

調査と研究③

日韓トンネル施工のための注入工法に関する研究（既往文献調査）

Studies on Grouting Works for
The Japan-Korea Tunnel Construction

九州第3部会*

概要

日韓トンネルは、壱岐、対馬を経由して、日本と韓国を結ぶトンネルであり、現在、ルート選定のため、地形、地質調査が行われている。ルートは未定であり、トンネルの詳細についても検討されている段階である。複数のルートが提案されているが、どのルートにおいても長大海底トンネルの掘削は必然であり、海底トンネルは、最深部で海面下約200m、海底下約100mを通り、総延長は200km内外になるものと予想される。このように日韓トンネルの施工は、前人未踏の海底下でかつて経験したことのない延長を掘削することになるため、事前に現在の施工技術を十分把握した上で施工計画や技術開発にあたる必要がある。そこで本報告は、トンネル施工技術調査の一環として、長大海底トンネルの掘削に不可欠な注入工事に着目し、調査を行ったものである。本報告では注入技術の現状を把握することを目的とし、代表的な湧水トンネルにおける注入工事の記録を整理した。また、これらの注入施工において、注入技術に関連した問題点を抽出し、日韓トンネルにおける技術開発の参考資料とした。本報告ではこ

れらの記事を次のようにまとめた。

- (1) 湧水トンネルにおける注入技術の現状
 - (2) 注入技術の総括
 - (3) 海底トンネルへの注入技術の適用性と今後の問題点
- 各々の概要を以下に示す。

(1) 湧水トンネルにおける注入技術の現状
現在、報告されている種々のトンネル工事記録の中から代表的な湧水トンネルを選び、注入工事の記録を整理した。

調査の対象としたトンネルは下記のとおりである。

- A. 青函トンネル
 - a 青函トンネル斜坑
 - b 青函トンネル先進導坑
 - c 青函トンネル作業坑
 - d 青函トンネル本坑
- B 新関門トンネル
- C 関門トンネル
- D 中山トンネル
- E 塩嶺トンネル
- F 蔵王トンネル
- G 福岡トンネル

*部会長 兼重 修（熊本大学名誉教授）

表 2 (1) 注入工事概要 (山岳トンネル)

トンネル名		中 山	塩 嶺
トンネルの形状			
地質状況		<ul style="list-style-type: none"> 凝灰岩、凝灰角礫岩、閃緑ひん岩、等 火山灰堆積物は著しく未固結で、少量の湧水で崩壊、流出しやすい。 	<ul style="list-style-type: none"> 安山岩、凝灰角礫岩 一部に硅質粘板岩、砂岩、泥岩層の区間がある。
施工方法		<ul style="list-style-type: none"> 底設導坑先進上半工法 サイロット工法 サイロット NATM 	<ul style="list-style-type: none"> 底設導坑先進上半断面工法 側壁導坑先進上半断面工法 NATM工法
注入範囲		<ul style="list-style-type: none"> カバーロック : 12m 注 入 長 : 42m ス テ ー ジ : 7ステージ 	<ul style="list-style-type: none"> カバーロック : 5m 注 入 長 : 掘削径の 2.5~3 倍 (導坑) 2 倍 (本坑) ス テ ー ジ : 2~3 ステージ方法 (注入長 約 50m)
注入材料		<ul style="list-style-type: none"> コロイド LW CW-3 (A) CW-3 (B) 	<ul style="list-style-type: none"> LW-1 アロン SR
注入基準		<p>①注入配合及び濃度変更</p> <ul style="list-style-type: none"> 湧水圧に応じて注入材料を使い分ける。 30kg/c㎡ 未満 : コロイド LW 30~40kg/c㎡ : CW-3 (B) 40kg/c㎡ 以上 : CW-3 (A) 30分間圧力変化がない場合は、吐出量か濃度を上げる。 <p>②注入限界</p> <ul style="list-style-type: none"> 最大注入圧力 (75kg/c㎡) になると吐出量を徐々に下げ、締め上げ注入を行う。 <p>③注入効果の判定</p> <p>チェックボーリングにより次のことを確認する。</p> <ul style="list-style-type: none"> 湧水量が 1 ℓ/min/m 以下であること 集中湧水が 30 ℓ/min 以下であること 崩壊がないこと <p>④充填率</p> <ul style="list-style-type: none"> コロイド LW : 10~20% CW-3 : 10~40% 	<p>①注入配合及び濃度変更</p> <ul style="list-style-type: none"> W/C 100~200% 累計注入量 5㎡、10㎡の時点で、注入圧が 45kg/c㎡ に達しない場合は、W/C をあげる。 <p>②注入限界</p> <ul style="list-style-type: none"> 最終注入圧 50kg/c㎡
注 入 機 械	削 孔 機	L-24、SN-76、BoHLER、KRUPP 等	ピューラー HM751A-2HR100
	注 入 ポ ンプ	HFV-24、HFV-4HS、ダブコン等	自動注入システムとしてプラント化
	ミキサー	MV-400、MV-600 等	

表 2 (2) 注入工事概要 (山岳トンネル)

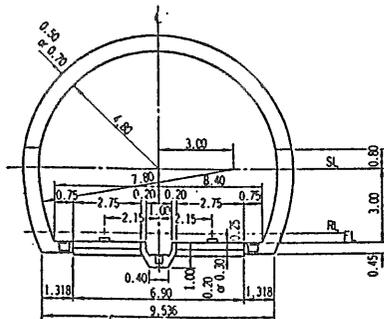
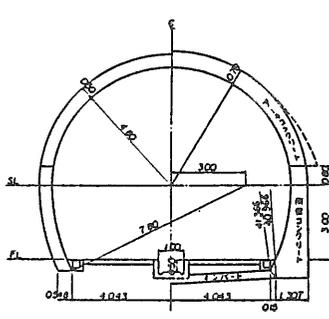
トンネル名		蔵 王	福 岡																							
トンネルの形状																										
地 質 状 況		<ul style="list-style-type: none"> ・凝灰岩および凝灰角礫岩、集塊岩および熔岩、安山岩質集塊岩 ・断層破砕帯が大小20か所以上ある。 	<ul style="list-style-type: none"> ・塊状ないし千枚岩質の緑色片岩が主体 ・花崗閃緑岩、粗粒砂岩が一部分布している。 																							
施 工 方 法		<ul style="list-style-type: none"> ・導坑先進上部半断面工法 ・サイロット、2段サイロット工法 ・上半先進タイヤ工法 	<ul style="list-style-type: none"> ・底設導坑先進上部半断面工法 																							
注 入 範 囲		<ul style="list-style-type: none"> ・カバーリング：掘削断面外に掘削半径長をとり、側壁外面より5mのアーチ同心円と結んだ幅10.2mの範囲 	<ul style="list-style-type: none"> ・カバーリング：破砕帯部におけるトンネル上半部の掘削を可能にするため、部分的に注入を行った。 																							
注 入 材 料		<ul style="list-style-type: none"> ・LW-II ・MI-I 	<ul style="list-style-type: none"> ・LW (本坑) ・セメントミルク ・薬液 (三井ストッパー-I型) <p style="text-align: right;">(犬鳴立坑)</p>																							
注 入 基 準		<p>①注入配合及び濃度変更</p> <p style="text-align: center;">(200ℓあたり)</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th colspan="2">A 試 100 ℓ</th> <th colspan="2">B 試 100 ℓ</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">LW-II号</td> <td>けい酸ソーダ</td> <td>50 ℓ</td> <td>水</td> <td>37.4 ℓ</td> </tr> <tr> <td>水</td> <td>50 ℓ</td> <td>ベントナイト</td> <td>3.5kg</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">MI-I号</td> <td>けい酸ソーダ</td> <td>70 ℓ</td> <td>アルミ酸ソーダ</td> <td>70 ℓ</td> </tr> <tr> <td>水</td> <td>30 ℓ</td> <td>水</td> <td>30 ℓ</td> </tr> </tbody> </table> <p>②注入効果の判定</p> <ul style="list-style-type: none"> ・注入前後の注水試験を行い、透水係数を比較して判定する。 		A 試 100 ℓ		B 試 100 ℓ		LW-II号	けい酸ソーダ	50 ℓ	水	37.4 ℓ	水	50 ℓ	ベントナイト	3.5kg	MI-I号	けい酸ソーダ	70 ℓ	アルミ酸ソーダ	70 ℓ	水	30 ℓ	水	30 ℓ	<p>①注入配合及び濃度変更</p> <ul style="list-style-type: none"> ・セメントミルク濃度 C:W 1:10~1:1 <p>②注入限界</p> <ul style="list-style-type: none"> ・最終注入圧 20kg/cm² <p>③注入効果の判定</p> <ul style="list-style-type: none"> ・注入前後のルジオン値によって判断する。
	A 試 100 ℓ		B 試 100 ℓ																							
LW-II号	けい酸ソーダ	50 ℓ	水	37.4 ℓ																						
	水	50 ℓ	ベントナイト	3.5kg																						
MI-I号	けい酸ソーダ	70 ℓ	アルミ酸ソーダ	70 ℓ																						
	水	30 ℓ	水	30 ℓ																						
注 入 機 械	削 孔 機		M-110 モーターローテーションドリフター																							
	注 入 ポ ンプ		ヤマト HFV-2B																							
	ミキサー		ヤマト MV-100																							

表 3（1）注入工事において検討された課題（海底トンネル）

トンネル名		青 函	新 関 門	関 門
調 査		<ul style="list-style-type: none"> ・長尺水平ボーリングの施工 ・トンネル湧水の水質分析 	<ul style="list-style-type: none"> ・長尺先進ボーリングの施工 	
注 入 工 事	止水性、地山強度の改善に関する課題	<ul style="list-style-type: none"> ・弾塑性解析による注入範囲の設定 ・海底トンネルに適した注入材料の開発 ・湧水量と注入量の相関 ・注入モード（注入基準）の設定 	<ul style="list-style-type: none"> ・注入材料の検討 	<ul style="list-style-type: none"> ・耐海水性薬液注入材料の開発
	作業性の改善に関する課題	<ul style="list-style-type: none"> ・注入機械の性能改善 ・複数孔同時注入による作業能率の向上 	<ul style="list-style-type: none"> ・注入機械の選定 	
そ の 他				

表 3（2）注入工事において検討された課題（山岳トンネル）

トンネル名		中 山	塩 嶺	蔵 王	福 岡
調 査					<ul style="list-style-type: none"> ・高速先進ボーリング
注 入 工 事	止水性、地山強度の改善に関する課題	<ul style="list-style-type: none"> ・ソレタンシュ工法の適用についての検討 	<ul style="list-style-type: none"> ・注入基準の設定についての検討 		
	作業性の改善に関する課題		<ul style="list-style-type: none"> ・削孔、注入平行作業による作業能率の向上 ・削孔機械の配置、スパイラルビットの使用による削孔作業能率の向上 		
そ の 他		<ul style="list-style-type: none"> ・電気アナログ法による水抜き工法の検討 	<ul style="list-style-type: none"> ・湧水対策 	<ul style="list-style-type: none"> ・湧水対策（大口径水抜きボーリング） 	<ul style="list-style-type: none"> ・湧水対策（福岡方式）

- ①注入材料
- ②注入方法
- ③注入機械
- ④注入基準

に着目した。

長大海底トンネルの工事においては、地質、湧水、等、多種多様な施工条件が考えられるため、本報告でとりあげた湧水トンネルの範疇にとどまらず、一般的な注入工事における技術的要素も踏まえて、これらの項目について検討を加えた。

以上の調査結果によると、表1~2からわかるように海底トンネルと山岳トンネルで注入工事の諸元（改良範囲及び注入孔配置、注入材料、注入基準、注入設備、等）について、根本的に大きな差異は認められなかった。しかし、海底トンネルにおいては、トンネル湧水の源である海水は無制限で

あり、より慎重な施工が要求される。

これは、例えば、設計では断層破碎帯での注入範囲のとり方、材料では浸透性や長期強度発現性の向上を目的とした材料の研究、といった技術的課題で現れてきている（表3参照）。

これらの基礎的な技術の検討や研究開発の他に、注入作業を効率良く進めるために、合理的な注入工法を確立しておく必要がある。これには、地質、湧水状況に適合した注入方法、注入基準の選定、作業性のよい適切な注入機械の選定が不可欠である。これらのことには、特殊な開発よりも施工実績に裏付けられた技術的な判断が要求される比率が高い。

このため、長大海底トンネルの注入方法としては、施工しながら技術情報を系統立てて管理し、次の注入施工に反映させることを目的とした“情報化施工”的な手法が最も合理的な方法であると考えられた。

— 研究会会員募集 —

本会は国際ハイウェイ構想の一環である日韓トンネル計画の調査・研究を内外分野の専門家の協力を得て、情報・資料の収集、講演会、シンポジウムの開催、更には国際交流や刊行書として『日韓トンネル時報』（年4回）、『日韓トンネル研究』（年2回）の出版を通して行っております。

本会を具体的に推進するために幅広く会員の募集を致しておりますので、何卒宜しく御加入下さいますようお願い申し上げます。

会 費	正 会 員	年 額	5,000 円
	賛助会員	年 額	
		個人一口	10,000 円
		法人一口	50,000 円
		一口以上	

国際ハイウェイプロジェクト
 日韓トンネル研究会
 〒150 東京都渋谷区道玄坂 2-10-12
 新大宗ビル3号館
 Tel. 03-496-9211
 Fax. 03-476-0243