

3章 土質工学的諸問題とその対応 山地・丘陵部—トンネル

Chap. 3 Problems and Solutions of Geotechnical Engineering in Kansai Mountain or Hill Side Areas—Tunneling

あ だ とし ひさ おお の きみ お
足 立 紀 尚* 大 野 公 男**

1. はじめに

関西地方に分布する基盤岩類は、中央構造線以南の紀伊半島に広く分布する変成岩類、その北側に分布する花崗岩類さらにその北側の京都北部や丹波高原を中心に分布する古生層などで構成されており、東西方向に似ているが南北方向には急変しがちな地盤である。

本報告は、トンネル施工例が比較的多い六甲山系付近地でのトンネル地盤を、花崗岩類（中硬岩）・神戸層群（軟岩）および大阪層群（土砂）に三区別して、それぞれの地盤種別の相違によるトンネル掘削上の問題点とその対応策について、これまでの施工例を通して紹介し、今後のトンネル計画・設計・施工上の参考にしよとするものである。

六甲山系は主に花崗岩類（布引花崗せん緑岩と六甲花崗岩）で構成されているが、この山系の北側には有馬高槻構造線を境に流紋岩類から成る帝釈山系が西方へ延長しており、これらが中硬岩地帯を形成している。

これら六甲山系付近地には古くから図-1のとおり、各種のトンネルが掘られており、さながら六甲連山はトンネル銀座といえる。さらに最近では、阪神高速道路公団では大断面トンネルを建設中であり、また本州四国連絡橋公団も三車線トンネルを計画中等であるなど、当分六甲山系付近ではトンネル工事が続くものと思われる。

これらトンネルの建設において、最大の問題点は、切端が自立・安定しないため、トンネル本体を一步も前に掘進できない場合であろう。その代表例は、突発する大湧水により切端崩壊が生じるため、切端の安定対策や湧水対策などの補助工法の施工を余儀なくされる場合である。しかし地盤と湧水の関係は非常に複雑である。大湧水にもかかわらず苦勞せずに掘削できたトンネルもあれば、わずかな程度の湧水にもかかわらず難渋したトンネル工事例も多い。

2. 花崗岩類（布引花崗せん緑岩）

布引花崗せん緑岩は中央構造線の内側に帯状に広く分布する領家帯の花崗岩類の特徴と一致する花崗岩で、六甲南縁に沿って分布し、神戸市の布引の滝および鳥原貯水池が代表地であり、石英・長石などの優白色の鉱物と角せん石

・黒雲母などの有色鉱物が白黒カスリ状を呈する、いわゆる“黒みかげ”と呼ばれるものである。

2.1 布引断層の施工

六甲山系の中規模断層である布引断層（幅約30m）には、これまで3本以上のトンネルが掘られている。六甲山系のほぼ中央部を横断して掘削された新神戸トンネル³⁾（6910m）、北神トンネル⁴⁾（7200m）、第2新神戸トンネル（7150m）などである。これら各トンネルの施工中の地盤と湧水、施工中の現象および対応策を表-1にまとめた。

これらによると、古いトンネルほど湧水量が多く、新しいトンネルほど掘削が容易だったことが分かる。湧水の有無によりまた吹付けロックボルト工法の採用等により、同一断層帯の施工であってもトンネル掘削中の坑内状況や対応策が異なっているものの、やはりトンネル施工の難易は湧水の有無によって決定されることが理解できる。特に断層破碎帯など地盤が悪い区間では、わずかな湧水でも難工事になった例は意外と多いので、掘削前にできるだけトンネルの湧水をしぼることが大切であろう。

2.2 異常湧水帯の処理

前述のとおり、布引花崗せん緑岩地帯では著名な断層破碎帯に伴う湧水は少なかったが、他の破碎帯からの大湧水がしばしば生じている。新神戸トンネルでは、南坑口より1322m地点の30m幅の帯水層と2238m地点の80m幅の帯水層で、それぞれ11t/min、12t/minの湧水³⁾を経験している。また、山陽新幹線の神戸トンネル²⁾では3t/minと4.5t/min、第5拡張送水トンネル⁵⁾では2t/minの湧水が生じたが、新神戸トンネルでの12t/minという異常湧水帯以外は、いずれも減水が早かったのと、部分的な土砂流出が発生しても、付近地盤が堅固なため、難工事となっていない。

ここでは、大湧水が減水しないため80m区間を薬液注入工法を用いて掘削した新神戸トンネルの異常湧水帯の施工例について述べる。

第2工区の斜坑底から50m北で異常出水に見舞われた。この付近の岩質は、幅の狭い4本の破碎帯をはさむ節理の多い花崗せん緑岩で、岩質はさほど悪くなかったが、多量の湧水のため掘削を中止した。3か月にわたる掘削作業の中断の間に、揚水ポンプを増設するほか、切端前方の湧水と地質を確認するため約200mの調査ボーリングを行った。

*京都大学教授 工学部交通土木工学科

**神戸市道路公社 建設部計画課長

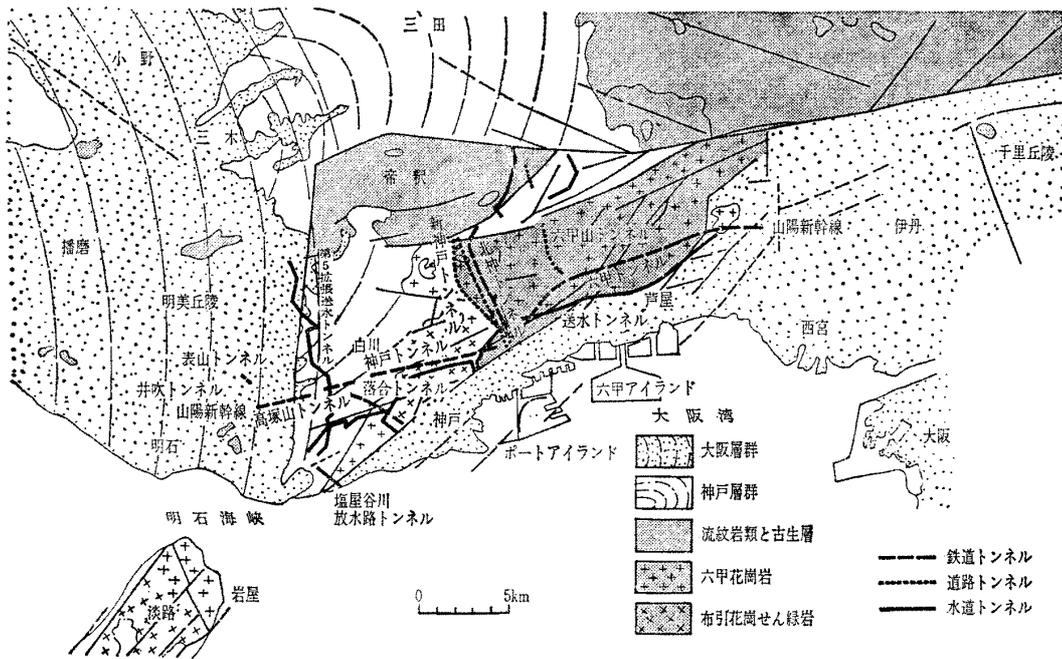


図-1 六甲山地とその周辺の地盤概念図と各種トンネル位置図

6か月後であった。

3. 花崗岩類（六甲花崗岩）

六甲花崗岩は六甲山地の南縁を除いて大部分を構成するもので、優白色の基底に黒雲母や淡紅色の正長石が散在する花崗岩で、いわゆる“本みかげ”と呼ばれるものである。これは節理が多いためか風化の進んだ岩盤と、やや良好な岩盤とが入り込んでおり、布引花崗せん緑岩のように良好な岩盤が安定して長区間にわたり分布することはまれ

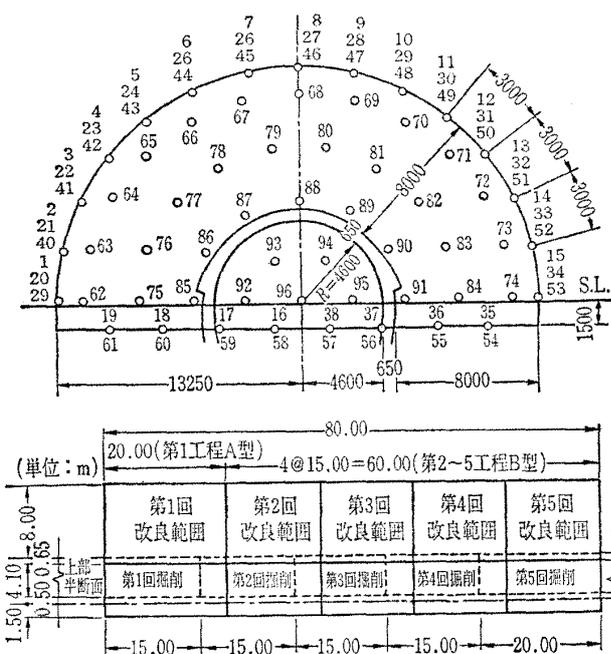
その後は切端前方 80m 区間の異常湧水帯を図-2 のように、LW を主体とする薬液注入（注入圧 50 kgf/cm²）により止水しながら掘削した。薬液注入の改良範囲は、高压多量の湧水破碎帯では、掘削断面半径の約 2 倍とするのが一般的なようである。本坑では岩が比較的堅いので、掘削半径の 1.5 倍の 8 m としている。1 工程のサイクルは穿孔・注入が 10 日間、掘削 7 日間の計 17 日間であった。80m 区間の上半施工が完了したのは異常湧水に見舞われた日から約

で、地盤変化の激しい部分が多い。また亀裂も多いためか深部まで強風化を受けている部分もある。このような地盤のうち、節理や亀裂に粘土を夾む部分では地盤が抜け落ちるなど、少量の湧水でも難工事となった例が多い。

六甲花崗岩の断層破碎帯として著名な大月断層・五助橋断層・芦屋断層などの断層粘土を伴う破碎帯は、全く湧水のない場合は切端は自立し、一見良く締まっているように見えるが、指圧または軽い打撃で簡単にまさ化することで

表-1 布引断層部の施工例

布引断層 トンネル名	地盤と湧水の状況	施工中の現象	対応策
新神戸トンネル ³⁾ (昭和46~昭和51)	○粘土および粘土混じり砂が両端にあり、幅27mの断層部の中央は強風化岩で節理間隔5~10cm程度で粘土を夾在する。 ○湧水は50~100 l/min程度である。	○導坑底面に盤ぶくれが生じる。 ○上半支保工の変形 ○仮巻きコンクリートにクラック発生 ○覆工コンクリートにクラック発生	○断層手前で掘削を中止し、先進ボーリングののち調査導坑を掘削する。 ○底盤コンクリートを打設し、最終にはインパート・コンクリートを打設する。 ○増支保工および25cm仮巻きコンクリートを打設する。 ○鉄筋による本覆工を行う。 ○粘土部に水がまわらないようにLWを注入し止水する。
北神戸トンネル ⁴⁾ (昭和58~昭和62)	○地盤状況は上記と同じである。 ○湧水は滴水程度である。	○これまでの施工例を参考にして右の対応策の結果、坑内の最大変位量は87mmであった。	○ショートベンチ工法 ○断層部に極力振動を与えないための機械掘削（ロードヘッド） ○吹付け厚の増大（10cm→15cm） ○掘削後の吸水膨張を考慮してインパート吹付け厚15cmで閉合 ○地山を痛めないためロックボルト削孔を無水掘りで施工 ○10cmの変形余裕量 ○H-125支保工を上半のみ建込む（1m間隔）
第2新神戸トンネル (昭和59~昭和63)	○地盤状況は上記と同じである。 ○湧水はにじむ程度である。	○これまでの施工例を参考にして右の対応策の結果、坑内の最大変位量は40mmであった。	○断層部手前20mより断層部以奥12mまでを上半先進工法にて施工する。 ○外周部ピック掘り、鏡部0.4m ³ ユンボにて掘削。 ○下半掘削時にインパート（15cm）を吹付ける。 ○ロックボルトは無水掘り削孔し、耐力18tfのツイストボルト、また填充剤は2倍発泡レジンを使用する。 ○ロックボルト軸力が12tfに達した時点で増ボルト（8本/m、l=4m）を施工する（総計220本）。 ○支保工はMu29を1m間隔に建込み、変形余裕量は15cmとした。



図一 新神戸トンネル異常湧水帯部の薬液注入施工図⁹⁾

知られており、これらに湧水が伴うと切端は自立せず、掘削にあたって各種の補助工法を採用することとなる。

大湧水の対応でまず問題となるのは、水抜き方式か止水方式かの選択であろう。通常は水抜き方式が一般的であるが、地表付近での地下水位低下が許されない地域や、トンネル内湧水が減水しない場合は先に述べた例のように止水方式で施工される。これは青函トンネル方式と同じ考えに立つものである。

3.1 断層破碎帯に伴う湧水とその対応策

表一は六甲花崗岩地帯におけるトンネル湧水とその対応策をまとめたものである。いずれのトンネルも大湧水と同時に発生する土砂崩壊に対して、まず切端の安定対策のち、水抜きボーリングや水抜き迂回坑（トンネル断面内も含む）を掘削して湧水対策を行い、減水させてから薬液注入による地盤強化のち、掘削工事に着手している。

3.2 高压破碎帯の突破例

図一は山陽新幹線・六甲トンネル²⁾ 芦屋斜坑で幅9~10mの高压破碎帯を突破するため12本の調査坑が掘られたが、いずれも破碎帯面で大量の土砂が噴出し、水抜きボーリングを併用しても水抜き効果を十分に果たすことができず、水を抜きつつ薬液注入を実施して、この間約10mを10か月かかって掘削した例²⁾である。

4. 神戸層群

神戸層群は六甲山地西南縁部の白川付近に代表的に分布する第三紀層で、高塚山断層以東に分布し、高塚山以西は大阪層群の下に潜在している。凝灰岩・泥岩・砂岩および礫岩の互層で高塚山断層や高取山断層などの構造線付近を除いて緩い角度で傾斜している。各層は5~10mの層厚を有し、節理の発達も著しい。各層ごとに固結度も異なり、物性値に差がある。一般的な圧縮強度は30~200 kgf/cm²程度であるが、所々で500 kgf/cm²程度の凝灰岩や礫岩が現れてくるものの掘削上困るようなものではない。

湧水は全般に少なく、岩層の境に出水しても100 l/min程度であり、問題はない。断層付近では1 t/min程度の出水があったため薬液注入による止水を行ったと報告された

表一 湧水を伴う断層破碎帯の施工例

トンネル名	地盤と湧水の状況	施工中の現象	対応策
六甲トンネル ²⁾ 大甲断層~ 五助橋断層間 1200m 区間圧碎帯 (昭和44~昭和45)	○まさ化、粘土化したぜい弱花崗岩 ○節理に粘土を夾む風化花崗岩 ○粘土混じりまさ土 ○断続的に続く大湧水帯で、最大10 t/min (20 kgf/cm ²)の湧水が生じた。	○支保工の変状 ○側壁コンクリートの押し出し ○土砂流出回数85回で、総流出土砂量は約2800 m ³ であった。そのうち100 l/min以下による土砂流出回数は33回であった。	○大口径水抜きボーリング 14 310mの施工 ○本坑外水抜き迂回坑 2 950 mの施工 ○鏡張り縫地工法による側壁導坑先進工法の採用
北神トンネル ⁴⁾ 本坑(3工区) (昭和58~昭和62)	○最大坑口排水量 6.4 t/min を記録する(本坑 1850 m と斜坑 860 m 区間の湧水量)。	○全区間にわたる先進ボーリングによる湧水対策で、掘削は順調に進み、平均月進 135m を記録する。 ○吹付けコンクリートの付着が悪い。 ○ロックボルト ○特に湧水の多い 220m 区間大湧水帯	○全区間にわたり先進ボーリングを実施する。1週間の掘削予定区間を日曜日ごとにトンネル断面内からボーリング調査をする。 ○SEC コンクリート、湿式吹付け工法を採用した。 ○湧水に強いレジンタイプを使用 ○本坑断面内に水抜き導坑(6.7 m ²)を掘削した。
塩屋谷川 ⁷⁾ 放水路トンネル (昭和59~昭和60)	○須磨断層の影響部約 200m 区間の湧水量が多く、1.6 t/min の突発湧水が生じた。	○切端に粘土層が現れ、崩落した。 ○天端より湧水とともに砂礫が突出し、約 150 m ³ の土砂崩壊が生じた。	○3本の水抜きボーリングで 600 l/min の水抜きができた。 ○崩落箇所は薬液注入で処理する。 ○吹付け厚を増大し、20 cm とした。 ○薬液注入 ○ミニパイプルーフ ○水抜きボーリング(3本)の施工により、約 1.1 t/min の集水ができた。 ○断面内水抜き導坑を採用する。

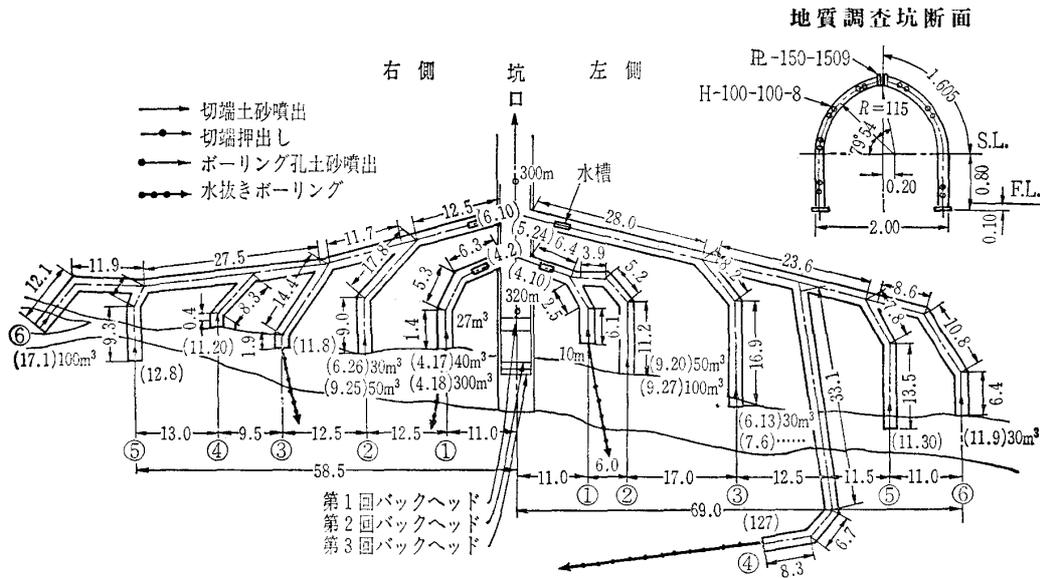


図-3 六甲トンネル芦屋斜坑における地質調査坑掘進状況²⁾

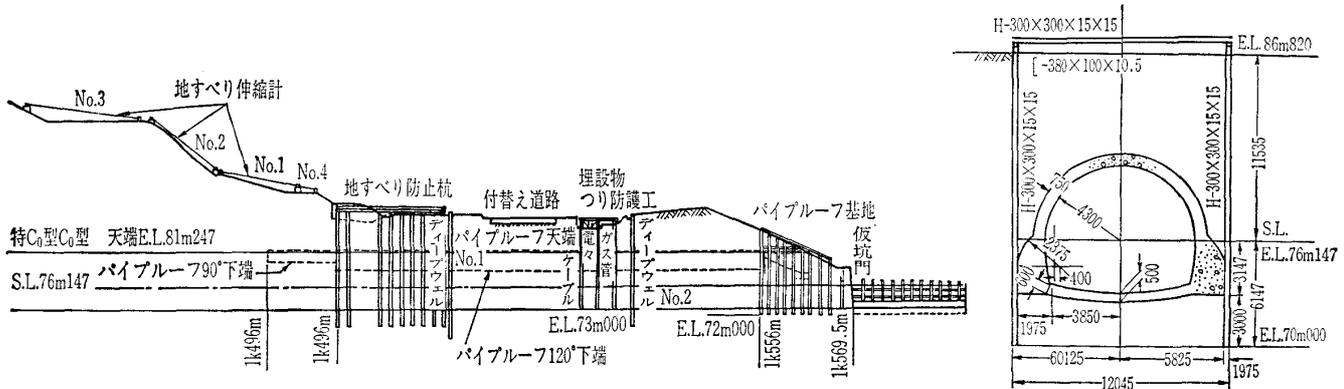


図-4 落合トンネルの縦断および地すべり防止杭構造図⁸⁾

例もあるが、ほとんどトンネル掘削上難航した例は少ないと思われる。断層部では湧水に伴い地山が軟弱化し、特に泥岩の部分での変形が多く、支保工やコンクリート厚の増強で対応しているのが通例である。その他掘削上の問題点としては機械掘削による切削ずりのこね回しによる足場条件の劣化が施工を難しくした例⁷⁾や、トラック工法の採用で路盤が泥ねい化し苦労している例⁹⁾が多い。

トンネル掘削上あまり問題がなさそうな神戸層群も、凝灰岩の多い所と地層の境目に薄い粘土層を夾む所では、すべりやすい地盤状態になっているのが、この層の特徴である。このため地すべり区域が多く、特に地すべり区域にトンネル坑口を施工する場合は慎重な対応が望まれる。以下は落合トンネル⁸⁾の坑口付近の地すべり対策工とトンネル施工について述べる。

4.1 地すべり区域での坑口施工

このトンネルは坑口から115m区間が地すべり地帯で、この付近はこれまで宅地造成工事や道路工事で、しばしば地すべりを起こしているのが以下のとおり①～⑦まで慎重な施工を行い、その結果地すべり伸縮計は5cm程度の伸び縮みが最大で安定している。図-4は坑口付近の縦断面図である。

- ① 埋設物つり防護と電柱の移設

- ② 坑口部における地すべり防止杭 (φ500モルタル杭)
- ③ φ500mm ディープウェル (2本) による排水
- ④ 地すべり防止杭 (H-300) の設置
- ⑤ 側壁導坑方式の採用
- ⑥ 延長70mのパイプルーフ工法 (φ114mm) の採用
- ⑦ 上半はリングカット工法で一次覆工ののち本覆工打設 (いわゆるドンツキ工法)

5. 大阪層群

六甲山地周縁の大阪層群は西宮・芦屋の丘陵地と神戸市街地北部の丘陵地のほか、ほぼ高塚山断層を境にして、それ以西に広く分布する洪積層である。

この層は砂礫層を主体とし、砂層・粘土層を介在する堆積層で、高塚山断層などの構造線付近の急傾斜地層を除いて、地層は極めて緩傾斜である。これまでにこの地層に掘削されたトンネルの地盤と湧水対策を表-3にとりまとめた。

5.1 六甲トンネル上ヶ原工区^{2), 11), 12)}

六甲トンネルは粘性土・砂・砂礫層から成る未固結の地層 (満池谷層) で、地層の変化が激しく、固結度も緩く透水性も良い方だが、均一性がなく、帯水状況も不均一でかつ地下水の貯留量が多いため、2~6t/minの湧水により土

表-3 大阪層群の問題砂層の施工例

トンネル名	地盤と湧水の状況	施工中の現象	対応策
六甲トンネル ^{22), 113), 123)} (昭和42~昭和46)	○ $N > 50$ (砂礫層) ○ $k = 2 \times 10^{-2} \sim 10^{-4}$ ○多量の地下水2~6t/minの湧水	○延長145mの横坑(約20m ²) 掘削中は地下水の貯留量が多く、砂質シルトが緩み、湧水とともに土砂流出する(6回にわたり720m ³ 土砂流出)。	横坑に対しては ○鏡止めを行う ○水抜きボーリングを施工 ○モルタル注入を施工する ○水抜き迂回坑を施工する ○断面縮小で掘り進む 本坑に対しては ○ウェルポイントを採用する ○2~4段サイロット工法を採用する ○薬液注入工法を採用する ○インパートコンクリートを施工 ○ドツッキ工法を採用する
高塚山トンネル ²³⁾ (昭和42~昭和46)	○砂礫主体 $N > 50$ ○ $k = 10^{-3} \sim 10^{-4}$	○湧水がないと切端は安定する。 ○粘土層上部の砂層が湧水とともに坑内に流出する。 ○切端崩壊と地表陥没の繰返し ○湧水の前ぶれもなく、5度におたり1200m ³ の土砂崩壊が発生する。	○鏡止めを行う ○薬液注入で地山を固結する ○空洞内にはエヤモルタルを充填する ○問題の頂部砂層へは地表からLW注入を施工する。
第5拡張送水トンネル ⁵³⁾ (昭和44~)	○ $N > 40 \sim 50$ ○ $k = 10^{-4}$ ○滞水状態は不均一であり、最大0.45t/minの湧水あり	○砂礫層内の砂層・シルト層(レンズ状)が少量の湧水により流出する。更に相対的に緩んだ砂礫層が湧水とともに流出する。 ○切端崩壊のため作業が難航し、26m区間を4か月かけて施工する。	26m区間の対応 ○340mの水抜きボーリングを施工する ○29mの水抜き迂回坑を施工する ○494m ³ の薬液注入を施工する ○リングカット工法を採用する ○周辺地下水の影響が大きいため、圧気工法を採用する。
表山トンネル ¹⁰³⁾ (昭和59~昭和61)	○砂礫層を主体とする砂・シルト・粘土の互層 ○ $N > 50$ ○ $k = 10^{-5}$ ○湧水は5~10l/min (雨天時は10~15l/min)	○湧水は層境にあり、粘土層上部が湧水のため軟化し、はだ落ち、崩壊がある。 ○レンズ状砂層がアーチ・クラウン部に出現すると自然流出する。	○軽量鋼矢板による縫地工法を採用する。

砂崩壊を起こし、ウェルポイントで地下水位低下をはかり、特殊工法(2~4段サイロット)の採用と、軽量鋼矢板工法・薬液注入工法の採用で工事を完成させている。

5.2 その他のトンネル

六甲トンネルを除く他のトンネルは六甲トンネルほど多量の湧水ではなく、また地層も良く似ている。砂礫を主体とする砂・シルト・粘土の互層で、 $N > 50$, $k \approx 10^{-4}$ 程度の良く締まった地層である。いずれのトンネルも粘土層上部の砂層が湧水のため軟化し、掘削と同時に流出して、切端の安定が図れないため、各種の補助工法を採用している。

突発湧水で苦しめられた高塚山トンネル²³⁾では、湧水がないと安定して順調に掘削が行われたが、粘土層上部の砂層が湧水とともに坑内に流出し、再三にわたって切端崩壊と地表陥没があった。

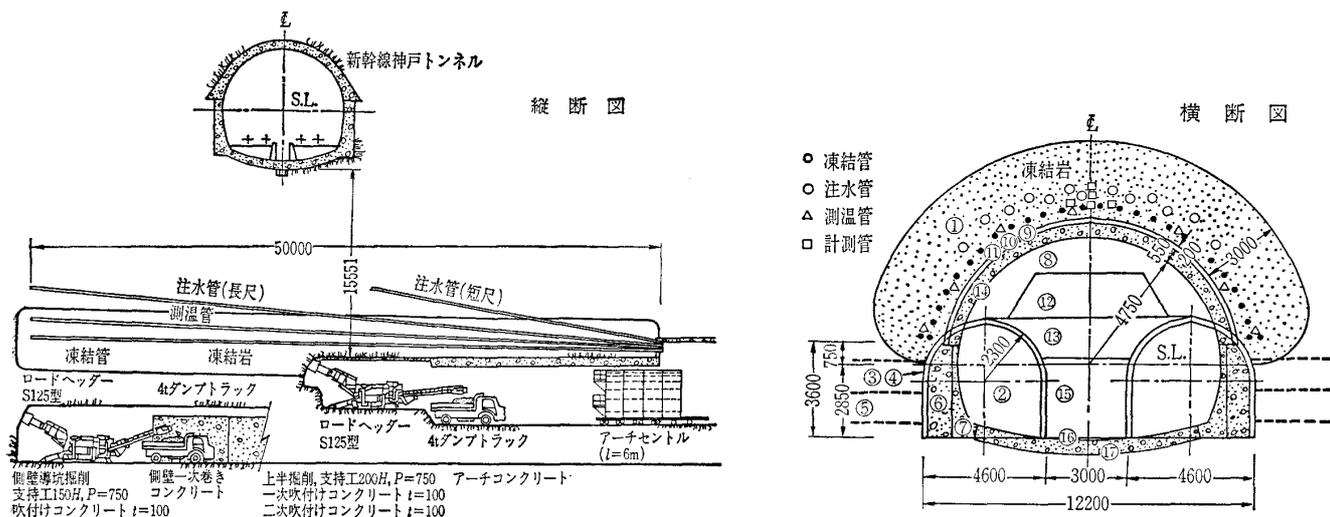
第5拡張送水トンネル工事⁵³⁾では、0.45t/minの湧水で土砂流出を起こし、切端崩壊により作業が難航したため、水抜きボーリング・水抜き迂回坑・薬液注入・リングカット工法により工事をを行い、最終的には0.5~0.8kgf/cm²の圧気工法で、延長26m区間の掘削に約4か月をついやしている。またその他の地区では被圧帯水層からの湧水のため、付近集落の浅井戸に被害を与えたほか、小河川の水位低下により田畑の用水にも支障をきたし、工期の遅延と工費が莫大なものとなるため工事を中止し、大幅な計画変更を行い、トンネル施工高さを約50m上げて被圧帯水層を避け、すでに掘削の終わった区間のトンネルとは斜坑・

立坑あるいは管路で連結した例もある。

湧水が5~10l/min程度の表山トンネル¹⁰³⁾では、切端の安定を図るために、各種の薬液注入工法が検討され試験施工されたが、結論として、切端側から行う薬液注入工法は特殊区間のためのスポット注入の場合は別として、通常区間の施工のためには経済性と効果の面で問題があり、一般的な採用は困難なようである。 $N > 50$, $k \approx 10^{-4}$ 程度の地盤では、注入の浸透性が悪く、高圧(20~30kgf/cm²)注入にすると、予定量に達する前に切端からリークし、結果的に注入効率が悪いうえに、注入効果も不良という結果になってしまうようだ。

掘削後行われる吹付けコンクリートも直接吹付けが吹付け圧力による洗掘のため施工が難しく、また吹付けコンクリートの自重によるはく脱落下などがあるため、ラス止め支保工やパイプ支保工など、吹付けコンクリートのはく脱防止対策が講じられている。またロックボルトも、湧水を伴う地山ではせん孔と同時に土砂流出を起こすため、斜め打ちロックボルトの使用は不可能だったようである。

湧水のない井吹トンネル⁹¹⁾では、天端の細砂層が掘削と同時に崩壊を起こすため、フォアパイリングの施工で切端天端の安定をはかり、細砂に対しては、吹付けコンクリートの施工がブロッキングなしでは困難なため、エキスパンドメタルを使用するなどの対策を講じたことにより、100m²大の大断面メガネトンネルでも順調に施工できたと報告⁹¹⁾されている。



図—5 山麓バイパス・布引トンネルにおける凍結岩ルーフ工法施工図¹³⁾

大阪層群中のこれまでのトンネル施工例のうち、六甲トンネルを別にすると、いずれも安定した砂礫層であるが、夾在する砂層の崩壊が大きな問題となっている。これは粘土層上部の砂層に湧水が伴って生じる現象が、そのほとんどである。砂地盤は一度崩壊を起こすと、次には、崩壊箇所のまわりの緩んだ地盤が次から次へと崩壊していくため、小さな崩壊を初期に起こさないよう注意することが肝要である。湧水量を定量的に推計することは難しいが、土被りの浅いトンネルの場合は、どの地点に問題地盤がでてくるかを予測することは可能と思われる。したがって、できるだけ早い時期に静かに水を抜くことの大切さを、これまでの施工例は教えているといえる。

6. おわりに

トンネル掘削で最も大きな問題となるのは、これまでの例からも分かるように、集中湧水による土砂流出・切端崩壊であるが、現在の調査技術では集中湧水を定量的に予測することはほとんど不可能である。したがって、集中湧水の起こるであろう地点を予測し、工事の安全に役立てなければならない。不測の事故を防ぎ、安全かつ能率よく施工するためには、北神トンネル第3工区の全区間先進ボーリング施工（毎日曜日ボーリング施工）のように、掘削を中止することなく、坑内からの水平ボーリングによって、あらかじめ前方を予知し、水をしばらく対策をたてることも一方法であろう。

これまで六甲山地の地盤と湧水のかかわりについて、施工例を紹介したが、最近のトンネルの特徴として、都市近郊部のトンネルが多くなってきたため近接施工が増大し、かつ山岳トンネルばかりでなく、未固結地層の土砂トンネルの施工例が多くなっている。また都市部において、被りの浅いトンネルを掘削する場合、発破が近隣の構造物や住民に大きな影響を及ぼすため、相当の困難があっても機械掘削に切り替えて施工した例がでてくる。

図—5 は山陽新幹線神戸トンネルの直下 15 m を、新し

く凍結岩ルーフ工法^{13),14)}を開発して、風化花崗岩中を掘削した布引トンネルの例であり、**口絵写真—10**は圧縮強度 1500kgf/cm² 程度の布引花崗岩を SD 工法¹⁵⁾を用いて無発破で施工した第2新神戸トンネルの坑内状況写真である。

参考文献

- 1) 藤田和夫・笠間太郎：六甲山地とその周辺の地質，神戸市企画局，pp.3~26，1971.
- 2) 日本国有鉄道大阪新幹線工事局編：山陽新幹線新大阪～岡山間建設工事誌，社団法人日本鉄道施設協会，pp.639~796，1972.
- 3) 神戸市道路公社：新神戸トンネル工事誌，pp.359~366，1981.
- 4) 青木悠二・斉藤 隆・滝本倫義：新神戸駅の下を抜く北神急行電鉄北神トンネル，トンネルと地下，Vol.15，No.9，pp.7~17，1984.
- 5) 村尾正信・小倉 晋・大野公男：トンネル計画・施工上の問題点，応用地質学の最近の研究，日本応用地質学会関西支部，pp.91~102，1982.
- 6) 鈴木伸彦・本告正之・石井康夫：民鉄線最長トンネルを掘る北神急行電鉄北神トンネル，トンネルと地下，Vol.16，No.9，pp.35~42，1985.
- 7) 菅野利之・舟坂勝利・重野 彰・末永清冬：2つの断層破砕帯を NATM で突破，塩屋谷川放水路トンネル（須磨工区），トンネルと地下，Vol.18，No.5，pp.47~54，1987.
- 8) 神戸市交通局：神戸市高速鉄道西神線（新長田～名谷）工事記録，pp.521~562.
- 9) 新井克己・塚原徳二・東田清一・宮脇 潔：土砂地山での大断面メガネトンネル，阪神高速道路北神戸線井吹トンネル，トンネルと地下，Vol.16，No.6，pp.35~43，1985.
- 10) 神戸市交通局・前田建設工業株式会社：高速鉄道（前開～井吹間）伊川谷高架橋一部・表山隧道及び線路工事（35工区その2）工事報告書，pp.123~325，1986.
- 11) 高山 昭・芦田雄太郎：ウェルポイントによる洪積層の掘削六甲トンネル上ヶ原，トンネルと地下，Vol.3，No.5，pp.7~16，1972.
- 12) 齊藤迪孝：アーストンネルの地質調査(2)，トンネルと地下，Vol.6，No.7，pp.49~56，1975.
- 13) 村山朔郎・大野公男：布引トンネルにおける凍結岩ルーフ工法の設計・施工，土木学会誌，Vol.69，No.12，pp.51~58，1984.
- 14) 村山朔郎・足立紀尚・大野公男・岩崎好規：岩盤凍結ルーフ工法における現場計測工法，土質工学会，土の凍結に関するシンポジウム，pp.59~66，1986.
- 15) 吉田美隆・満留隆雄：第17回日本道路会論文集，321，新鮮花崗岩の機械掘削について，pp.198~199，1987.