

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

以土壤側向伸張行為估算土壓重新分佈

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC93-2211-E-216-003-

執行期間：93年08月01日至94年07月31日

執行單位：中華大學土木工程學系

計畫主持人：楊朝平

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 94 年 7 月 20 日

以土壤側向伸張行為估算土壓重新分佈

Estimating the redistribution of earth pressure
based on the soil's lateral expansion behaviors

計畫編號：NSC 93-2211-E-216-003

執行期限：93年8月1日至94年7月31日

主持人：楊朝平 副教授 中華大學土木系

摘要

土壓會因擋土構造物之外移而重新分佈，需予以估算再用於設計上方較真實。本計畫以飽和砂土之側向伸張試驗，來模擬因擋土牆外移時，土壤從靜止狀態往主動狀態遷移過程中的行為；依其側向應變、側向應力關係來估算土壓分佈變化，並計算其土壓合力及作用點。將設定 15m 之牆高、三種牆外移型式（平移、繞趾旋轉、繞頂旋轉）及四種不同相對密度 ($D_r=30\%, 45\%, 75\%, 90\%$) 之背土，計 12 個擋土牆模式。此估算方法迥然不同於 Rankine 氏、Coulomb 氏之理論，也不需如模型試驗之高經費，而且是依據土壤行為，故研究方法具創意性、獨特性。本計畫之成果可適用於混凝土擋土牆、加勁擋土牆、板樁牆、深開挖等構造物之土壓估算上。

關鍵詞：擋土牆、側向伸張、土壓重新分佈

Abstract

The earth pressure will redistribute as the retaining wall move outward. Therefore, the redistributed earth pressure should be estimated in order to fit field condition. In this study, the writer intends to utilize soil's lateral expansion test to simulate the behavior of backfill which undergoing lateral expansion during the movement of retaining wall. The relationships of lateral strain and lateral stress of Otawwa sand will be used to estimate the redistribution of earth pressure, then determine resultant force and its location. Twelve kinds of retaining wall with 15m in height are analyzed, those including four categories of relative density for backfill (such as $D_r=30\%, 45\%, 75\%, 90\%$) and three types of wall movements (such as translation, rotation about toe and rotation about top). The concept of estimating method used in this study is rather different from the Rankine's and Coulomb's theory, moreover it is lower cost than model test and has originally creative. Besides concrete retaining wall, this estimating method employed could be used to reinforce retaining wall, sheet pile, braced cut etc.

Key Words : Retaining wall, Lateral expansion, Earth pressure redistribution

一、緒論

側向土壓（或稱土壓）乃是土壤力學、基礎工程裡甚重要的物理量，大地工程師常遇到的問題之一是如何合理、正確的決定擋土結構物所承受的土壓，前人之研究成果已甚多應借重參考。然而除模型試驗外，大多數有關土壓的理論研究乃集中於靜止及主動、被動兩種極端狀態，而模型試驗雖可模擬多種牆移動型式唯費用高。另一方面，以元素試驗來模擬土壤因工程行為而承受從靜止狀態往主動或往被動狀態遷移過程中，土壓變化機制的研究尚少。因擋土牆外移或開挖會使土壤發生側向伸張，於橋臺、地錨處或因打樁將使土壤發生側向壓縮，則作用於壁、樁面的土壓會重新分佈；此現象在設計上應被考慮以得較真實的設計土壓，而達使用較適宜安全係數之效。

土壓會因擋土構造物之移動、撓曲而重新分佈，擋土構造物之移動、撓曲即引致背側土壤發生側向應變，同時側向應力會局部消散；故知曉欲探討土壓重新分佈機制的理論原點乃是土壤之側向應力、側向應變關係。研究者也都一直在探討土壓與土壤變形之關係，雖然現地量測是最直接的，但土壓計受力面積太小、易被阻塞、土壤擾動、費用高等因素仍待克服[e.g., Abdi and Garga (1996)]。為此，本計畫提出依三軸元素試驗所得之土壤側向應力、側向應變關係，來模擬因擋土牆外移土壤從靜止狀態往主動狀態遷移過程中的行為，藉以估算土壓重新分佈值。

二、研究方法

即分析飽和砂之側向伸張試驗結果，先將其有效側向應力 σ'_r 、側向應變 ε_r 、初始圍壓 σ'_{cs} 之關係模式化 $\sigma'_r = f(\varepsilon_r, \sigma'_{cs})$ ，接著把假設擋土牆的外移量換算成 ε_r 帶入 $\sigma'_r = f(\varepsilon_r, \sigma'_{cs})$ 式，可求得牆背某一深度處對應於牆外移量之 σ'_r 值，連接牆背不同深度之 σ'_r 值即得新的土壓分佈；進而觀察土壓重新分佈特徵，估算土壓合力及其作用點等。

三軸側向伸張試驗

所使用之試料為飽和砂，其平均粒徑 0.33 mm 、曲率係數 1.06 、均勻係數為 1.32 。先將橡皮膜安裝在兩片重模內壁（重模直徑 7 cm 、高度 16 cm ），依靈降法改變不同落距以製作相對密度 D_r 分別為 30% 、 45% 、 75% 、 90% 的試體，套上三軸室注入水進行飽和化後，續施行 K_0 壓密、側向伸張試驗。將試體的容許側向應變控制在 $-0.005\% < \varepsilon_r < 0.005\%$ 之範圍內（壓縮為正、膨脹為負）以施行 K_0 壓密，並設定壓密結束點的有效圍壓 σ'_{cs} 為 80 kPa 、 130 kPa 、 180 kPa 、 230 kPa 、 280 kPa 五種試驗條件。續施行模擬因擋土牆外移致其背土的垂直應力不變而水平應力減小之側向伸張試驗，即逐漸減小試體有效側向應力 σ'_r 使其產生側向伸張，唯在減小 σ'_r 的同時有效軸向應力 σ'_a 會隨著減小，故為保持 σ'_a 值不變的條件需即時增加軸向荷重；如此反覆的減小側向應

力及增大軸向荷重，直到試體發生滑動破壞後結束，共成功完成了20個試驗。

圖1為不同相對密度之試體各在五種不同 σ'_{cs} 的試驗條件下的 K_0 壓密、側向伸張試驗應力路徑，圖中平均主應力 $p' = \frac{1}{3}(\sigma'_a + 2\sigma'_r)$ 、軸差應力 $q' = \sigma'_a - \sigma'_r$ 。由此圖知曉，具同一 D_r 的試體在五種試驗條件下，其 K_0 壓密的路徑幾乎重疊，之後的側向伸張應力路徑斜率為-1.5滿足所要求的應力路徑條件，此結果顯示本試驗系統之控制性能良好。圖2為試體承受側向伸張時之抗剪行為，其軸向應變 ϵ_a 、軸差應力 q' 關係曲線無顯現尖峰點且會發生滑動，發生滑動時之 ϵ_a 約僅1%，不易判釋其破壞狀態。

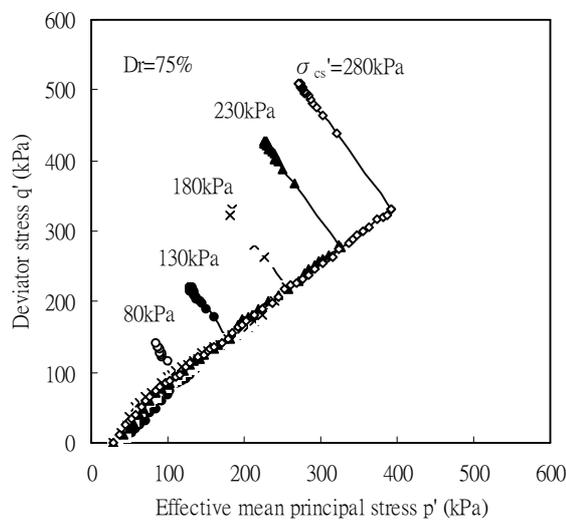


圖1 側向伸張試驗應力路徑

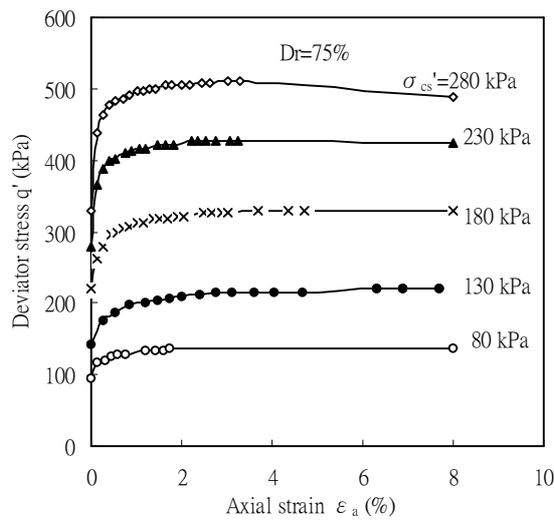


圖2 試體承受側向伸張時之抗剪行為

側向應力、側向應變關係模式

續加工土壤在承受側向伸張時的側向應力、側向應變關係，藉以估算土壓因擋土牆外移而重新分佈之值。即欲求 $\sigma'_r = f(\epsilon_r, \sigma'_{cs})$ 之關係式，如圖 3 所示般，試體在承受側向伸張時的 ϵ_r 、 σ'_r 關係近似雙曲線。因試體受剪前的初始圍壓 σ'_{cs} 相異之故致其 ϵ_r 、 σ'_r 曲線之起始點不同，為了消除此因試驗條件所引起的差異性，可把各試體的 σ'_r 除以 σ'_{cs} 正規化之，圖 4 即為 ϵ_r 與 (σ'_r/σ'_{cs}) 之關係，對同一 D_r 的試體其 ϵ_r 、 (σ'_r/σ'_{cs}) 曲線相當接近。

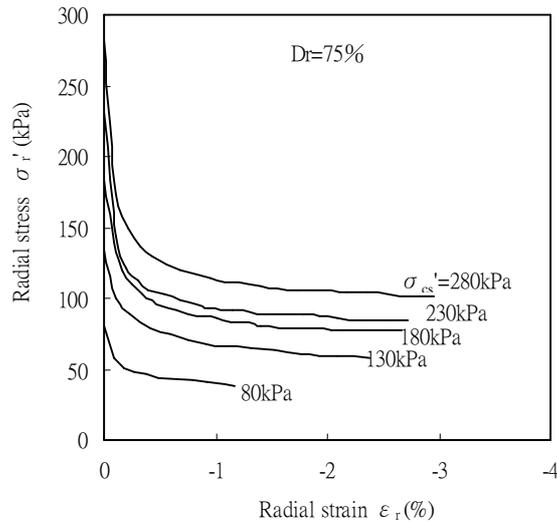


圖 3 側向應力、側向應變關係

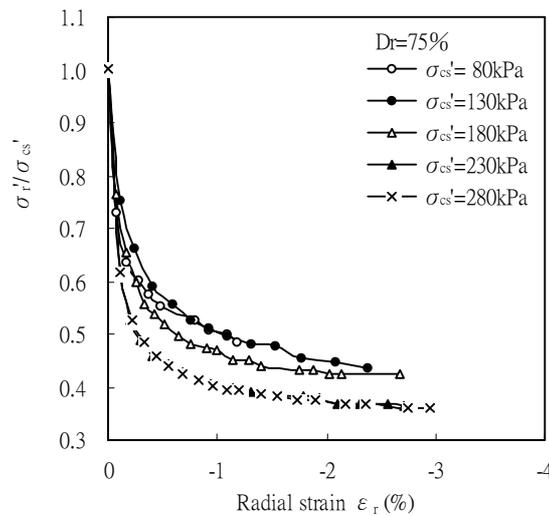


圖 4 正規化側向應力、側向應變關係

為方便使用 ε_r 、 (σ'_r/σ'_{cs}) 曲線來預測因側向應變伸張而消散後的 σ'_r ，宜把此關係用式(1)之雙曲線方程式近似之。

$$\frac{\sigma'_r}{\sigma'_{cs}} = 1 - \frac{\varepsilon_r}{a + b \cdot \varepsilon_r} \quad (1)$$

依式(1)，當 $\varepsilon_r=0$ 時 $\sigma'_r/\sigma'_{cs}=1$ ， σ'_r/σ'_{cs} 會隨 ε_r 的伸張發展而減小。為求式中 a、b 兩個參數，再將式(1)整理成式(2)後可續得如式(3)之直線關係式。

$$1 - \frac{\sigma'_r}{\sigma'_{cs}} = \frac{\varepsilon_r}{a + b \cdot \varepsilon_r} \quad (2)$$

$$\frac{\varepsilon_r}{1 - \frac{\sigma'_r}{\sigma'_{cs}}} = a + b \cdot \varepsilon_r \quad (3)$$

最後，對 $\frac{\varepsilon_r}{1 - \frac{\sigma'_r}{\sigma'_{cs}}}$ 、 ε_r 關係數據做線性回歸後即可求得參數 a、b，其回歸情形一例示於圖 5。

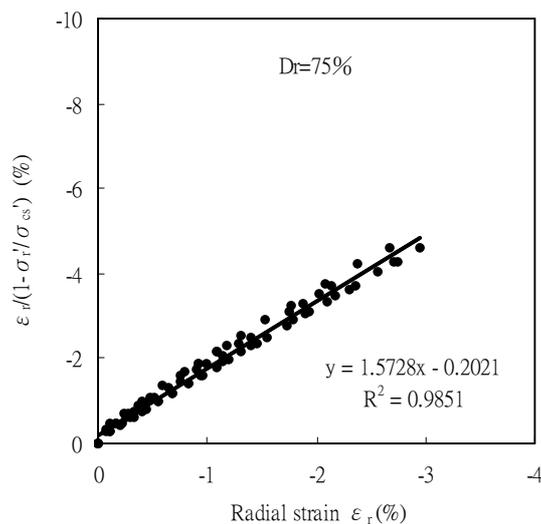


圖 5 側向應力、側向應變雙曲線方程式回歸結果

計算對應於擋土牆外移量之背土側向應變

欲將式(1)適用於估算擋土牆的土壓重新分佈上宜將其改成式(4)，並計算於深度 D 對應於擋土牆外移量之背土側向應變 $\varepsilon_{r(D)}$ 。

$$\sigma_{r(D)} = \left[1 - \frac{\varepsilon_{r(D)}}{a + b \cdot \varepsilon_{r(D)}} \right] \sigma_{cs(D)} \quad (4)$$

$\sigma_{r(D)}$ ：於深度 D 處擋土牆外移後之土壓

$$\sigma_{cs(D)} = (1 - \sin \phi) \cdot \gamma \cdot D$$

D ：從背土頂部往下之深度

ϕ ：土壤摩擦角

γ ：土壤單位重

欲分析之案例為牆往外平移(AT mode)、牆繞趾外移(ARB mode)及牆繞頂外移(ART mode)三種型式，並分別以土楔及對數螺線兩種滑動面來計算 $\varepsilon_{r(D)}$ 。則可依式(5)計算 $\varepsilon_{r(D)}$ ，式中 δ 為牆外移量， l 為深度 D 處牆與滑動面間之水平距離（參閱圖 6、圖 7、圖 8）。

$$\varepsilon_{r(D)} = -\frac{\delta}{l} \quad (5)$$

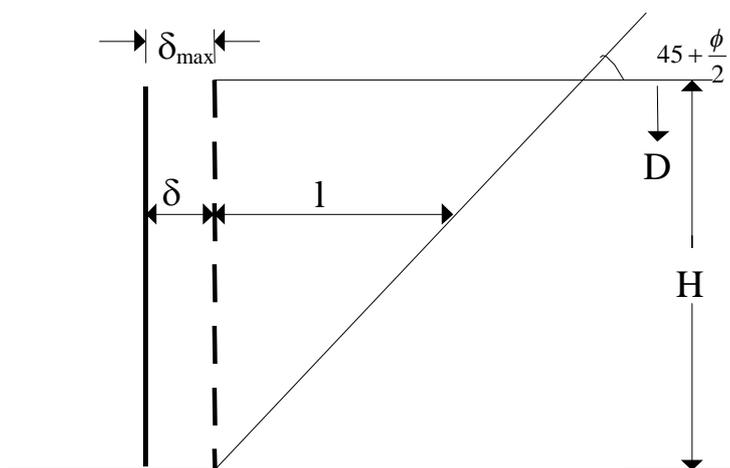


圖 6 擋土牆往外平移示意圖(AT mode)

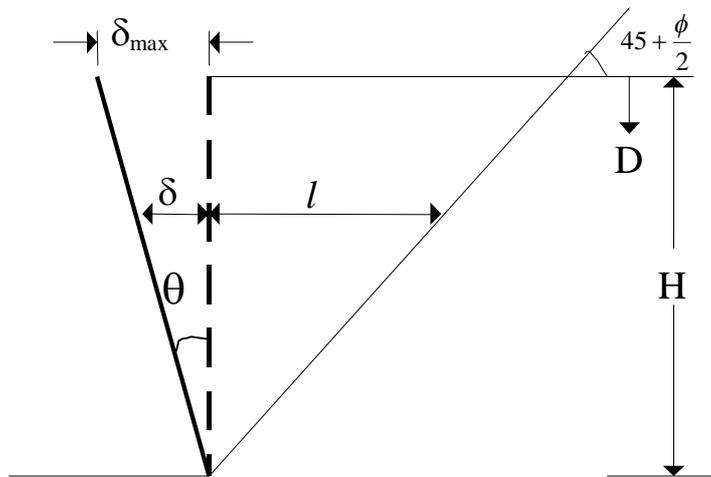


圖 7 擋土牆繞趾外移示意圖(ARB mode)

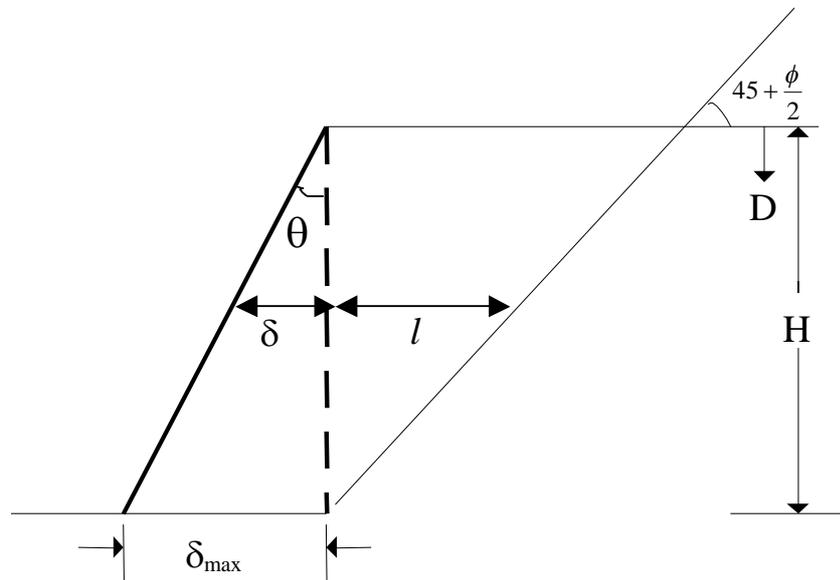


圖 8 擋土牆繞頂外移示意圖(ART mode)

三、所估算之土壓重新分佈

將 δ 及 l 代入式(5)即得對應於擋土牆外移量之背土應變 $\varepsilon_{r(D)}$ ，再把 $\varepsilon_{r(D)}$ 代入式(4)即可求得對應於擋土牆外移量之土壓 $\sigma_{r(D)}$ ，續連接牆背不同深度之 $\sigma_{r(D)}$ 值可得重新分佈的土壓；茲將研究成果例示於圖 9、圖 10 及圖 11。於土楔滑動面之 ARB mode，初始土壓為靜止狀態呈三角形分佈，在牆開始繞趾外移之初土壓分佈仍近線性，之後在牆中下方的土壓減少量開始增加；而在底部其減少速度則較緩，可能是模式的限制使得移動量較小所致，牆趾處仍維持近靜止狀態。其在背土發生滑動時，牆頂部的土壓較接近 Rankine 的主動土壓，但牆底部的土壓則

與其相差很大，且其形狀迥異於三角形；此土壓重新分佈行為類似於模型試驗者。

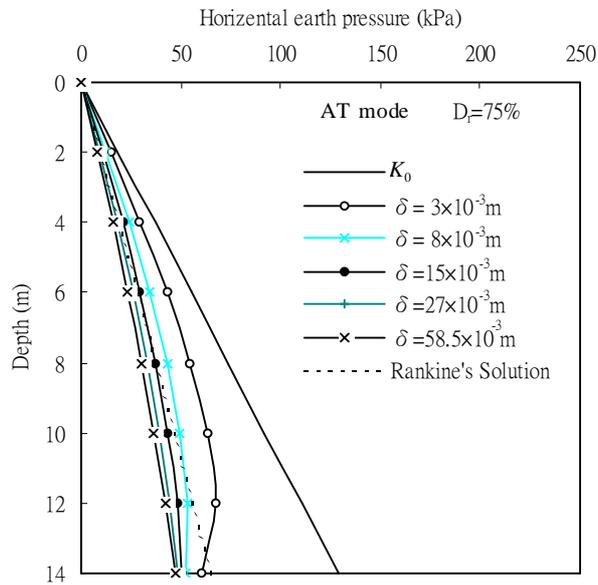


圖 9 牆水平外移過程中土壓重新分佈情形
(AT mode $D_r = 75\%$)

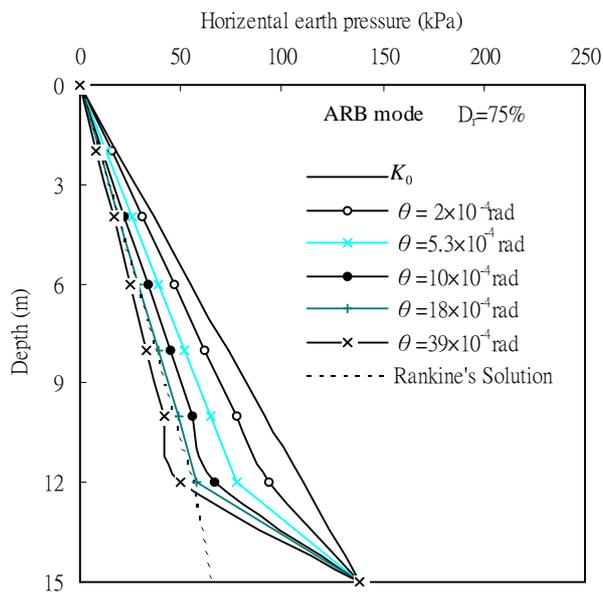


圖 10 牆繞底外移過程中土壓重新分佈情形
(ARB mode $D_r = 75\%$)

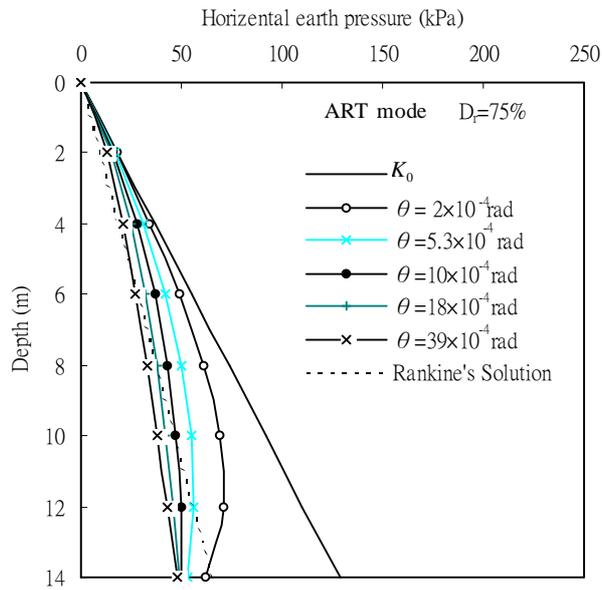


圖 11 牆繞頂外移過程中土壓重新分佈情形
(ART mode $D_r = 75\%$)

四、結論

1. ϵ_r 、 $(\sigma_r' / \sigma_{cs}')$ 之間的關係方程式，相關係數極高，可準確預測因應變的變化所產生之應力值。
2. 土壓分佈隨牆移動模式不同而有所改變，其土壓分佈曲線為非線性。
3. 本研究所得之土壓重新分佈曲線近似於模型試驗者。