

# 大口径岩盤掘削機による立坑掘削

## —滝沢ダム原石投入立坑の施工—

西影 顯・鈴木次男

滝沢ダムは水資源開発公団が荒川上流に建設を進めている総貯水量 6,300 万 m<sup>3</sup>、堤体積約 180 万 m<sup>3</sup> の重力式コンクリートダムである。

原石山でベンチカット工法により採取した原石骨材の搬出に当たり、原石山と一次破碎設備の距離が近く高低差が大きいこと並びに環境に配慮等から、従来のダンプトラックによる輸送に代え、約 200 m の投入立坑を掘削し、本立坑を介して原石を搬出する方式とした。施工はレイズボラ工法を採用し、山頂部よりパイロット孔 (φ 350 mm) を貫通させ、いったんパイロット孔を一次リーミングアップ (φ 400 mm) した後、最後に下部から切り上がりによる二次リーミング (φ 4,750 mm) で施工した。本報文は掘削機並びに施工の概要を紹介するものである。

キーワード：立坑掘削、全断面掘削、レイズボラ工法、岩盤掘削機、ベンチカット工法、リーミングビット

### 1. はじめに

滝沢ダムの原石採取はベンチカット工法により EL 1,057 の原石山頂部から EL 950 まで順次切り下り、場内に設ける立坑に運搬投入する。投入された原石は、立坑下部に設置する機械設備にて原石運搬トンネルを経由して一次破碎設備まで運搬し、ストックする。さらに、ベルトコンベヤ輸送により二次・三次骨材プラントへ骨材原石を供給するものである (写真-1 参照)。

立坑掘削は、既設の原石運搬トンネル切羽側に

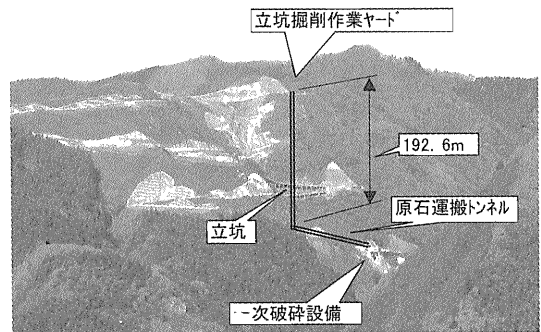


写真-1 原石山全景

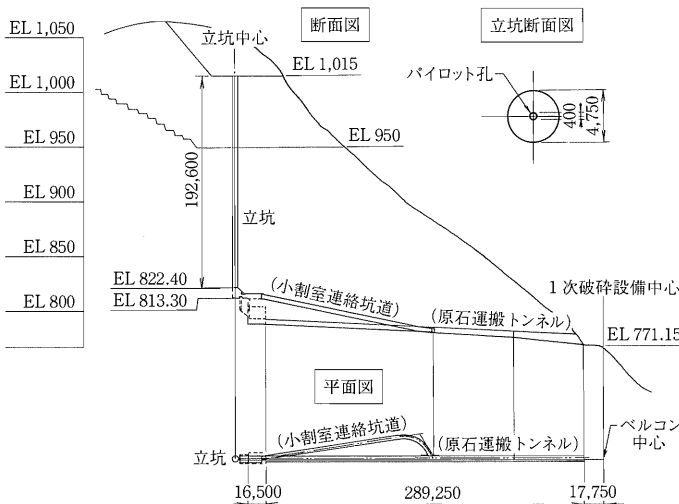
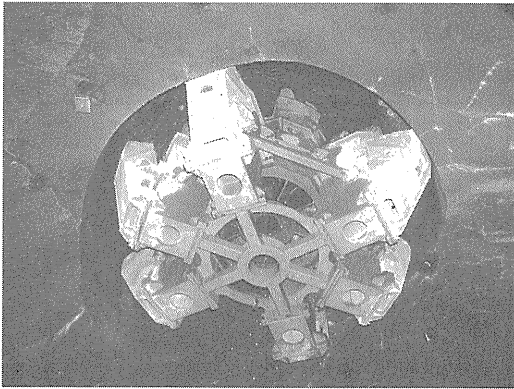


図-1 立坑掘削平面・断面図

立坑下部設備 (小割室、貯石槽、フィーダ室) を事前に施工してから開始した (図-1 参照)。また、リーミングアップ (φ 4,750 mm) 掘削完了が立坑の仕上がりとなるため (写真-2 参照)、パイロット孔掘削時の貫通精度の確保が要求された。掘削機本体の据付け精度、掘削ビットへの適正な荷重、削孔時の日常の孔曲がり測定管理により所定の精度内で貫通することができた。

二次リーミングにおいては、過去に施工実績の少ない大口径、大深度の施工のため、リーミングビットの摩耗・破損及びリーミングビットへの偏荷重



(a) φ4,750 mm リーミング開始



(b) φ4,750 mm リーミング貫通

写真-2 リーミング開始および貫通

によるドリルロッドの破損によるリーミングビットの落下等のトラブル発生が懸念された。

このため、リーミングビット外周部のローラカッタは、耐摩耗性のものを採用したが、この外周部に配置した多数のローラカッタの超硬チップの破損が発生した。超硬チップの硬度が地質に対

応していなかったとの判断から硬度を下げ耐衝撃性が高くなる超硬チップのローラカッタに交換して無事に二次リーミングを完了することができた。

## 2. 工事概要

### (1) 工事概要

- ・工事名：滝沢ダム原石採取一期工事
- ・工事場所：埼玉県秩父郡大滝村大字大滝地内
- ・工期：自 平成11年4月27日  
至 平成16年2月19日
- ・発注者：水資源開発公団
- ・施工者：西松・青木・奥村特定建設工事共同企業体
- ・工事内容：表土等処理工 1式  
原石採取・生産工 1式  
原石山法面保護工 1式  
仮設備基礎工 1式  
濁水処理設備運転工 1式  
場内道路工 1式  
雑工 1式  
指定仮設工 1式  
仮設備工 1式  
立坑掘削工(φ4,700mm×192.6m)

### (2) 地質概要

原石山の基盤は、主に砂岩から成 lậpっており、一部不規則に粘板岩が挟在されている。立坑位置の地質は、深度180m付近を境に、上部が砂岩を

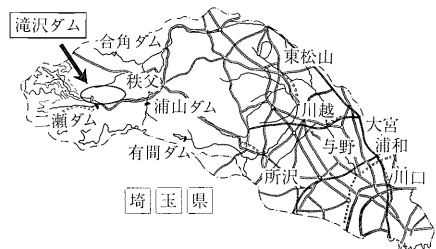
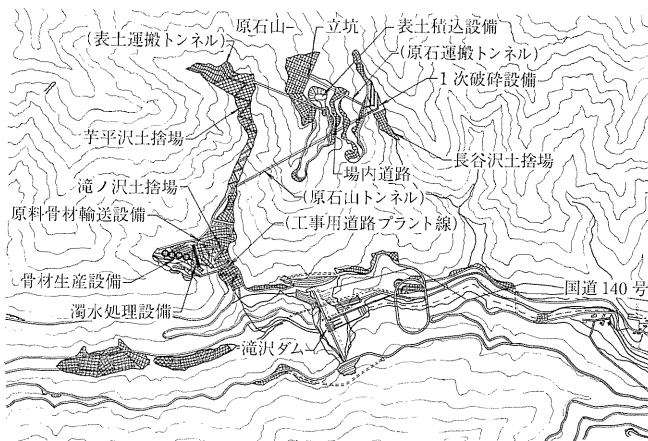


図-2

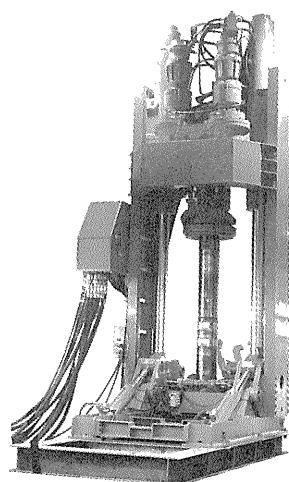
主体に粘板岩，チャートが挟在し，下部が粘板岩を主体に砂岩を含む。

深度別の岩盤状態は以下のとおりである。

- 深度 0～8 m：表層の強風化帯で，土砂化した D 級岩盤
- 深度 8～45 m：岩芯がやや脆弱で，割れ目が発達する CL 級岩盤
- 深度 45～100 m：岩芯が新鮮・堅硬であるが，割れ目がやや多い CM 級岩盤
- 深度 100 m 以深：岩芯が新鮮・堅硬で，一般に割れ目が少ない CM～CH 級

表—1 掘削機本体仕様

項目	単位	能力・仕様
レイズドリリング工法	掘削深度 (m)	300～500
パイロット径 (標準)	(mm)	349
リーミング径 (標準)	(mm)	2,440～6,121
スピンドル回転数	(rpm)	0～43
トルク	(kgf-m)	45,000
スラスト	押し込み (tonf)	257
	引抜き (tonf)	481
原動機	(式)	110 kW-4 P×2 37 kW-4 P
ドリルユニット	寸法 (L×W×H) (mm)	3,607×3,000×6,850
	重量 (kg)	35,500
コントロールユニット	寸法 (L×W×H) (mm)	1,200×900×1,050
	重量 (kg)	300
パワーユニット	寸法 (L×W×H) (mm)	4,100×2,200×2,400
	重量 (kg)	10,000
バルブユニット	寸法・重量	パワーユニットに含む
スイッチユニット	寸法・重量	パワーユニットに含む



写真—3 掘削機本体

岩盤

なお，砂岩と粘板岩との境界部は，層厚 1～3 m 程度で，微小な割れ目が発達する CL 級岩盤になることが多い。

岩石の平均一軸圧縮強度の試験結果は，635 kg/cm<sup>2</sup>となっている。

3. 掘削機の概要

(1) 掘削機本体仕様

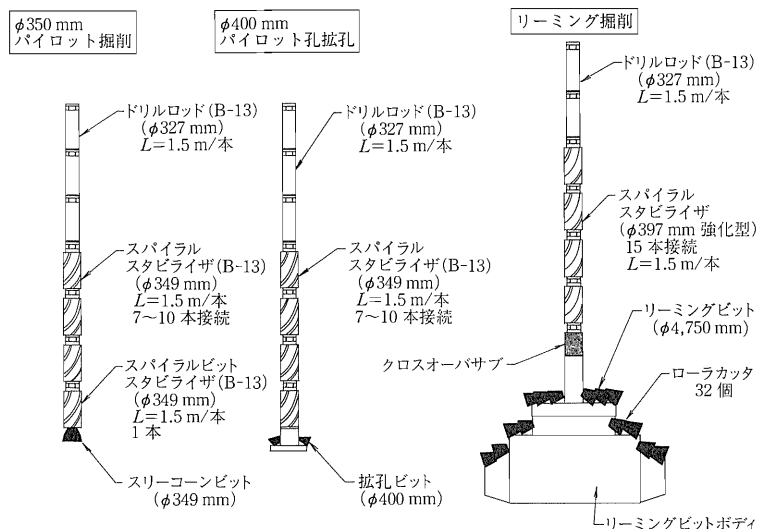
使用した大口径岩盤掘削機（ビッグマン BM-500 A）の本体仕様と外観を表—1，写真—3 に示す。

(2) 掘削ツールズ

掘削ツールズ仕様，型式（BM-500 A）を表—2 に，パイロット孔，リーミング掘削の掘削ツールズ編成図を図—3，図—4，写真—4 に示す。

表—2 掘削ツールズ

名称	寸法 (mm)	単重 (kg)	数量
ドリルロッド	φ 327 mm×1,500	700	138
スパイラルスタビライザ	φ 349 mm×1,500	750	10
スパイラルスタビライザ	φ 397 mm×1,500	800	15
パイロットビット	φ 349 mm (スリーコーンビット)	135	3
拡孔ビット	φ 400 mm	250	2
リーミングビット	φ 4,750 mm	36,000	1



図—3 掘削ツールズ編成図

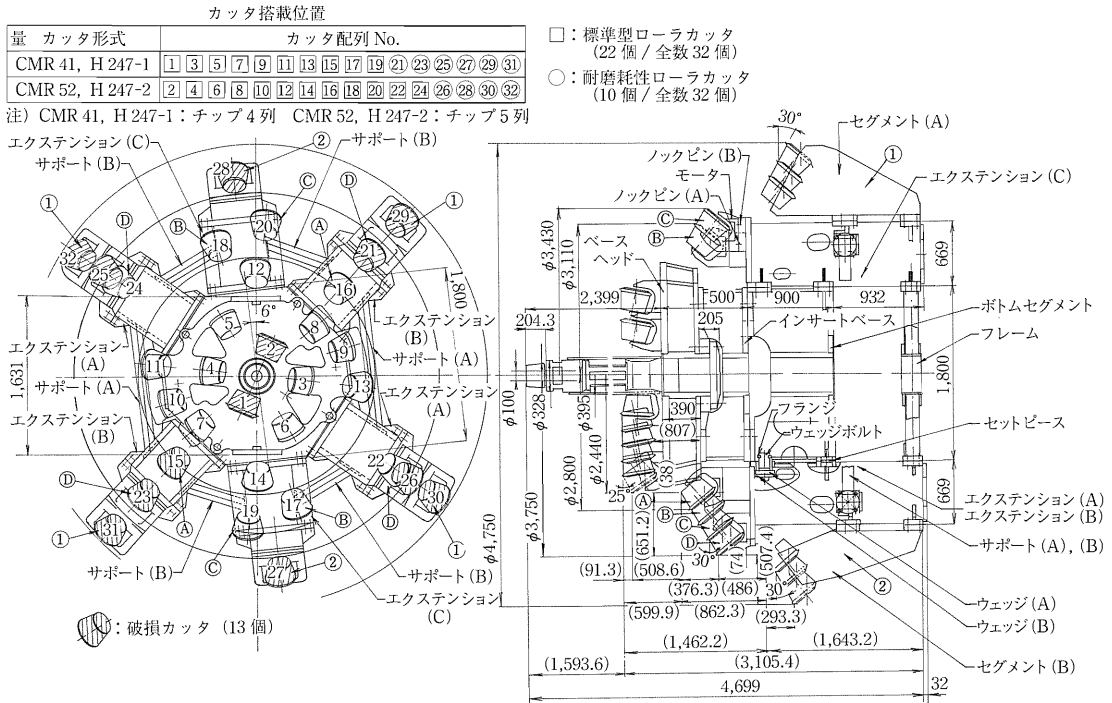


図-4 リーミングビット組立て図

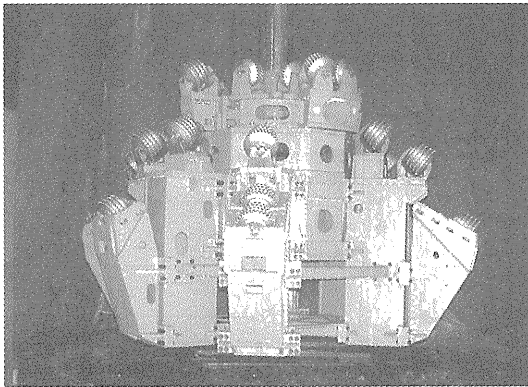


写真-4 リーミングビット (φ4,750 mm)

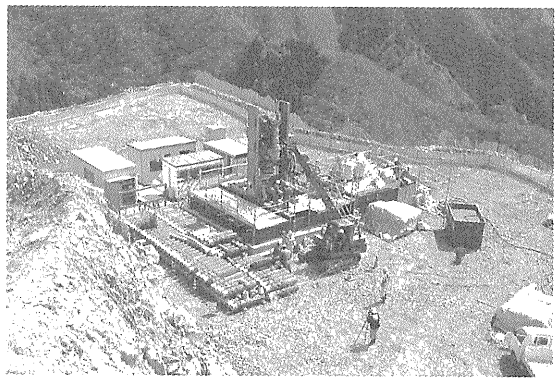


写真-5 機械配置全景

表-3 その他主要機械

名称	仕様	動力	重量 (kg)	数量	
泥水ミキサ	HM-500	400 L×2	11	750	1台
マッドスクリーン			5.5	750	1台
水中サンドポンプ			11	200	1台
水中ポンプ			2.2	40	1台
水槽	10 m³				1式
クローラクレーン		4.9 t		7,500	1台
発電機	掘削機用	350 kVA		5,500	1台
発電機	付属機用	150 kVA		3,000	1台
孔曲がり測定器	ジャイロ付き				1式
高所作業車		12 m			1台
ラフタクレーン		25 t			2台
キャリアダンプ	機材運搬	10 t			1台
ブルドーザ	牽引用	21 t			1台

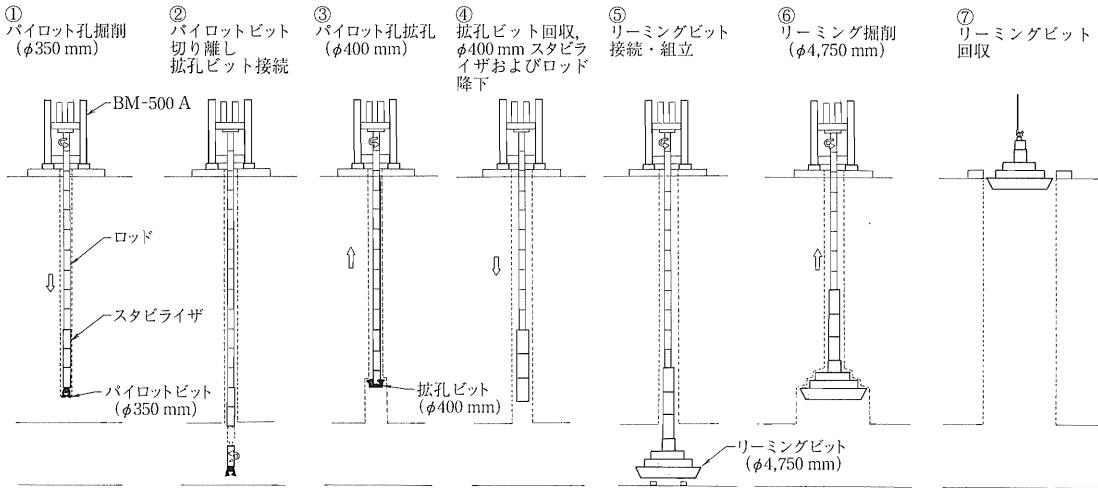
(3) その他主要機械

掘削機以外の主要機械の仕様と機械の配置を表-3, 写真-5 に示す。

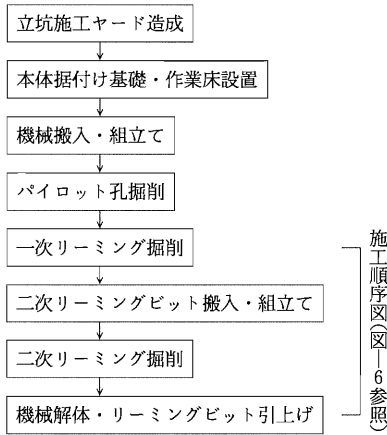
4. 立坑の施工

(1) 立坑掘削フロー

立坑施工ヤードの造成からパイロット孔掘削, リーミング掘削, 最終的なリーミングビット引上げに至る立坑掘削フローを図-5 に示す。図-6 は施工順序図を示す。



図—6 施工順序図



図—5 立坑掘削フロー

(2) 準備工

原石山のEL 1,015 盤まであらかじめ掘削し、立坑施工ヤード造成後、削孔精度に大きく影響する掘削機本体の傾き、または振動による揺れを防止するためのコンクリート基礎を設置し、鋼材により掘削機本体を据付ける作業床を設けた。

(3) 機械搬入組立て

原石山立坑施工ヤードへの資機材の搬入は、すべて芋平沢土捨場に設置する進入路(最大勾配35%)を使ってクローラダンプに積替え、ブルドーザの牽引により搬入した。

組立て機械は、進入路の幅員が狭いことから通行可能な25 tラフタクレーンを2台使用して行った。

(4) パイロット孔掘削

パイロット孔用の掘削ツールは、φ350 mmのスリーコーンビット及び、φ349 mmの孔曲がり防止用のスパイラルスタビライザ(1.5 m/本)を10本使用し、ドリルロッド(φ327 mm×1.5 m)を順次接続して、掘削した。

(a) パイロット孔掘削

立坑掘削のレイズボーリング(大断面掘削)工法の場合、パイロット孔をいかに精度良く掘削するか工事の採否がかかっている。特に当工事の場合は、すでに下部に構造物(立坑下部設備)ができ上がっていること、リーミング孔が仕上がりであること等、特に高精度の確保が要求された。

パイロット掘削の孔曲がりを小さくするためには、掘削ツール編成が重要な条件である。孔曲がり精度の確保のため、孔曲がりの発生しにくい直進性の掘削ツールの編成を採用し、考えられる各種の孔曲がり発生要因に対しては、適切な掘削管理を行うことにより精度の確保に努めた。

掘削管理については、孔曲がり要因として次の項目が挙げられる。

- 掘削機据付け時の方向誤差
- 掘削時の不適切なビット荷重
- 地質・地層の変化、硬軟の互層

据付け時の誤差については、本体据付け時の測量、及びドリルロッド取付け時の測量での確認により管理した。

掘削中の孔曲がり対策として、表—4に示す掘

表—4 パイロット掘削管理基準

ビット回転数	(rpm)	30~45
ビット荷重	(tf)	6~10
回転トルク	(tf-m)	0.2~1.5
掘進率(速度)	(cm/min)	0.6~2.0

削管理基準を設定し掘進を計画進捗した。掘削深度が深くなるに従って地質が予想以上に硬くビット荷重は計画よりも大きくなったが、最終的に孔曲がりへの影響は無かった。

パイロット掘削用のスリーコーンビットは、掘進率の低下がみられたため掘削段階において途中2回(深度92m, 154m)交換した。

#### (b) 孔曲がり測定及び貫通精度

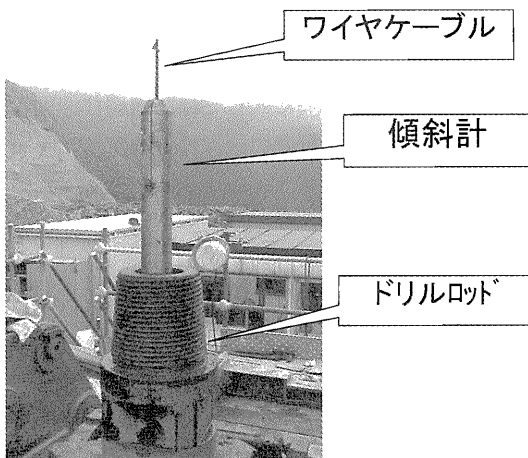
パイロット孔掘削中の孔曲がり測定は、測定器をドリルロッド内に挿入し、方位・傾斜を10mごとに深度0mから掘削深度まで行った。測定器の精度から毎回の測定値にばらつきが見られたが、各測定値の平均で管理した値とほぼ同じ結果となった。

孔曲がり測定器仕様を表—5に測定状況を写真—6に示す。

貫通精度は、X方向-500mm, Y方向-450mm斜距離673mmで掘削長に対し0.35%の精度で貫通した。

表—5 測定器仕様

傾斜計	クリノメータ	LUCAS SCHAEVIT 社	再現性 0.05度
方位計	機械式 フリーズジャロ	三菱 プレジジョン	精度 0.1度



写真—6 孔曲がり測定状況

#### (5) 一次リーミング掘削

パイロット孔(φ350mm)貫通後、φ350mmスリーコーンビットからφ400mmの拡孔ビットに交換して下方から上方に向けて一次リーミングを行った。一次リーミングの拡孔施工の理由は、現有の機械本体はパイロット孔のロッド(φ327mm)用となっており、400mmのロッドを使用した場合ビット引上げ能力が減少する、また、今回は大口径リーミングのため、掘削中の偏荷重によりビット付根部分の破損防止のため、付根部分を400mmに増径補強したものを採用することにした。このため、パイロット孔貫通後パイロット孔拡充(一次)を施工したものである。

#### (6) 二次リーミング掘削

##### (a) リーミングビット型式

リーミングビットは分割して立坑下部に搬入し、組立てた。リーミングは、ローラカッタを32個配列し形状を3段のステージタイプとし、偏荷重に対応するものとした。また、リーミングビット付根部分(メインシステム部)をφ350mmからφ400mmに増径したものとした。このためスパイラルスタビライザもφ397mm×15本使用した。

##### (b) 二次リーミング施工

二次リーミングの掘削管理値は、表—6を標準とした。

リーミング開始は、ビットへ偏荷重をかけないように、3段ステージのビットが地山に均等に接するまで慎重に行い、ビットが完全に地山へ接してから掘進率3~4mm/minで掘削を開始した。掘削開始から43.8mでリーミングビットのローラカッタの破損摩耗からローラカッタを交換してからは、掘進率約4~5mm/min以上の順調なリーミング掘削だった。

##### (c) リーミングビットの破損

リーミング開始から43.8m地点(深度148.8

表—6 二次リーミング掘削管理基準

項目	管理値
ビット荷重	(tf) 50~170
回転数	(rpm) 3~6
トルク	(tf-m) 10~26
掘進速度	(mm/min) 上記管理値に準じた速度

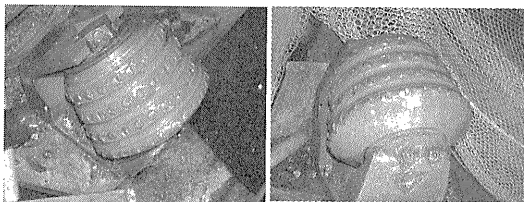
m)まで掘削したところ、トルクが管理値を大きく超え、回転不能となる状況が続いたため、ビットを立坑下部まで引下げ点検した結果、3段目ステージ外周部と中央部のローラカッタ計13個と、ビット付根部分の増径部の破損が見られた(図-3参照)。

破損した3段目ステージ外周部のローラカッタは、転動距離が長くなって周速が大きくなるために、超硬チップの硬度を上げて耐摩耗性を向上させる目的で採用したが、これらの超硬チップがすべて折損した。

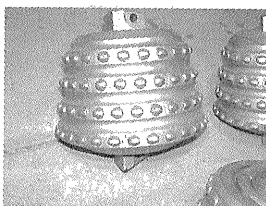
原因として現場の地質は、黒色片岩化した泥岩やチャートを含む比較的亀裂の発達した地盤状況であり、予想を超える硬質な砂岩を挟んでいた。また、亀裂の発達した部分でも岩質自体は極めて硬く、リーミング面切羽の岩塊剥離によってカッタに過度の衝撃負荷が加わり超硬チップが欠損を生じたものと思われる。

その他のローラカッタは、チップの摩耗度を示す残り指数がすべて75%以上であり目立ったチップの欠損もみられなかった。このため、リーミングビット外周部以外に配置したローラカッタと同じ硬度の超硬チップの標準型ローラカッタにすべて交換した。

中央部のローラカッタ3個の破損原因は、ツールジョイント切断事故防止のために取付けた筒状カバーのリーミングビット増径部材が、パイロ



(a) チップが折損・摩耗したローラカッタ



(b) 新品のローラカッタ

写真-7 折損・摩耗したローラカッタ

ット孔壁との摩擦による大きなトルクが作用して溶接固定部が破損し、増径部材が引きちぎられローラカッタとメインシステムの間にくさび状に挟まって、カッタを摩滅またはカッタの回転を止めるなどして損傷したものと思われる。

ローラカッタ交換後、掘削を再開したリーミング状況は、トルクの上昇によるビット回転不能となる頻度は少なくなり、順調な掘進速度を保つことができた。しかし今回のローラカッタ破損状況から、順調な掘進状況でも掘進完了までの間にビットを引下げ点検確認することとした。点検位置は、残掘進距離及び点検時の孔壁からの落石の恐れのない地質を考慮して128.3 m(深度64.3 m)地点とした。

点検した結果、ローラカッタ32個のうち4個がチップ欠損による摩耗のためチップ残り指数が25%の状況だったため、ローラカッタ4個を交換した。その他のローラカッタ28個は残り指数75%以上のためそのまま使用した。ビット点検・交換後のリーミング再開から貫通までも、順調な掘削状況だった。

## 5. 施工結果と実績

### (1) 実施工程

4月初旬より機械搬入組立てを開始し、掘削工、機械解体搬出を12月初旬に完了した。搬入・組立て、パイロット孔及び一次リーミング工は、予定どおり進捗したが、二次リーミング工は、リーミングビットのトラブルにより予定工程の約1か月遅れとなった。立坑下部工を除く立坑掘削工の所要工程は7.5か月であった。

### (2) パイロット掘削実績

ボーリングデータから地質状況が深度40 m程までは、岩芯がやや脆弱で割れ目が発達したCL級岩盤であったことから、掘進速度は速かった。孔曲がり測定所要時間は、掘進10 mごとに行い、深度により変わるが平均約3時間を要した。

一次リーミング( $\phi 350 \sim \phi 400$  mm)実績を表-10に、二次リーミング実績を表-11に示す。

図-7に二次リーミングデータを示す。

表-7 立坑掘削工実施工程表

	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	稼働日数	作業形態
搬入・組立	■									17	昼
パイロット孔掘削		■	■							43	昼夜
一次リーミング工				■						11	昼夜
立坑下部工					■	■				18	昼
リーミングビット組立て					■					7	昼
二次リーミング工					■	■	■	■		68	昼夜
リーミングビット点検交換							■	■		21	昼夜
解体・搬出								■	■	21	昼
作業休止		■			■						

表-8 パイロット掘削実績

掘削深度 (m)	0~20	20~40	40~192.6	平均
掘削速度 (cm/min)	2.4	1.2	0.6	0.8
ビット荷重 (t)	10.2	10.3	21.9	
トルク (tf-m)	1.2			
回転数 (rpm)	40~50			
作業日当たり進捗	4.5 m/日			
稼働日当たり進捗	4.9 m/日			

表-9 貫通精度

X方向	-500 mm	掘削長比 0.35%
Y方向	-450 mm	
斜距離	673 mm	

表-10 一次リーミング実績

稼働日当たり進捗	17.5 m/日
掘削速度	2.2 cm/分
ビット荷重	5.4 t
トルク	3.8 tf-m
回転数	11 rpm

表-11 二次リーミング実績

稼働日当たり平均進捗	3.63 m/日
最小日進量	0.1 m/日
最大日進量	8.6 m/日

表-12 ローラカッタ最終摩耗状況

カッタ No.	交換回数	ローラカッタ摩耗の最終残り指数	カッタ No.	交換回数	ローラカッタ摩耗の最終残り指数
1	1	75%以上	17	0	75%以上
2	1	75%以上	18	0	75%以上
3	0	75%	19	0	75%
4	0	75%以上	20	0	75%以上
5	0	75%以上	21	2	75%以上
6	0	75%以上	22	0	75%
7	0	75%以上	23	2	75%以上
8	0	75%以上	24	0	75%
9	0	75%以上	25	2	75%以上
10	0	75%以上	26	1	75%
11	0	75%以上	27	1	25%
12	0	75%以上	28	1	75%
13	0	75%	29	1	75%以上
14	0	75%	30	1	75%
15	1	75%以上	31	1	75%
16	1	75%以上	32	1	75%以上

計 17 個交換 (14 箇所)

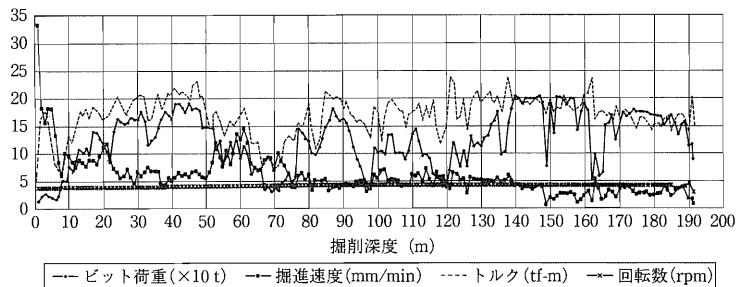


図-7 二次リーミング掘削データ

(3) ローラカッタの最終摩耗状況

ローラカッタ交換回数と最終摩耗状況を表-12に示す。

6. あとがき

立坑の施工については、本工法をはじめとする各種工法を比較検討の結果、

- ① 掘削作業の安全性に優れていること、
- ② 熟練作業員の確保が困難なこと、
- ③ 工期が短いこと、
- ④ 経済性、

から全断面掘削(レイズボーリング工法)による施工を採用したことによって今回無事施工を完了し所期の目的を達成できたものである。

立坑の掘削において重要な課題であるパイロ



ト孔の貫通精度を達成できたことは、地山に応じた掘削の管理、孔曲がり測定器による測定及び現状の把握管理によるものと思われる。

二次リーミングビットの破損・摩耗により、ローラカッタを点検交換して再開し、無事リーミングを完了することができた。

リーミングビットの点検交換作業は、立坑掘削切羽真下での作業となるため、リーミングビットの上部に落石防護の対策を講じてから行った。幸い点検交換中の落石は無く、無事作業を終えることができた。

今後、リーミング径、掘削長及び地山地質に対し、途中でのリーミングビットの点検・交換を要しないリーミングビットの形状・ローラカッタの

配置及び材質の選定が重要と考える。

【筆者紹介】

西影 顯（にしかげ あきら）  
水資源開発公団  
滝沢ダム建設所  
ダム出張所  
所長



鈴木 次男（すずき つぎお）  
西松・青木・奥村特定建設工事共同企業体  
滝沢ダム出張所  
副所長



監修：建設省建設経済局建設機械課

## 平成11年度版 機械工事施工ハンドブック

本ハンドブックは「総則編」と「施工編」から構成されており、総則編においては発注者・請負者側双方のなすべき業務が工事の順をおって実務レベルで解説されており、業務の簡素化・円滑化・合理化に役立ち、「施工編」では水門設備の工事を事例にし、施工技術等について具体的に記述し、工事を円滑に遂行する上でのガイドラインとして有効に活用できるものです。

A4版約700頁 定価7,980円（本体7,600円）送料600円

発行：社団法人日本建設機械化協会

社団法人 日本建設機械化協会

東京都港区芝公園3-5-8(機械振興会館) TEL03-3433-1501 FAX03-3432-0289