

經濟部



行政院所屬各機關因公出人員出國報告書

(出國類別：研習)

## 長隧道工程設計、施工及管理

服務機關：經濟部水利署

出國人職稱：正工程司

姓名：宋恒輝

出國地點：日本

出國期間：91年11月25日至91年12月5日

報告日期：92年2月25日

45/  
C09200986

系統識別號:C09200986

公務出國報告提要

頁數: 50 含附件: 否

報告名稱:

研習長隧道工程設計、施工及管理

主辦機關:

經濟部水利署

聯絡人/電話:

/

出國人員:

宋恆輝 經濟部水利署 工程司

出國類別: 考察 其他

出國地區: 日本

出國期間: 民國 91 年 11 月 25 日 - 民國 91 年 12 月 05 日

報告日期: 民國 92 年 02 月 25 日

分類號/目: G5/水利工程 G5/水利工程

關鍵詞: 長隧道

內容摘要: 隨著國內隧道工程技術之進步，未來橫貫脊樑山脈的交通建設或水利開發計畫之可能性必然增高，其計畫當中的長隧道則勢必成為工程成敗之關鍵。而可能影響隧道工程成敗的困難地質挑戰至少有斷層、擠壓、岩爆、湧水及滲漏，地熱及溫泉、煤坑與瓦斯等，為了解上述困難地質處理對策，經日本明治大學前教授山本光男介紹，由日本鹿島及鐵建二家公司安排參訪該二公司目前施工中之隧道工程。本報告介紹鹿島公司施工中之權兵衛及高社山隧道工程，其特點為高岩覆（600m）、低岩覆（2.2m）、地質破碎及大量湧水之處理；鐵建公司施工中之飯山及大平隧道工程之特點為開挖後土碴以滾輪輸送帶搬運、開挖斜坑時機及隧道內污水之處理對策。附錄蒐集日本克服高壓帶水、火山堆積層及高熱帶之安房隧道工程相關資料，提供從事隧道工作之參考。

本文電子檔已上傳至出國報告資訊網

## 摘 要

隨著國內隧道工程技術之進步，未來橫貫脊樑山脈的交通建設或水利開發計畫之可能性必然增高，其計畫當中的長隧道則勢必成為工程成敗之關鍵。而可能影響隧道工程成敗的困難地質挑戰至少有斷層、擠壓、岩爆、湧水及滲漏，地熱及溫泉、煤坑與瓦斯等，為了解上述困難地質處理對策，經日本明治大學前教授山本光男介紹，由日本鹿島及鐵建二家公司安排參訪該二公司目前施工中之隧道工程。

本報告介紹鹿島公司施工中之權兵衛及高社山隧道工程，其特點為高岩覆（600m）、低岩覆（2.2m）、地質破碎及大量湧水之處理；鐵建公司施工中之飯山及大平隧道工程之特點為開挖後土碴以滾輪輸送帶搬運、開挖斜坑時機及隧道內污水之處理對策。附錄蒐集日本克服高壓帶水、火山堆積層及高熱帶之安房隧道工程相關資料，提供從事隧道工作之參考。

# 目 錄

摘要	
壹、目的	1
貳、行程	2
參、內容	3
一、權兵權隧道工程	3
(一)前言	3
(二)工程概要	3
(三)隧道目前施工情形	4
(四)工程現況說明	4
(五)軟弱地質與湧水問題之處經過及對策	6
二、高社山隧道(北)工程	17
(一)前言	17
(二)工程概要	17
(三)隧道諸元	17
(四)目前施工情形	18
(五)低覆蓋區域處理對策及施工實績	18
三、飯山隧道(上倉工法)	34
(一)前言	34
(二)工程概要	34
(三)地質概要	34
(四)目前施工情形	35
(五)施工方法	35
四、大平隧道工程	44
(一)前言	44
(二)工程概要	44
(三)工程內容	44
(四)地質概要	44
(五)施工方法	44
肆、結論與建議	50
附錄：安房隧道工程通過高壓帶水、火山堆積層及高熱帶地質調查及施工	

## 壹、目的

水資源需求的壓力隨著人類生活的進步發展與日俱增，區域間水資源統籌調度為未來水利署重大業務之一。在水量豐沛之河川引水注入現有水庫，以供整體區域間之調度或執行越域引水或越域排洪，常須開鑿長隧道藉以引水或排洪，惟開鑿長隧道常須穿越高山峻嶺，設計及施工時除須考慮地質問題（如破碎帶、斷層、摺皺等），亦須顧及湧水、岩爆、瓦斯、礦坑及熱泉等因素，為了解上述因素之處理對策，俾供未來施作長隧道遭遇類似問題之參考，經由在台日商鹿島及鐵建建設公司之安排，遂得如願參觀該二家公司目前在日本施工中遭遇地質破碎、高覆蓋、低覆蓋及湧水等隧道工程，並瞭解其處理對策。

貳、行程

月/日	星期	起迄地點	內 容	備 註
11/25	一	台北—東京	去程	
11/26	二	東京	拜會鹿島建設技術研究所	
11/27	三	東京—長野縣	參觀權兵衛隧道工程	
11/28	四	長野縣—東京	參觀高社山隧道工程	
11/29	五	東京	參觀東京灣橫斷公路 (海底隧道)	
11/30	六	東京	資料整理	
12/1	日	東京	資料整理	
12/2	一	東京	拜會日本鐵建建設	
12/3	二	東京—長野縣	參觀飯山隧道工程	
12/4	三	長野縣—岐阜 縣—東京	參觀大平隧道工程	
12/5	四	東京—台北	返程	

## 參、研習內容

### 一、權兵衛隧道工程

#### (一)前言

權兵衛隧道（全長 4.5 公里）位於長野縣，係伊那木曾連絡道路（日本 361 號國道）中權兵衛峠道路之一環（如圖一）。權兵衛峠道路 1983~1992 年度由日本國土交通省辦理規劃調查，1995 年著手施工，其中權兵衛隧道工程 3.0 公里由鹿島等三家廠商於 1998 年共同承攬施工。

本隧道完成後可促進伊那木曾地域產業與經濟之發展，帶來人口定居之效果，並可縮短伊那市至木曾福島町間行車時間約 60 分鐘（原行車時間約 90 分鐘），故計畫推動與隧道施工中尚獲當地居民支持。

本隧道施工時，遭遇地質軟弱破碎及湧水問題，其處理對策由原先爆破開挖改採機械開挖（削岩機），並施以隧道補助工法，同時為降低本坑湧水量，除於相距本坑約 30m 處設計水拔坑（斷面 5m×5m，平行本坑）外，並於本坑施作先進水平鉗孔，以探知開挖面前方地質及降低湧水量。

#### (二)工程概要

施工期限：1998 年 3 月 14 日~2004 年 3 月 30 日(72.5 個月)

工程經費：11,986,338,000 円（約台幣 34.2 億元）

廠商承攬比率：鹿島、清水、住友=50：30：20

工程進度：時間經過 76.6%，實際進度 87.8%

隧道斷面：完成後寬 11 公尺，為二線車道

主要工程數量：本坑 3,000m，水拔坑 2,697m，連絡坑 231.6m，  
集塵坑 138m（如圖二）

土渣運搬：棄土 380,000m<sup>3</sup>，二次襯砌本坑 3,000m，水拔坑  
3,000m

開挖斷面：本坑 85.5~108.4m<sup>2</sup>，水拔坑 21.6~35.9m<sup>2</sup>

隧道地質：粘板岩、黑珪石（如圖三）

施工方法：爆破開挖（機械開挖）、縫地工法、AGF、管幕工法

(三) 隧道目前施工情形（截至 2002 年 11 月 27 日）

隧道	區分	斷面積 (m <sup>2</sup> )	設計長度 (m)	開挖長度 (m)	比率 (%)	
本坑	上半部開挖	62.1~80.9	3,000	2223.1	74.1	
	下半部開挖	23.4~27.5	3,000	2153.6	71.8	
	仰拱襯砌	12.7~15.9	3,000	1323.1	44.1	D 型式施工，設計數量未定
	二次襯砌	7.5~13.3	3,000	576.9	19.2	
水拔坑	全斷面開挖	21.6~35.9	2,697	2330.3	86.4	本坑 TD(m)2633.3 與本坑相距 410.2

(四) 工程現況說明

1. 本坑（NATM 工法）

- (1) 截至 2002 年 11 月 27 日上半部開挖 2223.1m，下半部開挖 2153.6m，仰拱襯砌完成 1323.1m。
- (2) 隧道主要地質為泥質粘板岩及珪質粘板岩，部分砂岩成鏡狀，並含有塊狀，缺乏連續性。泥質粘板岩沿層面之微細龜裂面發達，部分挾有土砂與粘土薄層，開挖面全體而言自立性脆弱。湧水於破碎帶部分約 100~200 L/min 程度。
- (3) 目前之覆土約 610m，已通過本隧道最大覆蓋土（650m）。考慮目前隧道仍處於高覆蓋土區，雖依現況地質等級施作適當之支保工，惟仍有岩栓變形及噴凝土龜裂之現象發生，處理對策為支保工變形及噴凝土龜裂處，增設岩栓（L=4.0m 及 6.0m）及假仰拱噴凝土（t=20cm）。
- (4) 通過第 6 連絡坑，曾以標準 DI 型式（H-125）施工，惟發生支保變形及鬆動現象，於是變更增設岩栓並以 DII



型式(H-150)施工，可是仍發生上述同樣之變形與鬆動狀態，接後採DII-4(H200)、DII-5(H200)，甚至採DII-6(H200，間距1m)，目前開挖斷面係以E型式(H200高規格，噴SFC，RB6m)施工。而於E型式部分(標準部)之噴凝土曾發生裂痕，岩栓亦有變狀，曾以補助工法增設岩栓之方式施作，目前變位約60mm。

- (5)全體湧水量本坑約1,070 L/min，水拔坑約2,190 L/min，合計3,260 L/min，係歷來最大者。目前開挖面之湧水，因水拔坑之效果，約降低100 L/min。
- (6)另外，過去1年間之開挖進行情況2001年11月80m、12月41m，2002年1月82m、2月81m、3月75m、4月32m、5月66m、6月52m、7月78m、8月37m、9月75m、10月63m，平均每月64m。歷年施工情況如圖四。
- (7)本坑二次襯砌，2002年4月開始，已完成576.9m。目前停止本坑二次襯砌，進行仰拱襯砌中。
- (8)本坑隧道開挖面(TD2215.6m)之情況如相片一，工區湧水變位圖如圖5。

## 2. 水拔坑(傳統工法)

- (1)截至2002年11月27日已完成開挖2330.3m(相當於本坑TD2633.3m之位置)，較本坑先行開挖410.2m。
- (2)地質主體為黑灰色，另含暗茶色之泥質粘板岩，部分挾帶破碎粘土部分有容易崩落現象。標準斷面及擴寬斷面以矢板工法(連絡坑採新奧工法)施工。開挖面湧水不斷，岩體硬軟不均，有少許崩落現象，開挖狀況不甚樂觀。
- (3)施工方式有水拔鉆孔、噴凝土及注入藥液，並實施補助工法縫地工法。
- (4)與本坑相同情況，受高覆蓋土影響開挖面後方可見支保

工及矢板變形現象，曾以支保工間距 75m 施工；目前覆土約 550m，則以一般支保工間距 90cm 方式施工。

(5)開挖面湧水約 200 L/min，全體湧水量為上述之 2,190 L/min。

(6)水拔坑 TD2322.1m 開挖面狀況如相片二，水拔坑開挖記錄如圖六。

### 3. 先進水平鉆孔 (φ15cm)

第 9 次先進水平鉆孔 (相當於本坑 TD2510m) 於 2002 年 10 月 28 日開始，至 11 月 27 日已進行 219m。先進水平鉆孔岩心相關相片如圖七、八，其兼具排水設施之情況如相片三、四。

## (五) 軟弱地質與湧水問題之處理經過及對策

1. 1998 年 7 月 10 日實質開工以來，施作假設工程及處理坑口崖錐層後，於同年 10 月 28 日開始隧道本坑開挖。開挖當初地質極差，以 AGF (長尺先受鋼管工法)、注入式縫地工法、鏡止岩栓 (開挖面軟弱補助工法) 等補助工法併用方式進行施工。惟由於伊那側、木曾川工區之地質比原先預測惡劣，故施工法及工程 (原採爆破工法，預定 3 年完成 3,000m) 有修正之必要，國土交通省爰於 1999 年 12 月成立權兵衛隧道施工檢討委員會，專司本隧道施工相關事宜。
2. 經由權兵衛隧道施工檢討委員會檢討結果，本隧道須克服境峠斷層破碎帶，且地質好轉之可能性低。這由爾後開挖面觀察結果可證實，同時於 TD200m 處附近開始湧水將持續增加。

由於隧道覆蓋土高，自地面施作鉆孔困難，爰實施先進水平鉆孔 (兼用排水孔) 作開挖面前之調查。此結果，由鉆孔岩心大部份係砂礫狀及粘土狀得知地質破碎、脆弱之破碎粘板岩層持續，判定湧水量多，將影響隧道進行。

3. 2000年3月22日國土交通省第3次檢討會決定採兼用地質調查之水拔坑。
4. 水拔坑係由本坑TD315m處開始開挖，採用無板工法，以連絡坑（採用新奧工法）和本坑相通。
5. 實施水拔坑後，水拔坑之湧水量慢慢增多，而本坑之湧水量則慢慢減少，全體湧水量之60%由水拔坑流出，大大降低本坑之湧水量，致本坑得順利進行。
6. 由於水拔坑較本坑先行，開挖後之岩體可供本坑參考，並決定適當之支撐型式，充分發揮當初實施水拔坑之目的。

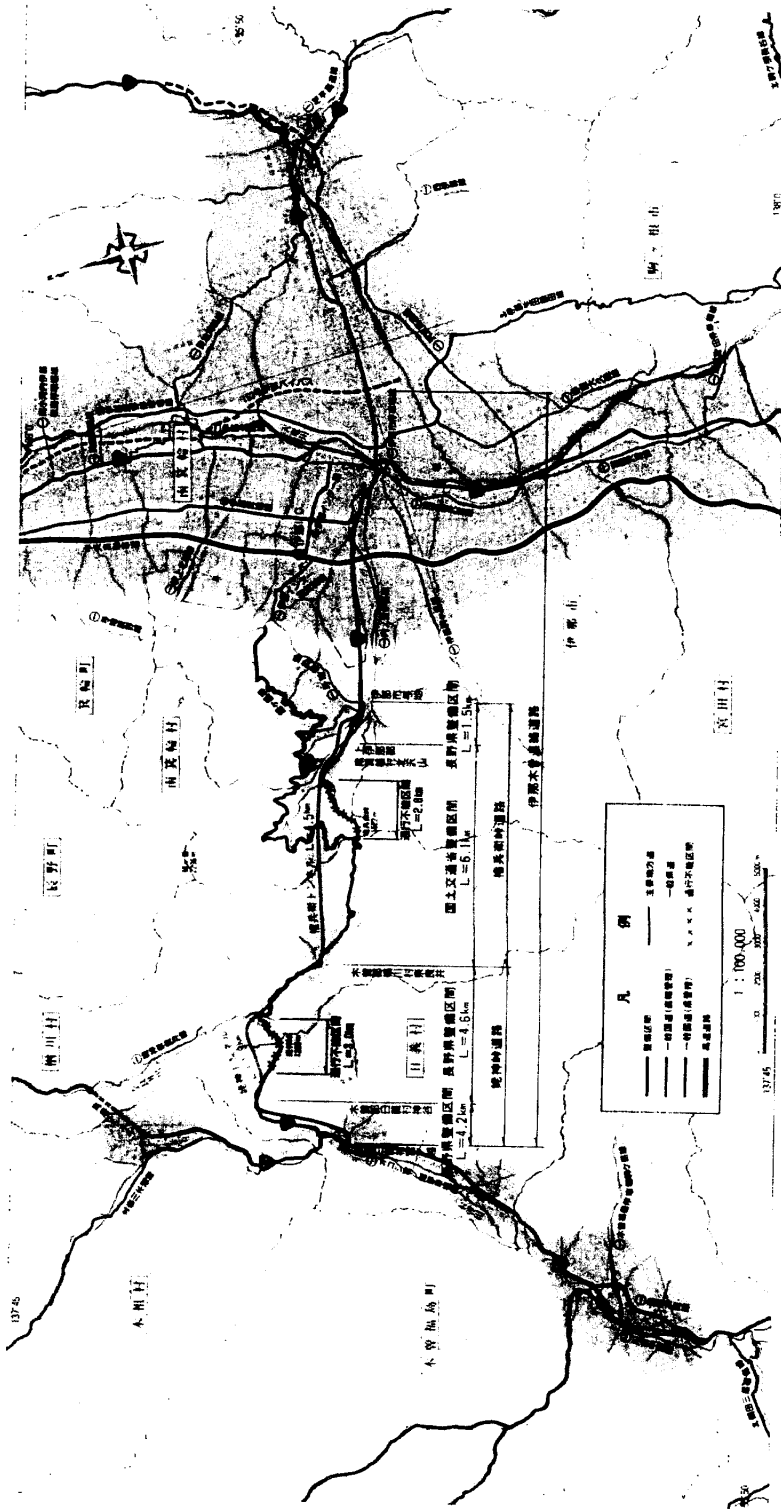


圖1 權兵衛隧道位置圖



圖四 權兵衛隧道歷年施工情況

年度	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	累計	本坑進行(單位m)	月進	累計	40
平成10年度															
平成11年度															
平成12年度															
平成13年度															
平成14年度															
平成15年度															
過去1年間平均															

年度	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	累計	本坑進行(單位m)	月進	累計	40
平成10年度															
平成11年度															
平成12年度															
平成13年度															
平成14年度															
平成15年度															
過去1年間平均															

年度	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	累計	本坑進行(單位m)	月進	累計	40
平成10年度															
平成11年度															
平成12年度															
平成13年度															
平成14年度															
平成15年度															
過去1年間平均															

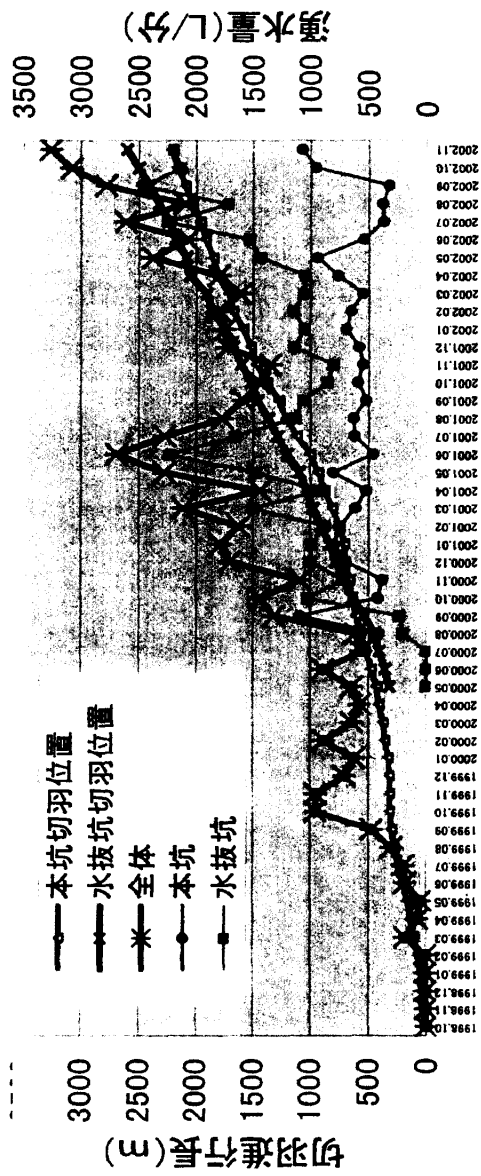
  

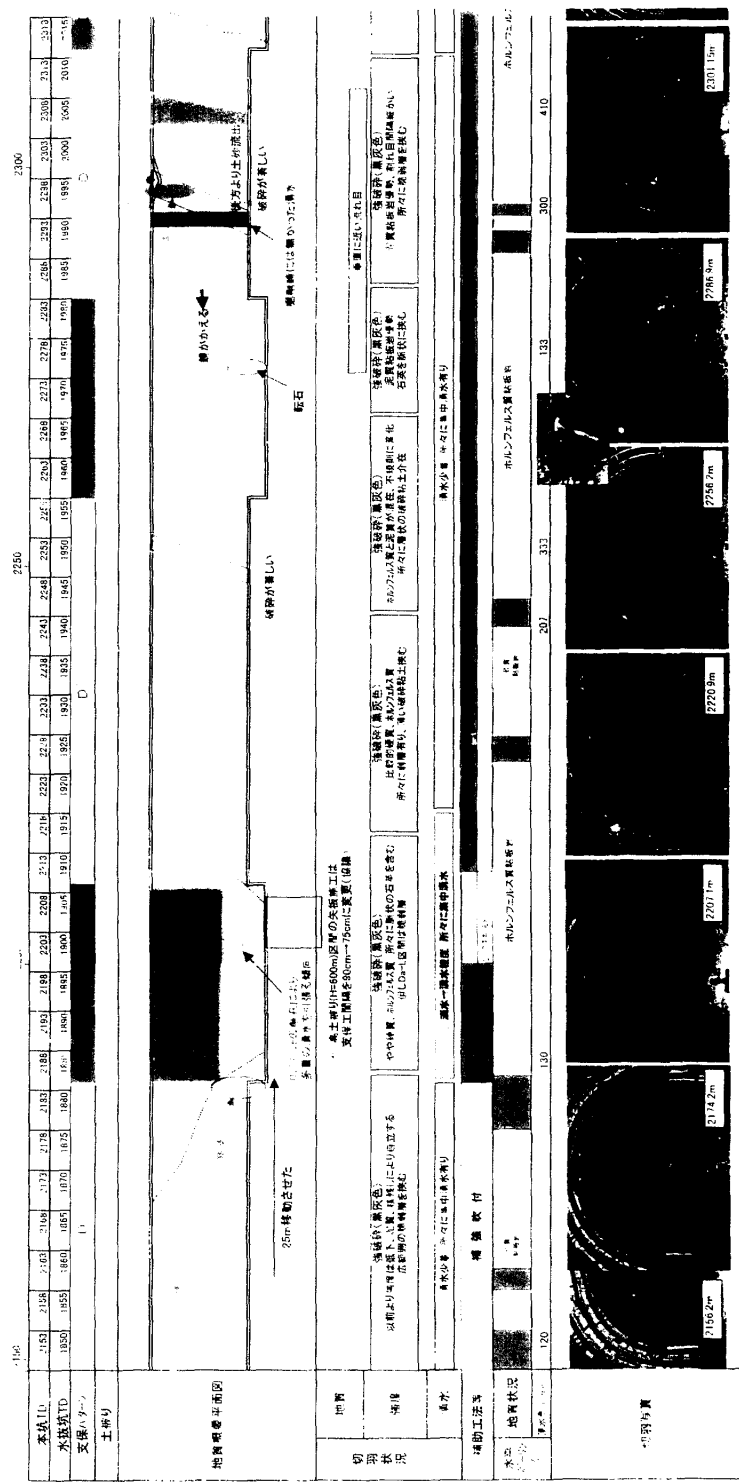
年度	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	累計	本坑進行(單位m)	月進	累計	40
平成10年度															
平成11年度															
平成12年度															
平成13年度															
平成14年度															
平成15年度															
過去1年間平均															

年度	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	累計	本坑進行(單位m)	月進	累計	40
平成10年度															
平成11年度															
平成12年度															
平成13年度															
平成14年度															
平成15年度															
過去1年間平均															

圖五 權兵衛トンネル伊那側工区 湧水変位図





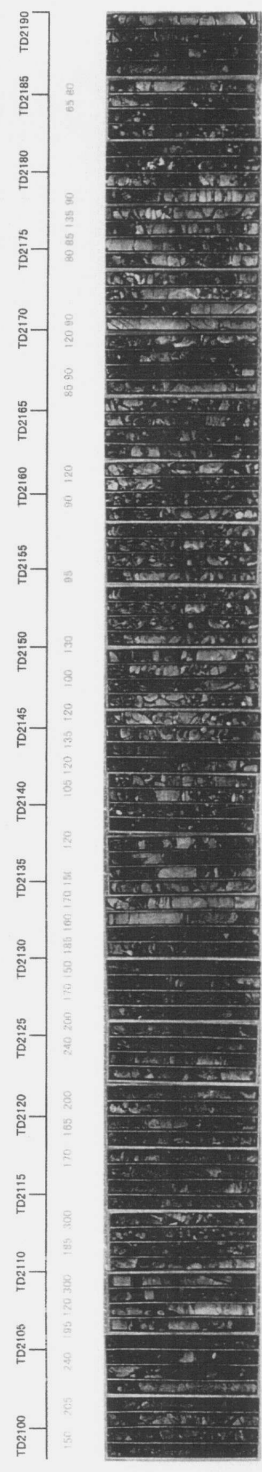
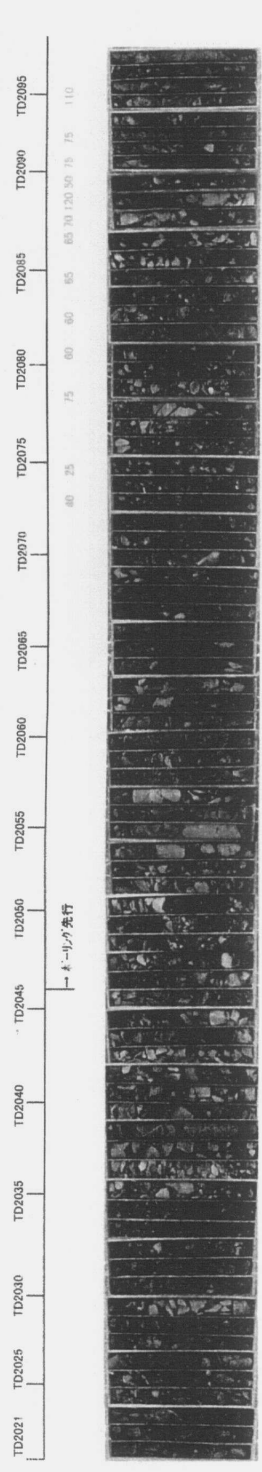
圖六 水抜坑開挖記録



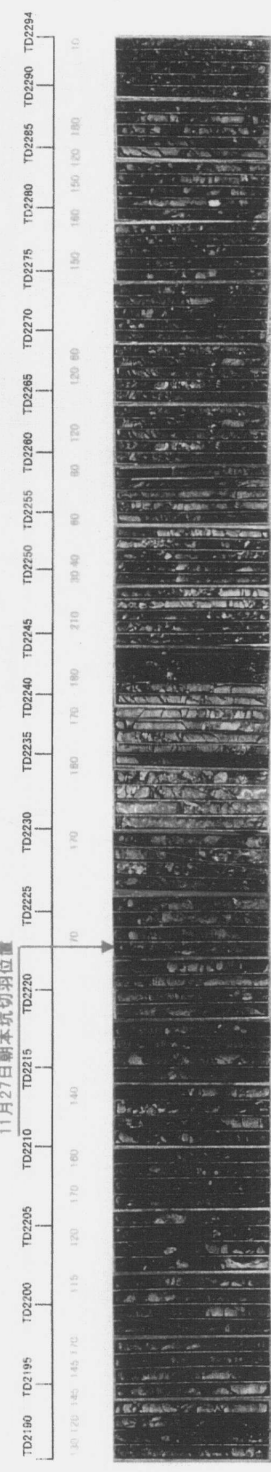
# 圖七 隧道水平鑽孔岩心

《TD2021m以後》

標本番号 L(mm)



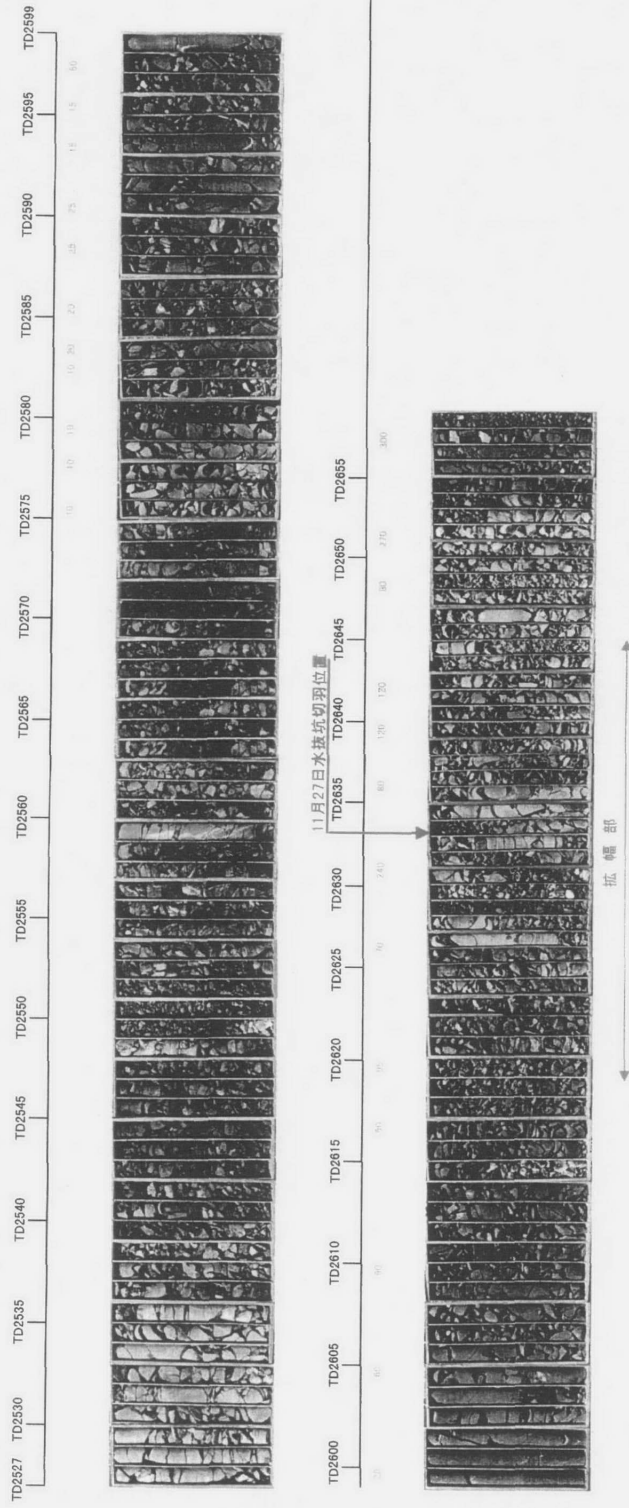
11月27日朝本坑切取位置

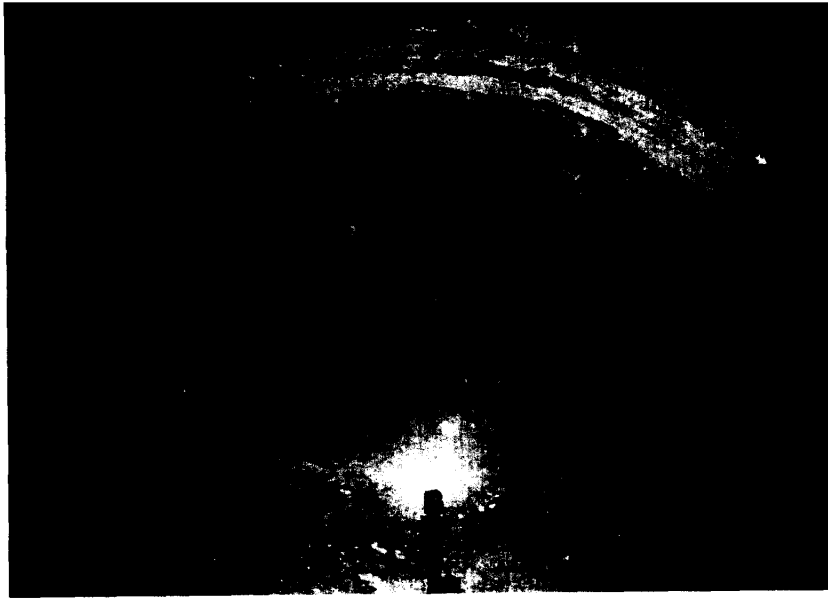


# 圖八 隧道水平鑽孔岩心

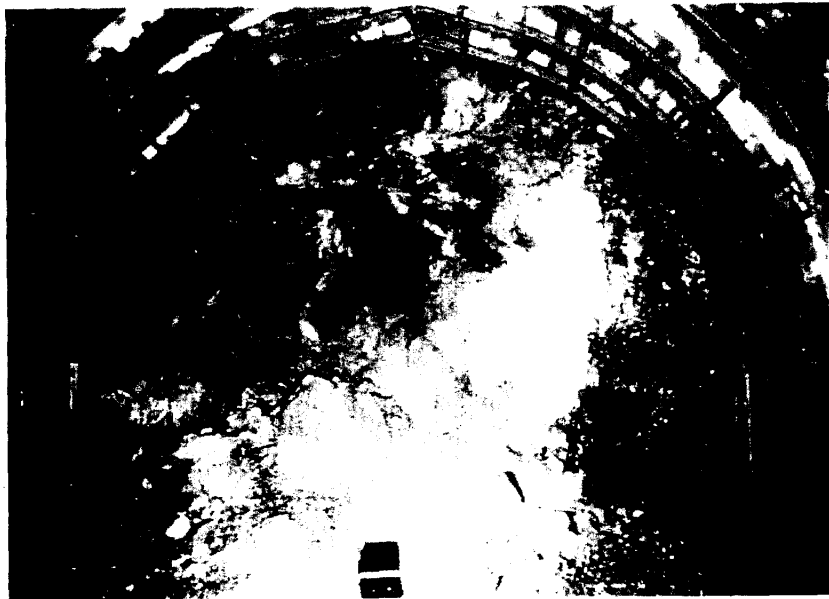
《TD2527m以後》

清水巻 L:7mm





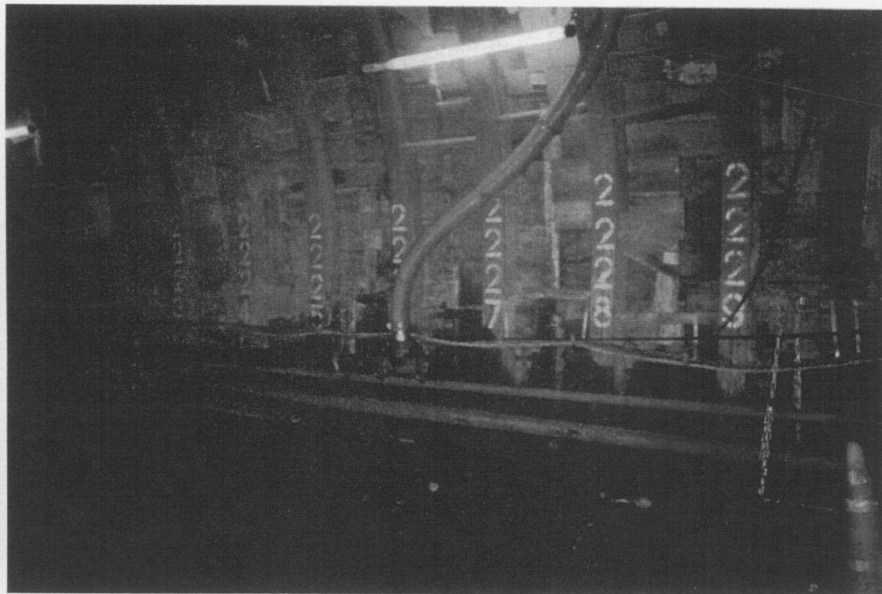
相片一 TD2, 2156m



相片二 TD2, 322m (本坑TD2, 625m)



相片三 水平鑽孔排水情形



相片四 水平鑽孔排水情形

## 二、高社山隧道（北）工程

### （一）前言

高社山隧道係北陸新幹線（長野至糸魚川）之一環，隧道全長4,170m，由鹿島等四家廠商承包其中2,100m（樁號143k+000~145m+100）。現場位於長野縣中野市北端高社山（標高1350m）西側山裾，係一多雪地域。隧道位置及坑口如圖九，隧道縱斷面圖如圖十。

本隧道最大特點為出口附近通過崖錐堆積物，且覆土最薄處僅2.2m，施工困難度甚高，為期隧道順利進行，採用先行施作 Swellex 岩栓，俾達到地山緊密，並提早仰拱閉合，加上嚴密變位計測，致克服低覆土之障礙，目前隧道順利進行中。

### （二）工程概要

業主：日本鐵道建設公團 北陸新幹線建設局  
設計者：日本鐵道建設公團 北陸新幹線建設局  
監造者：日本鐵道建設公團 北陸新幹線建設局 飯山鐵道建設所

工程地點：長野縣中野市岩井

工程期限：2000年3月28日~2003年10月27日（43個月）

廠商承攬比率：鹿島、若築、井上、瑞穗=50：25：15：10

隧道施工長度：2100m

隧道開挖量：174,000m<sup>3</sup>

開挖工法：機械開挖、短階開挖新奧工法

地質：風化凝灰角礫岩、崖錐堆積物、安山岩（如圖十一）

### （三）隧道諸元

開挖斷面積：88.4~82.2m<sup>2</sup>

縱斷坡度：1.2%

最大覆土：340m

標準斷面圖如圖十二

(四)目前施工情形 (截至 200 年 11 月 27 日)

上半部：1411m

下半部：1369m

仰拱：1344m

二次襯砌：546m

(五)低覆蓋土區域處理對策及施工實績

1. 地形、地質概要

自坑口 87m~186m (樁號 145k+008~144k+909) 之 99m 區間最小覆土 2.2m (如圖十三)。

地質 礫石摻夾粉砂，N 值 10~12，混雜腐植物。

2. 施工方針

A. 先行施作 Swellex 岩栓

(1)藉由岩栓本身膨脹與地山緊密付著，發揮岩栓機能。

(2)彎曲剛性係一般鋼筋 (D22) 的 10 倍。

(3)期待由岩栓的膨脹達到與周邊地山之壓密改良。

B. 仰拱的早期施工

(1)使用滑動式仰拱棧橋。

(2)仰拱打設每次 5.25 公尺。

(3)上半部開挖面與仰拱距離約 35m。

(4)由於早期斷面閉合，確保地山安定。

C. 計測管理

(1)實施地表面變位測定。

(2)變位儀器間距 5m，測定頻率 2 次/日。

(3)管理基準值

Level I 32mm

Level II 51mm

Level III 64mm

隧道內空變位之測定如圖十四

3. 施工實蹟

- (1)因雪融化水，開挖面最大湧水量約 50 L/min。
- (2)地山粘性材料豐富，遇水即泥濘化自立性差，先行施設岩栓及噴漿有一定之效果。
- (3)地表面龜裂等異常現象不再發生。
- (4)地表面沉陷量最大值 47mm。
- (5)打設仰拱後變位收束，可確認早期閉合之效果。

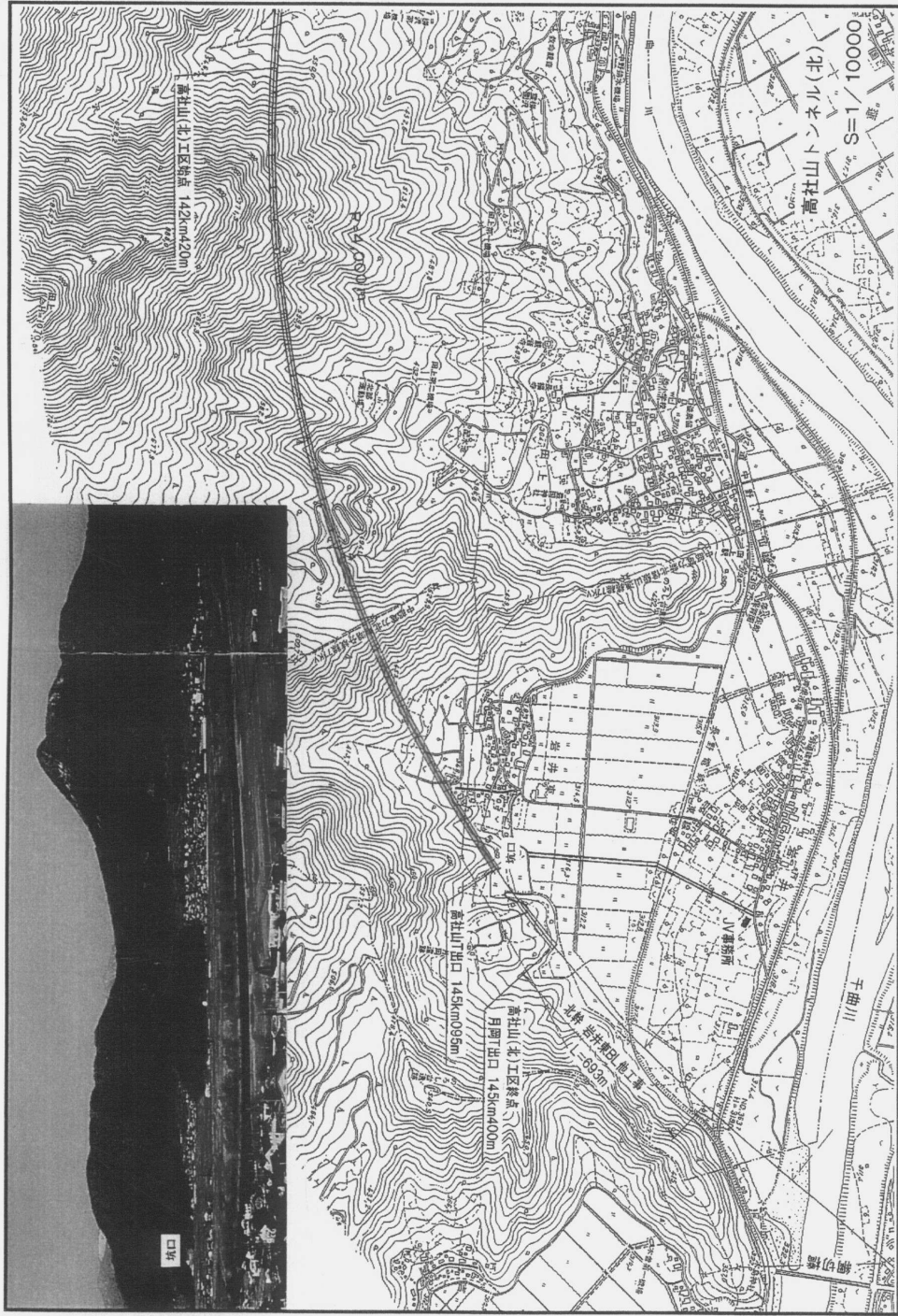
4. 施工要領如圖十五。

5. 開挖面狀況如相片五。

6. 高壓湧水帶水位如圖十六。

7. Swellex 岩栓外觀及機能如圖十七。

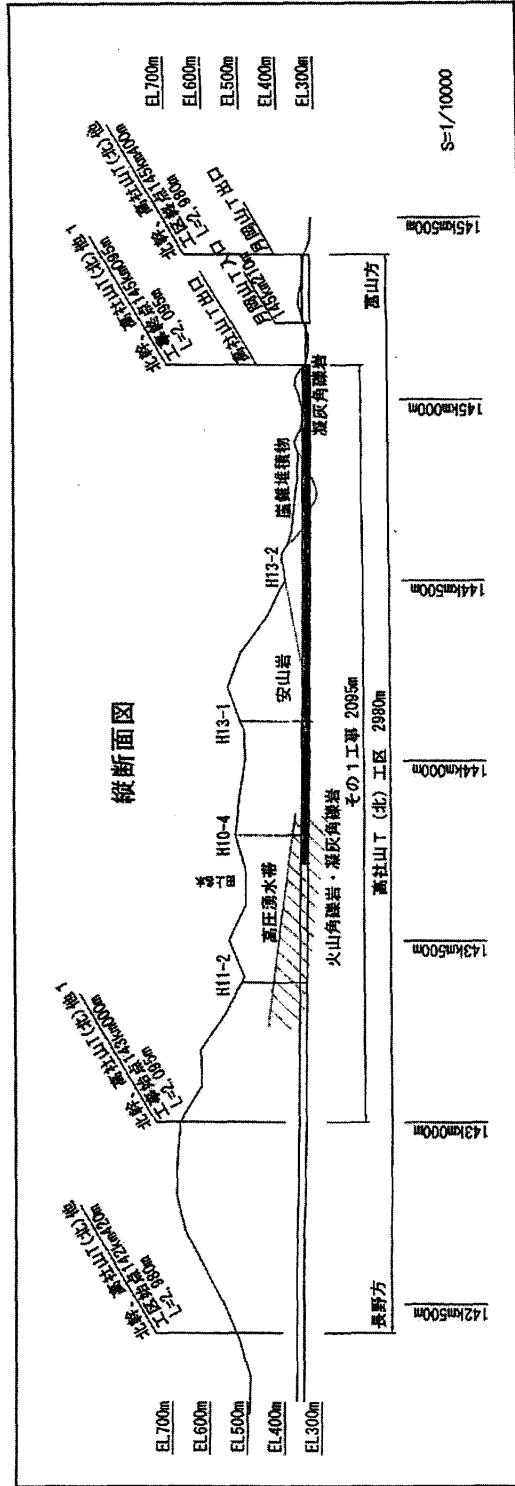
(六)隧道開挖施工狀況及設備如相片六~十七。

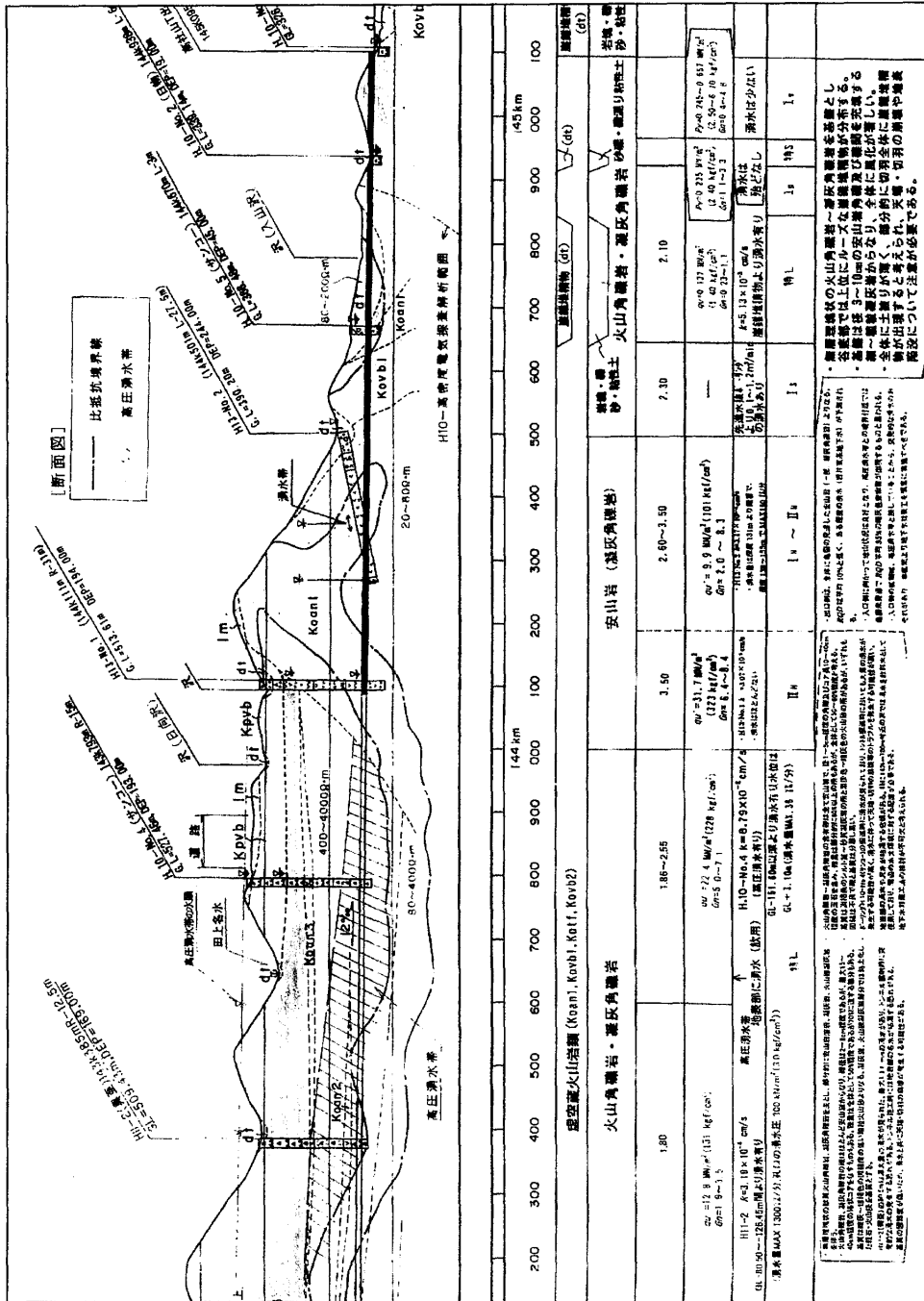


圖九 隧道路線及坑口位置圖



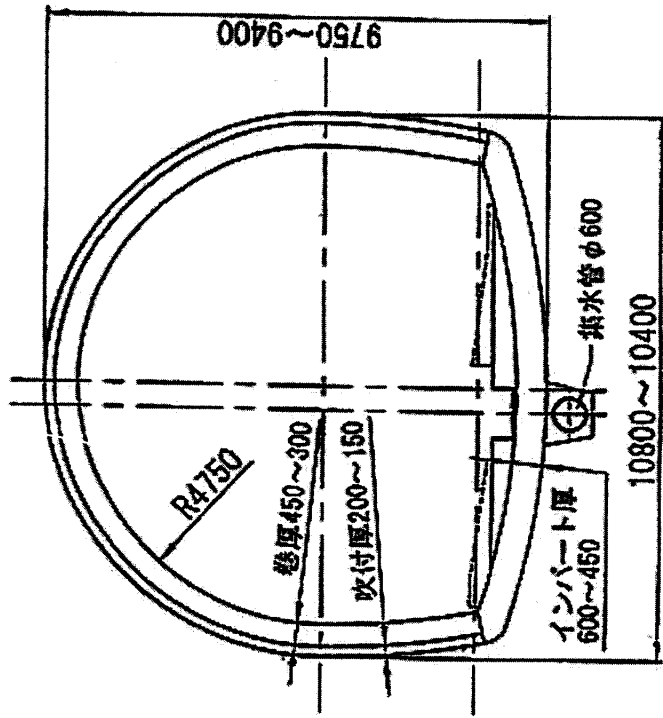
圖十 隧道縱斷面圖





圖十一 隧道地質圖

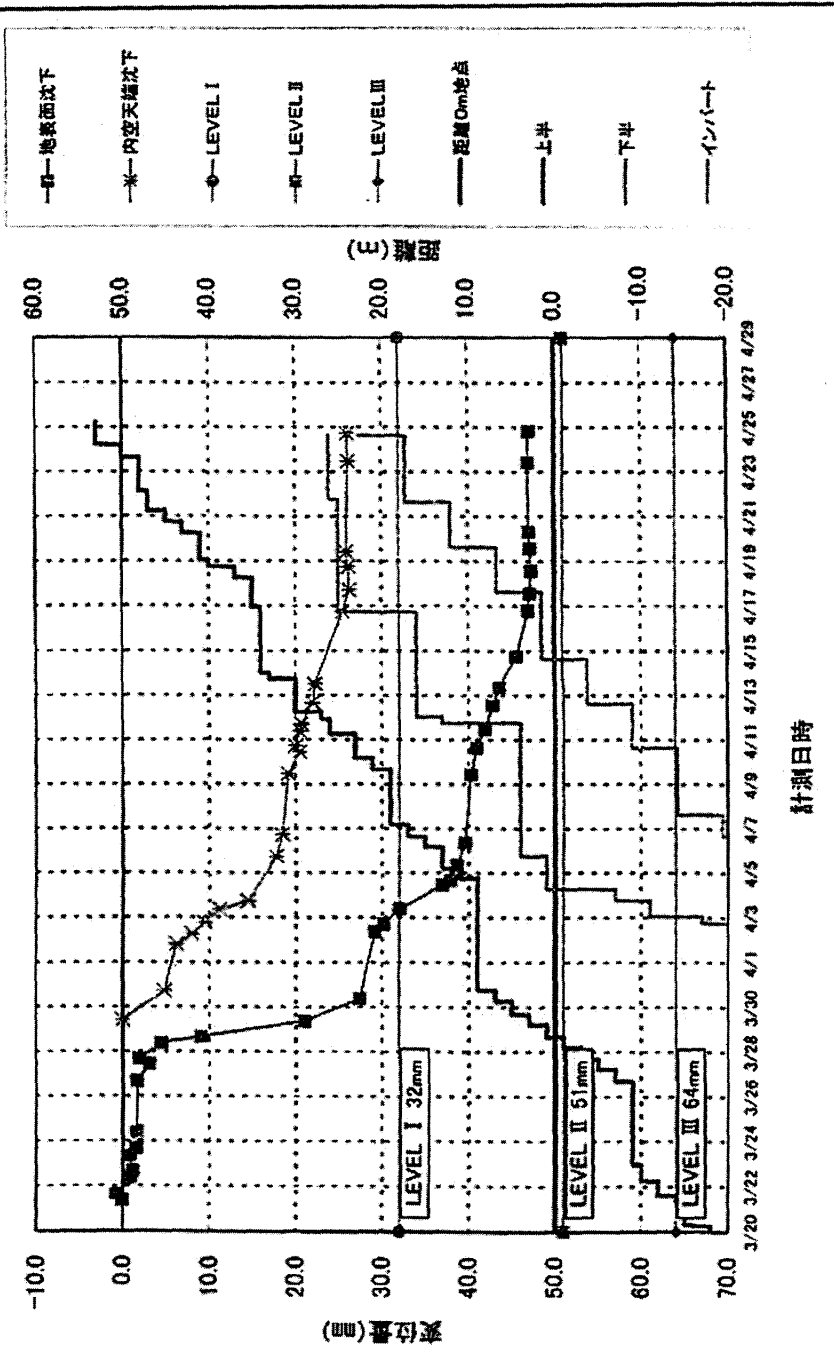
圖十二 隧道標準斷面圖





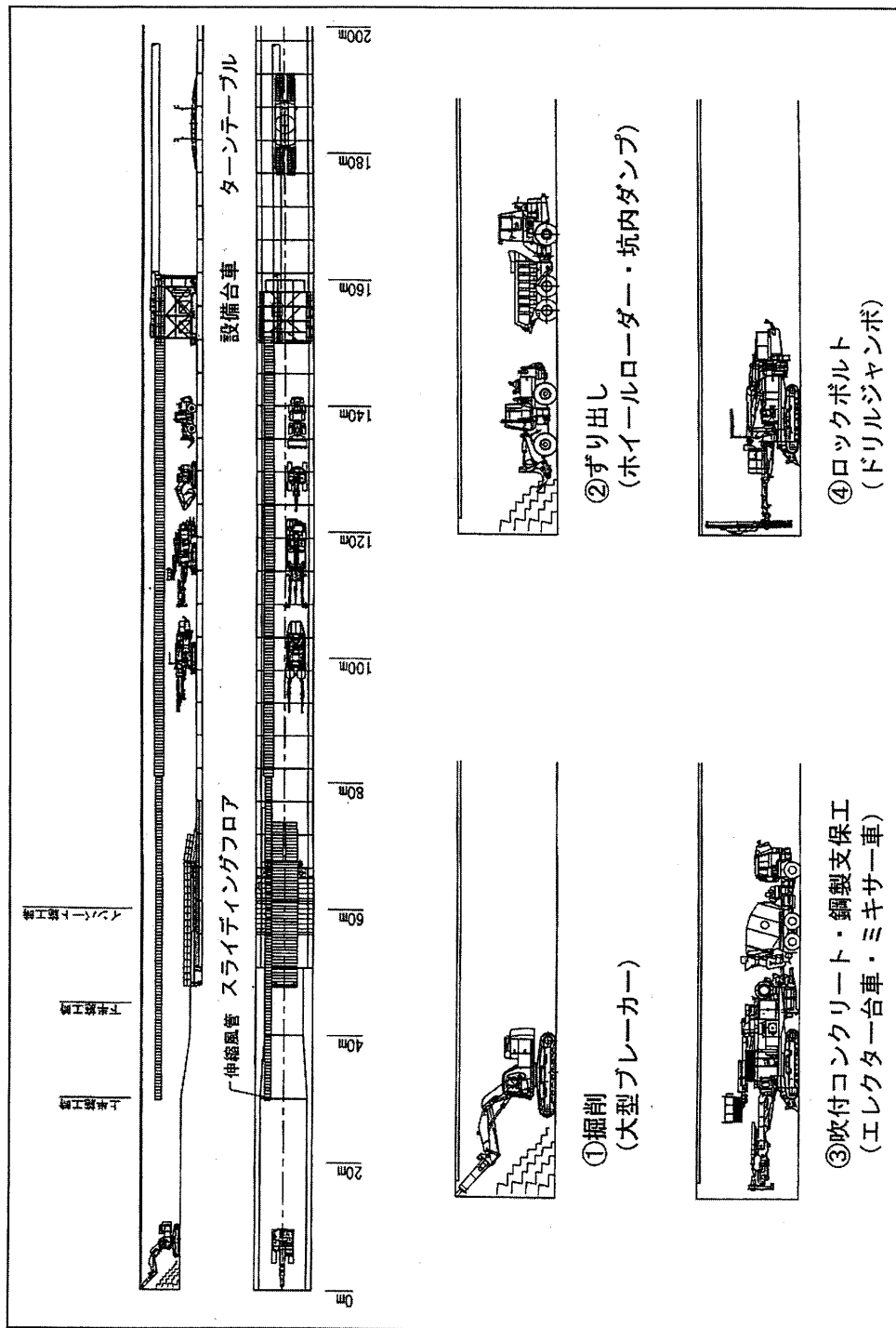
測点名: 144K960  
 設置位置(TD): 135.0 m  
 土被り: 2.6 m  
 支保パターン: F

高社山トンネル(北) 地表面変位測定

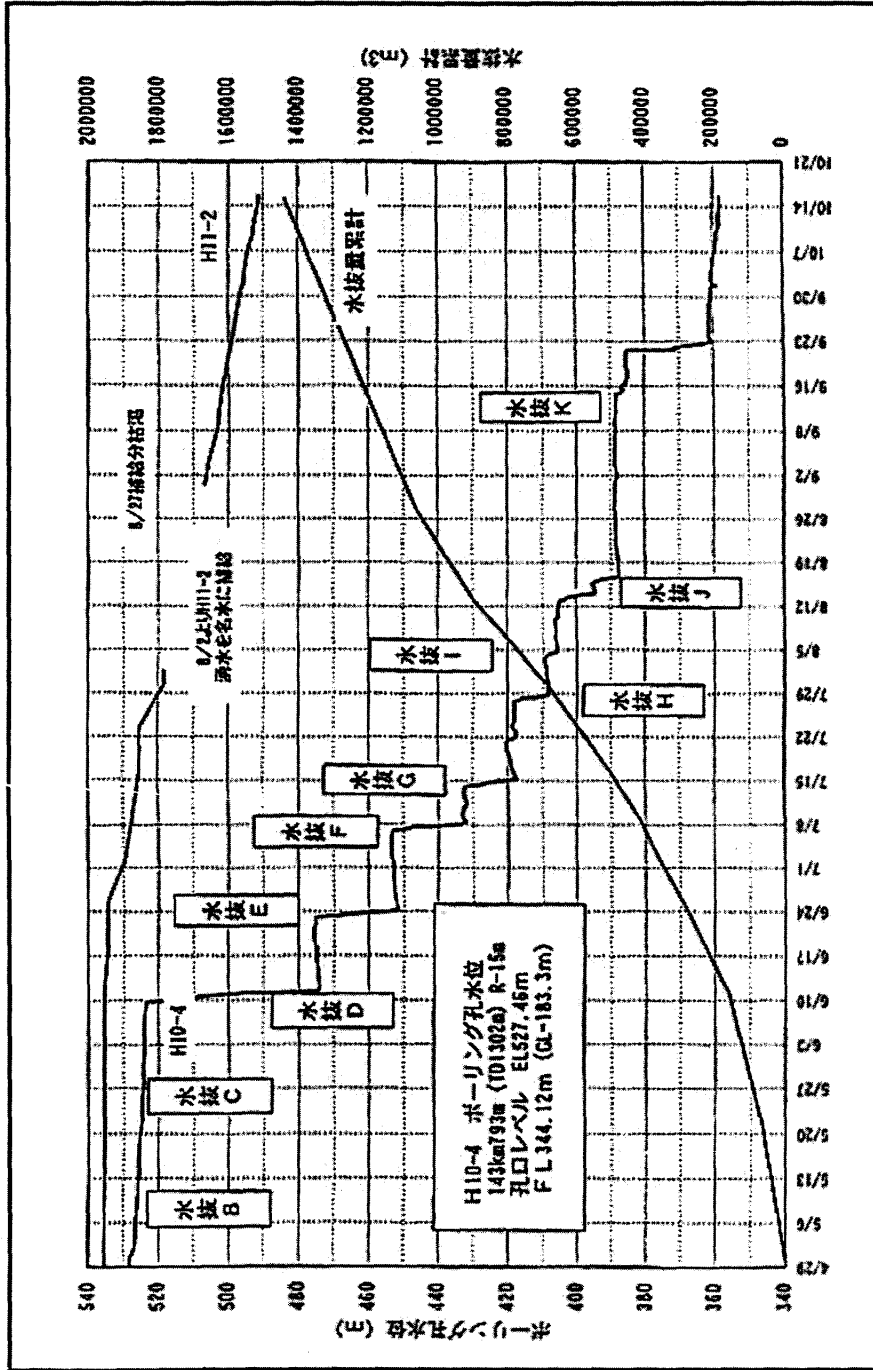


計測日時

圖十四 隧道地表面變化測定結果

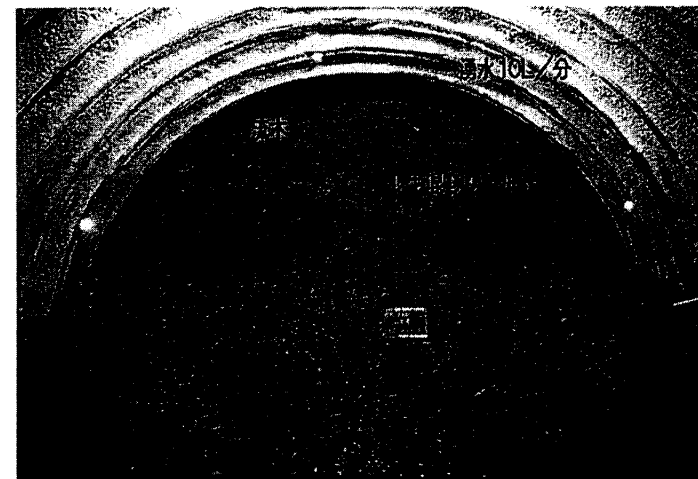
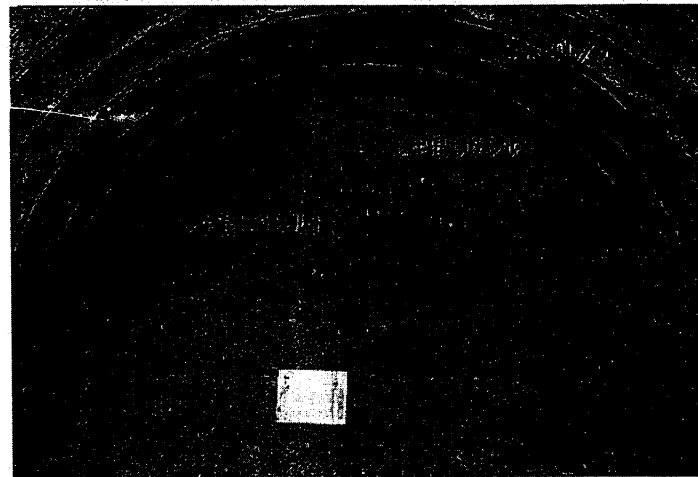
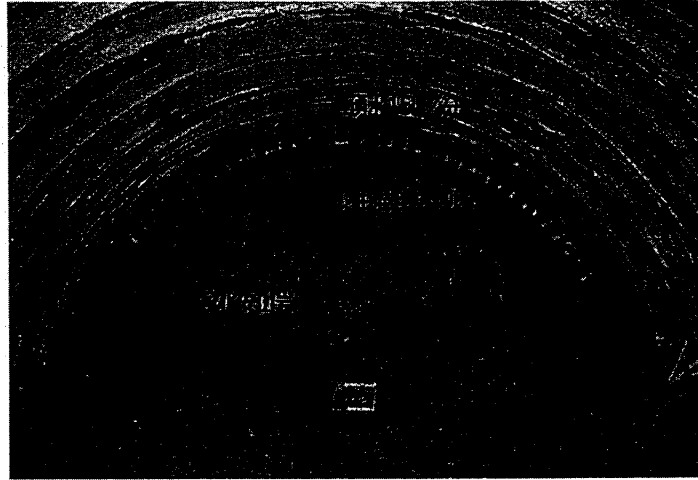


圖十五 隧道施工要領圖



圖十六 高壓湧水帯水位

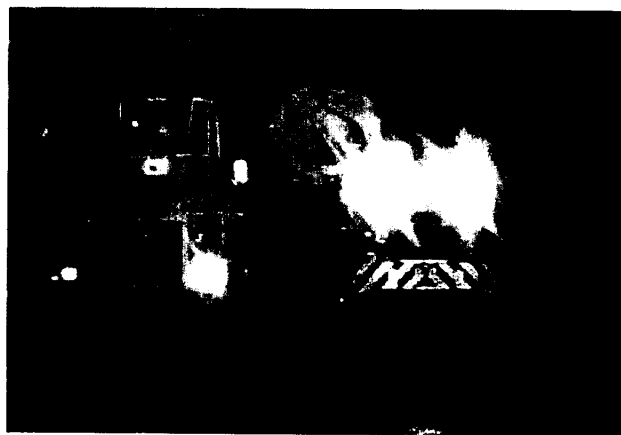
相片五 開挖面狀況







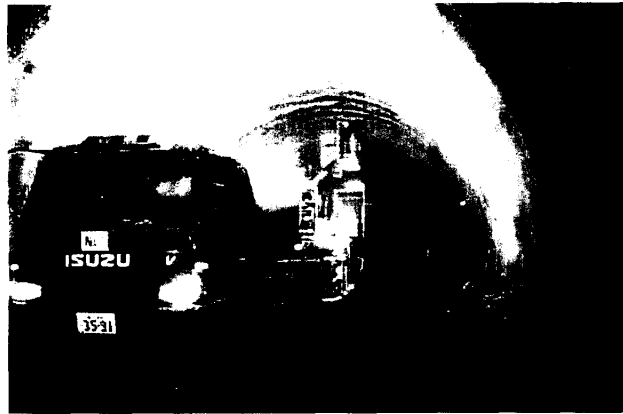
相片六 4噸破碎機開挖情形



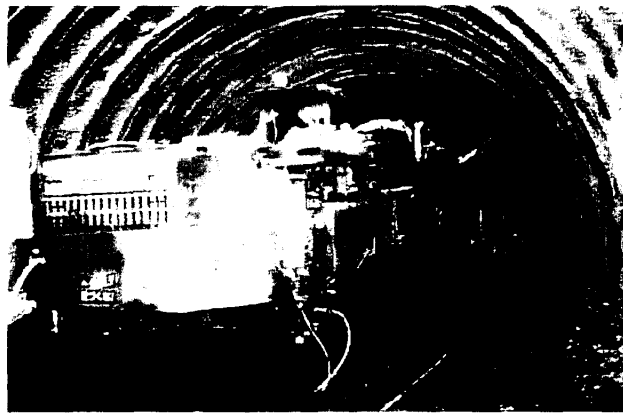
相片七 23噸土碴鏟裝機



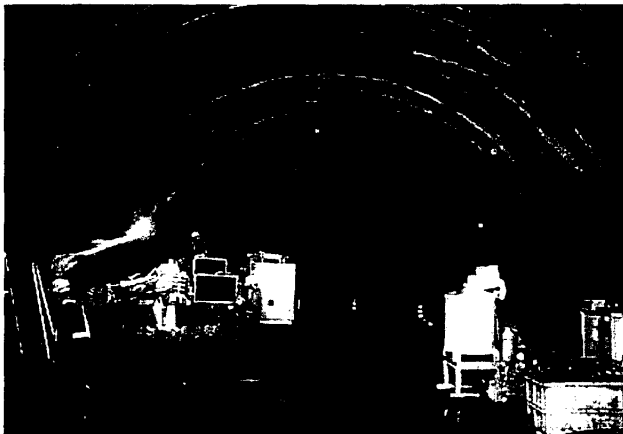
相片八 鋼支保架設機械



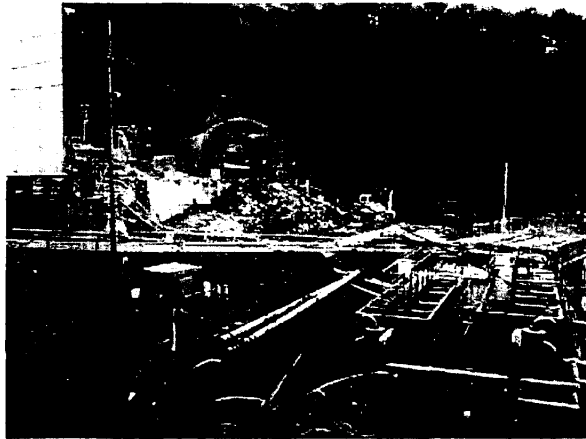
相片九 噴凝土施工情況



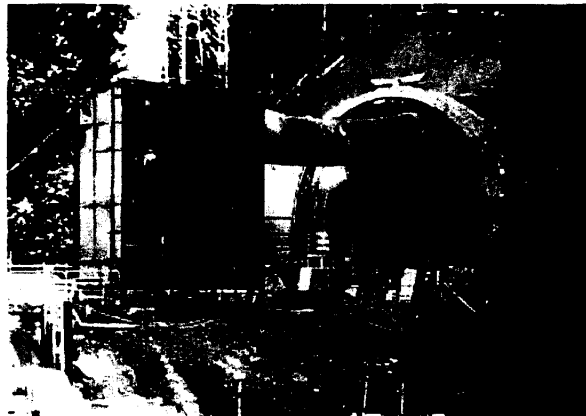
相片十 岩栓施工鑽堡



相片十一 坑內排水鑽孔



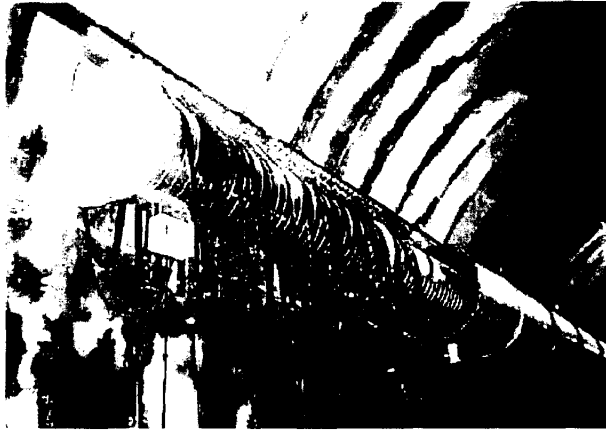
相片十二 隧道坑口



相片十三 隧道排氣除塵裝置



相片十四 仰拱棧橋



相片十五 伸縮送風管前端



相片十六 隧道送風狀況



相片十七 隧道污水處理後排出之情形

### 三、飯山隧道（上倉工區）

#### （一）前言

飯山隧道為日本北陸新幹線（長野至上越，全長 60km）之一環，其中飯山隧道（全長 22km）之上倉工區長 3,820m，由鐵建等四家廠商承攬。由於坑口（樁號 148k+020）附近土地尚未取得，故由隧道本坑外，施作長 230m 斜坑，俾利施工機械（具）進出，同時於斜坑旁施作一調查坑，兼具送風及出碴（如圖十八）。本隧道施工特點為開挖全部採機械化，尤其出碴以滾輪式輸送帶輸送土碴至坑口外再進行土碴處理，大大降低使用土碴搬運車帶來坑內空氣之污染。另因本隧道坑口周邊臨近當地民宅，故對施工中影響周邊環境之噪音、振動及粉塵等亦進行相關之對策。

#### （二）工程概要

1. 工程地點：長野縣飯山市大字飯山地內
2. 承攬廠商：鐵建、日產、守谷、長野建設
3. 工程內容：全工區長 3,820m，採新奧工法施工

##### 隧道 1：

- 作業坑（斜坑全長 230m，開挖斷面積  $30.5\text{m}^2$ ），全斷面機械開挖
- 本坑（全長 1,100m，開挖斷面積  $80.1\text{m}^2$ ），上半先進短台階機械開挖

##### 隧道 2：

- 本坑（全長 2,450m，開挖斷面積  $80.1\text{m}^2$ ），上半先進短台階機械開挖

#### 4. 施工期限

(1) 1999 年 3 月 24 日～2002 年 3 月 18 日（隧道 1）

(2) 2002 年 3 月 27 日～2004 年 12 月 26 日（隧道 2）

#### （三）地質概要（如圖十九）

工區 3.82km 之地質，由長野方向坑口約 2.8km 為第四紀之砂、砂礫、粉砂、凝灰角礫岩之未固結堆積物所形成之小國層，其後 1km 為新第三紀之泥岩、砂岩所形成之灰爪層。

小國層部分，開挖面自立性差，施工時採補助工法之先進水拔鉆孔，部分區段以注入式之先受岩栓施工，俾確保開挖面之安全。灰爪層則擔心煤灰瓦斯等可燃性氣體發生。

(四)目前施工情況 (截至平成 14 年 12 月 3 日)

工 種	設計長度	進行長度	尚餘長度
斜坑開挖	230m	230m	0m
本坑開挖	3,550m	2,075m	1,475m
仰拱襯砌	3,550m	1,769m	1,781m
二次襯砌	3,550m	1,368m	2,182m

目前隧道進行狀況如圖二十

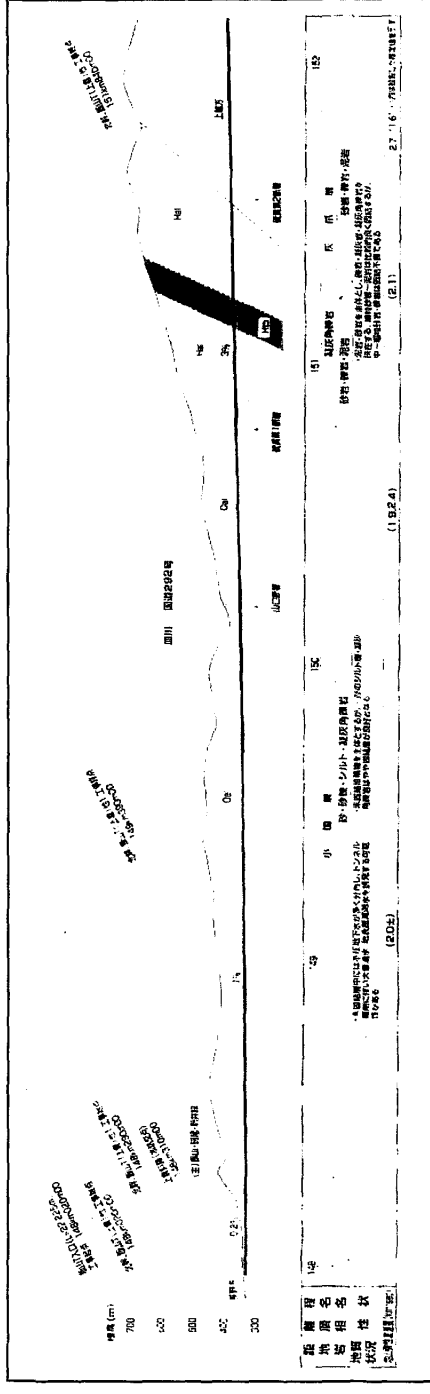
(五)施工方法

採上半先進短台階工法施工，以削岩機開挖，輪胎式鏟裝機鏟土後倒入壓碎機，再由壓碎機送土碴至輸送機台後，藉由輸送帶方式搬出坑外處理。隧道施工順序如圖二十一。

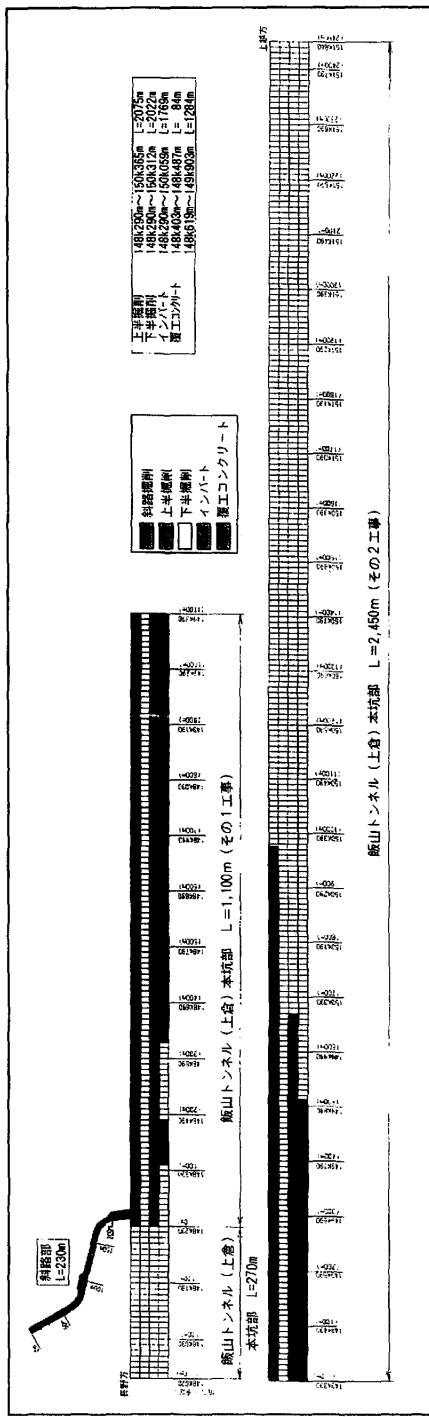
本坑標準斷面圖如圖二十二，斜坑全景如相片十八，本坑全景如相片十九。連續輸送帶構造如圖二十三。

軟弱地質施工工法採注入式長尺鋼管先受工法，一次進行 30 公尺後開挖 27m，再進行長尺鋼管，相關設計圖如圖二十四、二十五。



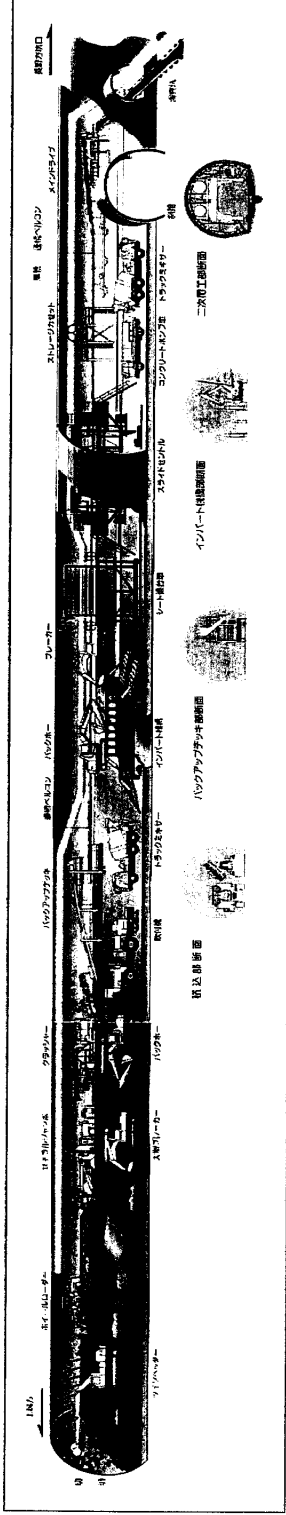


圖十九 地質縱斷面圖

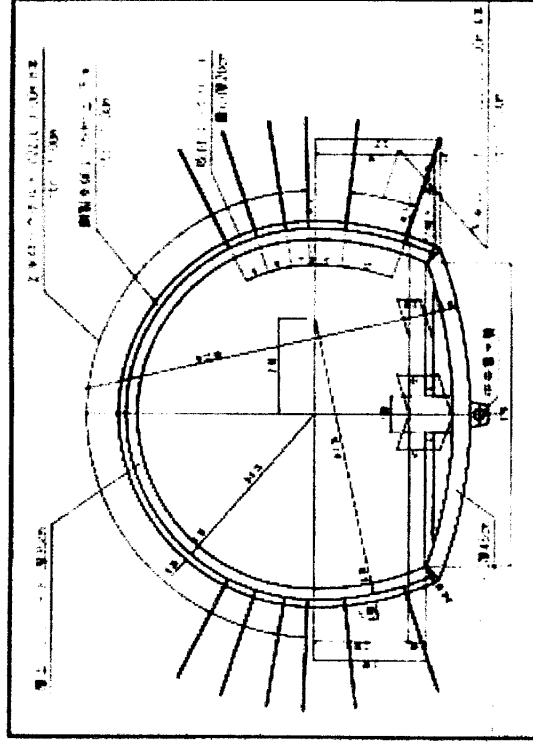


圖二十 隧道開挖進行状況圖



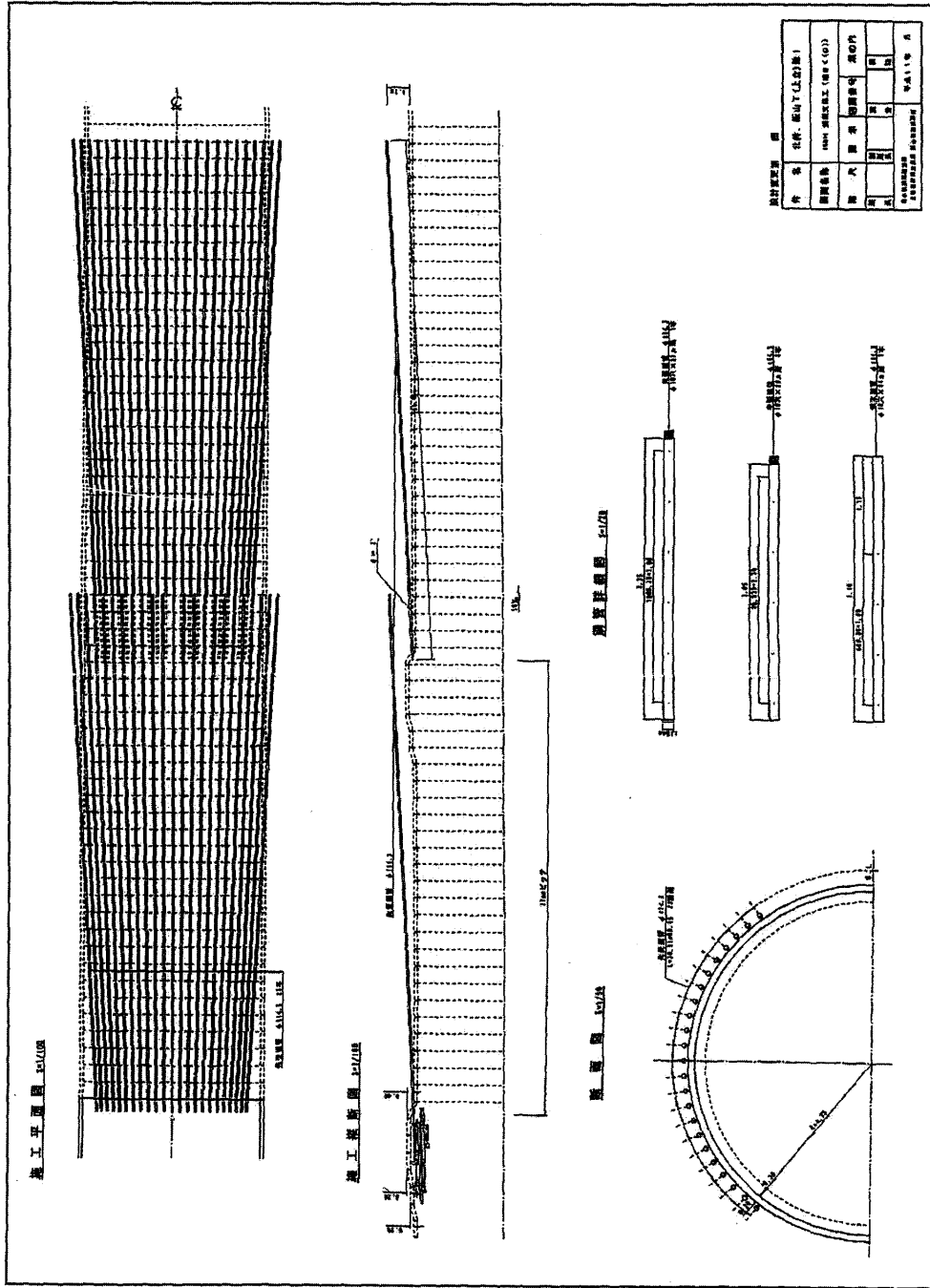


圖二十一 隧道施工順序圖

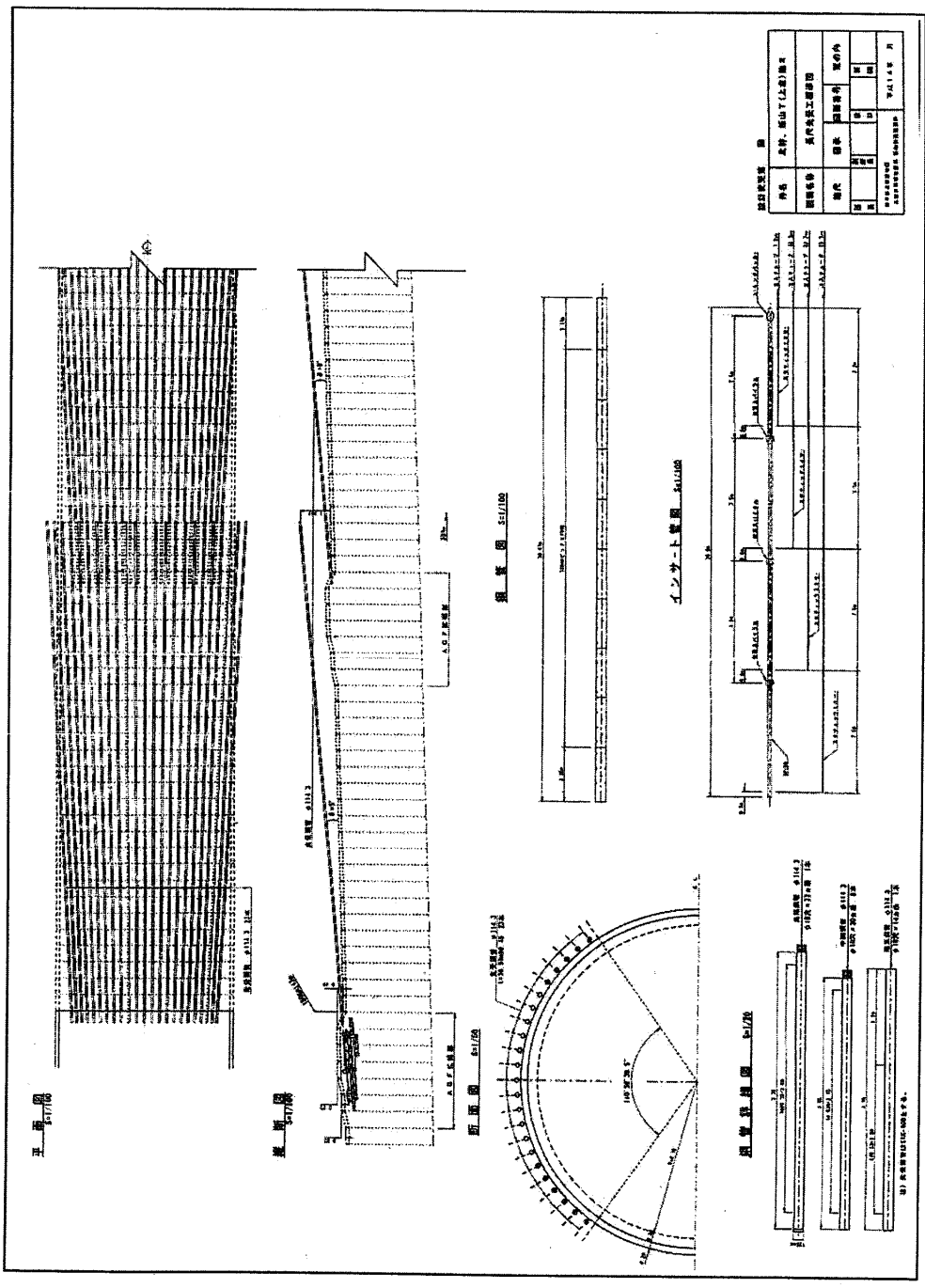


圖二十二 本坑標準斷面圖





圖二十四 注入式長尺鋼管先受工法施工標準圖



圖二十五 長尺先受工標準圖

設計図書		設計者		設計者	
名称	長尺先受工標準図	氏名	田中 重雄	地位	主任
図号	長尺先受工標準図	職名	技師	地位	主任
年代	昭和 10 年	種別	標準図	地位	主任
頁	1	備考		地位	主任
冊	1	備考		地位	主任
製図者		製図者		製図者	
氏名	田中 重雄	地位	主任	地位	主任
職名	技師	地位	主任	地位	主任
備考		備考		備考	





相片十八 斜路全景



相片十九 本坑全景

#### 四、大平隧道工程

##### (一)前言

大平隧道工程係東海環狀汽車道路之一，位於岐阜縣土岐市泉町久尻與可兒市久久利之間，隧道全長 1,366m，由鐵建及福田建設共同承攬，採新奧工法施工。隧道位置平面圖如圖二十六，斷面圖如圖二十七。

##### (二)工程概要

1. 工程地點：岐阜縣可兒市久久利大平～土岐市泉町久尻地間
2. 業主：國土交通省 中部地方整備局
3. 工期經費：3,360,000,000 円 (約台幣 9.6 億元)
4. 施工期限：2001 年 3 月 17 日～2004 年 3 月 10 日
5. 廠商承攬比率：鐵建、福田建設＝60：40

##### (三)工程內容

隧道  $L=1,366\text{m}$  (NATM)，內空斷面積  $A=78.8\text{m}^2$   
緊急駐車區 2 處  
行車道寬  $L=10\text{m}$   
坑門工 1 式  
假設工 1 式

##### (四)地質概要

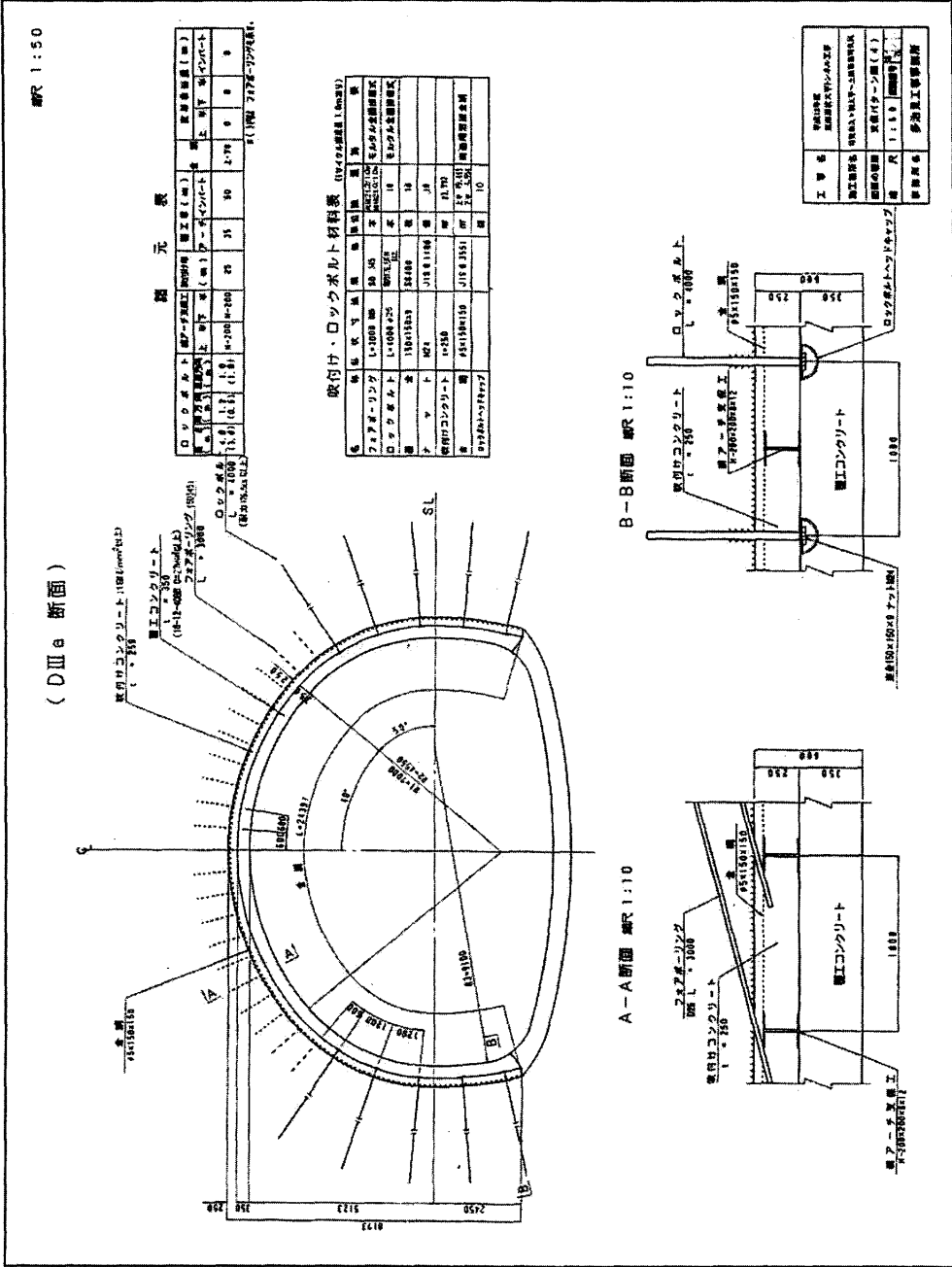
隧道之地質爆破開挖區段為中、古生層之黑珪石，低覆蓋之機械開挖區為新第三世紀層之土岐砂礫層。

##### (五)隧道開挖工法

開挖法	開挖方式	開挖工法
爆破工法	全斷面工法	
爆破工法	上半先進台階開挖工法	上下半交互併進工法
機械工法	上半先進台階開挖工法	上下半同時併進工法

1. 本隧道低覆蓋部分，為期安全採機械開挖，支撐型式設計（DIIIa 斷面）如圖二十八，爆破開挖區段之支撐型式（CI, CII 斷面），如圖二十九、三十。
2. 本隧道施工機械如相片二十，附屬設施如相片二十一。





鋼 元 表

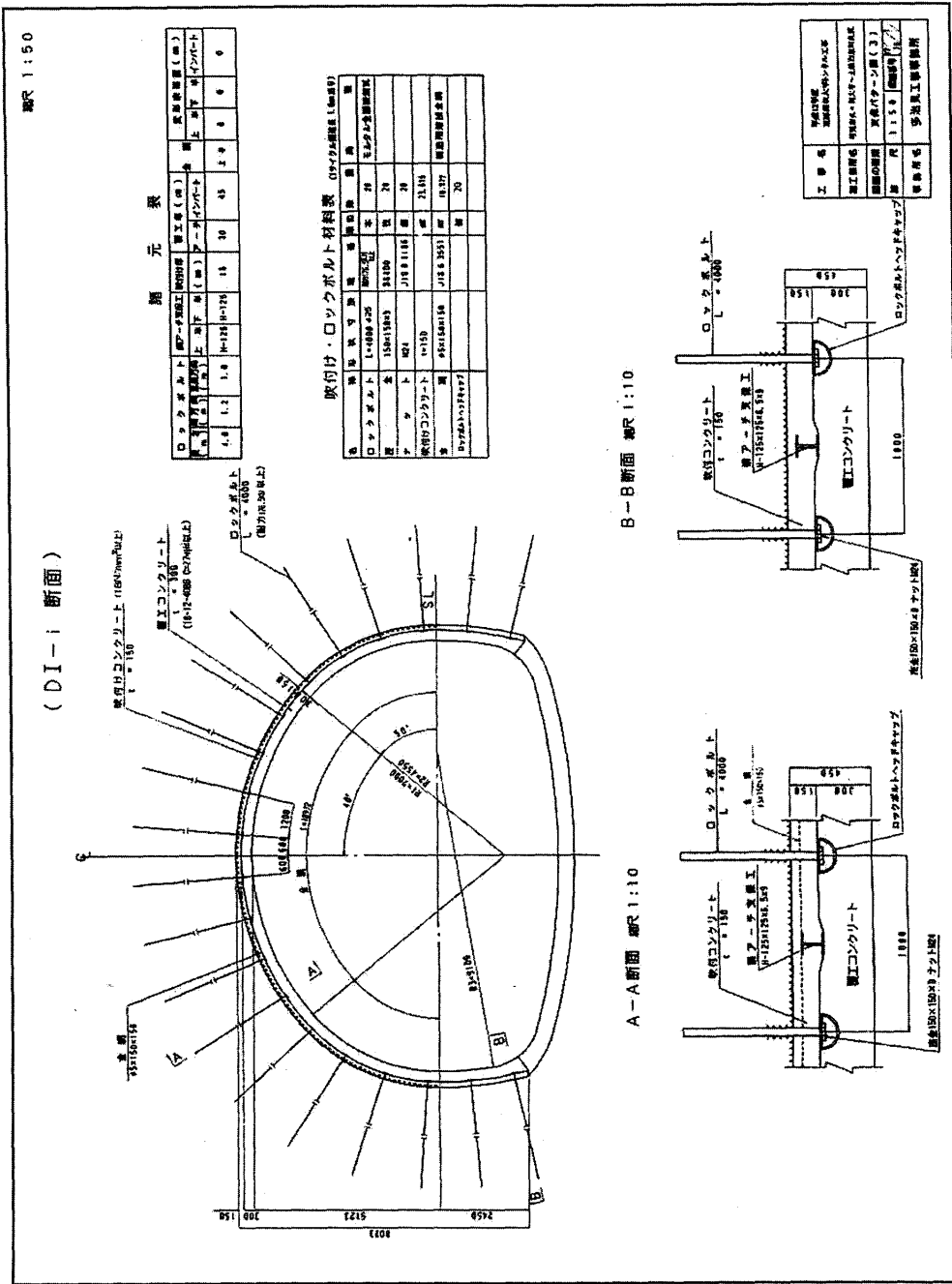
品名	規格	数量	単位	備考
鋼工コンクリート	φ1000×25	25	個	
鉄筋コンクリート	φ1000×25	25	個	
コンクリート	φ1000×25	25	個	
鉄筋	φ1000×25	25	個	
SL	φ1000×25	25	個	
ロッキングボルト	φ1000×25	25	個	

嵌付け・ロックボルト材料表 (1000mm径)

品名	規格	数量	単位	備考
鋼工コンクリート	φ1000×25	25	個	
鉄筋コンクリート	φ1000×25	25	個	
コンクリート	φ1000×25	25	個	
鉄筋	φ1000×25	25	個	
SL	φ1000×25	25	個	
ロッキングボルト	φ1000×25	25	個	

工 号	工 名	工 種	工 期	工 費
1	鋼工コンクリート	鉄筋	10/10	10000
2	鉄筋コンクリート	鉄筋	10/10	10000
3	コンクリート	鉄筋	10/10	10000
4	鉄筋	鉄筋	10/10	10000
5	SL	鉄筋	10/10	10000
6	ロッキングボルト	鉄筋	10/10	10000

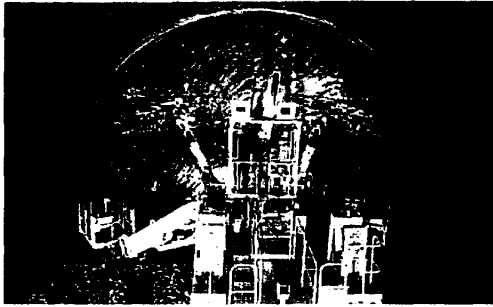
圖二十八 DIII断面支保型式圖



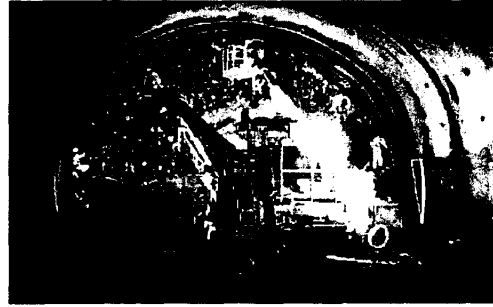
圖二十九 DI-i断面支保型式圖



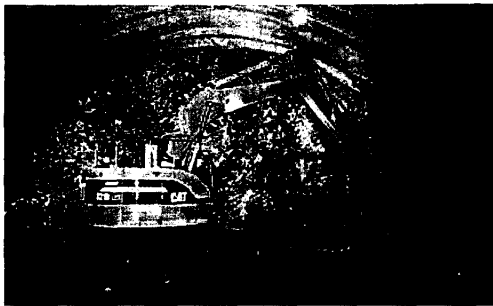
## 相片二十 隧道施工機械



鉆孔鉆堡



噴凝土施工機械



油壓破碎機

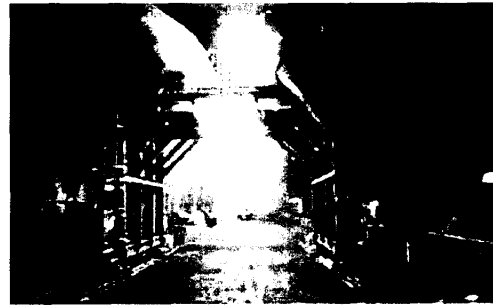


鏟土機及重型土渣搬運車

## 相片二十 隧道設備



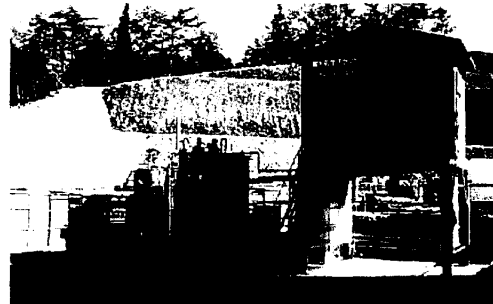
隧道起點坑口



隧道通風設備



拌合場



隧道污水處理場

#### 肆、結論與建議

- 一、日本長大隧道支撐型式之設計，一般採新奧工法 (NATM)，其特點係以柔性之材料 (鋼絲網、噴凝土、岩栓等) 作為支撐，配合隧道變位計測，於隧道閉合後施作第二次襯砌。
- 二、長隧道地質變化莫測，規劃調查階段實難以全盤掌握，惟有冀望施工階段對開挖面地質現況推測前方，並慎選支撐型式。對於地質軟弱帶，施作先進長尺鋼管及提早閉合仰拱為一可行之處理對策。
- 三、低岩覆或崩積層或地質破碎之隧道，施作先進 Swellex 岩栓，可達到岩體緊密作用，目前台灣使用 Swellex 岩栓之例甚少，建議未來有類似地質之隧道，值得選用。
- 四、湧水為長隧道常遭遇之問題，若同時遇地質軟弱，常造成開挖面土體崩落或抽心，除增加施工成本，工期亦將延後，不得不慎重處理。對於湧水之處理對策，建議施作水平鉆孔，俾降低湧水，同時可兼具探查開挖面前方地質狀況，而採取適當之支撐型式。若開挖面大量湧水，且持續不斷，開挖無法順利進行，建議另闢排水導坑，作為排水及兼具調查地質狀況。
- 五、飯山隧道出碴土採輸送帶運搬之方式，據施工人員表示，一般隧道長 3,000m 且隧道淨空同時允許施工機械 (具) 進出，採此出碴方法，其成本較使用土碴搬運平低，且可減少坑內空氣 CO 量。
- 六、本次參觀之隧道，乍見隧道坑口及坑內相關機械 (具) 及材料放置井然有序，此現象有助工作效率之提升，值得國人學習。
- 七、日本人對於施工區周邊環境甚為重視，本次參觀之隧道工程由坑內排出之污水，一律經過污水處理設備處理後，再排出鄉間溝渠，大大降低民怨，建議本署爾後辦理之隧道工程能參考辦理。
- 八、本次參觀之隧道中，進入坑內須先登記，出坑後再行確認，值見日本人對於隧道管理之重視，此為隧道內若發生災害，即可掌握坑內人數，作為救助之重點，值得國人參考。

附

錄

# 高熱帯を掘る 安房トンネル

建設省中部地方建設局高山国道工事事務所平湯出張所長 成瀬 清



はじめに

一般国道158号は福井市を起点に、高山市を経て松本市に至る幹線で、北陸・飛騨と信州・関東を最短距離で結ぶ重要な路線である。しかし、岐阜・長野県境にある標高1790mの「安房峠」区間は高峻な地形と火山帯特有の脆弱な地質のために道幅が狭く、雨が続くと通行止めとなるなど交通の難所となっている。また冬季は豪雪のため11月中旬から5月上旬までの半年間にわたって通行が不能となる信頼性に乏しい区間である。

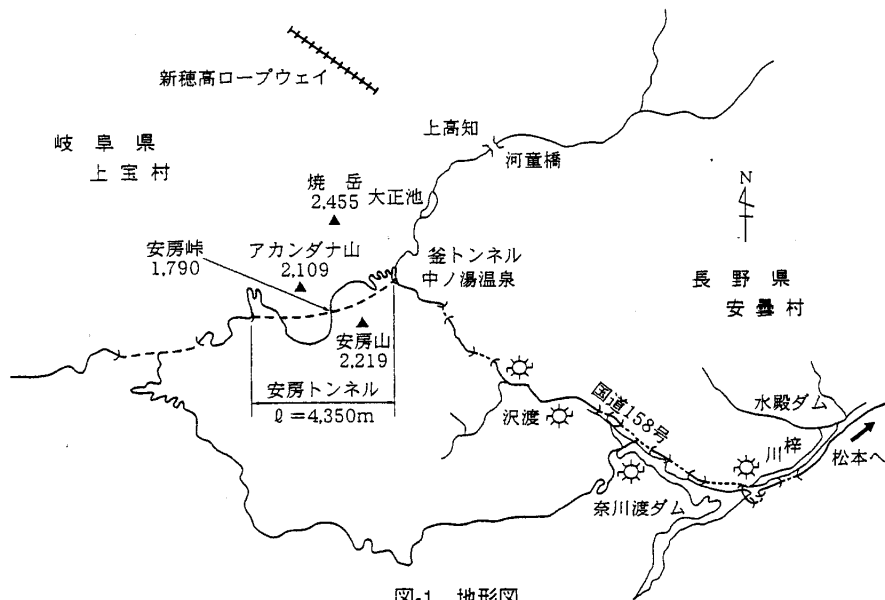
この安房峠を全年通行可能に改良するため、昭和39年より調査を開始し、同53年にトンネルを含む延長約6.3kmの道路改良の事業化を図った。

図-1に示すように安房トンネルの全長4350mの計画ルートは、「焼岳」を中心とする火山地帯を貫くことから、長野県側（中ノ湯工区）の地熱・熱泉・有害な火山性ガスを有する「高熱帯」、岐阜県側（平湯工区）では大量の高圧湧水の噴出するおそれのある火山噴出物堆積層の「平湯低速度帯」、熱水の噴出する「熱水帯」など多くの問題点が予想された。

そこでまず本坑に先立って、調査坑（本坑着手時に作業坑と名称を変更した）を掘削し、地質調査・施工方法の検討などを行い、本坑（掘削断面積約100m<sup>2</sup>）の施工の可否を判断することとした。

調査坑は昭和55年に着手、12年の歳月を経て平成3年7月に貫通した。この結果本坑は技術上施工可能との判断から、高規格幹線道路「中部縦貫自動車道」の一部として平成元年に平湯側から、さらに平成3年に中ノ湯側から着手した。

ここでは安房トンネルの難題の代表であった中ノ湯工区「高熱帯」の施工について記述する。





地 質

中・古生代の砂岩・粘板岩・チャートなどの堆積岩類が主体で、熱変性を受けており全般に軟質となっている。坑口から1000mの間はこの基盤岩に花こう岩などが貫入して割れ目が多く、400～1200mは岩温（切羽において2m穿孔して測定した岩盤温度）が50℃以上の「高熱帯」を形成し、有害な火山性ガスと熱泉が噴出すると予想された。1200mから徐々に岩温は低下し、1800mから奥は20℃前後となっている（図-2）。

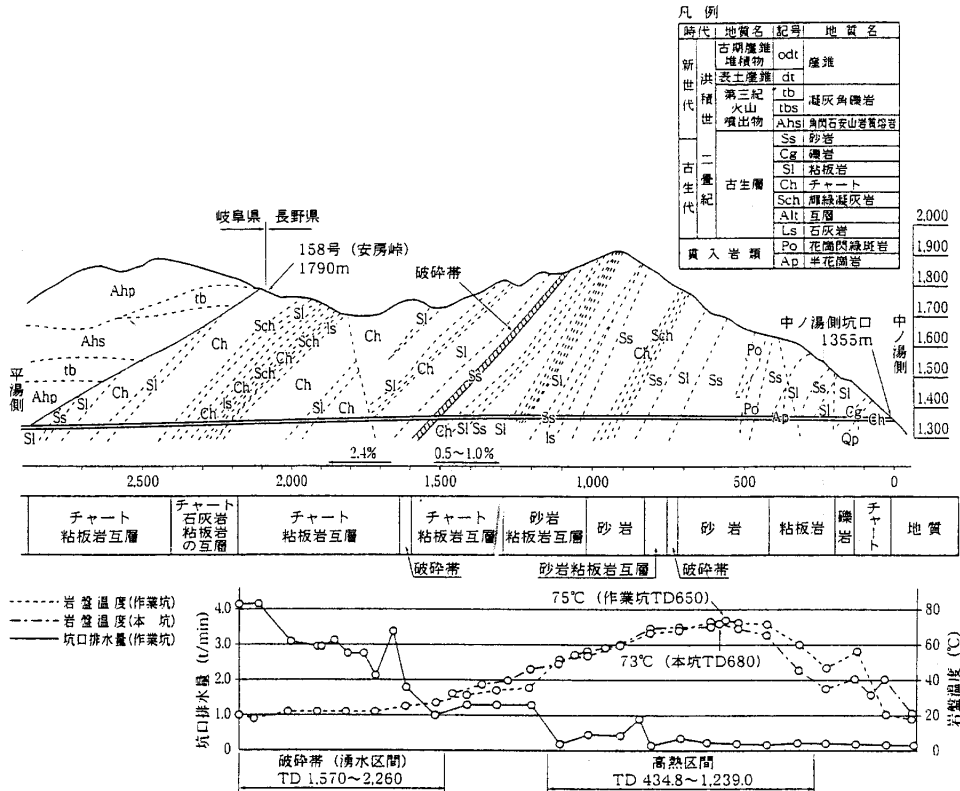


図-2 地質縦断図

調査坑の掘削

1. 高熱帯の施工上の課題

①坑内の作業環境の確保、②火山性ガスの噴出、③熱泉の噴出、④二次覆工コンクリートの耐久性、⑤吹付けコンクリートの耐久性など本坑の施工にあたって解決しておくべき課題があった。

まず坑口から長さ900mの長尺ボーリングを行い、最高温度が75℃程度で火山性ガスも少ないことを確認したうえで、掘削断面積25㎡（覆工後内空面積18㎡）の調査坑（図-3）を掘削開始した。

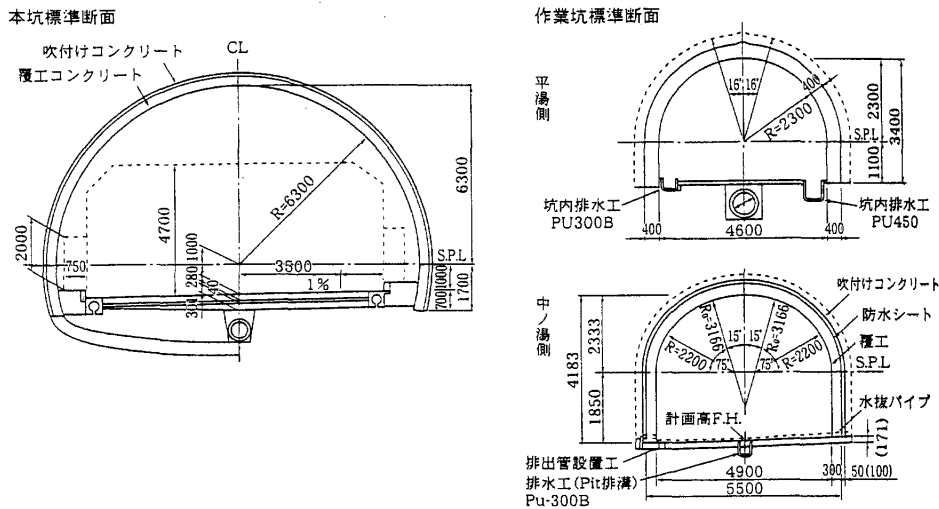


図-3 標準断面図

## 2. 坑内作業環境の確保

図-2に示すように岩盤温度は坑口付近から急激に上昇し650mの地点で75℃の最高温度に達したが、坑口に2400m<sup>3</sup>/minの換気設備を設置し、風管3本（φ1100とφ800を2本）で切羽に送風することにより、坑内の気温を30℃前後に保つことができた。

## 3. 火山性有害ガスの対策

有毒な硫化水素（即死：1000～1500ppm）と可燃性のメタンガスなどが存在していることが地質調査の結果わかっていた。掘削にあたっては、①30mごとに先進ボーリングを行い、ガスの濃度を測定して安全を確認したうえで掘削した。②切羽と坑内は200mごとにセンサを取り付け、硫化水素10ppm以上、メタンガス1%以上、酸素濃度18%以下に達した場合、避難と立入り禁止を指示する「自動ガス警報装置を設けた。③一発破ごとにガス濃度を係員が測定し、班長はポケット式ガス警報器を携帯して監視した。④緊急の場合作業員を乗せて坑外へ運ぶ避難電車（蓄電池式、防爆型、16人乗り）を常駐させた。⑤高熱と火山性ガスの危険から作業員を守るため、コンピュータ制御で穿孔作業を行える全自動油圧ジャンボを新たに開発し導入した。

幸いにも硫化水素は瞬間的に先進ボーリングの孔の中で微量に観測されたのみであり、他の有害ガスも検知せず、また熱泉の噴出もなかった。

## 4. 高熱区間の火薬の安全性

一般の火薬類が安定して使えるのは70℃までである。65℃以上の区間ではアジ化鉛を起爆剤とする耐熱用雷管とエマルジョン系含水爆薬を組み合わせ使用した、これは安定性も高く発破効果も良好であった。

## 5. 二次覆工コンクリートの耐久性

### ① 温泉水に対する耐久性

塩類の含有量の比較的小さいpH6.6の単純泉であるが、この各種塩類が水酸化カルシウムと反応して剥落・溶解を引き起こすことが考えられた。

温泉水に各種セメントを使った供試体を6年間浸してその耐久性を調査したところ、普通のセメントは粗骨材が露出するほど侵食を受けたのに対して、高炉セメントB種はほとんど侵食を受けなかった。

### ② 高熱がコンクリートの強度に及ぼす影響

これについても各種セメントを使った供試体を作成し、80℃の高温養生を行ったが、材齢に伴う強度の増加が期待できない普通ポルトランドセメントに対して、高炉セメントB種は優れていることがわかった。

以上のことから二次覆工コンクリートと吹付けコンクリートには高炉セメントB種を使用し、高熱区間では水セメント比を55%以下とした。

## 本坑の掘削

以上のような調査坑の実績を基に本坑掘削の施工計画をたて、平成3年に着手した。

### 1. 高熱区間の換気計画

調査坑の換気の実績から本坑の放熱量の最も多いのは、ずり出し時の571Mcal/hとなった。このときの坑内気温を30℃以下に保つためには切羽へ3000m<sup>3</sup>/min、切羽の後方で4000m<sup>3</sup>/minを送気し、しかも送風温度を20℃に冷却する必要があった。しかし冷却設備の費用が莫大で、冷却水の確保も難しいことから、①ずり出し作業に使用する重機に冷房付きのキャビンを架装し、②工程を見直し、高熱区間の掘削を冬季に行うこととして、換気設備のみで対処することとした。

3000m<sup>3</sup>/minの換気量を確保するため、約375m間隔にある連絡坑に換気設備を設置し、調査坑を給気導坑に利用する「坑道換気方式」とした。図-4に示すように、切羽の進行にあわせて連絡坑を掘削し、換気設備も移設していけば、送風距離が750m以内となり大容量の送風が可能となった。本坑の掘削においても岩盤の最高温度は73℃に達したが、坑内気温を28℃前後に保つことができ、風速も2m/sとなるなど粉塵濃度の低減にも役立った(写真-1~3)。

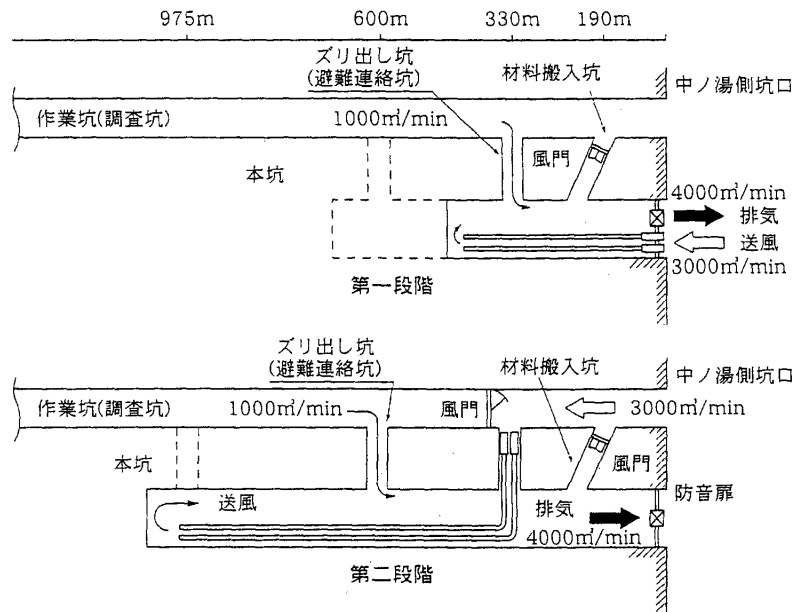


図-4 本坑換気計画



写真-1 本坑上半削孔作業

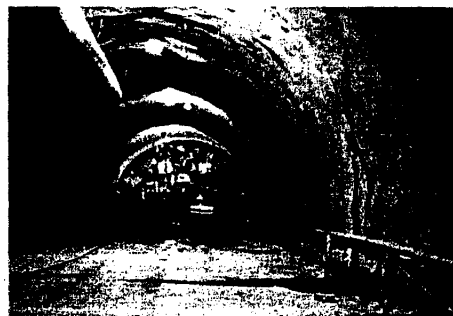


写真-2 風管 (φ1500) 2本による送風



写真-3 散水によるずりの冷却

## 2. 火山性ガス対策

調査坑の実績から火山性ガスの噴出する可能性は極めて低いといえたが、労働基準監督署との協議で、火山性ガスの対策は調査坑施工時とまったく同様とした。図-5に本坑の自動ガス警報装置の配置を示す。

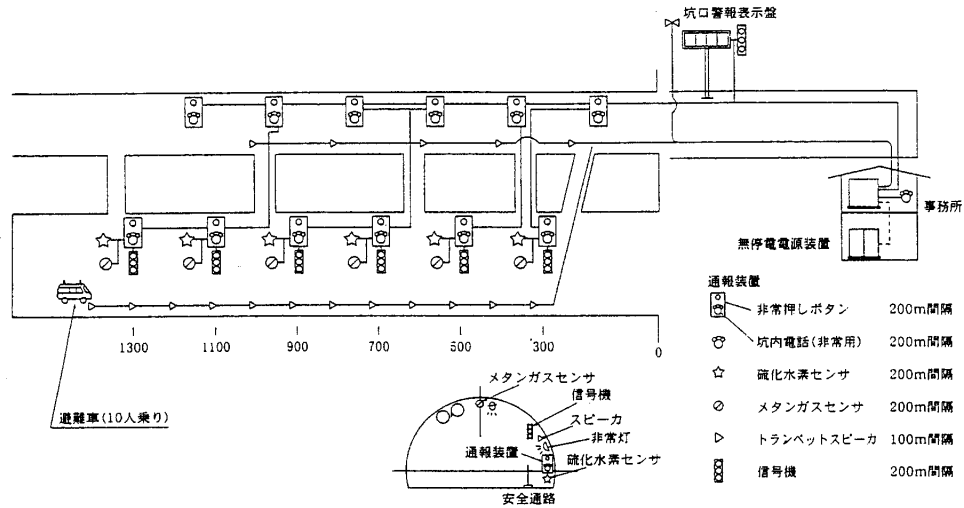


図-5 自動ガス警報設備

## 3. 本坑の掘削の状況

長野県側の梓川溪谷周辺にはずり処分場がなく、すべて岐阜県側へ調査坑を使用して運搬しなければならなかった。当初計画では、ずりを本坑内に仮置きして、他のサイクル時に調査坑内を走るずりトロに積み込む計画であった。しかし高熱区間では発破後もずりの温度が高く（調査坑では最高64℃）、坑内作業環境の悪化を招き、また安全上の問題にもなった。そこで種々検討の結果、大型のロードホールダンプ（6m<sup>3</sup>積み、三井アイムコ928）3台で切羽から連絡坑を通して、調査坑に待機する6m<sup>3</sup>積みずりトロに積み込む「直積み方式」に変更した。ずりトロは一発破のずり量に見合う台数を調査坑に待機させた。写真-4～6にずり運搬の状況を示す。



写真-4 切羽におけるずりの積み込み

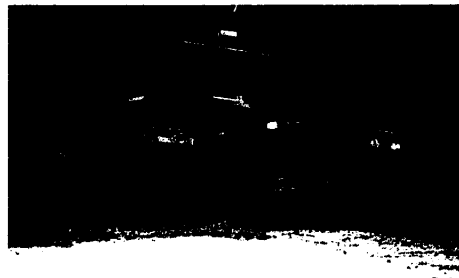


写真-5 連絡坑へ入るロードホールダンプ



写真-6 ずりトロッコで平湯側へ運搬

### 高熱区間の二次覆工コンクリート

中ノ湯工区の高熱区間においては二次覆工コンクリート表面の温度は換気によって下がるため、裏面の岩盤側との温度差が極めて大きくなる。そこで有限要素法で温度解析を行い、さらに二次元・三次元の温度応力解析を実施した。この結果、温度応力によって、若齢期にひびわれが発生する確率が極めて高いことがわかった。

#### 1. ひびわれ防止対策

- ① コンクリートの温度上昇を抑えるため高炉セメントB種を使用した。
- ② トンネル軸直角方向のひびわれ制御には施工目地が効果的であるため、打設長さを10.5mから6mに短縮した。
- ③ 覆工コンクリートと防水シートとの間に断熱材を設け、コンクリートの表裏の温度差を10℃程度に縮減した。

#### 2. 断熱材

断熱性能・施工性に優れた現場発泡タイプの硬質発泡ウレタンを採用した。水槽を使った現場実験で、覆工コンクリートの表裏の温度差を5～10℃に抑えることができることを確認し、温度応力解析も行って厚さを5cmとした。

吹付けコンクリート面に防水シートをはり、その表面に断熱材を吹き付けた。防水シートは80℃の温度に耐えられる特殊なもので、図-6に示すように岩盤側の不織布と、反対面に断熱材の付着を良くするための不織布をはった三重構造である。写真-7,8に吹付け状況を示す。

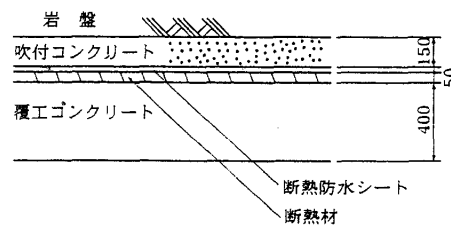


図-6 断熱材・防水シート断面図



写真-7 断熱材の吹付け作業

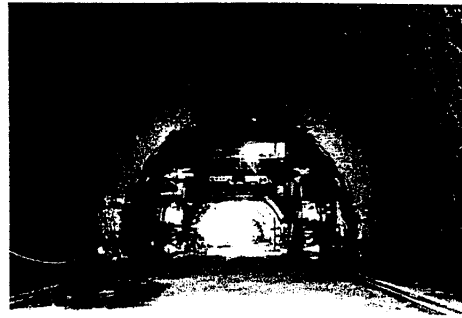


写真-8 断熱材吹付けの仕上がり

### 3. 乾燥収縮によるひびわれの防止対策

コンクリート打設から4～6か月経って、天端付近に軸方向のひびわれが発生した。ひびわれ幅は小さいが変位計と坑内温度計を設置して計測した結果、多量の換気による乾燥収縮のほか外気温の低下に伴う収縮が原因と考えられた。対策としては、

- ① コンクリートに乾燥収縮低減剤を混入した。乾燥収縮低減剤は低級アルコールを原料とし、水の蒸発時における収縮力を弱める作用を行う液状のものである。実施工に先立って行った試験では40%の低減効果があった。
- ② トンネル軸方向2か所にひびわれ誘発目地を設けた（写真-9）。

この結果、打設後6か月を経過しても、ひびわれの発生は極端に少なくなり、防止対策が有効であったものと考えられる。

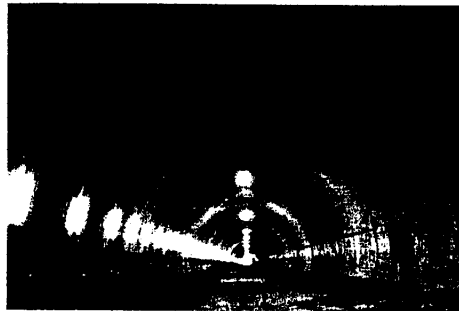


写真-9 誘発目地

### おわりに

北アルプスを貫く高熱トンネルとして、多方面から注目をいただいた「安房トンネル」は本坑の着手以来実質5年を経過して、平成7年4月5日に貫通した。

昭和52年に設立した「安房トンネル施工法検討委員会」に参画いただいた各分野の専門の先生方の熱心なご指導の賜物と感謝するしだいである。

# 安房トンネルの本坑が貫通 高圧帯水火山噴出物層と高熱帯を克服

建設省中部地方建設局高山国道工事事務所平湯出張所長 成瀬 清  
熊谷組・飛島建設・佐藤工業共同企業体所長（平湯工区（岐阜県側）） 鈴木 晟弘  
鹿島建設・大成建設共同企業体所長（中ノ湯工区（長野県側）） 松山 政雄

## 1. はじめに

山また山の安房峠は一般国道158号の岐阜・長野県境に位置する。車道として切り広げられたのは昭和13年であり、標高1,790mを通るルートは異常気象時の通行止や冬季の豪雪による長期間（11月～4月の半年間）の通行不能が常識となっている。

この道路は、福井市を起点とし、高山市を經由して松本市に至る幹線道路であり（図-1）、通年通行を目指して道路改良計画について昭和39年度から調査が実施された。高峻な地にバイパスを造るため、オープン案と長大トンネル案との比較検討を

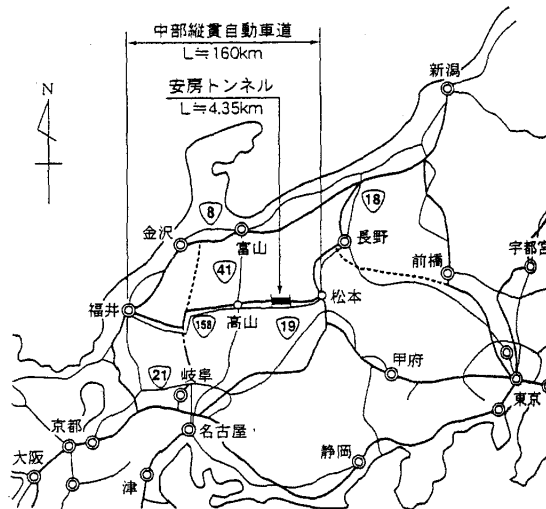


図-1 安房トンネルルート

を行い、自然環境の保全、経済効果、全天候型の観点から長大トンネル案が採用された。

安房トンネルはこの改良計画によって安房峠の直下に計画された延長4,350m、第1種第3級の高規格幹線道路トンネルである。この安房トンネルは活動を続ける焼岳を含む北アルプスの火山帯を通過するため、地熱や火山性ガス対策が問題となり、各分野の専門家から構成される「安房トンネル施工法検討委員会」を昭和52年度に設立した。本坑施工の可能性を探るため調査坑を先行して各種の調査や検討を行ったところ、「大断面の本坑でも技術的に施工可能」との判断を得て平成元年度に着手し、本年4月5日に無事貫通した。本文では難題を克服した本坑を主とした施工実績について記述する。

## 2. トンネル周辺の地形・地質

### 2-1 地形の概要

安房トンネルは図-2に示すように、乗鞍岳、焼岳、アカンダナ山といった火山が連なる北アルプス南部に位置する。とくに、現在も水蒸気を上げる焼岳は中ノ湯側坑口（長野県側）から約3kmしか離れていない。



トンネル直上の安房峠は、アカンダナ山火口から噴出された溶岩や火山砂などの火山噴出物と中・古生層からなる安房山との境界に形成されたもので、中・古生層と火山噴出物境界付近には、旧谷跡と推定される凹部が火山噴出物によりせき止められて形成された安房、細池、小舟沢などの湿原が存在する。

## 2-2 地質の概要

トンネル周辺の地質は、図-3に示すように古生代二畳紀～中生代ジュラ紀の頁岩、砂岩、チャート、石灰岩などの堆積岩類

「中・古生層」と、これを貫く中生代から新生代第三紀の貫入岩からなり、これらを覆って新生代第四紀の火山噴出物、扇状地堆積物、崖錐堆積物などが広く分布する。

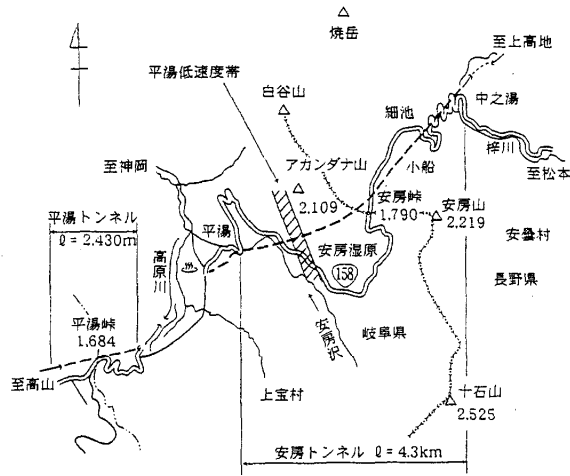


図-2 安房トンネル周辺の地形

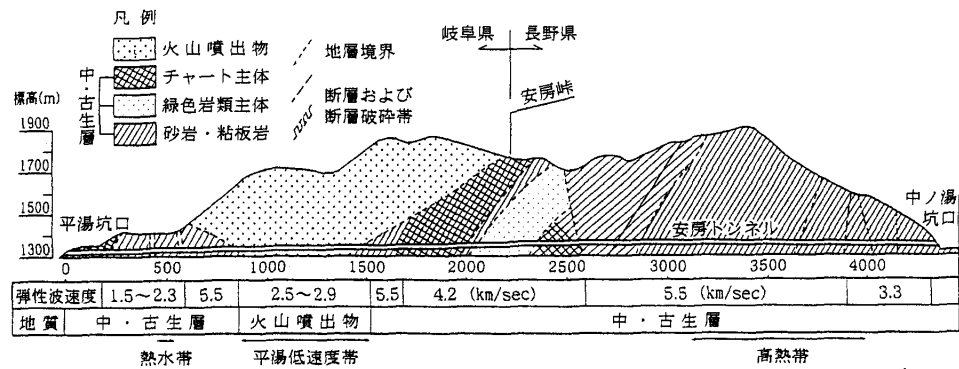


図-3 地質断面図

図-4にはトンネルの調査、施工実績で明らかになったトンネルルート沿いの地質概要を示したが、平湯側坑口（岐阜県側）から120m付近までは崖錐堆積物、火山噴出物などが分布し、120～850m付近までが頁岩やチャートからなる中・古生層である。このうち、450～580m付近の120m区間は調査坑で最高73℃の熱水が湧出した「熱水帯」となっているが本坑では熱水の湧出はほとんどなかった。

850～1,450m付近はアカンダナ火山噴出物の火山砂や火山砂礫より構成され、切羽から掘り出した木片の年代測定から約11,500年前の堆積物であることが判明している。この地層は中・古生層の旧谷地形を埋めて深さ300～500mにわたって堆積しており、地表



表-1 安房トンネル施工上の課題

平湯側 (岐阜県)	中ノ湯側 (長野県)
○「熱水帯」	○「高熱帯」
1. 作業環境の確保の可能性	1. 作業環境の確保の可能性
2. 薬液注入による止水の可能性	2. 材料の温度応力と耐久性
3. 注入材料の耐久性	3. 熱水噴出の可能性と対策
○「平湯低速度帯」(火山噴出物層)	4. 火山性ガス突出の可能性
1. 地質状態の把握と評価	5. 火薬類の耐熱対策
2. 湧水対策と水文環境の影響	6. NATMの適応性
3. 切羽の自立性と施工方法	7. 重機の窓ガラスの曇り
	8. 開通後のガラスの曇り

#### 4. トンネルの施工

##### 4-1 調査坑の施工

安房トンネルの施工にあたり、前述のような施工上の課題が存在するため、本坑掘削に先だって調査坑を掘削し、地質の確認や各種試験を行うことにより本坑施工の検討を行った。調査坑の位置は、本坑よりも施工条件が厳しいと予想される本坑から焼岳側(北側)に約30m離し本坑と並列とした。

調査坑の施工は中ノ湯側で昭和55年度から湧水区間を除きNATMで、平湯側は昭和58年度から従来の矢板工法で施工を開始した。図-5に本坑ならびに調査坑の標準断面図を示す。

●平湯側調査坑標準断面図 ●中ノ湯調査坑標準断面図 ●安房トンネル標準断面図

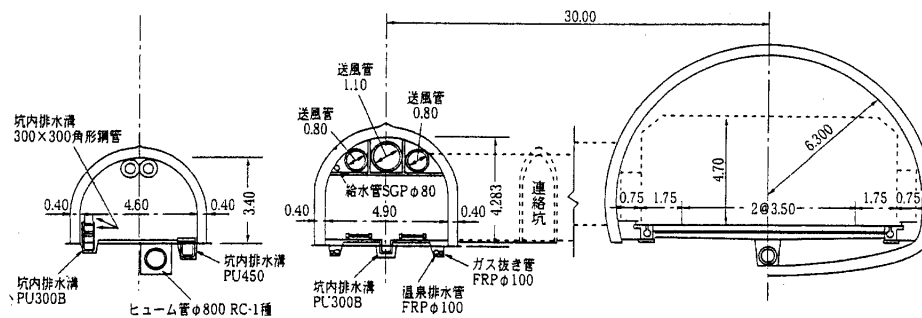


図-5 標準断面図(本坑、調査坑)

平湯側は等三線の軌条が設置可能で、将来緊急避難路としても活用できるように内空断面を設定し、「平湯低速度帯」で湧水が発生した場合に備え最大150m<sup>3</sup>/minの湧水処理が可能である直径0.8mのヒューム管をトンネル中央に埋設した。

また、中ノ湯側は、岩盤や覆工を冷却して坑内作業環境を確保するために、最大2,400m<sup>3</sup>/minの送風が可能で送風管の設置が必要であることや、火山性ガスが突出した場合には坑内員が安全に坑外に避難するための避難台車が走行することを考慮して内空断面を決定した。

調査坑の施工時に、注入材や覆工コンクリートの材質についての試験、地温測定や火山性ガスの調査を行い、本坑で使用する材料や、作業環境の確保などの検討を行った。

また、「平湯低速度帯」では、最大22kgf/cm<sup>2</sup>の湧水圧が予想されたため、掘削工到達前に中・古生層から延長145～180mの長尺水抜きボーリングを行って水位の低下をはかったが、昭和62年に右水抜き坑の切羽が「平湯低速度帯」到達直後に最大180m<sup>3</sup>/minの湧水と約3,000m<sup>3</sup>の土砂流出に見舞われた。このため水抜き坑や水抜きボーリングを追加して水位を下げ、調査坑を先進させた。さらに、「平湯低速度帯」には固結度の低い火山噴出物が最大400mの深さで堆積しているために、先行した水抜き坑から調査坑に向けて変位計を設置して先行変位を計測した。また、NATMの試験施工を実施して本坑の施工性を探った。

調査坑は着工後12年を経て平成3年7月30日に貫通した。その後は中ノ湯側本坑掘削ズリ出し用の作業坑として使用した。

#### 4-2 熱水帯の施工

「熱水帯」は調査坑の掘削により確認されたもので、延長約120m、湧水温は最高73℃に達した。この熱水は中・古生層頁岩の破碎部から湧出するもので作業環境の確保と地盤改良を兼ねた確実性の高い薬液注入工法を検討した。

その結果、高温温泉水に対する注入効果については、セメントペースト系の注入材によりLW（水ガラスセメント系薬液）の方が優れており、さらに止水効果を高めるためにはLWとシリカゾルの複合注入が必要であることが明らかになった。また、耐久性については、セメントペースト系の注入材がほかの材料よりも優れているが、LWの耐久性も、止水および地盤改良としての役割を果たすには十分なものであることが明らかになった。なお、セメントは高炉セメントB種が適している。

高温温泉水に対する2次覆工コンクリートの耐久性については、普通セメント、高炉セメントB種（混合粉砕および分離粉砕）、中庸熱セメント、中庸熱セメント＋フライアッシュの5種類について、温泉水および水道水で養生を行い比較検討した結果、高炉セメントB種（分離粉砕）はほとんど浸食を受けず、温泉水に対する耐久性が優れていることが明らかになった。

なお、「熱水帯」における作業環境は、注入工事中は散水、換気により十分確保できたが、掘削作業中は散水効果が少なくかなり厳しい状況であった。

本坑の施工では、「熱水帯」と予想される区間（460～560m付近）で、上部半断面の外周2mについて止水を目的とする薬液注入を行う予定であったが、事前に行った調査ボーリングで、熱水が微量に確認されたものの温度が最高で54℃と予想より低かったことや、トンネル天端からは熱水が湧出しなかったことから注入の施工を行わず、掘削段階で熱水の湧水状況を見て検討することとした。

掘削時に、300m付近から下半に35℃程度の熱水が出始め、400m付近では上半切羽からも湧出した。それ以降、断層破碎帯区間において不連続な形で熱水が湧出し、550m付近で最高温度72℃を記録した。

この区間では、薬液注入を実施せずに掘削したため熱水による作業環境の悪化や、切羽の自立性に乏しい状況は連続したものの、大型換気設備の導入や補助工法の採用により「熱水帯」を無事突破することができた。これは、調査坑による水抜き効果であると判断される。

#### 4-3 平湯低速度帯の施工

「平湯低速度帯」の湧水対策の選定については種々検討したが、薬液注入による止水工法は膨大な費用と長期間にわたる工期が必要となるため、水抜き工法を採用した。本坑の施工時には水抜き坑と調査坑の効果で水位は施工基面付近まで低下しており、切羽の流出はなかった。

「平湯低速度帯」を構成する火山噴出物の諸元を表-2に示す。水抜き坑で実施した地山支持力試験の結果は許容支持力 $95\text{t}/\text{m}^2$ （極限支持力 $280\text{t}/\text{m}^2$ ）であり、地山は地下水で飽和しており、きわめて脆弱で崩壊性に富んでいること、掘削や湧水に伴う基盤の攪乱を生じやすいことから、掘削工法は鋼製支保工を主体とした側壁導坑先進工法（レール方式）とし、上半をNATMで施工、補助的にフォアパイリングを実施する事にした（写真-1）。

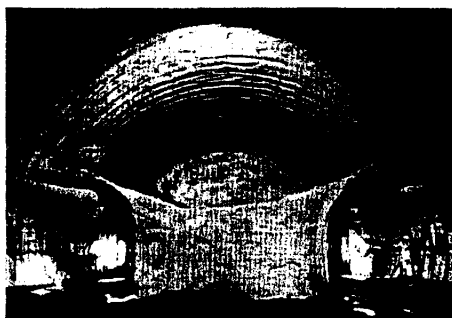


写真-1 側壁導坑先進ショートベンチカット工法（サイロット工法）

表-2 「平湯低速度帯」火山噴出物の物性値

		火山砂層	火山砂礫層
粒度分布	礫分%	30.5	62.5
	砂分%	59.5	32.0
	シルト分%	6.0	3.5
	粘土分%	4.0	2.0
均等係数 $U_c$		23.0	19.5
自然含水比 %		10.3	8.9
変形係数 $\text{kgf}/\text{cm}^2$	孔内載荷	4.300	6.400
	平板載荷	-	560
許容支持力 $\text{t}/\text{m}^2$			94
せん断強度	$C_d \text{ kgf}/\text{cm}^2$	1.2	1.1
	$\phi$	$36^\circ$	$38^\circ$

側壁導坑の掘削にあたっては、

- ① 掘削は上半切羽より約100m先進させる。
- ② 側壁コンクリートの養生期間は1か月を見込み40m先行打設する。

を基本方針として、地山の拳動と支保構造の応力状態を計測により把握しながら掘り進めた。

なお、「平湯低速度帯」を構成する火山噴出物は、雲仙の火砕流で堆積したような安

山岩質の不均質な堆積物であり自立性に乏しいため、天端に長さ3mの注入式フォアパイリングを施工した。また、上半のシステムボルトは6mであり、穿孔荒れが著しいため、自穿孔ボルトを使用した。

また、調査坑での地質観察では、切羽の進行にともない火山噴出物中の礫分が減少し砂分が主体（細粒分含有率は3～14%）となり、切羽の自立性がさらに悪化した。本坑でも「平湯低速度帯」到達直後は上半切羽（切羽断面積約58m<sup>2</sup>）の鏡ボルトは必要でなかったが、1,050mより坑奥では平均40本（1本/1.5m<sup>2</sup>）の鏡ボルトが必要となった。

この地質状況の中、930m付近で側壁コンクリートにクラックが発生した（写真-2）。この付近の側壁導坑の計測結果を見ると、内空変位40mm程度に対し天端沈下は10mm程度であり、ロックボルト軸力も許容軸力を上回っていた。

このため、側壁導坑および側壁コンクリートの形状を変更し、なお、用心鉄筋を配する構造とした（図-6）。

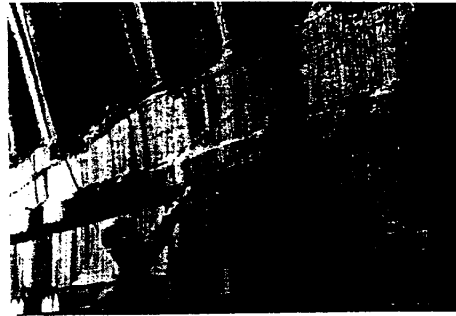


写真-2 TD=930m付近の左側壁コンクリートの亀裂および補強状況

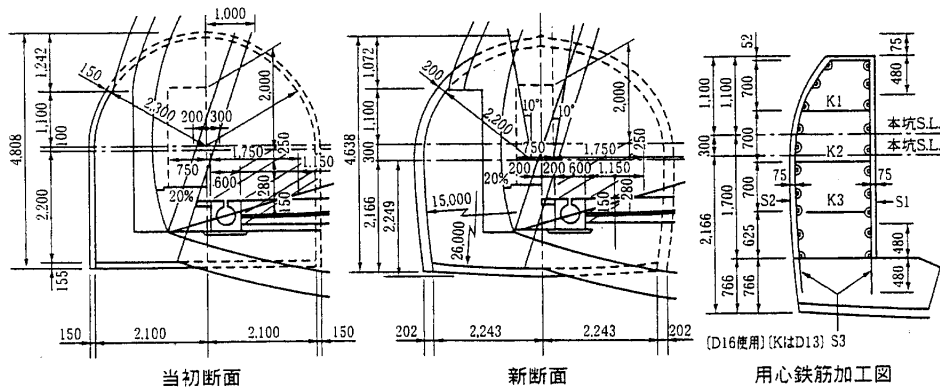


図-6 側壁コンクリートの形状を変更

この結果、側壁コンクリートのクラックは大幅に減少しヘアークラック程度となった。表-3には新旧断面での計測結果を示し、図-7にはA・B計測結果に基づく側壁導坑掘削終了後の最大せん断ひずみ分布図を示したが、新断面では地山のひずみが小さく収まっている。

「平湯低速度帯」の施工において、掘削を進めるとともに漸次悪化する地山状況の中で、新断面にしたことにより側壁コンクリートのクラックは減少して、内空変位と天端

沈下のバランスがよくなった。

しかし、各部材の応力は表-4に示すように、過酷な地山条件では改善には至らなかった。NATMでの施工において、本トンネルで採った重支保剛性（上半支保工250H×@900、吹付け厚25cm：側壁導坑150H×@900、吹付け厚20cm）は多くの議論をよぶところであるが、土かぶりの大きい、しかもこうした脆弱な地層での施工に対して、部材応力は大きいものの極力変形を押さえ地山を緩ませない新断面の支保構造が妥当であったものと言える。

表-3 A・B計測結果一覧表

	当初断面		新断面	
	導坑	上半	導坑	上半
天端沈下 mm	-1~-7	+2~-15	-3~-13	-7~-19
内空変位 mm	19~42	4.2~13	8~33	5.2~21
ボルト軸力 t	天端	-	14	18
	肩部	7~14	19~22	3~8
	側方	18~24	16~26	13~25
吹付け応力 kgf/cm <sup>2</sup>	天端	64~120	128	107~133
	肩部	81~128	78~90	135~282
	側方	53~130	79~91	95~232
網アーチ支保工軸力 t	天端	32~53	148	59~80
	肩部	96~152	177~228	88~368
	側方	18~45	310~325	64~123

値は計測の最大値の範囲

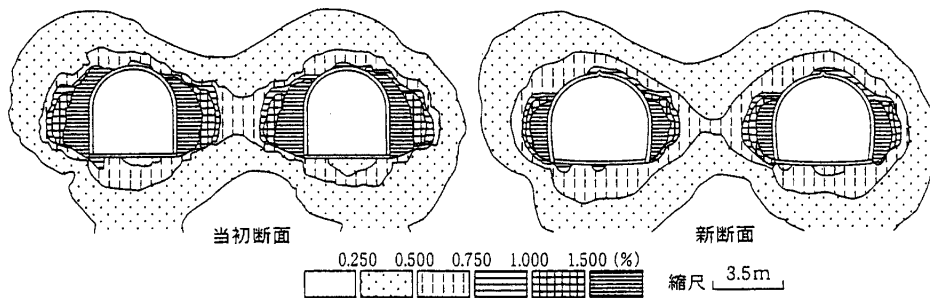


図-7 側壁導坑掘削終了後の地山最大せん断ひずみ分布図

表-4 「高熱帯」のコンクリート配合

呼び強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	スランプ (cm)	最大骨材 寸法 (mm)	空気量 (%)	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 S/A (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )				
						セメント C	水 W	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤 AE減水剤
180	12	40	4.5	54.9	44.0	284	156	815	1047	0.710

セメント：高炉セメントB種分離粉砕型 ・ AE減水剤：ポゾリスNO.81MP（セメント量の0.25%使用）

#### 4-4 高熱帯の施工

調査坑の掘削では岩盤温度が中ノ湯側坑口付近の100mから急激に上昇し、650mの地点では75℃に達した。そこで、坑口に2,400m<sup>3</sup>/minの換気設備を置き、風管3本（直径1,100mm、800mm×2本）で切羽に送風する事により、坑内の作業環境温度を30℃以下に保つことができた。

本坑の換気設備は調査坑での実績をもとに検討を行った結果、切羽の放熱量の最大は発破後のズリ出し時に571Mcal/hとなり、坑内の作業環境温度を30℃以下に保つには、切羽方向へ20℃の冷風を3,000m<sup>3</sup>/min、切羽後方へ排気のため4,000m<sup>3</sup>/minを送風し、さらに切羽近くに局所的な冷房設備を設置しなければならないことがわかった。

しかし、これらの冷房設備に要する冷却水の確保が困難であり、また費用が膨大であることから次の対策を併用しながら換気を行うことで対処することとした。

- ① 放熱量のもっとも多いズリ出し作業に使用するバックホウ、ブレーカー、ロードホルダンプの運転席を冷房装置付きのキャビンとする。
- ② 高熱区間の中でもっとも岩盤温度の高い区間を冬期間に掘削するよう工程を変更する。

また、切羽に常に3,000m<sup>3</sup>/minの換気量を確保するため図-8に示すような調査坑との連絡坑を利用する換気方式とした。

- ① 本坑と調査坑をつなぐ切羽にもっとも近い連絡坑はズリ出しに使用するため、その手前の連絡坑に換気設備を設置する。連絡坑は375m間隔にあるので切羽の進行に合わせて移設することによって、切羽と換気設備との最大距離は750mとなる。
- ② 調査坑の中ノ湯側坑口から連絡坑までを給気導坑とする。
- ③ 平湯側の連絡坑で行うズリ出し作業での粉塵が混入しないよう調査坑に風門を設置する。
- ④ 本坑中ノ湯側坑口に風門と4,000m<sup>3</sup>/minの排気設備を設ける。
- ⑤ 風門のないズリ出し連絡坑に給気量3,000m<sup>3</sup>/minとの差を取り込み、粉塵が調査坑に入らないようにする。

650m付近で岩盤温度が最高72℃まで達したが、この換気方式により風速は2m/sを維持し、坑内の作業環境温度を28℃前後に確保できた。これは、掘削断面積が約100m<sup>2</sup>と大きく、送気が切羽まで届いたことも幸いしていた。

火山性ガスについては、調査坑の探りボーリングで微量のガスが検知されたため、次のような対策を実施した。

- ① 切羽と坑内に固定式センサーを取り付け、硫化水素10ppm以上、メタンガス1%以上、酸素濃度18%以下に達したら警報を発生し坑内員に避難と立ち入り禁止を表示する「自動ガス警報器」を設置した。
- ② 作業員には常に携帯式ガス警報器を携帯させ、一発破ごとにガス濃度を係員が測定した。
- ③ 緊急非常事態発生の場合、坑内員を乗せて坑外に脱出するマイクロバスを切羽に



常駐させた。

④ 避難訓練などの教育を定期的実施して認識を徹底した。

なお、幸いなことに、本坑掘削では火山性ガスが検出されたことは一度もなかった。

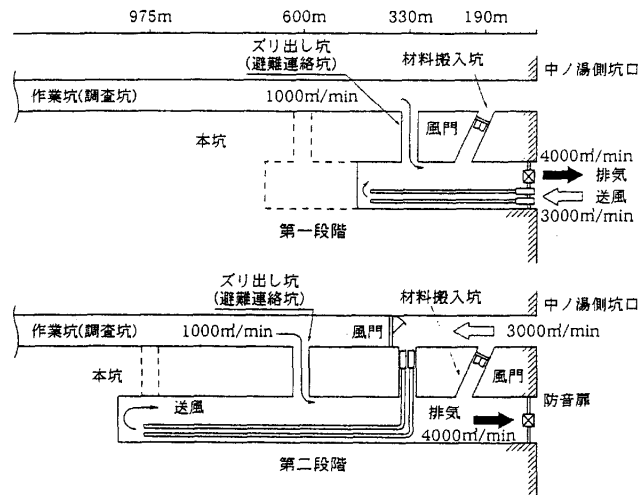


図-8 本坑換気方式

#### 4-5 高熱帯の覆工コンクリート

一般にコンクリートの部材厚が薄い場合、水和熱が外部へ逃げやすいため高温にならず温度応力は問題とならない。しかし、70℃もの高温の岩盤および吹付けコンクリート上に2次覆工コンクリートを打設した場合、部材厚が薄くても水和熱が逃げにくくコンクリート裏面と表面との温度差によって若令時にひびわれが生じる可能性がある。そのため、2次覆工コンクリートに対してさまざまなひび割れ防止対策を検討して施工した。

- ① 高温時の強度低下防止のため、水セメント比55%以下とし、温泉水に対する耐久性から高炉セメントB種分離粉砕型を使用した(表-4)。
- ② 防水シートと覆工コンクリートの間に断熱材を設けることにより、岩盤から熱の伝導を遮断し、コンクリート内の温度応力を低減させた。
- ③ 覆工コンクリートの打設長を一般部の10.5mから6.0m短縮した。
- ④ 防水シートと不織布を組み合わせる緩衝材とし、吹付けコンクリートと縁切りする事により、覆工コンクリートの収縮を拘束させないようにした。

以上のような対策から打設後しばらくはひびわれの発生はなかった。

#### 4-6 ひび割れ防止対策

コンクリート打設から4か月ほど経過して天端付近の延長方向に幅1mm程度のクラックが発生した。変位計と温度計を設置して計測した結果、多量の換気による乾燥収縮のほか、坑内温度の低下に伴う収縮が原因と考えられた。

そのため以下のような対策をとった。

- ① コンクリートに乾燥収縮低減材（低級アルコールを原料とする液体）を混入。
- ② ひび割れ誘発目地（45° の両肩部に延長方向2条のダミージョイント）を設置した。

対策の結果、コンクリート打設後6か月経過しての調査でひび割れ幅0.04～0.08mm、長さ1.5～3.0mのひび割れが数本発生したが、発生確率は対策前に比べ1/5に減少した。

あらゆる検討と対策の上での「高熱帯」の施工であったが高地熱の影響が大きく難しいものであった。

## 5. おわりに

安房トンネルの難題は「平湯低速度帯」と「高熱帯」に絞れる。調査や検討を重ね掘削を進めたが、これは「安房トンネルは調査坑を先行したから掘れた」と言える。

調査坑は足掛け12年で貫通、本坑は実質5年半で平成7年4月5日に貫通した。

本坑着手の平成元年には、中部縦貫自動車道の一環に位置づけられたために自動車専用道路として整備を進めている。

「安房トンネルは難工事」というレッテルから多くの視察、見学者を迎えている。その中で、幾多の課題を着実に克服した工事实績を披露している。

「安房トンネルが貫通」の陰には、長年にわたる調査、検討、計画、そして施工に携われた多くの関係者の努力があることに敬意を表したい。

開通後は中部内陸部の大動脈となることが確実である。今後は2次覆工コンクリートの仕上げを行い、引き続き舗装工事や防災・管理施設工事を進め早期の完成に努めたい。