

地下高水圧条件下の岩盤空洞における支保設計事例

- 倉敷国家石油ガス備蓄基地(貯槽工事その3) -

鹿島建設(株) 正会員 ○畝田篤志, 森孝之, 横尾敦, 手塚康成,
宮嶋保幸, 高岸哲哉

(独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構 正会員 前島俊雄

1. はじめに

地下岩盤 LPG 備蓄基地の貯槽空洞は水封貯蔵方式を採用しており, 施工時から水封ボーリングを用いた水封水供給や貯槽周辺へのグラウトによる貯槽湧水量の抑制対策を行っている. このため, 高い水圧条件下での空洞掘削となるので, 施工前および施工途中において間隙水圧を考慮した支保設計や空洞安定性の検討を実施した. 本論文では, 施工前の挙動予測解析(有効応力解析)を用いた支保設計, および施工途中の地質不良部での水圧を考慮した追加支保設計の事例について報告する.

2. 有効応力解析を用いた事前支保設計事例

貯槽周辺が高水圧になることにより, 有効応力が減少して岩盤が塑性化し易くなるリスク(図-1)を評価するために挙動予測解析に有効応力解析を採用した. 全応力・有効応力解析結果の比較を表-1に示すが, 有効応力解析の方が緩みが大きく評価されることが分かる.

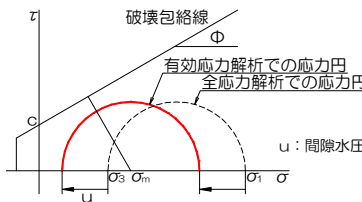


図-1 応力円のイメージ

表-1 全応力・有効応力解析の比較
局所安全率Fs分布図(L級均質モデルでの例)

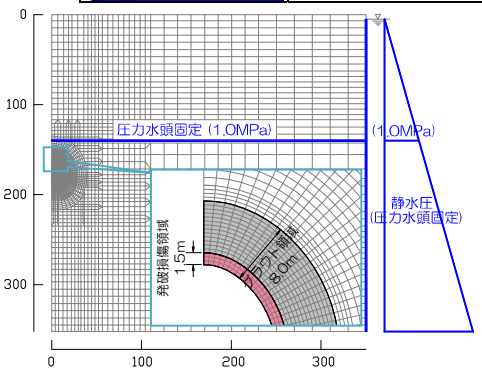
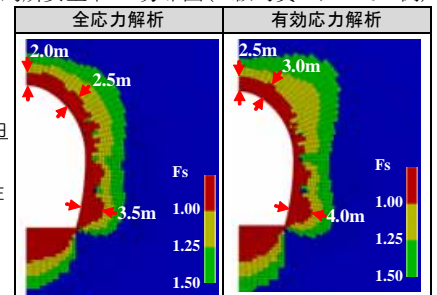


図-2 有効応力解析モデル図

表-2 解析用物性値

岩盤等級	単位体積重量 γ (kN/m ³)	弾性係数 E(GPa)	ポアソン比 ν	せん断強度 τ (MPa)	透水係数 k(cm/sec)
H級	27	8.0	0.25	$3.0 + \sigma \tan 49^\circ$	(地山) 1.0×10^{-5}
M級	27	4.5	0.30	$2.3 + \sigma \tan 46^\circ$	(クラフト) 2.8×10^{-6}
L級	27	1.5	0.35	$0.7 + \sigma \tan 40^\circ$	(発破損傷) 2.8×10^{-5}

挙動予測解析(有効応力解析)の概要

解析モデル図を図-2に, 解析用物性値を表-2に示す. 水理条件は, 水封ボーリングが施工されるGL-140m付近で圧力水頭を水封水圧の1.0MPaで固定し, グラウト領域を改良目標の 2.8×10^{-6} cm/sec と設定した. なお, 貯槽周囲1.5mについては, 掘削時の発破損傷により透水係数が大きくなることに配慮して 2.8×10^{-5} cm/sec と設定している.

地下高水圧条件下の事前支保設計

空洞の支保設計のフローを図-3に示す. 挙動予測解析から得られる支保断面力を照査するとともに, 塑性領域内の岩塊の重力場における安定性を照査した. 重力場の安定性照査については, 想定岩塊への作用荷重に水圧荷重をすることで, 高水圧条件下となることのリスクを評価した.

以上の検討により事前に設定した支保の例を図-4に示す. 不良地質部では, 近年道路トンネルで採用実績^{1) 2)}が増えてきているPC鋼棒($\phi 23$ mm)を部分補強として採用している.

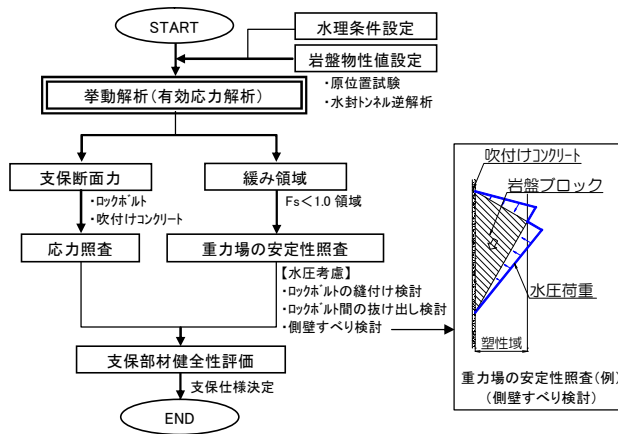


図-3 事前支保設計フロー図

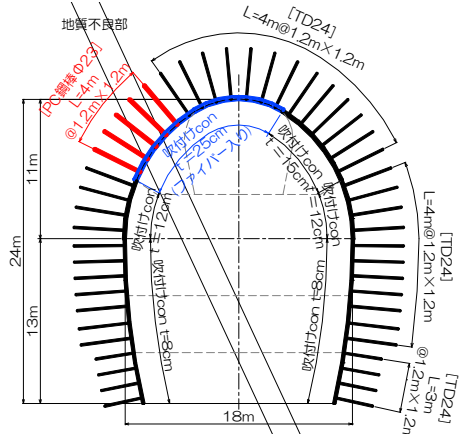


図-4 事前設定支保(地質不良部)

キーワード 水封式地下岩盤LPG貯槽, 地下備蓄, 有効応力解析, 支保設計, PC鋼棒

連絡先 〒107-8502 東京都港区赤坂6-5-30 鹿島建設(株)土木設計本部 TEL 03-6229-6635

3. 施工中の追加支保設計事例

施工にあたっては、各種計測を実施しながら情報化施工を実施した。計測値は概ね予測値未滿を推移したが、一部予測を超過した箇所では追加補強を実施した。その事例を以下に示す。

地質不良部において、最終ベンチ掘削完了後に貯槽内湧水抑制と周辺水圧回復を目的として、地質不良部へのポストグラウトと追加水封を施工した。その際、設置した岩盤変位計で 10mm の増分変位が観測されたので、まず現象の再現により力学モデルを構築した上で、以降の水封昇圧の際の空洞安定性に配慮した追加補強支保の検討を行った。

追加水封稼動時の間隙水圧の変化は地質不良部に限定していることから(図-5)、局所的に水圧が作用したものと考え、再現解析では地質不良部のグラウト外周面に増分間隙水圧の平均値(0.24MPa)を分布荷重として載荷させた(表-3)。また、ポストグラウト施工時には常に連動して変位が増加していることから(表-3)、再現解析ではポストグラウト施工範囲のパッカー設置位置(壁面から4m)に注入圧(2.0MPa)を分布荷重として載荷させた。なお2ベンチ以深については地質不良部沿いに注入圧の影響が及ぶことを想定して地質不良部沿いに荷重を載荷した(表-3)。

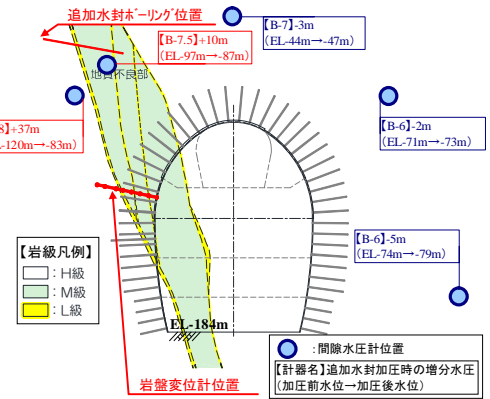
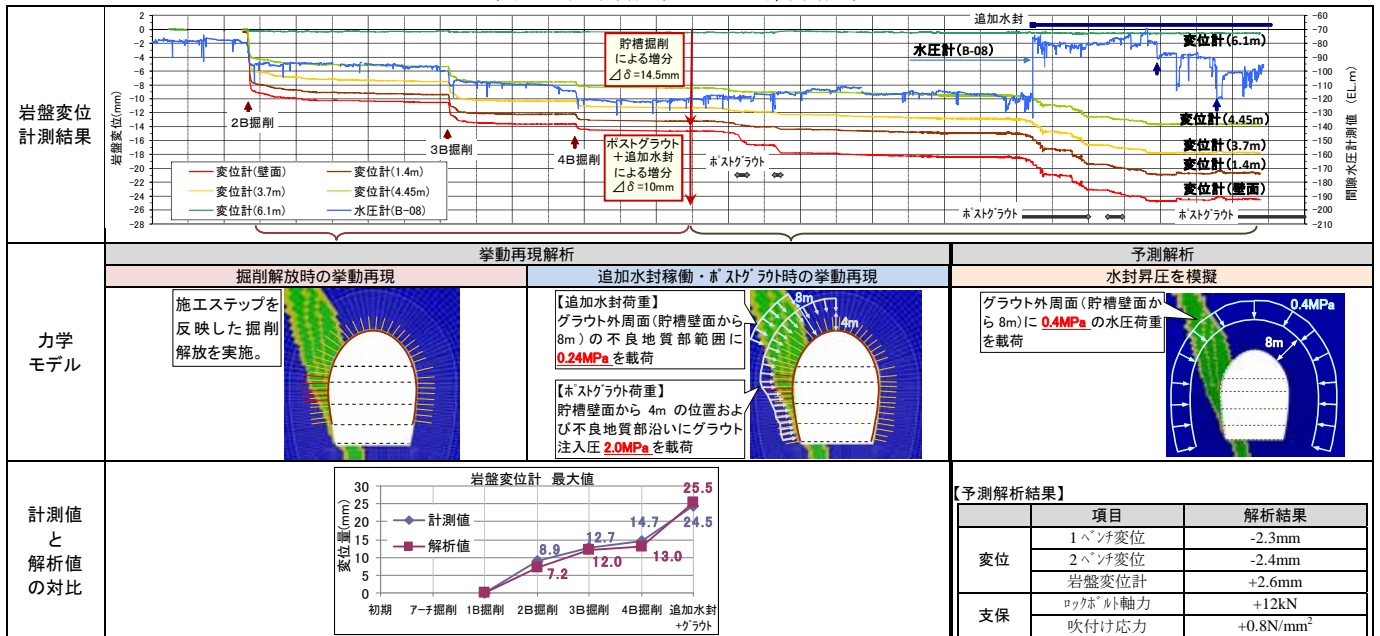


図-5 計器配置・間隙水圧変化

表-3 計測結果および解析結果



予測解析には以降の水封昇圧時に生じる周辺岩盤内の水圧上昇を考慮する必要があった。これはグラウト外周面に等分布荷重を載荷する事で模擬することとし、荷重強度は浸透流予測解析結果より 0.4MPa と設定した。結果を表-3の右欄に示す。これより水封昇圧による増分挙動は十分に小さいことが確認できた。よって追加補強としては、増ロックボルト(L=7m)を配置し、頭部被覆として増吹付けコンクリート(t=12cm)のみを実施することとした(図-6)。

以上の支保補強実施後に水封昇圧を行った。実挙動は増分変位 1mm 前後と予測値未滿に抑えられ、空洞の安定性が確認できた。

4. おわりに

本論文では、高水圧下での大空洞支保設計の事例について報告した。有効応力解析などを適用して事前に水圧に起因するリスクに対処するとともに、施工時には綿密な情報化施工により適切な追加補強支保選定ができた。これらの実績が同種工事の参考になれば幸いである。

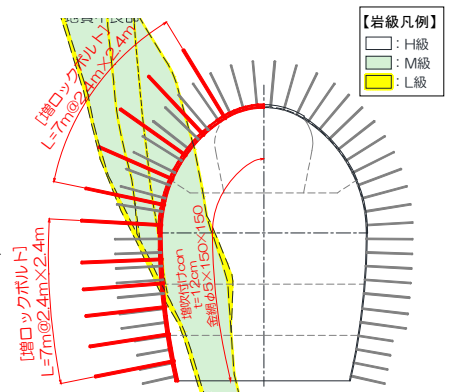


図-6 追加補強支保断面図

【参考文献】 1) 『大断面トンネルにおける変形挙動の特性とPC 鋼棒の支保材料としての適用性について』トンネル工学論文集, 2004
2) 『頁岩地山に対するPC 鋼棒ロックボルトの変形抑制効果について』第 66 回土木学会年次学術講演会, 2010