

急傾斜（48°）斜坑の施坑について

山下 欽也* 玉木 重典**
中島 孝生***

要 約

当報告は、本川発電所新設工事の水圧鉄管路斜坑掘削について述べたものである。

特徴として

- ① 急傾斜である。
- ② 斜坑としては比較的断面が大きい。
- ③ 施工延長が長い。

等がある。

導坑掘削では「アリマッククライマー工法」を採用したが、この工法での350mの掘削は、我が国の最長記録であり、切掘げ掘削では大型ジャンボーを使用した。

目 次

- §1. まえがき
- §2. 工事概要
- §3. 地質概要
- §4. 導坑掘削
- §5. 切掘げ掘削
- §6. 仮設備
- §7. あとがき

§1. まえがき

近年、省資源・石油危機または将来における電力需要増大への対応などで、原子力発電所が建設されているが、それにともない、その夜間電力を効率的に活用するため、大容量揚水発電所もまた方々で計画され建設されている。

当四国電力本川発電所は、約567mの上下池の落差と、約3.3kmの導水路トンネル及び水圧管路を利用して、最大60万kwの発電を行うものである。

当社は、水路工区として、

- ① 導水路下口トンネル
- ② 導水路サージタンク
- ③ 上部水圧管路及び作業坑

を施工するものである。このうち、本報告では上部水圧管の急傾斜（仰角48°）斜坑の掘削について述べる。

表－1 本川発電所計画諸元

		上 池	下 池
河 川 名		吉野川支流瀬戸川	吉 野 川
ダ ム 位 置		高知県土佐郡土佐町	高知県土佐郡本川村
発電所位置		高知県土佐郡本川村	
発 電 方 式		ダム水路式純揚水式	
貯 水 池 ダ ム	名 称	稲村調整池	大橋貯水池(四電既設)
	満 水 位	標高 1123m	標高 574m
	有効容量	510万m³	1,210万m³
	型 式	ロックフィルダム	重力式コンクリートダム
	高×長	92m × 350m	73.5m × 187.1m
堤体積		290万m³	17.2万m³
水路、水圧管路		水路3.3km、水圧管路0.9km×2条	
発 電 所	型 式	地下式（幅22.3m×高45.4m×長96.0m）	
	使用水量	70m³/s × 2 台 = 140m³/s	
	総 落 差	567m（有効落差 550m）	
	出 力	30万kW × 2 台 = 60万kW	

§2. 工事概要

工事件名 本川発電所新設土木工事（水路工区）

工事場所 高知県土佐郡本川村

工事期間 自 昭和53年10月22日
至 昭和57年4月30日

工事内容 導水路下口トンネル
延長 1372m、内径 6.0m
掘削断面 43.0m²
掘削数量 60,000m³

* 四国(支)本川(出)所長
** 四国(支)本川(出)副所長
*** 四国(支)本川(出)

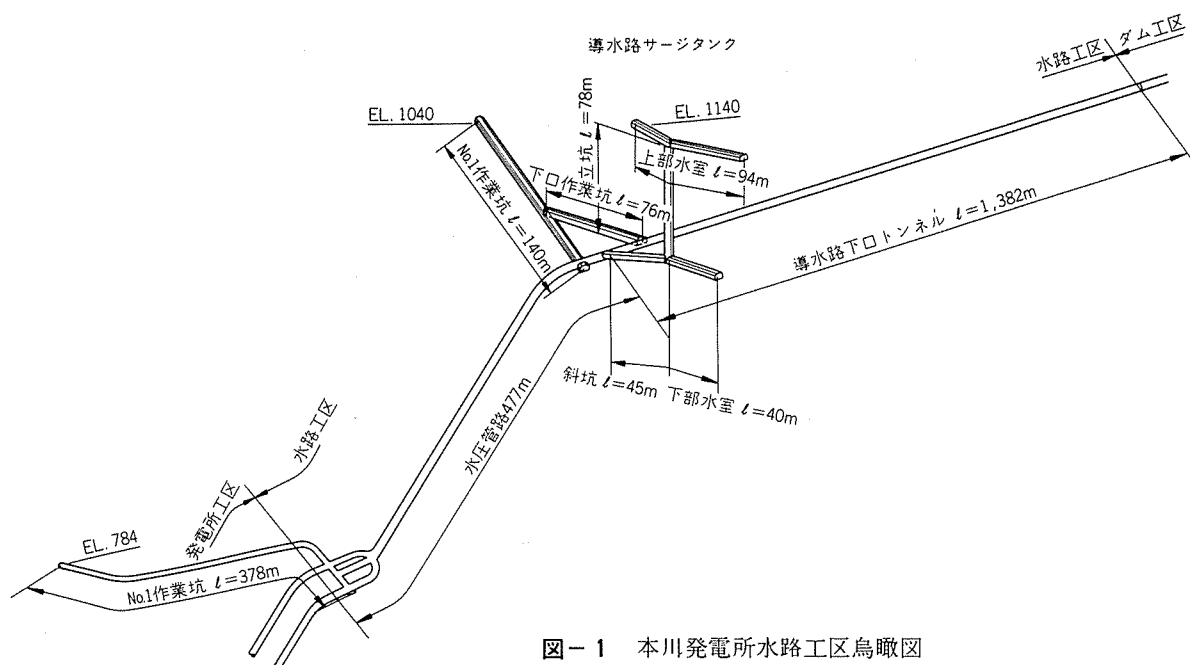


図-1 本川発電所水路工区鳥瞰図

コンクリート数量	21,000m ³
導水路サージタンク	
のべ延長	257m
掘削断面	50.3m ³ ~68m ³
掘削数量	16,000m ³
コンクリート数量	6,700m ³
上部水圧管路	
延長	480m (斜坑部 350m)
内径	4.7m~4.9m
掘削断面	34.3m ²
掘削数量	17,500m ³
コンクリート数量	7,600m ³
作業坑	
延長	594m
掘削断面	22.6~43.5m ²
掘削数量	8,500m ³
コンクリート数量	2,200m ³

§ 3. 地質概要

当工区は、地質構造上、三波川帯に属する石英片岩、黒色片岩よりなっている。

水圧管路付近の地形は、下部で比較的土被りもあり緩斜面であるが、上部は土被りが浅く急峻であり、崖を作って基岩が露頭している。

上部 IP~80m 間は黒色片岩を主として一部緑色片岩を伴っている。黒色片岩は節理が発達しており剝離性に富んでいる。30m 付近は、断層粘土や割れ目があり地山は弛んでいる。導坑掘削においては支保工を建て込んだ。所々で 1~2l/min の湧水がみられた。

80~120m 間は大部分が破碎帯で、厚さ 50~100cm 程度の黒色粘土を挟んで全体にしまっていたが、にじむ程度の湧水があり、掘削とともに弛みが進行、一部導坑支保工を建て込んだ。

120~230m 間は緑色片岩をとめない、全体的には良好で新鮮かつ堅固であった。220m 付近では、最大 800l/min、常時 100l/min の湧水がみられた。

230~290m 間は石英片岩を多く挟んでおり、240m 付近では緑色片岩をとまなっている。亀裂は少なく全体的に良好な岩質であった。

290~350m 間は亀裂多く、全体的には珪質で良好であるが、307m 付近には厚さ 50~60cm の断層粘土が介在しており、これの上盤より最大 40l/min の湧水があった。

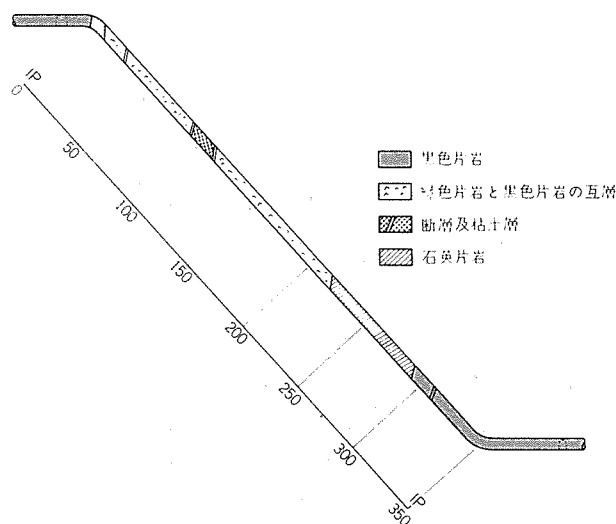


図-2 地質縦断面図

§ 4. 導坑掘削

4-1 アリマック切上り工法

導坑掘削はアリマッククライマーを使用する切上り工法で行った。

アリマッククライマーは、保護天蓋・作業用プラットフォーム・人用ケージ及び駆動装置よりなる一種の作業台車で、特殊なガイドレールを移動できるようになっており、この作業台車で削孔・発破・浮石落しの作業を行い、発破の退避は下方の基地まで移動するものである。換気はガイドレール中のパイプ及び水を噴出させて行うものである。

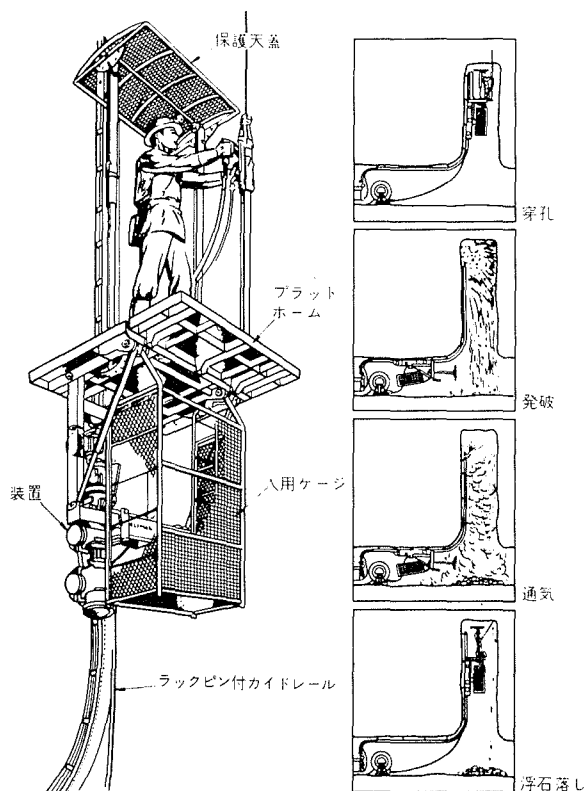


図-3 アリマッククライマー

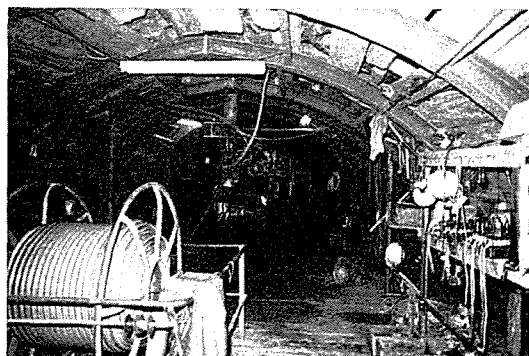


写真-1 アリマック基地

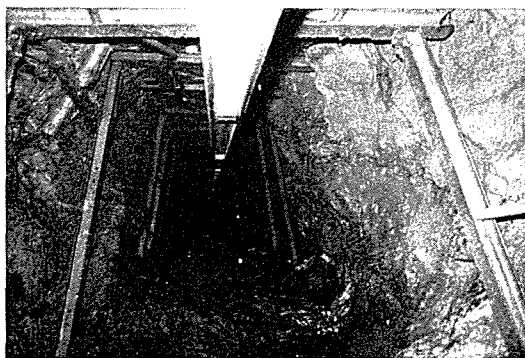


写真-2 アリマッククライマーのガイドレール

クライマーには、エアー駆動式のものと、電気駆動式のものとがあるが、当工事では施工延長が長いので、電動式 STH-5E 型クライマーを使用した。

最 大 荷 重	600kgf(5.88kN)
ケ ー ジ 塔 乗 人 員	3 人
プラットフォーム寸法	1.6m×1.6m
電 動 モ ー タ ー	10HP、1750r.p.m 3 相誘導電動機
制 御 装 置	断自動復帰型スイッチ
上 昇 速 度	22m/分(60Hz)
下 降 速 度(自重下降)	25～30m/分
自 重	1150kg

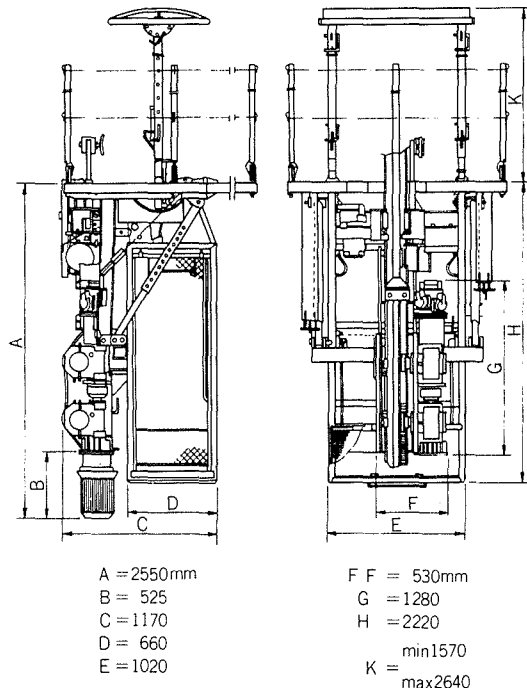


図-4 STH-5E型 クライマーの仕様

4-2 掘 削

水平部の掘削後、クライマーの退避距離の確保及びカーブレール取付のため、下方約 12m は足場なしで掘削し

た。

目標工程は250mまでを75m/月、250m以上を60m/月と考えていた。これに対し、断層による掘削の中止、支保工建て込み、異常出水等もあったが月進96m(歴日平均3.2m)を維持し、最大日進8.0mを記録したこともあ

り、工程を約50日短縮できた。今迄アリマッククライマーにより250m以上を一基地で掘削した例がなく、当初能率が相当落ちるものと考えていたが、距離による影響は全くなく、かえって進行は増加した。

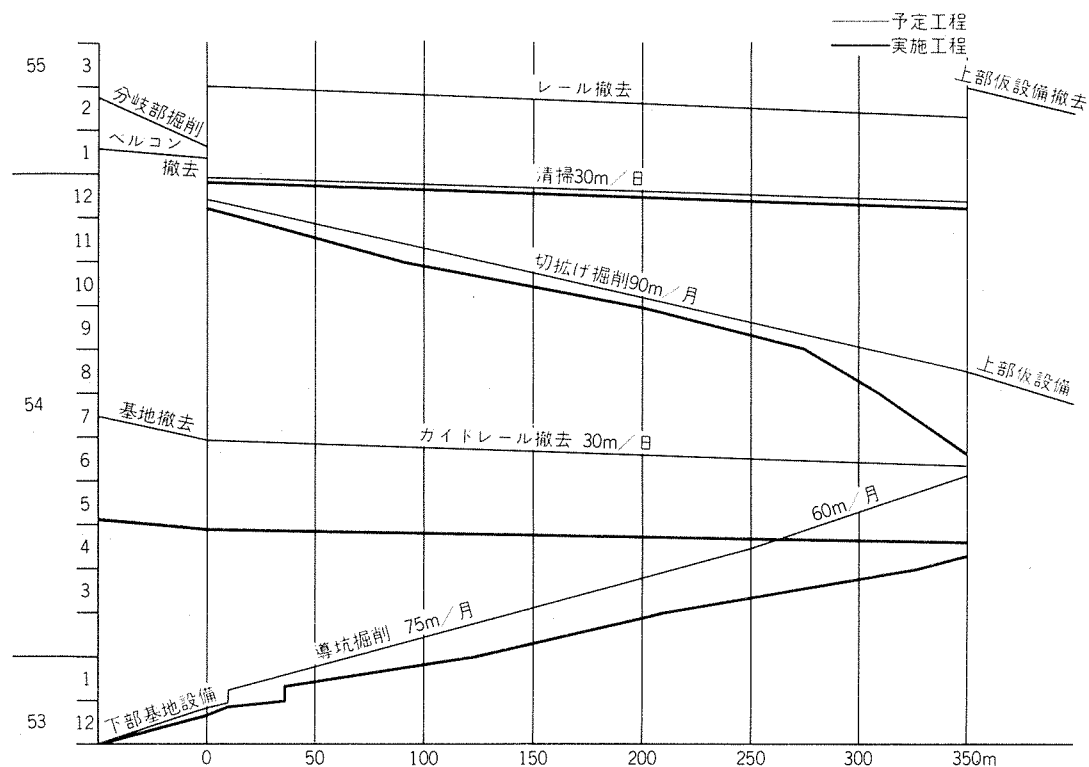


図-5 水圧管路斜坑掘削工事工程表

掘削断面は図-6に示すとおりであるが、アリマック使用の場合の標準的な寸法である。掘削盤を設計より20cm上げているが、落下ずりによる削り代を見込んだものであり、地質及び勾配により定めたものである。当初種々の議論があったが妥当なものであったと云える。

作業人員配置・主要使用機械及びサイクルタイムは、表-2、表-3、図-7のとおりである。

表-2 作業人員配置

職 種	導坑掘削	切放掘削	備 考
世話役	1	1	
坑 夫	2	5	
機電工	1		
雑 工	1	2	
運転工	2	3	ウインチ、RS、バッテリー
助 手	1	1	
	8	12	

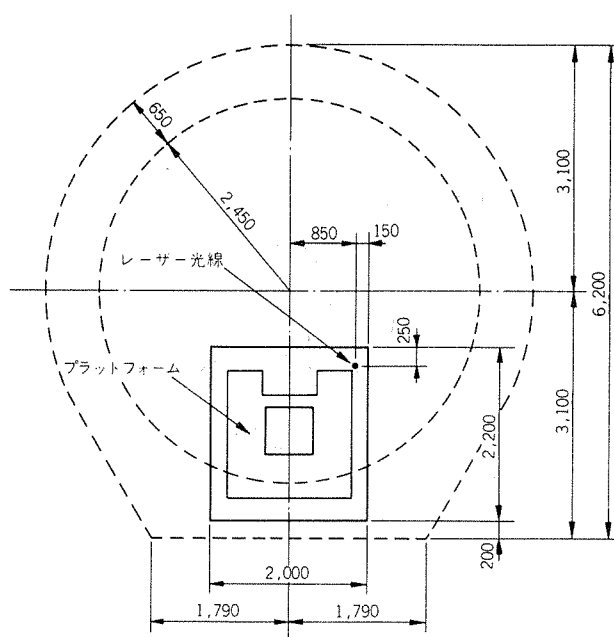


図-6 導坑断面図

表-3 主要使用機械

	名 称	仕 様	単位	数量	摘 要
導坑	アリマッククライマー	STH-5E	式	1	
	給 水 ポ ン プ	5.5kW H=600m	台	1	基地～切羽
	エアーホイス	0.7tf(4.9kN)	〃	2	基地材料積卸
	削 岩 機	TY76-LD	〃	3	
	給 水 ポ ン プ	φ50mm×4段	〃	1	坑外～基地 EL780
坑	レーザーセオドライト	LTL-20	〃	1	
	ジ ャ ン ボ	TY110×4.17t	〃	1	
	人 車		〃	1	人荷兼用
	電 動 ウ イ ン チ		〃	1	ジャンボ昇降用
	〃		〃	1	人車
切	給 水 ポ ン プ		〃	1	導水路共用
	電動チェーンブロック		〃	1	器材積替用
	レーザーセオドライト		〃	2	
拡	ロッカーショベル	RS-95A	〃	1	ずり積込み EL780
	ベルトコンベア		〃	1	〃
	バッテリー機関車		〃	1	
	鋼 車	6.0m³	〃	3	
	転 倒 車		〃	1	
	コンプレッサ	150kW	〃	1	EL780
	〃	150kW	〃	1	EL1040
通	コントラファン	φ500mm×15kW	〃	2	

名 称	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	時間/分	備 考
切羽の換気準備											30'	
クライマー上昇準備											40'	
削孔準備											20'	
削 孔											110'	
装 薬											30'	
ジャンボ・クライマー下り											30'	
発破換気											30'	
そ の 他											10'	
											300'	1.5m進行
切羽の換気準備											30'	
クライマー上昇準備											40'	
ガイドレール積替											50'	
取付ボルト打込											30'	
ジャンボ・クライマー下り											30'	
そ の 他											20'	
											200'	2.0m進行
											200'×1.5/2.0=150'	1.5m進行
											450'	

1日進行 10'×2方×60'÷450'×1.5≒4.0m/日 上部より180m地点

図-7 導坑掘削サイクルタイム

日常の測量は基地にレーザーセオドライトを据付けていたが、すぐに狂いを生じ、常にチェックをする必要があった。換気が不十分な場合には、レーザーが到達せず、今後これ以上の長さの導坑での使用には、検討の必要があると思える。

4-3 支保工

導坑支保工は、ずり落下の障害となり、鋼材その他の支保工機がずりで払い落された場合閉塞の原因となる懸念があったため無普請としていたが、断層区間などはやむを得ず建込みを行った。

支保工を建込んだ場合、ロックボルトや松丸太等で補強の必要があり、予想以上の手間と時間を要し、進行が阻害されたことが度々あった。

なお下方より40m地点の建込み箇所ではインバートコンクリートを打設して脚部の補強を行った。

この工法での導坑支保工の建込みについては、慎重に対処しなければならないと考えている。



写真-3 導坑支保工

§5. 切掘り掘削

5-1 掘 削

削孔等の諸作業は、4ブームジャンボ（写真-4）を使用して行った。

当ジャンボは前面に転落事故防止の金網と、支保工運搬用の電動チェーンブロック及び電動ウインチを装備しているのが特徴である。金網は装薬の時には邪魔になり、レール敷設の際には役立たなかったため、脱着可能な構造とすべきであったこと、また支保工運搬装置についてもエレクターの役割もできる構造とすべきであったこと等、今後の改良課題を残している。

削孔パターン及び装薬量は、ずりを細かくするため導坑周囲については特に配慮した。

ずりは導坑を自然落下させ、導坑掘削と同様、下部基地でRS-95及びベルトコンベアにより積込み、6.0m³鋼車にて搬出した。切羽両側に残るずりは、50mmエアースホースにて吹き飛ばした。

斜坑上部の約10mは、ジャンボ使用可能なスペースを確保するため、手掘り（レッグハンマ使用）にて掘下った。

ジャンボを使用開始後の約60m間は、不慣れ・湧水及び支保工補強などが原因で月進30m程度であったが、そ

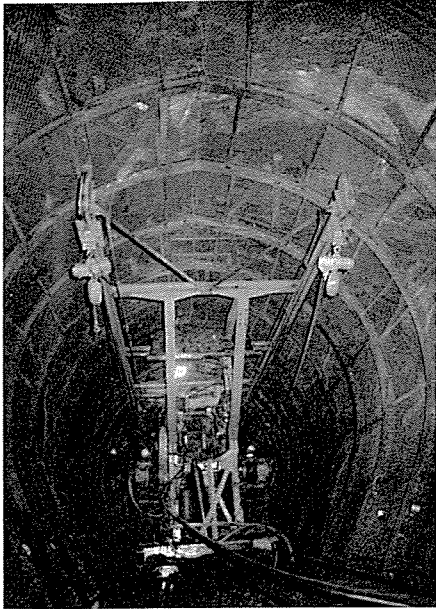


写真-4 作業中の4ブーム斜坑ジャンボ

の後は別にトラブルもなく、予定の月進90mを維持することができ、予定どおり12月初旬に完了した。

着工前に落下ずりによる導坑の閉塞を心配したが、導坑周囲の削孔配置や装薬量の適正化のほか、ずりは一発破以上は溜めない、導坑断面に少し隙間ができる程度ま

で取って完全に取り切らない、ことなどで対処したため、閉塞によるトラブルは全くなかった。また、地質が片岩のため落下中に細かく砕かれたことも幸いしたと思われる。地質によっては今迄多々閉塞事故があったようなので、その対策を考慮しておくべきであろう。

掘削の平均的なサイクルタイムは、図-9に示すが、

名 称	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	時間(分)	備 考
準備及下降											30'	
削 孔											100'	
装 薬											60'	
退避、発破											20'	
ずり 落											30'	
支保工建込											120'	
ラス張り											30'	
片付、上昇											10'	
											400'	1.5m
												$1,200 \div 400 = 3$
												$1.5m \times 1.5m \times 3 = 4.5m/日$
準備及下降											30'	
線路延長											180'	
片付、上昇											30'	
											240'	10m当り
												$240' \div 10m \times 1.5m = 36分/サイクル$
												$1,200 \div (400 + 36) = 2.7サイクル$

1日進行 $1.5m \times 2.7 \approx 4.0m/日$

下部より200m地点

図-8 切払掘削サイクルタイム

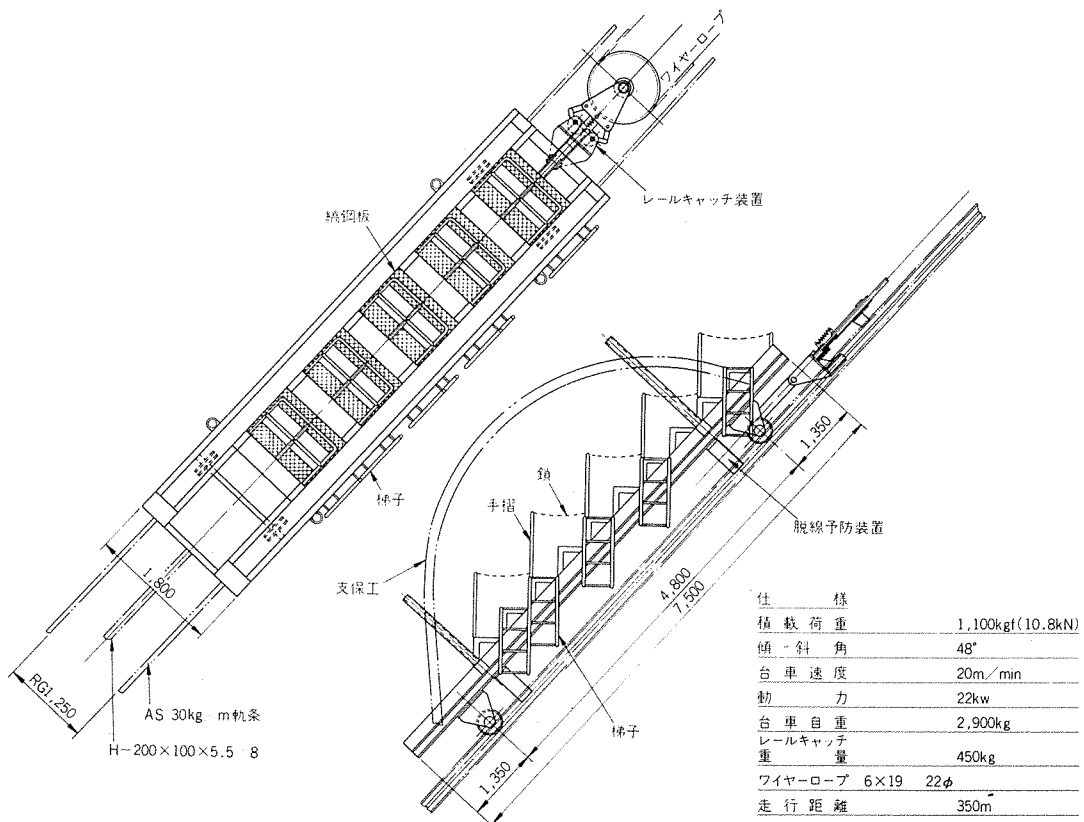


図-9 人荷兼用運搬台車

装薬・支保工建込み及びレール延長に予想以上の時間を要している。これらの短縮が、ジャンボの改良等を含めて今後の課題であると思われる。

資材及び人員輸送のため、人荷兼用の台車を設備した。非常停止装置を取付けているので比較的高価なものであるが、掘削中だけでなく、支保工等の点検補修、配管の撤収など当初の目的以外にも使用しており、改良すべき点はあるが有効な設備であったと考えている。

5-2 支保工

支保工は150Hを使用、間隔1.0~1.5mで全区間に建込んだ。角度については種々検討を行ったが、掘削面に対して85°とし、切羽方向に倒れても巻厚が確保できるようにした。支保工脚部についてはロックボルト(エキスパンション型 $\phi 19 \times 1.0\text{m}$)を打込み固定し、ストラットにより中心方向への変位を防いだ。

このストラットは枕木も兼ねており、これに溶接やボルトによりレールを取付けた。



写真-5 人荷兼用の運搬台車

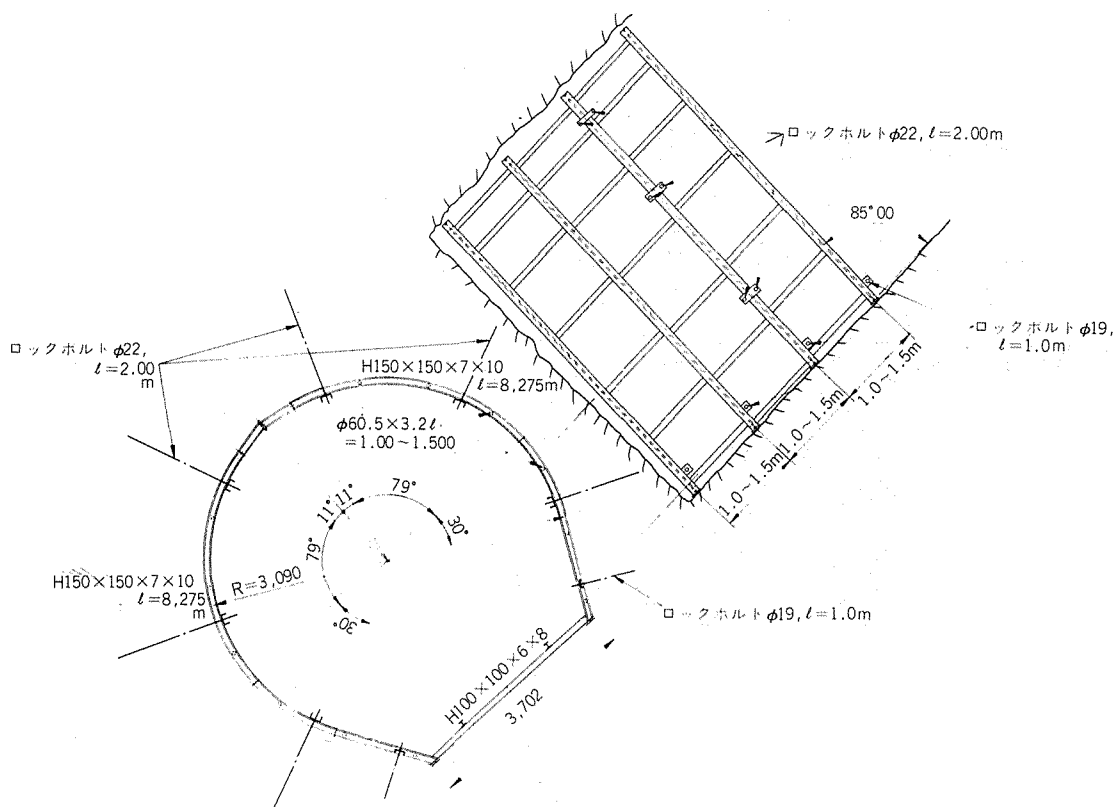


図-10 支保工建込図

必要箇所では木矢板を使用しているが、支保工全周に金網(2.6mm×40mm)を張り、落石を防いだ。

支保工全体が切羽方向に引張られるのを防ぐため、5~7基毎に12本のロックボルト(レジン型 $\phi 22 \times 2.0\text{m}$)を打込み補強した。

支保工、掘削断面などの測量については、上部IP付近にレーザーセオドライト2台を据付けた。



写真-6 支保工建込み状況

§6. 仮設備

6-1 アリマック基地

斜坑下部水平部を所要スペース(25~30m²×15~20m)に切上げ、クライマーの退避、各設備のための基地を設けた。

H鋼にて上下2段に仕切り、上部にクライマー用ケーブルリール・配電盤・給気給水バルブ及び材料運搬用エアホイス、下部にレーザーセオドライト・給水ポンプ及びロッカーショベルを、それぞれ設備している。

前面には、ずり落下による直撃を防ぐためプロテクター・ストッパーチェーンを取付けている(写真-1)。

6-2 上部基地

斜坑上部水平部に、切上げのためのジャンボ用ウイン

チ・人車用ウインチ及び配電室、IP付近にレーザーセオドライトを設備している。器材の積み替えのため、モノレール式電動チェンブロックも設備している。

6-3 給気給水配管

導坑掘削用として、アリマックのガイドレール内に給気管と給水管が装備されている。

切上げ用には給気管として100mm、給水管として25mm及び50mmの鋼管を使用した。下方の25mmには75m毎に減圧弁を取付けた。

6-4 連絡設備

導坑掘削の際は、アリマックが専用の有線電話を備えているので、基地と切羽間の連絡はその電話により行った。

切上げ掘削のジャンボ及び人車の昇降の連絡合図は、無線のマイクロホン及びヘッドホンを使用した。無線は距離が長くなった場合、途中に中継アンテナを設けても、雑音が多く、これも今後の課題と云える。

6-5 濁水処理設備

当初坑口付近に20t/hのSPS型プラントを設備した。斜坑中間より予想外の大量の出水があり、発破後のずりを洗い、高濃度の濁水となった。種々の対策や増設等を行ったが充分でなかった。

湧水が予想される場合、水平坑と異なり、ずりを洗って高濃度となるので、量に対しても勿論であるが、濃度

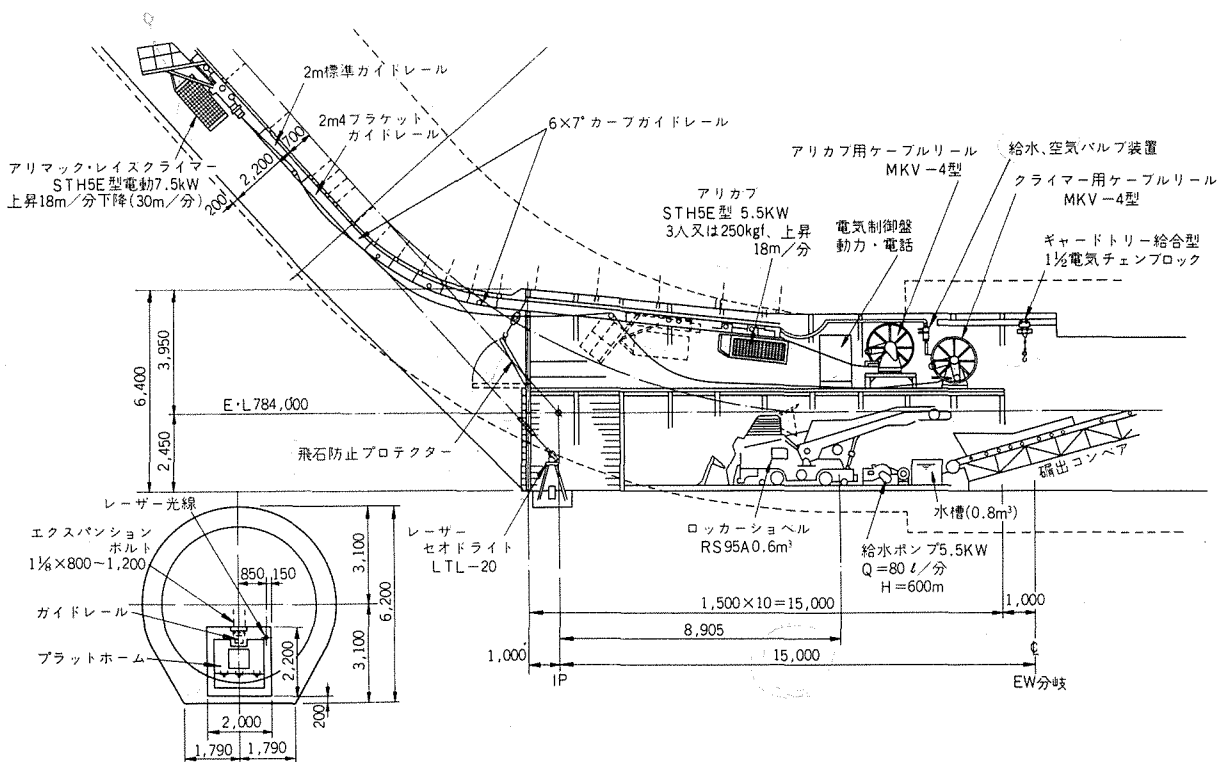


図-11 水圧管路アリマック基地及導坑切上り要領図

については、十分な検討を今後は行わねばならないものと痛感した。

その他の仮設備については、他のトンネル工事と共通であるのでここでは省略させていただく。

§ 7. あとがき

アリマッククライマーによる導坑掘削、ジャンボによる切上げ両方とも、予定より早くしかも無災害で完了することができた。

アリマック切上り工法については、今まで 350m の施工実績がなく、当初は上部からの迎え掘も考えていた。これは当所で使用したアリマッククライマーは 1 モーターであり国内では 2 モーターが調達出来なかったため、斜坑延長が長くなると電源のキャブタイヤ等の重量で動力不足が考えられたからである。トラブルの発生はなかったものの今後留意すべき問題である。また切上りのため酸欠のおそれがあったがエアによる換気、検知器による測定等を完全に行い対処した。今後 TBM 等の使用が多くなると思うが安全面でも充分検討していくべきであると思っている。

切上げについては斜坑としては比較的大断面であり、国内初のフル装備の掘削ジャンボを使用して安全上うまくゆくかどうか、また切上げのずりが途中で閉塞をおこさないか、等不安材料が多くあったが、掘削ジャンボについては支保工吊上げ設備の改良を行って対処し、ずり閉塞のおそれは坑内湧水があったため水で押し流したことも一因で閉塞もなかった。

測量面ではレーザーセオドライトを 2 台使用したが今後 TBM を使用しないとしても、NATM 工法ともなれば余掘断面の減少を考えれば使用台数を増やして行くべきであると考えられる。

四国電力はじめ関係各位の適切な御指導御支援により諸問題も解決でき、無事完了できたものと深く感謝している。

今後は NATM への対応や、軟弱地質での施工法等、問題はあるやに思うが、類似工事に少しでも参考になれば幸いである。

当水圧管路工事、インバート掃除、湧水処理工事、分岐部の大断面掘削、コンクリート打設など、危険作業が残っている。

出張所一丸となって、無事故での早期完成へ邁進するつもりである。関係各位の御指導、御鞭撻をお願いする次第である。