

行政院所屬各機關因公出國人員出國報告書
(出國類別：考察)

高速鐵路綠色工法及環保考察

服務機關：交通部高速鐵路工程局

出國人員 職稱：正工程司兼科長

姓名：何松濤

出國地點：日本

出國期間：九十一年十月二十一日至十一月一日

報告日期：九十二年一月

主編室
編譯室
秘書室
副秘書室

H4/
109200130

中華民國九十一年十月二十一日至十一月一日赴日本考察「高速鐵路綠色工法及環保」報告書

系統識別號:C09200130

公務出國報告提要

頁數: 74 含附件: 是

報告名稱:

高速鐵路綠色工法及環保考察

主辦機關:

交通部高速鐵路工程局

聯絡人/電話:

database rdecrpt/

出國人員:

何松濤 交通部高速鐵路工程局 第六組 科長

出國類別: 考察

出國地區: 日本

出國期間: 民國 91 年 10 月 21 日 - 民國 91 年 11 月 01 日

報告日期: 民國 92 年 01 月 14 日

分類號/目: H4/鐵路 H0/綜合(交通類)

關鍵詞: 綠營建工程、植生坡面工程、生態工程

內容摘要: 本次考察經由日本交通株式會社(JTC)安排拜訪日本鐵路建設公團(JRCC),考察東京-長野、東京-盛岡已完工,盛岡-八戶近期完工(2002年12月1日通車)及八戶至青森間施工中之新幹線沿線鐵路建設,有關邊坡處理、綠色植生工程、生態工程及噪音、振動防制等環保對策。日本對於邊坡綠色植生工程,早期新幹線興建時即已採用,且技術相當純熟,如填土坡面工、挖掘坡面工,應考慮之條件、因素等,均有深入之探討研究,而近幾年來,更沿襲歐美經驗,非常重視永續生存環境,發展生態工程,如八戶至青森施工中之新幹線工程,除原有植生保留復育,施工期間為避免干擾山區內野生動物鳥類生態,施工便道沿線設施臨時隔音牆綿延約三公里,同時為避免大型土方車輛進出空氣與揚塵破壞當地景觀生態,直接由隧道內以輸送帶將土方運送長達五公里外之地點再行轉運,對大自然的尊重及生態保育不遺餘力的努力。

本文電子檔已上傳至出國報告資訊網

目 錄

壹、 考察目的	1
貳、 考察行程	2
參、 考察內容	4
一、植生坡面工程	4
二、生態工程	23
三、新幹綫噪音振動等之環保工程	28
肆、 心得與與建議	51
伍、 附錄	
附錄一：植生工法相關資料	53
(一)各種植生工法優缺點比	53
(二)特殊土壤開挖坡面對策	55
(三)植生工法須考量之因素	58
(四)格子樑工法之設計	66
(五)噴植工法之範例	72
附錄二：兼具環保生態之隧道施工技術	73

壹、考察目的

社會經濟的發達，扮演著重要角色的交通運輸，需求日益增加，從二十餘年前建設南北第一條中山高速公路，至今已不敷需求，而須再闢建第二條南北高速公路、濱海快速道路及目前如火如荼闢建之高速鐵路。

道路、鐵路因連結的功能而有經濟與社會效益，但同時也因貫穿空間而對環境產生影響，對生態有一定程度衝擊，為維護生態環境，減少因為人為開發帶來的環境衝擊，產、官、學界無不絞盡腦汁尋求對策。

鑒於整體環境與台灣類似之日本，其交通建設因應經濟發展的急迫性亦面臨與台灣一樣之壓力，惟其一些交通建設透過民間組織—道路公團之推動，在完備的政策機制及法規基礎上，展現極佳效率，累積許多成功案例與對策，實值得探究與學習，故此次考察主要藉他山之石可以攻錯，蒐集相關經驗案例，俾做為高速鐵路綠色工法興建之參考。

貳、考察行程

日本考察計畫行程表

日期	時間	參訪單位/地點	授課及解說人員
10/21 (一)	9:00	台北中正國際機場至日本東京成田機場 (BR2198) 拜會日本交通株式會社 (JTC) 討論行程	JTC町田、 中村浩史
10/22 (二)	上午 下午	拜會日本鐵路建設公團 (JRCC)，聽取簡報及討論 日本鐵路建設公團概要說明 日本鐵路建設邊坡處理、綠色植生工程、 防災工程 日本鐵路建設噪音、振動防制對策	JTC中村浩史 JRCC佐佐木忠俊 米澤豐司 木村課長
10/23 (三)	上午 下午	考察JR東日本總合指令所見學 (General Control Center) 參觀木場地下機廠及東京彩虹橋 (Rainbow Bridge) 長跨距橋樑見學	JR東日本加藤幸雄 東京都交通局高塩先生
10/24 (四)	上午 下午	09:38~11:00北陸新幹線上野至上田車站集合 考察第二、三千曲川橋及更植市橫坑出口 參觀工地橋樑河川、邊坡植生、魚梯、隧道出口緩衝工。	JTC滝野幸雄
10/25 (五)	上午 下午	參觀長野車站與犀川橋、屋代南北橋等橋樑 由長野回東京	JTC滝野幸雄
10/26 (六)	週末	東京	

日期	時間	參訪單位/地點	授課及解說人員
10/27 (日)	週末	東京	
10/28 (一)	上午 下午	08：57~11：31東北新幹線上野車站至盛岡車站會合，並由JRCC盛岡支社安排車輛見習將於12/1通車路段東北新幹線盛岡~八戶準備工作。 考察滝沢隧道、沼宮內站、小繫工作坑及二戶車站。	JRCC盛岡支社 市川課長及三好省三 沼宮內鐵路建設所、一戶鐵路建設所、二戶鐵路建設所
10/29 (二)	上午 下午	考察東北新幹線延伸線第3馬淵川橋長跨徑橋樑、八戶車站、車輛整備場 考察八甲田隧道築木工區生態保護區環保工作及船岡車輛基地消雪試驗場綠色工法及環保對策	JRCC盛岡支社 市川課長及三好省三 八戶鐵路建設所 青森鐵路建設所
10/30 (三)	上午 下午	09：15~10：31青森搭乘海峽3號抵達吉岡海底車站，考察青函隧道概況說明，海底世界、火災狀況裝置說明。 轉搭海峽5號12：37~13：50前往函館， 14：00~17：30轉搭北斗11號由函館前往札幌	JTC中村浩史 吉岡站解說員
10/31 (四)	上午 下午	札幌大通車站附近見習 由札幌回東京彌生會館	
11/1 (五)		回國 由東京成田機場至台北中正機場 ◎11/1考察計畫結束	

參、考察內容

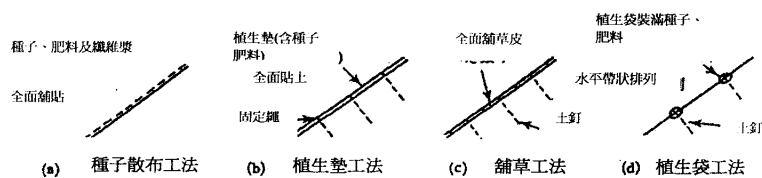
一、植生坡面工程

「植生」又稱「植被」，係指某一地區生長之所有植物的總和，特別是指地表所生長之草類、蕨類、灌木及喬木等高等植物。

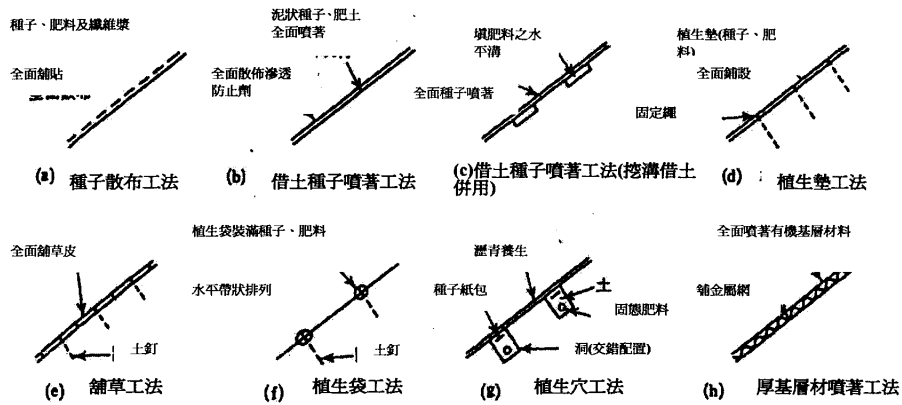
植生工程係研究植生施工之對象，選取適宜生長之植生材料，配合基礎與保護工程之構置及植生作業之介入，達到植生設計目的之科學與相關技術。在日本稱之為綠化工或綠化工技術，在台灣亦把植生工程與綠化工程之內涵同等視之。

植生工程包括植生前期作業(或稱植生基礎工)、植生導入作業(或稱植生工程)、及植生維護與管理等項。植生前期作業是為裸露地坡面或栽植植物前所作之基礎或坡面安定工程及相關作業，包括施工地點基本資料之調查與評估、坡面改善及坡面處理、坡面安定工程、坡面排水工程等。植生導入作業可概分為播種法與植栽法等。植生維護與管理是為確保植生工作之落實，於栽植期間，配合適當之保護與管理維護工作，以達到土壤保育與生態環境之維護。

填土坡面於日本所使用之主要播種法圖示如下：



挖掘坡面於日本所使用之主要播種法圖示如下：



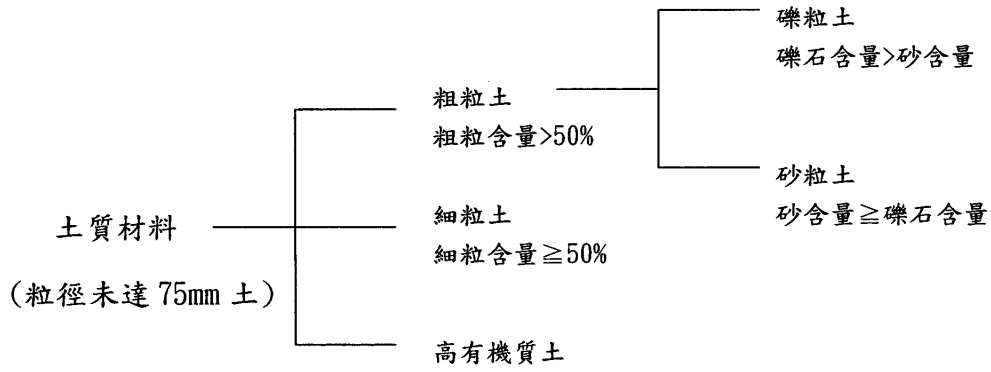
一般而言植生坡面高度與坡度在日本之考慮如下：

坡面垂直高度	適合坡度	備註
9M 以下	1:1.5~1:1.8	
9M~15M	1:1.8~1:2.0	
15M 以上	1:2.0	

在日本植生工程雖有以上之坡度考慮，然而亦有因颱風來襲，造成坡面上之植生全面破壞之情形發生。

(一)、土壤分類

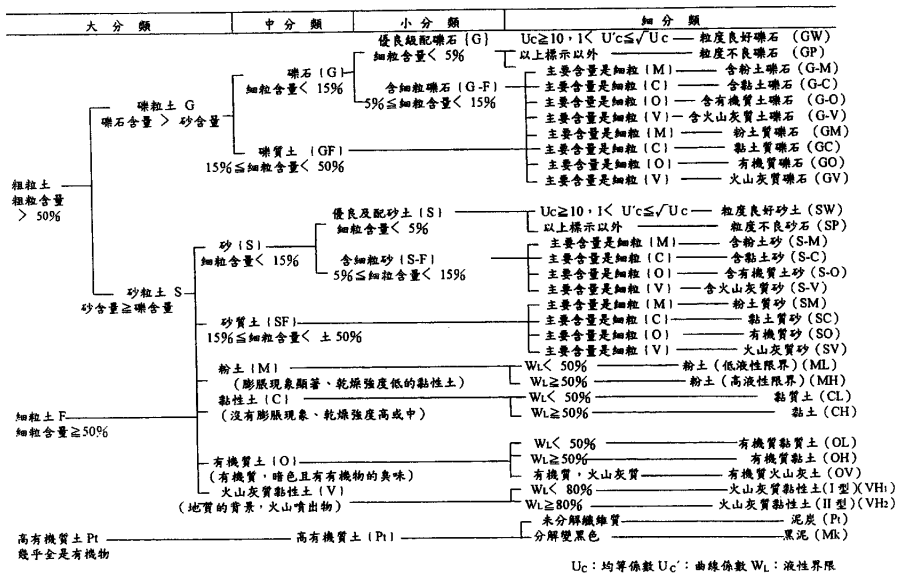
土壤分類的方法及土質試驗結果在日本分類如下



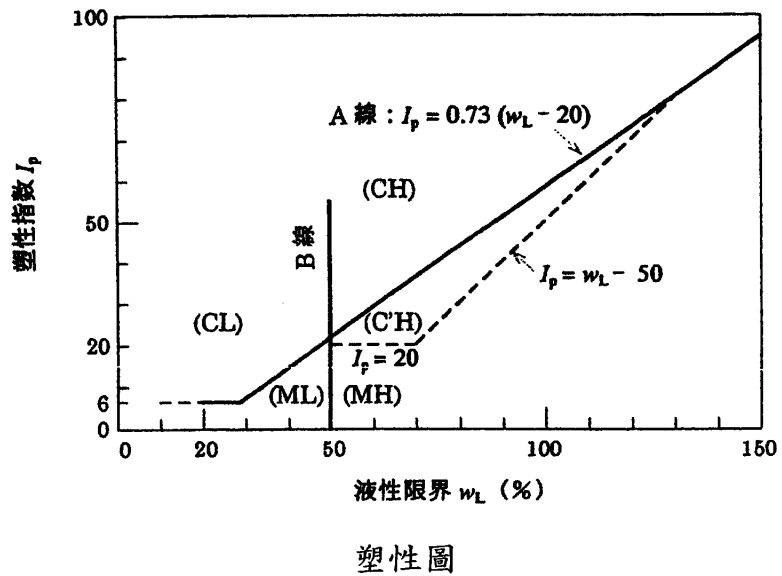
土壤工學分類體系(大分類)

		粒 徑						
		5 μm	75 μm	425 μm	2mm	4.75mm	19mm	75mm
粘土	粉土	細砂	粗砂	細礫	中礫	粗礫		
		砂			礫			

粒徑區分名稱



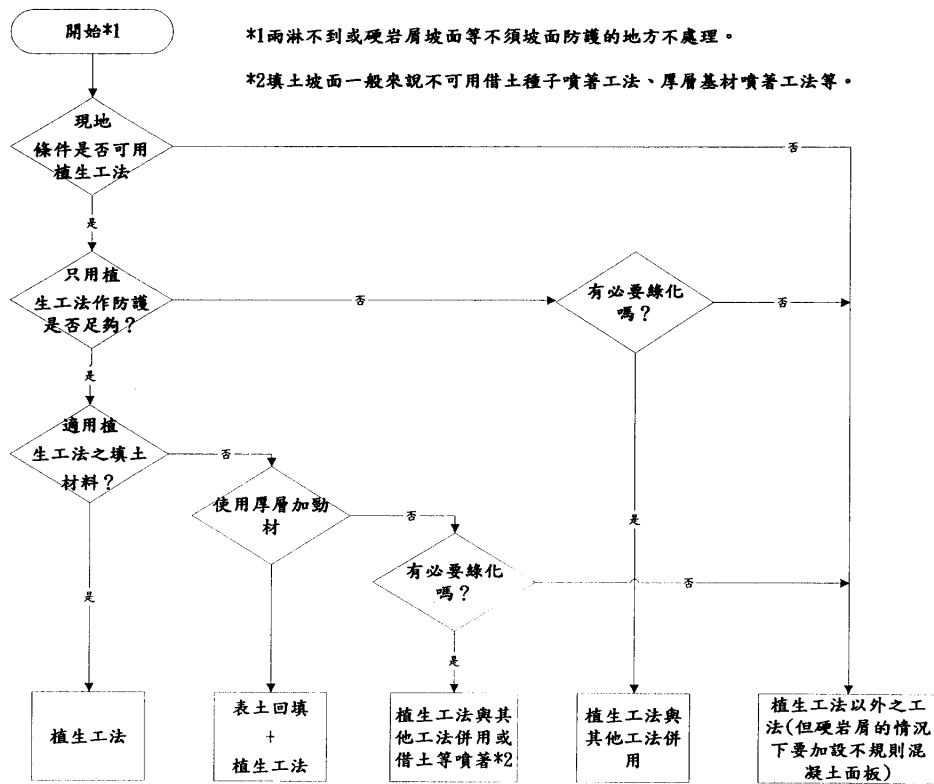
土壤工學分類體系



(二)、填土坡面工

填土地區使用坡面植生工之考量應考慮填土材料、坡面規模形狀、集水狀況、當地氣象條件、環境因素等，在環境不佳之條件下即應考慮其他工法之選定(如植生及 RC 結構之混合工)以符合安全及綠色工法景觀美化等目的之需求。

其選擇考慮程序如下圖：



填土坡面工法選定的基本流程圖

填土材料適用植生工如下表：

是否分類 適宜	適用於植生工法或回填的材料	不適用於植生工法的回填材料
A 群	(G-M) (G-C) (GM) (S-M) (S-C)	(GW) (GP) (G-V) (SW) 硬岩渣 (明顯容易剝離者除外)
B 群	(G-O) (GC) (S-V) (S-O) (SM) (SC)	(SP) 硬岩渣 (明顯容易剝離者) 軟岩渣、脆弱岩渣 (DI 群除外)
C 群	(GO) (GV) (SV) (ML) (CL)	
DI 群	(MH) (CH) 脆弱岩渣 (已黏土化, 施工後產生風化、受壓力而產生泥化)	
V 群	(VH1) (VH2)	
經安定處理之材料	經土工織物原料做安定處理者	經水泥做安定處理者 經石灰做安定處理者
備考	但, pH4 以下的強酸性土壤不適用	但, 對軟岩渣、脆弱岩渣, 岩質可能細粒化、土砂化的情況, 可用消石灰做土壤改良。

不適植生工坡面工時, 其他工法選定表如下：

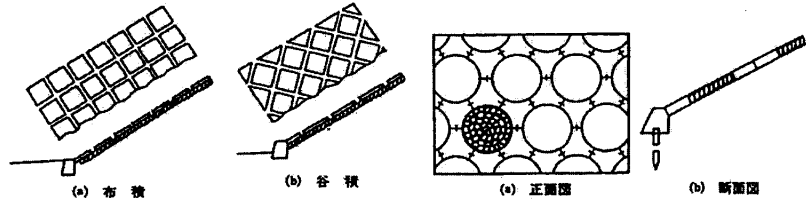
工法		填土高度			水的影響			防止冰凍	耐久性	施工性	備考
		3m 程度以下	3m 程度以上	與工植併生用	防止地面水侵蝕	回填土內部滲透水能否排出	防止坡趾沖刷				
格框工法	平面格框 (框內不填土)	◎	△	×	◎	○	○	△	○	○	
	斜梁格框 (框內不填土)	◎	△	○	◎	◎	○	△	○	○	框內以植生工法、栗石工法做防護
預鑄格子梁工法	混凝土製	○	◎	◎	○	◎	○	○	○	◎	框內以植生工法、格框工法、栗石工法做防護
	鋼製、塑膠製等	◎	◎	◎	○	◎	△	△	△	◎	框內以植生工法做防護 (與植生工法併用為原則)
編柵工法		◎	◎	◎	○	◎	△	△	×	◎	達到植生植物茂盛的補助工法
蛇籠工法		◎	△*2	×	○	◎	◎	◎	△	○	局部的工法

◎：適當、良好
○：還算適當、尚可
△：稍不適當、有點不好
×：不適當、不好
(經濟性, 另外檢討)

*1 首先, 應充分考量排水對策
*2 首先, 應考量替換良好材料或做變成緩坡檢討
*3 只須在坡趾等坡面底部做適當防護即可

日本填土坡面植生工不適合情形下使用之工法如下：

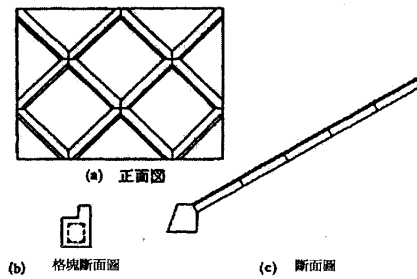
3M 以下



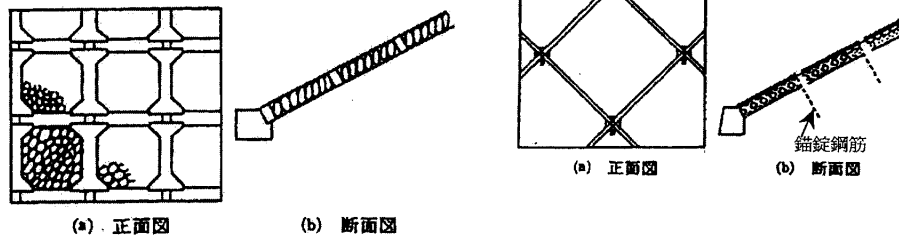
格床護坡

圓格床卵石護坡

3M 以上



斜格床混凝土式護坡



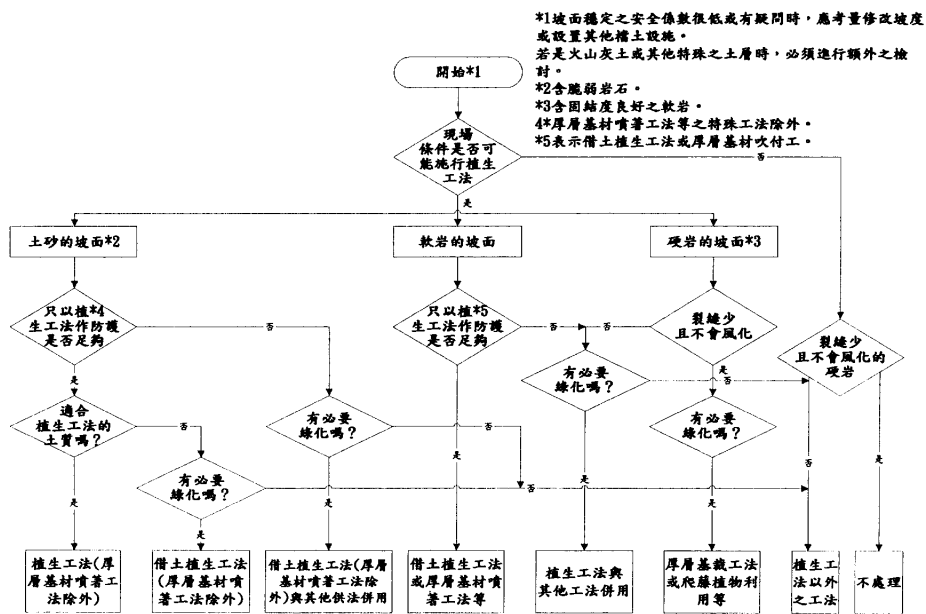
垂直格床卵石護坡

組立式鋼製格子護坡

(三)、挖掘坡面工

挖掘地區使用坡面植生工之考量應考慮山坡地質、坡面規模形狀、集水狀況、當地氣象條件、環境因素等，以切削山坡地質考慮為首要因素。

其選擇考慮程序如下圖：



挖掘坡面工法選擇的基本流程圖

切削面地質土壤適用植生工分類如下表：

分類	適否	適合植生工法土質	不適合植生工法土質
礫粒土		(G-M) (G-C) (G-O) (GM) (GC) (GO) (GV)	(GW) (GP) (G-V)
砂粒土		(S-M) (S-C) (S-O) (S-V) (SM) (SC) (SO) (SV)	(SW) (SP)
細粒土		(ML) (MH) (CL) (CH) (OL) (OH) (OV) (VH ₁) (VH ₂)	

註：PH4 以下強酸土質不適用

切削面不適植生工坡面工時，其他工法選定表如下：

條件 工法	土丘的土質、岩質及坡面坡度						土丘的性質與形狀			水的影響		防止冰凍	耐久性	施工性	備考			
	土砂、脆弱岩		軟岩		硬岩		開挖高度	易風化	裂縫多	凹凸不平	與植生工法併用					防止地面水侵蝕	湧水或土丘內滲透水是否可排出	
	1:1.5 以上	1:1.5 1:1.2	1:1.2 1:1.0	1:1.0 以下	1:1.0 1:0.8	1:0.8 1:0.3												
格框工法	◎	◎	○	△	×	×	低				×	◎	×	△	○	◎	格框內若不回填，則土丘內之滲透水能排出	
斜架格框	◎	◎	○	△	×	×	低				○	◎	◎	△	○	◎	框內以植生工法、果石工法做防護	
預鑄格子梁工法	◎	◎	○	△	×	×	中				◎	○	◎	○	○	◎	框內以植生工法、格框工法、果石工法做防護	
鋼製、塑膠製等	◎	◎	○	△	×	×	中				◎	○	◎	△	△	◎	框內以植生做防護（與植生工併用為原則）	
場鑄格子梁工法	△	○	◎	◎	◎	◎	高	◎	◎	△	◎	○	◎	◎	◎	◎	◎	框內以植生工法、格框工法、果石工法、鋪設土工法、噴霧工法等做防護
噴霧工法	△	○	◎	◎	◎	◎	高	◎	◎	◎	◎	○	◎	◎	◎	◎	◎	框內以植生工法、格框工法、果石工法、鋪設土工法、噴霧工法等做防護
鋪設土工法		△	○	◎	◎	◎	高	◎	◎	△	×	◎	×	◎	◎	△		
砂漿噴霧工法		△	○	◎	◎	◎	高	◎	◎	△	×	◎	×	◎	◎	△		
混凝土噴霧工法	×	×	△	○	◎	◎	高	◎	◎	◎	×	◎	×	△	△	◎		
編網工法	◎	◎	○	△	×	×	中				◎	○	◎	×	×	◎	達到植生植物茂盛之補助工法	
蛇籠工法	◎	◎	○ ^{*3}	○ ^{*3}	×	×	低				×	○	◎	△	△	○	◎	局部的工法

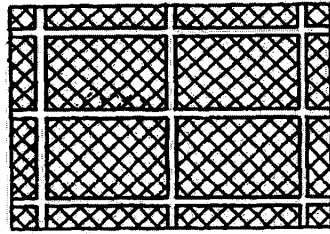
◎：適當、良好
○：還算適當、尚可
△：稍不適當、有點不好
×：不適當、不好
(經濟性，另外檢討)

低：高度 3-5m 適用
中：高度 10m 以下適用
高：高度 10m 以上也適用

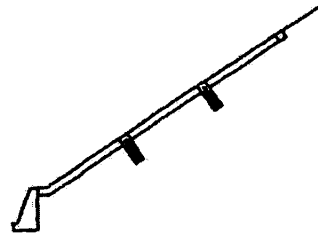
*1 首先，應充分考慮排水對策
*2 首先，應做變成緩坡的檢討
*3 只須在坡趾等坡面底部做適當防護即可

日本挖掘坡面植生工不適合情形下使用之工法如下：

坡高 5M 以上、坡度 1:1

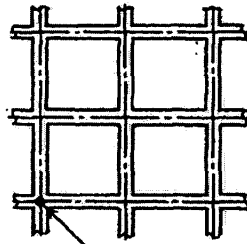


(a) 正面圖



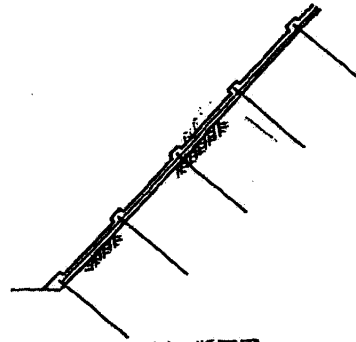
(b) 断面圖

場鑄格床護坡



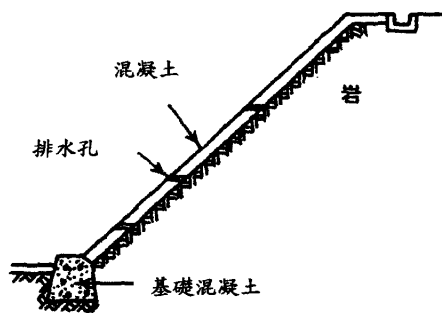
錨旋螺栓

(a) 正面圖



(b) 断面圖

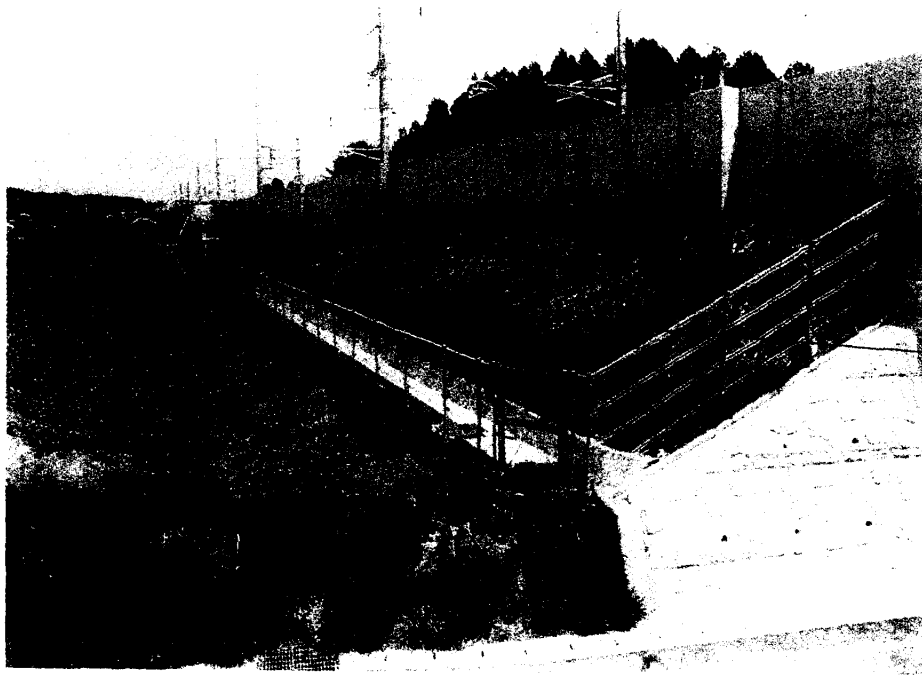
格樑護坡



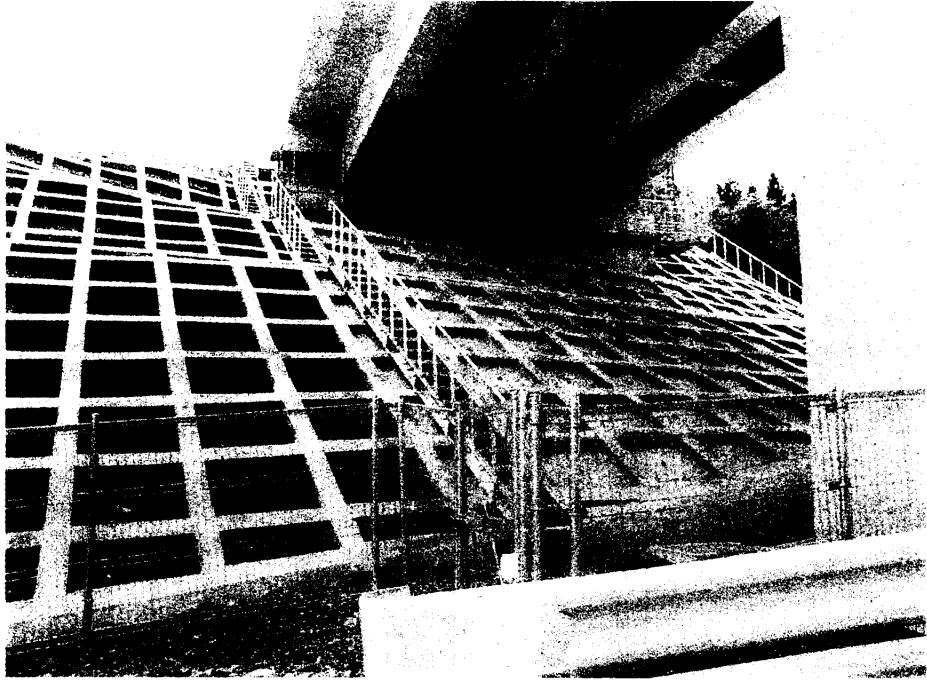
脆弱岩面護坡

其餘日本坡面植生補充資料詳附錄一

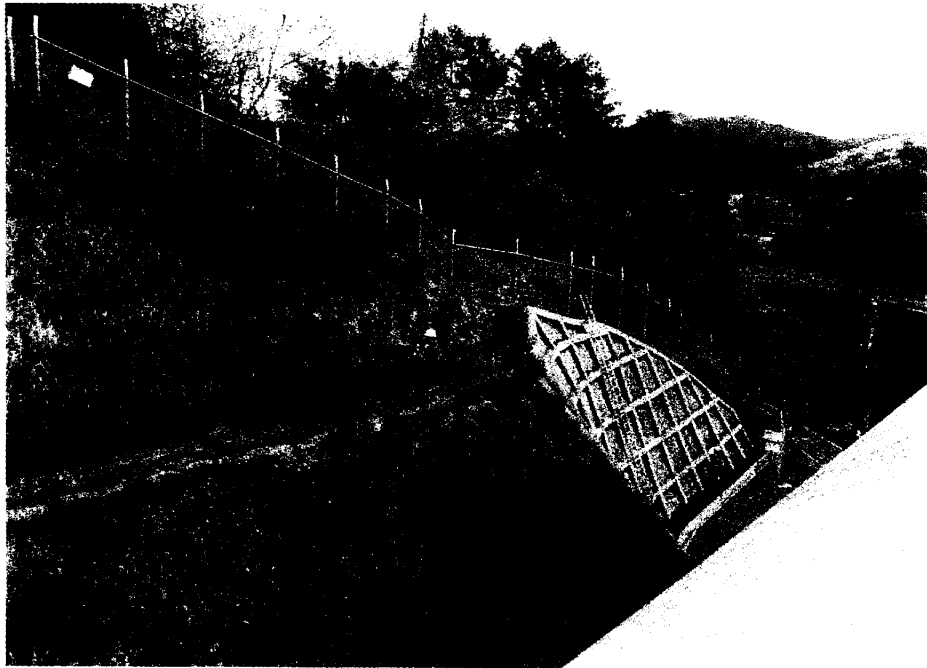
本次觀摩見習新幹線沿線坡面工法照片如下：



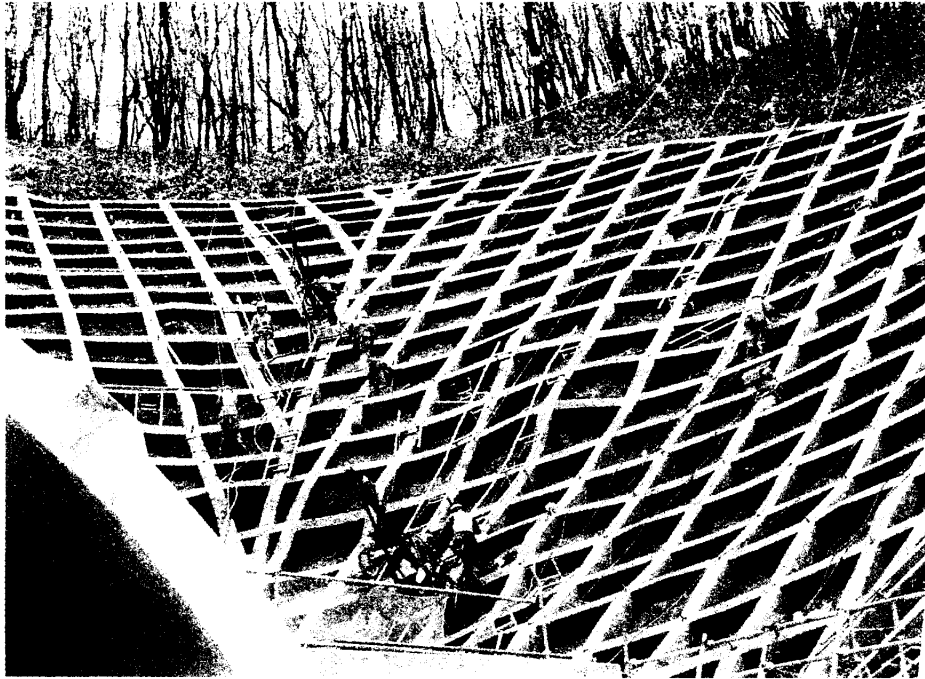
東北新幹線，二戶~八戶間/法師岡路盤填土坡面工 592Km 附近



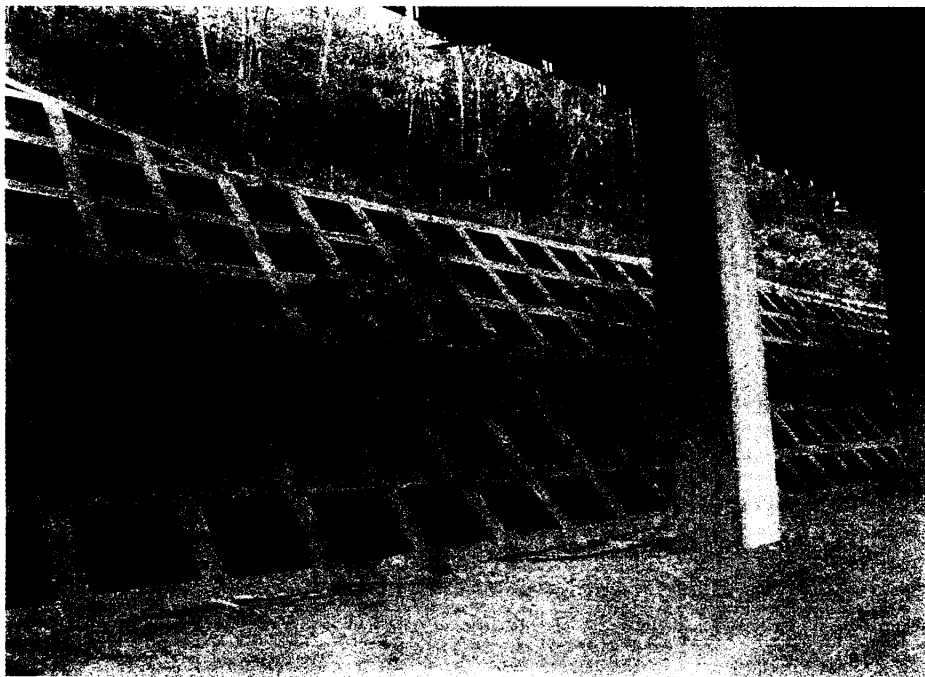
東東北新幹線，二戸~八戸間/高岩橋台附近坡面工 592Km 附近



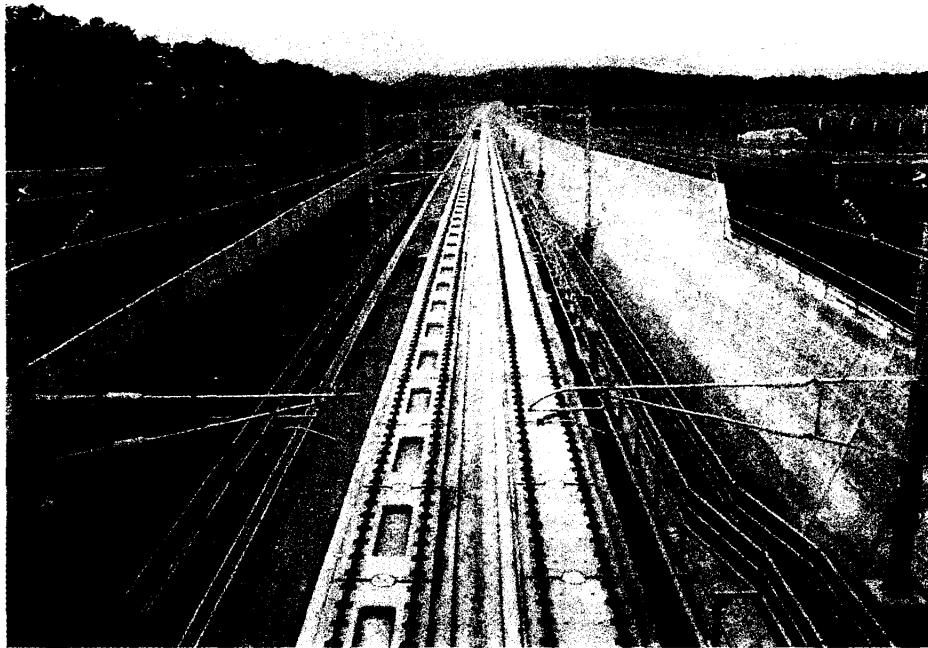
東北新幹線，盛岡~沼宮内間/巻掘坑口附近切削坡面工 519Km 附近



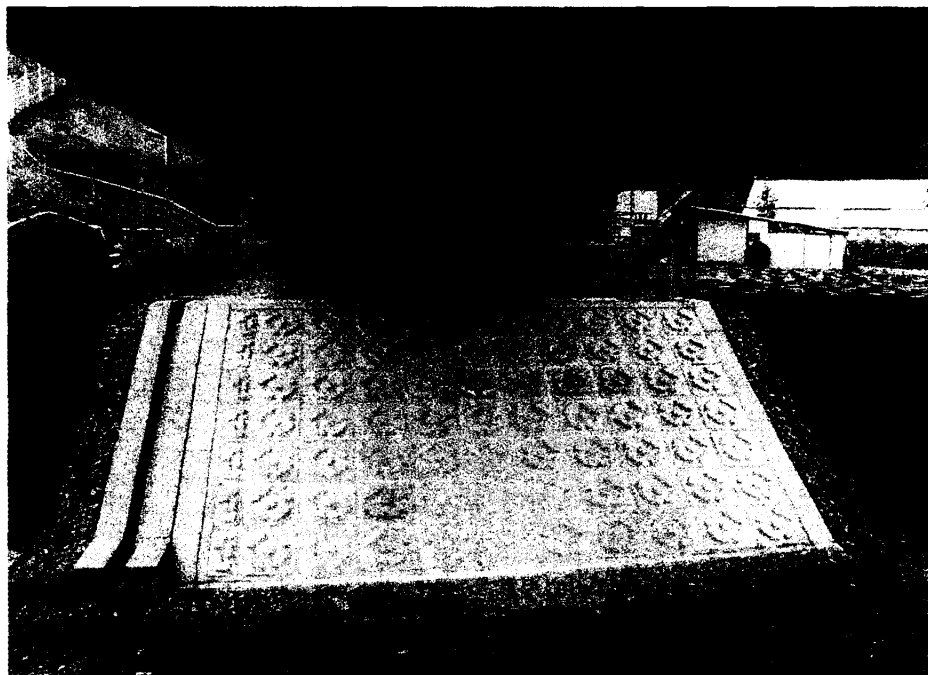
北新幹線，盛岡~沼宮内間/柏木平坑口附近切削坡面工 510Km 附近



東北新幹線，盛岡~沼宮内間/第 4 乙茂内附近切削坡面工 505Km 附近



東北新幹線，盛岡~沼宮内間/葉木沢路盤附近切削坡面工 505Km 附近





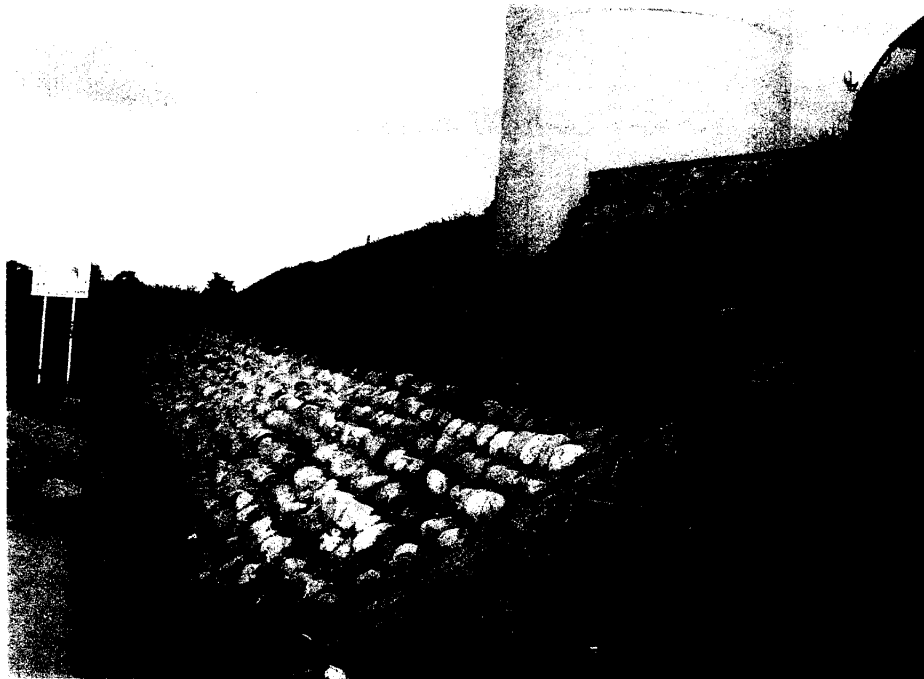
北陸新幹線，上田~長野間/第二千曲橋橋下坡面工



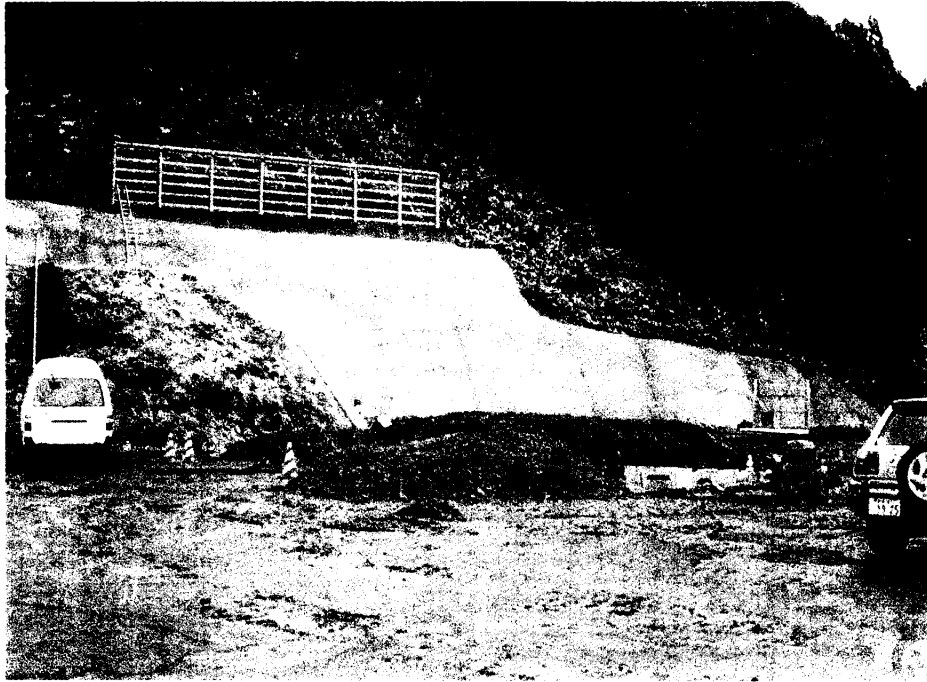
北陸新幹線，上田~長野間/第二千曲川橋附近隧道洞口坡面工



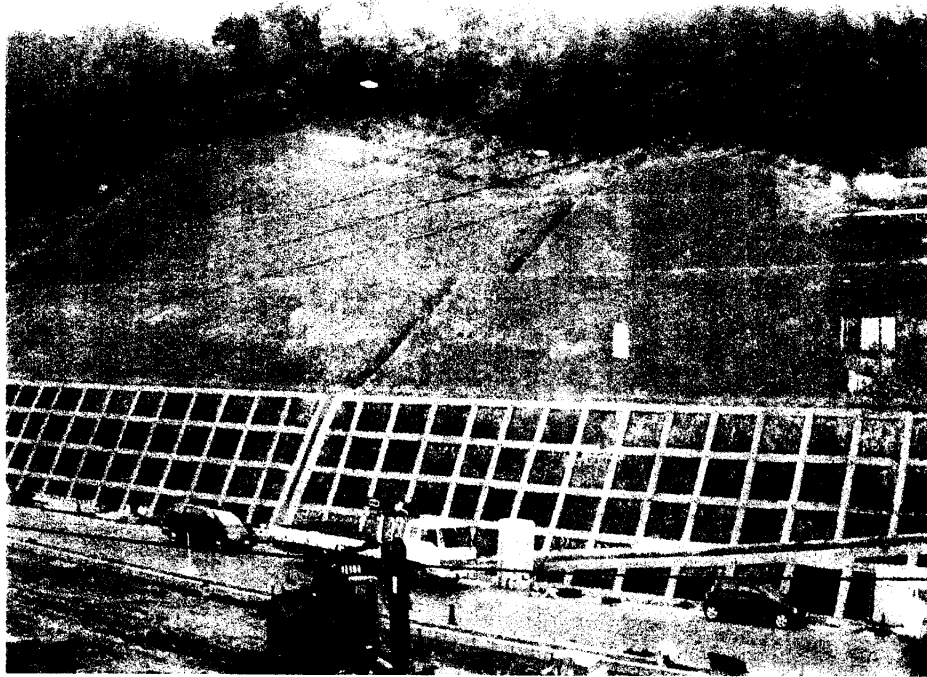
北陸新幹線，上田~長野間/更植市附近隧道洞口坡面工



北陸新幹線，上田~長野間/第三千曲橋下坡面工



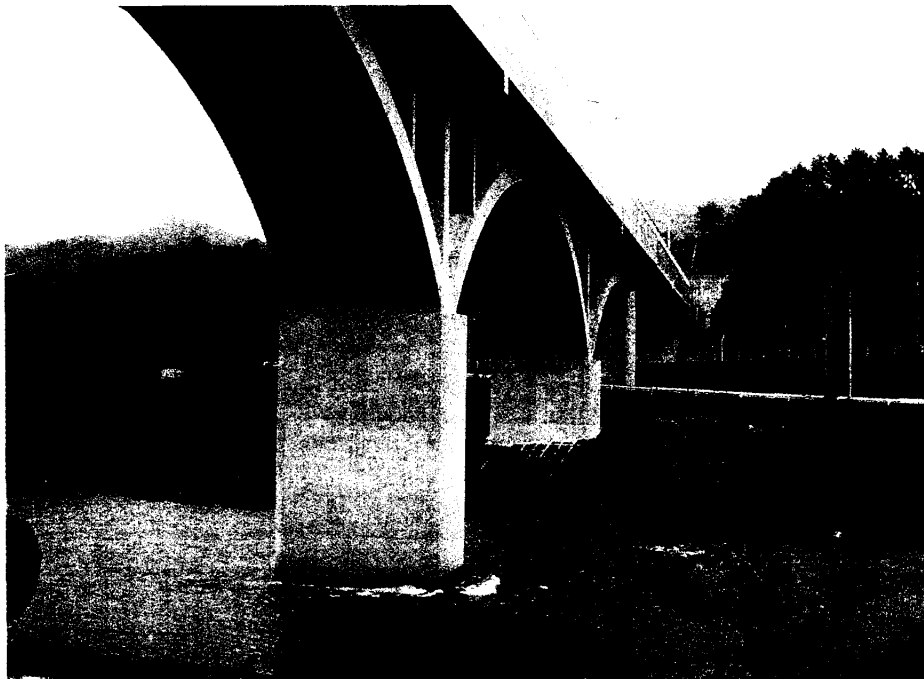
東北新幹線，盛岡~八戸間/小繋斜坑附近坡面工



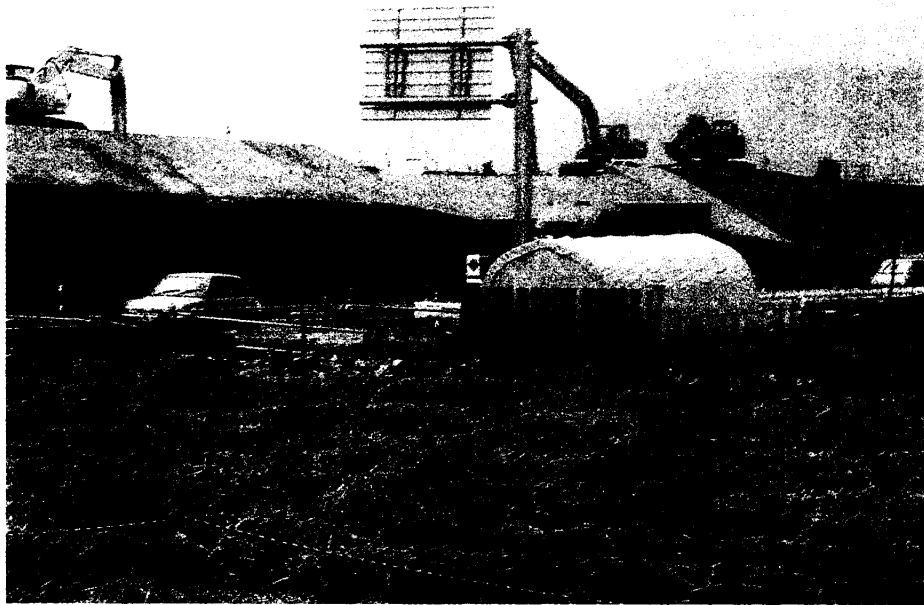
東北新幹線，盛岡~八戸間/沼宮内站附近坡面工



東北新幹線，盛岡~八戸間/瀧沢隧道附近坡面工



東北新幹線，盛岡~八戸間/第三馬淵川橋下坡面工



青森市高速公路坡面施工中坡面保護工

二、生態工程

環境保護、人口、資源和經濟發展所構成的矛盾已成為當今世界所面臨的重大挑戰，隨著生態環境不斷遭受破壞下，人類生活環境亦反遭大自然反撲，於是人們亦深刻體認到應該加強生態環境保護工作之重要，於是提出了永續發展的概念。其主要概念為：人類的經濟發展活動，不得與自然生態環境及生命歷程長期平衡相衝突。為達成永續發展的目標，不只要審慎管理經濟發展之各項資源利用，更應保護並施行對人類有重要意義之自然環境與文化遺跡。

推動自然保育和環境保護已為世界上一股重要的潮流，然而我們可以發現保育和環境保護成效並不彰顯，且推動的各項工作並未落實，最主要的原因是沒有喚起民眾的共識。沒有共識的話，一般人當然就不會去關心其重要性。因此認識生態環境及廣為宣傳生態保育之概念，乃為推動自然環境之首要工作。

以生態的角度而言，生態系一直處於某種動態平衡中，在天然或人為干擾下，生物都有可能因環境品質的不穩定或惡化，產生族群數量的增減。隨著人口的急遽增加以及科技發展，人類開始利用以『人』的觀點來塑造環境，以求快速蒐集各種自然資源、轉換資源，以滿足人類自身之需求。現今由於自然資源之縮減、惡化，使我們意識到，人類不過是生態系的一個單元，食物鍊的一個環節。調整人類利用自然資源方式，才能使全體族群以不破壞大自然原有協調與平衡狀態，

永續生存。

生態工程乃基於上述觀念需求所發展出來的一種環境管理工作，本項工程概念起緣於歐洲地區拜工業發展之賜，大量開發自然資源以因應社會發展之步調，隨著森林野地的過度開發利用，大規模的災害因而接二連三產生，尤以歐洲內陸阿爾卑斯山區鄰近國家，因此1938年德國 Seifert 首先提出近自然河溪之整治概念，以不違反生態原則之治山防洪工程，漸漸形成生態工程之概念及應用範疇。而後一連串更深入的研究與應用，則為生態工程成形發展建立更明確之基礎。

經各專家學者之研究已清楚界定生態工程應具備的本質與內涵如下：

(一)、自律行為

生態系具有自我調節的能力，生態系的構造越複雜，物種數目越多，自我調節能力亦越強，大自然能進行部份的設計工作，人類於系統中擔任促進者的角色，但需由大自然自行發展。

(二)、生態系保育

工程師係藉由各種工具來設計、建構各式過程及產物，生態工法則需仰賴豐富的物種、多元的生態系來進行同等工作。除非必要，否則對生態系之任何限制、干擾、消耗，都將產生不良後果。

(三)、以太陽能為基礎

生態系係以太陽能為基礎，因此生態工法或生態技術應建立在這

種自我永續之認知上，不需太依賴人類的技術或高科技，因此不須要刻意營造人類自認的適當自然與環境介面，應由觀察環境基本因素著手。

(四)、是大自然密不可分的一部份

將人類社會經濟環境視為生態系的一部份，人類能享受大自然所提供之遊憩與美的附加價值，但卻能減少污染的產生，降低非再生性資源之需求。

生態工程之應用主要分為下列四大類 (Jørgensen & Mitsch, 1989):

1. 用生態系降低或解決在他處造成嚴重傷害之污染問題

在傳統環境工程中，為解決一污染問題所產生的副產品，往往造成另一個環境問題。例如廢水處理場所產生之污泥，經焚化處理後卻造成空氣污染，這些飛灰及灰燼仍須掩埋處理。若應用生態工法，將污泥轉變為有機營養物質轉用於農地，可為一種肥料。另利用人工濕地進行廢水循環處理亦為其中良好之應用。

2. 「仿」生態系或「複製」生態系以解決環境污染問題

以人工濕地承接污水處理系統，當作二級處理程序或高級處理程序，尤以人工濕地之建置對環境之衝擊相對較低，營運及管理成本亦較低，且與周遭環境自然融合，提供多樣生物棲地等附加價值。

3. 在嚴重人為干擾後，「協助」生態系恢復原貌

如河川復育等課題便是環境遭受人為過度開發之影響，致使原生態系失衡，而須進行局部或全面性生態復育工作，在日本有部份案例如下：

(1). 荒川復育案(位於北本市石戶宿地區)

因過去農業用地之開發，造成生態景觀之破壞，且單一化之棲地，造成原生物種族群難以生存。因此工程目標便以營造多元化之棲地環境，如設計乾、濕性草地、池沼、淺灘及棲息用之樹叢等著手。

(2). 北海道茂魚川復育計畫

由於過去傳統渠道工程之施工法，造成溪流渠道化，以 RC 結構取代原有土石結構，且等寬之河道截面，不利生物棲地之生存，工程目標便以河岸線之改變，塑造多樣性之景觀與棲地環境。

(3). 群馬縣嘉瀨川整治案

在人類高度活動區，因社區之發展，以筆直之水泥護岸設法達到防洪之目的，造成河濱地區之濕性草生帶消失不再。因此，本工程案以重新覆土之技術達成復原水際棲地之目標。

(4). 茨城縣霞浦

因遊憩觀光與住宅用地之開發，伴隨家庭廢水的排放造成水體污染及優養化，使水生植物及魚類、鳥類族群消失。因此計畫採用全面性水質改善，結合人工浮島及濕地之運用，重新塑造生態系自律行為

之發展空間。

4. 在不危及生態平衡下，利用生態系或生態資源，以供人類所需

發展生態農漁業，或以各種生態機制為基礎的永續性漁業捕獲、林業採伐策略等，經由政府單位之控管限制，以管制作為控制開發行為以保全生態之生存空間，使生態環境有喘息養生之時間。生態工法所重建的近自然環境，能提供日常休閒遊憩空間、各類生物棲息環境、治山防洪、國土保安、水土保持、生態保育、環境綠美化、景觀維護、自然教育、國民健康及森林遊憩等功能。在國人生活品質漸漸提高下，對於自然資源保育及親近大自然之需求大增，一般傳統野溪整治工程頗受生態保育團體逅病，因此，在治山防洪與生態保育間應有一最佳之平衡點，生態工法在這方面具有較強之著力點。依據國外生態工法河溪邊坡整治經驗及國內環境之高敏感性，有必要對於傳統所採取之整治方式做一全盤之檢討及必要之修改。另外，人類的科學技術應考量自然環境的永續利用，更應修正「人定勝天、征服自然」之心態，建立尊重自然、愛好自然，進而親近自然。因此，重新思考現今的整治措施與長遠規劃方向，結合生態保育學者、土木水利工程人員、環境保護義工等多方的心力，希望能將安全、生態、永續的概念實踐於工程建設與自然環境之中。

三、新幹線噪音振動等環保工程

北陸新幹線(高琦至長野間)全長 125.7km，其中路盤基礎佔 19.1km (15%)、隧道佔 63.4km (51%)、高架橋 43.2km (34%)

其相關設計條件如下：

1. 最高速度 260km/hr
2. 最小曲率半徑 4000m
3. 軌道中心間隔 4.3m
4. 最大坡度 30 度
5. 電車線電壓 25,000V(交流)

日本新幹線鐵路噪音管制標準如下列區分

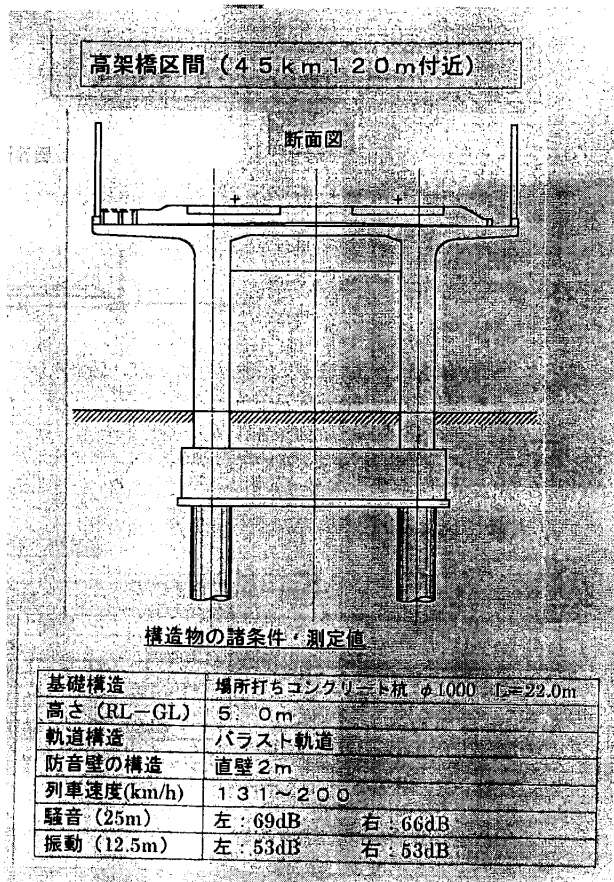
地區類型	基準值	地區使用分別
I	70dB	第一種低層住居專用地域 第二種低層住居專用地域 第一種中高層住居專用地域 第二種中高層住居專用地域 第一種住居地域 準住居地域
II	75dB	近臨商業地域 商業地域 準工業地域 工業地域

以上沿線區域係以軌道中心左右兩側 300m 以內範圍

新幹線噪音測定以軌道中心側向 25 公尺，高度 1.2 公尺處為噪音測定依據，取其連續通過 20 班列車上下行列車之噪音最高值記錄之，測試時應避免特殊氣象條件或列車速度較低則不予辦理。

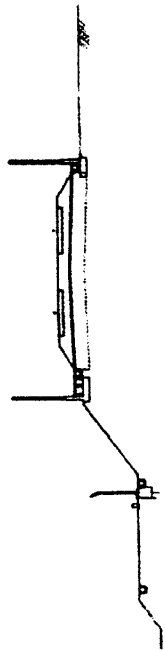
振動方面測定以軌道中心側向 12.5 公尺處，指針以新幹線補正加速度水平超過 70dB 地區即應採取振動源及障礙防範對策。

(一)、北陸新幹線噪音振動目前測定現況如下：



填土區間 (50 km 300 m 付近)

断面図

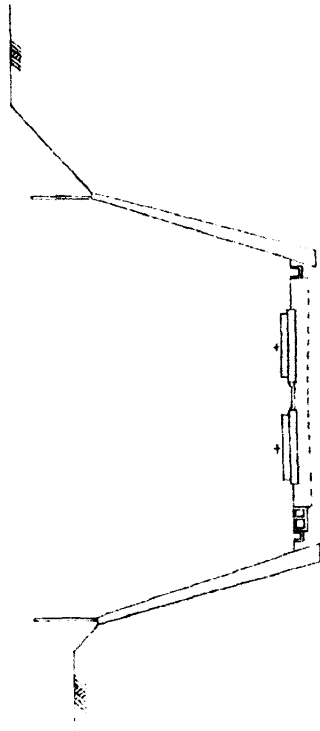


構造物の諸条件・測定値

高さ (RL-G.L)	1.2 m
軌道構造	道砟軌道
防音壁の構造	直壁 3 m
列車速度 (km/h)	186 ~ 230
騒音 (25m)	左 : 75dB 右 : 73dB
振動 (12.5m)	左 : 67dB 右 : 68dB

開挖區間 (53 km 400 m 付近)

断面図

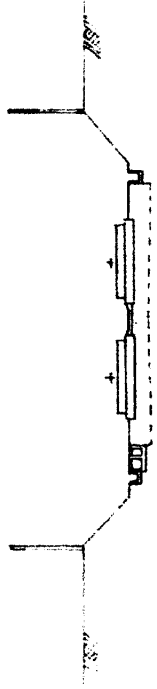


構造物の諸条件・測定値

高さ (RL-G.L.)	-3.6 m		
軌道構造	道砟軌道		
防音壁の構造	直壁 2 m		
列車速度 (km/h)	149 ~ 242		
騒音 (25m)	左 : 68dB	右 : 64dB	
振動 (12.5m)	左 : 62dB	右 : 65dB	

開挖區間 (5.6 km 200 m 付近)

断面図

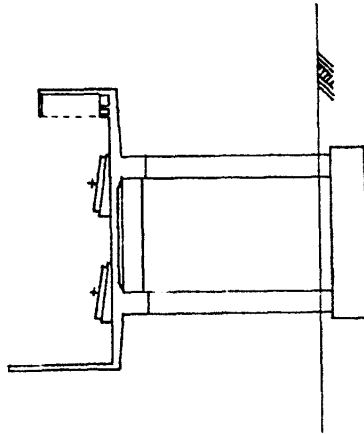


構造物の諸条件・測定値

高さ (RL-(GL))	-0.6m
軌道構造	版式軌道
防音壁の構造	直 2m
列車速度(km/h)	145~248
騒音 (25m)	右 : 75dB
振動 (12.5m)	右 : 68dB

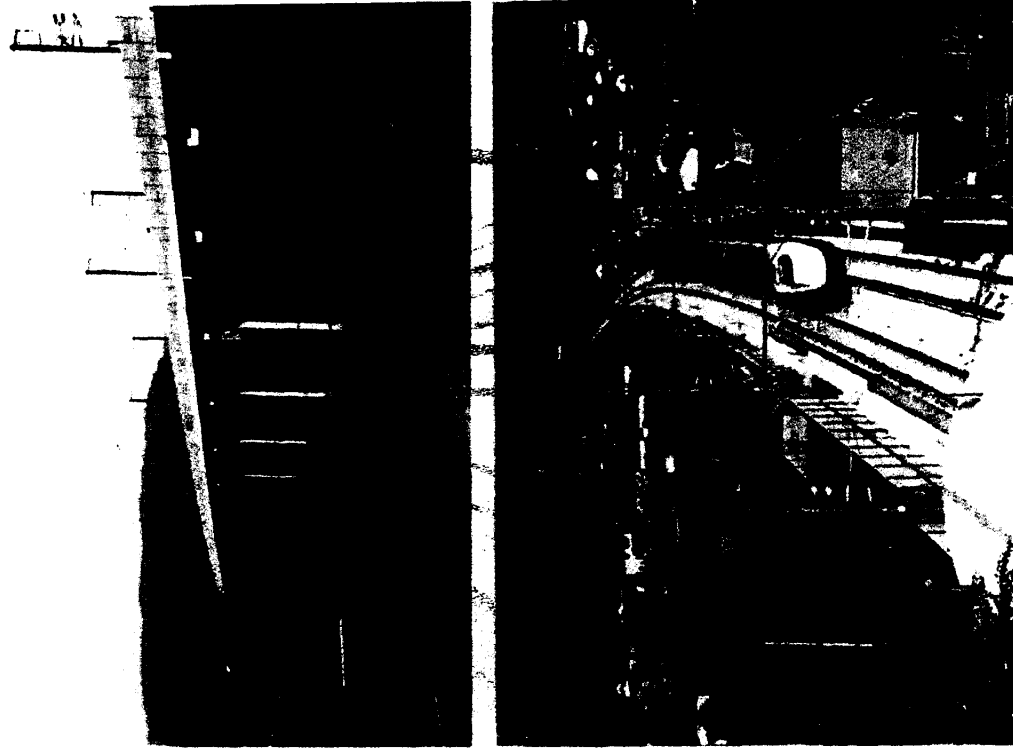
高架橋区間 (6.3 km 260 m付近)

断面図



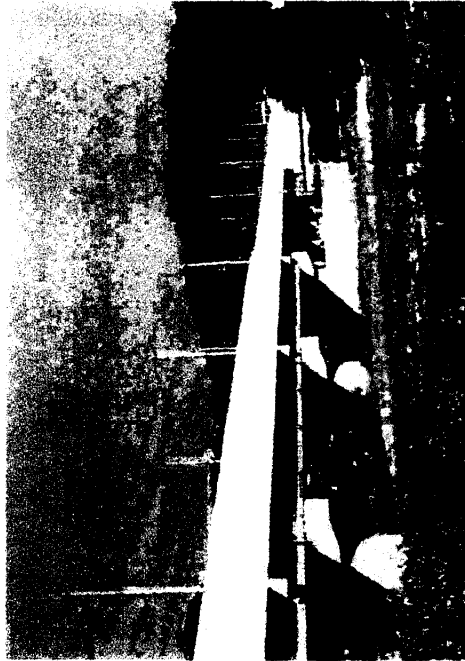
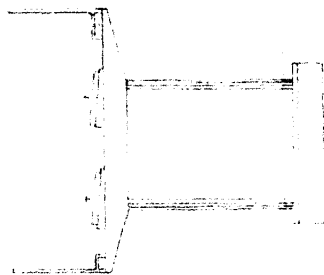
構造物の諸条件・測定値

高さ (RL-GL)	12.2 m
軌道構造	版式軌道
防音壁の構造	直壁 3 m
列車速度 (km/h)	207 ~ 250
騒音 (25m)	左 : 70dB
振動 (12.5m)	左 : 65dB



高架橋区間 (7.8 km 250 m付近)

断面図

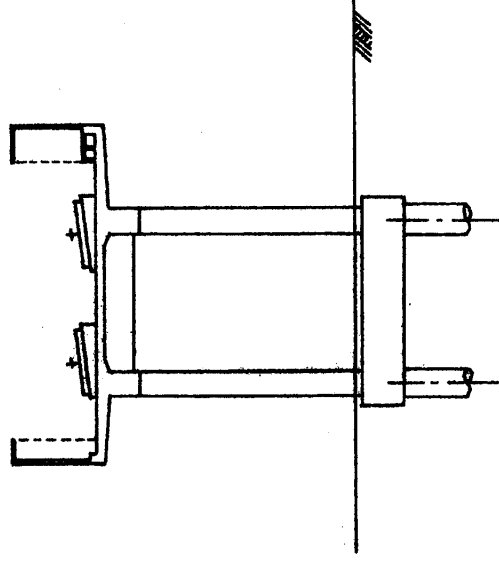


構造物の諸条件・測定値

高さ (R1-11)	8.2 m		
軌道構造	版式軌道	(防振)	
防音壁の構造	直壁	3 m	
列車速度(km/h)	18.5 ~ 25.2		
騒音 (25m)	左	71dB	右 71dB
振動 (12.5m)	左	54dB	右 53dB

高架橋区間 (81 km 660 m 付近)

断面図

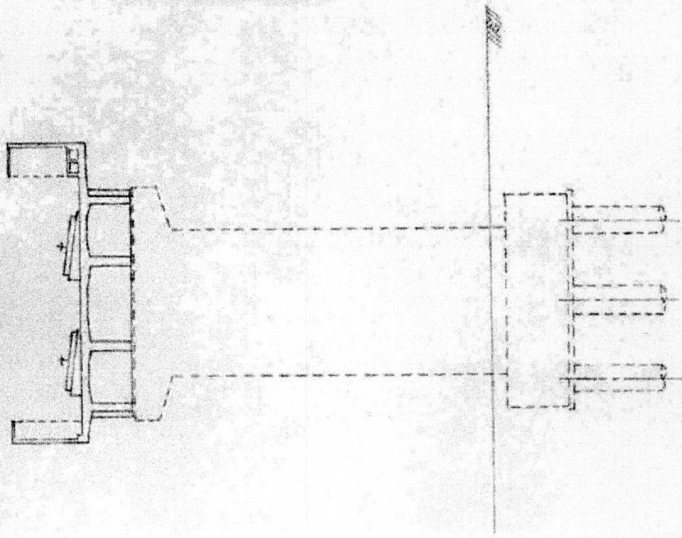


構造物の諸条件・測定値

基礎構造	場締混凝土橋	φ1000	L=7.5m
高さ (RL-GL)	9.0m		
軌道構造	版式軌道 (防護)		
防音壁の構造	逆L2m		
列車速度(km/h)	151~231		
騒音 (25m)	左: 72dB	右: 70dB	
振動 (12.5m)	左: 57dB	右: 61dB	

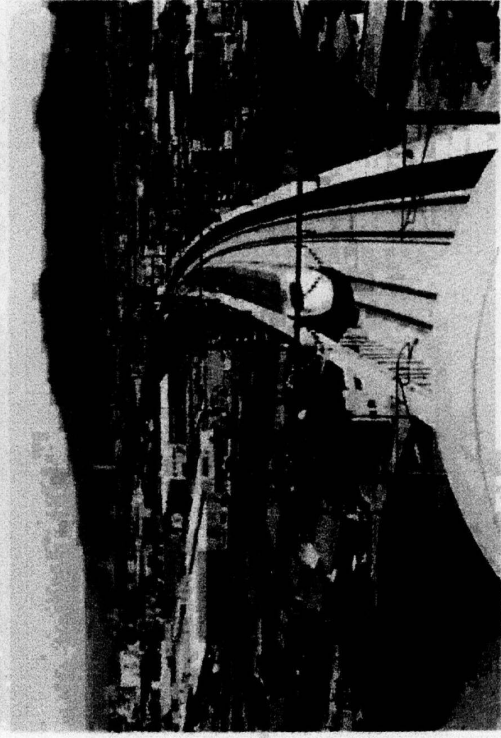
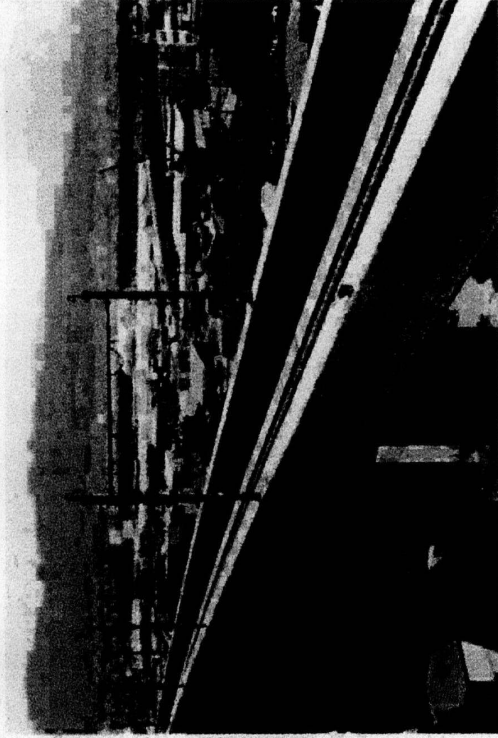
高架橋区間 (87km900m付近)

断面図



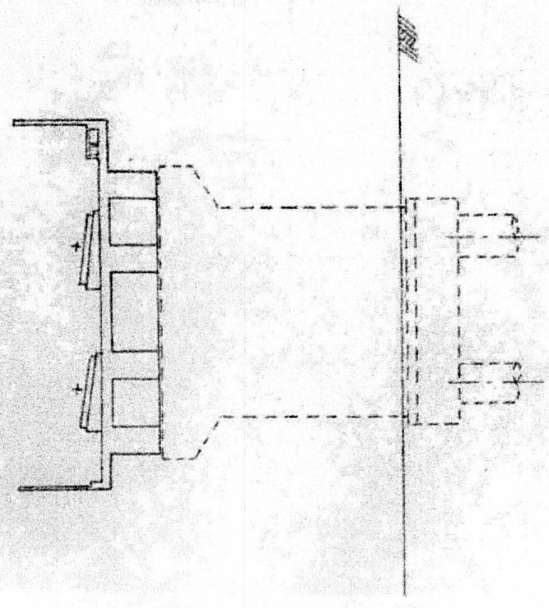
構造物の諸条件・測定値

高さ (RL-G.L)	17.5m
軌道構造	版式軌道 (防振)
防音壁の構造	逆L2m
列車速度(km/h)	156~258
騒音 (25m)	左: 71dB 右: 71dB
振動 (12.5m)	左: 49dB 右: 49dB



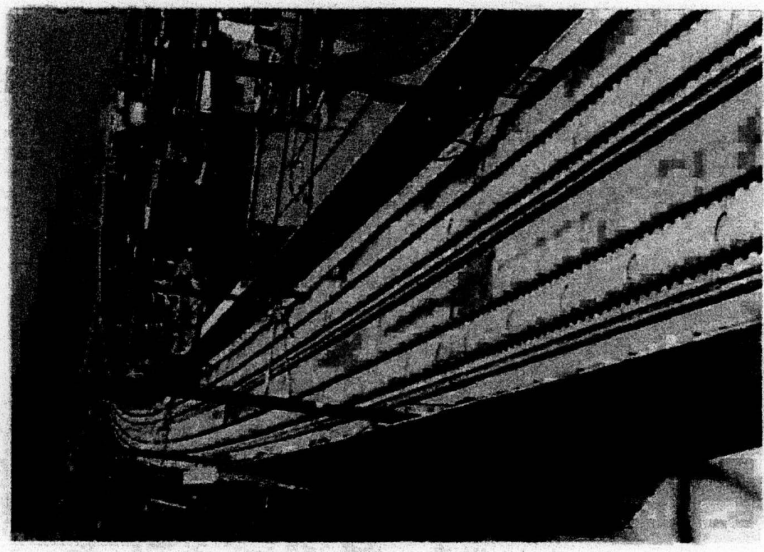
高架橋区間 (103km340m付近)

断面図



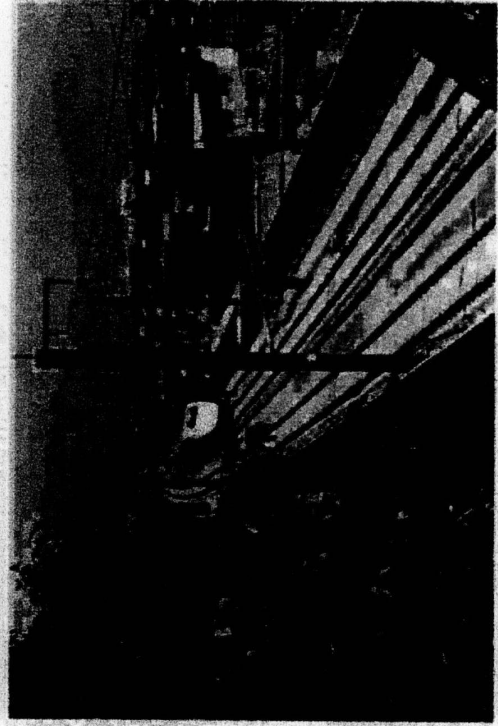
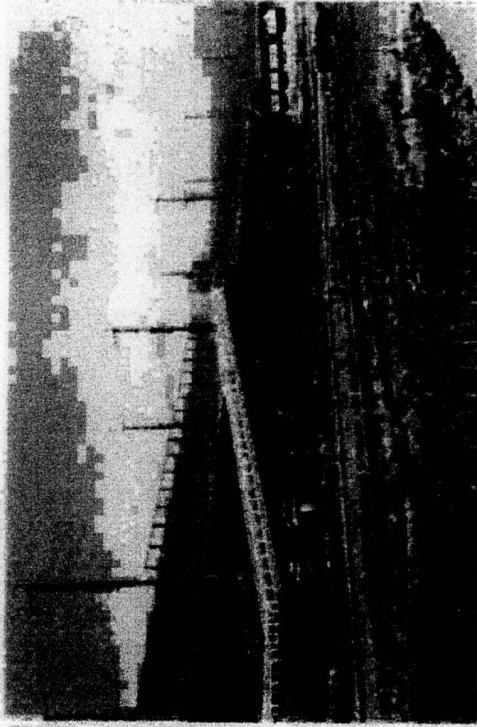
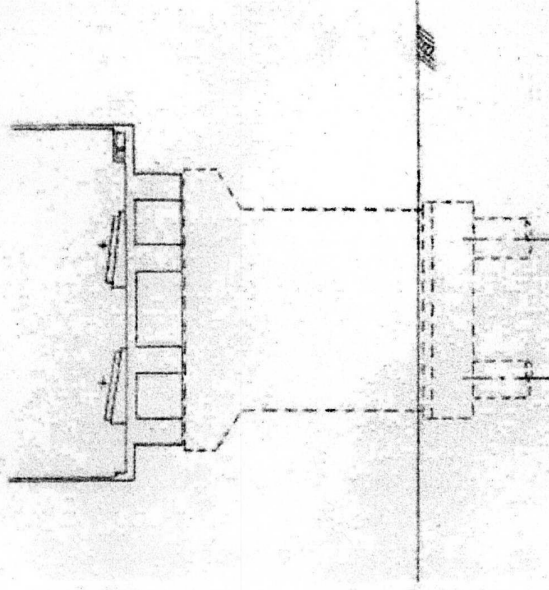
構造物の諸条件・測定値

高さ (RL-G.L)	9.5m
軌道構造	版式軌道 (防振)
防音壁の構造	直壁 2m
列車速度 (km/h)	225~260
騒音 (25m)	右 : 74dB
振動 (12.5m)	右 : 66dB



高架橋区間 (103km870m付近)

断面図



構造物の諸条件・測定値

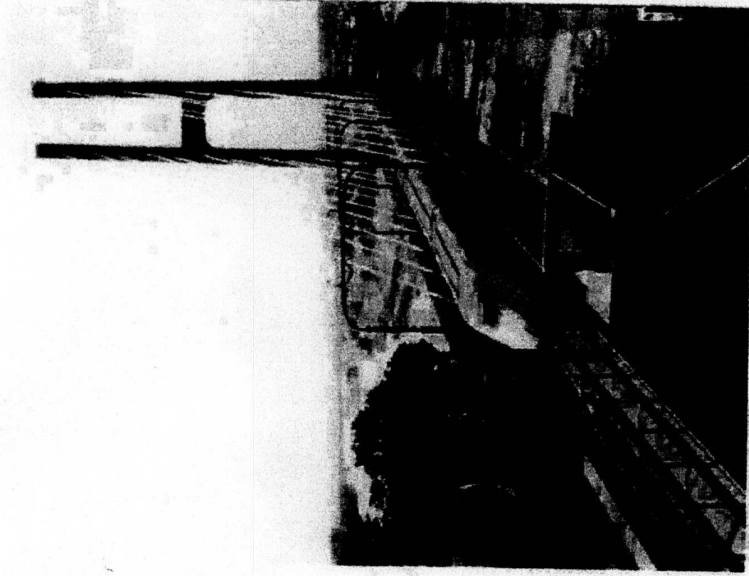
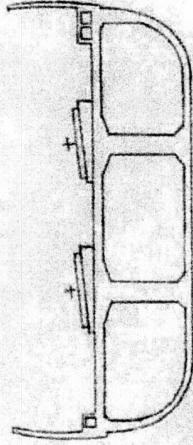
高さ (RL~GL)	9.0m
軌道構造	版式軌道 (防振)
防音壁の構造	直壁 3m
列車速度(km/h)	216~260
騒音 (25m)	左: 73dB
振動 (12.5m)	左: 61dB

橋梁区間 (81 km 390 m 付近)

第二千曲川橋梁

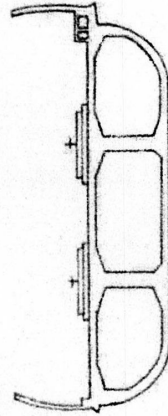
構造種別	2 径間連続 PC 斜張橋
跨距	135m × 2
軌道構造	版式軌道
防音壁の構造	直壁 2 m

断面図



橋梁区間 (105 k m付近)

断面図

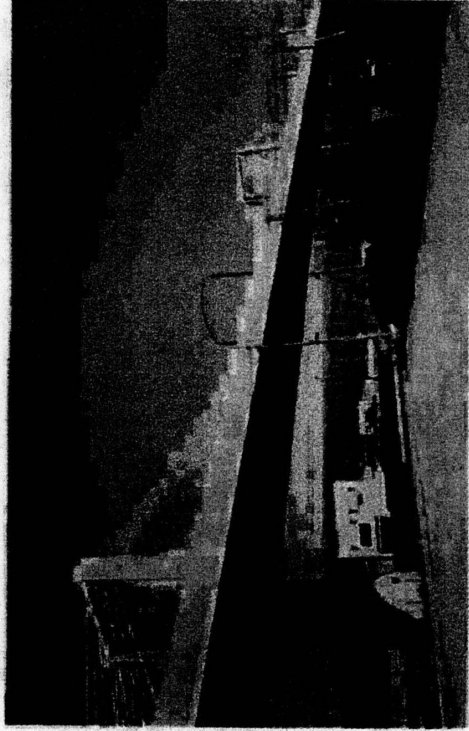
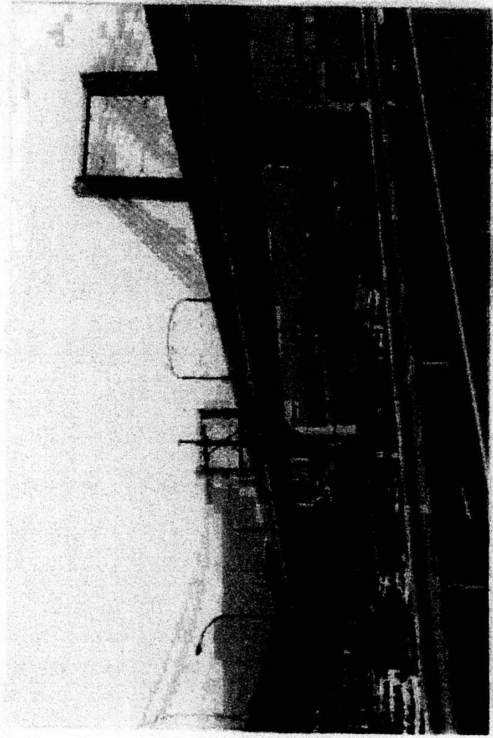


屋代南橋梁

構造種別	4 径間連続 PC 斜張橋
跨距	65m × 105m × 105m × 65m
軌道構造	版式軌道
防音壁の構造	直壁 2 m (フレキヤスト)

屋代北橋梁

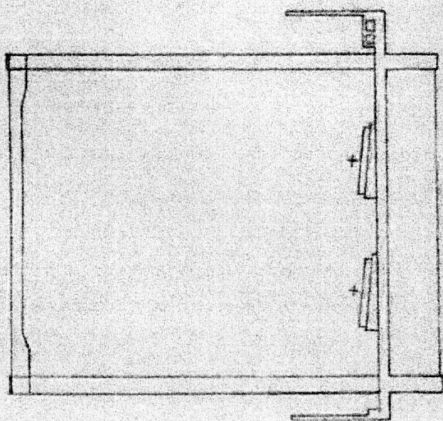
構造種別	3 径間連続 PC 斜張橋
跨距	55m × 90m × 55m
軌道構造	版式軌道
防音壁の構造	直壁 2 m (フレキヤスト)



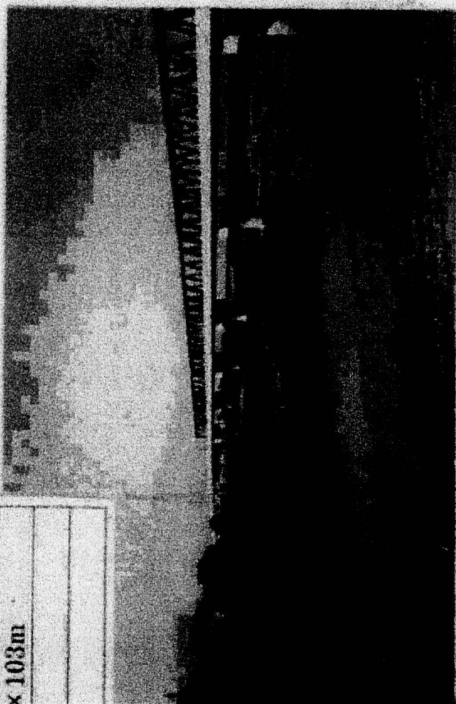
橋梁区間 (105km900m付近)

第三千曲川橋梁

断面図



構造種別	3径間連続下路鋼トラス桁2連
跨距	3 x 82.7m + 3 x 103m
軌道構造	版式軌道
防音壁の構造	直壁2m



(二)、北陸新幹線隧道出口微氣壓波

高速鐵路在高速運行之下，通過隧道時會產生一系列的空氣動力學效應，如壓力波動、出口處微氣壓波、洞內行車阻力增加等，這對隧道橫斷面之決定具有重要意義。

日本高速鐵路在第一次運行時，發現當高速列車進入隧道時，強烈衝擊隧道內靜止空氣柱，壓力脈衝作為縱向運動波，以聲速通過隧道，並在隧道另一端發生反射，由正壓變成負壓。同樣以聲速沿列車運行相反方向向回運動，遇到列車後，空氣阻力在大氣壓力 100kPa 附近發生波動，使旅客耳朵發生明顯不適。經研究後瞭解，這種現象發生在車速越快、阻塞比(即列車橫斷面積與隧道橫斷面積之比)越大越明顯。隧道的微氣壓波是列車突入隧道時形成的壓縮波，在隧道出口時向外放射脈衝狀的壓力波。日本從現場測試、模型實驗及數值模等大量研究得到重要成果。微氣壓波之最大值與列車入洞速度 v 的 3 次方成正比與出口距離 γ 成反比。其近似公式如下：

$$P = K v^3 / \gamma$$

K：為地形影響系數

P：為微氣壓波最大值

微氣壓波的發生實態與列車速度、列車橫斷面積、列車長度、列車車頭形狀、隧道橫斷面積、隧道長度、道床型式有關，如未加以處

理研究，將影響乘客乘坐之舒適感。

為降低微氣壓波之影響，在列車進洞速度超過 160km/h 時，均應採取相應措施。一種方法為擴大隧道斷面積到一定程度，另一種方法是於隧道入口設置相應的緩衝段，日本在這方面之研究即較為深入。入口緩衝段之型式主要分：橫斷面積不變，具一定長度之緩衝段；橫斷面積擴大，具一定長度及側面開口之緩衝段，結構型式主要視洞口地形、洞內設施安裝條件而定。

除使用緩衝段降低微氣壓波外，尚可採取之方法如下：

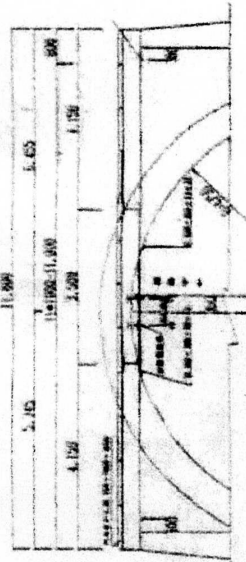
1. 利用斜井、豎井
2. 做帶有開口之防護棚
3. 採用密閉性佳之車輛
4. 隧道壁面措施之改善

以日本目前微氣壓波測定，係於隧道洞口緩衝工設置位置相反方向 20m 處量測微氣壓波。緩衝工設置以微氣壓波最大值規定原則為 50Pa 以上，即需設施，臨近民家附近則以 20 Pa 以上，即需設施，臨近醫院、學校及其他須特殊安靜場所則另案勘查考量。

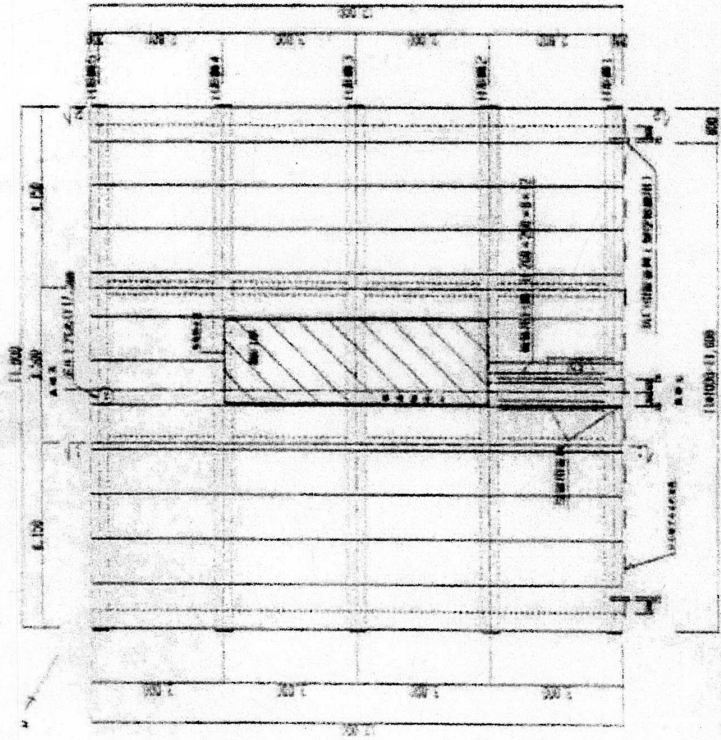
北陸新幹線目前測定現況如下：

向原 隧道 出口緩衝工 (5.2 km 600m付近)

断面図

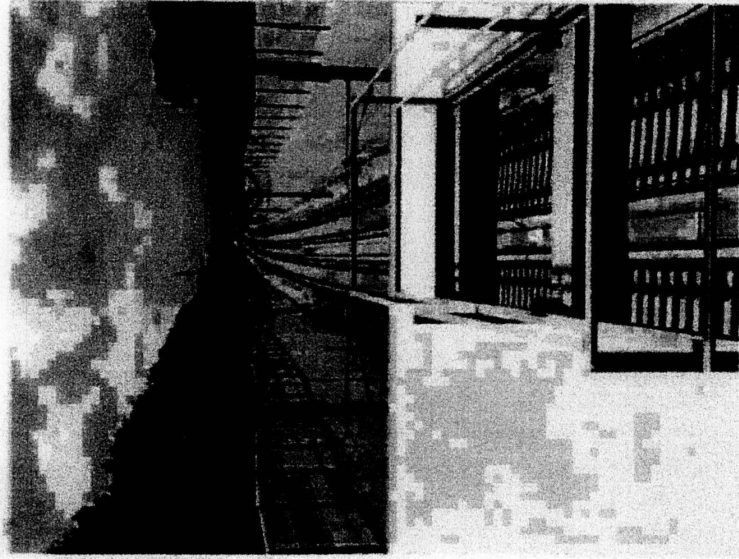


平面図



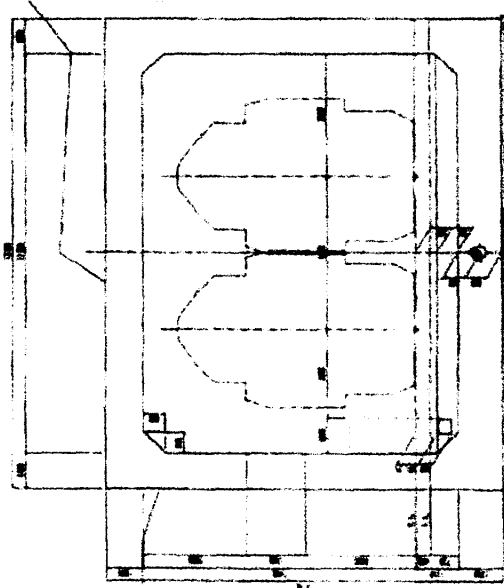
構造物の諸条件・測定値

隧道長度 (m)	940m
構造種別	矩形
延長 (m)	1.2m
設計値 (Pa)	3.7 (入口 20m)
測定値 (Pa)	13.8 (入口 20m)

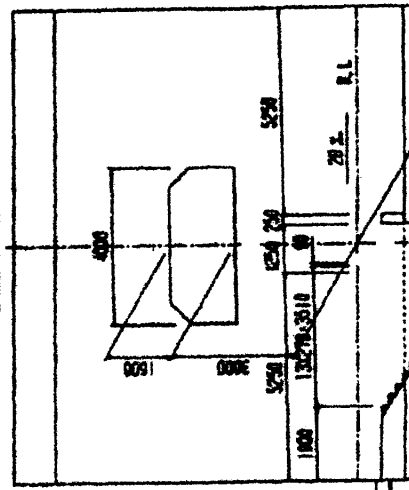


小田井 隧道 入口緩衝工 (5.6km310m付近)

正面図



側面図



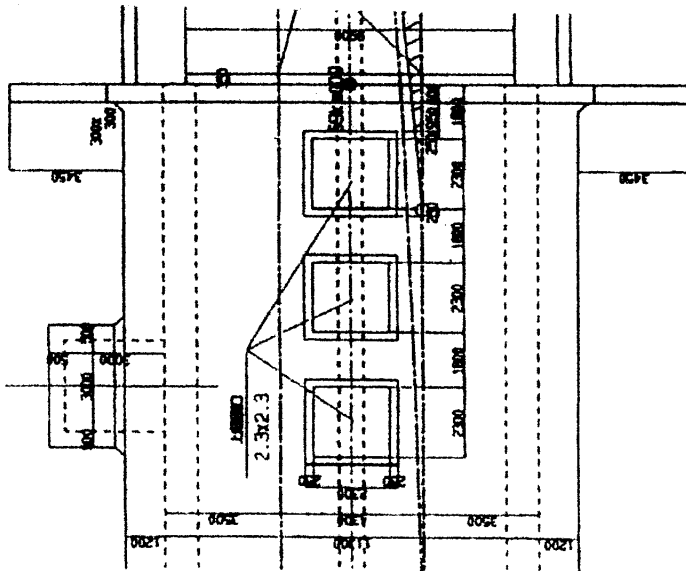
構造物の諸条件・測定値

隧道長度	(m)	2690m
構造種別		矩形
延長 (m)		12m
設計値 (Pa)		40 (出口20m)
測定値 (Pa)		37.4 (出口20m)



小田井 隧道 出口緩衝工 (59km000m付近)

平面図



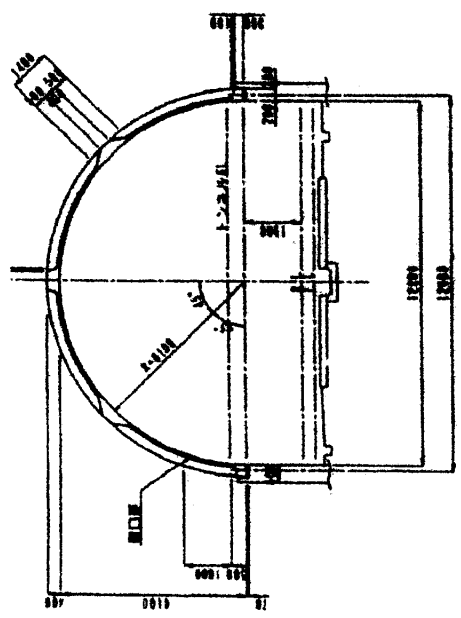
構造物の諸条件・測定値

隧道長度 (m)	2 6 9 0 m
構造種別	矩形
延長 (m)	トンネル併用
設計値 (Pa)	3 2 (入口20m)
測定値 (Pa)	2 4 5 (入口20m)



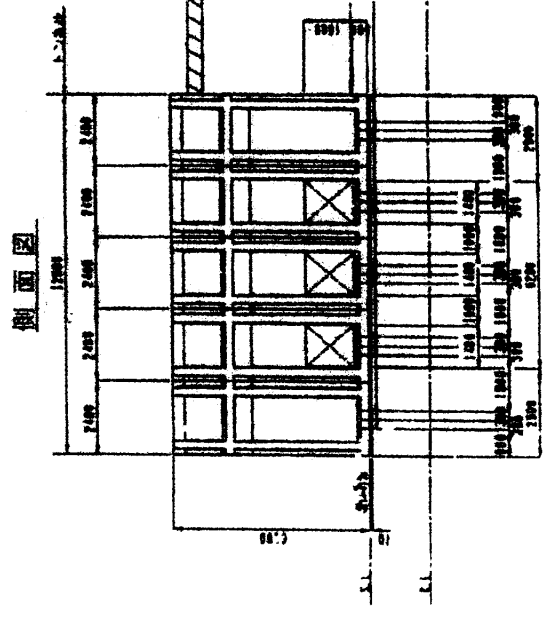
浅科 隧道 入口緩衝工 (63k880m付近)

断面図



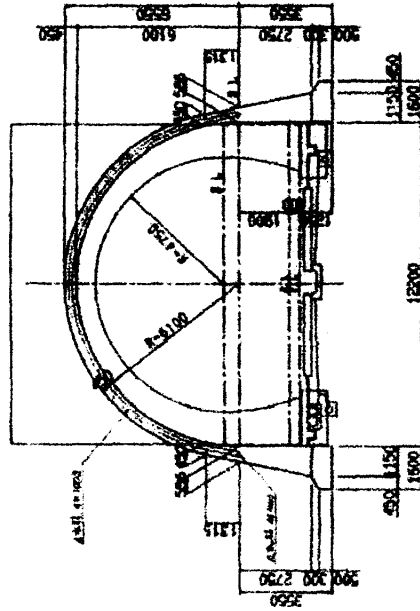
構造物の諸条件・測定値

隧道長度	(m)	1072m
構造種別		馬蹄形 (フレキヤスト)
延長	(m)	12m
設計値 (Pa)		49 (出口20m)
測定値 (Pa)		37.2 (出口20m)



五里ヶ峯 隧道 入口緩衝工 (87km990m付近)

正面図

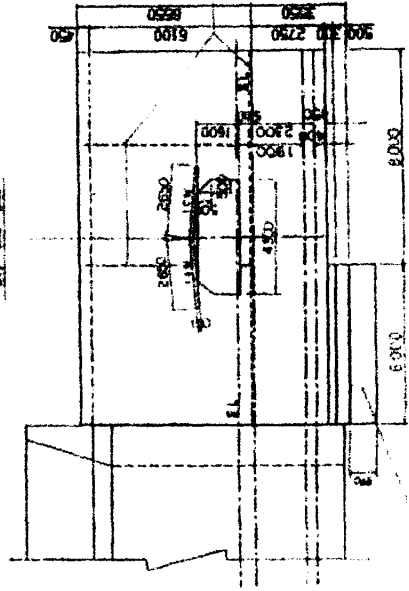


構造物の諸条件：新定値

隧道長度	(m)	1517.5m
構造種別		馬蹄形
延長 (m)		14m
設計値 (Pa)		5.0 (出口2.0m)
測定値 (Pa)		4.9 (出口2.0m)

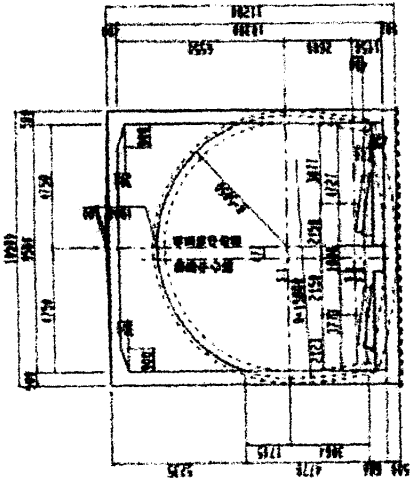


側面図



丸子 隧道 入口羅衝工 (78km840m付近)

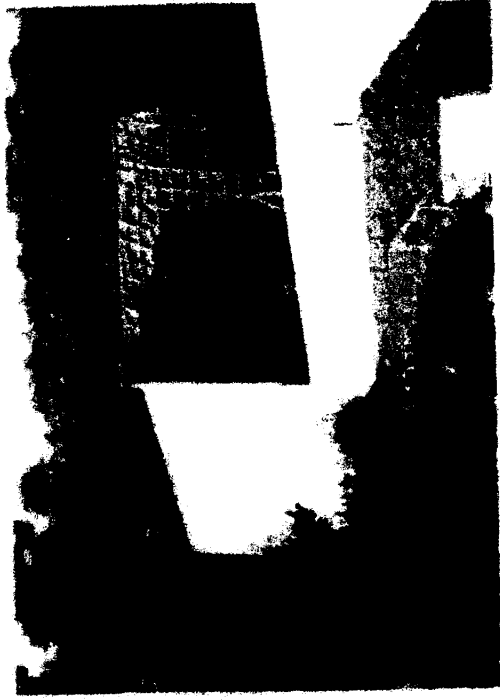
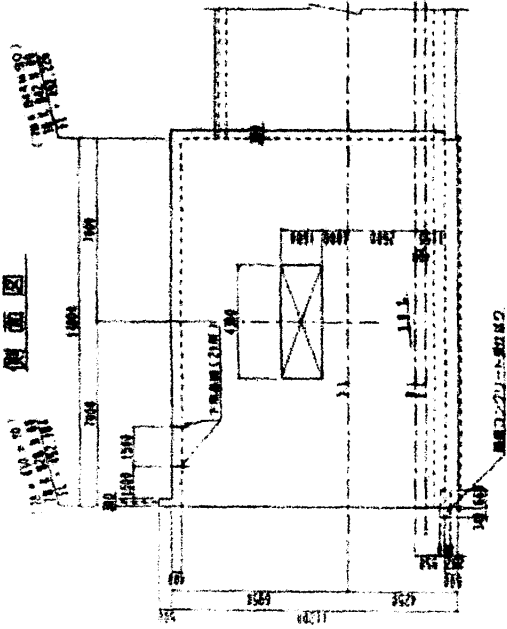
断面図



構造物の諸条件・測定値

隧道長度 (m)	2320m
構造種別	矩形
延長 (m)	14m
設計値 (Pa)	50 (出口20m)
測定値 (Pa)	47 4 (出口20m)

側面図



肆、心得與建議

本次日本考察深深體驗到日本人對於自我要求及工作崗位上一絲不苟的認真態度，實值得國人從事工程之學習效法；另對於工程品質、安全、效率高度的要求外，對大自然的尊重及為生態保育不遺餘力的努力，更令人印象深刻，茲就此次考察心得及建議概述如下：

(一) 從前述考察案例探討，日本平均每年有數百公里之高速公路完工通車，相關環境保護對策，累積許多成功案例，我們目前積極推動生態工法及「綠營建工程」，建議首先仿效日本經驗：

1. 定期全國環境生態基礎調查，建立嚴謹及完整的環境資料庫，長期累積環境資料，支持對策成效的評估與研擬，並刊行生態調查年鑑，以供工程單位設計前瞭解地區生態環境，預先做好規劃，俾施工時減輕對野生動植物棲息地之干擾。
2. 成立專責單位，長期研究「生態環境」之相關議題，作為工程單位之環境諮詢顧問。
3. 建立完整之環境保護對策案例清單及推動流程，並落實執行貫徹環境保護之決策，勿蹈以前許多政策，因後續未能貫徹執行，導致失敗或成績大打折扣。

(二) 提高營建能力與素質，以日本河川工事為例，其進行施工時，必須將河川中央利用連續鋼板樁加以分隔，先做一邊護岸，讓

乾淨的河水流在另一邊，隨時保持河水的乾淨，同時所有施工道路與機具，都維持得非常乾淨不會產生二次污染。反觀我們台灣，通常工程本身髒亂，對環境而言已是一個非常嚴重的污染與破壞，真所謂未蒙其利已先蒙其害。

(三)培育生態保育工程技師、重視民眾環境教育之養成、合理編列規劃設計費用等，亦是我們推動生態工法及綠營建工程，迫切需
要檢討辦理的。

(四)環保問題的改善：

1. 研究改善隧道出入口緩衝工之設計，以減輕噪音、風壓對臨近環境之影響。
2. 針對噪音來源及改善防音壁之材料、型式效能之研究，針對車輛輪軌之噪音減低、集電弓形式以改善減低噪音等多方面進行研究。

日本東北新幹線八戶至青森間於施工期間八甲田築木工區為避免干擾山區內野生動物鳥類生態，施工便道沿線設施臨時隔音牆綿延約三公里，同時為避免大型土方車輛進出空氣與揚塵破壞當地景觀生態，直接由隧道內以輸送帶將土方運送長達五公里外之地點再行轉運(相關照片資料如附錄二)。在未進入工區施工地點前之感受與進入原始自然森林並無二致，著實令人敬佩與值得學習。

(一)各種植生工法優缺點比較

参考資料-24 植生工以外の主なのり面工の機能, 短所・長所等

参考表 24-1 に植生工以外の主なのり面工について, その目的, 主な機能, 長所・短所, 適用性を示す。

参考表 24-1 植生工以外の主なのり面工の機能等

工 法	目 的	主 な 機 能*							主 な 長 所	主 な 短 所	新設のり面への一般的な適用性	
		表面浸食防止	雨水の浸入防止	表層風化防止	凍上防止	表層土抑止	表層崩落防止	局部的崩落防止			盛土	切取
岩座張	岩をのり面に張り, 防壁する	○	—	○	—	●	—	—	・良質な岩が入手できれば経済的 ・施工性が良い ・のり面の沈下にある程度追随	・急勾配, 長大のり面には不適 ・熟練工による施工が必要	○	—
張ブロック工	平板ブロック コンクリート製等のブロックをのり面に張り防壁する	●	○	●	—	●	—	—	・施工性が比較的良好 ・工期が短い ・工費が比較的安い ・のり面の沈下にある程度追随 ・のり枠ブロックは枠内の緑化可能	・急勾配, 長大のり面には不適 ・のり面の整形が必要 ・平板ブロック(練張)は浸透水の排除困難 ・のり枠ブロックは風化防止のため枠内の防壁必要	○	○
	のり枠ブロック	●	△	△	—	●	—	—				
プレキャスト格子枠工	コンクリート製	○	△	△	—	○	●	○	・軽量(とくに鋼製, プラスチック製)であり, 施工性が良い ・重置物をのせると不利な場合に適する(とくに鋼製, プラスチック製) ・鋼製打込み式は枠とのり面が密着する ・工期が短い ・工費が比較的安い ・のり面の沈下にある程度追随 ・枠内の緑化可能	・急勾配のり面には不適 ・のり面の整形が必要 ・鋼製打込み式を除き, 枠とのり面が密着しにくく, 土が流失しやすい ・枠と枠の接点強度が弱い ・とくに鋼製, プラスチック製は軽量のため抑止効果は期待できない ・表面浸食や風化防止のため防壁必要 ・鋼製, プラスチック製は耐久性の点で劣る	○	○
	鋼製(組立式, 打込み式)	○	△	△	—	○	●	○				
	プラスチック製等	○	△	△	—	○	●	○				
場所打ち格子枠工	のり面を細分化することにより, 表層の崩落を防止する	○	△	△	○	○	●	●	・枠の交点が一体化されているため, プレキャスト格子枠に比較して曲げおよびせん断強さが大きく, 表層崩壊に対して, 抑止力が期待できる(アンカー工法との併用が可能) ・枠とのり面との密着性がよい ・高い品質の強度が得られやすい ・急勾配, 長大のり面でも適用可能 ・枠内の緑化可能	・のり面の整形が必要 ・工期が長く必要 ・小断面の枠は施工困難 ・のり面の沈下に対する追随性が悪い ・表面浸食や風化防止のため枠内の防壁必要 ・工費が高い	—	○

工 法	目 的	主 な 機 能*						局 部 的 崩 落 防 止	主 な 長 所	主 な 短 所	新 設 の り 面 へ 的 適 用 性	
		表 面 浸 食 防 止	雨 水 の 浸 入 防 止	表 層 風 化 防 止	凍 上 防 止	表 層 土 抑 止	表 層 崩 落 防 止				盛 土	切 取
吹付砕工	のり面を細分化することにより、表層の崩落を防止する	○	△	△	○	○	○	○	<ul style="list-style-type: none"> ・ 砕の交点が一体化されているため、プレキャスト格子砕に比較して曲げおよびせん断強さが大きく、表層崩壊に対して、抑止力が期待できる（アンカー工法との併用が可能） ・ 砕とのり面との密着性がよい ・ 凹凸のあるのり面でも施工可能 ・ 急勾配、長大のり面でも適用可能 ・ 基礎コンクリートが不要のため工期が短い ・ 砕内の緑化可能 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 品質管理に十分な注意を要する ・ のり面の沈下に対する追従性が悪い ・ 表面浸食や風化防止のため砕内の防塵必要 ・ 工費が高い ・ プレキャスト格子砕工に比較して、景観上劣る 	—	○
張コンクリート工	コンクリートを張り、表面水の浸透や表層の風化、崩落を防止する	○	○	○	○	○	○	○	<ul style="list-style-type: none"> ・ 表層崩壊に対して抑止効果が高い ・ 急勾配斜面でも適用可能 	<ul style="list-style-type: none"> ・ のり面の整形、緩んだ部分の排除が必要 ・ 浸透水の排除困難 ・ のり面の沈下に対する追従性が悪い ・ 工費が高い ・ 景観上劣る 	—	○
モルタル吹付工 コンクリート吹付工	吹付けにより表面水の浸入や風化を防止する	○	○	○	—	○	○	—	<ul style="list-style-type: none"> ・ 凹凸のあるのり面でも施工可能 ・ 適用勾配に制限無し ・ 工期が短い ・ 工費が安い 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 浸透水の排除困難 ・ のり面全体への密着困難 ・ 耐久性が劣る、とくに凍害に弱い ・ 景観上劣る 	—	○
横槽工	植生繁茂までの表層土の流失防止	○	—	—	—	○	—	—	<ul style="list-style-type: none"> ・ 施工性が良い ・ 工期が短い ・ 工費が安い 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 耐久性が劣る（補助工法としての適用） 	○	○
じゃかご工	洗掘、湧水箇所の土砂流失防止	○	—	—	○	○	—	—	<ul style="list-style-type: none"> ・ 施工性が良い ・ 工期が短い ・ 工費が安い 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 耐久性が劣る 	○	○

* 主な機能は次による ○主体となる機能 ○付帯する機能 △砕内防護等、他の工法と併用した場合に発揮される機能

(二)特殊土壤開挖坡面対策

参考資料-25 特殊土の切取りのり面対策

(1) 火山灰質粘性土について¹⁾

一般に、表面水による浸食も比較的少なく、灰土を除いて植生の生育にもとくに問題はない。ただし、凍上よってのり面の表層が剝離することが多く、植生工等の施工時期には十分注意を払う必要がある。また、ローム層に粗粒の火山放出物など非粘性土で崩落しやすい層が挟まっている場合があり、このような箇所では植生工以外ののり面工も考慮する必要がある。

灰土は酸性土壌のため、植生工には適さず、客土による植生工を行うか植生工以外の工法を用いる。

(2) まさ土について¹⁾

水の浸食にとくに弱いため、排水対策を十分考慮することが必要である。また、細粒分が乏しく保水性が小さいことが多く、植生の生育基盤としては好ましくないため、客土による植生工を行うか植生工以外の工法を用いることが一般的である。

(3) 山砂について¹⁾

水の浸食に弱く、植生が生育しにくいことはまさ土と同様であり、のり面対策もまさ土に準ずる。なお、山砂地帯での切取りのり面崩壊は、山砂の層の下に粘土層や泥岩が存在し、浸透水が山砂と下の層との境界面に滞水することにより下の層が軟弱化して崩壊に至っていることが多く、この地下水の処置を十分検討する必要もある。

(4) しらすについて¹⁾

しらすは一般には、南九州（とくに鹿児島県、宮崎県）に広く分布している火砕流（非溶結部）、降下軽石およびそれらの二次堆積物と定義されている。東北地方の十和田湖周辺や北海道のカルデラ周辺にみられる砂質火山灰のなかにも、しらすとよく似ているものがあるが、分布面積も小さく、堆積厚さも薄いため、大きな問題としては取り扱われていない。しらす地帯での切取りのり面の対策は、普通の土質と同じ考え方をそのまま適用することができない場合が多く、別途検討する必要がある。

1) 分類

一般にしらすとよばれているものには、その生成過程、時代および特徴を異にするものが多く含まれており、広義には、

- ① 軽石流堆積層
- ② 降下軽石層
- ③ 軽石流・降下軽石層の二次堆積層
- ④ 凝灰質砂層・砂礫層

の総称であり、狭義には、最も大規模に分布し、典型的なものである軽石流堆積層の非溶結部を意味している。また、それぞれについて、各種の用語（一次しらす、二次しらす、固結しらす、風化しらす）

す、白しらす、赤しらす、ボラ等) が用いられている。

地質学的には成因、噴出源および噴出時代によって20数種類にも細分されているが、工学的には、現場施工上、その物理的・力学的性質によって単純に分類されることが望ましい。しらすの工学的分類には、従来から様々のものがあるが、本標準では、乱さない状態の地山しらすを硬さによって判別分類する土質工学会基準²⁾によった。この土質工学会基準と従来の分類とのおおまかな対比を参考表25-1に示す。

参考表 25-1 しらすの分類の対比

土質工学会基準 ²⁾	分類	しらす				溶結凝灰岩
		極軟質しらす	軟質しらす	中硬質しらす	硬質しらす	
	指標硬度(mm)	20以下	20~25	25~30	30~33	33以上
日本国有鉄道 (土構造物設計標準：昭和53年)		—	風化しらす	普通しらす	硬しらす	—
建設省		軟質しらす		中硬質シラス	硬質シラス	—
農林水産省		二次シラス	風化シラス	シラス	固結シラス	溶結凝灰岩
春山による		風化シラス		ふつうシラス	固結シラス (弱溶結のシラス)	

注) 硬度のみによる対比であり、直接対応しないものもある。また、名称は原文による表記とした。

2) のり面対策

しらすには、軟らかいものから硬いものまであり、のり面対策も画一的には取り扱うことは困難であり、水の浸食に非常に弱いことから水処理が重要となる。しらすののり面対策としては、まず、のり面の力学的安定をのり面勾配から確保し、次に浸食に対する安定性を排水設備やのり面工により確保することが基本となると考えられる。この場合、しらす層は一般に新規および現世の火山噴出物であるローム層に被覆されているため、このローム層を含めて安定性の検討が重要である。また、表面水の処理とともに、異なった層の境界やしらす層中の礫層や粘土層の介在による湧水に対しても十分な排水対策を施す必要がある。

しらすの切取り面に用いるのり面工には、植生工、格子砕工、モルタル吹付工、セメント吹付工等が考えられる。このうち、植生工はしらすの指標硬度に大きく関係する。軟質しらすは植生の根の成長が可能であるが、指標硬度22mm以下では軟弱すぎて植物を保持できないので、格子砕工との併

参考表 25-2 しらすの切取り面工の適用例

分類	軟質しらす	中硬質しらす		硬質しらす
		25~27 (植生工が可能)	27~30 (植生工が困難)	
指標硬度(mm)	20~25			30~33
湧水がない場合	客土種子吹付工 張芝工 植生マット工 植生袋工 (必要により格子砕工と併用)	植生穴工 植生袋工 (必要により格子砕工と併用)	モルタル吹付工 ソイルセメント吹付工*	モルタル吹付工 ソイルセメント吹付工*
	湧水がある場合	格子砕工に稜石工または張ブロック工(空張)の併用 ・のり面勾配を緩くする ・排水処理を十分に実施する ・指標硬度25~27mmについては植生穴工または格子砕工と植生袋工との併用もよい		

* ここで用いるソイルセメント吹付工は、しらす100%に対してセメント約10%を混入し、適切なコンシステンシーを得るのに必要な水を加えて吹き付ける工法である。

用が必要である。中硬質しらすでは、種子吹付工等では根の成長が困難なため、植生穴工や植生袋工等の硬質土に適用する工法に限定される。硬質しらすは、厚層基材吹付工等の特殊なものを除き、一般の植生工は不適である。

参考表 25-2 にしらすの種類と適用する切取り面工等の例を示す。これは、土質工学会しらす標準化委員会が作成した案³⁾ 其他を参考に作成したものである。なお、しらすの分類のうち指標硬度 20 mm 以下の極軟質しらすや二次堆積物のしらすは一般の土質分類に従い、指標硬度 33mm 以上のものは岩石（溶結凝灰岩）として扱ってよい。

[参考文献]

- 1) 土質工学会編：「日本の特殊土」，土質基礎工学ライブラリー 10，1974.8.
- 2) 土質工学会しらす標準化委員会：土質工学会基準「硬さによる地山しらすの判別分類法」(JSF規格：M 2-81)，土と基礎，Vol. 29, No. 4, p. 45~46, 1981.4.
- 3) 土質工学会しらす標準化委員会：土質工学会基準「硬さによる地山しらすの判別分類法」(JSF規格：M 2-81)の解説，土と基礎，Vol. 29, No. 4, p. 47~48, 1981.4.

(三)植生工法須考量之因素

参考資料-26 植生工について

植生工は緑化工の一種であり、植物を播種、植栽、あるいは自然植生の侵入を促したりする工法の総称である。植生工は、種子から導入する播種工、植栽によって導入する植栽工、植生の自然侵入を促す植生誘導工の3つに大別される¹⁾。鉄道ののり面工では、草本植物(植物の茎が木質でないもの、いわゆる草や芝)による播種工や植栽工が主に用いられているが、道路関係等では、木本植物(いわゆる樹木)による播種工や植栽工も多く使用されている。ここでは、主に草本植物による播種工、植栽工について述べることとし、木本植物による植生工については各種の参考図書²⁾を参照されたい。

(1) 植生工に用いる植物について

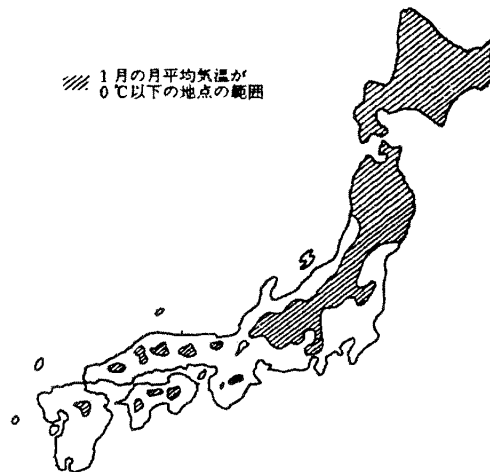
本標準の本文では、特に使用頻度の多い数種ののり面草について述べているが、播種工で一般的に用いられる植物(木本植物を含む)と主な性状を参考表 26-1 に示す。

(2) 寒冷地について

植生工での寒冷地とは、東北地方以北の高緯度地域と山岳地の高高度地域で、おおむね1月の月平均気温が0°C以下になる地域をいい、参考図 26-1 におおよその範囲を示す。

(3) 肥料について

植物の生育には肥料分が必要であり、肥料には、堆肥(わらや落葉等を堆積、腐熟させたもの)、畜肥(家畜の糞尿あるいは糞尿と敷わらを堆積、腐熟させたもの)、緑肥(自然の草や樹木の若い枝葉を土壌にすき



参考図 26-1 寒冷地の区分

こむもの)等の有機質肥料と肥料の3要素である窒素、リン酸、カリを混合した複合肥料等がある。肥料としては有機質肥料が理想的であるが、一般には入手が容易で施工性のよい複合肥料が用いられている。ただし、複合肥料の効果は一時的であり、追肥が必要である場合が多い。

複合肥料には、化成肥料(高度化成肥料、普通化成肥料)、固形肥料等がある。高度化成肥料は播種肥料として用いるもので、窒素、リン酸、カリの3要素の合計含有量が30%以上のものをいう。一般にリン酸

参考表 26-1 播種用植物の性状¹⁾

植物名	草樹 丈高 (m)	最播 種 適期 (月)	生 存 年 限	形 態	耐 瘦 地	耐 乾 燥	耐 湿 潤	耐 暑	耐 寒	耐 酸	性質、その他
ウィービンググラス W. L. G.	0.7 ~0.9	4~6	多年	叢生	○	○	×	○	△	○	土壌を選ばない、暑さ乾燥に強い、冬期に枯れる。日陰地には不適。
ケンタッキー317フェスク K. 31 F.	0.8 ~1.2	3~5 9~10	"	"	×	×	○	○	○	△	土壌を選ばない、耐寒性が大きい、冬期に枯れない。混播に適す。
クリーンブレッドフェスク C. R. F.	0.3 ~0.5	3~4 9~10	"	地下茎	○	○	△	○	○	○	砂質土によく育つ、乾燥に耐える、暑さにやや弱い。
チモシー Tim.	0.8 ~1.0	3~4 9~11	" (短期)	叢生	○	△	○	△	○	△	冷涼湿潤地によい、耐寒性が大きい、日陰地には不適。
オーチャードグラス O. G.	0.8 ~1.0	4~5 9~10	"	"	○	○	○	○	○	○	土壌への適応性大、乾燥にやや弱い、寒さに強い。
ケンタッキーブルーグラス K. B. G.	0.3 ~0.4	3~5 9~10	"	地下茎	○	×	○	×	○	×	耐寒性に強い、耐陰性が大きい、発芽がやや遅い。
ベレニアライグラス P. R. G.	0.5 ~0.7	3~4 9~10	" (短期)	叢生	×	△	○	△	○	△	肥沃土によい、乾燥に弱い、他種との混播が必要。
イタリアンライグラス I. R. G.	0.6 ~1.0	2~4 9~11	1年	"	×	△	○	△	○	×	日照のよい種土に育つ、暑さに弱い、一年草のため応急的緑化に使用。
パーミュエダグラス B. G.	0.1 ~0.2	4~6	多年	地下茎	○	○	×	○	×	○	水はけのよいところ、暑さ乾燥に強い、日陰地には不適。
バビアグラス B. H. G.	0.3 ~0.5	4~6	"	下葉草	○	○	×	○	×	△	乾燥した砂質土でも育つ、暑さ乾燥に強い、発芽率が悪い。
ホワイトクローバー W. C.	0.2 ~0.3	3~5 9~10	"	地上茎	○	△	○	△	○	△	土壌を選ばない、乾燥にやや弱い、他種との混播が必要。
レッドトップ R. T.	0.4 ~0.6	3~4 9~10	" (短期)	地上茎 地下茎	△	△	○	△	○	○	土壌を選ばない、寒さに強い、密生させると2~3年で枯死する、耐湿食性が弱いため他種との混播が望ましい。
ヨモギ	0.5 ~1.0	3~5	"	叢生	○	○	○	△	○	△	土壌を選ばない、寒さに強い、冬に枯れて見苦しくなる、耐湿食性が弱いため他種との混播が望ましい。
イタドリ	0.5 ~1.5	3~6	"	"	○	○	○	×	○	○	土壌を選ばない、乾燥や寒にも強い、冬に枯れて裸地状になる傾向あり。
ススキ	1.0 ~2.0	3~6 10~11	"	"	○	○	△	○	○	△	土壌を選ばない、発芽むらが大きい。
メドハギ	0.3 ~0.5	3~6	"	下葉草	○	○	△	△	○	△	瘦地、硬質土に適す、乾燥に強い、肥料草として使用できる。
イタチハギ	1.0 ~2.0	3~6	"	落葉木 低木	○	○	×	○	○	△	発芽安定、土壌緊縛力が大きい、耐陰性が大きい。
ヤマハギ	1.0 ~2.0	3~5	"	"	○	○	×	○	○	△	初期生長は速い、土壌緊縛力が大きい、耐陰性がやや少ない。
ハマハンノキ	10.0 ~20.0	3~6	"	落葉木 高木	○	○	○	△	○	△	瘦地に強い、初期生長が遅い、高くなる、寒さに強い、ただし、夏を過ぎると発芽率が大幅に減ることがある。
ヤシヤブシ	4.0 ~7.0	3~6	"	"	○	○	×	○	△	○	瘦地に強い、肥料木としてもよい、草本を被圧しない、暑さにも強い、ただし、夏を過ぎると発芽率が大幅に減ることがある。

注1) 最適播種期は関東地方の平野部を標準としたものである。

注2) このほか、播種用植物には芝類、蕨類とともに、木本類ではセイヨウキズタ、コクチナシ、サツキツツジ、ツルマサキ、ハイビクシヤン、ツゲ、ヤナギ、マサキなどの地被植物や低木類が使用される。

参考表 26-2 肥料の成分量の例

品名	窒素 N(%)	リン酸 P(%)	カリ K(%)	計 (%)
高度化成肥料	14	17	13	44
	15	15	15	45
普通化成肥料	8	12	8	28
	8	8	5	21
固形肥料	6	4	3	13
	16	14	7	37

分は窒素分より多いかまたは等しい。普通化成肥料は肥料の3要素の合計含有量が30%以下のものをいい、追肥用として用いる。固形肥料は肥料に泥炭を加えて練り混ぜ、成形または造粒したもので植生袋工等に用いる。

これら肥料の成分量の例を参考表 26-2 に示すが、これ以外にも各種の配合比のものがある。

施肥についての一般的要領を次に示す。

- ① 酸性土には、中和のため石灰施肥が必要である。
- ② 火山灰を含んでいる場合の基肥にはリン酸の多い肥料がよい。
- ③ 寒冷地で耐寒性を強めるためにはカリを多用する。このためには複合肥料のほかに単一肥料等を用いるとよい。
- ④ 緑を濃くしたり、草たけを伸ばしたいときには窒素を多用する。ただし、凍害を受けやすくなる。

(4) 土壌酸度について

植生工の施工に際しては、一般に土壌酸度の測定を行う。植生工に使われる多くの稲科草は pH 5.0~6.5 (弱酸性~微酸性) の範囲でよく成長する。我が国の土は酸性のものが多いが、特に温泉地帯のように強酸性で pH 4.0 以下のところを除き、ほとんど植生工を用いることができる。したがって、pH よりもむしろ発芽と生育に関係の深い気象、土の物理的性質等をよく知って、その対策を講ずることが大切である。

(5) 浸食防止材(剤)について

浸食防止材(剤)は、播種した種子や客土等が降雨や風によって流失、飛散する害から保護することと、植物が生長してのり面を全面被覆し、その機能を十分発揮するようになるまでの期間の浸食を防止することを目的として使用される。浸食防止材(剤)は、その性質から物理的資材と化学的資材(浸食防止剤)に大別される¹⁾。

物理的資材には、シート類(わらすだれ、化学繊維シート等で被覆するもの)、網状類(金網、化学繊維ネット、合成樹脂ネット等で被覆または埋設するもの)、ファイバー類(木質繊維、パルプ層、古紙等を細かく裁断し、これと種肥等を十分混合して散布するもの)等がある。このうち、網状類によるいわゆるネット工には、埋設ネット工と被覆ネット工がある。埋設ネット工は、のり面上に金網、化学繊維ネット等を張り、その上に吹付けを行い、客土層や植生基材を保持するもので、土砂移動が想定される石礫の多いのり面や割れ目の多い岩質のり面の緑化の際に適用される。被覆ネット工は、植生工を施工した後、その上をネットで被覆するもので、主として寒冷地での凍上・積雪による植物体、生育基盤の崩落やクレープによる損傷を防ぐために使用される。どちらの方法も、ネットの固定が最も重要であり、ネットをのり面に密着するようアンカーボルト(1本/m²以上)等により固定する¹⁾。

浸食防止剤には、その固結形態により大別すると、表面に不透水性の薄い被膜を形成する被膜形成型(ア

スファルト乳剂等)、浸透して地表面近くの土粒子を連結する浸透連結型(ウレタン系水溶液樹脂)およびあらかじめ種肥土と混合して土粒子間を充填する型(セメント)がある。なお、浸透連結型には、あらかじめ種肥土と混合して土粒子を連結するものもある。

主な浸食防止剤の特徴は次に示すとおりである。

① ウレタン系水溶性樹脂

水と反応してゲル化固結するものである。このため降雨の影響のある場合にも適している。特徴は、速効性であること、効果を発揮するまでに乾燥を必要としないこと、弾性に富んでいること、乳白色であること等である。

② カチオン系アスファルト乳剤

土粒子と接触すると分解固結するものである。効果が大きく、安価な材料であるが、種の発芽遅延の傾向があること、効果の持続性にやや欠けること、被膜が薄く局所的な破損箇所から浸食が発生すること、黒色であること等が特徴である。

③ その他のエマルジョンタイプの浸食防止剤

2液式で散布直前に混合してエマルジョンを不安定にし、ゲル化し凝集しやすくしたもの、あるいは助剤によりゲル化させるもの等があるが、いずれも効果を発揮するまでに十分乾燥させることが必要である。このため、施工直後に降雨があると失敗する。必要な乾燥期間は1週間程度のものが多い。色はいずれも白色である。

参考表 26-3 に浸食防止剤の例を、参考表 26-4 に浸食防止剤の用い方を示す。

参考表 26-3 浸食防止剤の例

薬剤一般名	一般使用法	備 考
ウレタン系水溶性樹脂	2液式 10~20倍液を1~2 l/m ² 散布する	地表面の水、稀釈水と反応してゲル体を形成する
カチオン系アスファルト乳剤	1液式、被膜性	土粒子と接触して分解する
アクリル酸エステルエマルジョン	2液式(助剤散布後本液を散布する)。ただし植生工用としては1液式5~20倍液を1~2 l/m ² 散布する	助剤によりゲル化させる
酢酸ビニール系エマルジョン	2液式、被膜性 10~30倍液を1~2 l/m ² 散布する	2液を混合することによりエマルジョンを不安定にし凝集しやすくしてある
合成ゴムテックス	1液式、被膜性 3~10倍液を1~2 l/m ² 散布する	粘着剤を加え、被膜性を高くしてある
アクリル系エマルジョン	1液式、被膜性 5~20倍液を1~2 l/m ² 散布する	同 上

参考表 26-4 浸食防止剤の用い方

薬剤種別	特 性	適用範囲	標準仕様
ウレタン系水溶性樹脂	速効性、耐久性強い、高価である。特殊な散布機を要する。	施工が多雨期のとき、芝草の生長がある程度不遇期にかかるとき	濃度 7% 2 l/m ²
カチオン系アスファルト乳剤	速効性、耐久性がある。施工機器が汚染される。発芽遅延がかなりある。種との接触が少ない工法がよい。種、肥料等と混合できない。	施工が多雨期のとき、芝草の生育好適期	2倍液 1.5 l/m ²
他の被膜性薬剤 (速効性仕様のもの、2液式または粘着剤付加など)	やや速効性、耐久性少ない。ポーラス材(エスソイルなど)付加により耐久性を増大できる。施工は簡単である。	芝草の生育好適期	濃度 10% 2 l/m ² 程度のものが多い

(6) 各工種の施工等について

1) 種子散布工

施工にあたっては、まずのり面のごみ、浮根、浮石等を除去する。水力によって吹き付ける場合には、攪拌装置付タンクおよびポンプ等を使用する。ポンプの全揚程は、清水の場合で30m以上の能力を有し、種吹付けに適した機能であることが必要である。混合は、水、ファイバー、添加剤、肥料、種の順に行い、混合時間は10分以上とし、均一なスラリー状にする。添加剤は、種、肥料、ファイバー等の粘着性をよくする目的で、のり状のものが加えられる。

吹付けに際しては、地盤の硬軟に応じて吹付け距離およびノズル角度を調節し、吹付けによってのり面を荒らさないように注意しながら、著しい厚薄むらがないように一様に吹き付ける。のり面草が生育するまでに、のり表面が浸食される恐れがあるときは必要に応じて浸食防止剤を散布する。浸食防止剤は播種面の表面水が引いた直後に散布するが、膜厚のむらのないよう全面に散布することが必要である。なお、簡易な転圧機器で表面仕上げを行う場合には、種を吹き付けたあとで表面仕上げをし、その後、浸食防止剤を散布するとよい。

播種面には、少なくとも60日間は立入りを禁止することが必要である。播種面の生立本数は、播種後60日目で1m²当り1000本以上が標準である。この本数未満の場合や生育が不良の場合は、再播種を行う必要がある。また、必要に応じて追肥を行う。

参考表 26-5 に種子散布工の材料標準使用量の例を示す。

参考表 26-5 種子散布工の材料標準使用量の例(1m²当り)

材 料	品 種	数 量
種	ウィーピングラブグラス	0.5 g
	ケンタッキー 31 フェスク	20.0 #
	ホワイトクローバー	0.5 #
粘性土の場合	ケンタッキー 31 フェスク	20.0 #
	ホワイトクローバー	2.0 #
肥 料	高度化成肥料 14-17-13	75.0 #
ファイバー		0.15 # / 160.0 g
添加剤、浸食防止剤	必要なものを選ぶ	—
水		5.0 l

2) 客土種子吹付工

客土種子吹付工は、種、肥料、客土をガンにより吹き付ける工法である。播種に先立ち、のり表面のごみ、浮根、浮石等を除去する。のり面が乾燥している場合は、のり面に徐々に散水し、深さ20mm以上湿潤する必要がある。土壌硬度が27mm以上の場合には、溝切客土を併用するほうがよい。溝切りは水平の方向に行い掘削土はすべて取り除く。溝の寸法は上幅20cm、深さ15cm、間隔50cmを標準とする。客土にあらかじめ肥料を混合し、これを所定量、溝の中に充填する。

圧縮空気によって吹き付ける場合に使用する機械器具は、ガン、コンプレッサー、ミキサー等である。材料の混合は、土、水、肥料、種の順に行い、混合時間は1分以上とする。吹付けの要領や浸食防止剤の散布については、種子散布工と同様である。

種子散布工と同様、播種面には、少なくとも60日間は立入りをしないほうがよい。播種面の生立本数は、播種後60日目で1m²当り1000本以上、溝切客土を行った場合は1m²当り400本以上あるとよい。この本数未満の場合や生育が不良の場合は再播種を行う必要がある。また、必要に応じて追肥を行う。

参考表 26-6 客土種子吹付工の材料標準使用量の例(1m²当り)

材 料	品 種	数 量	
種	砂質土の場合	ウィーピングラブグラス	0.5 g
		ケンタッキー 31 フェスク	20.0 "
		ホワイトクローバー	0.5 "
	粘性土の場合	ケンタッキー 31 フェスク	20.0 "
		ホワイトクローバー	2.0 "
肥 料	高度化成肥料 播種用 14-17-13	75 "	
	高度化成肥料 溝切客土用 14-17-13	50 "	
客 土	粘性土 ガン使用	0.01m ³	
		溝切客土用 0.03 "	
浸食防止剤 被 覆 材	必要なものを選ぶ	—	
水		3.0 l	

材料の標準使用量の例を参考表 26-6 に示す。

3) 植生マット工

植生マットには、布、ポリエチレン製マット、不織マット、わらすだれ、フェルトマット等を用いて製作した幅 50cm 以上、長さ 10m 以上のもので地盤によくなじむものが使用される。

施工にあたっては、のり面の凹凸を均し、浮石、雑草等を取り除いてからマットを張り付ける。張付けは、水平方向を長手として、種等を装着した面を下面として、のり面に十分密着させ、竹くしままたは鉄線製の目ぐしを用いて固定する。植生マット相互の重なりは羽重ねとし、重ね幅は 5cm 以上とする。マットの上には厚薄むらなく 1m²当り 0.002m³の目土をかける。立入り制限や再施工については、種子散布工に準じて行う。

植生マットに使用する種、肥料の標準使用量の例を参考表 26-7 に示す。

参考表 26-7 植生マット工の材料標準使用量の例(1m²当り)

材 料	品 種	数 量
種	ケンタッキー 31 フェスク	20.0 g
	ウィーピングラブグラス	0.5 "
	ホワイトクローバー	1.0 "
肥 料	高度化成肥料 14-17-13	75.0 "

4) 張芝工

張芝工には、一般的に野芝が使われるが、こうらい芝を用いる場合もある。芝は、茎および根系が繁茂して土付が多く、枯死、くされ等がないものとする。また、長期にわたって天日にさらし枯死させないよう注意する必要がある。

施工にあたっては、のり面に規定量の肥料を均等にまきながら芝を張り、のり面に密着するよう十分芝を押さえ、目ぐしを打ち、芝の脱落を防ぐ。芝片(36×28cm)は、長手を水平方向としてべた張りし、目地をあけたり、縦目地を通してはならない。目ぐしは十分打ち込み、表面に長く出ないようにする。芝の上には規定量の目土を均等にかける。目土をかけることは、芝の乾燥を防ぐために有効な方法である。霜柱の発生が著しいところでは、芝がのり面に活着していない場合には、張芝が目ぐしごと持ち上げられ、のり面との間にすき間ができて乾燥枯死するので、秋から冬にかけての施工は避ける必要がある。また、盛夏の施工も芝焼けが著しく、失敗の可能性が大きい。立入り制限や再施

参考表 26-8 張芝工の材料標準使用量の例(1m²当り)

材 料	品 種	数 量
芝	野 芝	1.0 m ²
肥 料	高度化成肥料 14-17-13	75.0 g
目 ぐ し	竹くしまたは鉄線製	30 本
目 土	客 土	0.02 m ³

工については、種子散布工に準じて行う。

張芝工に用いる材料の標準使用量の例を参考表 26-8 に示す。

5) 植生袋工

植生袋は、網目 2.5mm 程度のポリエチレン製網袋で、寸法は長さ 33cm、最小径 10cm 以上程度である。目ぐしは、硬質塩化ビニール製または丸釘等を用いる。

植生袋は、含水率 20% を標準とする土に、粒状肥料、種を加えて十分よく攪拌混合し、1 袋当り 0.002 m³ を標準として網袋に詰め、袋の口を針金で閉じるという方法で作製する。仕上り寸法は、長さ 33 cm、幅 12cm、厚さ 10cm が標準である。溝切りは、のり面水平方向に植生袋の寸法に合わせて行い、溝と袋の間にすき間を生じないように十分圧着して、目ぐしで固定する。溝の間隔は一般に 50cm 程度である。立入り制限は種子散布工と同様である。張付け部の生立本数は、施工後 60 日で 120 本/m² 以上でなければならず、これ未満の場合や生育が不良の場合は再播種を行う必要がある。

植生袋工に用いる材料の標準使用量の例を参考表 26-9 に示す。

参考表 26-9 植生袋工の材料標準使用量の例(1000 袋当り)

材 料	品 種	数 量
種	ケンタッキー 31 フェスク	1.0 kg
	ホワイトクローバー	0.3 "
肥 料	高度化成肥料 14-17-13	20.0 kg
	固形肥料(成分計12%程度)	2000 個
客 土	土	2.0 m ³
植 生 袋		1000 枚
目 ぐ し		2000 本

6) 植生穴工

植生穴工に使用する機械器具は、小型発電機、電気ドリル、オーガー等である。オーガー付電気ドリルを用いて、のり面に径 6~10cm、深さ 15cm の穴を千鳥状に 1m² 当り 18 個(標準間隔、縦 28cm、横 20cm)掘る。穴の底に固形肥料を 1 個挿入し、あらかじめ粒状肥料、土壌改良剤等を混合して作製した客土を穴のなかに所定量密に充填する。その上に種紙をおき、のり面とほぼ同一面まで覆土する。種紙は 2 枚の和紙(約 500cm²)を糊着した間に参考表 26-10 に示す種を装着したもので、使用にあたり適切な大きさに裁断する。立入り制限は種子散布工と同様である。播種面の生立本数は、播種後 60 日で 1m² 当り 180 本以上でなければならず、これ未満の場合や生育が不良の場合は再播種を行う必要がある。

参考表 26-10 種紙の種標準使用量
(1m²当り)の例

品 種	数 量
ケンタッキー 31 フェスク	3.0 g
ホワイトクローバー	0.3 "
ウィーピングラブグラス	0.6 "

参考表 26-11 植生穴工の材料標準使用量の例(1 m² 当り)

材 料	品 種	数 量
種 紙	5 cm×5 cm	18 枚
肥 料	高度化成肥料 18-18-18	55 g
	固形肥料 16-14-7	18 個
客 土		0.15 m ³
添 加 剤	珪酸苦土石灰	223 g
	ピートモス	335 g
浸食防止剤	必要なもの	
水		1.0 l

植生穴工に用いる材料の標準使用量の例を参考表 26-11 に示す。

7) 厚層基材吹付工

岩盤やモルタル吹付のり面等、緑化が極めて困難な箇所を対象として開発された工法で、急勾配の岩石地等に植生基材を厚く吹き付けることから、生育基盤の流亡、滑落を防止するために、強力な浸食防止剤を用い、金網張りを併用することが通例である。

植生基材には、有機質肥土（ピートモス、バーク堆肥等）を主体に用いるものと土砂を主体に用いるものがある。有機質の基材の方が肥料養分の持続性に優れているため、養分吸収量の多い常緑広葉樹等を導入する場合には有効である。浸食防止剤としては、セメントを用いるものと合成樹脂を用いるものがある。セメントを用いるものは、耐浸食性に優れているが発芽、生育に対しては障害がみられる。合成樹脂の場合は、発芽、生育に対しては障害になるものは少ないが、耐浸食性が弱いものが多い。金網は、菱形金網、亀甲金網等が使用されるが、金網の太さは#14 が標準であり、のり面の不安定条件が増すに応じて、#12、#10 等のより太いものを使うことが必要である。金網はのり面に密着するようアンカーボルト（1本/m²以上）等により固定する¹⁾。

なお、厚層基材吹付工は、最近様々なものが開発され商品化されている。使用にあたっては、工法の内容、特徴等を十分検討する必要がある。

[参考文献]

- 1) 日本緑化工学会編：「緑化技術用語事典」，山海堂，1990.4.
- 2) 例えば土質工学会編：「緑化・植栽工の基礎と応用」，土質基礎工学ライブラリー 20，1981.1.
- 3) 安保 昭：「のり面緑化工法」，森北出版，1983.

(四) 格子樑工法之設計

参考資料-27 格子樑工の設計について

のり面工の設計手法は、現在のところ確立されたものではなく、過去の実施例や標準図等を参考に、個々ののり面ごとに設計がなされているのが現状である。ただし、格子樑工の設計に関しては、建設省監修による「のり樑工の設計・施工指針」¹⁾に設計計算等の基本的な考え方が示されている。ここでは、主にこの指針に基づき、格子樑工の設計の考え方および樑部材に関する試計算を行った結果について述べる。

なお、アンカー工を用いる場合の設計については、上記の指針のほか各種の参考文献²⁾を参照されたい。

(1) 設計の考え方

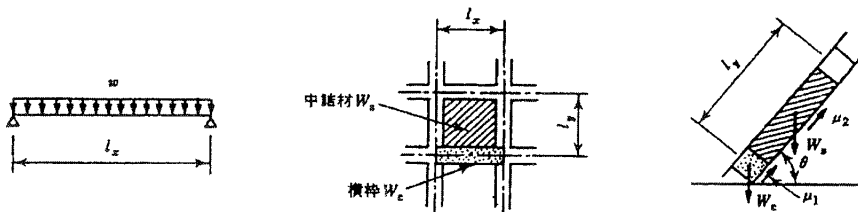
1) プレキャスト格子樑工

a) 基本的な考え方

- ① 土圧に対しては抵抗しないものとする。
- ② 原則としてのり長 10m 以下になるように設計するものとし、これを超える場合は、犬走りを設置し上部応力が下部へ伝達されない構造とする。
- ③ 樑接点は、上部の荷重を確実に下部へ伝える構造とする。
- ④ 基礎コンクリートは、上部からの応力に十分対応できる構造とする。

b) 横樑の検討 (参考図 27-1)

- ① 設定荷重は、横樑および樑内防護材 (以下、中詰材という) の自重とする。
- ② 横樑に作用する荷重は、設定荷重ののり面方向の分力とし、等分布に作用するものとする。
- ③ 地山と中詰材および横樑との間の摩擦を考慮する。(参考表 27-1 参照)
- ④ 設定された荷重条件に対して、単純梁による曲げ応力度、せん断応力度を算出し、これらが許



参考図 27-1 横樑の検討

参考表 27-1 摩擦係数 μ (のり樑工の設計・施工指針¹⁾による)

		場所打ち	場所打ちでないもの
土とコンクリート	シルトなしの粗砂	$\tan \phi$	0.55
	シルトを含む粗砂		0.45
	シルト		0.35
玉石とコンクリート		0.5	0.5
割石とコンクリート		0.6	0.6
岩とコンクリート		0.6	0.6

容応力度内であることを照査する。

- ⑤ 横枠に働く応力度が許容応力度より大きい場合には必要鉄筋量を配筋し、応力度の検討を行う。

$$w = \frac{W_c(\sin \theta - \mu_1 \cos \theta) + W_s(\sin \theta - \mu_2 \cos \theta)}{l_x} \quad (27-1)$$

ここに、 w ：横枠に作用する荷重 (tf/m)
 W_c ：横枠の重量 (tf)
 W_s ：中詰材の重量 (tf)
 θ ：のり面の傾斜角
 μ_1, μ_2 ：地山と横枠、中詰材との間の摩擦係数
 l_x ：横枠のスパン長 (m)

$$M = \frac{w \cdot l_x^2}{8} \quad (27-2)$$

$$S = \frac{w \cdot l_x}{2} \quad (27-3)$$

ここに、 M ：横枠が受ける最大曲げモーメント (tf・m)

S ：横枠が受けるせん断力 (tf)

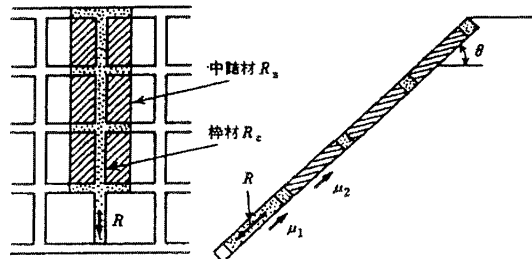
$$\sigma_t = \frac{10^5 M}{I} \cdot y_t \quad (27-4)$$

$$\tau = \frac{10^5 S}{A} \quad (27-5)$$

ここに、 σ_t ：横枠の曲げ応力度 (kgf/cm²)
 I ：横枠の断面二次モーメント (cm⁴)
 y_t ：横枠断面の中立軸より縁までの距離 (cm)
 τ ：横枠のせん断応力度 (kgf/cm²)
 A ：横枠の部材断面 (cm²)

c) 最下端の縦枠の検討 (参考図 27-2)

- ① 設定荷重は、横枠、縦枠および中詰材の自重とする。
- ② 作用する荷重は、設計荷重ののり面方向の分力とする。
- ③ 地山と中詰材および横枠との間の摩擦を考慮する。
- ④ 設定された荷重条件に対して、縦枠下端部の軸方向荷重を算出し、これらが許容軸方向荷重内であることを検証する。
- ⑤ 軸方向荷重が許容軸方向荷重より大きい場合には、必要鉄筋量を配筋し検討を行う。
- ⑥ のり長 10m 以下の場合、横枠が応力計算結果を満足する断面であれば、同様の断面の縦枠は通



参考図 27-2 縦枠の検討

常十分な耐力を有するので応力度の検討は省略してもよい。

$$R = R_c(\sin \theta - \mu_1 \cos \theta) + R_s(\sin \theta - \mu_2 \cos \theta) \quad (27-6)$$

ここに、 R ：最下端の縦枠に作用する荷重 (tf)

R_c ：枠の重量 (tf)

R_s ：中詰材の重量 (tf)

θ ：のり面の傾斜角 (度)

μ_1, μ_2 ：地山と枠、中詰材との間の摩擦係数

なお、許容軸方向荷重は次のとおりとする。

$$P_0 = \frac{0.85\sigma_{ck} \cdot A_c + \sigma_{sv}' \cdot A_s}{3} \quad (27-7)$$

ここに、 P_0 ：許容軸方向荷重 (kgf)

σ_{ck} ：コンクリートの設計基準強度 (kgf/cm²)

A_c ：コンクリートの断面積 (cm²)

σ_{sv}' ：軸方向鉄筋の圧縮降伏点応力度 (kgf/cm²)

A_s ：軸方向鉄筋の全断面積 (cm²)

2) 吹付枠工

a) 基本的な考え方

- ① のり面勾配が1:1.0より緩くのり長が10m以下の箇所では、一般には、土圧が働かないものとしてプレキャスト格子枠工と同様な検討を行う。
- ② 上記以外の場合には土圧が働く恐れが高いため、原則として土圧を考慮した設計計算を行う。
- ③ 基礎コンクリートは、上部からの応力に対応できる構造とする。

b) 横枠の検討

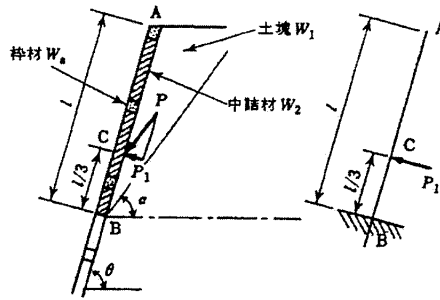
- ① 横枠の検討は、プレキャスト格子枠工と同様とする。ただし、地山と横枠および中詰材との間の摩擦は安全をみて、基本的には無視する。
- ② 次のc)②に示す土圧を考慮した縦枠の検討を行った場合には、縦枠と同様な断面であれば、縦枠の強度を満足していれば横枠の強度も満足するので、横枠の強度検討は省略してもよい。ただし、枠スパンが極端に大きい場合には、横枠の検討を行う必要がある。

c) 縦枠の検討

- ① 縦枠の検討は、プレキャスト格子枠工と同様とする。ただし、地山と横枠および中詰材との間の摩擦は安全をみて、基本的には無視する。
- ② のり面勾配が1:1.0より緩くのり長が10m以下の箇所以外では、上記①に加え、のり面の表層部の崩壊を想定して、土圧を考慮した検討を行う。

i) のり層からの崩壊を考慮する場合 (参考図 27-3)

- ① 設定荷重は、想定されるすべり土塊、中詰材、縦枠と横枠の自重とする。
- ② 縦枠に作用する荷重は、設定荷重のすべり面方向の分力に必要な安全率の増加分(現況安全率と計画安全率との差分)を乗じたものとする。
- ③ 作用荷重は、すべり面方向に集中荷重として作用するものとし、作用位置は土塊の長さの1/3とする。
- ④ 縦枠に垂直に作用する分力に対し、縦枠とすべり線との交点を固定点とした片持梁として、応力の検討を行う。



参考図 27-3 のり肩からの崩壊を考慮する場合の作用荷重

$$W = W_1 + W_2 + W_3 \quad (27-8)$$

$$P = \Delta F_s \cdot W \cdot \sin \alpha \quad (27-9)$$

$$P_1 = P \cdot \sin(\theta - \alpha) \quad (27-10)$$

- ここに、 W : 設定荷重 (tf)
 W_1 : 想定されるすべり土塊の重量 (tf)
 W_2 : 中詰材の重量 (tf)
 W_3 : 枠の自重 (tf)
 P : 縦枠に作用する荷重 (tf)
 ΔF_s : 安全率の増加分
 α : 想定されるすべり線の傾斜角 (度)
 P_1 : 縦枠に垂直に作用する分力 (tf)
 θ : のり面の傾斜角 (度)
 * W_1, W_2, W_3 は 1 スパン当りの重量

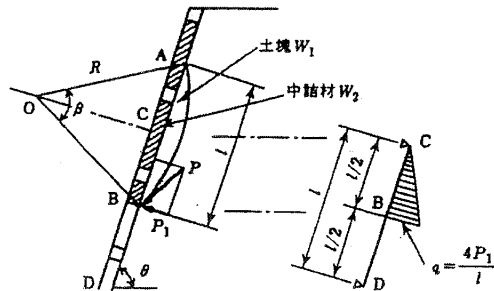
$$M = \frac{P_1 \cdot l}{3} \quad (27-11)$$

ここに、 M : 縦枠を片持梁とみなした最大曲げモーメント (tf·m)

l : のり肩から縦枠とすべり線との交点までの距離 (m)

ii) のり中間部からの崩壊を考慮する場合 (参考図 27-4)

- ① 設定荷重は、想定されるすべり土塊、中詰材とする。
- ② 縦枠に作用する荷重は、設定荷重のすべり面方向の分力に必要な安全率の増加分 (現況安全率と計画安全率との差分) を乗じたものとする。



参考図 27-4 のり中間部からの崩壊を考慮する場合の作用荷重

- ③ 作用荷重は、縦枠とすべり面との交点にすべり面方向に作用するものとする。
- ④ 縦枠に垂直に作用する分力に対し、枠の一部を単純梁とし、作用分力をスパン中央で最大、交点でゼロとなる三角形分布荷重に置きかえて応力の検討を行う。

$$W = W_1 + W_2 \tag{27-12}$$

$$P = \Delta F_s \cdot W \cdot \sin \theta \tag{27-13}$$

$$P_1 = P \cdot \cos \frac{180 - \beta}{2} \tag{27-14}$$

ここに、 W : 設定荷重 (tf)

W_1 : 想定されるすべり土塊の1スパン当りの重量 (tf)

W_2 : 中詰材の1スパン当りの重量 (tf)

P : 縦枠に作用する荷重 (tf)

ΔF_s : 安全率の増加分

β : 想定されるすべり円の頂角 (度, 参考図 27-4 参照)

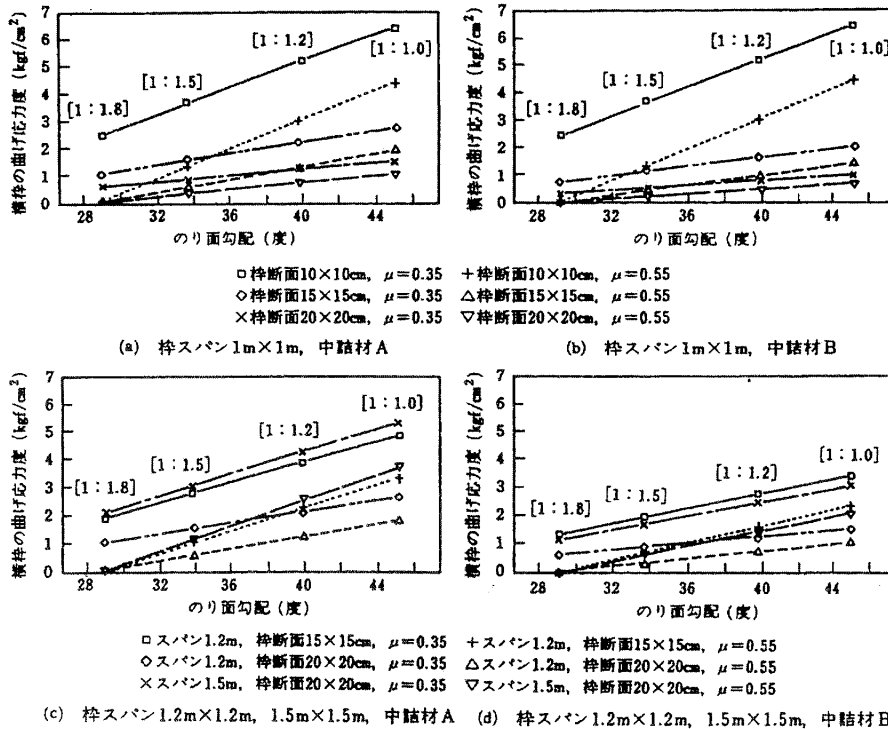
P_1 : 縦枠に垂直に作用する分力 (tf)

θ : のり面の傾斜角 (度)

$$M = \frac{q}{9} \cdot \frac{l}{6} \tag{27-15}$$

ここに、 M : 縦枠を単純梁とみなした最大曲げモーメント (tf·m)

q : 三角形分布荷重の最大値 (tf) (参考図 27-4 参照)



参考図 27-5 のり面勾配と縦枠の曲げ応力度

l : 想定した単純梁のスパン (m)

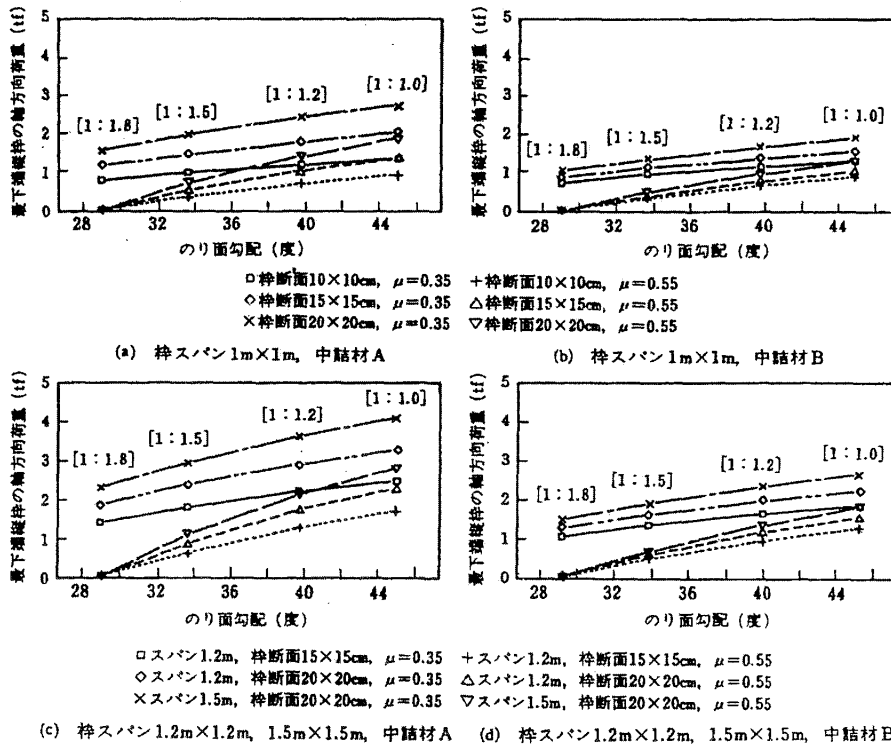
3) 場所打ち格子枠工

枠の設計にあたっては、原則的に設計計算を行う。設計計算は吹付枠工に準ずるが、のり面勾配が急な場合にはもたれ擁壁に準じた計算を行うこともある。

(2) 部材の試計算結果

プレキャスト格子枠工で示した考え方により、枠材は無筋コンクリートとして試計算を行った結果を参考図 27-5~27-6 に示す。参考図 27-5 はのり面勾配と横枠の曲げ応力度、参考図 27-6 はのり長が 10m の場合ののり面勾配と最下端の縦枠の軸方向荷重との関係でまとめたものであり、枠部材の選定の参考とされたい。ここで、中詰材 A は、単位体積重量 2.0tf/m³ で枠材の高さまで施工する植生工を想定したものであり、中詰材 B は、単位面積当りの重量 0.2tf/m² の張ブロック工を想定したものである。また、地山との摩擦係数は各ケースとも、便宜上、枠、中詰材とも同一の値とした。

なお、計算上の横枠のせん断応力度は小さく、部材の検討は曲げ応力度のみで十分であるため、せん断応力度についての結果は省略した。



参考図 27-6 のり面勾配と最下端縦枠の軸方向荷重(のり長10mの場合)

[参考文献]

- 1) 建設省大臣官房技術調査室監修：のり枠工の設計・施工指針，(社)全国特定法面保護協会，1989.3.
- 2) 例えば、フリーフレーム協会編：フリーフレーム工法一設計・施工指針一，理工図書，1987.10.
日本道路協会編：道路土工「のり面工・斜面安定工指針」，1986.11.

(五) 噴植工法之範例

参考資料-28 吹付工の配合例

吹付工の耐久性は、その配合に大きく影響される。このため吹付工の配合は耐食、耐候、耐圧等に必要なる各種強度により決定すべきであるが、これら要素の算出が困難なため、施工性および経済性から定めているのが現状である。

ここでは、一般的な配合例を参考表 28-1 に示す。また参考として、各機関の標準的な配合例をまとめたものを参考表 28-2～28-5 に示す。

参考表 28-1 モルタル吹付工、コンクリート吹付工の配合例

	モルタル吹付工	コンクリート吹付工
配合	(セメント：砂)	(セメント：砂：砂利)
重量比	1：3～1：4	1：3：1～1：5：2
セメント	ポルトランドセメント	ポルトランドセメント
砂	粗粒率 1.5～2.0	粗粒率 1.5～2.0
砂利	—	25 mm 以下 (乾式) 15 mm 以下 (湿式)
水セメント比	45～50%	40～45%

参考表 28-2 日本道路公団の「設計要領」第一集第一編土工での配合例¹⁾

	重量比	W/C (%)	セメント (kg)	砂 (kg)	砂利 (kg)	最大骨材寸法 (mm)
コンクリート吹付	1：5.5	55	330	1201	601	15
モルタル吹付	1：4	45	430	1742	—	—

参考表 28-3 日本道路協会の例²⁾

	モルタル吹付工	コンクリート吹付工
配合	(セメント：砂)	(セメント：砂：砂利)
重量比	1：4～1：5	1：4：1～1：4：2
水セメント比	55～60%	50～55%

参考表 28-4 土木施設防災工法研究会の配合例³⁾

	モルタル吹付工	コンクリート吹付工
配合	(セメント：砂)	(セメント：砂：砂利)
重量比	1：4	1：4：2～1：4：3
セメント	ポルトランドセメント 400～460 kg/m ³	ポルトランドセメント 300～360 kg/m ³
砂	粗粒率 2.4～2.8	細骨材率 60～80%
砂利	—	最大粒径 河砂利 20 mm 砕石 15 mm
水セメント比	40～50%	45～55%

参考表 28-5 土木施設防災工法研究会のコンクリート吹付工(湿式)の場合の配合例³⁾ (1 m² 当り)

W/C (%)	セメント (kg)	砂 (kg)	砂利 (kg)	最大骨材寸法 (mm)	添加材 (kg)
45～50	360	1440	360	15	0.009

[参考文献]

- 1) 日本道路公団：「設計要領」第一集第一編土工，p.135，1983.4.
- 2) 日本道路協会編：道路土工「のり面工・斜面安定工指針」，p.203，1986.11.
- 3) 建設省河川局防災課監修，土木施設防災工法研究会編：「のり面及び斜面災害復旧工法」，p.99，山海堂，1985.5.

八甲田トンネル(橋木工区)は、「技術 歴史への約束」を合言葉に、「トンネル工事」がどれだけ「環境に優しくなれるか！」をキーワードとして工事の進展とともに、新技術に挑戦します。

私たちは、全長26.45kmの世界最長の陸上トンネルを施工する大舞台において「環境にやさしい」をテーマに創意工夫と新技術の開発に取り組んでいきたいと考えています。



トンネル工事「がどれだけ環境に優しくなれるか！」をテーマに、作業環境は、もちろんのこと、騒音・振動・粉じんを大幅に削減し、工事用蒸気(CO₂)削減、坑内衛生粉じんを坑内に排出しない機系システムの使用、大型湧水処理設備の設置と管理体制の強化、蒸気発生抑制装置の整備等により、大気汚染・水質汚染・土壌汚染を防止、「地球規模での環境保全」に取り組むたいと考えています。

環境にやさしい新技術

地球環境・地域環境への配慮！

1. 坑外ベルトコンベヤ設備(ヘビコン)の開発

橋木工区は、斜路坑口より狭い工事用道路(林道)を駆使して約2km先の土待場にスリを運送する計画である。幅員はW=3m(11ヶ所の所通所)を設けている。冬期には、積雪3mの積雪状態であり、将来的に凍上コンクリートによる凍結防止が困難となる。また、当該地区は、国土地院の調査による地盤強度が低く、凍結防止対策の整備等により、大気汚染・水質汚染・土壌汚染を防止、「地球規模での環境保全」に取り組むたいと考えています。

No.	技術開発項目と対策	効果	
		環境	作業
1	・高圧線通過(L=2km) ・カーゴコンベヤ(H=150m~300m) ・スリ上りが相成ることから、駆行防止が最大の課題となった。	・高圧線通過を必要最小限とするため、カーゴコンベヤとした。 ・車線は、4ヶ所とし、最長コンベヤは、曲線半径10ヶ所を有するL=1.75kmとした。 ・中央制御装置による自動運転システムとした。 ・積雪が厚くなるため、特設なベルト駆動防止装置を設けた。 ・ベルト駆行を抑制するために、各高圧ローラーにより、ベルトを引出し(上下面)、ハンタ(キヤリアローラー)を挿入する。積雪および駆行防止が、積雪防止を必要最小限とした。 ・駆行防止のため、ベルト駆動を必要最小限とした、40~50mm、ベルト駆動装置を設置した。 ・ベルト駆動装置は300mmとした。 ・引出し装置であることから、大きなスリの挿入もよく構造出来る。 ・基本的には、スラッシュにより、スリの選別を行う。 ・雪期間の積雪に耐えうる構造	・冬期間の積雪に耐えうる構造 ・運転者がコスト削減する。
2	・大きな積雪を運ぶ、 ・30~40cm程度のスリを搬送する。		
3	・冬期間の積雪に耐えうる構造		
4	・運転者がコスト削減する。		
5	・世界初の試みであり、新技術への挑戦！ 一類似したコンベヤは、キリヤヤで採用されたが、構造自体が異なるものであり、さらに世界初の試みである。		

附 録

二

【現状における問題点】

- 現在、試運転を兼ねた本格稼働をしているが、現状での問題点は以下の通りである。
 - ・スリの形状が不規則であり、30~40kg、オーバーサイズであり、40cm以上。
 - ・作業部コンベヤへの送まりが懸念されることから、前後監視員が5名確保が必要である。
 - ・特殊なコンベヤ設備であり、保守管理等は、熟練した技術者であることが必要である。
 - ・何らかの異常に非常停止が作動した場合、スリ処理がSTOPすることで、ランプの特長も必要。
- スリ形状については、海外にランナーの設置を検討している。

【効果】

- 試運転段階の効果は、以下の通りである。
 - ・コンベヤ設備による騒音はゼロ！
 - ・概ね1時間当たり地山60~70m³/hrの搬送能力が確認出来た。
 - ・ガス排出量の試算

工 法	温室効果ガス	大気汚染物質
トンブ	二酸化炭素 CO ₂ 600,800 kg	窒素化合物 NO _x 900 kg
ベルトコン	二酸化炭素 CO ₂ 128,400 kg	窒素化合物 NO _x 100 kg
削減率	78%	89%
		93%

※削減率には、大幅なガス排出量を削減することが出来る。

