

# 大清水トンネル・万太郎谷工区の全断面工法について

日本鉄道建設公団・新潟新幹線建設局・湯沢鉄道建設所 正会員 下河内 稔

## 1. 工事の概要

### (1) 大清水トンネル

上越新幹線は群馬県と新潟県との山岳や丘陵地帯を通るために、数多くの長大トンネルを持つてゐる。このトンネルの断面形は、軟弱地盤や膨圧地質を除いて、F.L.上に約63坪の内容定を持つところの図-1に示す馬蹄形である。

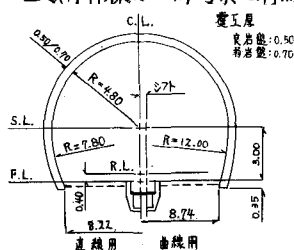


図-1 上越新幹線ずい道の標準断面(単位: m)

大清水トンネルは、それらの一つであつて、群馬県水上から新潟県湯沢までの間、約22.2kmの延長を持つ山岳トンネルである。このトンネルの概要は、図-2に示すものである。大清水トンネルは、急峻な三国山脈の下を通るので、その延長の6%が土被り1000m以上、また35%が土被り500m以上となつてゐる。

この地質は、内緑岩や玄武岩が主体となつており、その他に超基性岩や変成岩類もある。これらからなる岩盤は、大きな間隔の亀裂を含むが、一般に堅硬である。しかし、忽々に断層や貫入岩脈などによる緑泥化あるいは、礫砂化された部分が含まれてゐるので、ここでは、掘るうちに、膨圧あるいは崩落する性質を持つてゐる。新清水トンネルの掘進において経験した山ハネ現象は、大清水トンネルの掘進においても発生することが予想された。それは、土被りが1000m以上となる保登野沢と万太郎谷との工区境付近の1.5kmの区間と考えられた。

### (2) 万太郎谷工区

万太郎谷工区においては、斜坑底から大宮方向に約4.1kmと新潟方向に約0.7kmを、仮設導坑先進上平切工法により掘進する予定であつた。ここは、表-1に示す性質を持つ石英内緑岩からなる岩盤と推定された。掘るく断面積を約20m<sup>2</sup>とする斜坑では、約800mを全断面掘るくすることゝでき、若んど支保工を用いずに、吹付コンクリートによる厚210cmの覆工で保持することができた。この実績と地質推定とから、本坑での全断面掘るく工法についての検討を行い、大宮方向の4kmに亘り、この工法で掘進することにした。

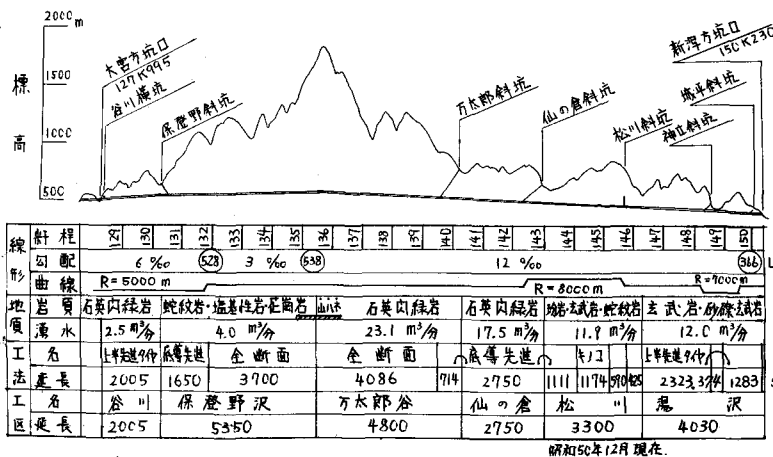


図-2 大清水ずい道・縦断、工区および工法

昭和50年12月現在

表-1 大清水ずい道における石英内緑岩の性質

| 項目 | 弾性波速度 m/秒 |      | 比重   | 動弾性係数 10 <sup>8</sup> kg/cm <sup>2</sup> | 強度 kg/cm <sup>2</sup> |      |
|----|-----------|------|------|------------------------------------------|-----------------------|------|
|    | P波        | S波   |      |                                          | 一軸圧縮                  | 圧裂引張 |
| 最大 | 5840      | 2908 | 2.69 | 5.70                                     | 2029                  | 105  |
| 最小 | 3520      | 2269 | 2.63 | 3.92                                     | 1372                  | 82   |
| 平均 | 4487      | 2639 | 2.65 | 4.90                                     | 1665                  | 94   |

## 注

採取岩石は、万太郎谷と仙の倉工区のずい道での新鮮なものである。試験片は、径35mm、長70mmの円柱に整形してある。試験は、自然含水状態で行った。

## 2. 全断面掘さく工法

### (1) 設計と施工

全断面掘さく工法の採用に際して、岩盤のタイプを設定し、設計と施工の標準を計画した。これは、表-2に示される甲（山ハネ区間を含む）とことである。甲とことの延長は、それぞれ、3.5kmと0.5kmとであった。

表-2 大清水ずい道・万太郎谷工区・全断面工法・設計施工標準

| 設 計 |      | 掘 さ く            |       |     |      | 支 保 工 |      |      | 記 事       |
|-----|------|------------------|-------|-----|------|-------|------|------|-----------|
| タイプ | 掘工巻厚 | 断面積              | 穿孔長   | 穿孔数 | 爆破長  | 支保主材  | ピッチ  | 運 込  | 岩盤の状態     |
| 甲   | 50cm | 77m <sup>2</sup> | 1.7m  | 231 | 1.5m | 175H  | 1.5m | 切羽後方 | 層裂が極めて少い。 |
| 乙   | 70cm | 82m <sup>2</sup> | 1.1m  | 131 | 1.0m | 200H  | 1.0m | 切羽直近 | 層裂が多い。硬砂。 |
| 丙   | 50cm | 77m <sup>2</sup> | 1.7m  | 231 | 1.5m | ボルト列  | 1.5m | 切羽直近 | 層裂が少い。    |
| 丁   | 50cm | 77m <sup>2</sup> | 1.35m | 208 | 1.2m | ボルト列  | 1.2m | 切羽直近 | 層裂がややある。  |
|     |      |                  |       |     |      | 175H  | 1.2m | 切羽直近 | 層裂が多少ある。  |

注。ボルト列は、Dφ22mm×l/850mmロックボルトを横断面に12本配置したものである。

穿孔数には、高圧湧水処理のための水抜孔、空孔および崩壊孔を含みなり。

バンホールは、甲、丙および丁は2孔、乙は2なりし1孔である。

全断面掘さくは、新幹線断面では初めてのことであり、設計施工標準に基づいて、機械設備と方式とを決定した。図-3は、その施工と機械設備との概略と支保を示したものである。当初の計画では、支保工に鋼製H型支保だけであったが、現在では、ロックボルト支保を併用している。ロックボルトの型式は、全周接着（セルフイクレジン）型で、トンネル掘断方向に12本配置したロックボルト列を175H型支保鋼一基と同等としている。

全断面掘さくの発進後の一年間において、掘進の実績と支保の種々の岩盤タイプへの試用により、現在では、表-2に示す乙、丙および丁のタイプを設計施工標準としている。これは、当初設定の甲タイプよりも、丙と丁タイプの方が実状に合うからである。丁タイプにおける支保は、ボルト列と175Hとがあるが、これは、丙と丁とのタイプの移行の判断が困難である場合が多いので、その施工を容易にすることとを含んでいる。

### (2) 掘進実績

昭和48年11月から同50年11月末までの掘進実績は、表-3に示すものである。この実績は、当初の計画よりも少ないものとなっている。この主な原因は、地質状況において、実際と想定とにかなりの差があるために生じたものと考えられる。地質状況の前題は、切羽における湧水処理および岩盤の状態などが主である。

切羽における湧水は、高圧多量であり、このために多数の水抜孔を必要とし、作業状況が著しく悪くなる。

岩盤の状態は、当初においては、甲タイプで殆んど可能であると考えられたが、しかし、実際には、甲タイプは、丙と丁タイプに変更せざるを得なかった。なお、掘進中には、丁タイプがかなり生じている。

掘進に先だって、切羽前方に40mのノンコアボーリングにより、湧水と岩質との調査を行っているが、切羽における岩盤タイプの判定が難しく、掘さく後に手振り作業を生じることにより掘進の遅れる場合もある。

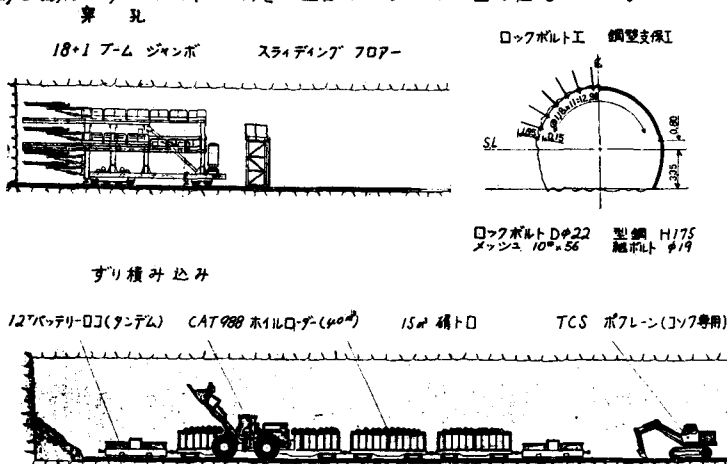


図-3 大清水ずい道・万太郎谷工区・全断面掘さくの施工

表-3 大清水ずい道・万太郎谷工区・全断面掘進実績

| 作業日数 | 掘進日数 | 掘進長   | 作業日当    | 掘進日当    |
|------|------|-------|---------|---------|
| 614日 | 540日 | 2481m | 4.04m/日 | 4.59m/日 |

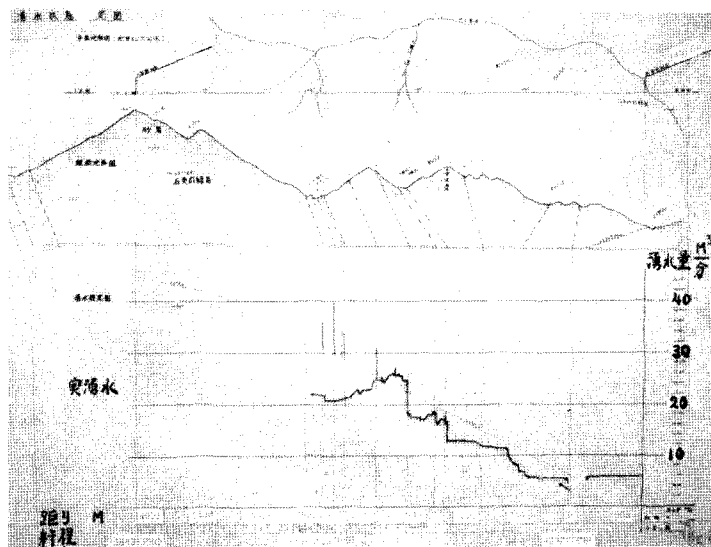
注

期間は、昭和48年11月から昭和50年11月末、作業は、1日に3交代で、24時間作業。

### 3. 施工における岩盤の状態

#### (1) 湧水の性質

坑内湧水は、切羽と掘進後の坑道周壁とから生じる。湧水は、掘進後に、時間とともに減少する傾向があり、必ずしも掘進長の増加により、坑内湧水が増加するとは限らない。図-4は、坑内湧水量と掘進長との関係を表わしたものである。全断面掘進長1km当りの坑内湧水量は、6.6~7.4 $\frac{m^3}{分}$ である。これは、施工の状況、岩盤の状態、地形および時期などにより



一定ではない。湧水は、堅岩部の岩目、粘土を挟在する滑り目あるいは全断面的な破砕帯から生じているが、その量は、岩盤の状態から大小は言えない。

掘進においては、切羽湧水が大きな問題である。今までのところ、一

切羽における最大湧水量は5.4 $\frac{m^3}{分}$ になるが、湧水量の大きい分、減衰の傾向も大きい。φ4mmの先進ボーリングで一つの所の最大湧水量は、1 $\frac{m^3}{分}$ で、あまり大きくない。切羽での湧水量は、先進ボーリングの一つの所の湧水量の1~5倍で、一定の関係ではない。しかし、先進ボーリングにおいて、湧水ヶ

所が、掘進方向に多頻度で生じている付近の切羽湧水量は、先進ボーリングの湧水ヶ所の湧水量の和に近い。

#### (2) 掘進く周壁の性質

全断面掘進くでの支保工の実績は、表-4のようになっている。この表から、支保ピッチが1.5mである部分の施工延長は、全掘進長の56%にしかならない。しかも、斜坑掘進における無支保区間の施工延長は、斜坑長の95%であることと比べれば、本坑掘進における岩盤の自立性が著しく悪いものとなっているように見える。この原因としては、斜坑と本坑との地質の違いや、本坑の全断面が大きいので心理的不安から支保ピッチを短縮して施工することも考えられなければならない。しかし、むしろ、主な原因として考えられることは、掘進く断面が大きくなればなるほど、岩盤の掘進く周壁の自立性が低下するということである。本坑の掘進く断面と斜坑の掘進く断面との比は、中においても高さにおいても2であり、また、面積においても4となっている。実際に、破砕帯のような場合を除いて、岩質が非常に堅硬であるので、掘進く周壁の良し悪しは、掘進く周縁部に分けるとこの岩目の頻度の多少によっている。同じ程度の岩目を持つ岩盤であれば、掘進く断面の大きいもの程、その掘進く周縁部における岩目の頻度は多くなる。このために、支保ピッチを短縮したり、支保の増強を必要が生じる。支保工の実績の表に見られるように、支保ピッチが1.2mで施工した部分は、全掘進長の37%におよぶし、この部分でのロックボルトの増し打ちを施工した場所は多し。破砕帯の部分は、現在のところでは、200H型鋼で支保できるもので、切羽においても全断面の高さ8.5mが保持される程度のものである。

表-4. 大清水ずい道・万太郎谷工区・全断面掘削・支保工実績 注

| 掘削ピッチ | ボルト列 | 173H | 200H | 計    | 比率   |
|-------|------|------|------|------|------|
|       | 後    | 先    | 先    |      | %    |
| 1.5   | 531  | 783  | 75   | 1389 | 56.0 |
| 1.2   |      | 802  | 106  | 908  | 36.6 |
| 1.0   |      |      | 184  | 184  | 7.4  |

昭和49年11月から同50年11月末までのものである。

表の値は施工延長(単位: m)である。支保の種類別の下の欄内の「先」は先工支保を、「後」は後方支保工を表わす。

#### 4. 山ハネ

##### (1) 山ハネの発生

掘るく周壁の性質のもう一つの大きなものに山ハネがある。当初、山ハネは、土被りが1000mを超える部分において発生すると推定された。しかし、すでに、土被りが700mと500mとの所において山ハネが発生した。この付近の地形は、トンネルのルートに沿って約700m離れた所に、標高1500m以上の尾根があるものである。トンネル直上の土被りが少なくても、この尾根の影響により土被り地圧が大きくなってゐることも考えられる。しかし、仮に、水平断面の様な半無限の岩盤であるとしても、その1000m土被り地圧は、 $260 \text{ kg/cm}^2$ にすぎない。これによって掘るく周壁を破壊して山ハネが生じることは難し。

山ハネ発生場所の地質の状態は、必ずしも同一型をとるものではない。しかし、今までのところでは、やや類似してゐる傾向があり、それを模式化すると、図-5のようになる。山ハネの発生する場所は、乙タイプである破砕帯あるいは湧水帯に挟まれた、甲や丙タイプの堅硬岩盤の両側付近になってゐる。土被り700mの山ハネ発生箇所付近でのボアホール

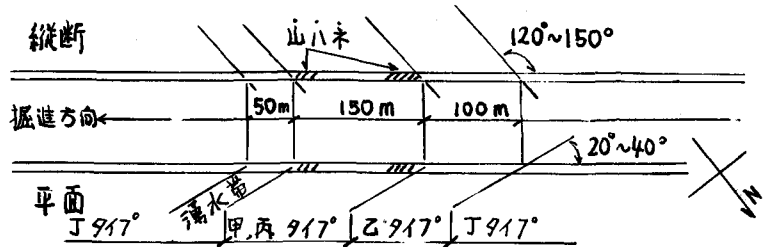


図-5 大清水ずり道・万太郎谷工区・山ハネ発生場所の地質模式

ゲージを用いた地圧測定を行った。その結果は、掘るく側壁から約6.2m水平に離れた地中の鉛直方向応力は、 $115 \sim 144 \text{ E}$  (E: 岩石のヤング率) で、岩石のヤング率の大きさもその程、その係数が大きくなり傾向になってゐる。これを応力としてみると、 $370 \sim 650 \text{ kg/cm}^2$ となり、ここでの水平方向応力は $240 \text{ kg/cm}^2$ になってゐる。これらのことから、山ハネを発生する地圧が、岩盤としてあるいは岩石として、その弾性係数の高い所に集中してゐるといふことになる。

##### (2) 山ハネ場所の施工

山ハネは、全断面爆破掘るく後のずり出し中に発生したり、コンクやロックボルト工において発生する。また、次の掘るくのための穿孔あるいは爆破により、一時止んでゐたものが再発生することもある。掘るく周壁における山ハネの発生場所は、側壁部や上半円部であり、鏡において部分的や全般的に生じてゐる。これらからはじき出された岩片は、やや長細の薄り楕状や剣状のもので、大きなものでも長い方向に約1m位である。

掘るく周壁の山ハネは、ロックボルト工や鋼アーチ支保工で押えてゐる。ロックボルト工の場合には、はじき出された岩片がロックネットに懸り、その重量でロックネットが抜け、次から次へと玉ねぎの皮を剥くように生じてゐる。このために、ロックボルトの接着長を短くする場合も生じてゐる。鋼アーチ支保工の場合には、鋼アーチ支保工に木矢板を打つので、それが山ハネ片を保持して、順次生じる山ハネをある程度に押えることができてゐるようである。この場合の鋼アーチ支保工は175H型を1.2~1.5mピッチに建て込んでゐる。

掘るく鏡の山ハネは、穿孔あるいは装薬中に生じるために、作業を著しく困難にしてゐる。これに対処する方法は未だに確立されてゐない。山ハネが落ちついた頃を見ながら施工してゐるが、今後は、この問題を解決するために、掘るく断面、鏡をファイバーストットフリートで押えるなどの山ハネ抑止方法についての検討をしなければならぬ。

# ON THE FULL FACE EXCAVATION OF THE MANTARODANI CONSTRUCTING SECTION IN THE DAI-SHIMIZU-TUNNEL

Japan Railway Construction Public Corporation  
Minoru SHIMOGUCHI

## Synopsis

This is a report on the full face excavation of the Mantarodani constructing section in the Dai-Shimizu-Tunnel for the Johetsu-Shinkansen.

This tunnel has the length of about 22.2KM. under the steep ridges and mountains. The highest elevation of these mountains is about 2000M. .

The rocks around the tunnel are mainly constituted of the granitic and quartzic-deorite which have the uni-axial compressed strength of about 1600KG/CM<sup>2</sup>. .

The Mantarodani constructing section situated nearly at the center part of the tunnel has the length of 4.8KM. . So there, length having the ground height from the tunnel of over 1000M. is 800M. along the tunnel, and as over 500M. is 3000M. .

The full face excavating method has been introduced to the part of 4000M. for the one side. This method is adapted for the first time to the tunnel of the Shinkansen which has the area of about 80M<sup>2</sup> on the cutted face.

The standards of the design and work are decided as the four classes of rocks for the state. In the case of bad rocks, 200 or 175MM. H-type steel ribs are used to support the tunnel. In the case of well rocks, 12 rock-bolts anchored in 2M. depth are arranged every 1.2 or 1.5M. .

Up to now, about 2.5KM. has been excavated in 25 months since the start of the full face excavation. In this part, the percentage supported with 1.5M. pitch is 56, and as with 1.2M. pitch is 37.

To survey previously the rocks and the inflow-water, the pilot borings long of about 40M. are done with 64MM. diameter in advance of the excavation. A face has the inflow-water of 5.4M<sup>3</sup>/min. when maximum, which is 1~5 times as much as a point inflowing water in the pilot boring.

The rock was supposed to burst where the ground depth from the tunnel was over 1000M. . In fact, the excavated side and face burst the rocks partly where the ground depth from the tunnel is over 500M. .