

泥岩特性及工程問題之探討

張志杰* 廖瑞堂**

一、前言

由於泥岩之工程性質較一般岩石特殊，常導致嚴重的災害及損失，故國科會自民73年起即將泥岩列為大型防災科技研究之重要研究對象之一，參與研究的學者及專家衆多，經幾年的研究已對泥岩之基本性質及特殊工程性質已有相當程度的瞭解，本文係綜合國內外學者專家之研究成果，介紹泥岩的基本性質及特殊的工程性質，並針對泥岩地區常遭遇的各種工程問題加以探討，盼能從對泥岩特性的充份瞭解，尋求各種因應及處理對策以減少災害的發生。

二、泥岩之基本物理及化學性質

泥岩 (Mudstone) 有人又稱為青灰岩，主要係泥岩在新鮮時常呈青灰色，在台灣西南部分佈範圍遍及嘉義、台南、高雄三縣市，面積達一千餘平方公里，參見圖1所示，厚度最厚部份達5000公尺左右，泥岩如依統一土壤分類法分類應屬低塑性粉質粘土(CL)其過壓密比約5左右，其顆粒組成中，粉土含量最高，粉土含量約有40~80%，粘土含量約15~30%，砂土含量約5~55%，不

* 台灣營建研究中心研究組組長

** 國立台灣技術學院營建系博士班研究生

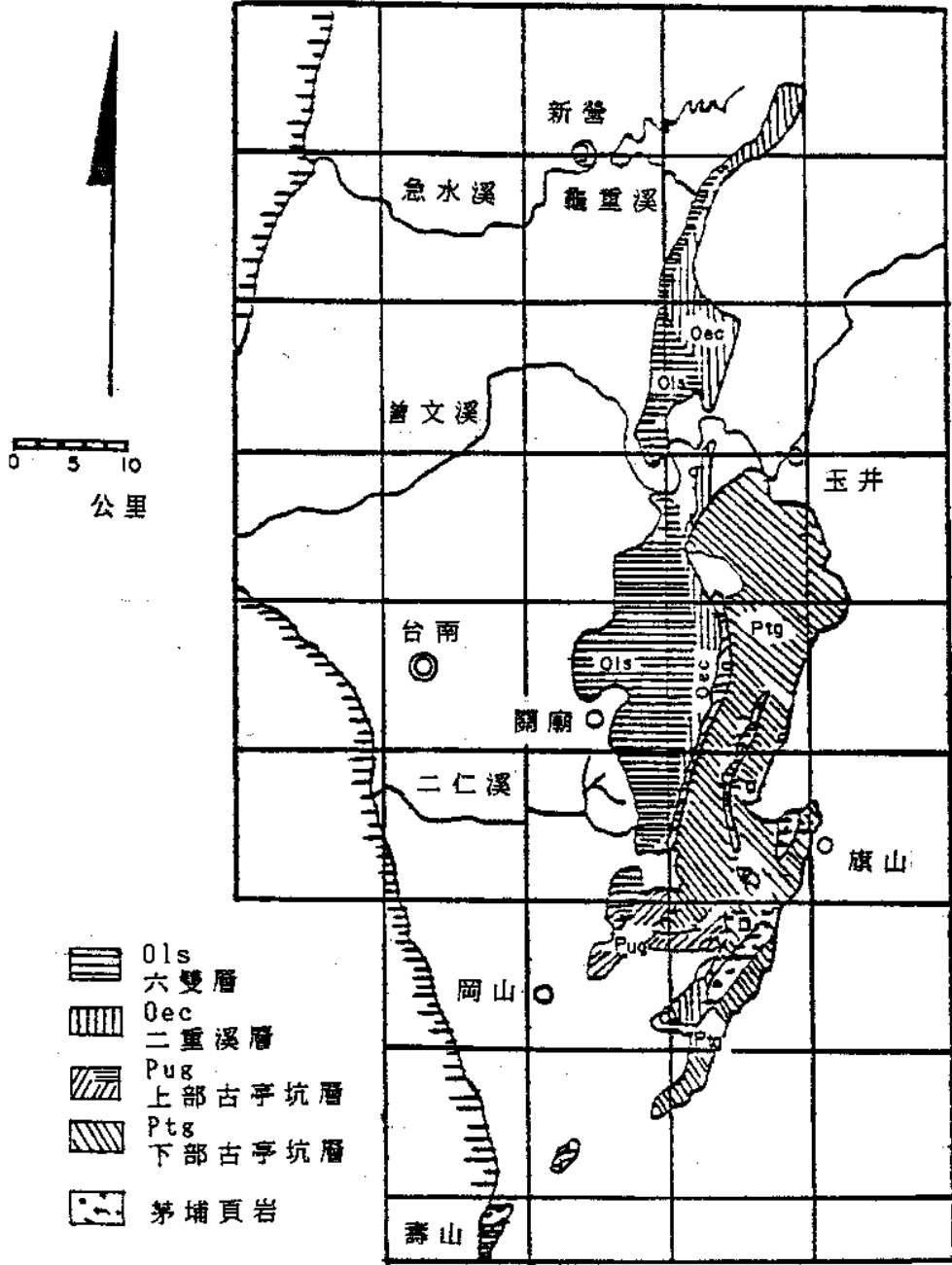


圖1 臺灣西南部泥岩分部範圍及其地質概況 (蔡光榮 1988(1))

同地區泥岩的顆粒組成變化性甚大，值得特別注意，其基本物理性質詳見表1～表5所示。另外從泥岩形成的歷史來看，泥岩可視為過壓密粘土一種，顏富士(1987)曾指出其過壓密比約5.3，泥岩的許多工程特性和過壓密粘土的特性極為相符，將其視為過壓密粘土則對泥岩特性的掌握不致有太大的偏差，至於其真正過壓密比為何有待研究，有關泥岩之化學性質詳見表6所示，泥岩略帶弱鹼性。

表1 西子灣泥岩的粘土礦物含量(李德河1983(3))

粘 土 礦 物	平均百分比(%)	百分比涵蓋範圍 (%)
伊 利 土 (Illite)	50	30~70
綠 泥 (Chlorite)	35	15~60
蒙 脫 土 (Montmorillonite)	5	< 40
其 他 : 高 嶺 土 (Kaolinite) 石 膏 (Gypsum) 石 英 (Quartz)	10	

表2 西子灣泥岩的基本物理量(李德河1984(3))

顆 粒 大 小 分 佈	
砂 土 > 0.06 mm	3.3 ~ 8.6 %
粉 土 0.06 mm ~ 0.002 mm	62.6 ~ 64.6 %
粘 土 < 0.002mm	26.8 ~ 34.1 %
阿 太 堡 限 度	
液 性 限 度 LL	37.93 %
塑 性 限 度 PL	23.83 %
塑 性 指 數 PI	14.10 %
土 壤 顆 粒 比 重 G _s	2.742 ~ 2.750
天 然 含 水 量 W	7.21 ~ 17.90 %

濕土單位重 γ_t	約 2.13 (g/cm ³)
乾土單位重 γ_d	約 1.77 (g/cm ³)
乾燥狀態孔隙比 e	約 0.51
飽和度 S	42.4 ~ 97.05 %
PH值	8.28 ~ 8.44
OCR值	5.3

表3 旗山泥岩的基本物理量(李德河1987(2))

阿太堡限度	
液性限度 LL	22.58 %
塑性限度 PL	6.68 %
塑性指數 PI	15.90 %
顆粒比重 Gs	2.67
天然含水量	2.36 ~ 6.44 %
乾土單位重	2.16 ~ 2.33 gf/cm ³
孔隙率	6.32 %

表4 不同地點泥岩之顆粒組成(李德河1984(3))

	西子灣	玉井	關廟	左鎮A	左鎮B	月世界	龍崎	東山	深水	千秋寮
砂土(%)	3.3 ~ 8.6	5	6	55	23	20	20	31	54	29
粉土(%)	62.6 ~ 60.6	79.2	78	28	49	49	47	42	19	41
粘土(%)	26.8 ~ 34.1	15.8	16	17	28	31	33	27	27	30

表5 壽山地區古亭坑層之物理及力學性質 (李德河1984(4))

參考資料	李振誥	地調所	能礦所	保利	摩爾	陸台	蔡錦松(8)	林永壽(9)
實驗種類								
密度 (g/cm ³)	-	2.19	-	2.12	1.76	2.09	2.13	2.15 ~22.2
含水量 (%)	-	13.29	20	20.2	19.2	22.1	7.21 ~17.9	-
比重 (Gs)	2.74	2.21	-	2.75	-	-	2.74 ~2.7	2.68 ~2.76
孔隙比	-	-	-	-	0.57	-	0.51	-
單軸抗壓強度 (kgf/cm ²)	-	5.57	4.72 ~ 27.6	2.03	-	-	-	-
直接剪力實驗： 凝聚力c值 (kgf/cm ²)	-	2.07 0.40	-	0.62	-	-	2.40 (p) 0.30 (r)	0.7 ~0.75(p) 0.1 ~0.45(r)
內摩擦角φ (°)	-	33.2 27.3	-	26.8	-	-	65.0 (p) 34.0 (r)	28.4 ~37(p) 25.2 ~30(r)
間接抗張強度(kgf/cm ²)	-	0.47	-	-	-	-	-	-
三軸壓縮實驗： 凝聚力C值(kgf/cm ²)	-	0.59	1.6 ~2.1	1.36	-	-	24.0 (p) 0.45 (r)	-
內摩擦角φ (°)	-	26.5	28 ~35	10.6	-	-	55.0 (p) 49.5 (r)	-
阿太堡 液性限度 (%)	29.9	-	-	-	-	46.4	37.93	27.3 ~34.4
塑性限度 (%)	17.6	-	-	-	-	23.0	23.83	18.82 ~23.82
塑性指數 (%)	12.3	-	-	-	-	23.4	14.10	8.50 ~13.94
貫入試驗N值	-	-	-	-	63	>50	-	-

(p) : 表尖峰強度值

(r) : 表殘餘強度值

表6 泥岩之化學分析結果 (蔡光榮 1988*(1))

探土地點 Place of sampling	左鎮	大鎮	月世界	月世界	龍崎	東山	東山	東山	深水	千秋寮	
飽和百分率 酸度 PH	44.20 8.05	63.50 8.22	54.60 8.30	48.90 8.42	54.30 8.42	51.40 8.15	51.40 8.50	51.50 8.20	51.50 8.20	49.30 8.20	
鹼土金屬碳酸鹽 中常溶解性鈣鎂鹽 (公絲當量/100克土)	2.17 0.54	4.95 -	2.29 0.60	2.00 0.05	3.06 1.59	2.79 -	2.38 3.53	3.13 -	2.76 0.55	1.85 1.72	
飽和抽取液中 導電度 E.C mmhos / cm	10.70	11.91	13.71	6.97	7.46	4.91	3.62	6.04	11.45	9.17	
總鹽分 Total salt : (gm/L)	-	0.37	0.56	0.23	0.30	0.20	0.14	0.25	0.26	0.35	
可溶性陰離子 Ca++	22.16	13.44	11.49	3.49	4.70	13.27	1.62	11.14	6.44	10.99	
Mg++	13.36	21.15	9.09	3.02	4.48	11.66	1.05	7.99	3.78	7.90	
(公絲當量/公升) Na+	84.56	102.47	135.73	64.66	71.42	32.28	32.51	49.81	110.53	86.51	
K+	2.80	1.68	0.72	0.90	0.52	0.34	0.48	0.74	0.72	0.54	
小計 Total	122.98	18.74	157.03	72.07	81.12	57.55	35.66	69.68	121.47	105.94	
Soluble cation and anion in saturation extract (m.e. / L)	-	-	-	0.59	0.84	-	0.63	-	-	-	
Co - -	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
HCO - -	2.07	5.92	2.31	2.07	1.47	1.68	2.94	1.78	1.77	1.70	
CL -	59.00	70.55	79.26	35.50	31.50	11.18	6.10	18.29	58.94	41.66	
SO -	60.66	60.83	78.83	35.64	49.41	48.15	29.30	55.52	65.29	65.97	
小計 Total	121.73	137.30	160.40	73.80	83.22	61.05	38.97	75.59	126.00	109.33	
鈉鉀著比 SAR	20.09	24.63	42.28	33.33	33.37	9.14	28.03	16.12	48.91	28.18	
陽離子交換容量 (公絲當量/100克土) Cation-exchange capacity (m.e./100g soil)	6.41	8.99	8.18	8.52	9.79	5.27	8.67	6.21	4.47	8.08	
質地 Texture	砂粒 % Sand 28.65 粉粒 % Silt 16.73 粘粒 % Clay	23.29 48.73 27.98	20.04 49.01 30.95	30.65 42.21 27.14	20.04 46.94 33.02	40.20 38.33 21.46	31.02 42.21 26.77	31.27 40.52 28.21	54.18 19.31 26.51	28.41 41.20 30.39	
交換性陽離子 Exchangeable cations	Na公絲當量/100克土m.e./100 g soil (ESP) % - K公絲當量/100克土m.e./100g soil (EPP) % - Ca公絲當量/100克土m.e./100 g soil + Mg %	1.20 - 0.54 - 4.67 72.83	3.14 34.93 1.37 15.24 4.48 49.83	2.84 54.72 0.34 1.16 5.00 61.12	2.98 43.98 0.88 10.33 4.66 54.69	3.05 31.15 0.54 5.52 6.20 63.33	0.68 12.90 0.36 6.83 4.23 80.27	2.72 31.37 0.63 7.27 5.32 61.36	1.15 18.52 0.44 7.09 4.62 74.38	2.44 54.59 0.93 20.81 1.10 24.60	2.23 28.84 0.16 1.96 5.69 69.20

資料來源：「台灣鹽漬第三紀岩系(泥岩)及其沖積土之化學特徵與發育」糖試所研究彙報第十五號。

三、泥岩之工程問題

泥岩地區較嚴重之工程問題常見的有下列幾項：

(一)水土保持問題：

1. 沖蝕嚴重：每個雨季沖蝕深度大於 10 CM，大型坡地開發時造成下游之土石流災害。
2. 植生不易：植物根部不易貫入泥岩深處。
3. 水庫壽命減少。
4. 橋墩沖刷深度很難預估。

(二)基礎問題：建築物常受泥岩之回脹壓力，造成龜裂損壞，剛性擋土牆易常發生龜裂傾倒。

(三)邊坡穩定問題：泥岩由於浸水後強度明顯軟化加以開挖後會發生潛變，致使強度有明顯減低之傾向，故在泥岩地常發生邊坡坍方問題。

(四)排水問題：泥岩由於細粒含量甚多，透水性很小，常導致結構物之地下排水措施堵塞，地下水無法快速渲洩，造成擋土措施額外之下滑力引發崩坍，同時由於泥岩遇水極易崩解軟化，其地表逕流常不按照原有之地表排水系統排出，四處流竄引發嚴重之沖蝕及崩坍情形，造成排水結構物之損毀。

各項工程問題之焦點及可能處理對策：

(一)水土保持問題：

1. 選擇適合之草種或植物，以非工程之植生方法保護邊坡，但目前並未找到相當合適之草種或植物。
2. 採用柔性擋土牆做為擋土措施，如加勁擋土牆或蛇籠等；儘量避免使用剛性擋土牆。
3. 坡面保護：傳統均以噴漿方式保護坡面以防止水份進入泥岩，但因泥岩之回脹特性及噴漿面和泥岩密合效果不佳常導致龜裂破壞，目前有多位學者如李德河(1984)，顏富士(1988)，陳振盛(1989)，採用土壤改良之方法嚐試處理該問題，但仍未經現地試驗加以驗證。

(二)基礎問題：

1. 採用樁基礎將結構物荷重傳遞至不受回脹壓力影響之深度。
2. 將水份有效隔離，不讓水份進入基礎附近。

3. 結構物與泥岩面間需預留泥岩回脹空間，以免回脹壓力推擠結構物。
4. 採用換土方式將表面之泥岩置換適用之材料。

(三) 邊坡穩定問題：

1. 採用之強度參數受水份和時間效應影響，分析及設計時必需考慮。
2. 擋土型式之選擇：儘量採用柔性且透水性佳之擋土牆。
3. 滑動面之調查研判：大型崩坍地必需配合觀測系統調查滑動面位置，方能針對滑動規模及崩坍原因、尋找有效經濟之處理對策。

(四) 排水問題：

1. 妥為規劃地表及地下排水，避免地表逕流太大，造成較嚴重之沖蝕，故截水溝之間距、修坡坡度及坡向需予以檢討。

根據陳時祖(1986)之現場調查研究發覺泥岩地區較一般地區不同的是坡度越陡其沖蝕量越少，該調查結果和劉長齡(1986)在人工降雨試驗室試驗所得結果相同詳見圖2，故陳時祖提出泥岩地區之斜坡整治方式建議如圖3所示，但該修坡方式有待現場試驗之驗證。

另外陳時祖(1986)亦指出，經現場調查結果泥岩地區之含水量地表55公分以內含水量變化較大，80公分以上含水量則幾乎無變化，詳圖4所示。該圖可不可以引伸做為建築基礎設計之參考，值得進一步探討；有時建築物基礎雖放置於地面下1~2公尺處，但由於水份極可能沿著結構物表面入滲至基礎面之泥岩上，致使基礎發生膨脹龜裂等情事。

四、泥岩特殊之工程性質

由於泥岩具有若干之特殊性質，方使泥岩地區產生上述之種種特殊問題，泥岩之特殊工程行為明顯易見的有：

- (一) 泥岩乾燥或新鮮未風化時，強度甚高。
- (二) 泥岩遇水產生回脹，強度明顯降低進而崩解。
- (三) 泥岩強度受時間影響，邊坡有漸續性破壞之情況。

爲了研究上述泥岩之特殊行為，工程上常以某些試驗求得該岩石之特性並予定量化，以利於工程之調查、分析及設計，泥岩之特殊工程性質可分爲下列二項，分別予以探討：

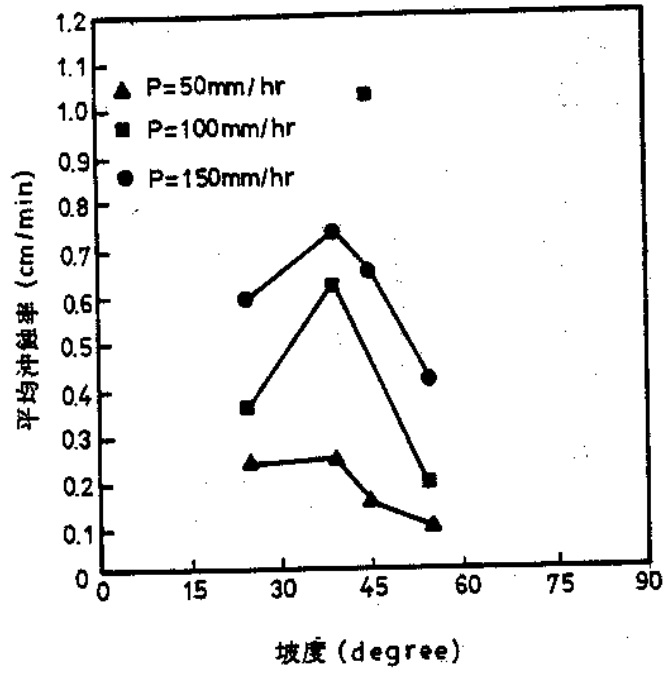


圖2 平均沖蝕率—坡度圖 (劉長齡 1986(8))

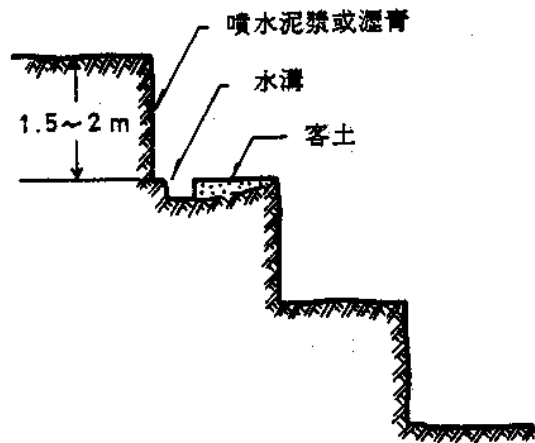


圖3 建議之泥岩斜坡整治方式 (陳時祖 1986(7))

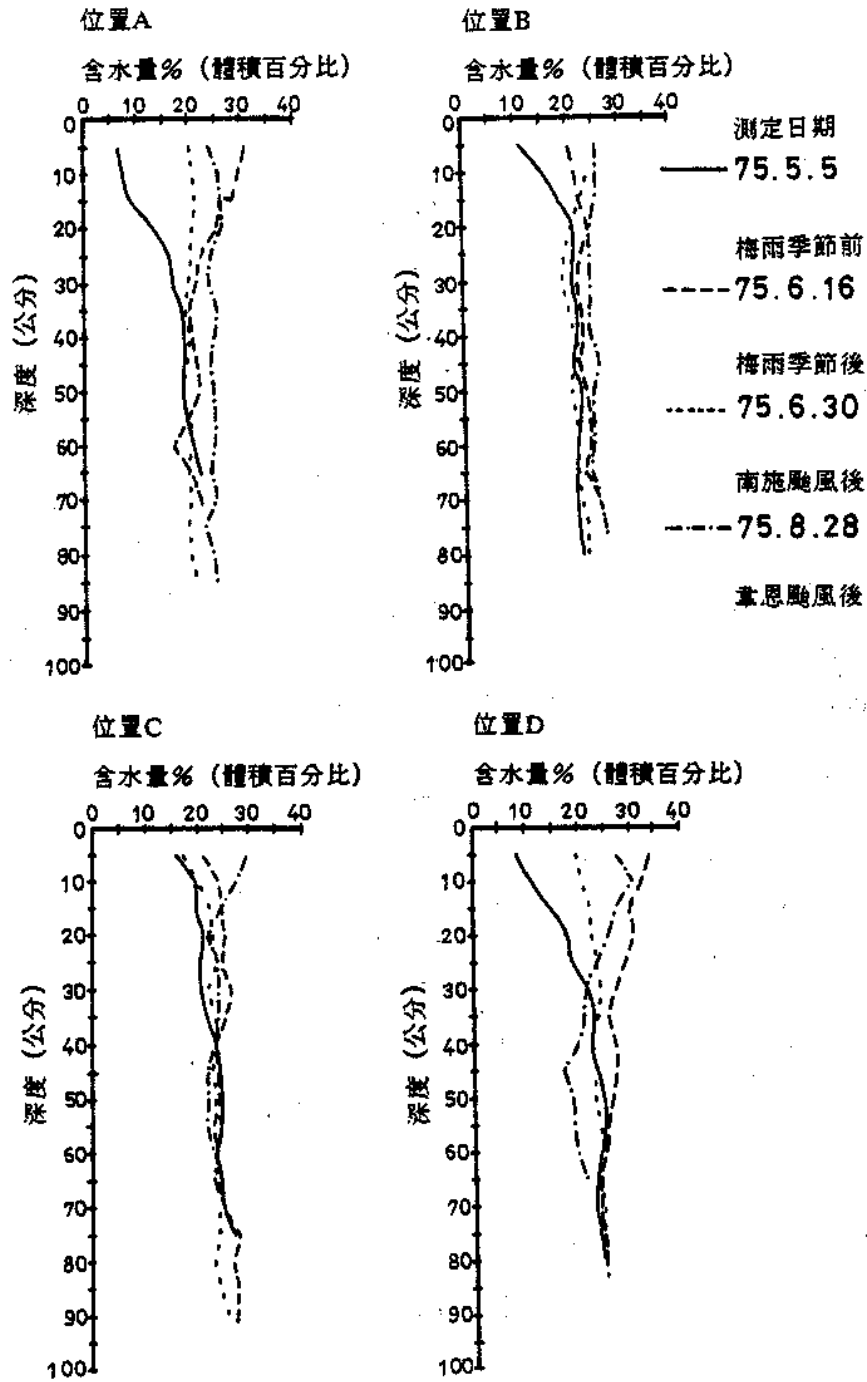


圖 4 泥岩在不同時間地點含水量和深度之關係 (陳時祖 1986(7))

(一) 泥岩回脹特性

和回脹性有關之物理性質包括：

1. 含水量(Wn)
2. 乾土單位重(γ_d)
3. 細顆粒含量及成份
4. 液性限度(LL)
5. 回脹衰減(Fatigue of Swelling)

Chen(1975) 指出一般膨脹性粘土含水量變化在1~2%時即會產生明顯之膨脹效應，同時當粘土乾土單位重越大時越容易發生回脹壓力，尤其乾土單位重大於110pcf (約1.76kg/m³) 時即有明顯的回脹壓力發生。另外 Chen 依據細顆粒含量，液性限度將土壤之膨脹性分為4級，如表7所示。

表7 膨脹土壤之分級(Chen 1975(9))

試驗室及現場數據			體積變化百分比 (%)	回脹壓力 (ksf)	回脹性
通過 200號 篩百分比	液性限度	N 值 (次數/ft)			
>35	> 60	> 30	> 10	> 20	非常高
60~90	40~60	20~30	3~10	5~20	高
30~60	30~40	10~20	1~5	3~5	中等
<30	< 30	< 30	< 1	1	低

註：1 ksf = 0.488kg/cm²

另外受反覆乾燥或潮濕之循環影響，回脹性有隨反覆乾燥或潮濕次數之增加而有遞減之趨勢，稱為回脹衰減。

一般描述回脹性之指標有下列2項：

- 1.回脹率 (Swelling Percentage) :回脹厚度與原來土層厚度之百分比。
- 2.回脹壓力 (Swelling Pressure) :在浸水過程中保持體積不變所需之壓力稱為回脹壓力。測回脹壓力的方法有下列兩種方法。

(1)不同壓力法 (Different Pressure Method) :

對試體施以不同垂直載重，並量測其回脹量，並由回脹曲線推估回脹量為零時之垂直應力即為回脹壓力，如圖5所示。

(2)預先回脹法 (Pteswelled Method) :

讓試體自由吸水膨脹後再施加垂直壓力使試體壓密至原來的體積所需之垂直壓力，即為回脹壓力，如圖6所示。

根據李德河(1984(3)) 研究指出，西子灣地區泥岩之回脹力約2~3.5kg/cm²回脹率則為6~10%，如以表7分類則泥岩應屬高回脹性之土壤，詳見圖7及圖8所示，泥岩之回脹衰減現象詳見圖9所示。

李德河 (1989(6)) 依據萬壽山地區之泥岩同樣進行回脹試驗所獲得結果係回脹壓力為0.28kg/cm²，回脹率則為3%，兩者所獲得之結果比較差異甚大，可能係泥岩土樣不同所導致。

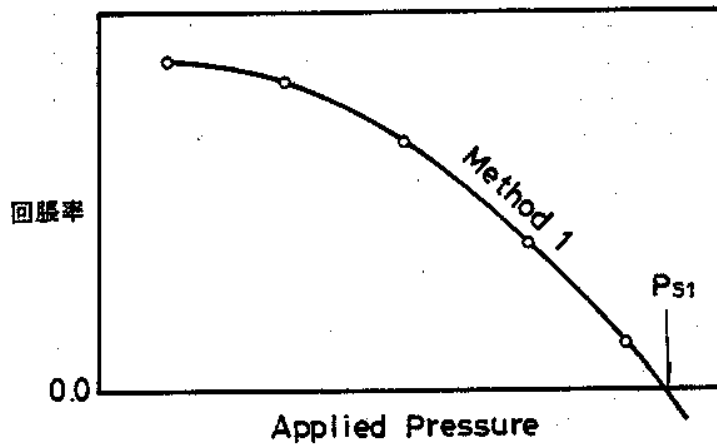
(二)泥岩強度特性

泥岩之強度特性需從基本岩石試驗所獲得之應力及應變行為瞭解起，一般軟岩之強度可分為完整岩石強度及岩體 (Rock Mass) 之強度，同時由相關之岩石試驗 (如三軸試驗或直剪試驗) 均可求得岩石兩種強度，一為尖峰強度 (Peak Strength) ，一為殘餘強度 (Residual Strength) ，在較低圍壓時尖峰強度與殘餘強度有甚大之差異，當圍壓超過臨界應力時，尖峰強度和殘餘強度則趨一致，詳見圖10所示，岩體之強度則界於完整岩石之尖峰強度與殘餘強度之間。

圖11及圖12更可進一步說明在高圍壓之情況下泥岩之尖峰強度和殘餘強度是一樣的，但在低為圍壓時，則有明顯差異。

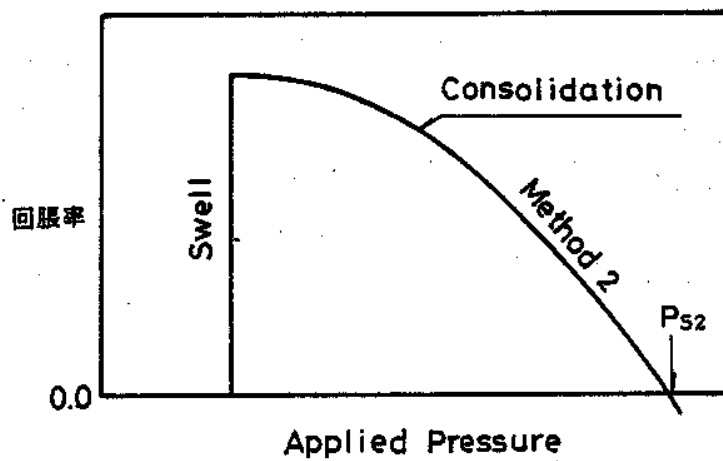
1.含水量對泥岩強度之影響：

由圖13明顯得知，泥岩強度和其初始含水量影響極大，尤其是尖峰之凝聚力隨含水量之增加呈明顯下降趨勢，殘餘之凝聚力亦隨之降低，當含水量增加到某一程度時，則凝聚力均完全消失，至於尖峰及殘餘摩擦角



(a)

圖 5 不同壓力法 (李德河 1989(5))



(b)

圖 6 預先回脹法 (李德河 1989(5))

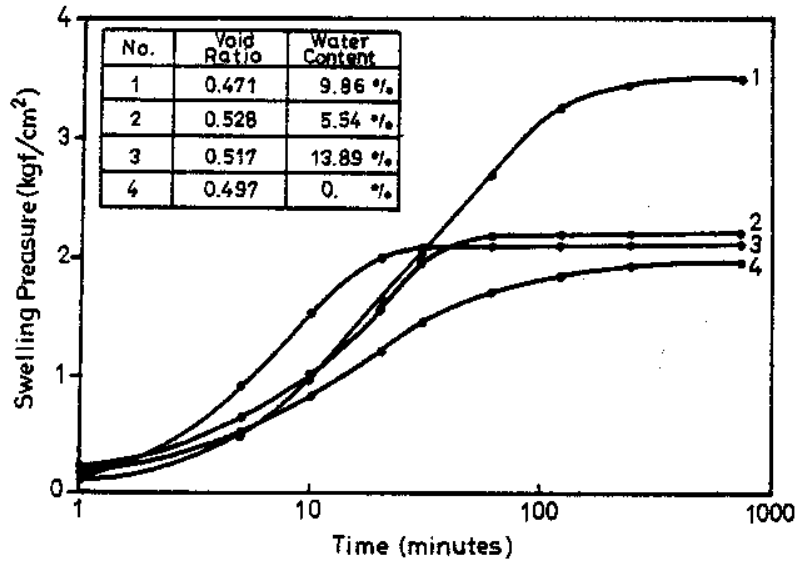


圖 7 泥岩回脹壓力—時間曲線 (李德河 1984(3))

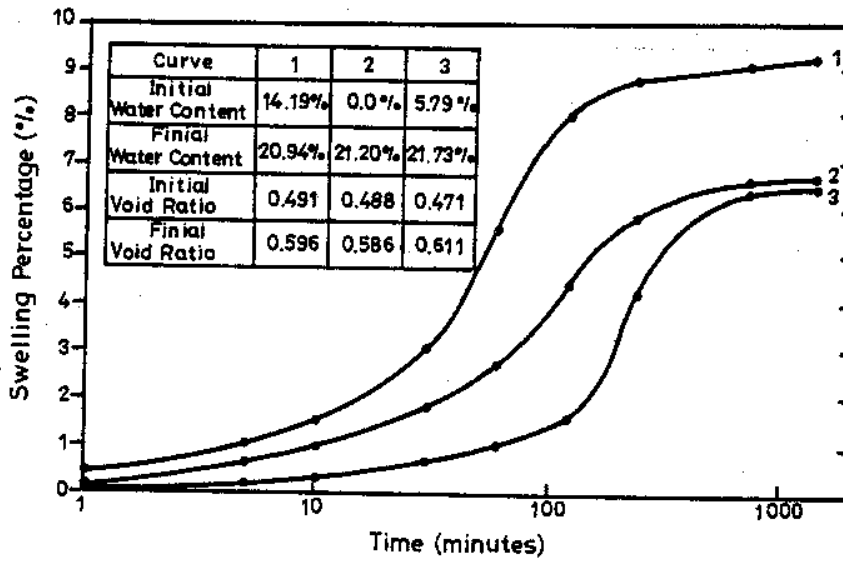


圖 8 泥岩回脹率—時間曲線 (李德河 1984(3))

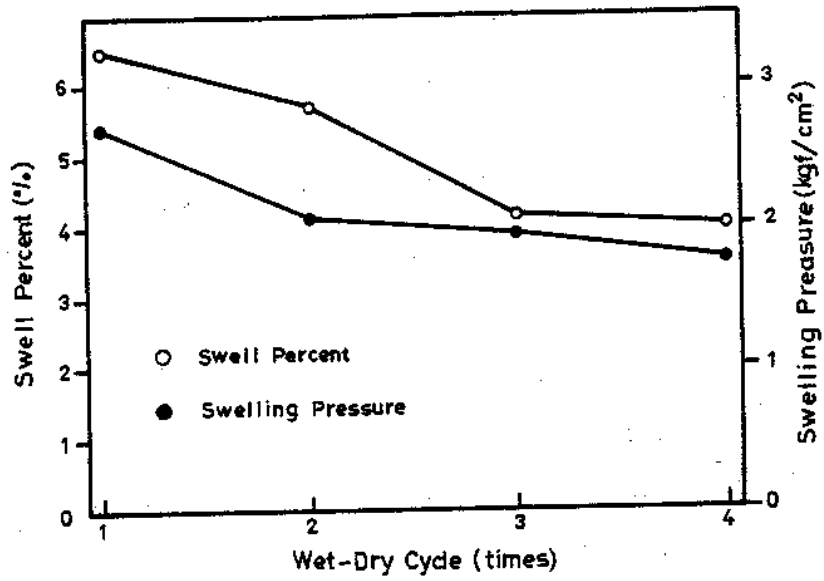


圖 9 泥岩回脹衰減現象 (李德河 1984(3))

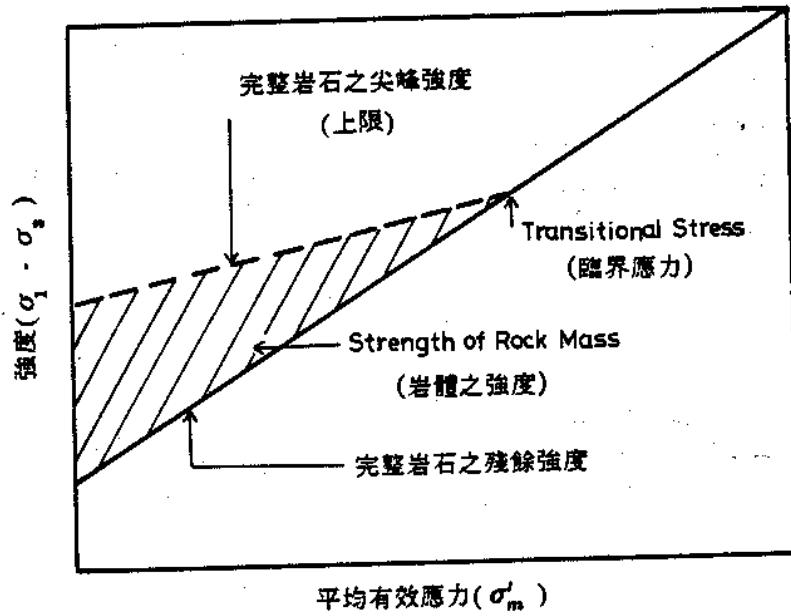


圖 10 完整岩塊和岩體強度示意圖 (Toshihisa 1981(10))

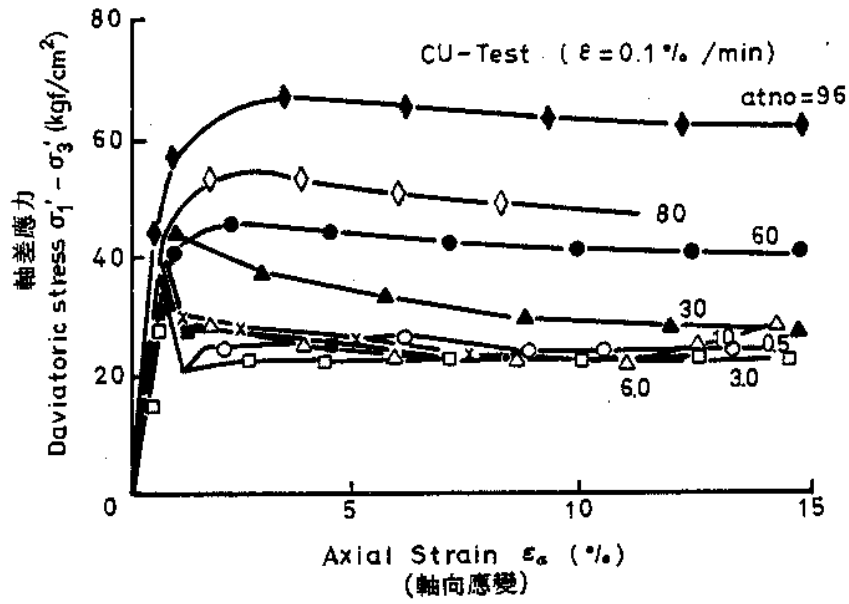


圖 11 應力-應變關係在CU 試驗情況(Toshihisa 1981(10))

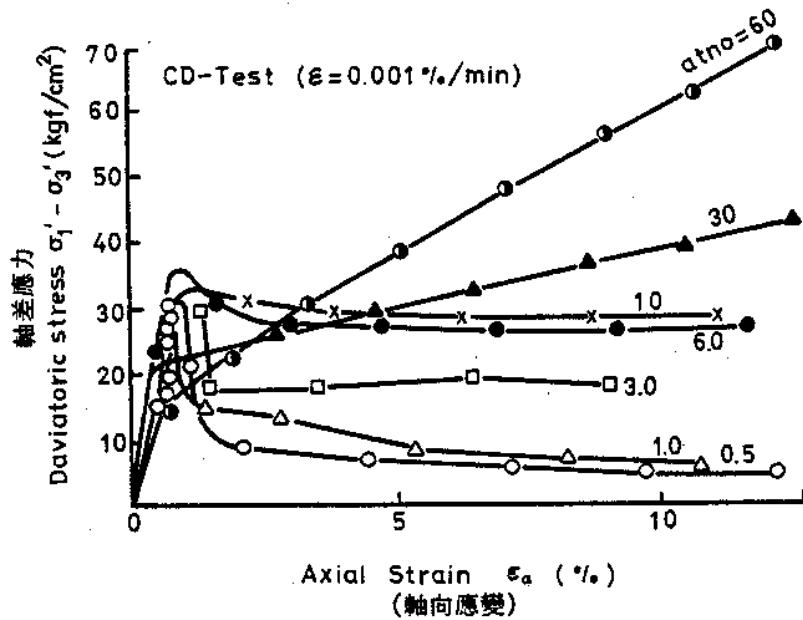


圖 12 應力-應變關係在CD 試驗情況(Toshihisa 1981(10))

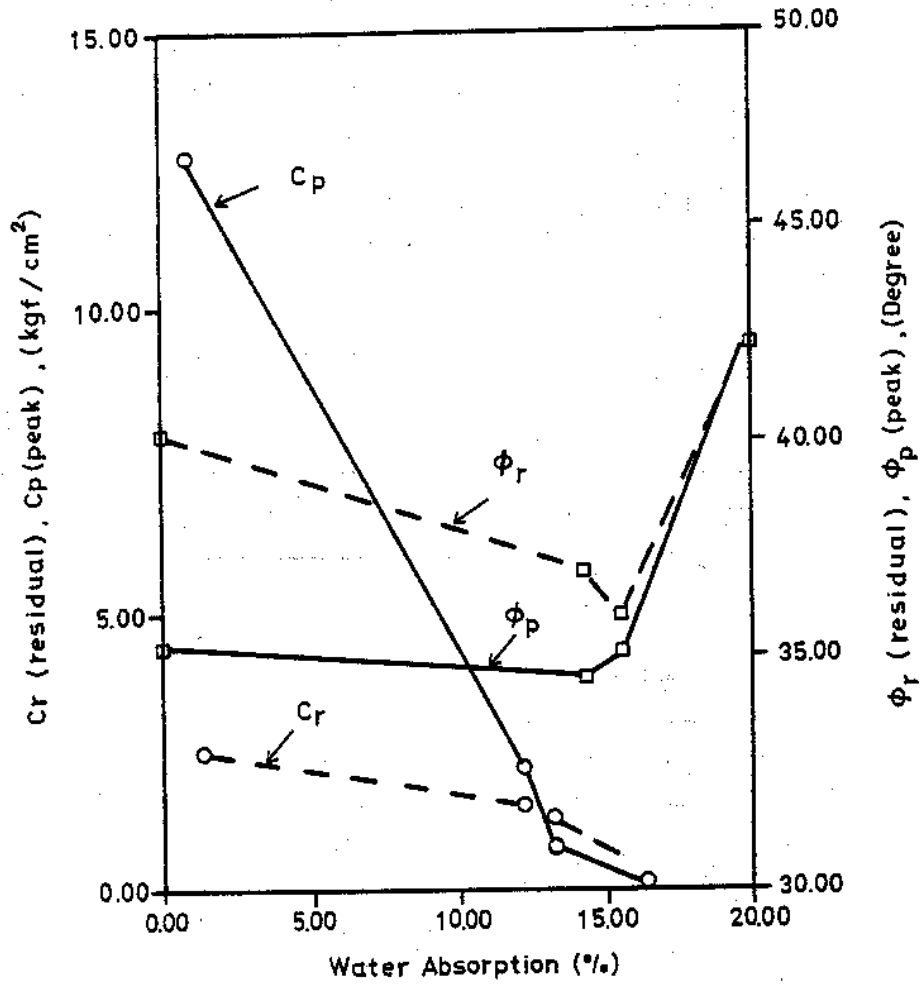


圖 13 泥岩剪力強度參數(總應力)與吸水率之關係 (三軸壓縮試驗)
(李德河 1989(5))

在吸水初期略有下降趨勢（約下降 $1\sim 3^\circ$ ）但在吸水超過某一程度（當 C_r-C_p 均為零）時 ϕ_p 及 ϕ_r 又呈明顯上升（約上升 $6\sim 7^\circ$ ）之趨勢， ϕ_r 及 ϕ_p 上升之原因無法解釋。

另由表9所進行之不同條件下之泥岩強度比較，所得趨勢與圖13之結果大致相同，均可說明泥岩泡水後凝聚力 C 值明顯降低甚至完全消失之情形。由表8同時亦說明反覆風化作用對泥岩強度 C 值明顯降低之作用，但對 ϕ 值而言，影響則趨勢不明顯。

表8 不同控制條件下泥岩剪力強度之比較（直接剪力試驗）
（李德河1989(5)）

剪力強度參數		C 值(kgf/cm ²)		ϕ 值(°)	
		尖 峰	殘 餘	尖 峰	殘 餘
不同控制條件					
氣乾原狀泥岩		5.991	-	69.98	-
氣乾原狀泥岩浸水12小時		0.127	0.015	29.14	31.92
原狀泥岩加載不同荷重浸水24小時		0.884	0.097	62.87	34.30
重模泥岩壓密24小時		0	-	28.53	-
受 反 覆 乾 濕 風 化 作 用	0 次 循 環	2.84	0.63	35.0	44.12
	1 次 循 環	1.86	0.30	40.3	45.30
	3 次 循 環	0.54	0.50	43.2	30.96
	5 次 循 環	0	0	47.7	42.80

表9 不同控制條件之剪力強度參數 (李德河1989(5))

剪力強度參數 不同控制條件	C 值 (kgf/cm ²)	φ 值 (°)
原狀泥岩加載不同荷重浸水24小時殘餘強度	0.097	34.30
重模泥岩壓密24小時	0.000	28.53
泥質砂岩與泥岩交界面	0.052	26.58
石英砂岩與泥岩交界面	0.158	20.83

2. 剪應變速率對強度之影響：

泥岩之破壞強度受剪應變速率之影響極大，剪應變速率越慢，則可視為排水狀況，若剪應變速度越快，則可視為不排水狀況，H.Ohtsuki(1981)曾就泥岩進行不同速率之三軸剪應變試驗，其試驗結果如圖14所示。由試驗結果可知尖峰強度受剪應變速率之大小影響極大，剪應變越快強度則越高；但殘餘強度則受剪應變速率之影響極微。

3. 潛變對泥岩強度之影響：

由於泥岩係屬一種過壓密粘土，Ohtsuki (1981)之研究指出泥岩之潛變行為甚為明顯，試驗結果詳見圖15所示。

由該試驗結果得知：當剪應力比 (Stress Level) 超過70%時才會產生因潛變造成潛變應變速率增加而造成破壞之情形發生。同時剪力強度亦隨潛變剪應變速率增大而增加，其中尤其以尖峰強度之影響較殘餘強度影響明顯，詳見圖16所示。

由圖15定義由於潛變發生破壞前之最小差異剪應變速率 $\dot{\epsilon}_c$ ，可推估破壞所需時間 (tr)，一般我們常以下式表示其關係：

$$\epsilon_s \cdot t_r = C \text{ —————(1)} \quad (\text{錄自Toshihisa 1981(10)})$$

其中：C 值係材料性質

ϵ_s 係剪應變速率

t_r 係破壞時間

泥岩之 t_r 及 ϵ_s 之關係如圖17所示。

4. 交界面性質

李德河 (1989(5)) 之研究指出泥岩和其他岩層互層或交界處取樣進行所得之強度參數與原來泥岩之尖峰強度參數為小，且較不同試驗條件下之泥岩殘餘強度略小，其主要原因並未進一步探討，其結果如表9所示。

但為李德河 (1989(4)) 之壽山地區若干現場調查發覺部份地層之滑動面係位於泥岩和覆蓋土層之交界處，其交界面性質對泥岩強度影響程度及其原因有必要進一步探討。

5. 剪應變大小對泥岩強度之影響

泥岩受剪力作用產生剪應變，在較小之應變時其強度為尖峰強度，當剪應變超過某一值後，強度明顯降低，當時之強度為殘餘強度，當泥岩邊坡發生破壞，或因潛變產生甚大之剪應變時有必要採取用較低之強度參數，詳見圖11及圖12所示。

五、結論及建議

(一) 泥岩是一種極特別之岩石，具有特殊之工程性質，因其特殊的工程性質導致許多特殊的工程問題，其特殊的工程性質包括：(1) 回脹性，(2) 強度特性，但發生特殊工程性質之主要主角係水份，水份對泥岩之行爲影響極大。

(二) 泥岩地區較嚴重之工程問題有下列幾項：

1. 水土保持問題
2. 結構基礎問題
3. 邊坡穩定問題
4. 排水問題

從事泥岩地區之工程設計必需能對泥岩特殊之工程性質充份瞭解，方能

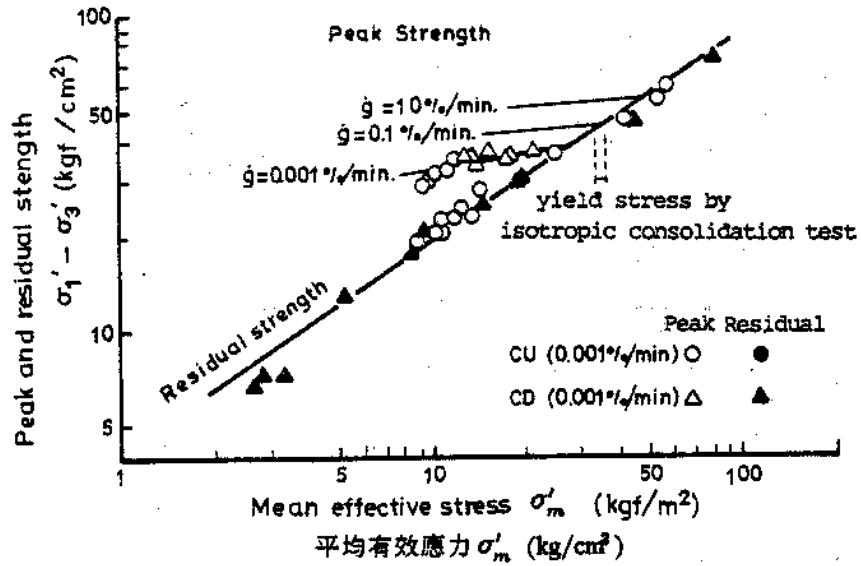


圖 14 不同剪應變速率下泥岩強度之變化(Ohtsuki 1981(11))

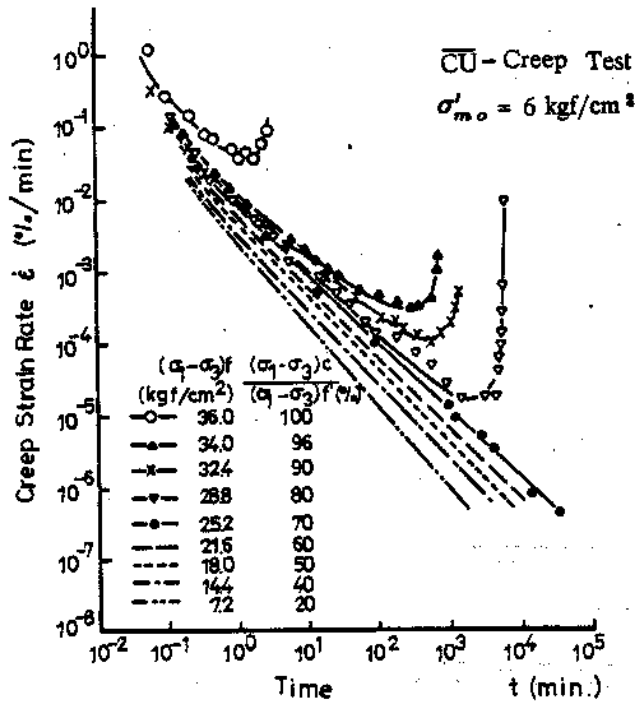


圖 15 在不排水潛變下應變速率和時間之關係 (Ohtsuki 1981(11))

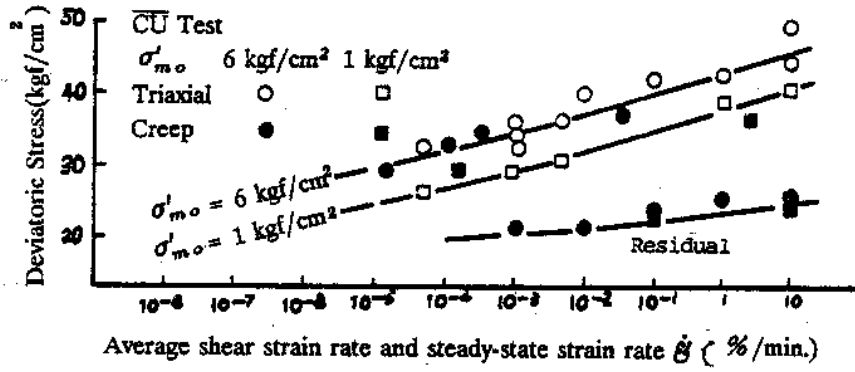


圖 16 強度受潛變剪應變速率之影響 (Ohtsuki 1981(11))

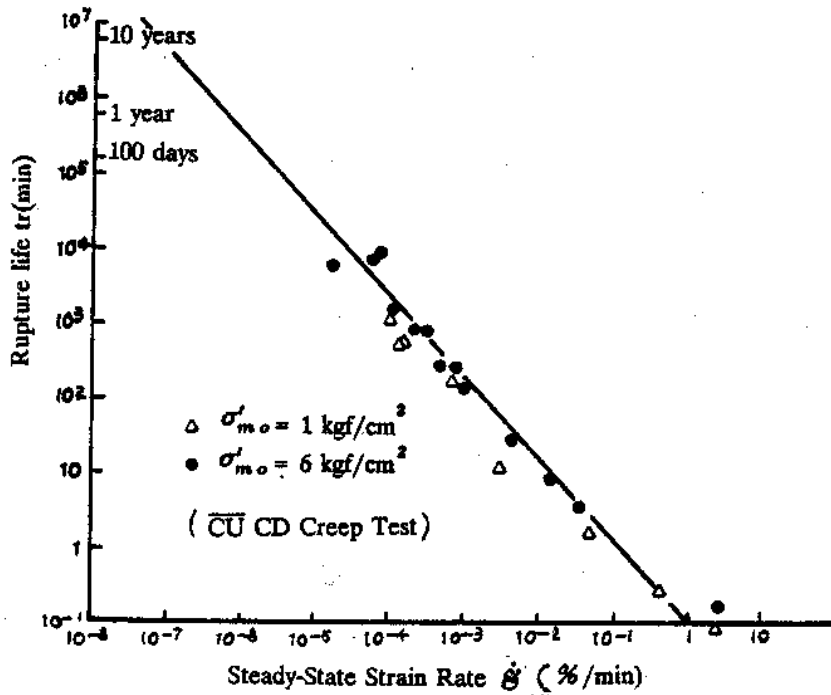


圖 17 剪應變速率與破壞時間之關係 (Ohtsuki 1981(11))

將可能產生之災害減至最小。

(三)泥岩地區經國內多位學者專家之研究，對泥岩特殊之工程性質已有進一步之瞭解，並提出若干之建議及構想，唯該構想仍有待現場進行足尺度試驗(Full Scale Test)以評估驗證不同處理構想之可行性及優缺點。

六、參考文獻

- 1.蔡光榮(1988)“台灣西南泥岩坡地根系力學特性之研究”國科會防災科技研究報告76-36號。
- 2.李德河(1987)“風化泥岩之動力行為研究”國科會防災科技研究報告75-33號。
- 3.李德河(1984)“泥岩吸水破壞過程及其穩定方法之研究”國科會防災科技研究報告73-15號。
- 4.李德河(1989)“高雄壽山地區坡地災害特性之調查與其整治研究”國科會防災科技研究報告77-72號。
- 5.李德河(1989)“泥岩剪力強度特性研究”國科會防災科技研究報告77-70號。
- 6.李德河(1989)“高雄壽山地區坡地災害特性之調查與其整治研究(1) 岩石力學特性調查及其坡面滑動觀測”國科會防災科技研究報告75-67號。
- 7.陳時祖(1986)“台灣西南部地區泥岩坡地沖蝕特性研究”國科會防災科技研究報告75-18號。
- 8.劉長齡(1986)“台灣西南部泥岩坡地沖蝕逕流與地下水之研究(三)”國科會防災科技研究報告75-17號。
9. F.H.CHEN,(1975)“ Foundations on Expansive Soils ”.Elsevier Scientific, New York.
- 10.A.TOSHIHISA and T.Akio (1981)“ Prediction of Long Term Strength of Soft Rock ” Proceedings of the International Symposium on Weak Rock, Tokyo.
- 11.H.Ohtsuki,K.Nishiand S.Tanaka.,(1981)“ Time Dependent Characteristics of Strength and Deformation of Mudstone ” Proceeding of the International

Symposium on Weak Rock, Tokyo.

12. 顏富士(1988) “以活化爐渣加強泥岩坡面穩定性研究” 國科會防災科技研究報告76-42號
13. 陳振盛(1989) “泥岩邊坡植生綠化之研究” 國科會防災科技研究報告77-53號