

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫 成果報告
 期中進度報告

砂土液化強度與其細料性質之關係

Relationship Between Liquefaction Resistance of Sand and Its
Fines Characteristics

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 91-2211-E-002-049-

執行期間：91年8月1日至92年7月31日

計畫主持人：翁作新

計畫參與人員：孫家雯、余定縣

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告 完整報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：

- 赴國外出差或研習心得報告一份
- 赴大陸地區出差或研習心得報告一份
- 出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份
- 國際合作研究計畫國外研究報告書一份

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、
列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

涉及專利或其他智慧財產權， 一年 二年後可公開查詢

執行單位：國立台灣大學土木工程學系

中華民國 92 年 7 月 31 日

砂土液化強度與其細料性質之關係

NSC 91-2211-E-002-049

中文摘要

本研究取南投市貓羅溪岸土壤，以 400 號篩作為細粒料之界定標準，藉由控制試體乾密度相同，改變試體中之細粒料含量，利用 C. K. C. 動力三軸儀進行動力試驗，求得不同細粒料含量土壤之抗液化強度，以便與一般以小於 200 號篩為細粒料之研究結果比較，探討不同細粒料特性對土壤抗液化強度之影響。

根據動力試驗結果顯示，當細粒料含量不超過 30 % 時，土壤整體的行為偏向與一般砂性土壤的行為相似，呈現較小的變形性、剪力模數維持定值以及孔隙水壓力在破壞前出現激增等現象，而對純細粒料試體，會出現變形量大、剪力模數隨反覆作用次數增多而改變等動態特性。當土壤處於疏鬆狀態之條件下，具相同乾密度之試體，其抗液化強度會隨著細粒料含量的增加，出現先下降後上升的趨勢，土壤在細粒料含量約為 20 % 時出現最小的液化抵抗強度。在以試體之單向軸向應變達 5 % 時，即視該試體發生液化破壞之定義下，純細粒料試體抗液化強度約為 20 % 細粒料含量試體抗液化強度的 1.4 倍。

根據本研究中之試驗結果與他人之研究結果相比較，可以發現貓羅溪岸土壤在疏鬆狀態下，以 400 號篩作為細粒料界定標準，其細粒料含量對土壤抗液化強度之影響，會比一般考慮小於 200 號篩為細料的影響要顯著許多。

關鍵詞：砂、地震、液化、細料、試驗

Relationship Between Liquefaction Resistance of Sand and Its Fines Characteristics

ABSTRACT

The soil in Maoluo River area of Nantou City was used in this study with the soil passing sieve #400 (0.075 mm) as the fines. The specimens were prepared by moist tamping to a dry density of 1400 kg/m^3 for different fines contents. Dynamic triaxial tests were conducted to obtain the liquefaction resistance of specimens with different fines contents. The results were compared with these defining the fines as the soil particles passing sieve #200 (0.075 mm). The effect of the properties of fines on the liquefaction strength was studied accordingly.

The results of dynamic tests show that, with the fines content less than 30%, the soil behaves like a clean sand with a small deformability and little change of modulus before liquefaction, whereas the pore water pressure increases rapidly as the soil reaches liquefaction. When the soil is loose with a dry density of 1400 kg/m^3 , there is a minimum strength for the soil with a fines content at around 20%. The liquefaction resistance of the samples with a fines content of 100% is approximately 1.4 times of that of the soil with a fines content of 20%.

This study indicates that for the soil in Maoluo River area, the fines contents have a greater effect on the liquefaction resistance of the soil when the fines is defined as those passing sieve #400.

Key words: sand, earthquake, liquefaction, fines, tests

一、 前言

早期研究土壤液化的學者專家大都侷限於純淨砂土的研究，對於含細粒料土壤的液化研究較少。但是現地沉積土層或多或少都含有細粒料，而且從近年地震案例的研究中可以發現：含高量細粒料的土壤也會有發生液化的可能。

關於砂土細粒料含量對液化潛能的影響，目前較常使用的土壤液化簡易評估法[1,2]，通常都是考慮通過 200 號篩之土壤含量百分比，少數評估法則採以顆粒平均粒徑大小或細粒料塑性指數作為修正參數，且對於高細粒料含量的土層常常給予較高之抗液化強度的評定。但是在集集大地震中，台灣中部地區有多處發生大規模的液化災害，根據現場調查結果[3]指出，有甚多處的液化土層中含有高比例的細粒料含量。以南投貓羅溪沿岸發生液化之土層為例，其中通過 200 號篩的細粒土壤含量竟高達 48 %。此歸類為高細粒料含量之土層理應具有較高之抗液化強度，但事實卻不然，由此可見土壤依照傳統 200 號篩分類，其中細粒料含量與土壤抗液化強度之關係仍有再研究的必要性。

一般定義通過 200 號篩之土壤為細粒料，是由於此顆粒尺寸可依肉眼分辨大小，屬於人為的界定可能，並無法真正反應出土壤中最適當的細粒料尺寸。故本研究中嘗試以更細微的顆粒尺寸界定細粒料，藉此探討細粒料界定對土壤抗液化強度之影響。

本研究的主要目的在探討以 400 號篩界定之砂土細粒料含量比為參數，其土壤抗液化強度之關係。研究中取用貓羅溪沿岸之土壤，製作重模試體，在控制試體的乾密度為定值的條件下，改變試體之細粒料含量，利用 C.K.C.動力三軸儀試驗求取各個試體之液化阻抗強度，以求瞭解細粒料含量對土壤抗液化強度之影響。研究中同時也對細粒料含量與土壤整體之動態特性的影響關係做更進一步的探討。

在本研究中針對目前常用之簡易液化評估法中，有關考慮細粒料影響土壤抗液化強度所選用之細料含量參數，討論其中細粒料選擇以 400 號篩作為界定之可行性。同時也嘗試利用顆粒微觀假想結構，解釋細粒料含量對土壤整體動態特性與抗液化強度之影響關係。

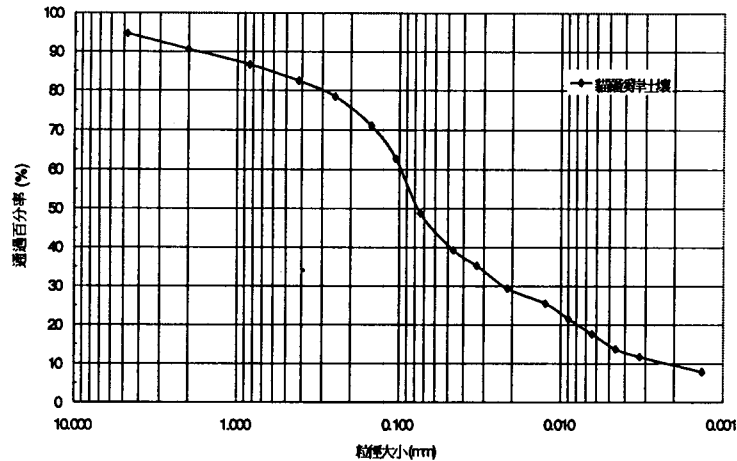
二、 試驗內容

本研究中所使用的試驗土樣取自於南投市貓羅溪岸邊，取樣的深度距離地表面約 1.5 公尺。根據試驗結果得到現地土壤之平均含水量為 18.3 %，乾密度值為 1400 kg/m^3 。由於現地土壤之乾密度值偏低，故可判斷現地之土壤顆粒結構應處於一個較疏鬆的狀態之中。

經過土壤基本物性試驗結果顯示：貓羅溪地區土樣的粒徑分佈曲線如圖一所示，此地區土壤在統一土壤分類法 (USCS) 中屬於粉質砂土 (SM)，其土壤比重 $G_s = 2.63$ ，平均粒徑 $D_{50} = 0.078 \text{ mm}$ 。依據 ASTM D4253-93 及 P4254-91，可得最大乾密

度 $\rho_{max} = 1717 \text{ kg/m}^3$ ，最小乾密度 $\rho_{min} = 1290 \text{ kg/m}^3$ 。

在本研究試驗中所用之重模土樣，係將現地土樣先予以篩分析，以 4 號篩與 400 號篩為標準，取通過 4 號篩但滯留於 400 號篩網上之土樣為粗粒料成分，另取通過 400 號篩之土樣為細粒料成分。



圖一 貓羅溪岸土壤粒徑分佈曲線

關於試驗儀器與試驗項目方面，本研究係採用美國加州大學柏克萊分校 C. K. Chen 及 J. P. Mulilis 所設計之動力三軸儀進行動態加載試驗 (Dynamic Test)，其加載為頻率 1 Hz 之正弦載重波 (Sine Wave)，並且依照試體之有效應力及所欲施加之反覆剪應力比 (Cyclic Stress Ratio, CSR)，設定進行動力三軸動態加載試驗所需之反覆軸差應力值。

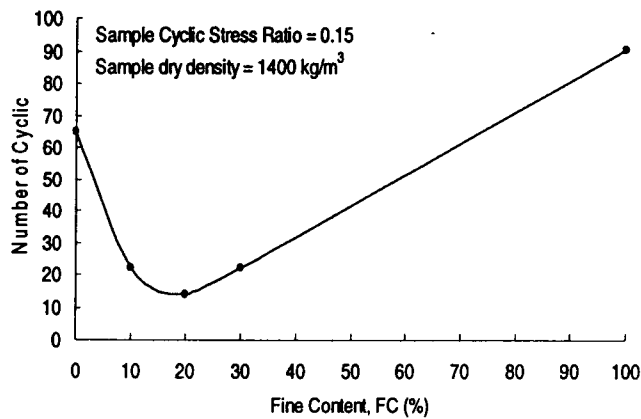
三、 試驗結果

本研究針對通過 400 號篩之細粒料對土壤的動態特性與抗液化強度之影響進行研究。試體細粒料含量之比例包括 0 %、10 %、20 %、30 % 以及 100 %，這些土壤依統一土壤分類法分別屬於粉土質砂土 (SM)、粉土 (ML) 以及低塑性粘土 (CL)，除了本身的顆粒組成與塑性性質不同外，其對砂土受動態應力時所導致的液化行為之影響亦有所不同。

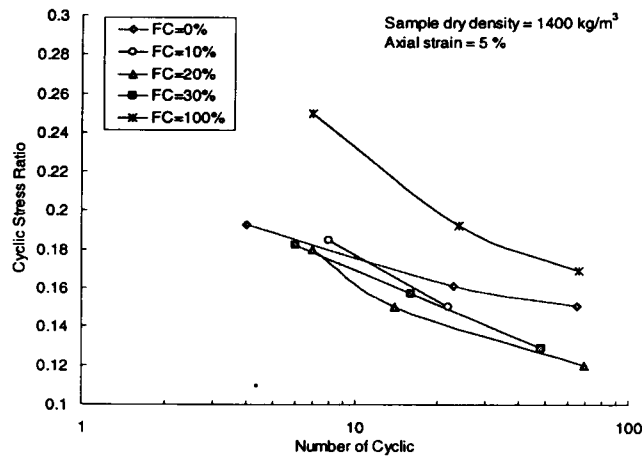
在土壤的動態特性方面，當細粒料含量不超過 30 % 時，土壤整體的行為偏向與一般砂性土壤的行為相似，呈現較小的變形性、剪力模數維持定值以及孔隙水壓力在破壞前出現激增等現象；但對於純細粒料試體而言，試體則會出現變形量大、剪力模數隨反覆作用次數增多而改變等不同於砂性土壤而比較接近粘土的動態特性。純細粒料試體在動力三軸試驗中雖有大變形量，但其孔隙水壓之激發，卻未能使其有效應力趨

於零，或初始液化現象。

在土壤抗液化強度的影響方面，根據試驗結果得知，在相同乾密度條件下，試體的細粒料含量在 20 % 時會出現最低的抗液化強度。圖二即為不同細粒料含量的試體在反覆應力比為 0.15 的狀態下，試體發生液化破壞時的反覆次數。圖三則表示不同細粒料含量的試體，在不同反覆應力比狀態下與其達液化所需反覆作用次數的關係曲線。由圖三中也可看出純細粒料成分的試體會有最高的抗液化強度，而含有 20 % 細粒料的試體則有最低的抗液化強度，兩者間的強度約相差 1.4 倍。



圖二 貓羅溪岸土壤細料含量與試體軸向應變達 5% 時反覆作用次數之關係

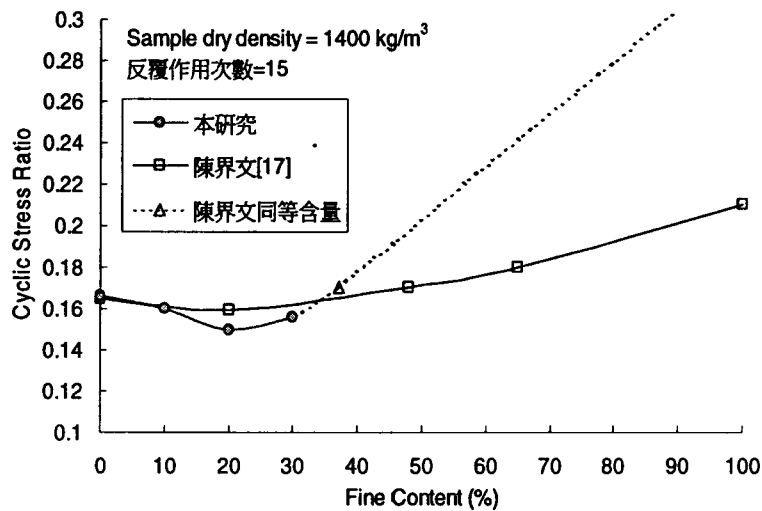


圖三 不同細料含量貓羅溪岸土壤之液化強度關係

因此由試驗結果可推斷，當土壤乾密度維持一定，細粒料含量由 0 % 增至 100 % 時，土壤抗液化強度有先下降後上升的趨勢，尤其在細粒料含量約在 20 % 左右處，土

壤的抗液化強度會有最低值。

由於本研究中係以試體軸向應變達 5 % 時即定義該試體發生液化破壞，為了能與他人的研究結果[4]作比較，以探討細粒料特性對土壤抗液化強度之影響關係，故將本研究中之數據重新修正至試體必須發生初始液化，才視其達到液化破壞。考慮反覆作用次數等於 15 次，修正過後的細粒料含量與反覆應力比之關係如圖四所示。因為本研究中之純細粒料試體並未達到初始液化之狀態，故圖中之虛線為既有數據之延伸，以表示其可能的趨勢。圖中亦與[4]以小於 200 號篩為細料之試驗結果比較。



圖四 貓羅溪岸土壤反覆作用次數等於 15 時，細料含量與液化阻抗強度之關係

藉由上述之比較結果，可以發現以 200 號篩界定之純砂試體與以 400 號篩界定之純砂試體兩者之抗液化強度大小相近；但若考慮細粒料含量為 20 % 的試體抗液化強度，則以 400 號篩為界定標準之試體會較低的強度值。而以小於 400 號篩為細料時，其細料含量對土壤液化強度之影響比較顯著。

根據本研究中的試驗結果，針對貓羅溪岸土壤在疏鬆狀態的條件之下，亦可類似 [5,6] 利用土壤顆粒的微觀假想結構，來解釋含細粒料土壤在反覆應力作用下的土壤整體行為特性。當土壤中細粒料含量微少時，大部分的細顆粒並不影響粗顆粒間相接觸的情形，土壤整體的行為以粗顆粒的性質決定，故動力特性與砂土的性質較接近；當細粒料含量逐漸增多，雖然粗顆粒有可能被細顆粒所阻隔而無法相接觸，但由於粗顆粒間的細顆粒數量仍微，土壤整體之動態特性仍由量較多的粗顆粒決定，但鬆散不均勻的排列結構卻造成整體的強度下降；繼續增加細粒料的含量，除了使得細顆粒成為整體土壤主要的支撐元素，細粒料含量的提高也會使塑性性質對土壤整體行為的影響更為顯著。

四、 結論

- (1) 根據試驗結果，當細粒料含量不超過 30 % 時，土壤整體的行為偏向與一般砂性土壤的行為相似，呈現較小的變形性、剪力模數維持定值以及孔隙水壓力在破壞前出現激增等現象；對於純細粒料試體，試體會出現變形量大、剪力模數隨反覆作用次數增多而改變等動態特性。
- (2) 以 400 號篩作為細粒料界定標準，在控制試體壓密後乾密度相同的條件下，土壤抗液化強度會隨細料含量的增加，有先下降後上升的趨勢。考慮反覆作用次數等於 15 次的土壤液化阻抗強度，可得細粒料含量約在 20 % 時試體有最小的抗液化強度。
- (3) 以 400 號篩作為細粒料界定標準時，其細料含量對抗液化強度之影響，比以 200 號篩為界定標準更顯著。
- (4) 對於含細粒料土壤在反覆應力作用下的整體行為，利用顆粒微觀假想結構來解釋是個可行的方法。土壤中細粒料含量微少時，細顆粒不影響粗顆粒間相接觸的情形，土壤整體的行為及其動力特性與砂土的性質較為相近；當細粒料含量逐漸增多，雖然粗顆粒有可能被細顆粒所阻隔，但由於粗顆粒間的細顆粒數量仍微，土壤整體之動態特性仍由量較多的粗顆粒決定；而細粒料的含量繼續提高，除了使得細顆粒成為整體土壤主要的支撐元素，細粒料含量的提高也會使塑性性質對土壤整體行為的影響更為顯著。

參考文獻

- [1] 黃俊鴻，陳正興，「土壤液化評估規範之回顧與前瞻」，地工技術，第 70 期，pp. 23-44，民國 87 年。
- [2] Youd, T. L. et al., "Liquefaction resistance of soils : summary report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF workshops on evaluation of liquefaction resistance soils," Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, Vol. 127, Issue 4, pp. 297-313.
- [3] 翁作新、褚炳麟、林炳森，「員林、霧峰及南投地區土壤液化特性」，地工技術，第 81 期，pp.48~56，民國 89 年。
- [4] 陳界文，「細粒料特性對土壤抗液化強度之影響」，國立台灣大學土木工程學研究所，碩士論文，民國 91 年，(與執行本計畫相關)。
- [5] Jerry A. Yamamuro, and Kelly, M., "Monotonic and cyclic liquefaction of very loose sands with high silt content," Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, pp. 314-323 (2001).
- [6] Thevanayagam, S., Fiorillo, M., and Liang, J., "Effect of non-plastic fines on undrained cyclic strength of silty sands," Soil Dynamics and Liquefaction 2000, pp. 77-91 (2000).
- [7] 孫家雯，「砂土細粒界定對液化強度之影響」，國立台灣大學土木工程學研究所，碩

士論文，民國 92 年，(與執行本計畫相關)。

成果自評

本計畫研究內容與成果與原計畫本年度預期目標相符，所得研究成果對使用不同細料特性為液化評估參數時之可行性，可有相當了解。對後續研究也給以探討方向。本計畫尚為初步可行性之探討，資料尚未十分完整，雖未達期刊文章之要求，但成果將於 92 年 11 月舉行之台美液化研討會中發表。