

地下石油備蓄タンクにおける 情報化施工

電源開発(株) 建設部参事役 宮永 佳晴

1. はじめに

今日の討論のテーマである情報化施工に最もふさわしい施工例として地下石油備蓄タンク(串木野基地)の施工管理手法について紹介したい。

串木野基地のタンクは幅18m、高さ22mの卵型断面で、長さが555mのトンネルが10列配置されており、タンク天端の堰高はE L - 20mで、地山かぶりは100 ~ 250 mである。

本地点を構成する岩石は北薩古期安山岩類および北薩中期安山岩類と呼ばれる新第三紀(500~2,400万年前)の自破砕状安山岩と礫岩である。きわめて割れ目が少なく、透水係数が小さい(平均 1.5×10^{-7} cm/sec)、かつ変形係数の大きい堅硬な岩盤であるが、一軸圧縮強度は500kgf/cm²程度と非常に小さいのが特徴である。

2. 岩盤分類(地下備方式)と物性値および支保パターン

岩盤タンクの設計にあたって、地下深部の塊状岩盤を対象とした「地下空洞の岩盤分類および岩盤総合評価の指針」(地下備方式)を作成した。この方式では「硬さ」と「割れ目間隔」を地下深部の塊状岩盤の性状を示す基本的な要素としているので、トンネルの切羽において地質を専門としない、土木の技術者が掘削後直ちに機械的に岩級を判定し、ロックボルト、吹付けコンクリート等の支保パターンをスムーズに決定することができる。即ち、現場における適用性を配慮した点が、地下備方式の大きな特徴である。

なお、一般に用いられている電力中央研究所の分類(電研分類)は、ダム基礎を対象として、地表部の「風化」を重要な要素として扱っているので、一概に比較することはできないが、地下備方式の岩盤分類H_v、H、M、L、L_vは概ね電研方式のB、C_H、C_M、C_L、Dに対応し、C_L、Dの一部が上級に移行する。串木野基地の岩盤を表-1の「硬さ」と「割れ目」の要素から分類すると図-2の通りとなる。

空洞安定性の検討にも用いる解析用岩盤物性値は、各種の岩石・岩盤試験の結果と、既応の文献に記載されている物性値を比較検討して、岩盤分類ごとに表-2のように決定した。

更に、この物性値を用いて、タンク天端や側壁における「局所安定検討」、グラウンドアーチに関する「全体安全性検討」、そして支保部材の機能を保証する「支保部材の健全性検討」の3項目について検討を行い、岩盤分類ごとに支保パターンを図-3のように設定した。

3. 計器の配置と計測管理

計測管理の中心となるのは内空変位と天端沈下であるが、計測断面は30mピッチとし、地質不良部では適宜、断面を追加するものとした。ま

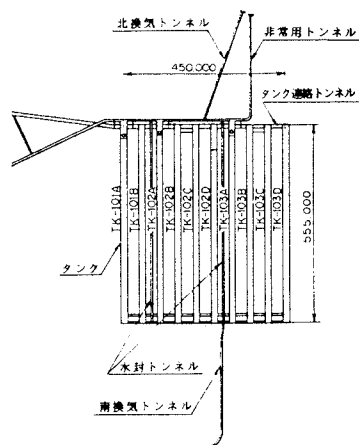


図-1 平面

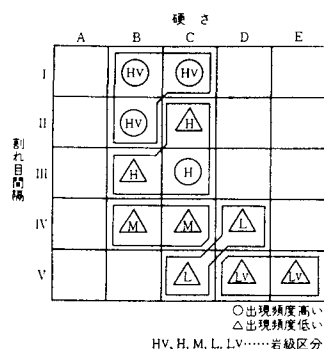


図-2 岩級区分(串木野)

「硬さ」		「割れ目間隔」	
ランク		ランク	基準
硬 ↑ 軟 ↓	A	I	100cm以上
	B	II	40~100cm
	C	III	20~40cm
	D	IV	5~20cm
	E	V	5cm以下

表-1 分類の主要要素

岩盤分類	H _v	H	M	L
単位体積重量	2.5	2.5	2.5	2.5
初期ポアソン比	0.20	0.25	0.30	0.35
初期変形係数	6×10^4	4×10^4	2.5×10^4	1.5×10^4
せん断強度	21	18	15	12
引張強度	4.2	3.6	3.0	2.4
初期地圧(側圧比)	1.0	7.0	7.0	1.0

表-2 岩盤の物性値

た、内空変位計測値と地中変位のチェック等、空洞・支保の安全性を確認するために、地中変位、ロックボルト軸力および吹付けコンクリート応力を測定する埋設計器計測断面が、タンク1本あたり2～3断面（計23断面）設けられ、坑外の計測室で集中的に管理された。

なお、内空変位の計測には、従来のコンバージェンスメジャーを用いる方法に代えて、安全性と施工速度を向上させたトータルステーションを用いる計測システムを新たに開発し、使用した。このシステムでは、各計測断面の計測点にターゲット板を有するプリズムが設置され、このプリズムを計測台車上のトータルステーションにより能率的に測定し、データはパソコンで処理され、変位がグラフでアウトプットされる。精度は±2mm以内であるが、実用上は全く支障はなかった（図-4）。

4. 管理基準値の設定

各岩盤等級における空洞掘削時の内空変位や天端沈下量を推定するために、有限要素法を用いて単設空洞と連設空洞の場合について空洞掘削挙動解析を行った。この結果から、天端沈下は連設の方が単設より大きく、かつ盤下げ毎に沈下量は増加し、内空変位に関しては、盤下げにより直上の測線の変位が最も大きくなり、連設の場合には隣接空洞の影響のために単設に比べて小さくなることが判明した（図-5）。

従って、計測管理は、変位が最も大きい施工ステージの移行ごとの変位を測定するのが最も異常が確認しやすいので、設計時点で加背割の寸法を確定して、管理基準値をあらかじめ表-3のように設定した。

5. 施工管理の手順および計測・解析システムフロー

施工管理手順は表-4に示す通りである。アーチ部の掘削時点で、主として地質観察によって、岩級と支保パターンを決定し、以後、盤下げに移行してからは、主として内空変位によって岩級の下方への修正、増ボルトによる補強、断面形状の変更、場合によっては以後の盤下げの中止等の対策工を行うこととした。

また、対策工の実施に際しては、各ステージごとの計測値、物性試験による物性値等を用いて、順解析と逆解析を併用する解析システムによって変位量の予測値とのチェック等を行うこととした（図-6）。

6. あとがき

串木野基地では、実際の施工時には、規模の大きい地質不良部で、管

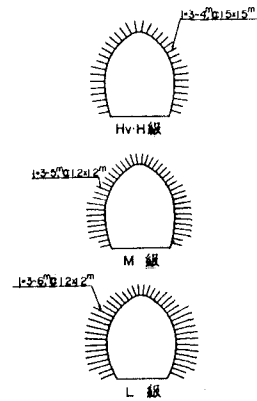


図-3 支保パターン

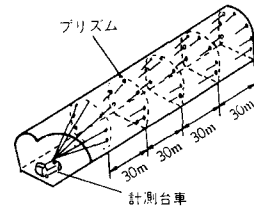


図-4 内空変位測定

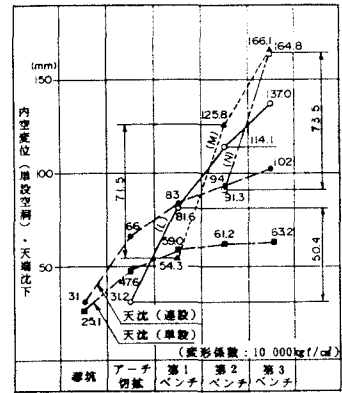


図-5 解析結果

表-3 串木野基地内空変位・天端沈下管理基準値

掘削段階	レベル	内空変位 (mm) (主)	天端沈下 (mm) (従)	H 物性	M 物性以下
切詰め掘削時	注意レベル 1	—	≧ 9 (主)	増ボルト施工、M物性に移行 、L物性に移行 、L物性に移行	— 観察・計測強化、孔内物性試験 必要に応じて増ボルト、場合によっ て盤下げ中止
	警戒レベル 2	—	≧ 13 (主) ≧ 22 (主)		
第1ベンチ掘削時	注意レベル 1	≧ 12	≧ 13	増ボルト施工、M物性に移行 、L物性に移行 、L物性に移行 増ボルト・断面形状変更・場合 によっては盤下げ中止	— 観察・計測強化、孔内物性試験 必要に応じて増ボルト施工 断面形状変更、場合によっては盤下 げ中止
	注意レベル 2	≧ 19	≧ 20		
	警戒レベル 1	≧ 31	≧ 33		
	警戒レベル 2	≧ 47	≧ 50		
第2ベンチ掘削時	注意レベル 1	≧ 17	≧ 16	増ボルト施工 、 増ボルト・断面形状変更	— 観察・計測強化、孔内物性試験 必要に応じて増ボルト施工 断面形状変更
	注意レベル 2	≧ 27	≧ 24		
	警戒レベル 1	≧ 44	≧ 39		
	警戒レベル 2	≧ 67	≧ 58		
第3ベンチ掘削時	警戒レベル 1	≧ 45	≧ 44	増ボルト（PCアンカーを含む）施工 ストラット施工	
	警戒レベル 2	≧ 68	≧ 66		

*H物性からL物性に移行した場合には観察・計測強化、坑内物性試験を実施。

理基準値を越える変位が生ずる所が出現し、Ⅱ型・Ⅲ型断面部、盤下げ中止断面等、多彩な断面形状を採用して掘削を無事完了することが出来た。

以上のように、岩盤タンクでは上部の情報から下部の設計を修正できることと、地下発電所と異なり、「形状の変更」も可能ということで、情報化施工が最も効果的に活用出来た。

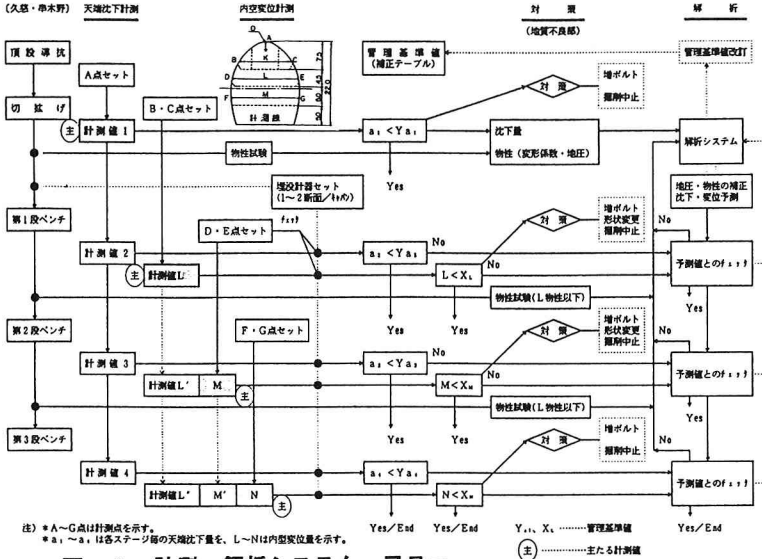


図-6 計測・解析システムフロー

表-4 (串木野) 岩盤タンク施工管理手順

施工ステージ	作業項目及び内容	管理基準	管理基準による判定	処置
ア チ 部	・導坑掘削時 (i) 切羽部地質観察 (簡易地質記録)	管理基準①	・岩級、支保パターン区分 (H以上H以下) 判定。	・岩級区分に応じた支保施工。
	(a) 詳細地質観察	管理基準②	・詳細岩級、支保パターン区分 (H ₁ 、H ₂ 、M ₁ 、M ₂ 、L ₁ 、L ₂) 決定。	・岩級区分が暫定設定より下級のランクと判断された場合は天井増ボルト、増吹付。 ・Ⅳ型移行の場合はアーチ切戻り以降の断面形状変更。 ・各岩級ごとの弾性波速度標準値の作成。
	・切戻り掘削時	管理基準① 管理基準③	・岩級、支保パターン区分の修正 (下級方向のみ)	・各岩級区分に応じた支保施工。 ・各岩級ごとの物性値の確認。
	・大背掘削時	管理基準②		
1 段 ベ ン チ 部	・土層掘削時	管理基準① 管理基準③	・岩級、支保パターン区分の修正 (下級方向のみ)	・岩級区分に応じた支保施工。 ・Ⅱ型、Ⅲ型移行の場合は2段ベッチ以降の断面形状変更。
	・大背掘削時	管理基準②		
	・土層掘削時	管理基準① 管理基準③	・岩級、支保パターン区分の修正 (下級方向のみ)	・岩級区分に応じた支保施工。 ・Ⅲ型移行の場合は3段ベッチ以降の断面形状変更。
	・大背掘削時	管理基準②		
2 段 ベ ン チ 部	・土層掘削時	管理基準① 管理基準③	・岩級、支保パターン区分の修正 (下級方向のみ)	・岩級区分に応じた支保施工。
	・大背掘削時	管理基準②		
	・土層掘削時	管理基準① 管理基準③	・岩級、支保パターン区分の修正 (下級方向のみ)	・岩級区分に応じた支保施工。
	・大背掘削時	管理基準②		
3 段 ベ ン チ 部	・土層掘削時	管理基準① 管理基準③	・岩級、支保パターン区分の修正 (下級方向のみ)	・岩級区分に応じた支保施工。
	・大背掘削時	管理基準②		
	・土層掘削時	管理基準① 管理基準③	・岩級、支保パターン区分の修正 (下級方向のみ)	・岩級区分に応じた支保施工。
	・大背掘削時	管理基準②		

注) ・管理基準①は、「岩盤タンクおよびトンネルの岩盤分類および岩盤総合評価指針」の簡易地質記録作成のための基準を表す。
・管理基準②は、「岩盤タンクおよびトンネルの岩盤分類および岩盤総合評価指針」の詳細地質記録作成のための基準を表す。
・管理基準③は、表に示す通りとする。

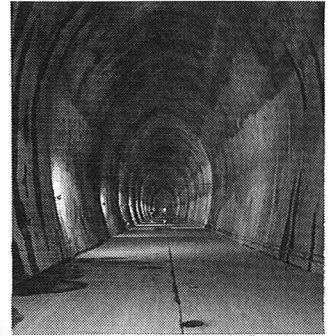


写真-1 標準断面

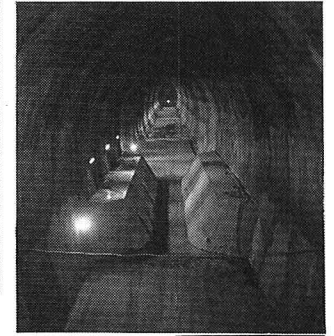


写真-2 変形断面