地工技術，第 84 期（民國 90 年 4 月）第 93-94 頁
SINO-GEOTECHNICS, NO.84. (APR., 2001) PP.93-94

名詞解說

離心模型

李大振 *

對於提升工程設計及施工水準來說，數值模擬、物理模型試驗與現場量測，三者之研究及發展不可偏廢。而利用相似模擬來探討全尺度物理現象以幫助解決理論與設計問題，是工程上常用的原則。

重力是大地工程結構物最主要的受力變形與破壞因素。由相似性條件，模型材料及模型內應力狀態必須要與原型(prototype)完全相同。這是大地結構模型的特點，亦是作模型試驗的困難處。當地球重力場1g下，若將原型按幾何相似縮小N倍，用原型材料製成的模型，其各點的自重應力會遠低於原型中相對應點的應力。因此在普通1g條件下之模型相似性較差，無法正確反映出原型所產生的現象。但若將此模型置於Ng之重力場中，使模型材料加重N倍，則可將模型中有點的自重應力提高到原型中相對應點之應力，其相似性提高，模型就可表現出原型的受力行爲。利用衝擊或離心力均可增加速度力場，但是利用衝擊力得到慣性力之試驗方式甚難控制及維持，且無重複性。而離心力是一種穩定且容易控制的人造重力場，因此離心機(centrifuge)正是提供此人造重力場最方便且穩定可靠的裝置。

離心模型是物理模型的一種，其優點是模型中所用材料和原型的相同，這種試驗方式對大地材料是非常適合的。離心模型試驗的功用，可分爲以下幾類；（1）教學；（2）破壞機制的探討；（3）數值分析驗證；（4）設計參數研究；及（5）特別工程現場研究及模擬。

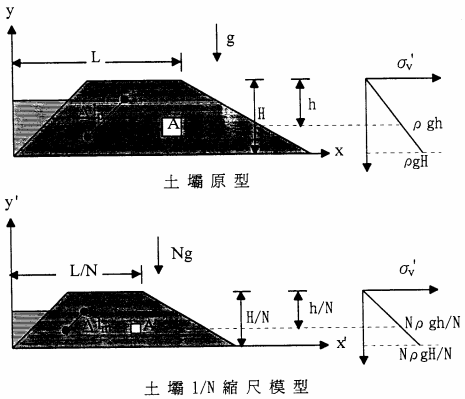
離心模型試驗是利用人造之離心力來模擬重力，將大地工程結構模型的自重提高到與原型相同的狀態。離心模型原理之正確性乃基於以下兩個物理原理：

1.根據近代相對論解釋牛頓的重力與慣性力是等效的，所以原型受地球的重力與模型在離心機上受離心慣性力其物理效應是一致的。

2.材料之力學性質主要與電子雲內之電磁力有關（重力或離心力與電磁力相比微不足道，一般之機械設計並未對處於高速度之機械零件作特殊之考慮），因此在離心力場內土壤之材料性質亦不至於改變。

離心力模型的基本相似定律爲：

1. 若將1/N縮尺模型置於Ng之離心力場中，則自重增加N倍，於是模型中有點所受的應力與原型中相對應點所受之應力是相等的，因此在整個試驗過程中，離心模型中各點之應力路徑均與原形相似，如圖一所示。



圖一　土壩原型與 1/N 縮尺之離心模型分別在 1g 及 Ng 離心力場之示意圖（摘自林俊雄，民國 84 年）

2.當超額孔隙水壓的分佈在原型及1/N縮尺之離心模型中呈現相似狀況時，若模型置於Ng之離心力場中，則模型中孔隙水壓的消散時間爲原型的$1/N^2$倍，由此特性可利用來模擬實際土層數十年甚至數百年之壓密。

經由因次分析，可以用來得到離心模型與原型的相似比，表一爲在相同土壤與相同的流體條件下之離心模型與原型其主要的物

地工技術

理量及相似性之比較。由表中發現除了時間因次由動態黏滯中縮小N倍，而孔隙水壓力消散速率則加快N^2倍不完全相符外，離心模型試驗由其他因次均可得到一致之模擬效果。

表一　原型與模型其主要物理量及相似性之比較（摘自李崇正，民國 80 年）

物理量	原型	Ng 離心力場之離心模型
重力加速度	1	N
材料特性	1	1
尺寸大小		
長度	1	1/N
面積	1	$1/N^2$
體積	1	$1/N^3$
重量	1	$1/N^3$
力	1	$1/N^2$
能量	1	$1/N^3$
應力	1	1
應變	1	1
密度	1	1
時間		
流態黏滯	1	1/N
流體動力	1	$1/N^2$
粘滯流	1	
速　度	1	1
加速度	1	1/N
頻　率	1	N

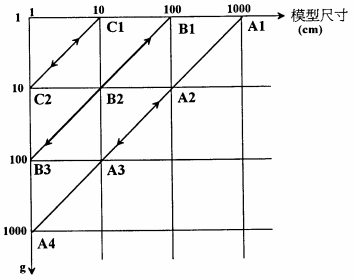
由於離心模型使用和原型相同之材料進行模型試驗，故必須考慮顆粒尺寸與模型間之尺寸效應。但是不同尺寸之模型其顆粒尺寸效應不見得完全相同，因此利用離心模型之試驗結果來解釋原型之力學行為，最好能夠利用原型之觀測資料來加以回饋分析。但是利用此法不實際且有時亦緩不濟急，而利用模型模擬(modeling of models)來檢核是一可行之方法。圖二為模型模擬之觀念，橫軸為模型尺寸，縱軸為試驗時之g值，兩者均為對數座標，由1g試驗條件下，所有模型（包括原型）均可視為原型，例如長1000cm大小之原型即為圖二中之A1。該原型利用1/10縮尺模型（長100cm）或1/100縮尺模型（長10cm），分別由10g及100g進行離心模型試驗（A2與A3點），其中A2及A3不但是原型A1之模型，亦是各自的模型。因此A1A2A3可代表一模型模擬。圖中之C1B2A3代表相同模型尺寸而由不同g條件下之試驗，可作為考慮應力大小對試驗結果的影響。而C2B2A2代表由相同之g條件下但模型之尺寸不同，可用以考慮模型之尺寸效應。C2B2A2與C1B2A3均不視為模型之模擬。一個完整而有用之離心模型試驗，必須考慮模型尺寸效應及應力大小效應，利用模型模擬外插預測原型之力學行為。

總體而論，離心模型試驗具有下列幾項優點：

(1) 可減少模型尺寸

(2) 使模型所承受的應力狀態與原型相同

(3) 使模型內各點之應力途徑與原型相符



圖二　模型模擬之觀念
（摘自林俊雄，民國 84 年）

(4) 可作為數值分析的驗證工具。

由於傳統之物理模型試驗對大地相關的工程模擬有諸多限制，因此尚未普遍應用於工程設計程序中。但離心模型試驗，利用了定義明確的人造重力場，模擬大地應力由模型內分佈情形，將原型依線性比例縮小製成物理模型，由實驗室內以物理模擬探討原型地工結構物之力學行為，成為大地工程模型模擬的最佳力家。

參考文獻

李崇正 (民國80年)，“離心模型試驗由大地工程之應用”，地工技術雜誌，第36期，76-91頁。

李崇正，林忠棟，林俊雄 (民國83年)，“大地工程研究習之新工具：離心模型試驗”，岩盤工程研討會論文集，649-669頁，中壢。

林俊雄 (民國84年)，“離心模型黏土試體之準備與強度標定”，碩士論文，國立中央大學土木工程研究所，中壢。