

# 青函터널의 現況 (海底터널)

金 周 範\*

## 1. 青函터널

이 터널은 本州側은 今別町浜名를 起點으로 하고 龍飛崎의 直下를 通하고 津輕海峽을 北上하여 北海道側의 吉田을 지나 知內町 湯里에 이르는 全長 53.85km(本州側 陸上部 13.55km, 海底部 23.30km, 北海道側 陸上部 17.00km)이다. 이 터널은 將次 新幹線을 通하도록 設計되어 있어 最急勾配는 12/1000, 最小曲線半徑은 6500m, 터널斷面은 新幹線 複線型이다. 터널 路線에서

最大水深은 140m 이고 最小土被는 100m 이므로 海底 中央部에서는 海面下 240m 를 通過하게 되어 있다.

地質은 本州側의 龍飛附近이 安小岩, 玄武岩을 主로하는 火山岩이고, 海峽中央部附近은 질트岩, 泥岩等을 主로하는 黑松內層, 八雲層이라 稱하는 推積岩이고, 北海道側의 吉岡附近은 凝灰岩을 主로하는 訓縫層이라 부르는 推積岩으로 크게 分類된다.

海底部에는 先進導坑, 作業坑, 本坑의 3 個의 터널을 掘鑿하고 있는데(海底 中央部 附近에서

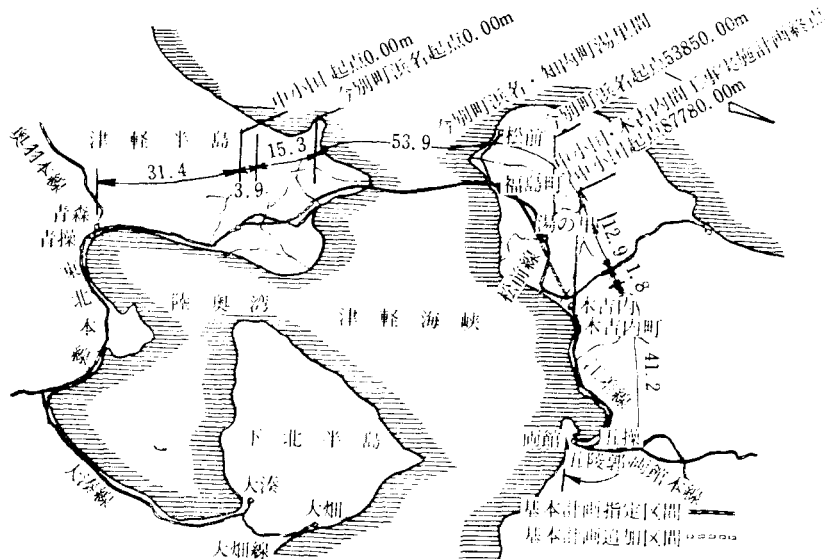


그림-1 津輕海峽線路略圖

\* 正會員, 南元建設 엔지니어링 專務理事

는 先進道坑과 本坑) 先進道坑은 斜坑 밑에서부터 海底中央部를 向하여 3/1000의 上向勾配로 設計되어 있다.

先進道坑의 掘鑿을 先行함으로써 前方의 地質等을 確認함과 同時에 排水, 換氣坑道로서의 機能을 다하고 있다. 作業坑은 本坑과 平行으로 하고 이 두 坑의 距離는 30m를 標準으로 하고 있다. 作業坑에서는 600~1000m 程度의 間隔으로 本坑으로의 連絡坑을 設置하여 本坑의 施工막장을 늘렸다.

### 1.1. 接續部

青函터널 前後의 接續部는 本州側의 津輕線의 中小國驛附近에서 分岐하여 津輕線의 東側을 通하여 青函터널의 入口에 이른다.

터널을 지나 거의 直線으로 江差線木古內驛에 이르는 路線이 된다. 延長은 本州側의 中小國에서 터널入口까지 19.2km, 北海道側의 出口에서 木古內사이는 14.6km이다.

表-1 接續部構造物延長

區 間	構造物	터 널	橋 高 架 梁 橋	盛 土 他	計
本 州 側		14.490km (55%)	3.300km (17%)	5.420km (28%)	19.210km (100%)
北 海 道 側		7.030km (48%)	3.240km (22%)	4.450km (30%)	14.720km (100%)
全 體		17.520km (52%)	6.540km (19%)	9.870km (29%)	33.930km (100%)

中小國에서 木古內사이에서도 兩驛附近의 接續部分을 除外하고 將次 新幹線과 共用할 수 있는 設計로 하였다.

共用할 區間에 對하여서는 最急勾配 15/1000, 最小曲線半徑 6500m로 하였고, 터널은 勿論이 거니와 橋梁等도 新幹線 規格으로 設計하였다. (北海道鐵道는 陝軌道임) 其他部分은 最急勾配 20/1000, 最小曲線半徑 600m로 하였다.

津輕線의 青森과 中小國사이 및 江差線의 木

古內와 函館사이에서는 軌道強化, 橋梁負擔力의 增加, 電化等의 改良을 하였다.

接續部分의 地質은 本州側은 蟹田層上部인 細粒~粗粒砂岩으로 이루어져 있고 終點은 浜名層의 자갈섞인 실트·모래가 主를 이루고 있다.

北海道側은 黑松內層의 실트岩, 凝灰岩, 八雲層의 硬質頁岩, 凝灰質砂岩, 泥岩等을 主로 하고 있다.

接續部分을 構造物別로 보면 本州, 北海道側

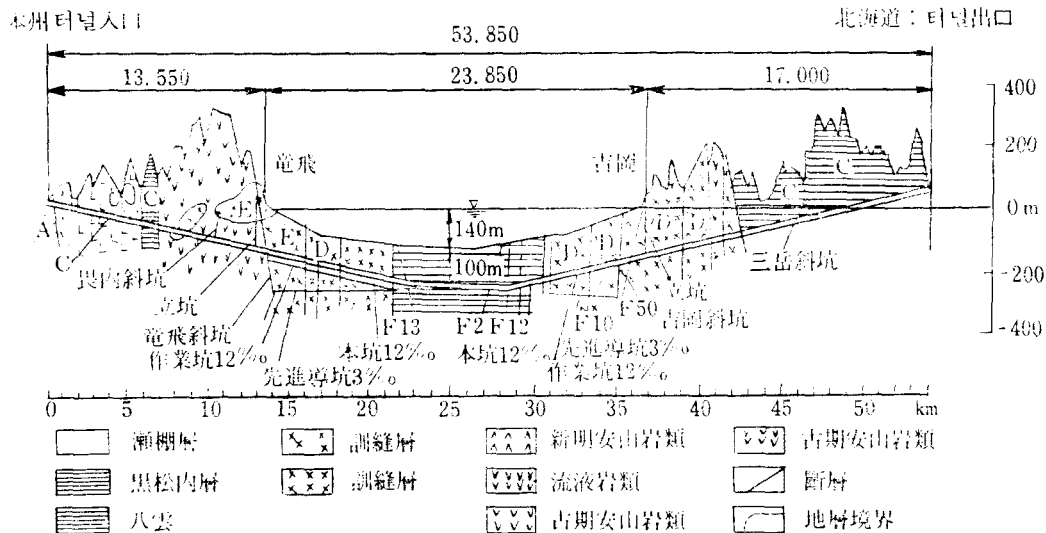


그림 2. 青函터널 地質縱斷面圖

共히 터널이 約 50%를 占하고 있다. 나머지가 高架, 橋梁, 盛土 등으로 되어 있으나, 이 一帶는 많은 降雪이 있어 눈에 對한 對策이 必要하였다. 高架區間에서의 開床式 高架橋의 採用도 좋은 解決策이라 여겨져 이에 對한 試驗도 計劃하였다.

## 2. 測 量

列車가 달리는 本坑의 貫通誤差는 再掘鑿 및 坑道修正의 損失을 考慮하면 覆工두께를 一部 變更하는데만 修正可能한 範圍로서 10cm 以內를 目標로 하였다. 이 數値는 延長 11km의 開放트래버스測量의 許容誤差가 1秒以內의 높은 精度이며, 坑外에서 行하는 渡海測量, 坑口三角測量은 特히 높은 精度가 要求되었다. 이 터널과 같이 長大터널에서는 地球의 表面은 平面으로 보기 어렵고 地球의 曲率을 考慮하여야 하며 빛의 屈折 問題가 있다. 따라서 이것들에 對處할 測量技術과 높은 精度의 機器의 使用이 必要하게 되고, 또 位置 및 높이에 對한 基準點은 國家三角點 및 水準點을 쓰는 方法도 있겠으나 貫通精度를 높이기 爲하여 獨自의인 基準點을 設定하여 測量하였다.

1964年 3月 測量을 建設省 國土地理院에 委託하여 渡海三角點, 渡海水準點, 坑口三角點 및 檢潮所가 設置되어 1965年 부터 渡海三角測量을 包含한 各種 基礎測量을 始作하였다.

渡海三角測量은 測定誤差를 坑內에 넣지 않기 爲하여 從來基線測量과 角測量에 代身하여 三邊三角測量方法을 採用하였고, 渡海三角點의 邊長은 最大 35km, 最小 7.5km로 하였다.

### 2.1. 水平角의 觀測

測角은 월드  $T_3$ (最小읽음치 0.2秒)를 使用하여 觀測은 各方向의 視準回數가 等量이 되도록 노력하였고 一方向에 24倍角의 角觀測法을 採用하였다.

角觀測은 3對回를 1組로하여 大氣가 安定되는 夜間觀測을 實施하였다. 1角의 測定은 2夜 以上으로 나누어 될수 있는대로 觀測時間을 分散하여 시행하였다.

視準標는 回光燈을 썼고 1.5V의 平角 3號를 電源으로하여 邊長의 長短에 따라 抵抗器에서 光波가 調節되도록 하였다.

### 2.2. 距離測定

三邊三角測量의 邊長測定에는 60km 測定可能한 光波測距儀를 使用하였다.

測距儀의 氣象補正은 氣溫에 依한 것이 많고 光路를 代表하는 氣溫은 地表附近의 氣溫分布의 調查結果에서 地上 3m 以上이 適當하였다.

距離測定은 2日 以上으로 나누어 全邊 5셋트 施行하였다. 邊長의 測定結果는 100萬分의 1以內의 精度를 確保할 수 있었다.

### 2.3. 渡海水準測量

이것을 行한 海峽은 23km로서 월드  $T_3$ 와 지오지메타 8型을 使用하여 三角水準測量을 하였다.

水準點은 (上)(下) 2點을 1組로 兩岸에 2組를 設置하여 빛의 屈折에 依한 誤差를 없애기 爲하여 兩岸에서 同時觀測을 하였다. 觀測은 晝夜로 나누어 하여 이들의 平均値를 採用하였다.

水準點 (上)(下) 사이는 直線水準測量에 依하여 比高를 測定하여 龍飛側을 基準으로 하여 各 4個의 經路에서 吉岡(下)의 標高를 算出하

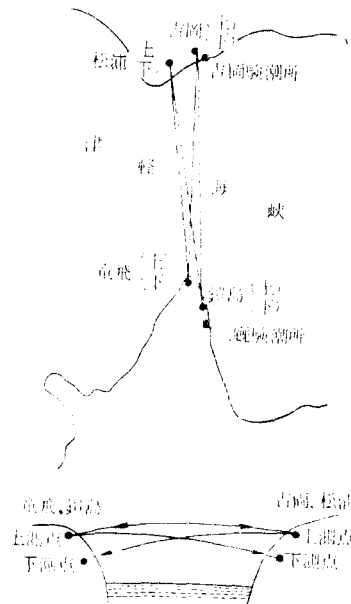


그림 3. 渡海水準縱断面圖

여 北海道側 工事의 水準原點으로 하였다. 採用 値는 1970 年度의 成果  $H=88m3550$  이었다. 이 것은 國家水準點보다 11cm 높다.

先進導坑 貫通前에 誤差推定은 左右 1.1m, 高低 30cm, (渡海水準測量에 依한 晝夜觀測 誤差를 考慮) 길이 50cm 以內로 하였는데 實際로 左右 644mm(吉岡側이 西쪽으로), 高低差 199mm (吉岡側이 낮음), 距離 19mm 로서 左右 4 萬分의 1, 高低差 13 萬分의 1, 距離 130 萬分의 1 이 라는 높은 精度였다.

### 3. 工事概況

接續部分에 對하여서는 1982 年 8 月에 北海道側 第 1 湯里 터널 工事等 3 件의 工事를 發注한 것을 契機로 16 件中 15 件이 터널 工事이고 本州側의 大平터널과 津輕터널을 除外하고 NATM 工法으로 施工하였다.

先進導坑은 이제까지 많은 斷層, 膨脹性地質 區間等을 突破하여 왔으나 海底中央部 附近에 나타난 黑松內層中の 砂質凝灰岩層은 施工이 大端히 어려운 區間으로 이 層은 砂質凝灰岩, 凝灰岩質砂質泥岩中에 砂質凝灰岩을 挾在하는 部分, 이것이 互層을 이루는 部分等으로 되어 있고 極히 軟弱하고 胞弱하여 透水係數도 크고 多量의 含水帶였다. 이 區間에서는 止水注入도 一般區間의 5~10 倍의 量을 注入하여 無事히 施工할 수가 있었다.

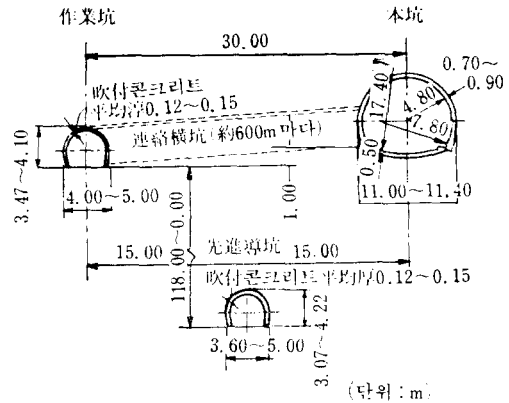


그림 4. 靑函터널(海底部) 工事標準橫斷面

作業坑은 斜坑의 中間程度에서 分岐하여 本坑과 거의 平行하게 掘鑿하였다. 龍飛側은 1970年 6 月부터, 吉岡側은 1968 年 12 月부터 掘鑿을 始作하여 龍飛側에서 1 回, 吉岡側에서 2 回의 異常出水를 經驗하였는데 特히 1976 年 5 月에 일어난 吉岡의 異常出水는 最大出水量 80m<sup>3</sup>/分에 達하여 한동안 完成된 本坑에까지 湛水되었었다.

異常出水는 어느것이나 斷層破碎帶에서 일어난 것으로 復舊에는 出水막장에 注入하여 止水함과 同時에 崩壞막장의 再掘鑿 또는 迂迴坑을 施工하여 突破하였다. 作業坑은 앞으로 補修用 通路로 使用하게 된다.

本州側 陸上部는 1973 年 1 月에 着工하여 1981 年 7 月에 貫通하였다.

北海道側 陸上部는 1973 年 1 月着工하여 1978

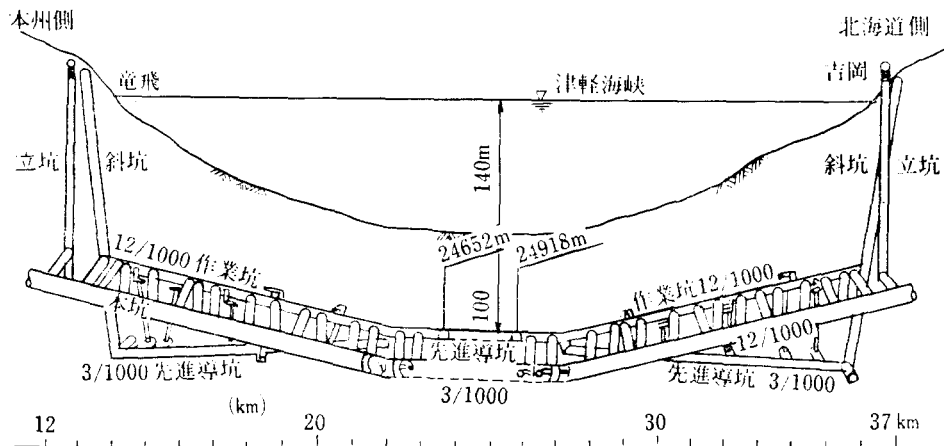


그림 5. 靑函터널(海底部) 立體略圖

年 10 月에 貫通하였다.

陸上部工에서 質用師工區의 斜坑底部附近의 膨脹性地質區間과 長內工區의 湧水帶의 施工이 어려웠으며 餘他區間은 比較的 順調롭게 進行되었다.

#### 4. 靑函터널의 諸設備

##### 4.1. 排水設備

排水는 龍飛側·吉岡側 各各斜坑底部에서 集

水排水 하였다.

本坑, 作業坑에서의 排水도 一端 先進導坑에 流下시켜 先進導坑內의 排水溝에서 斜坑底部 umps로 流入한다.

斜坑底部의 umps能力은 約 700m<sup>3</sup>/分으로 이것은 一般排水와 異常出水時의 豫想排水量을 考慮하여 決定하였다.

異常出水對策으로 先進導坑, 本坑, 連絡坑等에는 耐壓水門을 設備함과 더불어 umps도 龍飛吉岡과 互換性을 갖도록 하였다.

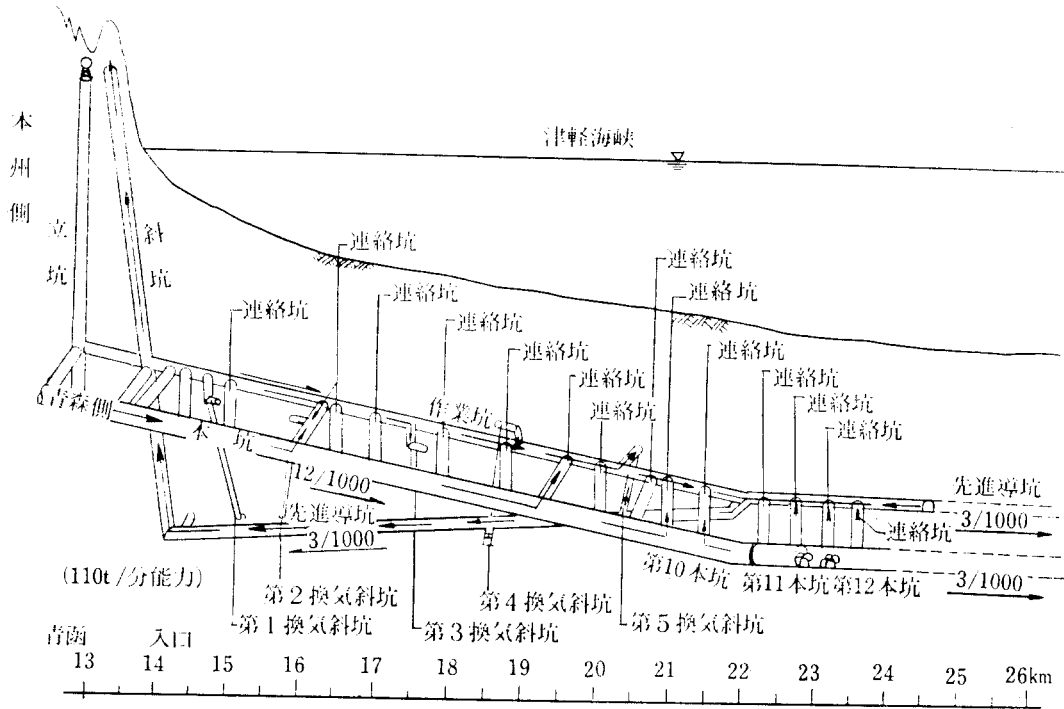


그림 6. 靑函터널(龍飛工區) 排水系統圖

##### 4.2. 換氣設備

坑道延長이 長大하고 一般山岳터널과 같은 風管換氣가 不可能하여 坑道換氣를 採用하였다. 本坑에 接續하고 있는 垂直坑口에 5000m<sup>3</sup>/分の 吸出 風을 設置하여 斜坑에서 先進導坑→作業坑→本坑으로의 系統으로 되어 있다. 各 作業막장에는 各各 로칼風을 設置하여 300~500m<sup>3</sup>/分の 風量을 送風하였다.

#### 5. 靑函터널의 特別한 技術

##### 5.1. 先進보링

海底部分의 地質調査는 浚漂, 淺尺보링, 物理探査等을 하여 精度 높은 地質圖를 作成하였으나 이것들은 어디까지나 間接的인 方法이므로 坑道를 掘鑿함에 있어서 前方의 地質의 確認, 湧水位置, 湧水量等을 正確히 把握하는 것이 安全하고 效率的이다.

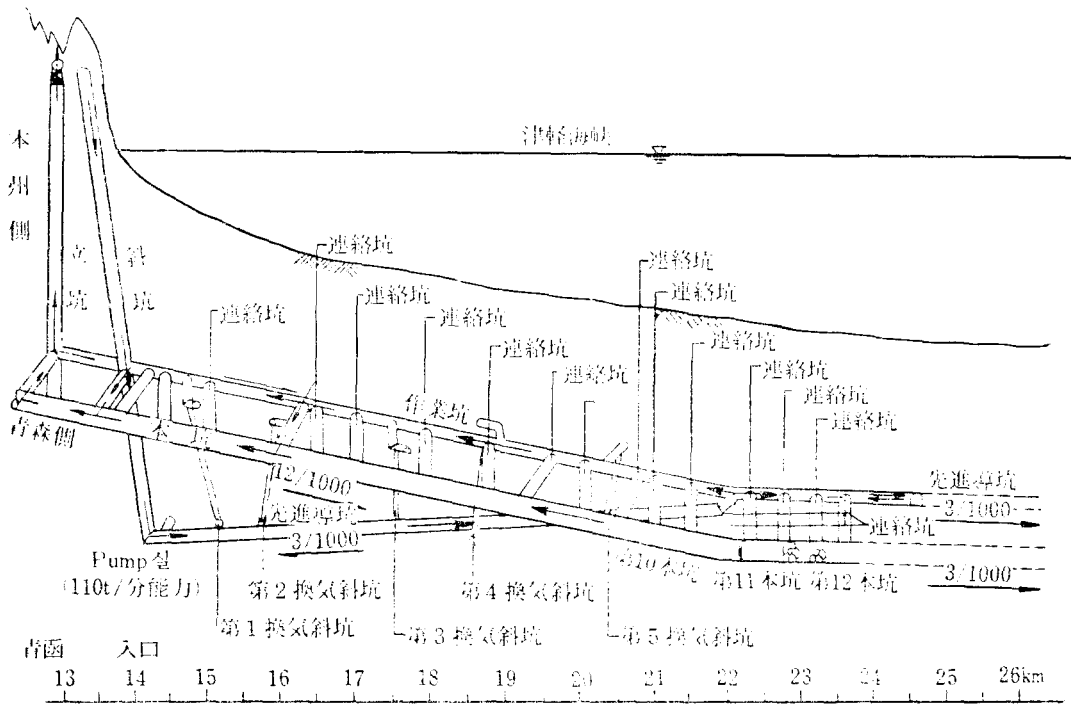


그림 7. 青函터널(龍飛工區) 換氣系統圖

先進보링에서

① 大端히 長尺일것

② 目標位置에 沿한 보링일것

①에 對하여는 崩壞, 膨脹性의 地質區間의 處理方法, 效率的인 코아의 排出方法의 確立이 必要하다. 이것을 充足시키는 方法이 리버스工法이다.

循還水를 加壓하여 孔內壁에 內壓을 加함으로 孔壁의 崩壞를 防止함과 同時에 코아의 排出로 大端히 效率的으로 된다. 이工法에서도 崩壞可能性이 있는 區間에서는 케이싱을 挿入하는 二重管리버스工法도 使用하였다.

②에 對하여는 水平보링을 할때 孔曲이 생기므로 이것을 修正하여야 한다. 修正方法으로는 빗드의 形狀, 스타비라이자와의 組合, 推進力의 調整等으로 目的을 達成할 수 있다. 이와같이하여 1000m 程度의 보링은 實用化 되었고 最長 2200m 까지 實施하였다.

## 5.2. 止水注入

海底部에서는 最高  $24\text{kg/cm}^2$  에 達하는 水壓에 對抗하여야 한다. 坑道로의 湧水는 이에 따른 土砂崩壞, 大出水의 危險이 늘 따른다. 이것은 掘鑿途中의 危險性外에 이 水壓을 覆工 콘크리트로 抵抗한다는 것은 過大한 構造物이 된다. 그리하여 터널 周邊에 掘鑿前에 止水帶를 形成하여 이것이 水壓을 받음으로써 坑道の 掘鑿 및 覆工은 一般山岳터널과 같이 取扱하였다. 따라서 止水注入 그 自體를 永久構造物로 取扱하게 된 셈이다.

注入材料로서는 充分한 強度를 가지고 海水에 對하여 耐久性이 充分하고 더우기 浸透性이 좋고 젤타임의 調節이 容易한 것이 必要하게 된다.

여기서 使用하고 있는 材料는 高爐코로이드 시멘트와 1號珪酸나트륨이다. 注入에 있어서 對象地盤 注入孔마다의 效果를 判斷하는 것이 重

平面圖 S=1/500

斷面圖 S=1/500

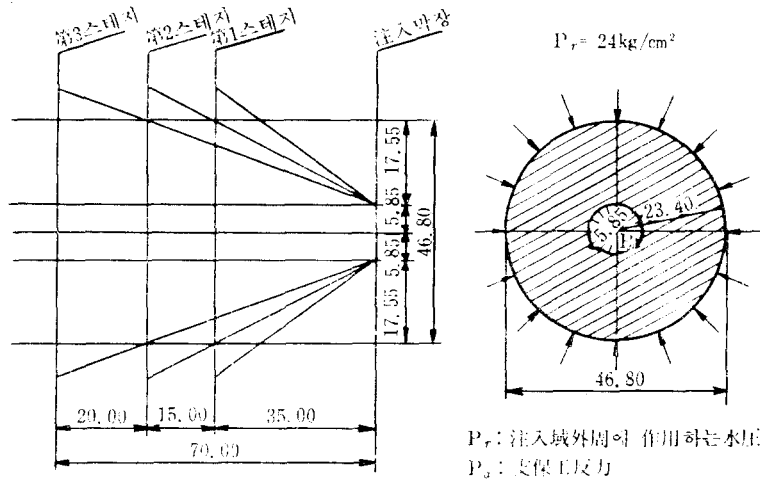


그림 8. 注 入 圖

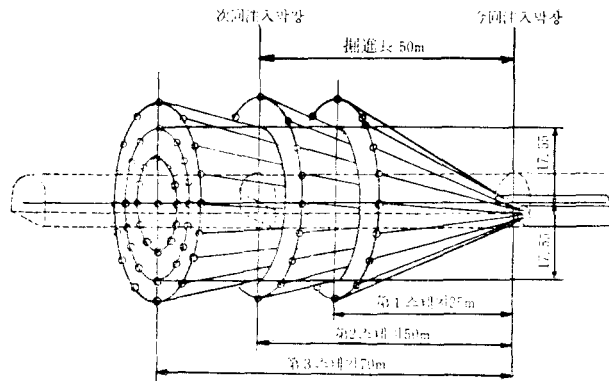


그림 9. 注 入 概 念 圖

注入材 表-2 高爐코로이드 시멘트規格

항 목	種 類		
	高爐 코로이드 시멘트	普通포르랜드 시멘트	
比 重	3.00 以上	3.05 以上	
高爐스래그量(重量 %)	50~60%	—	
粉末度	比表面積(cm <sup>2</sup> /g)	5600 以上	2300 以上
	限界粒徑 40μ	2% 以下	88μ 殘量 10% 以下
	殘量(%) 15μ	30% 以下	
凝 結		1時間 以後	1時間 以後
		5時間 以內	10時間 以內
强 度	壓縮强度 3日	100 以上	55 以上
	(kg/cm <sup>2</sup> ) 7日	180 以上	110 以上
	28日	400 以上	220 以上

表-3 珪酸소다 規格

項 目	種 類	1 號	JIS 3 號
外 觀		물 유리같이 無色의 液體	과 동
比 重(15°C B <sub>e</sub> )		52.5~53.5	40 以上
물 比		2.1~2.3	3.0~3.3
三酸化珪素(%)		31~33	28~30
酸化나트륨(%)		15~16	9~10
鐵 (%)		0.02 以下	0.02 以下
水 不 溶 分(%)		0.2 以下	0.05 以下
		注入할 때 75% 溶液으로 한다.	겔 타임이 빠르므로 케이싱 파이프 固定用에 使用

要하다.

靑函터널에서 注入孔의 配置, 注入方式 等을

어느程度 패턴化하여 注入의 判斷基準을 作成하여 各注入에 對하여 其의 有效性의 判斷을 하였다.

### 5.3. 殘湧水處理를 爲한 注入

止水注入에 依하여 湧水を 100% 止水하는 것이 理想的이다. 그러나 이렇게 하기 爲하여서는 莫大한 工期와 工費를 要한다. 따라서 判斷基準에서 微量의 殘湧水는 어쩔수 없는 것으로 하였다.

本터널에서 坑內로의 湧水는 永久히 坑外로 強制排水 하여야 한다. 이 動力費의 節減을 爲한 目的으로 覆工後에 比較的 集中的으로 湧水가 殘留하여 있는 區間에 對하여 再注入을 實施하였다.

이 再注入에는 當初의 止水注入時의 鑿孔時의 데이터, 注入데이터 등을 分析하여 效果를 높였다. 이들 데이터는 모두 電算處理하여 必要한 情報는 自由로이 使用할 수 있도록 하였다.

覆工이 完了된 區間の 注入은 注入壓의 影響

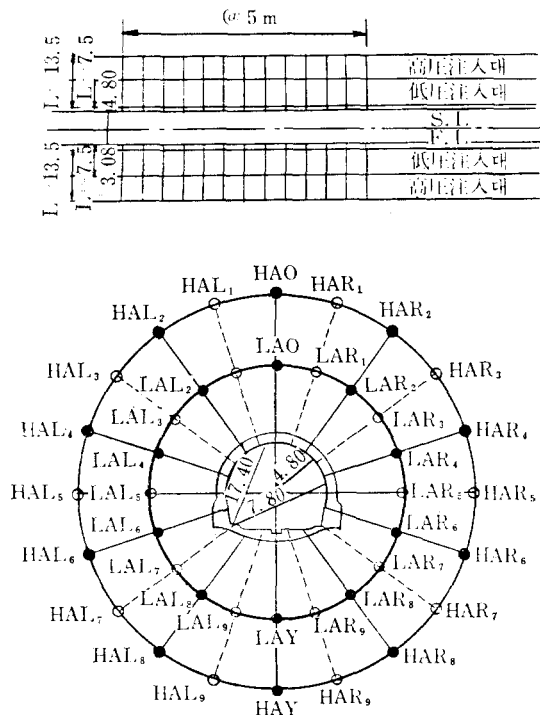


그림 10. 覆工後의 殘湧水止水의 一例

을 測定하면서 注入壓의 管理를 하였다.

止水는 施工區間에 따라 差異가 있으나 相當한 效果를 올렸다.

### 6. 火災對策設備

터널內에서 列車火災가 發生하였을 때 列車는 터널을 走行 脫出하여 乘客을 安全한 地域에 誘導하는 것이 最上의 方法이라 生覺하여 國鐵에서는 運轉取扱基準 規程中에 그와같이 規定되어 있다.

靑函터널은 長大하기 때문에 火災의 狀況에 따라서는 列車가 터널外部로 脫出하지 못하고 터널內에 停車할 수밖에 없을 때가 있다. 이때 터널內에 火災列車를 停止시켜 乘客의 避難, 救援과 더불어 消火活動을 할수 있는 特別한 場所를 設置하는 方式(定點方式)을 基本으로 하는 것으로 하였다. 卽 龍飛·吉岡(斜坑과 垂直坑사이) 두곳에 定點을 두어 이 터널을 3等分하는 것으로 出入口 및 定點사이의 長이를 短縮하여 一般 最長터널과 같은 程度의 長이로 하였다. 이 定點에 밝은 空間과 같은 程度의 避難環境을 갖춘 火災對策設備를 施設하여 一般터널과 같은 對策을 可能케 하고 安全性을 確保할 수 있게 하였다. 具體的으로 터널內에 乘客, 乘務員 또는 火災檢知裝置에 依하여 列車火災가 發見되었을 때는 列車를 最近定點에 停車시키던가 또는 터널 밖으로 脫出시킨다.

定點에는 乘降臺, 避難救援通路, 連絡放送設備, 排煙設備 및 消火設備(물噴霧設備, 消火栓, 給水栓)를 設置함으로써 乘客을 安全한 곳까지 避難, 救援함과 同時에 排煙, 消火를 迅速히 하도록 하였다.

列車火災時에는 乘客이 良好한 環境條件下에서 避難할 수 있도록 斜坑에서 入氣, 垂直坑에서 排氣하도록 하였는데, 이 때문에 常用換氣設備以外에 火災時의 非常換氣用으로서 排煙扇風機, 排煙坑, 風門을 設備하도록 하였다.

### 7. 맺 음

이 글은 공사를 進行하면서 土木施工, 土木技



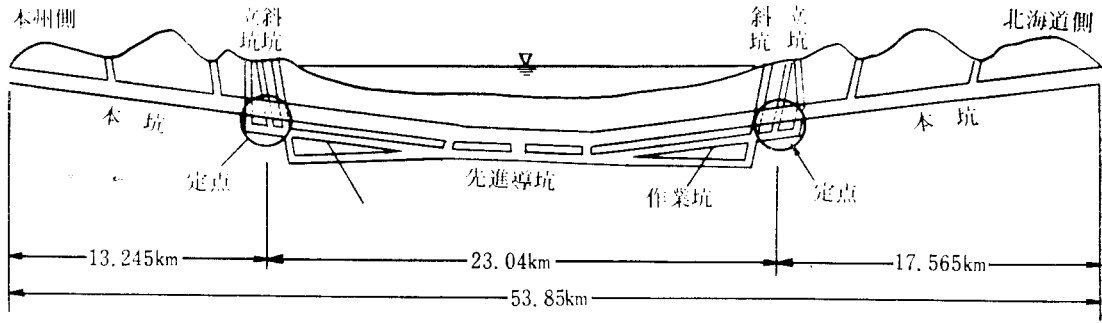


그림 11. 定點位置圖

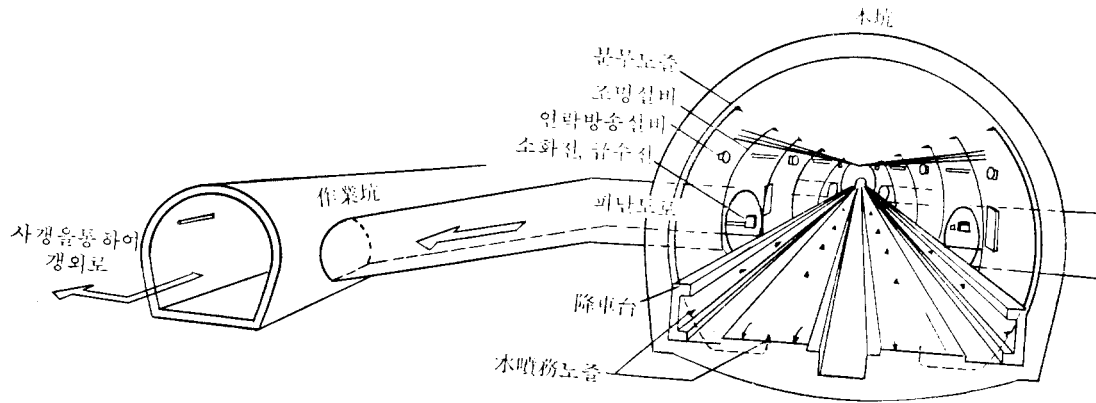


그림 12. 定點設備概要圖

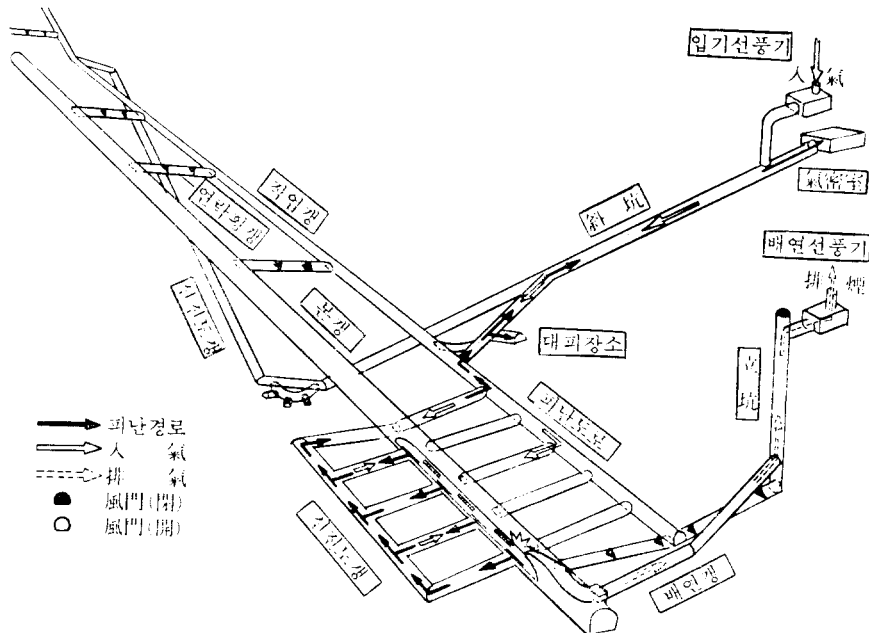


그림 13. 列車火災時換氣模式圖

術 및 터널과地下에 실린 資料에서 간추려서 記述한 것으로 海底터널에서 이루어진 새로운 工

法들이 開發되었기에 우리의 土木工事に 參考될 것으로 기대하면서 끝맺는다.