



土壤力學導論 -

土壤之一般物理性質與分類

0011

Created by 林商裕 94.10.4

Modified by 賴俊仁 95.9.26

Department of Construction Engineering, CYUT

朝陽科技大學 建築工程系



目 錄

0011

- 2-1 土壤三相圖
- 2-2 土壤之一般物理性質
- 2-3 土壤分類系統

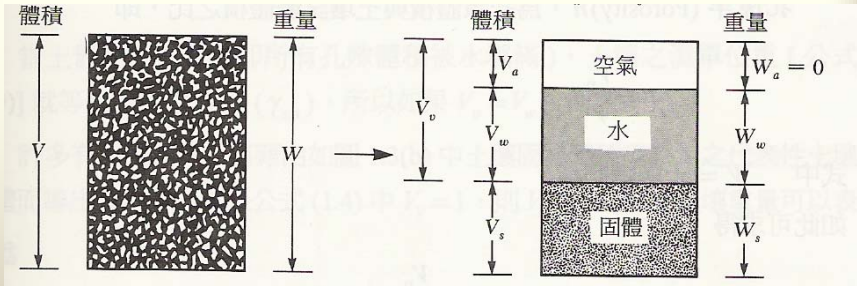
Department of Construction Engineering, CYUT

朝陽科技大學 建築工程系



2-1 土壤三相圖(1/3)

0011



$$V_a + V_w + V_s = V$$

圖2-1 土壤三相圖

$$W_w + W_s = W$$

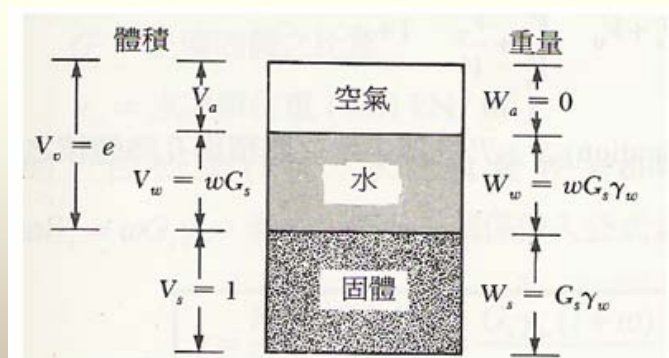
Department of Construction Engineering, CYUT

朝陽科技大學 建築工程學系



2-1 土壤三相圖(2/3)

0011



(b) 不飽和土壤 $V_s=1$

圖2-1 土壤三相圖(續)

Department of Construction Engineering, CYUT

朝陽科技大學 建築工程學系



2-1 土壤三相圖(3/3)

0011

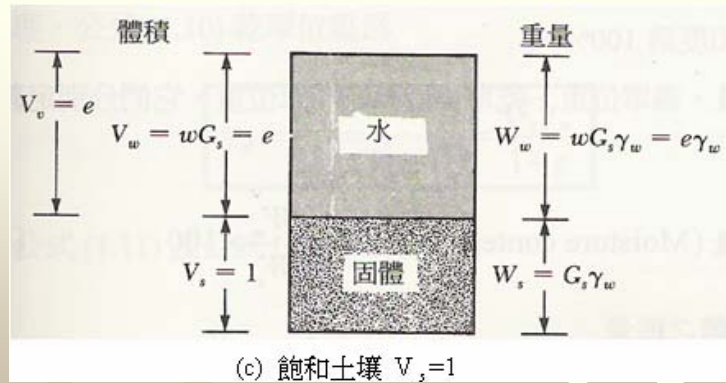


圖2-1 土壤三相圖(續)

Department of Construction Engineering, CYUT

朝陽科技大學 建築工程學系



2-2 一般物理性質-單位重

0011

濕單位重 (Moist unit weight)

$$\gamma_t = \frac{W}{V}$$

乾單位重 (Dry unit weight)

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V}$$

土粒單位重 (Solid unit weight)

$$\gamma_s = \frac{W_s}{V_s}$$

Department of Construction Engineering, CYUT

朝陽科技大學 建築工程學系



2-2 一般物理性質-含水量

0011

重量含水量 (ω)

$$\omega (\%) = \frac{W_w}{W_s} \times 100\%$$

體積含水量 (θ)

$$\theta = \frac{V_w}{V}$$

飽和度 (degree of saturation, S)

$$S = \frac{V_w}{V_v} \times 100\%$$

Department of Construction Engineering, CYUT

朝陽科技大學 建築工程學系



2-2 一般物理性質-孔隙比

0011

孔隙比 (Void ratio, e)

$$e = \frac{V_v}{V_s}$$

孔隙率 (porosity, n)

$$n = \frac{V_v}{V} \times 100\%$$

比重 (specific gravity, G_s)

$$G_s = \frac{W_s}{V_s \times \gamma_w}$$

Department of Construction Engineering, CYUT

朝陽科技大學 建築工程學系



各種單位重相關的關係式

0011

表2-1各種單位重相關的關係式

溼單位重 (γ)		乾單位重 (γ_d)		飽和單位重 (γ_{sat})	
已知	關係式	已知	關係式	已知	關係式
w, G_s, e	$\frac{(1+w)G_s\gamma_w}{1+e}$	γ, w	$\frac{\gamma}{1+w}$	G_s, e	$\frac{(G_s+e)\gamma_w}{1+e}$
S, G_s, e	$\frac{(G_s+Se)\gamma_w}{1+e}$	G_s, e	$\frac{G_s\gamma_w}{1+e}$	G_s, n	$[(1-n)G_s+n]\gamma_w$
w, G_s, S	$\frac{(1+w)G_s\gamma_w}{1+\frac{wG_s}{S}}$	G_s, n	$G_s\gamma_w(1-n)$	G_s, w_{sat}	$\left(\frac{1+w_{sat}}{1+w_{sat}G_s}\right)G_s\gamma_w$

Department of Construction Engineering, CYUT

朝陽科技大學 建築工程學系



2-2 一般物理性質-顆粒尺寸

0011

- ◆ 礫石--顆粒大於4.76mm(#4篩)
- ◆ 砂土--顆粒介於4.76mm(#4篩)與0.075mm(#200篩)間
- ◆ 沉泥(粉土)--顆粒介於0.075mm(#200篩)與0.002mm間
- ◆ 粘土--顆粒小於0.002mm

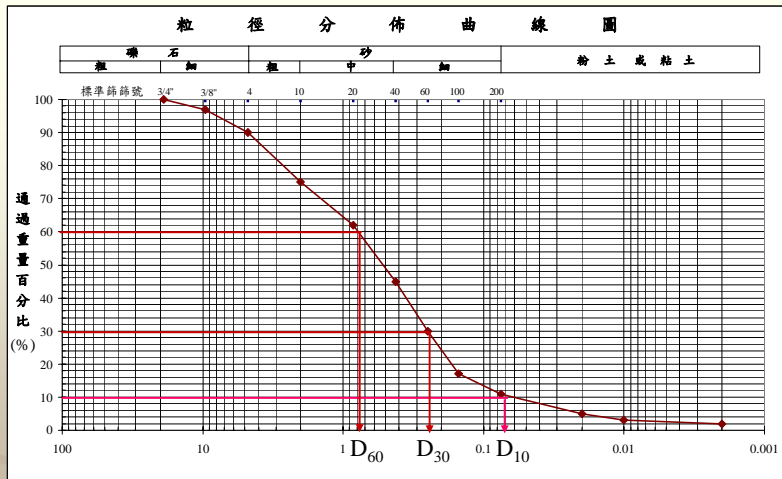
Department of Construction Engineering, CYUT

朝陽科技大學 建築工程學系



2-2 一般物理性質-粒徑分佈

0011



Department of Construction Engineering, CYUT

朝 陽 科 技 大 學 建 築 工 程 系



2-2 一般物理性質-級配

0011

- ◆ 有效粒徑 D_{10}
通過百分比為10%之對應顆粒直徑

- ◆ 均勻係數

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

- ◆ 曲率係數

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10} \times D_{60}}$$

- ◆ 優良級配

礫石 $C_u \geq 4; 1 < C_c < 3$

砂土 $C_u \geq 6; 1 < C_c < 3$

Department of Construction Engineering, CYUT

朝 陽 科 技 大 學 建 築 工 程 系



粒徑分佈曲線之測定方式

0011



45

Department of Construction Engineering, CYUT

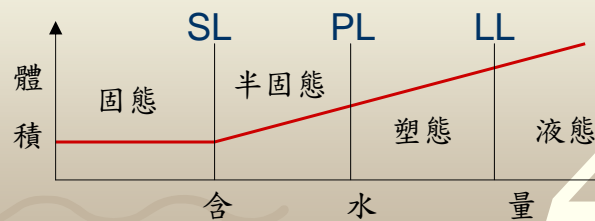
朝陽科技大學 建築工程學系



2-2 一般物理性質-液塑限

0011

- ◆ 液限(LL)：由液性狀態至塑性狀態間之含水量
- ◆ 塑限(PL)：由塑性狀態間至半固體狀態間之含水量
- ◆ 縮限(SL)：由半固體狀態至固態間之含水量



12
45

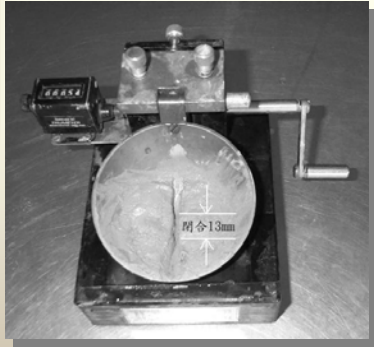
Department of Construction Engineering, CYUT

朝陽科技大學 建築工程學系



液限之測定方式

0011



Department of Construction Engineering, CYUT

朝陽科技大學 建築工程系



塑限之測定方式

0011



Department of Construction Engineering, CYUT

朝陽科技大學 建築工程系



縮限之測定方式

0011



$$SL = \frac{(W_1 - W_s) - \gamma_w (V_1 - V_2)}{W_s}$$

W_1 : 濕土重

W_s : 乾土重

V_1 : 濕土體積

V_2 : 乾土體積

Department of Construction Engineering, CYUT

朝陽科技大學 建築工程學系



2-2 一般物理性質-其他指數

0011

塑性指數 (Plastic Index, PI)

$$PI = LL - PL$$

液性指數 (Liquidity Index, LI)

$$LI = \frac{\omega - PL}{LL - PL}$$

活性指數 (Activity Index, A)

$$A = \frac{PI}{\text{clay (\% by weight)}}$$

Department of Construction Engineering, CYUT

朝陽科技大學 建築工程學系



2-3 土壤分類系統

0011

- ◆ 土壤分類係依照一般工程性質如粒徑分佈、液性限度及塑性限度而將土壤分成若干組和次組。
- ◆ 目前使用之兩種主要分類系統是：(1) AASHTO (美國州公路和運輸官員協會) 系統；(2) 統一系統。AASHTO 分類系統主要用於公路路基之分類，而不用於基礎建造。

Department of Construction Engineering, CYUT

朝陽科技大學 建築工程系



AASHTO 系統 (1/2)

0011

表 2-2 AASHTO 土壤分類系統

一般分類	粒狀材料 (總試樣通過 200 號篩不超過 35%)						
	A-1			A-2			
	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
篩分析 (通過 %)							
10 號篩	50 max						
40 號篩	30 max	50 max	51 min				
200 號篩	15 max	25 max	10 max	35 max	35 max	35 max	35 max
通過 40 號篩之部分							
液性限度 (<i>LL</i>)				40 max	41 max	40 max	41 max
塑性指數 (<i>PI</i>)	6 max		無塑性	10 max	10 max	11 max	11 max
常見之材料型式	石碎屑、礫石和砂土		細砂	粉質或粘質礫石及砂土			
路基分級				極佳至佳			

Department of Construction Engineering, CYUT

朝陽科技大學 建築工程系



AASHTO系統(2/2)

表2-2 AASHTO土壤分類系統(續)

一般分類	粉土 - 粘土材料 (總試樣通過 200 號篩超過 35%)			
	A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5a A-7-6b
篩分析 (通過 %)				
10 號篩				
40 號篩				
200 號篩	36 min	36 min	36 min	36 min
通過 40 號篩部分				
液性限度 (LL)	40 max	41 min	40 max	41 min
塑性指數 (PI)	10 max	10 max	11 min	11 min
常見材料型式	大部分粉質土壤		大部分粘質土壤	
路基分級			好至不良	

a 如果 $PI \leq LL - 30$ ，則為 A-7-5

b 如果 $PI > LL - 30$ ，則為 A-7-6

Department of Construction Engineering, CYUT

朝陽科技大學 營建工程系



統一土壤分類系統

表2-3 統一系統符號

符號	描述
G	礫石
S	砂土
M	粉土
C	黏土
O	有機粉土和黏土
P _t	泥炭土和高度有機質土壤
H	高塑性
L	低塑性
W	優良級配
P	不良級配

Department of Construction Engineering, CYUT

朝陽科技大學 營建工程系



塑性圖

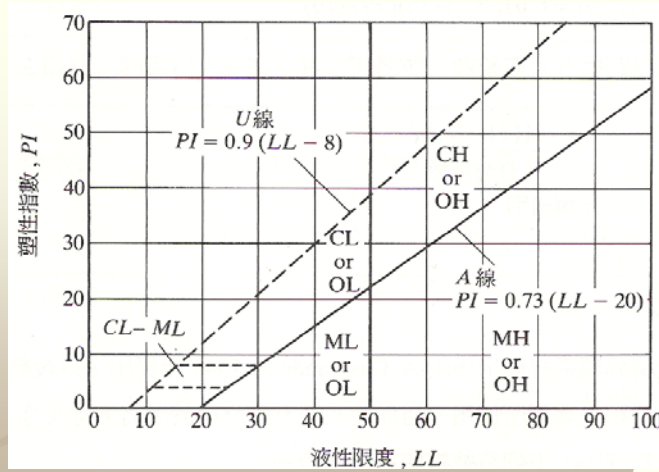


圖2-2 塑性圖

Department of Construction Engineering, CYUT

朝陽科技大學 建築工程學系



表2-4 根據統一土壤分類法之土壤分類符號 -- 礫石質土壤

主要類別	準則	分組符號
粗粒土壤	$F_{200} < 5, C_u \geq 4, 1 \leq C_c \leq 3$	GW
$R_{200} > 5$	$F_{200} < 5, C_u < 4$, 且 (或) C_c 不介於 1 與 3 之間	GP
礫石土	$F_{200} > 12, PI < 4$, 或阿大堡限度落於 A 線下方 (圖 1.5)	GM
$R_4 > 0.5R_{200}$	$F_{200} > 12, PI > 7$, 且阿大堡限度落於 A 線或其上方 (圖 1.5)	GC
	$F_{200} > 12, LL < 50, 4 \leq PI \leq 7$, 且阿大堡限度落於 A 線或其上方	GC-GM ^a
	$5 \leq F_{200} \leq 12$; 見 GW 級配準則和 GM 塑性準則	GW-GM ^a
	$5 \leq F_{200} \leq 12$; 見 GW 級配準則和 GC 塑性準則	GW-GC ^a
	$5 \leq F_{200} \leq 12$; 見 GP 級配準則和 GM 塑性準則	GP-GM ^a
	$5 \leq F_{200} \leq 12$; 見 GW 級配準則和 GM 塑性準則	GP-GC ^a

Department of Construction Engineering, CYUT

朝陽科技大學 建築工程學系



表2-4 根據統一土壤分類法之土壤分類符號
-- 砂土質土壤

0011

砂質土壤	$F_{200} < 5, C_u \geq 6, 1 \leq C_z \leq 3$	SW
$R_4 \leq 0.5R_{200}$	$F_{200} < 5, C_u < 6$, 且 (或) C_z 不介於 1 與 3 之間	SP
	$F_{200} > 12, PI < 4$, 或阿太堡限度落於 A 線下方 (圖 1.5)	SM
	$F_{200} > 12, PI > 7$, 且阿太堡限度落於 A 線或其上方 (圖 1.5)	SC
	$F_{200} > 12, LL > 50, 4 \leq PI \leq 7$, 且阿太堡限度落於 A 線或其上方 (圖 1.5)	SC-SM ^a
	$5 \leq F_{200} \leq 12$; 見 SW 級配準則和 SM 塑性準則	SW-SM ^a
	$5 \leq F_{200} \leq 12$; 見 GW 級配準則和 SC 塑性準則	SW-SC ^a
	$5 \leq F_{200} \leq 12$; 見 SP 級配準則和 GM 塑性準則	SP-SM ^a
	$5 \leq F_{200} \leq 12$; 見 GW 級配準則和 GM 塑性準則	SP-SC ^a

Department of Construction Engineering, CYUT

朝陽科技大學 建築工程學系



表2-4 根據統一土壤分類法之土壤分類符號
-- 粘土質土壤

0011

細粒土壤 (無機質)	$PI < 4$, 或阿太堡限度落於 A 線下方 (圖 1.5)	ML
$R_{200} \leq 50$	$PI > 7$, 且阿太堡限度落於 A 線或其上方 (圖 1.5)	CL
粉質和粘質土壤	$4 \leq PI \leq 7$, 且阿太堡限度落於 A 線 (圖 1.5)	CL-ML ^a
$LL < 50$	阿太堡限度落於 A 線下方 (圖 1.5)	MH
粉質和粘質土壤	阿太堡限度落於 A 線或其上方 (圖 1.5)	CH
$LL \geq 50$		、
細粒土壤 (有機質)	$\frac{LL_{未烘乾}}{LL_{烘乾}} < 0.75$	OL
有機粉土及粘土	$LL < 50$	
有機粉土及粘土	$\frac{LL_{未烘乾}}{LL_{烘乾}} < 0.75$	OH
	$LL \geq 50$	

註： F_{200} = 通過 200 號篩之百分比； R_{200} = 停留在 200 號篩之百分比； R_4 = 停留在 4 號之百分比； C_u = 均勻係數； C_z = 級配係數； LL = 液性限度； PI = 塑性指數；阿太堡限度基於小於 40 號篩之部分。

^a 落於虛線區之類別，須使用雙重符號。

Department of Construction Engineering, CYUT

朝陽科技大學 建築工程學系



表2-5 根據統一土壤分類法之土壤分類名稱
-- 礫石質土壤

0011

表3.5 礫石性土壤之分類名稱*

分類符號	使用分類名稱之條件: SF ^a	分類名稱
GW	<15	級配優良之礫石
	≥15	級配優良, 含砂之礫石
GP	<15	級配不良之礫石
	≥15	級配不良, 含砂之礫石
GM	<15	粉土質礫石
	≥15	含砂之粉土質礫石
GC	<15	黏土質礫石
	≥15	含砂之黏土質礫石
GC-GM	<15	粉土, 黏土質礫石
	≥15	含砂之粉土, 黏土質礫石
GW-GM	<15	級配優良, 含粉土之礫石
	≥15	級配優良, 含粉土與砂之礫石
GW-GC	<15	級配優良, 含黏土之礫石
	≥15	級配優良, 含黏土與砂之礫石
GP-GM	<15	級配不良, 含粉土之礫石
	≥15	級配不良, 含粉土與砂之礫石
GP-GC	<15	級配不良, 含黏土之礫石
	≥15	級配不良, 含黏土與砂之礫石

* 根據ASTM D-2487
^a SF = 砂含量之百分比 = $R_{200} - GF$, 而 $GF = R_4$

Department of Construction Engineering, CYUT



表2-6 根據統一土壤分類法之土壤分類名稱
-- 砂土質土壤

0011

表3.6 砂質土壤之分類名稱*

分類符號	使用分類名稱之條件: GF ^a	分類名稱
SW	<15	級配優良之砂土
	≥15	級配優良, 含礫石之砂土
SP	<15	級配不良之砂土
	≥15	級配不良, 含礫石之砂土
SM	<15	粉土質砂
	≥15	含礫石之粉土質砂土
SC	<15	黏土質砂
	≥15	含礫石之黏土質砂
SC-SM	<15	粉土, 黏土質砂土
	≥15	含礫石之粉土, 黏土質砂土
SW-SM	<15	級配優良, 含粉土之砂土
	≥15	級配優良, 含粉土與礫石之砂土
SW-SC	<15	級配優良, 含黏土之砂土
	≥15	級配優良, 含黏土與礫石之砂土
SP-SM	<15	級配不良, 含粉土之砂土
	≥15	級配不良, 含粉土與礫石之砂土
SP-SC	<15	級配不良, 含黏土之砂土
	≥15	級配不良, 含黏土與礫石之砂土

* 根據ASTM D-2487
^a GF = 礫石含量之百分比 = R_4

Department of Construction Engineering, CYUT



表2-7 根據統一土壤分類法之土壤分類名稱

-- 粘土質土壤

0011

表3.7 細粒無機質土壤之分類名稱*

分類符號	使用分類名稱之條件				分類名稱
	R_{60}	SF/OF	GF	BF	
CL	<15	-	-	-	頁岩狀 (lean) 黏土
	15-29	≥1	-	-	含砂之頁岩狀黏土
	≥30	≥1	<15	-	含砂頁岩狀黏土
	≥1	≥15	-	-	含礫石之砂質頁岩狀黏土
ML	<15	-	-	-	礫石性頁岩狀黏土
	15-29	≥1	-	-	粉土
	≥30	≥1	<15	-	含砂之粉土
	≥1	≥15	-	-	含礫石之砂質粉土
CL-ML	<15	-	-	-	含砂之礫石性粉土
	15-29	≥1	-	-	粉質黏土
	≥30	≥1	<15	-	含砂之粉質黏土
	≥1	≥15	-	-	含礫石之粉質黏土
CH	<15	-	-	-	砂質粉質黏土
	15-29	≥1	-	-	含砂之砂質粉質黏土
	≥30	≥1	<15	-	含礫石之砂質粉質黏土
	≥1	≥15	-	-	含砂之礫石性粉質黏土
MH	<15	-	-	-	肥 (fat) 黏土
	15-29	≥1	-	-	含砂之肥黏土
	≥30	≥1	<15	-	含砂之砂質肥黏土
	≥1	≥15	-	-	含礫石之砂質肥黏土
MH	<15	-	-	-	彈性 (elastic) 粉土
	15-29	≥1	-	-	含砂之彈性粉土
	≥30	≥1	<15	-	含礫石之砂質彈性粉土
	≥1	≥15	-	-	含砂之礫石性彈性粉土

* 根據ASTM D-2487

Department of Construction Engineering, CYUT



表2-8 根據統一土壤分類法之土壤分類名稱

-- 有機質土壤

0011

表3.8 細粒有機質土壤之分類名稱*

分類符號	塑性指數	使用分類名稱之條件				分類名稱
		R_{60}	SF/OF	GF	SF	
OL	$PI_{60} > 4$	<15	-	-	-	有機黏土
	$PI_{60} > 0.73 \times (LL_{60} - 20)$	15-29	≥1	-	-	含砂之有機黏土
	≥30	≥1	<15	-	-	含礫石之有機黏土
	≥1	≥15	-	-	-	含砂之砂質有機黏土
OL	$PI_{60} > 4$	<15	-	-	-	砂質有機黏土
	$PI_{60} > 0.73 \times (LL_{60} - 20)$	15-29	≥1	-	-	含砂之砂質有機黏土
	≥30	≥1	<15	-	-	含礫石之砂質有機黏土
	≥1	≥15	-	-	-	含砂之礫石性有機黏土
OH	$PI_{60} > 0.73 \times (LL_{60} - 20)$	<15	-	-	-	有機粉土
	15-29	≥1	-	-	-	含砂之有機粉土
	≥30	≥1	<15	-	-	含礫石之有機粉土
	≥1	≥15	-	-	-	含砂之砂質有機粉土
OH	$PI_{60} > 0.73 \times (LL_{60} - 20)$	<15	-	-	-	含砂之砂質有機粉土
	15-29	≥1	-	-	-	含礫石之砂質有機粉土
	≥30	≥1	<15	-	-	含砂之礫石性有機粉土
	≥1	≥15	-	-	-	含砂之有機粉土

* 根據ASTM D-2487
注意：下標NOD表示“未調整”

Department of Construction Engineering, CYUT



鑽探報告

0011

標記	深度 M	打擊 數 N/F/T	柱狀 圖	土壤描述	土壤 分類	W (%)	e	γ_t T/MP	L.L. (%)	P.L. (%)	P.I. (%)	Gs
T-1 S-1	1	80/ 69 7		0.00m-0.70m: 回填黃土, 磚塊 砂土	CL-ML	23.00	0.80	1.86	30.86	25.78	5.08	2.69
	2			黃灰色粘質粉砂 土	ML	24.78	0.91	1.87	-	-	-	2.69
S-2	3	10		0.70m-1.00m: 灰褐色粉質砂 及少量卵礫石	ML	25.60	0.88	1.95	-	-	-	2.69
	4			1.00m-1.23m: 卵礫石夾細砂								
S-3 S-4	5	23/ 100/ 10		1.23m-1.50m: 卵礫石夾細砂								
	6			1.50m-1.70m: 卵礫石夾細砂								
	7			鑽孔底部 8.50m								
	8											
	9											
	10											
	28											
	29											
	30											

土壤物理性試驗結果				鑽孔編號	BH-3
工程名稱	中投公路建設計畫-台中市五權路延伸道路工程地質調查及試驗				
日期	83.03.23-26	地表高程	45.753 m	地下水位	3.11 m

Department of Construction Engineering, CYUT

朝陽科技大學 建築工程系