

建築物受地震之動態模擬

陳柏維, 李政錡, 林明煌

國家中山科學研究院航空研究所結構與材料系統組

摘要

本文主要藉由 Abaqus 有限元素軟體，模擬建築物受地震震動作用之現象。用 Lagrangian 元素網格描述建築物，並在建築物下方建造土壤。利用 Abaqus 內之 Modal Dynamics 模組在土壤底部給予 921 的地震負載，觀察地震負載對建築物的影響情況，包含應力大小、位移和加速度，幫助判斷建築物的設計是否安全。

關鍵字：建築物、地震、Abaqus、Modal Dynamics、Lagrangian

ABSTRACT

The objective of this paper is to simulate the behavior of building earthquake by using Abaqus software. The building was modeled by Lagrangian mesh, and this paper created soil layer under the building, and then applied 921 earthquake load at the bottom of soil layer by using Modal Dynamics. The analysis results would show the stress, displacement and acceleration of the building during earthquake load that could be used for estimating the designs of building are safe or not.

Keywords: Building、Earthquake、Modal Dynamic、finite element method、Lagrangian、Abaqus

一、緒論

在台灣，大小地震發生頻繁，根據中央地質調查所於 2010 年的公告，台灣地區共有 33 條活動斷層，其中第一類活動斷層有 20 條，這些斷層分布在台灣各地，對於鄰近這些新增活動斷層的建築物在興建時都必須做適當的耐震設計，根據工址與斷層線的距離遠近進行斷層調整因子的研究探討，但這些研究大多是 DSHA(定值法)及 PSHA(機率法)的統計分析研究，少有地震相關的 CAE 分析來評估建築物的耐震強度，因此本文使用 Abaqus 來計算

二、結構幾何與材料

2.1 結構幾何

本文所使用之建築物幾何模型如圖 1、圖 2 所示。模型長度為 10 公尺，寬度 9 公尺，高度 6.95 公尺的混凝土建築物，每一道牆面設有 2 個大窗口(3 公尺×

1.2 公尺)，4 個小窗口(2 公尺×1.2 公尺)，窗口間距為 0.5 公尺，邊距為 1 公尺。並於建築物底部繪製一厚度 3 公尺的土層，用以模擬建築物在土層之上的情況。

建築物的一樓與二樓地面分別設定一裝備安裝點(圖 3 和圖 4)，用以觀察放至在地面上的裝備所受到的加速度值，可以提供給建商做相關的耐震設計。

2.2 材料參數

在本文的分析模型中有混凝土建築物與土壤層兩種材料；混凝土的材料參數如表 1，而土壤的材料參數選用是根據表 2 與表 3[2]，我們可以看出土壤的 Young's modulus 與 Poisson's ratio 範圍依據砂質不同數據變動很大，因此本文材料參數選用一個中間值，Young's modulus 為 $6 \times 10^7 \text{Pa}$ 、Poisson's ratio 為 0.35。

三、結構分析設定與分析結果

3.1 模態分析設定

因本文使用模態疊加的方式，因此執行地震分析之前需要先執行模態分析，分析流程如圖 5。而 CAE 程式會由模態分析之中計算出結構各個模態分析的振動模式來當做後續的地震分析的分析依據。模態分析設定為將土壤地層設定所有方向拘束(圖 6)，並計算 100 個模態。

3.2 地震分析設定

而地震分析的分析步設定也要根據模態分析計算出來的結果判斷每個模態的貢獻度，由 dat 檔中可以找到廣義質量，並繪製三個方向的模態-廣義質量的折線圖，由折線圖(圖 7)中可以看出在第 15 個模態之後的模態貢獻度都不高，第 15 個模態的頻率值是 21.849Hz，因此時間步的設定為 $1 \div (21.849\text{Hz} \times 5) = 9.154 \times 10^{-3}$ (一個週期取 5 個點)。

而地震負載則根據文獻選用一近似 921 地震的負載，施加在土壤的底部，921 地震東西向負載與南北向負載如圖 8 與圖 9，分別設定為 X 軸方向與 Y 軸方向負載。

同樣的將邊界設定為將土層底層設定所有方向拘束，並且在土層的側邊加入彈簧來模擬四周土層的相互效應，彈簧的彈性係數根據文獻資料設定為 $1.6 \times 10^8 \text{Pa}$ ，如圖 10。

四、分析結果

4.1 建築物結構強度評估

根據地震分析結果，建築物的應力大多集中在窗框的邊角上，利用 Abaqus 的 Create Field Output From Frame 的功能可以找到最大應力值為 $3.248 \times 10^7 \text{Pa}$ (圖 11)，由於混凝土的極限強度為 $5 \times 10^6 \text{Pa}$ ，故 Safety Margin 為 -0.846，判斷此建築物已經損壞，無法承受 921 地震。

4.2 建築物內部裝備穩定度評估

要評估裝備位置是否能穩定，我們可以用加速度值來判斷；根據分析結果，可

看出 1 樓與 2 樓安裝點的 X 方向加速度最大值位置在 2 樓，約為 3.8m/s^2 (圖 12)，Y 方向加速度最大值位置在 2 樓，約為 9.8m/s^2 (圖 13)，Z 方向加速度最大值位置同樣發生在 2 樓，約為 4.7m/s^2 (圖 14)，因此貴重的裝備必須在耐震設計上需能承受 9.8m/s^2 以上的加速度值，讓裝備不傾倒與損壞。

五結論與未來展望

本文提供一個分析的流程方法，可以計算地震發生時建築物所承受的應力值與加速度值，這些數值可以提供給建商當作，當作一個加強結構或減震設計的參考。

在分析的部分其實有許多需要精進的地方，例如建築物結構不夠擬真，考慮到電腦的計算能力，本文所使用的建築物十分簡單、網格容易，用以縮減電腦計算所花費的時間，未來若有可能，希望可以計算真正的建築物的地震分析。

另外是材料參數的不確定性，混凝土的材料參數會根據混和的配方不同而有所不同，在建築物中也會隨著建築物內的鋼筋數量多寡而改變強度，因此混凝土的材料參數只能用材料庫中內建的數值；而土壤的材料參數更是因為土壤種類的不同而有所不同，因此也只能使用一個中間值來當作本文的土壤參數，這些部份都是可以再精進的。

台灣的地震發生頻繁，歷史上也出現過許多讓人心碎的事件，希望可以透過本文的分析，讓台灣的建築物更加牢固，讓我們的生命與財產能更有保障。

六、參考文獻

- [1] 地震耐震設計之進斷層調整因子研究成果報告, 2011.
- [2] <http://support.prokon.com/portal/kb/articles/2-elastic-properties-of-soils>
- [3] 中華民國內政部營建署全球資訊網

十、表格

Material	Density	Young's modulus	Poisson's ratio	Tensile Ultimate Strength
混凝土	2300Kg/m ³	3×10 ¹⁰	0.18	5×10 ⁶

表 1 混凝土之材料參數

Soil	E(Mpa)
Clay	
Very soft	2 to 5
Soft	5 to 25
Medium	15 to 50
Hard	50 to 100
Sandy	25 to 250
Glacial till	
Loose	10 to 150
Dense	150 to 720
Very dense	500 to 1440
Loess	15 to 60
Sand	
Silty	5 to 20
Loose	10 to 25
Dense	50 to 81

表 2 土壤楊氏系數表[2]

Soil	Poisson's ratio
Clay, saturated	0.4 to 0.5
Clay, unsaturated	0.45 to 0.5
Sandy clay	0.3 to 0.4
Silt	0.2 to 0.35
Sand, gravelly sand	0.1 to 1.0
Rock	0.1 to 0.3
Loess	0.1 to 0.3

表 3 各種土壤之 Poisson's ratio[2]

十一、圖片

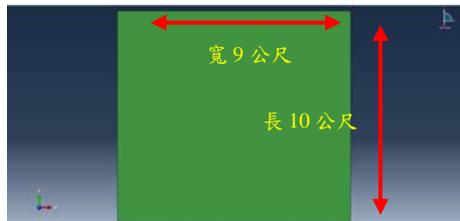


圖 1 建築物上視圖

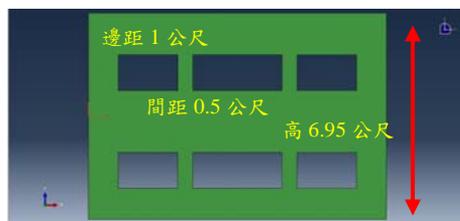


圖 2 建築物側視圖

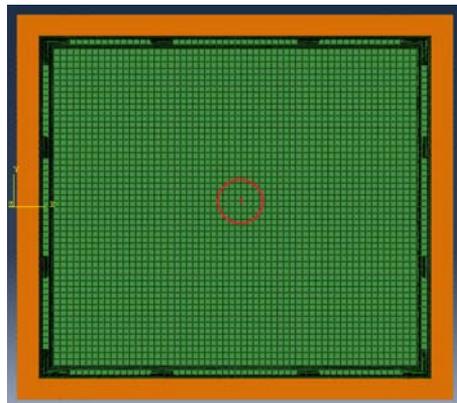


圖 3 建築物 1F 設備安裝位置圖

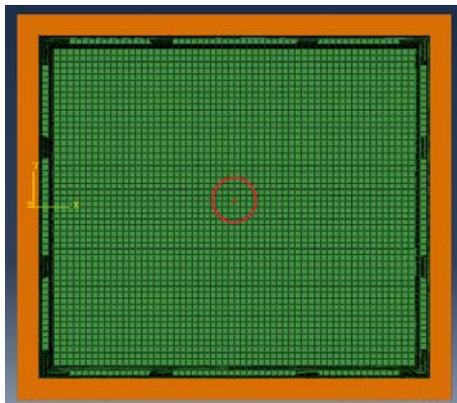


圖 4 建築物 2F 設備安裝位置圖

分析流程

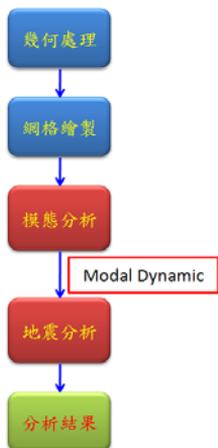


圖 5 分析流程圖

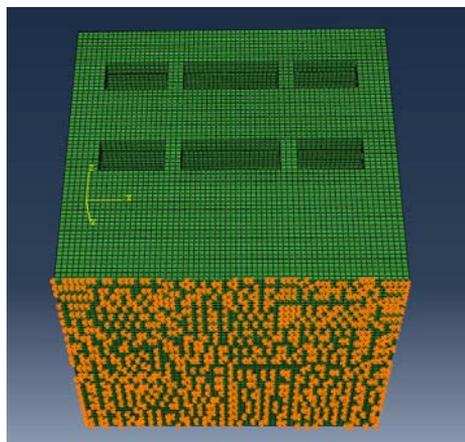


圖 6 土壤底部拘束所有自由度

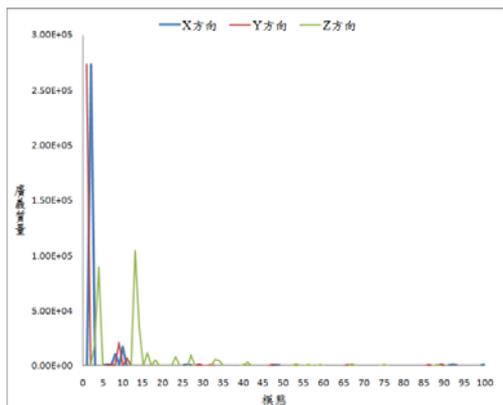


圖 7 模態貢獻程度

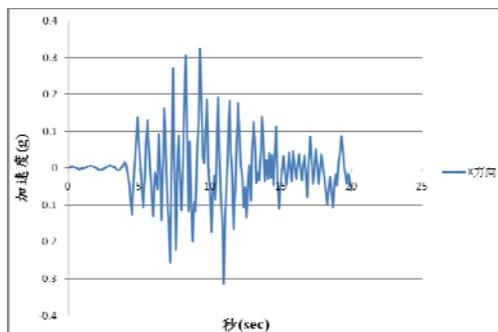


圖 8 X方向負載

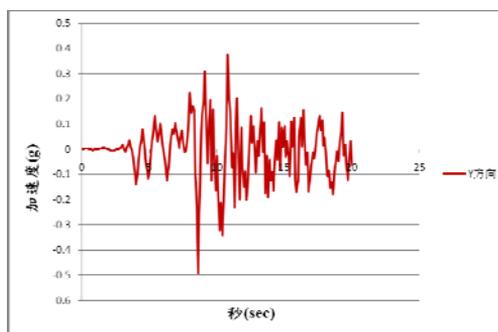


圖 9 Y方向負載

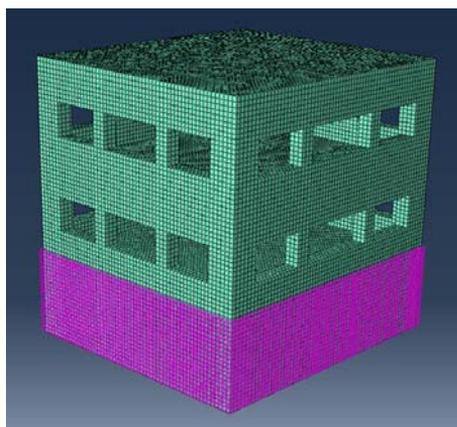


圖 10 土壤側邊加入彈簧

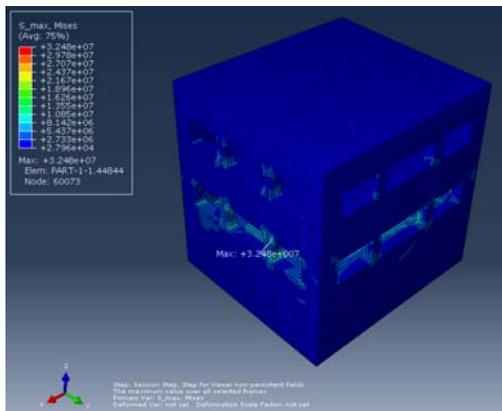


圖 11 地震對建築物產生之最大應力值

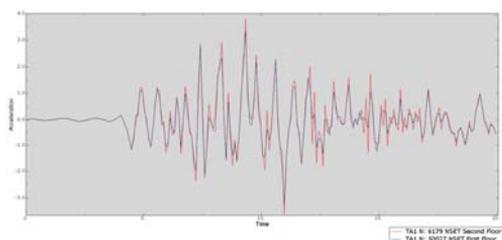


圖 12 1F&2F 裝備安裝點 X 方向加速度值

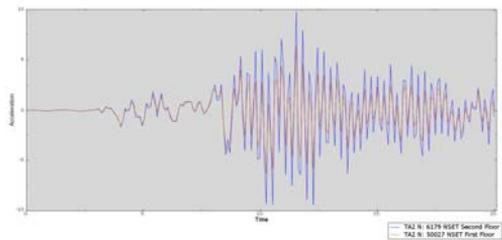


圖 13 1F&2F 裝備安裝點 Y 方向加速度值

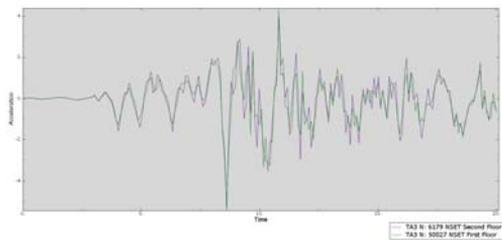


圖 14 1F&2F 裝備安裝點 Y 方向加速度值