



立坑掘削影響試験における岩盤挙動調査の概要と成果

杉原 弘造 松井 裕哉 佐藤 稔紀

中部事業所

資料番号：87-6

Outline and Results of Study on Excavation Response of Rock Mass around Shaft in Shaft Excavation Effects Project

Kozo Sugihara Hiroya Matsui Toshinori Sato
(Chubu Works)

この調査では、堆積岩盤に新たに直径6m、深さ150mの立坑を掘削し、立坑掘削が周辺岩盤に与える影響を研究した。影響評価のため、岩盤の変位やひずみといった動き、変形係数や透水係数といった特性の変化等を計測した。この結果、立坑壁面から約1mの範囲で特性が変化していること、岩盤の動きや特性変化は岩相、き裂、再配分応力に影響されていること、等が明らかとなった。しかし、特性変化とその原因の詳細な関係は今後の課題である。

1. はじめに

岩盤に立坑等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と考えられる。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、「動燃事業団」という）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ている。動燃事業団ではこの研究を立坑掘削影響試験（SEEプロジェクト＝Shaft Excavation Effects Project）と名付けて、平成元年度より実施した。

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。これらの影響に対応して立坑掘削影響試験は、「岩盤挙動調査」と「水理調査」¹⁾の2項目に分けて実施した。ここでは、このうちの岩盤挙動調査の概要と成果を報告する。

立坑掘削影響試験で行われたさまざまな調査研究の内容と成果は、すでに多くの国内外の報告会や学会誌で発表している^{2),3),4)}。

2. 調査・試験の概要

2.1 試験地の概要

試験地は、岐阜県土岐市にある動燃事業団の東濃鉱山である（図1）。この地域の地質は図2に示すように、下位より、花崗岩、瑞浪層群、瀬戸層群である。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系～第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。この断層はほぼ東西の走行で60°南傾斜であり、下盤となる北側が約30m落ちの逆断層である。

本地域には図2に示すように、東濃鉱山の既存の調査坑道が展開している。立坑掘削影響試験のために掘削した立坑（第二立坑）は、この坑道の立坑（調査立坑）から約80m北東に位置している。

2.2 第二立坑の概要および施工方法

第二立坑は、人員や資材の搬出入を考慮して内径

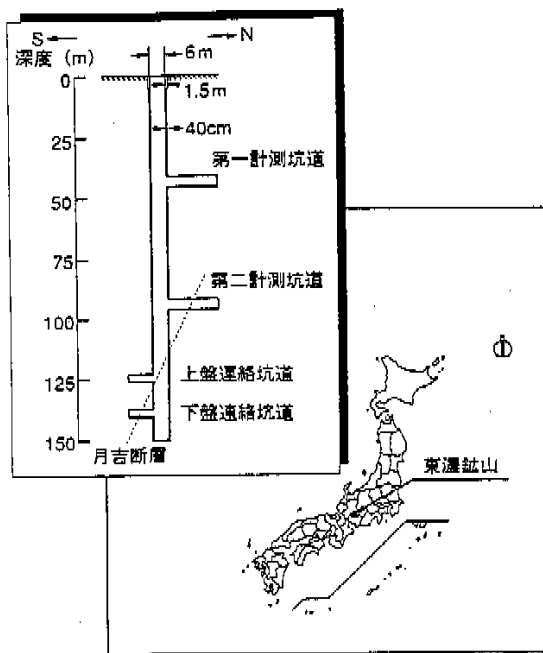


図1 位置図および立坑図

を6mとし、堆積岩の厚さから深度を150mとした(図1)。各種計測のため第一、第二計測坑道(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い上部5mまでは1.5mの厚さ、5mから立坑底までは40cmの厚さのコンクリートで覆工した。

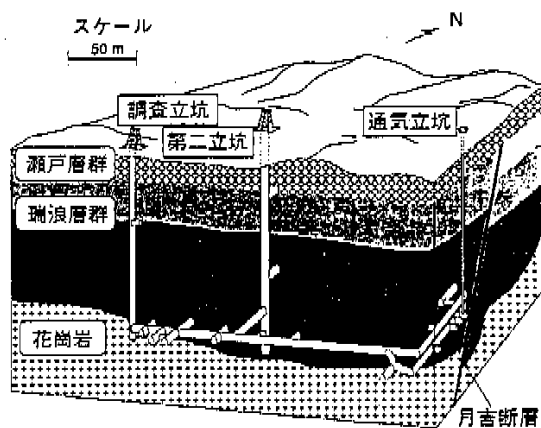


図2 東濃鉱山地質・坑道概要図

2.3 岩盤挙動調査の概要

立坑掘削に伴う岩盤の特性や状態の変化を計測・把握するために、立坑掘削前の状況を調査する事前調査を行うとともに、立坑掘削中および掘削後の状況を調査する計測断面を立坑内に設定した。

各計測断面や試錐孔の配置は、岩相・深度・断層との位置関係等を考慮して、掘削影響の発生状況に関係する要因を評価できるようにした。

事前調査では、地質状況の概略を把握するため、地表で弾性波調査を行った。また、立坑掘削による岩盤の動きを計測するために、立坑掘削壁から1m離れた位置に180mの試錐(CL-1, 2)を行い、このボーリング孔に挿入式傾斜計を設置した。

立坑掘削中の計測は2種類に分けられる。

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)

変形挙動に関する調査では、図3に示す断面を設定し、立坑切羽が計測断面に到達した時点で各計測項目に対応する計測機器を設置した。

力学的、水理学的特性変化に関する調査では、立坑切羽が図4に示す計測断面に到達した時点で掘削前のデータを採取し、立坑切羽が計測断面から十分離れた時点で掘削後のデータを採取し、この両者を比較した。ジオトモグラフィの計測は、第一計測

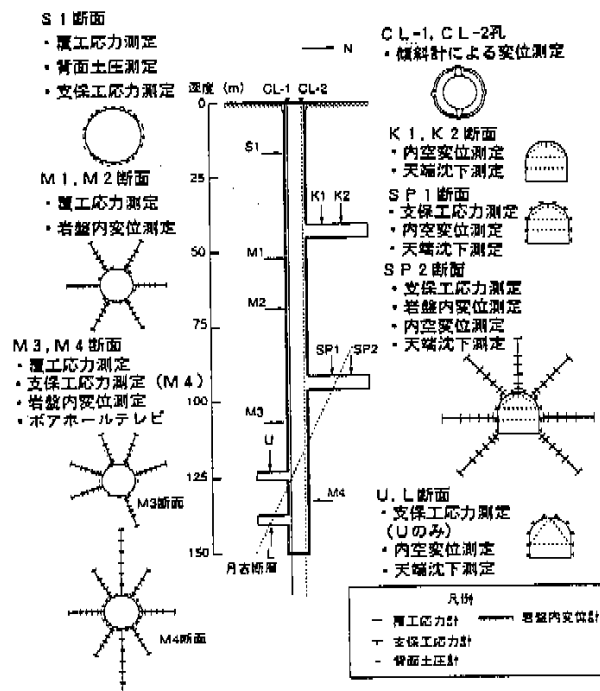


図3 変形挙動調査概要図

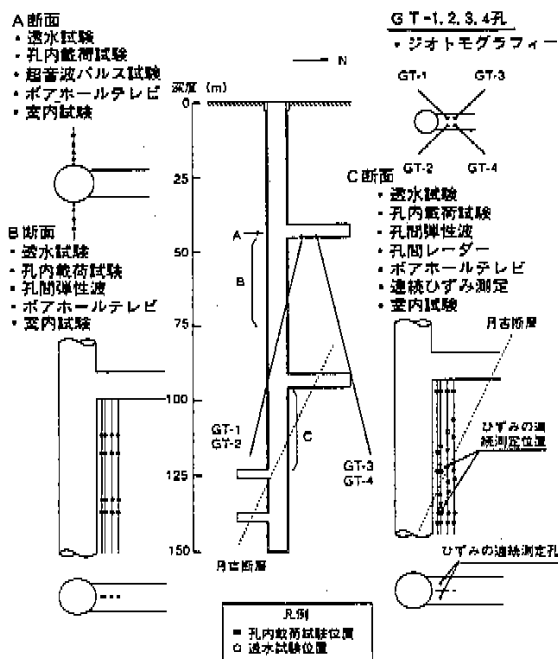


図4 力学的、水理学的変化調査概要図

坑道掘削後、第二計測坑道掘削後、立坑掘削終了後の3回行い、データを比較・検討した。ひずみの連続測定では、第二計測坑道掘削後、月吉断層の上盤と下盤にひずみ計を埋設し、立坑掘削中の周辺岩盤における応力変化に伴うひずみ変化を測定した。

事前調査は平成元年度当初より開始した。立坑掘削は平成2年1月に開始し、途中各種の計画を行いながら、平成3年7月に終了した。その後は掘削後の長期観測を継続している。

3. 岩盤挙動調査の結果

上に述べた調査のうち、変形挙動に関する調査のM1～M4断面での岩盤内変位測定、力学的、水理学的特性変化に関する調査のA～C断面での特性調査、C断面での連続ひずみ測定の結果を述べる。

3.1 M1～M4断面での岩盤内変位測定結果

M1～M4断面には、図3に示すように、立坑の半径方向に放射状に、6～8本の多点式岩盤内変位計を設置した。

図5はM3断面での測定結果で、計測断面から立坑切羽が掘削径D(=6m)の2倍(2D)および3倍(3D)進行した時点での岩盤内変位を示したものである。断層と交差する方向に埋設した多点式岩

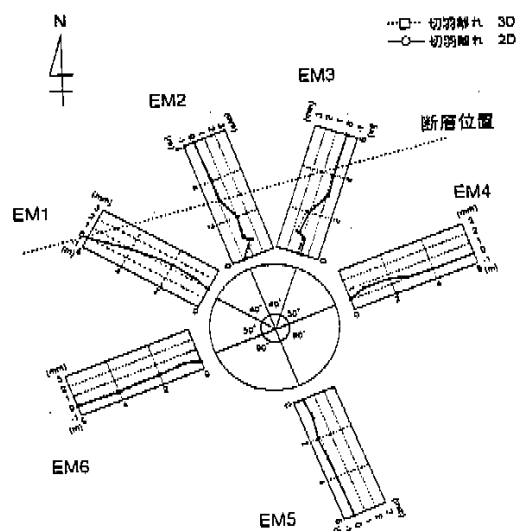


図5 M3断面地中変位分布図

盤内変位計とそうでない方向に埋設した多点式岩盤内変位計を介して計測された変位の大きさは異なるが、立坑の切羽が2Dないし3D進行した時点ではどの方向とも収束している。この傾向は他の断面でも計測され、FEM弾塑性解析の結果とも一致している。

計測された変位は、地質、き裂や断層の影響を強く受けていた。

3.2 A～C断面での特性調査結果

A断面では立坑壁から東方向と西方向に長さ6mのボーリング孔を1孔ずつ掘削した。B断面とC断面では、おのおの第一・第二計測坑道から立坑に平行な鉛直下向のボーリング孔を4孔ずつ掘削した。これらのボーリング孔は、長さが23mで立坑壁から各々0.8, 1.3, 2.3, 3.3m離れている(図4)。

B断面で行われた孔内載荷試験と透水試験の結果を図6、7に示す。図6で掘削に伴う力学的な特性変化を永久変形係数⁵⁾で評価したのは、永久変形係数が応力レベルに依存しないためである。図6、7では、立坑壁から約1.0mまで特性の変化が見られる。しかし、GL-54.4mでの永久変形係数は立坑壁から2～3mまで変化している。A断面とC断面での調査ではおおむね立坑壁から約1.0mまで特性の変化が見られたが、GL-54.4mで見られたような複雑な変化が見られた場合も多い。このような特性の変化は、岩盤のき裂の発生や変化、岩盤応力の再配分、測定地点の岩相等が関係していることが

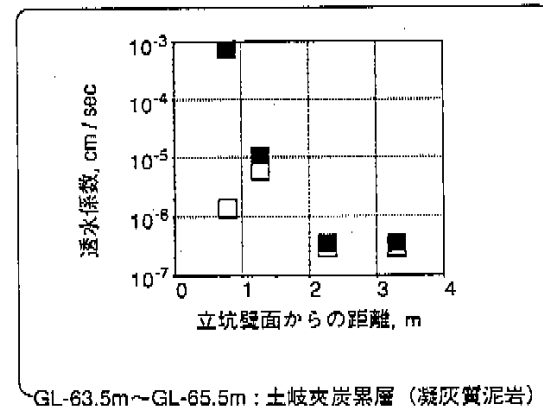
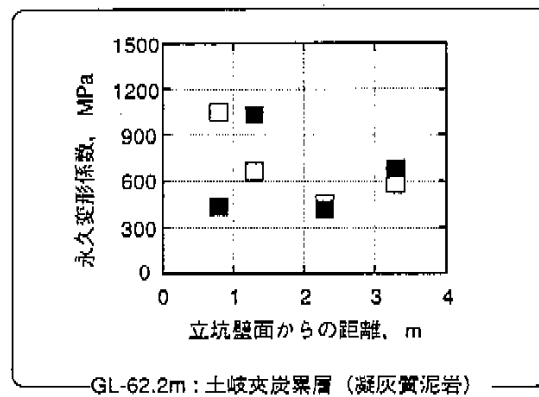
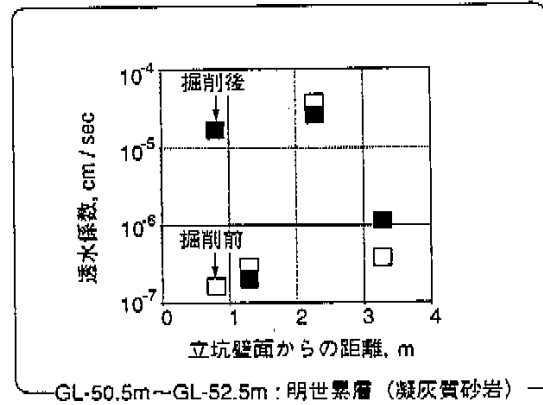
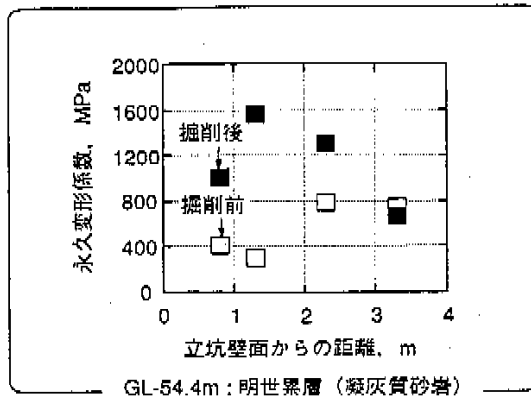


図6 B断面における孔内載荷試験結果

図7 B断面における透水試験結果

推定されたが、その関係は詳細には把握できなかった。

3.3 C断面での連続ひずみ測定⁷⁾

C断面ではひずみ計を埋設するためのボーリング孔を立坑壁から約2 m離れた位置に鉛直に2孔掘削した。ひずみ計は断層の上下盤に埋設した。

図8、9には、第二計測坑道から先行埋設した多軸岩盤ひずみ計を介して計測されたひずみを立坑の半径、接線、鉛直方向のひずみに直したものがプロットされている。横軸の切羽位置Dはひずみ計を埋設した深度を基準レベルとし、この基準レベルと立坑切羽深度との差を掘削径Dで表わしたものである。立坑の切羽が多軸岩盤ひずみ計を埋設したレベル(0D)を通過する手前より半径方向のひずみ(ϵ_r)と接線方向のひずみ(ϵ_θ)には変化が生じ、立坑切羽が掘削径の2倍(2D)以上進行すると ϵ_r と ϵ_θ との差はほぼ一定になる。一方、鉛直方向のひずみ ϵ_z は立坑の切羽位置によらずほとんど変化していない。このようなひずみの変化は、谷本ら⁷⁾が

応力再配分概念として指摘している空洞壁面を空洞の中心に引きずり込む掘削外力の作用によって生じたものと考えられる。この掘削外力の解放のために生じたひずみのうち ϵ_r と ϵ_θ は、図8と図9で異

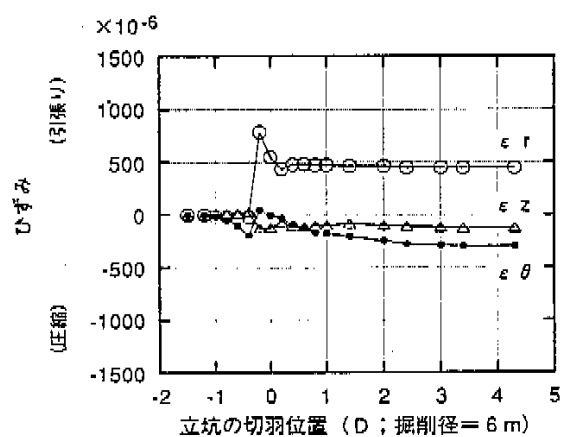


図8 断層上盤でのひずみ変化

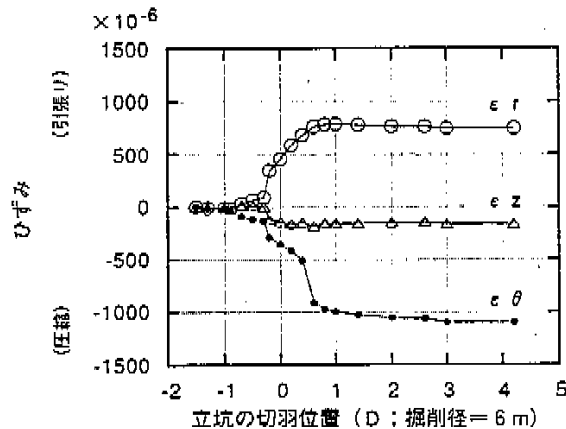


図9 断層下盤でのひずみ変化

なった挙動を示している。断層の上側と下側に埋設した多軸岩盤ひずみ計近傍における岩盤のき裂間隔はそれぞれ70cm程度と30cm程度であったため、このような岩盤内のき裂間隔の違いが影響したものと考えられる。

4. おわりに

立坑掘削影響試験では、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 岩盤の変位は地質や断層、き裂に影響を受けていた。
- ② 立坑壁面から1mの範囲で立坑の掘削に伴う岩盤の特性の変化が認められた。
- ③ 周辺岩盤中の応力変化は、従来からいわれている応力再配分と同じ傾向を示した。

この他、地質状況や掘削の影響把握におけるジオ

トモグラフィーの有効性等も確認されている⁸⁾。

しかし、残された課題や新たに生じた課題も多い。たとえば、以下の点が挙げられる。

- ① 計測手法の信頼性の検討。
- ② 岩相、き裂、再配分応力等と特性変化の関係評価。

長期的な影響の視測は現在も実施中であり、新たなデータが得られつつある。今後とも、これらのデータの解析・評価を進めていくとともに、室内試験や新たな坑道掘削に伴う調査・試験を行い、上述した課題等の解決に取り組んでいく計画である。

5. 謝 辞

本研究の多くは、大成建設、大林組、清水建設、鹿島建設への委託研究として実施した。また、誌面の都合上ご氏名は省略させて頂くが、結果の解析・評価については、岩盤力学関係の大学の諸先生方に貴重なご意見を頂いた。ここに各社の担当者の方々および諸先生方に謝意を表す次第である。

参考文献

- 1) 柳澤孝一、今井久、他：立坑掘削に伴う地下水流動影響調査研究—東海ウラン鉱山試験立坑を例として—、応用地質30巻、5号、pp.276-293、(1992)。
- 2) 杉原弘造、吉岡尚也、他：東海地域における立坑掘削影響試験—全体計画—、日本原子力学会「1991春の年会」要旨集、pp.324、(1991)。
- 3) K. Yanagisawa, H. Imai et al.: The Shaft Excavation Effect Experiment: Development of Hydro geological Model in Tono Research Field, HIGH LEVEL RADIOACTIVE WASTE MANAGEMENT, Proceedings of the Second Annual International Conference, Las Vegas, Nevada, pp.1291-1298、(1991)。
- 4) 吉岡尚也、杉原弘造、他：立坑の掘削に伴う応力再配分の計測とその数値解析、土木学会、第24回岩盤力学シンポジウム、pp.356-360 (1992)。
- 5) 大西有三、谷本親伯訳：わかりやすい岩盤力学、丸井出版社、p.269
- 6) 吉岡尚也、杉原弘造、他：地層地山での立坑掘削に伴うひずみの原位計測とその数値解析、材料、Vol.42、No.474、pp.324-328、(1993)。
- 7) 谷本親伯、島田治郎：切羽周辺での地山挙動を考慮したトンネル立坑の基本概念、土木学会論文報告集、Vol.325、pp.93-106、(1982)。
- 8) 杉原弘造、吉岡尚也、他：弾性波トモグラフィーによる地質構造調査—断層のある地層岩盤への応用例—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)。