U.D.C. 624.84−123 : 622.243.5



# 大口径ボーリングマシンによる岩掘削

高橋信一* 松沢哲夫**
細井武*** 川村正身****

**要　約**

東京都水道局発注の小河内ダム取水設備築造工事において，大口径ボーリングマシンによる岩掘削が本格的に採用され，期待どおりの施工実績を修めることができた。

本稿は，当工事の施工内容及び施工実績について概略を述べたものである。

当工事の特徴として，

①施工延長が長いこと。(φ1.5m大口径岩掘削4,164.2m，φ3.6m大口径岩掘削752m)

②φ1.5m大口径ボーリングマシンによる削孔長約50mのラップ掘削及びφ3.6m大口径ボーリングマシンによるベンチカット方式のラップ掘削

③傾斜岩盤の口切掘削

などがあげられる。

施工実績については，大口径岩掘削工の稼働率，掘削速度，掘削機の運転条件，カッタービット及び濁水処理設備について，説明した。

目　次

§1．まえがき
§2．全体工事概要
§3．地形地質概要
§4．施工内容
§5．大口径掘削機の選定
§6．使用機器及び設備
§7．実施工程
§8．大口径岩掘削工作業分類及び稼働率
§9．掘削速度
§10．大口径掘削機の運転条件
§11．カッタービット
§12．濁水処理設備
§13．あとがき

## §1．まえがき

東京都水道局発注の“小河内ダム取水設備築造工事”において採用された大口径ボーリングマシンによる岩掘削工法は，施工量及び施工法ともに業界の注目するところであったが，昭和53年11月9日に掘削が無事終了したので，本稿はその概要を報告するものである。

大口径ボーリングマシンによる岩掘削は，諸外国において，10数年前より始められ，主として，石油鑿井技術より発達し，鉱山の各種シャフト，原爆地下実験孔の削孔などに利用されたのが発端である。我国では，本四連絡公団による各種試験工事，大島架橋基礎工事等に使用され，現在，本四連絡橋で本格的に使用されている。本工事で採用された大口径ボーリングマシンによる岩掘削（以下，略して，大口径岩掘削と称することにする）は，φ1.5m大口径岩掘削4,164.2m，φ3.6m大口径岩掘削752mに及び,また斜面の口切掘削，オーバーラップ掘削は，本邦初の試みであった。

## §2．全体工事概要

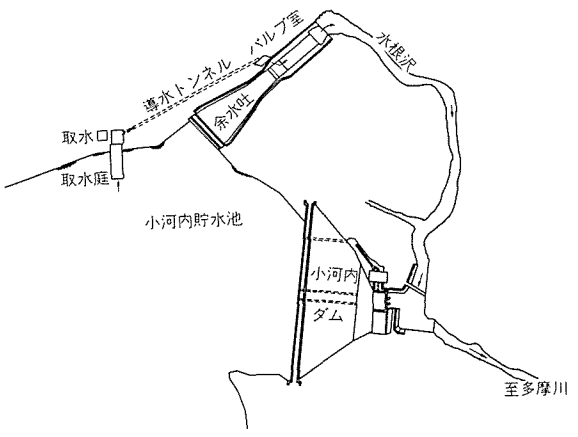
“小河内ダム取水設備築造工事”は，新放流設備を築造し，利根川の異常渇水時，もしくは夏期需要期に小河内ダムの取水量の増強（既設ダム放流口より21.5t/sec新放流設備より約30t/sec）を計ることを目的とし，利根川系と多摩川系（山口，村山，小河内ダム）の上水道水源の有効的な原水利用を可能にするための工事である。

新放流設備は，ダムサイト上流，貯水池左岸の既設余水吐上流約130mの位置に，取水庭（取水路）および，取水口（地下取水塔）を築造し，余水吐とほゞ平行に導水トンネルで下流に導き，余水吐エプロンに減勢放流する

＊関東支店次長元小河内出張所々長
＊＊関東支店小河内出張所々長
＊＊＊関東支店小河内出張所工事係長
＊＊＊＊関東支店小河内出張所機電係

ものであり，大口径岩掘削工法は，取水庭及び取水口築造工事において採用された。**(図－1，図－2参照)**

なお，導水トンネルの掘削にも，φ5.0mのトンネルボーリングマシン（T.B.M.）が採用されたが，本稿では，垂直掘りの大口径ボーリングマシンに焦点をしぼることにする。




**図－1　一般平面図**

本工事の特異性として，

① 工事現場が重要構造物（ダム本体，余水吐）に近接していること，また，秩父多摩国立公園内にあることより，振動，騒音，汚濁等について，規制が特に厳しい。

② 工事現場が貯水池に近接し，工事安全上からも，貯水池からの漏水は許されず，振動・衝撃の発生を極力抑える施工法を採用する必要があった。

③ 貯水池は，東京都の重要な上水源であるため，無効放流により水位を低下させることは許されない。また水位は水需要により大きく変動し，水位調節は一切許されない。

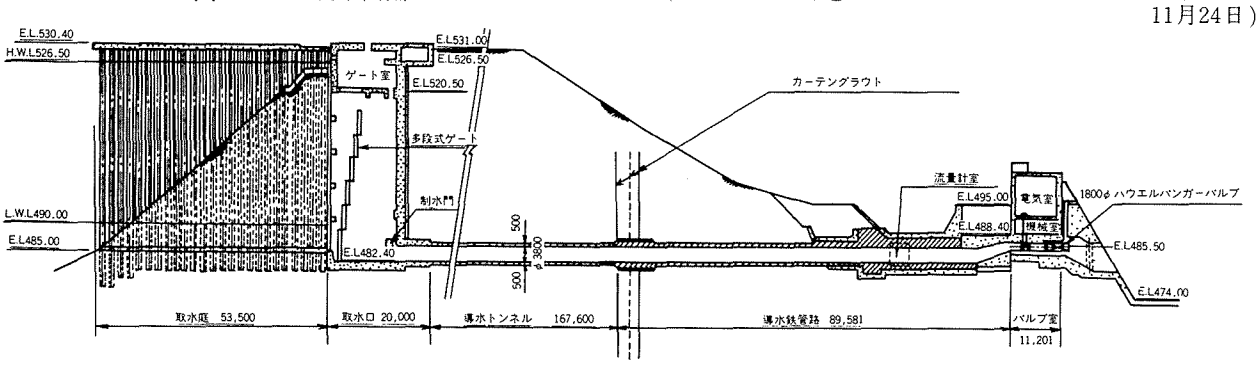
などがあり，これらの条件を満足する工法として，**表－1**に示す3工種に大口径岩掘削工法が本格的に採用され，期待通りの施工実績を修めることができた**(図－3，図－4)**。

なお，工事場所及び工事期間はつぎのとおりである。

工事場所　東京都西多摩郡奥多摩町原5番地

工事期間　昭和50年12月1日～昭和54年3月29日

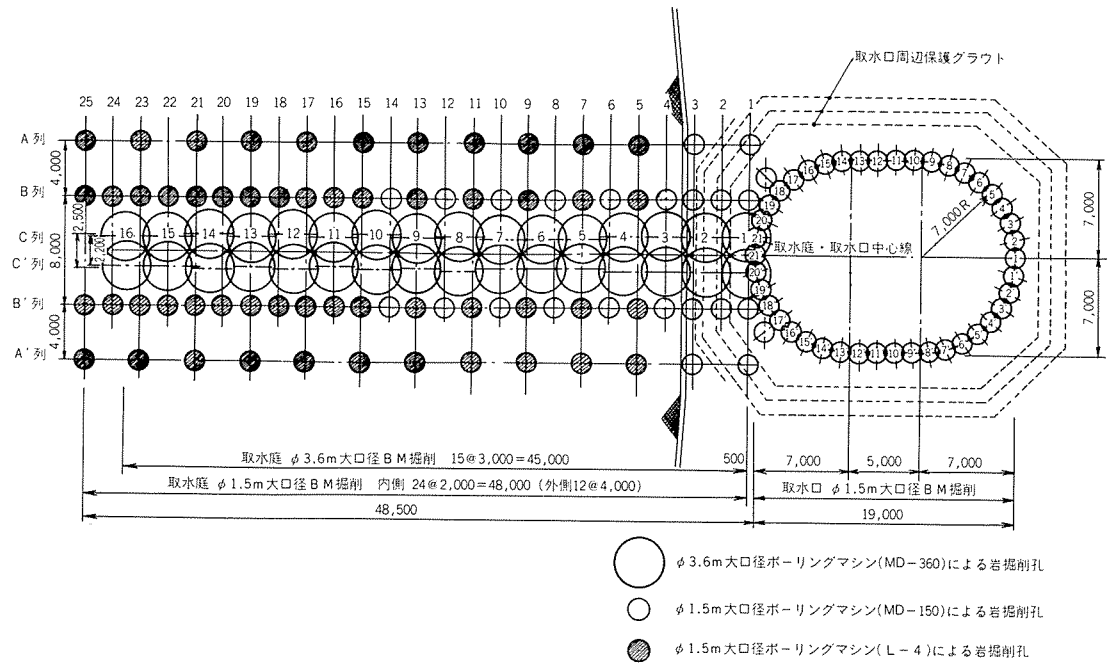
（大口径岩掘削施工期間　昭和51年4月8日～昭和53年11月24日）



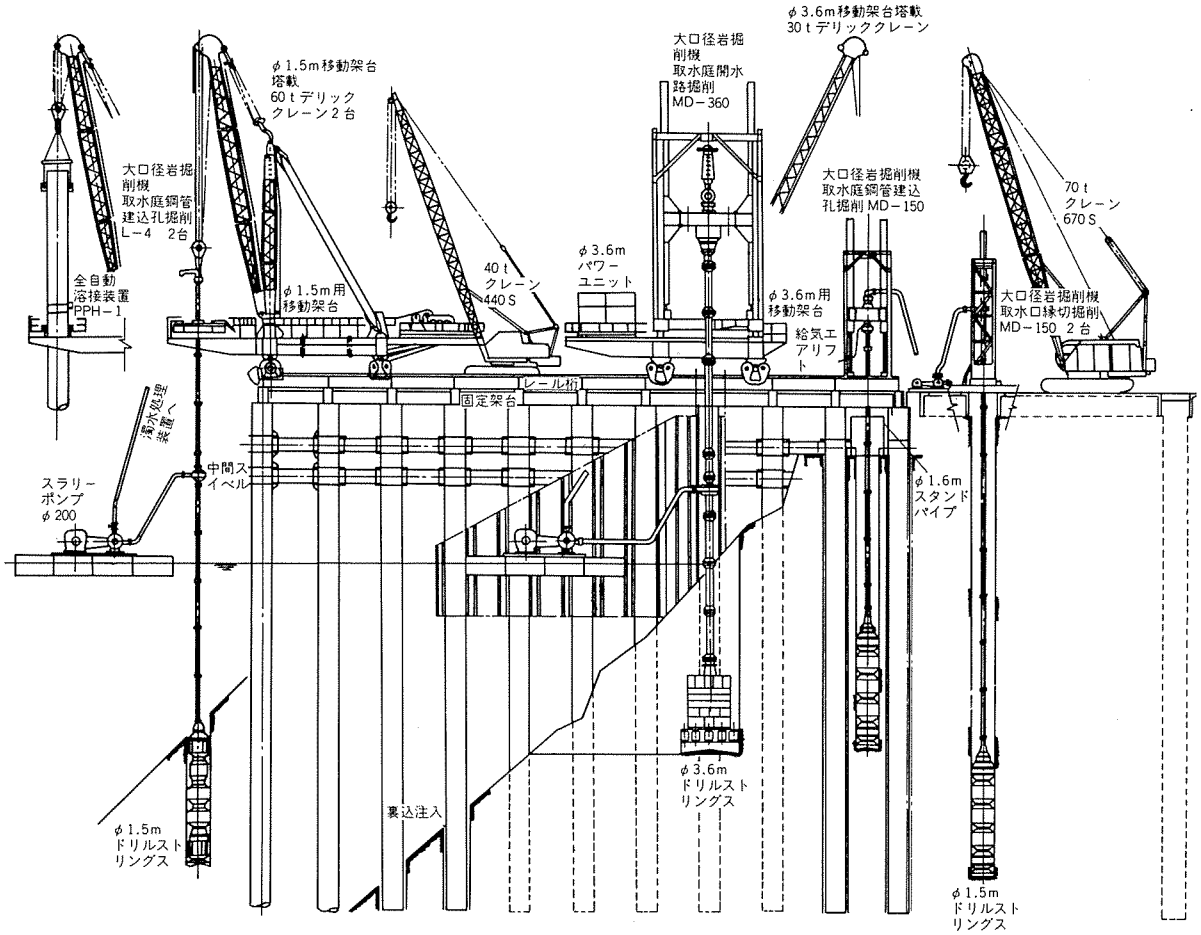

**図－2　縦断図**

**表－1　大口径岩掘削工内容**

| 工　種 | 施工目的 | 施工量 | 使用岩掘削機 | 特　徴 |
|---|---|---|---|---|
| 取水口<br>φ1.5m大口径岩掘削 | 取水口(立坑)周辺縁切掘削<br>(独立孔及び独立孔間オーバーラップ掘削) | 施工延長　2040m<br>孔　数　42孔<br>孔　長　48.6m | MD-150(三菱重工製)<br>2台 | 孔長48.6mに及ぶオーバーラップ掘削 |
| 取水庭<br>φ1.5m大口径岩掘削 | 鋼管杭(φ1320.8　t19)建込孔掘削<br>(陸上部) | 施工延長　455m<br>孔　数　10孔<br>孔　長　42.5m 5孔<br>47.5m 5孔 | MD-150　2台 | 1)45°傾斜岩盤のノーケーシングによる口切掘削 |
| | 鋼管杭 建込孔掘削(水上部)<br>手延べ式により施工（張出し式移動架台使用） | 施工延長　1187m<br>孔　数　52孔<br>孔　長　13.8m～41.4m | L-4(石川島播磨重工製)<br>2台 | 2)φ1.5m掘削孔にφ1320.8鋼管の建込み(高精度の施工) |
| | 鋼管杭、建込孔掘削(水上部)<br>手延べ式による掘削建込み杭を支持脚とする鋼製桟橋上より施工 | 施工延長　482.2m<br>孔　数　14孔<br>孔　長　21.0m～44.0m | MD-150　1台 | |
| 取水庭<br>φ3.6m大口径岩掘削 | 取水路水中開削<br>(ベンチカット式オーバーラップ工法) | 施工延長　752m<br>孔　数　32孔<br>孔　長　4.6m～36.5m | MD-360(三菱重工製)<br>1台 | 1)45°傾斜岩盤のノーケーシングによる口切掘削<br>2)ベンチカット方式採用<br>3)オーバーラップ掘削 |




図－3　大口径ボーリングマシンによる岩掘削平面図




図－4　大口径ボーリングマシンによる岩掘削施工要領図

**写真－1**　取水庭φ1.5m大口径岩掘削工のうち鋼管建込

**写真－2**　取水庭φ3.6m大口径岩掘削状況

## §3．地形地質概要

本工事に先立ち実施した地質調査ボーリングの結果報告書（日本工営，地質調査ボーリング工事報告書）及び小河内ダム工事誌[1)]から，本工事域の地形地質について，抜粋すれば，つぎのとおりである。

本地域は主に古代秩父系と中生代ジュラ紀と考えられる小河内層群及び，白亜紀と考えられる小仏層群とからなり，その他第三紀の迸入と考えられる火成岩類が小規模であるが数個所に露出している。この内秩父系と小河内層群は交互に配列して帯状の構造になっている。小河内層群は四国の鳥ノ巣系に対比されるもので，前記の秩父古生層と常に断層で接し，これと交互に配置しているが，特に多摩川上流地域に広く分布している。小河内ダム及びその貯水区域は全てこの地層である。

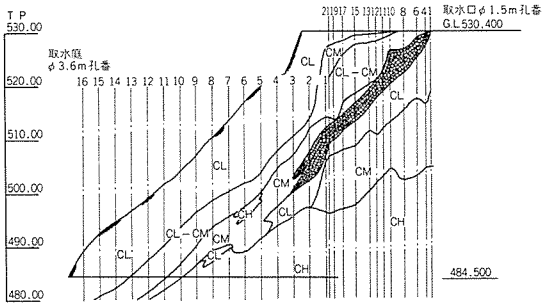
なお，本工事区域の岩盤は主として，硬砂岩（小河内層群）からなり，この砂岩中に厚さ数cm～10cm程度の黒色粘板岩が縞状に挟在していて風化による脆弱化が目立つ。

また，硬砂岩には70°～80°の急傾斜の節理が良く発達しており，開口性で節理面は褐色に変色している。

さらに，取水立坑を山側から貯水池に向け斜めにカットするような状態で巾2.5m～3.0mの破砕帯（N78W，50S）が存在し，この破砕帯には粘土を含んでいる。

透水性は取水立坑付近で深度30m付近までは，10ルジオン以上あり，特に約15mより浅深部では30～40ルジオンを示し，透水性が非常に大きく，不透水性と考えられる3ルジオン以下は40m以深である。

取水口から取水庭方向貯水池内の岩質状況は，地山形態に沿って約45°の傾斜で変化している（**図－5**）。




**図－5**　取水庭・取水口地質断面図

岩盤の一軸圧縮強度は，節理面の発達により，試験結果にばらつきが多い。掘削対象岩盤は，建設省岩盤分類基準によるCL級，CM級，CH級岩盤の3層にまたがり，立坑周辺，取水庭及び導水トンネルで実施した調査ボーリング結果を総合すると，CL級岩盤500～1000kg/cm²，CM級岩盤1000～1500kg/cm²，CH級岩盤1500～2500kg/cm²と推定される。

## §4．施工内容

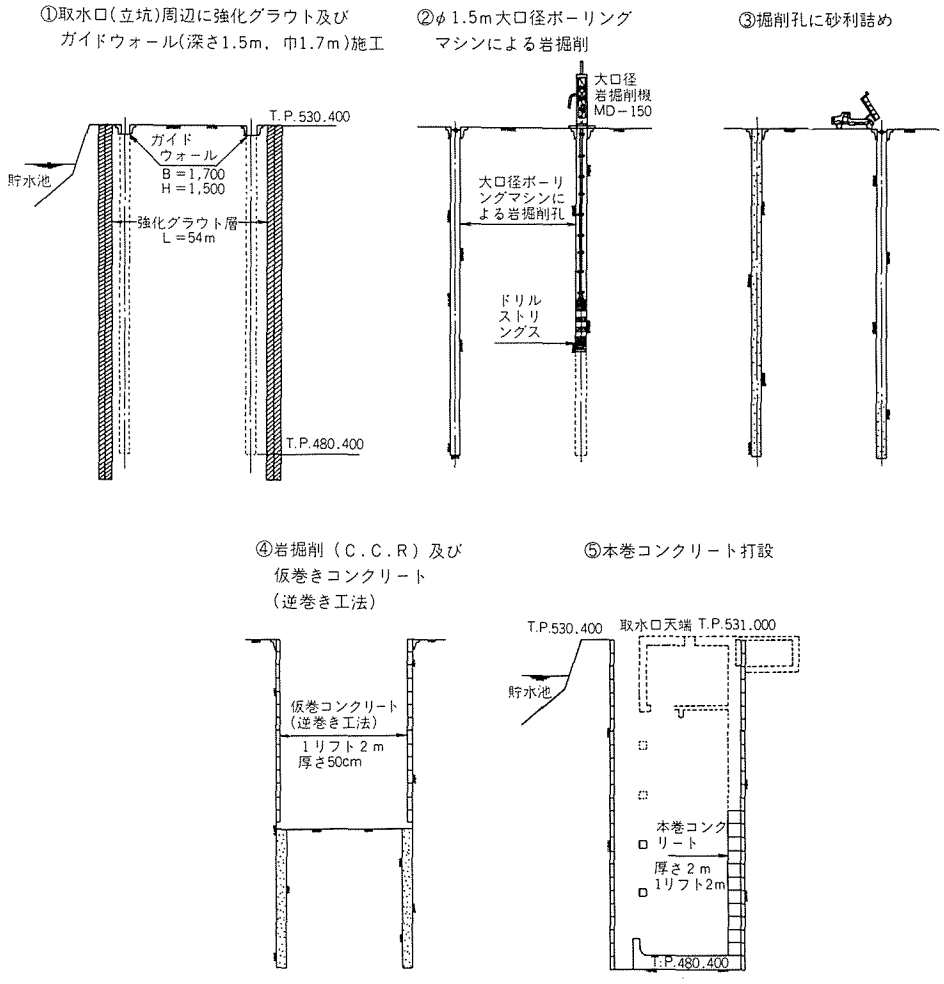
### 4－1　取水口φ1.5m大口径岩掘削

〝取水口築造工事〟は，貯水池湖岸に地下50m，巾14m×長さ19mの小判型断面の立坑を掘削し，多段式ゲートを有するRC造りの取水口を築造する工事である。

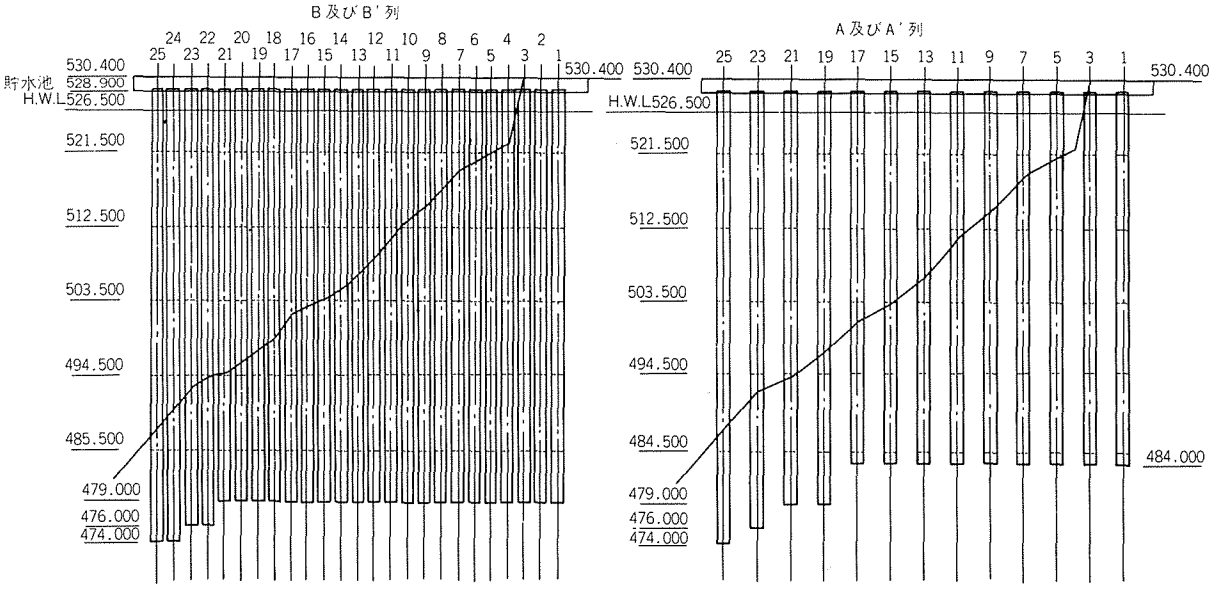
立坑は貯水池に接近しているので，掘削時に岩の亀裂や断層より浸水したり，崩壊する恐れがあるため，セメントグラウトを立坑周辺にあらかじめ施工し，浸水防止，岩盤強化を図った。

つぎに，立坑岩掘削（コンクリート破砕器，CCR使用）時の振動・衝撃より，ダム施設及び強化グラウト層を防護するために，φ1.5m大口径ボーリングマシン（MD—150　2台）により，立坑外周沿いに掘削底面までラップ連続孔を掘削し，周辺岩盤との縁切りをおこなった。

なお，掘削した連続孔には砂利を詰め，振動・衝撃に対する緩衝層を設けた。




**図－6　取水口築造工施工順序**




**図－7　大口径ボーリングマシンによる岩掘削断面図(取水庭φ1.5m大口径ＢＭ掘削)**

施工手順は，**図－6**に示すとおりである。

本工種の大口径岩掘削の特徴は，掘削深さが48.6mに及ぶ，ラップ掘削にあり，ラップ掘削用に製作した特殊ビット及び特殊スタビライザーを使用した。

使用機械は，三菱重工製ＭＤ－150　2台で，施工延長2,040m，孔数42孔（単独孔21孔，ラップ孔21孔），孔長は48.6mである。

### 4－2　取水庭φ1.5m大口径岩掘削

“取水庭築造工事”は，取水口前面の貯水池斜面（傾斜角約45°）を延長約50m間，水中開削し，巾5.0mの取水庭(取水路)を設ける工事で,φ1.5mの大口径ボーリングマシンによる岩掘削工法は，水中開削に使用するφ3.6m大口径ボーリングマシンの作業桟橋の支持脚兼水路の仕切壁となる鋼管杭の建込孔の掘削に，採用された**(図－7)**。

施工順序は，つぎのとおりである。

① 取水口（立坑）前面部の陸上部に杭孔を掘削し，鋼管パイル（φ1320.8×t＝19）を建込んだ。

施工場所は，湖岸の石積に近接しているので，大口径掘削機等の重量物を石積背面に直接載せると危険であるため，発進桟橋を組立て，その上に大口径掘削機を載せて掘削した。

初期掘削はφ1600のケーシングパイプを使用した。

鋼管建込完了後，孔壁と鋼管杭間はセメントミルクにて根固めした。

使用機械　ＭＤ—150　2台

施工量　　施工延長455m，孔長42.5m及び47.5m
孔数10孔

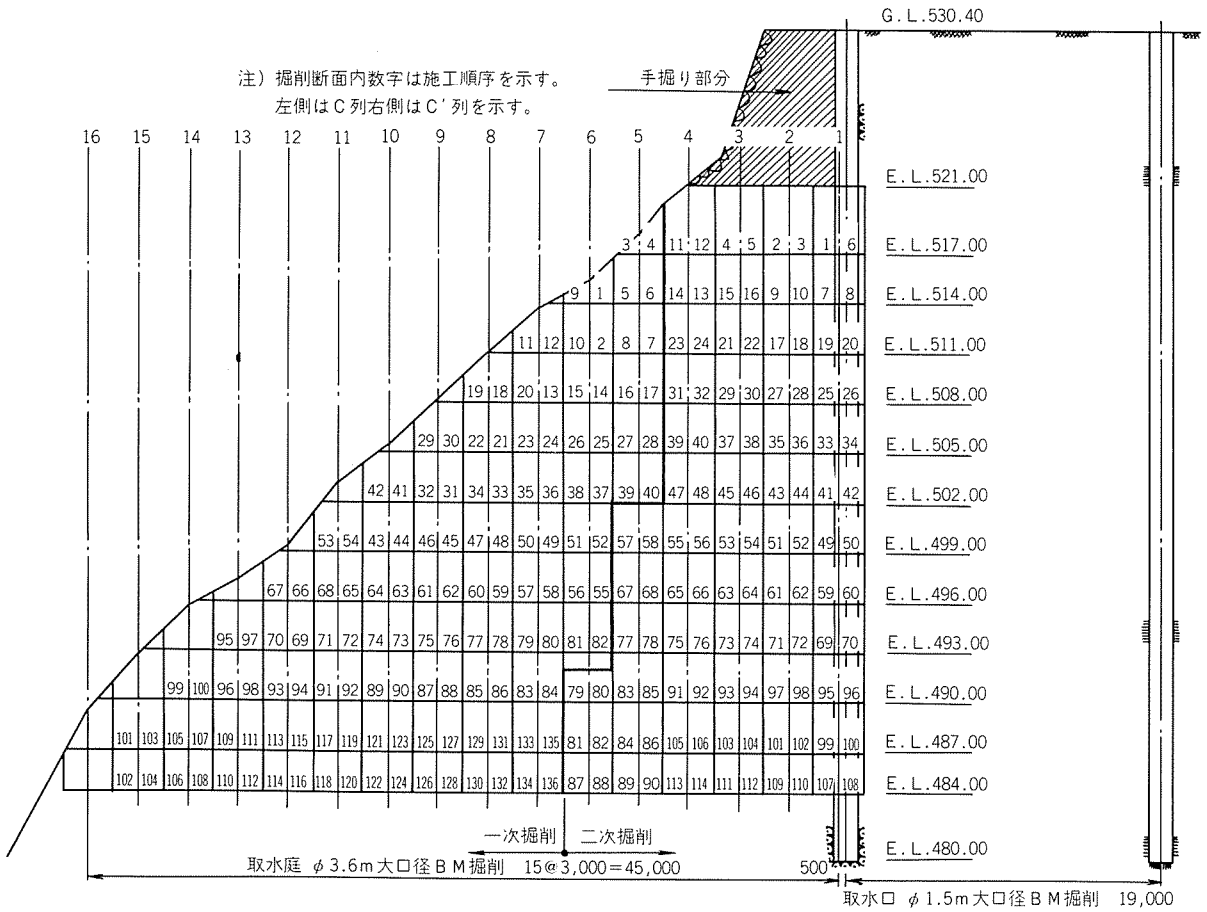
② 陸上部10本の鋼管杭杭頭を，鋼製箱型梁にて接合し，その上に，φ1.5m大口径ボーリングマシンを搭載する移動架台を組立てた。

③ 手延べ方式により，φ1.5m大口径ボーリングマシン（Ｌ—4　2台)を使用して，貯水池内を順次削孔し，鋼管杭建込み，根固め，杭頭連結といった一連の作業をくり返し，鋼製桟橋を構築した。

鋼管杭の杭列は4列で，外側杭の杭間隔は4.0m，内側杭の杭間隔は2.0mである。手延べ方式では，外側杭2本とそれと同列の内側杭2本計4本を1サイクルとして施工した。**(図－3，図－4)**

使用機械　石川島播磨重工製Ｌ—4　2台

施工量　　施工延長1187m　孔長13.8m～41.4m，
孔数52孔




**図－8**　大口径ボーリングマシンによる岩掘削断面図(取水庭φ3.6m大口径ＢＭ掘削及び取水口φ1.5m大口径ＢＭ掘削)

④ 鋼製桟橋構築後，残りの内側杭をφ1.5m大口径ボーリングマシンMD—150 1台で鋼製桟橋上から掘削し，鋼管建込み，根固めを行い，内側杭の杭間の水中空間には，H—600×150を差し込み，鋼管矢板壁とし，取水路の仕切り壁とした。

使用機械 MD—150 1台

施工量 施工延長482.2m，孔長21.0m～44.0m

本工種の特徴は，1）削孔後の鋼管杭の建込み及び内側杭杭間のH型鋼（H－600×150）の差し込みのために，高度の施工精度が要求されたこと，2）掘削初期の口切掘削は，約45°の傾斜面であること等であった。

施工精度を上げるためには，荷重，回転数の調整，修正掘（矯正掘），特殊ビットの採用，掘削順序等に工夫をこらした。なお，口切掘削のためには，特殊な口切用ビットを使用した。

### 4－3 取水庭 φ3.6m大口径岩掘削

鋼管杭々頭を連結した鋼製桟橋上から，内側杭の杭列間の貯水池斜面を，φ3.6 m大口径ボーリングマシンを利用してベンチカット方式によりラップ掘削し，巾5.0mの取水庭（取水路）を開削した。**（図－3，図－8）**

φ3.6大口径岩掘削は，取水路先端部すなわち呑口部から行ない（1次掘削），取水口と取水庭の接続部約10mは止水壁として残置し，取水口完了後，取水口内に注水し，貯水池内水位と同レベルにしてから，残置部を掘削して，取水口と連結した（2次掘削）。

残置部岩盤の安定が本工事のポイントであるため，施工前に上部軟岩層（破砕帯を含む）には，コンソリデーショングラウトを実施し，安定計算は，本社土木設計部にて，有限要素法により，慎重な検討が加えられた。

使用機械 三菱重工製 MD—360 1台

施工量 施工延長 752m（1次掘削411.5m 2次掘削340.5m）

施工量 孔長 4.6m～36.5m 孔数32孔

## §5．大口径岩掘削機の選定

### 5－1 φ1.5m大口径岩掘削機

大口径岩掘削機の機能別の分類は，つぎの通りで，実際に，または試験的に使用されている。

i）パーカッション式……重錘式

ii）ロータリー式……パワースイベル式，ロータリーテーブル式，グリッパー式

iii）ウオータージェット式…高圧水式

本工事のような，硬岩掘削の場合は，過去の実績から考えてロータリー式が適している。また，掘削機の容量は，過去の実験式，算定図表及びビットメーカーの資料等[2)~5)]から推定してつぎの機能を満足する必要がある。

①ビット回転数：N＝10～15rpm(常用)，最大24rpm

②ビット推力 ：水中30t～55t

③掘削トルク ：2t-m～4t-m

④原動機馬力 ：最大110ps

さらに，取水口φ1.5m大口径岩掘削においては，つぎの条件を満足する必要がある。

⑤ビットの推力（スラスト荷重）の微調整ができること。

⑥初期掘削時，ビット推力（スラスト荷重）をかけ得る構造であること。

⑤については，掘削長が50mに及ぶオーバーラップ掘削であることより，鉛直精度の確保が最大のポイントとなる。掘削精度を上げるためには，掘削抵抗の変化（岩質，孔壁状況，礫揚げ状況等の変化）に即応して，ビットの推力の微調整が必要である。このビット推力の適格なる調整は油圧ジャッキによる支持方式が適当である。

⑥については，GLから掘削するので，初期掘削時に条件に合ったスラスト荷重を作用させることは，掘削機の構造上不可能に近いが，少しでも多くのスラスト荷重をかけうる構造が望ましい。

**表－2** 使用岩掘削機諸元

| | | MD－150 | L－4 |
|---|---|---|---|
| 機械本体及びパワーユニット | 製作会社名 | 三菱重工 | 石川島播磨重工 |
| | 口径 | φ800～φ1500㎜ | φ700～φ1500㎜ |
| | 吊上力 | 90ton | 60ton(スイベル能力) |
| | ロータリートルク | 最大5.5t·m | 最大6.0t·m |
| | ロータリースピード | 0～21rpm | 0～19rpm |
| | ガイドマスト傾斜角 | 22°30′ | —— |
| | ジャッキ及びケーリーバーストローク | ジャッキストローク 3500㎜ | ケリーバーストローク 4500㎜ |
| | 電動機 | 110KW－4P (400V) | 75KW－4P (400V) |
| | 最高使用圧力 | 210kg/㎠ | 210kg/㎠ |
| | 吐出量 | 0～400ℓ/min | 0～275ℓ/min |
| | 形状寸法 | 掘削機本体諸元<br>高さ 8,520㎜<br>長さ 2,525㎜<br>巾 3,000㎜ | ロータリーテーブル諸元<br>高さ 1,130㎜<br>長さ4,000㎜<br>巾 1,900㎜ |
| ドリルストリングス | 全重量 | 約65ton | 約60ton |
| | ドリルパイプ | 8″特殊鋼管 | 8″特殊鋼管 |
| | ドリルカラー | 分割接合型 | 分割接合型 |
| | スタビライザー | 分割接合型<br>ローラータイプ、リングタイプ | 分割接合型<br>ローラータイプ |
| | ドリルビット型式 | ローラーカッター式<br>チップインサート | ローラーカッター式<br>チップインサート |

以上の機能上，構造上の諸条件を満足するφ1.5m大口径岩掘削機として，三菱重工製MD—150が最適と認め，これを採用した。つぎに取水庭φ1.5m大口径岩掘削（水上部）は取水口φ1.5m岩掘削と同様に前記の①～④までの機能条件を満足するとともに、つぎのような構造上の条件を満足させる必要がある。

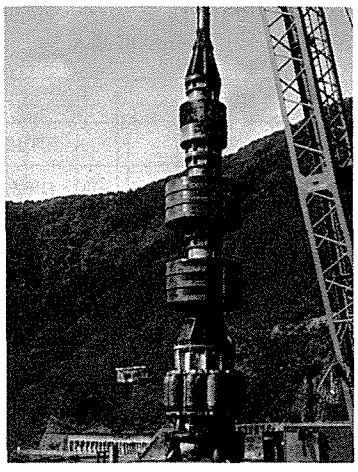
⑤′マスト・ロータリーテーブル，原動機部が分離していること。

⑥′狭い場所でも作業ができ，簡易堅固な構造であること。

⑤′については，取水庭の鋼製桟橋を手延べ方式で築造していくので，掘削機を積載する移動架台の主桁が片持ばり構造にならざるを得ない。片持部に積載する荷重をできるだけ小さくするため，掘削機は各々分離している構造が望ましい。

⑥′については，できる限り狭い場所で据付，掘削等の作業ができ，掘削後に，鋼管矢板建込，根固めグラウト等の施工時の掘削機の仮置占有面積が少なくてすみ，かつ機械移動等の作業も容易な簡易堅固な構造が望ましい。

以上の諸条件を満足するφ 1.5mの大口径岩掘削機としては石川島播磨重工製のL—4を最適と認め，これを採用した(**写真－3**)。



**写真－3**　大口径ボーリングマシンL－4（φ1.5m）

### 5－2　φ3.6m大口径岩掘削機

φ3.6m級の大口径岩掘削機で，我国における実用的なものは，ロータリー式で，**表－3**の4社のものがある。

本工事に使用するφ3.6m大口径岩掘削機の容量は，過去の実績や，実験式，算定図表及びビットメーカーの資料等[2)～5)]から推定してつぎの機能を満足する必要がある。

①ビット回転数：N＝5～7rpm（常用），最大10rpm

②ビット推力　：水中70t～110t（常用）

③掘削トルク　：15t-m～25t-m（常用）

④原動機馬力　：250ps～370ps

さらに，現場の施工状況から判断してつぎの条件を満足する必要がある。

⑤作業面積の関係上，マストと駆動装置が一体化し，できるだけコンパクトな形（マスト一体形）であること。

⑥ノーケーシングで傾斜面を掘削するので掘削精度の確保のため，スラスト荷重の微調整が可能な油圧ジャッキによるドリルストリングスの支持であること。

⑦掘削深度が大であるため，万一孔壁が崩壊した場合のことを考えると，吊上力ができるだけ大きいこと。

以上の条件を満足する掘削機として，**表－3**の4つの掘削機中，MD－360を採用した。(**写真－4**)

**表－3**　φ3.6m級大口径岩掘削機一覧表

| 機械形式名称 | MD-360 | BM-1 | L10S | KSD-4 |
|---|---|---|---|---|
| 製作会社 | 三菱重工 | 新日鉄 | 石川島播磨重工 | 川崎重工 |
| 設置方式 | マスト一体形（傾斜24°片側可能） | マスト一体形 | 分離形 | 分離形 |
| 駆動形式 | パワースイヴェル | パワースイヴェル | ロータリーテーブル | 平歯形ケリーバ |
| 駆動部位置 | 陸上部 | 陸上部 | 陸上部 | 水中部 |
| 最大掘削ルク | 35t-m | 34t-m | 36t-m | 35r-m |
| 回転数 | 0～19rpm | 2～10rpm | 0～18rpm | 0～10rpm |
| スイベル吊上力 | 215t | 150t | 180t | 90t |
| ドリルストリングス重量 | 157t | 143t | 172t | 65t（推力230t） |
| ドリルストリングス支持方法 | 油圧、ジャッキ | 油圧ジャッキ | ヤグラクレーン | 水中グリッパ及びヤグラクレーン |
| 電動機出力 | 90KW×4P（480PS） | 85KW×4P（460PS） | 340PS | 650PS |

**表－4**　MD－360諸元

| | | |
|---|---|---|
| 機械本体能力 | 掘削口径 | 3600㎜ |
| | 吊上力 | 215ton |
| | ロータリートルク | 35t-m |
| | ロータリースピード | 0～19rpm |
| | ガイドマスト傾斜角 | 24°max49°50′ |
| | ジャッキストローク | 6500㎜ |
| 掘削機本体寸法 | 高さ | 15,850㎜ |
| | 長さ | 10,640㎜ |
| | 巾 | 7,200㎜ |
| 油圧装置 | 電動機 | 90KW－4P 4台（400V） |
| | 主油圧ポンプ最高圧力 | 210kg/㎠ |
| | 主油圧ポンプ吐出量 | 0～390ℓ/min×4台 |
| | 副油圧ポンプ最高圧力 | 210kg/㎠ |
| | 副油圧ポンプ吐出量 | 5.2ℓ/min |
| ドリルストリングス | 全重量 | 約157ton |
| | ドリルパイプ | φ406㎜特殊鋼管 |
| | ドリルカラー | ドーナツウエイト型 |
| | スタビライザー | ローラータイプ |
| | ドリルビット | ローラーカッター、チップインサート |

## §6．使用機器及び設備

表－5　使用機器及び設備

| 使用工種 | 使用機器及び設備 | 仕　　様 | 台数 | |
|---|---|---|---|---|
| 取水口φ1.5m大口径岩掘削 | 大口径掘削機 | MD－150、φ1500㎜ | 2 | |
| | スラリーポンプ | φ200、6m³/min　H＝30m | 2 | |
| | 真空ポンプ | φ50、2m³/min | 2 | |
| 取水庭φ1.5m大口径岩掘削 | 大口径掘削機 | L－4、φ1500㎜ | 2 | |
| | 〃 | MD－150、φ1500㎜ | 2 | 取水口と共通 |
| | スラリーポンプ | φ200、6m³/min　H＝50m | 2 | |
| | 〃 | φ200、6m³/min　H＝30m | 2 | 取水口と共通 |
| | 真空ポンプ | φ50、2m³/min | 2 | |
| | 〃 | φ50、2m³/min | 2 | 取水口と共通 |
| | 掘削機移動架台 | 自走式デリッククレーン 60t×2台搭載 | 1 | |
| | 鋼管全自動溶接機 | PPH－1　500A | 2 | 鋼管建込 |
| | モルタルポンプ | 2m³/min、160PS | 1 | 根回注入 |
| | その他、セメントサイロ(15t)、スクリューコンベヤ、セメント混合槽(20m³)、水中ポンプ、電動ウィンチ(0.8t)、ポータブルコンプレッサー(1.09m³/min) | | | |
| 取水庭φ3.6m大口径岩掘削 | 大口径掘削機 | MD－360、φ3600㎜ | 1 | |
| | スラリーポンプ | φ200㎜、12m³/min、H＝50m | 1 | |
| | 真空ポンプ | φ50、2m³/min | 1 | |
| | 掘削機移動架台 | 自走式デリッククレーン 30t搭載 | 1 | |
| | その他、電動ウィンチ(0.8t)、ポータブルコンプレッサー(1.09m³/min) 他 | | | |
| 共通機械及び設備 | 潜水設備 | | 1式 | |
| | 濁水処理設備 | シックナーφ12600×1；φ11,600×1 | 1式 | |
| | クローラークレーン | 670S、70t | 1 | |
| | クローラークレーン | 440S、40t | 1 | |
| | トラッククレーン | TL－160、16t | 1 | |
| | トラック | 11t | 1 | 鋼管運搬 |
| | ダンプトラック | 8.5t | 1 | 発生礫運搬 |
| | コンプレッサー | 130KW　レシプロ型 | 1 | エアーリフト他 |
| | 〃 | 180KW　レシプロ型 スクリュー型 | 2 | エアーリフト他 |
| | 孔壁測定器 | | 1 | 超音波 |
| | ユニフロート | 11t 浮力 | 40 | |
| | 電気設備 | | 1式 | |

## §7．実施工程

大口径岩掘削関係の実施工程は**表－6**に示すとおりである。

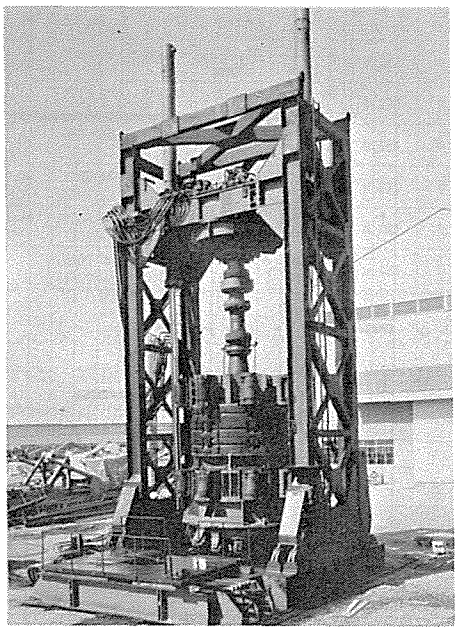
全体工事工程において，

1．取水庭φ1.5m大口径岩掘削（陸上部445m）

2．取水口φ1.5m大口径岩掘削（　　2040m）

3．取水庭φ3.6m大口径岩掘削（2次掘削340.5m）

は，クリティカルパス上にあり，大口径岩掘削の遅れが即，工程延伸につながるという，重要な工種であった。



**写真－4**　大口径ボーリングマシンMD－360(φ3.6m)

なお，大口径岩掘削の施工年月日及び作業日数を**表－7**に示す。

## §8．大口径岩掘削工作業分類及び稼働率

大口径岩掘削工の作業を**表－8**のとおりに分類し，集計した。

なお，掘削機組立，解体，移動架台組立解体は，上記分類には含んでいない。集計結果は**表－9**の通りである。

作業時間集計表から明らかなように，大口径岩掘削作業全体に対して，ビット回転時間（純掘削時間＋礪さらえ修正掘時間）の占める割合は，取水口φ1.5m大口径岩掘削74.2%，取水庭φ1.5m大口径岩掘削59.1%，取水庭φ3.6m大口径岩掘削83.2%であり，過去の実積と比べると，非常に大きく，大口径掘削機の稼動が良好であったことを示している。

大口径掘削機の稼動（運転率）が良好なる要因として，つぎの事項が考えられる。

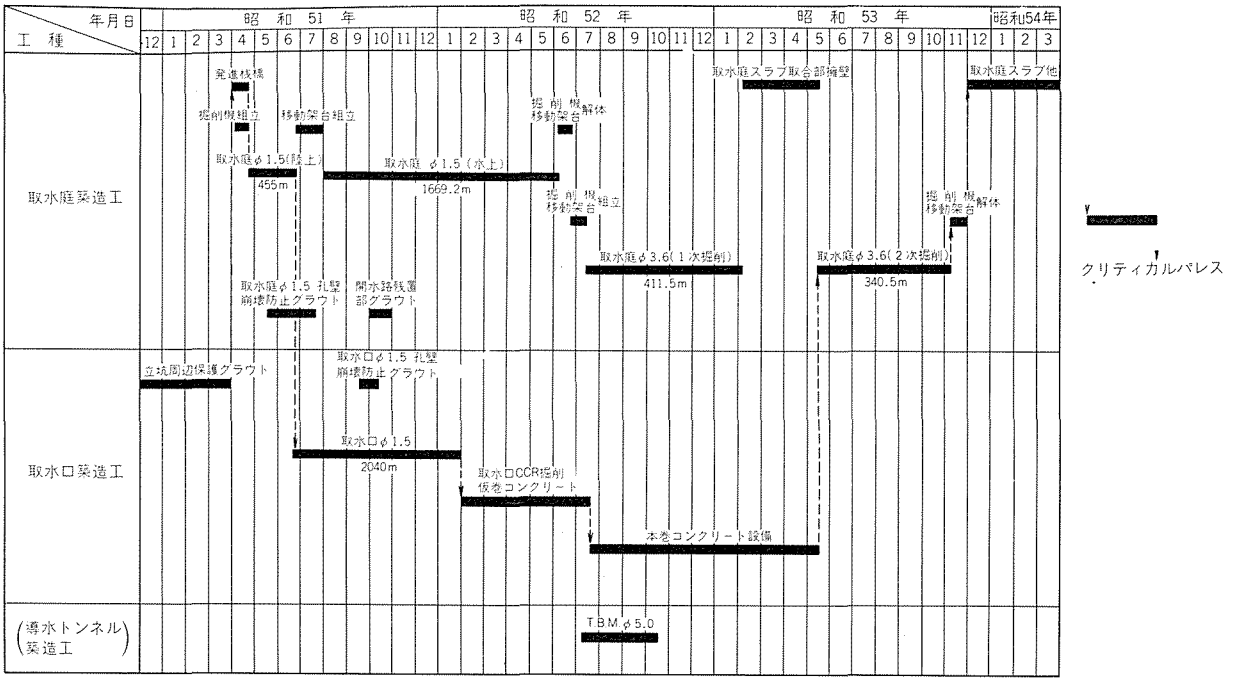
①気象・海象条件に影響されなかったこと。

一般海洋工事では，天候や，湖の条件が作業に及ぼす影響は大であるが，本工事では，天候や，貯水池内の水の状態で工事を中止することは，皆無であった。

②修理，点検時間の短縮

本工事のように，掘削作業が長期にわたる場合，運転条件（ビット回転数，スラスト荷重）と掘削速

表－6　大口径岩掘削工実施工程




表－7　大口径岩掘削施工年月日及び作業日数

| 工種 | 掘削延長 | 使用機械 | 作業内容 | 施工年・月・日 | 暦日数 | 作業日数 | 備考 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 取水庭φ1.5m（陸上部） | 455m | MD－150 2台 | 組立 | S51. 4. 8 ～ S51. 4. 21 | 14 | 13 | 掘削機 |
| | | | 掘削 | S51. 4. 22 ～ S51. 6. 26 | 66 | 64 | |
| 取水底φ1.5m（水上部） | 1187m | L－4 2台 | 組立 | S51. 6. 27 ～ S51. 8. 1 | 36 | 33 | 移動架台掘削機 |
| | | | 掘削 | S51. 8. 2 ～ S52. 6. 9 | 312 | 281 | |
| | | | 解体 | S52. 6. 10 ～ S52. 6. 20 | 11 | 10 | 移動架台掘削機 |
| 取水庭φ1.5m（水上部） | 482.2m | MD－150 1台 | 掘削 | S52. 1. 20 ～ S52. 5. 14 | 115 | 107 | |
| | | | 解体 | S52. 5. 15 ～ S52. 5. 18 | 4 | 3 | 掘削機 |
| 取水口φ1.5m | 2040m | MD－150 2台 | 掘削 | S51. 6. 24 ～ S51. 1. 31 | 222 | 205 | |
| | | | 解体 | S51. 2. 1 ～ S51. 2. 4 | 4 | 4 | 掘削機 |
| 取水庭φ3.6m（1次掘削） | 411.5m | MD－360 1台 | 組立 | S52. 6. 21 ～ S52. 7. 12 | 22 | 21 | 移動架台掘削機 |
| | | | 掘削 | S52. 7. 13 ～ S53. 2. 3 | 207 | 171 | |
| 取水庭φ3.6m（2次掘削） | 340.5m | MD－360 1台 | 組立 | S53. 5. 6 ～ S53. 5. 15 | 9 | 9 | 掘削機 |
| | | | 掘削 | S53. 5. 16 ～ S53. 11. 9 | 178 | 162 | |
| | | | 解体 | S53. 11. 10 ～ S53. 11. 24 | 15 | 14 | 移動架台掘削機 |

表－8　大口径岩掘削工作業分類

| 作業分類 | | 作業内容 |
|---|---|---|
| 掘削準備 | | 掘削機、移動架台の移動据付、スラリーポンプ、エアーリフト接続 |
| 掘削 | 純掘削 | 掘削機による岩掘削 |
| | 磆さらえ | 掘削機による崩壊磆処理 |
| | 修正掘削 | 掘削機による孔曲部修正掘削 |
| | 揚降管 | 掘削にともなうドリルストリングス組立・解体作業 |
| | 検測 | 掘削終了孔の検尺、超音波測定機による調査 |
| 修理・点検 | | 掘削機、移動架台、スラリーポンプ等の修理及び日常定期点検 |
| その他 | | 取水口φ1.5m大口径岩掘削工：上記以外の作業（掘削作業休止）<br>取水庭φ1.5m大口径岩掘削工：鋼管建込根固め、杭頭処理、固定架台据付作業中、クリティカルパス上の作業<br>取水庭φ3.6m大口径岩掘削工：上記以外の作業（掘削作業休止） |

度との関係を，いかに保ち，機械類を管理していくかは，工程管理に対して重要な問題となる。掘削速度を上げようとすれば運転条件を上げなければならず，掘削機・ドリルストリングス等にかゝる負荷は大きくなり，修理点検に要する時間は大となる。

本工事においても，掘削開始時には，ドリルスト

表－9　大口径岩掘削作業集計表

| 工種 | | 使用掘削機 | 掘削長(1)(m) | 掘削準備(Hr) | 掘削(3)(Hr) 純掘削(2) | 確さらえ修正掘 | 揚降管 | 検測 | 小計 | 修理点検(Hr) | その他(Hr) | 合計(4)(Hr) | 掘削速度(m/Hr) 純掘削(1)÷(2) | 掘削(1)÷(3) | 全作業当り(1)÷(4) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 取水口φ1.5m大口径岩掘削 | | MD-150 2台 | 2040 | 372-50 (3.9%) | 6337-20 (66.8%) | 700-00 (7.4%) | 998-20 (10.5%) | 112-30 (1.2%) | 8148-10 (85.9%) | 591-50 (6.2%) | 375-10 (4.0%) | 9488-00 (100%) | 0.322 | 0.250 | 0.215 |
| 取水庭φ1.5m大口径岩掘削 | 陸上部 | MD-150 2台 | 455 | 63-15 (2.3%) | 1606-40 (58.8%) | — | 359-10 (13.1%) | 60-55 (2.2%) | 2026-45 (74.1%) | 306-05 (11.2%) | 335-55 (12.4%) | 2732-00 (100%) | 0.283 | 0.225 | 0.167 |
| | 水上部(手延べ式) | L-4 2台 | 1187.0 | 372-35 (2.9%) | 7187-25 (55.3%) | — | 1369-30 (10.5%) | 127-45 (1.0%) | 8684-40 (66.8%) | 760-15 (5.8%) | 3189-30 (24.5%) | 13007-00 (100%) | 0.165 | 0.137 | 0.091 |
| | 水上部(固定足場上) | MD-150 1台 | 482.2 | 82-20 (3.3%) | 1978-10 (79.6%) | — | 204-30 (8.2%) | 40-00 (1.6%) | 2222-40 (89.4%) | 58-50 (2.4%) | 120-10 (4.9%) | 2484-00 (100%) | 0.244 | 0.217 | 0.194 |
| | 計 | | 2124.2 | 518-10 (2.8%) | 10772-15 (59.1%) | — | 1933-10 (10.6%) | 228-40 (1.3%) | 12934-05 (73.8%) | 1125-10 (6.2%) | 3645-35 (17.2%) | 18223-00 (100%) | 0.202 | 0.168 | 0.119 |
| 取水庭φ3.6m大口径岩掘削 | | MD-360 1台 | 752.0 | 334-50 (4.2%) | 6017-00 (76.1%) | 531-30 (6.6%) | 88-00 (1.1%) | — | 6636-30 (83.9%) | 790-00 (10.0%) | 144-40 (1.9%) | 7906-00 (100%) | 0.125 | 0.113 | 0.095 |

リングスや，油圧ポンプのトラブルが続出したが，構造の改良とともに，長期的観点から，掘削速度と運転条件に制限を加えたことが結果的には，修理，点検の作業が少なくなり，工期短縮に結びついたと思われる。

また，日常点検，定期点検は確実に慎重におこない不良予想個所は早い時期に交換したこと，φ 1.5 m用カッター交換は，カッターを配列したビットボディごと交換したこと，φ1.5m大口径掘削機はL—4とMD—150の2種類を使用したが，ドリルストリングスに互換性がなかったので接続金具を製作して互換性をもたせたこと等は修理・点検期間の短縮になった。

③掘削準備時間の短縮

取水庭φ1.5m大口径岩掘削及び取水庭φ3.6m大口径岩掘削に関しては，自走式の移動架台を製作したことにより，移動据付時間は，大巾に短縮された。

## §9．掘削速度

### 9－1　純掘削速度の推定式

大口径岩掘削工の総合的な施工速度すなわち工程は，前節で述べたとおり，各種作業の組み合わせによって定まるが，そのなかで最も問題となるのは，純掘削速度（カッターが掘削孔内で，実際に岩盤を削っている時間当りの掘進長）である。一般に，純掘削速度の想定は，不確定要素が多く，確立された算定方法はなく，今までの実績値，実験値などからの計算式や図表より，類推しているのが現状である。

純掘削速度に影響を与える主なる要因は，

①地質条件（岩盤強度，孔壁の状況，深度）

②循環流の条件(ずり吸い上げ状況,粘性度,流量)

③ビット条件（口径，カッター形式，ビット形状，ビット摩耗率）

④運転条件（ビット推力，ビット回転数）

などであり[2]，①の条件に対して②～④の最適条件を見出すことが，最大の課題となる。②③が最適なる条件のもとでは，純掘削速度は①と④の関係になる。

純掘削速度の算定式は，数多く発表されているが基本的には，

$R = K \cdot N^a \cdot Wd^b$……式・1

で示される。

ここにR　：純掘削速度（m/H）

N　：ビット回転速度（rpm）

Wd：ビット口径当り推力（kg/cm）

K　：ドリラビリティ定数（drillability constant）

我国では，建設省土木研究所において，数多くの削孔実験がおこなわれ，次式のような公式が発表され，一般的によく使用されている。

$$R = \frac{0.115}{Sc} \cdot N \cdot Wd = 0.115 \frac{NW}{DSc}$$……式・2[6]

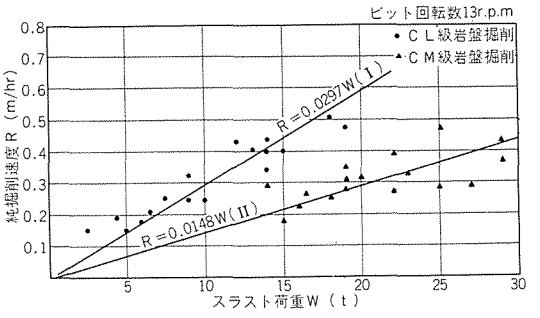
ここにSc：岩の一軸圧縮強度（kg/cm²）

D：ビット口径（cm）

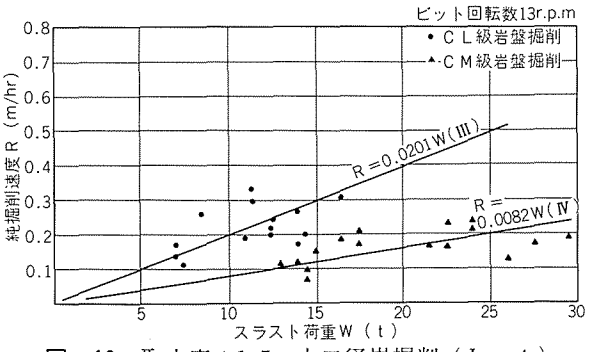
W：ビット推力（kg）

### 9－2　施工実績

φ1.5大口径ボーリングマシンによる岩掘削の掘削記録から，掘削岩盤の岩質が同じで，かつ，ビット回転数が同程度のデーターを整理し，プロットしたものが**図—9**，**図—10**である。掘削岩盤は，建設省の岩盤分類基準でCL級からCH級岩盤まで変化し，調査ボーリング結果から作製した岩盤地層図に従って，掘削延長の大なるCL級及びCM級岩盤の掘削データーを整理した。




**図－9**　取水口φ1.5m大口径岩掘削(MD－150)
純掘削速度～スラスト荷重(単独孔)




**図－10** 取水庭φ1.5m大口径岩掘削（L－4）
純掘削速度～スラスト荷重（単独孔）

平均岩盤強度は，CL級750kg/cm²，CM級1250kg/cm²と推定される。

なお，取水口φ1.5m大口径岩掘削は単独孔掘削の記録を抽出し，整理した。また取水庭φ3.6m大口径岩掘削はオーバーラップ掘削であるため，除外した。

掘削データーは，バラツキが大なるため，平均値をもって直線式R＝aW（R：純掘削速度m/Hr，W：スラスト荷重ton，a：係数）を求め，つぎに9－2式と対比させるため，$R=K\frac{NW}{DSc}$なる式の係数Kを求めた。**（図－9，図－10，表－10）**

**表－10**より，K値は0.118～0.257と大きくばらつき，純掘削速度を推定することの困難さを示している。いづれも式･2の係数より大なる値になっている。

**図－9**の実績値に基づく式（I）(II）は取水口φ1.5大口径岩掘削の式であるが，**図－10**の取水庭φ1.5m大口径岩掘削の式（III)(IV）と比較すると1.5倍～1.8倍の掘削効率が得られていることを示している。

**表－10** 掘削効率係数の算定

| 式番号 | 掘削データーに基づく直線式 | 掘削条件 | 係数 |
|---|---|---|---|
| (I) | R＝0.0297W | 取水口φ1.5m大口径岩掘削<br>掘削岩盤 CL<br>回転数 N＝13rpm | K＝0.257 |
| (II) | R＝0.0148W | 取水口φ1.5m大口径岩掘削<br>掘削岩盤 CM<br>回転数 N＝13rpm | K＝0.213 |
| (III) | R＝0.0201W | 取水庭φ1.5m大口径岩掘削<br>掘削岩盤 CL<br>回転数 N＝13rpm | K＝0.173 |
| (IV) | R＝0.0082W | 取水庭φ1.5m大口径岩掘削<br>掘削岩盤 CM<br>回転数 N＝13rpm | K＝0.118 |

取水口φ1.5m大口径岩掘削の掘削効率が良好なる要因として，

1．大口径岩掘削の施工前に行なった，立坑周辺保護グラウト，及び大口径岩掘削孔壁崩壊防止グラウトの効果が，よくあらわれ，孔壁の肌落ちが少なかったこと。
2．ずり処理水を循環させたため，取水庭大口径岩掘削の清水掘に比べて，孔壁の保持が保たれたこと。
3．掘削機の機構の相違により，ドリルストリングスの振れが少なかったこと。
4．取水庭φ1.5m大口径岩掘削の場合，表層の風化がはげしく，表層部の岩塊が掘削孔内に転落し，掘削効果を下げたこと。

等が考えられる。

なお，ラップ掘削についての掘削効率は，単独孔掘削の場合と比べると顕著な相違は認められないが，①ビットの逃げを防ぐため，運転条件を下げざるを得ないこと②隣接した掘削完了孔に転落した礫をさらいながら掘削する必要があることより総合的な施工速度は，単独孔に比べて，かなり低下している。

## §10．大口径掘削機の運転条件

運転条件（スラスト荷重及びビット荷重）は，①掘削地盤の地質条件，②機械容量，③掘削方法，(単独孔掘削，オーバーラップ掘削)，④期待掘削速度，⑤許容施工誤差等により決定される。

大口径掘削機の掘削原理は，ドリルストリングス全荷重の内50%程度を掘削荷重（スラスト荷重）に利用し，残荷重はけん垂状態を保って振子の原理を使って掘削するために，スラスト荷重を大きくすれば，それだけ，掘削速度が大になるが，施工精度が落ちる可能性がある。

また，運転条件を上げれば，掘削速度は大になるが，その機械容量内であっても，修理，交換の時間が増大し，結果的には，掘削速度が落ちる場合もある。

本工事では，掘削延長が長く，長期の稼働になるため，運転条件については，特に注意し，慎重なる検討をくり返し，上記条件をできるだけ満足する安定した運転条件を見出した。

運転条件の概略値は**表－11**のとおりである。

## §11．カッタービット

### 11－1 カッタービットの選定

一般に，カッターは掘削対象岩の一軸圧縮強度により，次の種類の歯型状に分類され，次のとおり使いわけられ

| 形式 | 対象岩 | 一軸圧縮強度 |
|---|---|---|
| 歯車形 | 軟岩用 | 5～ 300kg/cm² |
| 〃 | 中硬岩用 | 300～ 500kg/cm² |
| デスク形 | 硬岩用 | 500～1,200kg/cm² |
| インサート形（乳頭形） | 超硬岩用 | 1,200～2,000kg/cm² |

表－11　大口径掘削機の運転条件

| 工種 ＼ 掘削方法 ＼ 運転条件 | 口切掘削 | | 単独孔掘削 | | オーバーラップ掘削 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 回転数 rpm | スラスト荷重 ton | 回転数 rpm | スラスト荷重 ton | 回転数 rpm | スラスト荷重 ton |
| 取水口φ1.5m | 1～10 | 0～10 | 5～14（主に10～14） | 10～30 | 5～12 | 10～25 |
| 取水庭φ1.5m | 1～10 | 0～10 | 5～14（主に10～14） | 10～30 | － | － |
| 取水庭φ3.6m | 1～3 | 0～15 | 3～5 | 15～60 | 3～5 | 15～60 |

る。

また，カッターは，その支持方式によりカンチレバー型カッターとサドル型カッターとに分類される。カッタービットの一般的な構成は，カンチレバー型カッターを掘削中心部に「センターカッター」として取付け，サドル型カッターを掘削径により必要数「インナーカッター」および「ゲエジカッター」としてセンターカッターの周囲に配置される。

本工事では，フルフェース（全面）掘削ビットについては，上記のような一般的な配置のものを使用した。一方，オーバーラップ掘削ビットについては，従来の施工経験および本工事の特殊条件（①取水口ラップ掘削のように，すでにフルフェース掘削された孔の間を掘削するため，初期掘削時に喰込みを良くし，最後まで孔を曲げずに掘削する必要があること，②取水庭鋼管建込孔掘削のように初期掘削面が45°傾斜していること，③地層が同じく45°傾斜しているため，初期掘削時に喰付きを良くし，ビットが逃げないようにする必要があること，④取水庭水路掘削のように取水路巾の断面を確保する必要があること，⑤また，掘削方法が片側ラップ掘削のため，開放側に逃げないようにする必要があること）をふまえて，ゲエジカッターにカンチレバー型を用いる特殊なビット構成にした。

また，本工事の岩質はＣＬ級からＣＨ級の岩盤で，岩質の変化が激しく一軸圧縮強度も非常に高い数値を示したため，タングステンカーバイトチップインサート型ローラータイプビットを採用した。

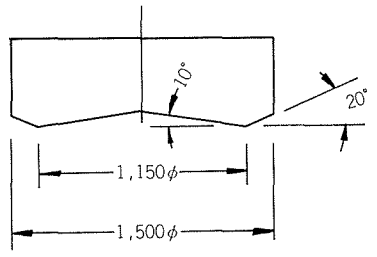
## 11－2　カッタービットの構造，カッター構成，形状

1）φ1.5m用カッタービット

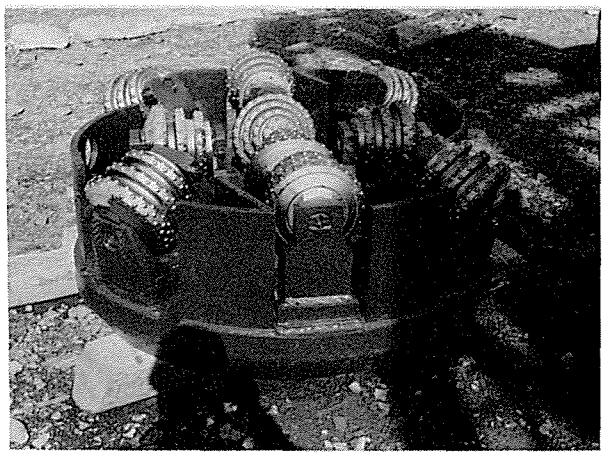
(1)フルフェースビット（**写真－5**）　使用台数5台

カッター構成

| | |
|---|---|
| センターカッター(カンチレバー型) | 2ヶ |
| インナーカッター(サドル型) | 4ヶ |
| ゲエジカッター(〃) | 4ヶ |




カッタービット全断面

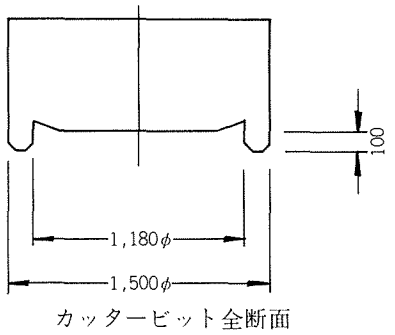


写真－5　フルフェースビット

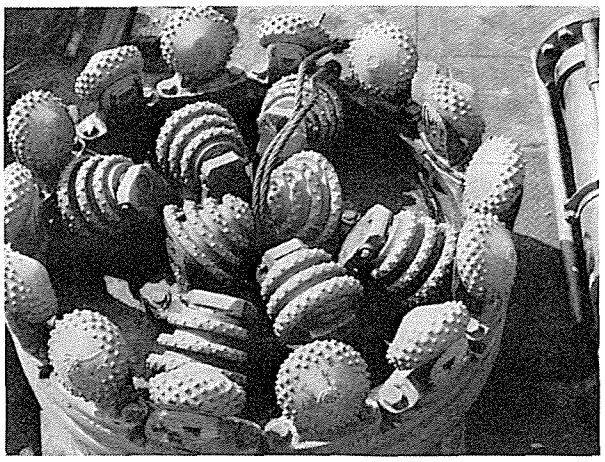
(2)オーバーラップビット（**写真－6**）使用台数4台

カッター構成

| | |
|---|---|
| センターカッター(カンチレバー型) | 2ヶ |
| インナーカッター(サドル型) | 6ヶ |
| ゲエジカッター(カンチレバー型) | 14ヶ |




カッタービット全断面

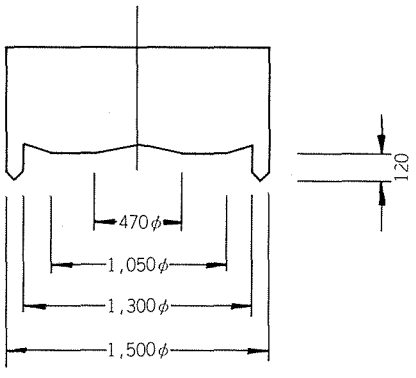


**写真－6**　オーバーラップビット

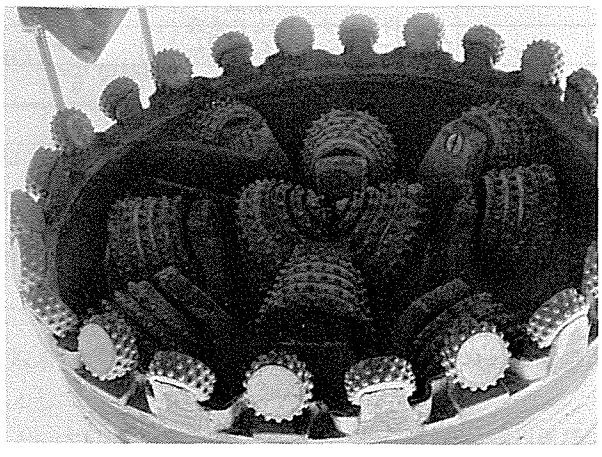
(3)斜面口切オーバーラップビット（**写真－7**）使用台数2台

カッター構成

| | |
|---|---|
| センターカッター(カンチレバー型) | 2ヶ |
| インナーカッター(サ　ド　ル　型) | 8ヶ |
| ゲエジカッター(カンチレバー型) | 24ヶ |




カッタービット全断面

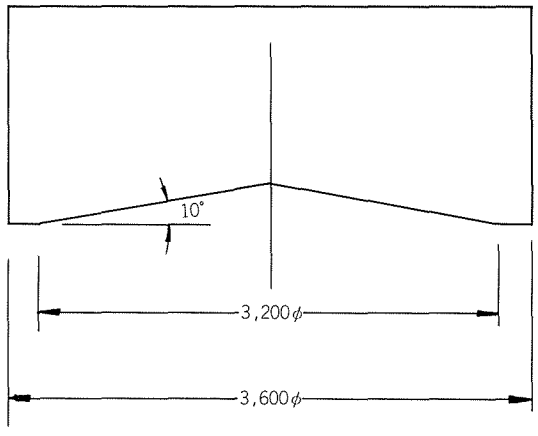


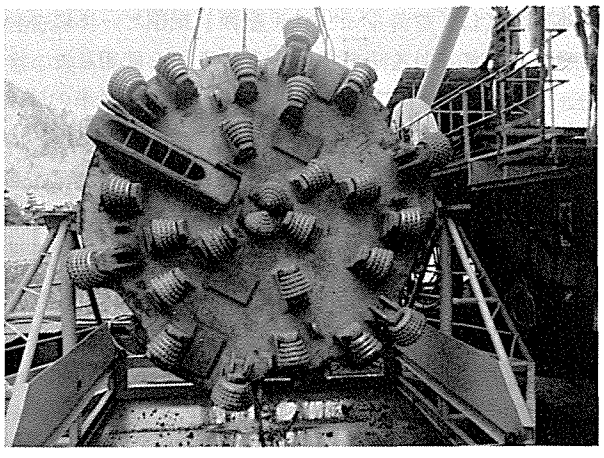
**写真－7**　斜面口切オーバーラップビット

2）φ3.6mカッタービット（**写真－8**）使用台数1台

カッター構成

| | |
|---|---|
| センターカッター(カンチレバー型) | 2ヶ |
| インナーカッター(サ　ド　ル　型) | 18ヶ |
| ゲエジカッター(サ　ド　ル　型) | 6ヶ |



**写真－8**　φ3.6mカッタービット

## §12. 濁水処理設備

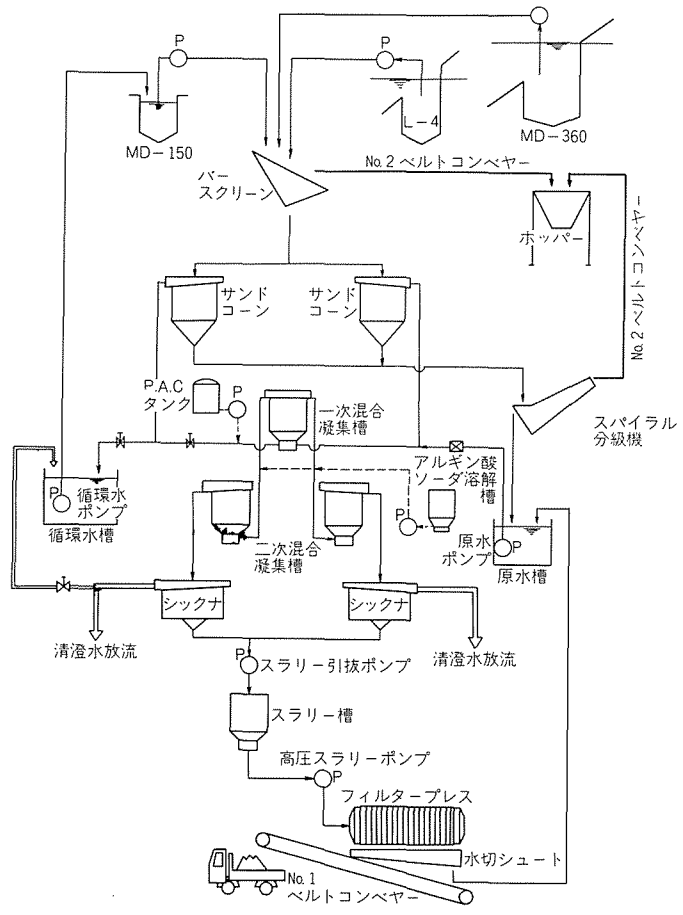
### 12－1　濁水処理設備の放流基準

本工事においては，貯水池の汚濁は勿論のこと，工事廃水による汚濁水の河川流出も，一切禁じられており，工事廃水の放流基準も，ＳＳ濃度70ppm以下という厳しい基準が，絶対条件とされた。

### 12－2　濁水処理設備の概要

本設備は，大口径岩掘削工による汚濁水，およびその他工事による雑廃水汚水による水質公害を完全に防止するための大容量濁水処理設備である。大口径岩掘削から発生する礫は，5㎜以上はバースクリーンにより選別され，0.5㎜～5㎜の礫はクラッシファイヤーにより選別され，ベルトコンベヤにてホッパーにため，ダンプトラックにて搬出する。

0.5㎜以下を含む汚濁水には，凝集剤『アルギン酸ソー




**図－11　濁水処理装置フローシート**

ダー』と『ＰＡＣ』とが添加混合され，シックナー槽内でスラリーを沈降濃縮し，清澄水とスラリーとを分離させる。このスラリーは，フイルタープレスにて脱水し，搬出しやすいケーキ状として，場外に搬出する。

本設備のフロシートは**図－11**のとおりである。

### 12－3　使用実績

1）濁水発生源水量及び期間

| 工種及機種 | 発生水量 | 期間 S51 4 5 6 7 8 9 10 11 12 S52 1 2 3 4 5 6 7 8 ..... S53 11 |
|---|---|---|
| 1 取水口<br>ＭＤ-150×２台 | 720m³/H | |
| 2 取水庭<br>(1)ＭＤ-150×２台 | 720m³/H | |
| (2)Ｌ-4　×２台 | 720m³/H | |
| (3)ＭＤ-150×１台 | 360m³/H | |
| 3 取水庭<br>ＭＤ-360×１台 | 720m³/H | |
| 濁水発生数量 | | 720m³/H　1,440m³/H　1,080m³/H　720m³/H |
| 清澄水放流水量 | | 138m³/H　720m³/H　1,080m³/H　720m³/H |
| 期　間 | | A 期 間　B 期 間　C 期 間　D 期 間 |

2）ＳＳ分粒度構成及び量

| 粒　径 | A 期 間 | | B 期 間 | | C 期 間 | | D 期 間 | | 備　考 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 比率 | 量 | 比率 | 量 | 比率 | 量 | 比率 | 量 | |
| 5㎜オーバー | 65.4% | 2.26t/H | 58.7% | 2.82t/H | 59.1% | 2.10t/H | 70.7% | 2.07t/H | バースクリーン選別 |
| 5㎜～0.5㎜ | 20.8% | 0.72t/H | 18.5% | 0.89t/H | 18.7% | 0.66t/H | 17.0% | 0.50t/H | 分級機選別 |
| 0.5㎜アンダー | 13.8% | 0.47t/H | 22.8% | 1.09t/H | 22.2% | 0.79t/H | 12.3% | 0.36t/H | フィルタープレス選別 |
| 合　計 | 100 % | 3.45t/H | 100 % | 4.80t/H | 100 % | 3.55t/H | 100 % | 2.93t/H | |

3）原水ＳＳ　　最大2,000ppm

4）浄化水濁度　　最大51.6ppm

5）ＰＨ　　ＰＨ 6.5～8.5

## §13. あとがき

本工事で採用された大口径ボーリングマシンによる岩掘削工事に関しては，過去に実績がなく，不確定要素が多く，問題点が多々あったが，無事計画通りの掘削を終了し得た。これは，企業先の東京都水道局の関係各位はじめ，掘削機メーカである三菱重工㈱，石川島播磨重工㈱，実際の施工に当った帝石鑿井工業㈱，及び本社・関東支店機械課，本社土木設計部の関係各位の御指導，御努力の賜ものであり，改めて感謝する次第である。

本工事の実績より，かなり高度な大口径岩掘削が可能であることが実証され，今後，無振動，無騒音の本工法が種々の分野に採用され，発展していくことを期待しつつ，本稿を終えることにする。

**参考文献**


1）東京都水道局　：小河内ダム（工事誌）昭和35年６月

2）千田昌平　：大口径掘削に関する研究
建設省土木研究所彙報　28号（昭和47年12月）

3）沢田茂良　：大口径孔掘削コストについて
建設の機械化　第205号

4）石川島播磨重工業：IHI—WIRTH　L形ボーリングマシン取扱い説明書

5）E.A.Morlan　：Design Large Diameter Hollе Drilling Programs World Oil, Apr.,1962

6）笠井哲夫　：ロータリービットの削孔性能に関する一実験
土木技術資料14－２（昭和48年）

7）金子利輔
松沢哲夫　：小河内ダムの新放流設備について（大口径ボーリングマシンによる貯水池取水施設の施工法について）
第19回発電水力講習会