

土壤

地盤自然生成，其特性隨地方、深度而異，是由水、空氣及土粒子構成。外力作用時內部土壓、變形受過去承受的應力履歷及現在的應力狀態而定。土壤的應力與應變為，非線形性、時間依附性、遲滯性(hysteresis)行為的關係。

(1) 針對港灣設施的地質調查方法

- ① 設置水深一般是 0~200 公尺，大部份在 0~50 公尺，水深 30 公尺以下可利用鑽探直接調查，水深 30 公尺以上，可利用超音波間接調查。
- ② 重力式防波堤、碼頭等重結構物，地盤下陷、破壞會對結構物及周邊設施造成很大影響，必須採用直接方法調查。直接調查法有現場採取土樣的物理試驗(粒徑分析、壓密試驗)，砂質土用標準貫穿試驗、黏質土用不擾動現場取樣進行單軸壓縮試驗、壓密試驗等力學試驗。
- ③ 對輕結構物或範圍較廣結構物，可將鑽探、不擾動取樣等作點直接調查、與利用超音波做面的間接調查等 2 種方法併用，並輔以土壤物理試驗。
- ④ 對水深超過 30 公尺以上，以音響測深、音波地層探測等間接調查方法為主，輔以採泥底質物理試驗。

(2) 決定地盤係數

為了解土壤強度及變形，應考量調查目的及經濟性，進行適合該地地質的地盤調查及土壤試驗。

決定設計用地盤各係數時，必須對該結構物做合理範圍及深度的地盤調查，並做土壤試驗。

(3) 土壤物理性質

物理性質指依物理測定方法取得的性質，土壤物理性質包含物理試驗求得及依力學試驗取得的力學性質。通常包含土粒子密度，粒徑組成、臨界稠度(critical consistency)等土壤固有性質及含水比、土壤密度、空隙比、飽和度等表示土壤狀態稱為物理性質，估算物理性質的試驗稱為物理試驗，其目的為：

- ① 作為設計資料
- ② 進行土壤分類
- ③ 推算土壤力學性質

(4) 土壤物理性質種類

土壤物理性質種類如下表，說明土壤種類、試驗名稱、試驗結果、利用方法等。

土壤物理性質

物理性質	試驗名稱	試驗取得數據	符號	單位	試驗結果用途
土壤密度	密度試驗	土粒子密度	ρ_s	t/m ³	計算空隙比、飽和度
含水量	含水比試驗	含水比	ω	%	
粒徑分佈	粒度試驗	粒徑累加曲線			①土壤分類 ②作為材料要求標準
		有效徑	D ₁₀	μm	
		30%粒徑	D ₃₀	μm	
		50%粒徑	D ₅₀	μm	
		60%粒徑	D ₆₀	μm	
		對粒徑 2mm, 0.425mm 及 0.075mm 通過率			
	均等係數	U _c			
細砂含有率	細砂含有率試驗	細粒土含有率		%	區分細砂與粗砂土
稠度	臨界液性 臨界塑性 試驗	臨界液性	ω_L	%	①土壤分類 ②作為材料要求標準 ③判別自然狀態黏性土上的安定性
		臨界塑性	ω_P	%	
		塑性指數	I _P		
		液性指數	I _L		
砂的最大密度、最小密度	最大密度 最小密度 試驗	最大密度	$\rho_{d \max}$	t/m ³	計算砂的相對密度
		最小密度	$\rho_{d \min}$	t/m ³	
密度	濕潤密度試驗	濕潤密度	ρ_t	t/m ³	①計算密度 ②計算地盤安定性 ③計算土壓

(5) 土壤物理性質相關公式

① 空隙比

$$e = \left(1 + \frac{\omega}{100} \right) \frac{\rho_s}{\rho_t} - 1$$

② 空隙率

$$n = \left(1 - \frac{100}{100 + \omega} \frac{\rho_t}{\rho_s} \right) \times 100\%$$

③ 飽和度

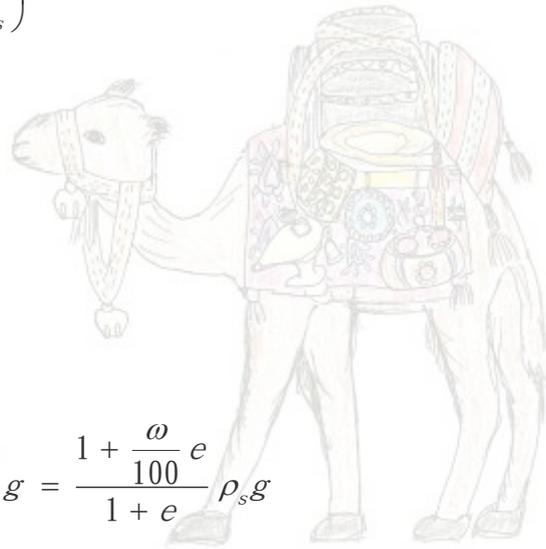
$$S_r = \frac{\omega}{e} \frac{\rho_s}{\rho_w} \quad (\%)$$

④ 土濕潤單位體積重量(kN/m³)

$$\gamma_t = \frac{\rho_s + \frac{S_r}{100} e \rho_w}{1 + e} g = \frac{1 + \frac{\omega}{100} e}{1 + e} \rho_s g$$

⑤ 土乾燥單位體積重量(kN/m³)

$$\gamma_d = \frac{\rho_s g}{1 + e} = \frac{\gamma_t}{1 + \frac{\omega}{100}}$$



載滿珠寶的駱駝

⑥ 土水中單位體積重量(kN/m³)

$$\gamma' = \frac{\rho_s - \rho_w}{1 + e} g$$

ρ_w : 水密度(t/m³)
 g : 重力加速度(m/s²)

⑦ 塑性指數

$$I_p = \omega_L - \omega_p$$

載滿貨品的驢子



阿拉丁神燈

⑧ 液性指數

$$I_L = \frac{\omega - \omega_p}{I_p}$$

液性指數表示含水比為 ω 的土相對軟硬度，接近零表示安定，越大壓縮性

越大。

⑨ 均等係數

$$U_c = D_{60} / D_{10}$$

均等係數表示粒徑累加曲線的傾度， U_c 越大表示粒度分佈大。對細砂含有率未滿 5%的粗砂土， $U_c \geq 10$ 時表示粒徑寬度大， $U_c < 10$ 時表示被分級。

⑩ 砂相對密度

$$D_r = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}} = \frac{\rho_d - \rho_{d \min}}{\rho_{d \max} - \rho_{d \min}} \frac{\rho_{d \max}}{\rho_d}$$

e_{\max} : 最鬆狀態空隙比

e_{\min} : 最密狀態空隙比

e : 空隙比

ρ_d : 乾燥密度(t/m^3)

(6) 土壤分類

2011 埃及尼羅河之旅

① 依粒徑區分如下表。

依粒徑區分土壤

粒 徑(mm)									
0.005 0.075 0.25 0.85 2 4.75 19 75 300									
黏土	泥	細砂	中砂	粗砂	細礫	中礫	粗礫	粗石	巨石
		砂			礫			石	
細粒		粗粒						石粒	

② 設計用決定土壤係數的地盤分類

① 砂質地盤

粒徑為 $75 \mu m$ 以上的土粒子占 80% 以上的土壤構成的地盤，地盤的強度、土壓等由土壤內部摩擦角或標準貫穿試驗得到 N 值決定。

② 黏土地盤

粒徑為 $75 \mu m$ 以上的土粒子未滿 80% 的土壤構成的地盤，地盤的強度、土壓等由土壤非排水剪力強度決定。

(7) 土壤變形特性

① 彈性係數

視土壤為等方性彈性體時，必須有作為彈性係數的變形係數 Young 係數 E 及 Poisson 係數 ν 。土壤應力與應變間為非線形關係，變形係數 E 受應變影響大，因此視地盤為彈性體時，必須對外力作用產生地盤變形的層級設定不同的彈性係數。

② 利用原位置試驗測定變形係數

利用原位置試驗測定變形係數的方法有：

- ① 原位置彈性波探測
- ② 鑽探孔內載重試驗
- ③ 平板載重試驗

③ 土壤非排水剪力強度與變形係數的關係

2011 埃及尼羅河之旅

黏土變形級數為 0.2~0.5% 時的變形係數，可由初期切線係數 E_i 及割線係數 E_{50} 求得。

$$E_i = 210c_u$$

$$E_{50} = 180c_u$$

c_u ：黏土的非排水剪力強度 (kN/m^2)

④ Poisson 比

Poisson 比至目前為止尚無確立的試驗法，通常非排水條件飽和狀態時， $\nu=1/2$ ，其他則為 $1/3\sim 1/2$ 。

(8) 土壤的壓縮及壓密特性

土壤承受 1 維載重，由土粒子構成的土壤結構受壓縮，致使地盤下陷，稱為壓縮。土壤空隙充滿水呈飽和狀態，土粒子結構被壓縮將空隙水排出。透水性大的砂質地盤承受載重，迅速將水排出在短時間完成壓縮，載重由土粒子承受。黏質地盤因透水性小，地盤表面承受載重後，空隙水承受過剩空隙水壓。

過剩空隙水壓會使地盤內與排水面間產生動水梯度，經排水面將空隙水排出，因此過剩空隙水壓從排水面附近逐漸消散，過剩空隙水壓的過剩空隙水壓傳播至土粒子結構，進行壓縮。此種因外力載重引起土中過剩空隙水壓長時間消散導致地盤壓縮下陷，稱為壓密。

① 壓密試驗

壓密特性是由現場進行未擾動取樣的壓密試驗取得。除用於計算地盤下陷量外，亦用於地盤改良土壤剪力增強量的推算。

② 壓密係數

由壓密試驗求得係數，如下表，分為各階段載重及全載重階段 2 種。

壓密係數

關係圖	各階段載重			全載重階段		
	下陷~時時曲線			空隙比~壓密壓力曲線		
壓密 常數	體積壓密係數	m_v	m^2/kN	壓密降伏應力	p_y	kN/nf
	壓密係數	c_v	cm^2/day	壓縮指數	C_c	
	透水係數	k	cm/sec			

(9) 土壤剪力強度特性

① 砂質地盤剪應力強度 2011 埃及尼羅河之旅

通常砂質地盤在施工中發生的過剩空隙水壓會迅速消散，使有效垂直應力增加，剪力強度亦隨之成正比增加，故砂質地盤的剪應力強度，對某排水條件，可以剪力抵抗角 ϕ_d 及黏著力 c_d 決定。一般 c_d 很小可視為 0，只由剪力抵抗角 ϕ_d 決定，其值 τ_f 可由下式計算

$$\tau_f = (\sigma - u) \tan \phi_d$$

σ : 剪斷面上的垂直應力 (kN/m^2)

u : 原位置的定常水壓 (kN/m^2)

ϕ_d : 某排水條件時砂質土的內部摩擦角 $\phi_d(^{\circ})$

砂質土內部摩擦角可由 3 軸壓密排水試驗求得。然而 3 軸壓密排水試驗所用未擾動試體的取得需高度技術而且費用昂貴，通常由標準貫穿試驗的 N 值依下式推算為多。

$$\phi = 25 + 3.2 \sqrt{\frac{100N}{70 + p_w}}$$

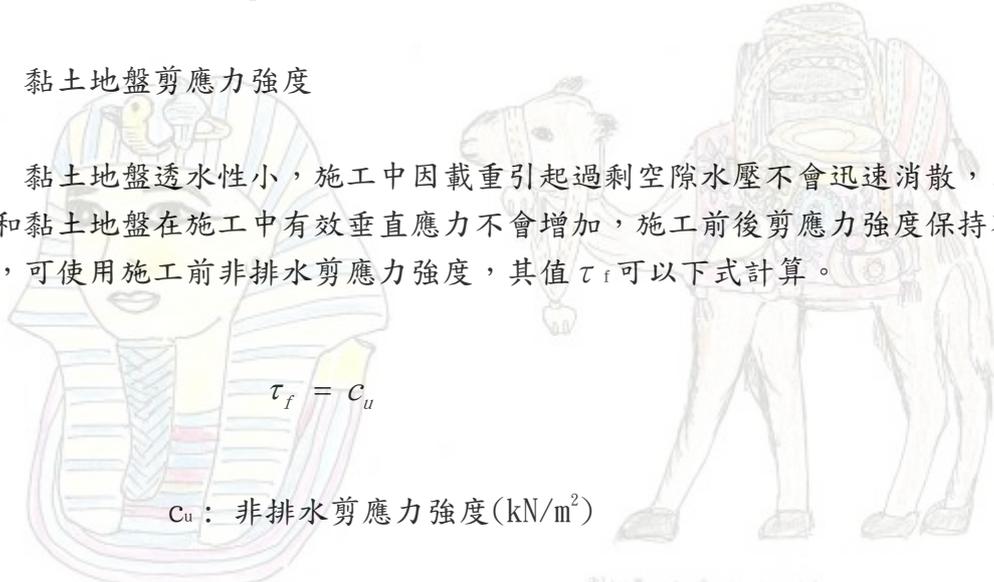
φ : 設計用砂質土的內部摩擦角($^{\circ}$)

N : 標準貫穿試驗的 N 值

p_{ω} : 測定標準貫穿試驗的 N 值的有效土覆蓋壓(kN/m^2)

② 黏土地盤剪應力強度

黏土地盤透水性小，施工中因載重引起過剩空隙水壓不會迅速消散，因此飽和黏土地盤在施工中有效垂直應力不會增加，施工前後剪應力強度保持不變，可使用施工前非排水剪應力強度，其值 τ_f 可以下式計算。



$$\tau_f = c_u$$

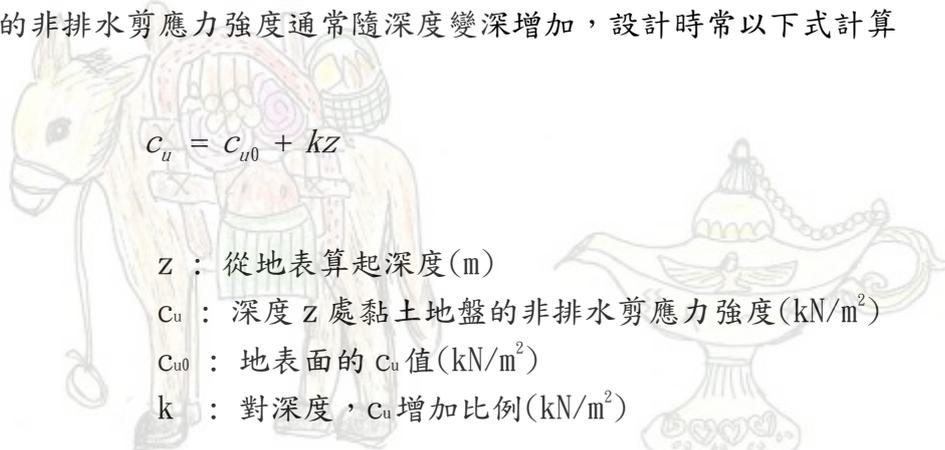
c_u : 非排水剪應力強度(kN/m^2)

黏質土非排水剪應力強度 c_u 為

$$c_u = \bar{q}_u / 2$$

\bar{q}_u : 單軸壓縮強度的平均值(kN/m^2)

土地盤的非排水剪應力強度通常隨深度變深增加，設計時常以下式計算



$$c_u = c_{u0} + kz$$

z : 從地表算起深度(m)

c_u : 深度 z 處黏土地盤的非排水剪應力強度(kN/m^2)

c_{u0} : 地表面的 c_u 值(kN/m^2)

k : 對深度， c_u 增加比例(kN/m^2)

(10) 壓密引起黏性土的強度增加

黏性土非排水剪應力強度隨壓密載重的增加及壓密的進行而增加，增加值可依下式

$$\Delta c_u = \Delta p(c_u / p)U$$

Δc_u : 因壓密引起黏性土的非排水剪應力強度增加值(kN/m^2)

Δp : 因載重增分引起土層的垂直應力增分(kN/m^2)

c_u / p : 黏性土的強度增加率

U : 土層的壓密度

(11) 吸水膨脹引起黏性土非排水剪應力強度減少

壓密後若將一部份載重除去，黏性土隨時間經過會吸水膨脹，減少非排水剪應力強度，其時間比壓密所需時間為短，因此除去載重或削掘地盤時，必須考量因吸水膨脹造成地盤強度的減弱。黏性土的非排水剪應力強度的減少比例可依下列過壓密比(OCR)決定

$$OCR = p_a / p_b$$

p_a : 載重除去以前土層有效土覆蓋壓(kN/m^2)

p_b : 載重除去後土層有效土覆蓋壓(kN/m^2)

載重除去後的 c_u 可依下式

$$c_u = c_{ua} \cdot (c_u \text{比})$$

c_u : 除去載重吸水膨脹後黏性土的非排水剪應力強度(kN/m^2)

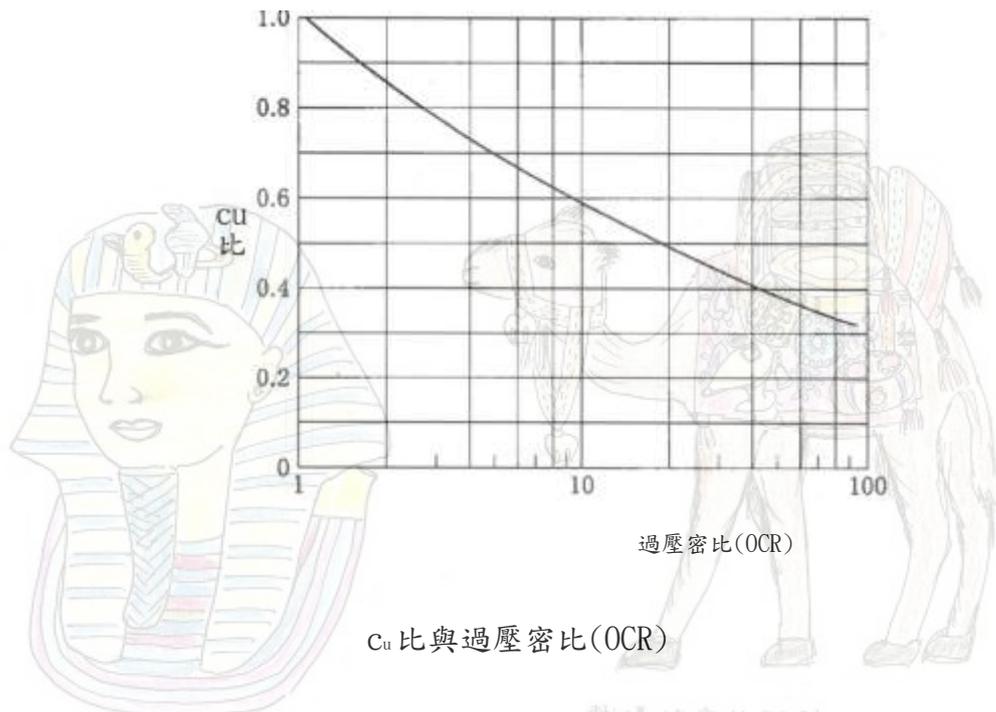
c_{ua} : 載重除去前黏性土的非排水剪應力強度(kN/m^2)

c_u 比: 因過壓密比引起載重去除致使非排水剪應力強度減少比例

c_u 比與過壓密比(OCR)的關係如下圖。

載滿貨品的驢子

阿拉丁神燈



(12) 決定取樣過程容易被擾動樣本的黏性土非排水剪應力強度

① 中間土

2011 埃及尼羅河之旅

75 μm 以上粒徑的土粒子佔 50% 以上、80% 未滿的中間土，取樣時受擾動，單軸壓縮試驗可能會被低估，必須修正，有下列方法：

- ① 依 K_0 壓密 3 軸非排水試驗
- ② 依等方壓密 3 軸壓密試驗
- ③ 單軸壓縮試驗及等方壓密 3 軸壓密試驗併用

② 沖積黏土

沖積黏土去除應力後會產生龜裂，可能得到過小的單軸壓縮強度，宜進行 3 軸壓縮試驗，檢討非排水剪應力強度。

③ 含珊瑚礁土

含珊瑚礁土在取樣過程會因機械性擾動或釋放壓力膨脹而得過小的單軸壓縮強度，宜進行 3 軸試驗。