

秋田石油備蓄西基地地中式原油タンク工事の施工（その1）

Construction of Underground Tank at Akita Oil Store Base (I)

堀江 道夫*
Michio Horie

要 約

本文は当地中式原油タンク建設工事の工事概要と、直径約96m、深さ約40mの大規模な軟岩掘削及びそれに関連する工事について述べる。

地中部の掘削は大型クレーン(150t吊)と大型ベッセルの組合せによる揚土方法を採用した。また、山留はロックアンカー方式を基本とし、局部破壊防止としてロックボルトを併用した。

目 次

- §1. はじめに
- §2. 工事概要
- §3. 下部二次掘削の施工
- §4. 山留工の施工
- §5. 下部二次掘削時の仮設備
- §6. おわりに

§1. はじめに

秋田石油備蓄基地は、国家石油備蓄の一環として秋田県男鹿市船川港の隣接地に計画されたものであり、地中式原油タンク12基（西基地4基、東基地8基）によって構成されている。この備蓄基地の建設は、第一期としての西基地の建設と、第二期工事としての東基地の建設からなり、当社が現在JVの一員として参加している西基地1工区は、4基の原油タンクのうちの2基を対象としたものである。

当工事は、昭和58年5月に着工し、昭和61年4月までに掘削関連工事は完了している。現在は側壁軀体の構築中であり、昭和63年度の完成を目指している。

§2. 工事概要

2-1 概要

工事名 秋田石油備蓄西基地1工区地中式原油タンク
建設工事

企業先 秋田石油備蓄株式会社

コンサルタント 日鉱エンジニアリング株式会社

工 期 昭和58年4月～昭和63年12月

施 工 鹿島・大成・三井・間・西松（土木工事）・甲陽・川崎重工（設備工事）共同企業体

2-2 タンク諸元

容 量 30.5万kl×2基

内 径 90m

側 壁 高 54.5m

タンク高 51.5m

Fig. 1 に西基地配置図を、Fig. 2 にタンク断面図を示す。

2-3 施工の特徴

(1) 掘削関連工事

- ① 地中部は大規模な軟岩の鉛直掘削であり、ロックアンカー・ロックボルト及び吹付けコンクリート（吹付け厚8cm）により地山の安定を図る。
- ② 近隣住民への配慮による夜間作業の禁止や1月～3月の作業不可などにより、ピーク時で1日当たり約5000m³の軟岩を掘削・搬出する体制が必要である。
- ③ 計測管理に基づいて、地山の安定を検討する観測施工の工事である。

(2) 軀体工事（側壁・底版）

*東北(支)秋田(出)秋田石油備蓄(作)

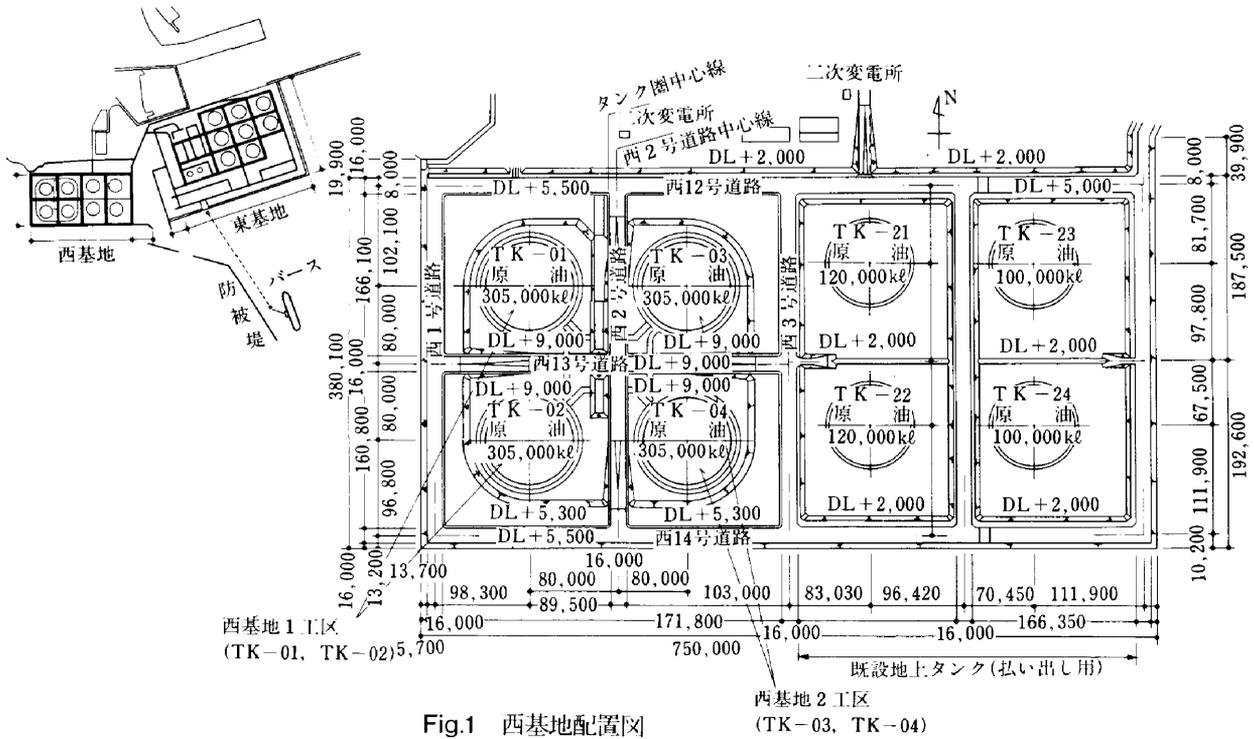


Fig.1 西基地配置図

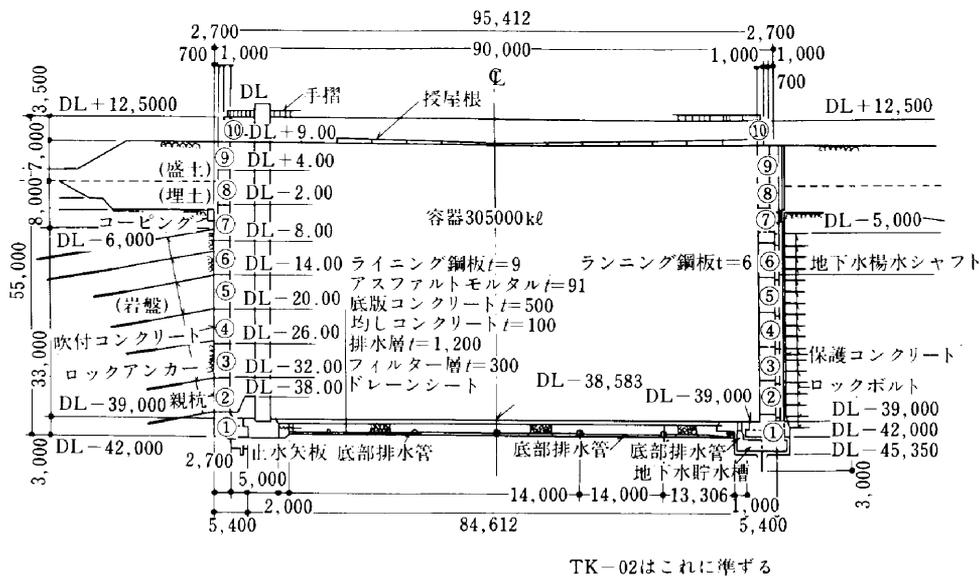


Fig.2 タンク断面図(TK-01)

- ① 躯体構築前に、掘削底盤下に止水矢板を施工して湧水量を低減させる。
- ② 側壁コンクリートは、1ロット(H=6.0m)約5000m³を1日で打設する。なお、コンクリートは低スランプ(6.5cm)のものに流動化剤を添加してポンプ車により打設する。
- ③ 側壁の内型枠は、設備部門で施工するライニングプレートであり、外型枠は(1)で施工した吹付け面である(地上部は外型枠が必要)。

- (3) 埋戻し・盛土工事
盛土材料は、隣接する東基地の地中部掘削ブリを流用するため、工事は東基地の掘削時期に左右される。

2-4 主要工事数量

Table 1 に当工事の主要工事数量を示す。

2-5 施工手順

Fig. 3 に概略の施工手順を示す。

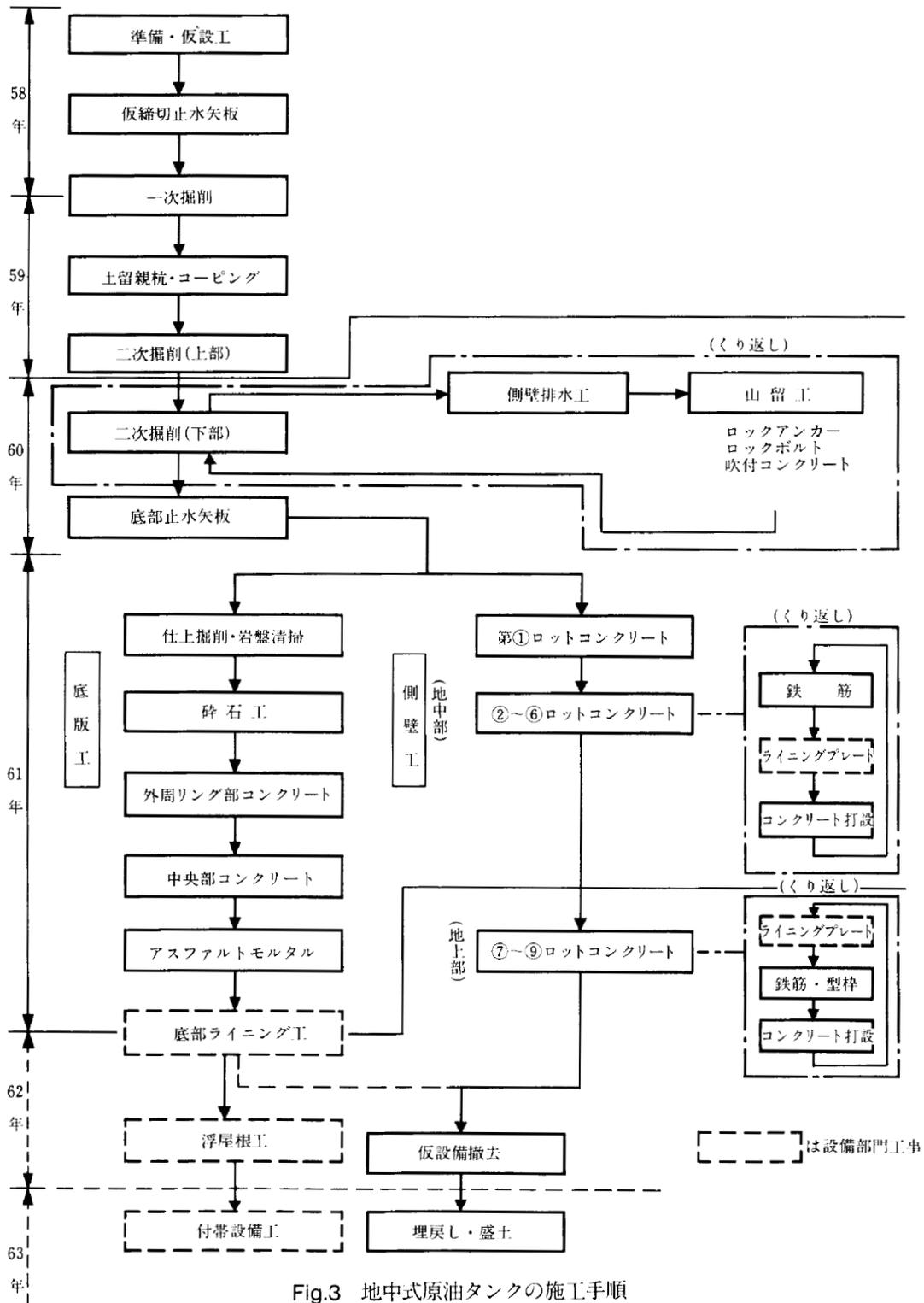


Fig.3 地中式原油タンクの施工手順

§ 3. 下部二次掘削の施工

3-1 掘削方法

掘削工事は、Fig. 4 に示すように一次掘削と二次掘削とに分けられている。すなわち、一次掘削の範囲は、地表からタンク作業床盤までの埋立土砂部及び旧海底盤下の軟岩部であり、二次掘削はタンクの地中部となる作業床盤以下の軟岩を対象としている。

ここに下部二次掘削と称しているのは、地中部の二次掘削土の搬出方法の違いによって次の2つに区分したためである。

- ① 作業床からの深度 $H=5.0\text{m}$ までを上部二次掘削とし、直接ダンプトラックに積込んで搬出する。
- ② 作業床からの深度 $H>5.0\text{m}$ を下部二次掘削とし、タンク内で掘削したズリを揚土し、作業床上でダンプトラックに積込んで搬出する。

Table 1 主要工事数量—タンク2基当り(土木工事)

工 種	数 量	摘 要	
仮締切止水矢板	10,100m	鋼矢板SP-III型	
掘削工	一次掘削 (埋立地部)	206,000m ³	ダンプ直接積込, 深度5mまでの地中部揚土, 深度5mを越える地中部壁面仕上, 一次吹付
	二次掘削 (上部)	72,200m ³	
	二次掘削 (下部)	463,100m ³	
	壁面整形	22,710m ²	
山留工	土留親杭	120本	場所打杭, $\phi 650$, 39~45m, リバースサーキュレーション工法, 中詰エアームタル
	コーピング	606m	SEEEストランド, F100~F200, 10.5~25.0m
	ロックアンカー	780本	
	ロックボルト	2,670本	SD30, 5.5m
	腹起し	4,070m	[-250
	吹付コンクリート	22,800m ³	t = 8cmラス入り, 乾式吹付
施工時補強工	1式	ロックアンカー, ロックボルト, コンクリート	
側壁工	排水工	6,450m	塩ビ管 $\phi 100$, $\phi 200$, $\phi 300$, ドレーンパイプ, 透水性シート
	地下水集水槽	8ヶ所	底部排水管に接続, 掘削, 鉄筋コンクリート
	油漏洩検知孔	8ヶ所	H ϕ $\phi 600$ 有孔, 砕石, 掘削
	揚水シャフト保護吹付けコンクリート	8ヶ所 83,600m ³	掘削, 鉄筋コンクリートポンプ車打設, $\sigma_{ck} = 300\text{kgf/cm}^2$
	鉄筋	6,240t	SD-35, パネルで建込み
	型枠	13,100m ²	地中部第①ロット及び地上部のみ
底版工	底部止水矢板	4,460m	U型鋼矢板III型, ハイジェットパイル工法
	底部排水管	1,740m	3m, グラウト
	フィルター層砕石	3,350m ³	HP $\phi 150$, $\phi 200$ 有孔
	排水層砕石	13,700m ³	7号砕石, t = 30cm
	岩盤清掃	14,600m ²	4, 6号砕石混合, t = 120cm
	コンクリート	8,580m ³	ポンプ車打設, $\sigma_{ck} = 240\text{kgf/cm}^2$
	鉄筋	1,120t	SD-30
	ヒンジ筋	674m ² 3,084本	外周リング部のみ $\phi 30$ -1,800, $\phi 25$ -1,500, アスファルト充填 t = 30, t = 70
埋戻し, 盛土	1,040m ³ 12,400m ³	目地 アスファルトモルタル	

本文では②について述べるが, 以下単に二次掘削と称する。

二次掘削は Photo 1 に示すように, まず上部掘削時(59年8月~59年11月)に使用したズリ搬出用の斜路を撤去することから開始した。

二次掘削は, 対象とする地山が泥岩層を主体とした軟岩であるため, 32tブルドーザによるリッピングと, バックホウによる壁面周辺部の掘削という組合せで行われた。また, 掘削工事の中で最も大きなウェイトを占める揚土作業には, ベッセル方式を採用した。掘削機械1セットの組合せは下記のとおりである。

- ① 掘削 32t級ブルドーザ, 0.9m³バックホウ
- ② 集土 21t級ブルドーザ
- ③ 積込 (タンク内) 4.5m³ホイールローダ
- ④ 揚土 150tクローラクレーン+大型転倒ベッセル (鹿島式)
- ⑤ 積込 (地上部) 1.2m³バックホウ
- ⑥ 運搬 ダンプトラック11t

Fig. 5 に大型転倒ベッセルを示す。

揚土には, ④の他に補助として, テルハ1基を TK-01のみに設置して使用した。

二次掘削は, Fig. 6 に示すような施工フローで行った。このように二次掘削と壁面作業は互いに影響を与え合うものであった。

二次掘削の土捨場は, 隣接する東基地用地であったが, 秋田県発注の護岸工事 (当社も施工) の進捗に合わせざるを得ず, 最初の2ヶ月間の捨土量は約10万m³に制限された。このため, 掘削のピークは7月から9月となり, この間は片番で5,000m³/日の施工体制を必要とした。Photo 2 にピーク時の二次掘削状況全景を示す。

二次掘削は以上のような条件下のもとで行われたがほぼ工程どおりの8ヶ月で終了した。

3-2 掘削の手順

掘削は山留工と他の壁面作業との関連から, 壁面周辺部と中央部に区分され, 作業能率向上のため中央部が先行した。壁面周辺部の1回の掘削高は, ロックアンカー・ロックボルトの配置に合わせて2mとし, 幅は山留工の削孔に必要な8mを確保した。壁面周辺部の掘削はロックアンカーなどの山留工の作業に支配され, 1段2m全周を下げるのに7~10日を要した。このため, 中央部と壁面周辺部では最大5mの段差が生じた。また, 壁面作業の終了した箇所からさらに順次2mの切り下げを行ったため, 壁面周辺部円周方向の最早箇所と最遅箇所との高低差は2ステップ分の4mになることが多かった。

3-3 壁面整形・一次吹付け

壁面周辺部の荒掘削はバックホウで行い, 仕上面までの残り約30cm分はバックホウにツインヘッダーを装着して仕上掘削・壁面整形を行った。この整形作業は人力を必要とせず効果的であった。ただし, 円筒型の掘削であるため鉛直度と曲率の出来形管理には苦心し, 仕上げ

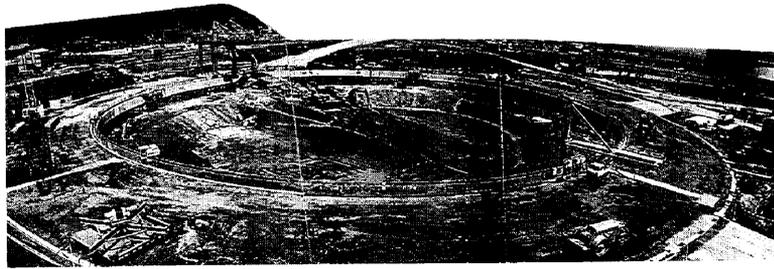


Photo 1 二次掘削(下部)着手時 TK-01

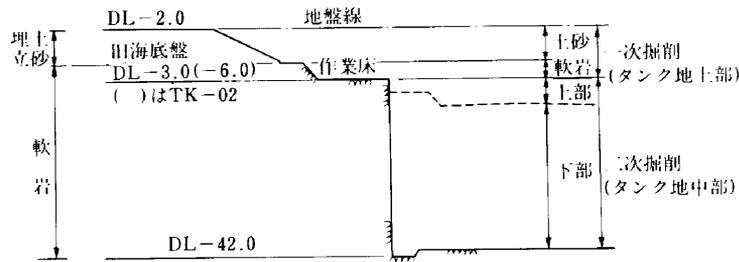


Fig.4 掘削の区分

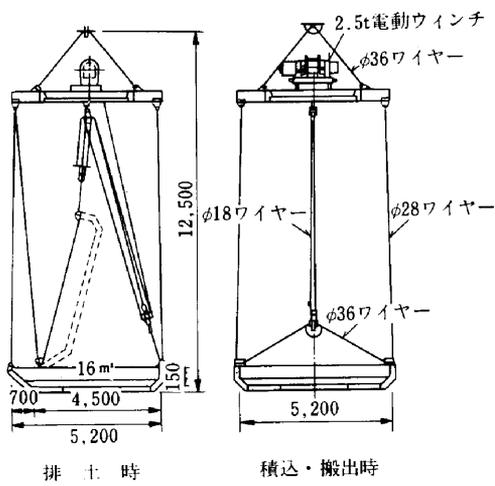


Fig.5 大型転倒ベッセル

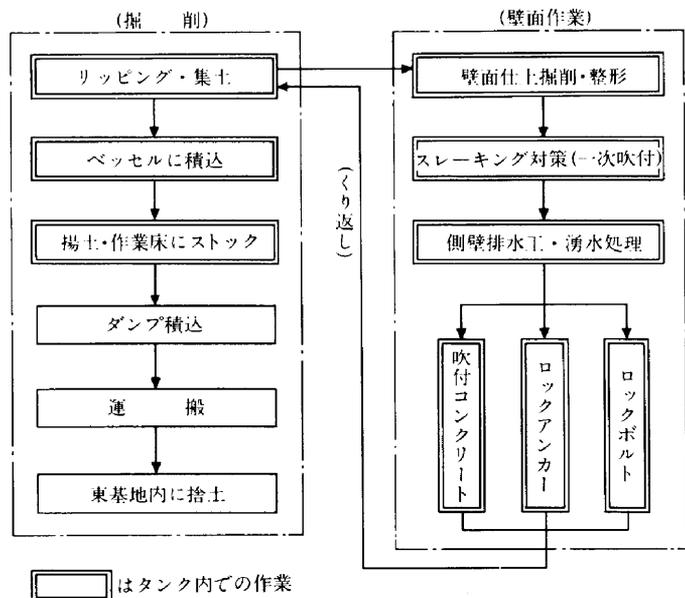


Fig.6 二次掘削の施工フロー

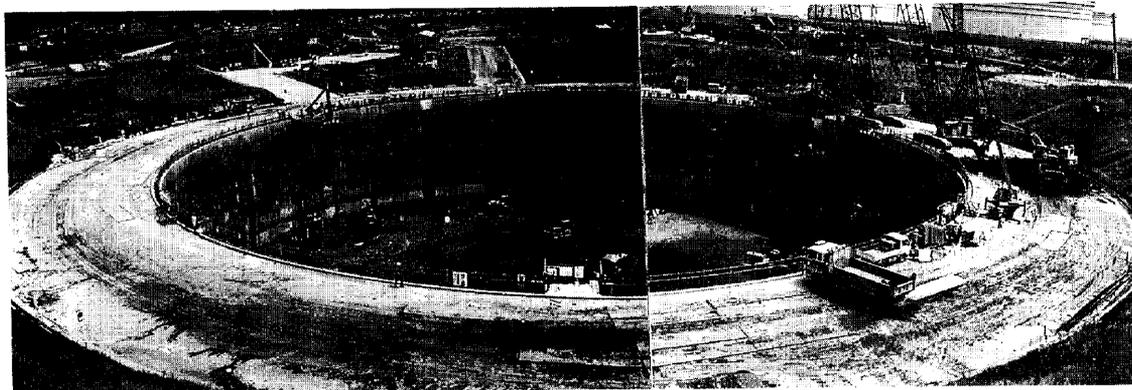


Photo 2 二次掘削のピーク時 TK-02

Table 2 一次吹付材料

	材 料	品 名	材 質	仕 様 (50㎡当り)	摘 要
I	モルタル下地処理剤	ダイヤモンドプライマー	アクリル樹脂	ダイヤモンドプライマー 18kg 水 18ℓ (1:1)	主体として使用
II	タイル下地調整材	SKタイルファイラー +混和液 +細骨材(石骨)	セメントパウダー カチオン系ポリマー	SKタイルファイラー 40kg 硬化剤 5.0kg 石骨(シポストン) 20kg 水 90ℓ	壁面が濡れている箇所に使用

時は地上部から下げ振りをおろし、整形後はタンクセンターからの半径距離チェックを各ステップごと全周にわたって行った。

壁面は、整形終了後コンクリート吹付け施工までの間、露出した状態になる。本工事に先立って行われた試験施工では、表面の劣化(風化)が短期間に著しく進行することが確認されていた。そこで、吹付けコンクリートとの付着性を確認した上で、Table 2 に示す材料を用いて一次吹付けを行い、表面を保護した。

§ 4 . 山留工の施工

4-1 ロックアンカー

ロックアンカーは SEEE ストランドを採用した。削孔

は、地山が泥岩であるためロータリーパーカッション方式とした。Table 3 にロックアンカーの仕様を示す。

ロックアンカーの配置は、設計段階で全て決定されていたが、規格・アンカー長・設計導入荷重の決定は、とりえず2段目までとした。3段目以深については、1、2段目まで掘削した時点での、アンカー及び地山変形の計測結果に基づいて決定するためである。Fig. 7 にロックアンカーの配置を示す。

Fig. 7 は TK-01 の場合を示すもので、TK-02 もこれに準じている。3段目以深のアンカー規格をB部の方がA部より1ランク上としたのは、地山の変形挙動が、0°-180°方向よりも90°-270°方向の方が顕著であったためである。

施工に当って、削孔時の湧水、孔壁崩壊などが心配さ

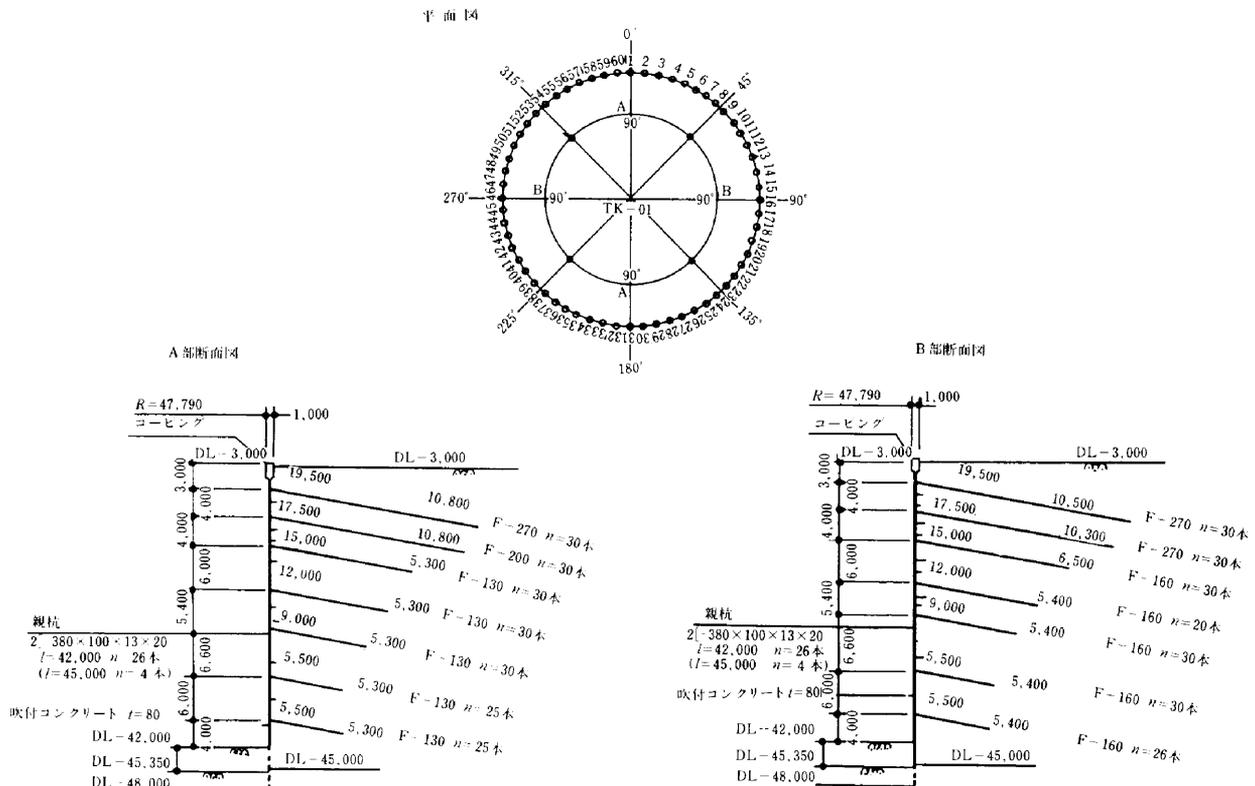


Fig.7 ロックアンカーの配置(TK-01)

Table 3 ロックアンカーの仕様

項目	仕様
アンカー体径	φ135mm
アンカー長	10.8~30.3m
打設角度	水平より下向10°
定着地層	泥岩
注入材	セメントミルク $\sigma_7=240\text{kgf/cm}^2$
加圧法入方法	シングルパッカー

れたが、これらの異常現象はなかった。しかし、掘削深度が増すに従って、ロックアンカーのあと荷重が増大し許容荷重近くになるものもあり、このような部分では地山の変形も相対的に大きかったため、後のロックアンカーもしくはロックボルトの増し打ちによって補強した。

ロックアンカーの定着荷重は、当初クリープ・レラゼーションなどによる応力の減少を考慮して、設計導入荷重を8%割増したが、ロードセル荷重計によると、定着後の張力減少はほとんどなく、多くは増加傾向にあった。このため、5段目以降の定着荷重は設計導入荷重とした。

ロックアンカーの施工は上段から行われるが、上段のアンカーは下段のそれと比べて長いので、更に当初十分な作業パーティータンを用意できず、一段目のアンカーの施工には約1ヶ月を要した。しかし、その後パーティータンを増強し、1段（60本）を概ね10日間程度で施工した。

4-2 ロックボルト

ロックボルトは、高さは2mごとに、円周方向には親杭の中間に配置し、親杭間の土塊を支承するとともに、側壁ライニング鋼板タイロッドのアンカーとなる機能を持っている。ロックボルトは全面付着形式であるが、上記の機能上、全本数について緊張を行った。Table 4にロックボルトの仕様を示す。

Table 4 ロックボルトの仕様

項目	仕様
削孔方式	ロータリーパーカッション
アンカー体径	φ80mm
アンカー長	5.5m
打設角度	水平
使用材料	異形棒鋼SD-30、D32mm
定着地層	泥岩(全長定着)
注入材	セメントミルク、圧縮強度 $\sigma_7=240\text{kgf/cm}^2$
許容荷重	15.3(tf/本)

ロックボルトの削孔機は、ロックアンカーとは別のクローラドリルを使用した。削孔は単管方式を原則としたが、節理の多い箇所などでは二重管方式とした。

ロックボルトの施工は予定どおり、もしくはそれ以上に進行し、二次掘削の工程への影響はなかった。

4-3 吹付けコンクリート

吹付けコンクリートは厚さ8cmのラス入りである。吹付方法は、地山からの湧水にある程度まで対応できる乾式とした。金網は原則として溶接金網を使用した。地山の凹凸の大きい箇所ではそれに追従するように、ひし形金網を用いた。Table 5に吹付けコンクリートの仕様を示す。

吹付けコンクリートは、施工前から湧水対策が必要であると考えられた。実際に湧水箇所においては、壁面ににじむ程度までは問題なく施工できたが、壁面から流れ出るくらい（2~3ℓ/min）になると急結剤を増しても付着しない事が多かった。このため、湧水箇所では下記のような処置を行った。

- ① 薬液注入により直接止水する（確実に止水できるが他の湧水経路に回ったり、また、段取りが大がかりとなるため途中から不採用）。
- ② 湧水口から設計の側壁排水の溝まで壁面を素掘り

Table 5 吹付コンクリートの仕様

項目	仕様	備考
吹付方式	乾式	
吹付厚さ	t = 80mm	
使用金網	溶接金網#8(φ40mm)-100×100	JIS G 3551規格品
	もしくは 亜鉛めっきひし形金網#12(φ2.6mm)-56×56	JIS G 3552規格品
金網用アンカーピン	φ16 ℓ=400 1本/4㎡	JIS G 3101規格品
金網用補助ピン(止釘)	φ9 ℓ=200 1.5本/㎡	同上
金網の重ね合せ長さ	20cm以上	
コンクリート材料	圧縮強度 $\sigma_{28} \geq 180\text{kgf/cm}^2$	

し、透水マットを埋めて流す。透水マットと吹付けコンクリートとの間は繊維性のフィルターマットを張るのが有効であった。

- ③ ビニールホースを取り付けて流す (この際、取付箇所のコーキングが必要)。

また、局所的な地山表層の崩落箇所や節理の発達した箇所では、アンカーピンの打ち込みに注意を要した。同様の箇所では、それ以上の崩落を防ぐためにコンクリートの素吹を行った。

4-4 計測管理及び補強工

二次掘削時の地山崩壊に対する安全のために

- ① 傾斜計による地山の变形計測
- ② ロードセル荷重計によるロックアンカー張力測定を行い、Table 6 に示す計測管理基準を設定して管理し、安全施工のための指標とした。また、各管理基準のランクを超える場合は、補強を検討して、実施した。

また、地質調査については、専門業者を常駐させて行い、各掘削ステップごとに壁面地質展開図を作成して、補強工検討の参考資料とした。

地山変形の大きい部分は、いずれも何らかの割れ目もしくは弱層の存在する所で、その変形はほとんどの場合に「ズレ」変形的なものであった。補強工の要否の検討は、管理基準の「注意」ランク以上となった箇所のうち、下記のいずれかの現象を示しているものについて行っ

た。

- ① 「ズレ」的変形歪が掘削の進捗と共に増加する。
- ② ワレ目・弱層などが交叉し、応力的に開放された大きなブロック的な土塊の存在が想定される。

補強方法としては、工法の変更は行わず、ロックアンカー・ロックボルトの増し打ちもしくは仕様の変更などで処置した。

一方、ロックアンカー張力の増加に伴う補強工も数箇所行った。定着後のアンカー張力は、通常ロードセル荷重計の設置箇所しかわからないため、ロードセル荷重計によるアンカー張力の異常増加箇所周辺を広範囲にわたって再緊張し、張力を測定したうえで補強範囲を決定した。補強はロックアンカーの増し打ちで行った。

4-5 表層土塊の補強工

4-4 に述べた計測管理に基づく補強工のほかに、地山壁面の節理・亀裂などによって親杭1スパン間の表層土塊の崩落及びその恐れのある箇所についても、工事の安全上補強工を実施した。

補強工の適用範囲は、壁面が下記の状態となっている箇所を対象とした。

- ① 岩盤の亀裂・節理が発達し、その面が流れ目状ではなく離性を有する。
- ② 岩盤が部分的に破砕状になっており、その破砕片が崩落する。

補強方法はロックボルトの増し打ちとし、凹凸の大き

Table 6 計測管理基準と各ランクでの対応

管理項目		管理点	STEP-I	STEP-II	STEP-III
地質調査			○基本設計条件とほぼ同じ地質条件。 ○割れ目・弱層は若干あるがその連続性はない。	○注意すべき割れ目・弱層が確認される。 ○処置の必要な湧水がある。	○警戒すべき明確な割れ目・弱層が確認される。
計測管理	地山変形	前倒れパターン 中はらみ	$\gamma=0.2\gamma_{lf}$	$\gamma=0.4\gamma_{lf}$	$\gamma=0.6\gamma_{lf}$
		ズレパターン	$\gamma=0.33\gamma_{cf}$	$\gamma=0.67\gamma_{cf}$	$\gamma=0.83\gamma_{cf}$
		γ :せん断歪, γ_{lf} :限界歪(=1.08%), γ_{cf} :限界歪(=2%)			
	出来形	最大変位量13cm	—	—	
ロックアンカー張力	上限	$P=1.1P_0$	$P=0.7P_0, 0.85P_0$	$P=P_0$	
	下限	$P=0.9P_0$	$P=0.8P_0$	—	
	P :実測値 P_0 :許容荷重 P_0 :引張荷重 P_0 :設計導入荷重 P_0 :降伏点荷重				

対応		STEP-I		STEP-II		STEP-III	
		▽		▽		▽	
状態の判定		ランクA 正常	ランクB 注意	ランクC 警戒(I)	ランクD 警戒(II)		
工事の対応		正常施工	注意施工	○警戒施工 ○補強工(A)	○I.事中止 ○補強工(B)		

い箇所は、さらにコンクリートを打設して極力平滑となるようにした。この補強工は安全上必要なため行ったのであるが、最終数量は1500本余りにのぼり、また、壁面部の掘削を行うまで壁面の状況がつかめなかったため、工程上大きな負担となった。

§ 5 . 二次掘削時の仮設備

Fig. 8 に主要仮設備の配置図を示す。

5-1 仮設道路（タンク周り）

作業床と称するタンク周囲の道路は碎石路盤であり、当初はその都度補修する予定であったが、降雨を考慮してアスファルト舗装とした。二次掘削のピーク時以降は舗装の痛んだ箇所も多く、その都度鉄板を敷くか、コンクリート打設により対処した。

5-2 電力・給気・給水設備

Fig. 8 に示すとおり、これらの設備の配線・配管はタンク外周部の供給源より作業床を埋設横断した後、コーピング上をはわせた。コーピング上の90°方向ごとに、各タンク4ヶ所に取り出し口及び分電盤を集中配置し、タンク内には掘削の進捗に伴い壁面沿いに腹起しに溶接しながら配管を下ろした。タンク内の分電盤は、エレベーターの下部とモンキータラップの踊り場に盛替えながら設置した。工事用電力は1000kVA を企業先から無償支

給されたが、非常時において排水・昇降設備を稼働させられるように予備発電機を両タンクに1台ずつ設置した。

給気設備は、吹付け機台数のピーク時を対象として、定置式コンプレッサー75kW（吐出量12m³/min）4台を設置し、吹付けコンクリートの完了と共に撤去した。

上水・工業用水は企業先より支給された。工業用水の支給量は最大200t/日であった。また、工業用水として排水処理設備から出る処理水も併せて使用した。

5-3 排水設備

二次掘削時の作業排水及び雨水は、Fig. 9 に示すフローで排水プラントまで送られ、所定のSS・PHに処理した後、沈澱池を通して放流された。また、タンクの作業床外周にはU型側溝を設置し、排水ピットと結んで地上部の雨水対策とした。

5-4 昇降設備

二次掘削時の昇降設備は、両タンク共、掘削当初には2基のスーパーラダーを使用し、掘削深度20m以深からはエレベーターも使用した。また、地震時などの非常用にモンキータラップを3ヶ所ずつ取り付け、各設備共掘削の進捗に従って盛替えを必要としたがエレベーターの支柱だけは、二次掘削前の土留親杭施工時に地山を削孔して建て込まれた。

5-5 重機給油設備

タンク内で稼働する掘削機械などすべての重機は、

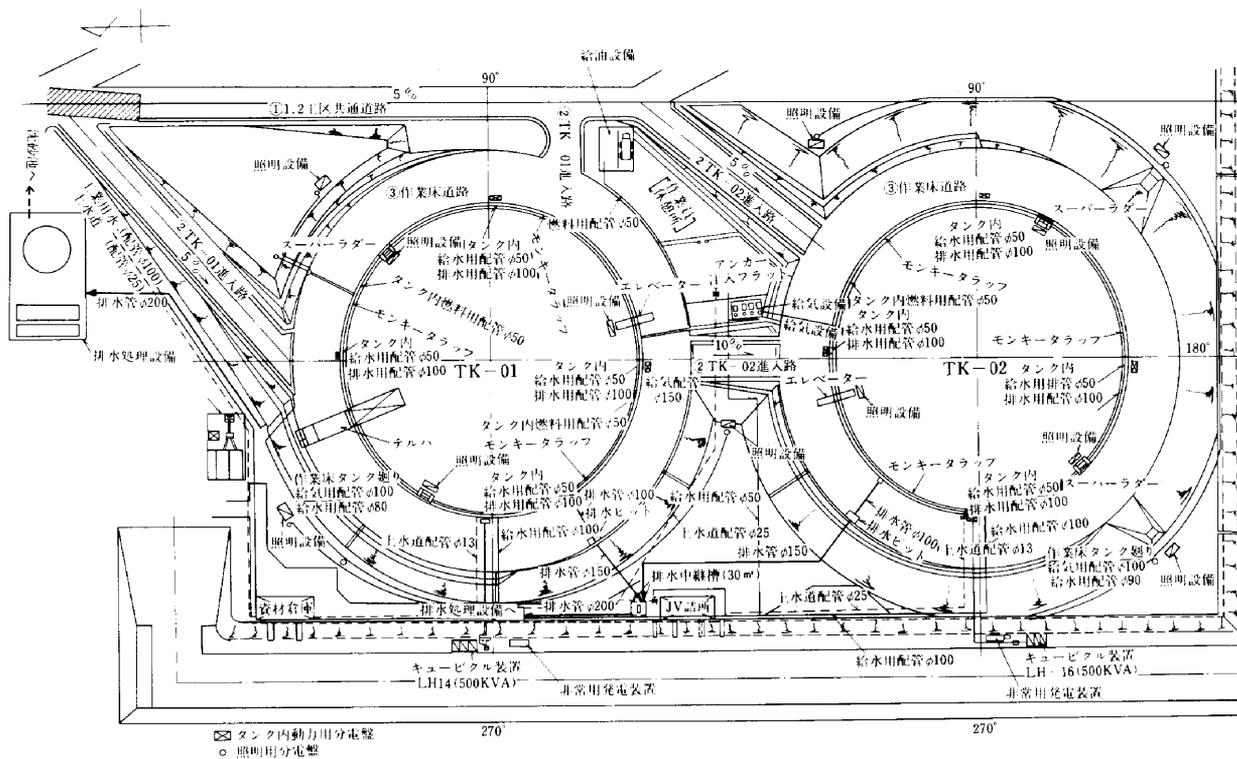


Fig.8 場内主要仮設全体配置図

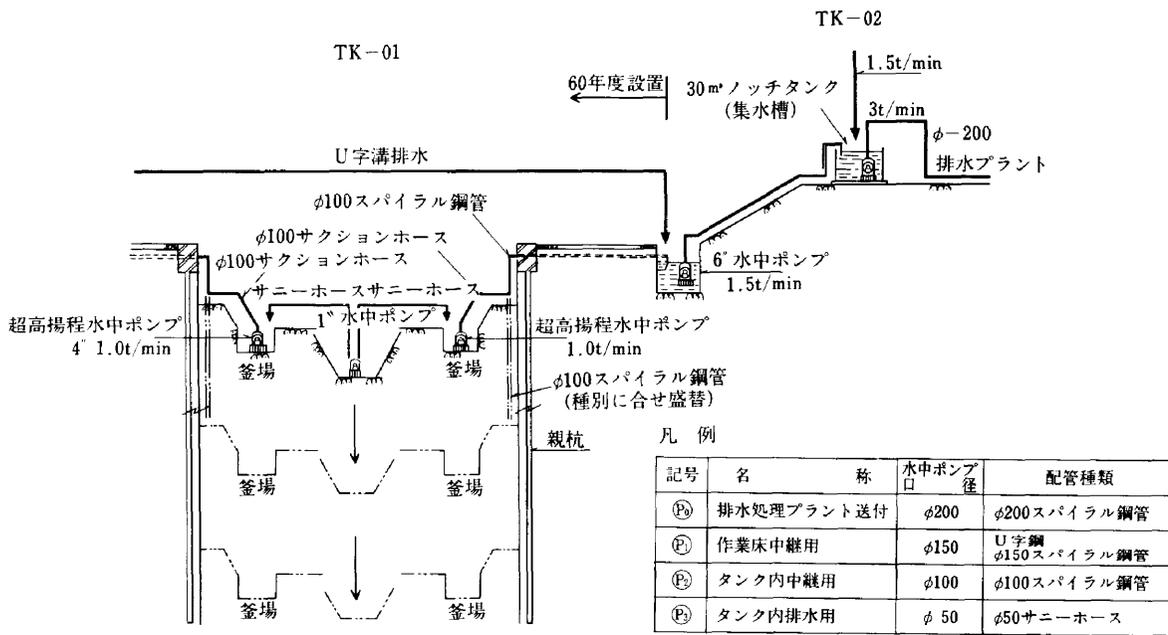


Fig.9 タンク内排水系統図

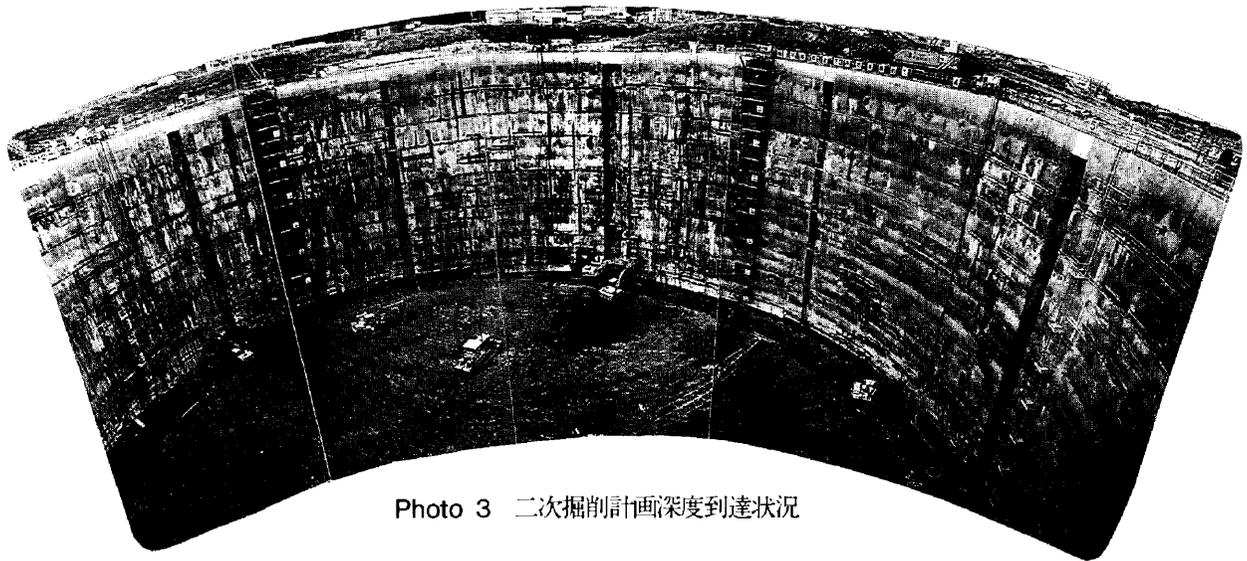


Photo 3 二次掘削計画深度到達状況

150t クレーンで揚げ卸しされた。これらの重機に給油するため「屋外自家用給油取扱所」を設置し、Fig.8 に示すように給気・給水設備と同様にタンク内まで配管した。

§6. おわりに

地中式原油タンク工事は、その個々の工種には特に目新しいものはないが、トータルで見ると過去に例を見ないものである。そのため、工事に当っては常に最新の工学的判断でつぎのステップを予測するいわゆる情報化施工が基本とされた。

これまで行われた二次掘削関連工事は、種々の制約や施工上の諸問題にぶつかりながらも、企業先・コンサル

タントの熱心な御指導、JV・協力業者の一丸となった努力により無事工程内で完了した。Photo 3 に二次掘削が計画深度まで到達した時点の状況を示す。昭和60年12月現在は、大規模な掘削という節目を無事通過し、次の躯体構築というステップにあり、タンク完成に向かって順調に進んでいる。

最後に、当工事の施工にあたり御指導いただいた関係者各位並びに本文作成にあたっては御協力をいただいた鹿島建設㈱に深く感謝致します。