

岩清水発電所の隧道工事について

(蛇紋岩層を通過する隧道の施工に関する考え方と実施例)

正員 北海道電力K.K.岩清水発電所建設所長 池田英三郎

正員 北海道電力K.K.岩清水建設所第2工区長 若月政実

1. 要 旨

岩清水発電所は、北海道電力K.K.が日高地方で実施中の鶴川・沙流川・新冠川・静内川一貫開発計画(図-1参照)の一環として建設された調整池付属水路式の水力発電所であつて、昭和34年8月竣工し、最大出力15,000KWを有する。この発電所建設中、隧道工事において重圧を伴う膨張性蛇紋岩に遭遇したが、鋼製可縮支保工による掘削方式を採用することにより、これを克服し、しかも予期以上の進捗を挙げ、工期を1月短縮して竣工したものである。

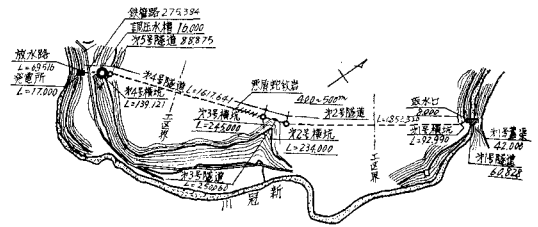


図-2 岩清水発電所水路一覧図

岩清水発電所は新冠川に位置し、水路全長約3,900mの圧力隧道からなり、途中4箇所の横坑により第1～第5号隧道に区分される(図-2参照)。このうち、第4号隧道上口(延長850m)の蛇紋岩区間における鋼製可縮支保工による施工について報告し、ご参考に供したい。

2. 設 備 概 要

	最大	常時	常尖
使用水量 m^3/s	15.00	2.57	15.00
有効落差 m	118.50	120.30	117.69
発電力 KW	15,000	1,100	14,900
年間発生電力量	87,038 MWH, 冬期 13,099 MWH		
調整池有効容量	290,000 m^3 , 利用水深 1.6 m		
ダム型式	可動扉付コンクリート重力式		
堤高	30 m		
導水路型式	標準馬蹄型		
	内径 28 m, 巻厚 0.3~0.7 m		
圧力式	延長 3,912.467 m		
水車	フランシス水車 16,000 KW		
発電機	三相交流同期発電機 16,500 KVA		
土木工事請負者	1工区飛鳥土木, 2工区清水建設 3工区佐藤工業		

3. 第4号隧道上口の経過

本地点は計画の当初から、第4号隧道は蛇紋岩層をとることが避けられないとの見通しのもとに、水路中心線は極力山に追込み、工事施工の安全を計った。このため、第2、第3号横坑はそれぞれ234m、245m

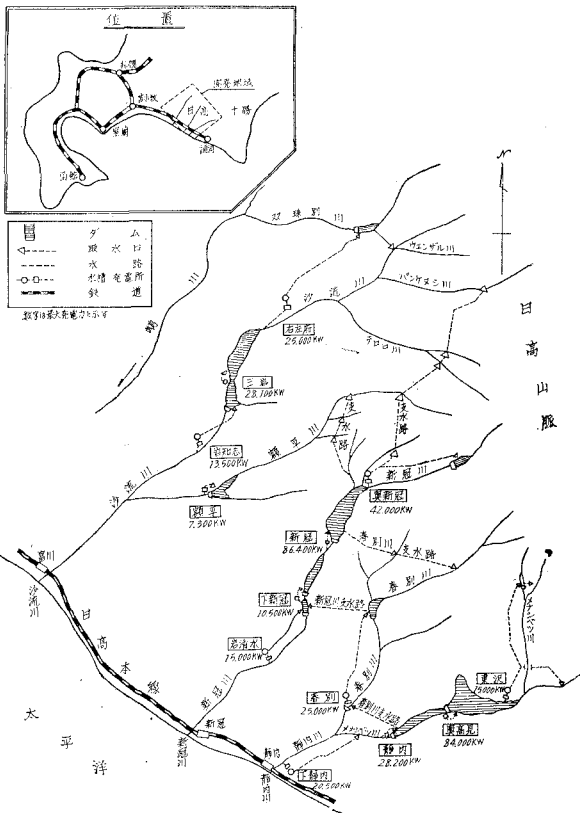


図-1 日高電源開発図

の長さに達した。当初の地質調査では、第4号隧道下口において蛇紋岩に遭遇するが、上口はおおむね粘板岩で貫通点近くで蛇紋岩層に突入するという予測であった。

第3号横坑は昭和32年12月着手、地質は黒色粘板岩で、多少の湧水と地圧をともない、木製支保工による縫地普請で掘進したが、坑口から195mで輝緑凝灰岩に遭遇し、無普請で施工できたため、以後の地質は好転するものと思われた(図-3参照)。ところが、215mから蛇紋岩に急変し、そのまま本坑におよび、昭和34年4月から従来の底設導坑式にて掘進したが、依然蛇紋岩層を突破することができないばかりでなく、掘削後7~10日も経過すると、導坑周壁岩の重圧・膨張著しく、木製支保工の損傷が激しくなつた(写-1参照)。このため支保工の復旧導坑床盤ならびに甬出しトロ線の保守などの作業に忙

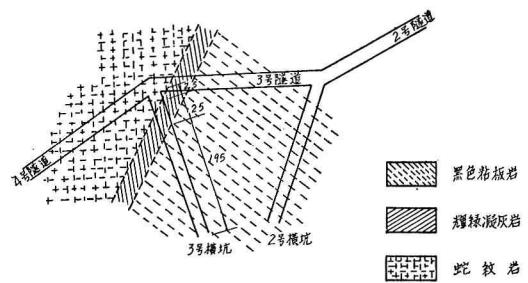


図-3 第3号横坑付近平面図

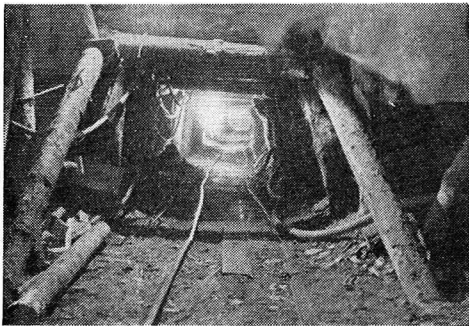


写真-1 導坑支保工被害状況

殺され、切羽の掘進作業はほとんど困難の状況となり、昭和33年5月末、当時の導坑切羽148m地点で、切羽の掘進作業を中止するの止むなきに至つた。

4. 鋼製可縮支保工採用の理由

4. 1 蛇紋岩の特色

本隧道の蛇紋岩は、岩石と粘土の中間的なものとして現われる。ヘアクラックの偶密な網目で構成され、このクラックに石灰質の粉末を介在したり、この面は研磨された大理石のような光沢をもち、顔が写るものもある。これが掘削され、時間の経過につれてヘアクラックは拡大し、隧道の全周壁において、岩石の徐々の崩壊をともなつて膨張が必然的にひき起される。この現象はいわゆる粘土化作用として知られているが、この作用が蛇紋岩の重圧・膨張を隧道にもたらすものである。

蛇紋岩におけるブリッジアクション期間は、普通岩石にくらべて短い。概覧岩塊が介在すると、さらに短縮される。掘削は「さし矢板」により、天端・側壁を縫地で施工する必要があつた。施砕後、1週間ぐらゐ経過すると直径20~40cm程度の坑木では、天端における岩石荷重の増大により、押木は降下、彎曲、折損の過程を繰返す。側圧のため枠柱は隧道内方に押し込まれるが、荷重が基礎岩盤の耐圧強度を超過して、深くめりこんだものは、内方に移動できず、中間から折れ、矢板はハラミ、ほとんど割り裂かれる。ブロック類(くさび、こま、パッキンなど)は押し潰され、枠の接ぎに使われたカスガイが爪の部分で振り切られるという状態を呈した。

一般に蛇紋岩の特色は、隧道支保工に特大な荷重と圧力をもたらすことで知られているが、このような岩石隧道において観測された圧力の記録は少ないが、天端の荷重と隧道断面との間に関連性がないことが示されている。また支保工にかかる圧力は、粘土の膨張に似ており普通岩石隧道の幅と高さとの関係による岩石荷重とは比較にならないほどの重圧・膨張をもたらすのが普通である。

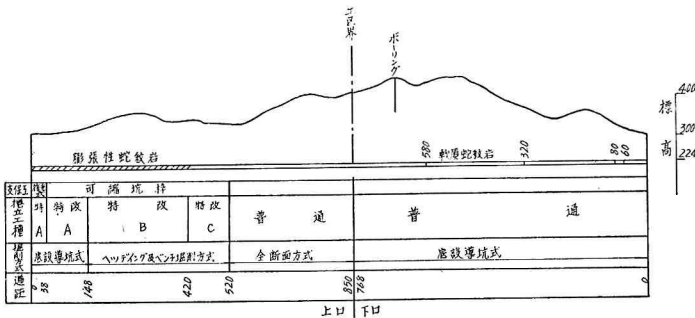


図-4 第4号隧道縦断面図

4. 2 重圧を伴う膨張岩隧道における支保工

従来、当社で膨張性岩石隧道の施工にあつては、切掘り完了後、重圧・膨張が漸減し、ある程度落着くまでの期間放置したのち、捲立を行なう工法と、コンクリート強度がある程度地山の圧力に対抗できるまでの期間に相当する膨張量を見込み、岩石と覆工の間に空隙を設け、これによつて圧力を軽減する空隙工法、との2つが実施された。

このような工法における木製支保工の盛替えは、極めて厄介で、高い工費を要し、他の作業を妨害することが多い。そこで機能をほとんど消失してしまう支保工の代りに、岩石の荷重と圧力が過大になれば収縮(このため隧道断面をわずかにばかり縮小)するが、なお一定の抵抗力を持続できる鋼製可縮支保工を使用するのが合理的であると考えた。また棒と棒との間にハラミで岩石のため被覆(矢板、矢木など)が損傷をうけたならば、この部分

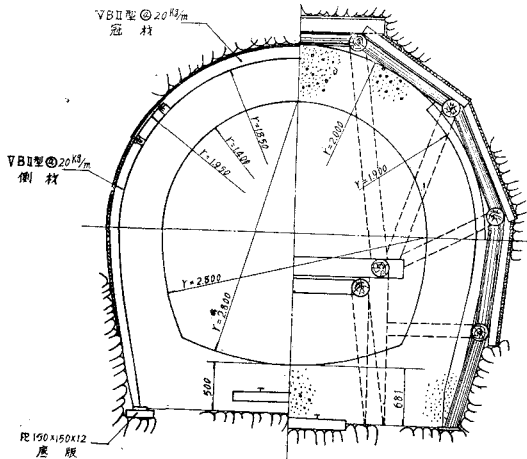


図-5 鋼製と木製支保工との比較図
(岩清水発電所水路断面)

の被覆を取り除き、ハラミでた部分を削り取り、新しい被覆物と取換える方が、木製支保工の主部材を盛替えるよりも、技術的に容易であり、経済的でもある。更に覆工完成後、埋設された鋼製棒は、覆工の補強に充分役立ち得る。膨張性岩石は時間の経過とともに圧力を増大する傾向をもつことから、このような岩石隧道における支保工は、剛直棒よりも可縮棒を使用するのが妥当である。

4. 3 鋼製と木製支保工との比較

隧道支保工の材料を選択するにあたり、木材よりも鋼材を優先的に使用したのは、次の項について比較検討した結果による。

- (1) 最近の支保工の傾向
- (2) 隧道掘進速度と工事費の経済性

- (3) 材料の入手、加工、輸送、集積置場
- (4) 掘削断面とコンクリート量
- (5) 設計線に対する支保工の位置と負担荷重
- (6) 部材における推力と曲げモーメント
- (7) 支保工の掘付期間と埋設後の湿気の影響
- (8) 材料の許容強度と信頼性ならびに加工性

要約すると、鋼製支保工は木製支保工に比べ棒組みに必要な熟練工の手間を節減でき、コンクリート覆工に埋設された鋼材は永久的で、覆工の補強に役立つということができる。建設工費が節減できる大きな理由として、隧道掘進速度が増加すること、さらに与えられた断面に対する掘削と捲立との作業空間が広くなり、作業量が軽減されることなどがある。

5. 鋼製可縮支保工について

5. 1 支保工の型式

この工事で採用した可縮支保工は、日本鋼管 K. K. 製で、重量 20 kg/m のものを使用した。その断面、形状および断面特性を示すと、図-6、7 および表-1、2、3 のとお

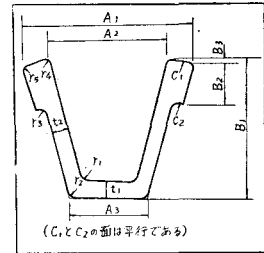


図-6 可縮棒材断面寸法記号図

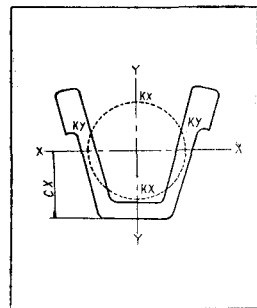


図-7 可縮棒材断面特性記号図

りである。材質はキルド鋼またはセミキルド鋼で、その性質は図-8に示すとおりである。

可縮接手は約 50 cm 重ね合せ、これを特殊の U ボルトで締めつけるものであるが(写-2 参照)、その位置は主として施工上から決められる。また支保工は、地圧の方向により、対照形のもの而非対照形のものがあるが、当工事では図-9に示すものを製作した。

表-1 可縮枠材断面各部寸法表

種 類		各 部 寸 法 mm												
呼び方	記 号	A ₁	A ₂	A ₃	B ₁	B ₂	B ₃	t ₁	t ₂	r ₁	r ₂	r ₃	r ₄	r ₅
20キロ型	V B 20	117	85	58	97	30	0	12	7	18	8	6	6	2
24キロ型	V B 24	123	85	56	99	31	3	13	9	18	8	5	8	0

表-2 可縮枠材断面特性数値表

種 類		断面積 (cm ²)	重 量		重 心 位 置 (cm)		慣性モーメント (cm ⁴)		断 面 係 数 (cm ³)		回 転 半 径 (cm)	
呼び方	記 号		kg/m	kg/ft	C _x	C _y	I _x	I _y	Z _x	Z _y	K _x	K _y
20キロ型	V B 20	25.4	20.0	6.10	54.6	0	27.4	33.1	52.9	56.6	3.3	3.6
24キロ型	V B 24	30.8	24.2	7.38	49.0	0	32.6	42.6	65.2	69.3	3.3	3.8

表-3 可縮枠材用 V 形鋼, I 形鋼とレールとの断面特性比較表

種 類		単 重 (kg/m)	断面積 (cm ²)	慣性モーメント (cm ⁴)		断 面 係 数 (cm ³)		回 転 半 径 (cm)	
				<i>I_x</i>	<i>I_y</i>	<i>Z_x</i>	<i>Z_y</i>	<i>K_x</i>	<i>K_y</i>
V 形 鋼	20キロ型	20.0	25.5	27.4	33.1	52.9	56.6	3.3	3.6
	24キロ型	24.2	30.3	32.6	42.6	65.2	69.3	3.3	3.8
I 形 鋼	22キロ材	22.5	28.7	48.8	97.8	93.1	23.3	4.1	1.8
	28キロ材	28.6	36.5	73.3	15.3	12.8	32.3	4.5	2.1
レ ー ル	30キロ材	30.089	38.3	60.6	15.2	10.8	28	4.1	2.0
	37キロ材	37.155	47.3	95.2	22.7	14.9	37	4.5	2.2

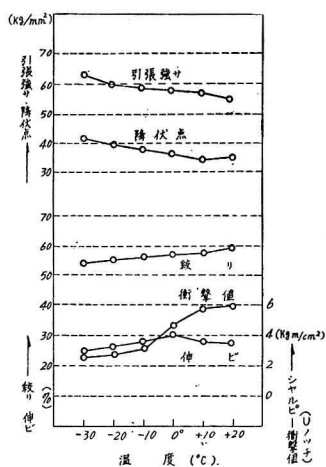


図-8 可縮枠材各種試験成績図

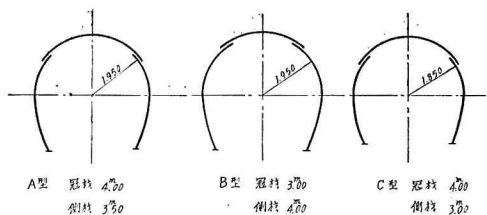


図-9 可縮支保工加工図

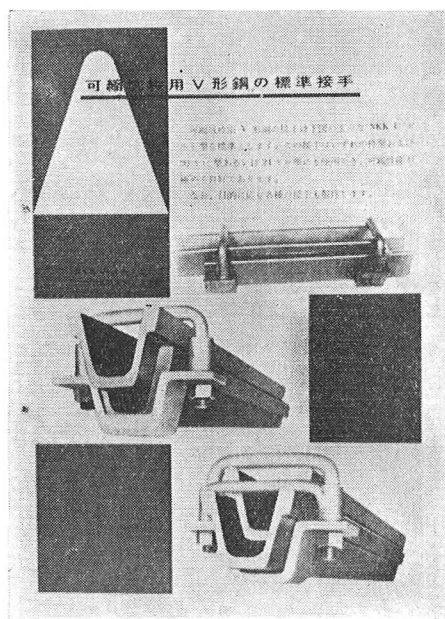


写真-2 可縮枠標準接手

B型は、側圧が大きい場合を考慮して、若干量試作したものであるが、この隧道の場合、全部矢板による縫地工法によつたため(写-3 参照)、冠材の短尺ものを使用し



写真-3 可縮枠の冠材と側材の組み立て

たとき、接手位置に矢板をさし入れることができないため、作業に適しないことがわかつたので、このB型冠材は、あとで製作したC型(地圧の小さい部分に採用)の側材に転用した。

5. 2 付属器具

5. 2. 1 天秤装置

可縮支保工の組立作業にあたり、まだ側材の接続されない冠材を岩石荷重に対し保持するため、天秤装置を用いた。

この天秤は、隧道中心線に並行に、冠材にボルトと承け板を用いて装架され、ベンチ岩盤が掘削終了するまで

の間、枠組みされない冠材とこれにかかっている岩石とを、ベンチ掘削部をまたいで、天秤作用で支持するものである。そしてこれは切羽の進行につれ、前方に移動されてゆく、今回使用した天秤装置は、図-10に示すとおりレール製である。

掘出し後、側材を建込み、頂部掘削において、新しい冠材を据付け終るまで、天秤は前進できない。これは次のサイクルの穿孔作業の前に行なわれる。前進させるとき、前端は新しく据付けられた冠材に、後端は冠材と側材が枠組みされた冠材によつて支持される。天秤は隧道作業で最もむずかしく、かつ施工不便な場所であるクラウンの施工において作業量を軽減する機能を持っており、この工法の一つの特色をなすものである。

5. 2. 2 可縮接手

冠材と側材との重ね合せ部分である可縮接手は、特殊Uボルトのナットとスパーナで手締めされる。施工にあつての注意としては、支保工枠組み後は常にその状態を監視し、天秤を移動するとき更にチェックすること、接手のズレを発生したならば直ちに締め付けを行ない、鋼枠部材相互の摩擦抵抗力の復旧増大を計ること、最後にコンクリートに埋設される前には充分に締め付けを行なうようにすることなどである。

5. 2. 3 底版

側材下端と基礎岩盤との落着きをよくするため、側材下端に鋼製角板(12 m/m厚, 150 m/m角)を溶接加工した。これは取扱い上の便宜のためである。

5. 2. 4 敷梁(地中梁)

膨張性岩石隧道で側圧の大きいところでは、隧道断面を円形に変更し、支保工は円環枠を使用するのが望ましいが、今回は諸種の事情で断面の変更を許されなかつたので、この対応策として、鉄筋コンクリート敷梁の場所打ちを行なつた。これは側圧が過大になつたとき、側材が隧道内方に移動するのを防止するためのもので、隧道床盤を横断し、岩盤の中に埋設され、その両端は側材下端と結合するようにした。敷梁は、側材にかかる側圧を下方の床盤に伝えるが、インバーテドアーチの形に曲げられたものは、直線の梁よりも効果があり、荷重を等分に分布させるのに役立ち、盤膨れへの軽減に効果がある。膨張性岩石隧道では盤膨れをとめない、これの対抗策としてコンクリート覆工は総捲きが必要と思われるが、この場合、隧道断面の大きさ、掘削工法、工事工程、建設工費などの点から、普通水路隧道では実現性が乏しい。このようなとき、インバートコンクリート部分の打設に代り敷梁を打設する方法も止むを得ないと考え実施した。その結果は、やはり予期した効果があることを確認することができた。欲をいうと、インバートのコンクリートを打設するまでの間、床盤の風化防止、盤膨れ軽減

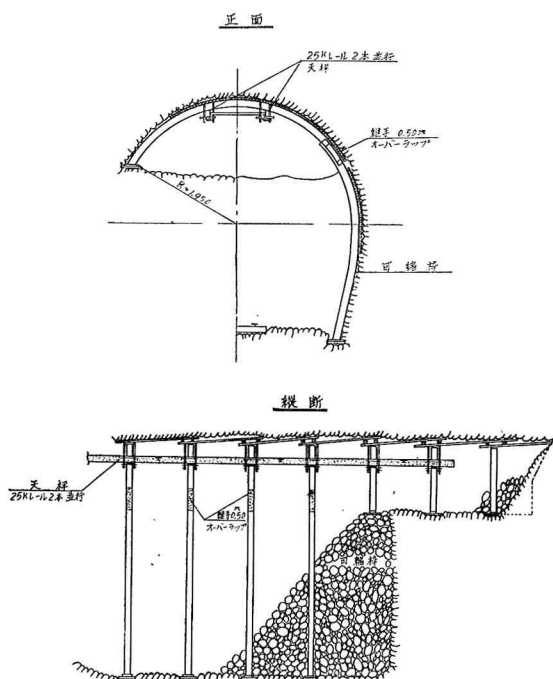


図-10 可縮支保工によるヘツディングおよびベンチ掘削方式図

のため礫出しトロ線の動行に支障を与えないよう、均しコンクリートをインパットコンクリートの設計線の外周に施工したいものである。

5. 2. 5 内梁

隧道中心線方向の内梁は、施枠の方向に生ずる挫屈に対し、支保工の抵抗力を増加させるのに役立ち、発破中における支保工各枠の移動を防止するものである。

今回は、膨張性岩石のためと思われるが、あまり丈夫な内梁を必要とせず、小丸太および番線を振り締めするだけで充分であつた。これは枠と枠の間に岩石がハラムであるため、隧道方向における枠の移動があまりなかつたためと思われる。

5. 2. 6 矢板

膨張性岩石隧道において、矢板被覆を行なうにあたり簀の子状の間隔をとつて配列すれば、岩石の膨張による被害を少なくすることができ、その上、ハラムでた岩石を削り取るのに便利であるとの理由で、実施されているところもあるが、この隧道の場合、蛇紋岩の風化による膨張ならびに崩壊の推移状況からみて、矢板で隙間なく完全に被覆する方が、簀の子状被覆にくらべて風化作用の軽減、岩片の落下防止、坑内作業の安全確保上の諸点で有利と考えられたので、完全被覆を採用した。岩石の風化による膨張のため、矢板の極端に変形または折損したならば、その都度更新し、隧道断面の維持を図ることとした。

6. 掘削方法と施枠について

6. 1 ヘッディングおよびベンチ掘削方式

膨張性岩石隧道の掘削施工については、岩石を調査したり、作業箇所を増し、また岩石の圧力を軽減するためには、底設導坑方式の方が望ましいと従来言われてきたが、蛇紋岩の風化による重圧と膨張は、長期間にわたり継続増大することが当日高地方のクローム鉱山(蛇紋岩の中に鉱石を介在)坑道の実例にもみられ、このような場合、いかに丈夫な木製支保工を組んでも、岩石の重圧に耐えられず、絶えず支保工の補修を必要とすることから、掘削後の放置期間を極力短縮して、岩石の圧力が増大しないうちに、なるべく早くコンクリート覆工を施工する方法が、蛇紋岩と外気の接触を防止できる点で、蛇紋岩の風化による膨張を相当程度食いとめ得るものと考え、敢えて全断面掘削方式に準ずる「ヘッディングおよびベンチ方式」を採用することにした。

図-10に示すヘッディングおよびベンチ方式では、ヘッド(頂部)は隧道全幅をとり、ほぼスプリング線付近まで掘削する。この空間は、頂部の穿孔、縫地、施枠の作業場となる(写-4、5参照)。

この工法は次の2つの利点をもつ。

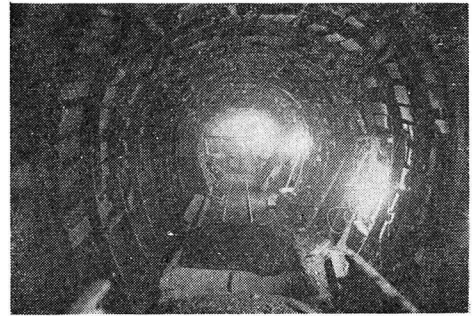


写真-4 可縮支保工によるヘッディング
およびベンチ掘削 (其の1)

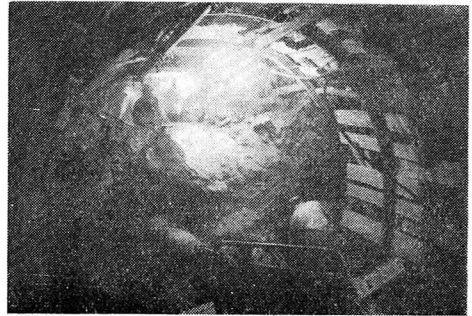


写真-5 可縮支保工によるヘッディング
およびベンチ掘削 (其の2)

(1) 便利な作業足場としてのベンチ(腰部)をもつて天端と切羽との岩石の崩落防止処置がすみやかにでき、支保工が枠組みされる前に天端と切羽の岩石を支持するから、天秤の前方移動を自由にできる。

(2) 礫出し、施枠がヘッド(頂部)とベンチ(腰部)との両所において同時にできるため、作業が簡易化、能率的となり、かつ安全対策が他の工法にくらべて容易である。

6. 2 枠間隔と枠の強度

枠は岩石荷重を基礎または敷に伝達するものであつて枠に要求される強度は、岩石荷重によつて決定される。すなわち、実際的にはまづ与えられた荷重と断面に対し枠間隔を決定しなければならないが、このためには枠とその付属品(矢板、内梁、タイロッドなど)の価格と工費とが最小になるように、また掘削方式に適合するように選定しなければならない。この隧道においては、切羽岩石の動きからみて、縫地普請の必要があつたので、この作業に便利なよう、枠間隔を0.9~1.2mの範囲とし、この範囲内で、切羽岩石の動きの状態に応じ、枠間隔を伸縮できるようにした。岩石の圧力、荷重が大きいため、枠ならびに付属品の変形、移動が増大し、施工に困難をきたすようであれば、枠間隔は上述の範囲内に抑えたままで、更に重く強い枠を使用することにした。

6. 3 施枠

施枠にあたり、枠部材の接目箇所を少なくし、材料の

費用と施枠に要する労力費の節減を図るようにし、部材の長さや形状は、輸送限界に入り、かつ人力による取扱い操作可能な範囲とした。ヘッディングおよびベンチ掘削方式には、冠材 1、側材 2 という 3 部材構成が適当しており、冠材の長さ(側材との重ね接手位置が定まる)は隧道断面のスプリング線付近に達するような長尺のものが、縫地普請に便利である。冠材と側材との接手箇所である可縮部は、その摺動が円滑に行なわれるよう、枠の加工半径が等しい区間となるようにし、かつ、この部分

の縫地を行なうときには、接手部の取付作業に容易なよう注意して掘削する。

施枠順序は、図-11 の掘削サイクル例に示すとおりで、ヘッドとベンチで既述のとおり同種作業を同時に行なうことができる。本隧道における蛇紋岩の場合、穿孔は崩出しの便のためわずかに行なわれる程度で、その本数も爆薬量も僅少である。天秤の移動は馴れるとあまり苦にならない。蛇紋岩隧道の場合、膨張が継続的に行なわれ、中心線と高さが常に変動するから、この両方につき、毎日根気よい測量を実施することが肝要である。

6. 4 支保工の保守

施枠後は常に枠の変形、移動および掘削盤の膨れ上りに注意し、標点を設けて観測し、忠実な記録をとり、その後における施枠の参考にする。可縮部の降縮が発生したものは、その都度 U ボルトのナットを締め付けておく。枠の変形、移動が著しくなり、隧道設計断面内に食いこむ懸念があれば、切羽掘進作業を一時中止しても、コンクリート捲立てを追いつかせるようにすべきである。それでも枠の変形、移動が急なため枠材が壊れ、不具になったものは、枠材を切断するとともに、新しい枠と取替えなければならない場合も生ずる。このような事態になると、隧道の掘進速度は急激に低下するから、不断の注意と保守が重要である。また盤膨れのため、崩出しの運行が妨げられることがしばしばあるから、保守線の労

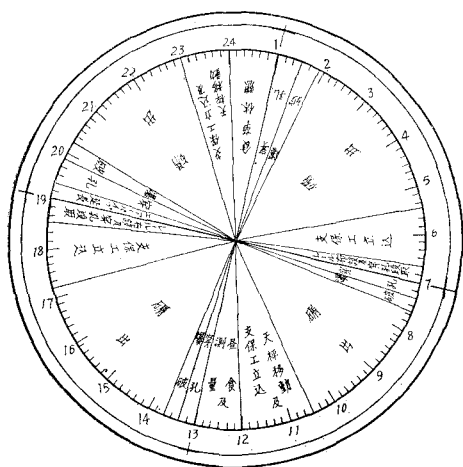


図-11 可縮支保工による掘削サイクルの実例図

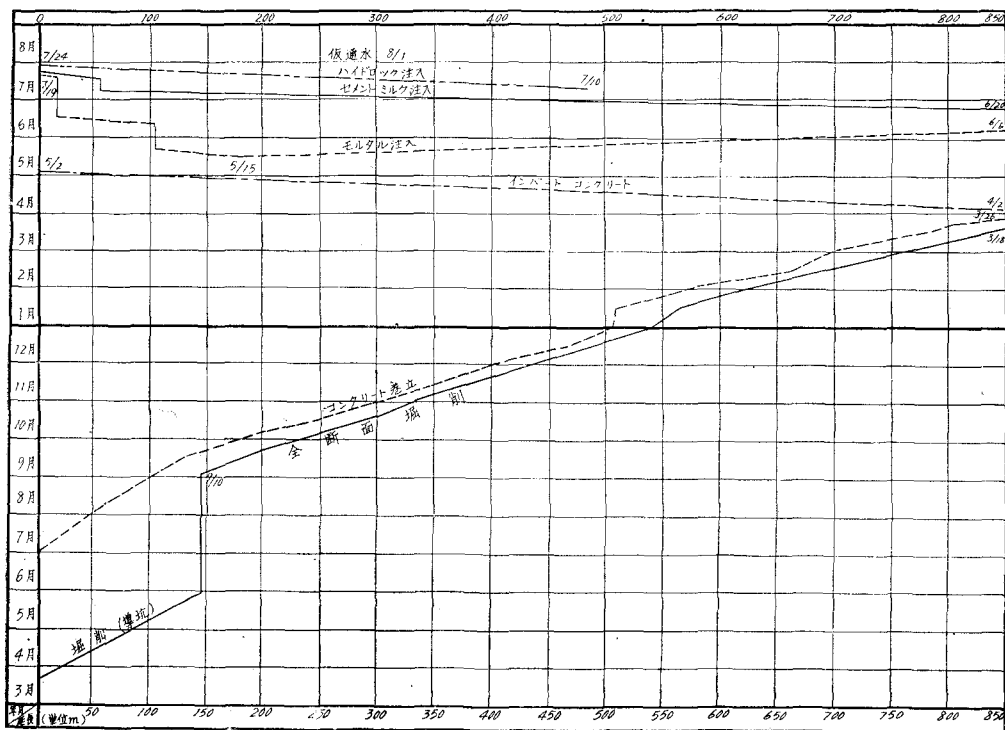


図-12 第4号隧道上口実施工程図

力を惜しまないようにし、少量の湧出水に対しても細心の注意を払い、コンクリートのピットなどを設け、排水管を敷き、ポンプにより湧水を坑外に排出するようにし、ピットから溢流して掘削床盤に浸水することのないよう充分心すべきである。

6. 5 施工の実績

第4号隧道上口の工事進捗状況は、図-12 のとおりである。このうち可縮支保工を使用して掘削した区間(木製支保工と併用した区間 38~148 m は除く)の掘削実績は、表-4 のとおりである。

表-4 掘削進行実績表

区 間	158~420	420~520	520~850
支保工型式	A	C	普通工法 (全断面)
覆工巻厚 (cm)	55	45	40
掘 削 期 間	9/9~11/23	11/24~12/20	12/21~3/22
稼働日数	67	26	72
平均日進 (m)	3.91	3.84	4.58
礫 量 (m³)	3.265	1.109	3.507
総稼働人員	5.858	1.999	4.992
1m³当り歩掛	1.794	1.803	1.423

なお、掘削用器具および坑外設備は次のとおりである。

(1) 削岩用

レッグ付ハンマー 322-DLB 型
コールピック CA-7 型

(2) 礫出用

ロッカツヨベル 大空 600 型 1 台
バッテリーロコ 神鋼 4t 1 台
トロ木製 0.8 m³ 積

(3) 坑外設備(第2号横坑と共用)

コンプレッサー 日立 100 HP 2 台
75 HP 3 台

表-5 掘削歩掛比較表

	底設導坑より 切抜ける場合	ヘッディングお よびベンチ方式	差
号 令	0.122	0.038	0.084
斧 指	0.445	0.275	0.170
坑 夫	0.505	0.323	0.182
人 夫	1.500	1.014	0.486
鍛 冶 工	0.096	0.059	0.037
運 転 工	0.065	0.055	0.010
計	2.733	1.764	0.969
可縮棒(基)	0.07	0.07	—
木材素材(石)	0.38	0.04	0.34
〃製材(〃)	0.27	0.12	0.15

本隧道における導坑掘削後切抜けた区間と、ヘッディングおよびベンチ方式によつて施工した区間とに分け、歩掛りを比較したものを表-5 に示す。

7. 覆工について

重圧、膨張性岩石隧道の覆工捲立てにおいては、岩石の重圧、膨張を長期間にわたり継続増大するままに任せて放置し、これらが止むのを待つて覆工を施工するのが原則であるといわれている。しかし実際には、工事工程上と建設工事費節減などの点から、長期間覆工を行わずに放置することは、許されないのが普通である。この隧道でも、岩石の荷重と圧力があまり増大しないうちに覆工を施し、以後の荷重と圧力増大に対しては、コンクリート覆工とこの中に埋設される鋼棒に負担させる方法も止むを得ないと考え、実施した次第である(写-6 参照)。

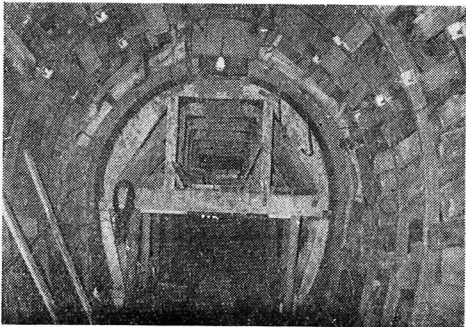


写真-6 捲立状況

本隧道において逆紋岩の重圧、膨張が激しかった区間においては、支保工の変形、移動量が大きいため、コンクリート捲立て用セントル据付けが不可能となるので、その前に捲立てを行なうよう注意を払つた。このため切羽と覆工捲立て先端との間隔は、施工可能限界まで短縮した。特に交点より 200~300 m の区間においては、施棒後 1 週間位でセントル据付けが不可能な状態となり、捲立て作業が停頓するばかりでなく、掘削進行に重大な障害となつた(写-7 参照)。こうした失敗をもとにして切

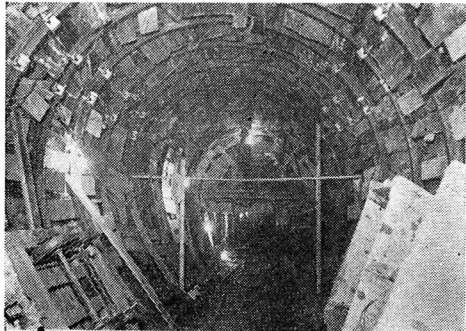


写真-7 可縮支保変形状況

羽と捲立て先端の間隔を 30 m 程度まで短縮した。1 週間位の短期間にかかわらず、冠材の掘付を 30 cm 程度上げ越しておいても、天端・側壁の縫返しを行なわねばならぬことが多かつた。

覆工捲立ては、おおむね次の順序にしたがつた。

- (1) 側壁敷部と敷梁打設予定箇所の掘削および清掃
- (2) 敷梁と側壁底部の均しコンクリート打設
- (3) 鉄筋組立て
- (4) セントル掘付け
- (5) コンクリート捲立て

使用セメントは、主に 40% 高加セメントで、 m^3 当たり 250 kg とし、骨材は新冠川産の天然砂利と砂を使用した。コンクリートのモールドによる試験結果は、4 週で 300 kg/m^3 前後であつた。鉄筋は径 25 mm のものを 25 cm 間隔の単列としたが、特に蛇紋岩の荷重と圧力の大きかつた区間は複列とし、更に用心鉄筋を挿入して、覆工コンクリートの安全を図つた。

8. グラウトについて

8. 1 モルタル注入

モルタル注入は次の理由と条件とにより、イントルージョン工法を採用した。

(1) 蛇紋岩に水分を与えると、種々の悪影響を覆工におよぼすので、注入モルタルの使用水量を必要最小限にしたい。

(2) 覆工外周にある蛇紋岩の表面は、風化作用を受けて粘土化しているので、覆工背面に注入するモルタルは流動性に富み、掘削岩と覆工との間隙の隅々まで流入し、分離し難いものであるべきこと。

(3) 当初予定されたカニフミキサーでは、吹き込まれたモルタルの品質について信頼性が乏しく、注入作業に多くの労力を要し、注入ホースの長さ制限されるため機械の移動、使用材料の小運搬が頻繁であるなどの欠点を有する。

(4) 注入されたモルタルの分離を防ぐためには、ミキサーは高速回転のもので、ポンプで連続注入すべきである。

(5) この隧道工事を請負い施工した清水建設 K.K. は、イントルージョン工法の特許実施権を所有しており、一方この隧道のような場合に拡張使用することについて欣然承認されて、見積り工費の変更などの煩を避けることができた。

以上のような見地から、この隧道でイントルージョン・グラウト工法を採用した結果は、果して所期以上の効果と能率とを挙げることができた。以下この施工について略述する。ミキシングプラントは坑外に設け、コンクリート用ミキサーで砂・セメント・分散剤などを計量の上

空練りし、礫積用トロに積み込み、列車を編成して、バッテリーロコで坑内に搬入する。坑内には簡易なミキシングプラントを作り、複槽式プレバクトミキサーと複式プレバクトグラウトポンプを配置した。トロに積まれた空練りバッチは、バッテリーロコでこのプラントまで直送される。坑内プラントは約 200 m 間隔に順次移動設置された。ポンプの注入範囲はプラントの前後 100 m 宛、計 200 m であつた。主な配合は、 $C:F:S=1:0.6:3.2$ (重量比) で、

セメント：アサノポルトランドセメント

フライアッシュ：当社砂川火力産

砂：新冠川河口付近海砂

を使用し、このほか注入補助剤として、イントルージョンエイド、ポリリス、アルミ粉などを使用した。注入作業は昼夜 2 交替で行なわれ、1 交替の最高注入量は砂の容積で 53 m^3 である。

8. 2 セメントミルクおよびハイドロック注入

注入モルタルの効果を調べるためと、水路からの漏水を防止する目的で、セメントミルクおよびハイドロックの注入を直営で実施した。セメントミルクの注入は、モルタル注入孔を再穿孔の上、水路に加わる内圧の 2 倍に相当する圧力で行なつた。普通の岩石隧道部ではほとんどセメントミルクが入らなかつたが、蛇紋岩隧道のスプリング線より下部に対しては、インバートとスプリング線附近に穿孔の上、ハイドロック注入を行なつて、水路からの漏水を防ぎ、かつ蛇紋岩地山の岩質改良を図ることにつとめた。これらの注入施工後、一部ボーリングしてグラウトの注入状態を調査した結果では、グラウトは蛇紋岩のヘアクラックの目に注入されるのではなく、グラウトにより蛇紋岩の風化部分とクラックが圧密されるためか、コンクリート覆工と岩盤の間にレンズ状に介在しているのが観測された。

9. 測定計器の埋設

目下当社において開発を進めている日高一貫開発計画地点のうちには、蛇紋岩ないし蛇紋化を受けた劣悪地質の部分に遭遇することを予想されるところもあるので、蛇紋岩隧道工法の研究と、施工後の状態を調査する目的で、この第 4 号隧道上口の交点から 50 m と 100 m 地点にカールソン型圧力計と歪計を埋設した。工事施工中はもとより、その後も定期的測定を継続中であるが、今までの観測結果では蛇紋岩の圧力増加は漸次低下の傾向にあるが、隧道通水による影響については今後の測定をまたなければならない。

10. 結 語

以上この建設所において採用した蛇紋岩隧道工事施工

法について略述したが、労働省産業安全研究所における荷重試験の結果からも、鋼製可縮支保工は従来の支保工にくらべ、相当大きな荷重にも耐え得るものであり、坑内保安上からも優秀な成果を挙げている。岩清水発電所工事の他隧道で使用したレール利用支保工にくらべても価格、工費の両面から経済的であつたことからみて、今

後膨張性岩石隧道はもちろん、軟弱劣悪地質を通過する隧道一般の施工に、相当有効に活用されるものと思う。

なお本工事の施工にあたり、国鉄札幌工事局長坂本貞雄氏、北炭夕張鉱業所玉山・楠野両氏の御教示と御指導を頂いた。ここに深甚の謝意を表する次第である。