

V-8

火山堆積中のトンネル 掘さくについて —上越新幹線中山トンネル—

日本鉄道建設公団東京新幹線建設局 正員 吉野達夫

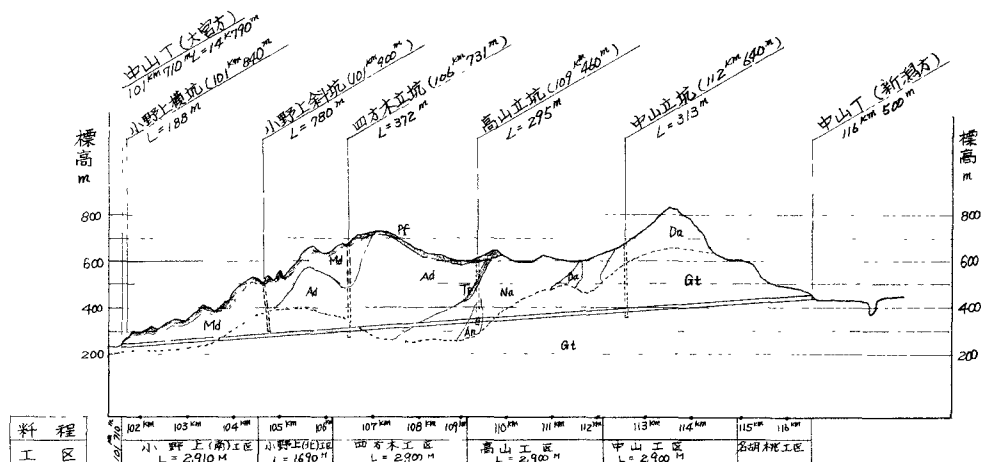
1. まえがき

昭和45年5月に成立した全国新幹線鉄道整備法により、上越新幹線は昭和46年度より着工されているが、中山トンネルは群馬県のほぼ中央部に位置し、子持山及び小野子山の両火山の中間を貫く、延長14km^{790m}、山岳トンネルでは世界で6番目の長大トンネルとなる。

施工法は、図-1に示す通り6工区に分割した。中間の3立坑は、我国のトンネル工事における前例のない深度の立坑であり現在鋭意施工中であるが、中山立坑を除いて横坑、斜坑を含めて予想を超える大量の湧水に遭遇している。又、このトンネルからの排水は、当然河川に流す形になるわけであるが、当地域の河川は豊富な清水、淡水の宝庫であり、坑口下流には養鱒場、フリばりセンター等営業している状況である。当初設計では、各工区とも坑口に20m程度の沉没池を設けて濁度を下げて放流していたが、前記下流の利水状況のもとでは十分機能を果せず種々の漁業補償問題を生じたので、従来のトンネル工事では前例をみない排水処理装置を各工区とも新設した。

今回は、四方木及び高山の立坑掘さく中の湧水対策及び排水処理装置について述べてみたい。

図-1 中山ずい道全体図



2. 地質概要

各種地質調査の結果本トンネルの基盤岩は新第三紀の各層かなりの回数にわたって隆起沈降作用を起こし、随所に浸蝕がみられ四方木及び高山立坑附近において盆地状の凹地形が形成されている。その後第四紀に入り、盆地状の凹地形に両火山の安山岩溶岩、火山岩塊、火山シキ等がいくつかの時期にわたって噴出し、現在のような地形を形成したと考えられる。

なお、ずい道施工基面においては、大宮方坑口より約3kmまでは沢川泥流堆積層(凝灰角礫岩、集塊岩、安山岩)で、それ以後は猿ヶ宗層群

(凡 例)

時代	記号	地 層 名
第四紀	Pf	軽石流堆積物
	Tr	段丘堆積物
新第三紀	Md	沢川泥流堆積層
	Tf	凝灰岩
	Ad	緩戸安山岩類
	Tp	田幸火砕岩類
	Ne	中山安山岩類
中新世	Ar	安山岩
	Da	下川田石炭安山岩類
	Gt	猿ヶ宗層群(緑色凝灰岩類)

と呼ばれ、緑色凝灰岩、凝灰角礫岩から構成され、安山岩、砂岩、泥岩、シス岩の薄層を間に挟んでいる。

3 四方本立坑について

1) 施工の経過 立坑掘りくの方法としては、通常掘りくは、コンクリート養生を交互に行うが、その長さによってショートステップとロングステップに分けられるが、3立坑ともショートステップ工法である。理由は推定される地質が掘りく時の側壁の安定等を考慮して決定した。現存当初より不透水層たる硬質安山岩と予想された深度163m地底に達し立坑周辺全に注入基地を施工中であるが、今までの経過を述べてみる。

当初より湧水量は、水理学的モデルを一般の揚水井の場合と、同様に考えてもとめたが(図-2)最大時6.5 $\frac{m^3}{min}$ が想定されたので、立坑周辺注入を実施した。(図-3)即ち坑内より1本(160mほど)坑外7本(70~370mほど)合計8本を、それぞれ2ステージ、クステージに分けて施工した。注入設計基準は、a)注入量は日本鉄道施設協会の算定式 $Q=A \cdot n \cdot d \cdot \frac{1}{q_{1000}}$ によりもとめる。ここで Q =総注入量、 A =注入有効範囲、 n =間隙率、 d =せん充率、b)注入剤の選択は注水試験の結果40 $\frac{m^3}{min}$ 以上、セメントミル7.39 $\frac{m^3}{min}$ 以下、LWとする。c)注入量60 $\frac{m^3}{min}$ 以上60分以上、30 $\frac{m^3}{min}$ 以上150分以上、20 $\frac{m^3}{min}$ 以下200分以上、それぞれ継続した場合、濃度を1ランク上げる。なお最初には共に水セメント比600%よりはじめる。以上の結果設計は4200 m^3 であったが、実績は、3550 m^3 となった。その後現在まで突出湧水のため、(最大湧水時は深度152.3mの切羽5 $\frac{m^3}{min}$ 合計9.5 $\frac{m^3}{min}$ であった。)表-1に示すように、合計4回の坑底注入を施工せざるを得なかったが、想定通り薬液注入の効果があり、われなかつたのは、その地質への最適薬剤の選択が部分的に、岩質及び亀裂の変化が多く、きわめておずかしいことに集約されると思われる。例えばセメントミル7、LWは浸透範囲が極めて小さく、大きな亀裂及び角礫に浸透しないことがある。逆に日東SSはマトリックス部分の細砂、微細砂には完全に浸透され、サンドグレ化を示し弾力性のある固結がとれ、止水効果が顕著に現われているが、マトリックスに挟まれている角礫の間にせん充された薬液は、高分子系最大の弱点である強度がないため、湧水と共にゼリー状に押出されていた。

2) 坑底基地注入

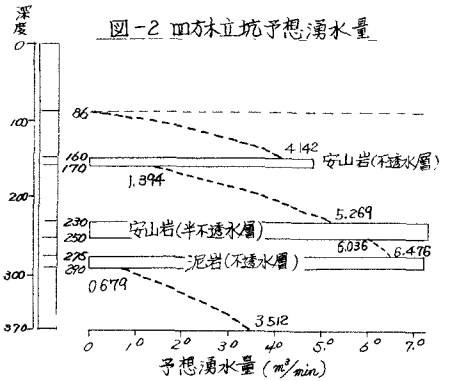


図-2 四方本立坑予想湧水量

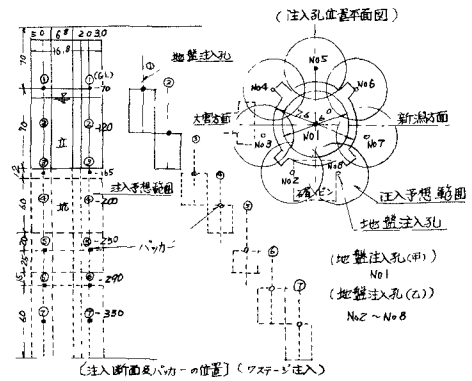


表-1 各注入工比較表

	周辺注入	坑底注入	2回一	3回一	4回一
範囲(m)	70~370	100 ⁸ ~130 ⁸	113 ⁰ ~128 ⁰	139 ⁰ ~164 ⁰	152 ³ ~167 ³
延長(m)	300 ⁰	30 ⁰	15 ⁰	25 ⁰	15 ⁰
ステップ長(m)	40 ⁰ ~60 ⁰	5 ⁰	5 ⁰	5 ⁰	5 ⁰
注入有効半径(m)	3 ⁰	1.5	1.0	1.0	1.0
設計間隙率(m)	0.06~0.20	0.06	0.60	0.20	0.20
設計せん充率	0.40~0.50	0.40	0.40	0.50	0.50
注入圧力($\frac{kg}{cm^2}$)	水頭圧+10	0~30 30~40	5~7	25~30	30~40
注入孔数(本)	8	29	85	105	89
設計注入量(m^3)	CM	2,220	60	210	80
	LW	2,000	100	25	85
	日東SS		120	50	70
実績注入量(m^3)	CM	1,980	64.5	335	76 ⁶
	LW	1,570	101.5	17.8	158 ³
	日東SS		119.6	208 ⁸	123 ⁴
施工開始日	47.8.14	48.1.9	48.3.1	48.6.20	48.10.3
施工終了日	47.12.26	48.1.20	48.4.1	48.8.31	48.11.26
地 質	各層	マトリックス未固結凝灰角礫岩(礫は多孔質安山岩)			

今までの注入と掘さくの繰り返しの結果、工程上大幅な遅れを生じたので注入作業と掘さく作業を分離し並行して作業できるように、立坑断面外で注入する必要がある。地質柱状図を検討すると、160^m~170^m間是不透水層でありしかも硬質な安山岩であり、又275^m~290^m間是不透水層の泥岩の層が確認されているのでこの2ヶ所の立坑外面全周に注入基地(高さ4.8^m, 幅3.8^m)を設けて、おのおの170^m~275^m, 290^m~322^mを注入するを計画している。現在163^m地奥にて注入基地を施工中で現行注入設計基準を検討中であるが、今注入では面地奥で最低2本の全区間Jア地質ボーリングを先行実施して湧水量、湧水位置、透水位置等調査し、又注入剤の選択もボーリングの結果よりステージごりの注入等を考えている。

4 高山立坑について

本立坑にても四方木立坑の場合と、ほぼ同様な理由及び設計で地表からの立坑周辺注入を施工したが深度428^mで1500^l/minの湧水に出合い掘さくを中止しカバーロツクを打設し範囲15^mで、オ1回坑底注入を施工しその後再び掘さくを開始したが深度50^m附近で1900^l/minとなり掘さくを中止した。この時奥にて注入工法を再検討し諸工法検討の中でディープウェル工法を採用することにした。理由は(イ)注入と掘さくの繰り返しでは工期的に約1年の遅れとなる。(ロ)水文学的見地からみて集水面積約6^{km}²、年間降雨量1800^{mm}、地中への浸透率を35%と想定すれば、7.2^{mm}/minの揚水を続ければある時奥で平衡に達しそれ以上の揚水を続ければ水位は無限に低下することになり、ディープウェルの効果が期待できる。(ハ)もしディープウェル孔長を200^mとすれば200^m以下の地奥は期待できる不透水層の安山岩であり注入工法が可能である。(ニ)現在国内及市場にある高揚程水中ポンプで200^mまでは可能である。(ホ)工費も注入工法と比較して経済的である。―― 施工に先だて、各層(3層に分けられる)ごりの滞水層単数(透水係数、貯留係数)を明らかにするため各層に2孔ずつ観測井(φ66^{mm})を設けて、48時間にて揚水試験を実施した。結論は(α)8孔の揚水井より1.9^{mm}/min、坑内より2.0^{mm}/min揚水を行って立坑の掘さくを続行した場合今後10日間で約10^m掘進できその後軟化率が低下する。(β)坑内の強制排水も限度があり又湧水が最も多いオ3層の10^{mm}まで水位を下げるものとする、坑内排水2^{mm}/minの場合揚水井から1.5^{mm}/minで19本、2.0^{mm}/minで18本となる。決定した設計は深度200^mで8本掘さく径450^{mm}内径300^{mm}、揚水量1.5^{mm}/minに決定した(図-4)。現在までの水位低下経過は表-2の通りである。10月8日より立坑掘さくを開始した。以後の坑内湧水経過は表-2の通りであるが昭和49年1月27日掘進

図-4 ディープウェル孔及び観測孔配置図

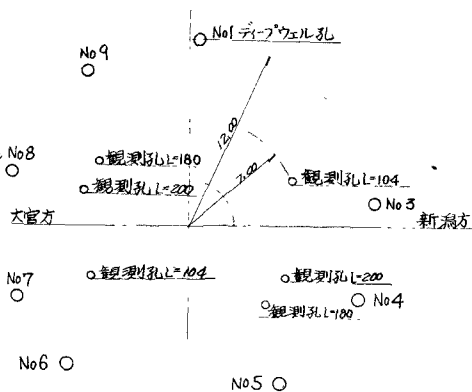
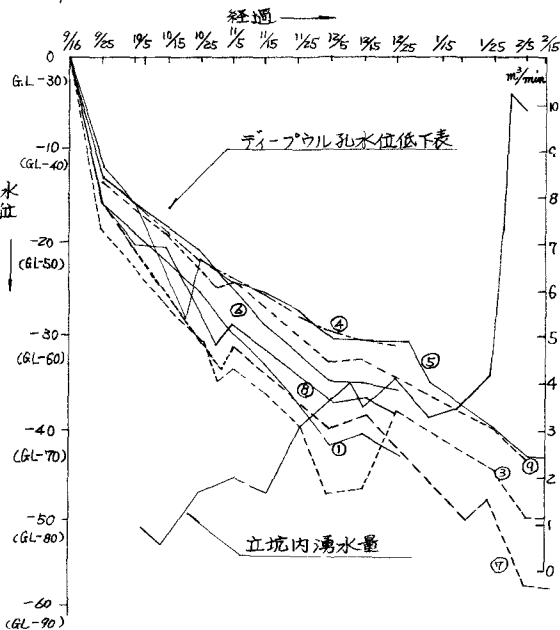


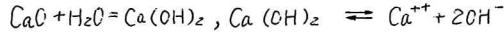
表-2 ディープウェル孔水位低下表



が31.5^m進んだ深度81.5^m地奥にて突出湧水7.9^{mm}/min(総湧水量10.5^{mm}/min)を記録し掘さくを中止し現在の体制のままの揚水を再検討し、揚水試験の結果からも揚水量の少ないこともいわれていたが、孔数はそのまま2孔当りの揚水量を2倍にし、3^{mm}/min 計24^{mm}/min揚水する計画を決定し現在準備中である。なお現在(昭和49年2月15日)までの総揚水量はディープウェルより297^m³、坑内より67^m³である。

5. 排水処理設備

トンネル排水は掘さく作業によって生じた微粒岩粉を含んで懸濁質となるためいわゆる汚濁水となりSS濃度が上昇している。又コンクリート覆工作業を行うとコンクリートを形成しているセメントの主成分たる石灰CaOが硬化する過程で水と反応して水酸化カルシウムCa(OH)₂を形成し、水に溶解したとき水酸化イオンOH⁻を形成せしめPH上昇の原因となる。



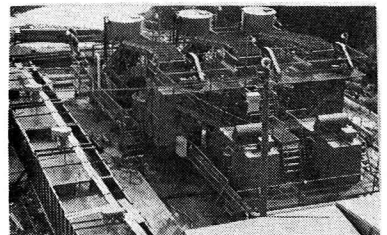
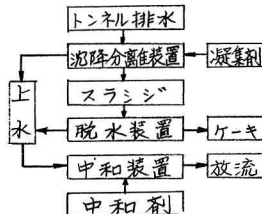
又、止水及び地盤強化を目的として、しばしば薬液注入工が施工されるがこの薬液がPHの移動の原因となる。例えば水ガラス系薬液は、水ガラスNa₂O・nSiO₂+CaO+H₂O=セメントケイ酸ゲルCaO・SiO₂+2NaOHの反応を示しこの時NaOHは余剰の水に溶解し、注入された地盤は強いアルカリ性を帯びる。現実に高山立坑では、ディープウェルを施工し今まで合計297万tonの水をディープウェル孔より揚水したが現在でも立坑周辺注入(LW使用)の影響で、その水はPH10以上ある。又高分子系薬液については、アルカリ性のものと酸性のものがあるが、一般的に酸性のものが多い。なお底導上半功法で掘さく中の小野上南工区の排水を、坑口及び導坑切羽から50mの地奥の2ヶ所から、PH及びSSについて24時間連続測定したが両因子とも作業種類によりかなり変動している。又当該設備新設

表-3 排水処理装置一覧表

項目	小野上(南)	小野上(北)	四方木	高山	中山
処理能力	2.5 m ³ /min	5 m ³ /min	10 m ³ /min	5 m ³ /min	4.5 m ³ /min
泥降分離装置	ソニフレター	ソニフレター	シフナー	ソニフレター	シフナー
脱水装置	ソニプレス	フレストン	ソニプレス	ソニプレス	ベルトプレス
浄水装置			パルイスフィルター		
原水濁度(PPM)	2,000	2,000	3,000	2,000	2,000
放流濁度(PPM)	50	50	50	50	50
1次凝集剤	PAC	硫酸バンド	PAC	PAC	PAC
2次凝集剤	ソニクリン	リュエフロク	カンフロク	ソニクリン	ソニフロク
放流PH	5.5~8.6	—	—	—	—
中和剤	希硫酸	濃硫酸	希硫酸	塩酸	塩酸
放流河川	吾妻川	ハネ沢 吾妻川	関戸沢 吾妻川	梅沢川 名久田川	古寺川 名久田川
漁業権	坂東漁業協同組合			吾妻漁協	

の社会的法的背景は(水質汚濁防止法及びこれに基づく県公害防止条例は共に建設工事等排水期間が一定期間にとどまるような事例は原則として適用されない)「河川法施工令」又は「公共物使用等に関する条例」に該当するというこ
とで排水する際、利害関係者及び市町村長との協議が必要となり排水基準は県公害防止条例の基準を準用することにした。)以上によりトンネル排水はPH及びSSを規制値以下に処理する必要がある。又設計システムは、一般に泥降分離装置、脱水装置、及び中和装置の三部より成りそれぞれ物理的・化学的に処理される(図-4)。凝集剤は、10⁻⁴m以下の粒子が電荷的に安定な分散懸濁系を構成しているため、これらを回収するため荷電中和して凝集させるものである。2次凝集剤は高分子凝集剤で発成したフロッグをより成長させ泥降促進をはかる意味で兼用している。表-3に各工区の機種及び使用薬剤を示した。

図-4 概要フローシート



6. あとがき

1) 今後我国の現状から、火山堆積中のトンネル掘削も増えてくると思われるが火山堆積層に特有の火山角礫、火山灰、火山砂、軽石等の軟弱な地層と比較的堅硬な安山岩溶岩が交互に入り乱れその境界付近には多量の被圧された地下水が存在しているし、又その湧水と共に未固結な軟弱層の流出が考えられるので事前に十分な止水及び地圧対策が必要である。

2) 今の排水処理装置は本来トンネル排水用に設計されたものではなく今後使用していくなかで改良していく予定である。又これからの坑外設備には着工前から排水処理の検討がなされるべきであろう。

参考文献

- 1) 持田豊、野田謙次、串山純孝、「火山堆積中の立坑掘さくについて」
- 2) 丸山俊郎、「海底トンネル坑内排水処理」