



土壤力學原理 在 日常生活 之應用

周南山 / 國立臺灣大學土木工程學系兼任教授

做為一位土壤力學的愛好者，根據筆者多年的體驗，發現土壤力學之原理可以廣泛應用於日常生活。土壤是一個含有空氣、水及土顆粒的多相物質，其複雜的力學行為與人類的行為有諸多類似之處。土壤在各種應力路徑（Stress Path）中的行為和人在各種壓力狀況下的表現其原理是相通的。以下介紹土壤力學在壓力管理及日常生活的一些應用，並列舉一些案例加以探討。

土壤應力應變曲線在壓力管理上的應用

土壤的應力-應變曲線特性與人類的情緒發展有很多相通之處。學好土壤力學對於壓力管理（Stress Management）也頗有助益。以下證明此一說法：

圖 1 為土壤典型之應力（stress）-應變（strain）曲線圖，利用應力與應變關係所產生之材料行為，與人類情緒行為做一對照如下表。

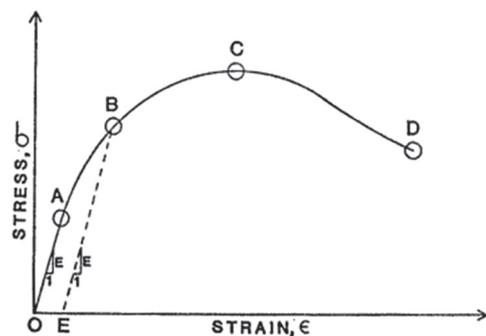


圖 1 應力（stress）-應變（strain）曲線圖

點位	荷重方式	材料行為	人類行為
0 → A	對材料開始施加荷重	呈彈性變形，為線性行為，此時材料具彈性，釋放負荷後變形將恢復原點（0點）	可忍受各種人事物的壓力，如老闆、同事、家庭...等，當壓力到達A點時必需讓自己放個假輕鬆心情，所以每週一至五的上班，需要週末休假，才能回到原點再出發。
A → B	應力達到A點時持續施加荷重	呈彈塑性變形，為非線性行為，此時材料具塑性，釋放負荷後不會恢復至原點（0點），而有永久性變形OE。	當超過可忍受的壓力（A點）時，你必需改變工作環境，否則身體健康可能受損，不易回歸回點。
B → C	應力達到B點時持續施加荷重	應力達到臨界值最大（C點）後材料隨即破壞	當壓力超過B點時，可能壓力太大，必需看精神科醫生；當到達臨界點（C點）時，即已崩潰必需住院療養。（小心過勞死！）
C → D	應力達到C點時持續施加荷重	材料繼續破壞，不能再承受壓力，而呈現延展性質	心理已呈現混亂狀態，不能再承受任何壓力
B → E	應力到達B點後釋放（解壓）	因材料已呈塑性故無法恢復至原點（0點），產生永久變形（E點）	當壓力太超過，雖然成功解壓但傷害卻已造成，無法完全復原
E → B	釋放壓力回到E點後再次施加荷重	因材料已產生永遠變形（E點），故無法回到彈性模式狀態（0 → A）。但材料在不超過前期荷重之情況下仍呈線形反應。	在醫生治療之後，可以接受點壓力，但千萬不能再超出原先承受的範圍（B點）

土壤力學原理在行為科學的應用

從土壤力學的原理，可延伸至下面幾個行為科學的特徵：

1. 當土壤有週遭的支撐力（圍束力或旁壓力，Confining Pressure, σ_3 ）時，其強度增加，這也是為什麼愈深的土壤愈緊密的原因。人類行為也一樣，愈有家庭支撐力，其抗壓性也愈強。因此，選舉需要樁腳，做官需要自己人脈做為團隊，並避免用到不可靠的麻煩人物（ σ_3 為負），美國總統川普之敗選即為明証。

2. 如圖 2，當增加支撐力時，應力-應變曲線將會變的較陡峭，亦即表示家庭及家人的支持力量將使你能承受更大的壓力。

楊氏係數為應力及應變曲線的斜率（E 值），代表著你的抗壓能力。 E_A 值大於 E_B 值，故一個家庭和諧的人較單身時或離婚後之抗壓強度為高。

3. 如圖 3，當土壤承受 σ_3 的圍束力後，土壤的抗剪強度較無圍壓狀況（ $\sigma_3 = 0$ ）為強。由摩爾/庫侖定律，當土壤之摩爾圓（Mohr's Circle）漸漸擴大至摩爾庫侖破壞包絡線（Mohr-Coulomb Failure Envelope）時，材料即破壞。同理，當一個人在有家庭支撐或團隊支援的情況下，可以較孤立無援的情況承受更大的壓力，但是當壓力實在太大而達到極限值，破壞仍無法倖免（即摩爾圓漸漸擴大，從虛線至實線，而終於接觸到剪力強度之包絡線而呈剪力破壞）。

目前兩岸關係也是一樣。台灣採購軍火， σ_3 增大，固可增強抵抗能力（剪力強度增加），但若到達中共訂下的紅線（摩爾庫侖破壞包絡線），恐仍無法避免一戰。

4. 從不同材料的應力-應變關係中瞭解到：每種材料之楊氏係數都不相同，每個人也都有自己的楊氏係數，因此不要認為別人能做到的事自己也一定做的到。反之亦然，常見主管罵部屬：這麼簡單的問題都不會，我在你這年齡時已如何如何時，別忘掉每人的楊氏係數都不相同啊。

5. 由圖 4，當施加正向外力時會產生側向應變（ ϵ_3 ），

側向應變與正向應變（ ϵ_1 ）之比值稱之蒲松比（Poisson's Ratio）。蒲松比愈大的材料，愈容易產生側向變形，就如同 EQ 差的人受氣後會遷怒在身邊的人一樣。川普在敗選後不承認自己疫情處理不當，只知怪東怪西，遷怒他人，是標準大蒲松比的人物。

6. 當材料承受較大的應力時，雖然應力尚不足以發生破壞，但長久受較大的壓力也可能發生變形，此稱潛變（Creep）。正如同一個人常在高壓狀態中，雖然體力尚能負荷，但在長期受壓，精神負荷重之狀況，也一定發生某些行為上的變形。經常的壓力值與最大可承受之極限值之比，稱之應力比（Stress Ratio）。當應力比大於 0.5 時，即可能發生潛變，這也是過勞死之主因。

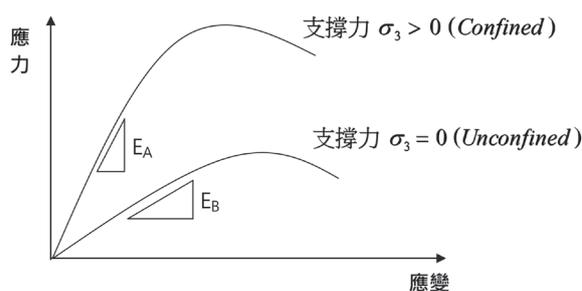


圖 2 支撐力對於材料強度之影響

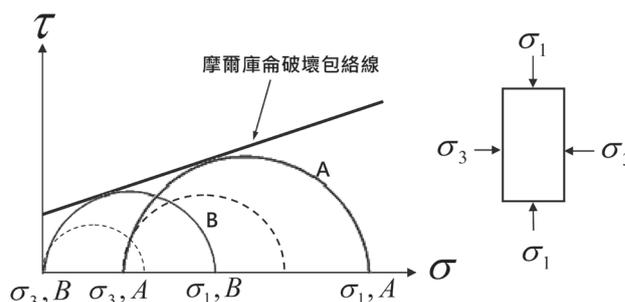


圖 3 材料受圍束力時之強度變化（摩爾圓與破壞包絡線）

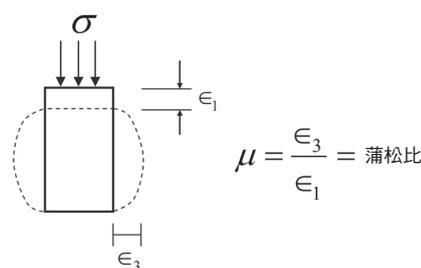


圖 4 材料受壓時產生之側向變形

土壤力學應用例之一：凱道出場受難記

今天凱道擠到爆，令人震驚。我和老婆三時半到現場（節目五時才開始），既無坐位亦無足夠站立空間，一直站到六時半，老婆體力不支，我也需要上廁所，乃決定不等演講而出場。沒想到平常五分鐘從景福門到台大醫院站的路程，出場費了一個小時，也親身進行一場土壤力學實驗。

我像是一團砂子，被也要出場的人從背後往前推擠，身體承受巨大的「被動土壓力」。而我被逼得往前推，給予前行者略小的「主動土壓力」。而此時下班的人潮洶湧而至，與我逆向而行，進場的人給我的是無所不在的「滲透壓」(Seepage Force)，從我的四肢摩擦而過，甚至衝撞到身體，使我承受很大的摩擦力和正向壓力。我和老婆緊握雙手，希望這「凝聚力」不致被滲透壓所沖散。在受壓的過程中，我幸而高大又重，楊氏係數頗高，尚不致操越彈性限度，但已趨近屈服點。幸而有時人潮略少，使我解壓，復又增壓，好像往返進行壓密(Consolidation)試驗中的加壓解壓過程。當然，難免因蒲松比之故產生側向變形，乃筋疲力竭矣。而在多出的這一小時，使我膀胱的孔隙水壓力大增，有效應力減少，剪力強度也大降，差點受不了了。

在這一小時的離場過程中，我親身體驗了從各種土壤力學試驗。雖然壓力頗大，滿身大汗，類似逃難，但奇特的是，現場的氣氛卻是歡欣鼓舞的，宛如一場嘉年華盛會。這是一生中於土壤力學最深入的體驗。

土壤力學應用例之二：包粽子力學

包粽子的行為完全符合土壤力學原理。土壤之強度由何者控制？相信大多數工程師的答案是凝聚力和摩擦角。但其實還漏了更重要的一項：圍束力。摩爾庫倫公式就說的很清楚，土壤剪力強度和正應力成正比（見圖3），這也是摩爾圓的立論基礎。

米和土壤在基本性質是相同的。包粽子時我們會選具有黏性的米，可以增加凝聚力。而摩擦力則取決於包紮時緊密程度，所以為避免煮時散掉，都會將米壓緊一點。而最重要的則是葉子的包覆能力和繩子包紮的力道，它說明了圍束力才是包粽子力學中最重要的一項因素。

此外，現在包裝米都用真空包裝，內部負壓等同外部正壓力，也就提供了一個圍束力，使袋裝米堅如磐石，可見得圍束力的重要性。我們在土壤力學中千萬別忘了它。

土壤力學應用例之三：貓纜邊坡

最近進行貓纜邊坡有限元素分析，深覺邊坡有部份位移並無大礙，雖有幾公分下滑量未必安全性不足。土壤的強度與其含水量成反比，當雨水入滲時邊坡可能下滑；但一旦放晴，含水量降低，飽和土壤即變成非飽和土壤(Unsaturated Soil)，增加了基質吸力(Matric Suction)，超額孔隙水壓由正轉負，強度又大增。因此土壤乾乾濕濕、強度起起落落，未必有大礙。人生也是一樣，雖承受壓力產生一些變形（如圖1的OE段），但可能學到很多，不再走冤枉路（圖1的EB段）。只要不屈不撓，迎向陽光，能力仍可恢復。

蘇東坡在定風坡一詞中表現出無懼風雨的氣度，因其相信風雨過後斜陽必相迎。他雖歷經貶抑波折但不改其樂觀的人生觀，這些風雨讓他完成了許多不朽的詩篇，也造就了其在中國文學史上偉大的地位。

定風波

三月七日，沙湖道中遇雨。雨具先去，同行皆狼狽，余獨不覺，已而遂晴，故作此。

莫聽穿林打葉聲，何妨吟嘯且徐行
竹杖芒鞋輕勝馬，誰怕？一蓑煙雨任平生
料峭春風吹酒醒，微冷，山頭斜照卻相迎
回首向來蕭瑟處，歸去，也無風雨也無晴

由貓纜邊坡穩定分析及位移實測資料，證實表土層與岩盤間因雨水入滲且產生孔隙水壓是導致位移之原因。下面筆者試以邊坡中土壤的角色，草就童詩一首，以表達下滑幾公分的土壤心聲：

我是貓纜邊坡的土壤 斜斜地依偎在母親（岩盤）的胸膛
 和母親之間平時沒有距離 但雨水老想將我們分開
 轟隆一陣大雨 把我澆成完全飽和的土壤
 孔隙水壓上升 讓我強度驟減 元氣大傷
 也使我和母親之間的凝聚力盡喪
 像無助的小孩 脫離母親的手 開始下滑
 還好草根和樹根阻擋了我 沒讓我受傷

天晴了 太陽把我曬乾
 孔隙水壓降低 又恢復原有的馬力強
 天氣乾乾濕濕 我的強度也起起落落 歷盡滄桑
 被迫下滑了幾公分 還能感覺母親的溫暖
 雖然已回不到原點 但我的體能恢復，不致於像得了新冠
 我的大哥 那塔柱下的基樁 深植在母親的腹部
 挺住颱風豪雨 沒有絲毫受傷

期待工程師把我穩定在原處 別讓我下滑成為
 毀家傷人的土石流
 把我灌漿 把我加勁 或者把我像大哥一樣
 用微型樁 讓我固定在母親的胸膛

如同我頭頂的小草
 下雨了 彎著背 讓雨澆
 雨停了 抬起頭 站直腳

結語

土壤力學是一門深奧複雜的應用科學，學通了它，可以將學理廣泛應用於日常生活。土壤在各種應力路徑中的行為和人在各種壓力下的表現其原理是相通的。壓力管理最重要的一項是保持在彈性線型的範圍，不要發生塑性變形。下面是我的建議：

1. 每週工作五天後，應給自己適當的休息（解壓）。需加班時不要超過彈性限度，適時放鬆至原點再加壓，切勿超越臨界點。
2. 每個人都需要旁人的協助，以增加自己的抗壓能

力。家庭不和諧或同事相互排斥對整體作戰能力絕對是一大傷害（楊氏係數低）。

3. 增加自己的抗壓能力（降低蒲松比），不要遷怒他人。
4. 試著降低自己的應力比，以免過勞死。
5. 除了凝聚力和摩擦角，由包粽子力學突顯了圍束力的重要性。在土壤力學中千萬別忘了它。
6. 土壤乾乾濕濕、強度起起落落。人生也是一樣，雖有些風風雨雨，受壓力而產生一些變形，只要不屈不撓，強度仍可恢復。如同蘇東坡所云：風雨過後雖然微冷，山頭斜照卻相迎。🏰