

作用於樁軸垂直方向的力引起樁運動行為

作用於樁軸垂直方向的力引起樁運動行，可依下列 3 種方法評估：

1) 載重試驗

在工址，對樁軸垂直方向加載，測定樁應力與載重、垂直於軸向位移間關係，估算樁垂直於軸向的承載力。軟弱地盤無法取得 N 值的高重要度結構物，可用本法。

2) 解析法

① 垂直於軸向受力時單樁的運動行為



載滿珠寶的駱駝

2011 埃及尼羅河之旅



載滿貨品的驢子



阿拉丁神燈

地上部份

	自由樁頭	固定樁頭
樁頭位移 Y_{top}	$\frac{2(1+\beta h)^3+1}{6EI\beta^3} \cdot H$	$\frac{(1+\beta h)^3+2}{12EI\beta^3} \cdot H$
地表位移 Y_0	$\frac{1+\beta h}{2EI\beta^3} \cdot H$	$\frac{1+\beta h}{4EI\beta^3} \cdot H$
樁頭拘束力矩 M_0	0	$\frac{1+\beta h}{2\beta} \cdot H$
地中最大撓曲力矩 M_{max}	$-\left\{ \frac{\sqrt{(1+2\beta h)^2+1}}{2\beta h} \cdot \exp\left(-\tan^{-1} \frac{1}{1+2\beta h}\right) \right\} \cdot H \cdot h$	$-\left\{ \frac{\sqrt{1+(\beta h)^2}}{2\beta h} \cdot \exp\left(-\tan^{-1} \frac{1}{\beta h}\right) \right\} \cdot H \cdot h$
發生最大力矩深度 $l_{n \max}$	$\frac{1}{\beta} \tan^{-1} \frac{1}{1+2\beta h}$	$\frac{1}{\beta} \tan^{-1} \frac{1}{\beta h}$
第1不動點深度 l_{y1}	$\frac{1}{\beta} \tan^{-1} \frac{(1+\beta h)}{\beta h}$	$\frac{1}{\beta} \tan^{-1} \frac{\beta h+1}{\beta h-1}$
撓曲力矩為0深度 l_{m1}	$\frac{1}{\beta} \left\{ \tan^{-1} \frac{-\beta h}{1+\beta h} + \pi \right\}$ (第1零點)	$\frac{1}{\beta} \left\{ \tan^{-1} \frac{1-\beta h}{1+\beta h} + \pi \right\}$ (第2零點)
地上最大撓曲力矩 M_n	$-Hh$	$\frac{1+\beta h}{2\beta} \cdot H$
樁各部撓曲力矩 M	(i) 地上 $-H(x+h)$ (ii) 地中 $\frac{H}{\beta} e^{-\alpha x} (\beta h \cos \beta x + (1+\beta h) \sin \beta x)$	(i) 地上 $\frac{H}{2\beta} (1-2\beta x + (1-\beta h))$ (ii) 地中 $\frac{H}{2\beta} e^{-\alpha x} (\beta h (1-\beta h) \cos \beta x + (1+\beta h) \sin \beta x)$

地中部份

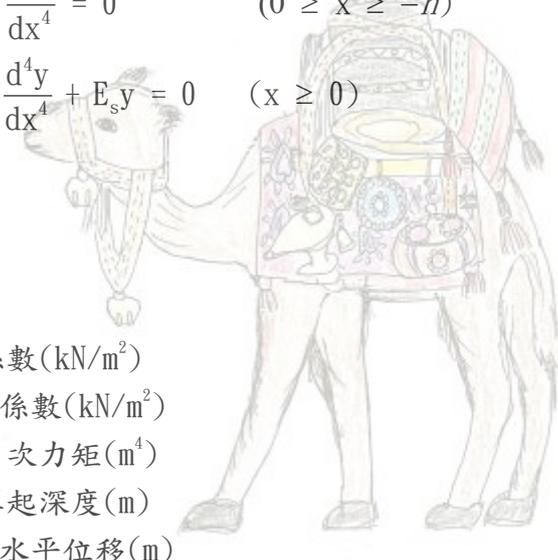
	自由樁頭	固定樁頭
樁頭位移 Y_{top}	$\frac{H}{2EI\beta^3} = \frac{2H\beta}{E_s}$	$\frac{H}{4EI\beta^3} = \frac{H\beta}{E_s}$
		戴滿珠寶的駱駝
樁頭拘束力矩 M_0	0	$\frac{H}{2\beta}$
		2011 埃及尼羅河之旅
地中最大撓曲力矩 M_{max}	$-0.3224 \frac{H}{\beta}$	$-0.1039 \frac{H}{\beta}$
發生最大力矩深度 $l_{m \max}$	$\frac{\pi}{4\beta}$	$\frac{\pi}{2\beta}$
第1不動點深度 l_{y1}	$\frac{\pi}{2\beta}$	$\frac{3\pi}{4\beta}$
撓曲力矩為0深度 l_{m1}	$\frac{\pi}{\beta}$ (第1零點)	$\frac{5\pi}{4\beta}$ (第2零點)
樁各部撓曲力矩 M	$\frac{H}{\beta} e^{-\beta x} \sin \beta x$	阿拉丁神燈 $-\frac{H}{2\beta} e^{\beta x} (\sin \beta x - \cos \beta x)$

垂直於軸向受力時單樁的運動行為，一般視為彈性支撐上的樑，以下式解析。



$$E_s = k_h B$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{地上} \\ \text{地中} \end{array} \right. \begin{array}{l} EI \frac{d^4 y}{dx^4} = 0 \\ EI \frac{d^4 y}{dx^4} + E_s y = 0 \end{array} \quad \begin{array}{l} (0 \geq x \geq -h) \\ (x \geq 0) \end{array}$$

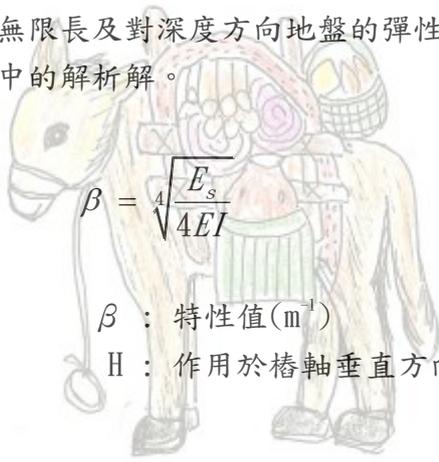


E : 樁彈性係數(kN/m²)
 E_s : 地盤彈性係數(kN/m²)
 I : 樁斷面 2 次力矩(m⁴)
 x : 從地表算起深度(m)
 y : x 深處樁水平位移(m)
 B : 樁寬(m)
 k_h : 橫方向地盤反作用力係數(kN/m²)
 h : 樁地上長度(m)

2011 埃及尼羅河之旅

② 垂直於軸向受力時單樁運動行為的解析解

港灣設計時，考量便利性、沉用性，常使用 Chang 方法，但是本法的條件是樁為無限長及對深度方向地盤的彈性係數一定不變，上 2 表是對突出地面及埋在土中的解析解。



$\beta = \sqrt[4]{\frac{E_s}{4EI}}$

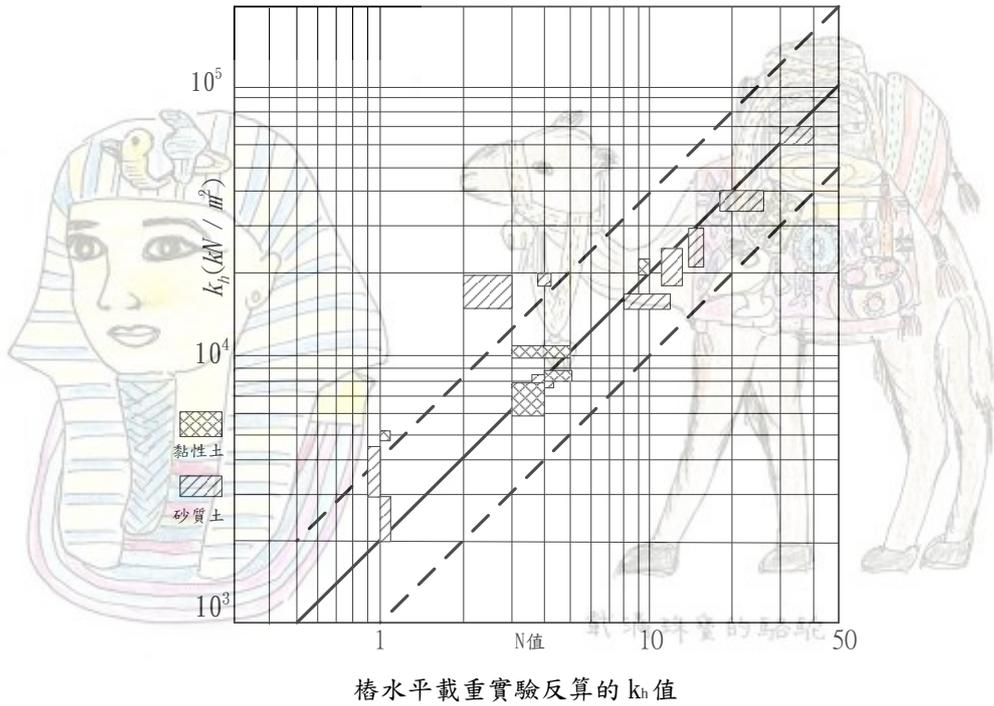
β : 特性值(m⁻¹)
 H : 作用於樁軸垂直方向的力(kN)

載滿貨品的驢子



阿拉丁神燈

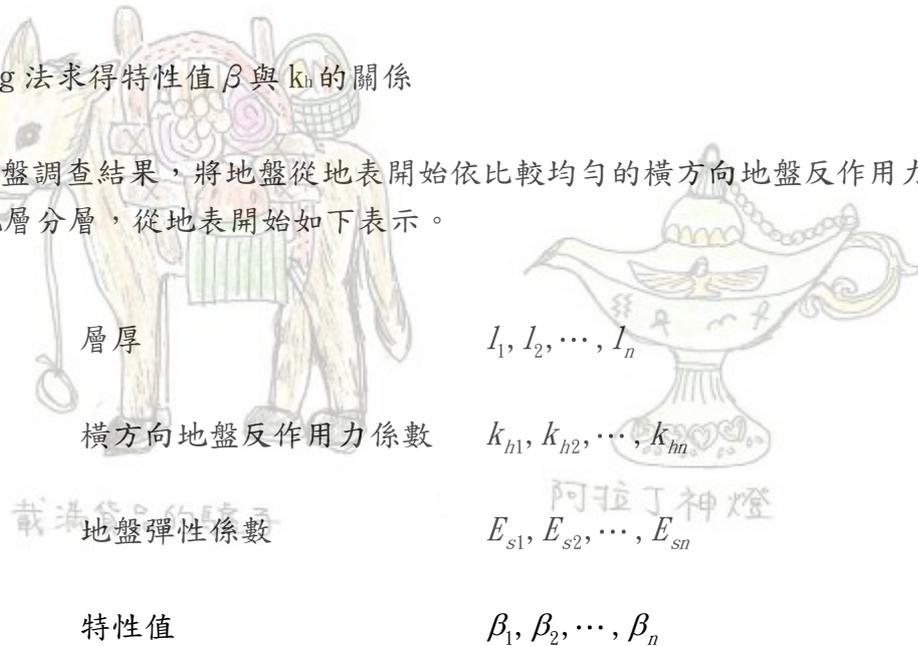
③ 橫方向地盤反作用力係數 k_h



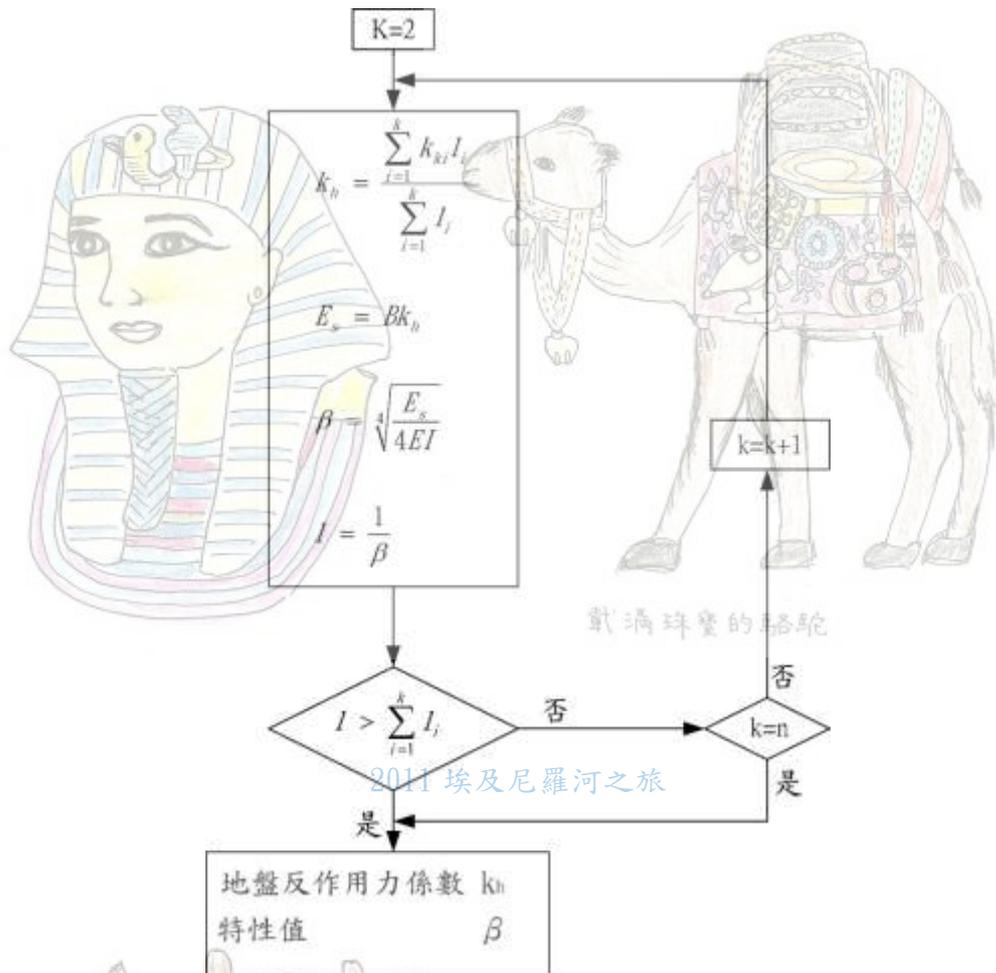
日本橫山氏收集日本各工址的鋼樁橫方向載重試驗結果，反算得如上圖，地表至 β^{-1} 深度的平均 N 值與 k_h 對比圖。 k_h 不受 B 影響， k_h 隨載重增加而減少，下圖是對撓曲應力為 $100\sim 150\text{MN}/\text{m}^2$ 的載重取得的 k_h 值。利用此圖可不進行載重試驗，只由土壤條件即可概估 E_s 值。

④ Chang 法求得特性值 β 與 k_h 的關係

依地盤調查結果，將地盤從地表開始依比較均勻的橫方向地盤反作用力係數 k_h 將地層分層，從地表開始如下表示。



橫方向地盤反作用力係數依下列所述決定



多層地盤特性值 β 的決定流程

① $1 / \beta_1 \leq l_1$ 時

樁全區間可視為同一 k_n ，然後依 Chang 法設計。

② $1 / \beta_1 > l_1$ 時

載滿貨品的驢子

阿拉丁神燈

依上圖所示流程，利用上 2 式計算平均橫方向地盤反作用力係數及其對應特性值，然後依 Chang 法設計。表層為極軟弱地盤時，可不考量表層，以其下層作為假想表層進行估算。

⑤ 樁必要貫入長度 l

對外力有效抵抗的樁長度稱為有效長。樁的長度長於有效長者稱為半無限長樁，貫入長短於有效長者稱為有限長樁。樁頭與承載層間的距離比較短時，考量結構物的安定，宜將樁貫入至承載層。

① 半無限長樁

a) 地表至樁頭，地盤一樣無變化時貫入長度 l ，不論樁頭條件(自由或固定)，或是否突出地面，均以下式計算



b) 地表至樁頭，地盤變化激烈時必須滿足下列 2 式

$$L = l_1 + l_2 + \dots + l_n$$

2011 埃及尼羅河之旅

$$\beta_1 l_1 + \beta_2 l_2 + \dots + \beta_n l_n \geq 3$$

若表層為極軟弱地盤強度小，無法期待有彈性體的反作用力，可能發生塑性破壞危險時，應換算成良質砂或拋石等，換置有困難時，可以下層作為假想表層。

①① 有限長樁 ($1/\beta < L < 3/\beta$)

利用 Chang 方法及實際的行為估算出危險側的數據，由於設計上有不明確點，宜將樁長設計為長於 $3/\beta$ 以上。貫入岩盤，樁長明顯不足樁且剛性高時，可能發生樁作剛體般回轉或移動，造成地盤整體破壞，樁倒塌的可能。

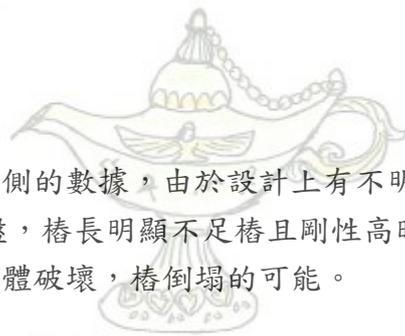
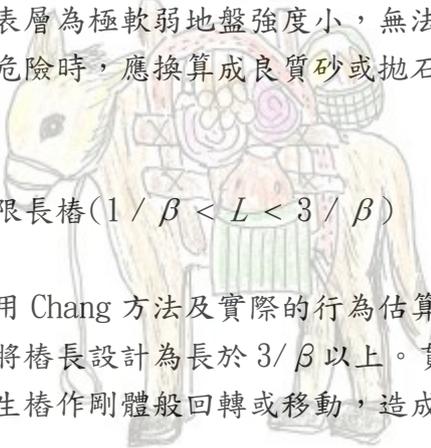
⑥ 樁貫入承載層長度

① 打擊樁

鋼管樁原則上為 5 倍樁徑以上，無法達到時，利用動力學承載力公式確認承載力。其他種樁必須保有承載力公式估算出的長度，但與鋼管樁同樣，由動力學承載力公式確認者、不在此限。



載滿珠寶的駱駝



阿拉丁神燈

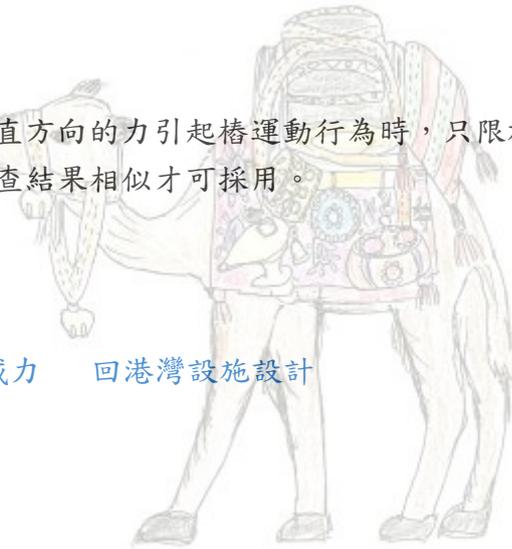
- ⑪ 場打樁、挖出樁
貫入深度約為樁徑。

3) 以往資料

利用以往資料推算作用於樁軸垂直方向的力引起樁運動行為時，只限於工址附近有進行過載重試驗，土壤調查結果相似才可採用。



回樁基礎承载力 回港灣設施設計



載滿珠寶的駱駝

2011 埃及尼羅河之旅



載滿貨品的驢子



阿拉丁神燈