



12/28/2023  
台北市建築師公會

## 大地工程的災變與教訓



周南山  
台大土木系兼任教授  
土木技師/國際工程師  
nchou1031@gmail.com

# 大地工程的災變與教訓

大地工程的災變類別

案例一:基泰大直深開挖破壞

案例二:林肯大郡邊坡滑動

案例三:暨南大學綠色邊坡整治

永續/綠色大地工程

結論與建議

# 與建築相關的大地工程災變

- (1) 邊坡滑動
- (2) 落石
- (3) 土石流
- (4) 深開挖破壞
- (5) 土壤液化
- (6) 基礎承载力不足
- (7) 沈陷與不均勻沈陷
- (8) 其他



(表1) 避開4大不良區域，強化自宅安全條件

不良條件	圖解	定義	潛在風險
活動斷層帶		<p>過去10萬年內曾活動，未來可能再度活動的斷層</p>	<p>斷層錯動恐引發大地震動，而且通常離震央愈近、震度愈大</p>
順向坡		<p>地層傾斜方向與坡面傾斜方向接近或一致的山坡地</p>	<p>較容易發生順向坡滑動，而且挖除坡腳興建擋土牆後，一旦發生地震或豪雨，巨大的岩體和土石向下滑動，恐推垮擋土牆，造成嚴重破壞</p>
土石流危險區域		<p>容易受到土石流發生、流動與堆積影響的區塊</p>	<p>每逢颱風、豪大雨時，豐沛的水量很容易夾雜大量的礫石、泥沙，順著陡坡而下形成土石流，造成生命或財產損失</p>
土壤液化潛勢區		<p>容易產生土壤液化的區塊。土壤液化是指土壤顆粒間的水壓增高，顆粒間的接觸力瞬間消失而懸浮在水中失去承載能力，且當孔隙水壓過高時，水與部分砂土會經由地層中的裂隙往上衝出地面，造成噴砂現象</p>	<p>地震時，建築物可能下沉或傾斜，也容易造成地下管線的破壞</p>



# 邊坡災害成因

- 天、地、人三者之條件失衡
  - 天 – 環境因素，包括降雨及地震等，其中以降雨產生之影響最為顯著
  - 地 – 地質材料與地質構造，其中地質構造具有決定性作用
  - 人 – 人為疏失，包括規劃、設計、施工、營運與維護等

# 台北市邊坡破壞類型

● 淺層土壤滑動破壞

● 土石流

● 表層土壤沖蝕

● 近圓弧形滑動破壞

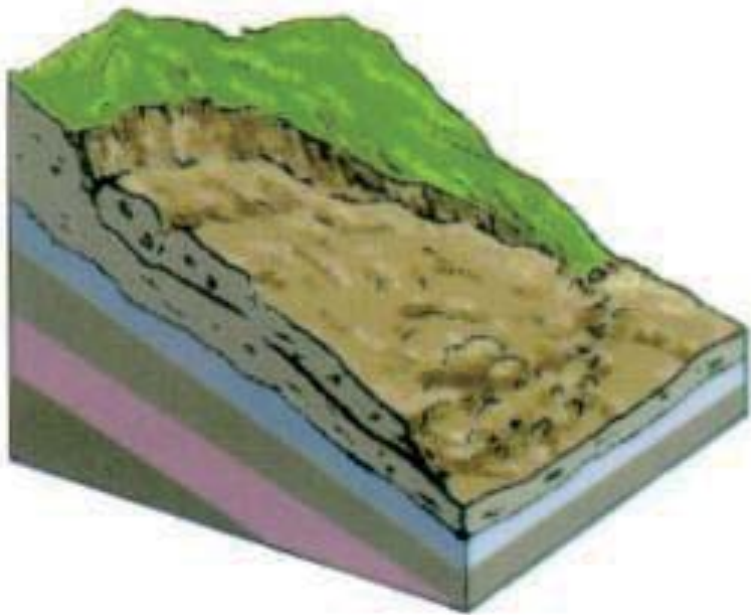
● 地層潛變位移

● 順向坡

● 落石







尼士工程顧問有限公司  
Genesis Group/Taiwan  
尼士工程顧問有限公司  
Genesis Group/Taiwan  
尼士工程顧問有限公司  
Genesis Group/Taiwan



淺層土壤滑動破壞

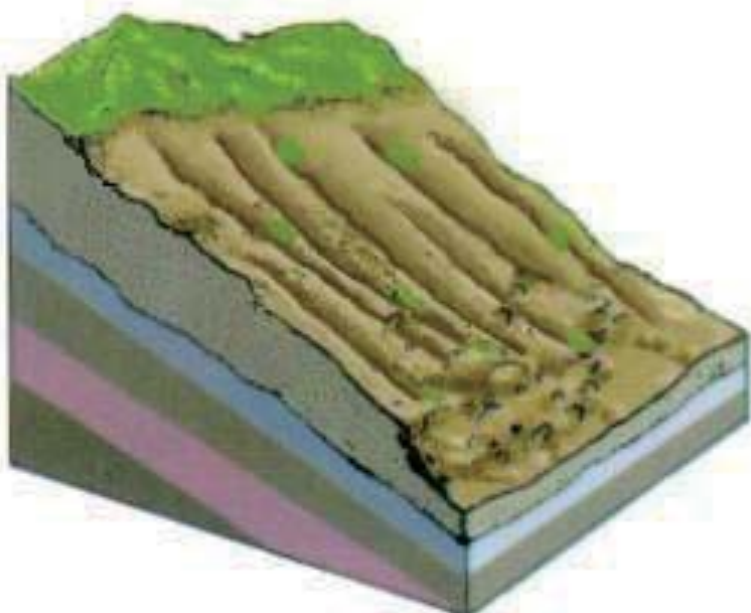
台北市邊坡

土石流

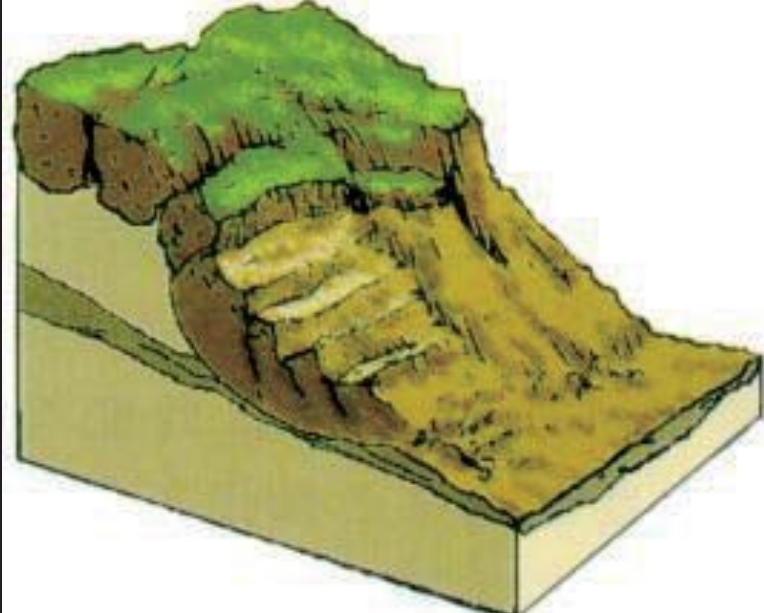
表層土壤沖蝕

破壞類型

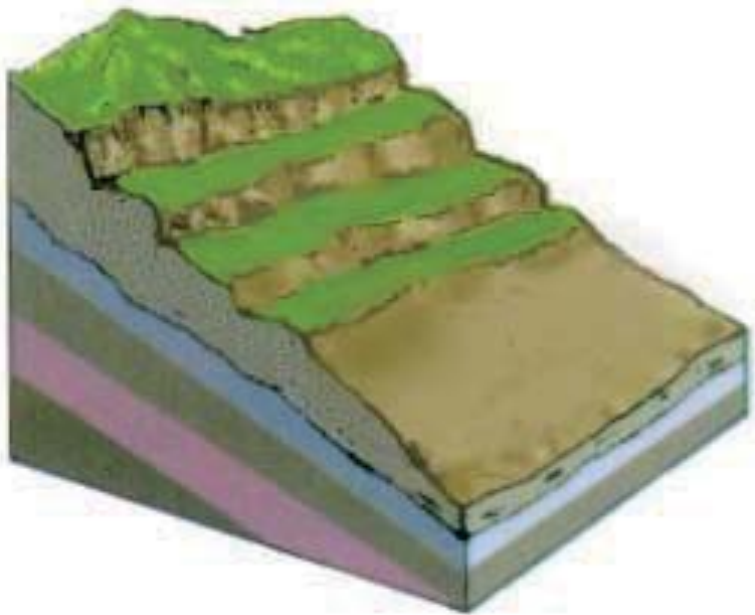
圓弧形滑動破壞



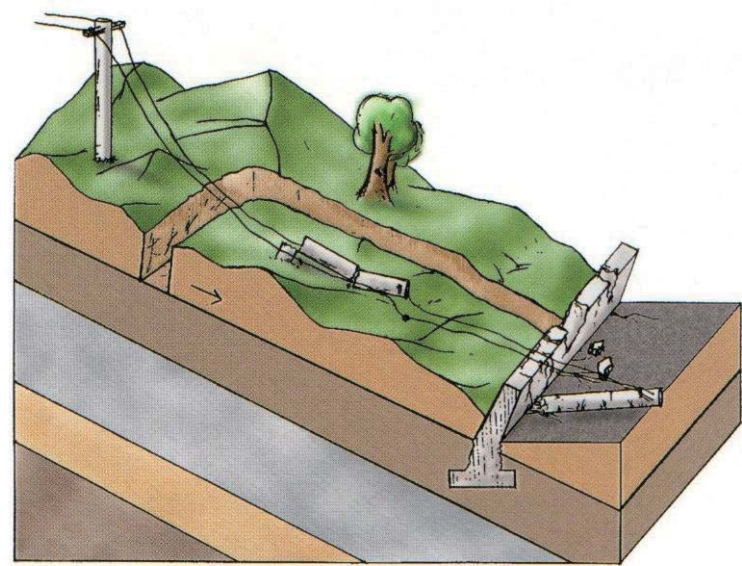
尼士工程顧問有限公司  
Genesis Group/Taiwan  
尼士工程顧問有限公司  
Genesis Group/Taiwan  
尼士工程顧問有限公司  
Genesis Group/Taiwan







尼士工程顧問有限公司  
Genesis Group/Taiwan  
顧問有限公司 聖尼士  
Group/Taiwan Gene  
尼士工程顧問有限公司  
Genesis Group/Taiwan  
顧問有限公司 聖尼士  
Group/Taiwan Gene



地層潛變位移

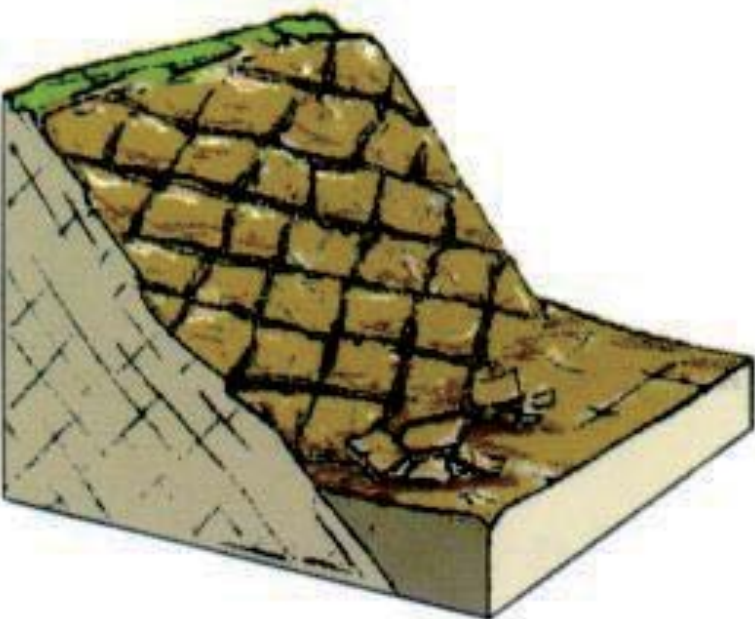
台北市邊坡

順向坡滑動破壞

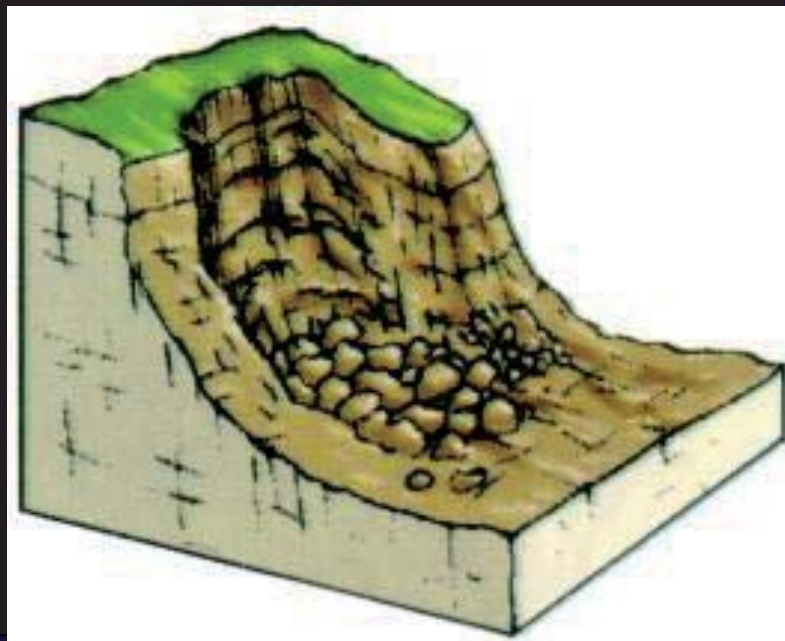
楔型破壞

破壞類型

落石



尼士工程顧問有限公司  
Genesis Group/Taiwan  
顧問有限公司 聖尼士  
Group/Taiwan Gene  
尼士工程顧問有限公司  
Genesis Group/Taiwan  
顧問有限公司 聖尼士  
Group/Taiwan Gene





## 山崩種類— 落石

- **落石**是指單獨或數個岩塊或土塊自陡坡之高處發生破壞，由於自身重力作用而產生向下墜落之運動，衝擊力量大。落石或落土與陡坡分離後，會以自由落體、滾動及跳動方式快速向下運動。落石或落土容易以個體式或零散性的方式堆積於坡腳下，墜落於坡腳下之落石呈鬆散狀堆積。







**北部**濱海公路沿線山坡地內落石的  
無預警破壞常會造成不可預期的災害

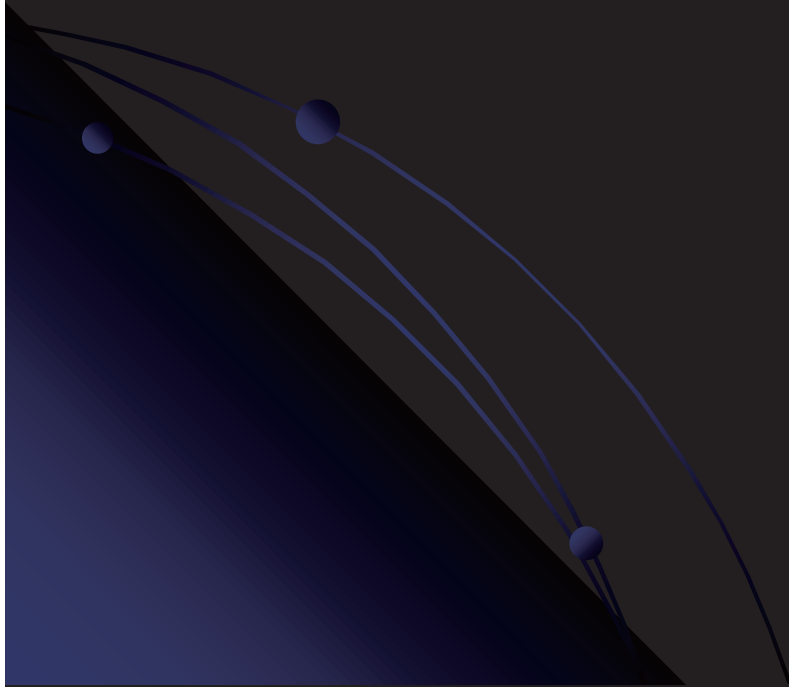


**不連續**面分割岩塊的尺寸，也是  
形成落石的原因



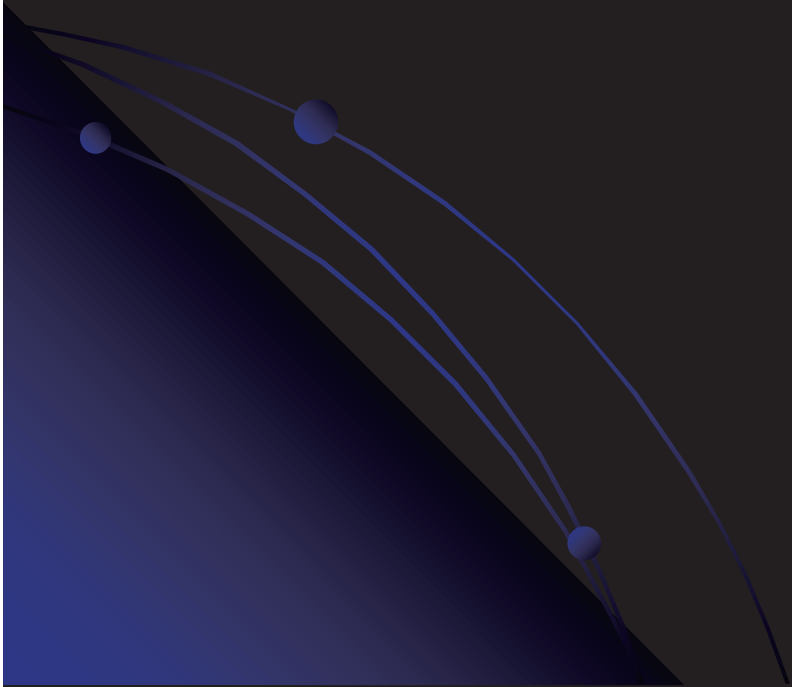
## 山崩種類二 翻覆破壞

- **地層面**不連續面的傾向與坡面的傾向近乎垂直，岩塊會沿著此地層面或不連續面，呈現高角度的翻倒墜落，



## 山崩種類三 土壤滑動

- 當坡體上的地質材料為土壤組成時，因外力作用關係，而產生向外移動，稱為土壤滑動。滑動多呈圓弧型或近似圓弧型。



## 《案例》

- **民國**73年及78年淡水米蘭山莊曾前後發生建築物在原地滑動事件；民國84年三峽白雞山莊5棟建築結構體滑動了將近50公尺，便是圓弧型滑動的案例。



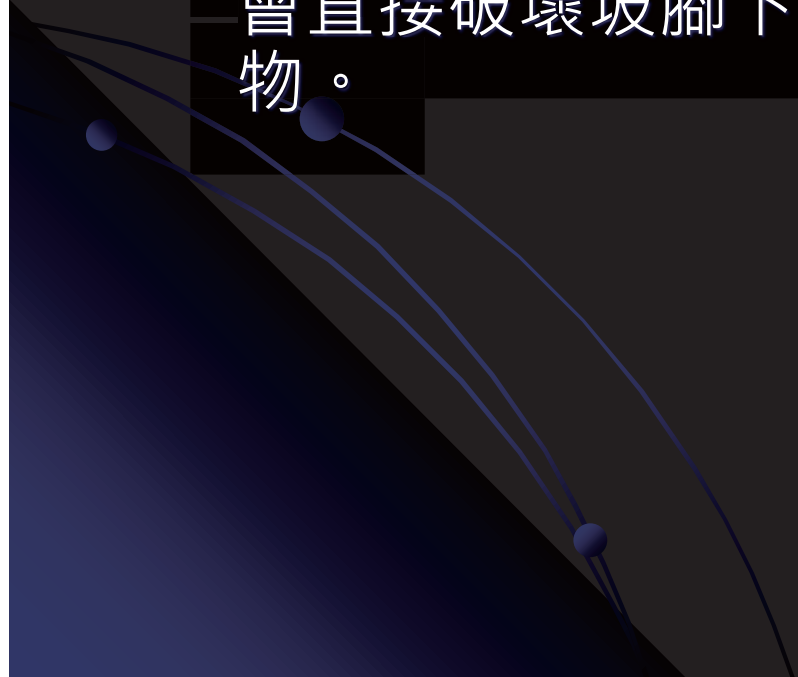
台北縣三峽白雞山莊因地層發生圓弧型滑動，造成房舍東倒西歪



## 山崩種類四 順向坡滑動

- **地層**層面的傾斜方向與其開挖面傾斜一致，形成順向坡。當擋土結構體無法阻擋順向坡坡體的下滑力量時，巨大的山崩岩塊將會直接破壞坡腳下的建築物。

地質材料力學  
實驗室



在順向坡內，沿著地層層面或與其同樣之不連續面所產生滑動破壞者。



現的

汐止林肯大郡的

順向坡的坡腳挖除後，將使底部失去支撐力而產生滑動現象





國三基隆段發生順向坡滑動



# 豚背地形

因逆向坡岩層風化崩積，易造成落石和陡峭之斷崖；而另側則為較平緩之順向坡，受砂頁岩互層差異侵蝕之結果，形成豚背地形。



## 山崩種類五 楔形滑動

- **山坡**地內之地層被三組以上不連續面切割成為楔形岩塊之岩坡稱為楔形坡。楔形坡由於坡腳的挖除或岩體內的水壓過大，使得岩體間的強度低，而產生向外位移滑動的現象，形成崩塌。





**若楔形**坡內三組不連續面交線之傾向與坡面之傾向一致，且該楔形岩塊岩此交線往下滑動，稱為楔形坡滑動。



三組不連續面所構成的楔形坡模狀式山坡地內另一個地質構造的特徵



楔形岩塊的崩落對於居住環境存在相當大的威脅



## 山崩種類六 土石流

- 土、石與水混合後所形成一種集體運動之流動體。山嶺間匯聚的土石是提供土石流材料的主要來源，土石流流動的速度塊，破壞力量無遠弗屆。



# 可怕的土石流!

- **泛指**土、石與水混合後所形成一種集體運動之流動體。
- **其中**的「土」是指泥、砂、黏土等土壤材料，  
「石」是指岩石、礫石等單獨個體的岩塊，  
「水」則是指雨水、地表水及地下水等所有水流通稱。
- **泥流**當粒徑小於2mm的細顆粒土石超過50%之集體運動的流動體稱為「泥流」。



### 發生部

一般位於  
整個溝谷  
或河谷  
流域之中  
上游或源  
頭



### 流動部

一般位於溝谷或河谷  
流域的中、下游地區



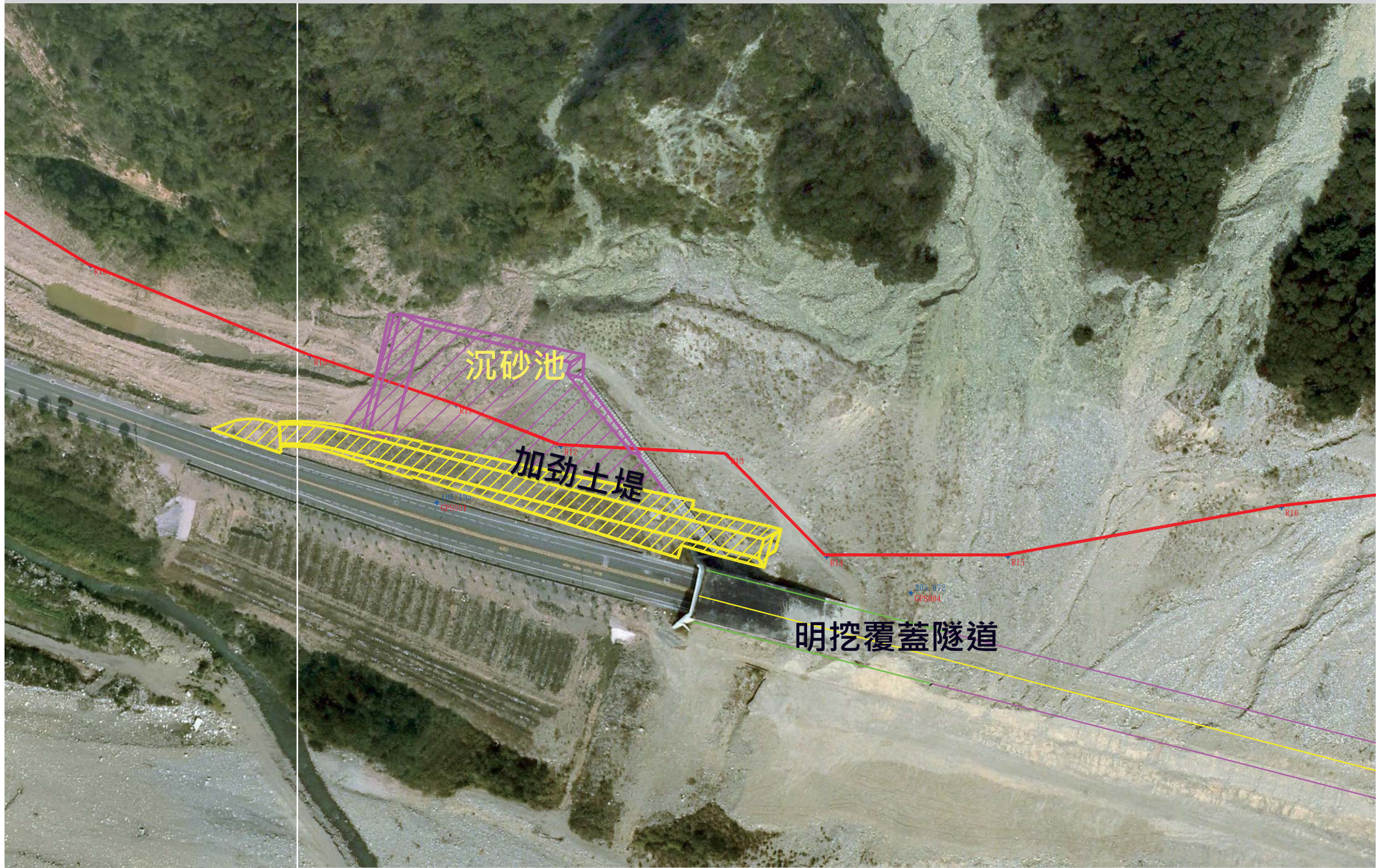
### 堆積部

多位於河谷下游的出口處





# 加勁土堤在土石流之應用





# 以加勁土堤做為土石流之導流堤

97.02完工



# 以加勁土堤做為土石流之導流堤

現況



完工至今经历过辛乐克、蔷蜜、88风灾、919水灾、桑达、南玛都等**20**个大小台风及豪大雨侵袭，加劲土堤与上部抢灾便道依旧稳定安全，且土石流亦未再由此处造成灾情。



# 邊坡穩定工法

## □ 過去

- 以工程角度主觀思考
- 大量使用噴凝土保護坡面
- 優先採用鋼筋混凝土擋土結構



# 邊坡穩定工法

---

## □ 現在

- 以工程及生態共存角度思考
- 減輕工程對環境之衝擊
- 由景觀角度檢視工程內容





# *GEOTECHNICS vs. HYDRAULICS*



**Water = Load**

**Soil = Resistance**

**岩土强度 vs. 水力冲刷**

萬山不許一溪奔，攔得溪聲日夜喧，  
到得前頭山腳盡，堂堂溪水出前村。

南宋 楊萬里



# 大地工程的災變類別

- (1) 邊坡滑動
- (2) 落石
- (3) 土石流
- (4) 深開挖破壞
- (5) 土壤液化
- (6) 基礎承载力不足
- (7) 沈陷與不均勻沈陷

# 天坑的型態區分

- 災變型天坑
- 砂湧天坑
- 擋土壁破洞天坑
- 管路漏水天坑

(感謝劉泉枝提供)



# 基礎開挖災變型天坑

- 相隔多年再度出現基泰大直災變，「地質改良在深開挖工程應用」有需要再深究。

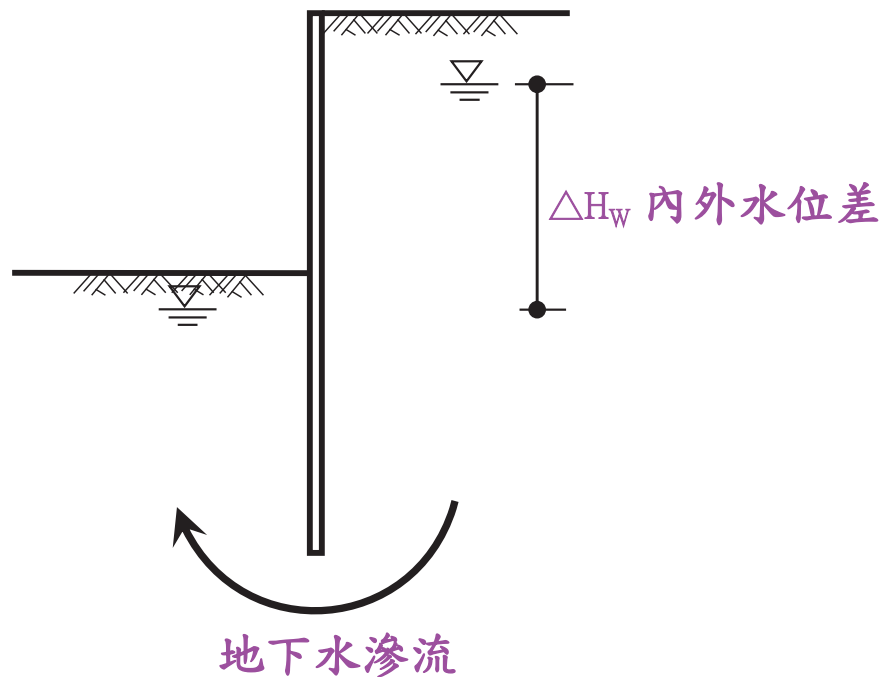


基泰大直災變(2023)

(感謝劉泉枝提供)

# 基礎開挖砂湧天坑

- 由於開挖區與擋土背側的地下水位存在著水壓差，產生了滲流壓力，當滲流力量足於帶動砂性土壤顆粒時，即我們學理上所說的土壤有效應力等於零，產生了砂湧。
- 可以延伸到其他因滲流壓力引起的災害，例如鑽探孔冒水湧砂、開挖面土壤被地下水上舉引起的砂湧、水井處理不當形成水路引起砂湧破壞等，在台北地區時有所聞。



內外高低水位差引致地下水滲流

(感謝劉泉枝提供)



# 基礎開挖砂湧天坑

- 一旦發生砂湧，短時間內擋土背側即會有小天坑發生。及時搶救可遏止事態擴大。



高雄管湧案例 (感謝劉泉枝提供)

# 連續壁破洞天坑

- 高水位砂性土層，當擋土壁破洞或有間隙，地下水夾帶砂土湧入開挖區，外側短時間內即產生天坑。



(感謝劉泉枝提供)

永和 cultural 路巷道基地連續壁破洞及天坑情況(2020)



# 連續壁破洞天坑



信義崇德街基地連續壁  
破洞及天坑情況(2023)

(感謝劉泉枝提供)

# 排樁間隙漏水湧砂

- 圖面上畫出排樁和止水樁，都是很筆直的，但是實際施工上都有垂直精度的問題。



排樁間隙漏水湧砂 (感謝劉泉枝提供)



# 型鋼+鋼板樁漏水湧砂



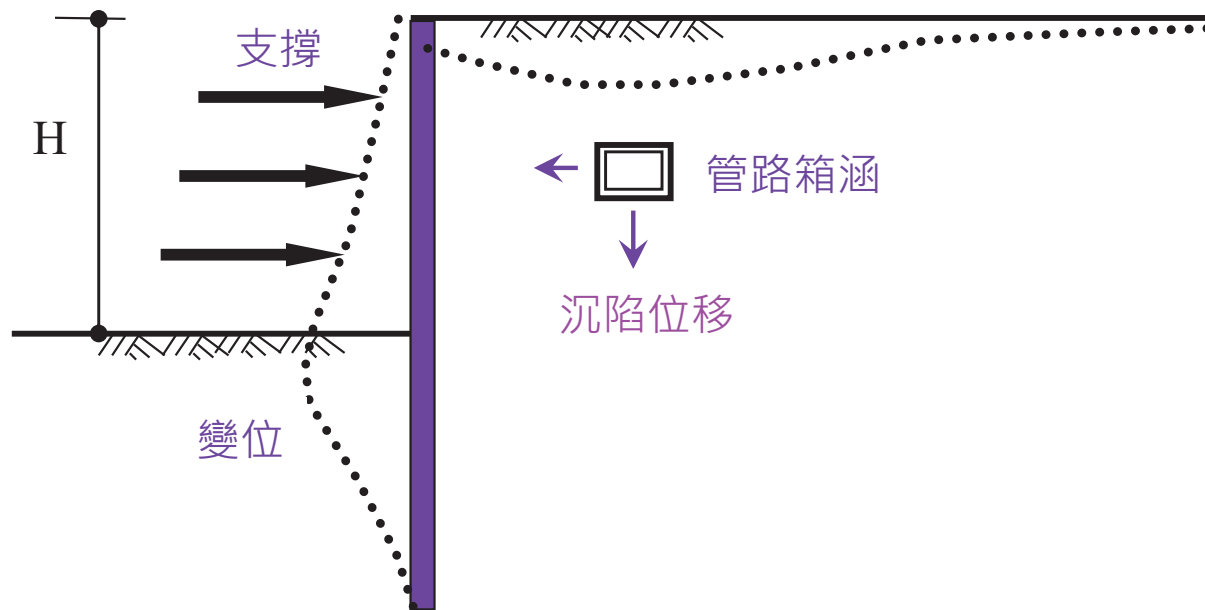
漏水湧砂

- 卡樁未入樁，或變形量太大脫樁。
- 同排樁的實務，圖說的線都可以畫得很筆直，複合工法實際上打設鋼板樁及型鋼樁受重心及操作的影響，垂直精度無法完全掌握，個別鋼板樁未如預期受力而脫樁。

(感謝劉泉枝提供)

# 管路漏水天坑

- 重車壓壞、地震、地層變動所引起。
- 須注意鄰近工地抽水，及基礎開挖引致地層的變位，造成管路鬆脫。



基礎開挖引致管路位移沉陷  
(感謝劉泉枝提供)



# 大地工程的災變類別

- (1) 邊坡滑動
- (2) 落石
- (3) 土石流
- (4) 深開挖破壞
- (5) 土壤液化
- (6) 基礎承载力不足
- (7) 沈陷與不均勻沈陷

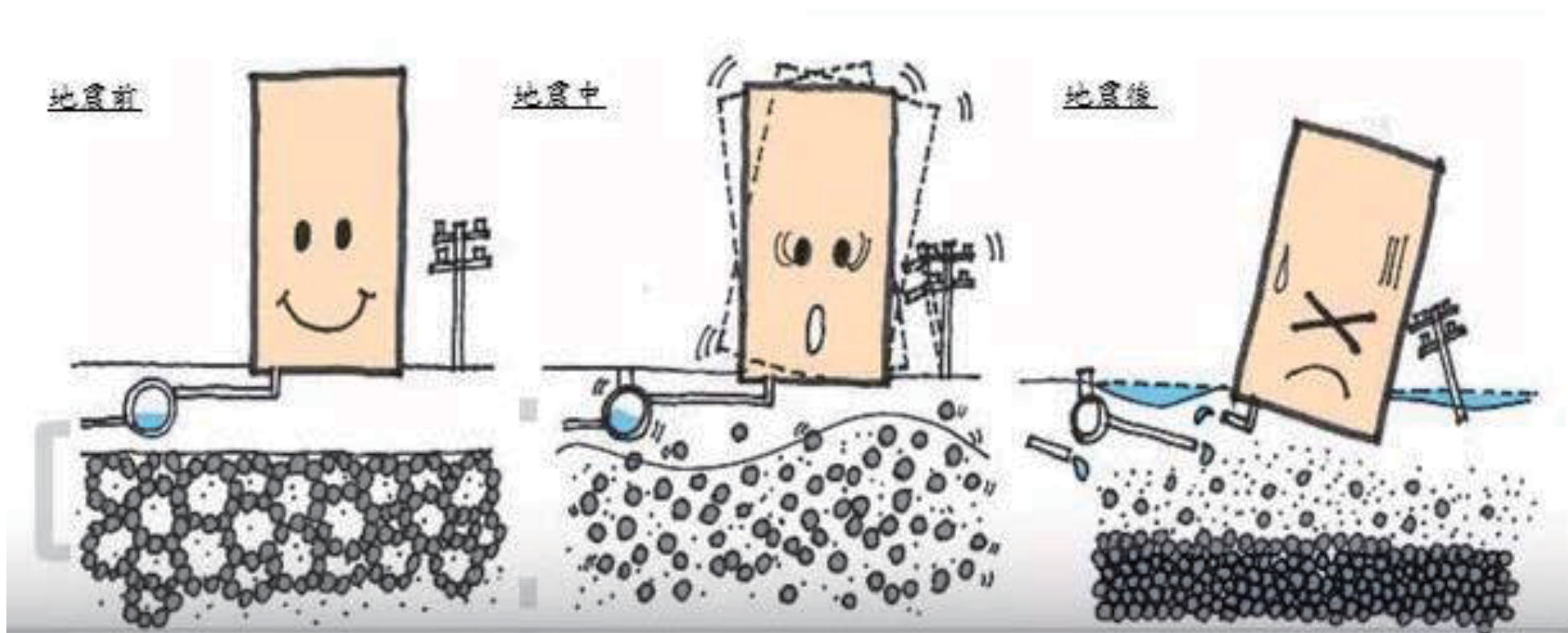
# 液化就如煮紅豆湯

- 液化是反覆震動引起砂土間的孔隙水壓力大於作用於土壤的正向壓力所造成的。
- 打個比喻，煮紅豆湯時，當鍋底的火大到可使紅豆顆粒間的水壓力大於紅豆本身的重量時，就會沸騰，也就是所謂液化。請問是深鍋較易沸騰還是淺鍋？經驗告訴我們，深鍋的紅豆較重，沸騰較不易。煮紅豆湯如此，大樓的液化亦然。
- 台南市發生液化的幾乎都是低於4層的矮房子，而維冠大樓17層高反而沒有發生液化，倒塌的原因是軟腳，與液化無關。

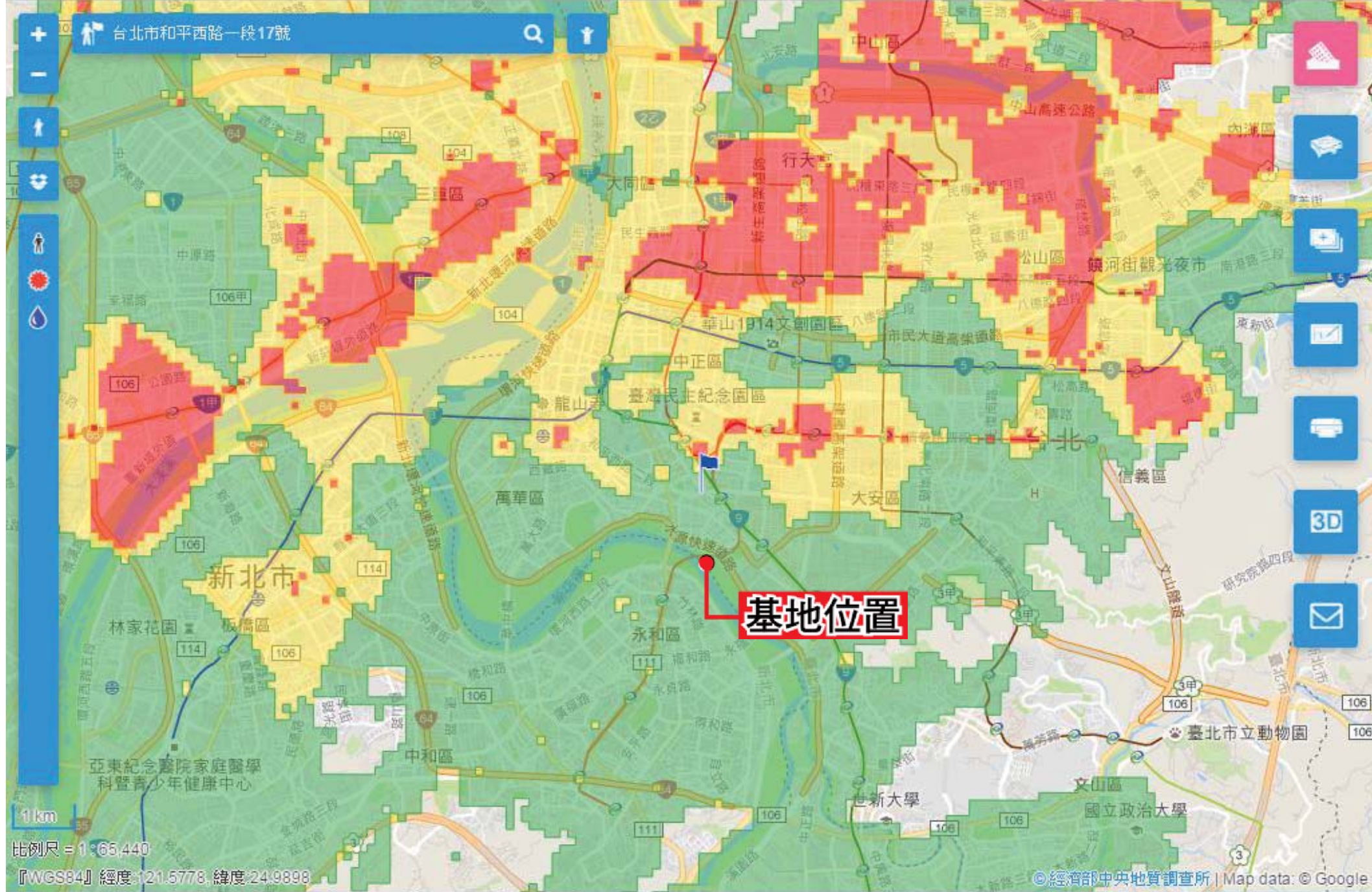


# 土壤液化三要素

疏鬆細砂 + 地下水位高 + 足夠地震力 → 土壤液化







土壤液化潛勢等級圖

## 是否符合上列三要素，就會液化？

- 不見得!
- 要看房屋是否够重？
- 是否有地下室？多深？是否把液化區之砂土挖掉？
- 是否有樁基礎？是否做過地盤改良？
- 是否有連續壁？(連續壁是否真能防止液化尚有疑問)



# 與建築相關的大地工程災變

- (1) 邊坡滑動
- (2) 落石
- (3) 土石流
- (4) 深開挖破壞
- (5) 土壤液化
- (6) 基礎承载力不足
- (7) 沈陷與不均勻沈陷
- (8) 其他

差異太大的地區(如山坡地),較不適用。

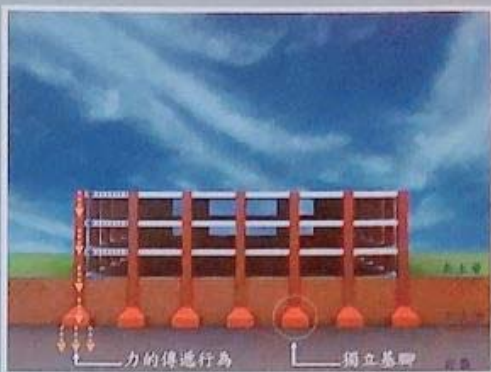
### (3) 樁基礎

將地基打至岩層,利用基樁將建築物的重量,直接傳至較深的堅硬地盤上。適用於上部結構物載重大而土壤軟弱的情況,尤其適合山坡地和土壤液化區域,但成本昂貴。

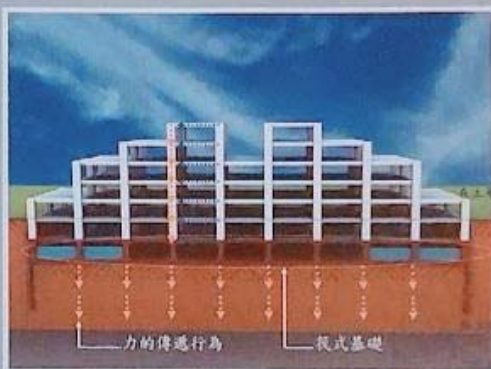
不同的基礎型式,其安全性及抗震力各有差異,比較如下:

#### 三種地基基礎特性比較

基礎型式	獨立基腳	筏式基礎	樁基礎
地形	平坦	平坦	不限
土壤承载力	良好	良好	不限
樓層高度	低矮樓層	不限	不限
山坡地	不可	視情況	很適合
土壤液化區	不可	需地質改良	很適合
抗震性	普通	良好	優良
成本	較低	一般	昂貴



獨立基腳的設計,較適用於樓高五層或20公尺以下的建築物。



筏式基礎較適用於地質條件良好的區域。



基樁直接深入較深的地盤中,較適用於大型建築物或地質軟弱的地區。

# 大樓基礎的比較

(取材自:  
尋找夢想的家)





部份地區之施工  
品質不佳  
(填方持續沈陷)



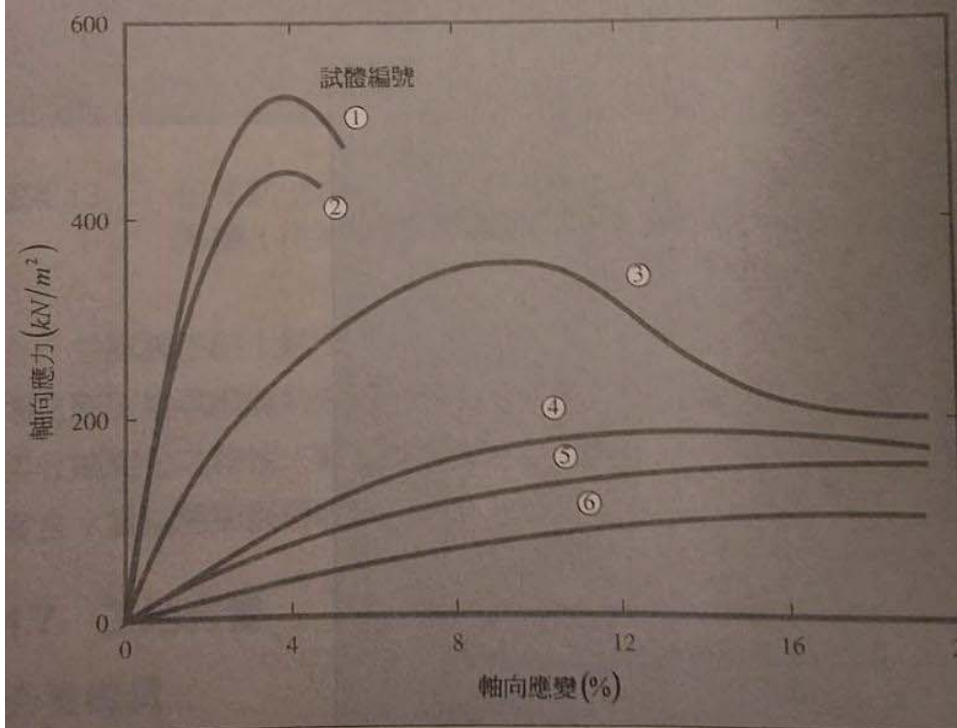
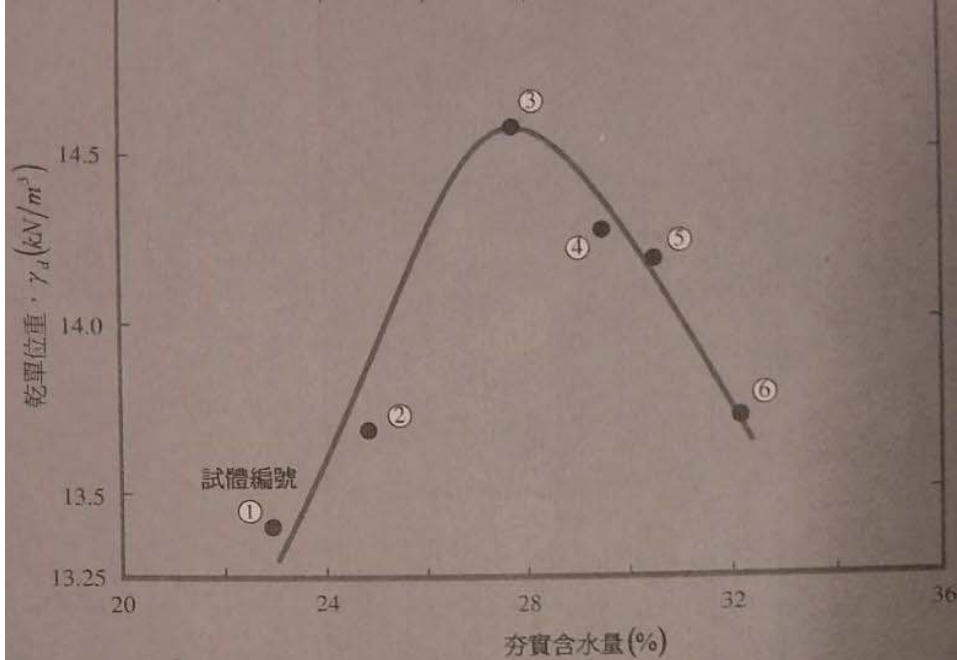


圖4.15 夯實含水量對高嶺土應力—應變曲線之影響 (根據: Chan, 1959)

## ◎ 夯實之功能:

(1) 減少沈陷 (2) 增加剪力強度及承載力 (3) 降低滲透係數

◎ 夯實時之含水量最好控制在最佳含水量之正負2%內。  
 太濕不易夯實，太乾容易濕陷。

◎ 夯實 (compaction) 是利用機具(如Roller)將土壤的空隙壓實。而壓密 (Consolidation) 則是將飽和粘土中的水份排除。二者之意義及使用的方法不同。

# 板橋浮洲合宜住宅地下室不均勻沈陷

◎板橋浮洲合宜住宅之地下室大梁，於104年4月20日花蓮地震後產生多處明顯裂縫，致有結構安全疑慮。

◎地下室大梁裂縫主因 (資料:工程會)：

主結構與連續壁承重牆差異沉陷：結構技師未考慮基地內不同區域之地盤反力係數 $K_v$ 值可能之差異，僅依鑽探報告提供一個 $K_v$ 值模擬筏式基礎分析，低估土壤差異沉陷對結構造成的影響，造成地下室最外跨與連續壁間之大梁構件超過原設計彎曲容量，於靠近連續壁端產生剪力斜裂縫、靠近主結構端產生撓曲裂縫

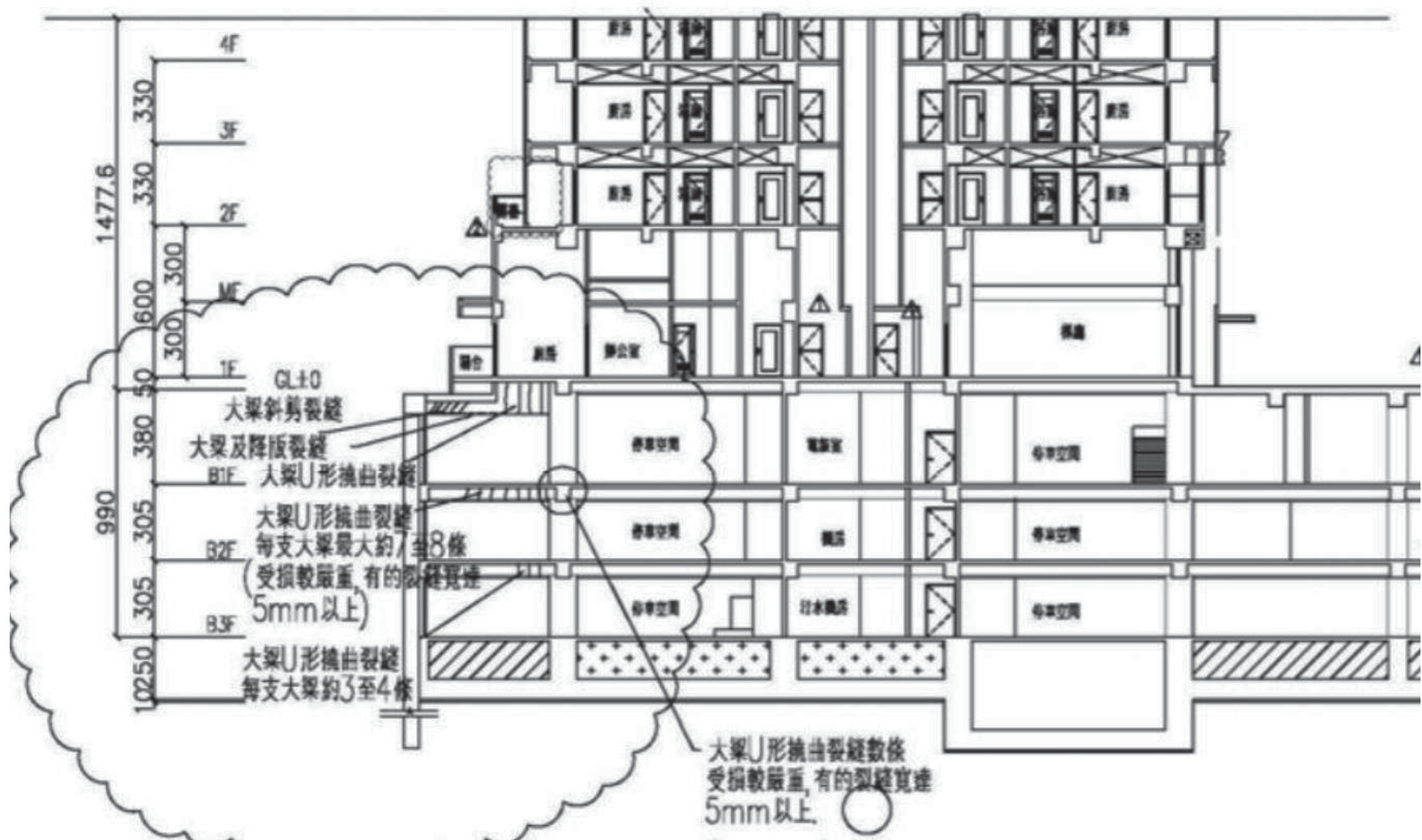
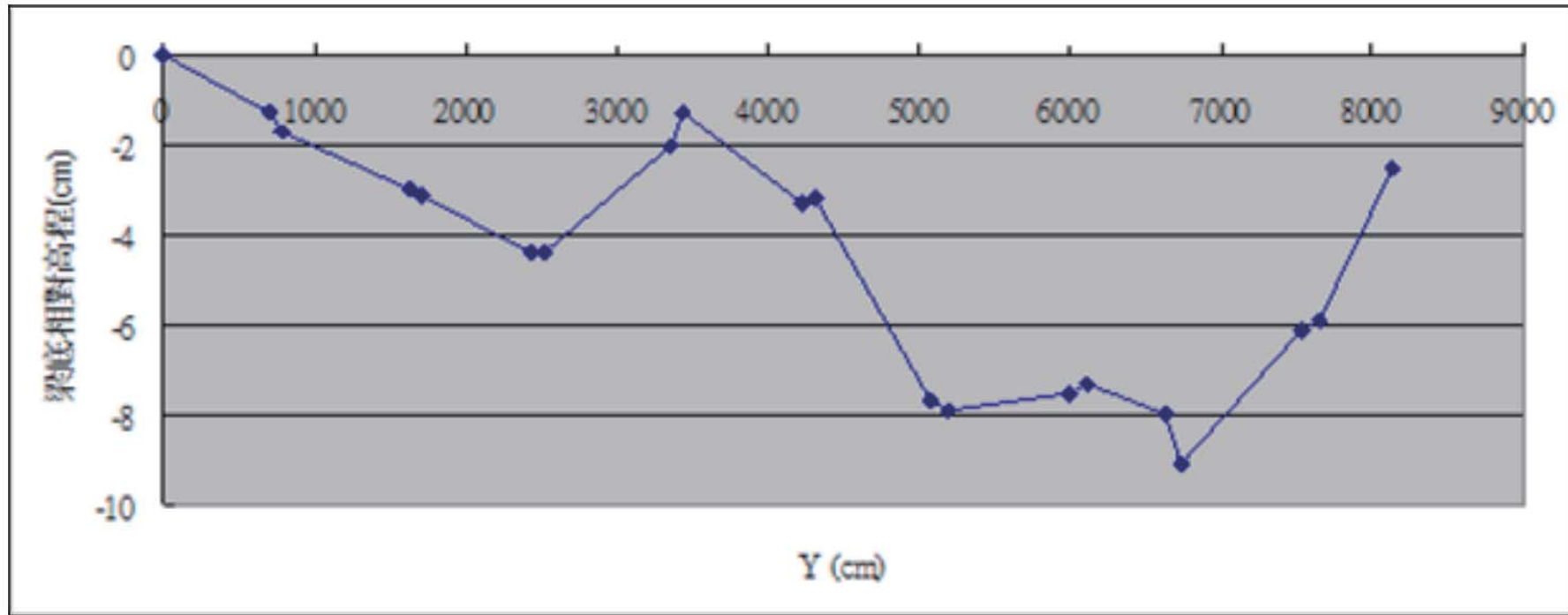


圖2：Y-Y剖面圖(裂縫位置示意圖)



## B2F-X12 軸線



◎觀察各軸線相對高程曲線圖可發現，由地下一層及地下二層之各構架測點梁底相對高程，相對於連續壁測點之高程，標的物各棟大樓主體有向下沉陷之現象，部分中庭區有上拱之現象；同時，也可發現地下室各層現況裂損位置主要發生在梁兩端點之角變位較大處

(摘自：台北市結構技師公會鑑定報告)



## 鑑定報告未透露的訊息

- ◎1. 筏式基礎承載力高達每平方米數百噸，但未必能解決不均勻沈陷問題，尤其是地下室很大時。(細長比很大,使得筏式基礎剛性不足)
- ◎2. 連續壁不沈陷，旁邊的主結構沈陷量大，造成不均勻沈陷。
- ◎3. 建築物及中庭之載重不均，造成不均勻沈陷。
- ◎4. 砂土會產生瞬時沈陷，粘土則為壓密沈陷和潛變(Creep)，可能長達數十年。若土質不同、亦可能造成差異沉陷。
- ◎若評估瞬時沈陷大，可以重機具滾壓。若長期沈陷太大，則需地改或打樁。

# 大地工程的災變與教訓

大地工程的災變類別

案例一:大直基泰深開挖破壞

案例二:林肯大郡邊坡滑動

案例三:暨南大學綠色邊坡整治

永續/綠色大地工程

結論與建議





大直基泰深開挖災變及教訓

B 5

# 基泰大直災變位置





北市中山區基泰大直施工不慎  
民宅崩塌1樓變地下室對比畫面曝





# 地層鑽探

- 軟弱粘土層至26.5m
- N值皆2~4
- 至26.5m遇破碎岩層

工程名稱：-  
 地點：台北市  
 鑽孔編號：BH-1  
 深度：39.00 M  
 鑽孔標高：0.17 M  
 坐標系統：IWD97  
 地下水位：  
 坐標 N：2775286.02

深度 (m)	取樣記錄	鑽孔水位	標準貫入	地質圖元	岩石或土壤性質描述	顏色
0					混凝土，回填粉土質細砂夾岩塊	
2	T-1 S-1		5+6+4		3.2 M	
4	S-2		1+1+1		灰色粉土質黏土	
6	T-2 S-3		1+1+1			
8	S-4		1+1+1			
10	S-5		1+1+1			灰
12	S-6		1+1+1			
14	S-7		1+1+1			
16	S-8		1+1+1		16.5 M	
18	S-9		1+1+1			
20	S-10		1+1+1			
	S-11		1+1+2		灰色粉土質黏土偶夾貝屑	灰
	S-12		1+2+2		27 M	

深度 (m)	取樣記錄	鑽孔水位	標準貫入	地質圖元	岩石或土壤性質描述	顏色
0					回填混凝土、磚塊、岩塊及棕黃色砂土	
2	S-1	▽	2+3+2		2.5 M	
4	S-2	102.032	2+2+3		灰色粉土質黏土	
6	S-3		1+1+1			
8	S-4		1+1+1			
10	S-5		1+1+1			
12	S-6		1+1+1			
14	S-7		1+1+1			
16	S-8		1+1+1			
18	S-9		1+1+1		15 M	
20	S-10		1+1+1		灰色粉土質黏土偶夾貝屑	
22	S-11		1+1+2			灰
24	S-12		1+2+2			
26	S-13		1+2+2		26.5 M	

鑽孔地質柱狀圖

工程名稱：-  
 地點：台北市  
 鑽孔編號：BH-3  
 深度：35.04 M  
 鑽孔標高：0.19 M  
 坐標系統：IWD97  
 地下水位：1.72 M  
 坐標 N：2775291.97  
 坐標 E：

深度 (m)	取樣記錄	鑽孔水位	標準貫入	地質圖元	岩石或土壤性質描述	顏色
20	T-1 S-14		1+2+2		灰色粉土質黏土偶夾貝屑	
22	S-15		2+2+2			灰
24	S-16		1+2+2			
26	T-2 S-17		1+1+2		26.5 M	
28	S-18		4+1+1+3		黃棕色粉土質中細砂夾岩塊	黃棕



# 土壤/岩石試驗結果

孔號	Sample No.	Test	C kg/cm2	$\phi$ deg.	C' kg/cm2	$\phi'$ deg.	qu kg/cm2	Cc	Cr	$\sigma p'$ kg/cm2	分地層
BH-01	T-2	CIU	0.16	19.80	0.05	27.80					2
BH-01	T-1	DS	0.28	28.80							1
BH-02	T-1	CIU	0.11	19.90	0.06	28.30					2
BH-02	T-3	CIU	0.10	16.60	0.08	29.10					2
BH-02	T-5	CIU	0.19	19.40	0.08	29.70					3
BH-02	T-2	SUU	0.48	0.00							2
BH-02	T-4	SUU	0.50	0.00							3
BH-02	T-4	CON						0.295	0.058	1.415	3
BH-02	T-5	CON						0.305	0.055	1.732	3
BH-03	T-3	DS	0.10	33.00							4
BH-03	T-1	UC					0.26				3
BH-03	T-2	UC					0.37				3

孔號	Sample No	Test	Cp kg/cm2	$\phi p$ deg.	Cr kg/cm2	$\phi r$ deg.	qu kg/cm2
BH-01	R2	RDS	7.62	39.80	1.24	35.10	
BH-01	R1	RUC				46.17	
BH-03	R1	RDS	4.97	23.00	0.73	21.90	
BH-03	R2	RDS	8.75	37.70	1.61	28.10	



# 簡化土層試驗結果

層次	土層概述	平均分布深度 (GL-m)	平均厚度 (m)	平均 SPT-N 值	$\gamma_t$ (t/m <sup>3</sup> )	e	W (%)	LL (%)	PI (%)	C' Cr (t/m <sup>2</sup> )	$\phi'$ $\phi_r$ (°)	Su qu (t/m <sup>2</sup> )	Cc	Cr
1	回填層	0.0~2.9	2.90	4	1.94	0.71	21.83	40.00	20.00	0.0	28.0	--	--	--
2	灰色粉質黏土層	2.9~15.6	12.7	2	1.74	1.21	41.55	43.32	21.95	0.0	28.4	1.25* <sup>1</sup>	0.300* <sup>1</sup>	0.033* <sup>1</sup>
3	灰色粉質黏土偶夾貝屑層	15.6~26.6	11.0	4	1.72	1.31	45.25	46.50	23.79	0.0	29.7	1.60	0.300	0.057
4	黃棕色粉質砂夾岩塊層	26.6~28.5	1.90	36	2.02	0.61	21.23	--	NP	0.0	33.0	--	--	--
5	砂頁岩層	28.5~>39.0	>10.5	>50	2.30* <sup>1</sup>	--	--	--	--	13.8	29.8	334.0	--	--

\*1 者，係為經驗推估值。

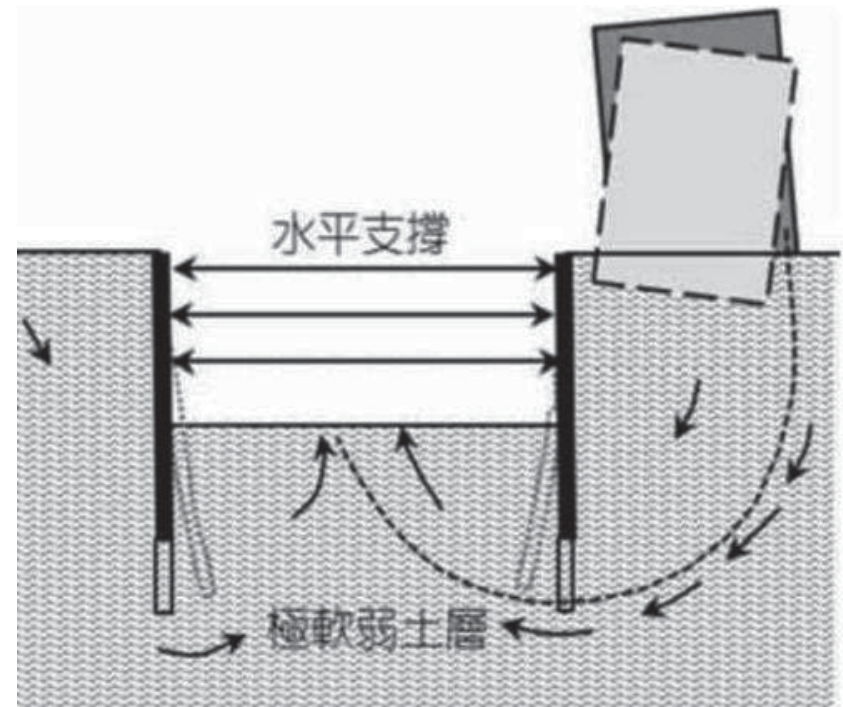
- ◆ 土壤層次(2)灰色粉質黏土層之 Su 係以  $Su = N/1.6$  (t/m<sup>2</sup>, Terzaghi, 1967) 推估。若以  $Su = 0.5+0.7N$  推估，則為 1.90 t/m<sup>2</sup>
- ◆ 土壤層次(2)灰色粉質黏土層之 Cc 係以  $Cc = 0.009(LL-10)$  推估。Cr 取 1/9 Cc。
- ◆ Cr、 $\phi_r$ 、qu 為土壤層次(5)砂頁岩層所用，土壤層次(1)~(4)為 C'、 $\phi'$ 、Su。

## 七、地下水位：

工程地質鑽探資料庫中缺少水位觀測紀錄表，由 BH-03 之地下水位 GL-1.72m 看來，基地設計常時可保守採用低於地表面下 1.50 公尺，高地下水位可採用於地表面。

## 軟弱的、可憐的粘土 壓密從未完成

- 本基地之地質為軟弱粘土層，屬於基隆河淤積層。由於N值在連續16.5公尺深度內都是2，並未隨深度而增加，懷疑屬於從未完全壓密的土壤(Under Consolidated Soil)，也就是指這粘土的孔隙水壓力從未完全消散過。這種現象比較容易發生於厚層的粘土層，尤其是位於河道下或台北湖的沈積層。
- 由於土壤從未完全壓密，含水量一定很高，這從較上層土壤(2.9-15.6m)的平均含水量41.5%近，接於液性限度(Liquid Limit)的43.2%，和較下層土壤(15.6m-26.9m)含水量45.2%，也很接近液性限度的46.5%，即可看出它非常接近半流体。
- 這相當於一個人常期遭打壓，但他家生計困難，人口眾多(粘土層甚厚)，沈重的負擔讓他無法出門透透氣，只好忍氣吞聲，所有的外在壓力自己一肩擔起，直到有一天有人在他家地下室開了一道門，他就順勢溜了下去.....





# 大直深開挖災損：鄰房仰躺、連續壁斷裂、支撐系統破壞



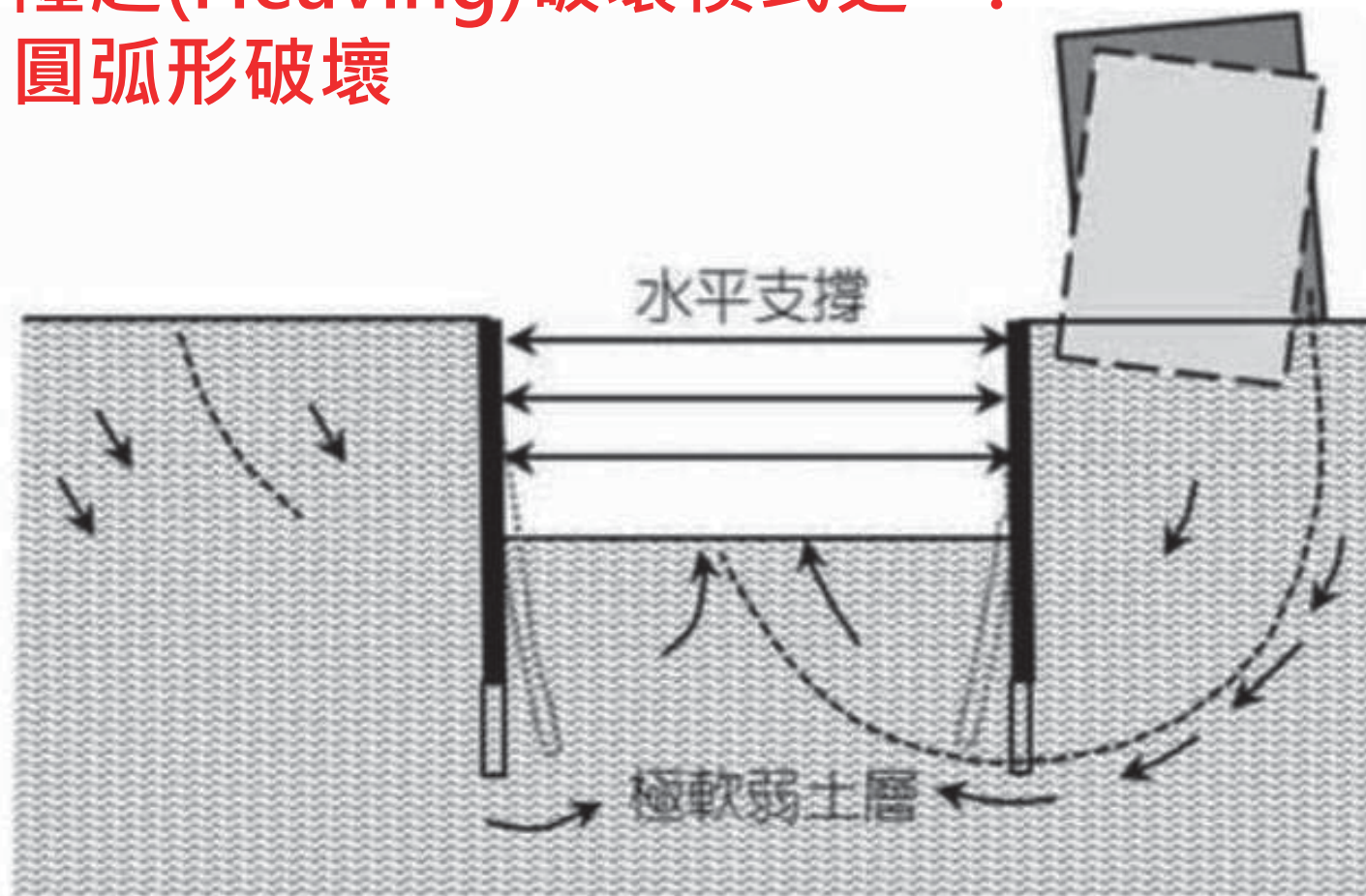
B-5



## 連續壁/深開挖設計資料

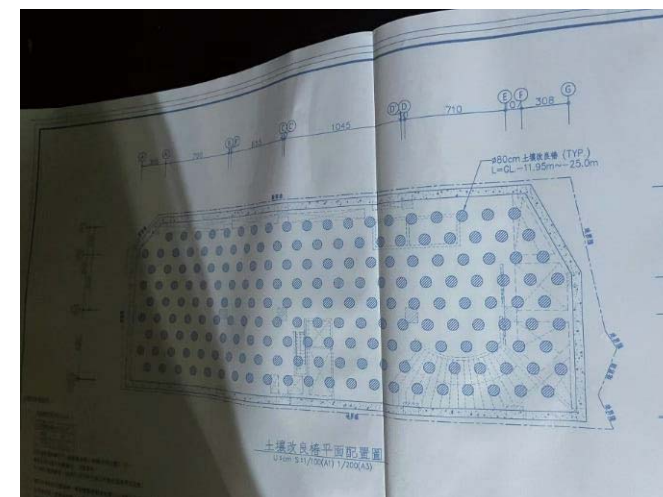
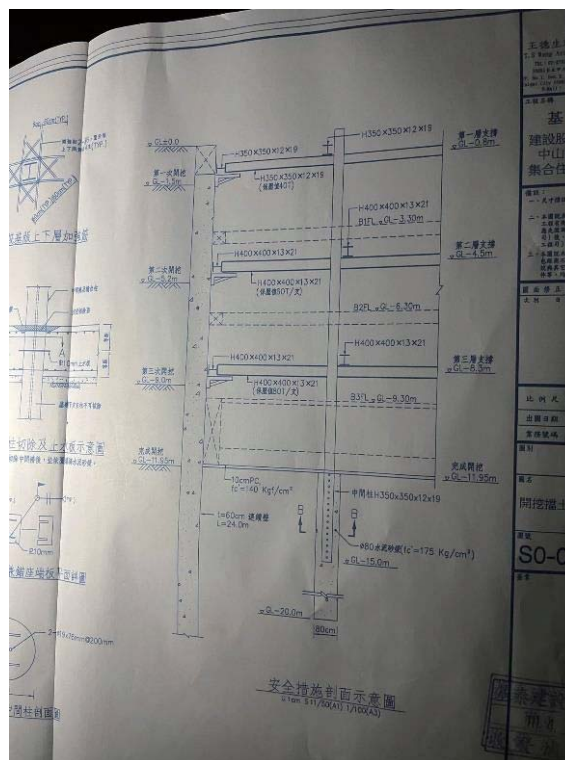
- 連續壁: 厚度 60CM , 深度=24M
- 水平支撐: 三層支撐
- 第一層支撐=S-H350、W-H350 第二層支撐=S-H400、W-H400 第三層支撐=S-H400、W-H400
- 中間樁=H350、L=15M 80cm $\phi$ 水泥砂漿( $f_c=175\text{kg/cm}^2$ )、根固深度 L=GL-20M

# 隆起(Heaving)破壞模式之一： 圓弧形破壞



# 擋支土撐及地改高壓噴射樁

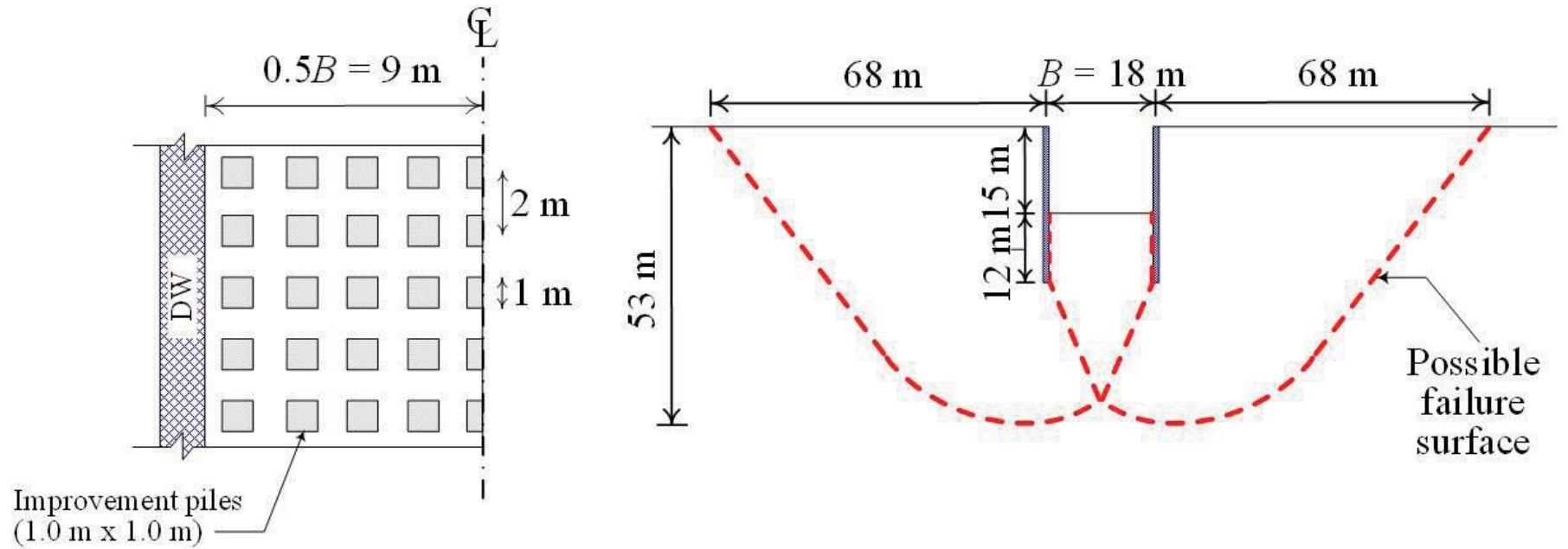
- 開挖12M，連續壁24M
- 因開挖地層為軟弱粘土
- 連續壁未貫入岩層，貫入比2.0；
- 中間柱長20m
- 開挖底有80cm地改樁至25m。以梅花樁配置在軟弱粘土層



圖載自施志鴻fb(大地技師公會理事長)

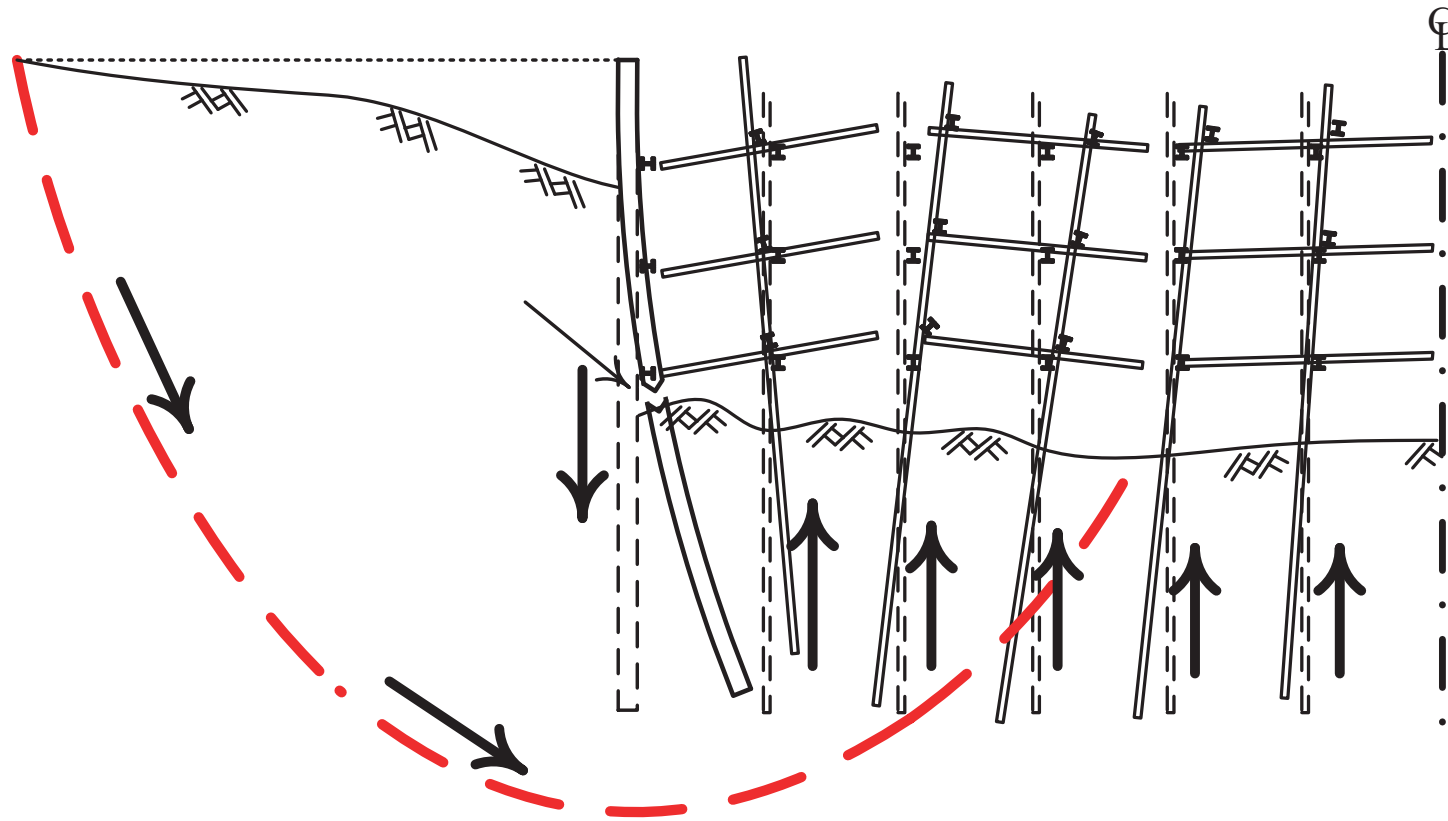


# 隆起破壞模式之二 非圓弧破壞 (歐章煜教授提供)



Partial [a] (with gap, FS=2.468)

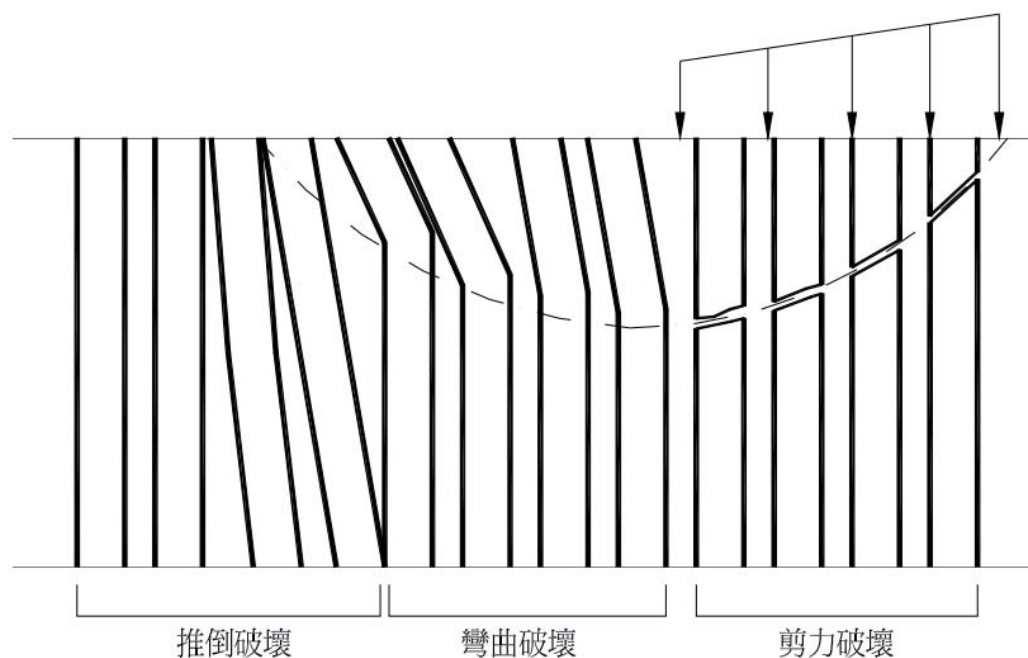
# 底面隆起（可能穿過中間樁和改良樁，但也可能在樁與樁中逃逸）



A-3

通常發生在軟弱粘土底面隆起

# 破壞面如何穿過改良樁？



穿過改良樁的方式可能有:

- (1) 逃避(樁與連續壁及樁與樁間因未聯結, 沿兩者之空隙向上逃逸)
- (2) 側向推開(樁間為軟泥)
- (3) 剪斷
- (4) 彎矩破壞

圖 3.2.8-1 深層攪拌地層改良之破壞形態



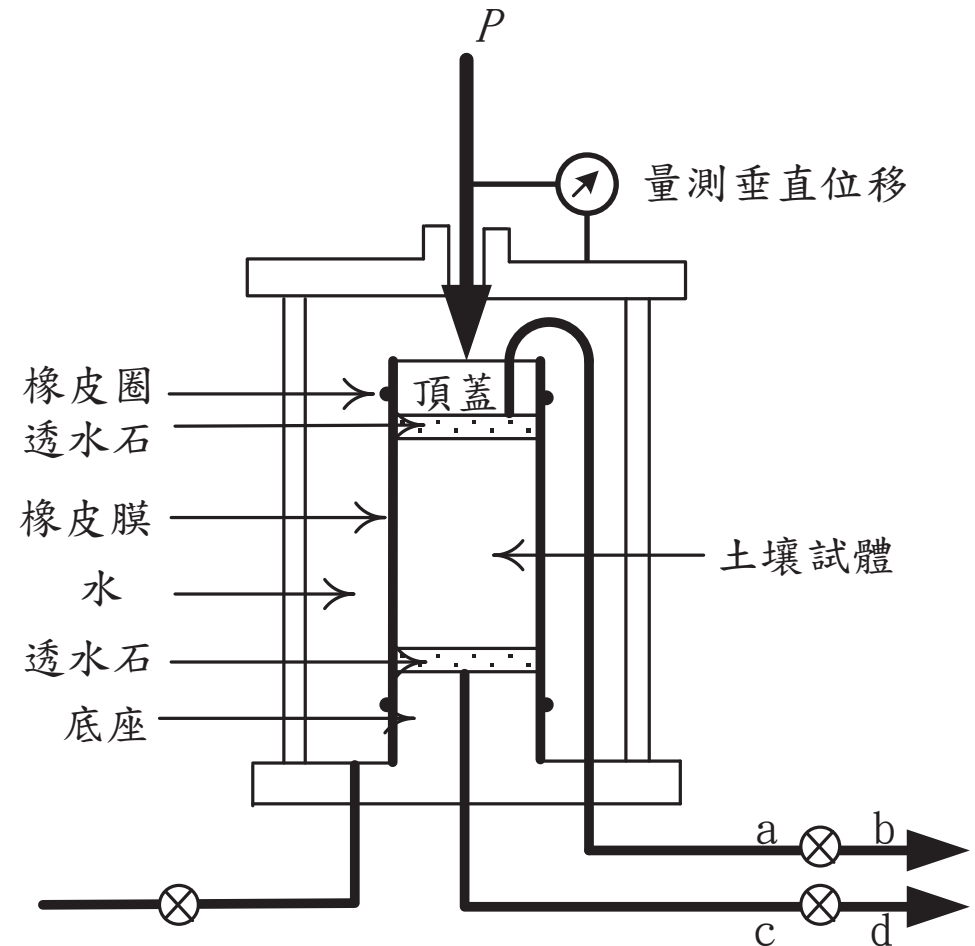
# 軟弱粘土的強度參數:三軸實驗 (Triaxial Tests)

土壤強度試驗基本原則：

- 必須為不擾動試驗試體
- 試體要重現現地應力狀態
- 必須符合現地受力的應力路徑
- 考慮土壤的排水條件

(歐章煜教授提供)

A-3



# 軟弱粘土的強度參數

## 傳統三軸試驗

第一階段：壓密(或不壓密)

第二階段：施加軸差正應力，

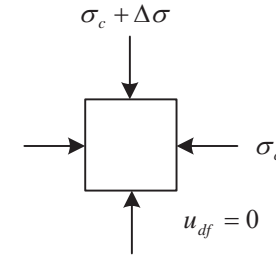
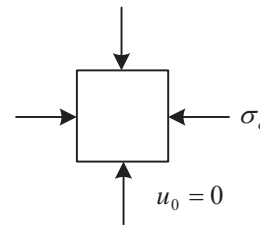
導致剪力破壞

(歐章煜教授提供)

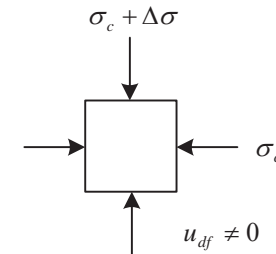
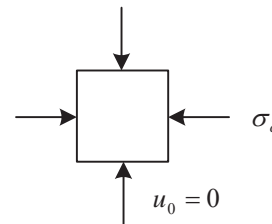
第一階段

第二階段

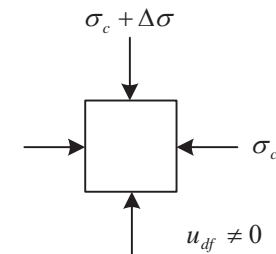
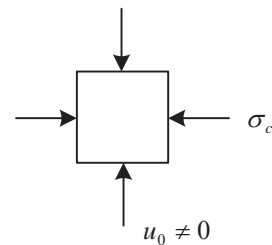
CD



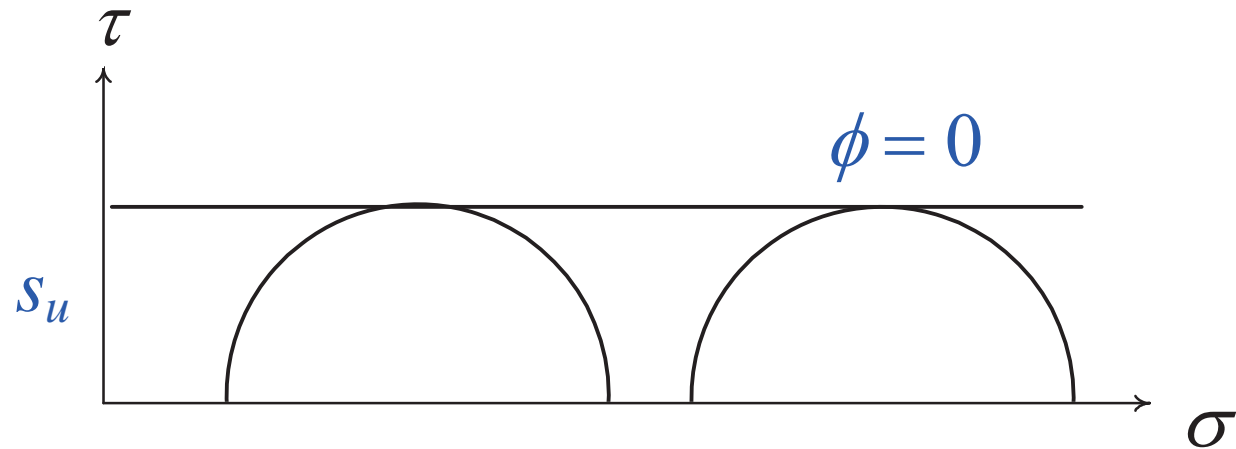
CU



UU



## 三軸UU試驗結果



$s_{u=}$ ,  $\phi = 0$  可作為深開挖分析的參數，乃因現地土壤  
在破壞前和破壞時並無壓密行為，故採原有未壓密的  
強度



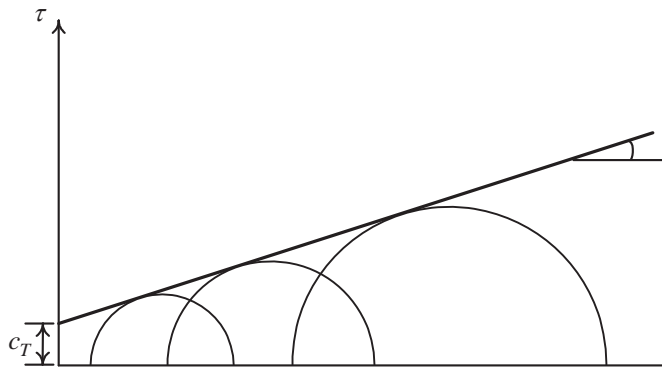
## 正確的參數:不排水剪力強度 $S_u$ (C)值

- $S_u$  值可自SUU (Saturated Unconsolidated Undrained)實驗得出,即飽和後不壓密、不排水實驗。因為沒有壓密,它的結果反而更接近實際的情形,而且就黏土而言,它的摩擦角就等於零。而本案 $N$ 值一直維繫在2左右,也證明未因摩擦角及重力增加故而增加強度。此外,本案因在水位線以下,試驗時即無必要進行飽和。
- 另外一個更簡單的方法是無圍壓縮試驗 (Unconfined Test),類似混凝土抗壓實驗。本案的土壤非常軟弱,從試體管中取出時,可能根本沒辦法自立得很好,因此此實驗的結果有可能會低估實際粘土有圍壓的事實。

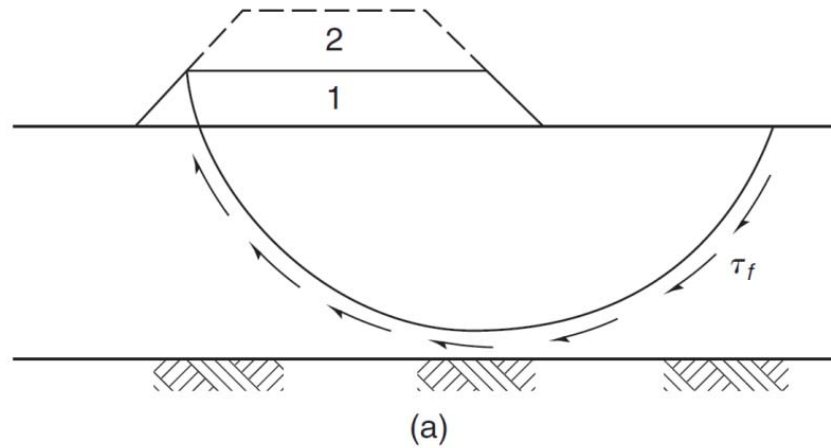
## 災變發生原因推測（設計面）

- (1) 大地工程顧問僅受聘執行鑽探及簡易分析，未能全程參與深開挖設計及監測分析
- (2) 土壤設計參數可能誤用  
軟弱粘土參數必須採用三軸 UU、Unconfined、Vane Shear 試驗結果，而不能使用CIU試驗結果
- (3) 連續壁深度需加深，至少入岩1m
- (4) 地盤改良樁成效不佳，深度及間距不足以抵抗隆起

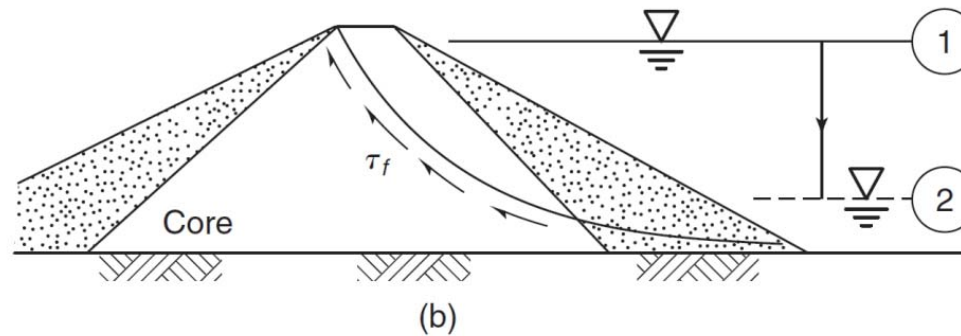
Ladd (1977): some examples of CU stability analyses for clays



$c_T, \phi_T$  不能作為深開挖分析的參數，因為沒壓密行為  
(歐章煜教授提供)



$\tau_f$  = in situ undrained shear strength after consolidation under layer 1



$\tau_f$  of core corresponding to consolidation under steady state seepage prior to draw down



## 土壤參數小心別誤用CU tests 結果

- 很多工程師(包括大地工程師)都很喜歡使用三軸壓密不排水實驗 (Consolidated Undrained Test, CU或 CIU) 的結果,進行深開挖穩定分析。但從國內外很多案例(如百老匯、新加坡地鐵等),這可能是導至破壞的主因之一,不得不慎。
- 很多工程師採用CU參數,但卻忽略了實驗的土樣在經過第一步的壓密後,性質已經改變,甚至於像本案孔隙水壓從來沒有完全消散過,因此根本不能採用壓密不排水實驗。
- 因CU試驗會高估土壤的剪力強度(會得出摩擦角),尤其是在深層土壤中因為摩擦角的關係,越深層的土壤其剪力強度愈會被高估。本案是隆起型破壞,是位於深層的整体型破壞,因此若真採用了CU Test 結果,不論是有效應力或總應力法,都會高估了土壤的強度和安全係數。

## 反算分析 (Back Analyses)

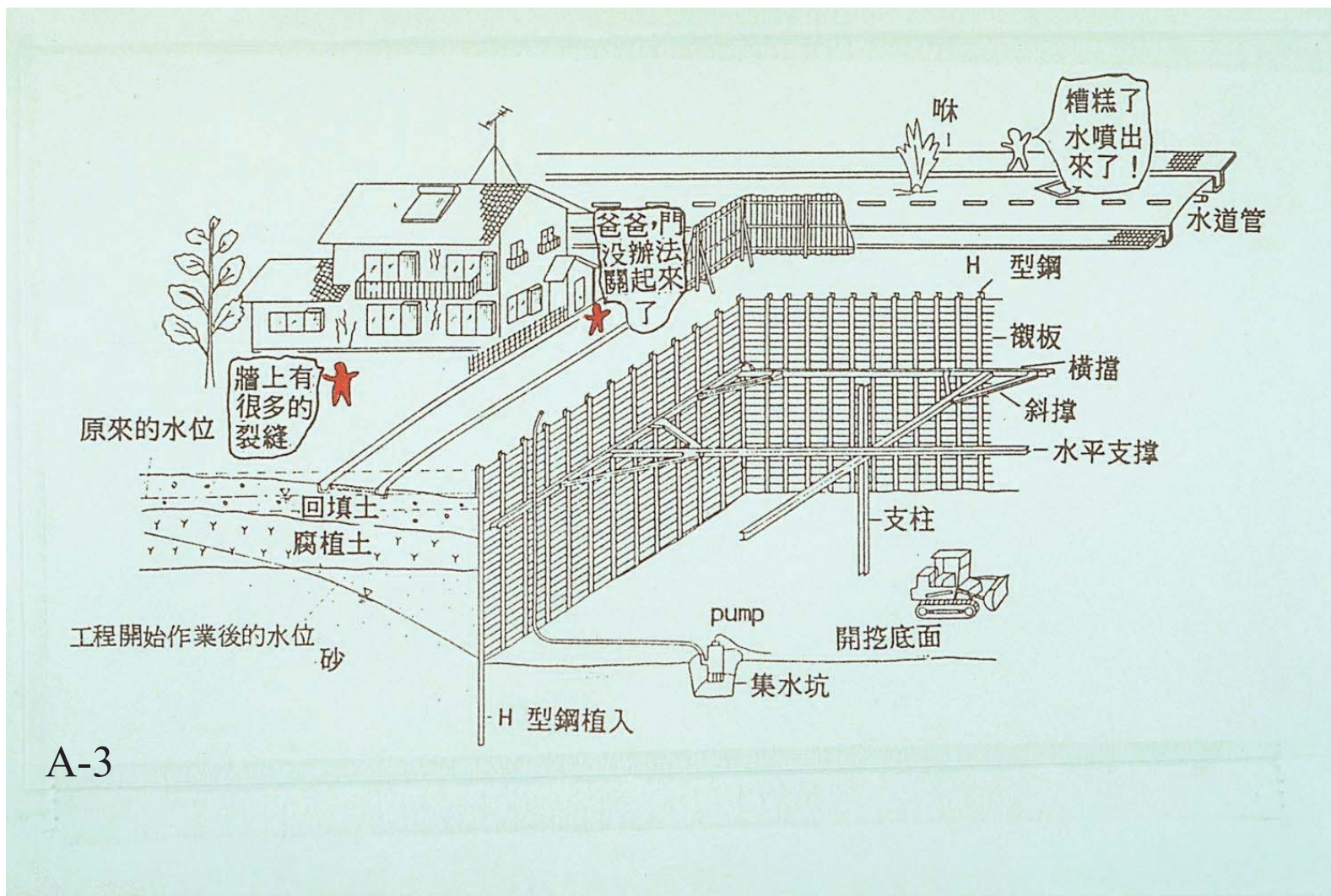
- 因為是隆起型破壞, 而且是單純的黏土, 我們可以根據老天爺提供價值數億的破壞案例, 假設不同的不排水剪力強度 ( $S_u$ ), 帶入公式或有限元素分析中, 計算安全係數。再用內插法得出當安全係數為0.99的 $S_u$ 值, 就是最正確的參數。
- 它比實驗室的結果還可靠。因為實驗室只得出某一點的強度, 而倒算法反而是得出整體的平均SU值, 而且不受樣本擾動等影響, 可靠度更高。

## 土壤參數問題案例：新加坡Nicoll Highway case





## 變形控制：避免鄰房受損



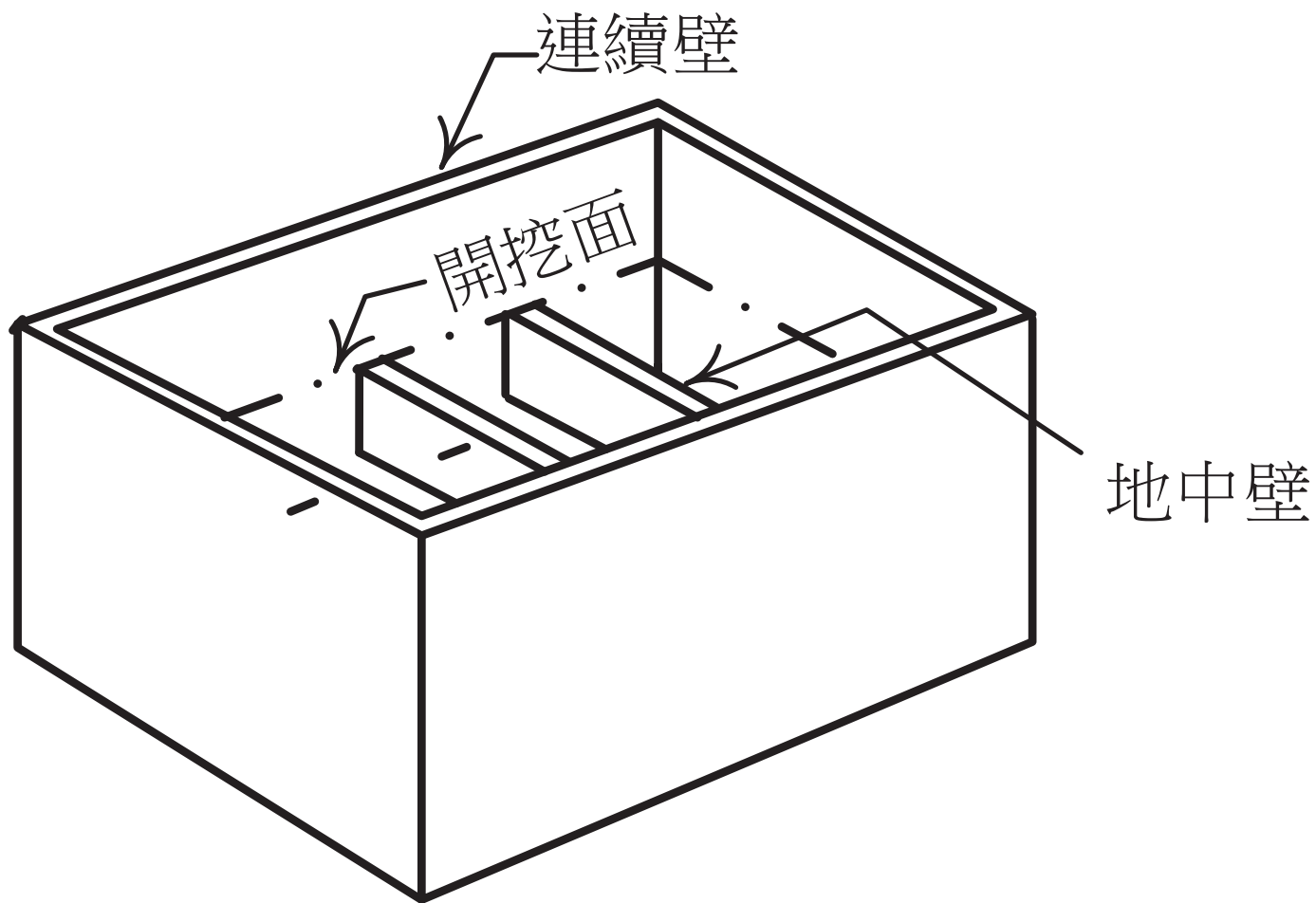
(歐章煜教授提供)

## 災變發生原因推測（施工面）

- (1) 地盤改良先於連續壁施工
- (2) 地盤改良成效不彰
- (3) 土壤受到連續壁施工及地盤改良的擾動而降低強度
- (4) 監測結果未能及時反應、現場缺乏內行的領導人

## 預防對策(1) 採用地中壁

減少變形及增加底面隆起安全係數！

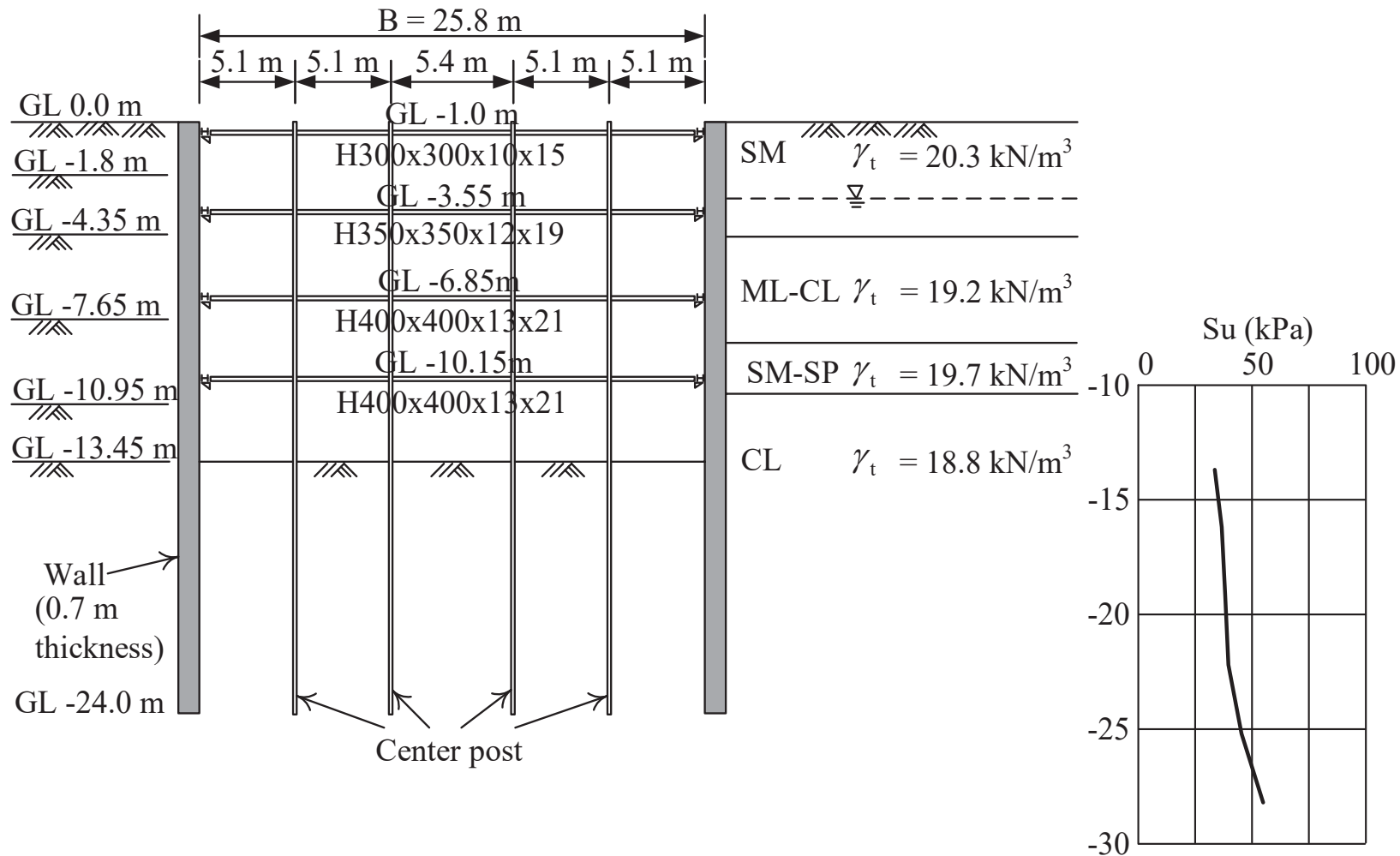


(歐章煜教授提供)



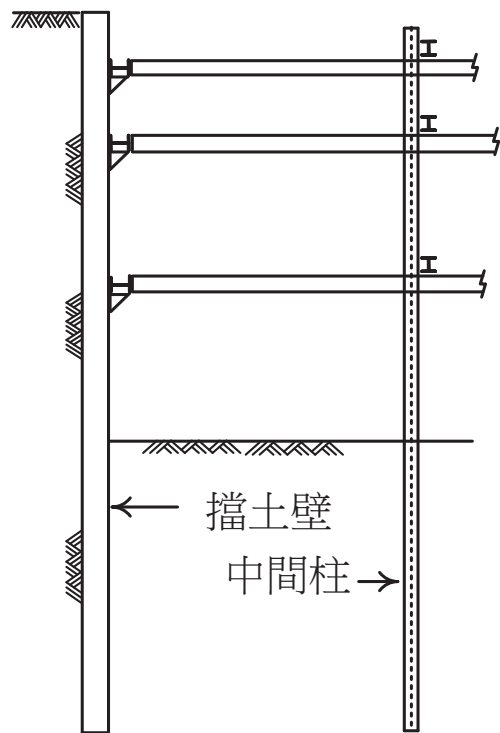
## 預防對策(2) 增加擋土壁貫入深度

增加底面隆起安全係數！

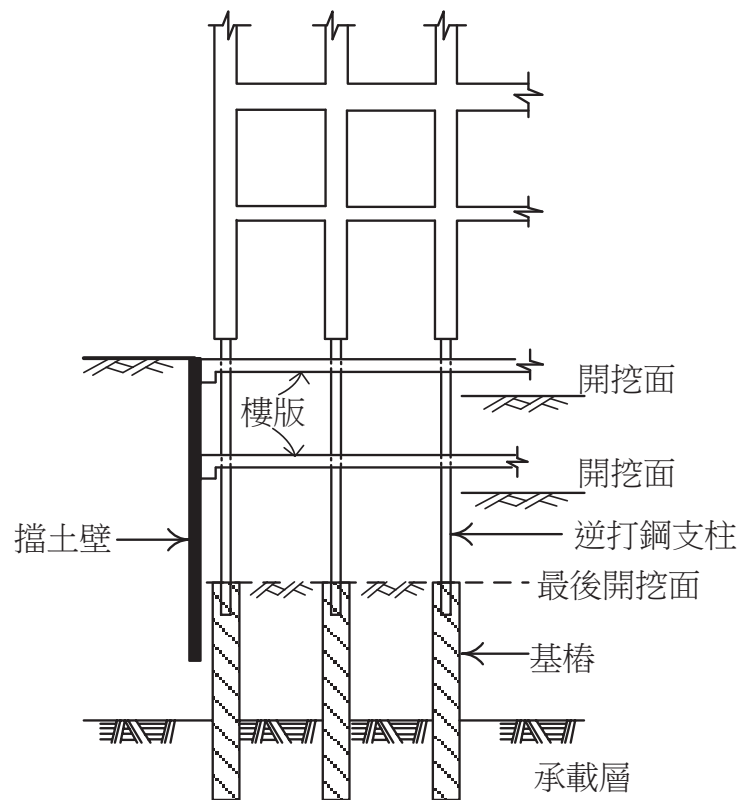


(歐章煜教授提供)

## 預防對策(3) 採用逆打工法



支撐開挖工法



逆打工法

(歐章煜教授提供)

## 我的觀察與判斷 (1)

- 本案只有部份的樁可能有破壞面從中間穿過。但穿過的方式可能有(1)逃避(樁與連續壁及樁與樁間因未聯結,破壞面在開挖底部已呈上揚走勢,非常可能沿兩者之空隙向上逃逸,吃軟不吃硬也),(2)側向推開(樁間為軟泥),(3)剪斷(Shear Failure),(4)彎矩破壞(Bending Moment Failure)四種模式,其中以後二者較難發展。
- 因破壞面會選最容易走的路(安全係數最低),而軟弱粘土與灌漿的強度差了千倍以上,因此即使路徑稍長或者並非典型的圓弧,也會避重就輕,彎彎曲曲朝逃逸或推開這條路走。因此就隆起破壞而言,除非改良樁與樁間沒有間隙,且改良樁的長度超過大部份的破壞面,它的效果是有限的。



## 我的觀察與判斷 (2)

- 至於改良樁對於連續壁的側向變形是否有幫助?我也認為效果極微。因為本案樁間距為1.8米,樁徑0.8米,中間空隙1米。雖然灌漿壓力可能將1m的空隙降低,但仍會有相當間隙在。此對連續壁的側向抵抗力就幫助有限,除非樁與連續壁相接。
- 地盤改良後的整體強度是否增加?很多人都用等值強度替代土壤的強度。但夾心餅乾的強度是由夾心所控制,而非餅乾。改良樁相當於在一塊大的蛋糕上面插滿一堆不相連的筷子,期待用這些筷子去抵抗強度高千倍以上的石塊的側向推力,當然是效果極微的。

## 基泰大直案的教訓 (1)

1. 需委託專業的大地工程顧問公司進行分析與設計，勿太仰賴結構技師。若遇未完成壓密土壤尤需小心應付。
2. 深開挖的設計必須使用正確的UU(而非CIU)土壤參數。
3. 連續壁之深度、厚度需能防止隆起及其他破壞。

## 基泰大直案的教訓 (2)

4. 是否採用地盤改良需仔細評估其效益(如破壞面之逃逸現象)。長度及配置必須有效。且施工必須在連續壁完成之後。
5. 考慮以地中壁或逆打工法替代地質改良。
6. 監測需委託專業技師進行,並由原大地顧問協助評估。



# 大地工程的災變與教訓

大地工程的災變類別

案例一:大直基泰深開挖破壞

案例二:林肯大郡邊坡滑動

案例三:暨南大學綠色邊坡整治

永續/綠色大地工程

結論與建議

# 台灣土木工程欠缺永續思考之 案例分析

## 林肯大郡災變

台大土木系

曾耀賢 林芃妤 黃柏愷

指導教授:周南山博士



# 目錄

汐止林肯大郡災  
變原因探討

參考資料

1

林肯大郡事件描述

災變現場描述  
破壞機制

2

林肯大郡災變原因省思及  
後續整治建議

後續處理對策

3

4

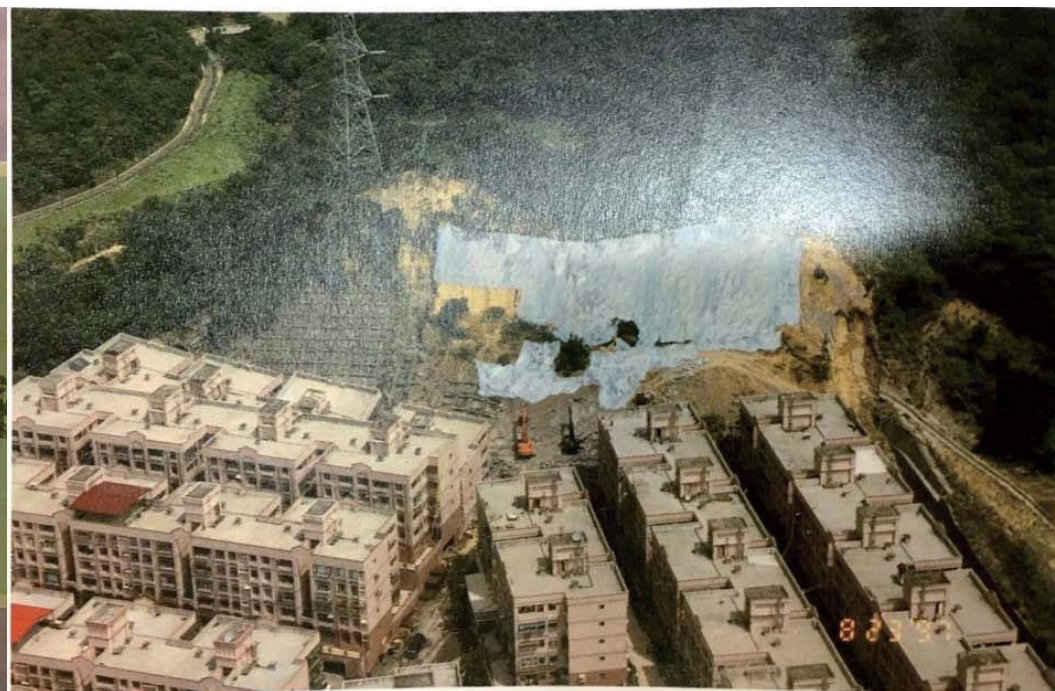


## 事件描述

時間:民國86年8月18日

災變位置:台北市汐止鎮，基隆河北方2公里處

溫妮颱風帶來強大的豪雨，造成北側邊坡發生嚴重的順向坡崩塌破壞，造成28人死亡。



# 災變現場描述

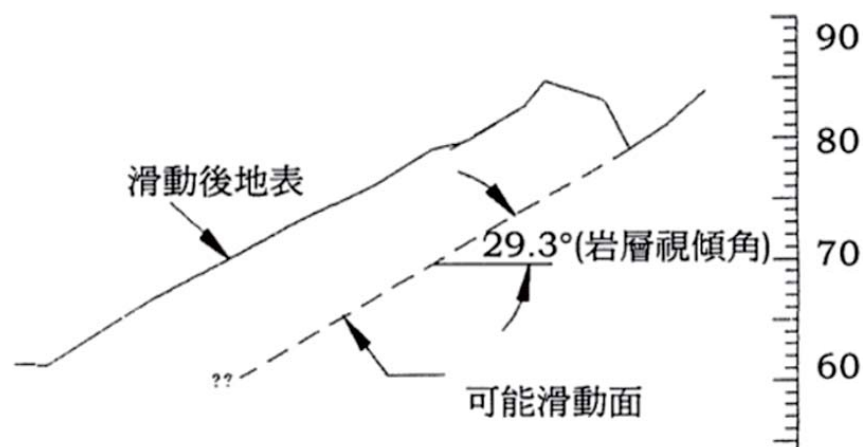
## 東區滑動體

- 上下兩滑動面
- 皆為頁岩
- 上層滑動體厚度約為2.4~4m
- 下層滑動體厚度約為6~8m



## 西區滑動體

- 僅有單層滑動面
- 頁岩
- 滑動體厚度約為8m



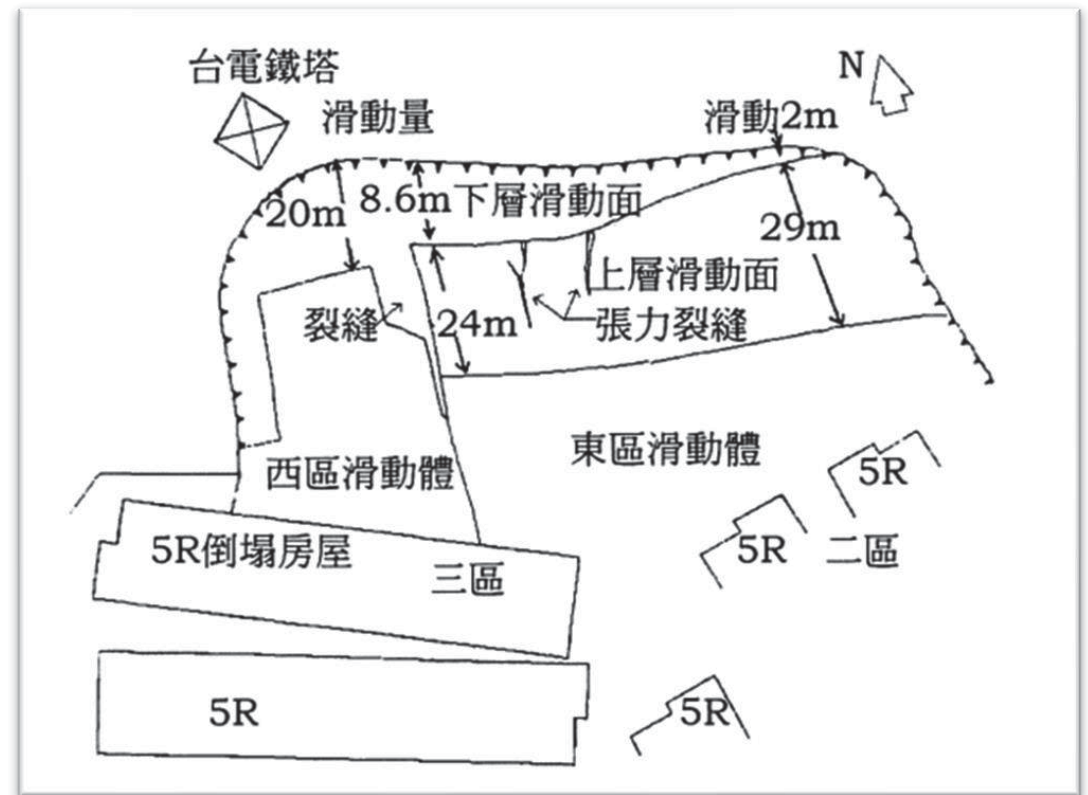
圖三 西區滑動塊體之剖面圖

# 災變現場描述

## 滑動過程推演

因東、西兩區滑動體下層滑動面之滑動距離由東向西漸增，張力裂縫之長度亦由東向西漸增，可知整個順向坡之滑動，對下層滑動面而言，除平移下滑外，略成逆時針轉動。

- 西區滑動面先開始滑動
- 帶動東區下層滑動面開始滑動
- 東區上層滑動面開始滑動





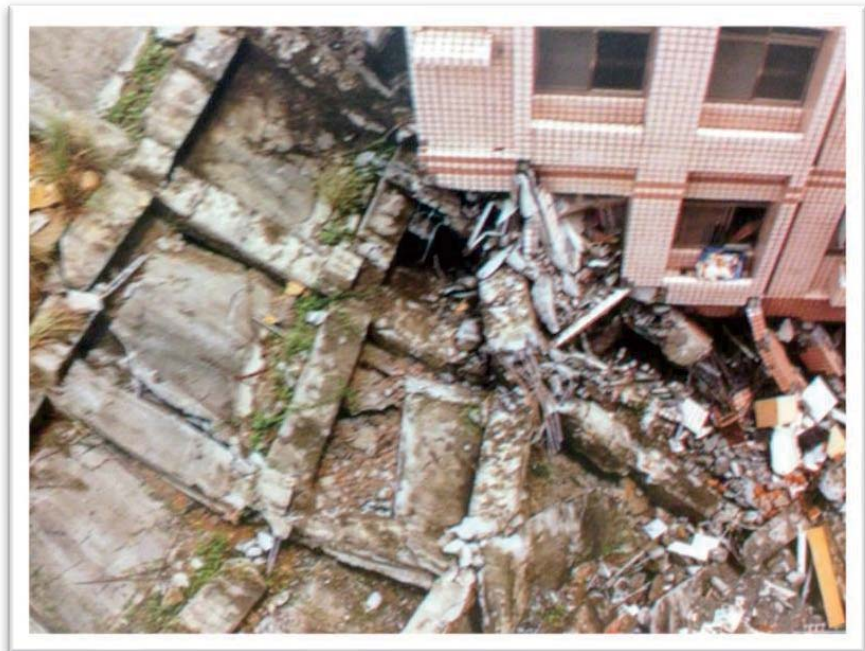
## 災變現場描述

### 建築物損壞情形

由於西區滑動體的坍滑，造成第三區205號至235號二樓以下樑柱全毀，結構體向南傾斜。



由於東區上層滑動體的坍滑，造成第二區74號一樓部份柱斷裂。



## 災變現場描述

### 擋土牆損壞情形

西區滑動體下方之擋土牆遭破壞但仍可見其上半截出露於瓦礫之上顯示擋土牆由其下方先產生破壞。

東區滑動體下方之擋土牆遭下滑之格樑及表土完全覆蓋。





# 地質特性

地層:中世紀大寮層，砂頁岩互層

層面走向:北偏東 $78^{\circ}\sim 85^{\circ}$ ，傾角為 $28^{\circ}\sim 32^{\circ}$ 南



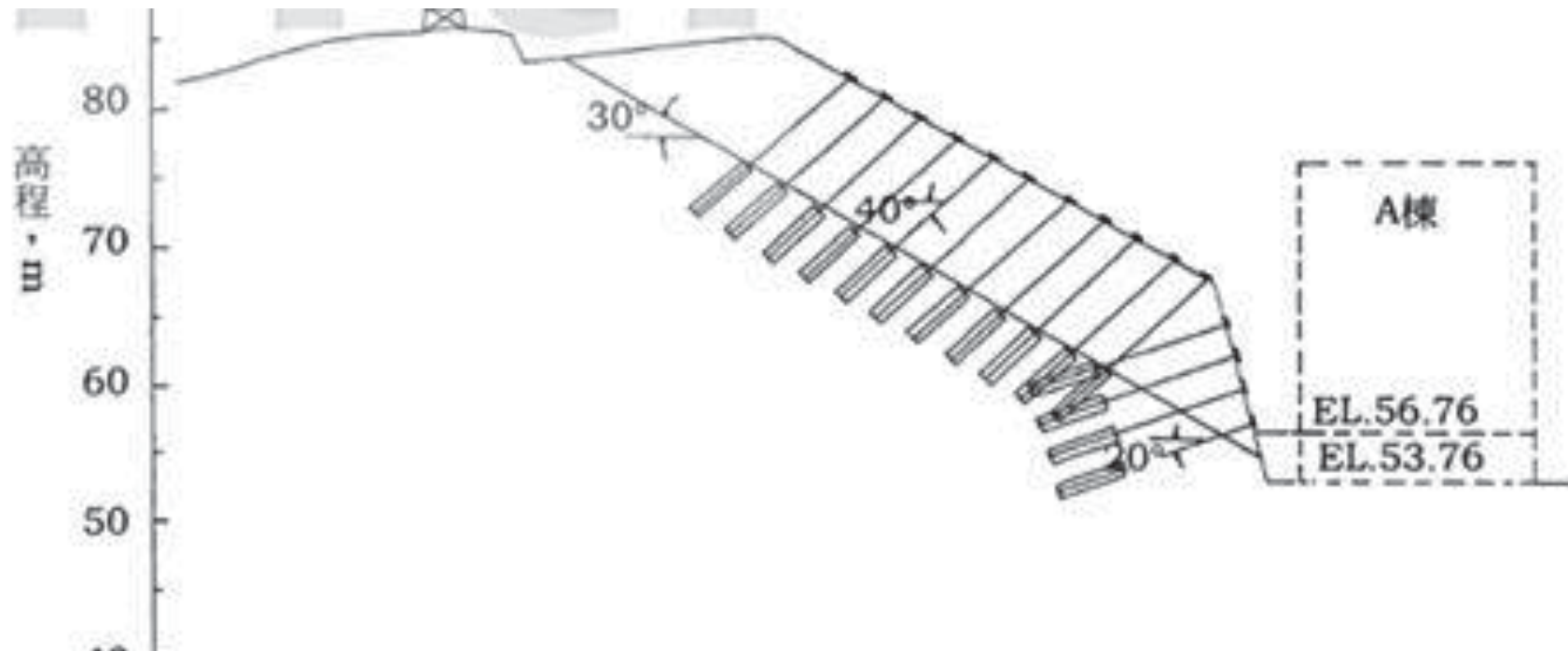


## 破壞機制

邊坡破壞模式為沿著頁岩面下滑之順向坡平面滑動破壞。

由於邊坡之岩層有若干垂直節理存在，豪雨時雨水易沿著張力裂縫滲入，蓄積在擋土牆RC面板後方及頁岩之層面間且頁岩遇水後強度明顯降低。

- 一方面水壓力造成下滑推力增加
- 一方面頁岩抗滑力明顯降低



# 汐止林肯大郡 災變原因探討



## 災變原因-地質調查部分

鑽探:鑽探報告與現地實際狀況有異  
當初報告為砂岩，實際上為砂頁岩互層

孔數不足:對於地質特性，地層強度參數，可能破壞模式，  
潛在危險均未提及。

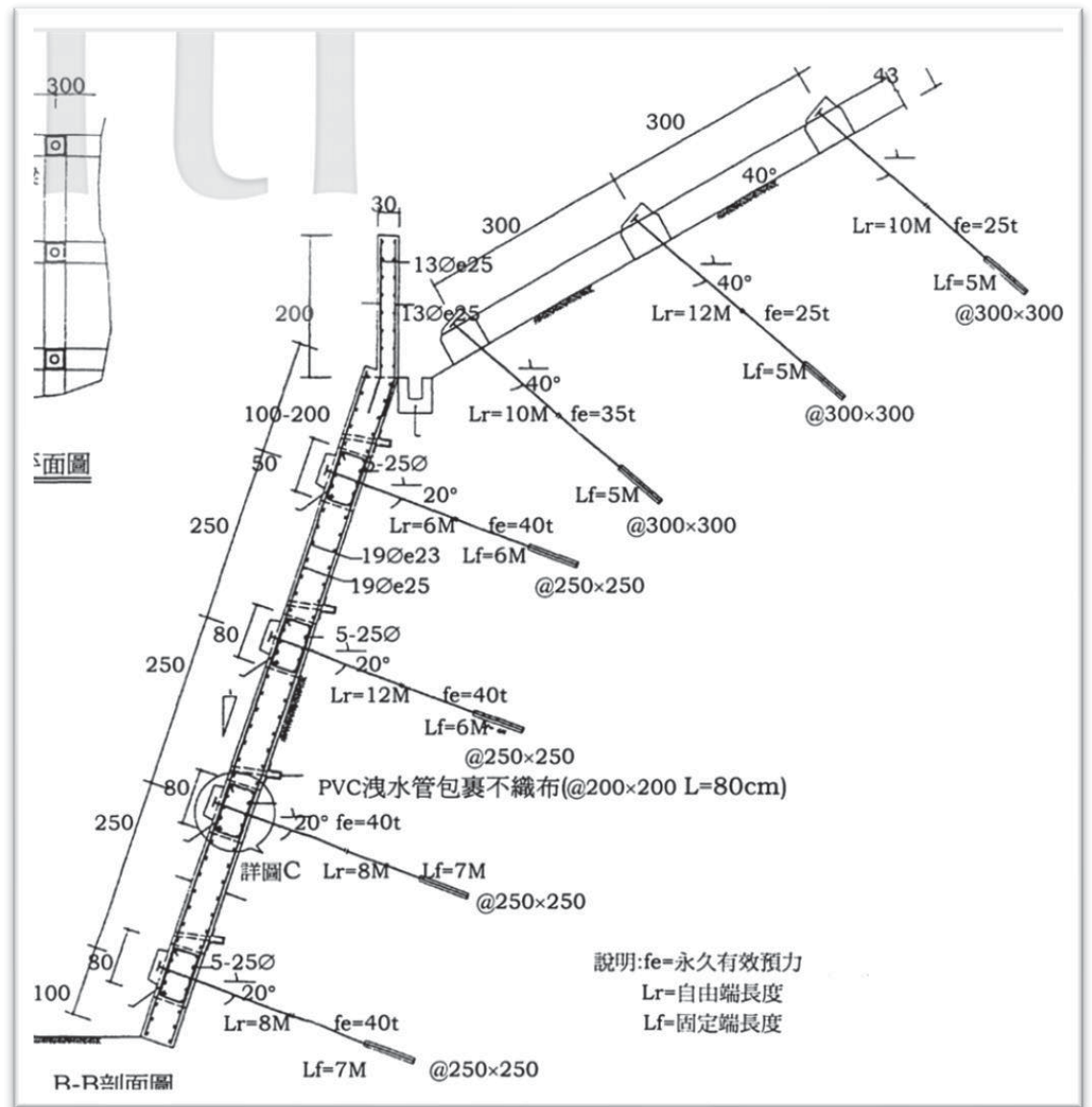
由此可見，由於不完備的事前調查，導致誤導設計者之可能



# 災變原因-擋土護坡

## 地錨數量

- 格樑部分：  
每三公尺1支地錨  
每排最多15支地錨  
計468支地錨
- 坡趾擋土牆部分：  
地錨配置分四層  
地錨橫向間距2.5m  
計232支地錨



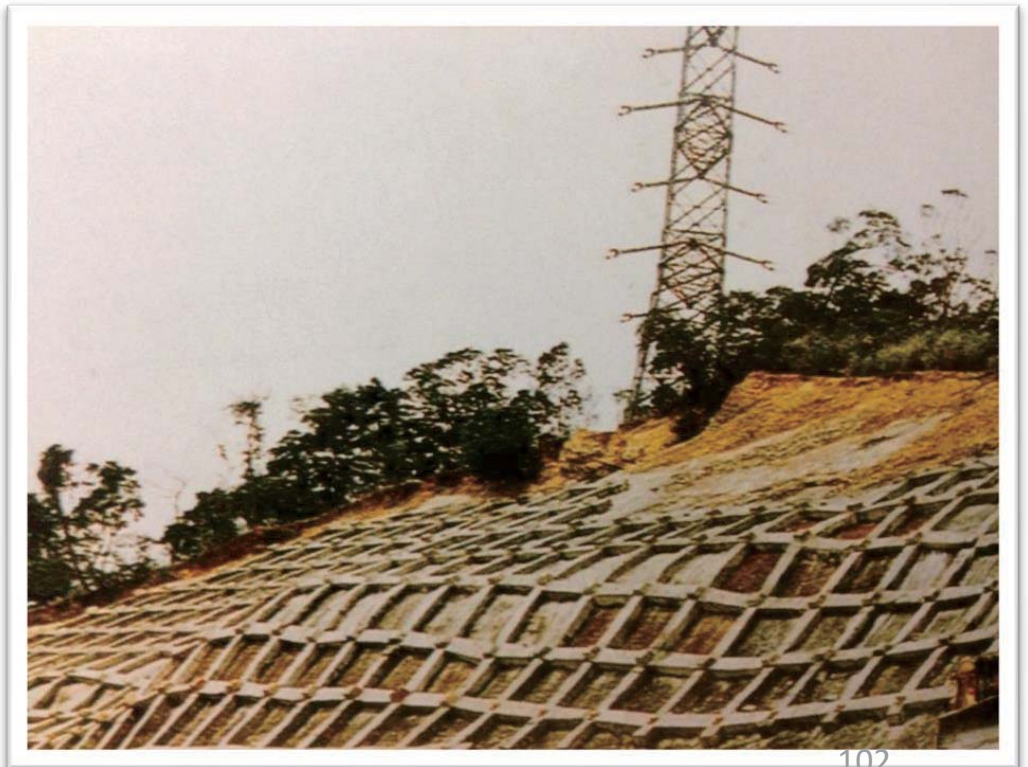
總計700支地錨

# 災變原因-擋土護坡

## 地錨數量

- 格樑部分：  
    施工完344支（少124支）  
    每排最多12支（少3支）
- 坡趾擋土牆部分：  
    施工完253支（多21支）

總計700支地錨





# 災變原因-擋土護坡

## 地錨損壞情形

依據資料顯示，林肯大郡二、三區擋土牆和格樑之地錨系統於八十三年底完工至災變前陸續發生損壞情形。

- 八十五年二月曾發現擋土牆二至三處之地錨錨頭夾片有鬆脫現象。
- 八十六年三月，第二區後方擋土牆龜裂，偶有錨頭掉落。
- 八十六年七月，第三區後方擋土牆中間區掉落錨頭兩個。





## 災變原因-相關試驗及證物檢驗

### 擋土牆混凝土鑽心

鑽取三個試驗體，鑽心試驗體強度值為 $264\sim 293\text{kg/cm}^2$   
擋土牆混凝土之抗壓強度值為 $210\text{kg/cm}^2$   
本次調查之鑽心試體抗壓強度 皆高於設計值

# 災變原因-相關試驗及證物檢驗

## 地錨錨頭夾片與鋼絞線咬合情形之檢驗

將錨頭分為兩類：

災變後鋼絞線與錨頭脫落者

災變後鋼絞線與錨頭仍連接者

錨頭型式	編號	夾片承受拉力(噸)
鋼絞線滑脫之錨頭	夾片1	2.08
	夾片2	1.15
	夾片3	0.94
	夾片4	1.04
	新夾片	14.8(鋼線斷裂)
鋼絞線未滑脫之錨頭	現場夾片	19.5(鋼線斷裂)



## 災變原因-相關試驗及證物檢驗

### 地錨錨頭夾片與鋼絞線咬合情形之檢驗

- 若將現場取回之鋼絞線表面銹蝕情形與英國地錨規範之鋼絞線銹蝕分類相比較，即可發現現場地錨之銹蝕情形僅達工程上所能接受之最低標準。
- 鋼絞線滑脫之錨頭銹蝕情況，則達無法接受之程度。
- 顯示現場地錨不論在自由段和錨頭之防蝕保護方面均不理想。
- 以新夾片去夾合舊鋼絞線，證實舊夾片沒有辦法完美夾合。

因**錨頭夾片材質不良**，導致有不確定比例之地錨無法充分發揮其穩定邊坡之功能，應是造成邊坡滑動之主因之一。



# 林肯大郡災變 原因省思及 後續整治建議



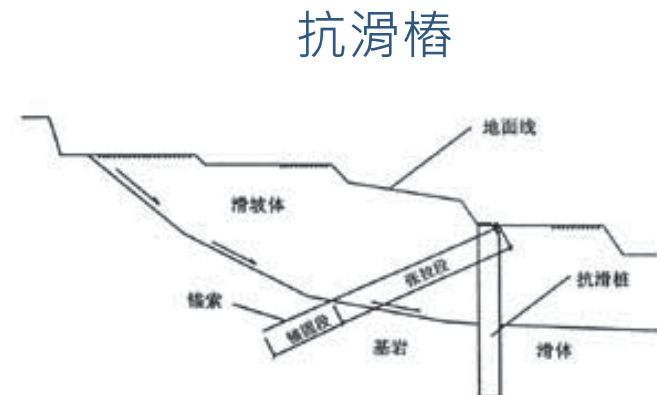
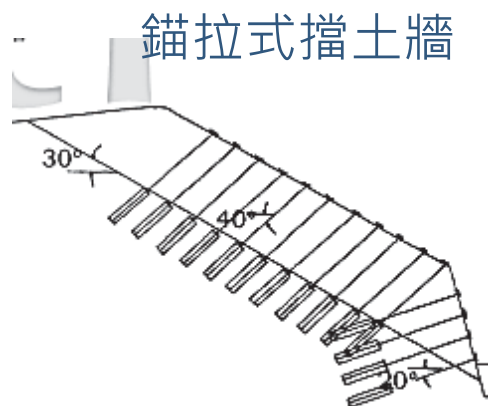
## 順向坡之常用整治工法

- 修坡:

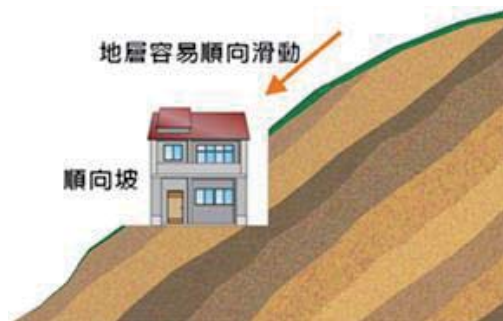
將滑動面上方的土壤清除，使修坡的坡角小於岩層傾角，並納入安全係數考量

- 增設擋土護坡

抗滑樁、錨拉式擋土牆、傳統懸臂式擋土牆等以大口徑抗滑樁或地錨背拉工法較為適合地錨背拉工法工法用於崩塌前，基於心理因素應避免此工法



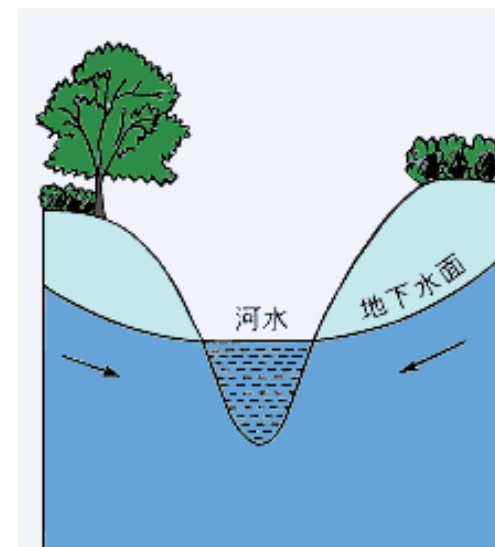
# 結論及建議



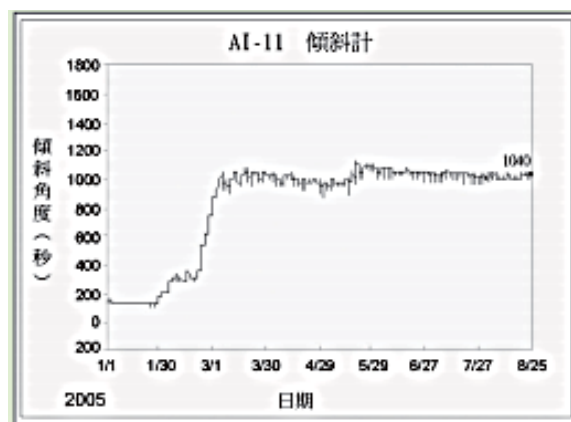
順向坡坡趾開挖



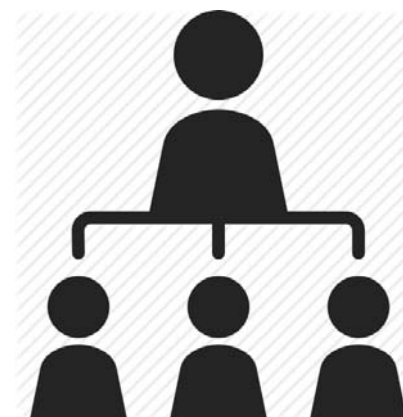
人為疏失



工址鑽探調查



監測系統



後續施工管理



# 大地工程的災變與教訓

大地工程的災變類別

案例一:大直基泰深開挖破壞

案例二:林肯大郡邊坡滑動

案例三:暨南大學綠色邊坡整治

永續/綠色大地工程

結論與建議

# 案例一：暨南大學邊坡崩塌復建工程

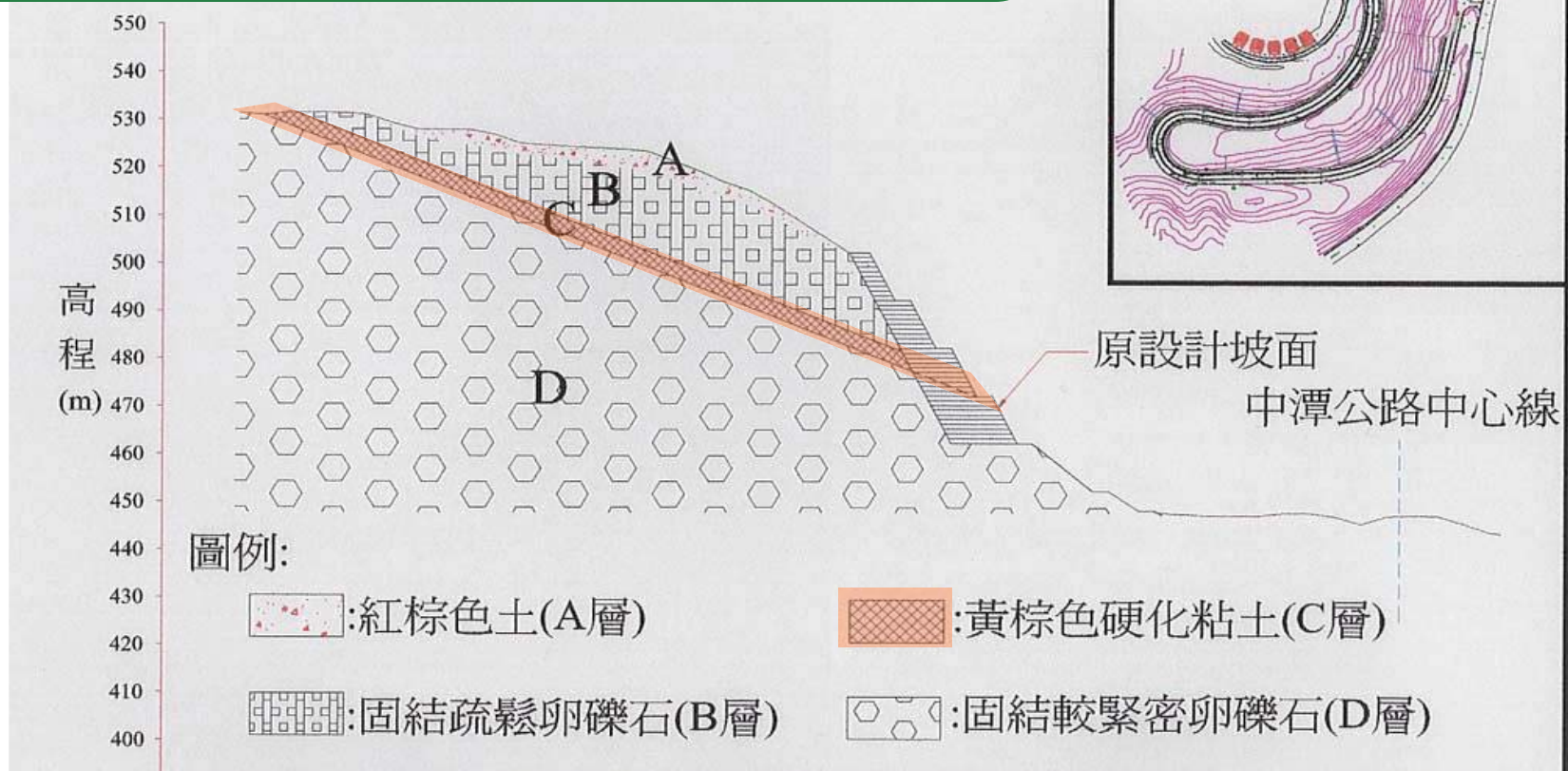


83年施工中  
邊坡滑動破壞



# 暨南大學邊坡崩塌復建工程

順向坡之坡趾被挖除後，  
安全係數小於1，引起滑動。



順向坡破壞面沿棕黃色硬化粘土下滑。



# 暨南大學邊坡崩塌復建工程

921大地震邊坡破壞



因**邊坡中段崩坍**，而**壓至加勁邊坡**，  
形成**骨牌效應**，層層波及，造成下滑。

# 暨南大學邊坡崩塌復建工程

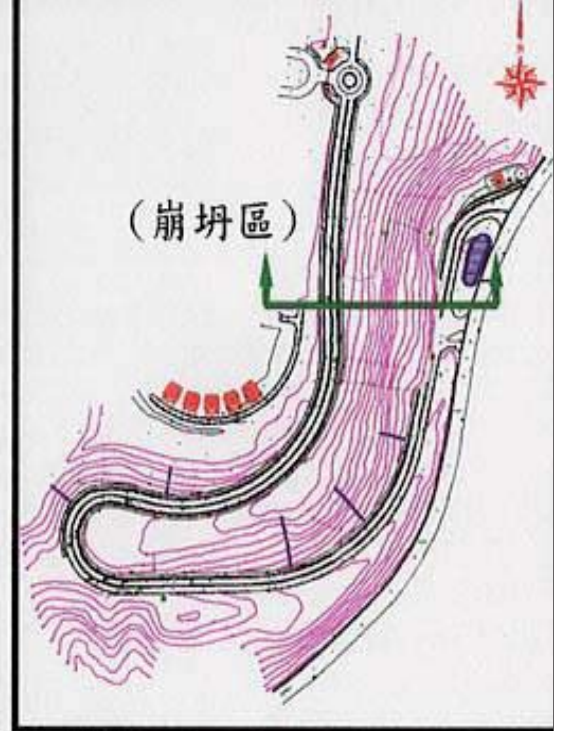
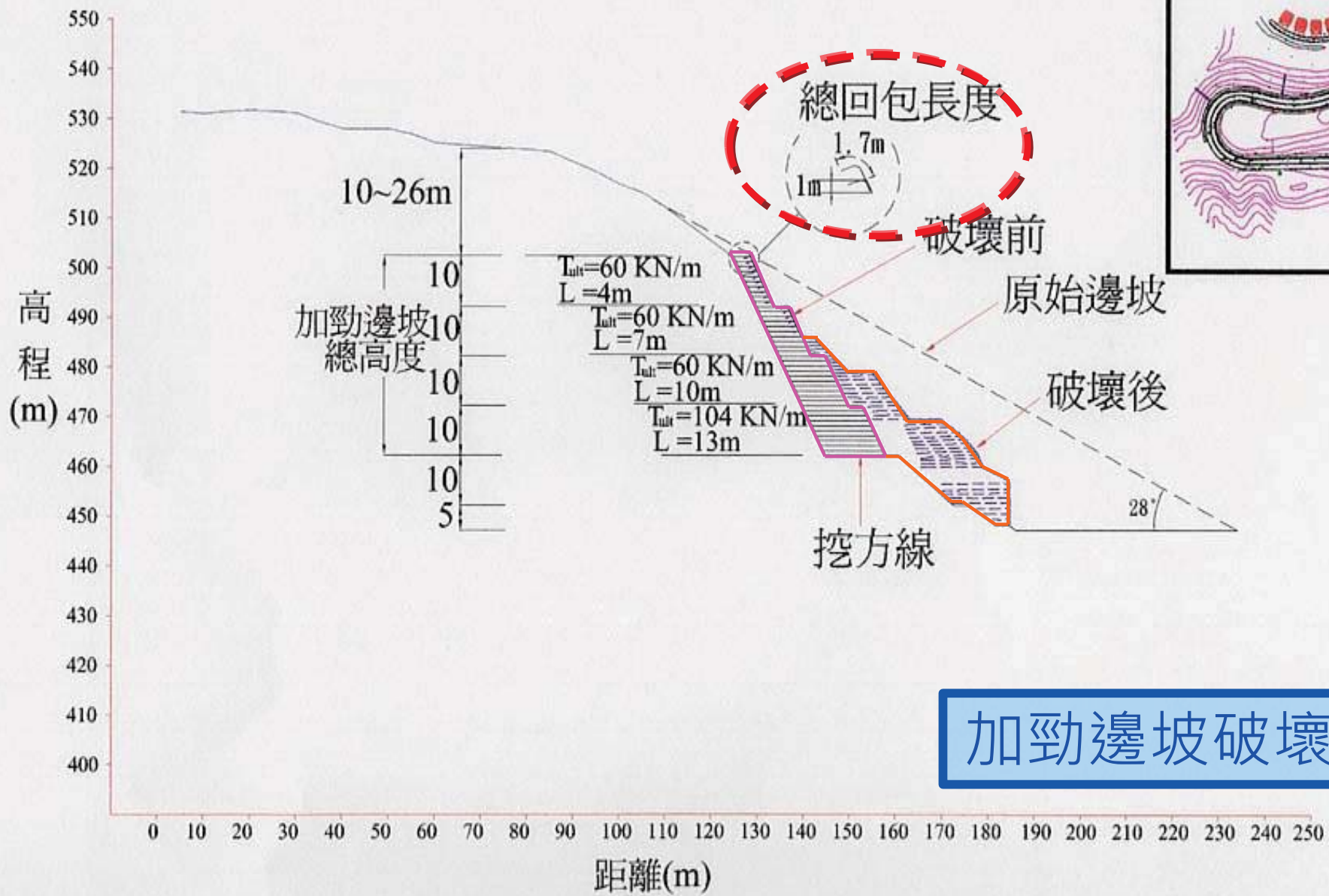
## 致災原因-人為

### (1) 偷工減料:

實際的施工所開挖之厚度跟所設計的厚度有明顯不足。

### (2) 施工順序: 加勁施工方法是由下部一層一層往上部施工，

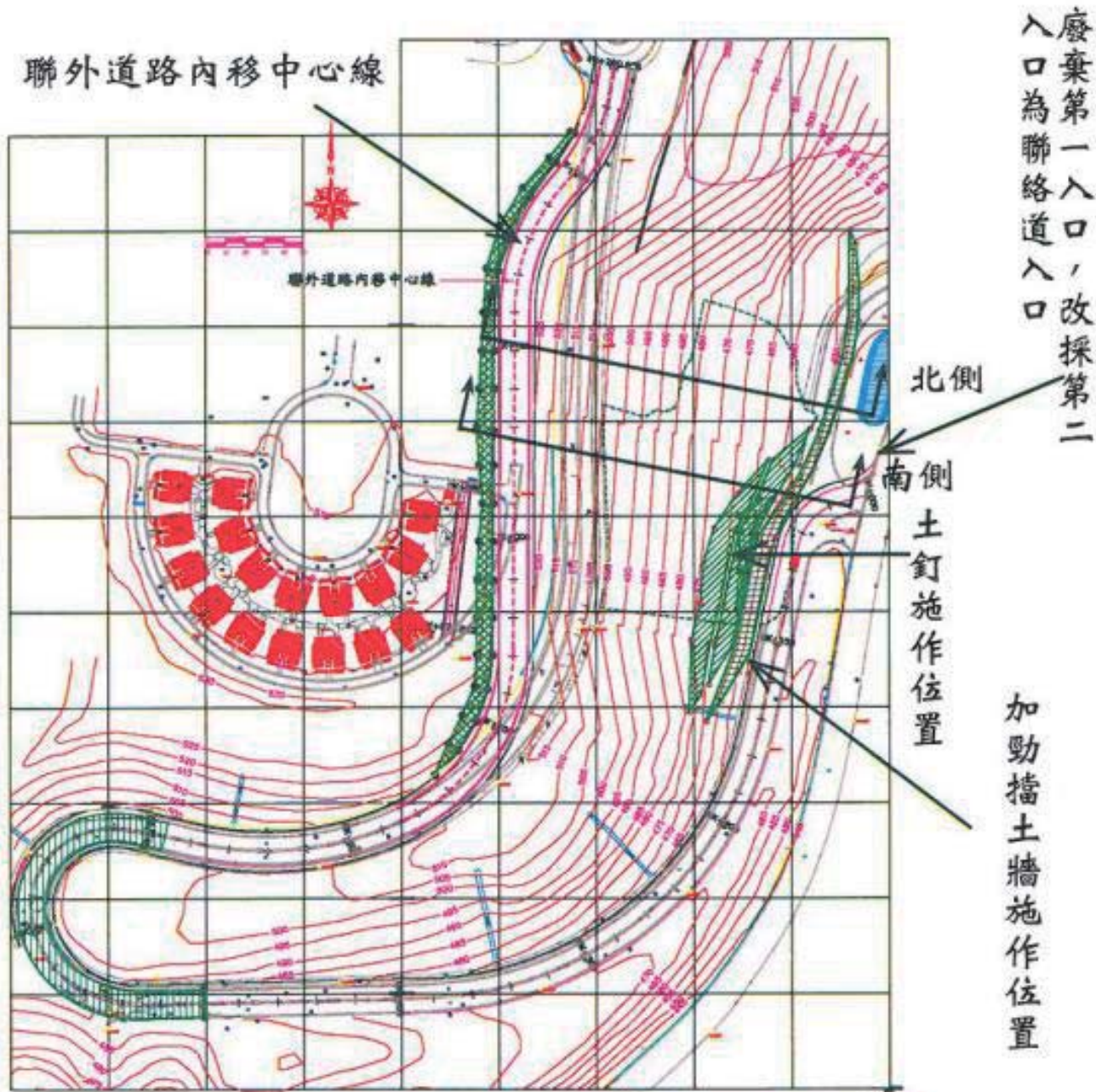
但當時在暨大的加勁施工是由上部往下部施工。



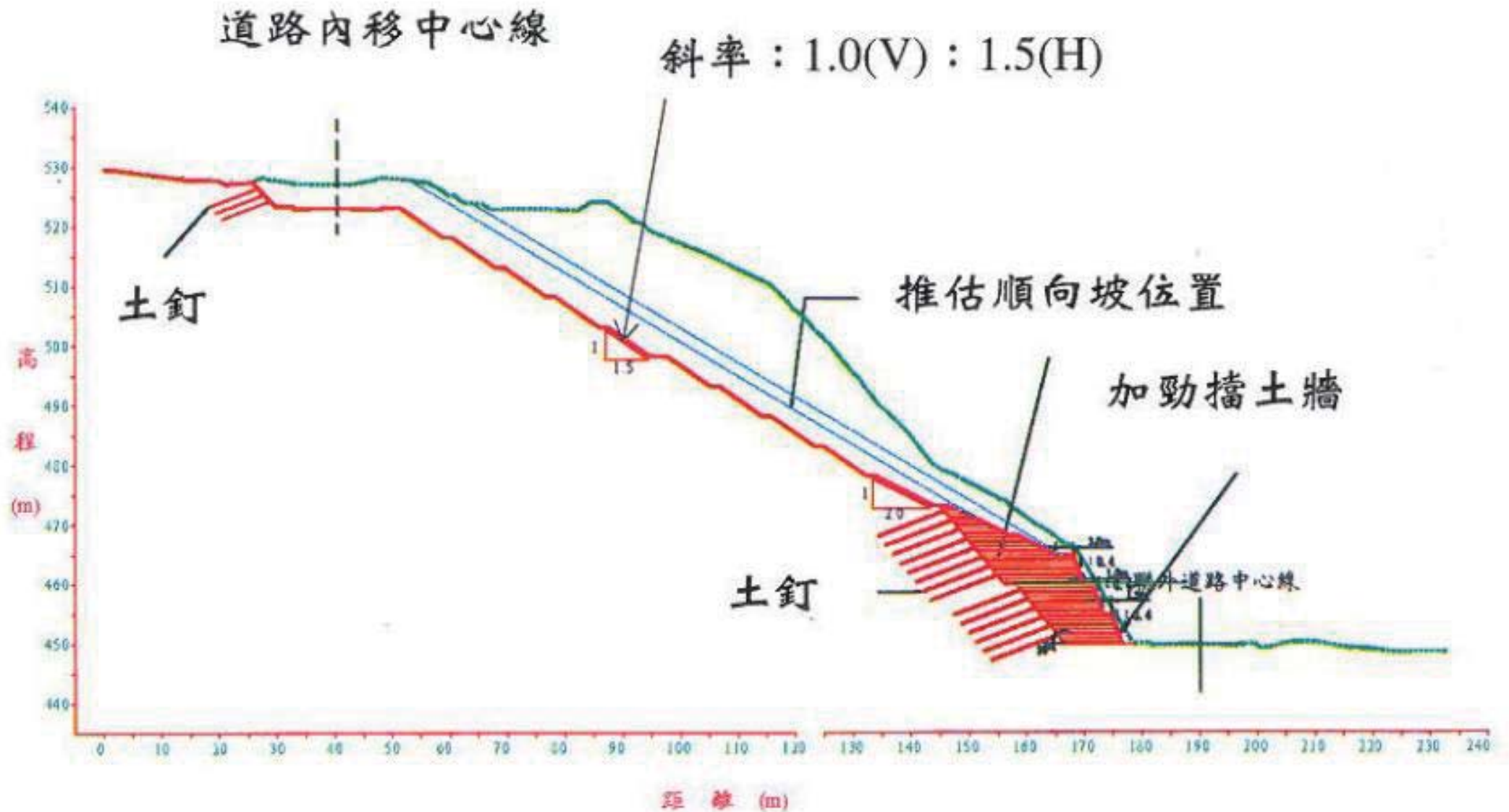
加勁邊坡破壞示意圖



# 暨南大學邊坡崩塌復建工程



# 暨南大學邊坡崩塌復建工程



# 暨南大學邊坡崩塌復建工程

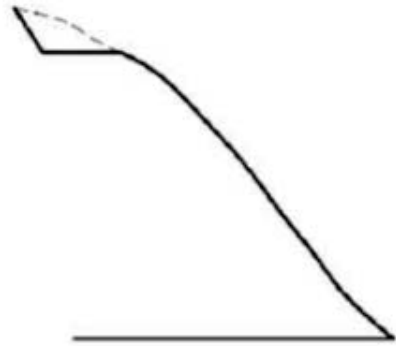


Fig1. Slope Excavation From the Top

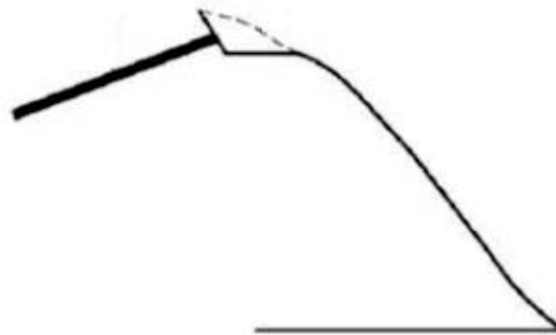


Fig2. Soil Nail Inserting

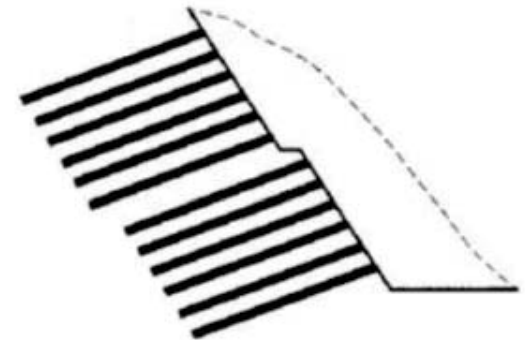


Fig3. Top-down Soil Nail Inserting

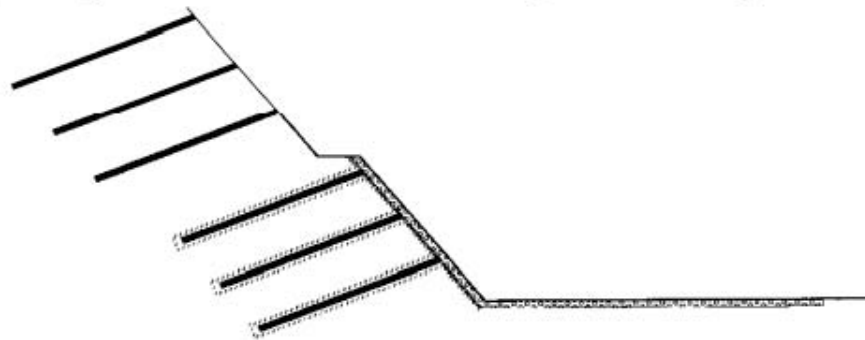


Fig4. Wire mesh and Drainage Layer Placement

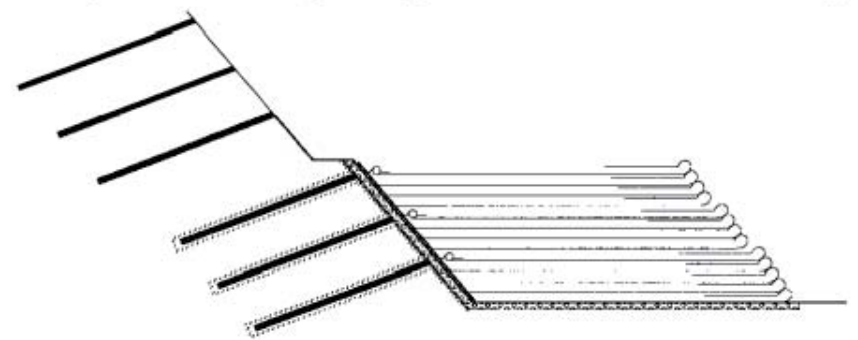
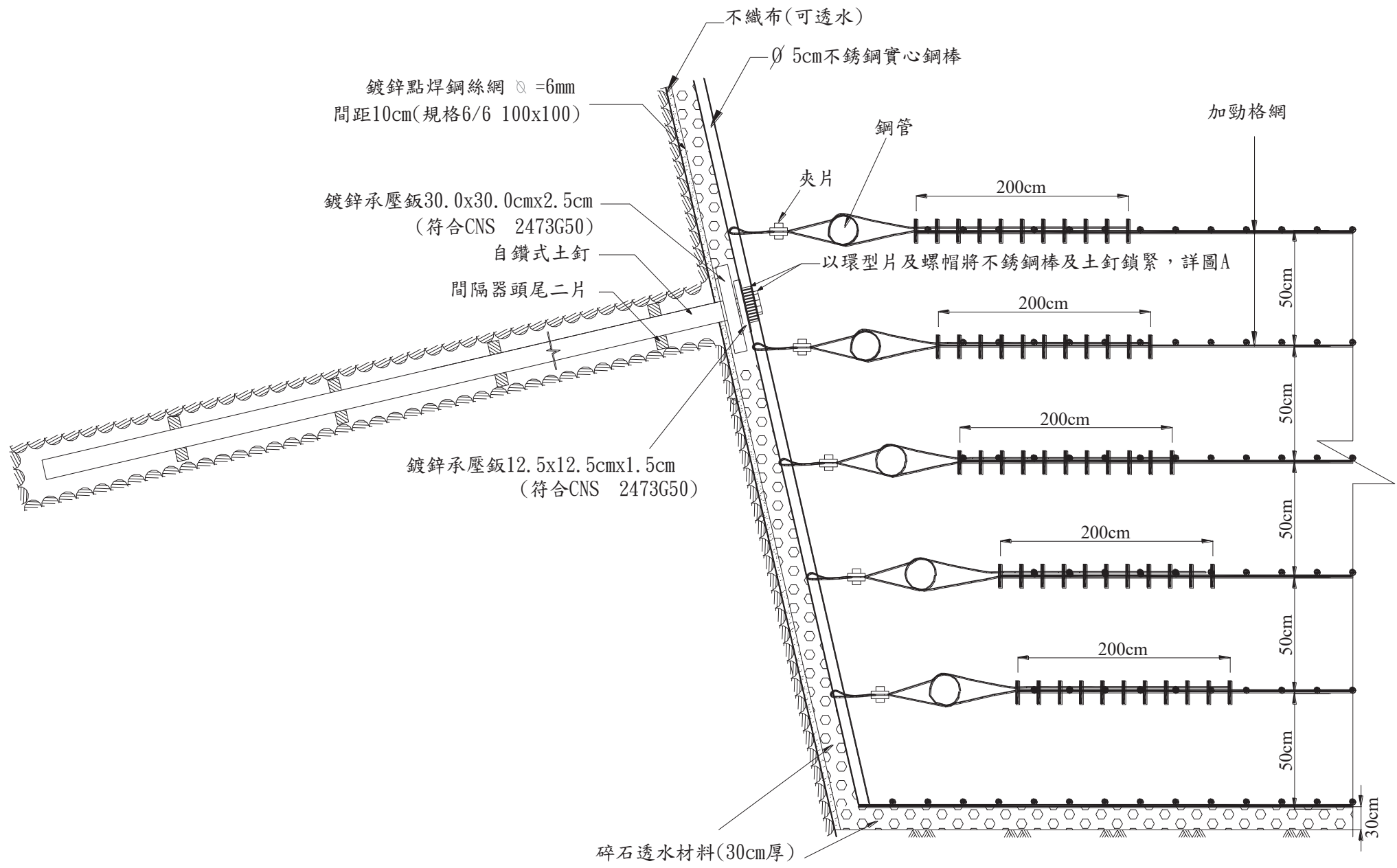


Fig5. Combination of MSE Wall and Soil Nail Through Connecting System

加勁擋土牆施工順序：由下往上

土釘施工順序：由上往下





鍍鋅點焊鋼絲網  $\phi=6\text{mm}$   
間距10cm(規格6/6 100x100)

鍍鋅承壓板30.0x30.0cmx2.5cm  
(符合CNS 2473G50)

自鑽式土釘  
間隔器頭尾二片

鍍鋅承壓板12.5x12.5cmx1.5cm  
(符合CNS 2473G50)

不織布(可透水)  
 $\phi 5\text{cm}$ 不銹鋼實心鋼棒

加勁格網

鋼管

夾片

以環型片及螺帽將不銹鋼棒及土釘鎖緊, 詳圖A

200cm

200cm

200cm

200cm

200cm

50cm

50cm

50cm

50cm

50cm

30cm

碎石透水材料(30cm厚)

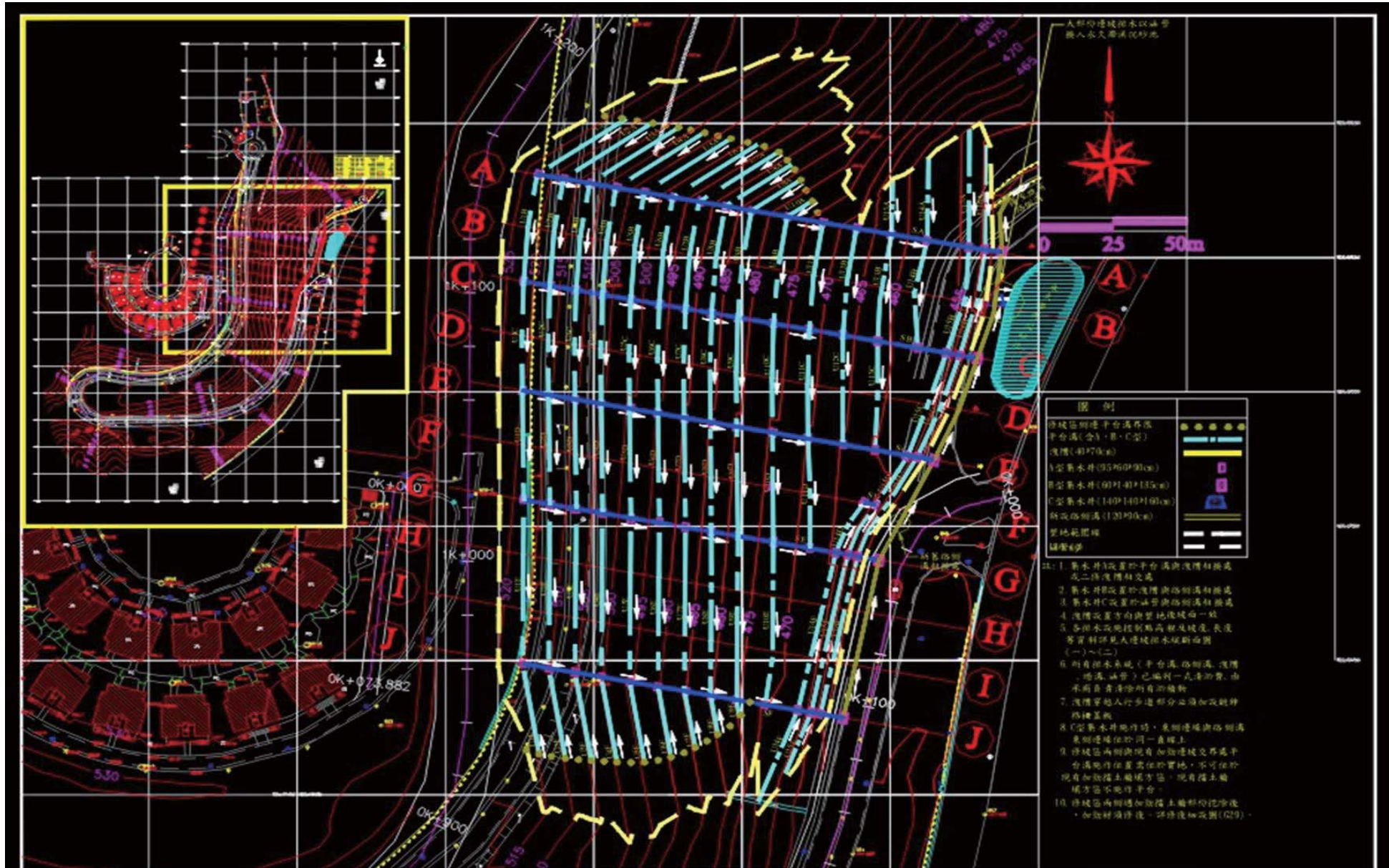




加勁材與土釘聯結



# 暨南大學邊坡崩塌復建工程





# 暨南大學邊坡崩塌復建工程

1. 蜂巢格網鋪設



2. 客土噴植



3. 上邊坡完工

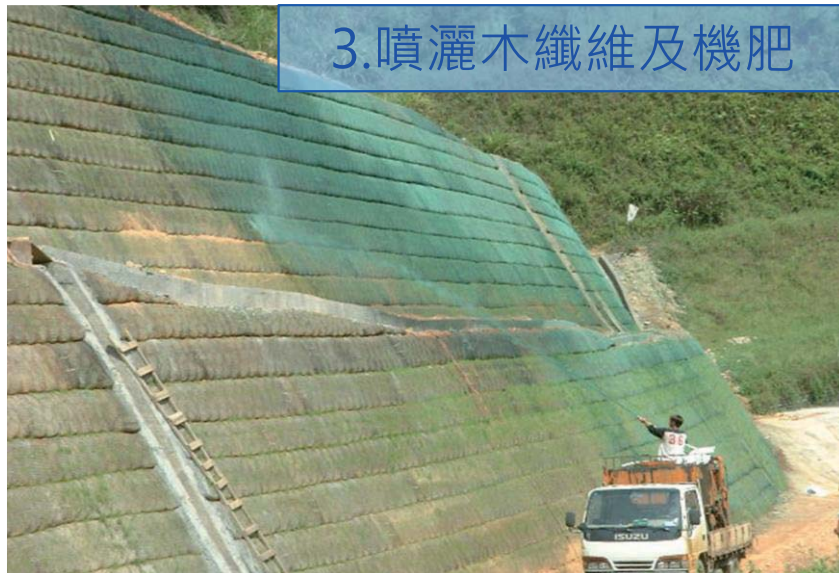
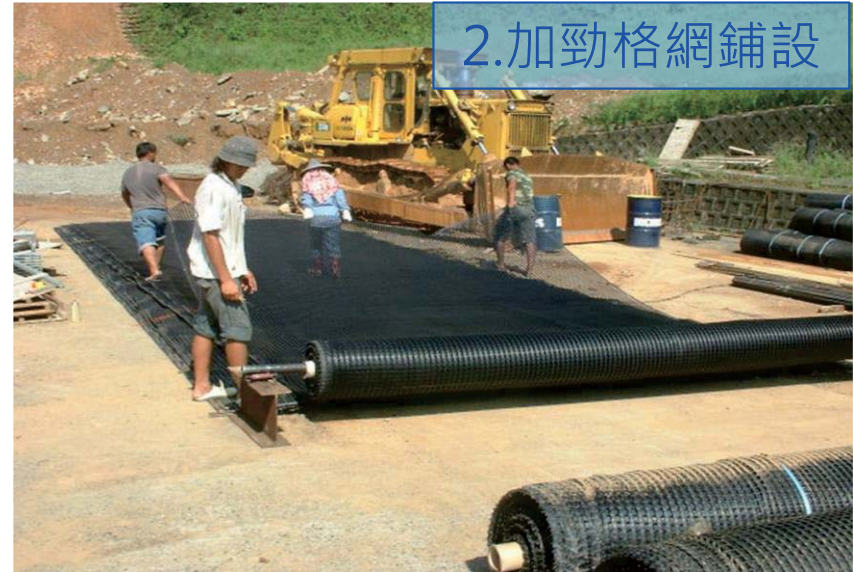


4. 噴植二個月  
草種生長狀況





# 暨南大學邊坡崩塌復建工程





# 暨南大學邊坡崩塌復建工程



現況-2013.10



# 暨大大邊坡現況







(暨南大學聯絡道邊坡整治案例，堅尼士)



## 綠色(回包式)加勁擋土結構

- 動物利用加勁材與砂袋間之孔隙生存
- 加勁材料提供植物攀爬功能





# 大地工程的災變與教訓

## 大地工程的災變類別

案例一:大直基泰深開挖破壞

案例二:林肯大郡邊坡滑動

案例三:萬芳社區邊坡崩塌

案例四:暨南大學綠色邊坡整治

永續/綠色大地工程

結論與建議



絕不淹水



# 氣候變遷帶來災難－地球暖化！



明天過後  
－虛擬未來

颶風浩劫紐奧良  
－記憶猶新的事實

若溫室氣體排放不控制，本世紀末大氣CO<sub>2</sub>濃度將達工業革命時之3倍，全球溫度平均將上升5.8°C，海平面可能上升1公尺，屆時淡水河道寬度將增加5-10倍、士林及三重等地區將被淹沒。





# 臺灣綠色工程發展

建築類

土木類

永續類

綠建築

綠美化

生態工法

永續營建

永續環境

永續經濟

永續社會

節能減碳

綠色能源

低衝擊開發(LID)

綠色生產/綠色採購

綠色/永續工程

所謂綠色工程，可比照美國環保署對綠建築之定義，稱之為對環境友善、在生命週期中對環境破壞最小的工程。



回包式植生加筋擋土結構是標準的綠色工程：

生態  
減碳  
環保  
安全  
永續  
經濟  
美觀



# 漢長城 - 古代的加勁擋土牆



国家重点文物保护单位

汉长城

中华人民共和国国务院一九八八年一月十三日公布  
树立

11/09/2012 17:29



# 加勁擋土牆之天然加勁材料 - 蘆葦、紅柳、樹枝



10/09/2012 11:24



# 漢長城加勁材迄今尚存







[www.e-mailnat.com](http://www.e-mailnat.com)

© 2010 daniel carbajal colsona





[www.e-mailaat.com](http://www.e-mailaat.com)

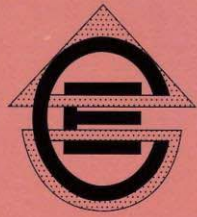


# 臺灣加勁土壤結構之特色： 綠色、生態、經濟、碳中和



臺灣加勁土因多採用回包式面牆（表面植生），及現地土做為回填材料，達到生態、環保、節能、減排，故符合綠色工程之定義。





結合生態與景觀之  
加勁擋土結構設計及施工規範



委託單位：台北市土木技師公會  
研究單位：堅尼士工程顧問有限公司

中華民國九十三年八月

計畫主持人：周南山

協同主持人：吳淵洵  
范嘉程  
黃景川  
趙紹錚  
李維峰

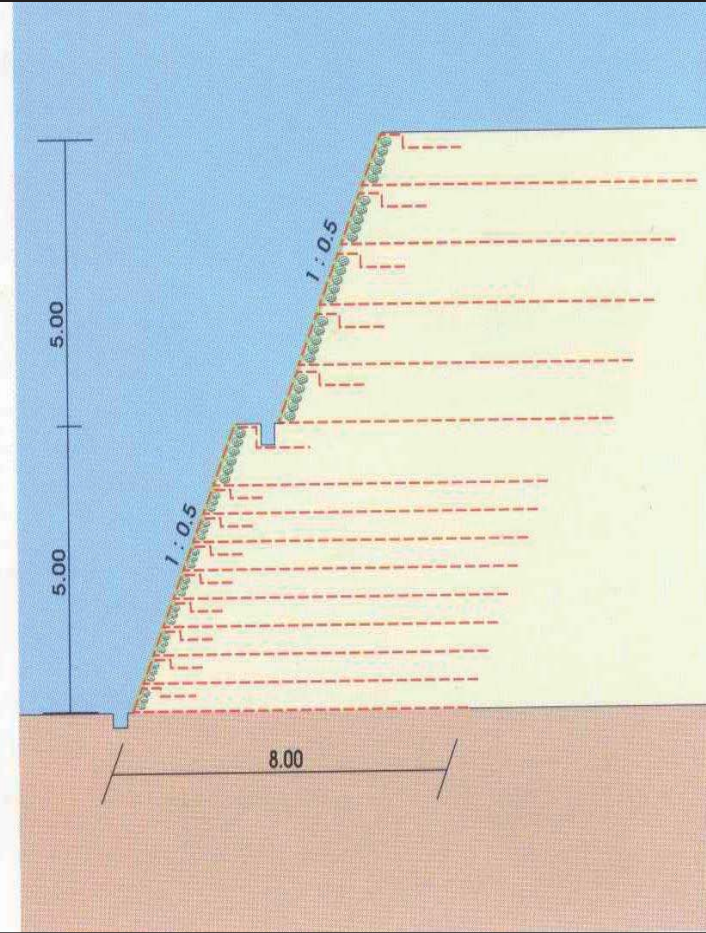
審查委員：李咸亨  
吳正雄  
林三賢  
王春煌  
許資生  
鄭兆鴻  
鄭清江  
廖瑞堂



# 回包式加勁工法



■ 加勁路堤



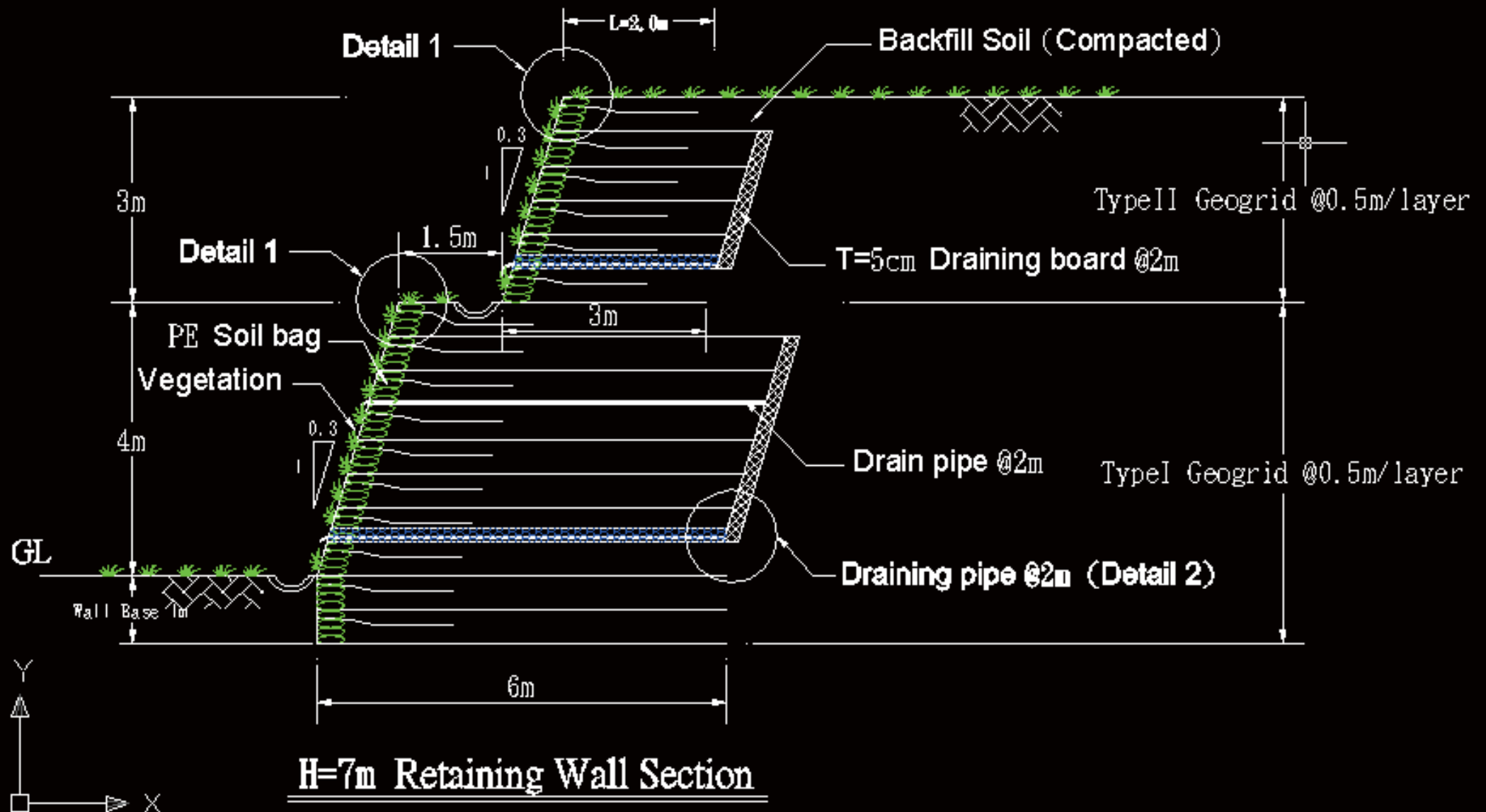
■ 示意圖

# Reinforced Materials--Geogrid





# 回包式加勁工法設計





# 回包式加勁工法施工



# Comparison of RC wall vs Geosynthetics-Reinforced Soil (GRS) Wall (1/2)

(after Chou, 1993, 2019)

Comparison item	RC wall	Geosynthetics-Reinforced wall
<b>Cost</b> 建造成本	<b>Unit price increases significantly with height</b> 單價隨牆高度上升	<b>Unit price lower, and not varies with height</b> 較經濟，單價不因牆高有太大變化。
<b>Appearance</b> 外觀	<b>Concrete pouring surface</b> 單調的混凝土表面	<b>Vegetated surface or special modelling</b> 植生或特殊造型
<b>Design concept</b> 設計理念	<b>External stability</b> 外穩定，藉RC牆提供穩定力矩及滑動抵抗力。	<b>Internal stability</b> 內穩定；藉加勁材料與土壤摩擦力提供穩定的來源。
<b>Earthquake (EQ) resistance</b> 耐震性	<b>Low EQ resistance</b> 應力集中，易生裂縫。	<b>High EQ resistance</b> 加勁材料抗張性強，應力分配均勻，結構體無破裂之虞。



**GRS wall in Japan, before Osaka-Kobe earthquake**

**日本高鐵採用加勁土堤（阪神地震前）**





**GRS wall in Japan, after Osaka-Kobe earthquake**

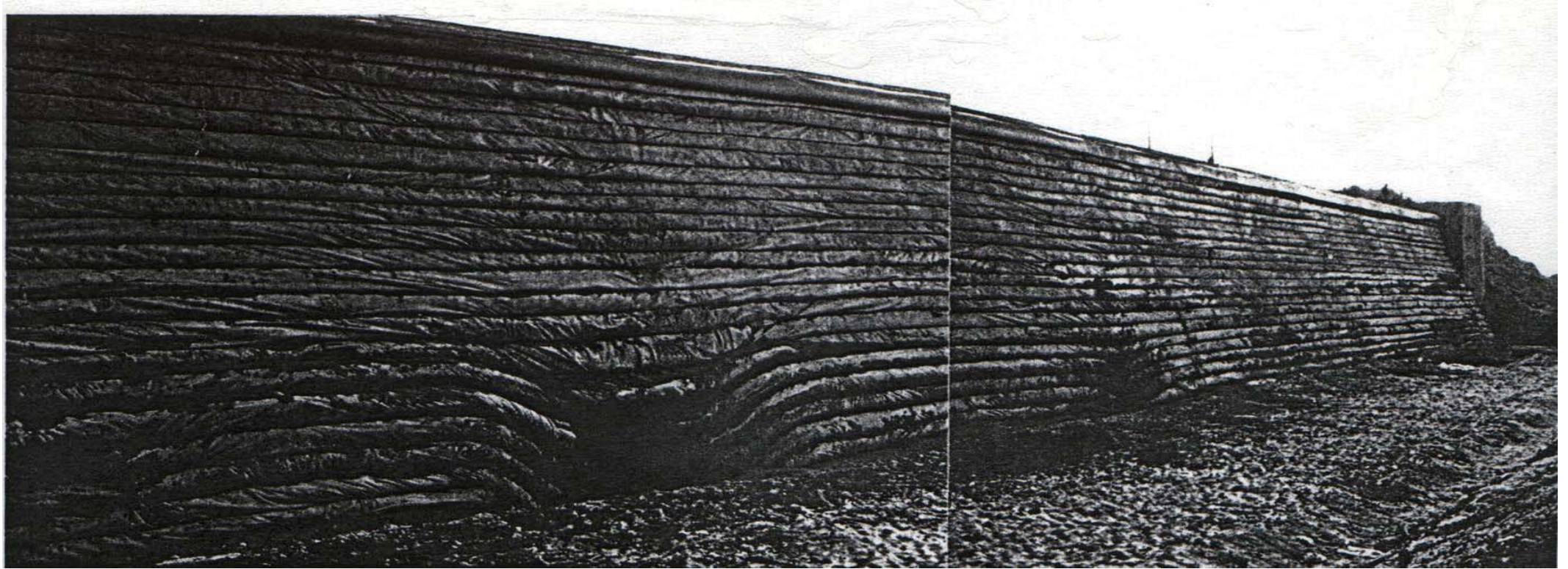
**加勁土堤在阪神地震中表現優異，毫無損傷**



# Comparison of RC wall vs Geosynthetics-Reinforced Soil (GRS) Wall (2/2)

<b>Comparison item</b> 比較項目	<b>RC wall</b> RC擋土牆	<b>Geosynthetics-Reinforced wall</b> 加勁擋土牆
<b>Allowable settlement /deformation</b> 容許沉陷/側向變形	<b>2.5 cm - 5.0 cm</b>	<b>30 cm</b>
<b>Carbon emissions</b> 碳排放量	<b>Higher</b>	<b>Much lower</b> <b>(about 1/5 of RC wall)</b>





## 加勁擋土牆之架橋效應

不織布加勁擋土牆臨海側基礎土壤流失造成下陷，但基礎之不均勻沉陷並未對牆頂道路造成不利影響（1989 李咸亨）



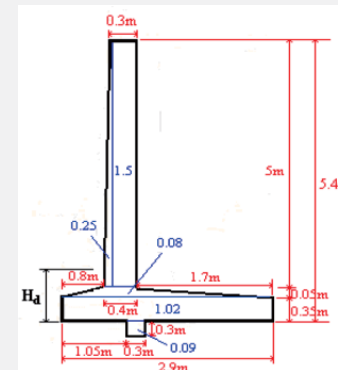
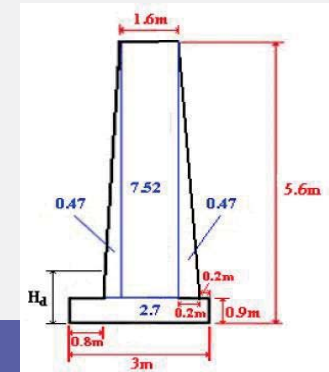
# Comparison of $CO_2e$ for various walls

Wall type	Gravity Wall	Cantilever Wall	Wrap Around MSE wall
Emission of $CO_2(T)$ During construction	322,196	147,830	43,429
Emission of $CO_2(T)$ During Service (vegetation)	—	—	-53,500
<b>Total</b>	<b>322,196</b>	<b>147,830</b>	<b>-10,071</b>

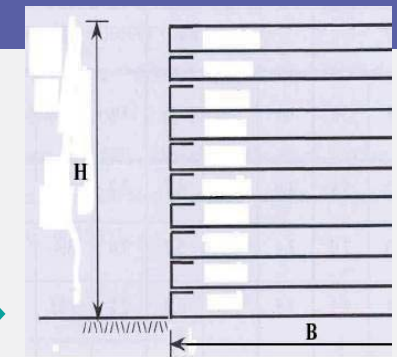
\*採用紫花苜蓿之固碳數值，時間假設為10年

After 詹璨榮, MS thesis, Taiwan Tech (2010)

## Gravity Wall



## Cantilever Wall



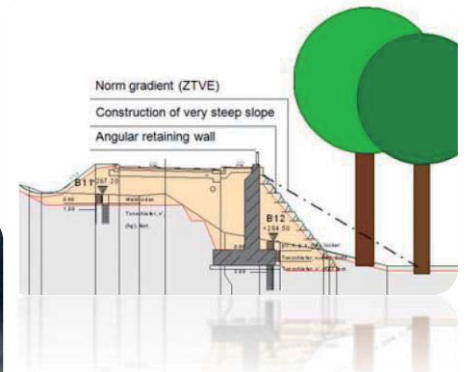
## Wrap around MSE wall

# Comparison of Carbon Footprints between RC and Reinforced Soil Structures (German) 傳統工法與加勁工法碳足跡比較(德國)

	傳統工法	加勁護坡
累積能源損耗 CED (GJ)	4,552	1,350
碳排放 CO <sub>2</sub> (t)	542	101

約1/3

約1/5



- From: Reduction of climate-damaging gases in geotechnical engineering by use of geosynthetics
- Author: Prof. Dr.-Ing. Georg HEERTEN (CEO of NAUE Germany)

# 大地工程的災變與教訓

大地工程的災變類別

案例一:大直基泰深開挖破壞

案例二:林肯大郡邊坡滑動

案例三:暨南大學綠色邊坡整治

永續/綠色大地工程

結論與建議



# 大地工程的災變與教訓

- (1) 大地工程與建築息息相關。從深開挖、基礎工程、液化、到邊坡與擋土結構均有密切的關係。
- (2) 大地工程與結構不同，因地層的變異多端，和含水量的多寡，造成性質難以掌握，是科學亦是藝術、導致大地工程災變頻傳。
- (3) 每次大地工程的災變都是老天給我們的教訓，但也是天賜的大型力學試驗，使我們的state of the art 更加精進。
- (4) 基泰大直案給我們的教訓是要回到土壤力學原理。不人云亦云(別人用改良樁所以我也用)，而需要真正瞭解其破壞機制，才能事先預防。

# 結論

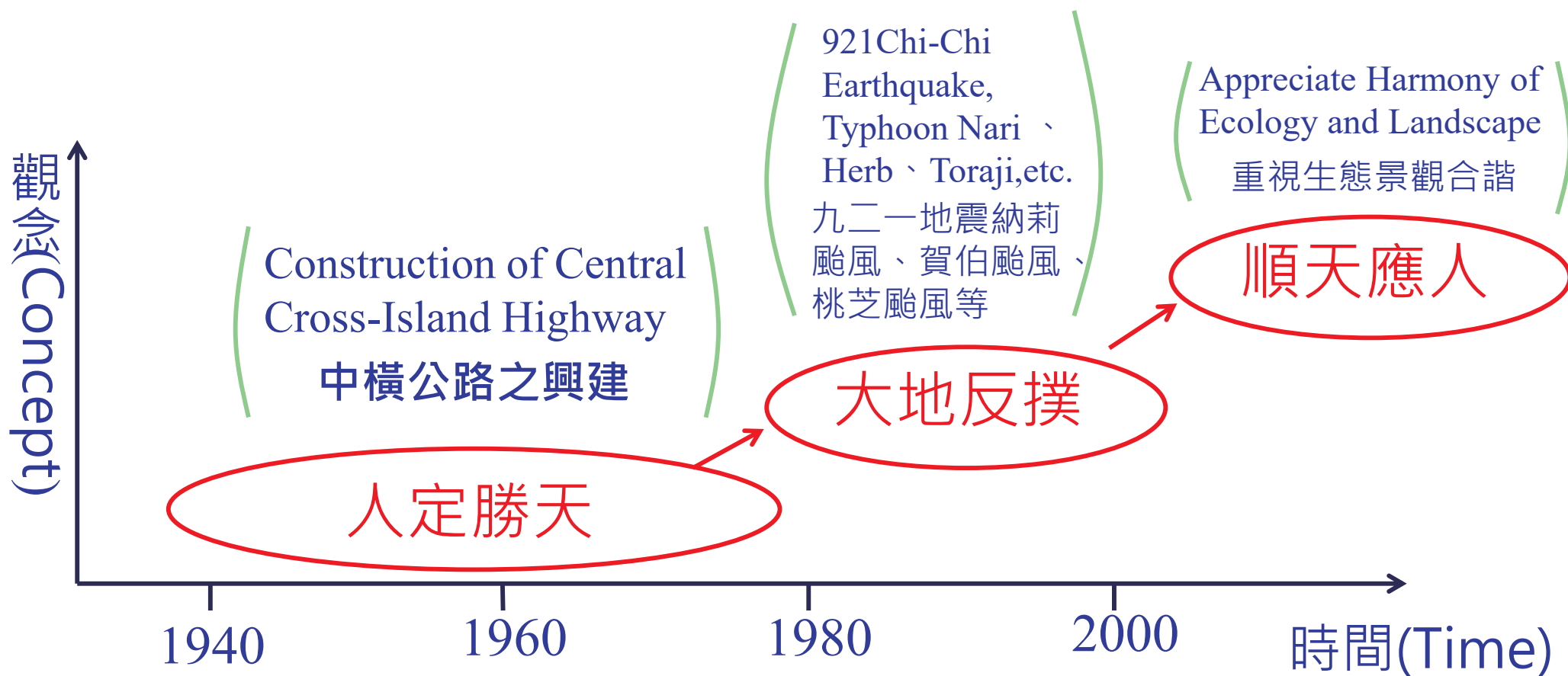
- 順天應人的中庸之道:孟子/斧斤以時入山林，柴木不可勝用也
- 在環境永續發展之前提下，傳統工程人定勝天觀念，僅著重於結構強化的抵抗性作法已無法因應當前需要。
- 以老祖宗所揭示的順天應人哲學，配合最新地工技術與材料，兼顧環境、生態、景觀、節能減碳之設計乃是綠色工程發展之趨勢。

# (工程建設觀念之演進)

$t_1$  : Before 1980 — Era of Man Can Prevail (人定勝天的時代)

$t_2$  : 1980 ~ 2002 — Era of Earth Hits Back (大地反撲的時代)

$t_3$  : After 2002 — Era of Harmony Between Man and Earth (順天應人的時代)

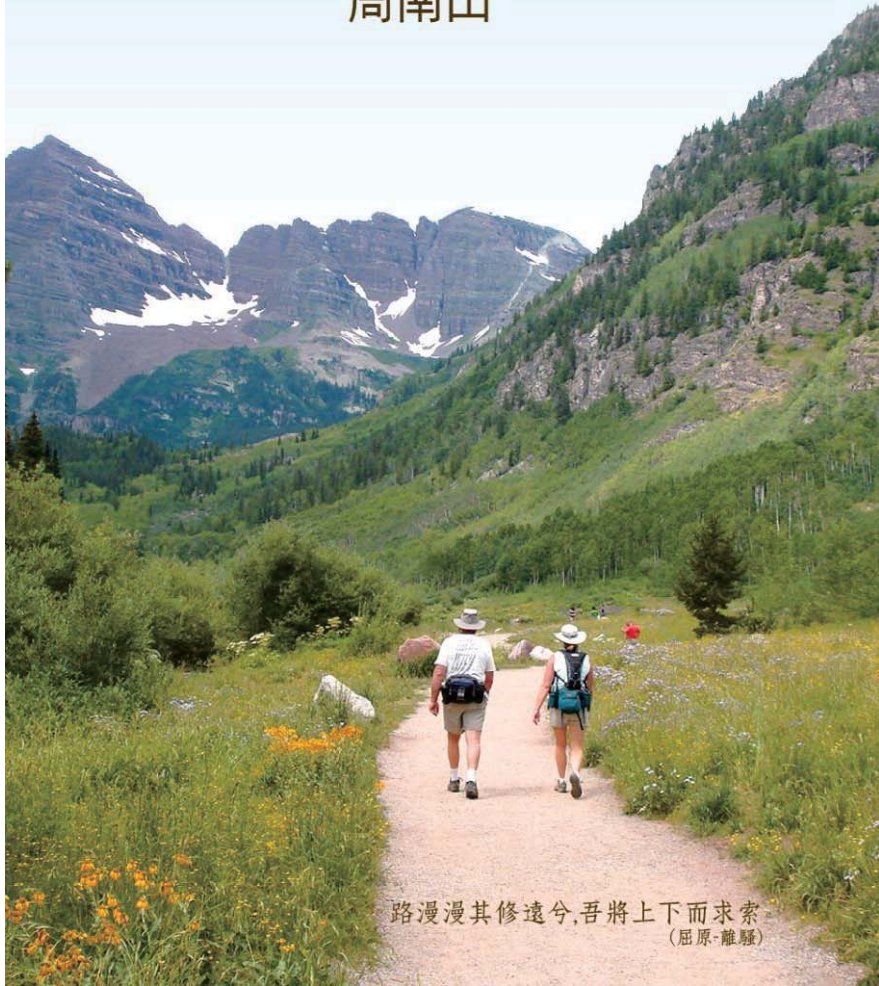




第二版

# 長路漫漫

周南山



路漫漫其修遠兮，吾將上下而求索  
(屈原·離騷)

拙著：長路漫漫第二版：“工程師們的理性與感性之旅”，不僅是一本理性與感性的散文集，也是國內最完整的永續/綠色土木工程講義。

有興趣者請洽詢：中國土木水利工程學會。

# 長路漫漫--工程師的理性與感性之旅 (增訂二版)

## 永續/綠色土木工程簡報檔目錄


- #1 土木工程師的生涯規劃--給土木學子的建議
- #2 談中英文工程寫作技巧
- #3 土木工程與詩之結合
- #4 全球暖化與天然災害
- #5 生態工程原理及案例探討
- #6 永續/綠色環保公路
- #7 綠色邊坡工程暨碳排放量計算
- #8 山區公路邊坡破壞模式與整治技術
- #9 綠色橋梁工程案例探討
- #10 永續/綠色地工合成材料結構
- #11 綠色加勁擋土結構
- #12 地工合成材料於綠色水土保持工程之創新應用
- #13 落石防治面面觀
- #14 超高性能混凝土(UHPC)之簡介與應用
- #15 綠色河川整治與海綿城市案例探討

# 長路漫漫--工程師的理性與感性之旅 (增訂二版)

## 永續/綠色土建工程簡報檔目錄

- #16 綠色城市巡禮
- #17 透水與排水鋪面
- #18 綠色鋪面案例探討
- #19 循環經濟及其在營建工程之應用
- #20 各種能源之優劣點分析及碳排放量之比較
- #21 水庫清淤創意構想暨淤泥再利用方案評估
- #22 永續/綠色公共工程-趨勢與案例
- #23 土木工程永續評估指標
- #24 綠建築指標、案例與綠能產業
- #25 高層建築採用RC、SS & SRC之比較分析
- #26 台北盆地與山區之地震特性及其對建築物之影響
- #27 啓動營建業淨零碳排目標的永續工程
- #28 生態公園案例探討
- #29 永續營建與生態工程參訪心得
- #30 ChatGPT 在土木工程之應用初探



An aerial photograph of a lush green valley. A river winds through the landscape, forming a large loop around a central island covered in dense trees. The surrounding area is divided into various green fields and patches of brown earth, with several small buildings and farm structures scattered throughout. The lighting is bright, casting soft shadows across the terrain.

謝謝聆聽  
敬請指教