

古蹟大木構架地震行爲之探討 —以永靖餘三館爲例

莊財福* 陳志勇** 林裕淵*** 陳忠偉****

*明道管理學院環境規劃暨設計研究所助理教授

**明道管理學院環境規劃暨設計研究所碩士

***國立嘉義大學土木與水資源工程學系助理教授

****國立成功大學資源工程學系博士班研究生

摘 要

古蹟歷史建築是經過時間的考驗留存下來的建築物，具有見證歷史及文化的價值。台灣位於地震頻繁區域，對於地震的威脅，時常令人擔憂。依據文化資產保存法指定的古蹟中，結構主體屬於傳統木構架之比例約佔六成，因此對於傳統建築大木構架的耐震行爲探討就顯的十分重要。

爲了深入探討傳統大木構架在地震作用下之行爲，本研究以三級古蹟永靖餘三館大木構架爲例，進行深入分析探討。首先進行現場調查，建立構架之尺寸，進而進行材料性質、幾何條件、邊界條件之假設。並針對構架之各節點做合理的模擬，再運用有限元素法軟體SAP2000，進行整體架構在地震力下之行爲反應。

關鍵字：古蹟、大木構架、地震、餘三館

*通訊作者. Tel. : 04-8782657

E-mail address : tfchuang@mdu.edu.tw

壹、前言

古蹟不僅見證歷史的價值，更是一個國家重要的文化資產，其保存的科學技術表現，亦是一個國家致力於文化傳承延續的表徵。台灣地區主要古蹟建築中，主要結構系統屬於木構造建築的數量很多，主要原因為台灣地區盛產木材且木材取得容易，因此一直成為台灣傳統建築營建體上被廣為選用之建材。

大木構造為傳統建築之結構系統，由柱、樑、檁、枋等構件採用榫卯結合形成框架來承受屋面、樓面的荷載以及風力、地震之外力，但時間及年代的因素遭受到老化、腐蝕、氣候等問題的影響，所造成的構架損壞將產生結構安全性的疑慮，當原有荷重與外力大於構架本身之極限荷重時，大木構架就會產生損壞及變形。

由於近年台灣地區的天災造成建築物嚴重的損毀，對於台灣地區木構架的古蹟建築物也造成不小的傷害。因此對於台灣地區大木構架修護與補強有相當的重要性。

本研究選擇傳統建築之大木構造作為本文之研究對象，主要原因有下列二點：

- 1、目前執行古蹟修復工程案例中，以傳統建築樣式案例為多，再者其主要結構屬木構造建築約佔 64% (徐明福, 1998)，因此對於此類型建築耐震能力的研究是現階段刻不容緩的工作。
- 2、台灣傳統建築主要結構由傳統大木構架組成。過去的調查研究，著重在磚造牆體的破壞檢測與構件修復，關於大木構架的地震行為較少提及。

貳、文獻回顧

台灣傳統木構架的來源乃是傳承自大陸閩南、粵東之原鄉建築風格，在細部處理上則是因應不同的環境產生轉化。臺閩地區至目前為止，研究大木構架的文獻約可歸納為四類，分述整理如下：

1、構造機能

黃斌 (2003) 以大木結構的形式、構件的類型、節點的關係和榫卯形式尺寸為主軸，在國內研究方式方式是從實際解體實例調查，所進行接點型式與榫頭型式之調查整理，並由各構造所具有的榫接型式中歸納榫接原型，並了解分析各榫接原型的構造機能。尤其特殊之處，讓研究論文中，首次以電腦 3D 透視方式來記錄疊斗式大木構架的各個節點型式，並以區間為一單元作完整表達。這種研究方向，可讓後續研究者，真正了解大木構架的組構關係和構造機能。

在早期學者梁思成 (1962) 也將不同種類的木構架，作詳細分類和紀錄測繪於圖集中。並將中國唐宋斗拱認為是構造機能為主，而明清斗拱認為是裝飾性，作一明確論述。因此，大木構架的構造機能由盛而衰說，逐漸演變至今的裝飾雕刻，可從其圖集中比較一二。

2、裝飾型式

李乾朗 (2003) 和林會承 (1995) 中，簡明地以照片和手繪圖，來介紹木構造的題材裝飾，讓人容易了解，每個地方和匠師派列所蘊育出來的建築型式，讓有興趣了解傳統大木構架的人士，能有一輪廓性的整體概念，也讓後續研究歷史建築和古蹟的人清楚了解到，台灣現有僅存的大木

構架。

趙廣超(2000)簡明地以圖例說明了，在中國幾千年來，使用木頭來支撐他們的家園，由此可見中國建築史幾乎就是整個木頭工藝發展史。凡可以應用在木頭上的技術，幾乎都可以運用在建築上，同樣的建築的種種技術都可以應用在其他木材工藝上。

在李乾朗(2003)古建築的探討分爲兩大類，第一類依建築文化的來源背景，分爲漢文化傳統建築、近代建築、日本式建築及原住民建築，第二類是作者多年對台灣古建築的觀察，所精挑的經典建築，包括台灣建築的常用詞條及作者多年收集的匠師用語，爲了增加詞條的易懂性，配上插圖說明。詞條係按各建築類型的特色，分類、分項排列，每一類詞條前均附有一篇簡短的總說。

3、震災調查

從九二一地震過後，木構造歷史建築震害的情形非常嚴重，很多的震災調查研究，都有作一詳細紀錄分析，以黃斌(2001)了解疊斗式大木構架破壞的情形，有柱腳和柱礎石脫開，屋面嚴重下陷甚至倒塌，木構件損壞裂痕現象等。一一作案列分析介紹，並依據震災調查資料，建議木構造修復與補強之方式。

蔡明哲(1999)文中以超音波檢測法實際應用於國內古蹟木結構損壞調查的適用性，先後對損壞之定位及新料檢測進行研究，次而探討國內對損壞木構件維修補強工法的利弊。

4、力學實驗

閻嘉義(1993)爲較早期真正從事實驗的研究計劃，其內容將力學試驗、結構

分析與非破壞性檢測互配合，證明研究結果與步驟應用在傳統木構架力學行爲安全性預測系統是爲可行，推廣至實體構架的現場試驗。

以大木結構的結構安全、斗拱結構行爲之研究，在國內以國立成功大學建築學系中，李萬秋、除明福、許茂雄(1998)等之研究則主要在建立斗拱系統結構力學定量分析之方法，並以宋《營造法式》和清《工程做法》中各建築爲例，針對其不同斗拱系統作垂直荷重之分析與應力的檢討，再輔以實例作定性的比較。研究中將斗視爲結構上的支承點。依斗的不同形，其支承點的特性可視之如下：

- (1)順身開口之斗支承者，可視爲輓軸支承(roller)。
- (2)由十字開口之支承者，可視爲鉸支承(hinge)。
- (3)由縱橫兩向拱或方樺卯在一起者。可視爲鉸支承。

另外，依據力量的傳遞是走最短途徑，所以分析應力時，垂直建築面的縱向水平構件(如華拱、下昂)視爲主要的承重構材；而橫向水平構件(如慢拱、瓜子拱、令拱)僅考慮其自重之影響，而不考慮其傳力之行爲。比較分析結果顯示，柱間斗拱系統對傳遞力量與輔助桁檁支承的重要性。尤其一般認爲清式平身科僅爲裝飾性構件，且多數挑簷桁的荷重由挑間檁支承，是錯誤的觀念。

以穿斗式木結構的構件各種接點調查分析及力學特性之研究，在國內以徐明福(2004)中，由此研究實驗成果可知鉤逗樺及踏步燕尾樺接點的弱點相當明顯，除了遲滯模式不對稱以外，承受正向彎矩的

能力亦相當的弱，因此宜針對鉤逗梓及踏步燕尾樑這個部分的弱點進行補強，而補強的重點除了提升接點的旋轉勁度以外，還需要考慮接點在承受往覆載重時的遲滯模式及韌性等，以期建築物在承受地震力作用下時可以承受更大的能量。

參、大木構造簡介

大木建築的結構原理與堆積木差不多，將四根柱子豎起，加上蓋頂後便可形成一間房屋的雛形。除了經濟實用外亦得顧及身份氣派，木建築的柱樑結構，爲了保持木材通風及便於更換構件，所以很多建築物會蓄意將結構外露，目的就是展示結構上的成就。由於受到不同地域氣候，木材會有不同的處理方式，使每一種不同的生活習慣都足以發展成爲獨立的結構形式。臺灣傳統木構架的構成方式大體上可分穿斗式、抬樑式與疊斗式，以下簡單介紹主要的結構形式：

(A)穿斗式構架：

穿斗式構架是中國古代木構建築的一種重要形式，其主要特徵是用較密集的柱

子支撐上部的樑架，承托屋面椽子與望板的檁子直接放在柱頭上，柱頭之上不設大梁及疊置的梁架，只在柱間使用一些穿枋，以保證柱間的橫向聯繫。

每一棟下皆有一柱，因此柱數多，柱距短。樑材水平貫穿柱列，有如編網。其特點是用材可較細，有時可用竹材，結構穩定而堅固，中國南方普遍使用。(四川盛產竹，故多穿斗式，穿斗式之起源或與竹材使用有一定之關係)。但其缺點是柱數過多，造成走右兩間相通之障礙。

穿斗式建築的柱子間不用樑，而是用穿枋把立柱連接起來，柱徑較小，柱間較密。這種結構用在房屋的正面會限制門窗的開設，若是用在房屋兩側的山牆，則具有良好的抗風性，由於豎架較靈活，一般竹架棚亦會採用這種結構方式。由於穿斗式柱子較密，沒有抬樑式所形成的內部空間開闊；穿斗式構架可以採用比抬樑式小的用料，材料更容易獲得而且可以節省木材。

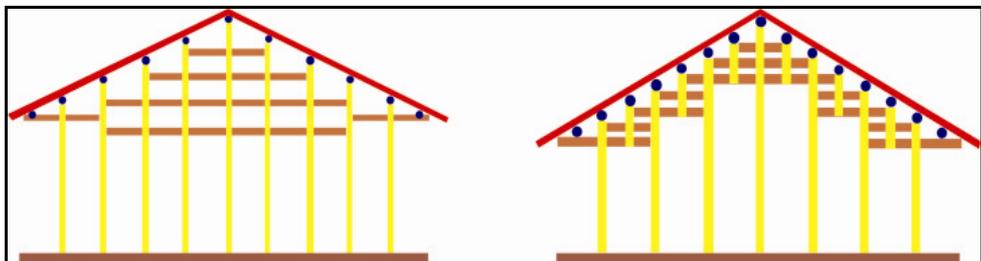


圖 1. 穿斗式構架示意圖

(B)抬樑式構架：

是中國古代木結構的一種主要形式，大多應用於官式建築與北方民間建築中。其基本結構特徵是沿房屋進深方向，柱子支撐大梁，大梁上再放置較短的梁，這樣層層疊置而成的樑架，再放置在柱頂或柱網上的水平鋪作層上。柱上置樑，樑上在置短柱(侏儒柱)短柱上再置樑，樑上再置短柱，依此類推，構成一組樑架。因此大部分的樑條是架在侏儒柱上的，有利於室內空間之連續性，殿堂建築多用之。弱點是在樑架交接處穩定性不夠，因此需要斜

撐構件叉手、托腳或駝峰來補強。

樑架上的樑層層縮短。每層之間墊置較短的蜀柱(或童柱)及駝峰(或坨墩)。最上層樑上板的中部，立蜀柱(或脊瓜柱)或三角形的大叉手，形成一個類似三角形屋架的結構形式。是一種可減少室內豎柱的方法，結構比穿斗式穩重，屋頂的重量巧妙地落在樑樑上，然後再經過主力柱傳到地上。這種結構方式用柱較少，由於承受力較大，耗料反而比穿斗式更多。有時穿斗式與抬樑式構架會同時應用。

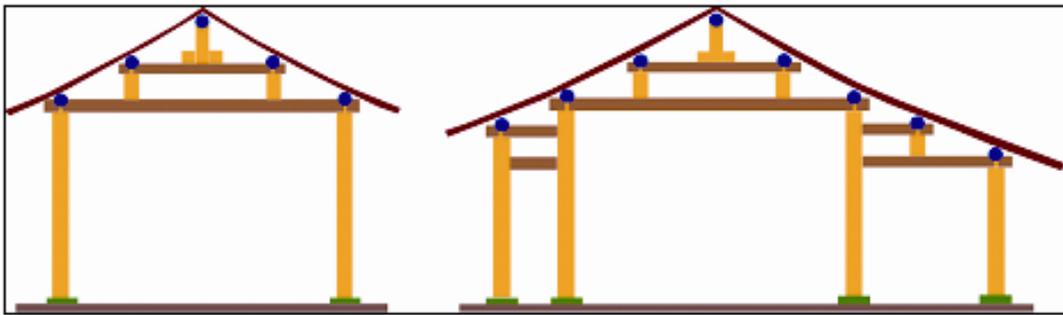


圖 2. 抬樑式構架示意圖

(C)疊斗式構架：

疊斗式構造方式與抬樑式構架相式，但其裝飾意味較濃。疊斗式構架為我國南方所特有，尤以本省最多。此種構架據林會承推論可能像「廳堂式」作法演變而成，理由是其通樑上之構件相似，梁枋上因榫卯太多，故以數斗相疊，斗與斗之間有穿材(如束木或看隨)，如此可代替瓜柱，通常疊三斗至五斗，也有疊至七斗。

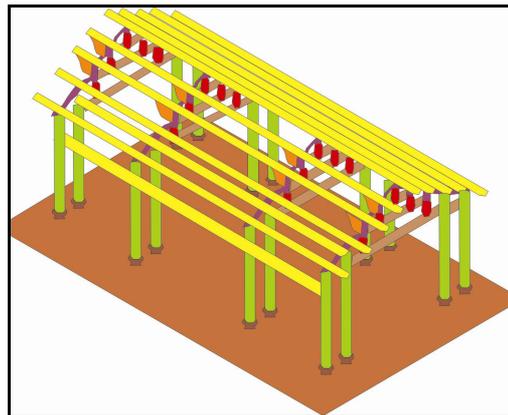


圖 3. 疊斗式構架示意圖

肆、餘三館簡介

本文主要以「三級古蹟彰化永靖餘三館」為例，來研究台灣傳統建築穿斗式大木構架之結構行為。餘三館正堂進深約為 11.57m，面闊向約為 28.5m。正廳有中港間(明間)及左右小港間(次間)，共三開間(圖 4)。餘三館建築，坐西朝東偏南，格局

是傳統三合院制，混合閩南及粵東傳統建築特色，由正身、軒、內外護龍、門樓及內外埕建構而成。台基部份均用卵石灰泥砌築，牆的作法則以「土塊磚牆」及「竹編灰泥牆」為主，另有部分為「斗砌空心牆」。屋頂形式除「軒亭」為歇山式外，其餘均為硬山之馬背式。

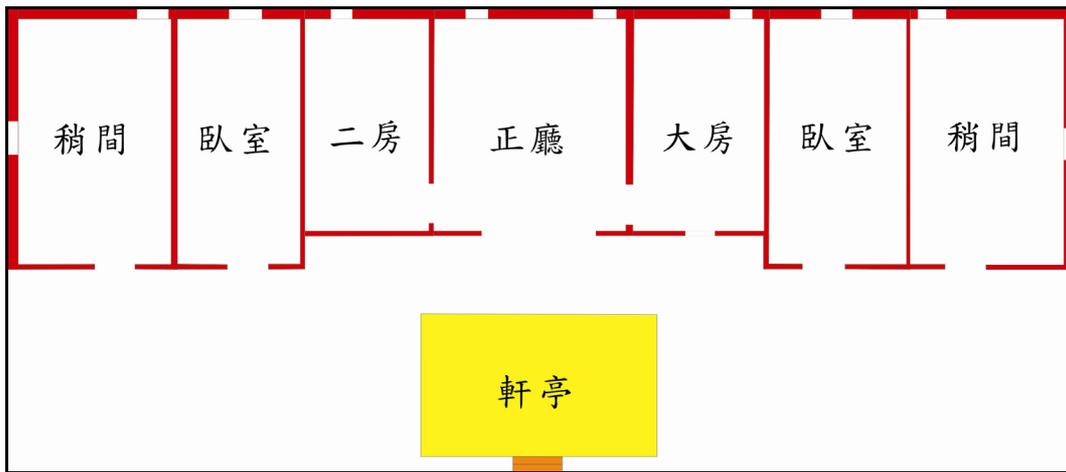


圖 4. 餘三館平面

餘三館之現況調查

表 1. 餘三館之現況調查

建築物名稱	永靖餘三館	國定第三級古蹟 (國 5-1~5-3)
地址	彰化縣永靖鄉中山路一段 451 巷 2 號	
興建年代	清光緒 15 (1889) 年	
建築樣式	閩南粵東式建築 (單進四護龍帶四垂亭的三合院建築)	
結構	木構造、土塼牆、斗砌磚牆	
用途	宅第	
所具歷史、文化、藝術、科學、紀念或其他學術價值	紀念性上，餘三館為潮州府饒平縣陳氏後裔在彰化永靖所建的宅第，也是清代大租戶盛行時期所建之大租戶住宅，由於同治年間，陳家的陳義方平定戴潮春之亂有功，因此前後在附近建了不少宅第，餘三館即其中最具名望的一座。	
古蹟公告日期	民國 74 年 11 月 27 日	

資料來源：本研究整理

伍、研究方法與流程

本文的研究方法與流程，主要分為三個階段。首先蒐集研究範圍之相關資料與數值分析相關文獻，由實際古蹟案例進行調查，依據研究蒐集之基本資料，運用結構分析軟體 SAP2000 進行分析，建構永靖鄉餘三館之數值模型，加入地震之外力因素後，分析其受應力作用後之行為，並與理論相互印證，其方法如下：

研究方法：

- 1、相關文獻整理：先從文獻及相關論文中閱讀，了解傳統建築大木構架的樣式藉此確定木構件的位置及關聯性，方便做落架解體調查及構架組裝程序的研究方向及依據。
- 2、現場構件調查記錄：利用相關繪測工具於彰化縣永靖鄉餘三館，詳加觀察記錄，並將其構件的尺寸、整體架構，一一記載下來，藉此分析大木構架的結構行為。
- 3、結構行為分析：先對構架幾何性質、材料性質進行調查與假設，並對木構架各結點作合理的假設模擬，再利用有限元素法程式 SAP2000，探討垂直載重和地震力下之構架行為分析探討。

陸、力學分析基本假設

一、材料性質：

木構架之材料性質

- (1) 質量訂為 436.8 kg/m^3 ，重量為 4280.64 N/m^3
- (2) 彈性模數訂為 $7 \times 10^8 \text{ N/m}^2$

(3) 柏松比(Poisson's Ratio)訂為 0.3

(4) 熱膨脹係數訂為 1.170×10^{-5}

山牆（磚牆）之材料性質

- (1) 質量訂為 1900 kg/m^3 ，重量為 18620 N/m^3
- (2) 彈性模數訂為 $0.3233 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$
- (3) 柏松比(Poisson's Ratio)訂為 0.22
- (4) 熱膨脹係數訂為 0.9×10^{-6}

二、屋面靜載重：

餘三館正身與軒亭大木構架系統之垂直載重，主要來自於中脊、垂脊和屋面瓦作三大部份總重量和大木構架本身重量，本文以永靖餘三館為例，來蓋估計算整體屋面的靜載重

(一)中脊重量計算：

(1)屋頂中脊重量計算

假設壓磚與尺磚的單位重為 1900 kgf/m^3

$0.5\text{m 高} \times 28.5\text{m 長} \times 0.15\text{m 寬} \times 1900 \text{ kgf/m}^3 \times 100 = 406125 \text{ kgf}$

(2)軒亭中脊重量計算：

假設壓磚與尺磚的單位重為 1900 kgf/m^3

$0.5\text{m 高} \times 4.8\text{m 長} \times 0.15\text{m 寬} \times 1900 \text{ kgf/m}^3 \times 100 = 68400 \text{ kgf}$

(二)垂脊重量計算：

(1)屋頂垂脊重量計算：

假設壓磚與尺磚的單位重為 1900 kgf/m^3

$0.5\text{m 高} \times 7.4575\text{m 長} \times 1/2\text{B 磚} (0.113\text{m}) \times 1900 \text{ kgf/m}^3 \times 100 = 80056.26 \text{ kgf}$

$80056.26 \text{ kgf} \times 4 = 320225.05 \text{ kgf}$

(2)軒亭垂脊重量計算：

假設壓磚與尺磚的單位重為 1900

$$\begin{aligned} & \text{kgf/m}^3 \\ & 0.5\text{m高} \times 5.1\text{m長} \times 1/2\text{B磚}(0.113\text{m}) \\ & \times 1900 \text{ kgf/m}^3 \times 100 = 54748.5 \text{ kgf} \\ & 54748.5 \text{ kgf} \times 2 = 109497 \text{ kgf} \end{aligned}$$

(三)屋瓦作重量計算

- (1)假設板瓦與望磚 (同紅磚材料)的單位重為 1900 kgf/m^3
- (2)板瓦：長 22cm ，寬 25cm ，厚 0.7cm ，每塊重 0.7217kgf
望磚：長 24cm ，寬 15.5cm ，厚 1cm ，每塊重 0.7689kgf
- (3)桷木：長 745.75cm ，寬 10.5cm ，厚 3cm ，間距 18cm ，單位重為 387 kgf/m^3

屋面瓦作(面寬 2850cm ，長 745.75cm)：

1.屋子部分(面寬 2850cm ，長 745.75cm)

- (1)望磚 $(2850\text{cm} \times 745.75\text{cm}) / (24\text{cm} \times 15.5\text{cm}) = 5713.4$ 塊
 $5713.4 \text{ 塊} \times 0.7689 \text{ kgf} = 4393.03326 \text{ kgf}$
- (2)板瓦 $2850\text{cm} \times (420.39\text{cm} + 352.36\text{cm}) = 2202337.5 \text{ cm}^2$
 $[2202337.5 \text{ cm}^2 / (22\text{cm} \times 25\text{cm})] \times 3 = 12012.75$ 塊
 $12012.75 \text{ 塊} \times 0.7217\text{kgf} = 8669.601 \text{ kgf}$
- (3)桷木 $2850\text{cm} / 28.5\text{cm} = 100$ 支
 $100 \text{ 枝} \times (7.4575\text{m} \times 0.105\text{m} \times 0.03\text{m}) \times 387 \text{ kgf/m}^3 = 909.1065 \text{ kgf}$

2.屋子連接軒亭部分(面寬 480cm ，長 79cm)

- (1)望磚 $(480\text{cm} \times 79\text{cm}) / (24\text{cm} \times 15.5\text{cm}) = 101.935$ 塊
 $101.935 \text{ 塊} \times 0.7689\text{kgf} = 78.378 \text{ kgf}$

$$\begin{aligned} (2)\text{板瓦 } 480\text{cm} \times 79\text{cm} &= 37920 \text{ cm}^2 \\ [37920 \text{ cm}^2 / (22\text{cm} \times 25\text{cm})] \times 3 & \\ &= 206.836 \text{ 塊} \end{aligned}$$

$$206.836 \text{ 塊} \times 0.7217\text{kgf} = 149.2738 \text{ kgf}$$

$$\begin{aligned} (3)\text{桷木 } 480\text{cm} / 28.5\text{cm} &= 16.842 \text{ 支} \\ 16.842 \text{ 枝} \times (0.79\text{m} \times 0.105\text{m} \times 0.03\text{m} \times 87 \text{ kgf/m}^3) &= 16.21978 \text{ kgf} \end{aligned}$$

3.軒亭部分(面寬 480cm ，長 370cm)

$$\begin{aligned} (1)\text{望磚 } (480\text{cm} \times 370\text{cm}) / (24\text{cm} \times 15.5\text{cm}) &= 477.41935 \text{ 塊} \\ 477.41935 \text{ 塊} \times 0.7689 \text{ kgf} &= 367.08877 \text{ kgf} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (2)\text{板瓦 } 480\text{cm} \times 370\text{cm} &= 177600 \text{ cm}^2 \\ 177600 \text{ cm}^2 / (22\text{cm} \times 25\text{cm}) &] \times 3 \\ &= 968.7272 \text{ 塊} \end{aligned}$$

$$968.7272 \text{ 塊} \times 0.7217\text{kgf} = 699.13 \text{ kgf}$$

$$\begin{aligned} (3)\text{桷木 } 480\text{cm} / 28.5\text{cm} &= 16.842 \text{ 支} \\ 16.842 \text{ 枝} \times (3.7\text{m} \times 0.105\text{m} \times 0.03\text{m}) \times 387 \text{ kgf/m}^3 &= 75.966 \text{ kgf} \end{aligned}$$

4.整體平均靜載重計算

$$\begin{aligned} (1)\text{餘三館正身：} & \\ 740565.662 \text{ kgf} / (11 \times 2850\text{cm}) & \\ &= 23.6225 \text{ kgf} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (2)\text{餘三館軒亭：} & \\ 179039.184 \text{ kgf} / (6 \times 480\text{cm}) & \\ &= 62.16638 \text{ kgf} \end{aligned}$$

三、基本假設

1、定義桿件斷面：木構架桿件的斷面共可分為二類：

(1)圓形斷面：包括柱、楹、通、壽樑和瓜筒等。

(2)矩形斷面：包括束、束隨、斗、拱和枋等。

2、木構件模擬條件：

(1)柱礎石和點金柱與地面相接處假設

- 成固定端。
- (2)水平木構件(通和壽樑)與垂直木構件(柱)相接和點皆假設為剛接。
 - (3)楹的兩端接和點以鉸接來模擬。
 - (4)所有材料具等向性和均質性。
 - (5)電腦模擬木構件，以構件截面之中心線為作用力線。
 - (6)束，形狀類似彎月形，模擬時視為二疊斗間直線構件。
 - (7)束隨、通隨和雀替由於透空之雕飾作法，裝飾性質居多，使得木構件本身有效截面積大減，不視為具有結構作用。
 - (8)瓜筒視為短柱的一種，上下端模擬

為鉸接(Hinge)。

- 3、將牆體與地面相接處視為固定端。分析過程中，忽略建築物與土壤間之互制行為。
- 4、屋面中脊、垂脊的主要材料視為磚造。
- 5、模型的阻尼比(Damping Ratio)假設為0.03。

四、模型建構：

依據上述的模擬條件和載重計算結果，並參考永靖鄉餘三館實際現況，建構出本文欲電腦模擬的大木構架之結構分析模型(圖6-圖9)，其相關圖說如下：



圖 6.餘三館外觀



圖 7.穿斗式大木構



圖 8. 餘三館電腦分析模型

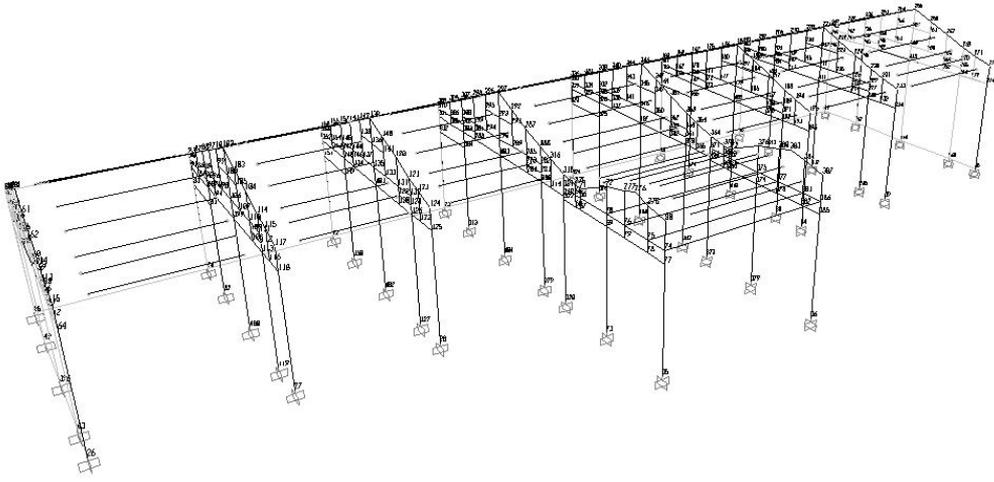


圖 9. 電腦分析模型之節點編號

柒、加速度歷時分析

本文輸入之地震歷時資料，採取彰化縣員林國小(TCU110)測站於 921 地震所測得之數據(圖 10~圖 12)。分別為東西向、南北向和垂直向，總共 18000 筆資料，每

筆資料間格 0.005 秒，合計 90 秒。其中東西向最大地表加速度為 187.64927gal (圖 10)，南北向最大地表加速度為 178.359514gal (圖 11)，垂直向最大地表加速度為 116.376108gal (圖 12)。

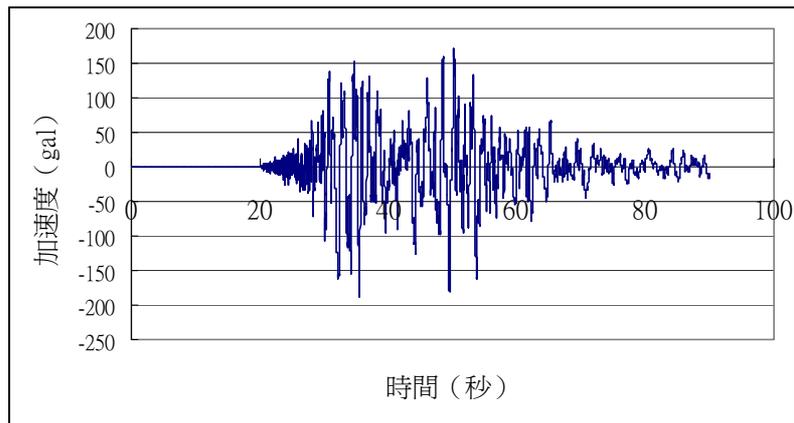


圖 10. 東西向自由場加速度

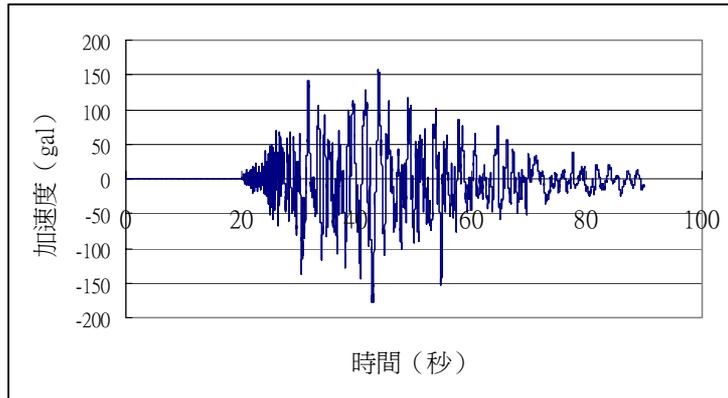


圖 11. 南北向自由場加速度

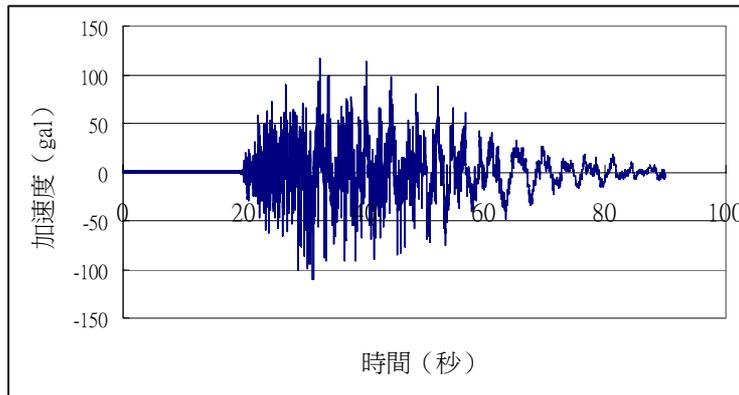


圖 12. 垂直向自由場加速度

一、大木構架結構行為整體描述：

本文選擇9處代表性節點(圖 13~圖 14)來比較最大相對位移反應和絕對加速度歷時，經由動力分析，可得到各節點在地震作用下各時間點之位移、速度、加速度資

料。由相對位移反應可計算該節點的位移量，判斷結構是否有破壞之虞；由絕對加速度歷時可計算該節點對地表加速度之效應。

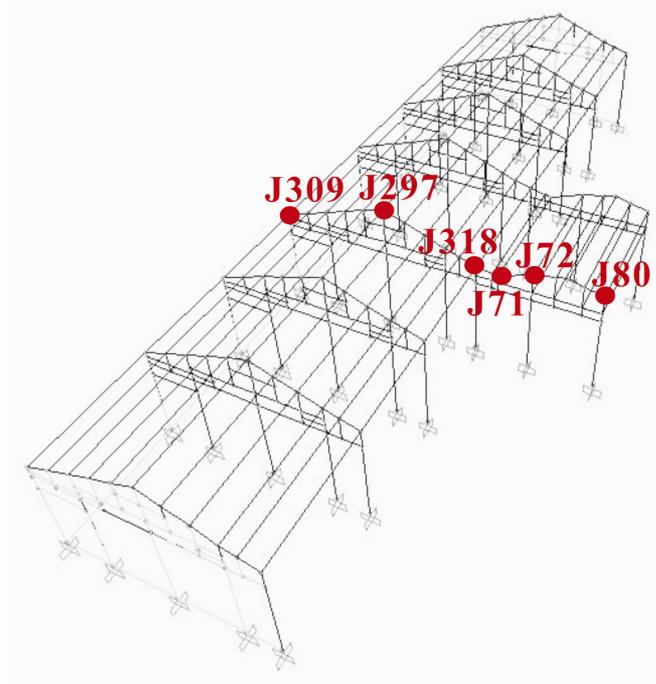


圖 13.正廳與軒亭木構架選取節點位置

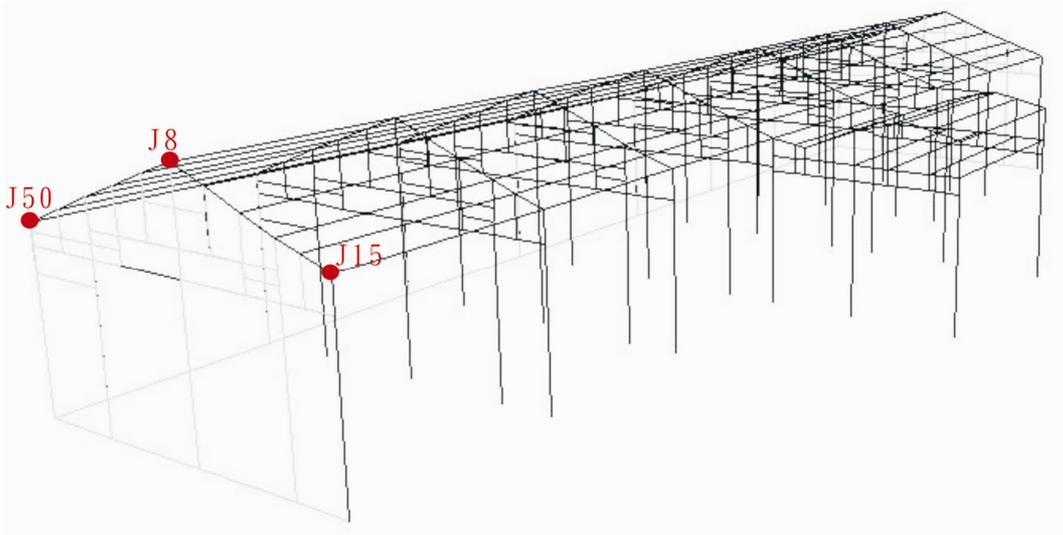


圖 14.稍間山牆附壁木構架選取節點位置

二、東西向位移結果：

1、圖 15~23 (J309-J15) 表示選取節點之東西向相對位移歷時。比較上述圖形可

知正廳與軒亭 (圖 15~20) 之相對位移結果相近，最大位移均大約在 0.026cm 左右(表 2)。這表示正廳屋頂之木構架

相對變形量甚小。

- 2、稍間相對位移之結果如圖 21~23(J50、J8、J15)，比較上述圖形可知 J50 之最大相對位移約為 0.00018cm，J8 之最大相對位移約為 0.000063cm，而 J15 之最大相對位移約為 0.0000455cm。若與正廳之結果相互比較，可知稍間屋頂之木構架相對變形量較正廳為大。
- 3、若比較正廳中脊楹（節點 J297）與稍間中脊楹（節點 J8）的相對位移，可知節點 J297 之最大相對位移約為 0.02897cm（表 2），而節點 J8 之最大相對位移約為 0.000063cm（表 2）。可知正廳之東西向擺動量，較稍間為大，推測其原因為兩側山牆的勁度，發揮了作用。

三、東西向加速度結果：

- 1、圖 24~32（J309-J15）表示選取節點之東西向加速度歷時。比較上述圖形可知正廳與軒亭（圖 24~29）之加速度結果相近，最大加速度值均大約在 120gal 左右（表 2）。
- 2、稍間加速度之結果如圖 4-21~4-23（J50、J8、J15），比較上述圖形可知 J50 之最大絕對加速度約為 0.384gal，J8 之最大絕對加速度約為 0.134gal，而 J15 之最大絕對加速度約為 0.095。
- 3、若比較正廳中脊楹（圖 25，節點 J297）與稍間中脊楹（圖 31，節點 J8）的絕對加速度，可知節點 J297 之最大絕對加速度約為 112 gal（表 2），而節點 J8 之最大絕對加速度約為 0.1342 gal（表 2）。兩者比例約為 840 倍(112/0.1342)。其原因應為正廳之東西向位移擺動量

較稍間為大，因此加速度值也相對較大，以造成較大的位移量。

四、南北向位移結果：

- 1、圖 33~41（J309-J15）表示選取節點之南北向相對位移歷時。比較上述圖形可知正廳（圖 33~35）之相對位移較軒亭（圖 36~38）小。其原因應為兩側山牆與背牆，提高了正廳大木構架之整體勁度，因此造成相對位移較軒亭為小。
- 2、稍間相對位移之結果如圖 39~41（J50、J8、J15），與正廳結果（表 3）相似。其原因為兩側山牆與背牆，提高了正身大木構架之整體勁度。致使屋架本身相對變形甚小。

五、南北向加速度結果：

- 1、圖 42~50（J309-J15）表示選取節點之南北向加速度歷時。比較上述圖形可知正廳與軒亭（圖 42~47）之加速度結果，以軒亭之最外側（J80）之加速度值為最大（219.87cm），J309 之值為最小（0.07）。其原因為背牆之勁度發揮了作用。
- 2、稍間加速度之結果如圖 48~50（J50、J8、J15），比較上述圖形於表 3 可知稍間與正廳加速度之結果類似。其原因為兩側山牆與背牆發揮了作用。

六、垂直向位移結果：

- 1、圖 51~59（J309-J15）表示選取節點之垂直向相對位移歷時。比較上述圖形可知正廳（圖 51~53）之相對位移較軒亭（圖 54~56）小（表 4）。其原因應為兩側山牆與背牆，提高了正廳大木構架之

整體勁度。

2、稍間相對位移之結果如圖 57~59 (J50、J8、J15)，其結果與正廳結果 (表 3) 相似。其原因如前文所述。

七、垂直向加速度結果：

1. 圖 60~68 (J309-J15) 表示選取節點之垂直向加速度歷時。本項結果與相對位移一致，原因不再重述。

表 2. 含背牆、山牆木構架代表性節點東西向之相對位移及最大加速度

節點	位置	最大相對位移 (cm)	最大絕對加速度 (gal)
J309	下付樑和背牆接處	0.02613	99.76776
J297	中脊楹	0.02897	112.0931
J318	封簷桁	0.03012	116.8867
J71	水槽樑	0.02994	116.1959
J72	上付 (二架楹)	0.03103	120.6622
J80	下付 (四架楹)	0.03267	127.2196
J50	下付樑和背牆接處	0.0001868	0.38404
J8	中脊楹	0.000063	0.13421
J15	封簷桁	0.0000455	0.09528

表 3. 含背牆、山牆的木構架代表性節點南北向之相對位移及最大加速度

節點	位置	最大相對位移 (cm)	最大絕對加速度 (gal)
J309	下付樑和背牆接處	0.0000159	0.06928
J297	中脊楹	0.05034	119.2999
J318	封簷桁	0.04408	112.6198
J71	水槽樑	0.05706	112.1721
J72	上付 (二架楹)	0.13511	147.8016
J80	下付 (四架楹)	0.16287	219.872
J50	下付樑和背牆接處	0.0003634	0.78449
J8	中脊楹	0.04843	115.5112
J15	封簷桁	0.04104	104.1428

表 4. 含背牆、山牆的木構架代表性節點垂直向之相對位移及最大加速度

節點	位置	最大相對位移 (cm)	最大絕對加速度 (gal)
J309	下付樑和背牆接處	0.00001536	0.06039
J297	中脊楹	0.0001765	0.73154
J318	封簷桁	0.00004548	0.1539
J71	水槽樑	0.00151	5.86338
J72	上付 (二架楹)	0.0003412	0.79815
J80	下付 (四架楹)	0.0004017	0.73569
J50	下付樑和背牆接處	0.00009739	0.2093
J8	中脊楹	0	0.00122
J15	封簷桁	0.0000247	0.05196

捌、結論與議

一、結論

1. 本文利用有限元素法程式 SAP2000，進行大木構架之地震行為分析。研究結果顯示，應用有限元素法在大木構架的結構行為分析上，確實可得到合理的結果。
2. 研究結果顯示，山牆與背牆於大木構架的抗震行為上，都發揮了良好的作用。山牆與背牆的存在，可提高大木構架的整體勁度，減低木構架構件彼此之相對位移，減低木構架因變形過大而破壞的機會。
3. 軒亭因為無山牆與背牆的支撐，且整體質量與勁度較正身為小。故在地震作用下位移較大，容易成為結構上的弱點。

二、後續研究建議

1. 本研究之木構架節點結合方式，僅

採用節點與固定剛接兩種。未來將考慮採用彈簧節點，以更符合木構架結合實際之狀況。

2. 未來將考慮應用阻尼器、隔震系統等現代耐減震技術於古蹟木構架之耐震能力提升之研究。
3. 本研究目前僅採用單一筆地震資料來探討木構架之地震行為，未來將嘗試不同週期之各種地震，以更深入了解木構架之地震行為。
4. 本研究目前僅考慮大木構架之彈性行為，未來將考慮其非線性行為，以更精確瞭解本結構於地震作用下之反應。

玖、參考文獻

- 1、黃斌 (2003 年)，台灣古蹟及歷史建築防震技術之研究 (III) —子計畫三：古蹟及歷史建築大木構架原型樑頭力學性能之探討，國科會，台北。

- 2、梁思成 (1962 年)，中國建築圖集，明文影印。
- 3、李乾朗 (1999 年)，傳統建築入門，藝術家出版社，台北。
- 4、林會承 (1995 年)，台灣傳統建築手冊—形式與作法篇，藝術家出版社，台北。
- 5、趙廣超 (2000 年)，不只中國木建築，三聯書店 (香港) 有限公司。
- 6、李乾朗 (2003 年)，台灣古建築圖解事典，遠流出版社，台北。
- 7、黃斌 (2001 年)，歷史建築震損及維護方式之研究(一)木竹構造，行政院文化建設委員會委託，台北。
- 8、蔡明哲 (1999 年)，古蹟建築大木構造之防災檢測與補強——921 集集大地震後之省思，亞太科技交流暨海峽兩岸文物保護與防災國際學術研討會暨人文科學學院成果發表會，雲林科技大學人文科學學院，雲林。
- 9、閻嘉義 (1993 年)，傳統建築木構架力學系統初步研究—樑頭行為，行政院文化建設委員會委託，台北。
- 10、成功大學建築學系 (1998 年)，古蹟建築大木構造修復技術原則性問題之探討，國立文化資產研究中心籌備處，台南。
- 11、徐明福 (2004 年)，穿斗式木構架接點之實驗與分析，內政部建築研究所。
- 12、李誠 (1965 年)，營造法式，臺灣商務，台北。
- 13、梁思成 (2005 年)，中國建築史，百花文藝出版社。
- 14、梁思成 (1985 年)，新訂清式營造則例及算例，明文影印，台北。
- 15、閻亞寧 (1987 年)，《台灣傳統建築大木作構件製作程序與組合方式研究》，長松出版社，台北。
- 16、薛琴 (1989 年)，古蹟施工說明書，行政院文化建設委員會，台北。
- 17、馬炳堅 (2003 年)，中國古建築木作營造技術，科學出版社，北京市。
- 18、黃斌 (2001 年)，傳統式古蹟及歷史建築木竹構造震害及基本構材行為研究，國科會研究報告，台北。
- 19、蕭江碧 (2003 年)，古蹟暨歷史建築木構造結構狀態之檢測研究-以疊斗式為例，內政部建築研究所，台北。
- 20、李乾朗 (2004 年)，台灣十大傳統民居，晨星出版社，台北。
- 21、徐福明 (2003 年)，台灣傳統古蹟及歷史建築耐震能力之基礎研究--穿斗式木構架結構特徵與接點之調查與解析，內政部建築研究所，台北。
- 22、李森枏 (2002 年)，SAP2000 入門與工程上之應用，科技圖書股份有限公司，台北。
- 23、李森枏 (2005 年)，SAP2000 結構設計實務 (V8&V9)，科技圖書股份有限公司，台北。
- 24、張宴豪 (2003 年)，台灣傳統建築疊斗式大木構架解體修復程序之研究—以台南興濟宮為例，國立成功大學建築研究所碩士論文，台南。
- 25、宋致行 (2003 年)，環氧樹脂應用於木通樑構件損壞修復補強之研究，國立成功大學建築研究所碩士論文，台南。
- 26、趙金城 (2004 年)，傳統疊斗式大木構造結構行為探討—以三級古蹟台南

天壇三川殿為例，國立成功大學建築
研究所碩士論文，台南。

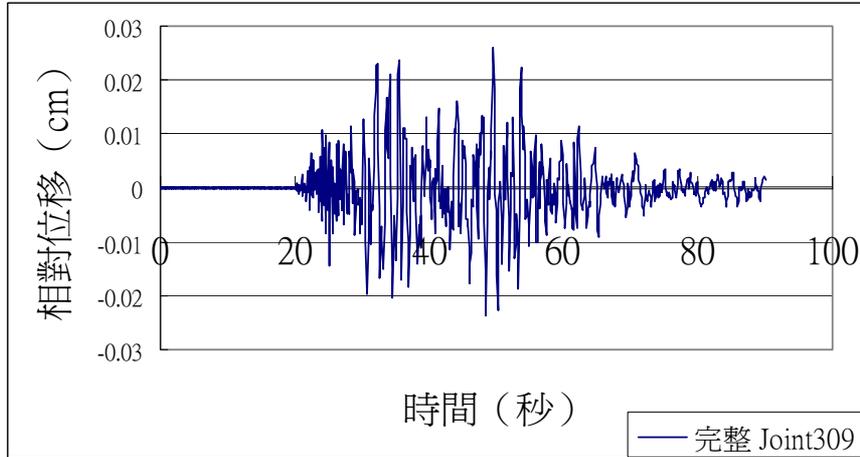


圖 15. 含背牆、山牆的下付樑和背牆接處東西向之相對位移

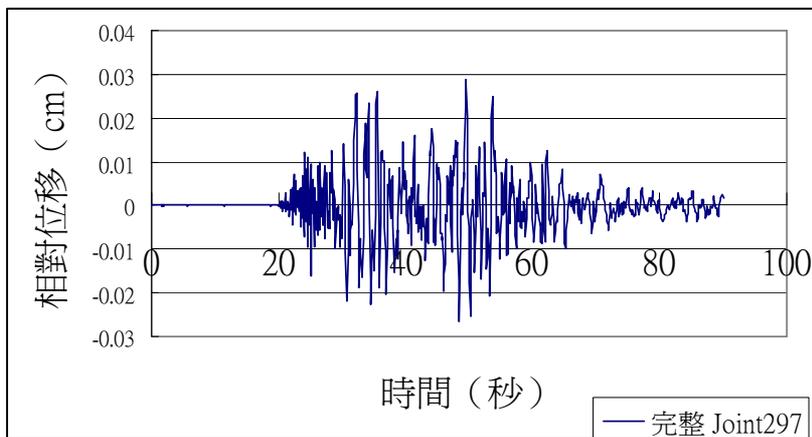


圖 16. 含背牆、山牆的中脊檣東西向之相對位移

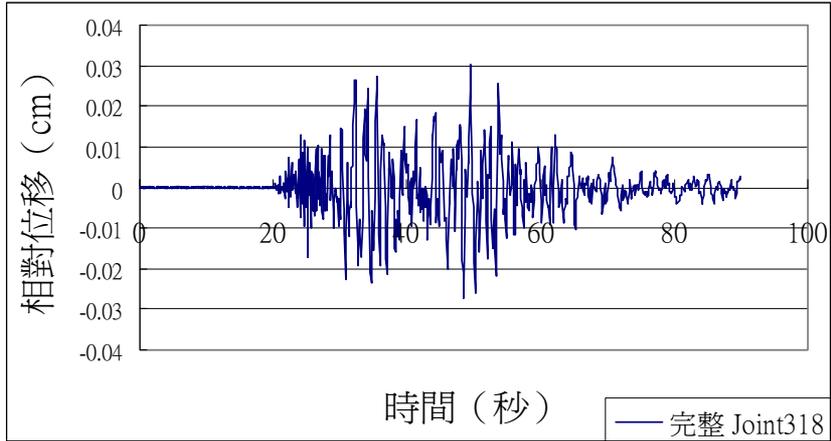


圖 17. 倉背牆、山牆的封簷桁東西向之相對位移

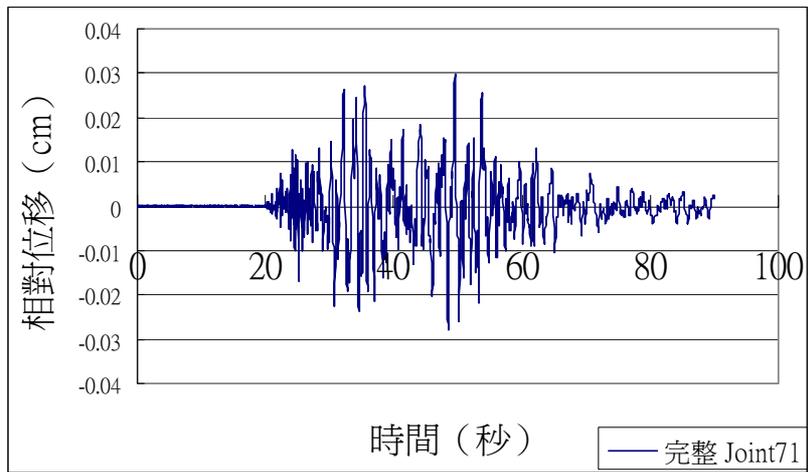


圖 18. 倉背牆、山牆的水槽樑東西向之相對位移

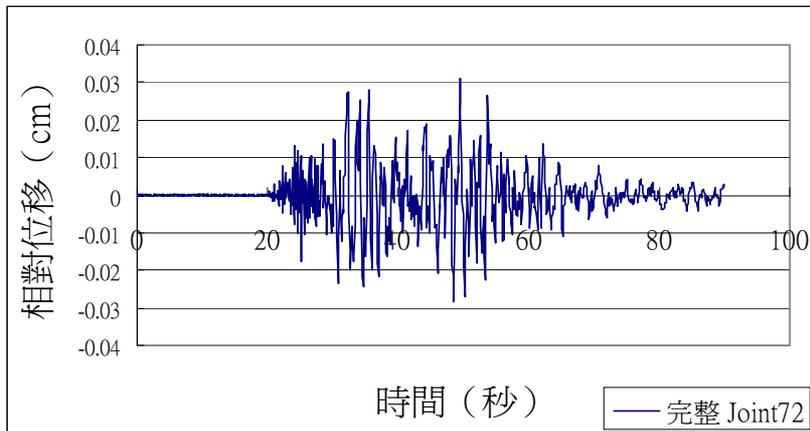


圖 19. 倉背牆、山牆的上付 (二架楹) 東西向之相對位移

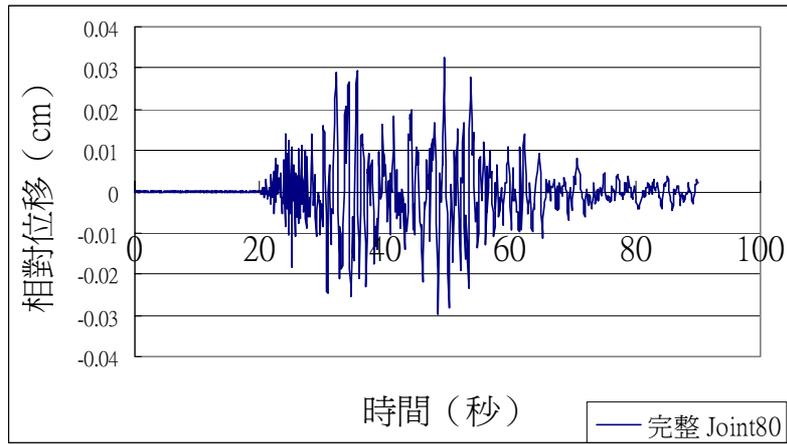


圖 20. 含背牆、山牆的下付（四架楹）東西向之相對位移

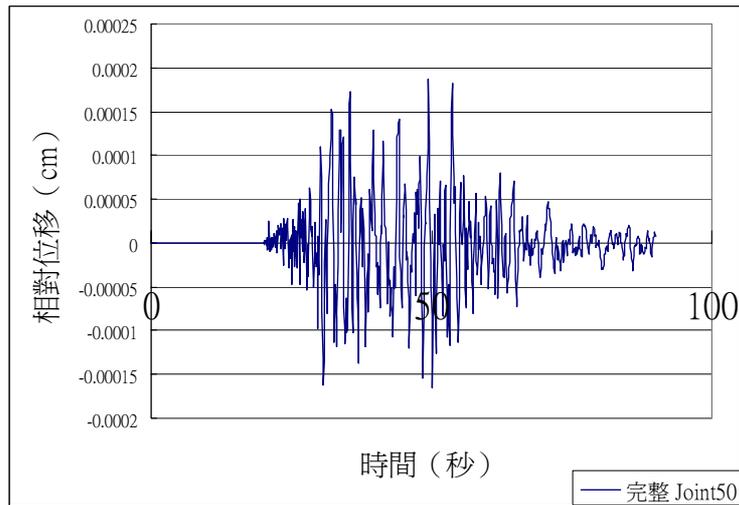


圖 21. 含背牆、山牆的下付樑和背牆接處東西向之相對位移

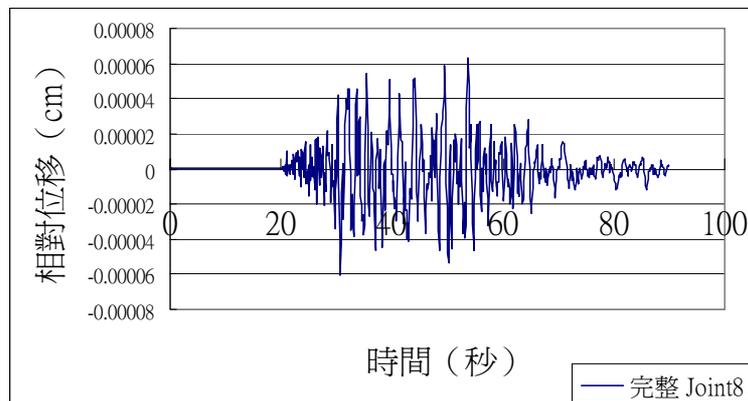


圖 22. 含背牆、山牆的中脊楹東西向之相對位移

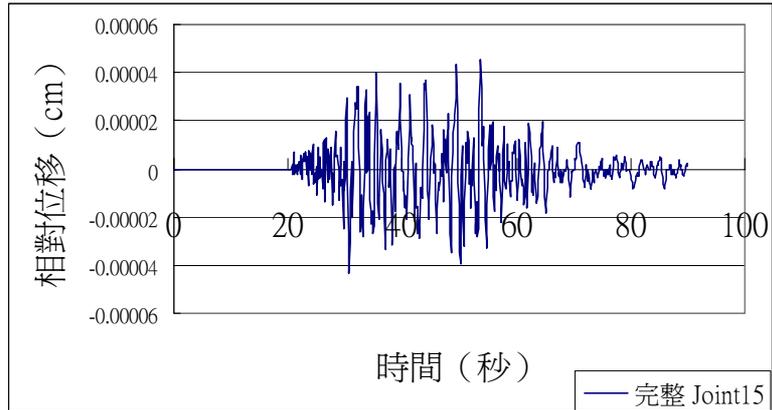


圖 23.含背牆、山牆的封簷桁東西向之相對位移

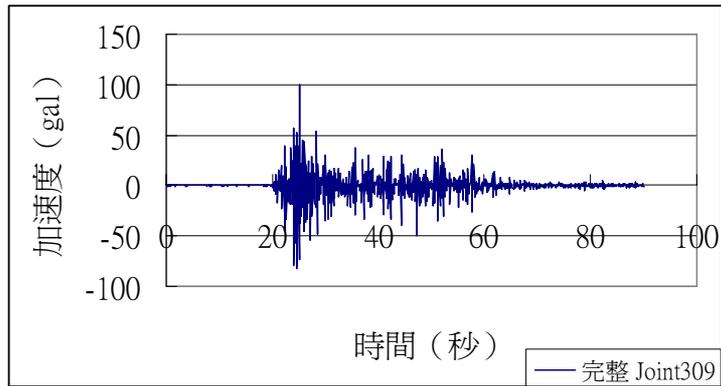


圖 24.含背牆、山牆的下付樑和背牆接處東西向之加速度歷時分析

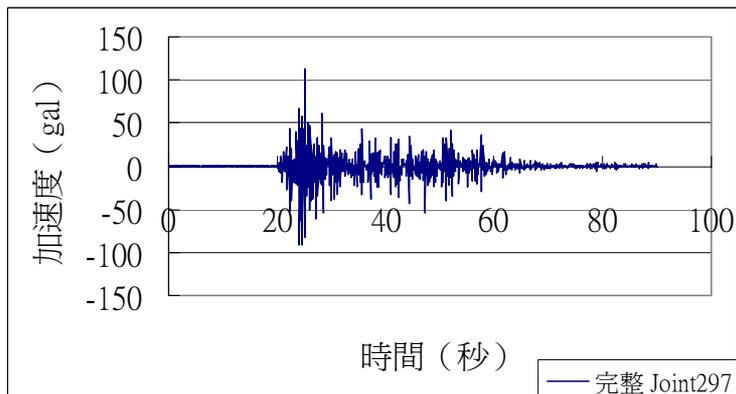


圖 25.含背牆、山牆的中脊樑東西向之加速度歷時分析

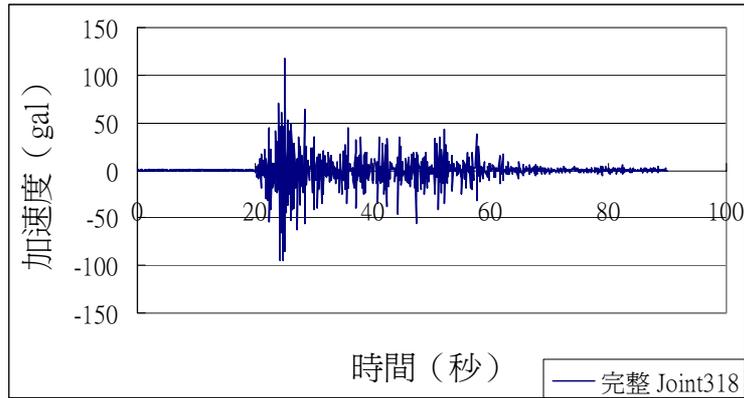


圖 26. 含背牆、山牆的封簷桁東西向之加速度歷時分析

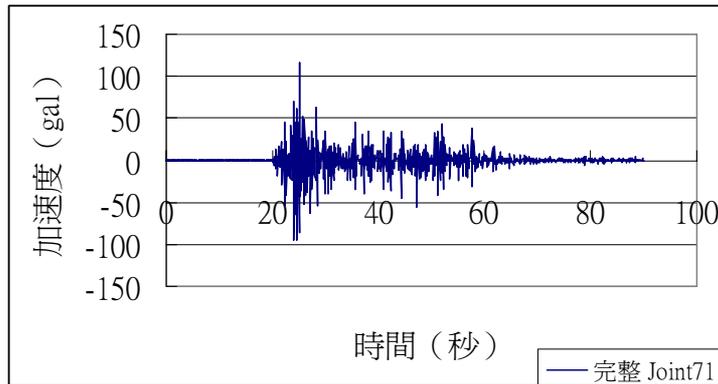


圖 27. 含背牆、山牆的水槽梁東西向之加速度歷時分析

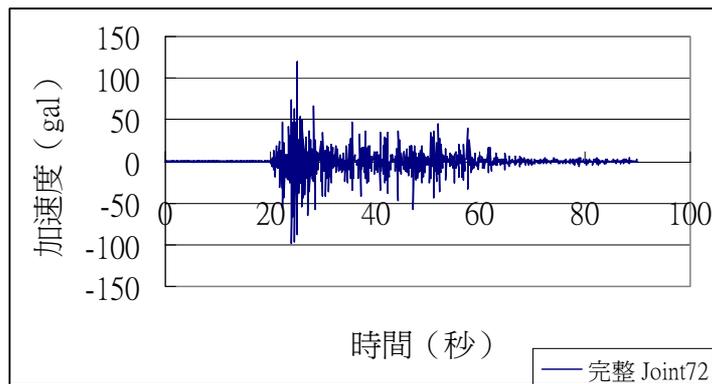


圖 28. 含背牆、山牆的上付（二架楹）東西向之加速度歷時分析

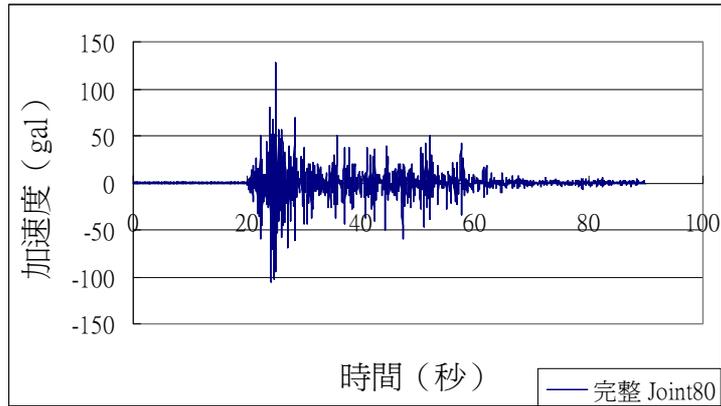


圖 29.含背牆、山牆的下付（四架楹）東西向之加速度歷時分析

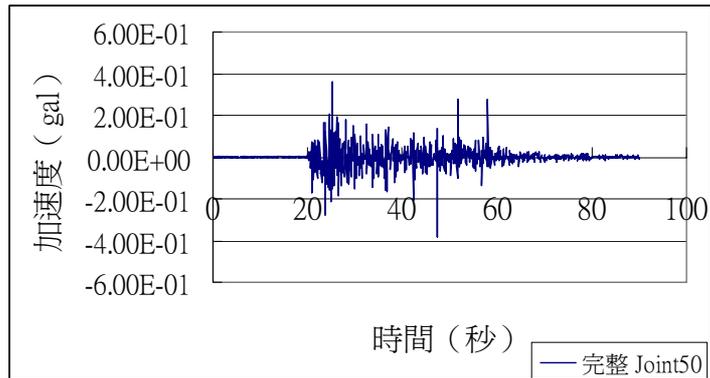


圖 30.含背牆、山牆的下付樑和背牆接處東西向之加速度歷時分析

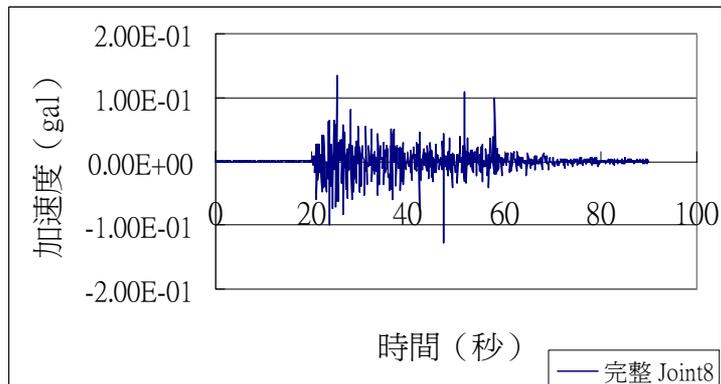


圖 31.含背牆、山牆的中脊楹東西向之加速度歷時分析

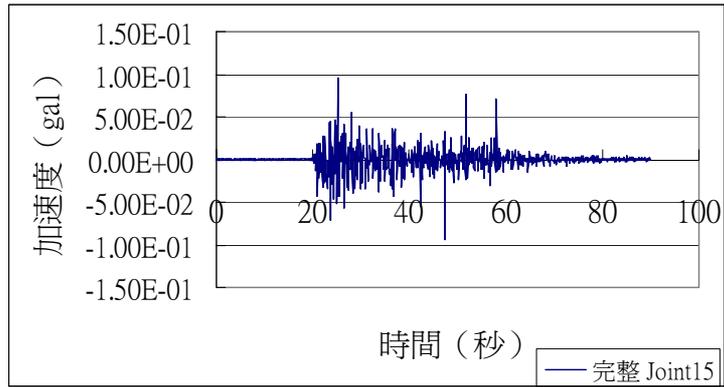


圖 32.含背牆、山牆的封簷桁東西向之加速度歷時分析

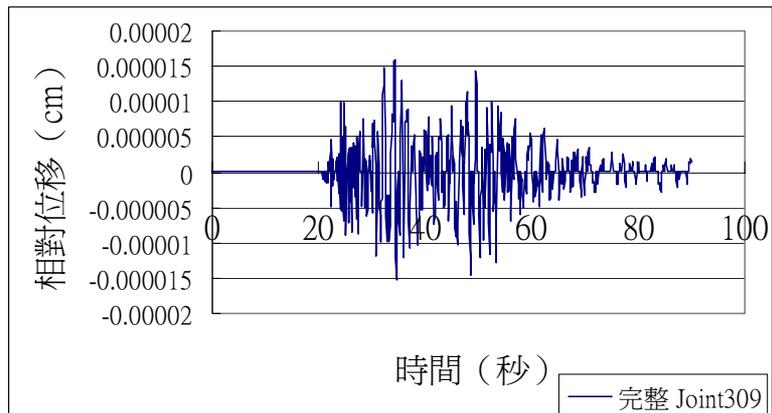


圖 33.含背牆、山牆的下付樑和背牆接處南北向之相對位移

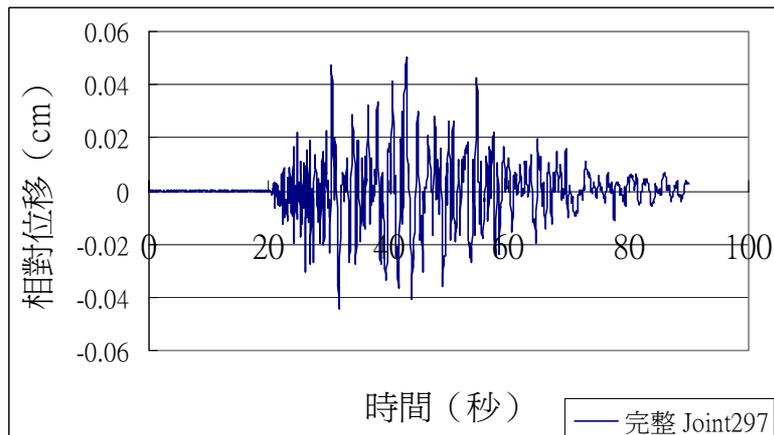


圖 34.含背牆、山牆的中脊檣南北向之相對位移

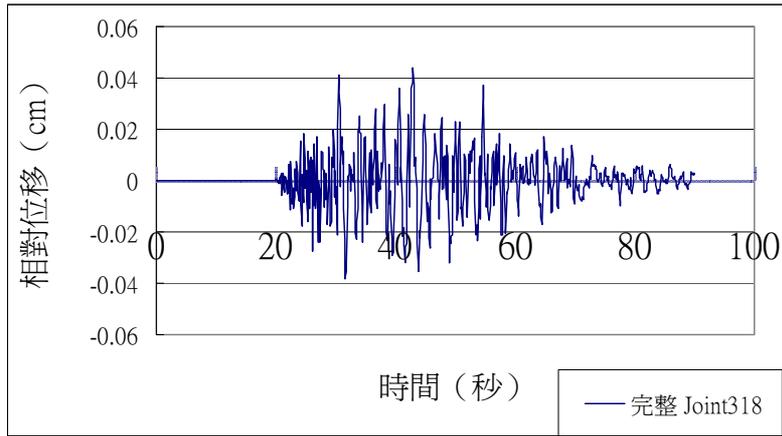


圖 35. 倉背牆、山牆的封簷桁南北向之相對位移

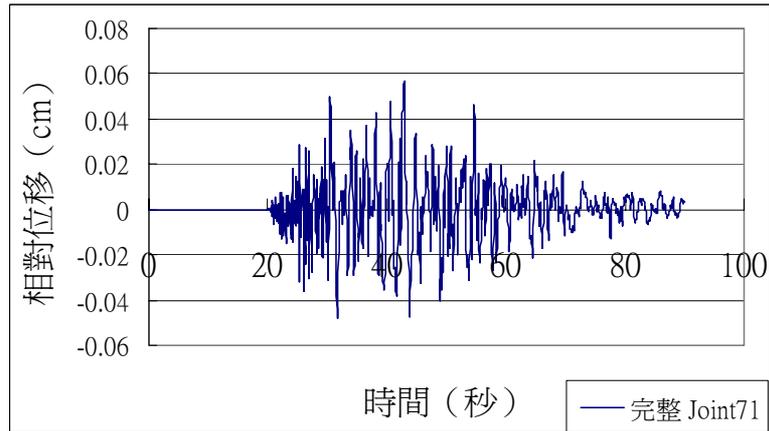


圖 36. 倉背牆、山牆的水槽樑南北向之相對位移

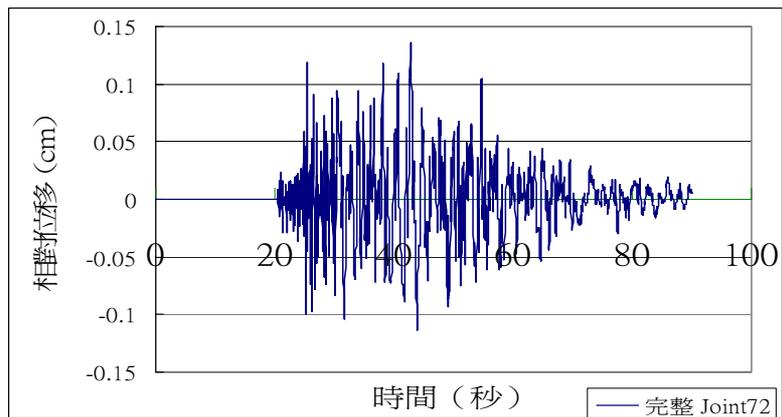


圖 37. 倉背牆、山牆的上付（二架楹）南北向之相對位移

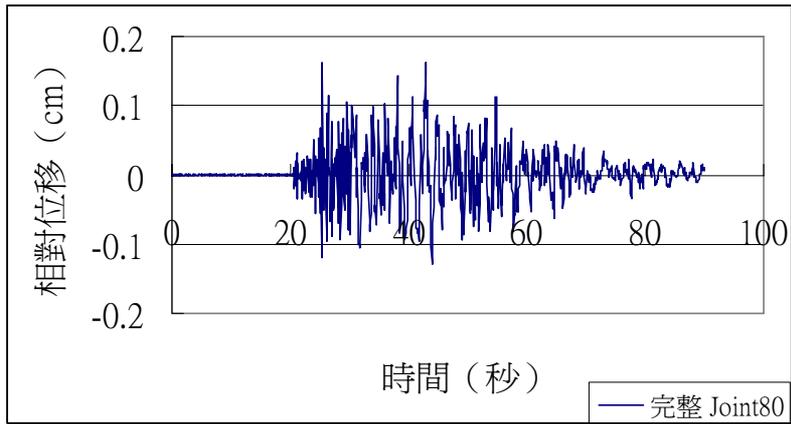


圖 38. 含背牆、山牆的下付（四架楹）南北向之相對位移

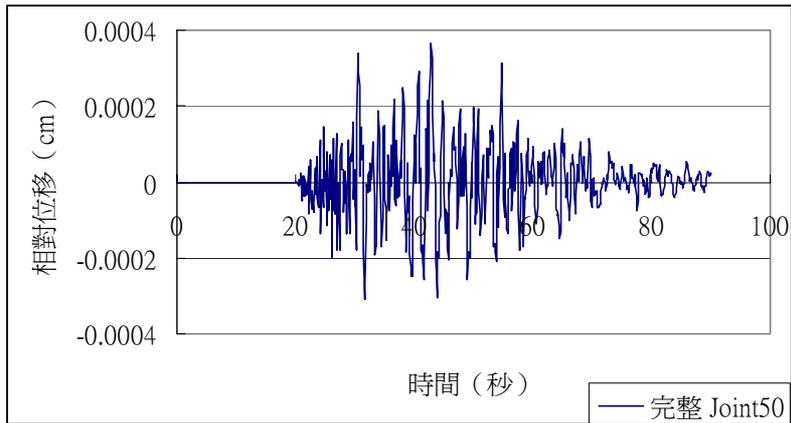


圖 39. 含背牆、山牆的下付樑和背牆接處南北向之相對位移

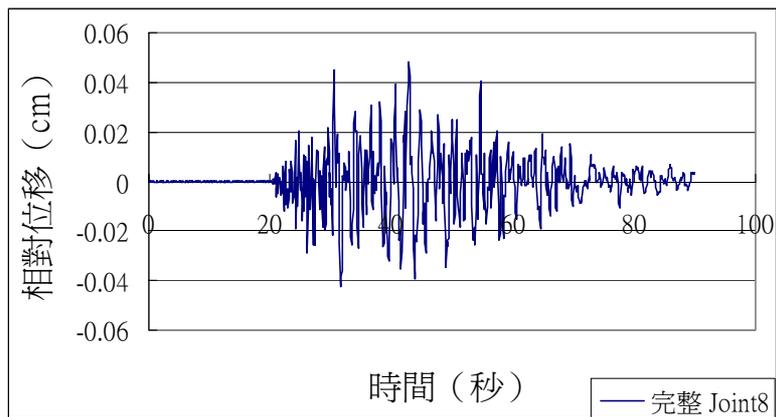


圖 40. 含背牆、山牆的中脊楹南北向之相對位移

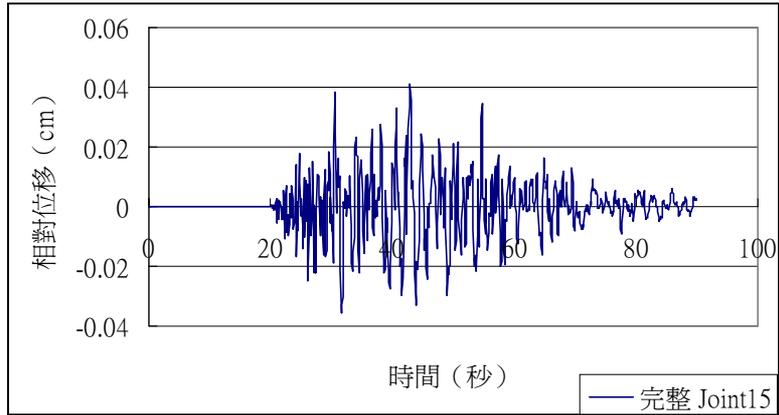


圖 41.含背牆、山牆的封簷桁南北向之相對位移

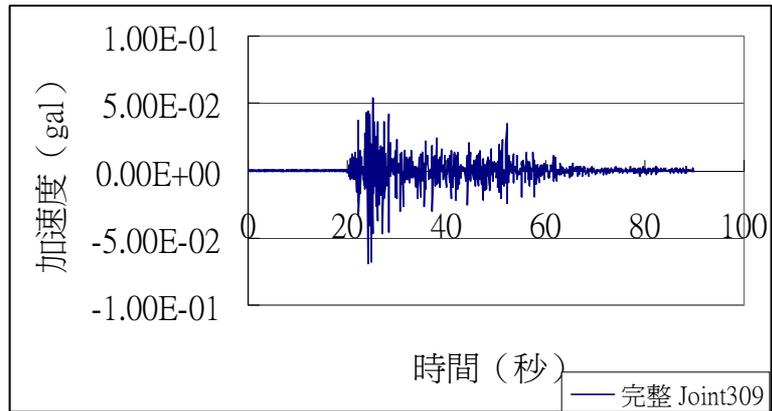


圖 42.含背牆、山牆的下付樑和背牆接處南北向之加速度歷時分析

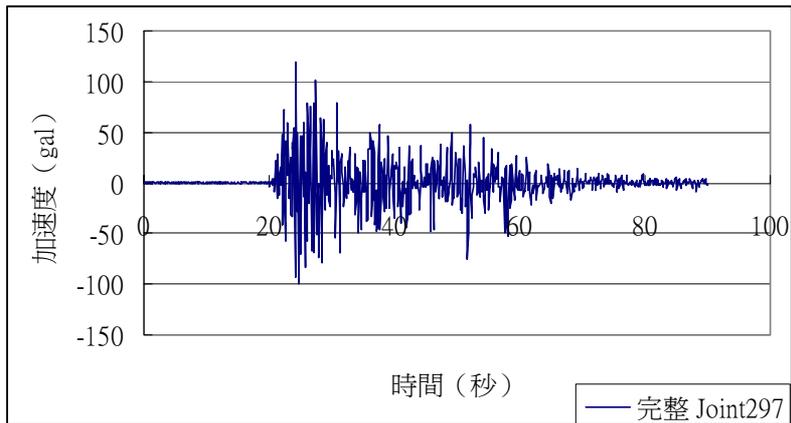


圖 43.含背牆、山牆的中脊樑南北向之加速度歷時分析

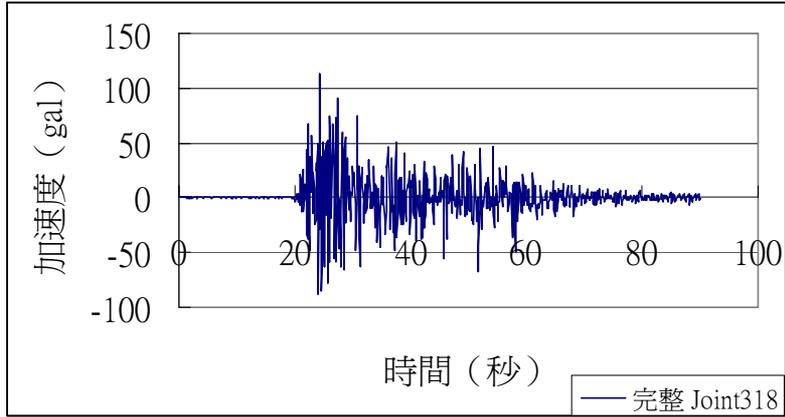


圖 44. 含背牆、山牆的封簷桁南北向之加速度歷時分析

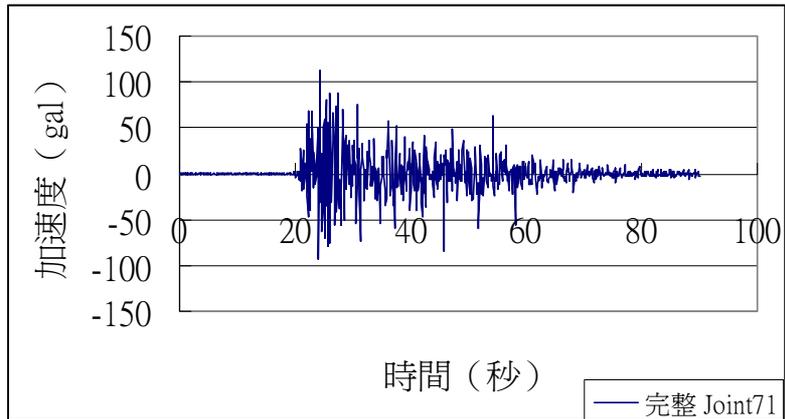


圖 45. 含背牆、山牆的水槽樑南北向之加速度歷時分析

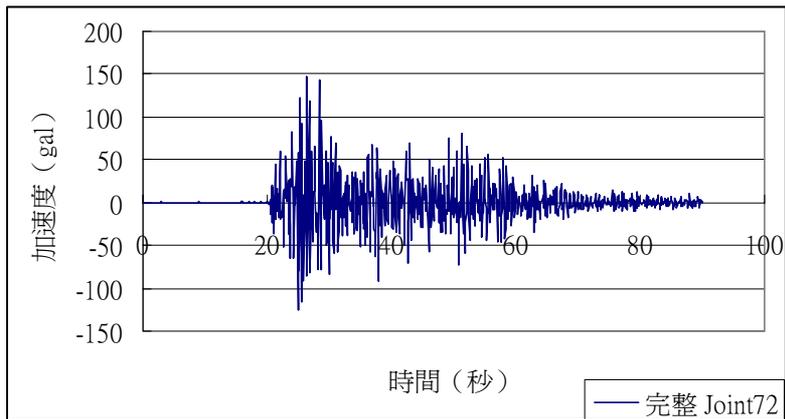


圖 46. 含背牆、山牆的上付（二架楹）南北向之加速度歷時分析

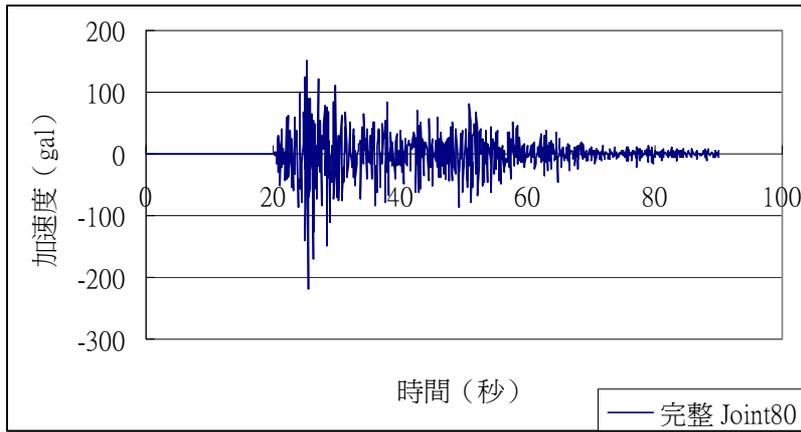


圖 47.含背牆、山牆的下付（四架楹）南北向之加速度歷時分析

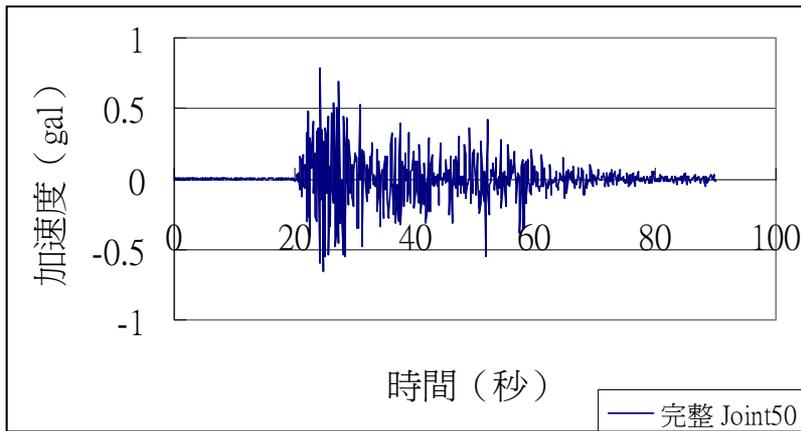


圖 48.含背牆、山牆的下付樑和背牆接處南北向之加速度歷時分析

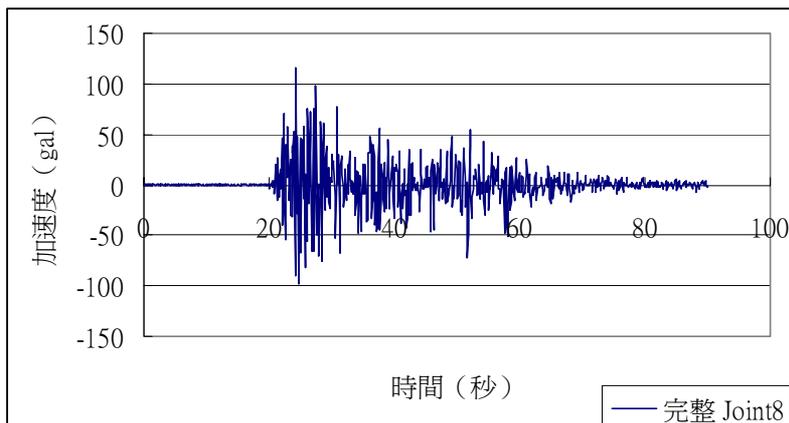


圖 49.含背牆、山牆的中脊楹南北向之加速度歷時分析

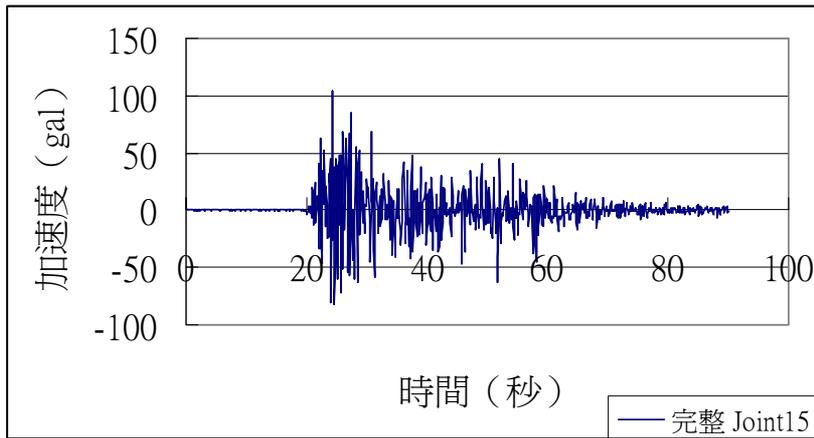


圖 50.含背牆、山牆的封簷桁南北向之加速度歷時分析

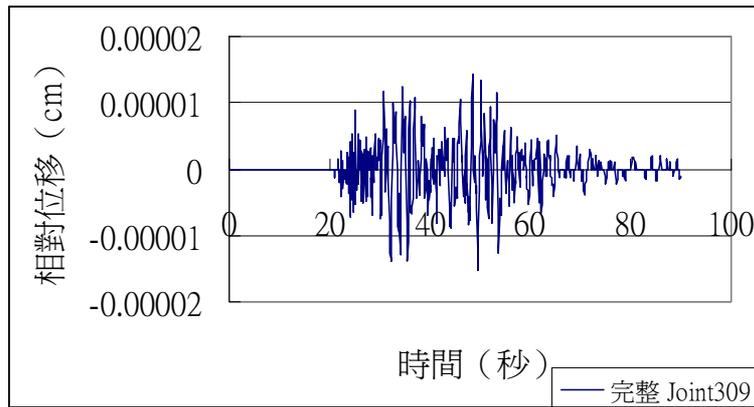


圖 51.含背牆、山牆的下付樑和背牆接處垂直向之相對位移

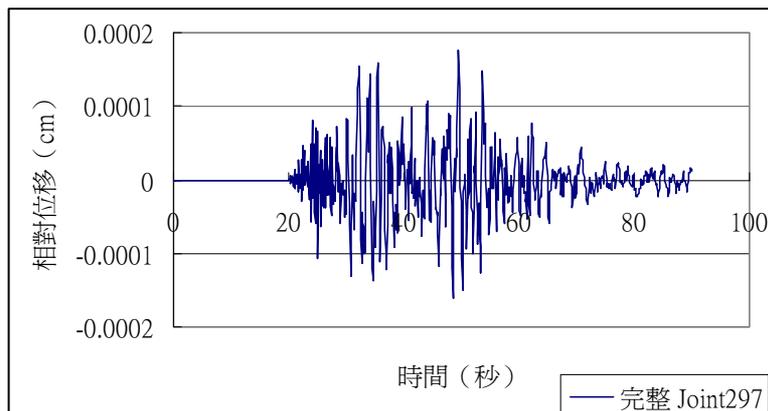


圖 52.含背牆、山牆的中脊楹垂直向之相對位移

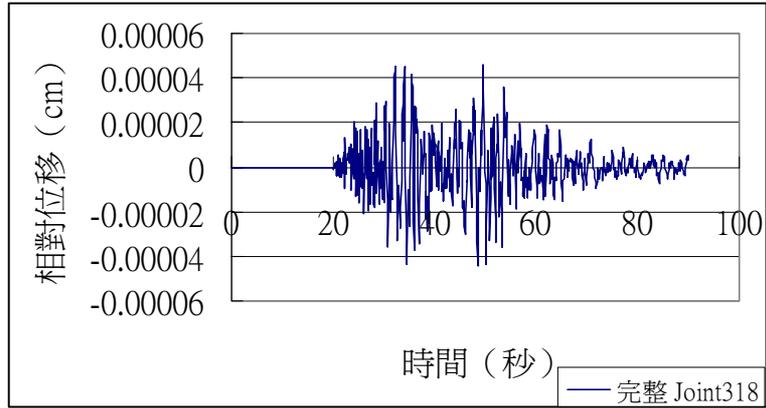


圖 53. 倉背牆、山牆的封簷桁垂直向之相對位移

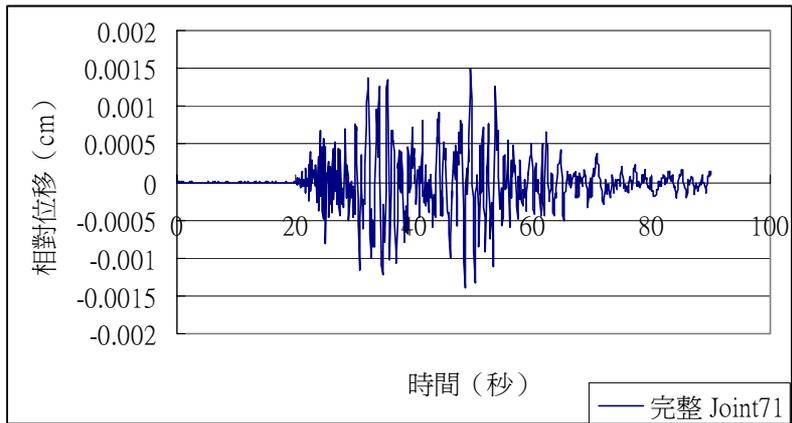


圖 54. 倉背牆、山牆的水槽樑垂直向之相對位移

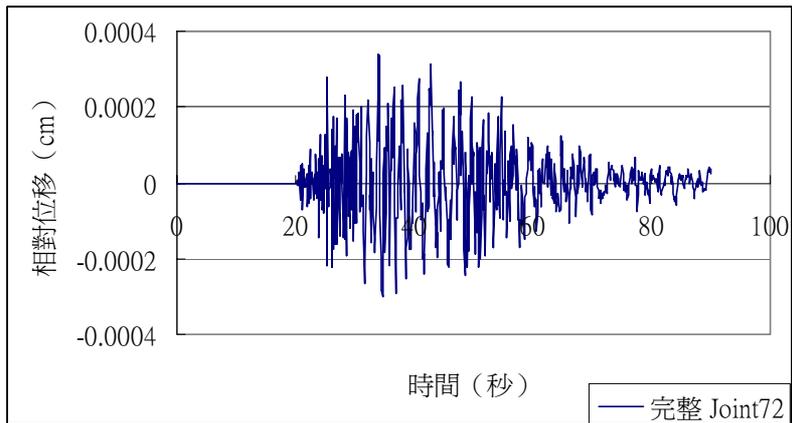


圖 55. 倉背牆、山牆的上付 (二架楹) 垂直向之相對位移

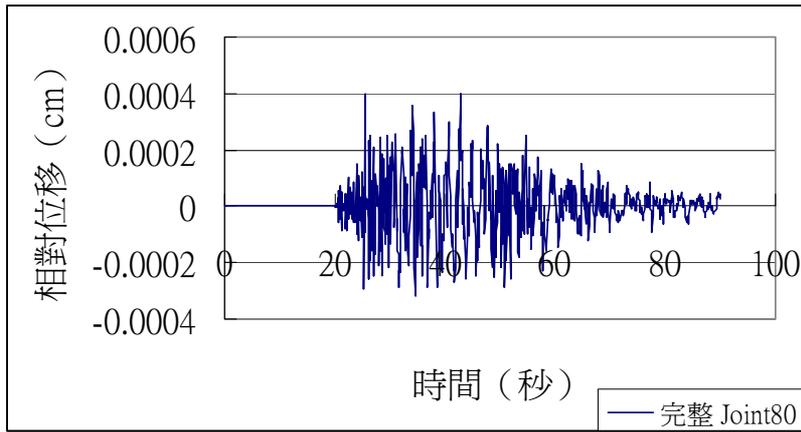


圖 56.含背牆、山牆的下付（四架楹）垂直向之相對位移

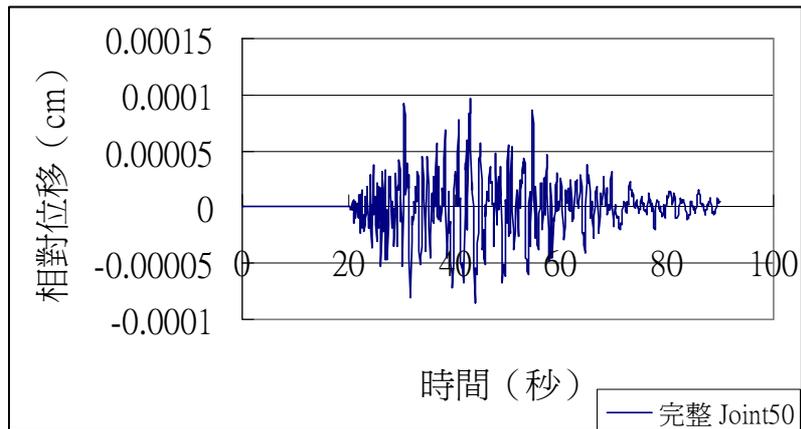


圖 57.含背牆、山牆的下付樑和背牆接處垂直向之相對位移

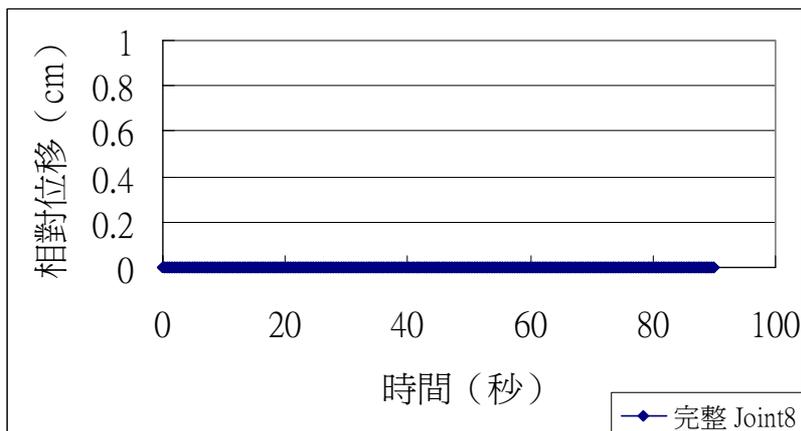


圖 58.含背牆、山牆的中脊楹垂直向之相對位移

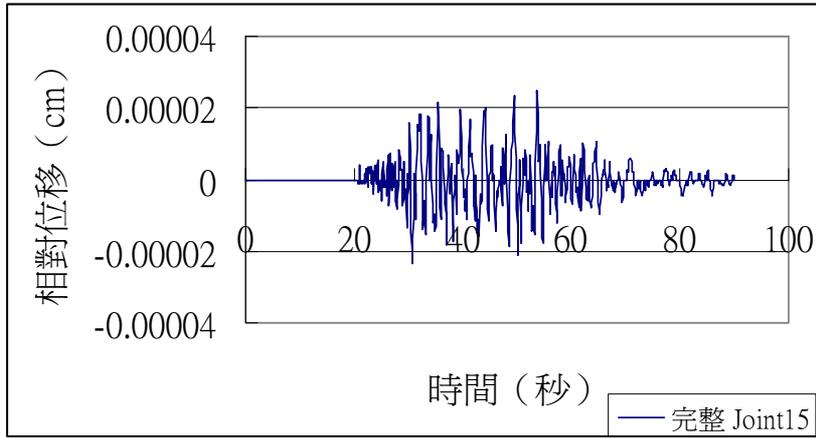


圖 59.含背牆、山牆的封簷桁垂直向之相對位移

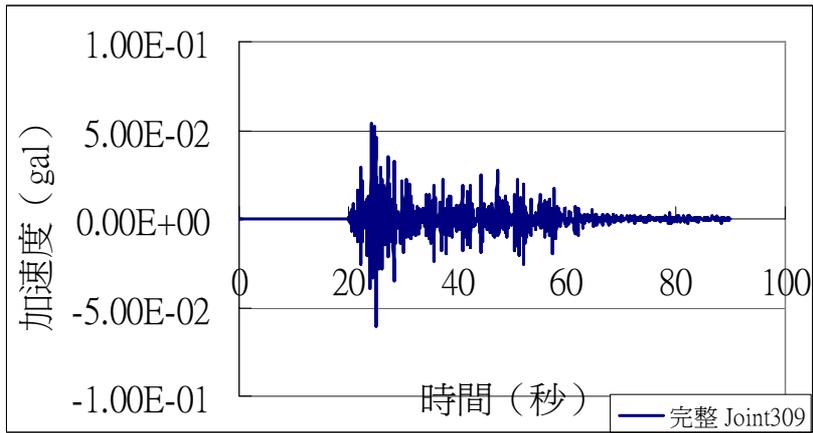


圖 60.含背牆、山牆的下付樑和背牆接處垂直向之加速度歷時分析

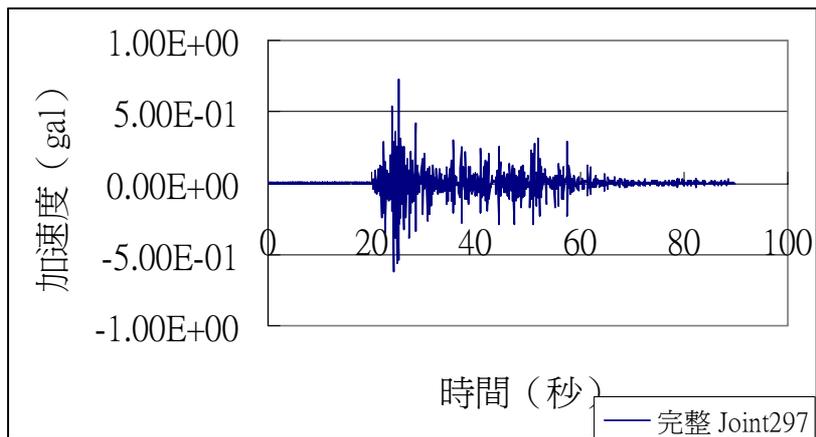


圖 61.含背牆、山牆的中脊檼垂直向之加速度歷時分析

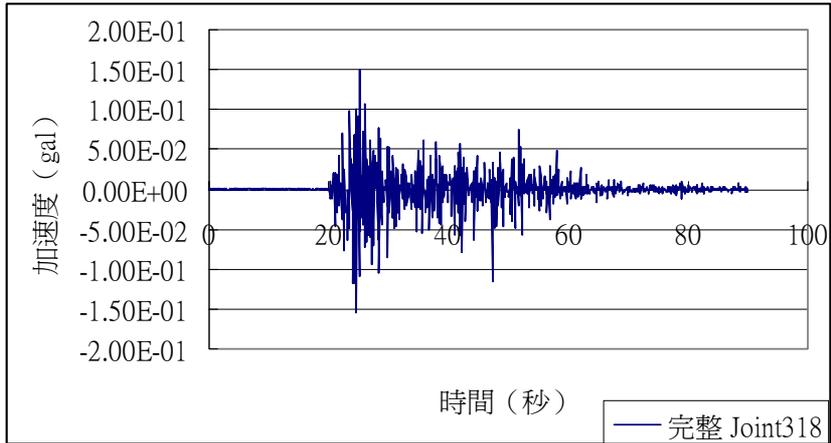


圖 62.含背牆、山牆的封簷桁垂直向之加速度歷時分析

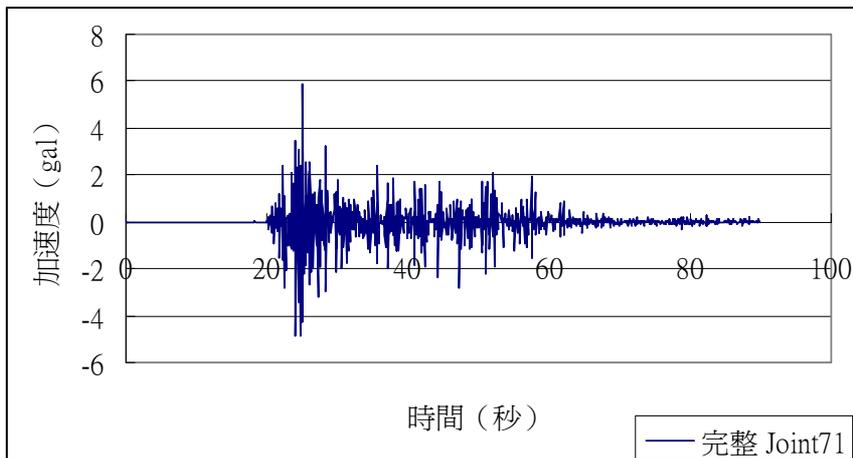


圖 63.含背牆、山牆的水槽樑垂直向之加速度歷時分析

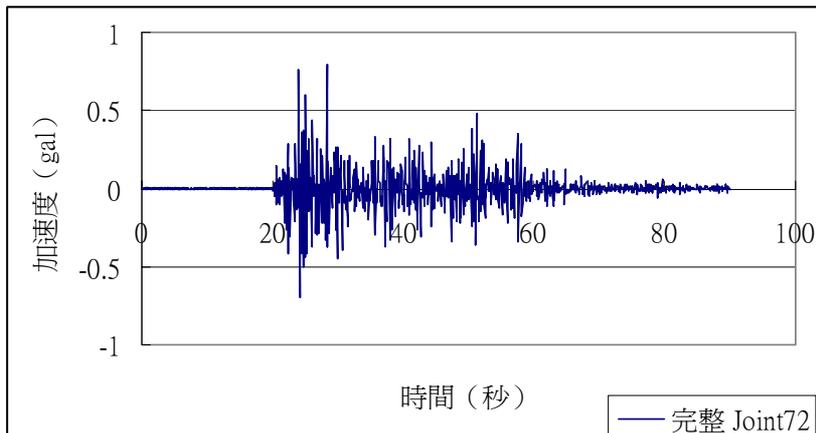


圖 64.含背牆、山牆的上付（二架楹）垂直向之加速度歷時分析

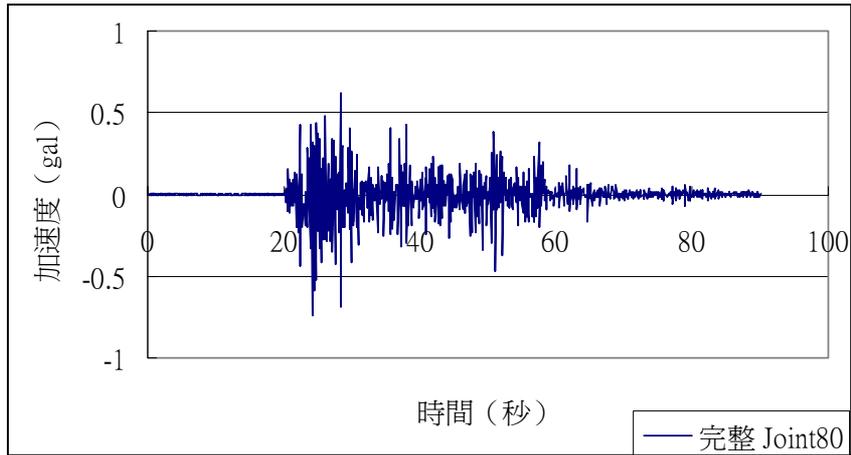


圖 65.含背牆、山牆的下付（四架楹）垂直向之加速度歷時分析

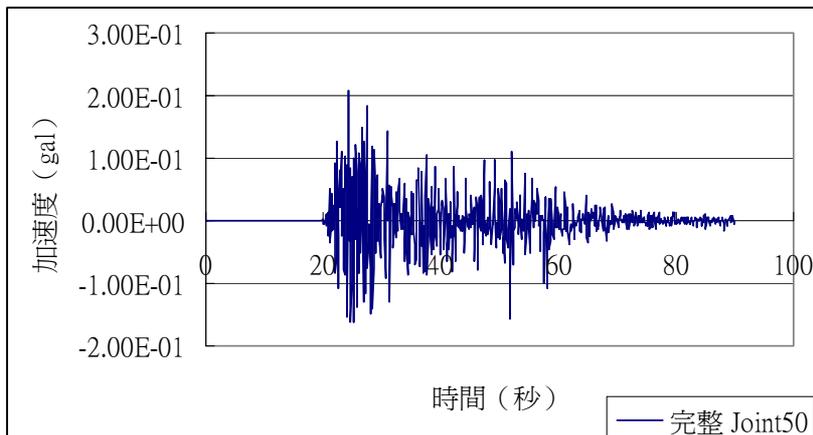


圖 66.含背牆、山牆的下付樑和背牆接處垂直向之加速度歷時分析

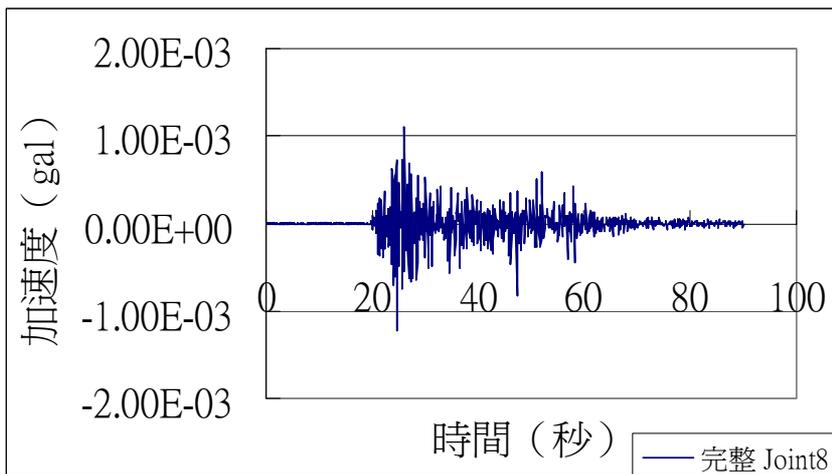


圖 67.含背牆、山牆的中脊楹垂直向之加速度歷時分析

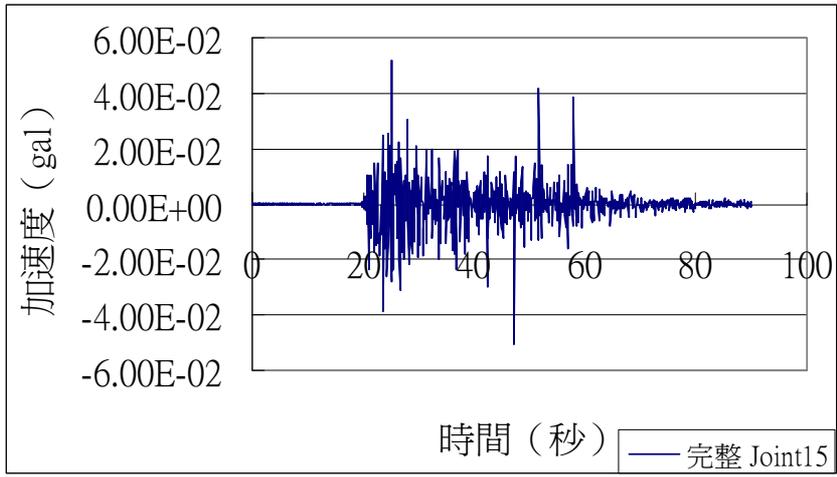


圖 68.含背牆、山牆的封簷桁垂直向之加速度歷時分析

Abstract

The historical buildings are the remaining old buildings after the long test of time. They are very valuable in the view of history and culture. In particular, Taiwan located at the area with a very high frequency of earthquakes. Also, the amount of traditional wooden frame structures is about 60% of the historical buildings. Therefore, the shock-proof ability of traditional wooden frame structure is obvious a very important topic.

In order to deeply investigate the dynamic behavior of traditional wooden frame structures, this research took the Yu-Shan-Kuan as an example. Firstly, a field survey has been carried out to establish the geometrical properties, material properties and boundary conditions. Secondly, the node conditions of wooden frame structures were then carefully assumed and simulated. Finally, a commercial Finite Element analysis program-SAP2000 was adopted to simulate the dynamic behavior of this structure under earthquake attack.

Keywords : listed heritage 、 wooden frame 、 Earthquake 、 Yu-Shan-Kuan