



CE6804-1-200

中工研究發展叢書

垂直土壁填土施工法

中華工程股份有限公司編印

中華民國六十八年四月

# 垂直土壁填土施工法

編著者：何 顯 榮

編著者簡介：

何顯榮：成功大學土木系土木研究所畢業，現年三十六歲，民國六十三年進入中華工程公司服務，曾任土木工程師，現任企劃處研究發展課課長

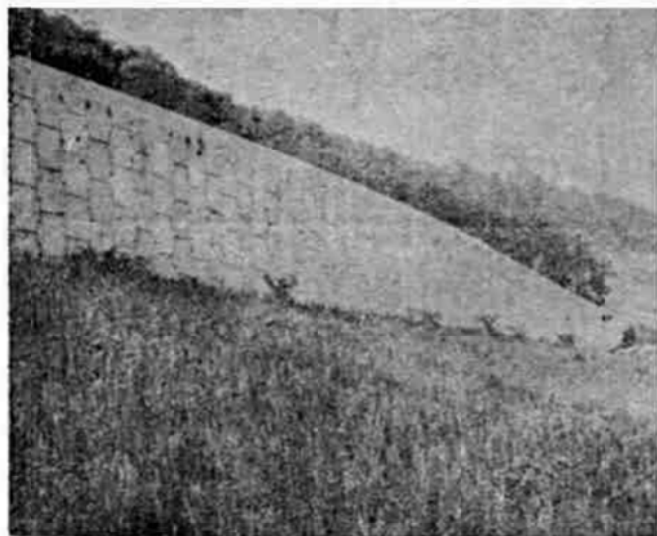
# 目 錄

第一章	序 言	1
第二章	原 理	5
第三章	特 性	7
第四章	材 料	9
第五章	設 計	13
第六章	施 工	22
第七章	建築基地填築工程實例報導	24
	參 考 資 料	29
	台灣省住宅及都市發展局長來信	30

# 第一章 序 言

垂直土壁填土施工法，又譯為鋼筋土牆施工法，日譯強化土填土工法或補強土填土工法，原名法文為Terre Armée，英文為Reinforced Earth。本施工法於1963年由法國人所發明，至今已被普遍採用，成為國際專利。民國66年，引進應用的國家計有美國、日本、加拿大、西班牙、西德、英國、委內瑞拉、南非聯邦、澳大利亞、紐西蘭、黎巴嫩、伊朗和以色列等國，當時，全世界約已完成1,000件使用此種工法之工程，估算起來，約每天有一件工程採用本施工法施工，日本於民國66年才由住友商事株式會社向法國Terre Armée本社購得專利權引入技術，負責在日本和東南亞地區施工。

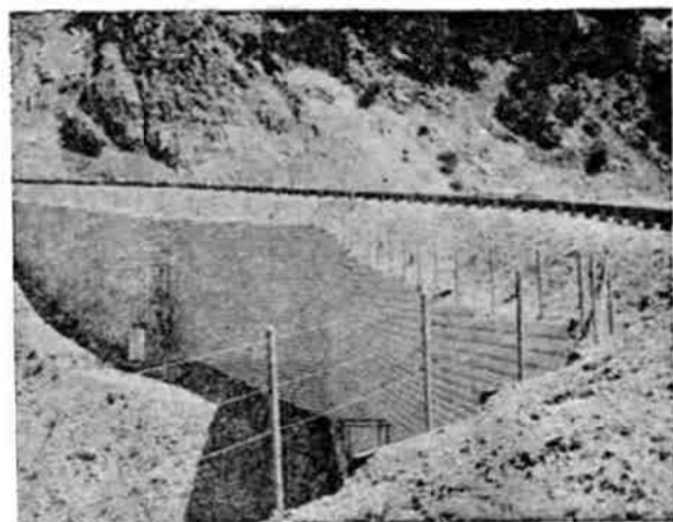
垂直土壁填土施工法使用於鐵路，道路和高速公路之路堤擋土牆(照片1,2)，塌方補修(照片3)，橋座建造(照片4)路面拓寬(照片5)，住宅區環境改善(照片6,7)，儲水池及沈澱池等水中檔土牆(照片8)，山坡地住宅開發(照片9)，山區擋土設施(照片10,11)，爆炸性物儲藏及製造工場防護壁(照片12,13,14)，固體儲藏設備(圖t)等。



1. 美國田納西州40號道路



2. 美國科羅拉多州高速公路

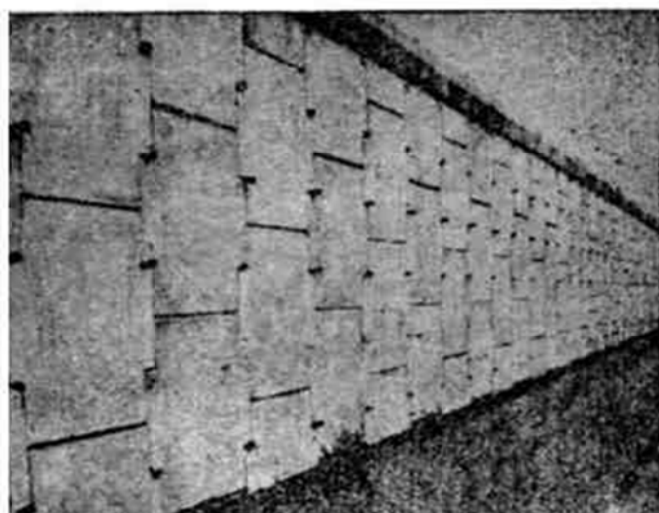


3. 美國加州39號道路塌方補修

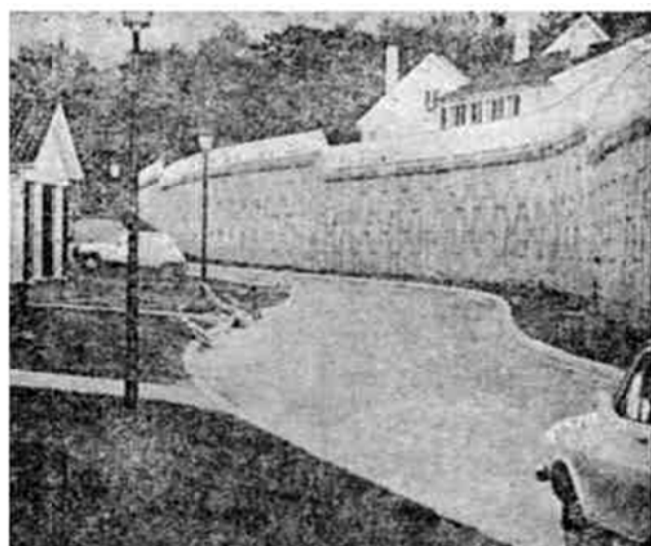


4. 美國內華達州橋座建造

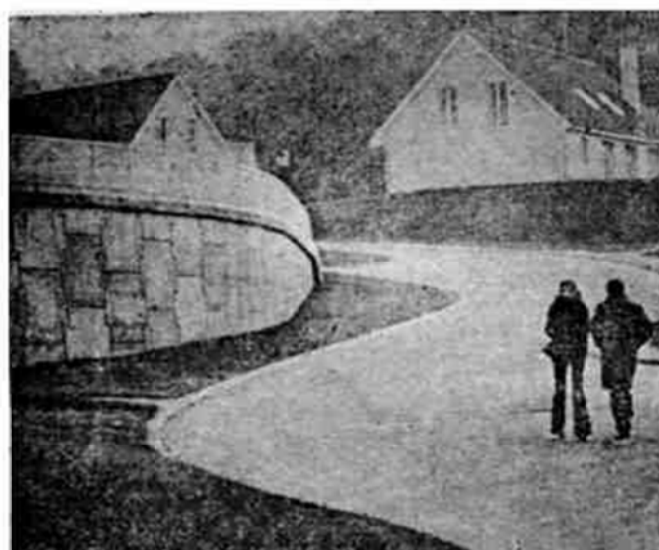




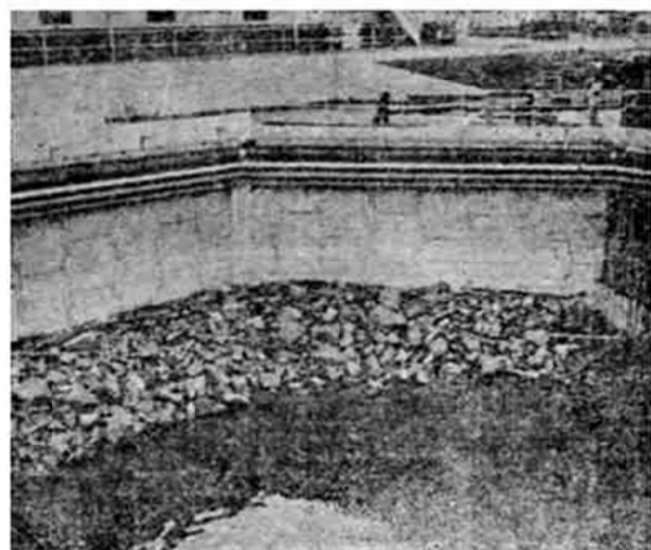
5. 美國喬治亞州道路路面拓寬



6. 住宅區環境改善例之一



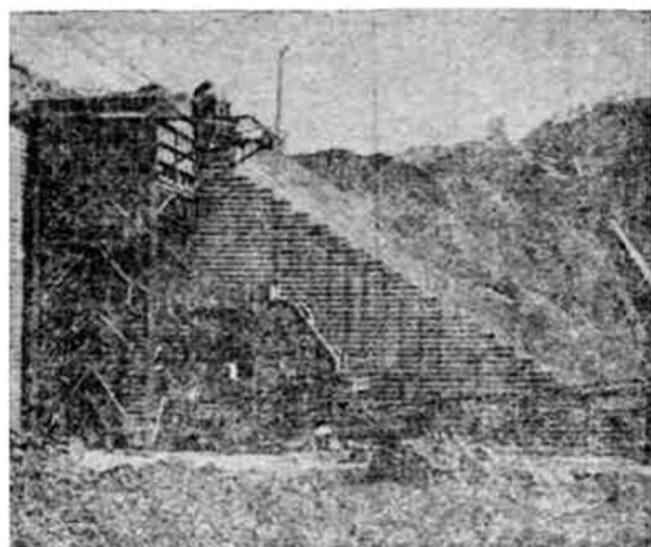
7. 住宅區環境改善例之二



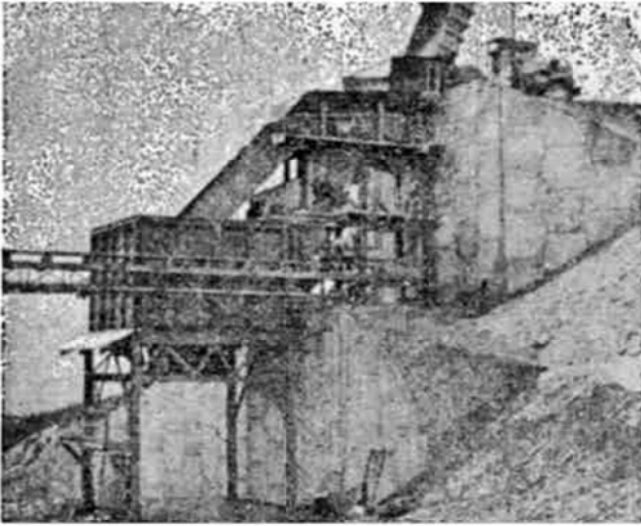
8. 美國波特蘭港水中擋土牆



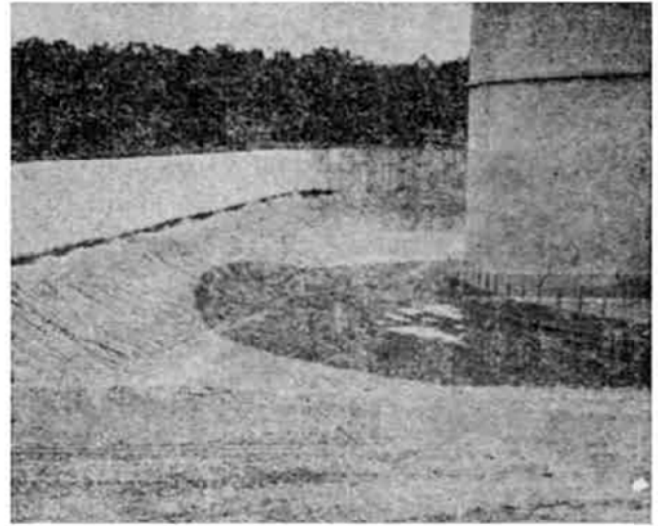
9. 山坡地住宅開發



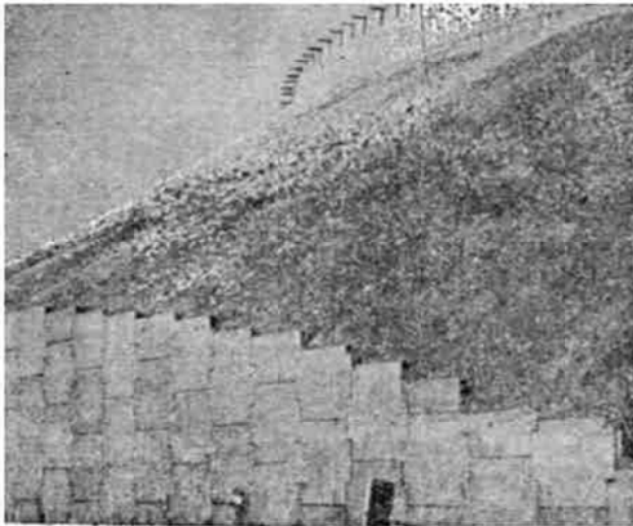
10. 法國螢礦山17m高擋土設備



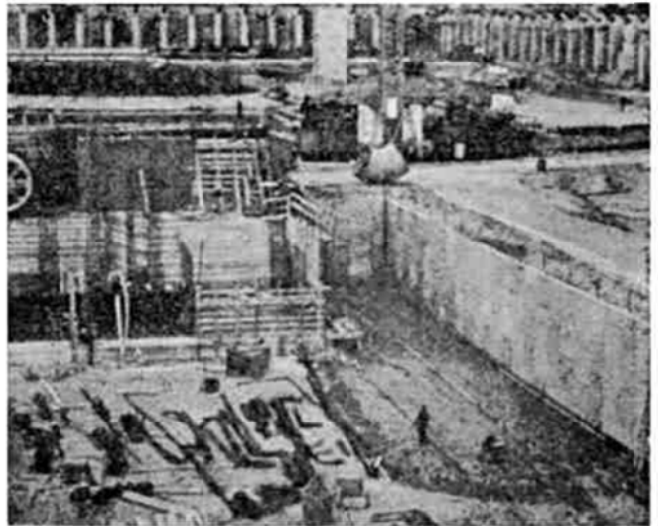
11. 南非聯邦珪酸鹽篩分設備二段擋土牆



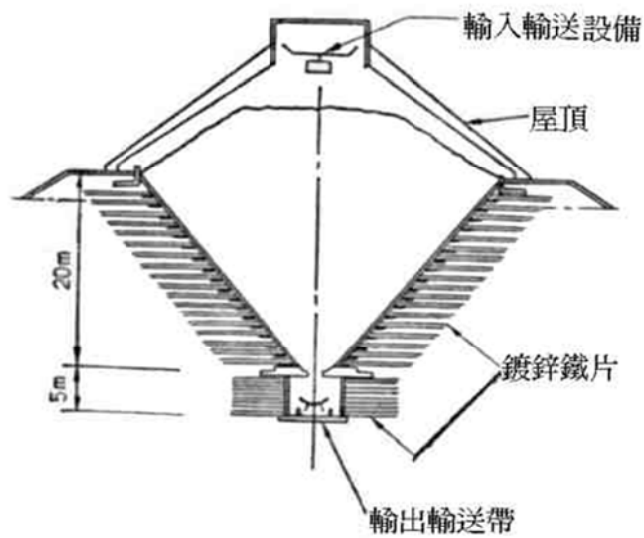
12. 法國液態天然氣儲槽防護壁



13. 法國液氨儲槽四週防護壁



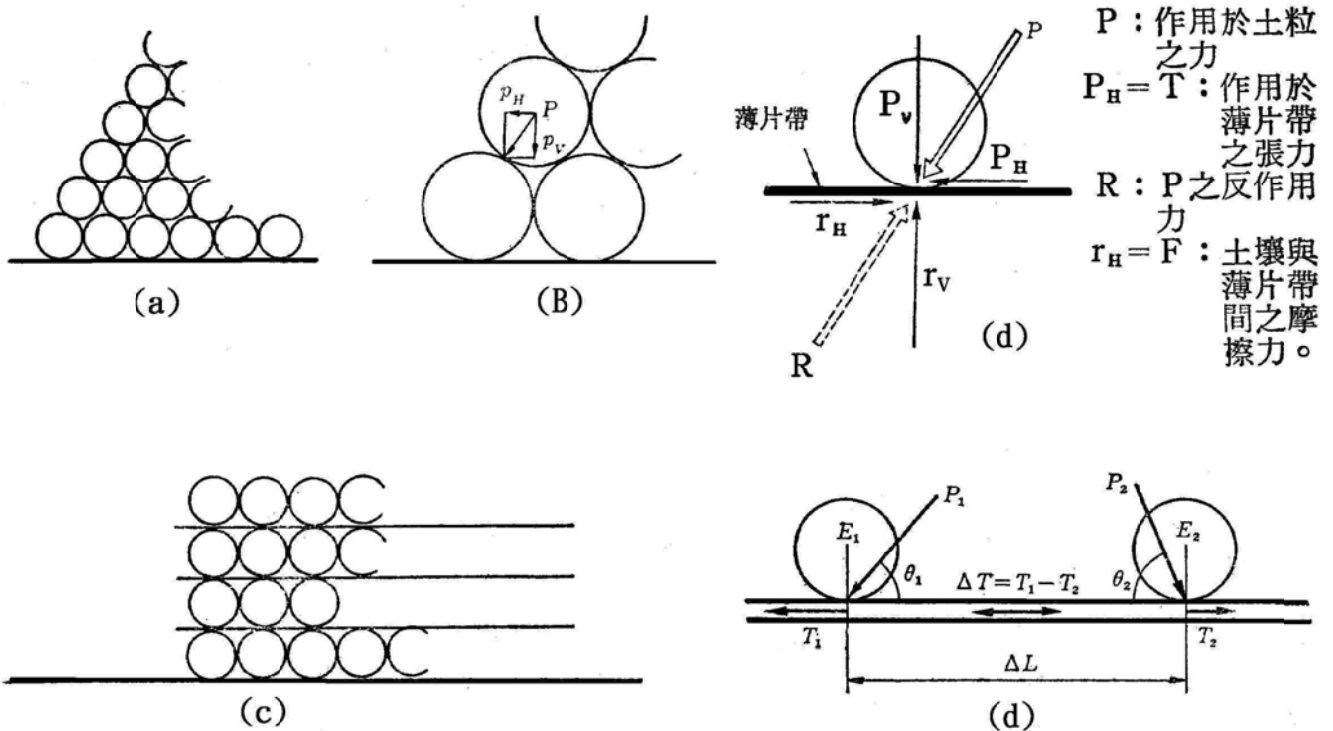
14. 法國核能發電廠防護壁



圖(t) 猶他州穀倉設計圖

## 第二章 原 理

自然砂土在填土的情況下，比安息角(angle of repose)小之斜面，其粒子間之排列如(a)圖所示。若有一外力或自重力 $P$ 作用於其土壤如圖(b)所示，其水平分力 $P_H$ ，相當大時，此土壤就容易崩潰。今若在土粒間放一水平薄片帶(strip)作為補強材料如圖(c)所示，其受力情形如圖(d)所示，則其安定性決定於薄片帶和土粒間之摩擦力，若外力之水平分力不大於此摩擦力則此土壤不但不致崩潰，且外側斜面可以垂直面存在。此時薄片帶受力情形如圖(e)所示，在薄片帶上 $E_1$ 和 $E_2$ 兩顆土粒相隔距離 $\Delta L$ ，各受到 $P_1$ 和 $P_2$ 之力，其水平分力作用於此薄片帶上各為 $T_1$ 和 $T_2$ ，則薄片帶所受到的拉力 $\Delta T = T_1 - T_2$ 。此薄片帶之張力強度需大於 $\Delta T$ 始能保持土壤穩定。

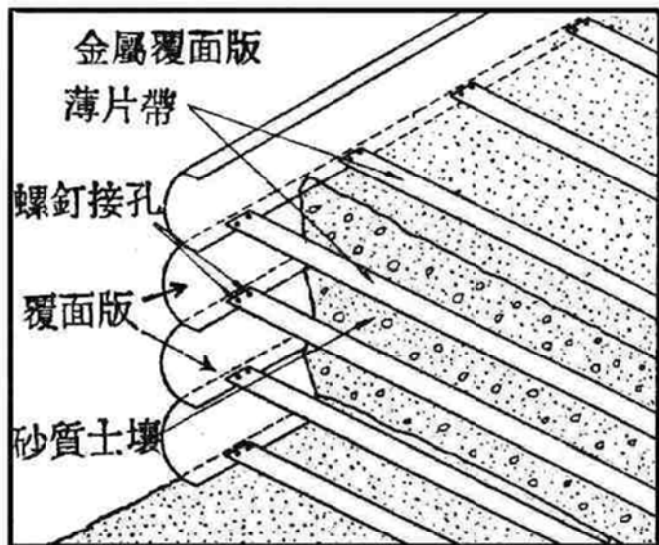


上述薄片帶補強材料，就是一般實際所用的鍍鋅鋼片。上述情形土粒間實際並不完全和薄片帶直接接觸，而以上粒間相互傳送摩擦力，最後傳送至薄片帶。

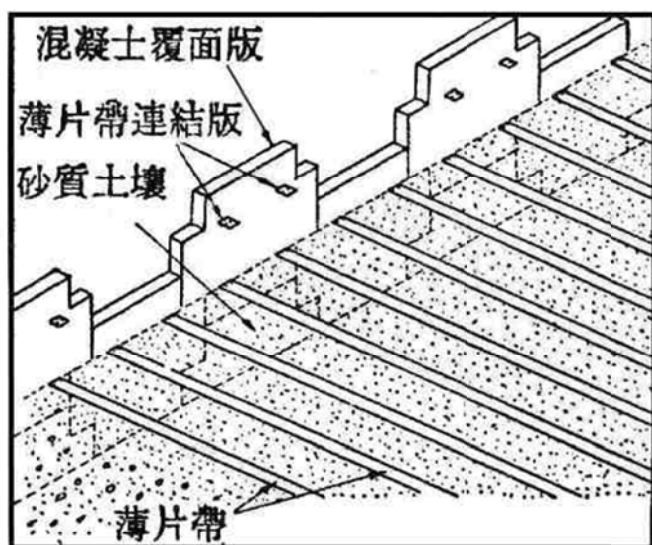
應用上述原理，使用砂質土壤填土，在一定的間隔埋入一種薄片帶，作為補強材料，使其和土壤成為一體，而產生粘著力。並於填土斜面(即垂直面)以金屬版或混凝土塊作覆面版(skin)以抵抗崩潰。其一般構造如圖(f)所示。



其薄片帶和土壤組合，就如鋼筋和混凝土之組合作用，同樣薄片帶用在最大張應力之方向。



Metal Skin



Concrete Skin

圖 (f)

# 第三章 特 性

## 一、施工性：

- (一). 本施工法所需要之材料，搬運至工地，即行組合及瀝壓，施工速度甚快，比起一般施工法，工期要縮短很多。
- (二). 施工時覆面板組立，薄片帶設置，分層填土壓實，不需大型或特殊施工機械。
- (三). 施工方法簡單，操作容易，僅需瞭解施工要領，就可施工，不需有特殊技術或技工。
- (四). 填土作業在狹窄基地就可施工，不需搭高大的鷹架，作業安全性很高，在山區或僻地均可施工。
- (五). 在較弱地基也可設置，使用金屬覆面板時，僅於整地後鋪砂就可組立。使用混凝土覆面板時一需稍為打置小型混凝土基礎，在地基比較均勻處，可鋪置預鑄混凝土基礎。

## 二、經濟性：

- (一). 可作甚高的垂直面填土，減少地面佔用面積增加土地利用價值。
- (二). 根據日本工程市場資料，本施工法與鋼筋混凝土擋土牆比較，本法不需打基樁，當擋土牆需打基樁而填土高度超過3公尺時，較經濟。若兩者都不需打基樁，填土高度超過5~6公尺時本法較有利。
- (三). 填土材料使用砂質土壤，工地附近易於取得。
- (四). 填土高度，可於將來隨意增減。

三、耐久性：本施工法之耐久性實際就相當於埋入土體內之鍍鋅鋼片之耐久性，而視實際使用之填土土質地下水質，抗電性，各種化學物質含量，鍍鋅層均勻性及厚度等因素而定。一般作曝露試驗結果32mm者約有30~50年。根據澳洲公路局之試驗，將許多有關土壤與鍍鋅鋼片作腐蝕性試驗，結果95%顯示鍍鋅鋼片之腐蝕率為每年0.01mm，設計時通常考慮兩面有1mm厚之腐蝕量。綜合考慮上述各案，在一般的腐蝕環境下，耐用年限可達80~100年。

## 四、安定性：

- (一). 填土土體強韌，若合乎安全設計條件，可比擬為鋼筋混凝土，填土材料相當於混凝土，薄片帶相當於鋼筋，故安定性高，稱為土構造物。

(二).據試驗結果，在地震時，因土體內有薄片帶之拉引，斜面有覆面版被緊緊拉住不致鬆落，故此土構造物不易變形，也不易崩潰。

#### 五、品管性：

(一).除砂土填土材料於工地附近選擇外，其餘材料均為工場製品，可於工場作品質管制，故材料品管容易。

(二).填土材料被選定後，在工地僅作壓實工作的管理，在一定間隔埋設薄片帶及保持填土厚度一定和滾壓次數一定即可，故施工管理很容易。

六、排水性：本法排水性良好。在使用混凝土覆面版時，每塊版相互排列之接縫，垂直縫即用作排水。在使用金屬覆面版時，於橫向所使用連接覆面版之連結蓋(cover joint)上，每一塊有四個透水孔。在覆面版內側有鋪設透水材料者，以利排水。

七、公害性：本法一般不需打樁作基礎，僅在工地單純的作組立及輾壓工作，無振動及噪音，故無建設公害。

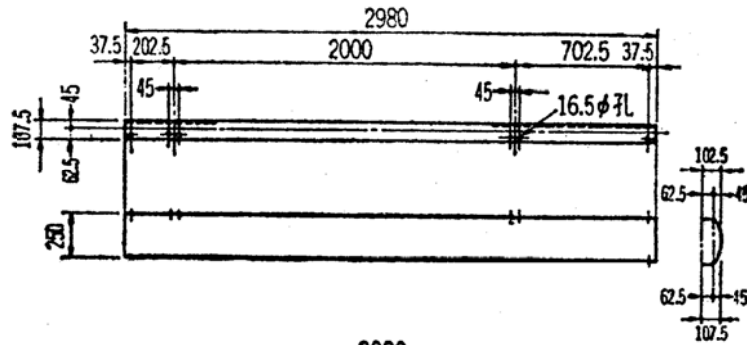
八、柔韌性(flexibility)：本法土構造物富有柔韌性，能隨地盤之微緩下陷而適度調整，保持於穩定狀態。

九、應用性：可廣泛應用於一般填土工程、如高速公路，鐵路，及一般道路之路基填土，水中擋土牆，橋樑用橋台，住宅地之填築，爆炸物之防護牆等。因有耐震性，且填土材料(砂質土壤)容易取得，本省丘陵地之開發及橫貫公路之闢築，本工法將來應可廣為採用。

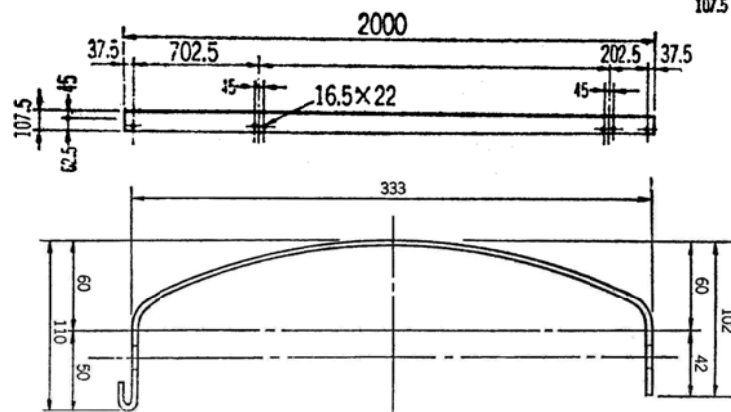
# 第四章 材 料

一、覆面版：覆面版有金屬覆面版和混凝土覆面版兩種：  
 (一). 金屬覆面版：如圖(g)尺寸圖及圖(h)另一種斷面圖。

(g) 尺寸圖

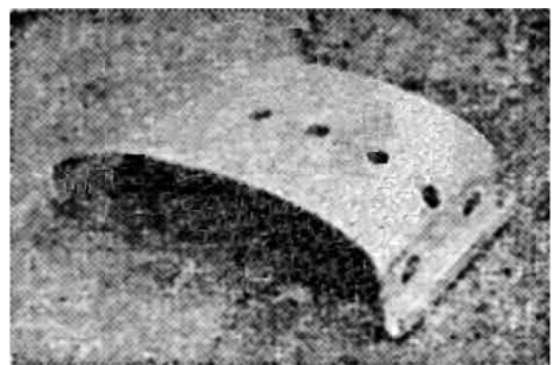
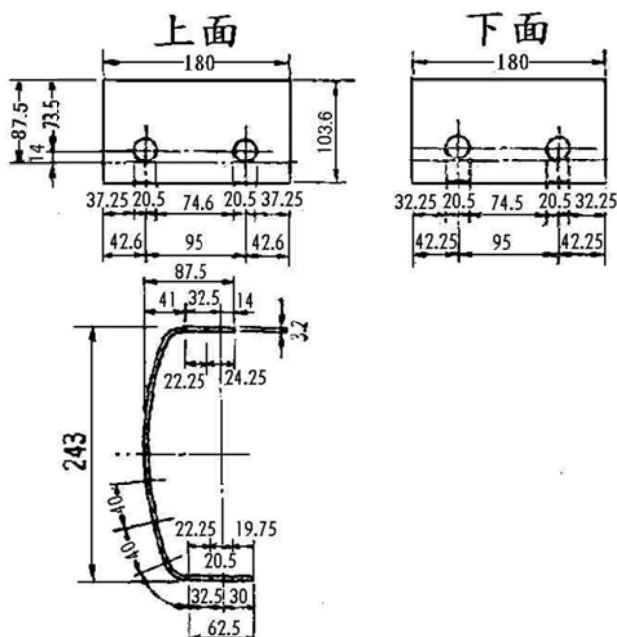


(h) 斷面圖



斷面為半橢圓形，是版殼力學所導引之最安定形狀。優點如下：

1. 富有可撓性，基礎地盤若有下沈時較有適應性。
2. 抗張力大，可抵抗強拉力。
3. 重量較輕，可不用吊車，直接用人力組立。
4. 填築高度可達12m以上。
5. 使用適應性高，遇到彎曲或隅角，可用熔接集成，不需異形版。使用時需用連結蓋連接，連結蓋如圖(i)田所示。



圖(i)

(二).混凝土覆面板：如圖(j)所示，其基本形狀為150cm×150cm十字形，版厚18cm和22cm兩種。18cm一塊重約1噸，除此外為求美觀，尚有其他各色各樣不同形狀之設計。

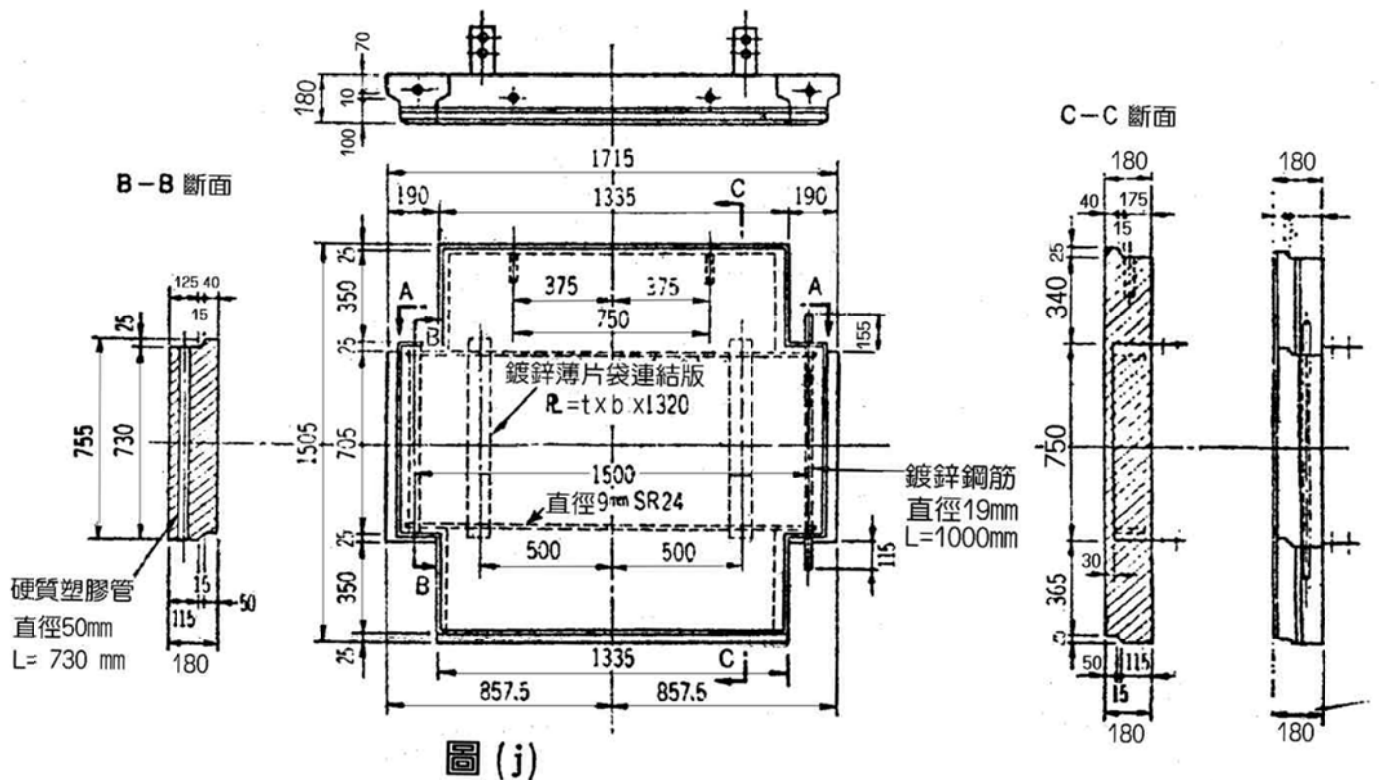


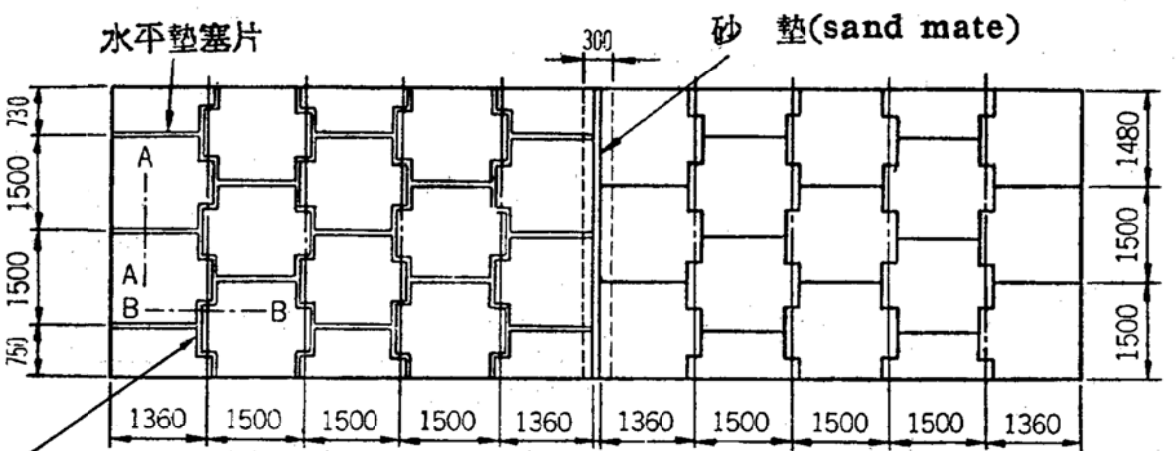
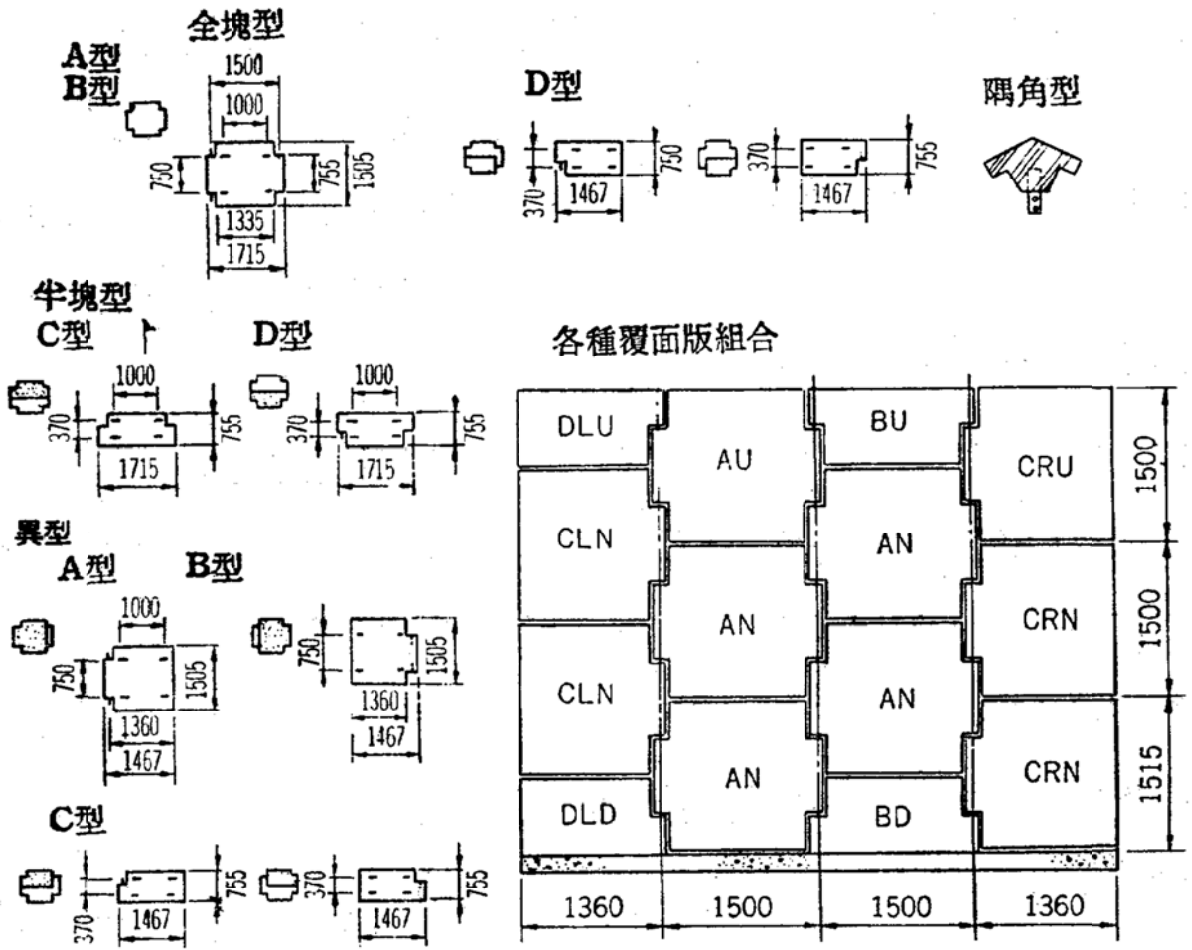
圖 (j)

使用優點如下：

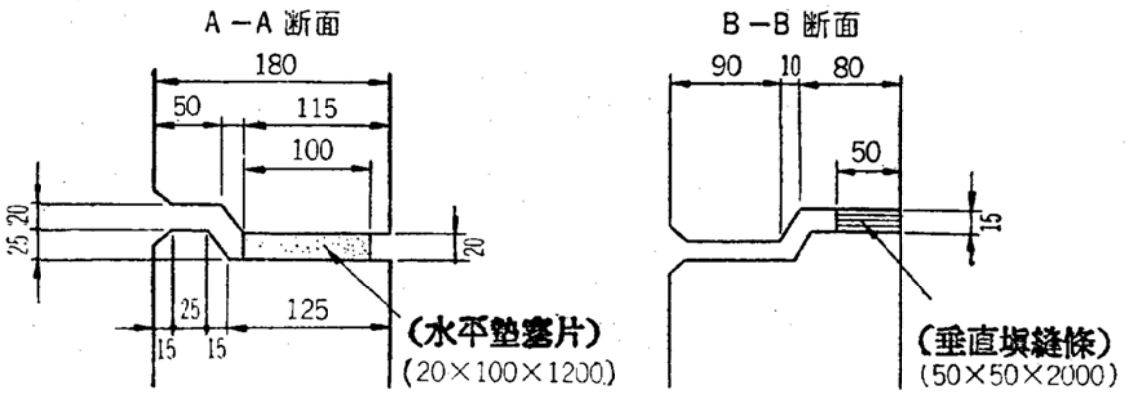
- 1.外觀較美，可變化各種形勢，且有穩固感。
- 2.耐用年限較長，且不受電蝕作用。
- 3.施工時不必使用臨時鷹架等支持設備。
- 4.架設時受到破損或凹陷現象減少。

使用時，遇到彎角或在隅角部位需有特殊之異型塊，或切除十字型之一部位，此外在水平結合處需墊富有柔韌性之水平墊塞片(region cork plate)，在垂直結合處需填充阻止砂土流出而可排水之垂直填縫條，採用聚脲脂泡沫 (polyurethane foam) 塑膠。其各種形狀及組合如圖(k)所示。





垂直填縫條

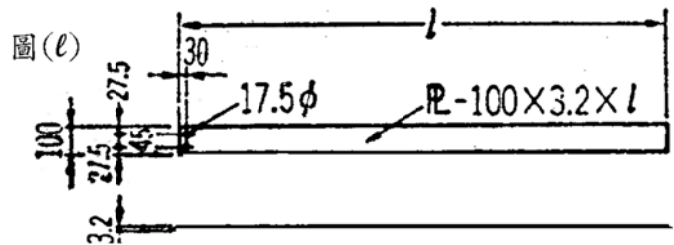


圖(K)

二、薄片帶：在填土土體內以一定的間隔鋪設薄片帶，其目的在強化填土內部結構及防止覆面版之脫落，其作用相當於鋼筋混凝土中之鋼筋，土方之土壓力由薄片帶張力所拉住，兩者結成一體，保持土方安定。薄片帶通常用鍍鋅鋼片，厚3.2mm及4.5mm兩種，寬100mm，鍍鋅量610g/m<sup>2</sup>，若填土土質良好，且無電蝕現象，則耐用性和一般結構物相同。亦有使用鍍鋅有節鋼片，寬度40及60mm，厚度5mm使用時為防止自然腐蝕，應採取下列措施：

- (一).受雨水浸漬之填土表面應作表面處理(覆蓋)及作排水措施。
- (二).填土材料，使用透水性良好含粉質較少之粗粒土。
- (三).填土底面及背面設置透水性良好之截水層。

薄片帶和覆面版以二枚螺釘連結。為防止腐蝕，螺釘也需作和薄片帶同樣鍍鋅處理。薄片帶如圖(l)所示。



### 三、填土材料：

- (一).填土材料使用摩擦係數大之砂質土壤較佳，其土質一般粒徑標準如表(1)所示：

表(1) 粒徑標準 (重量比)

種類 \ 粒徑	5μ以下 (粘土)	74μ以下 (粉土)	80μ以下	150mm以上	250mm以上
A		15%以下		25%以下	0
B	7%以下	30%以下		25%以下	0

若使用土質較差之粘性土壤時，有下列影響：

- 1.內摩擦角 $\psi$ 減小，土壓係數 $K_A$ 增大，摩擦係數相對減低，設計上就必須增加薄片帶長度或根數，材料費增加。
  - 2.施工性及排水性惡化，使壁面垂直度和直線性發生偏差，外觀也較差。為使土粒與薄片帶之間摩擦力增加及均勻分佈，施工時可在薄片帶之上下面(即與薄片帶土粒接觸處)鋪放薄砂層。
- (二).填土材料酸鹼度PH值影響金屬材料之耐久性，若PH值能保持在中性，則此填土材料較合適，一般填土土質規定PH值在6-10，超過此範圍應避免使用。
  - (三).填土材料之電氣抵抗，影響金屬材料之電蝕性，若填土土質電氣抵抗愈高，則金屬材料電蝕現象愈小，一般規定電氣抵抗值最小為5000Ωcm，尤其是使用在電車道附近之填土時，更需考慮。

# 第五章 設計

## 一、基本方針：

(一).內部安定之檢討，考慮薄片帶受到拉張力作用之安全性。

1.薄片帶受到拉張力時，其和土粒間發生相當相對變位之可能性。即薄片帶是否被拔出之檢討。

2.薄片帶受到拉張力時，其被拉斷和連結螺釘被剪斷之可能性。

(二).外部安定之檢討：考慮填土土體整體之安定性。與擋土牆(retaining wall)設計時考慮狀況相同：

1.填土土體傾覆之可能性。

2.填土土體水平滑動之可能性。

3.填土土體基礎地盤(地基)破壞之可能性。發生穩定性破壞(stability failure)和承力破壞(bearing failure)兩種。

## 二、資料：

(一).基地地形圖(含原有構造物)：

包括平面圖(1/200 ~ 1/500)，橫斷面圖(1/50 ~ 1/100)，周圍地形圖(1/10,000 ~ 1/25,000)

(二).基地之地質、土質：

鑽探資料，剪斷係數 $C$ ， $\phi$ ，軟弱地層之壓密特性( $e$ -log $P$ 曲線，斜率)標準貫入試驗 $N$ 值。

(三).填土之計劃斷面(含用地界線)

(四).填土材料之土性(含 $\gamma$ ,  $C$ ,  $\phi$ )

(五).載重條件

(六).設置目的及用途

## 三、設計上之假設：

(一).假設摩擦係數一定，且摩擦作用均勻分佈於薄片帶全部。

(二).土壓係數採用庫侖土壓公式。

(三).填土土體內部有穩定區和破壞區，這些區域境界面雖然不完全在庫侖定律的主動破壞面上，但是在設計上當作一致。

(四).前述破壞區中之薄片帶長度。設計上作為無效長度 $L_0$ 。

(五).前述穩定區中之薄片帶長度，設計上作為有效長度 $L_e$ ，故薄片帶總長度：

$$L = L_e + L_0。$$

(六).薄片帶拉應力發生最大之處，即在前述穩定區和破壞區之境界面，應力計算時，此處當作覆面版和薄片帶之連結位置。

(七).覆面版背面的填土土粒，僅為防止溢出而攔住，沒有強大的土壓力作用。

(八).填土土體內部有粘著力之作用存在。

#### 四、設計演算：

(一).設計條件：

1.設計外在條件：

薄片帶垂直間隔 $\Delta H$ ，填土高度 $H$ ，薄片帶長度限制覆面版厚度、寬度、長度。

2.地基諸條件：

覆面版背面與垂面交角  $\beta$

地表面與水平面交角  $\alpha$

覆面版與土體摩擦角  $\delta$

薄片帶與土粒摩擦係數  $\mu$

土粒內摩擦角  $\phi$

土壓水平地震係數  $K_H$

土壓垂直地震係數  $K_V$

3.載重量：

填土土粒單位重量  $\gamma_t$

路面鋪設材料單位重量  $w$

活載重量  $q_e$ ，其他靜載重  $W$

4.材料規格：

薄片帶寬度  $b$ (一般採用100mm或80mm)

薄片帶厚度  $t$ (一般採用3.2或4.5mm)

螺釘直徑  $d$

5.材料容許強度：

鋼料張力強度  $\sigma_t$

鋼料壓力強度  $\sigma_c$

螺釘剪力強度  $\tau_s$

地震容許應力強度增加率  $m$

混凝土容許壓力強度  $\sigma_a$

6.安全係數：薄片帶與土壤間摩擦安全係數：平時 $F_a$ ，地震時 $F_{Ea}$ ，填土土體剪力破壞安全係數：平時 $F_s$ ，地震時 $F_{Es}$ 。

7.地基土壤承载力安全係數 $F_f$ 及縱向容許沉陷量 $\Delta S_a$ 。

(二).土壓計算：

1.載重量：載重量 $q_t = q_e + q_d$  (1)

靜載重量 $q_d = t_m W + W$  (2)

$t_m$ ：路面鋪設材料厚度。

$W$ ：其他靜載重。

2.土壓係數：庫倫土壓公式

$$\text{平時 } K_A = \frac{\cos^2(\phi - \beta)}{\cos^2\beta \cos(\delta + \beta) \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \alpha)}{\cos(\delta + \beta) \cos(\alpha - \beta)}} \right]^2} \quad (3)$$

$$\text{地震時 } K_{EA} = \frac{\cos(\phi - \theta - \beta)}{\cos\theta \cdot \cos^2\beta \cos(\delta + \beta + \theta) \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \alpha - \theta)}{\cos(\delta + \beta + \theta) \cos(\beta - \alpha)}} \right]^2} \quad (4)$$

假若 $\delta = 0^\circ$ ， $\alpha = 0^\circ$ ， $\beta = 0^\circ$ ， $K_v = 0$

$$\text{則平時 } K_A = \tan^2 \left( 45^\circ - \frac{\phi}{2} \right) \quad (5)$$

$$\text{地震時 } K_{EA} = \frac{\cos^2(\phi - \theta)}{\cos^2\theta \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin\phi \sin(\phi - \theta)}{\cos\theta}} \right]^2} \quad (6)$$

3.覆面板單位面積在第 $i$ 層所受之土壓力：

$$\text{平時 } p_i = K_A(\gamma_t \cdot H_i + q_t) \quad (7)$$

$$\text{地震時 } P_{Ei} = K_{EA}(\gamma_t \cdot H_i + q_d) \quad (8)$$

$H_i$ ：第 $i$ 層之深度。

地震時不考慮活載重之影響。

4.覆面板所附薄片帶最大水平間隔 $\Delta L_i$ 之設計。

由薄片帶容許張力強度 $\sigma_t$ 求 $\Delta L_i$ 。

已知薄片帶規格 $t \times b$ 及螺釘規格 $d$ ，

$$\text{設 } \sigma_t = \frac{p_i \cdot \Delta H \cdot \Delta L_i}{A_{nt}} \quad (9)$$



$$\sigma_{Et} = \frac{P_{Ei} \cdot \Delta H \cdot \Delta L_{Ei}}{A_{nt}} \quad (10)$$

上式薄片帶張力有效斷面積  $A_{nt} = t_e \cdot b_e$  (11)

薄片帶有效厚度  $t_e = t - t_f$  ( $t_f$ : 預計腐蝕量) (12)

薄片帶有效寬度  $b_e = b - (d + e)$  (設螺釘縱向排列) (13)

( $d + e$ ): 薄片帶螺孔直徑 ( $e$ : 一般為1mm)

則  $\Delta L_i = \sigma_t \cdot A_{nt} / P_i \cdot \Delta H$  (14)

$$\Delta L_{Ei} = \sigma_{Et} \cdot A_{nt} / P_{Ei} \cdot \Delta H \quad (15)$$

上兩式  $\sigma_{Et} = m \cdot \sigma_t$  (16)

由(14)(15)式求出之值採用實用之薄片帶水平間隔  $\Delta L_i$ 。

5. 每條薄片帶所受到之拉張力：

平時  $T_i = P_i \cdot \Delta L_i \cdot \Delta H$  (17)

地震時  $T_{Ei} = P_{Ei} \cdot \Delta L_i \cdot \Delta H$  (18)

6. 薄片帶所需要摩擦有效長度  $L_{Ei}$  之計算：

設薄片帶拔出之有效抵抗力：

平時  $S_i = T_i \cdot F_a$  (19)

地震時  $S_{Ei} = T_{Ei} \cdot F_{Ea}$  (20)

而薄片帶在填土土體內受到摩擦力

平時  $S_i = 2 \mu b N_i \cdot L_{Ei}$  (21)

地震時  $S_{Ei} = 2 \mu b N_i \cdot L_{Eei}$  (22)

式中薄片帶所受之垂直靜壓力：

$$N_i = \gamma_t H_i + q_d \quad (23)$$

則薄片帶有效長度：

平時  $L_{Ei} = F_a \cdot T_i / 2 \mu b N_i$  (24)

地震時  $L_{Eei} = F_{Ea} \cdot T_{Ei} / 2 \mu b N_i$  (25)

7. 薄片帶在主動破壞面外側之無效長度  $L_{oi}$  之計算：

平時填土土體主動破壞面與水平面夾角  $\theta_A = 45^\circ + (\phi / 2)$  (26)

地震時：

$$\theta_{EA} = 90^\circ - \tan^{-1} \left[ \frac{-\sin\phi + \sqrt{\frac{\cos\beta \cdot \sin\phi}{\sin(\phi - \beta)}}}{\cos\phi} \right] \quad (27)$$

則平時  $L_{oi} = (H - H_i) \cot\theta_A$  (28)

$$\text{地震時} \quad L_{Eoi} = (H - H_i) \cot \theta_{EA} \quad (29)$$

8. 薄片帶所需要總長度 $L_i$ 之採用：

$$\text{平時} \quad L_i = L_{ei} + L_{oi} \quad (30)$$

$$\text{地震時} \quad L_{Ei} = L_{Eei} + L_{Eoi} \quad (31)$$

採用實用薄片帶長度應大於上兩式計算之長度。而實用薄片帶長度必須符合用地寬度限制，若薄片帶長度長於用地寬度，則無法施工，必須將採用水平間隔 $\Delta L_i$ 減少，再從薄片帶拉力 $T_i$ 開始重新設計薄片帶長度，使其小於用地寬度限制為止。

## 五、內部安定之檢討

(一). 薄片帶拔出之安全係數檢討：

由合於設計條件之實用水平間隔 $\Delta L_i$ 和長度 $L_i$ 計算各層薄片帶之拉力 $T_i$ 。

由(17)(18)兩式可求出：

$$\text{平時} \quad T_i = P_i \cdot \Delta L_i \cdot \Delta H \quad (32)$$

$$\text{地震時} \quad T_{Ei} = P_{Ei} \cdot \Delta L_i \cdot \Delta H \quad (33)$$

次求薄片帶每層之有效長度 $L_{ei}$

$$\text{平時} \quad L_{ei} = L_i - L_{oi} \quad (34)$$

$$\text{地震時} \quad L_{Eei} = L_i - L_{Eoi} \quad (35)$$

式中 $L_{oi}$ 和 $L_{Eoi}$ 為(28)(28)兩式所求出者。

再求薄片帶每層之有效抗拉力 $S_i$ ，可由(21)(22)兩式求出：

$$S_i = 2 \mu b N_i \cdot L_{ei} \quad (36)$$

$$S_{Ei} = 2 \mu b N_i \cdot L_{Eei} \quad (37)$$

則可由(32)、(36)和(33)、(37)各求出薄片帶拔出之安全係數 $f_{ai}$ ：

$$f_{ai} = S_i / T_i \quad (38)$$

$$f_{Eai} = S_{Ei} / T_{Ei} \quad (39)$$

若 $f_{ai} > F_a$ 及 $f_{Eai} > F_{Ea}$ 則設計完善

若 $f_{ai} < F_a$ 或 $f_{Eai} < F_{Ea}$ 則設計不完善

需從實用 $L_i$  (或 $\Delta L_i$ )調整再予檢討。

(二). 薄片帶拉斷及螺釘剪斷之檢討：

薄片帶拉斷及螺釘剪斷之檢討，應從薄片帶產生最大拉力之處核算。

設薄片帶發生最大拉力於第m層，其拉力

$$\text{平時} \quad T_m = P_m \cdot \Delta L_m \cdot \Delta H \quad (40)$$

$$\text{地震時} \quad T_{Em} = P_{Em} \cdot \Delta L_m \cdot \Delta H \quad (41)$$

1.薄片帶之有效張力斷面積由(11)、(12)、(13)式求得

$$A_{nt} = (t - t_f) \{b - (d + e)\} \quad (42)$$

則此層薄片帶之張力強度

$$\sigma_{mt} = T_m / A_{nt} \quad (43)$$

$$\sigma_{Emt} = T_{Em} / A_{nt} \quad (44)$$

若  $\sigma_t > \sigma_{mt}$  及  $\sigma_{Et} > \sigma_{Emt}$  則完善

若  $\sigma_t < \sigma_{mt}$  或  $\sigma_{Et} < \sigma_{Emt}$  則不完善

2.薄片帶之有效壓力斷面積

$$A_{np} = (t - t_f) d \cdot n \quad (45)$$

上式假設每條薄片帶由縱向螺釘n支連結。

則第m層之最大薄片帶壓力強度

$$\sigma_{mc} = T_m / A_{np} \quad (46)$$

$$\sigma_{Emc} = T_{Em} / A_{np} \quad (47)$$

若  $\sigma_c > \sigma_{mc}$  及  $\sigma_{Ec} > \sigma_{Emc}$  則完善

若  $\sigma_c < \sigma_{mc}$  或  $\sigma_{Ec} < \sigma_{Emc}$  則不完善

3.第m層之最大螺釘剪力強度

$$\tau_m = T_m / (1/4) \pi d_e^2 \cdot n \quad (d_e : \text{螺釘有效直徑}) \quad (48)$$

$$\tau_{Em} = T_{Em} / (1/4) \pi d_e^2 \cdot n \quad (49)$$

若  $\tau_s > \tau_m$  及  $\tau_{Es} > \tau_{Em}$  則完善

若  $\tau_s < \tau_m$  及  $\tau_{Es} < \tau_{Em}$  則不完善

若有不完善情形存在，則需考慮各情形重新設計。

## 六、外部安定之檢討

強化土填土土體外部安定之檢討，可依重力式擋土牆(gravity wall)之穩定分析檢核其安定性。其考慮之作用力有背面土壓作用力，填土土體本身荷重力，及地基支持力之大小，所發生之現象有傾覆、水平滑動及地基土壤之破壞等三種。

(一).傾覆及水平滑動現象在一般的強化填土土體不易發生，僅在填土填土基地甚窄，薄片帶鋪設長度受到限制填土高度甚高時，始易發生而需檢討其傾覆及水平滑動之可能性。

(三).地基土壤之破壞，發生穩定性破壞，即考慮圓弧轉動破壞(Curvilinear Rotational Failure)和承力破壞(Bearing Failure)兩種。

### 1.圓弧轉動破壞

(1).破壞面假設不通過底部硬土層，而穿過填土土體之方式有二：

A.破壞面穿過薄片帶鋪設區域，為考慮因薄片帶存在，兩增加破壞抵抗力矩有二種方法被採用：

(A).增加凝聚力 
$$C' = \frac{R_T}{\Delta H \cdot \Delta L} \frac{\sqrt{K_p}}{2} \quad (50)$$

$R_T$ ：薄片帶一根之張力強度。

$K_p$ ：庫倫被動土壓係數。

(B).在圓弧破壞面後方之薄片帶增加摩擦抵抗力，以增加圓弧破壞抵抗力矩。

B.破壞面不穿過鋪設薄片帶區域。

由破壞面穿過土體考慮受力情形有上述二種方式可任選擇較適宜一種。一般因破壞面穿過薄片帶區域計算較複雜，故常採用不穿過者。

(2).由地層之三軸壓縮試驗及壓密試驗資料，求內摩擦角 $\phi$ ，和未填土前載重 $P_0$ 及凝聚力 $C_0$ 。

(3).由基地各層土壤之深度、厚度、單位重量及地下水位高度等資料，計算出各土層填土後之載重力 $P$ 。

(4).計算粘土層於填土後之凝聚力 $C$ 。

(5).應用上述資料作圓弧轉動破壞分析，可採用各種方法，如Peterson法(圓弧分析法)，Fellenius法(切片分析法)，Taylor法(摩擦圖法)及Bishop法等選擇較適宜之一種。計算出剪力破壞安全係數 $f_s$ 。

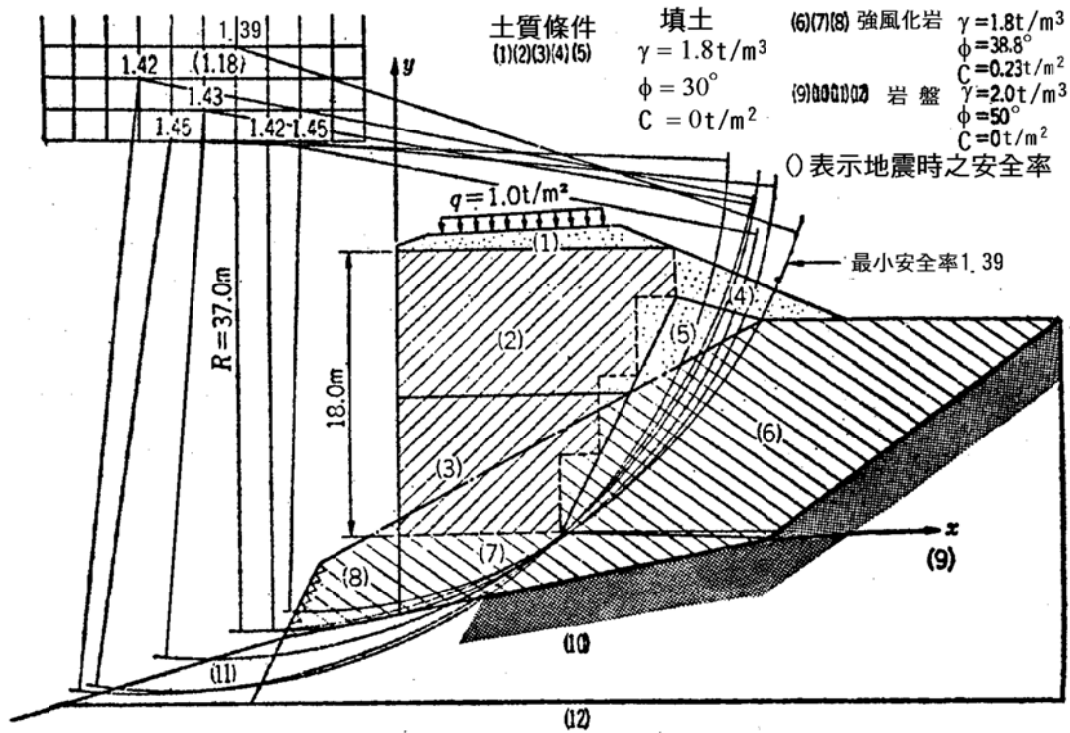
$$f_s = M_r / M_o \quad (51)$$

$M_r$ ：在圓弧破壞中，總抗剪力對圓心的抵抗力矩(Resisting Moment)。

$M_o$ ：在圓弧破壞中。總剪應力對同圓心的傾轉力矩(Overturning Moment)。

所計算之安全係數，取最小之一點，並標出圓心位置及半徑，如圖(m)所示，作為檢討剪力破壞安全係數之依據。此最小安全係數 $f_s$ 必須大於容許剪力破壞

安全係數 $F_s$ 。因計算非常繁雜，一般採用電子計算機計算。



圖(m) 圓弧轉動破壞檢討實例

2.承力破壞：考慮即時載重量及沉陷量。

- (1).即時載重：若基地地層含有粘土層，此粘土層初期凝聚力 $C_o$ ，根據填土條件查得土壤邊坡之穩定因數值 $N_s$ ，則由設計填土重 $\gamma_t \cdot H$ 及總載重量 $q_t$ 求得填土穩定所需之最小凝聚力 $C_d$ ，

$$C_d = \frac{\gamma_t \cdot H + q_t}{N_s}$$

設計斷面之卸時載重對基地粘土層之安全係數 $F$ ， $F = C_o / C_d$ ，地基載重之容許安全係數 $F_f$ ，若 $F > F_f$ ，則即時承載重量穩定，若 $F < F_f$ ，則即時載重不安定，其一次填土高度必須加以限制，一次填土高度 $H_f$ ，

$$H_f = \frac{C_o \cdot N_s}{\gamma_t \cdot F_f}$$

在填土至比高度時，需考慮粘土層經過一段時間，給予壓密作用後，始可再行填土。

- (2).沉陷量：使用金屬覆面板時，因有相當的可撓性，故沉陷量較無問題。使用混凝土覆面板時。則需考慮其縱向不同沉陷量。若填土地層有粘土層其填土前後之承載重量為 $\sigma_o$ 及 $\sigma_f$ ，並由壓密試驗繪出壓力與空隙比關係曲線，求得填土前後之空隙比為 $e_o$ 及 $e_f$ ，則此土層之沉陷量 $\Delta H$ ，

$$\Delta H = H_o \frac{e_o - e_f}{1 + e_o}$$



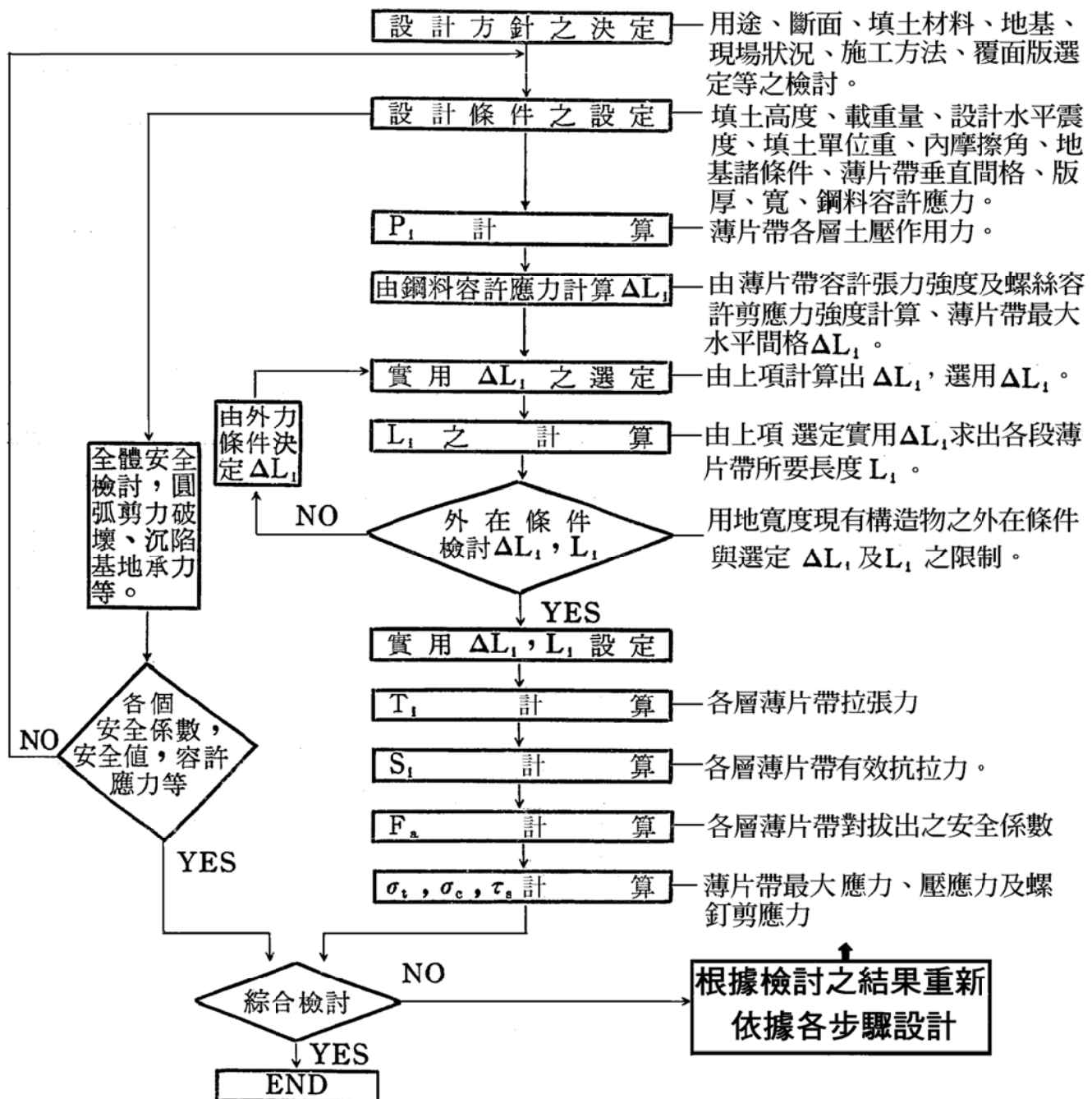
$$\text{或 } \Delta H = \frac{H_o}{1+e_o} C_c \log_{10} \frac{\sigma_f}{\sigma_o}$$

$H_o$ ：粘土層厚度

$C_c$ ：壓力與空隙比關係曲線(半對數)斜率。

在設計平面圖及地形圖上找出沉陷量變化較大之兩相鄰點，求其沉陷量之差。設在a、b兩相鄰點之距離為 $l$ ，其沉陷量各為 $\Delta H_a$ 及 $\Delta H_b$ ，則其縱向不同沉陷量 $\Delta S$ ， $\Delta S = (\Delta H_a - \Delta H_b) / l$ ，容許縱向不同沉陷量為 $\Delta S_a$ ，若 $\Delta S > \Delta S_a$ ，則不合條件，需改良地質，期能達到 $\Delta S < \Delta S_a$ 。

## 七、設計流程圖



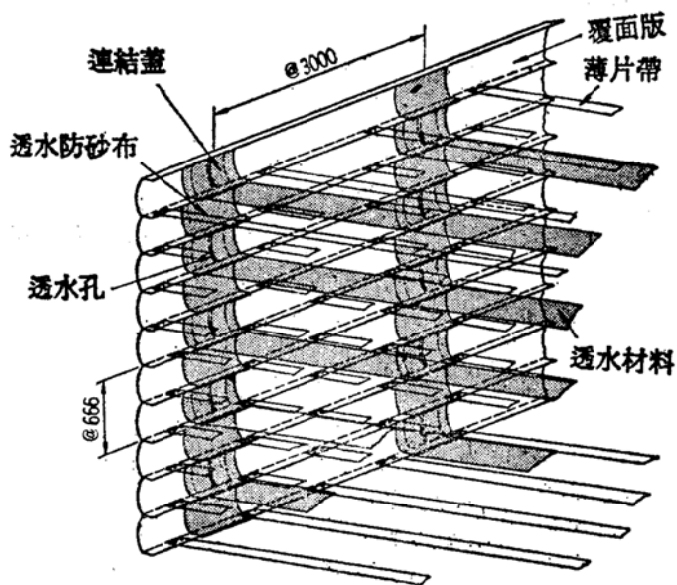
## 第六章 施 工

- 一、**清理及整理基地**：清理施工基地，清除地表雜物，並挖出軟弱土方，至良好土層，以貫入計(Penetrometer)試驗地耐力，至合於要求。
- 二、**排水截水層之鋪設**：施工基上於清理整平後，以 $\phi$  5cm以下之粗碎石料鋪設排水層，一般的60~100cm厚，分兩層或3層施工，以推土機(Bulldozer)推平，震動壓路機(Vibrating Roller)壓實。若內側走山壁且湧泉多時，應於山壁上適當間距先設置截水多孔暗管，然後再作填土施工。
- 三、**覆面版基礎之設置**：
  - (一).**混凝土覆面版**：需依基地地耐力之情況，作各式基礎。若地耐力良好，則可使用預鑄混凝土基礎塊作為枕樑。若地耐力較差，則需現場灌注混凝土或鋼筋混凝土作基礎。基礎面若不平坦，需以水泥漿填平。
  - (二).**金屬覆面版**：在覆面版最下層的接地部份鋪一層細砂約30cm深，50cm寬，使覆面版堅固密接，不需另作基礎。
- 四、**覆面版之組立**：
  - (一).**混凝土覆面版**：使用吊車吊放覆面版施工時，對準標樁及水平線，用木棒調整水平度及上下連結孔之位置。於覆面版間水平結合處，墊水平墊塞片，於垂直結合處填垂直填縫條。覆面版之垂直坡度一般保持1/100或保持完全垂直。
  - (二).**金屬覆面版**：覆面版最下三層無法自立，需於前面2m處打設支柱支持之。覆面版組立時，左右相鄰以連結蓋用螺釘先輕栓，一層全部連結後，下層及標樁、水平線用木棒調整至正確位置後，將螺釘栓緊。為防止土粒流失，於連結蓋內側鋪放透水防砂布(2cm厚、33.3cm寬)。並於此部份縱向鋪設透水層，以利排水如圖(n)。覆面版之上下連結，有使用螺釘者，也有使用特殊連結器及鋼爪者，連結位置間隔依土壓之大小而定，一般深度在2.0cm以內者，間隔為100cm，2.0m至3.5m，間隔為75cm，3.5m至6m間隔的50cm.....以此類推。
- 五、**薄片帶之裝設**：在覆面版組立後，依設計之間隔垂直於覆面版，以螺釘連結薄片帶。薄片帶依設計之長度，水平直線鋪放，若需銜接數段時，不可有折角發生。鋪設時不可置於石塊上，且需與土粒密接。因各層長度不同，為易於辨別，可在覆面版之薄片帶連接

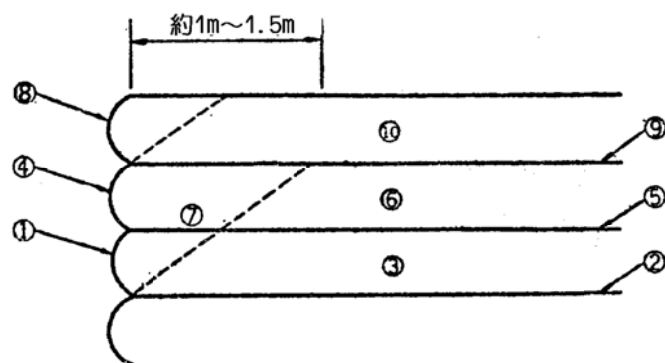
帶上註明長度。每層薄片帶全部裝設完成後，始可填土。

## 六、填土材料堆置及輾壓：

- (一).填土材料需先放置於覆面版附近，然後向後方順次堆置，不可分散直接放置。
- (二).土方推平至一定厚度時(鬆方約30cm)，始行輾壓(壓實後約為25cm)。
- (三).輾壓時壓路機平行覆面版方向行駛，但必須從覆面版附近開始，漸向後側輾壓。
- (四).施工機具不可在施工中於有薄片帶區域急轉彎，以避免擾動薄片帶。
- (五).施工機具不可直接接觸行駛在薄片帶上，且機件需注意不可接觸碰撞到薄片帶，以避免薄片帶斷裂。
- (六).在距覆面版1.5m以內區域，不可用壓路機輾壓，以避免破壞覆面版。可使用小型震動式土壓機(Soil Compactor)或夯土機(Tamper)以人工操作，將覆面版附近土方壓實，且使連結蓋之透水孔，透水防沙布及土粒密接。
- (七).輾壓至設計壓實度以上，現場試驗認可，且需保持地面平坦，以便薄片帶之鋪放。
- (八).金屬覆面版之作業順序如圖(O)所示。



圖(n) 填土內之牌工



- ①④⑧覆面版組之
- ②⑤⑨薄片帶鋪設
- ③⑥⑩填土推土車輾壓
- ⑦覆面版附近壓實

圖(o) 作業順序

## 第七章 建集基地填築工程實例報導

民國六十四年在日本新瀉市內，以強化土填土施工法填築建築基地，其填土垂面總長度103.5m，填土高度12m，採用混凝土覆面版，鋪設覆面版面積有1053m<sup>2</sup>，於六月二日開工，七月四日完工，工期僅約一個月，其完工後如照片(15)所示，非常美麗壯觀。



圖15. 完成後新瀉市丘宅造地

本工程設計條件如下：

- (一).覆面版：混凝土覆面版，上部厚度用18cm，下部用22cm，形狀同為150cmx150cm十字形。
- (二).填土材料：單位體積重量  $\gamma_t=1.8t/m^3$   
內摩擦角  $\phi=36^\circ$
- (三).高度：填土高度  $H=12.0m$   
薄片帶垂直間隔  $\Delta H=0.75m$   
表面填土高度  $t_m=1.0m$
- (四).設計水平震度： $K_H=0.2$
- (五).載重量：集中載重十雪載  $q_e=0.6t/m^2$
- (六).土粒和薄片帶之摩擦係數  $\mu=0.4$
- (七).金屬材料規格：薄片帶寬度  $b=10cm$   
薄片帶厚度  $t=3.2mm$

薄片帶預計腐蝕量	$t_f=1.0\text{mm}$
螺釘外經	$d=19\text{mm}$
螺釘有效截面積	$A_e=2.133\text{cm}^2$

(八).金屬材料容許應力張度：

薄片帶張力強度	$\sigma_t=1.6t/\text{cm}^2$
螺釘剪力強度	$\tau_s=0.9t/\text{m}^2$

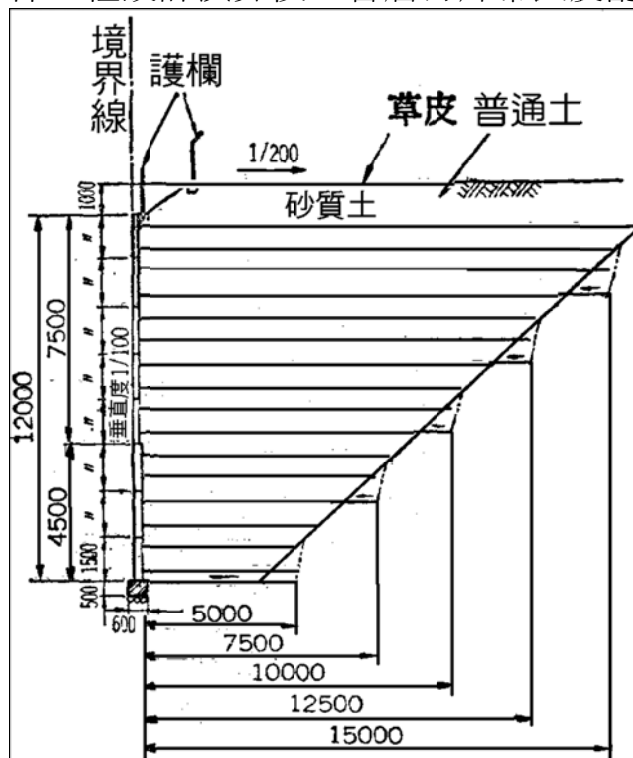
(九).第震時容許應力增加率  $m=1.5$

(十).土粒和薄片帶間摩擦安全係數：

平時  $F_a=3.0$

地震時  $F_{Ea}=1.5$

根據設計條件，經設計演算後，各層薄片帶長度配置如斷面圖(P)所示。



圖(P) 各層薄片帶長度配置如斷面圖

為探求施工後實際狀況，是否符合設計條件及安全性，本工程特別再做各種確性試驗及動態觀測。

(一).確性試驗：

1.薄片帶張力強度之測定：

為正確測定薄片帶各層及各位置所受張力大小，使用鋁合金製溝形鋼，在溝形鋼中線裝置張力計(strain gage)如照片(16)所示。此鋁合金溝形鋼埋設於填土土體內，位置如圖(q)所示。

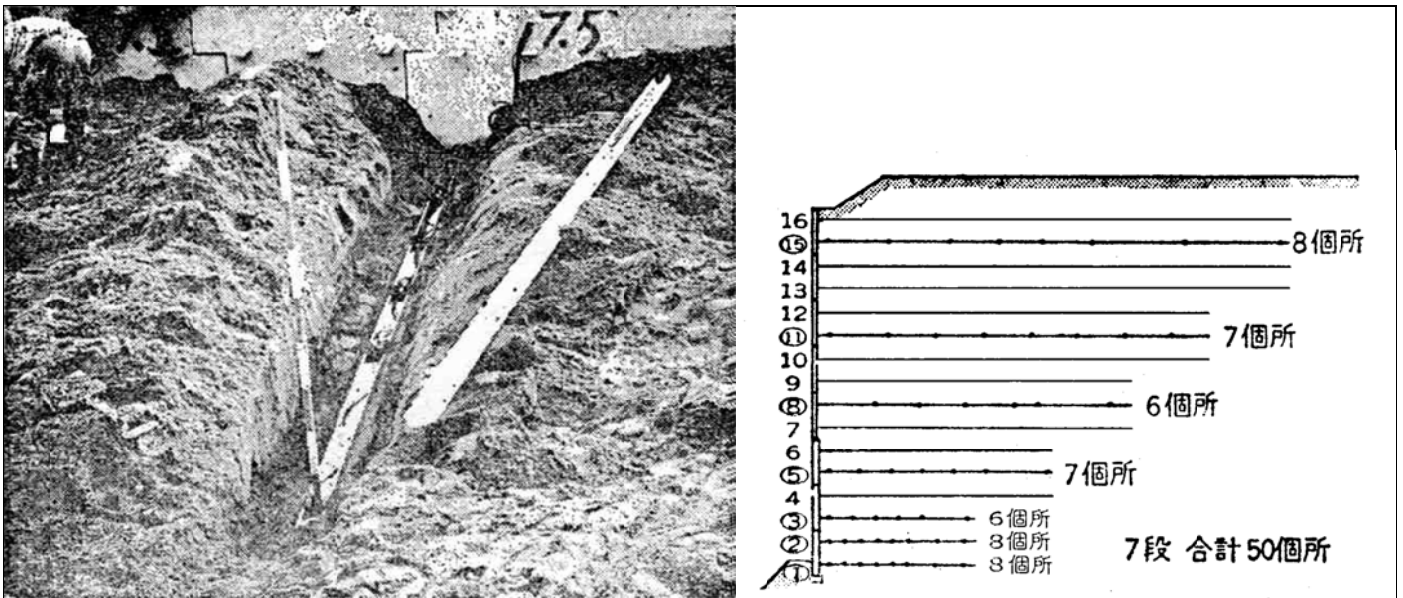
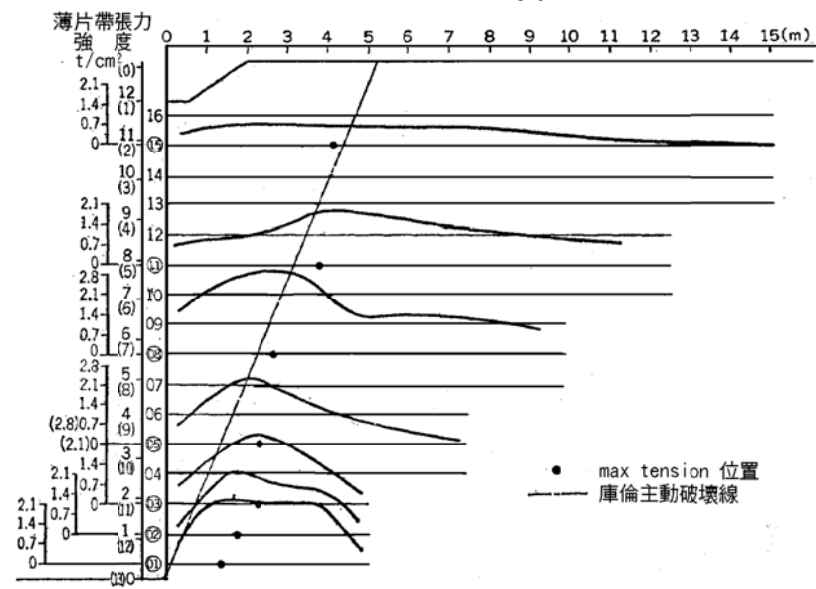


圖16. 引張應力度測定用鋁合金溝形鋼設置狀況(左)。圖(q)測定點全體圖(右)

於填土後測得各層張力強度曲線如圖(r)所示。



圖(r)薄片帶張力強度測定結果。

由上圖資料得悉，薄片帶所受張力最大之點，為沿看庫倫主動破壞線呈對數螺旋曲線存在，在覆面板附近之張力趨近於零，異於一般地錨工法。由此現象可推測所謂穩定區與破壞區確實存在。經測定之各薄片帶張力強度比設計之張力強度低。

## 2. 薄片帶引拔試驗：

引拔試驗之薄片帶與其他薄片帶一樣在預定深度下埋設，試驗時以覆面板作反力壁，用中孔千斤頂(center hole jack)引拔，由伸縮計(dial gage)測其拔出量，並由所付張力計測出引拔強度 $S_i'$ ，由 $S_i'$ 求土粒和薄片帶間摩擦係數 $u'$ ，其裝置狀況如照片(17)所示。

$$\mu' = S_i' / 2 \cdot b \cdot \gamma_t \cdot H_i \cdot L_i$$

$L_i$ 此處以全長計算

由 $\mu'$ 和設計條件 $\mu$ 作檢討，應 $\mu' > \mu$

本工程所算出之 $\mu'$ 為0.412 ~ 0.937大於設計值 $\mu (=0.4)$ 。

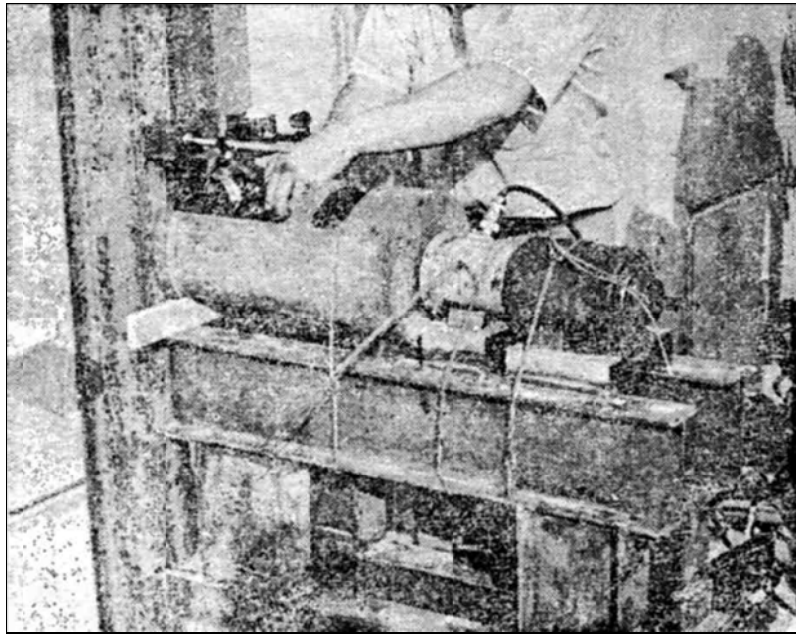


圖17. 千斤頂和伸縮計裝置狀況

## (二).動態觀測：

### 1.地基沉陷量之測定：

於填土底層預先設沉下計，連接於地基中砂礫或硬質層，於填土後間隔固定天數記錄沉陷量，至不再沉陷為止。與設計時之預估沉陷量作一比較。本工程選作二點測定地基沉陷量，如表(2)所示，比設計時之預估量下沉少許。

表(2) 地基沉陷量 單位:mm

地點	初期值	完了時	30日後	60日後	90日後
B-8	0	-20	-20	-22	-22
B-35	0	-23	-24	-25	-25

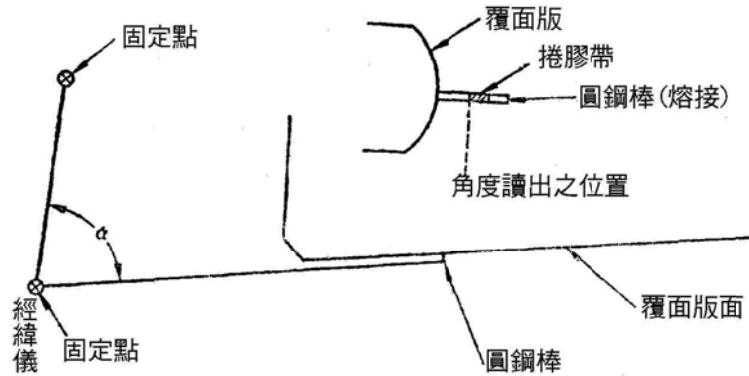
### 2.填土土體頂面沉陷量之測定：

在沉下計之頂面上打木樁，測量時以木樁和水準點之高差可測得沉陷量，測量時間與測地基沉陷量同時，可測知填土土體自行沉陷量，若壓實度大時，應於施工後沒有沉陷量。本工程在填土完工後90天內，各次測量之結果，沉陷量均為0。

### 3.覆面板位移之測定：

覆面版之位移有水平位移(凹凸位移)和垂直位移(垂直下陷)二種。

- (1).水平位移：沿看覆面版面平行之視線上設置一觀測點，並另設置一固定點量得固定角度，對準鋼棒之一定點，由此定點量出水平位移，如圖(r)所示。本工程於施工後90天，測得最大水平位移為突出3mm。其各層之水平位移如表(3)所示。



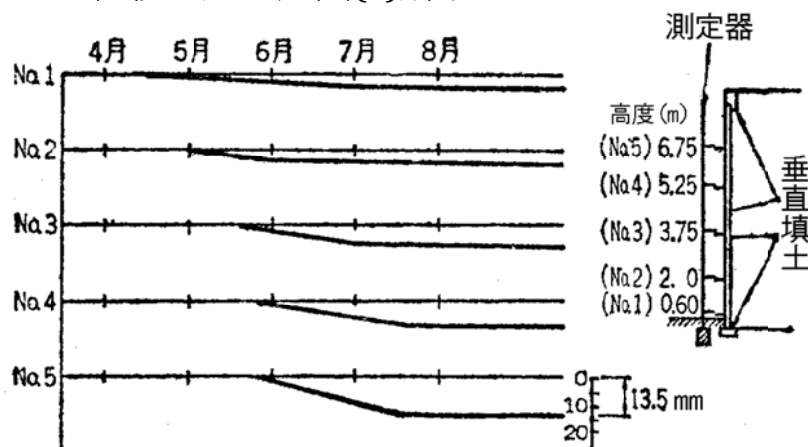
圖(r) 水平移動觀測法

表(3) 覆面版面之變化量 (水平量) (單位：mm)

	設置時 (初期值)	完了時	30日後		60日後		90日後	
			設置 時	差 前同差	設置 時	差 前同差	設置 時	差 前同差
1段	0	-4	-2	+2	不能測定			
2段	0	+2	+3	+1	+2	-1	不能測定	
3段	0	+2	+1	-1	+2	+1	+1	-1
4段	0	0	+1	+1	+1	0	0	-1
5段	0	-1	0	+1	0	0	0	0
6段	0	+1	+2	+1	+2	0	+2	0
7段	0	-1	-1	0	-2	-1	-2	0
8段	設置=完了	0	+1	+1	+1	0	+1	0

註：(+)表示凸出 (-)表示凹入

- (2).垂直位移：在覆面版之前方設置一堅固之測定器，並於各層覆面版上設定點，測量其二者高差之變化即可測得垂直位移，根據測量結果，覆面版愈下層，垂直位移愈大，如圖(S)所示。



圖(S) 覆面版垂直位移測定結果



# 參 考 資 料

- 一、テールアルメ盛土工法と問題點——1977，日本國鐵鐵道技術研究所，岩崎高明。
- 二、テールアルメ盛土工法の設計法と施工管理—1977，川鐵商事，有泉文雅等。
- 三、海外におけるテールアルメ盛土工法の現況と新しい應用分野——1977，住友商事，半谷孝壽等。
- 四、鐵道新線工事における兩面テールアルメ盛土——1977，廣瀨鋼材産業，小林和男。
- 五、宅地造成工事におけるテールアルメ盛土——1977，川鐵商事，髓口哲司等。
- 六、腹付け線増工事におけるテールアルメ盛土——1977，國鐵東京第二工事局，並川邦隆等。
- 七、道路工事における垂直盛土——1977，鹿兒島縣道路公社，中皇恭昭。
- 八、橋樑架替元工事における假設道路——1977，千葉縣南土木事務所，細谷基行。
- 九、ダム工事における山岳道路——1977，廣瀨鋼材産業，佐藤和爾等。
- 十、地盤改良の設計と施工——1964，中央開發株式會社，戶部兼雄。
- 十一、斜面安定工法——1971，日本材料學會，土質安定材料委員會。
- 十二、地すべりとその對策——1967，Zaruba & Mencl .
- 十三、Use of the Reinforced Earth System for Bridge Abutment on the Swan-port Deviation, South Austratia——1978，第二屆亞澳地區道路工程學會會議論文。
- 十四、Soil Mechanics-Prineiples and Applications——1976, Perloff & Baron.

臺灣省住宅及都市發展局用箋

顧崇謀長吾兄勛鑒：五月廿五日

惠示敬悉。承贈「垂直土壁填土施工法」一冊，拜讀之餘，深感內容新穎，論述精專，極具參考價值。已交業務單位研究採行。

貴公司承建國內外工程成績卓著，吾兄於公忙之餘，猶能兼及研究發展，可喜可賀！貴公司叢書中，如尚有可供設計與施工之類書籍，敬請再賜數冊藉供研參，專此致謝

順頌

助安

弟

卓坤墻



六十八年六月八日

(用使務公能專)

67. 12. 5,003