

(66) 立坑掘削の地下水流動影響予測解析

動力炉・核燃料開発事業団	中部事業所	○今井 久
動力炉・核燃料開発事業団	中部事業所	柳澤 孝一
動力炉・核燃料開発事業団	中部事業所	大澤 英昭
埼玉大学 工学部		正会員 渡辺 邦夫

Predictive Simulation of Shaft Excavation Effect on Groundwater Flow

Hisashi IMAI	; Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation
Koichi YANAGIZAWA	; Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation
Hideaki OSAWA	; Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation
Kunio WATANABE	; Saitama University

Abstract

Shaft Excavation Effect (SEE) experiment has been started by Power Reactor and Nuclear Fuel development Corporation for the purpose of developing the evaluation technologies of mechanical and hydrological changed in the rock mass that are induced by a deep underground space excavation. The shaft of this experiment is 150m deep and 6m in diameter. In this experiment a predictive simulation of groundwater flow effected by the shaft excavation was carried out. Then the outflow profile into the shaft was estimated and the maximum outflow was estimated to be about 30 ℓ /min. And the transition of the piezometric head in the monitoring boreholes around the shaft and the remarkable affected area by the excavation were estimated. The area was estimated to be within 100 meters.

はじめに

大深度地下空間の有効利用に関する期待に伴い、これら実現のための研究課題として地下空洞掘削による周辺岩盤内の水理学的・力学的影響を定量的に評価するシステム確立の必要性があげられる。動力炉・核燃料開発事業団では仕上がり内径6m深度150mの立坑を掘削し、立坑掘削の周辺岩盤内に与える水理学的・力学的影響を定量的に評価するための立坑掘削影響試験を実施している。今回、立坑掘削の水理学的影響について事前調査計測結果を基に予測解析を実施した。ここで、この予測数値解析結果について報告する。

1. 立坑掘削影響試験概要

試験は、岐阜県土岐市に位置する東濃鉱山の堆積岩中に仕上がり内径6m深さ150mの立坑を1990年1月より1991年6月にかけて一年半にわたり段階的に掘削し、周辺岩盤内の力学的、水理学的抱括的計測を実施し、立坑掘削の影響を定量的に評価しようとするものである。図-1に示す試験領域内には、ウラン鉱床調査用立坑および横坑が既に存在するため、地下水流動予測には初期状態把握のための事前計測が必要となる。そこで、図-1に示すようなMPシステム、地下水位計、土壤水分計、河川流量計などを設置し、地下水流動に関する抱括的な計測を掘削前、掘削中、掘削後にわたり実施する。MPシステムとは1つのボー

リング孔内で深度方向の圧力分布を多点で計測できるパッカーが複数組ついたケーシングによる計測システムである。図-2に当該試験領域での代表的な地質構造断面と、透水試験結果およびMPシステムによるピエゾ水頭分布を示す。また、立坑掘削工程を図-3に示す。図-3は時間と掘削面の位置を示したもので、掘削は図に示すように当初工程として486日にわたり段階的に行われる。解析は有限要素法3次元飽和不飽和浸透流解析コード(TAGSAC)¹⁾を用いて実施した。

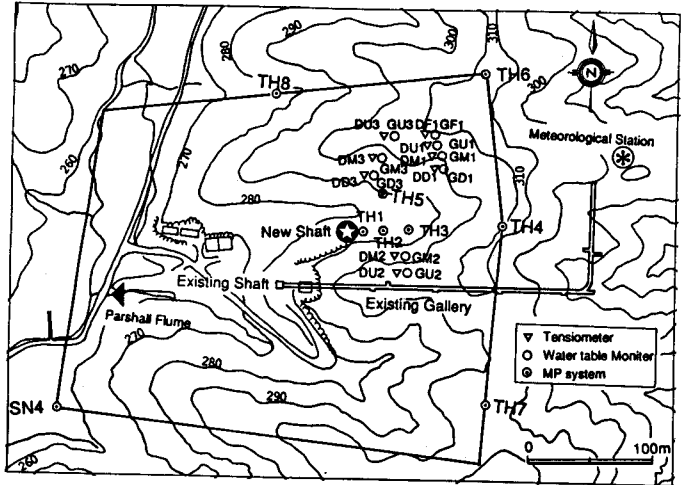


図-1 調査解析領域・計測施設配置図

2. モデル設定

(1) 解析領域、要素分割形状

解析領域は図-1の実線で示す約300m×300mの範囲とした。この領域境界はTH4, 6, 7, 8, SN4を含みまた、尾根線又は、谷線上に設定している。深さ方向には立坑深さの2倍の約300mを解析範囲とした。解析対象期間は掘削開始より3年間とした。要素分割形状は、形状、MP計測孔と立坑、既存坑道位置、水理地質構造を考慮し、図-4に示す要素分割形状とした。立坑は5m×5m×150mの形状とし、既存坑道は3m×3mの断面で、立坑深さ135m、横坑長さ163mとした。要素数は3133、節点数は3924となっている。

(2) 水理地質構造モデル

水理地質構造モデルは領域内で実施された透水試験による透水数値の分布およびウラン調査で得られた地質学的知見に基づき作成した。図-2に示す地質構造は基盤花崗岩の上に新第三系堆積岩が存在する。また新第三系は、礫岩、砂岩、泥岩、未固結礫岩により構成され、領域中央には東西走向、高角度南傾斜の月吉断層が存在する。

本領域内の水理地質構造の特徴は4つあり、

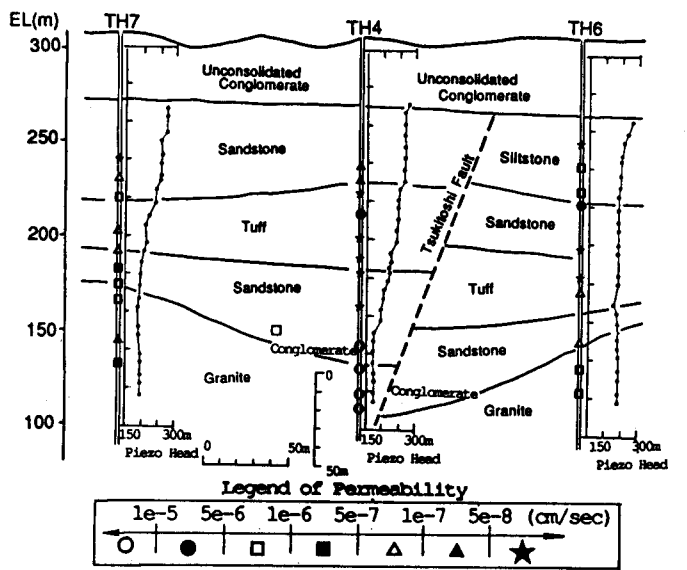


図-2 地質構造、透水係数・間隙水圧分布図

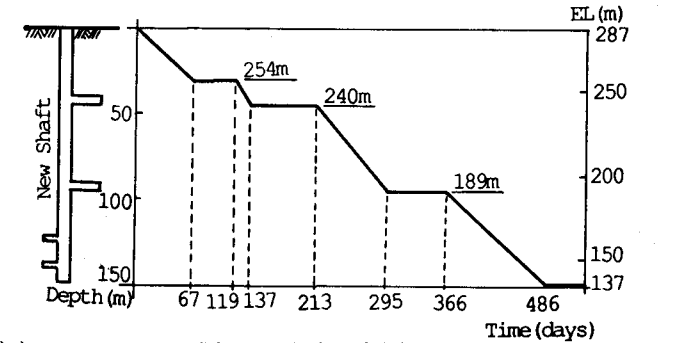


図-3 掘削工程図

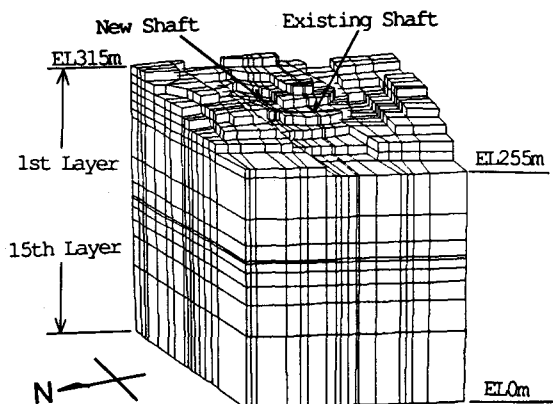


図-4 要素分割図

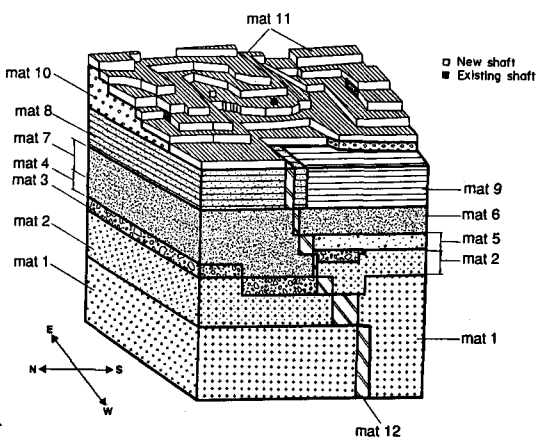


図-5 水理地質構造モデル

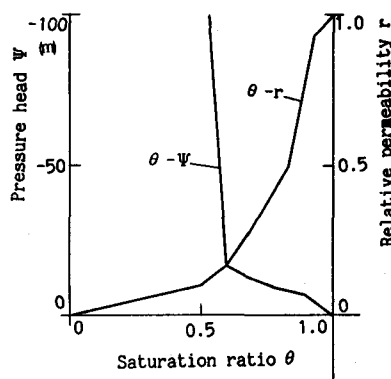


表-6 不飽和特性曲線

表-1 水理地質構造モデル-物性値・地質対応表

Part	Permeability (cm/sec)	Porosity	S.Storage (1/m)	Geology
mat1	1.00E-07	0.02	1.00E-04	granite
mat2	5.00E-06	0.1	1.00E-04	weathered-granite
mat3	1.00E-05	0.3	1.00E-04	wh-gra.&conglomerate
mat4	1.00E-06	0.3	1.00E-04	sandstone
mat5	5.00E-06	0.3	1.00E-04	sandstone
mat6	1.00E-06	0.3	1.00E-04	sandstone&tuff
mat7	1.00E-06	0.4	1.00E-04	tuff
mat8	5.00E-06	0.4	1.00E-04	sandstone&siltstone
mat9	1.00E-07	0.4	1.00E-04	sandstone
mat10	1.00E-05	0.4	1.00E-04	unconsolidated-conglo.
mat11	1.00E-04	0.5	1.00E-03	surface-soil
mat12	1.00E-08	0.3	1.00E-04	clay rich fault

以下の通りである。

①花崗岩上の不整合面は領域中央にむかって下向している。②月吉断層は粘土を含む低透水面として存在する。③未固結礫岩層の下の不整合面はほぼ水平に存在する。④花崗岩と砂岩・礫岩層の間には、花崗岩風化部、礫岩より成る高透水性部が存在する。以上4つの水理地質構造上の特徴および図-1に示すTH1～8、SN4で100点の透水試験値の分布より、図-5に示す水理地質構造モデルを作成した。モデルは透水係数、空隙率、比貯留係数²⁾の設定の組合せ(表-1)より、mat1～mat12の12区分より成る。不飽和特性としては全て図-6に示す特性曲線に従うと仮定した。

3. 境界条件, 初期条件の設定

(1) 境界条件

境界条件は模式的に図-6に示す。

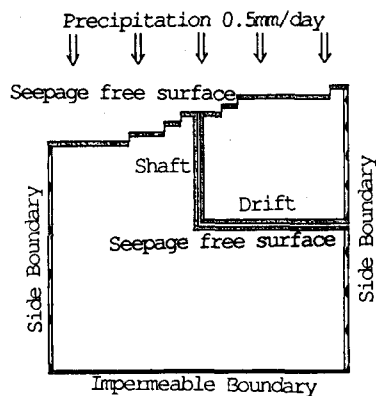


図-7 境界条件

①上部境界、立坑横孔壁面：自由浸出面の条件とした。ただし上部境界面は降雨による涵養量として気象、水文観測結果に基づき0.5mm/dayを与えた。②下部境界：不透水境界とした。③側部境界：側部境界上に存在するMP計測孔TH4, 6, 7, 8, SN4での深度方向のピエゾ水頭値分布をMP計測値および地下水位観測結果(年平均GL-15m)に基づき設定し、各MP孔間はTH4, 6, 7, 8, SN4に設定した分布に基づく予備計算および同一深度内での線型補間により側面上の境界値を設定した。

(2) 初期条件

初期条件は上記境界条件において既存立坑・横坑のみ考慮し、試験立坑掘削前の状態での定常解析を実施し、その結果を初期条件とした。その妥当性については既存坑道内での湧水量の実測値と計算値との対比およびTH1, 2, 3, 5における深度方向のピエゾ水頭分布の実測値と計算値の対比を行い設定した水理地質構造モデルおよび境界条件が試験立坑掘削前の現象を表現し得ていることで確認した。

(3) 立坑掘削面内境界条件

掘削工程は図-3に示すような掘削面位置の変化をする。計算上では掘削を工程に沿った掘削工程該当要素の除去および掘削底面該当節点の境界値の制御によりモデル化した。さらに掘削壁面は自由浸出面の条件も与えた。

4. 予測解析結果

(1) MP計測孔でのピエゾ水頭変化

TH1, 2, 3, 5におけるピエゾ水頭値の変化予測解析結果を図-8(a)~(d)に示す。TH1, 2, 3, 5いずれも掘削により水頭値の低下が生じ、TH1, 2, 3と立坑に近いものほど水頭値の低下量も大きくなることが計算により示される。また掘削影響範囲について図-8にEL150m平面内の掘削開始から3年間での水頭値の変化量および立坑からの距離の関係を立坑からの距離による移動平均として示す。図-8より、掘削による水頭変化の大きな範囲は立坑より約100m内にあることがわかる。

(2) ピエゾ水頭分布

掘削最終時(486日)における立坑を含む鉛直断面内でのピエゾ水頭のコンタ図を図-10に示す。立坑底部で動水勾配が大きく、立坑近傍で立坑内への収束的で流速の大きな流れが生じることがわかる。

(3) 流量変化

立坑および既存坑道内の流出量の変化を図-11に示す。上方の破線は掘削工程線を示す。立坑への流出量

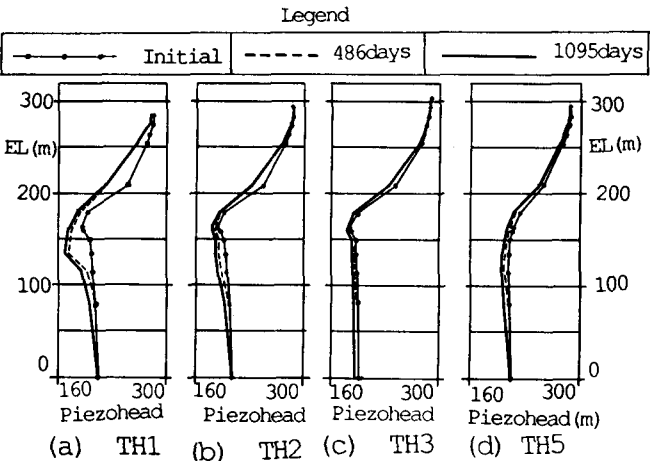


図-8 TH1, 2, 3, 5内でのピエゾ水頭分布変化

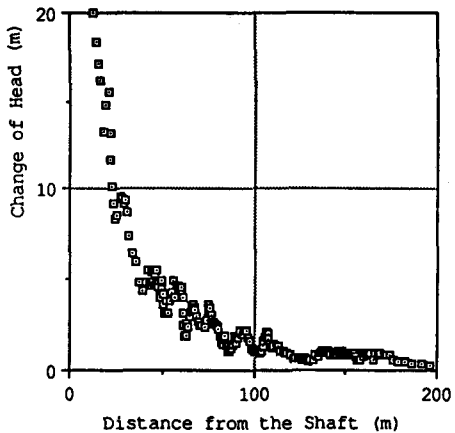


図-9 立坑からの距離と水頭変化量

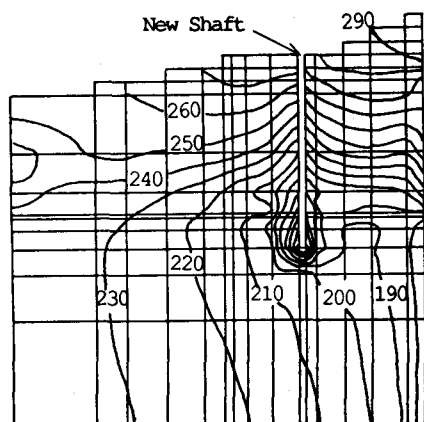


図-10 ピエゾ水頭コンタ図

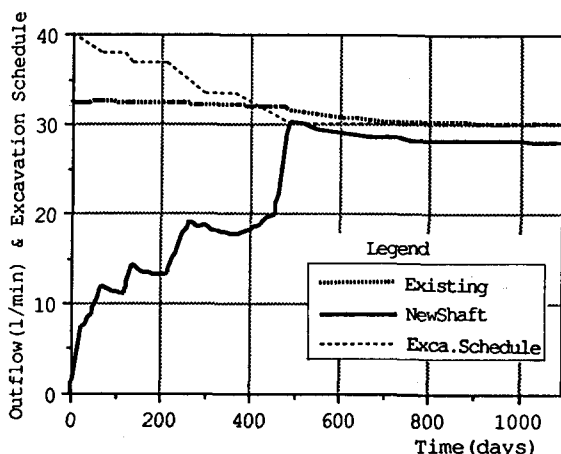


図-11 新立坑、既存立坑・横坑内流出量

は掘削に伴い増加し、また掘削を中断すると低減することがわかる。また月吉断層を貫き高透水性部に到った時点（450日頃）より急激な流量の増加がみられる。最大流量は約 30 l/min と想定される。既存坑道内への流出量の変化は、掘削終了近くなり緩やかに低減する。その低減量は掘削前の流出量の10%未満の減少と考えられる。

5. 結 論

予測解析に結果以下のことが想定できる。

- ① 立坑掘削の影響は立坑から離れるにつれ小さくなり、その顕著な影響範囲は約100m内と考えられる。
- ② 立坑内への流出量は掘削に伴い増加し、特に断層を過ぎ高透水性部に達した時点より急激な増加を示す。そして最大流出量は 30 l/min と想定される。
- ④ 既存の立坑、横坑への流出量は掘削終了近くで緩やかに減少し、その減少量は10%未満と想定される。

6. おわりに

現在、立坑掘削に伴うデータを取得中であり、それらと今回の予測解析結果を対比し、今回の予測計算結果をより精度の高いモデル化・計算手法開発における1つの過程として、現状での問題点の抽出および、データ取得とその反映方法の開発に向けて、検討を重ねていく予定である。

最後に数値計算の効率をよく行う上で、岡山大学工学部 西垣 誠助教授、(株)間組 小林 晃氏に貴重な御教示をいただいたことを記し、末筆ながら謝辞を表す次第である。

〔参考文献〕

- 1) 渡辺 邦夫, 藍沢 稔幸, 柳澤 孝一: 岩盤浸透流の3次元解析の考え方と多孔体モデルによる広域解析例, 第45回土木学会年次学術講演会概要集 pp.816~817, 1990
- 2) Domenico, P.A. and M.D.Miffin, "Water from Low-Permeability Sediment and Land Surface", Water Resou. Res., Vol.1, No.4, 1965