

弹性地基上结构物的计算

М.И.葛尔布諾夫—伯沙道夫 著

中国工业出版社

彈性地基上結構物的計算

M·И·莫尔布格夫—伯沙道夫著

华东工業建築設計院譯

中国工业出版社

本書載有計算彈性地基上一切梁和板用的實用指導表格。
計算表是根據此種結構物的計算新理論而編制的，即利用彈性理
論公式來考慮土壤的工作。本書中的計算是按照各種結構物在空
間問題、平面問題或軸間對稱問題條件進行的。

本書闡述各表格的使用方法，對如何正確地選擇計算簡圖和
計算特征值，本書也載有必要的說明。

本書供建築工程師、設計師、結構人員參考用。

М. И. Горбунов—посадов

РАСЧЕТ КОНСТРУКЦИЙ НА УПРУГОМ ОСНОВАНИИ

Государственное издательство литературы
по строительству и архитектуре

Москва—1953

* * *

彈性地基上結構物的計算

華東工業建築設計院譯

（根據建築工程出版社紙型重印）

*

中國工業出版社建築圖書編輯室編輯（北京佳順閣路四十四號）

中國工業出版社出版（北京佳順閣路四十四號）

（北京市書刊出版事業許可證出字第110號）

中國工業出版社第一印刷廠印刷

新華書店北京發行所發行，各地新華書店經售

*

開本 $850 \times 1168 \frac{1}{32}$ ·印張 $16\frac{3}{4}$ ·字數420,000

1957年7月北京第一版

1963年2月北京新一版·1963年2月北京第一次印刷

印數001—650·定價（11-9）3.50元

*

統一書號：15165·2212（建工-312）

目 录

序 言	7
緒 論	10
第一節 彈性地基上結構物計算的基本理論及其相应的实验資料	10
第二節 根据地基类型選擇計算簡图及計算特征	15
第三節 根据結構物类型選擇計算簡图和計算类别	26

第 一 篇

在平面問題条件下彈性地基上截条的計算

第一章 用无單位数值表計算彈性地基上的截条	36
一、概論(第一~五節)	36
二、有限長度截条的計算(第六~十四節)	41
三、長截条的計算(第十五~二十一節)	51
四、截条的計算例題(第二十二~二十四節)	60
五、表格	77
第二章 在平面問題条件下計算彈性地基上截条的一般方法	155
第一節 計算方法的理論根据	156
第二節 直接(不用表格)計算有限長度截条的規則和公式	161
第三節 求解有限長度截条的联立方程式和繪制計算图形的例題。彈性地基上剛架的計算	174
第三章 在彈性地基上受最典型荷載的截条的工作	186
第一節 均布荷載 q	186
第二節 作用在截条中心处的集中力 P	190
第三節 作用在截条任意截面处的集中力 P	196
第四節 与荷載性質和截条剛性有关的地基表面位移的一般性質	200

第四章、按其他著者的方法計算在平面問題条件下彈性 地基上的截条	203
第一節 計算無限長度截条的方法	203
第二節 計算有限長度截条的方法	206
第五章 計算彈性地基上截条的特殊問題	210
第一節 基礎的砌置深度	211
第二節 墊 層	218
第三節 基礎邊緣下的彈性形变	223

第 二 篇

圓形板和任何形狀大長度的柔性板的計算

第一章 計算实例	231
一、圓形板(第一~五節)	231
二、大長度的板(第六~九節)	249
三、計算例題(第十~十二節)	258
四、表	269
第二章 計算的理論根据	294
第一節 圓形板的計算	294
第二節 在对称荷載的剛性圓形板中求內力的公式	299
第三節 圓形板計算类别的根据	301
第四節 無限尺度的板和柱網下的板。墊層的考慮	304

第 三 篇

在空間問題条件下彈性地基上梁的計算

第一章 計算实例	311
一、概論(第一~三節)	311
二、剛性梁和短梁的計算(第四~五節)	316
三、長梁的計算(第六~十節)	324
四、計算例題(第十一~十三節)	338
五、表	356
六、彈性地基上長梁的無單位图形表	362
第二章 計算的理論根据	384

第一節	有限長度梁的問題提法和它的一般解答	384
第二節	無限長度和半無限長度梁的計算	391
第三節	其他作者建議的在空間條件下彈性地基上梁的計算方法	399
第三章	彈性地基上按不同計算數據的梁的作用	400
第一節	梁柔性指數 β 和邊比值 α 的變化對計算圖形性質的影響。求梁計算類別界限的 β 和 α 值的確定	400
第二節	長梁折算半寬值對計算圖形性質的影響	407
第三節	偏心作用的荷載。梁的“截面核心”	408
第四節	彈性理論空間問題條件下梁的計算結果與按照基床系數假說的計算結果的比較	411
第四章	彈性地基上梁的特殊計算問題	415
第一節	考慮岩石墊層	415
第二節	梁的扭轉	415
第三節	十字形基礎的計算	420
第四節	用剛性帶(牆)考慮柱的聯接	440
第五節	考慮實際壓力	442
第六節	當計算承受靜荷載和動荷載的条形基礎時考慮側面附加荷載的影響	443

第 四 篇

彈性地基上矩形板的計算

第一章	剛性矩形板和大塊基礎的沉陷和在土壤上的壓力	451
第一節	求算剛性矩形板和大塊基礎的反壓力、沉陷和轉動角用的方程式、表和圖解	451
第二節	均勻和不均勻彈性壓縮系數的求算	459
第三節	彈性半空間上剛性矩形板截面核心的界限	461
第四節	求剛性板下反壓力和沉陷用的公式結論和繪制圖的理論根據	464
第二章	在整個板上為連續荷載和在邊上為力荷載時，彈性地基上柔性和剛性矩形板強度的計算	471

一、計算強度的般方法(第一~四節).....	471
二、特殊的計算問題(第五~七節).....	513
第三章 中心荷載矩形板的計算.....	524
第一節 概 論.....	524
第二節 中心受載時方形板和矩形板的無單位計算 值圖解.....	526

序 言

苏联共产党第十九次代表大会关于1951~1955年苏联发展五年计划的指示中，规定了要在苏联进一步大力发展建筑事业。

苏联在建筑方面的空前规模，迫使那些不符合建筑事业发展要求的建筑科学状况有作一次重新考虑的必要。其中有一个必需根本重新考虑的问题，就是关于地基和建筑物共同工作的问题。

以一排彼此不相连贯的垂直弹簧的机械性能，来作为土壤机械性质用的基床系数的假说，已经不能满足工程师的工作，因为他们希望土壤的机械性质数值能最大限度地接近于实际的性质，从而保证设计的经济效果和可靠性。

根据弹性理论来求土壤中的变形和应力，已被苏维埃学者的著作证明是可能的。这一解决问题的新方法有极大的成效，可以解决地基和建筑物共同工作的问题和全盘考虑产生这个问题的条件的特征。

根据这一原理，按照地基弹性性质来研究建筑物基础工作（即弹性地基上板和梁的理论）的建筑科学部门，在最近十五年来获得了很大的发展。

在创立弹性地基上结构物的新理论方面，以及在建筑实际工作中推广这新理论的成就方面，苏维埃的建筑科学已远超过资本主义国家。

苏联对于弹性地基上结构物的新理论，是由于Г.Э. 潑洛克多耳（Проктор, 1922年）和Н.М. 捷尔雪方诺夫（Герсегонов, 1935年）的著作而产生的，后来又在В.А. 富罗林（Флорин）、

Б.Н.舍莫金(Жемочкин)、В.И.庫茲涅佐夫(Кузнецов)、本書作者及其他許多研究者的著作^①中獲得了發展。這一理論利用了彈性理論、材料力學及土壤力學理論的原理。除了彈性的性質以外,這一課題根據土壤物體的極限應力狀態理論,同樣要考慮土壤的塑性性質。因此產生了一個迫切的問題,即計算彈性地基上結構物材料的塑性性質的問題,這塑性性質需要轉向按極限狀態來計算。

在緒論中,闡述了彈性地基上任何形式結構物計算的基本概念。凡是要利用本書的人,都必須通曉本書的緒論部分。本書中其餘各部分涉及結構物的個別形式,可單獨用作參考資料。本書理論部分分量極小,僅扼要地說明所介紹的實用部分的公式和表格資料。

為使彈性地基上所有各種形式的梁和板的計算資料綜合于一本參考書中,著者把自己以前所發表的論文和書籍中有關該方面的表格和指示都納入了本書。論文如:“在彈性理論平面問題條件下彈性地基上梁的計算”(1937年);書籍如“彈性地基上梁的計算用表”(1939年)、“彈性地基上的板”(1941年)、“鋼筋混凝土条形基礎計算用表”(1946年)、“在敷墊岩石地基的土壤層上基礎的沉陷”(1946年)、“彈性地基上的梁和板”(1949年)及其他一些著作。

由於最近二、三年來在彈性地基上建造結構物的理論和實際的迅速發展,特別是由於莫斯科高層房屋的建造,這些資料被重新整理并大大地加以充實。

最後,謹對在本書編著的久長年月里,給予支持和協助的В.З.弗拉索夫(Власов)、М.М.菲羅林科-鮑羅其奇(Филоненко-Бородич)及П.Л.巴斯切爾那克(Пастернак)等教授,致以深切的感謝。同樣,對給本書作了多年科學上幫助的技術科學碩士О.Я.舍赫切爾(Шехтер),致以衷心的感謝。最後,特向在本書

① 對這個問題的歷史感興趣的人們,我們特介紹參看“彈性地基上的梁和板”(1949年)一論文,其中包括有這些結構物各種計算方法的簡要概論和這類圖書的介紹。

头二篇中帮助制订各表格的А В. 薇諾果洛娃 (Винокурова)、
З.С. 卡尔蒲史娜 (Карпушина) 及 М.Д. 泰赫泰米舍娃 (Тахта-
мышева), 一并致以謝意。

緒 論

第一节 彈性地基上結構物計算的基本理論及其

相应的實驗資料

本指導和表格，是為了最大限度地減輕彈性地基上結構物的計算工作，如計算房屋或結構物的条形和板形及箱形基礎、水壩溢道、船塢和水閘的底、造船船台、吊車軌道、穀倉和貯氣罐的底、高級公路路面、廠房地面、機床基礎、鐵路枕木等等。

作為工作的基本先決條件，土壤可以被認為這樣一種物體，即它在某種條件下，可以採用彈性理論公式。問題之所以這樣提出，是因為根據土壤力學的結論，可以很好地將土壤真實性反映出來，特別是對於粘土。最近的試驗證明〔59〕^①，對於砂質地基，如果結構物支承面的寬度超過80~100公分和土壤承受壓力尚未接近地基耐壓極限，可採用彈性理論公式。

新的計算理論，代替了以前的舊理論。舊理論是以下列假說之一作為根據的。

關於梁〔或板〕支承面上的土壤反力按直線分佈的假說：當荷載對稱於梁的中心時為均布；當偏心荷載時為梯形（參看第一篇圖12）。這一方法對於精確計算來說，可以當作第一步近似方法；直到現在它仍被用作初步計算。

基床系數的假說：它肯定了土壤任何點的沉陷 w 和這一點上所承受的压力 p 成正比，即 $p = Kw$ 。系數 K 為基床系數。任何點的沉陷僅決定於作用在同一點上的壓力，但與鄰近的壓力作用全不相關。因此，按照這樣的假說，土壤的受壓作用可看作許多彼此不相接的彈簧體系受壓作用（圖1甲）。

① 方括弧中的數字，系指本書末所附參考書籍的號數。

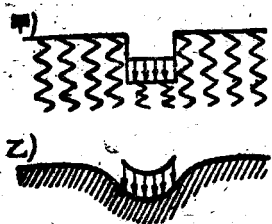


圖 1 土壤表面的形變

甲—根據基床系數的假說；

乙—根據彈性理論和實際情況

基床系數的假說現在被認為是不正確的，因為試驗證明，土壤不可在壓力和沉陷間有係數 K 的任何一定的比值。 K 值不僅決定於土壤的物理性能，並且還決定於其他一系列的因數，首先是決定於進行試驗的壓模支承面積的大小。

也應當指出，與基床系數的假說相反，土壤不僅在受壓區段範圍內發生沉陷，而且在其周圍附近也

有沉陷（圖 1 乙）。

新理論就沒有這些缺點。用新理論來計算時，土壤系被當做密實而均質的彈性物體，其上面是平面，自平面向下和向四周伸展無窮。這種物體稱為半空間彈性體。

根據新理論，土壤的彈性性質是用它的形變模量（壓縮性） E_0 和（在較小的程度上）柏松比 ν_0 來判定的。

土壤運用彈性理論的更好證明，是形變模量 E_0 和柏松比 ν_0 的值與試驗用壓模的大小無關，而這些數值即由野外試驗用壓模來確定的。

如果就同一土壤用同樣的壓力進行一系列的試驗，但用不同尺寸的壓模，則根據彈性理論，在表示壓模沉陷和壓模邊長的關係圖解上，所有沉陷的試驗值必然是在通過座標原點的同一傾斜直線上。這種情況已由彙集試驗資料所證明，例如圖 2 所示，該圖系錄自 П. Е. 波里升（Польшин）〔57〕一書。這一圖解是在 1934 年由蘇聯基礎和地基研究所對於厚度甚大的均質黃土狀砂質粘土進行一系列的試驗而製成的。從所有的試驗中得出了相同的結果，即：

$$\frac{E_0}{1-\nu_0^2} \approx 300 \text{ 公斤/平方公分}$$

波里升的這一圖解，可作為基床系數假說對於土壤不適用的例證。按照基床系數假說，當壓力 p 值固定不變時，壓模的沉陷應不決定於壓模的邊長大小。因此在圖 2 的圖解上，就會得到一系列彼此距離相等而平行的水平直線，而不是一束通過座標原點的傾斜直線了①。

① 關於土壤採用彈性理論的試驗證明，也可參看著作〔59、71、72〕。

从这一图解上可看出,同一土壤的基床系数 $K = \frac{p}{w}$ 是与压模宽度成反比例而变化的,即自1.2公斤/立方公分(当 $a' = 283$ 公分时)至5.0公斤/立方公分(当 $a' = 71$ 公分时)。

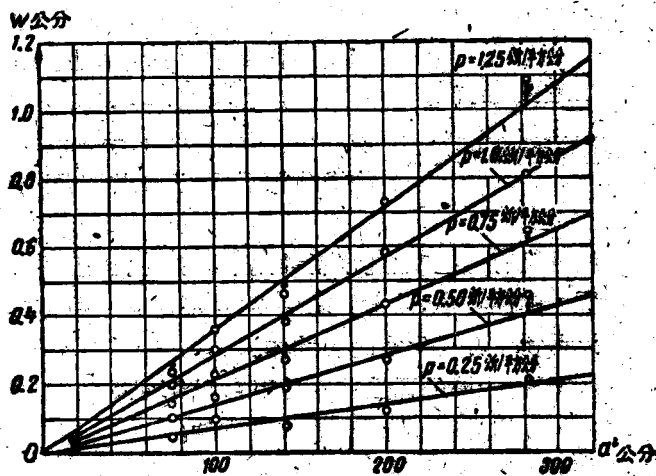


图 2 根据Л.Б.波里升的試驗,正方形压模的沉降 w 与它的宽度 a' 的关系

可是当采用新理論时,应当記住土壤的机械性能和完全彈性体間的差异。首先是土壤具有极大的永久形变,常常大大超过彈性形变。所以表示土壤受压时总形变的 E' 值,不管它是属于彈性的或永久的,总称为形变模量,而不称为彈性模量。此外,土壤完全或几乎完全不能承受拉力。

当在一般情况下进行建筑时,我們仅注意土壤的受压及其加载,而不考虑其卸载,因这一差异并无实际的意义。但在考虑例如深层基础以及多次装卸荷载的基础(机器或吊車軌道的基础)底下的土壤特性时,不得不顧到上述的差异。在多次荷载下,土壤随時間无永久形变产生,所以它的形变模量就轉变为数值通常甚大的彈性模量 E 。

当荷载甚大时，土壤与其他大多数材料一样，开始流动，轉变到塑性状态。在此种状态下，对于土壤，彈性理論已不适用，而必須代以特殊的土壤塑性理論。

但是，我們对于彈性地基上的基础及其他結構物的計算，只采取适度的荷载，即土壤可能发生的塑性形变仅限于結構物支承面不甚大的一部分（通常在边缘上）。因此，在大多数情况下，随着塑性形变的发生，影响于梁或板下应力分配的一般情况，可以小到不用考虑（通常在安全系数以内）。在个别情况下，例如溢水坝这种刚性結構物的基础，特别是在砂質地基上，如果不考虑塑性形变，可能引起过大的安全系数。相反的，当主要荷载置于接近結構物（水閘、干船塢的底）的边缘，致使結構物的中央部分可能向上凸起时，如果不考虑土壤中的塑性形变，对于構築物的强度，將有不良的影响。

为了明確土壤中塑性形变的发展对于結構物在彈性地基上反压力分布的影响的一般性質概念起見，讓我們观察一个具有代表性的結構物的个别情况：取一条中心承载的绝对刚性带条，沿它的橫方向加以計算。这样的带条，如果是放在彈性半空間体的表面上，它底下反压力的分布由图 3 甲所示的图来决定（參看第一篇第三章第二節）。此图指出反压力在基礎中部为最小，接近两边則陡增，并且在極边处变为無窮大^①。

条形基礎两边反压力陡增的結果，使得土壤顆粒相对移动，并开始“塑流”，而轉入塑性状态。在塑性状态下，土壤不可能承受超过其一定極限的压力，因此事实上在条形的边缘处土壤所承受的压力小于按彈性理論所確定的值，而此处土壤所沒有承受的多余的压力，重行分布于截条較接近的中心部分上。

这种重行分布表現在性質上的主要差異，視地基的土壤为砂土或粘土而定。如果带条放在粘土地基表面上，則在边缘处的反压力为有限值，且不等于零。当离开边缘时，反压力的增長在开始时为直綫，其后在土壤

^① В. Я. 史泰葉爾曼 (Штаерман) 指出 [78]，如果放棄条形基礎的橫斷面在基礎的邊緣處是理想直角的觀念，且考慮這些角經常是弧形的（即使其半徑非常小），則在邊緣處的壓力值根據彈性理論也不會無窮大。但是，事實上圓弧半徑就是很小，也僅在接近邊緣處非常小的範圍內才改變了壓力圖，其餘部分壓力圖仍然向兩端陡增并無改變。整個說來，考慮條形基礎邊緣圓弧的影响，在計算方面所引起的變化較之考慮土壤塑性形变影响的變化為小。

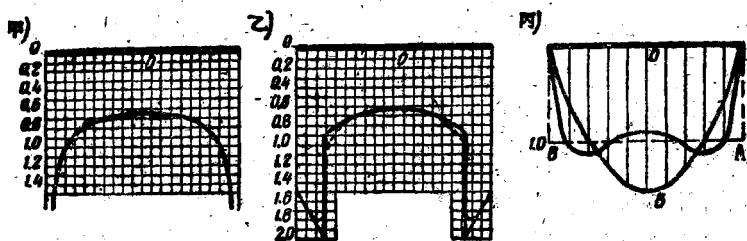


圖 3 絕對剛性帶條下反壓力(在帶條的橫向)的分布

甲—根據彈性理論；乙—粘土地基根據彈性理論和塑性理論(虛線指實際的分布)；丙——砂質地基；A—用適度荷載；B—用接近於極限的荷載；B—平均壓力

仍為彈性狀態的區域內，就回復到圖3甲的圖形。圖的形式示於圖3乙中。實際上，在壓力圖中，自塑性區域轉入彈性區域時，出現的當然不是一個突然的飛躍，而正是圖3乙中用虛線所示的圖形。如果當截條深置於粘土中，則截條邊處的反壓力將增長，塑性形變的區域將減小，並相應地降低考慮塑性形變的意義。

對於放置在砂質地基表面上的截條，由於土壤塑性形變的關係，截條兩邊的反壓力在任何荷載下都是等於零。如果用適度的荷載，中部的圖形就完全接近於圖3甲，且具有馬鞍形的輪廓(圖3丙，綫A)。當荷載接近於砂土的極限耐壓力，而截條的地基失去穩定性時，圖形轉變為一拋物綫形[32](圖3丙，綫B)。這時應當記住，在某一平均反壓力下(圖3丙，綫B)，土壤失去耐壓力是以截條愈窄而愈速。因此，對於同樣的平均反壓力在寬截條下，反壓力圖為馬鞍形，而在窄的截條下，變為拋物綫形[69, 71]。

如果截條深置在砂質地基中，則在邊上的反壓力就不等於零，它將隨基礎加深而迅速增大，而粘土與砂質地基的圖形在性質上的差異亦趨緩和。

對於柔性截條，則根據彈性理論所得出的反壓力並不這樣急遽地集中於邊緣；除在截條上當主要荷載的位置接近於其邊緣者外，對於塑性形變的考慮，則意義就較小。

如果所研究的結構物的平面形式，不是条形而為矩形或圓形時，塑性形變影響的一般性質，仍屬相同。當剛性大的矩形板為長形時，彈性理論指出反壓力沿縱邊集中極多，而沿橫邊集中甚少。因此，對於這樣的板在縱向上的計算及對於彈性地基上梁的計算時，若考慮塑性形變，則意義就

甚小。相反的，在橫向上計算矩形板和梁時，就經常遇到有考慮這種形變的必要了。

應用彈性理論來記錄土壤的機械性能，就使得彈性地基上的結構物並考慮決定其作用的各种基本因素的計算能夠進行，這些因素如：形變模量隨深度而產生的變化、鄰近的新構築物的影響、基礎深度的影響、鋪墊壓縮土壤的岩層等等。

考慮以上所列举的對於彈性地基上結構物工作起決定作用的各种最主要因素，乃是使按新理論計算出來的結構物能獲得經濟方案的必要條件。如果不注意這些因素，而用彈性理論來計算，則將會使建築物造價不是減低而是增高。這種情況，對於計算支承面積甚大的結構物是會常常遇到的，特別是水利工程。對用新理論的計算考慮得不够周密，常常會發現所得的結果使結構物厚度比當時按基床系數假說所算出來的同一類型結構物（該項結構物已造好很久，現在仍良好的存在着）的厚度為大。

同時必須記住，在個別情況下，例如，當荷載均布於整個梁或板上的情況下，或在剛性大的結構物情況下，甚至在極精密地考慮所有因素後，新理論仍會使彎矩（正的）較基床系數理論所得的為大。但建築經驗證明了這個結果是正確的，因為在這種情況下，用基床系數的假說來計算的結構物，在使用中已顯出了嚴重的損壞[63]。

一般說來，在彈性地基上結構物的計算，用新理論比較用基床系數假說為複雜。可是本書對於各种最普通的結構物及其荷載形式已根據新理論製成一套彎矩、撓度及其他計算值的表格，利用這些表格來進行按新理論的計算，就比用基床系數假說的計算要簡單得多。

第二節 根據地基類型選擇計算簡圖及計算特徵

為了正確地選擇計算簡圖及計算特徵，不僅應知道直接計算的梁或板底下地基的土壤，而且要知道在基礎底下一定深度的土壤。

對彈性地基上不同類型的結構物說來，其所須研究的地基深度也是不同(表 1)。

當有岩石墊層以及足夠厚的、實際上不可壓縮的半岩石土壤層時，如石灰岩、砂岩或泥灰岩等，則僅需知道在其上面受壓土壤的性質就足够了。

結構物的計算沉陷及其內應力的分布是以地基形變停止時的情況為準。如果地基為砂質土壤，則當結構物所受的荷載達到其計算值以後，這一情況就迅速地發生。但對於粘土地基，則在建築完工以後很久，甚至經年累月，仍能繼續沉陷。

因此，砂質地基上大型鋼筋混凝土板的計算，可略去其本身的重量，因為板的形變的完成比混凝土的凝固為早。對於粘土地基則僅可略去基礎板重量的一部分。

應研究的土壤深度

表 1

基礎類型和尺寸	應研究的土壤深度	附 注
1	2	3
單獨柱下基礎底寬大於 1.5~2.0 公尺	寬度的 1.5 倍	當寬度較小時，可以在基礎兩端標高地面上做荷載試驗決定 如果有岩石或半岩石層，而其深度不超過條形基礎寬度的五倍或基礎底寬度的二倍者，則必須予以考慮
條形基礎寬度大於 1.5~2.0 公尺	寬度的 3 倍	
高度剛性和面積甚大的基礎板； 宏大建築物柱網下的墊塊板； 其厚度超過 1 公尺者	寬度的 1.0~1.5 倍	
跨中厚度不到 0.4 公尺的柱網下 柔性板	5.0~10.0 公尺	
薄板、工業建築物的地面、高級 公路路面	3.0~5.0 公尺	

此外，從計算彈性地基上結構物的強度和沉陷的觀點上來看，這些土壤之間並無性質上的差異。

黃土(大孔土壤)，若除去其浸水的可能性外，從計算的觀點