山地 宏志  
 三井住友建設(株) 正会員 山田 文孝  
 (独)日本原子力研究開発機構 正会員 佐藤 稔紀  
 山口大学大学院 正会員 船津 貴弘  
 山口大学大学院 正会員 清水 則一

**1. はじめに** : ショートステップ工法は超大深度立坑の急速施工法として開発され、その効果が広く認められ、わが国の立坑標準工法として普及したものである。しかしながら、その定量的設計手法はいまだ確立されておらず、経験に基づいて覆工厚等が設定されているのが現状である。また、断層・破砕帯等の大規模不連続面交差部における崩壊や変状発生はしばしば報告されているものの、一般部における崩壊形態やその発生原因に関する知見は得られていない。立坑一般部において合理的設計を実施するためには、まず、立坑構造に内在する崩壊要因を正しく把握する必要がある。このように考え、極度に軟弱な地山に超大深度立坑を掘削し、崩落現象が発生することを想定した数値シミュレーションを実施し、立坑掘削時に発生し得る崩壊形態とショートステップ工法の支保の効果に関する検証を実施した。本報は、その数値シミュレーションより得られた結果と考察を示すものである。

**2. 数値シミュレーションの概要** : 図-1

に解析に用いた要素分割図を示す。図に示されるように、ここでは立坑仕上がり径 6.5m、覆工コンクリート厚 0.4m の立坑を深度-450m から深度-550m まで掘削する問題を考える。このとき、静水圧の初期応力状態を考え、深度-450m 面上に上部土被り圧を作用させる。また、深度-450m から-500m までは、2.5m 掘削するたびに覆工を打設すると想定した。これは、深度-500m までに地山の応力状態を調整することを目的としたものである。そして、深度-500m から-550m までは 2.5m 掘削する毎に覆工を打設する場合(以下、ショートステップ工法と呼ぶ)と、深度-550m まで無覆工で掘削する場合(以下、ロングステップ工法と呼ぶ)との二種類の計算を実施する。



(a)立坑周辺平面拡大図

(b)立坑掘削過程状況図

図-1 計算に用いた要素分割概要図

表-1 計算に用いた岩盤物性値

単位 体積重量	弾性係数	粘着力	内部 摩擦角	引張 強度	ポアソン比
$\gamma$	$E$	$C$	$\phi$	$\sigma_t$	$\mu$
2,200kg/m <sup>3</sup>	2.0GPa	0.05MPa	35°	0MPa	0.35

なお、表-1 に解析に供した岩盤物性値を示す。これらの値は、パラメトリック・スタディの結果から決定した値であり、粘着力が一般的な軟岩の 1/100 程度の値となっている。解析は有限変形の有限差分法を用い、構成則は tension cut の Mohr-Coulomb 則に従うものとした。

**3. 解析結果の概要と考察** : 図-2 に深度-510m までの立坑掘削に伴う地山変位分布をロングステップ工法とショートステップ工法とを比較して示す。図に示すように、ショートステップ工法では掘削深度にかかわらず立坑周辺地山変位がほとんど一定なのに対し、ロングステップ工法では深度-505m 付近から変位が飛躍的に増大し始め、深度-510m 掘削時点では 1m 以上の変位が発生し、明らかに崩壊が発生したものと判断される。

図-3 は深度-510m におけるロングステップ工法の変位分布の詳細と、変位ベクトルを示すものである。これら

キーワード 地下構造物設計・施工 崩壊機構 ショートステップ工法 有限差分法

連絡先 〒270-0132 千葉県流山市駒木 518-1 三井住友建設(株) TEL : 0471-40-5201

の図から明らかに上部岩盤が立坑内へ崩落してくる変形挙動を理解することができる。

図-4, 5 は、深度-510m における立坑周辺地山の最大主応力分布と主応力軸分布をロングステップ工法とショートステップ工法とで比較して示したものである。これらの図に示されるように、ショートステップ工法では6.0MPa以上の壁面接線方向圧縮力が立坑側壁近傍に作用し、グラウンドアーチが形成されている。一方、ロングステップ工法では立坑側壁近傍地山の広い範囲で0.1MPa未滿の最大主応力しか発生していない。これは、立坑周辺地山の塑性化が進行し、ほぼ無応力状態に至ったことを示すだけでなく、掘削に伴う応力再配分に立坑周辺地山が寄与しないため、より地山深部まで塑性化と強度低下が広がることを示すものである。

図-6 は深度-502.5～-505.0mの立坑側壁地山要素の応力経路をショートステップ工法とロングステップ工法との比較で示したものである。図に示されるように、ロングステップ工法では地山が塑性化すると、直ちに主応力空間の原点近傍付近に応力状態が達する。これに対し、ショートステップ工法では直上の深度-502.5mまで掘削された時点が最も主応力原点に近い状態となるが、深度-505.0mまで掘削され立坑壁面が形成されると、円周方向の圧縮応力が卓越し、最小主応力の減少が抑制され、安定した応力状態が維持される。これはグラウンドアーチが形成されたことを意味するが、この段階では当該深度の覆工が打設されていないことを考えると、直上に打設された覆工が掘削箇所の変形を拘束し、グラウンドアーチの形成を促進する。当該深度の覆工後は、下部の掘削に伴い地山の円周方向応力、および半径方向応力も、若干、増大し、この計算条件では弾性限度内に主応力状態が回復する。

4. まとめ：数値シミュレーションにより、立坑掘削に伴う周辺岩盤の崩壊機構をある程度解明できたと考え

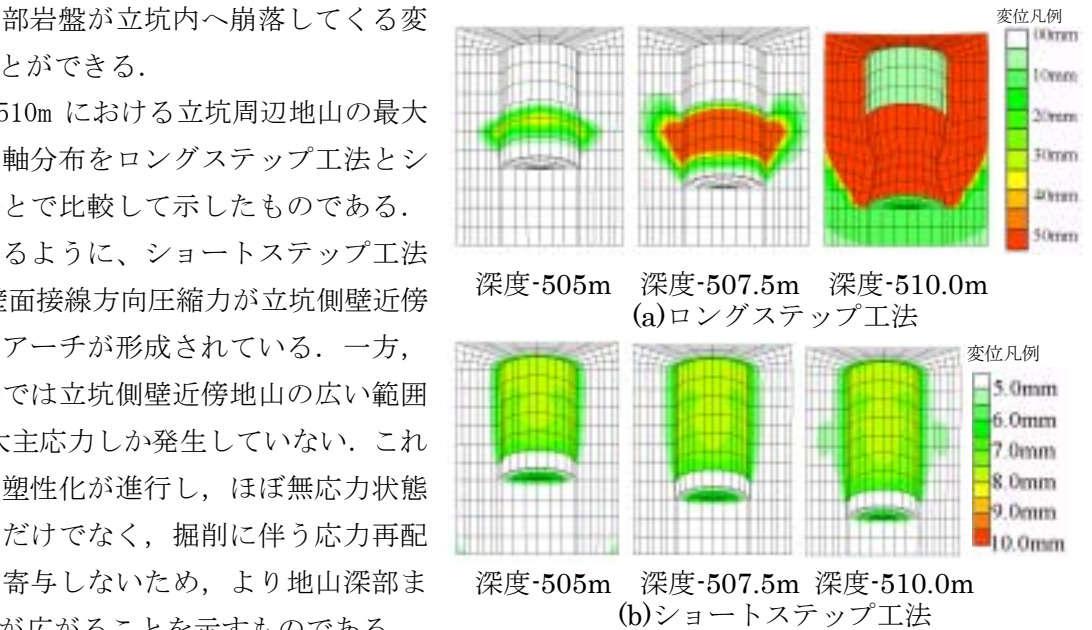


図-2 掘削工法による地山変位発生比較

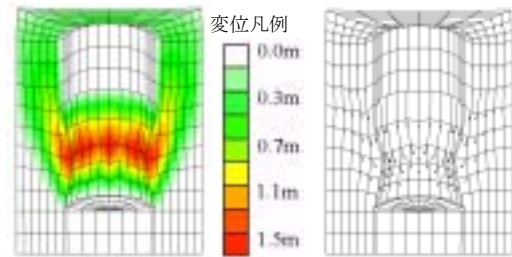


図-3 深度-510mの地山変位の詳細

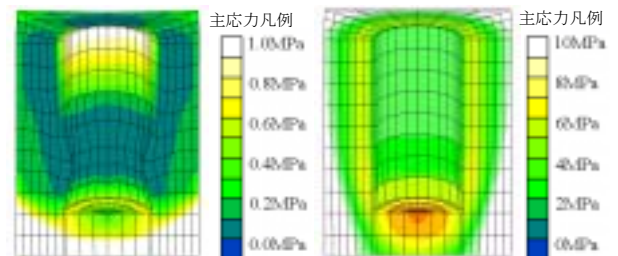


図-4 深度-510mの地山最大主応力分布

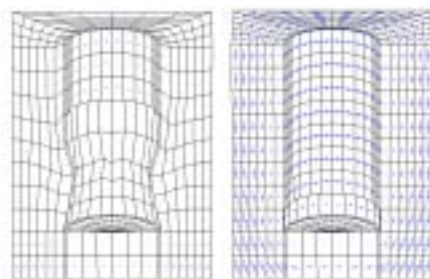


図-5 深度-510mの地山主応力軸分布

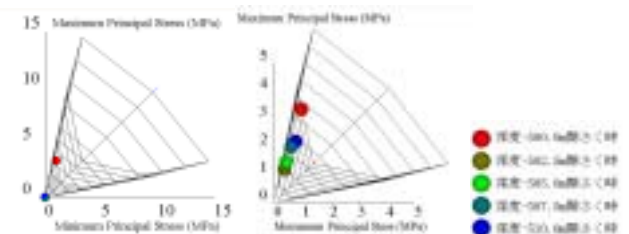


図-6 深度-502.5～-505.0m 側壁要素応力経路

える。また、崩壊を伴う地山条件においてはショートステップ工法によるグラウンドアーチ形成の促進が、塑性域の拡大防止に寄与することを数値解析より明らかにした。今後は、崩壊機構を考慮した原位置計測と現場の地山条件に則した数値シミュレーションにより、今回の検討事項の妥当性を検証していく予定である。