

2019臺中市
中級土壤液化潛勢
暨建築安全技術研討會

土壤液化及軟弱地質之
建築物基礎設計考量

陳正興

台灣大學土木工程學系名譽教授

2019.10.25

1

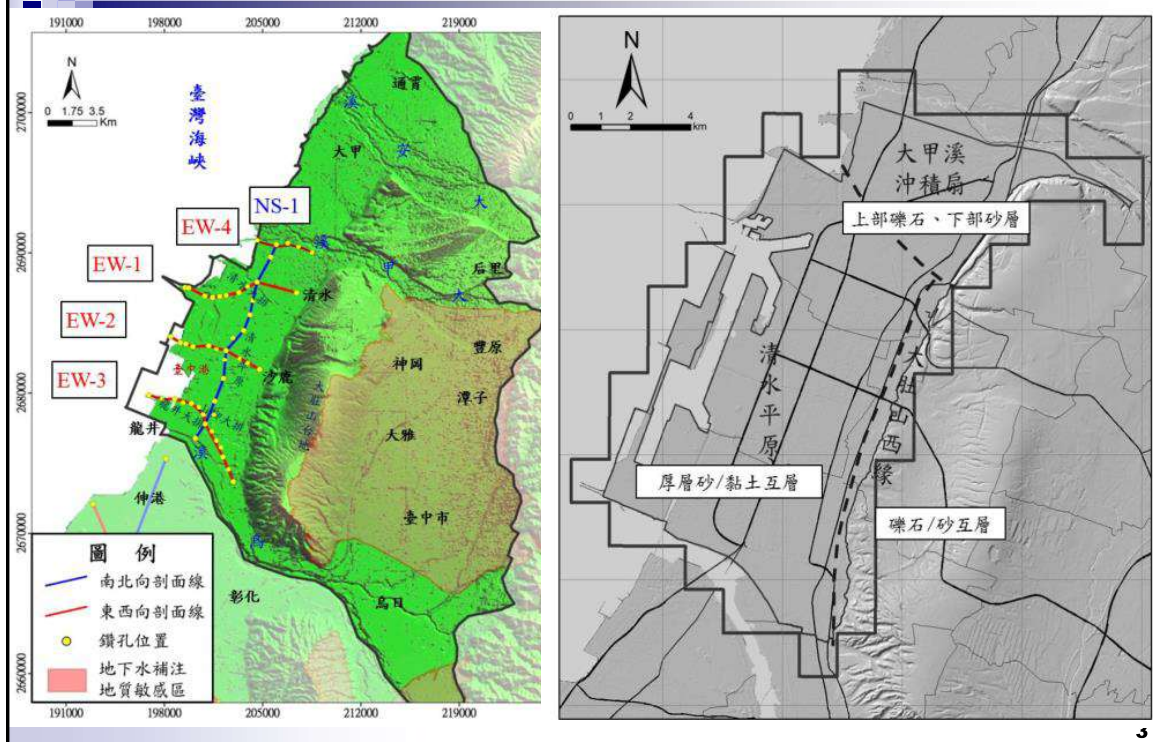
大綱

- 前言
- 台中市西部地區之地質條件
- 清水平原地區建築物基礎設計之考量
 - 高地下水位之厚層沖積土層
 - 土壤液化中高潛勢區
- 抗土壤液化之基礎設計
- 軟弱地盤之基礎設計
- 結語

2

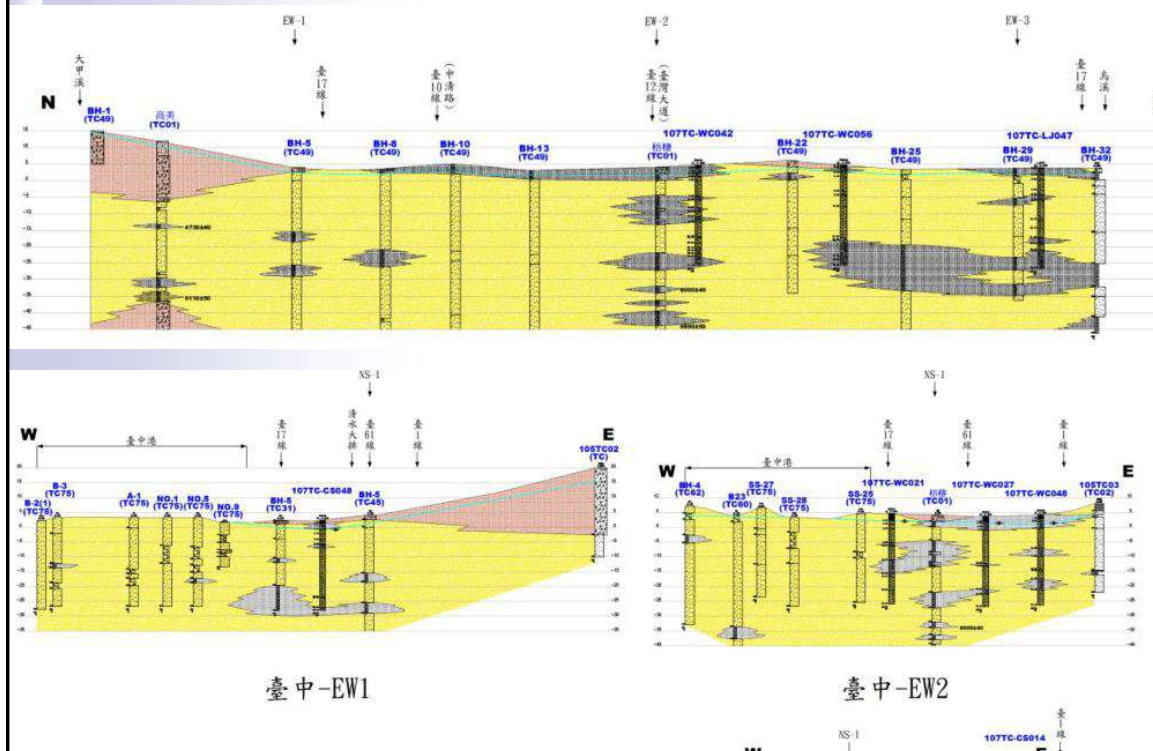
2

台中市西部地區之地質條件

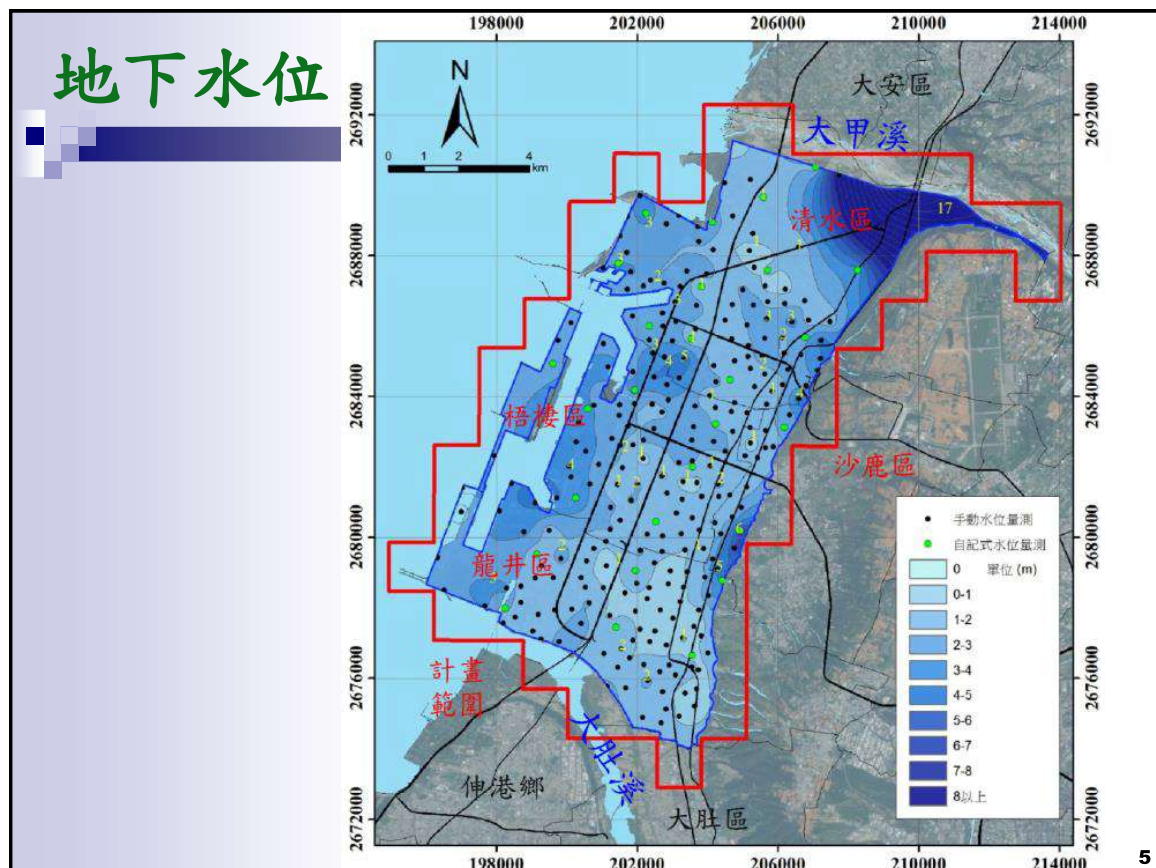


3

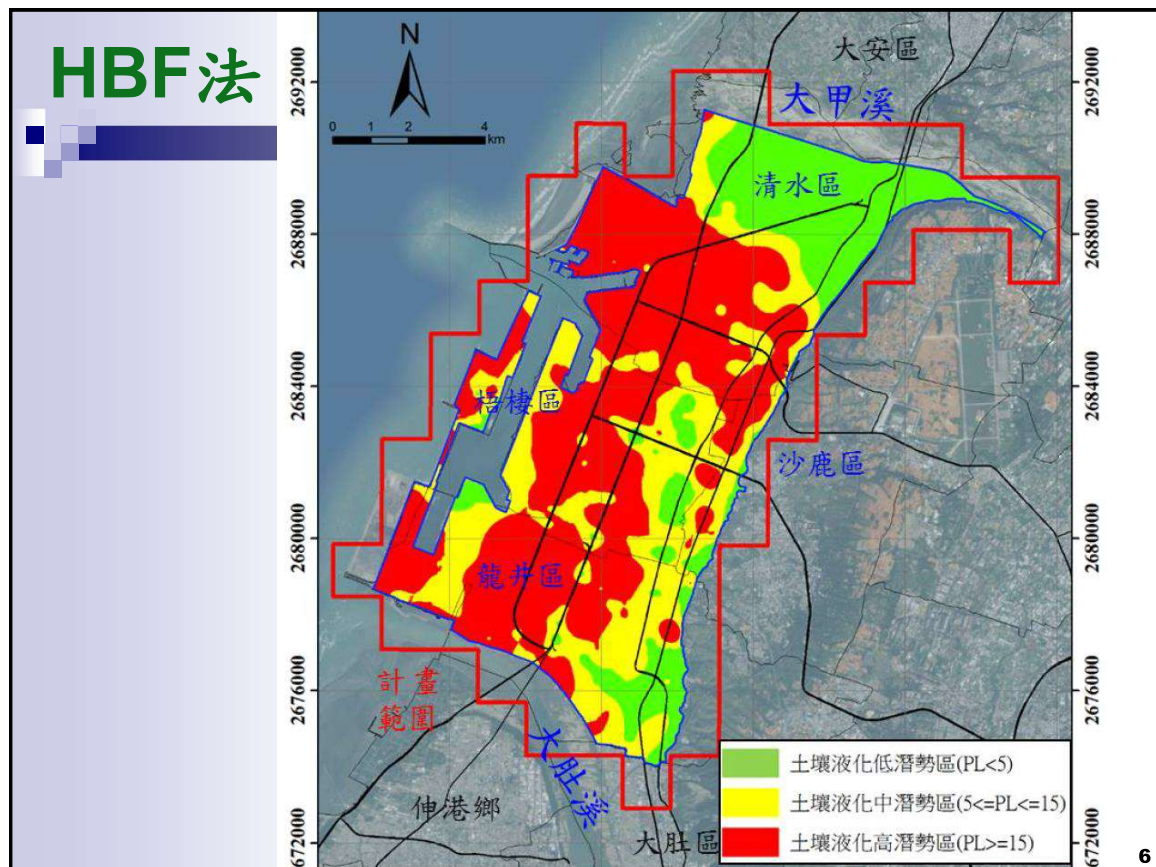
地質剖面



4



5



6

- Vs用N值計算
- 大部分地區屬第二類與第三類地盤，需考慮場址放大效應。
- 近斷層效應



經濟部中央地質調查所

- 8

清水平原建築物基礎設計之考量

- 沿海地區主要為疏鬆沖積砂土層(淺層 $N=5\sim10$)，間夾薄層黏土(1~2m， $N=2\sim4$)，地下水位高(約1~2m)
- 多數區域屬土壤液化中高潛勢區
- 建築設計須兼顧
 1. 土壤液化
 2. 軟弱地質

9

9

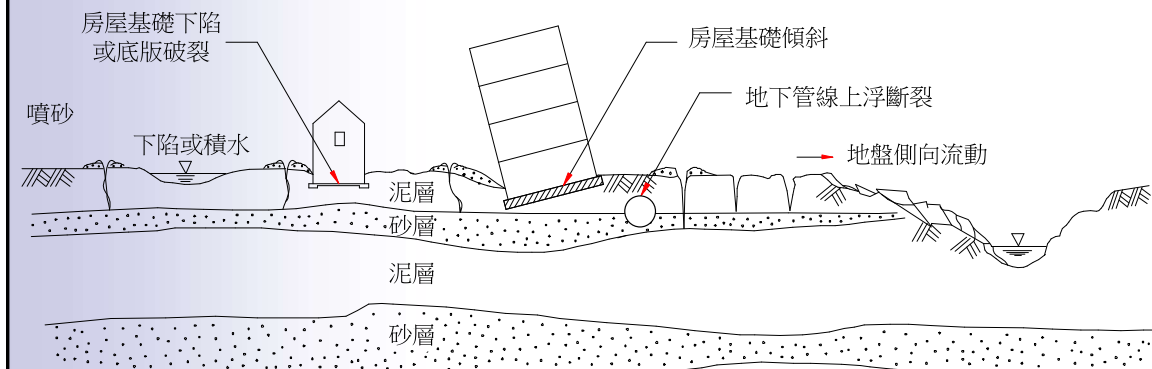
土壤液化災害之回顧與防災思維

- 19350421新竹台中烈震(M7.1)之液化災害
- 19990921集集地震(M7.3)之土壤液化災害
- 20160206美濃地震(M6.4)之土壤液化災害
- 近年世界各地嚴重之土壤液化災害
 - 2011年東日本大地震(東京灣回填地)
 - 2010-2011年紐西蘭基督城序列地震(沖積平原)
- 如何面對土壤液化問題
 - 基礎結構設計之考量

10

10

土壤液化之災害

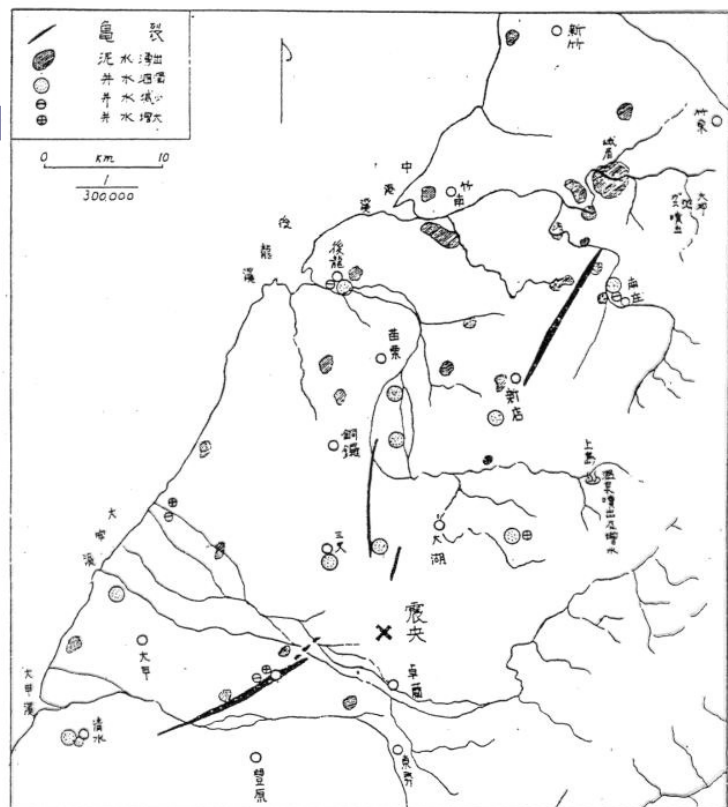


11

11

一、1935年 新竹台中烈震

- 1935/4/21
M7.1
- 死亡 3000人
- 屋毀 17000戶
- 紙湖斷層(逆衝)
15km
- 屯子腳斷層(右
移) 12km



第 10 圖 泥水湧出其他地下水之異常

12

新竹台中烈震



脚 子 屯 庄 埔 内

13

13

新竹台中烈震

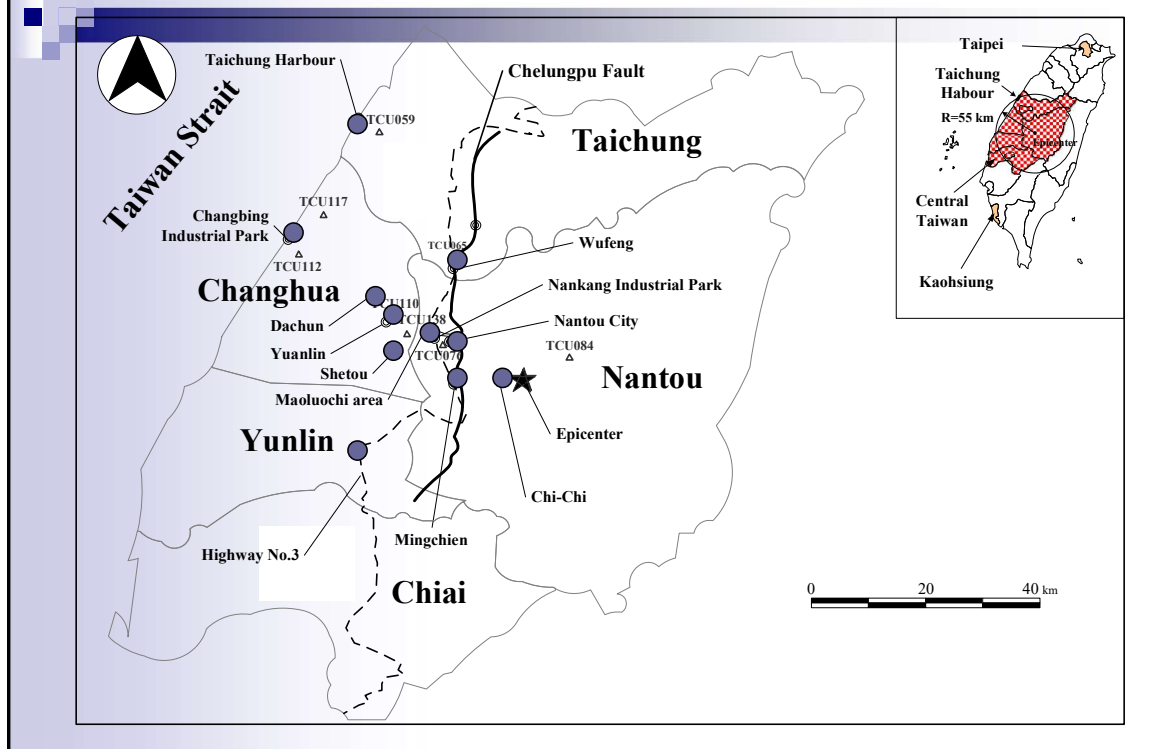


(糶四き高) 丘出噴泥の社舊

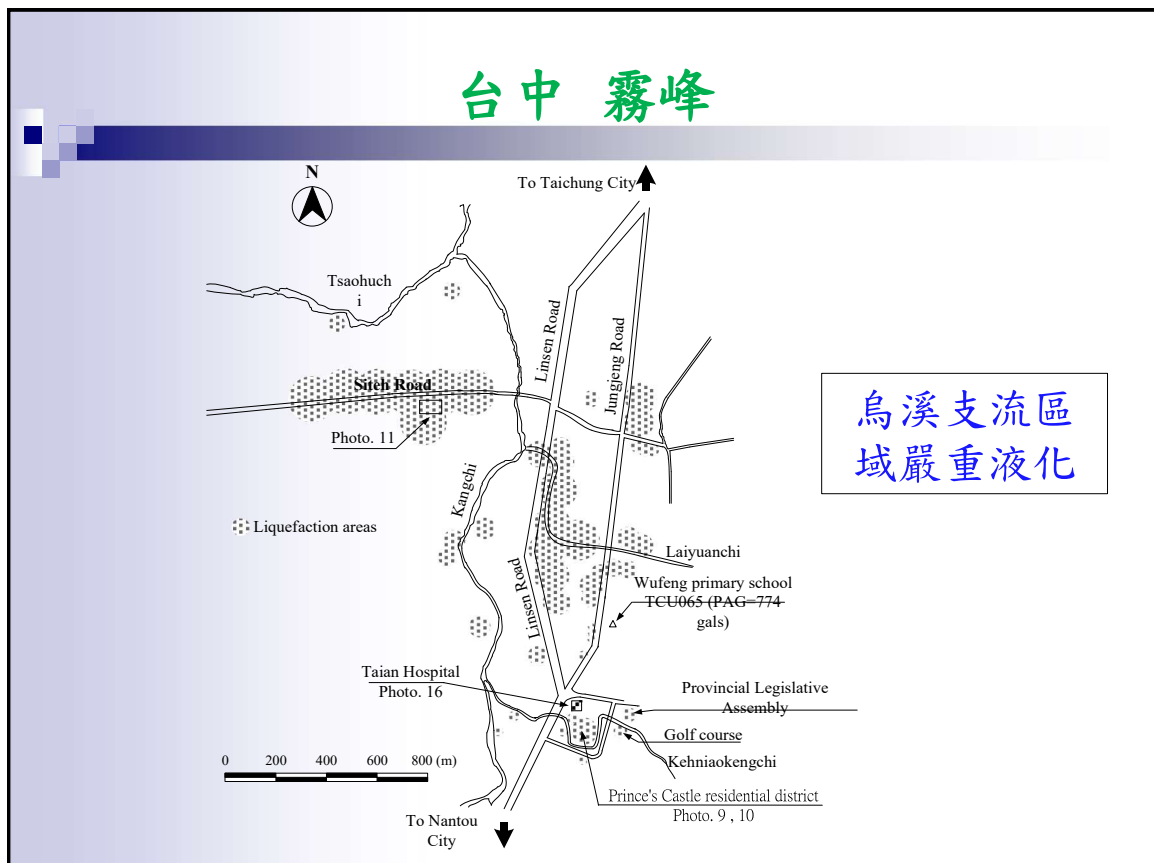
14

14

二、19990921集集地震之土壤液化災害



15



16

霧峰 太子城堡

17

Figure 10 is a plan view of the study area, showing the layout of buildings, roads, and the creek. The diagram includes a legend for building settlement (S_b), ground settlement (S_g), lateral displacement (Δh), slide direction, and tilting direction and degree. It also shows the original building and ground. The plan view includes labels for 'Taian hospital', 'Kehniackengchi (a creek)', and 'Road'. A red box highlights a specific building labeled 'RC 3F' with a settlement of $S_b=20$. The diagram is labeled 'Photo. 10' and '側潰' (Side Collapse).

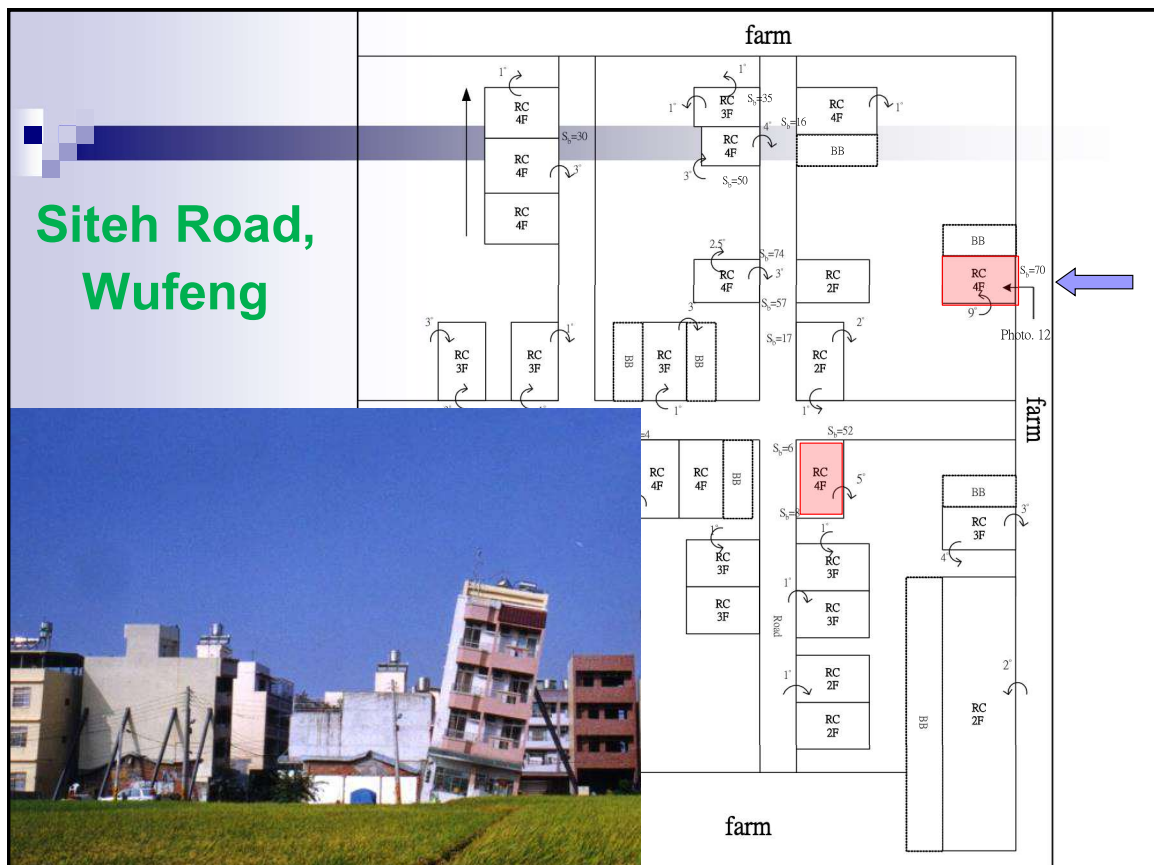
Figure 10 is a plan view of the study area, showing the layout of buildings, roads, and the creek. The diagram includes a legend for building settlement (S_b), ground settlement (S_g), lateral displacement (Δh), slide direction, and tilting direction and degree. It also shows the original building and ground. The plan view includes labels for 'Taian hospital', 'Kehniackengchi (a creek)', and 'Road'. A red box highlights a specific building labeled 'RC 3F' with a settlement of $S_b=20$. The diagram is labeled 'Photo. 10' and '側潰' (Side Collapse).

Figure 10 is a plan view of the study area, showing the layout of buildings, roads, and the creek. The diagram includes a legend for building settlement (S_b), ground settlement (S_g), lateral displacement (Δh), slide direction, and tilting direction and degree. It also shows the original building and ground. The plan view includes labels for 'Taian hospital', 'Kehniackengchi (a creek)', and 'Road'. A red box highlights a specific building labeled 'RC 3F' with a settlement of $S_b=20$. The diagram is labeled 'Photo. 10' and '側潰' (Side Collapse).

18



19



20

台中 太平



圖 5-8 太平市光復路之樑本瓦面斷裂圖

21

台中港 #1~#4碼頭



22



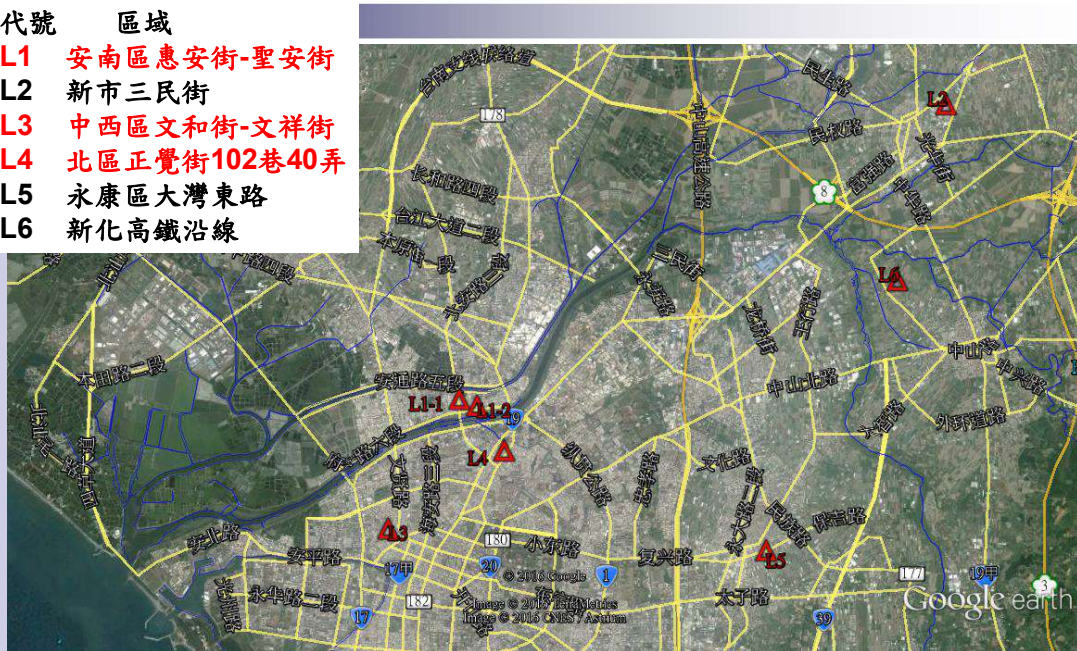
23



24

三、20160206美濃地震之土壤液化災害

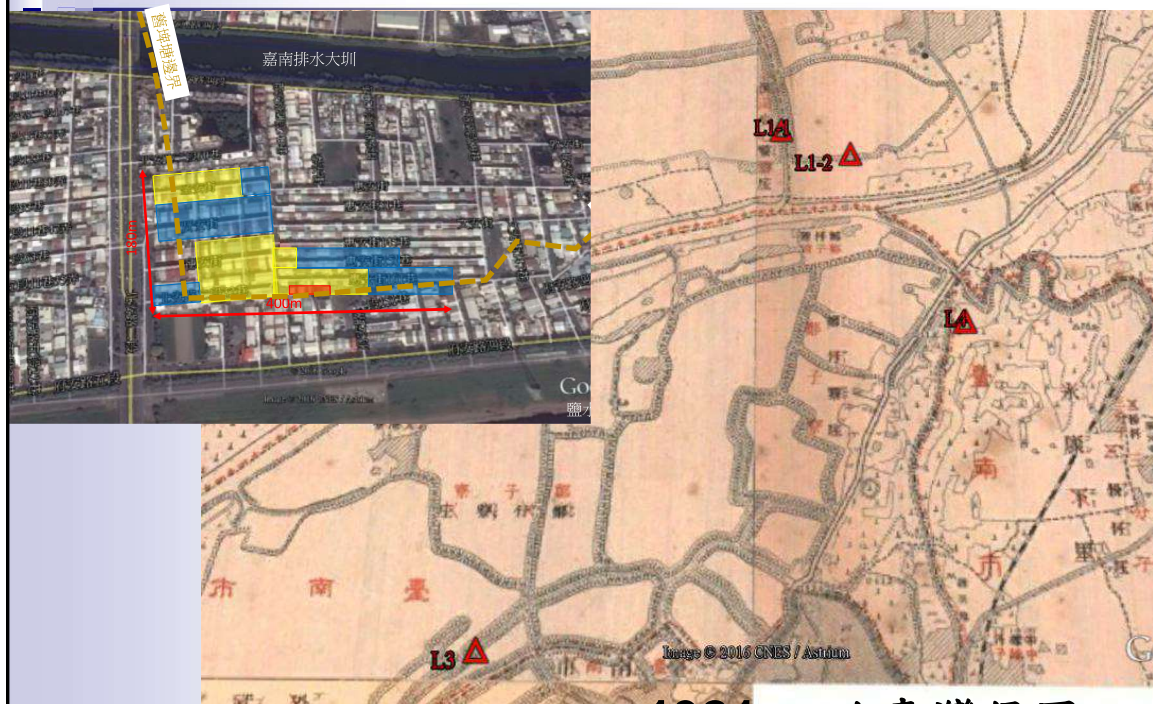
- | 代號 | 區域 |
|----|--------------|
| L1 | 安南區惠安街-聖安街 |
| L2 | 新市三民街 |
| L3 | 中西區文和街-文祥街 |
| L4 | 北區正覺街102巷40弄 |
| L5 | 永康區大灣東路 |
| L6 | 新化高鐵沿線 |



25

25

台南市安南區惠安街



1921-日治臺灣堡圖

26

26

建築物沉陷傾斜-美濃地震
台南市安南區惠安街



27

建築物沉陷傾斜-美濃地震
台南市安南區惠安街

Settlement: 60 cm

Tilt angle: 3 deg. Clockwise, in EW

4 deg. Clockwise in NS



28

台南市新市區三民街



29

29

建築物沉陷傾斜-美濃地震 台南市新市區三民街



30

台南市新市區三民街 一樓地板嚴重隆起



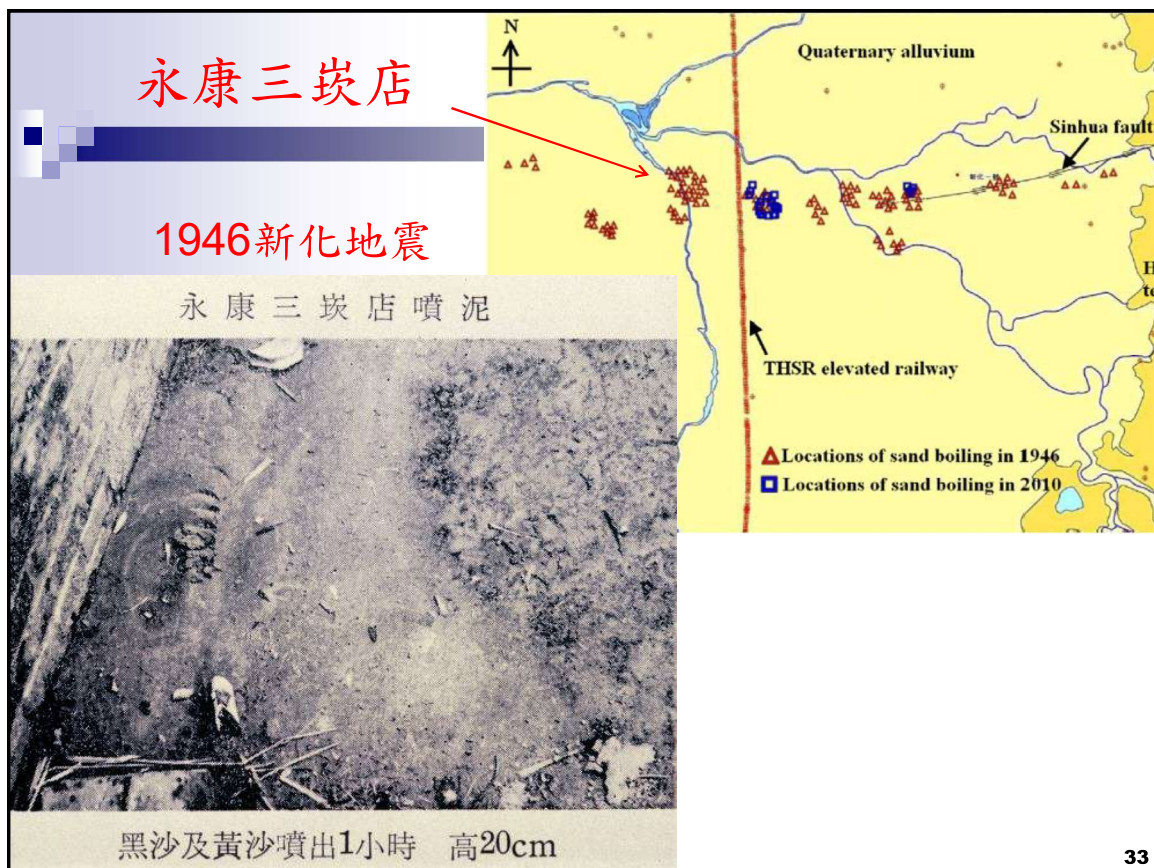
31

L6 新化高鐵沿線



32

32



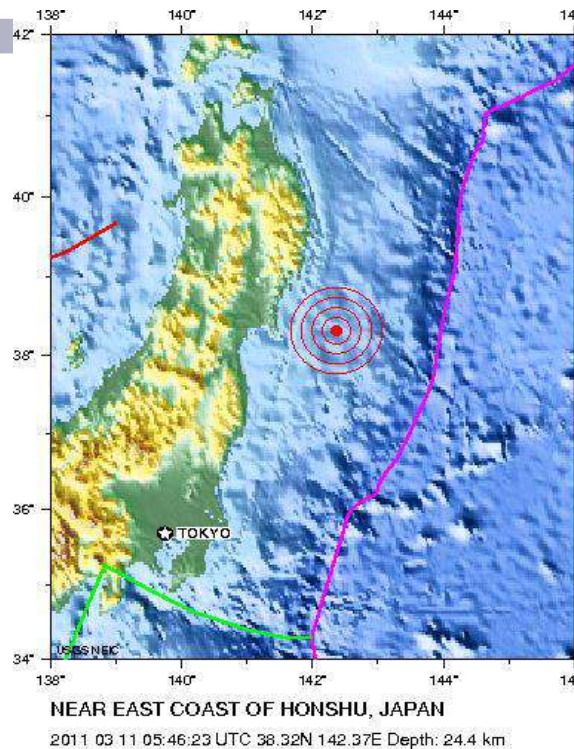
33



34

四、 2011.03.11東日本大地震

- 震央位於仙台東側外海130公里處，距離東京373公里。
- USGS：地震規模9.0，震源深度32公里。
- 茨縣沿岸與東京灣地區(PGA~0.18g)發生嚴重之土壤液化現象



35

東京灣北側之土壤液化區域



36

千葉市美浜区八丁目(Yasuda)



Photoed on 3/12
by Yosimine



37

千葉市美浜区(Mihama Ku)



Photoed on 3/28

38

千葉市美浜区(Mihama Ku)



39

浦安



40



習志野市香澄區
(Kasumi)



41



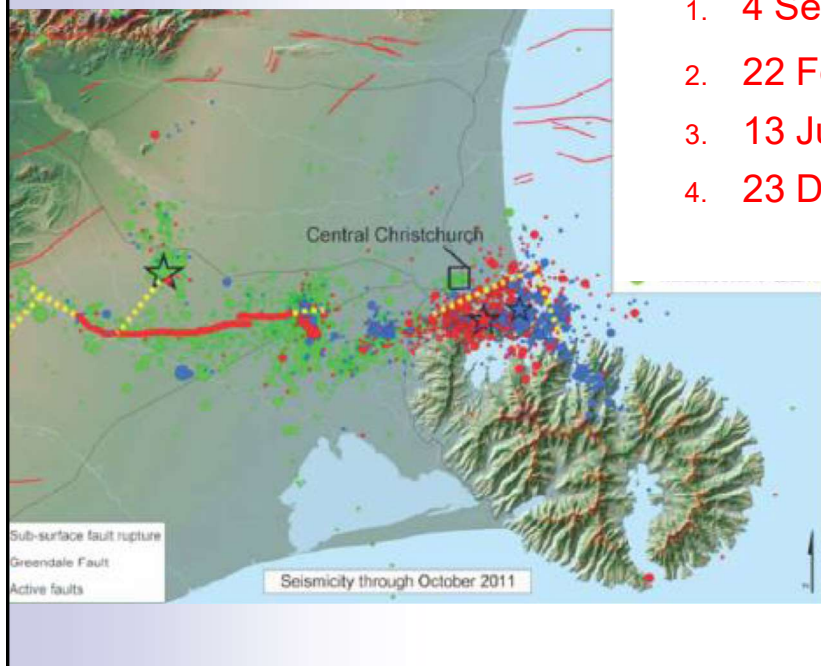
質輕性韌的上構



完整堅固的版基礎

42

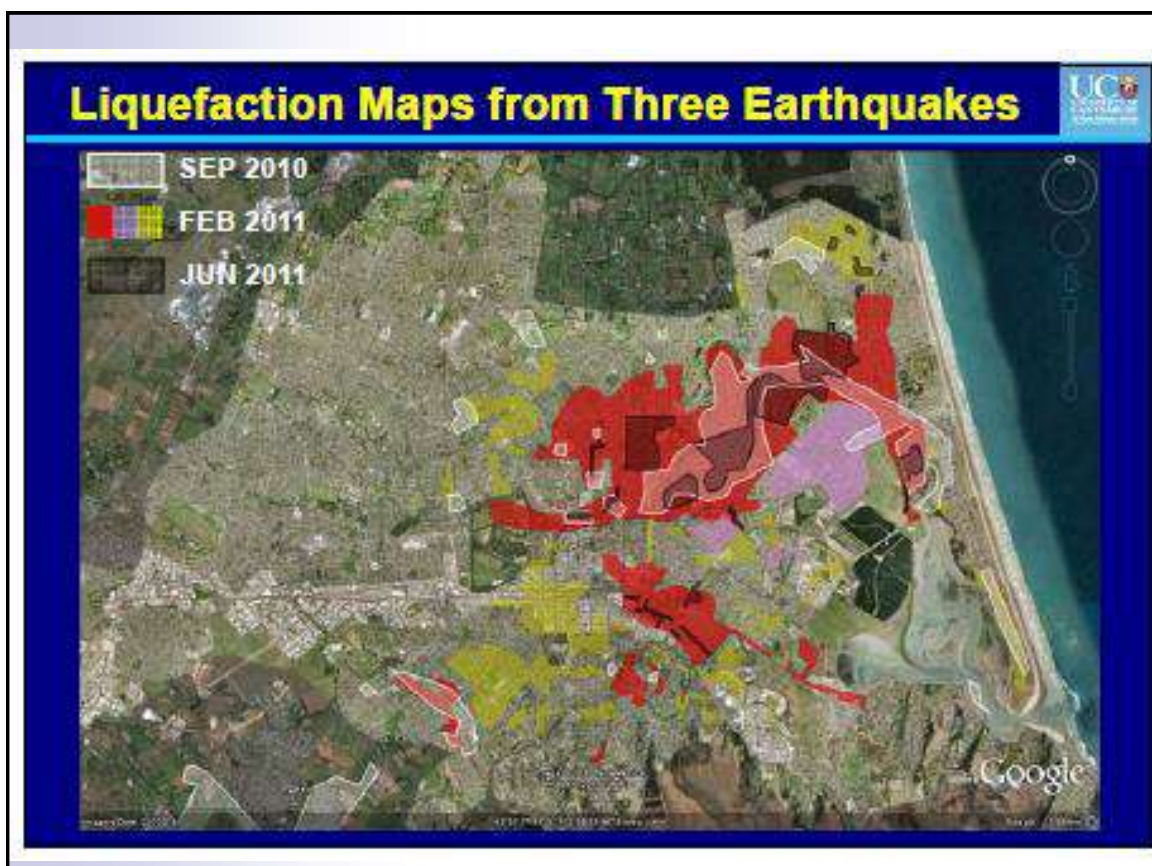
五、紐西蘭基督城2010-2011 系列地震之土壤液化



1. 4 Sep 2010 ($M_w=7.1$)
2. 22 Feb 2011 ($M_w=6.2$)
3. 13 Jun 2011 ($M_w=6.0$)
4. 23 Dec 2011 ($M=5.9$)

43

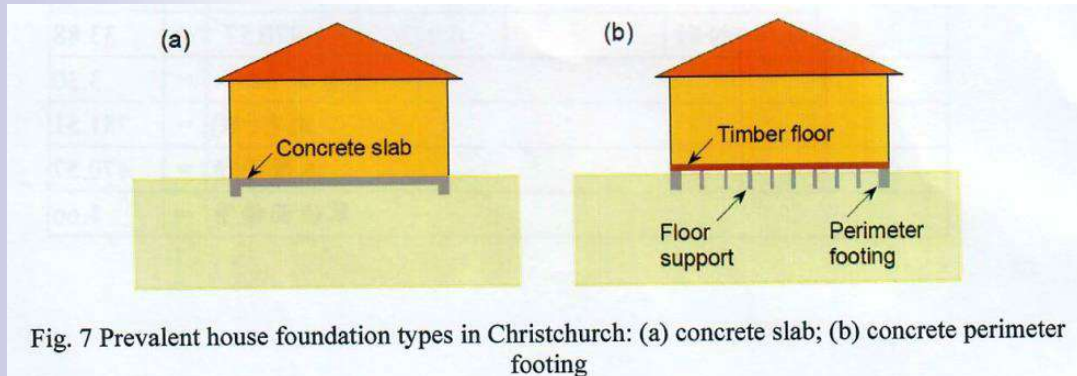
43



44

Christchurch

- 150000戶住宅：主要為一層樓木構造，少部分為二層樓
- 基礎：主要為Concrete slab on grade, Timber floor with perimeter footing



45

Concrete slab on grade



11. Site at Pines Beach which appears to be using the same slab-on-grade system

- Unreinforced, 10cm thick

46



47



48

土壤液化防災思維

■ 台灣住宅社區：

- RC與磚造樓房，結構載重大
- 街屋面寬小，淺基礎，屬液化易受損結構物

■ 防災思維

- 未液化覆土層(>3m)可壓抑地盤破壞
- 大面積筏基
- 基礎埋置加深
- 簡易基樁
- 地盤改良

49

49

1-1 基礎型式

■ 單柱基腳、連梁基礎

- 不均勻沉陷
- 底板破裂上浮

■ 版式基礎



50

1-1 基礎型式

■ 單柱基腳、連梁基礎

- 不均勻沉陷
- 底板破裂上浮

■ 版式基礎



51

1-2 小面積基礎易沉陷、傾斜



52

1-3 結構穩定性

◆高窄的RC構造

➢ 高寬比2.5 : 1



◆矮寬的木構造

➢ 高寬比<1



53

1-4 附屬結構物

◆相對沉陷致嚴重損壞



54

1-5 獨立角間、邊間



55

2-1 埋置基礎抗液化能力高

5F/B1



56

56

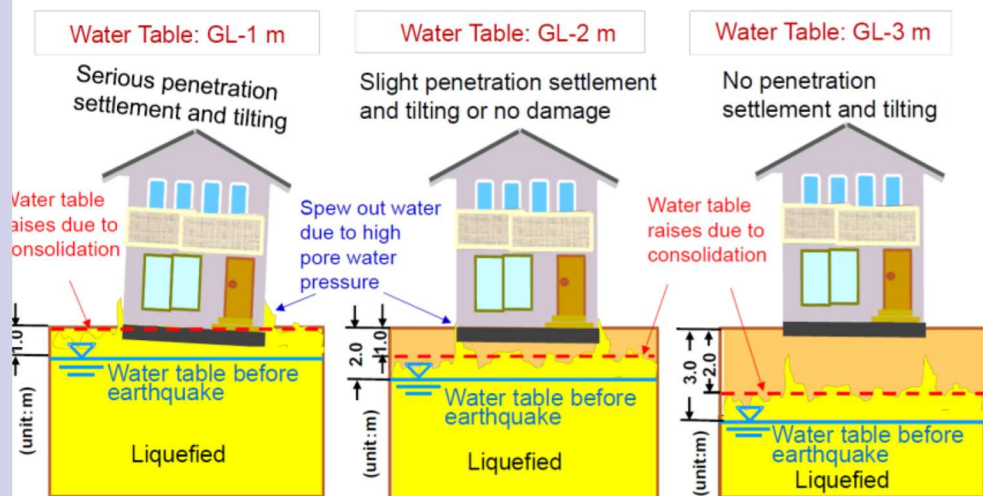
2-2 基樁補強



57

小 結

淺層土壤液化是低矮住宅受損之主因



Spew out water: flows through narrow spaces and lasts for a short time

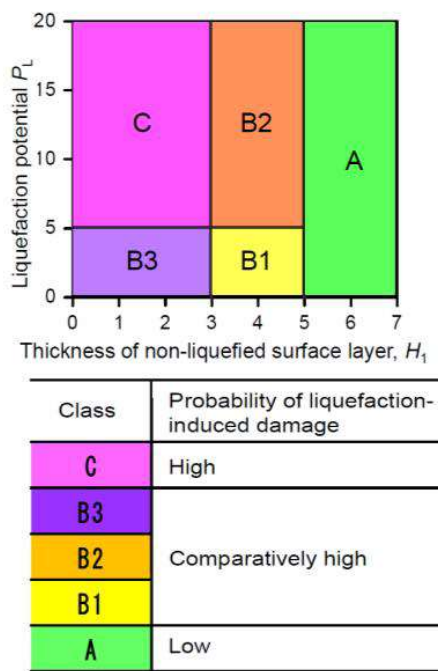
Raise of water table due to consolidation: 1 m or less

(Yasuda, 2018)

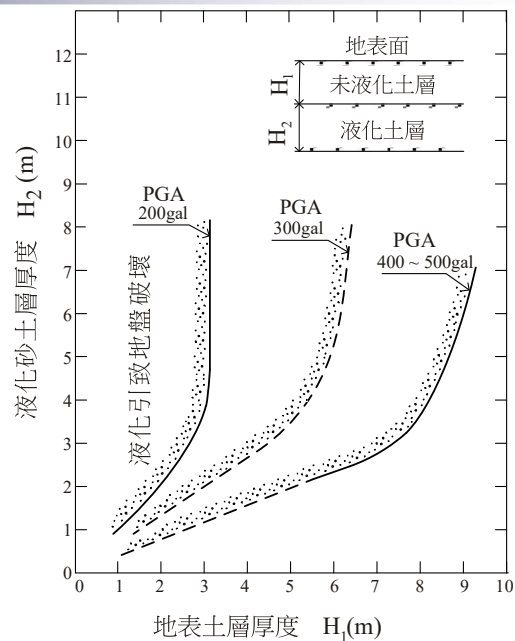
58

58

$P_L > 5$ $H_1 < 3m$ 液化災害風險高



(Yasuda, 2018)

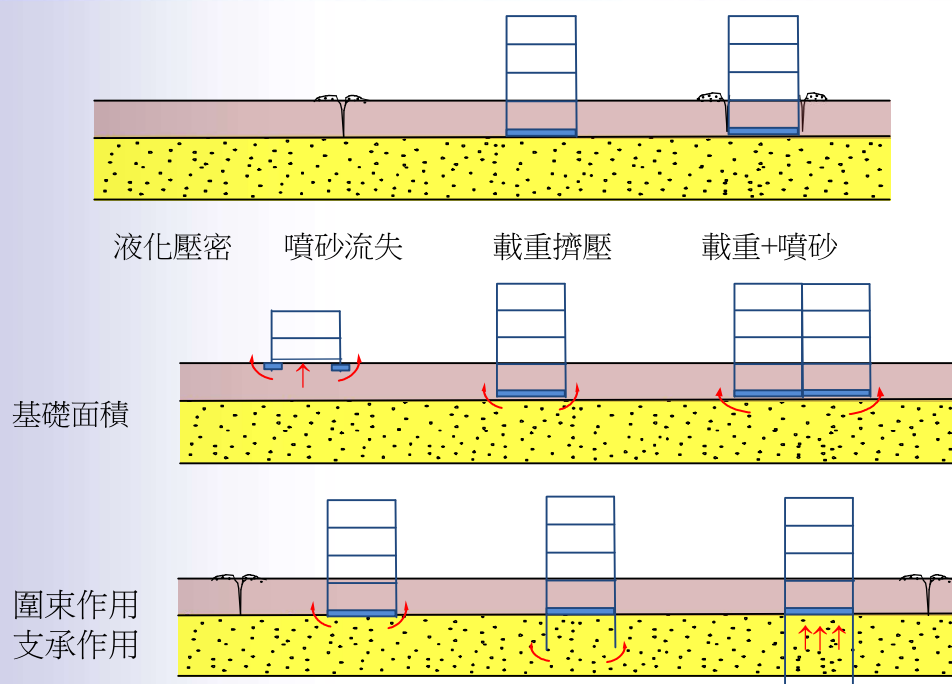


(Ishihara, 1985)

59

59

土壤液化引致之沉陷



60

60

清水平原地區之基礎工程問題

■ 北部大甲溪沖積扇為礫石層

- 與台中礫石層相似，為良好之承載層
- 基礎承载力佳、沉陷量小
- 台中礫石層之自立性佳，深開挖工程以往都採用跳跨式擋土柱，近期開始採用鑽掘排樁(全套管)

■ 清水平原為高地下水位之厚層沖積土層

- 地質條件與台中礫石層完全不一樣，屬軟弱地盤
- 軟弱地盤之工程重點：基礎設計與深開挖問題
- 參考依據：建築物基礎構造設計規範(2001)

61

61

軟弱地盤之基礎設計問題

■ 參考依據：建築物基礎構造設計規範(2001)

■ 基礎設計

1. 基礎承载力：淺埋於鬆砂層之小基礎為重點
2. 基礎沉陷：砂土層以立即沉陷為主，黏土夾層需考慮壓密沉陷

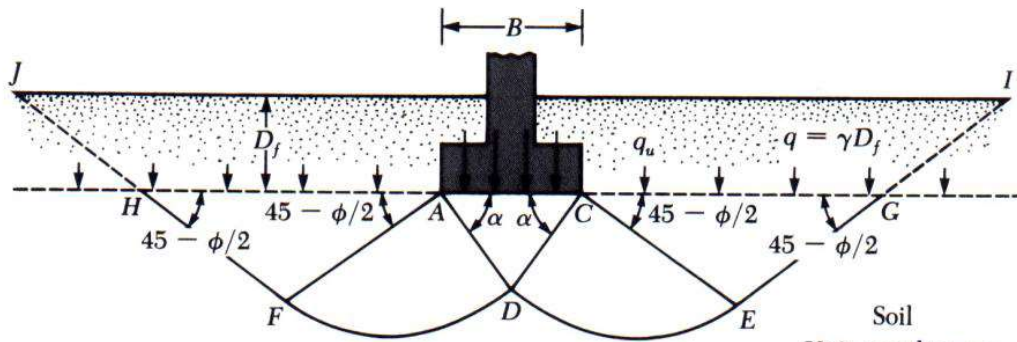
■ 基礎開挖

- 開挖方式與擋土工法
- 開挖穩定性
- 擋土支撐分析

62

62

1. 基礎設計：淺基礎之極限承載力



■ 極限承載力

■ 清水平原：

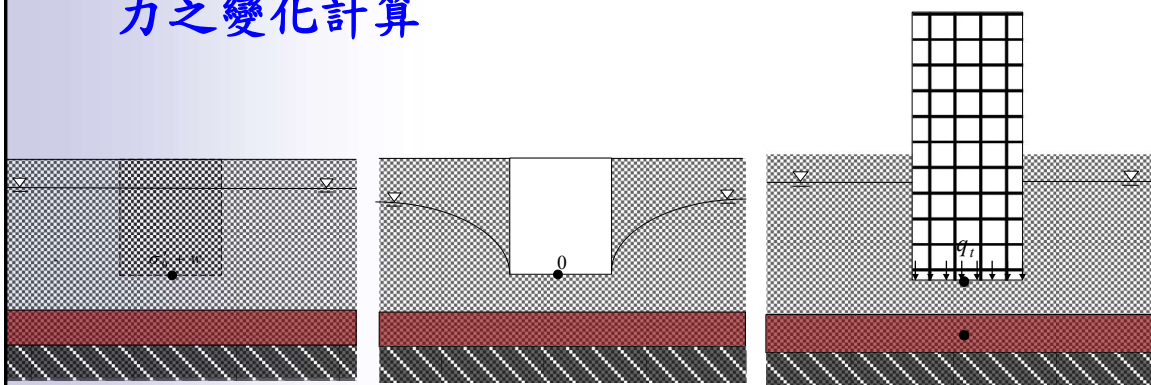
- 砂土層： $c \rightarrow 0$ 淺埋： q 小 小基礎： B 小
- 淺埋於鬆砂層之小基礎為設計之重點

$$q_u = cN_c + qN_q + \frac{1}{2}\gamma BN_\gamma$$

63

1. 基礎設計：淺基礎之沉陷

- 黏土夾層之壓密為主要沉陷
- 分析載重~變位關係應依施工過程中地盤應力之變化計算



64

基礎變位分析

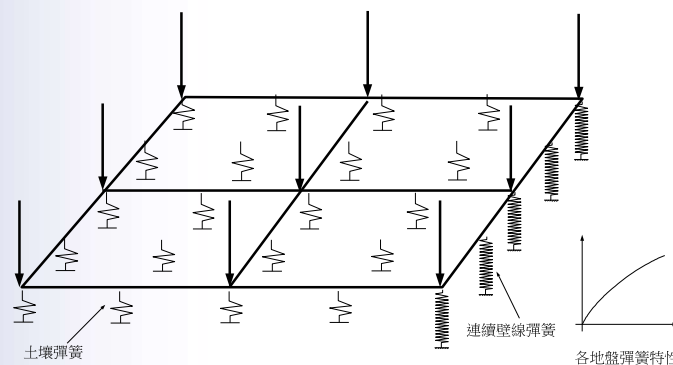
步驟	狀態	壓力變化	沉陷	分析方法
0	初始應力	$\sigma'_0 + w$	-	
1	開挖、降水	$-(\sigma'_0 + w)$	地盤回脹	彈性回彈
2	興建、回水	$q' = q_t - w$	再壓沉陷 s_j	地盤 k_v 分析
3	長期效應	基礎底面 $q' - \sigma'_0$ 黏土層中點 $\Delta\sigma'$	壓密沉陷 s_c	壓密理論 (1D、3D)

- 彈性回彈：開挖安全檢核
- 再壓沉陷：決定於地盤 k_v (大地)→基礎分析(結構)
- 壓密沉陷：壓密理論(大地)→基礎修正分析(結構)
- 壓密應力 $\Delta\sigma'$ 隨基礎開挖深度之增加而減小

65

65

基礎變位分析



- 應以柔性版基礎變形模式去分析
- 需考慮連續壁、扶壁、或基樁與壁樁之支承效應
- 需考慮地盤壓密沉陷之效應
- 土壤彈簧模式分析所得沉陷應視土壤彈簧之選取方式(代表何種情況)

66

66

容許變位

(2). 容許沉陷量：

建築物因基礎載重引致之總沉陷量，原則上不得超過表-解4.5-2所示之值，惟須注意構造物之實際狀況，有時在較小沉陷量即有可能產生損壞。表-解4.5-2所示建築物容許沉陷量係指基礎之最大容許沉陷量，其中筏式基礎之容許沉陷量最大可達30cm，此乃由於其剛度較大，可容許較大之總沉陷量，但設計時不可僅以此作為驗證指標，其實真正控制設計的往往是建築物與基礎之差異沉陷與角變量，以及建築物使用性能之限制，設計時須審慎評估之。日本建築基礎構造設計指針(2001)對於各型式建築物之容許沉陷量亦有規定，列有基準值與最大容許沉陷量，後者與表-解4.5-2所示之容許沉陷量相當，但該規範所列之基準值則僅為最大容許值之半，故建議實際設計分析時宜視建築物之重要性與使用狀態，選取較保守之容許沉陷值。

構造物種類	混 凝 土	鋼 筋 混 凝 土		
基礎型式	連續基腳	獨立及聯合基腳	連續基腳	筏式基礎
總沉陷量	4.0	10.0	20.0	30.0

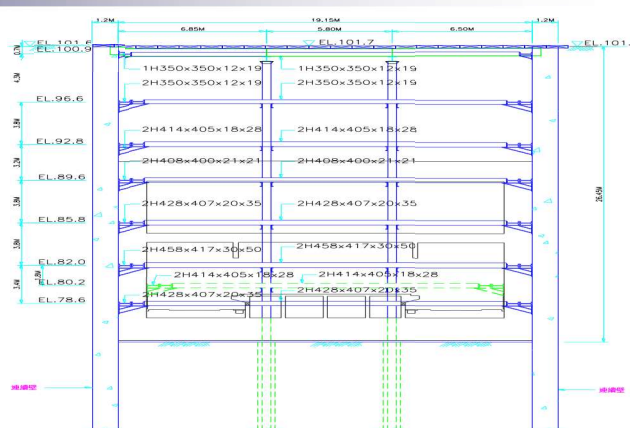
67

67

2. 基礎開挖：擋土工法之選擇

1. 邊坡式開挖

2. 擋土式開挖



CL803標車站主體支撐剖面圖



68

68

國內開挖基地常用之擋土設施

El 2u4vu84gjo3j o4	施工方法	適用地層	優點	缺點
兵樁 (包括鋼軌、H型鋼)	打擊式； 震動式； 油壓貫入； 預鑽孔	堅實粘土層； 開挖深度<8m	施工簡單； 便宜； 可重覆使用； 位置調整容易	須要降水； 垂直度差； 背側沉陷量大；拔除後 常留下空洞
鋼板樁	震動式； 打擊式； 油壓貫入	軟弱土層； 開挖深度<8m	水密性良好； 可重覆使用； 品質控制容易	施工易有噪音及震動； 變形量大； 背側沉陷量大(施工中 及拔除後)
預疊排樁	螺旋鑽	軟弱土層； 開挖深度<10m	施工簡單； 便宜； 快捷	水密性不良； 垂直度差； 不超過15m長度
鑽掘排樁	衝擊式； 鑽掘-無套管 鑽掘-有套管	各類土層； 卵礫塊石地層較不宜； 開挖深度<15m	剛性良好	水密性不良； 垂直度差； 昂貴；用地較多
手握式樁 或沉箱	人工挖掘	卵礫塊石地層； 開挖深度<15m	無噪音及震動； 剛性良好； 可多組人員同時施工	昂貴；安全性差； 工作條件差； 須要降水配合
連續壁	抓斗式； 反循環式	各類土層； 卵礫塊石地層較不宜； 開挖深度不限	噪音量低；無震動； 剛性良好； 水密性較好； 可用作永久牆	昂貴； 技術要求較高； 用地較多

■ 高地下水位基地應選用水密性較好之擋土壁

69

69

1. 兵樁擋土



70

70

2. 鋼鈹樁(sheet pile wall)



71

71

3. 預壘排樁



72

72

5. 手掘式擋土樁



73

73

連續壁



74

74

建技規則基礎構造設計規範(2001)

擋土式開挖之穩定性分析

- (1)貫入深度
- (2)塑性隆起
- (3)砂湧
- (4)上舉
- (5)施工各階段擋土系統之穩定性分析

75

75

擋土壁貫入深度

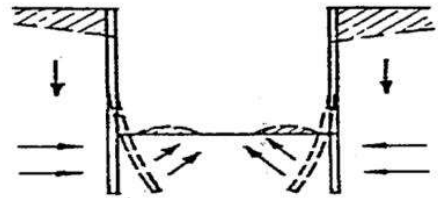
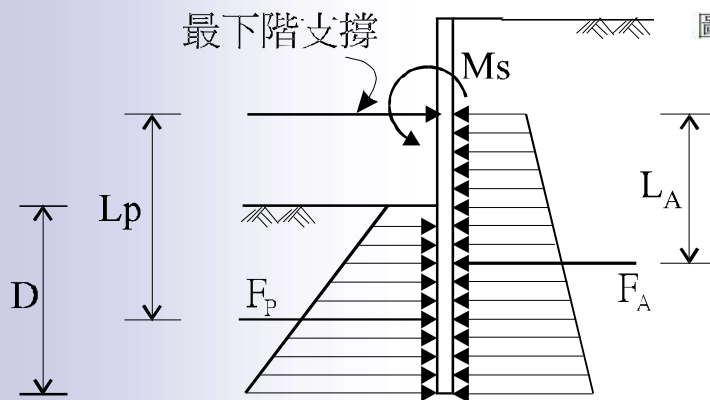


圖 4.2-3 側向土壓力破壞示意圖

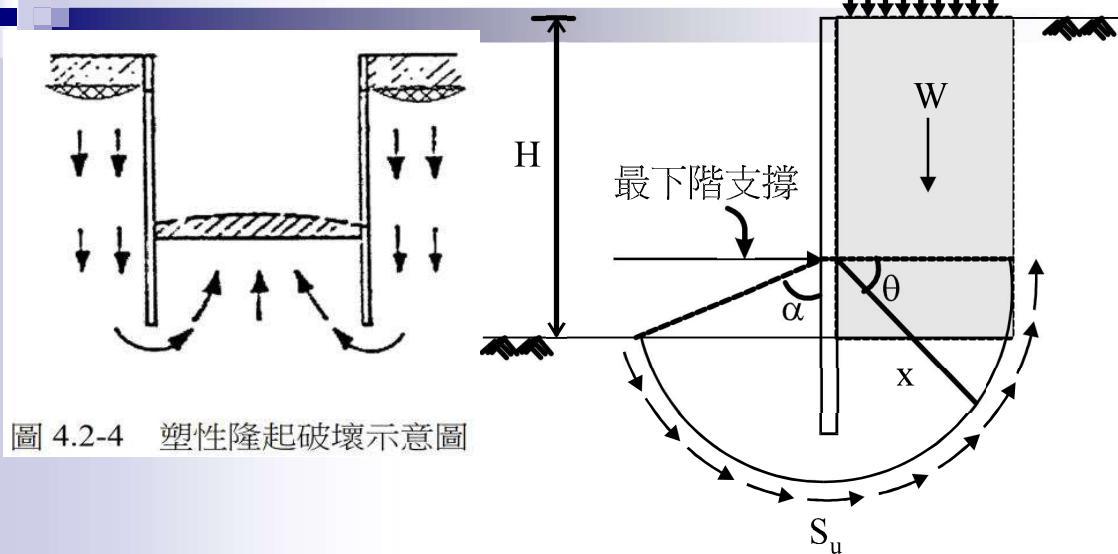


$$F_s = \frac{F_P L_P + M_S}{F_A L_A} \geq 1.5$$

76

76

底面隆起



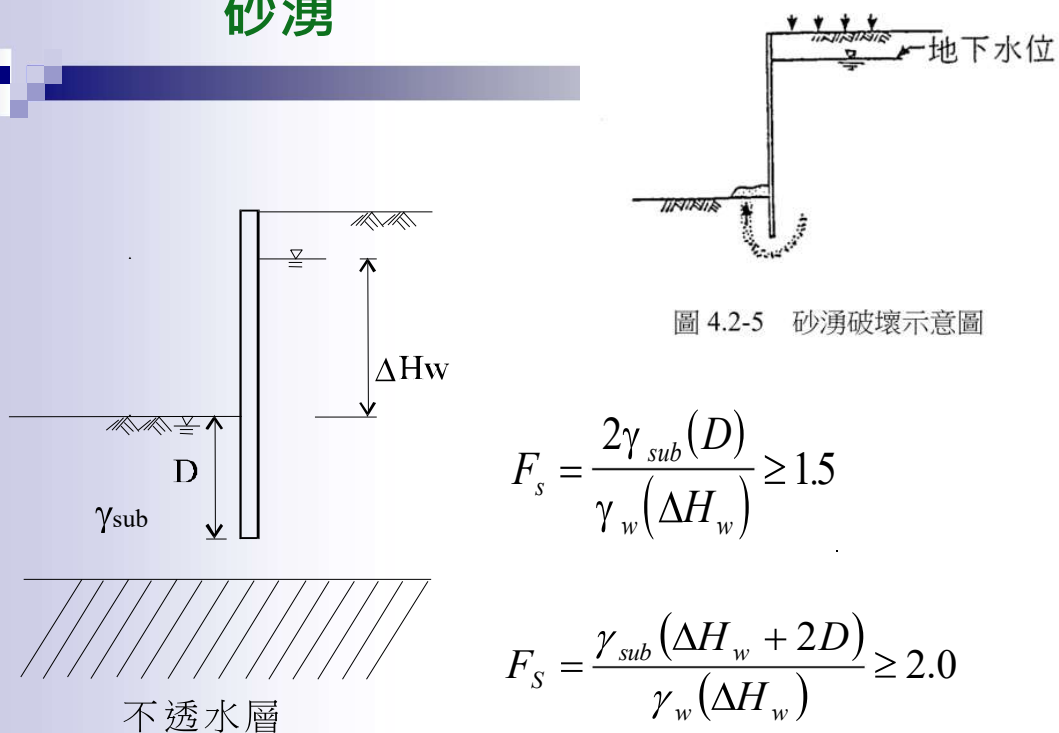
- 取通過擋土壁下方堅硬土層上方安全係數最小之滑動圓弧

$$F_s = \frac{M_r}{M_d} = \frac{X \int_0^{\frac{\pi}{2} + \alpha} S_u (X d\theta)}{W \cdot \frac{X}{2}} \geq 1.2$$

77

77

砂湧



$$F_s = \frac{2\gamma_{sub}(D)}{\gamma_w(\Delta H_w)} \geq 1.5$$

$$F_s = \frac{\gamma_{sub}(\Delta H_w + 2D)}{\gamma_w(\Delta H_w)} \geq 2.0$$

78

78

上舉

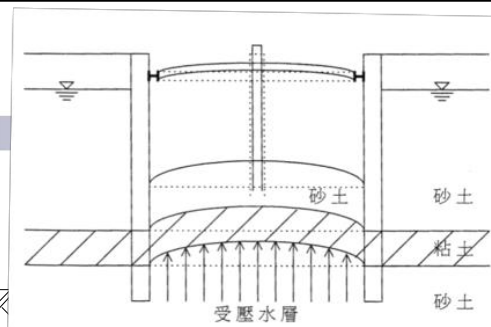
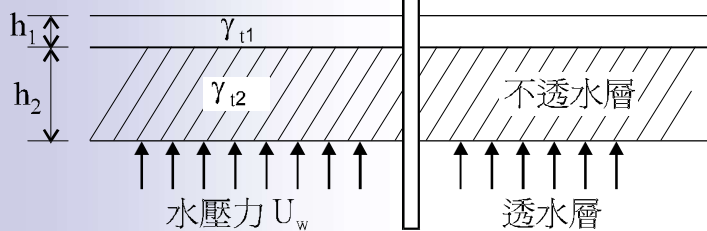


圖 4.2-6 上舉隆起破壞示意圖



$$F_s = \frac{\sum \gamma_{ti} \cdot h_i}{U_w} \geq 1.2$$

79

79

擋土系統之穩定性分析

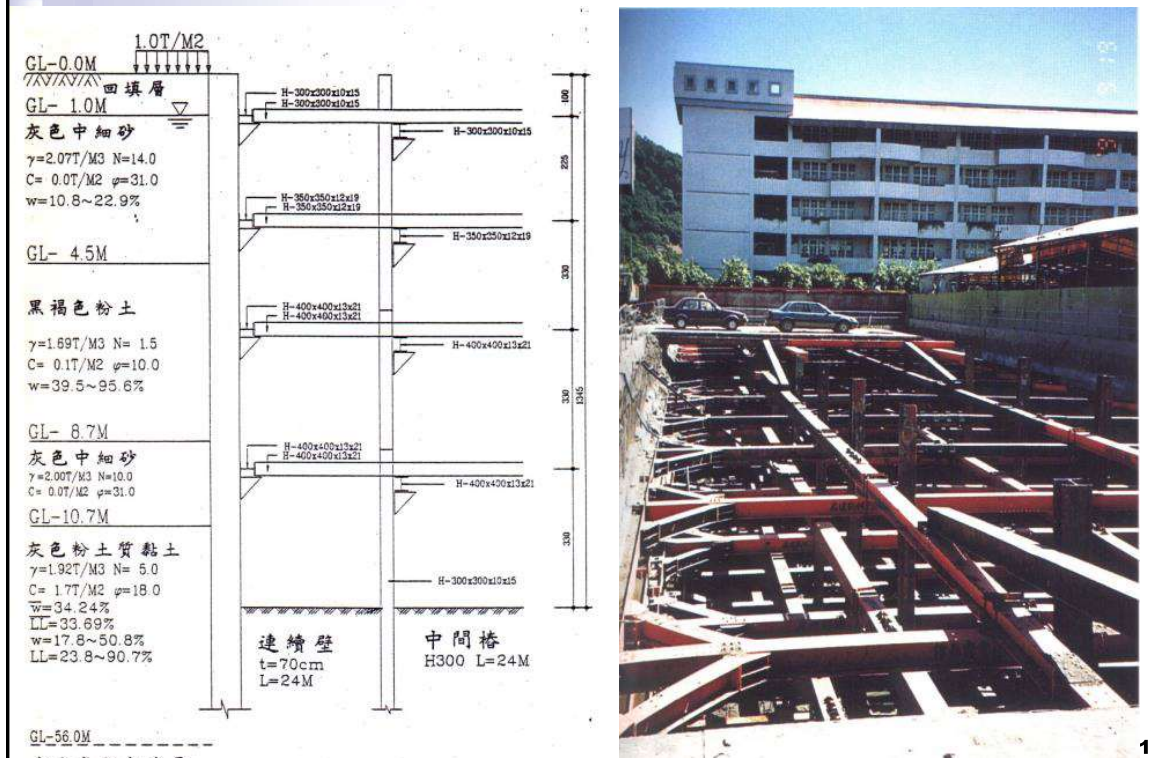
1. 擋土壁
2. 圍令 (橫擋)
3. 支撐 (水平支撐、斜撐、角撐)
4. 中間柱
5. 施工構台

- 局部失效即可能造成連鎖式之全面破壞
- 應依開挖支撐各階段逐步分析檢討

80

80

開挖支撐案例



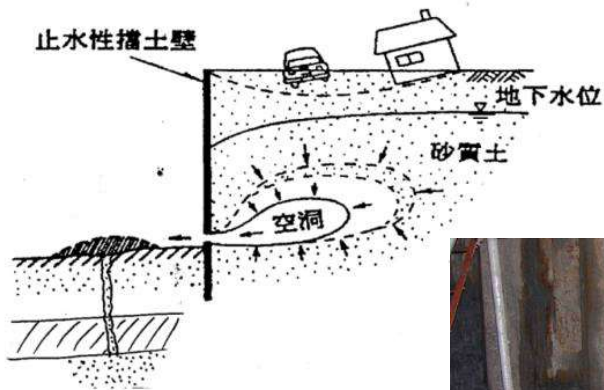
81



82

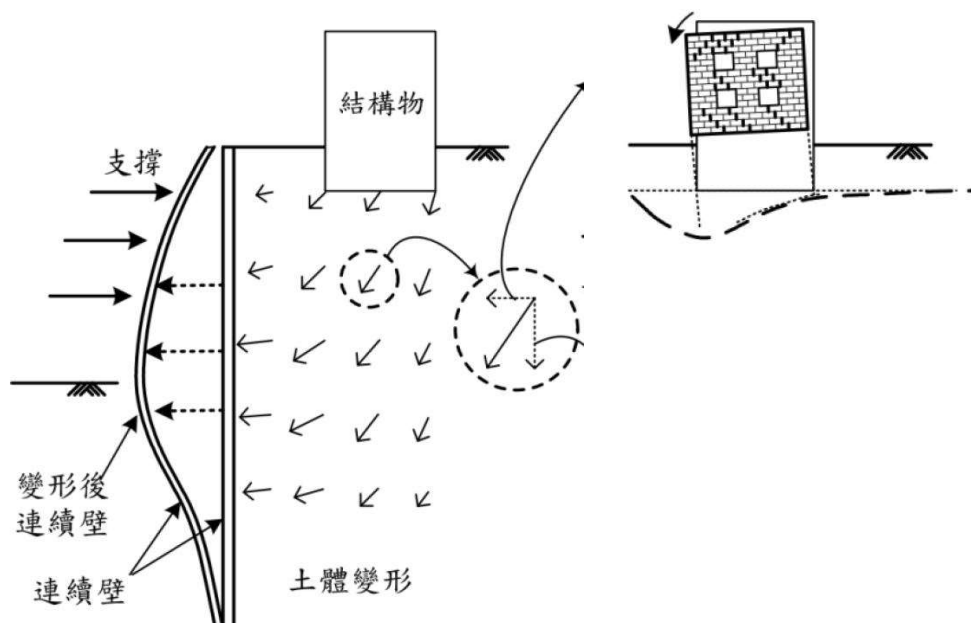
82

其他工程問題：漏水、漏砂、湧水



83

擋土壁變形所產生之地盤下陷



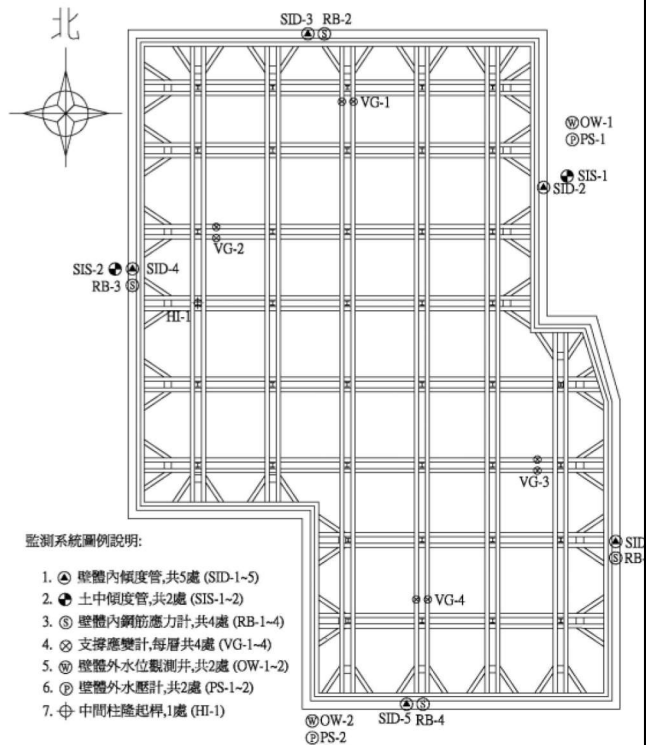
84

84

開挖安全監測

■ 常用監測儀器

- 土中傾度管(SIS)
- 壁內傾度管(SID)
- 鋼筋計(RB)
- 支撐應變計(VG)
- 水位觀測井(OW)
- 水壓計(PS)
- 隆起桿(HI)
- 地表沉陷點
- 建物沉陷點
- 建物傾斜計



■ 管制值：警戒/行動/危險

85

謝 謝 聆 聽

問 題 與 討 論

86

86