

## 軟岩の大規模掘削における地下水挙動

### A BEHAVIOR OF GROUND WATER FOR LARGE SCALE EXCAVATION IN SOFT ROCK

永田英敏\*・渡辺豊彦\*\*・久野英郷\*\*\*・石原和夫\*\*\*\*

By Hidetoshi NAGATA, Toyohiko WATANABE, Hidesato KUNO and Kazuo ISHIHARA

This paper explains the behavior of ground water during the excavation in mud rock for a depth of about 40m, by comparing the analysis to the in situ measurement.

The following results are obtained.

(1) Two types of flow phenomena of ground water in mud rock are observed, namely the flow in a homogeneous porous medium (Darcy's flow), and the flow in a jointed material (pipe flow).

(2) Main factors which effect the rate of seepage flow and distribution of the water pressure are the permeability of ground, and the existence of high permeability layer such as Sandy-stone, fracture zone, or the low permeability layer like as clay, on the other hand, increase in permeability in local zones by relaxation during excavation affect little for those.

(3) For planning of drainage system of underground structure, it is very difficult to estimate the volume of seepage flow from boring data, and it is strongly recommended that the measurement of the ground water level and distribution of water pressure will be executed and it is important to reflect many measured data during excavation.

*Keywords: soft rock, large scale excavation, ground water, analysis, measurement*

#### 1. まえがき

近年、各種の液体エネルギーの貯蔵施設を地上式でなく地下式、または半地下式で構築することが多くなり、それに関した設計、施工、計測等の各技術も急速に向上してきている。これは、施設を地下式にすることで地上式に比べ、耐震性、耐久性、遮蔽性等の構造的利点と環境保全、土地の有効利用といった社会的利点を兼ね備えているためである。

そのうち、内容物の外部漏洩防止といったいわゆる遮蔽効果に着目すると貯蔵施設の周囲に自然的、または人為的に内圧と等価か、それ以上の地下水圧を作用させ、水封効果を期待して安全性を確保する機能となっている場合が多い。このため、このような貯蔵施設を計画する場合、施設運転時の湧水量、補水量等を事前予測し、それにかかわる設備計画に反映させる必要がある。

本論文は、泥岩地山を対象に深さ約40m、直径約96mの円形掘削を4基施工して貯蔵施設を建設するにあたり、実施した地下水挙動の事前予測、掘削中、掘削後の計測による検討等について実績を中心に報告、考察するものである。

#### (1) 検討の方針

泥岩のような軟岩からなる地山の地下水挙動は、一般に土砂地山において示す挙動と硬岩よりなる地山で示す挙動の中間的な特性を示すといわれている<sup>1)</sup>。すなわち、土砂地山の場合、同一土層であれば均一地盤と扱え、ダルシー則が適用できるが、硬岩地山の場合、地山中に断層や破碎層等の不連続面が存在すると水理挙動は、これらの不均一性に支配されるため、ダルシー則の適用のみでは表現が難しい。

不連続面を有する岩盤の浸透流解析には、不連続面の効果を水理的に等価な多孔質媒体としてモデル化した<sup>2)</sup>、ばらつきのある透水試験値を統計的に処理する<sup>3)</sup>等で、均一体にモデル化する方法と積極的にその存在をとり入れ、解析範囲を局所に限定したモデルで解析する方法<sup>4),5)</sup>とさまざまであり、この分野の取扱いが特に難しいことを示している。今回、対象として扱った泥岩は岩盤としては比較的均一性が高く、さらに不連続面等の

\* 秋田石油備蓄(株)建設部調査役  
(〒105 港区虎の門3-5-1 虎の門37森ビル)

\*\* 正会員 工修 鹿島建設(株)東北支店土木部設計課長  
(〒980 仙台市二丁目1-27)

\*\*\* 鹿島建設(株)土木設計本部設計長  
(〒107 港区赤坂6-5-30 KIビル)

\*\*\*\* 鹿島建設(株)土木設計本部(同上)

乱れない断面を選定しており、岩盤地山全体レベルの  
水理挙動の基本的事項を考察するうえの一助となるとい  
えよう。

## 2. 工事概要

### (1) 用地および掘削形状

今回、検討した貯蔵施設は辺長が約400mのほぼ正  
方形の埋立地に直径約96m、深さ約40mの円筒形の掘  
削4基を実施して構築されるものである。用地の2辺は  
汀線をなし、掘削の中心間隔は約160mと近接してい  
るため、地下水挙動は相互の掘削の影響を受ける。一方、  
汀線と最接近部で約60mと近づいている(図-1)。

これらの状況から個々の掘削の水理挙動を計測して二  
次元の解析モデルで表現する場合、境界条件の評価設定  
が非常に難しくなっている。

### (2) 掘削工程

工事工程は、準備掘削において多少の差はあるもの  
の4基ともほぼ同様の進捗であり、標準掘削においては1  
か月に約6mの掘削速度で、約9か月で全体掘削を終  
了した。

### (3) 掘削面の支保

掘削面の支保は、周方向5.0mピッチに設置した親  
杭とロックアンカーおよびロックボルトを組み合わせた  
土留工とコンクリート吹付け( $t=8\text{cm}$ )による壁面防  
護を併用して実施した。なお、ロックアンカーによる緊

張力は平均 $2.8\text{t/m}^2$ 程度であり、同規模の泥岩直面掘  
削に比べるとアンカー緊張力は非常に小さいといえる  
(図-2)。

### (4) 地質の概要

当工事地点の地質は新第三紀の泥岩層が主体で岩石コ  
アの一軸圧縮強度( $q_u$ )は、ほぼ $20\sim 60\text{kgf/cm}^2$ 程度  
であり、ところどころに $100\text{kgf/cm}^2$ 程度の凝灰質砂岩  
層を薄層として挟在している(図-4)。弾性波速度( $V_p$ )  
は $1.6\text{km/s}$ 程度であり、比較的風化の程度が低い地山  
と評価できる。地層の走向はほぼ東西方向であり、傾斜  
は南側(海側)から北側(山側)に $8^\circ\sim 10^\circ$ の緩い単斜  
構造をなしている(図-3)。

一方、断層、節理、破碎層・シーム等の不連続面の分  
布状況は、全体の地質構造を支配するような規模のもの  
は存在しないが、用地内で実施した多数のボーリング柱  
状図の個々をみると破碎した部分も存在し、その連続性  
の有無によっては地山全体の透水係数に影響することも  
考えられた。

さらに、連続性の強い泥質砂岩層や凝灰質砂岩層の存  
在は地山安定上弱点とはならないが、泥岩一般部に比べ、  
透水性が高く水理挙動を検討するうえでは見逃してはな  
らない地層である。しかし、これらについて事前の限ら  
れた地質データのみでもれなく評価するのは非常に難し  
い。

このような地山の水理特性を評価するために、計画・

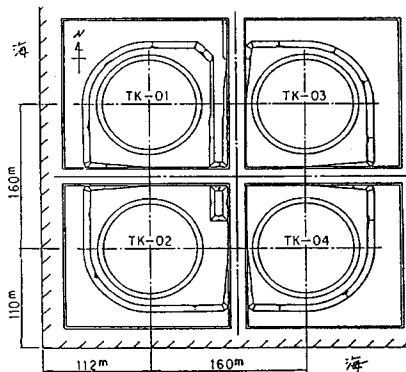


図-1 平面位置図

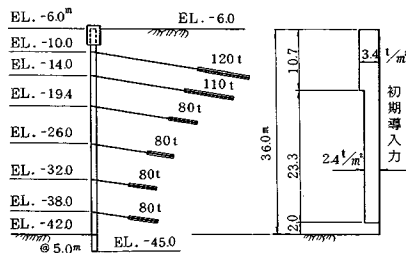


図-2 土留概要

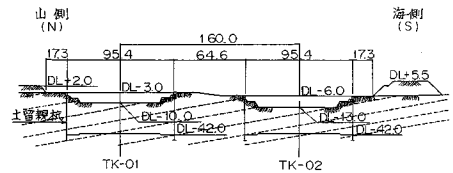


図-3 地層断面図

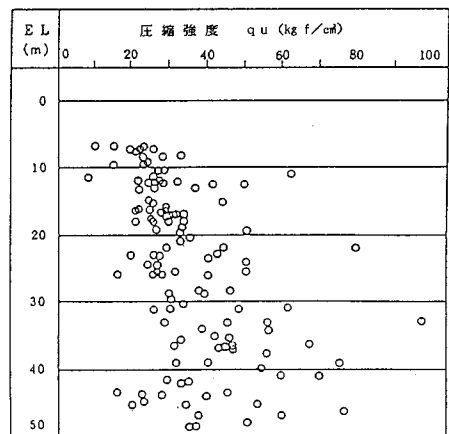


図-4 深度と一軸圧縮強度の関係

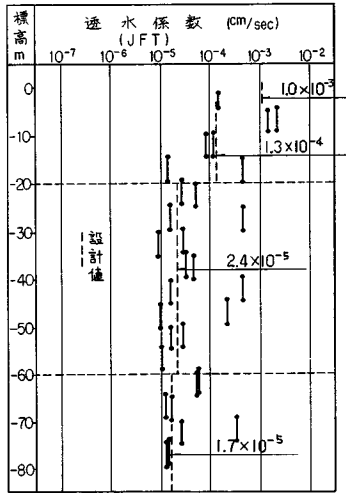


図-5 JFT 試験結果と解析用物性値

設計段階においてルジオン試験および JFT 試験等を実施している。これによると地山の透水係数は、 $1 \times 10^{-5} \sim 1 \times 10^{-4} \text{cm/s}$  の範囲に大部分が分布しているが、砂岩層は  $10^{-3}$  のオーダーの部分もあり、若干のばらつきをみせている (図-5)。

### 3. 検討のフロー

岩盤地山の水利挙動を検討する場合、高透水性の砂岩

層、連続性の強い破碎層の存在や、掘削に伴う壁面近傍岩盤のゆるみによる透水係数の変化は、挙動全体を支配するような大きな要因であるし、これらを見逃した解析は実際上、不相当となる。しかし、これらの要因について事前検討の段階では逐一、評価できないため、掘削中の諸計測の実施および、その結果に基づく事前解析結果の見直しに特に重要となる。

図-6 に、当工事において実施した揚水設備の仕様決定にかかわる検討のフローを示す。ここで、事前検討では通常的手法と同様、ボーリング調査結果のみにより、地質状況の把握、透水係数の設定を行い、解析しているが、掘削時検討では施工中に考えられるあらゆるチャンスを利用して湧水状況 (分布と量)、地下水位、水圧分布、岩盤のゆるみ状況を継続して調査測定し、解析に反映させており、情報の量において格段の差がある。

### 4. 事前検討

事前検討においては、検討時点までに得られた地質データをもとに解析上、妥当と思われる検討モデルを設定し、飽和、不飽和 FEM 浸透流解析<sup>9)</sup>を実施した。主な着目点は次のとおりである。

#### (1) 岩盤の水利的物性値

解析用の透水係数は、まず、地層を現地土部分と岩盤 (I)、(II)、(III) の 4 層に区分し、それぞれの試験値 (JFT, ルジオン) を対数平均して設定した。ここに

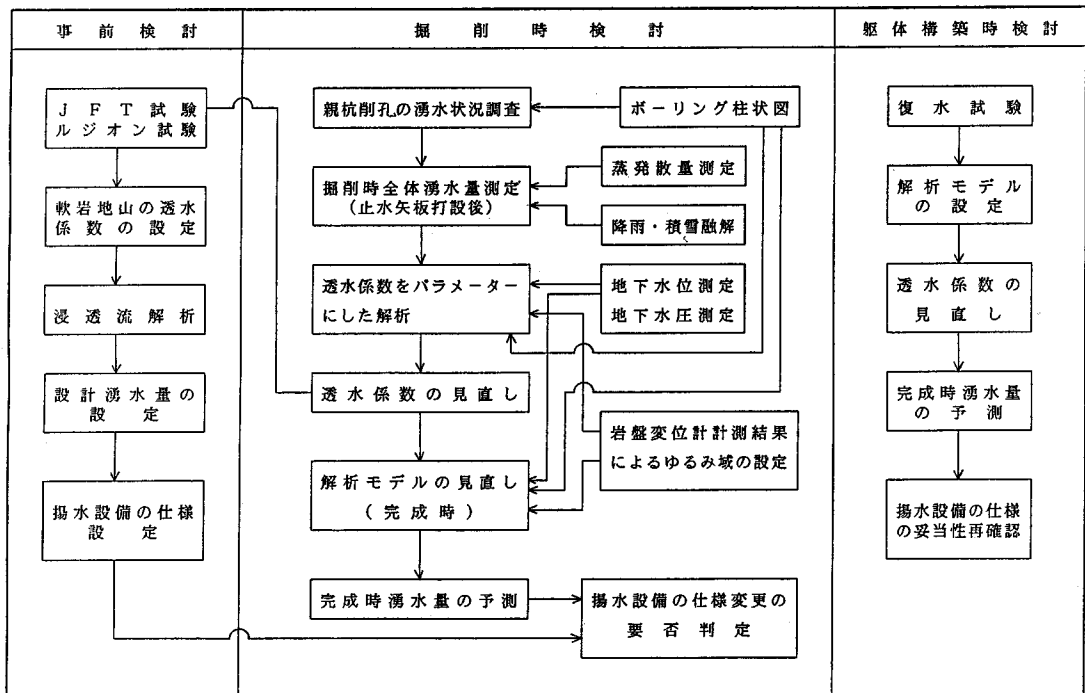


図-6 検討フロー

表—1 透水係数

土層	深度 (m)	透水係数 (cm/sec)
現地土 (土砂)	DL-2.0 ~ -3.5	$1.0 \times 10^{-3}$
岩盤 (I)	DL-3.5 ~ -20.0	$1.3 \times 10^{-4}$
岩盤 (II)	DL-20.0 ~ -60.0	$2.4 \times 10^{-5}$
岩盤 (III)	DL-60.0 ~	$1.7 \times 10^{-5}$
注水層	掘削壁面 $t = 0.5\text{m}$	1.0

おいて地層の傾斜は無視し、高透水性の砂岩層や破砕層の存在は明確なものが確認されていなかったのを考慮しなかった。また、掘削時の岩盤ゆるみに伴う透水係数の増大については、別途実施した岩盤安定解析によると掘削周辺岩盤の破壊余裕度 ( $R$ )<sup>7)</sup>はほとんどの範囲で0.6以上であり、“ゆるみによる物性変化”を特に考慮しなかった。透水係数の異方性については、当地点の岩が堆積岩であり、垂直方向に比べ水平方向の透水性が大きいことは十分予想されたが、それを確認していないため、“等方”として扱った(表—1)。

(2) 解析モデル

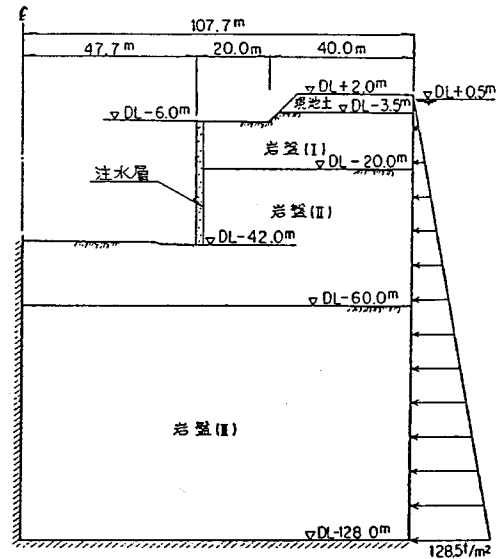
当構造物の平面配置(図—1)から、掘削時の水理挙動は4基の掘削相互の干渉を受け、外周側と中央側では異なった挙動ををすると思われるが、次の理由から軸対象モデルにより、単独掘削として解析した(図—7)。

つまり、当構造は完成時に外周より等水位となるような注水機構をもつため、水理的に独立系となる。また、水理挙動解析の最終目的が構造物の注排水設備の能力の確定であり、湧水量(または透水係数)を大きく評価した方が安全側となる。等の理由による。

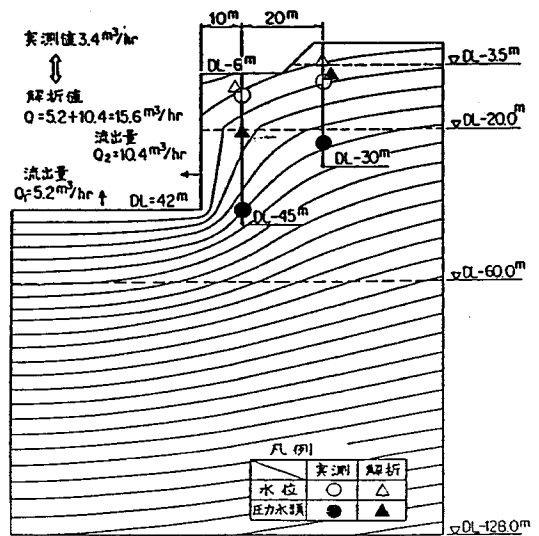
解析の領域は、掘削深さの約3倍に不透水境界を設定し、汀線までの最接近距離に静水圧境界を設定した。また、解析は定常解として行った。

(3) 解析結果

最終掘削時における解析結果を図—8に示し、あわせてTK-01, TK-02のうちの地質的および位置的に標準的な断面(図—9の2-4断面)の実測水位、水圧の分布状況を示した。これによると、解析湧水量( $Q=15.6\text{ m}^3/\text{h}$ )は実測値( $Q=3.26\sim 4.61\text{ m}^3/\text{h}$ )の約4倍と差が大きい。ここで、実測湧水量とは2-4ブロックの湧水量の4倍に蒸発量の補正を行った値である。水位、水圧分布は、内側観測孔(水圧計DL-45m, ストレーナーはDL-22mより上部)、外側観測孔(水圧計DL-30m, ストレーナーはDL-17mより上部)とも、水位は解析、実測ともほぼ等しいが、水圧は実測の方が大幅に低い。これらについての考察は7.で行うこととする。



図—7 解析モデル



図—8 事前解析と実測値の比較(最終掘削時)

5. 計測計画

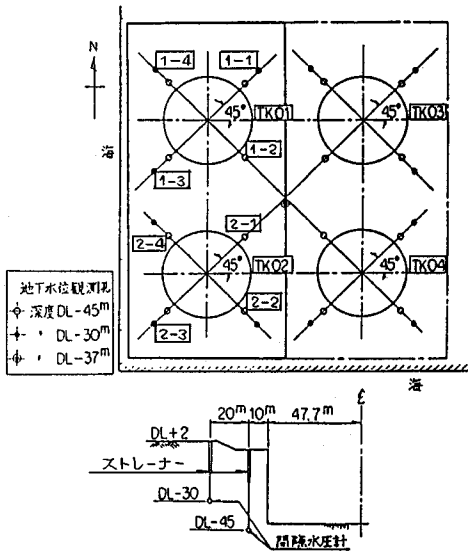
当工事においては、通常の掘削工事で行われる出来型管理を目的とした測量のほか、掘削時の地山安定管理用計測および掘削時の水理挙動から完成時の湧水量を把握する目的の計測等、各目的のために多数の測定が実施されている(表—2)。

(1) 親杭建込み用削孔を利用した湧水量測定

当工事では、壁面部直面掘削に先行してロックアンカーの反力受けとして親杭を掘削周囲5mピッチに配置する計画であり、その施工過程に形成される削孔( $\phi$

表—2 水理挙動把握のための計測

時期	調査・計測			解析との関連			備考
	項目	方法	個数	地質構造把握	透水係数設定	ゆるみ領域設定	
事前検討	推定地層断面設定	ボーリング弾性波		○			
	透水試験	JFTルジオンテスト			○		
掘削中検討	親杭削孔による観察	目視、BHTV	60本/基	○			脈状湧水箇所の発見
	親杭削孔による現場透水試験	回復試験	60本/基		○		脈状湧水箇所の透水係数検討
	地下水位の測定	水位計	4断面×2/基	○	○	○	平面分布、経時変化
	地下水圧の測定	水圧計	4断面×2/基	○	○	○	同上
	湧水量の測定	積算流量計	4ブロック/基	○	○		ブロック別、壁面、底面を区分する。
	降水量蒸発散量測定	雨量計 蒸発計	1	○	○		湧水量の補正
	岩盤歪分布の把握	水平多段式岩盤変位計	1断面/基			○	FEM、岩盤安定解析と対比
	地山変形計測	傾斜計	4断面/基	○		○	同上
	掘削壁面の観察	目視 クリノメーター		○			展開図
検完検討後	試験注水	注水量 排水量 測定			○		総注・排水量と予測値の比で、kの補正を行う。



図—9 地下水位、水圧計設置位置

650) を利用し、湧水箇所の範囲、分布、湧水量の測定、さらに必要な箇所では隣接する削孔を用いて次の簡易透水試験を実施した。

つまり、削孔内の水位を孔底付近まで長期揚水し、周辺削孔水位の低下状況から透水係数を算定した。

(2) 地下水位、水圧の測定

掘削工事と並行して岩盤内の地下水位、水圧を経時的に計測した。地下水位、水圧計は地下水挙動を全体的に把握するために1掘削につき4方向に配置し、各方向において概略水面形が把握できるように2か所/1方向の計測点を設けた(図—9)。

(3) 掘削時湧水量測定

掘削時の湧水量測定を中間掘削時(DL-26m掘削)と最終掘削時に実施した。測定区分は解析との対応をみるために壁面と底面を分離し、さらに地下水位、水圧の測定結果と対比させるため、平面的に4分割した。

(4) 掘削壁面近傍岩盤のゆるみ領域の把握

掘削に伴い、生じる壁面近傍岩盤のゆるみによりその範囲では透水係数が増大する可能性がある。このため、この領域を確定する目的で水平方向岩盤変位計に配置した。

6. 計測結果

(1) 親杭建込み用削孔を利用した湧水量測定

湧水量測定結果(TK-01)を図—10に示す。TK-01では北西、北東方向のDL-6m~12m付近に存在する高々1m未満の凝灰質砂岩層からの湧水が顕著で全長約40mの範囲の湧水量の90%以上を占めている脈

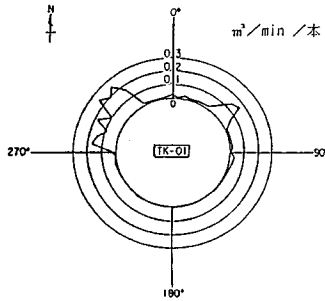


図-10 湧水量測定結果

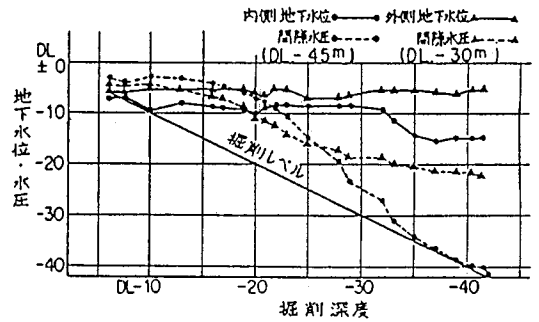


図-11 地下水位、水圧の経時変化 (2-4)

状湧水であった。この部分については、止水薬注を実施した。

TK-01の他の部分およびTK-02については湧水量はわずかであった。

(2) 地下水位、地下水圧の経時変化

TK-02の掘削周囲の地下水位と水圧の経時変化の例(315°方向)を示し、あわせて事前解析で得られた諸値も併記した(図-11, 表-3)。

これらから次のことが考察される。

a) 事前解析(FEM)結果と比べると、DL-20m程度までの掘削では解析と実測では差は小さいが、それ以上深では差が大きくなる。特に掘削壁面より10m離れた地点のDL-45mに設置した間隙水圧計の測定値は、掘削の進行に伴い著しい低下現象を示している。この現象は掘削の途中段階までは、それぞれの測定孔ごとにばらつきを示していたが最終掘削段階では、各孔とも掘削深度とほぼ等しい程度まで水頭が低下している。

b) 水位、水圧とも東西方向に並んだ2つの測定孔では大局的にみて類似の挙動を示している。これは、当地点の地層の走向が、ほぼ東西方向で南(180°)から北(0°)へ緩い勾配で落ちているため、東西線上の2孔(45°と315°、135°と225°)ではほとんど類似の地層構成となっていることで説明できる。

(3) 湧水量の測定結果

最終掘削時における2つの掘削の各方位ブロックごとの湧水状況を図-12に示す。これによると次のことがいえる。

a) 湧水量は各ブロックで大きな差がある。このうち、1-2、2-1ブロックが他に比べ著しく少ないのは、隣接掘削の影響と考えられる。

b) 1-4、1-3ブロックの湧水量が他のブロックの5倍以上と著しく多いのは、その部分に高透水性の砂岩層を介在することによるものであり、掘削前に実施した親杭建込み用削孔による調査結果とも符合するものである。

表-3 地下水位、水圧の解析値と実測値(水頭)(TK-02)

	内側(壁面より10m)		外側(壁面より30m)	
	地下水位	水圧(DL-45m)	地下水位	水圧(DL-30m)
解析値	-7.0 -8.0 -9.0	-3.0 -9.0 -2.0	-1.0 -2.0 -3.0	-3.0 -4.0 -7.0
実測値	2-1 45°	-10.5 -13.5 -13.0	-5.0 -18.0 -40.5	-7.0 -9.0 -9.0
	2-2 135°	-9.5 -18.0 -15.0	-2.0 -7.0 -41.0	-8.0 -12.0 -7.5
	2-3 225°	-7.5 -11.5 -11.0	-2.0 -6.0 -35.0	-6.0 -9.0 -9.5
	2-4 315°	-9.0 -9.0 -15.0	-4.0 -16.5 -41.0	-5.5 -7.0 -5.5

上段 初期掘削時(DL-16m)  
 中断 中間掘削時(DL-26m)  
 下段 最終掘削時(DL-42m)

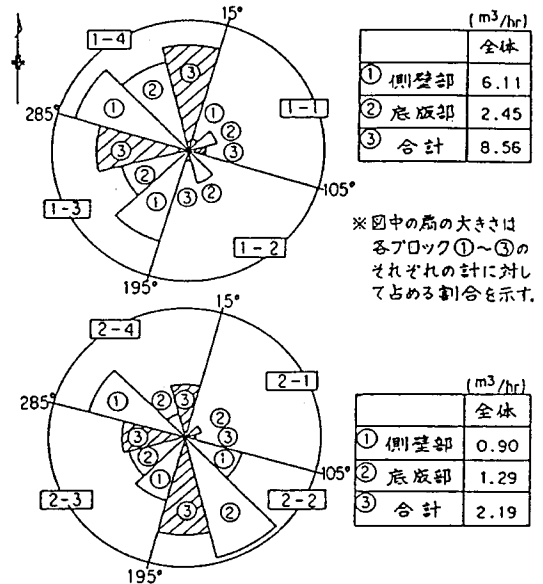


図-12 湧水量測定結果(最終掘削時)

7. 計測結果に基づく解析モデルの見直し

(1) 実測湧水量の補正

実測湧水量を解析値と比べるため、解析で評価していない降水、工事用水の流入、蒸発等の影響についても評価、補正を行う必要がある。これらに対し、当事例では次の対応をとった。つまり、降水の影響については湧水量計測期間中、降雨のあった日、または融雪の影響により実測湧水量が急増した日の測定値を除外した。工事用水の影響については、工事用水を使用していない時間帯に湧水量測定を行うこととし、その補正を行わない。さらに蒸発については、湧水量測定とともに測定した蒸発計による測定値に基づき実測湧水量の減少分を補正した。なお、最終掘削時の実測湧水量を確定したときの蒸発量は、125 cm<sup>3</sup>/h/m<sup>2</sup>となり、掘削全体では次の範囲である。

- a) 掘削底面のみ蒸発を考慮 0.9 m<sup>3</sup>/h
- b) 底面と側部（吹付施工）を考慮 2.25 m<sup>3</sup>/h

(2) 標準断面の選定と比較検討用湧水量

FEM 解析モデルとほぼ同じ水理境界をもち、地質的にも局所的高透水層の存在等不均質性を含まぬブロックとして1-1、2-3、2-4ブロックが挙げられる。

これらのブロックの最終掘削時の実測湧水量の平均は0.59 m<sup>3</sup>/hであり、解析と比較すべき値は、その4倍(2.36 m<sup>3</sup>/h)となり、さらに、蒸発量の補正を行うと3.26~4.61 m<sup>3</sup>/hとなる。

(3) 事前解析と実測水理挙動の主な相違点

事前解析モデルの見直しを行うに際し、着目すべき相違点を次のように整理した。

- a) 実測地下水位（ストレーナーの位置、図-9）と解析値とはほぼ一致するが、地下水位、特に掘削壁面より10 m離れた地点におけるDL-45 mの値は掘削の進

行に伴い、著しい低下現象を示し解析値とも差が大きいため、この現象を表現できるモデルとする。

- b) 湧水量の対応については、実測値は事前解析に比べ1/4程度と非常に小さいため着目する。

(4) 解析モデル修正の方針

解析モデルの修正の方針として、次の要因の影響度を検討して設定することとした。なお、検討は最終掘削状態で測定値がほぼ安定していることを確認しているため、事前解析同様、定常解を用いた。

a) 新鮮岩盤の透水係数の再評価

実測の湧水量が解析値に比べ、著しく少ないことについて単純に透水係数を小さく評価してみた。「軟岩についての通常の透水試験（ルジオン）では、テスト中のポンプの脈動により試験孔周辺岩盤が破壊されることにより、透水係数を大きく評価しすぎる可能性がある」との報告<sup>9)</sup>もあり、着目した。

b) 掘削周辺岩盤ゆるみ域の透水係数の変化

当掘削において実施した計測（水平方向多段式岩盤変位計等）によると、壁面より約15 mの範囲の岩盤の変形係数が新鮮岩盤より低下していることが判明しており、その範囲の岩盤の透水係数を大きく評価する必要がある。岩盤のゆるみと透水係数の変化についての研究はいくつかある<sup>9)</sup>が、軟岩を対象とし、説得力のあるものは見当たらないので、ここではパラメータ的に変化させ、検討することとした。

c) 地層の不均一性

事前検討では、透水係数試験値のばらつきについては対数平均法で処理し解析に反映させたが、高々数十 cmの高透水層でも連続性が強ければ湧水量に大きな影響を与えることが親杭削孔時の湧水量調査で判明しているため、各点のデータと地質との相関を個別に見直した。

d) 透水係数の異方性

表-4 解析モデル修正の予備検討

事前解析結果と実測の違い		解析への反映項目	新鮮岩盤の透水係数	岩盤*の不均一性	岩盤のゆるみによる透水係数増大	透水係数の異方性
湧水量	実測値 Q = 3.3~4.6 m <sup>3</sup> /hrは解析値の約1/4		◎	○	○	○
地下水位分布	ほぼ値しい		△	○	○	△
地下水位分布	差があり、特に壁面近傍で大きい。		△	◎	○	△
見直しの方法		パラメータ的に変化	地質データの 見直し	多数式岩盤変位計の解析	パラメータ解析	
見直し後の解析モデル		新鮮岩盤の透水係数を1/4程度とする。	DL-19に水平難透水層を 考える。	掘削削面に透水性ゾーンを 設ける。	ゆるみ域岩盤の透水係数の増大	

- ◎ 関連性が強い
- 関連性がある
- △ 関連性が余りない

\*当モデルで水平に難透水層を考えた部分。

対象地点の地層は、ほぼ水平の成層状態であるため、垂直方向より水平方向の透水係数が大きいことが考えられ、これを評価した。

(5) 検討結果

上記のそれぞれの要因についてパラメーター的に条件値を変化させ、実測値との対応の奇与率を検討した結果、表-4となった。また、それらを数値的に取り込んで再検討した結果(表-5, 図-13)、湧水量において多少差はあるものの、水位、水圧分布においてかなりの精度でシミュレートできたといえよう。

ここで、地下水圧分布を再現するうえで特に効果的であったのは、DL-20 m 付近に難透水層を考慮した点である。つまり、事前解析(均一地層)と実測の水位を比べた場合、DL-20 m 程度までは両者はほぼ一致したが、それ以深は実測水圧の低下が著しい。この現象は、ゆるみ領域の物性値をパラメーター的に変化させても再現できないことが検討の途中で判明した。再度、ボーリング柱状図と透水試験結果を見直して難透水層の存在を確認し、モデル化した結果、あまり例のない<sup>10)</sup>2つの地下水面をもつ特異な分布形状によって計測値を再現できた。

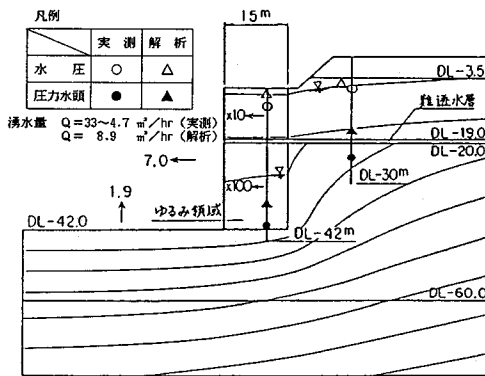


図-13 解析モデルおよび解析結果(岩盤のゆるみと難透水層を考慮)

表-5 解析用の透水係数(TK-01)

土層	事前検討での透水係数 (cm/sec)	掘削時検討での透水係数 (cm/sec)
現地土	$1.0 \times 10^{-3}$	同 左
岩盤 (I)	一般部	$1.3 \times 10^{-4}$
	壁面近傍	$1.3 \times 10^{-4}$
岩盤 (II)	一般部	$2.4 \times 10^{-5}$
	壁面近傍	$2.4 \times 10^{-5}$
難透水層	—	$3.0 \times 10^{-7}$
岩盤 (III)	$1.7 \times 10^{-5}$	同 左

8. ま と め

比較的新鮮で乱れも少なく、地質的にはほぼ均一と評価できる泥岩地山を対象に実施した大規模直掘削工における水理挙動観測ならびにモデル解析より次の知見を得た。

- (1) 地下水挙動は、地山全体を均一としたダルシー則に従う挙動と不連続面に支配された挙動(パイプ・フロー)が混在している。
- (2) 掘削時の湧水量に影響する要因として掘削前の地山固有の透水係数、地層の不均一性、特に高透水層の存在が影響度が大きく、掘削面近傍岩盤のゆるみによる透水係数の変化や透水係数の異方性等の影響は少ない。
- (3) 同一な水理条件下では、地下水位の測定値は測定値のばらつきは少ないが、地下水圧は計器設置箇所の個別な地質要因によって値が大きく異なることがある。
- (4) 今回と同様な地山に類似の地下構造物の湧水処理設備を計画する場合、地山の不均一を優先して検討し、多少安全側に透水係数を設定すれば、岩盤ゆるみによる透水係数の変化や異方性の問題も十分吸収できるものと考えられる。

参 考 文 献

- 1) 土木学会：軟岩一調査・設計・施工の基本と事例一，pp.1~6, 1984.
- 2) 大西有三，ほか：岩盤の透水性評価に関する数値実験，第20回土質工学研究発表会，pp.899~902, 1985.
- 3) 下茂道人，ほか：測定値における分布を考慮した岩盤の平均透水係数の予測手法について，第7回岩の力学国内シンポジウム講演論文集，pp.229~234, 1987.
- 4) 小島圭二，ほか：岩盤地下水流れの断層系による影響の考察，第14回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集，pp.161~165, 1982.
- 5) 菊池宏吉，ほか：節理内流れモデルによるルジオン試験の解釈，第7回岩の力学国内シンポジウム講演論文集，pp.235~240, 1987.
- 6) 駒田広也：飽和-不飽和浸透流解析，電中研報告，No.377015, 1987.
- 7) 本島・日比野・林：岩盤掘削時の安定解析のための電子計算プログラムの開発，電中研報告，No.377012, 1987.
- 8) 松本徳久，ほか：地下深部の軟岩地盤に対するルジオンテスト，第7回岩の力学国内シンポジウム講演論文集，pp.223~228, 1987.
- 9) 本島 勲：地下空洞掘削に伴う周辺岩盤における透水性の変化に関する一考察，第12回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集，pp.121~125, 1979.
- 10) 駒田広也：複数の不透水層を有する斜面中の浸透流に関する考察，第14回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集，pp.166~170, 1982.

(1988.8.1・受付)