

(70) 重要構造物に近接した大断面トンネルの施工管理

北海道電力(株) 池野英昭

北電興業(株) 鹿内賢司

前田建設工業(株) 盛春雄・○萬正己・桜井孝臣

Construction Control for a Large-Section Tunnel Close to an Important Structure

Hideaki Ikeno

Hokkaido Electric Power Co.

Kenji Sikanai

Hokkaido Electric Power Service Co.

Haruo Mori, Masaki Yorozu

Maeda Corporation

Takatomi Sakurai

Maeda Corporation

Abstract

At Takami Power Station (Hokkaido Electric Power Co.), the construction work was completed and the No.1 Plant (100,000kw) is already in operation. For the extension works to accommodate the excitation device for No.2 Plant, it was required to construct the excitation room tunnel. The excitation room was required to have an internal width of 12.5m and height of 10.6m, and its excavation cross-section area of 150m² was approximately twice of road tunnels. Furthermore, to reduce the cable resistance loss, the excitation room had to be constructed close to the Power plant. Since adverse effects on the power plant in operation from the excavation work had to be avoided at all costs, measures had to be taken to minimise the deformation of the surrounding ground and vibration due to blasting. Top-heading NATM was selected as the construction method out of considerations for restrictions over the construction period and facility of construction. The scarcity of past cases of construction of tunnels with such large-sections by this method meant that thorough measurement control was required during the construction work.

The construction of the excitation room tunnel and the methods used in construction control are discussed in this report.

1. はじめに

北海道電力高見発電所では、現在1号機(10万kw)が稼働中であり、土木工事は発電所建設中にほとんど完了している。今回施工する励磁室トンネルは2号機増設に伴い必要となる励磁装置を収納する設備であり、内空として幅12.5m、高さ10.6mを必要とし、掘削断面積は150m²と一般道路トンネルの約2倍を有する。

本トンネルは励磁装置のケーブル抵抗損を考慮し、発電機室の至近距離に構築せざるをえない。トンネル掘削による影響で稼働中の発電所にトラブルが発生することは絶対避けなければならないため、周辺地山の変状および発破振動を極力抑えて施工することが必要であった。さらに工期の制約・施工性等により工法として上半先進NATMが採用されたが、当トンネルのような大断面トンネルでの施工事例はほとんどないため、施工に際してはとくに慎重な計測管理が要求された。発電所周辺の変位測定・振動測定も行われ、変状が小さいことを常時確認しながら施工が進められた。

本報告では、とくに励磁室トンネルの施工実績および計測管理について述べる。

2. 工事概要

本工事は既設搬入路トンネルから長さ10m, 掘削断面積40㎡の連絡通路を取付部とし、延長80m, 掘削断面積 150㎡の励磁室トンネル (図-1) を構築するものである。本トンネルは、発電所付近の既存地質資料およびトンネル規模をも考慮し、比較的地質状態の良好な位置に選定された。

励磁室トンネルの支保パターンは、北海道開発局で採用されている地山分類に基づいてトンネル周辺地山を分類し、トンネルの掘削断面積が 150㎡と従来の鉄道トンネル・道路トンネルに比較して非常に大きいこと、稼働中の発電所に近接していることを考慮して決定 (図-2) した。さらに FEM解析によりその妥当性を検証した。

掘削工法は、トンネルの延長、掘削断面積、励磁室トンネル断面への早期切広げによる大型掘削機械の導入の容易さ、および地質等を考慮して励磁室トンネルでは上半先進ベンチカット工法を採用した。なお、掘削工法の一覧を表-1に示す。

掘削は主として発破により行われたが、発電所への影響を考慮し薬量を制限している。さらに地山の緩みを極力制限するため、発破掘削は掘削予定線より手前で止め、所定の位置までブレイカーにより掘削を行った。地層がトンネル掘削進行方向に対して流れ目になっており、所々に粘土層を介在していたため、補助工法として天端部にループボルトを施工した。また予期しない粘土層が出現した箇所については火薬を使用せず、断面全体をブレイカー掘削とした。

3. 地質概要

施工位置周辺は、ジュラ紀～白亜紀に生成された日高累層群と白亜紀に生成されたエゾ層群で構成されている。日高累層群は、海底火山の噴出物を起源とするいわゆる輝緑凝灰岩を主体として構成され、粘板岩・砂岩・チャートおよび石灰岩といった堆積岩類を伴っている。エゾ層群は頁岩を主体として構成され、砂岩および砂岩と頁岩の互層を伴う。

励磁室トンネルの地質分布を図-4に示す。ここでの地質は、輝緑凝灰岩類およびチャート、砂岩が主体をなし、岩級区分ではC_m～C_nに属するおおむね良好な岩盤である。トンネル中央部付近に存在する断層はトンネル縦断方向に1～2mの幅で存在するが、粘土化している部分 (10cm程度) を除いて、破碎内物質は固結している。C_m級の岩盤はやや脆弱化しており、地層の傾斜は掘進方向に対して30～50°と緩く天盤

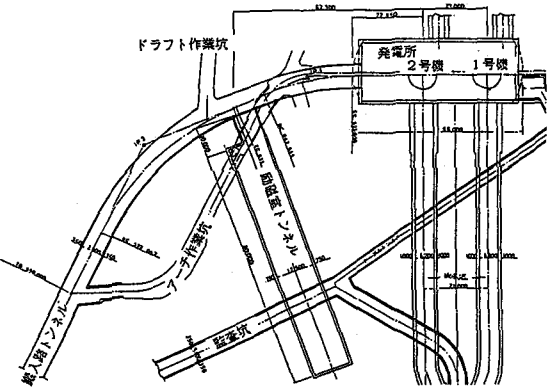


図-1 施工位置平面図

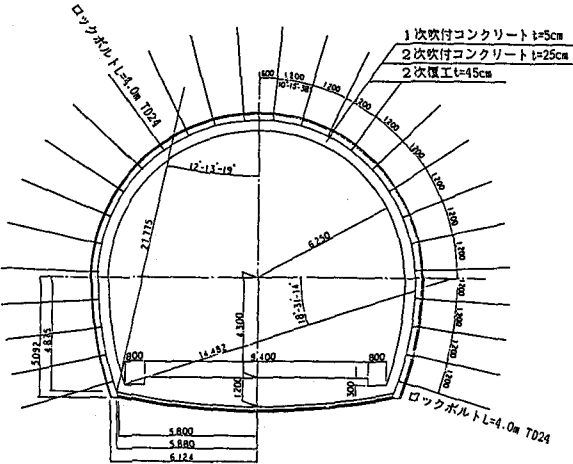


図-2 励磁室トンネル標準断面図

表-1 掘削工法一覧

施工場所	工法	備考
連絡通路 トンネル	全断面工法	・掘削断面積40㎡ ・発破掘削
切上がり 切広げ部	全断面工法	・掘削断面積40㎡ ・発破掘削
励磁室 トンネル	上半先進 ベンチカット工法 (上下半並進なし)	・上半掘削断面積63㎡ ・上半リングカット ・下半掘削断面積87㎡ ・大背・土分割施工 ・発破掘削

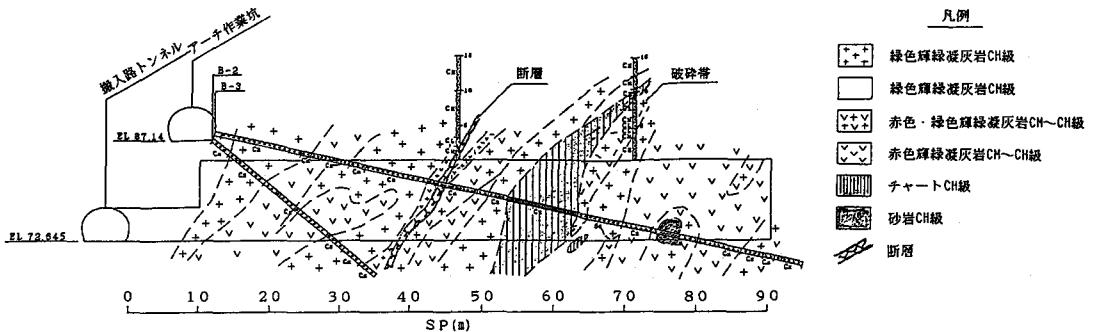
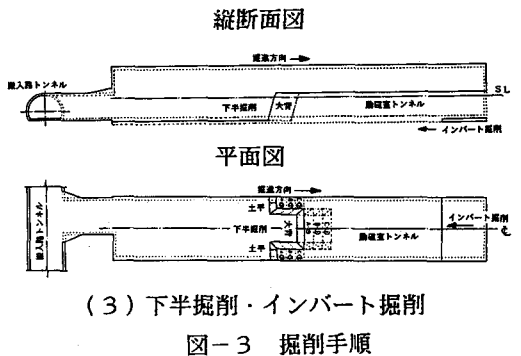
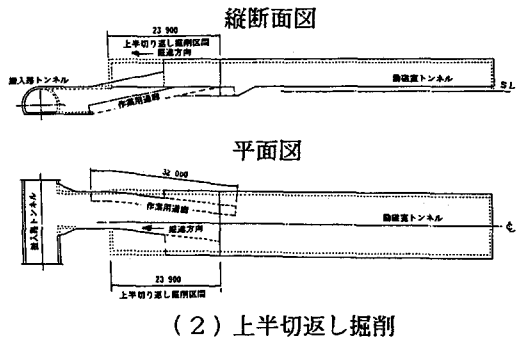
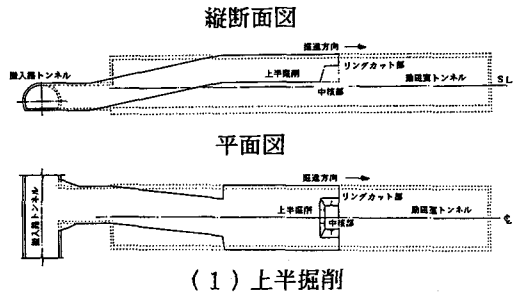
崩落の可能性があると考えられる。とくに搬入路から32m付近の地点では蛇紋岩化しているC_M級の輝緑凝灰岩が分布しているが、この位置の岩盤は滑石を含みせん断強度が低下していると考えられる。また、岩盤には亀裂が認められるものの、透水試験結果よりルジオン値は1未満であり、透水性は小さいものと考えられる。

4. 施工方法

4-1 掘削

まず連絡通路部分を全断面発破工法で施工する。この際、既設搬入路トンネルおよび発電所への影響を抑制するため、裏込め注入（エアームタル）を行い、補強ロックボルト（TD-24 L=3m）を打設した。連絡通路トンネルは掘削断面積が40㎡と狭小のため、小型のクローラージャンプ（THCJ-2370）を使用した。その後同断面のまま勾配20%で励磁室上半盤に切り上がる。延長9mの区間で上半断面の切り上げを行い、作業能率の向上を図るため、さらに大型のクローラージャンプ（THCJ-2350B-C L）を導入した。ここに搬入路トンネル側を始点側、最奥側を終点側とする。上半掘削は、切羽の安定と発破振動の抑制を図るため、リングカット方式で終点側に向かって（図-3(1)）行った。終点側妻壁に到達し鏡面の補強を行った後、切り上がり部の上半を始点側に掘削（図-3(2)）する。

上半掘削がすべて終了してから、下半掘削を行う。下半掘削は、始点側から終点側に向かって行いが、発破振動の抑制、施工サイクル等を考慮し、大背部と土平部に加背割りし、大背部を先進して掘削し順次土平部を掘削（図-3(3)）する。下半掘削が終点側妻壁に到達してから、妻壁部の補強を行い、終点側から順次インバート掘削を行う。



4-2 覆工

覆工コンクリートは、まずインバートコンクリート（1スパン12m）を終点側から打設し、その後全断スライドセントルを組み立て終点側から全断コンクリートを打設（1スパン6m）する。打設方法は配管圧送吹上げ方式であり、配管の途中に油圧式分流機を設置し、手動で三方向に分流し打設する。妻側の型枠にはエアーバルクヘッドを採用し、スキンプレーットのケレンには自動ケレン装置を設置し、施工の省力化を図った。励磁室内の全断コンクリートが終了してから、連絡通路の巻立コンクリートを打設する。連絡通路のセントルは延長が短く、断面変化部があることからバラセントルを採用する。打設方法は励磁室トンネルと同様に配管圧送吹上げ方式である。

5. 計測による施工管理

計測位置を図-5に示す。また断面内計測器配置（代表断面）を図-6に示す。すべての断面においてA計測を行い、C・D断面についてはB計測も行った。管理基準値は、地山の限界ひずみ¹⁾により求まる値・FEM予測解析・地下発電所建設時の実測値等を考慮し、さらに重要構造物に近接していること・大断面であることを考慮して決定した。計測開始時（初期値設定時）には先行および初期変位としてすでに30~40%生じている²⁾ことを考慮し、基本値の60%を実測可能変位量とし、施工管理基準を算定した。なお上半掘削時の内空変位の施工管理基準値は、FEM予測解析による下半掘削時の変形に対する上半掘削時の変形割合を考慮して算定した。また、A断面（連絡通路）に対する値は掘削内径に比例するものとして算定した。決定された管理基準値（A計測）を表-2に示す。さらに各注意レベルに対する対策を表-3に示す。

本トンネルは延長が80mと短く、トンネル全体にわたって上半掘削を終了してから下半掘削を行う。したがって、現場計測の結果を設計・施工に迅速かつ適確に反映させるために、上半掘削終了時の計測変位の収束値を利用して、桜井氏が提案した逆解析法³⁾を用いて逆解析を行い、地山の初期応力および物性値を求め、下半掘削時の予測を行いトンネルの安定性および支保部材の安全性に

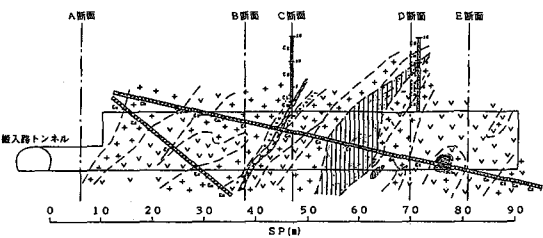
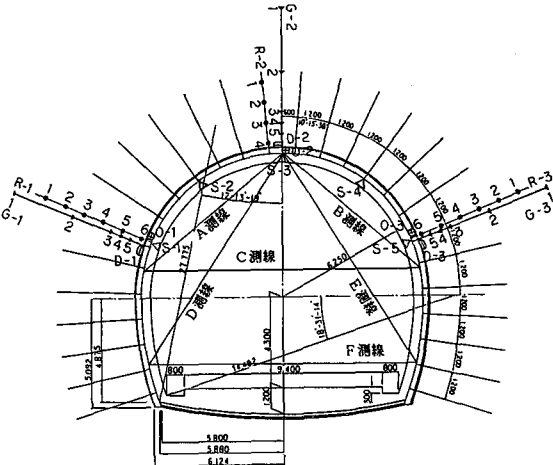


図-5 計測断面位置図



記号	測定項目
● R	ロックボルト耐力測定 1;5.5m 2;4.5m 3;3.5m 4;2.5m 5;1.5m 6;0.5m
➡ G	岩盤内変位測定 1;7.0m 2;4.0m 3;2.0m 4;1.5m 5;1.0m
⊕ O	吹付コンクリート応力測定
△ S	支保工応力測定
⊖ D	背面土圧測定

図-6 断面内計測器配置

表-2 管理基準値

	上半掘削終了時			下半掘削終了時		
	レベルⅠ	レベルⅡ	レベルⅢ	レベルⅠ	レベルⅡ	レベルⅢ
内空変位 (mm)	0.5	1.0	1.9	(1.0)	(1.9)	(3.8)
天端沈下 (mm)	0.6	1.1	2.2	(0.4)	(0.7)	(1.4)

() 内は連絡通路 (A断面) の値

表-3 注意レベルに対する対策

レベルⅠ	計測頻度の増加 現場状況の点検強化
レベルⅡ	吹付コンクリートの増吹 ロックボルトの増打・打ち込み延長増
レベルⅢ	掘削工法の変更 切羽停止

ついて検討した。図-7に設計・施工の全体的なフロー図を示すが、この中で点線内の部分が上記の検討に当たる部分である。

得られた計測結果を表-4に示す。

上半掘削終了時においては、内空変位量・天端沈下量ともすべての計測断面で管理基準値レベルⅡ以下であり、かつ収束していた。また支保部材の変状もみられなかった。さらにこの時点で、下半掘削時の地山および支保工の挙動予測を上記手法を用いて行った。その結果、補強工の追加は必要ないと判断されたため、支保パターンを変更せずに下半の施工を行った。

下半掘削終了時では、A断面において天端沈下が僅かに管理基準値レベルⅡを越えたが、その他の計測断面ではすべてレベルⅡ以下であり、計測値も収束し、変状もなく、無事に掘削を完了することができた。

6. おわりに

今回構築した励磁室トンネルは掘削断面積 150 m^2 という大断面であったが、通常のトンネル掘削工法である上半先進NATM工法で施工を試み、連絡通路の坑口付けから約5か月で掘削を終了した。しかも稼働中の発電所に隣接しているという条件から地山変位の管理基準値も非常に厳しい中での施工であった。

施工を行うに際して、とくに計測管理に重点を置き、施工前のFEM予測解析、上半施工時の計測データを用いた逆解析による地山の初期応力と物性値の推定、さらにこれを用いた順解析による下半時の予測といったステップを踏むことにより、トンネル周辺地山および支保工の安全性を確認しながら施工を進めた。トラブルを起こすことなく施工を完了できたのは、以上のような慎重な設計・施工フローにしたがって施工を行ったためであると考えている。

最後になりましたが、本報告書をまとめるにあたり貴重なご意見・ご指導を頂きました(財)電力中央研究所の方々には心から深く感謝いたします。

参考文献：1) 桜井：「NATMにおける現場計測と管理基準値」土と基礎 34-2

2) 桜井・足立：「都市トンネルにおけるNATM」鹿島出版会

3) 桜井・武内：「トンネル掘削時における変位計測結果の逆解析法」土木学会論文報告集、

第 337号, pp137 ~145, 1983

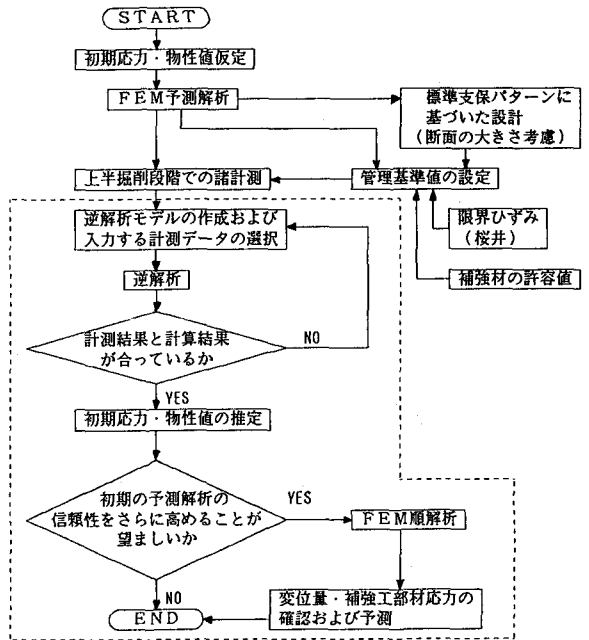


図-7 設計・施工フロー

表-4 計測結果

	上半掘削終了時(最大値)				
	A断面	B断面	C断面	D断面	E断面
内空変位 (cm)	—	0.5	0.6	0.3	0.3
天端沈下 (cm)	—	0.7	0.8	0.3	0.6
	下半掘削終了時(最大値)				
	A断面	B断面	C断面	D断面	E断面
内空変位 (cm)	1.6	1.2	1.4	0.9	0.7
天端沈下 (cm)	0.8	1.0	1.1	0.7	0.9

変位量・補強工部材応力の確認および予測