

新第三系堆積岩での立坑掘削影響の計測と解析

MEASUREMENT AND NUMERICAL ANALYSIS OF SHAFT EXCAVATION EFFECTS IN NEOGENE SEDIMENTARY ROCK

杉原弘造*

Kozo Sugihara

Estimation of the effects induced by underground excavation is an important issue in order to design and construct an underground facility and to maintain its safety.

A shaft has been excavated in Neogene sedimentary rock and the excavation effects have been studied. Many kinds of in-situ investigation and numerical analysis have been performed. The effected zone has been estimated to be extended about 1m from the shaft wall. Numerical analysis has simulated the rock mechanical and hydrogeological effects induced by the shaft excavation.

1. はじめに

岩盤に立坑などの空洞を掘削すると、周辺岩盤が力学的、水理学的に影響を受けることは容易に推測できる。これらの影響を定量的に評価し、その発生メカニズムを明らかにすることは、地下深部の構造物を設計・建設し安全性を確保するうえで、重要である。動力炉・核燃料開発事業団（以下、動燃）では、新第三系の堆積岩盤中に立坑を掘削し、これにより引き起こされる影響の研究を行った¹⁾。ここでは、この研究の概要と結果の一部を紹介する。

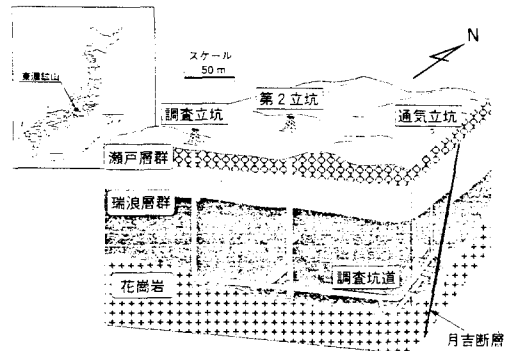


図-1 東濃鉱山の位置と坑道・地質概要

2. 研究の概要

2・1 試験地の概要

試験地は岐阜県土岐市にある動燃の東濃鉱山である。図-1に東濃鉱山の位置、地質、坑道配置を示す。海拔100～150mに不整合があり、それ以深は花崗岩の基盤である。不整合から海拔270m付近までは瑞浪層群という新第三系の堆積岩で、下位より土岐夾炭累層、明世累層、生俵累層と呼ばれる。これらの地層は主に凝灰岩質の砂岩・泥岩で部分的に礫岩をはさみ、土岐夾炭累層には炭質物をはさむ。海拔270m以浅は瀬戸層群と呼ばれる礫を含む固結度の低い第三～四系の堆積層である。また、この地域には月吉断層と呼ばれる断層がある。この断層は走向傾斜がN80E70Sであり、下盤となる北側が約30m落ちの逆断層である。

* 正会員 動力炉・核燃料開発事業団 東濃地科学センター

本地域には図-1のように、東濃鉱山の既存の調査坑道が展開している。本研究のために掘削した立坑（第2立坑）は、既存の立坑（調査立坑）から約80m北東にある。

2・2 第2立坑の概要及び施工方法

第2立坑は仕上がり内径が6mで、深度が150mである（図-2）。各種計測のため、第1、第2計測坑道（各々、幅4.5m、高さ4.5m、長さ20m）と、既存坑道との連絡のため上盤、下盤連絡坑道（各々、幅3m、高さ3m、長さ10m）の、4本の水平坑道がある。立坑の掘削は通常の発破工法で行われ、1.2m毎のショートステップで40cmの厚さのコンクリートで覆工された。

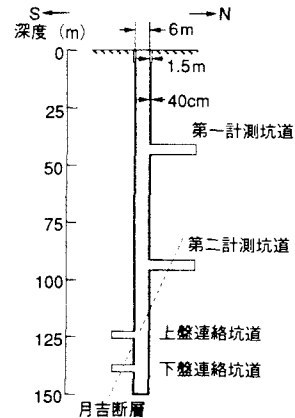


図-2 立坑図

2・3 調査の内容

立坑掘削による影響は、周辺岩盤への力学的、水理学的影響と、周辺地域の地下水流動への影響に分けることができる。このため調査は各々に対応して、「岩盤挙動調査」と「水理調査」の2項目に分けて実施した。

(a) 岩盤挙動調査の内容

調査は、地質構造・変位・応力・物性につき、既存手法を基本に行った。各種計測により得られたデータに基づき数値解析を行った。計測は大きく2種類に分けられる。

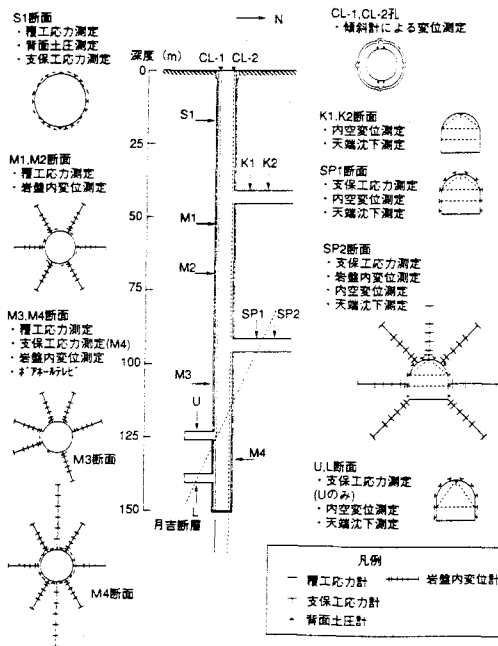


図-3 変形挙動調査概要図

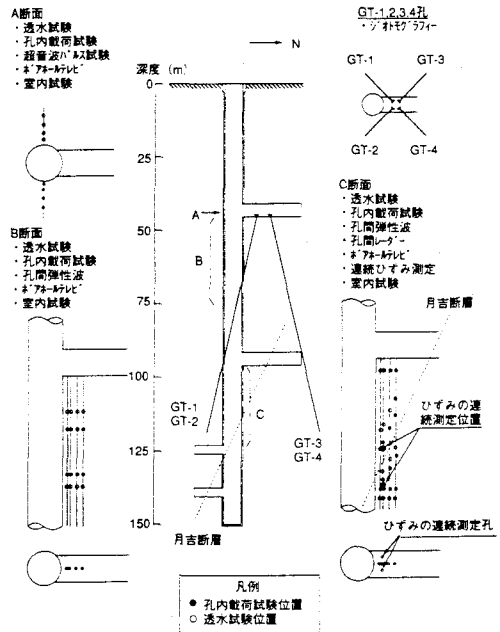


図-4 力学的、水理学的変化調査概要図

①変形挙動に関する調査

(図-3)

②力学的、水理学的特性変化に関する調査(図-4)

計測の項目、実施位置は表-1にまとめた。

(b)水理調査の内容²⁾

立坑の掘削は大口徑の試錐による揚水試験と同じであり、これによる水理的な影響を定量的に解析・評価するのが水理調査の目的である。調査項目は、つぎの5項目である。

- ①水理地質構造調査
- ②表層水理調査
- ③間隙水圧観測
- ④坑内湧水量調査
- ⑤地下水流動解析
- ⑥採水調査

図-5に示すTH-1~8, SN-4, AN-6の位置に130~200mのボーリング孔を掘削し、コア観察、物理検層、透水試験、間隙水圧観測、採水調査などを行った。地下水涵養量を算定するために、地下水位、土壤水分、気象、河川流量を観測した。また、坑道内での湧水量調査を既存の調査坑内と第2立坑で実施した。

地下水流動解析では、以上の各調査により得られるデータに基づき三次元飽和・不飽和浸透流解析を行った。予測解析の結果は実測値と比較した。

2・4スケジュール

概略スケジュールを図-6に示す。現在も設置した計測機器による長期観測を継続している。

3. 結果概要

以下には岩盤挙動調査と水理調査の主な結果の一部を示す。

3・1岩盤挙動調査

表-1 岩盤挙動調査項目

大項目	中項目	項目	M1	M2	M3	M4	S1	K1	K2	SP1	SP2	U	L	A	B	C	坑内	坑外	
地質構造		弾性係数調査																	4
		圧縮係数																	
変位	岩盤	内空変位・天端沈下	○	○	○	○													2
		岩盤内変位																	
支保	支保	補料計による測定																	5
		掘削面変位																	
応力	支保	初期応力測定																	4
		ひずみ連続測定																	
		定値工応力	○	○	○	○													
		掘削工応力																	
		背掘土圧																	
物性	コア	弾性係数					○												
		透水係数					○												
		弾性係数																	
		弾性係数																	
		弾性係数																	
		弾性係数																	
		弾性係数																	
		弾性係数																	
		弾性係数																	
		弾性係数																	
		弾性係数																	
		弾性係数																	
		弾性係数																	
		弾性係数																	
		弾性係数																	
		弾性係数																	
		弾性係数																	
		弾性係数																	
		弾性係数																	
		弾性係数																	
		弾性係数																	
		弾性係数																	
		弾性係数																	
		弾性係数																	
		弾性係数																	
		弾性係数																	
		弾性係数																	
		弾性係数																	
		弾性係数																	
		弾性係数																	
		弾性係数																	
		弾性係数																	
		弾性係数																	
		弾性係数																	
		弾性係数																	
		弾性係数																	
		弾性係数																	
		弾性係数																	
		弾性係数																	
		弾性係数																	
		弾性係数																	
		弾性係数																	
		弾性係数																	
		弾性係数																	
		弾性係数																	
		弾性係数																	
		弾性係数																	
		弾性係数																	
		弾性係数																	
		弾性係数																	
		弾性係数																	
		弾性係数																	
		弾性係数																	
		弾性係数																	
		弾性係数																	
		弾性係数																	
		弾性係数																	
		弾性係数																	
		弾性係数																	
		弾性係数																	
		弾性係数																	
		弾性係数																	
		弾性係数																	
		弾性係数																	
		弾性係数																	
		弾性係数																	
		弾性係数																	
		弾性係数																	
		弾性係数																	
		弾性係数																	
		弾性係数																	
		弾性係数																	
		弾性係数																	
		弾性係数																	
		弾性係数																	
		弾性係数																	
		弾性係数																	
		弾性係数																	
		弾性係数																	
		弾性係数																	
		弾性係数																	
		弾性係数																	
		弾性係数																	
		弾性係数																	
		弾性係数																	
		弾性係数																	
		弾性係数																	
		弾性係数																	
		弾性係数																	
		弾性係数																	
		弾性係数																	
		弾性係数																	
		弾性係数																	
		弾性係数																	
		弾性係数																	
		弾性係数																	
		弾性係数																	
		弾性係数																	
		弾性係数																	
		弾性係数																	
		弾性係数																	
		弾性係数																	
		弾性係数																	
		弾性係数																	
		弾性係数																	

図-7は、計測断面から立坑切羽が3D（D：掘削径）進行した時点でのM3断面での岩盤内変位の計測値と解析値を示したものである。解析は3次元有限要素法による。断層と交差する方向の変位が相対的に大きくなっており、計測値と解析値は同傾向を示している。

B断面で行われた孔内载荷試験と透水試験の結果を図-8に示す。立坑壁面より1m程度の範囲内で物性が変化している。他の調査結果から、この物性変化は、き裂の発生や変化、応力の変化、不飽和領域の発生などによると推測される。

図-9はC断面で計測された岩盤ひずみの計測値と解析値を立坑の切羽位置との関係で示したものである。解析は有限要素法による軸対象解析を行った³⁾。岩盤のき裂頻度を考慮しパラメーターを設定したが、計測値と解析値はよく一致している。また、GT-1～GT-4孔を利用して行われた弾性波トモグラフィーの結果⁴⁾では坑道周囲の低速度帯や地質構造を反映した速度分布が把握された。

3・2 水理調査の結果

表層水理調査では0.57mm/日という涵養量が得られた⁵⁾。これに基づき数値解析の上部境界条件を決定した。坑内湧水量測定の結果は、数値解析の結果を確認する際に用いた。

TH-1～4における間隙水位観測では立坑掘削以前より間隙水圧が既存坑道の影響を受けていることや、立坑に近い位置で大きな水位低下が発生しているのがわかった。間隙水圧観測の結果から岩盤内の間隙水圧分布は、第二立坑から半径約100mの範囲内で影響を受けていると考えられる。この水圧観測結果は、数値解析の境界条件の決定、結果の確認、水理地質構造の再検討に用いた。

数値解析は第二立坑掘削前の状態を初期条件とし、立坑掘削工程を非定常な境界条件として、有限要素法を用いて行った。解析領域はTH-

4, 6, 7, 8, SN-4で囲まれた、海拔0mまでの約300m立方の範囲とした。図-10にTH-1, 2, 3, 5における立坑掘削終了時のピエゾ水頭の鉛直方向の分布の解析値と実測値の対比を示す⁶⁾。解析と実測は調和的である。

図-11には、採水調査⁷⁾のひとつとして行った水素と酸素の安定同位体分析の結果（安定同位体比）を示す。この同位体比からこの地域の地下水が降水を起源としていることが推定されるが、その値は現在の降水に比べて低い。これは現在よりも気温の低い環境での降水であることが考えられる。¹⁴Cを用いた年代測定

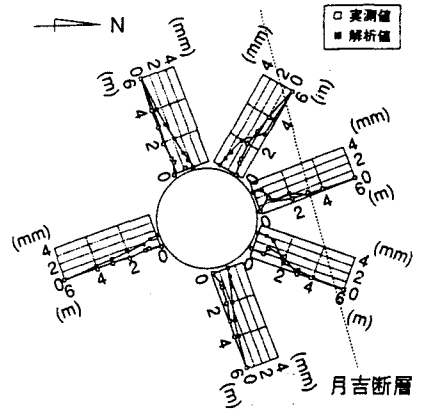


図-7 M3断面での岩盤内変位

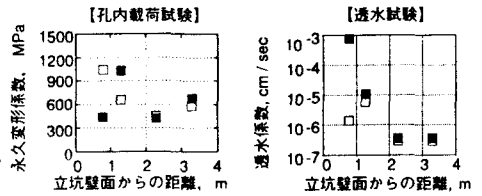


図-8 B断面における試験結果

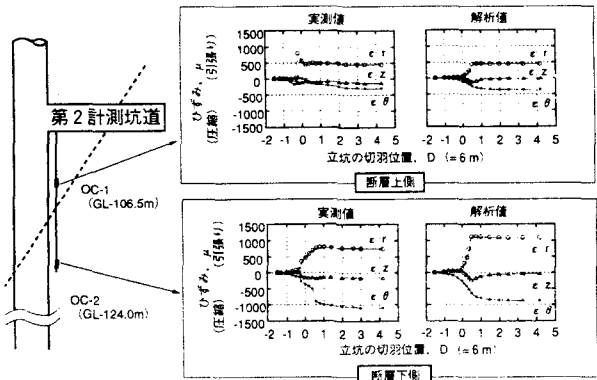


図-9 連続ひずみ測定・解析結果

の結果から、堆積岩最下部の地下水は約1万数千年前の降水であることが推定された。この時期は現在より気温の低い時期であり、安定同位体分析の結果と一致する。

4. まとめ

本研究では、立坑掘削に伴い発生する周辺岩盤への影響を力学的、水理学的に計測・解析・評価するために、さまざまな現場計測・調査が行われ、得られた情報に基づき数値解析が実施された。これにより以下のような知見が得られた。

- ①立坑掘削に伴い岩盤物性の変化した領域はおおむね立坑壁面より1mと考えられる。
- ②弾性波トモグラフィーにより、概略の地質構造が把握され、坑道周囲に低速度帯が検出された。
- ③周辺岩盤中の水圧は、立坑から半径約100 mの範囲で変化し、立坑に近いほど変化が大きい。
- ④有限要素法による数値解析により、岩盤変位、岩盤ひずみ、間隙水圧の変化が説明できた。
- ⑤研究対象地域の深度150mまでの地下水はその水質から1万数千年前の降水であると推定される。

今後の課題としては、①計測手法の信頼性の検討、②不飽和領域の評価、再配分応力状態の把握、④物性と応力状態の関係評価が挙げられる。

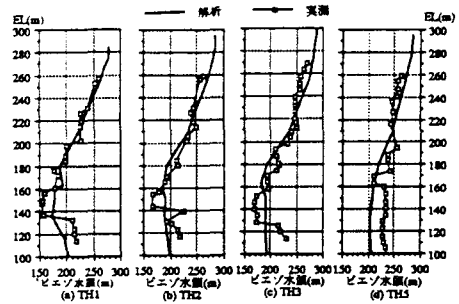


図-10 ピエゾ水頭の解析値と実測値

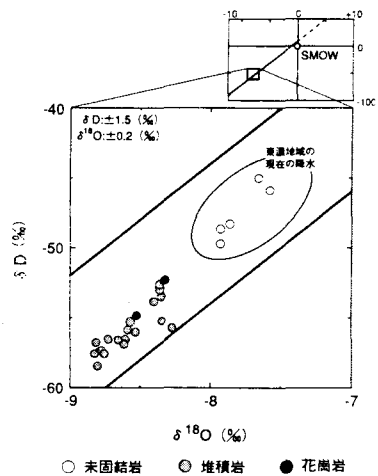


図-11 東濃地域の地下水の δD - $\delta^{18}O$ 図

5. 参考文献

- 1) 杉原弘造、他：新第三系堆積岩における立坑掘削影響試験の概要，土木学会地下空間利用シンポジウム 1992，pp.185～194，1992。
- 2) 柳澤孝一、他：東濃地域における立坑掘削影響試験－立坑掘削に伴う水理学的影響調査研究の概要－，日本原子力学会「1991春の年会」要旨集，P525，1991。
- 3) 吉岡尚也、他：堆積岩地山での立坑掘削に伴うひずみの原位置計測とその数値解析，材料，Vol.42，No.474，pp.324-328，1993
- 4) 杉原弘造、他：弾性波トモグラフィーによる地質構造調査－断層のある堆積岩盤への適用例－，第24回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集，pp.454～458，1992。
- 5) 中島誠、他：岩盤浸透流解析の涵養量の算定について、第23回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集，pp.252～256，1991。
- 6) 今井久、他：立坑掘削の地下水流動影響予測解析（Ⅱ），第24回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集，pp.71～75，1992。
- 7) 瀬尾俊弘、他：岐阜県東濃地域における地下水の ^{14}C 年代と起源について、日本地下水学会，1992年度秋季講演会講演要旨，pp.50～53，1992。