

《実用講座》

爆 破 5

若 園 吉 一*
佐 藤 忠 五 郎**

3. 大規模掘削の施工方法

3.1 はしがき

爆破の実施はケース バイ ケースで、多種多様にわたり、すべての場合を網らして詳述することは困難であるから、本章においてはできるだけ大規模の爆破についてトンネル掘削、明り掘削、水中掘削と大別して述べることにする。このうち明り掘削についてはさらにグローリーホール、ベンチカット、長孔発破、坑道発破、放射状せん孔発破に区分し、最後にこれらの総合的工法の組合わせを述べてみたい。いずれの場合もできるかぎり実施例か計画例を用いて施工法の概要を述べるものとする。

3.2 トンネル掘削

トンネル掘削も各種の場合が考えられるが、ここでは比較的大きな断面のトンネル掘削を対称として最近施工されている各種工法すなわち全断面掘削、上半断面掘削一下部ベンチカット掘削、底設導坑一上半断面掘削、両側壁導坑一切拡げ掘削についてそれぞれ記述する。

3.2.1 全断面掘削

トンネルの掘削方法としては最も望ましいが、わが国の地質は堅硬な岩質の箇所が少なく、あまり大きな掘削断面では実施困難な場合が多い。比較的利用されやすいと考えられるのはつぎに述べる(a)の場合であろう。

(a) トラック搭載の簡易ジャンボーによる掘削 ダムの仮排水トンネルのようにトンネル延長が短く、時にはカーブ部分をふくみ、また勾配が急であっても比較的岩質が良好であれば全断面掘削が可能であって、**図-3.1**に示すものは川俣ダムの仮排水トンネルの例⁹⁾である。

トンネル延長 387.2 m
岩 質 石英粗面岩質凝灰岩
掘削断面積 22.7 m²
(仕上り内径 4.5 m 標準馬てい形)

* 正員 工博 京都大学工学部

** 正員 工博 鹿島建設 KK

図-3.1 (a) 川俣ダム放水路トンネル トラック搭載の簡易ジャンボー図

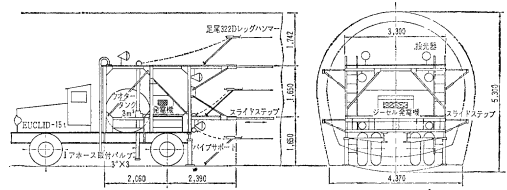
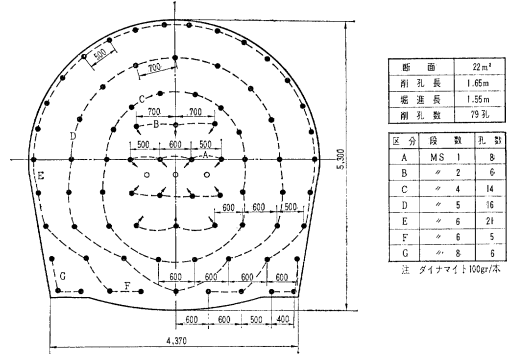


図-3.1 (b) 川俣ダム放水路トンネル全断面掘削せん孔配置図



コンクリート巻厚 インパルト 0.5 m
その他 0.3 m
勾 配 1/64.5

ジャンボーは 15 t トラックに上,中 2 段のレッグ デッキを架装し(ウォーター タンクは 3 m³ のものを搭載した), 削岩機は足尾 322D を各デッキに 3 台ずつ 9 台を用い, ビット径 36~38 mm を使用した。ずり積機はアイムコ 104 を用いずり運搬は 7.5 t ダンプターにより捨場まで運搬した。掘削はもちろん下口より行なったがずり出しのために積込み, 運搬とも ディーゼル エンジンのものを使用したので, 坑内の排気用にエアー駆動局部扇風機(風管 φ50 cm) を 70 m ごとに 1 m の間隔で切断して設置すると同時に, 上口より通気用として頂設導坑で約 110 m 迎え掘りを行なった。ジャック ハンマーによる掘削であるため掘削断面積 22.7 m² に対して 75~83 孔のせん孔を行ない, 一発破 1.6~1.7 m の掘進で日進 5 m の進行をみた。爆薬は“3号竹ダイナマイト”(NG. 16~20%)を使用した。支保工は後普請で V 型鋼(20 kg 型)を用い, コンクリート巻立は掘削終了後施工した。最近の例では, ずり積機としてアイムコ 105 あるいはさらに小型のクローラー型のもの(例えば GS-5)にトラックに積み込むため, 中間コンベヤーを併用している例が多い。

(b) ジャンボーによる掘削 トンネル延長が長大で進行を急ぐために全断面掘削を行なう必要がある場合には, 坑内の排気ガスの観点から一般にはエンジンつきのずり積機とずり運搬用トラックはあまり適当ではなく, 大型のずり積機として, コンウエイ 100 (電気ショベ

図-3.2 (a) 国鉄複線トンネル全断面掘削
ジャンボー正面図

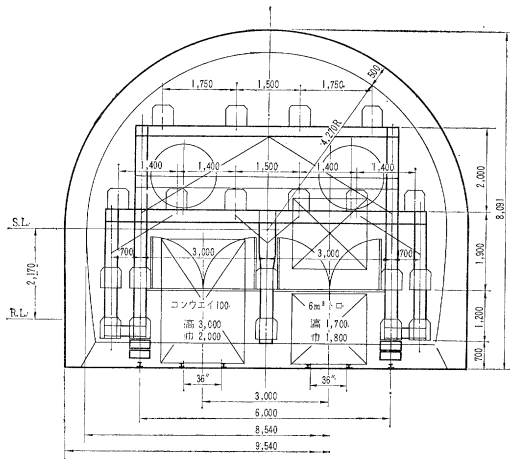


図-3.2 (b) 国鉄複線トンネル全断面掘削
ジャンボー側面図

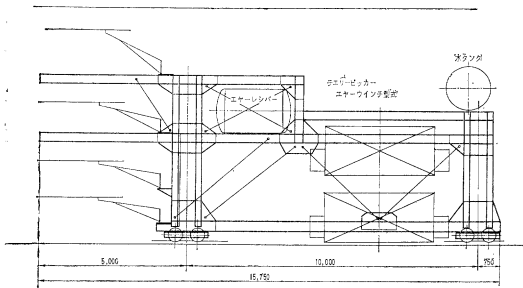
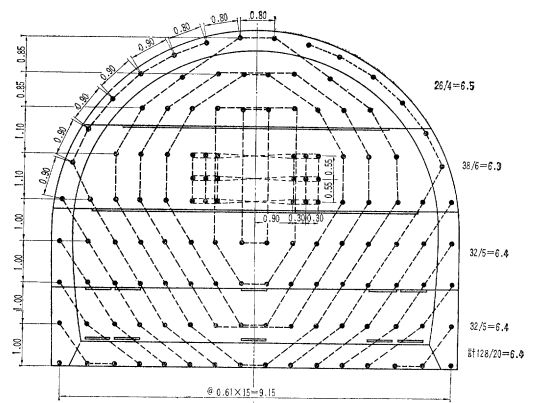


図-3.2 (c) 国鉄複線トンネル全断面掘削
せん孔配置図



断面	88.5m ²
削孔長	2.70m
掘進長	2.50m
削孔数	128孔

区分	段数	孔数	区分	段数	孔数
A	1	6	H	8	12
B	2	6	I	9	22
C	3	6	J	10	10
D	4	4	K	11	8
E	5	5	L	12	6
F	6	14	M	13	6
G	7	14	N	14	2

図-3.3 (a) 国鉄単線トンネル全断面掘削
ジャンボー正面図

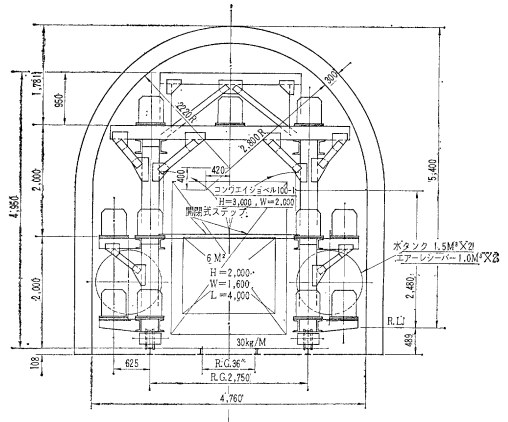
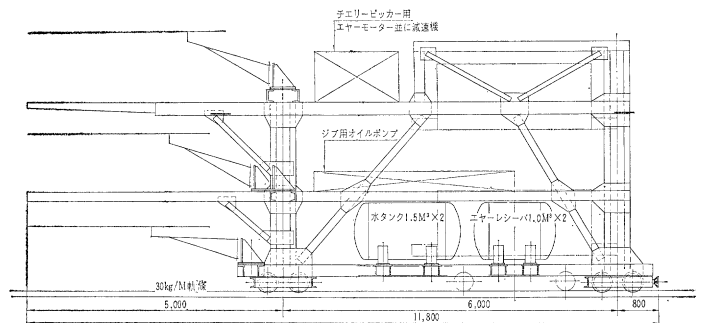


図-3.3 (b) 国鉄単線トンネル全断面掘削ジャンボー側面図

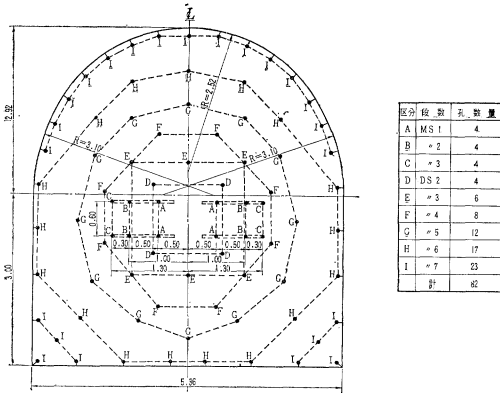


る), ずり運搬用には 6m³ ずりトロ (10t 以上の蓄電池機関車によってけん引される) が使われている。国鉄の複線トンネル (68m²) と単線トンネル (30m²) の計画例を 図-3.2 と 図-3.3 に示す。前者は 20 ブーム (ドリフター ASD-35D×20 台) でコンウエイ100 ずり積機 2 台を並列に使用し, 後者は 11 ブーム (ドリフター ASD-35D×11 台), コンウエイ 100 ずり積機 1 台を使用するものである。いずれの場合もジャンボーにチェリピーカーを装備してずりトロの入れかえを行なうようになっている。

3.2.2 上部半断面掘削—下部ベンチカット掘削

全断面掘削で一度に掘削するには地質的に不安があるような, 堅硬でない岩質の場合に, 上部半断面を先進して掘削し引き続き掘削に若干遅れてこの部分を捨巻きあるいは逆巻きしてコンクリート覆工を行ない, トンネルの上部を固めたのちトンネル下部をベンチカット工法で掘削し, 下部の掘削終了後捨巻きコンクリートの場合には本巻きコンクリートを, ま

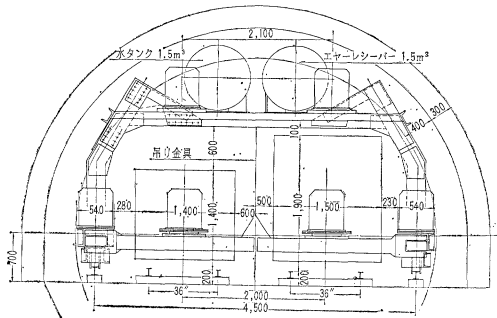
図一3.3 (c) 国鉄単線トンネル全断面掘削せん孔配置図



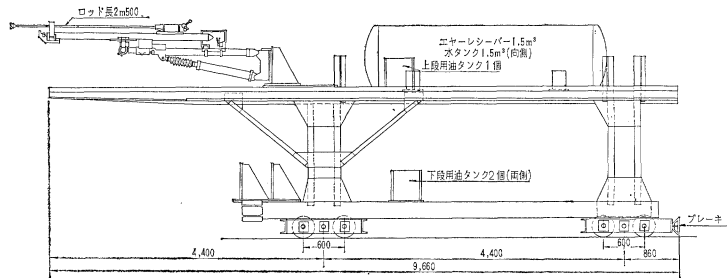
た逆巻きコンクリートの場合は側壁コンクリートを打設する方法である。この工法の特徴は、

- ① 堅硬でない岩質でも上部半断面掘削に大型機械を使用でき、作業がふくそうしないから安全作業ができる。
 - ② 鋼製支保工は、上部半断面部分のみ使用すればよく、また導坑掘削の費用がかからない。
 - ③ 下部掘削のベンチカットは大型機械の使用が可能であって、せん孔とずり出しが同時に実施できる。
 - ④ 全体としての工事費が安くなる。
- などの利点があるが、反面欠点としては、

図一3.4 (a) 畑雑第二発電所水路トンネル上部半断面掘削ジャンパー正面図



図一3.4 (b) 畑雑第二発電所水路トンネル上部半断面掘削ジャンパー側面図



① 作業正面が1ヵ所に限られているため、不良地質部分の延長が長くなった場合進行が進まず工期に影響する。

② 上部半断面の掘削とコンクリート巻立てが終了したあとでないと下部半断面の掘削とコンクリート巻立てにかかれない。

③ 小断面の導坑を先進させるのにくらべて地質を早期に判断しえない。などの欠点がある。

(a) 水路トンネルの半断面掘削 図一3.4 に示すものは畑雑第二発電所の3号水路トンネルの例である。

トンネル延長：2840 mのうち

下口 1420 m (別に横坑 300 m)

岩 質：砂岩と粘板岩の互層 (地質はあまり良好でなく、厚 0.3 m の捨巻きコンクリートの設計である)

掘削断面積：33 m² (上部半断面 22 m² と下部ベンチカット 11 m² に区分して掘削)

図一3.4 (c) 畑雑第二発電所水路トンネル上部半断面掘削せん孔配置図

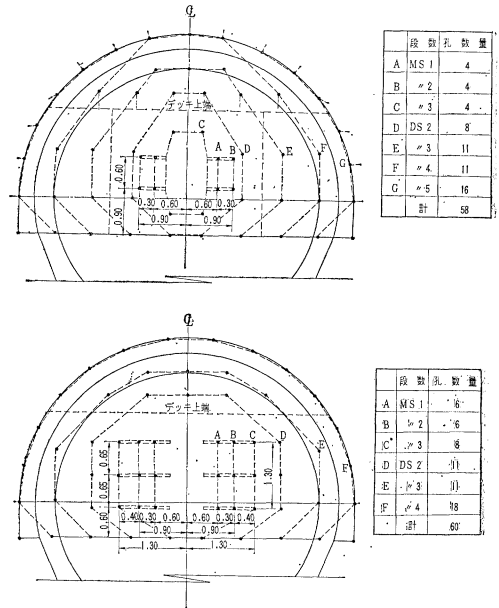
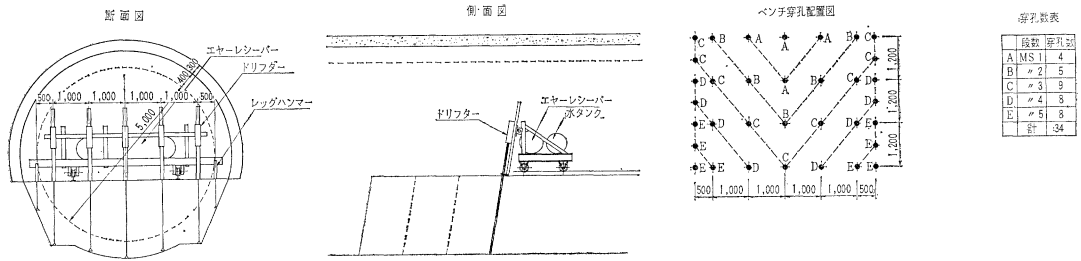


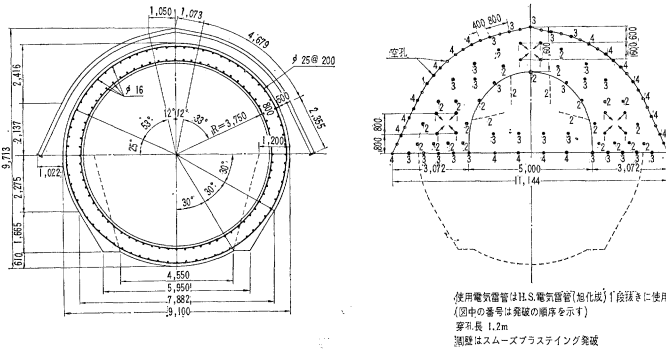
図-3.4 (d) 畑窪第二発電所水路トンネル下部ベンチカット図



穿孔数表

段数	穿孔数
A	MS1 4
B	2 5
C	3 3
D	4 3
E	5 8
計	34

図-3.5 城山地下発電所放水水路トンネル断面および上部半断面リング掘り概略図



水路は仕上り内径 5m の真円でコンクリート巻厚 0.4m
 勾配: 1/1000
 22m² の上部半断面掘削には 6 本ムのジャンパーを使用し、削岩機は ASD-35D ドリフター 6 台を用い、ビット径は 42~46mm である。爆薬は“けやき”(NG 28~33%) を使用し一発破の進行 2m、日進 6~8m で、月間進行は 180~250m 程度である。ずり積機は RS-85 ロダー 2 台を併用し、8t 蓄電池機関車と 3m³ずりトロにてずり運搬を行なった。ただ断面の高さが低い関係でチェリーピッカーの使用ができなかったため、ずりトロの入れかえはポイントを使用したのであまり能率的ではなかった。支保工は後普請で 2 ピースの V 型鋼 (20

kg 型) を 1.2~1.5m 間隔で使用している。掘削の切羽より約 200~250m 遅れてスライディングフォームとコンクリートポンプで捨巻きコンクリートを打設し、

図-3.6 (b) 新生駒トンネル上部半断面掘削ジャンパー正面図

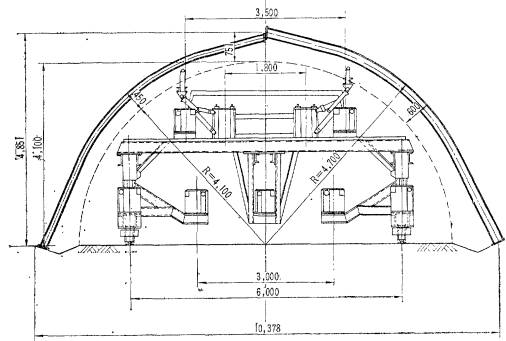


図-3.6 (a) 新生駒トンネル断面図

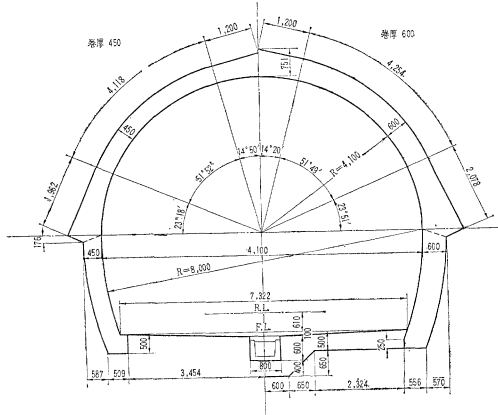


図-3.6 (c) 新生駒トンネル上部半断面掘削ジャンパー側面図

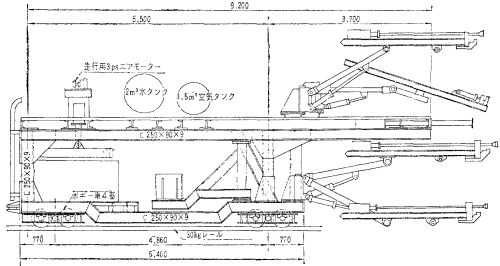
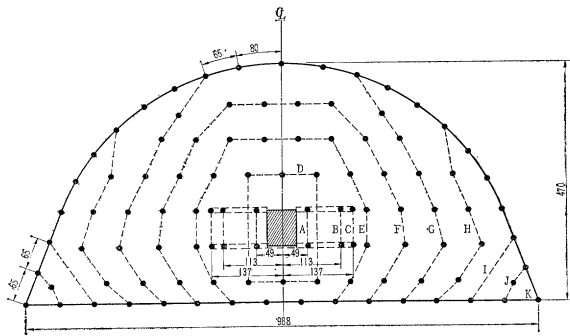


図-3.6 (d) 新生駒トンネル上部半断面掘削せん孔配置図



断面	36.054m ²
削孔長	3.00m
掘進長	2.80m
削孔数	103孔

区分	段数	孔数
A	MS 1	4
B	〃 2	4
C	〃 3	4
D	〃 4	6
E	DS 2	16
F	〃 3	16
G	〃 4	19
H	〃 5	16
I	〃 6	10
J	〃 7	6
K	〃 8	2

注: ダイナマイト 100gr/本

トンネル全線の捨巻きコンクリートを終了後下部ベンチカットを行なった。ベンチカットは簡易ジャンボに ASD-35D ドリフター 5 台を下向けに装備し、その両端に ASD-322D ジャックハンマー 1 台あて計 2 台を備えて 図-3.4 に示すように列の間隔 1.2m で各列ごとに同時にせん孔を行ない、4~6 列を同時に爆破した。この際ずり積機 2 台は一段下の本巻きコンクリートの施工基面におりているので、せん孔とずり積みはほとんど無関係に実施でき、下部ベンチカット 11m² の掘削は日進 20~30m、月間進行 450~600m であった。

地質がさらに不良で上部半断面を一度に掘削できないときは、リング掘りを行なってとりあえず支保工を建て込み、山を押えたのち残した凸部を掘削する。図-3.5 に示すのは城山地下発電所の放水路掘削の上部半断面をリング掘りした例である。放水路は延長 970m、地質は粘板岩で仕上り内径 7.5m の真円 (巻厚 0.80m) で掘削断面積約 74m² のうち上部半断面 41m² のリング部分 17m² を、まず 図示のごとくリング掘りを行ない、支保工として 200mm H 鋼を 1~1.2m 間隔に建て込み、その後中央に残した凸部を掘削している。ただし凸部は常時 5m は残してリング掘りを先進せしめた。削岩機は ASD-322D、爆薬は硝安爆薬を用いている。ずり積機としてはクローラー型 GS-5 を使用し、中間コンベアを使って 2t ディーゼルトラックでずり運搬を行なった。月間の進行は 120m 程度である。掘進にともなってスライディングフォームとプレーサーにより捨巻きコンクリート (厚さ 0.50m) を施工し、捨巻き

コンクリートの終了後ベンチカットにて下部を掘削し本巻きコンクリートを施工する。

上部半断面掘削では、地質不良で掘削断面を一度に掘削できない場合はジャンボの使用は不可能で、上述のようにリング掘りを行なって地質不良箇所を通過し、ジャンボを前進せしめて良好な地質箇所に至りさらにジャンボを使用する例が多い。

(b) 鉄道トンネルの半断面掘削

図-3.6 は近鉄新生駒トンネルの例で

ある。

トンネル延長: 3484m のうち生駒側 1742m

岩 質: 黒雲母カコウ岩と斑れい岩

掘削断面積: 64~67m² (上部半断面 33~36m² と下部ベンチカット 21m²、側壁 10m² に区分して掘削)

勾 配: 3/1000

上部半断面掘削用のジャンボは 図-3.6 に示すようにチェリーピッカーを装備した 9 boom のもので ASD-35D ドリフター 9 台をのせ標準せん孔数 103 孔である。一発破の進行 2.6~2.7m で日進 6~8m、月間の掘進 150~200m である。爆薬は“えのき”(NG 22~26%) を使用している。ずり積機は RS-85 ローダー 2 台を併用し、8t 蓄電池機関車と 3m³ ずりトロおよびバ

図-3.7 (a) 蒲原トンネル断面図

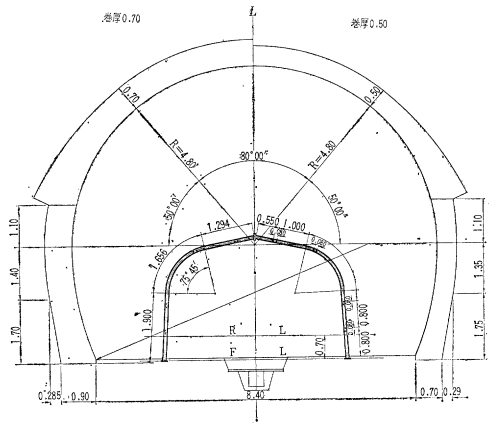


図-3.7 (b) 蒲原トンネル掘削順序図

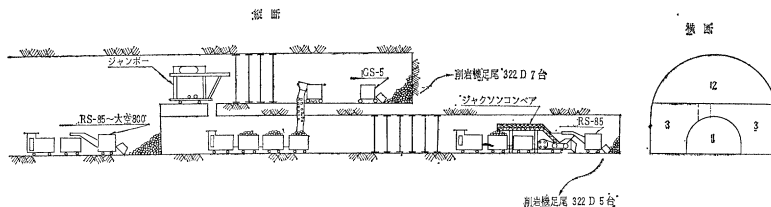


図-3.7 (c) 蒲原トンネル上部半断面掘削
簡易ジャンボ図

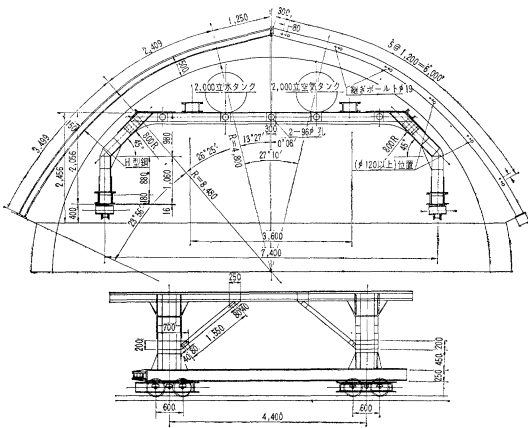


図-3.7 (d) 蒲原トンネル底設導坑、上部半断面
せん孔配置図

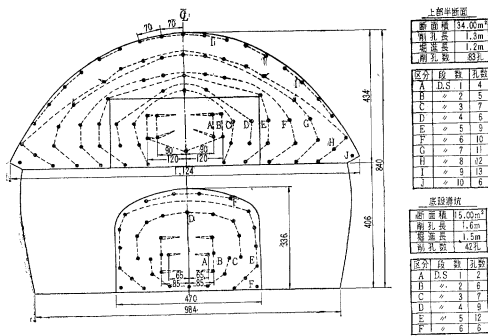
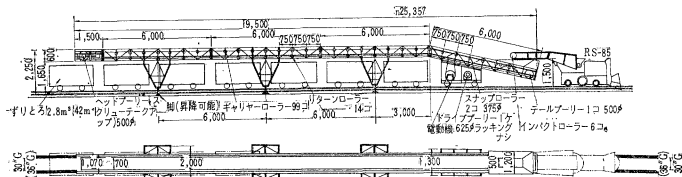


図-3.7 (e) ジャクソン コンベアー概略図



ンカートレーン (20 m³) を用いている。この場合のコンクリート巻立ては切羽より約 250 m 程度おくれてスライディングフォームとコンクリートポンプを用いて巻厚 0.45~0.60 m で逆巻きを行なっている。下部ベンチカットに関しては畑畑の水路トンネルと同じ考えで実施する予定である。

3.2.3 底設導坑—上部半断面掘削

この掘削工法はまず底設導坑を先進し、ついで底設導坑に若干おくれて上部半断面を掘削し、上部半断面の掘削ずりは底設導坑に落ちて運搬する。上部半断面は 3.2.2 の場合と同様に掘削にともなってスライディングフォームとコンクリートポンプで逆巻きコンクリートを施工し、さらに上部半断面の逆巻きコンクリートの終了

した部分から側壁をかえし、抜掘りしながら側壁コンクリートを仕上げてゆくものである。この工法の利点は、

- ① 先進底設導坑を掘るため地質を早く知りうる。
- ② 底設導坑が進行すればどこからでも上部半断面に切り上げられる。また同時に側壁の掘削もできるから、作業正面が多くとれ工程に対する安全度が高い。

③ コンクリート作業はアーチ部と側壁を平行して打設できるので能率的である。

などの利点がある。この反面欠点としては、

- ① 導坑掘削の費用がかかる。
- ② 作業がふくそうし作業能率が悪い。
- ③ 支保工材、アーチコンクリートなどは底設導坑より運び上げねばならないので能率が悪い。
- ④ 全体として工事費は高くなる。

などの欠点がある。

図-3.7 に示すのは国鉄新幹線蒲原トンネルを施工した例である。

トンネル延長：4880 m のうち東口 2550 m

岩質：岩淵安山岩と蒲原礫岩

掘削断面積：78 m² (底設導坑 15 m², 上部半断面 34 m², 側壁片側 9.6 m² に分けて掘削)

コンクリート巻厚：0.50 m あるいは 0.70 m

勾配：3/1000

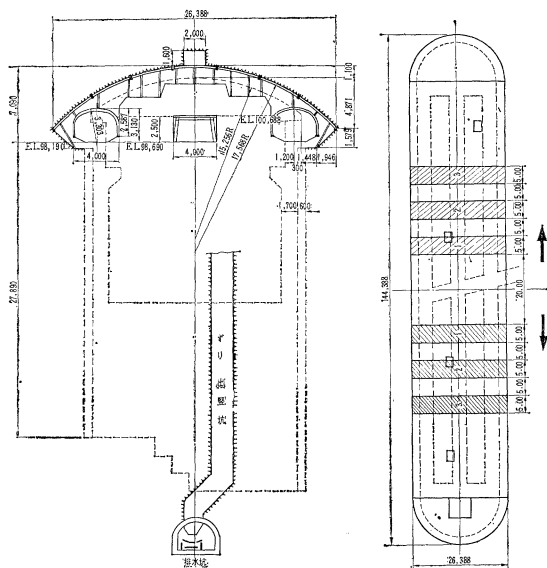
まず 4.70 m×3.00 m の複線の底設導坑を掘削する。導坑の切羽は単線で標準せん孔数 42 孔、削岩機は ASD-322D 4 台を用い、一発破の掘進 1.5 m である。ずり積機は RS-85 を 1 台使用し、ずりトロ (1 列車 6 台) の入れかえをなくして能率をあげるため図示のようなジャクソンコンベアーを用いた。ジャクソンコンベアーは軟岩の積込みには非常に有効であるが、硬岩にはベルトの損傷がいちじるしい。ずりトロは 3 m³, 8 t 蓄電池機関車を使用した (上部半断面掘削あるいは側壁掘削には 8 t ディーゼル機関車も併用した)。底設導坑の支保工は 120 mm または 140 mm I 型钢を用いた。爆薬は“けやき” (NG 28~33%) を使用し月間の掘進は平均 250 m 程度である。

底設導坑の進行にともない若干おくれて導坑より切り上げて上部半断面掘削を行なうのであるが、図示のような簡易ジャンボにより削岩機 ASD-322D 10 台を用い、標準せん孔数 83 孔にて一発破の掘進 1.2 m で月間の進行は簡易ジャンボ使用箇所では 120 m 程度である。支保工は後普請で 150~200 mm H 鋼を 1.2~1.5 m 間隔に使用した。しかし底設導坑の進捗にともなって上部半断面の切り上げ箇所を増せば進行はさらに増加する。このさい掘削されたずりは、クローラー型ずり積機 GS-5×2 台により底設導坑のずりトロに積込まれて運

表-3.1 支保工材の一覧表

メーカー	H 形 鋼								V 形 鋼							
	寸 法 mm	単位重量 kg/m	断面 2 次モーメント		断面係数		断面 2 次半径		寸 法 mm	単位重量 kg/m	断面 2 次モーメント		断面係数		断面 2 次半径	
			I_x cm ⁴	I_y cm ⁴	Z_x cm ³	Z_y cm ³	i_x cm	i_y cm			I_x cm ⁴	I_y cm ⁴	Z_x cm ³	Z_y cm ³	i_x cm	i_y cm
川崎製鉄 K	100×100×5×7	14.8	339	117	67.8	23.4	4.24	2.49	(VB 12) 111×83	12.0	127	153	29.9	27.5	2.9	3.2
	100×100×6×8	17.2	383	134	76.5	26.7	4.18	2.47	(VB 20) 117×97	20.0	274	331	52.9	56.6	3.3	3.6
	125×125×5×7	18.5	683	228	109	36.5	5.38	3.11	(MU 21) 113×102	21.0	302.0	328.5	59.5	58.6	3.36	3.50
	125×125×6.5×9	23.8	847	294	136	47.0	5.29	3.11	(VB 24) 123×99	24.2	326	426	65.2	69.3	3.3	3.8
	150×150×7×10	31.5	1 640	563	219	75.1	6.39	3.75	(MU 29) 133×120	29.0	581.0	634.0	97.4	95.8	3.96	4.14
K	175×175×7.5×11	40.2	2 880	984	330	112	7.50	4.38	(VB 30) 151×140	30.0	892	703	127.4	93.1	4.8	4.3
	200×200×8×12	49.9	4 720	1 600	472	160	8.62	5.02								
日本鋼管 K	100×100×6×8.5	17.6	389.6	123.8	77.9	24.8	4.17	2.35	(VB 12) 111×83	12.0	127	153	29.9	27.5	2.9	3.2
	125×125×6.5×9.5	24.3	862.3	266.6	138	42.6	5.28	2.93	(VB 20) 117×97	20.0	274	331	52.9	56.6	3.3	3.6
	150×150×7×10.5	32.0	1661.0	503.3	222	67.1	6.38	3.51	(VB 24) 123×99	24.2	326	426	65.2	69.3	3.3	3.8
八幡製鉄 K	100×100×6×8	17.2	383	134	76.5	26.7	4.18	2.47	(MU 21) 113×102	21.0	302.0	328.5	59.5	58.6	3.36	3.50
	125×125×6.5×9	23.8	847	294	136	47.0	5.29	3.11	(MU 29) 133×120	29.0	581.0	634.0	97.4	95.8	3.96	4.14
	150×150×7×10	31.5	1 640	563	219	75.1	6.39	3.75								
	175×175×7.5×11	40.2	2 880	984	330	112	7.50	4.38								
	200×200×8×12	49.9	4 720	1 600	472	160	8.62	5.02								
K	250×250×9×14	72.4	10 800	3 650	867	292	10.8	6.29								

図-3.8 城山地下発電所掘削概略図



搬される。なお半断面掘削部の逆巻きコンクリートはスライディングフォームと底設導坑に位置するコンクリートポンプで、上部半断面の進行にともない、後を追って打設される。逆巻きのアーチコンクリートの打設終了した部分から他の部分の掘削と平行して側壁の掘削を行ない、さらにアーチコンクリートの下部を掘削して側壁コンクリートを打設する。ただし一般には坑口付近は地質が悪い場合が多く、上部半断面掘削を一度に行なうことができないので、底設導坑より切り上って木製支保工を用いて切り抜け、鋼製支保工に盛りかえて鋼製セントルを使用してコンクリート巻立てを行なう場合

が多い。また地質が適当であれば底設導坑と上部半断面掘削をジャンボを用いて同時に掘削した例もある。国鉄新幹線牧之原トンネルの施工例であって、この場合ずり積機はコンウェイ100型1台を使用している。

3.2.4 両側壁導坑一切抜け掘削

地質の不良な場合は、まず両側壁導坑を掘削し、ついで小断面にてアーチ部を木製支保工にて山を押えながら切り抜け、切り抜け完了後、鋼製支保工に盛りかえ、最後に中央部分の掘削を行なう。

図-3.8は、城山地下発電所の例である。城山地下発電所は70000KVA4台の発電機を有する揚水式発電所で、延長144m、掘削断面積は図示のとおりであって岩質は粘板岩(一部砂岩)である。この場合の掘削は初めに発電所のアーチ部分の掘削とコンクリート巻立てを行なうため、図のようにアーチ部分の両側壁導坑と頂設導坑を掘削し、アーチ部を小断面にて木製支保工にて切り抜け、鋼製支保工200mmH鋼(7ピース)に盛りかえ、引続きこの部分を鋼製セントルを用いて頂設導坑よりコンクリートポンプを使用して巻立てを行なった。この場合、側壁導坑よりアーチ部の掘削は幅5mごとの掘削を行なっている。また作業の必要上底設導坑も同時に掘削している。

アーチ部分のコンクリート巻立てが終了後、発電所の掘削は地質不良のため側壁を特殊ボルティングで押えながら高さ3mごとの低いベンチカットで4カ所に設けた2m×3mの立坑にブルドーザー(D-50×2台)にてずりを落とし幅900mmベルトコンベアーによって坑外に搬出する。

図-3.9 (a) グローリホール式原石採取計画一般図

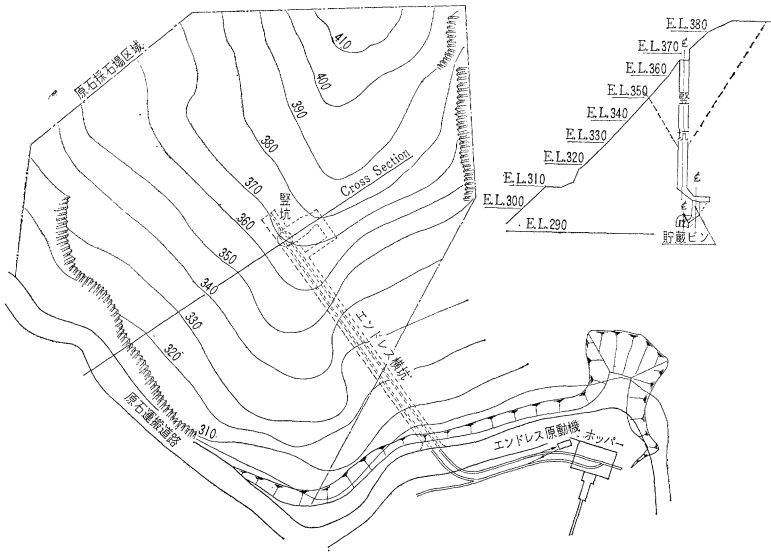
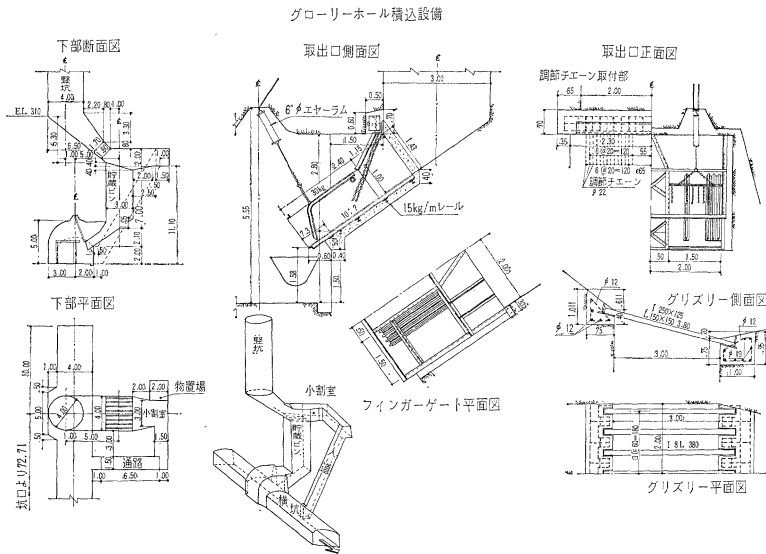


図-3.9 (b) グローリホール積込詳細設備図



以上トンネル掘削の施工法の概要を述べたものであるが、トンネル掘削に要する爆薬使用量は掘削断面積、岩質などによっていちじるしく相違する。すなわち全断面掘削、半断面掘削の場合には $1.2 \sim 1.5 \text{ kg/m}^3$ 程度を標準とし、導坑掘削ではさらに増加し、側壁掘削では少なくなる。なお、現在使用されている鋼製支保工は表-3.1 に示す。

3.3 グローリー ホール

原石採取に際して山頂部に掘削した原石を立坑を利用して貯蔵ビンに落下せしめて採取する工法で、石灰山で多く用いられている。この工法の特徴は重力を利用して

掘削した原石を貯蔵ビンに集めているので、貯蔵ビンまでの運搬費が不要であり、また掘削にあたって大型の機械設備を必要としない利点がある。しかしこの反面掘削を行なう場所が急斜面となって作業上危険をとめない、また大型の掘削用機械を用いないので短期間に大量の掘削を行なうことができないなどの欠点がある。土木工事に適用される場合は交通量の相当ある道路に隣接した山の掘削で道路上に崩壊せしめることができない場合、また月間の掘削量 $10,000 \text{ m}^3$ 程度の規模に用いられることが多い。

図-3.9 は長安口ダムの原石採取の例である。図示のように原石山の高さは約 100 m で中央部に直径 4 m 、高さ約 70 m の立坑を設け、立坑の頂部より掘削した原石が立坑内に落下するように、 60 度程度の急傾斜に TY-24 ジャックハンマーを使用して掘削を行なった。立坑と貯蔵ビンとの間に 600 mm 目のグリズリーとこれに隣接する小割室を設け、大塊は小割室で小割りを行ない 600 mm 以下として貯蔵ビンに貯える。貯蔵ビン下部の引出口には調節用チェーンとフィンガーゲート (30 kg レール製、6 インチエアラムにて操作する) を設け運搬

用ずりトロに供給した。横坑の断面を大きくすればダンプトラックによる運搬も可能である。このさい注意せねばならないことは、掘削した原石が大塊で立坑内でアーチアクションにより自然落下しなくなることがある。この場合は立坑内で爆破による振動をあたえて処理する必要を生ずる。したがって山頂の原石掘削のさい、せん孔間隔を調節して大塊を生じないような掘削を行なうべきである。

参考文献

- 8) 津垣昭夫・吉田正次郎・内田清一：“簡易自走式レッグジャンボによるトンネル全断面掘削施工について”，鹿島建設第9回技術研究報告，昭和36年11月

(文責 佐藤忠五郎)