

青函トンネル海峽部における岩盤止水注入について

日本鉄道建設公団 青函建設局 正会員 石崎昭義 ○岩田伸雄

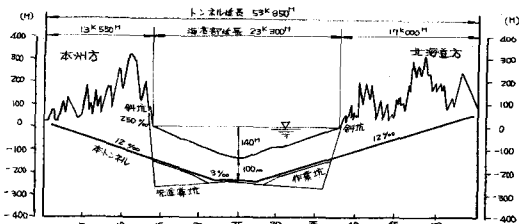
1. まえがき 本州と北海道を結ぶ青函トンネルは、昭和46年4月運輸大臣より工事線の指定を受け、同年9月工事実施計画書の認可を受けた。ここに昭和21年からの4半世紀に亘る調査を完了し、今や本格的に工事を始める段階となった。この津軽海峡下240^mに建設される青函トンネルは、総延長53^k850^mの世界一の長大トンネルであり、内海峽部延長23^k300^m、陸上部延長30^k550^mとなる。(図-1参照) 陸上部分の工事は従来施工されて来たと同様、途中より斜坑、横坑等を設けて分割施工することが可能であるが、海峽部23^k300^mは津軽海峡下のため、本州と北海道の間口より施工せざるを得ないため、当然工期を支配することになる。この海峽部の工期を短縮するためには、安全確実に掘削のスピードアップを計ることが大切であるが、そのため無限の海水をいかに止水し、地盤改良を行なうかが前提条件となっている。とくに本州方に於ける止水注入は、トンネルの切羽から行なう注入だけで、斜坑1315^mで47回(注入日数1099日、全体日数1942日)先進導坑296^mで13回(同263日、581日)作業坑530^mで14回(同137日、390日)を数えており、注入日数の

占める割合は全作業日数のそれぞれ59%、45%、35%にも達する。このことから切羽注入の能率化が本州方の最も重要な課題となっている。本文では先進導坑および作業坑の切羽注入についてその概要を述べてみたい。

2. 地質 先進導坑は海面下約270^mに位置し、土壌りは約250^mである。湧水の成分はおおむね海水のそれに近く、湧水圧力は25~27^k%である。20~200^m間の火山礫凝灰岩は岩質が軟弱で湧水も多く、とくに50~120^m間では中30~100^{cm}の粘土を各所に挟んでおり、さく孔後湧水とともに径50%ほどの礫を含むスライムが噴出することもある。200^m以東では断層を境に火成岩(安山岩、玄武岩、流紋岩)に変わっている。玄武岩は岩脈として侵入しているが、一般に中かせまい場合は、接触面が変質しており軟弱で湧水も多い。流紋岩は硬質であるが、亀裂が多く、その中も広い。作業坑は0~380^m間は陸上部で、海峽部の土壌りは約140^m、湧水は比較的少なく、その成分から見て地下滲透水の影響を受けていると考えられ、湧水圧力は14~17^k%である。地質は安山岩、角礫凝灰岩が主で、玄武岩の侵入も少なく、安定した地質である。

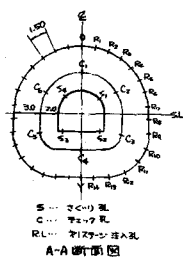
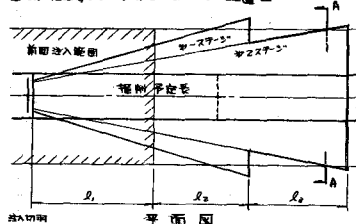
3. 注入孔の配置およびさく孔 先進導坑に於ける注入孔の配置例を図-2に示す。掘削面外周からの離れ、すなわち計画注入域は一般に5~8^mで、特に軟弱と予想される場合には10^mとし、かつ注入孔の配列を4~5重としている。注入はまず全体の湧水分布および岩盤の硬軟を確認するための、さく孔をさく孔注入し、次に図に示すヤ1ステーション、ヤ2ステーションの順で注入する。最後にチェック孔により止水の状態を確認している。さく孔には大型さく岩機(ガードナー・デンバー社製PR-123 PR-143、DH99)を使用しており、ビットの径は65%を常用している。さく孔中湧水の多い場合(おおむね200%以上)あるいは地質不良のためさく孔不能の場合はさく孔を中止し、注入してから所

図-1 青函トンネル縦断面図



定長まで再さく孔する。パッカーには硬質ラバー（径60mm、長さ80mm）を使用している。パッカーをかきさせる位置は一般に切羽から2～6mで、この範囲内でパッカーをかきくよう先進ボーリングのコアから判断して注入切羽の位置を求めている。さく岩機は回転試験機に比べてノ

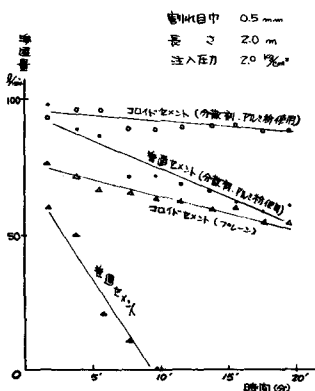
図-2 先進導坑における注入孔の配置図



ミ下りは遙かに速いが、孔曲りしやすく、また孔壁の荒れが著しい。水平方向の孔曲りの傾向および大きさは地層の方向、傾斜によって異なるが、一般にビットの回転方向、すなわちさく岩機の場合では左斜であり、孔長10mで0.5m、孔長30mで1.5mである。鉛直方向の孔曲りは大部分は下向きであり、その大きさは孔長10mで0.3m、孔長30mで2.0mである。

4. 注入材料 現在はセメントミルク注入（以下CM注入）を主体とし、LW注入を補助としている。セメントは普通ポルトランドセメントおよびこれをより細粒化したコロイドセメント（ブレン値6000^{cm²/g}、最大粒径40μ）を使用している。普通セメントとコロイドセメントとの permeability の相違を調べるため、割れ目試験機を用いて透過試験を行なった。その結果は図-4に示すとおりで、この図からコロイドセメントの方が permeability が優れており、また分散剤の添加により permeability が著しく改善されることわかる。その他早強性においてもコロイドセメントは優れているが、その反面、風化しやすいこと、攪拌上問題があること、 η_c が低いと（ $\eta_c=100\sim200\%$ ）セメントミルクの粘性が経時的に急上昇すること等の欠点を有し、コロイドセメントの使用に際しては、細かい品質管理ならびに施工管理が要求される。LW注入は2台のポンプによりセメントミルクと水ガラスを別々に送り、Y字管で合流させる1.5ショット方式を採用している。CM注入とLW注入との使い分けは注水試験をもとにしており、注水量が40%以下の場合、あるいは40%以上でも、注水圧力が「最終注入圧力 $\times 10\%$ 」以上の場合にはLW注入としている。LW注入はCM注入に比べて、強度の点で劣るが、 permeability が優れていること、ゲルタイムの調整が数分の範囲内で可能であること等の利点を有している。とくにLW注入の場合は、注入量が固結量にほぼ等しいのに対し、CM注入の場合は、 $\eta_c=300\%$ で固結量は注入量の約20%（CM注入では1m³の固結量を得るためにはセメント1.5tを要す）である。このことは同一固結量を得るに要する時間は、LW注入においてはCM注入の1/2以下で済む事を示し、注入の効率化のためには、今後はLW注入を主体とし、CM注入は軟弱な地質における補助注入に用いて行きたいと考へ、強度の出るLW注入等を研究中である。

図-3 割れ目透過試験



5. 注入 先進導坑・作業坑の注入実績を表-1、表-2、表-3に示す。

注入ポンプには主として、油圧駆動可変流量式である「ヤマトHFD-2AB」を使用している。吐出圧力は5～118 kg/cm^2 、吐出量は0～96%である。最終注入圧力は湧水圧力のほぼ3倍、すなわち先進導坑においては約80 kg/cm^2 、作業坑においては約60 kg/cm^2 である。最終圧力付近に達したなら、セメントミルクの濃度の高いLW注入に切り換えて、パッカー撤去の時間を短縮している。湧水量に比較して

表-1. 本州側作業坑に於ける注入一覽表

[illegible]

表-2. 本州側先進導坑に於ける注入一覽表

[illegible]

表-3. 本州側 平均注入実績

	日数(日)	孔数(株)	寸×孔長(m)	注入量(m ³)	空疎充填量(m ³)
作業坑	8	18	44.38	14.11	4.84
无蓋導坑	19	64	30.48	10.99	3.46

○注入乳数には、再注入乳⁸⁰、再さく乳⁸¹、注入乳の数を含まない。

○空隙を重量の算出は、セメント注入の場合、注入セメント量を1.5で除け数値とし、

葉液注入の場合、水がろ過液注入は、注入量の100%、その他の葉液は、注入量の70%とする。

注入量が著しく少ない場合、あるいは最終圧力に達する前にトラブルのあった場合は状況を判断して注入孔を追加している。注入圧力の段階による注入セメント量の全体に対する割合を図-4に、また乳長と注入セメント量との関係を図-5にそれぞれ示す。最も多く注入される圧力の範囲は、先進導流に於いて50~80 kg/cm^2 、作業流に於いては20~50 kg/cm^2 である。また先進導流に於いて乳長の増加にともない注入セメント量は減少しているが、作業流に於いては乳長が増加しても注入セメント量は変化していない。このことは先進導流に於いては、注入圧力が高いためポンプの吐出量が少なく、乳長が増すにつれて、割目内の流速が低下し、セメント粒子の沈降が早く始まる。それに対して、作業流に於いては、注入圧力が先進導流より低いため、吐出量が大きく、乳長が60 mに達しても、セメントミルクの流速がかなり大きいと思われる。岩盤の空隙率を1~2%、セメントミルクの滲透半径を1.5 m、充填率を50%と仮定すれば、注入乳1 m当りの充填量は、 $2.035 \sim 0.07 \text{ m}^3$ 、セメント量に換算して50~100 kg となる。これより図-5と比較すると、先進導流に於いては、現在のポンプを使用するがぎり、注入乳の長さは大抵30~40 mがC1注入の限界と考えられる。注入量別の注入乳の頻度を先進導流について調べると図-6のようになる。

図-4. 注入圧力段階別の注入セメント量の比

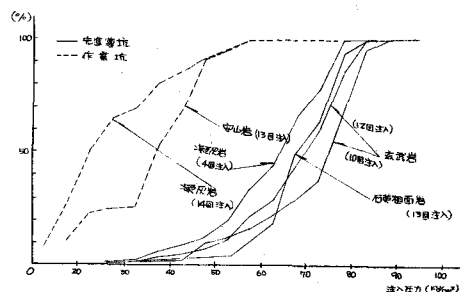
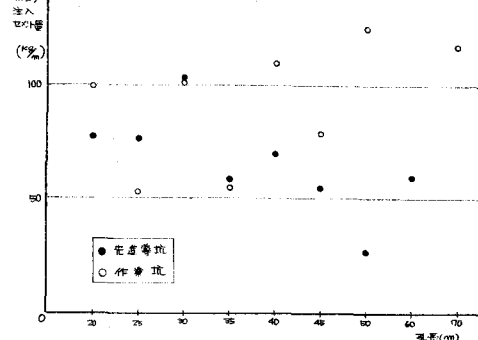
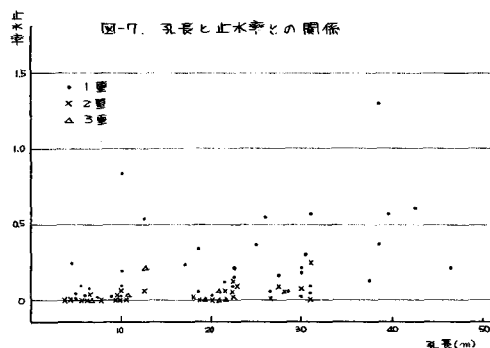
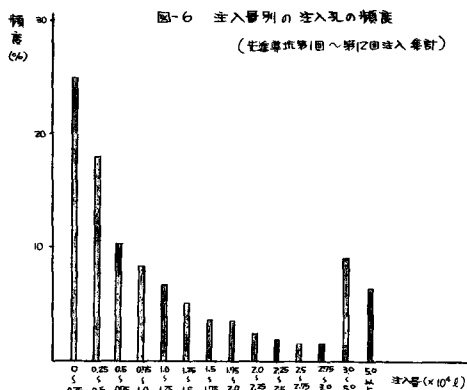


図-5. 乱長と単值長さ当り注入セメント量との関係



全体の約17%を占めており、これが注入の能率を著しく低下させている。空隙率を6%、充填率を50%と仮定しても、注入孔1m当りの所要充填量は0.2m³となり、セメント量にすると約300kg、注入量にして $\eta_c=300\%$ で約 1×10^3 lとなる。軟弱な地盤に於いては、空隙率が6%以上あること、また堅岩に於いても切羽F巾30cm以上の厚いセメントの層が現われることがあるので即断はできないが、堅岩の割目注入であれば、孔長30mの場合で、 3×10^4 l以上の注入は一般に無駄と考えられる。試算によると、1孔の注入量8時間以内に終了できれば、注入全体の日数を約20%短縮できる。注入量を規制することは、前述のLW注入の多用化と共に、注入の能率化にとって不可欠の条件である。そのためには、岩盤の割目の中およびその分布を先進ボーリングその他の方法により正確に推定できるようにすることが必要である。

6. 止水効果 図-7に於いて l_1 、 l_2 、 l_3 区間では注入孔がそれぞれ重なり、2重、1重に配置されることになる。最外かくの注入孔の各区間平均湧水量を注入しない場合の湧水量と考え、これに対する内側のヤ1ステーション、ヤ2ステーション、およびチェック孔の各区間平均湧水量の比(止水率)と孔長との関係は、図-7のようになる。図から注入孔が重複しない場合は、孔長が増すにつれて、止水効果が悪くなること、また注入孔が2重ないし3重の場合は、注入によってほぼ90%以上の止水効果があることがわかる。



むすび 以上青函トンネル本州方における止水注入について概要を述べた。注入の能率を向上させるには注入材料あるいは注入機械を改良しなければならないことは論をまたないが、結局は無駄な注入をいかに省くかという問題に帰着し、今後ともあらゆる可能性を追求していきたいと考えている。広く各位の御教示ならびに御批判を仰ぐ次第である。

参考文献

青函トンネル調査工事におけるグラウト施工：横山章，コンクリートジャーナル，Vol.9, No.7 July 1971

Grouting Practice in the Seikan Undersea Tunnel

by A. Ishizaki N. Iwate

The Seikan undersea railway tunnel which will link Hokkaido with Honsyu is 53.85 Km in total length, 23.3 Km of which is situated under sea level. The investigation works of this tunnel were begun in 1964 at Hokkaido side and in 1966 at Honsyu side under the direct control of Japan Railway Construction Public Corporation by excavating the pilot tunnels, and achieved in 1971. The construction of the main tunnel will start in 1972.

In the period of the investigation works at Honsyu side, the number of days that was required for grouting work to stop water flow with high pressure was 1,362 and amounted to approximately half the total period.

The improvement of efficiency of grouting work is most important and urgent problem to be solved. The authors describe about method, material, result and effect of grouting carried out in Honsyu side.

Seikan Construction Dept.
Japan Railways Construction Public Corporation