

Q 與 A 專欄

歐 晉 德*

本問題與解答專欄將定期於本刊登出，所擬問題均選自目前大地工程界於施工中可能遭遇之一些疑難小問題，此類問題雖小，但常造成施工人員之困擾。本欄歡迎各讀者提出問題，並歡迎學者專家就解答內容提供意見。有鑑於大地工程牽涉範圍及變化甚多，讀者亦請避免將本欄提供之解答視為唯一方案，以免造成施工或尋求解決方法之錯誤。

Q19: 判別土壤液化(Liquefaction)的基本方法及其應用之考慮?

A: 砂土液化之現象，自 1925 年 Terzaghi 提出「液化」一詞以來；便成為土壤力學中的一個研究項目，但一直遲至 1964 年日本 Niigata 及美國 Alaska 二次地震，因當地砂土液化而引致極大破壞為止，飽和砂土因地震而發生液化之現象，才開始受到廣泛之注意及研究，在其後之十數年間，分析砂土液化潛能(Liquefaction Potential)之方法，發展甚為迅速，到目前為止已不下數十種之多。

在眾多分析方法中，絕大部份均為針對地表及土層均為水平且橫向無限延伸之狀況，此點一方面固由於在此一假設條件下分析將較容易，另一方面亦由於在工程上亦最常碰到此種情況或近似於此種情況的問題。至於不能符合此一條件之地點，就需使用較複雜之方法（如有限元素法）以分析其液化潛能。下文所述亦僅為符合此一條件之分析方法。根據此一條件，可假設砂土之液化係由地震所產生之剪力波，傳至土層而造成之水平剪應力，反覆作用於土體，使孔隙水壓不斷增加而所致，故土體對剪力之抵抗力可作判定其液化潛能之依據。

基本上分析砂土液化潛能之方法約可分成兩大類：

(1) 就以往地震時現場砂土之強度與其是否曾發生液化之關係而得出之經驗方法。

在本類方法中，砂土之強度常用標準貫入試

驗(Standard Penetration Test)中之打擊數(N值)，根據過去經驗所得之圖形或公式而求取，而地震所引致之剪應力，則係利用地震時之地表最大加速度 a_{max} (或地震強度 I)，及土層所受之覆土應力(或深度)以求取，二者相較即可得知是否有液化之可能。茲舉二種最常用的如下：

(a) 根據中國大陸所發生之大地震中所獲資料而提出之研判公式。

該法中係以土層之 N 值直接代表其抗力，而地震時於不同深度產生之應力則以下式表示：

$$N_{crit} = \bar{N} \{ 1 + 0.125(d_s - 3) - 0.05(d_w - 2) \} \quad (1)$$

式中 \bar{N} 為修正麥氏震度階級 (Modified Mercalli Intensity Scale) 中強度 I 之函數，示於圖 19-1，而 d_s 及 d_w 則分別為砂土及地水位之深度，單位均為公尺。所得之 N_{crit} 若大於 N 值則易發生液化，反之則否。

(b) Seed 提出之簡易計算法。

在本法中，砂土之強度係根據土層中之 N 值，利用圖 19-2 所示之修正係數 C_N ，修正至有效覆土應力為每平方英尺 1 噸時之 N_1 值如下：

$$N_1 = C_N N \quad D_{50} > 0.25 \text{ mm} \quad (2a)$$

$$N_1 = C_N N + 7.5 \quad D_{50} < 0.15 \text{ mm} \quad (2b)$$

上式中 D_{50} 表示土層顆粒分析曲線上 50% 時之顆粒粒徑。

* 亞新工程顧問公司副總經理

再由 N_1 值在圖 19-3 求出在設定地震級數下，引致砂土液化所需之剪應力比 τ/σ_v' (即其強度)，若有效覆土壓力大於每平方英尺 1.5 噸，所得之剪應力比另需加以有效覆土壓力之修正。另一方面，地震時所產生之剪應力比則係利用相當均勻應力反覆作用次數 (Equivalent Numbers of Uniform Cycles) 之觀念，根據下式而求取：

$$\frac{\tau}{\sigma_v'} = 0.65 \cdot \frac{a_{max}}{g} \cdot \frac{\sigma_v}{\sigma_v'} \cdot r_d \quad (3)$$

式中 a_{max} 為地表最大加速度， g 為重力加速度， σ_v 及 σ_v' 分別為總及有效覆土壓力， r_d 則為一應力折減係數，隨深度而不同，示於圖 19-4。

比較上述所得之二種剪應力比，即可研判是否有液化之可能。

(2) 比較由地震所產生之應力與由試驗室中所得引致液化所需之應力而研判之方法。

本類方法又可分为有效應力及總應力二法。有效應力法約於近十年中才出現，由於該等方法在應用時常需獲得在地質調查時不易取得之土壤特性資料，及應用時較複雜之故，至今仍未受到廣泛之使用，以下亦略而不談，只舉出由 Seed 所提出且最常使用之一種總應力分析如下：

利用現場取得之不擾動試體，送至試驗室以求取不同剪應力比與在該剪應力比下引致液化之週期數之關係曲線，根據設計地震所引致之相當均勻反覆應力作用次數 (圖 19-5)，即可在該關係曲線上找出砂土之臨界剪應力比

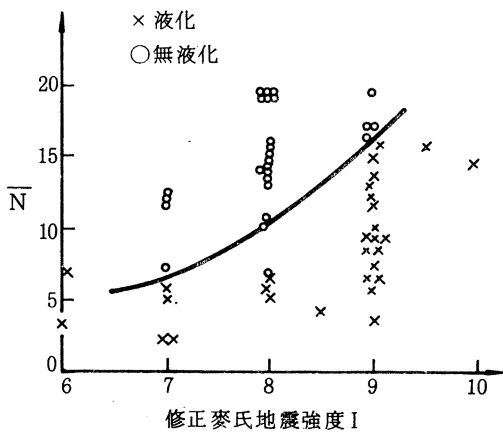


圖 19-1 \bar{N} 與地震強度 \bar{I} 之關係

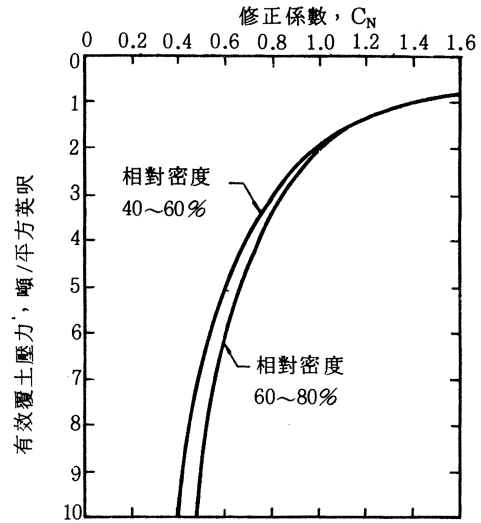


圖 19-2 C_n 與有效覆土壓力之關係

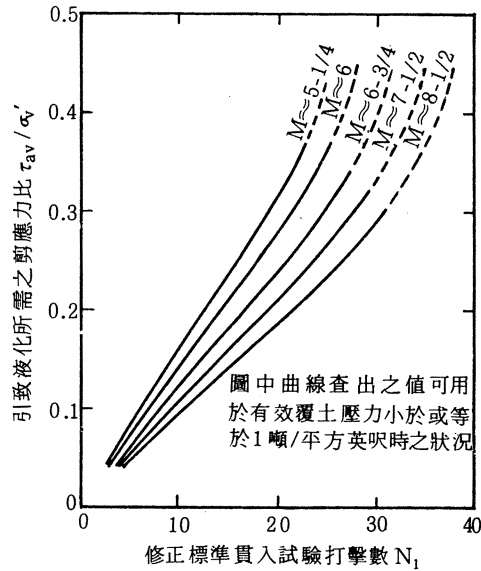


圖 19-3 N_1 與引致液化所需應力比之關係

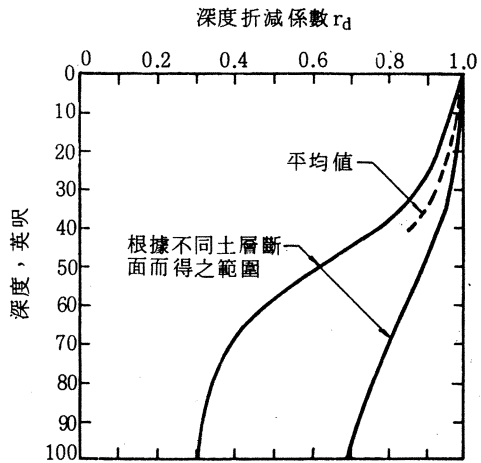


圖 19-4 折減係數 r_d 與深度之關係

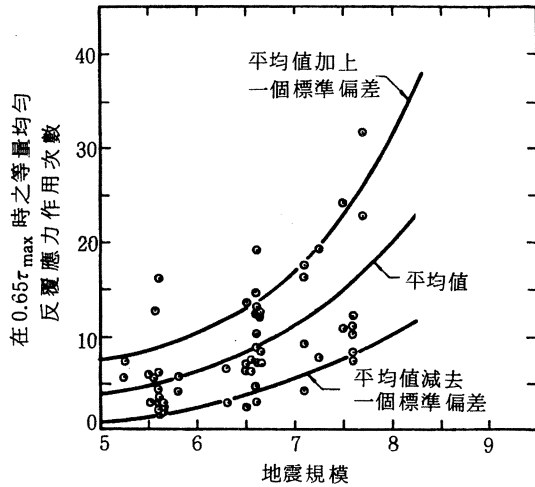


圖19-5 地震規模與等量均勻週期數之關係

。由於試驗中所產生應力之狀況與地震時之狀況不同，該剪應力比常需加以修正以得出實地之臨界剪應力比。另一方面，砂土在地震時所受之剪應力比，可根據公式(3)求取，亦可應用地盤反應分析(Ground Response Analysis)方法，利用當地土層之特性而求取。比較二種剪應力即可求砂土對液化之安全係數。

在進行液化分析時，若是採用第一類經驗方法，將較簡易而迅速，但由於到目前為止，液化分析中仍存有很多未能確定或定量之因素，故在時間上及經費上許可之情況下，亦宜同時採用第二類分析方法，以能比較其分析結果。此外，不論是採用何種方法，亦需對該法之弱點加以留意。在第一類方法中，最需留意的就是N值的問題，根據近期美國的研究顯示，在美國本土以繫索架法進行標準貫入試驗時，由於操作手、錘具、繩索繞圈數等之不同，落錘傳至鑽桿之能量，分佈在理論能量(4,200呎-磅)的30%到80%之間，最大差異幾近三倍，由於N值與能量之乘積，在N值介乎5到50時為一定值，則N值之差異亦與所用能量之差異相同，故現場取得N值時所用之能量，最好亦能一併加以量測以為分析液化時之用，最近美國ASTM亦醞釀將能量測定列為規範，以將標準貫入試驗真正「標準」化。在施行第二類方法時，最需注意的就是不擾動試體之取得及試體試驗時之正確性，在現場鑽取薄管土樣時

，必須留意取樣器與取樣方法，務使試體受擾動之情況減至最輕，而在試驗室進行試驗前，土樣之準備工作亦需小心留意，務使所測試之試體為最能代表現場土壤之試體。(郭漢興)

參考文獻

Earthquake Engrg. and Hazards Reduction in China
CSCPRC Report No. 8, 1980.

Ground Motions and Soil Liquefaction During Earthquakes, Seed and Idriss, 1983.

Q20: 設計中如何決定地震加速度值？其所代表之意義為何？

A：在考慮砂土液化潛能時，必須先決定設計所用之地震。由上題所述之方法中不難發現，地表最大加速度為最常用以代表地震之參數，而事實上，地表最大加速度亦是藉以判定結構物會否發生破壞之一個重要指標，國外很多建築規範中就是規定地表最大加速度以為設計建築物之參考。

在求取某地之地表加速度前，首先需收集以往該地區附近之地震及斷層之資料（如地震之規模及其發生之頻率、斷層之長度及與工址之距離等），再考慮結構物之壽命年限及其重要性等因素，利用統計學及或然率之方法，推算在該年限內可能來襲地震引致之地表最大加速度值，作為設計之基準。圖20-1所示為徐明同（地震工程，中國工程師學會，1983）利用台灣過往100年中所發生之規模在六級以上之大地震，推算在未來50年內可能來襲之最大加速度分布值。（郭漢興，亞新工程顧問公司工程師）

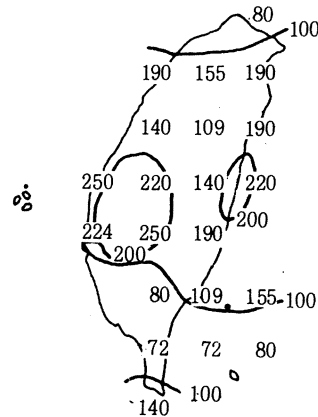


圖20-1 台灣地區五十年內可能來襲地震之最大加速度預期值分佈（單位為公分/秒/秒）