

动力机械基础讲义

丁 德 孔 編

張 劍 霄 校

重 工 業 出 版 社

动力机械基础讲义

丁德明 编

张同庆 校

重工业出版社



653
64
1
- 1 -

動力機械基礎講義

丁德孔 編 張劍霄 校

重工業出版社



004456

本書共分六章。第一章概述一些爲基礎計算所必需的係數；其餘五章是分別闡述大塊式機械基礎、曲柄連桿機械基礎、錘基礎、構架式基礎等設計原理、計算方法及其構造配筋等問題。

本書特點：所述之內容均結合現行的動力機械基礎規範，並詳述規範中公式之理論來源，可使設計者較正確地掌握和運用規範，故本書可供基礎設計者參考。

動力機械基礎講義

丁德孔 編 張劍霄 校

重工業出版社（北京市燈市口甲45號）出版

北京市書刊出版業營業許可證出字第〇一五號

* * *

重工業出版社印刷廠印

一九五六年三月第一版

一九五六年三月北京第一次印刷（1—2,240）

787×1092 • $\frac{1}{25}$ • 182,000字 • 8 $\frac{8}{25}$ 印張 • 定價（9）1.72 元

書號 0388

* * *

發行者 新華書店

目 錄

前 言	(5)
第一章 土壤彈性係數及許可土壓力減少係數之確定	(6)
§ 1 土壤彈性係數之確定	(6)
§ 2 許可土壓力減少係數之確定	(15)
第二章 大塊式機械基礎振動原理	(19)
§ 1 基礎垂直振動	(19)
§ 2 基礎轉振動	(28)
§ 3 基礎純滑振動 (水平振動)	(32)
§ 4 同時產生垂直、水平及轉變位的基礎振動	(33)
§ 5 大塊式基礎振動理論應用之要點	(41)
第三章 曲柄連桿機械基礎設計原理及計算方法	(45)
§ 1 基礎設計和計算總則	(45)
§ 2 曲柄連桿機械不平衡慣力	(49)
§ 3 曲柄連桿機械基礎振動計算	(64)
§ 4 基礎設計步驟	(67)
§ 5 基礎設計與計算例題	(68)
第四章 受衝擊荷重作用的機械基礎	(85)
§ 1 錘機械基礎設計總則	(85)
§ 2 在衝擊作用下基礎運動之原始條件	(91)
§ 3 中心衝擊的錘基礎自由振動	(96)
§ 4 錘基礎振動試驗研究	(101)
§ 5 錘基礎重量、底面積之選擇	(111)
§ 6 錘基礎設計和計算之實例	(113)

第五章 構架式機械基礎…………… (123)

- § 1 構架式基礎之組成、應用範圍及在廠房中的配置…(123)
- § 2 設計任務內容及基礎之材料…………… (125)
- § 3 在設計上和構造上之要求…………… (126)
- § 4 在施工方面之要求…………… (147)
- § 5 構架式基礎強迫振動計算…………… (151)
- § 6 基礎強度計算之概述…………… (170)
- § 7 構架式基礎動力計算實例…………… (174)

第六章 大塊式機械基礎振動原理之應用…………… (190)

- § 1 電動發電機大塊式基礎…………… (190)
- § 2 透平機組大塊式基礎…………… (196)
- § 3 破碎設備機械基礎…………… (199)

前 言

隨着祖國工業建設的迅速發展，機械設備基礎設計成爲日益繁重的任務。佔大工業生產重要部分的動力機械，其基礎設計往往涉及土建設計工作者所不熟悉的振動學，因此，如何掌握動力機械基礎設計理論，進行正確設計，以保證基礎建成後機械安全的運轉就成爲我們土建設計人員的重要課題之一。

目前，國內對於動力機械基礎還是一門較新的科學，特別是有關這方面的書籍和資料缺乏更甚。因此，雖然本人理論水平很低，工作經驗很少，但鑒於問題的重要性，並在許多設計單位同志的倡議和督促下，編寫了這個小冊子。

在編寫過程中，曾蒙張劍霄教授多次支持和幫助，並且，最後還承將本書原稿進行審校，特此致謝。

本書是闡述一些主要的機械基礎設計理論及其構造等問題。內容取材於 Д. Д. Баркан, динамика оснований и фундаментов, В. В. Макаричев, фундаменты под турбоагрегаты 及其他有關資料。

本書雖經本人努力校對及張劍霄先生審閱，但限於編者的能力，對動力機械基礎學習不夠深入，故錯誤在所難免。希讀者隨時給予批評和指正。

編者 1955年7月20日

第一章

土壤彈性係數及許可土壓力減少係數之確定

§ 1 土壤彈性係數之確定

(一) 土壤彈性均勻壓縮係數

從載荷試驗中可以得出證明，當地基土壤受垂直均佈載荷作用時，則將發生相應的沉降。隨着載荷之增加，所發生的沉降亦隨着增加。若所加的載荷在小於某一界限值（該界限值與土壤性質有關）範圍內變化時，則土壓力與地基沉降之間成一個直線關係。當超過該界限值時，則其二者將成爲一個曲線關係。在圖 1 中所表示的曲線，即爲土壓力與地基沉降間關係之一實例。該圖是根據在很濕的中砂地基上載荷試驗的結果所繪成的（在這個試驗中所用的載荷板爲 1 平方公尺）。從該圖中可知，土壓力與沉降之關係曲線是分兩段：土壓力小於 1.5 公斤/平方公分的線段是直線，當土壓力超過這個數值時，則變成曲線。後者表示沉降之增加比土壓力增加較快。其他土壤亦具有相似性質。

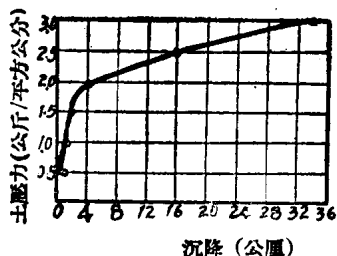


圖 1

根據載荷試驗所得的這樣土壤性質是很重要的，特別是在確定地基耐壓力時，都以土壓力與地基沉降關係曲線（如圖 1 中所示）做爲準繩。

根據載荷試驗結果，亦證明了當地基受均佈載荷作用時，所產生的沉降分兩部分：一部分爲塑性沉降，另一部分則爲彈性沉降，二者相拌產生。

同時，彈性沉降亦隨着載荷增加而增加，並且由載荷所產生的土壓力在某已知界限值以內變化時，則土壓力與彈性沉降間亦成直線關係。載荷與彈性沉降關係可參閱圖 2、圖 3。

在圖 2 中所示者，乃爲在多次裝卸載荷試驗的情況下，具有 1.4

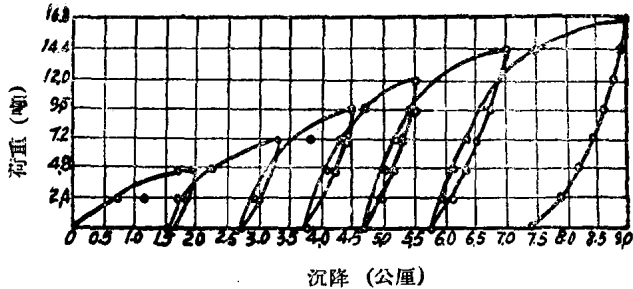
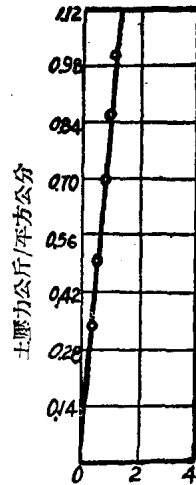


圖 2

平方公尺載荷板（基礎模型）在黃土上所產生的沉降曲線。在試驗時每次裝載都使其荷重比前一次裝載荷重有所增加。第一次裝載的荷重如圖 2 所示，為 0.3 公斤/平方公分，亦即比該土壤許可壓力小得很多。從圖中可看出，每次裝載試驗，都可發現到地基沉降分為兩部分——彈性沉降和塑性沉降。

圖 3 是根據圖 2 曲線繪成的。其中圓圈表示在每次裝載時所產生的彈性沉降。從這個圖中可以看出。當由載荷產生的土壓力在小於 1.0 公斤/平方公分範圍內變化時，則彈性沉降與土壓力是成直線關係的。這種特性亦表現在其他種類土壤中。



彈性沉降 (公厘)
圖 3

這樣，土壓力在某已知界限值範圍內，其與彈性沉降關係可用下式表示：

$$P_z = C_z Z$$

式中： C_z ——比例係數，亦即所要求的「土壤彈性均勻壓縮係數」；
 Z ——由載荷而引起的地基彈性沉降。

土壤彈性均勻壓縮係數 C_z 值，對於機械基礎在土壤上振動計算來講，是非常重要的。因此，在基礎振動計算時，應仔細的確定這個係數之計算值。

根據理論計算和實驗研究證明，土壤彈性均勻壓縮係數 C_z 值是

與土壤性質、基礎尺寸有關。首先，當基礎底面積不變時，係數 C_z

是隨着基礎底面積長寬邊比 α ($\alpha = \frac{A}{B}$: A ——長邊; B ——短邊)

增加而增加。然而，若 α 值較小時，則 C_z 係數增加不大。普通機械基礎的 α 值都不大於 3，故進行動力機械基礎計算，可以忽略 α 值對 C_z 係數之影響。其次， C_z 係數還與基礎底面積有關：當基礎底面積較小時， C_z 係數與底面積平方根成正比；若底面積太大時，則 C_z 係數與基礎底面積變化關係不太顯著，所以在這種情況下，可近似認為 C_z 係數值是一個固定值，不與基礎底面積大小有關。此外，還有一些其他沒有考慮到的因素對 C_z 係數實際值亦有影響。因此，在機械基礎振動計算時所用 C_z 值，應採取實地試驗數據。在沒有這些資料的情況下，可用下列方法估計之。

當基礎底面積等於或大於 10 平方公尺時，可用下表（表 1）估計（該表載於動力機械基礎設計技術規範中）：

表 1

土 壤 之 等 級	土壤之基本許可壓力 P_{cr} 公斤/平方公分	彈性均勻壓縮係數 C_{z10} 值 噸/立方公尺
I	< 1.5	< 3000
II	< 3.5	< 6000
III	< 6.0	≤ 10000
IV	> 6.0	> 10000

若基礎底面積小於 10 平方公尺時，則用下式求之：

$$C_z = \frac{\sqrt{10}}{\sqrt{F}} C_{z10} = \frac{3.2}{\sqrt{F}} C_{z10} \quad (1)$$

式中： C_z ——欲求的土壤彈性均勻壓縮係數；

C_{z10} ——相當於基礎底面積為 10 平方公尺的土壤彈性均勻壓縮係數，可由上表查出；

F ——欲求 C_z 係數的基礎底面積。

註：公式（1）係根據 C_z 與基礎底面積 F 平方根成反比關係導出。

（二）土壤彈性非均勻壓縮係數

土壤彈性非均勻壓縮係數，與土壤均勻壓縮係數相似，也是一個表示地基土壤單位應力與其相應彈性沉降關係的比例常數。不過，二者不同之點在於土壤彈性非均勻壓縮係數是表示在地基土壤上由於一個力矩（該力矩作用在垂直於基礎底面之平面上）作用，而使其承受非均佈垂直載荷情況下的單位面積應力與相應地基彈性變位間的比例關係。當機械基礎繞垂直於其任一垂直主平面並通過底面形心的軸進行轉振動時，就是地基土壤承受這種非均佈垂直荷重之一例。表示這樣基礎底面地基上任一點的單位面積應力與地基彈性變位間直線關係的比例係數即為「土壤非均勻壓縮係數」（可參閱圖4）。

如圖4所示，當基礎轉角為 φ 時，在距離基礎轉動中心 O 點為 ξ 處的單位面積上之土反力應用下式表示：

$$P_{\varphi} = C_{\varphi} \xi \varphi$$

式中： C_{φ} ——土壤彈性非均勻壓縮係數。

土壤彈性非均勻壓縮係數：不但與基礎底面邊長比有關，而且亦隨着基礎底面積變化而變化，這點亦是與土壤彈性均勻壓縮係數相

似； C_{φ} 係數隨着底面積變化規律與 C_z 係數相同—— C_{φ} 係數與底面積 F 平方根成反比。然而， C_{φ} 值隨底面邊長比變化關係，較之土壤彈性均勻壓縮係數 C_z 值顯著得多。

設計機械基礎時，所有的土壤彈性非均勻壓縮係數計算值，在沒有試驗數據資料的情況下，可以先由表1中查出 C_z 值，然後再按 α 值（基礎底面邊長比）照下表估計之：

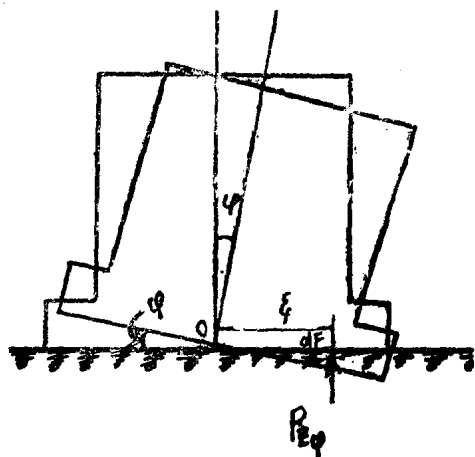


圖 4

表 2

α	C_{φ}/C_z	α	C_{φ}/C_z
1.0	1.87	3	2.63
1.5	2.11	5	3.04
2.0	2.31	10	3.53

(三) 土壤彈性滑動係數

1. 土壤彈性均勻滑動係數

當有水平力作用在基礎底面標高上時，則基礎將在該水平力作用方向上產生相應的滑動變位（水平位移）。隨着水平力之增加，相應的滑動變位亦增加。反之，隨着水平力之減少，而相應滑動變位亦隨着減少。根據實驗可知，由水平力作用基礎所產生的滑動變位亦分兩部分；一部分為塑性滑動；另一部分則為彈性滑動。同時，與 C_z 係數相似，在某已知範圍內，由水平力所產生的基礎底面單位面積上平均水平土反力與其相應彈性滑動變位間亦成爲一個直線關係，即：

$$P_x = C_x u_x$$

式中： P_x ——沿基礎底面作用的單位面積上平均水平土反力；

u_x ——由 P_x 引起的基礎彈性滑動變位。

在上式中 C_x 係數就是所要計算的「土壤彈性均勻滑動係數」。

從理論計算和實驗結果證明，該 C_x 係數不但與地基土壤性質、基礎尺寸有關，而且還隨着作用於基礎上正壓力數值發生變化。在機械基礎實際計算當中，土壤彈性均勻滑動係數之計算值，可以近似用下式求之：

$$C_x = \frac{C_z}{2}, \quad (2)$$

式中： C_z ——土壤彈性均勻壓縮係數，該值可由表 1 求之。

2. 土壤彈性非均勻滑動係數

當基礎遭受使其發生繞垂直軸轉動的力矩作用時，則基礎底面積

上各點在同一時間所滑動的變位各不相同，因而這種滑動謂之基礎非均勻滑動。

在基礎非均勻滑動的情況下，其底面任一點之單位面積土反力與相應的彈性滑動變位之間（當土反力在某已知界限範圍內時）亦成為直線關係。該比例常數就是所要求的「土壤彈性非均勻滑動係數」。通常，該係數以 C_ϕ 表示之。

土壤彈性非均勻滑動係數計算值可由下式估計：

$$C_\phi = 1.5 C_r, \quad (3)$$

（四）樁基彈性抵抗及剛性係數

1. 在垂直荷重作用下的樁基剛性係數

對於遭受振動的基礎來講，如遇下列四種情況，可用建造樁基方法來解決：

1) 若地基土壤全壓力（包括靜土壓力和動土壓力）大於考慮振動影響的許可土壓力時；

2) 當須要增加在土壤上振動的基礎自由振動頻率時；

3) 當必須減少基礎自由振動或強迫振動振幅時；

4) 當必須減少由於土壤遭受振動而引起的基礎沉降時。

第二和第三種情況多半是屬於動力機械基礎中的問題；第一和第四種情況，常是在設計遭受機械基礎振動影響的構築物基礎時遇見。

如果樁基之建造是由於上述第一和第四種情況而引起的，則用普通建造由靜重作用的基礎樁基之設計和計算方法設計之。這時，樁基之計算主要是在單樁承載量已知的基礎上來確定樁的必需數量。單樁承載量由載荷試驗確定之，而樁長度根據打試樁結果求出。

如果為了增加基礎自由振動頻率及減少由地基剛性不足而引起的過大自由振動或強迫振動振幅而建造的樁基，則在這種情況下樁基設計和計算，較之普通樁基設計方法有所不同。其不同之處主要是在於利用建造樁基的方法，來增加地基剛性，達到減少基礎振動之振幅目的。

樁基剛性係數之求法如下所述。

樁基也像天然地基一樣，具有彈性。在圖 5 中所表示者乃為鋼筋混

凝土單樁垂直靜載荷試驗的曲線。從這個曲線中看出，隨着載荷之增減該樁沉降亦隨着增減。在每次裝卸載荷時都顯示出樁之沉降分兩部分——塑性沉降和彈性沉降。圖 6 表示上述鋼筋混凝土樁之彈性沉降與其所受的荷重間變化關係。從圖中顯而易見，樁之彈性沉降與所受的荷重成一個直線關係。這樣，若令 P 為作用於樁上之荷重； δ 為樁之相應的彈性沉降時，則

$$P = C\delta,$$

式中： C ——比例係數，通常稱之為單樁彈性抵抗係數；該值乃為使單樁彈性沉降一個單位長度所需的載荷。

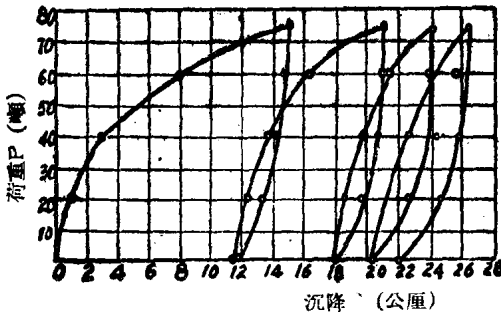


圖 5

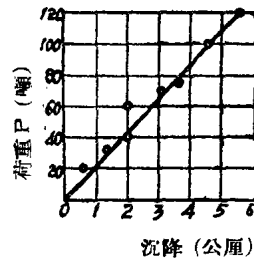


圖 6

這個係數是與土壤性質、樁之長度以及樁入土後之時間等因素有關。當入土時間較長（這是在設計時所考慮的情況），則樁不但在其尖端有彈性抵抗，而且更重要是（較之尖端）樁之側面亦產生很大的抗力。在這種情況下，當樁承受載荷作用時，由實驗可知，樁之彈性抵抗係數有這樣的變化規律：若樁長在某已知界限內變化時，則樁之彈性抵抗係數隨其長度增加而增加，反之若樁長超過其界限值時，則樁長之增加能引起該係數 C 有所減少。這點主要是由於樁在承受載荷時本身亦有彈性變形所致，因為樁愈長其本身彈性變形愈大。

通常，加強機械基礎地基剛性所用的樁長規定不應超過 3.5—6.5 公尺。同時，對於較弱的土壤應採用所規定的較大長度；對於較好土壤可用小一些。

當樁長度不超過上述所規定的界限值時，則從理論上和實驗資料

上可證實單樁彈性抵抗係數是與其長度成正比關係，並且由於樁側面彈性抗力較大（將端尖抗力忽略不計），可認為該係數亦與其周長成正比。這樣，可用下式表示：

$$G = c_1 S l,$$

式中： l —— 樁之長度（公尺）；

S —— 樁之周長（公尺）；

c_1 —— 比例係數，其單位為 噸/立方公尺。

普通，在樁基中每個單樁實際彈性抵抗係數是不等於由載荷試驗所確定的單樁彈性抵抗係數，常是前者小於後者。同時，在樁基中單樁彈性抵抗係數與樁間距有關，該係數隨着樁間距之增加而增加。當樁間距有足夠大的距離時，則樁基中之單樁實際彈性抵抗係數近於由試驗確定的單樁彈性抵抗係數。通常在建造樁基時所用的樁間距都不太大——5~6 倍樁直徑或斷面邊長。這樣，樁基中單樁的彈性抵抗係數與單樁試驗的彈性抵抗係數間關係用下式表示：

$$C > C_n = \mu c_1 S l, \quad (4)$$

式中： C_n —— 在樁基中每個單樁的實際彈性抵抗係數；

μ —— 考慮樁間距對 C_n 係數影響的減少係數。

若樁間距約為 5~6 倍樁直徑或邊長時，在沒有試驗資料的情況下，則 μc_1 之乘積可採用下列各值：

- | | |
|------------------|--------------|
| 1) 可塑的與軟弱粘土和沙質粘土 | 500 噸/立方公尺； |
| 2) 砂 | 2500 噸/立方公尺； |
| 3) 黃土和黃土質砂質粘土 | 3000 噸/立方公尺。 |

在確定 μc_1 值時，應注意的是上列數據只是做近似估計之用。若在一個建築區域內建造幾個機械基礎時，則 μc_1 值須用試驗方法來確定。

由此可見，若所研究的樁基是由 n 根樁所組成者，則所尋求的樁基剛性係數 K_n 應由下式確定之：

$$K = n C_n = n \mu c_1 S l.$$

從上式可以看出，樁基剛性係數 K_n 乃為使所研究的樁基沉降一個單位長度所需的載荷。

2. 在非均佈垂直荷重作用下樁基的彈性抵抗及剛性係數

根據實驗研究可知，在非均佈垂直荷重作用下，樁基中單樁彈性抵抗係數近似於在均佈垂直荷重作用下的樁基單樁彈性抵抗係數，故在這種情況下， C_n 係數亦可用公式 4 求之。

關於這樣樁基剛性係數，可藉助於研究在基礎垂直主平面內有任一力矩作用時所發生的基礎角移情況來確定。爲了研究這個問題，令 M 爲作用在基礎已知垂直主平面內之力矩； φ 爲在這種情況下，基礎繞垂直於該主平面並通過其底面形心的軸所產生轉角（可參閱圖 7）。

這時，作用在基礎底面上任一距轉軸 O 爲 ξ_i 的樁對該軸的抵抗力矩爲：

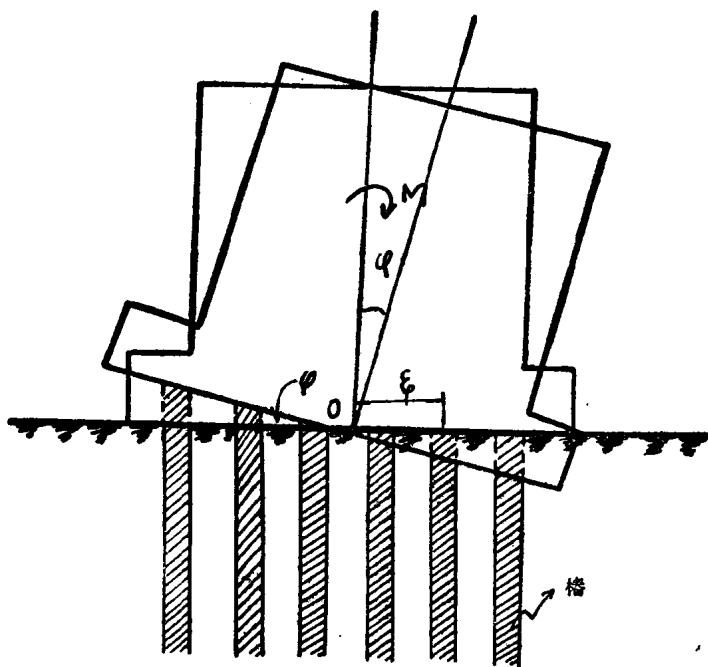


圖 7

$$dM = C_n \xi_i^2 \varphi ,$$

這樣，基礎底面樁基對轉軸 O 點之全抵抗力矩爲：

$$M = \sum_{i=1}^n d M = C_n \varphi \sum_{i=1}^n \xi_i^2,$$

式中： C_n ——按公式 4 求之。

上式可變為：

$$M = K_{\varphi} \varphi, \quad (5)$$

式中：

$$K_{\varphi} = C_n \sum_{i=1}^n \xi_i^2,$$

K_{φ} ——在這種情況下，所要求的樁基剛性係數。

由公式 5 可見，該剛性係數是表示當使基礎繞垂直於垂直主平面通過底面形心的軸發生一個單位角移時所需的力矩。若 ξ 用公尺表示； φ ——弧度； C_n ——噸/公尺，則 K_{φ} 單位為 噸·公尺。

3. 在水平荷重作用下樁基之彈性抵抗及剛性係數

當機械基礎遭受水平振動時，爲了增加基礎水平自由振動頻率或者減少水平振動振幅，建造樁基亦有效果。

設計這樣樁基，應注意的是樁不宜太長。然而，樁之斷面尺寸對其水平彈性抵抗有顯著的影響，也就是說，樁斷面尺寸愈大則該彈性抵抗亦愈大。

關於樁基水平剛性係數（在水平荷重作用下樁基的剛性係數）之計算值，可按動力機械基礎設計技術規範中所述求之。

§ 2 許可土壓力減少係數之確定

在實驗研究承受振動的基礎過程中得知，受振動的基礎沉降比只有靜重作用的基礎沉降大很多。這主要是由於當基礎振動時，使其地基土壤亦承受振動，因而減少了土壤的內磨擦力和粘力。特別是非粘性土壤——沙類土壤，這個性質表現更爲明顯。

正因爲當地基土壤受振動時，內磨擦力和粘力有較大程度的減少，土壤將呈現出具有粘滯液體相似的特性（可用專門試驗證實）。代表這樣土壤特性（如粘滯性液體相似）可用一個所謂「粘滯係數」表