

符合設計震譜人工地震之製作

陳泓文*

壹、前言
貳、基本理論
參、實例應用
肆、結論
伍、參考資料

摘 要

本文之目的在建立一個符合設計震譜之人工地震,以作為結構物進行動力分析時所需之地表加速度歷時,其方法乃利用模擬強震儀所產生之初始地震歷時,並依過去發生之地震歷時包絡線與設計震譜,來修正其加速度反應譜,使其與設計震譜一致,所得之地震歷時,即為符合設計震譜之人工地震。

本文之主要貢獻如下:(1)利用基本結構動力學理論,以模擬強震儀產生人工地震歷時,製作原理簡單,易於瞭解。(2)以地震歷時包絡線取代地震歷時記錄,勿需經帶通濾波系統及基準線修正,避免原始地震記錄因人為濾波而有所失真^{1,2}。(3)對盆地構造區域以震譜分離方式,來反映其設計震譜特性³與地動參數特性⁴,使建立之人工地震更趨合理。

關鍵字:人工地震,設計震譜,包絡線,震譜分離

*陳泓文:土木科專任講師

一、前言

在結構數值模式分析與大尺寸模型試驗進行動力分析之前，必須有一份具代表性之地震記錄，以作為地表加速度之輸入資料，然而若只選擇少許地震記錄，並無法完全表達地震特徵與區域特性，因此有必要製作一份具代表性之人工地震(Artificial Earthquakes)。

人工地震之製作方法，一般可從運用地質理論模擬地震過程，或以預測未來地震對結構物產生之反應來模擬，其方法歸納如下：(1)依過去發生地震之區域特性，就其規模(Magnitude)及震央距離(Epicenter Distance)或區域震度(Modified Mercalli Intensity)，來計算其富利葉震譜(Fourier Amplitude Spectrum)⁵。(2)將過去地震視為一系列之波群(Wave Groups)，並比較其擬速度震譜(Pseudo Spectral Velocity Response)⁶。(3)以過去發生之地震為目標，應用二次自動回歸程序(Second Order Autoregressive Process, AR Model)，來建立地震歷時模式⁷。(4)將地震歷時經由「卡門濾波」(Kalman Filters)，建立自動回歸移動平均模式(Autoregressive Moving-Average, ARMA Model)⁸。(5)將地震歷時視為非定波散漫過程(Nonstationary Random Processes)，並使其歷時反應譜(The Time History Generated Response Spectrum, THRS)之富利葉函數，在計算過程中均確定於平滑設計譜(The Smooth Design Response Spectrum, SDRS)之上，而收斂至目標震譜⁹。(6)將地震歷時以經濾波過之高斯白色雜訊(Filtering Gaussian White Noise)表示，並調整其鄰近區域至一指定之時間包絡函數(Time Modulating Envelope Function)¹⁰。(7)將地震歷時以一系列之任意振動函數，並乘以一包絡函數表示，而此一包絡函數則以選取地震反應譜之強震區間(Strongest Motion Portion)值表示之¹¹。(8)利用隱藏震譜技巧(Spectrum-Suppressing Technique)將地震歷時以特定之頻率隱藏濾波來表示之，並利用覆現震譜技巧(Spectrum-Raising Technique)將各正弦波疊合而得人工地震¹²。(9)利用已知之設計反應譜修正已知之地震歷時，以使修正後之加速度歷時反應譜，與設計反應譜一致，而得設計地震²。

以上所述之人工地震製作方法，由於受限於波動理論之艱澀，及代表性地震記錄取得之困難，而不易應用，因此本文提出一利用基本結構動力

學理論，以模擬強震儀(Simulative Accelerometers)方法產生初始地震歷時，並依過去發生之地震歷時包絡線與設計震譜，來修正初始地震歷時，使修正後之加速度歷時反應譜與設計震譜一致，而得符合設計震譜之人工地震。

二、基本理論

為使設計之人工地震加速度歷時能真正代表地震運動，首先我們模擬強震儀之裝置，若強震儀基底以 $g_0 \sin \omega t$ 諧和運動時，當強震儀裝置之阻尼比(Damping Ratio) $\xi = 0.6$ ，且基底加速度頻率在強震儀裝置設定之自然頻率範圍內($0 < \beta < 1.0$)，則強震儀的反應與基底加速度的振幅成正比¹³，因此若將地震視為一系列不同振頻(Frequency)的波動所組成的震波，則地震加速度歷時可以表示成

$$G(t) = \sum_{n=1}^N A_n \sin(2\pi\omega_n t + \Phi_n)$$

其中， A_n 為振頻 ω_n 時之系統持續反應振幅， Φ_n 為振頻 ω_n 時之反應落後時差相角

$$\Phi_n = \tan^{-1} \frac{2\xi\beta}{1-\beta^2}$$

並考慮真實地震歷時之激烈歷時特性(Time-Severity Characteristics)¹⁴，將上式所得之地震歷時乘以 $(-1)^n$ 及工址內過去發生之地震歷時包絡線(Earthquake Envelope Curve)，且為使地震歷時涵蓋各振頻範圍，讓各振頻之間距在半能量(Half-Power)點內，亦即 $\Delta\omega_n / \omega_n < 2\xi$ ，並將各振頻之反應振幅以設計振譜之比例值表示之，而得初始人工地震加速度歷時

$$G(t) = F(t) \sum_{n=1}^N (-1)^n A_n^{(0)} \sin(2\pi\omega_n t + \Phi_n)$$

式中

$G(t)$: 人工地震加速度歷時

$F(t)$: 過去發生之地震歷時包絡線

$(-1)^n$: 激烈歷時特性

ω_n : 地震波振頻

$A_n^{(0)}$: 振頻為 ω_n 時之初始人工地震振幅

Φ_n : 振頻為 ω_n 時之反應落後相角

為使製作之人工地震歷時符合設計震譜之要求, 必須修正初始地震歷時, 使其反應譜與設計震譜一致, 其修正程序首先求得初始人工地震歷時之反應譜, 並與設計震譜比較, 再以設計震譜值與計算之反應譜值之比值來修正人工地震振幅, 而得第一次修正之人工地震振幅

$$A_n^{(1)} = A_n^{(0)} \times \frac{S_a}{S_a^{(0)}}$$

其中

$A_n^{(1)}$: 振頻為 ω_n 時之第一次修正之人工地震振幅

S_a : 振頻為 ω_n 時之設計震譜值

$S_a^{(0)}$: 振頻為 ω_n 時之初始人工地震反應譜值

經多次迭代修正, 直到人工地震之反應譜值與設計震譜值相符合, 而得符合設計震譜之人工地震加速度歷時

$$G^{(m)}(t) = F(t) \sum_{n=1}^N (-1)^n A_n^{(m)} \sin(2\pi\omega_n t + \Phi_n)$$

並滿足

$$A_n^{(m)} = A_n^{(m-1)} \times \frac{S_a}{S_a^{(m-1)}}$$

其中

$A_n^{(m-1)}$: 振頻為 ω_n 時之第 $m-1$ 次修正之人工地震振幅

$A_n^{(m)}$: 振頻為 ω_n 時之第 m 次修正之人工地震振幅

$S_a^{(m-1)}$: 振頻為 ω_n 時之第 $m-1$ 次修正振幅之人工地震反應譜值

$S_a^{(m)}$: 振頻為 ω_n 時之第 m 次修正振幅之人工地震反應譜值

三、實例應用

設計震譜之製訂應考慮工址之地盤構造、地體構造、地震加速度與回歸期關係及基地土層特性等, 因此本文針對台灣地區之設計震譜¹⁵, 分別對第一類地盤($T_G \leq 0.2$ 秒者)、第二類地盤($0.2 \text{秒} < T_G \leq 0.6$ 秒者)、第三類地盤($0.6 \text{秒} < T_G \leq 1.0$ 秒者)、第四類地盤($T_G > 1.0$ 秒者)及台北盆地區域各製作一組人工地震, 結果顯示依本文提出之人工地震製作方法, 經多次迭代修正後, 所得之符合第一至四類地盤設計震譜之人工地震加速度歷時反應譜均與設計震譜極為接近, 如圖(一)、(二)、(三)、(四)所示。

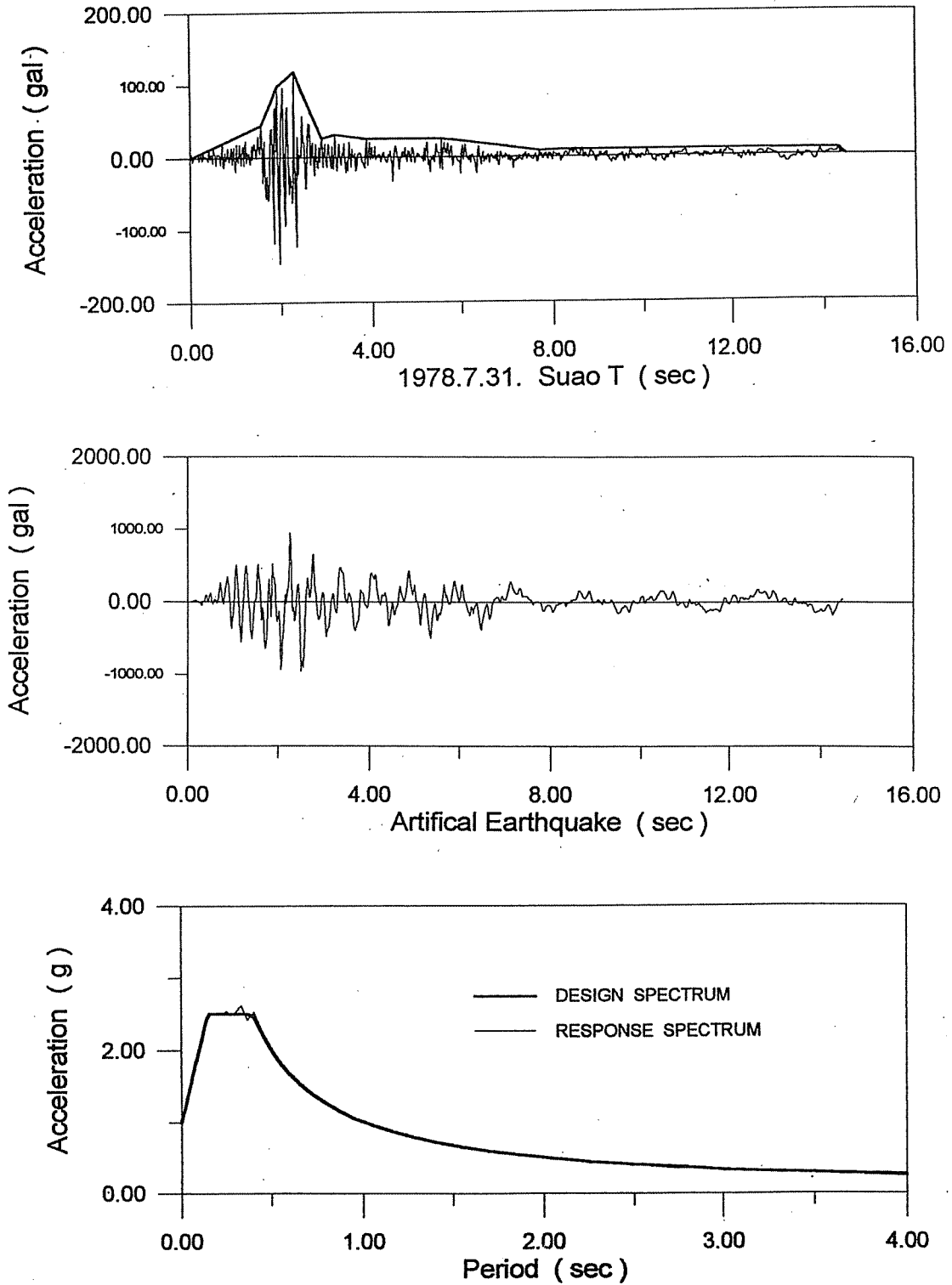
在製作符合台北盆地區域設計震譜之人工地震時, 由於考慮台北盆地地質構造為一相當軟弱的地盤, 其覆蓋土層約50公尺厚, 其間夾雜著粉質粘土及粉質砂土、地表之剪力彈性波速約為150-200公尺/秒, 從過去之地震記錄及其反應譜, 如圖(五)所示, 可以明顯看出其最大地表加速度(PGA)包括有兩個尖峰, 其周期特性約為0.8-1.65秒, 而波形的後半部周期較長, 且衰減甚緩, 這正反映出台北盆地地形特有之地盤特性^{16,17}, 因此我們將其設計震譜, 分離為代表兩個主振動周期之次震譜, 如圖(六)所示, 並就選取之地震歷時包絡線依其激烈歷時特性, 分為兩個地震歷時階段, 分別求得其人工地震加速度歷時, 最後再將其合併, 而得符合台北盆地區域設計震譜之人工地震加速度歷時, 如圖(七)所示。

四、結論

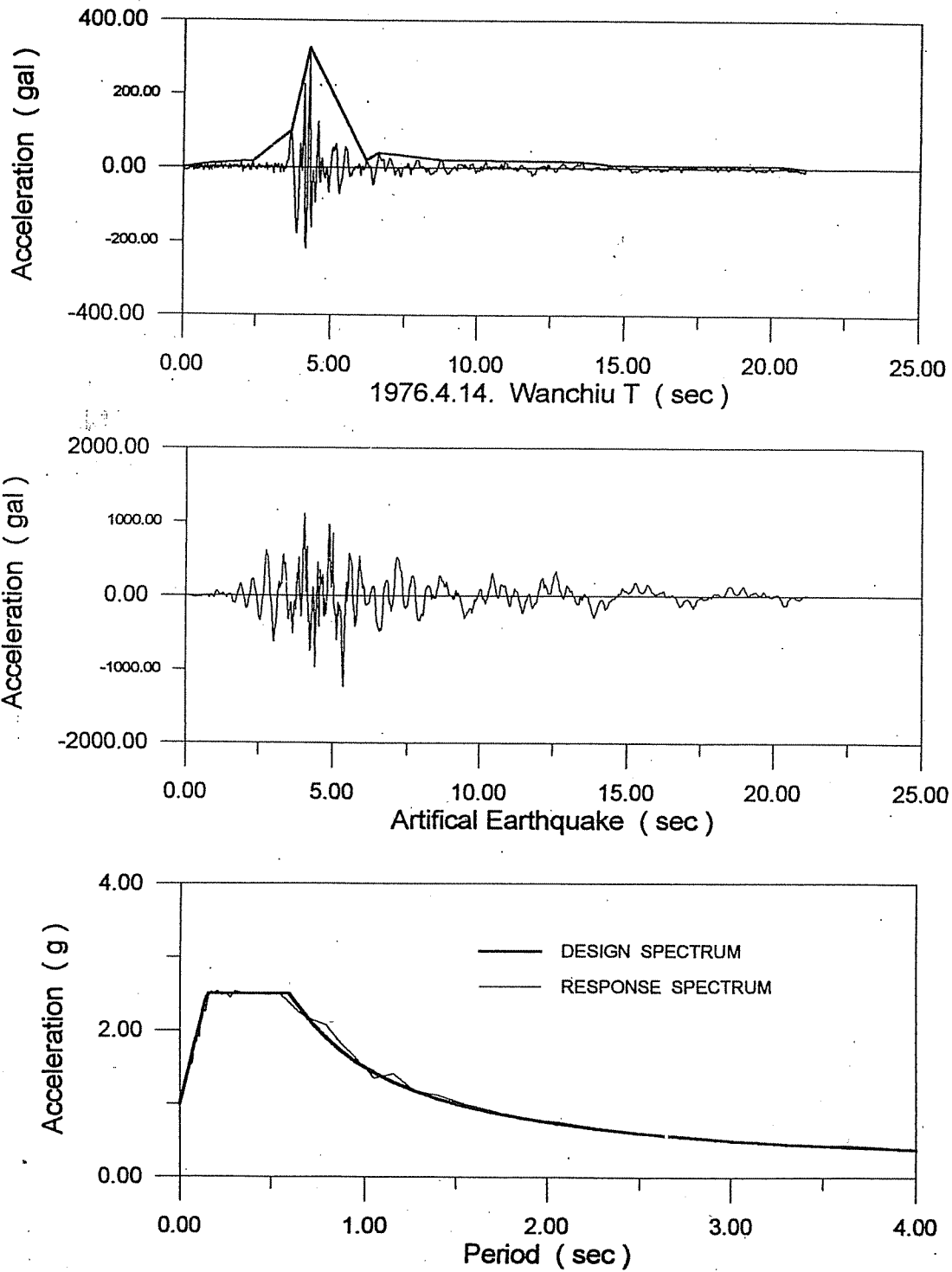
本文提出之人工地震加速度歷時製作方法, 從基本之結構動力學理論為出發點, 以模擬強震儀裝置, 計算時差相位角, 有效改善人工地震加速度歷時之反應譜與設計震譜之符合度, 並考慮真實地震之激烈歷時特性, 有效降低人工地震製作過程之迭代次數, 減少運算時間, 從實例應用結果顯示, 所製作之人工地震加速度歷時具合理性與可用性, 且對盤地區域提出震譜分離法, 有效反映其區域特性與地震特徵, 因此本文提出之人工地震製作方法, 具有下列特點:(1)製作原理簡單易於瞭解,(2)以震譜分離反映盆地區域設計震譜特性,(3)有效模擬地震特徵與地盤特性, 所製作之人工地震具代表性。

五、參考資料

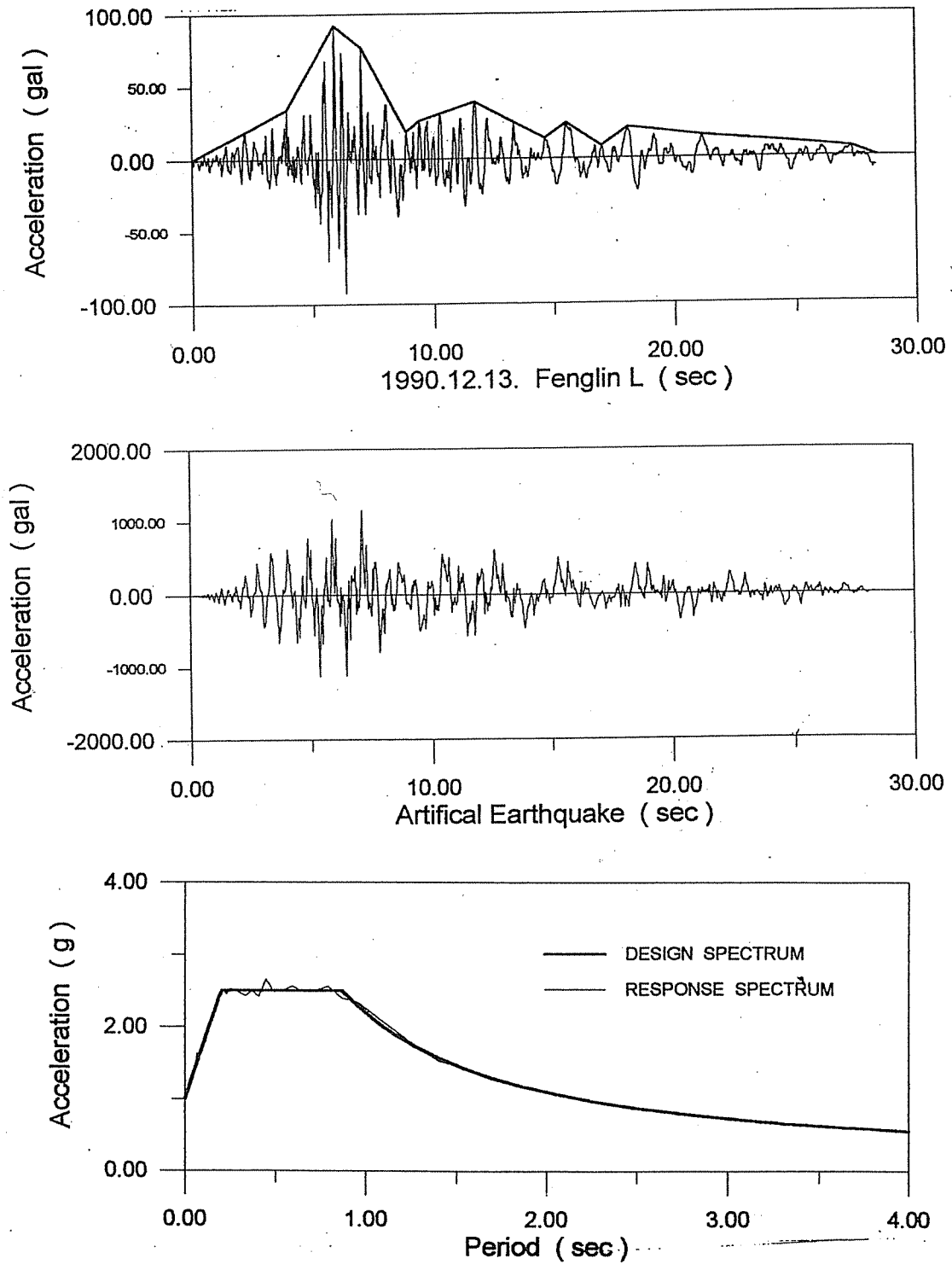
1. 羅俊雄, "地震資料處理及基本應用", 地工技術雜誌第九期。
2. 劉俊秀, 徐德志, "設計地震之製作", 土木水利第二十卷, 第四期。
3. H. Bolton Seed, Celso Ugas, Johe Lysmer, "Site-dependent spectra for earthquake-resistant design", Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.66, No.1, pp. 221- 243, February 1976.
4. Buan Mohraz, "A study of earthquake response spectra for different geological conditions", Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.66, No.3, pp.915-935, June 1976.
5. H. L. Wong, M. D. Trifunac, "Generation of artificial strong motion accelerograms", Earthquake Engineering and Structural Dynamic, Vol.7, pp.509-527, 1979.
6. Bruce Westermo, "The synthesis of strong ground motion accelerograms from existing records", Earthquake Engineering and Structural Dynamic, Vol.21, pp.743- 756, 1992.
7. Andrejs Jurkevics, Tad Ulrych, "Representing and Simulating strong ground motion", Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.68, No.3, pp.781- 801, June 1978.
8. Robert F. Nau, Robert M. Oliver, Karl S. Pister, "Simulating and analyzing artificial nonstationary earthquake ground motions", Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.72, No.2, pp.615-636 April 1982.
9. R. Narayana Iyengar, P. Narasimha Rao, "Generation of Spectrum compatible accelerograms", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol.7, pp.253-263, 1979.
10. G. Rodolfo Saragoni, Gary C. Hart, "Simulation of artificial earthquakes", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol.2, pp.249-267, 1974.
11. Robert H. Scanlan, Klaus Sachs, "Earthquake time histories and response spectra", Journal of the Engineering Mechanics Division, ASCE, Vol.100, No EM4, pp. 635-655, August 1974.
12. Nien-Chien Tsai, "Spectrum-compatible motions for design purposes", Journal of the Engineering Mechanics Division, ASCE, Vol.98, No.EM2, pp.345-356, April 1972.
13. R. W. Clough, Joseph Penzien, "Dynamics of structures", pp.54-64, McGraw-Hill International Book Company, New York, 1975.
14. Samuel Levy, John P. D. Wilkinson, "The component element method in dynamics with application to earthquake and vehicle engineering", pp.278-290 McGraw-Hill International Book Company, New York, 1976
15. 蔡益超, 邱昌平, 蔡克銓, 項維邦, "建築技術規則有關地震力條文修訂研究", 結構工程第六卷, 第二期, 第3-19頁, 民國八十年六月。
16. 西川孝夫, 世良耕作, 周義敦, "1986年11月15日台灣地區地震台北地區震災調查報告", 東京都立大學工學部, 日本設計事務所構造設計部, 1987年2月。
17. 蔡益超, "從七十五年十一月十五日地震台北市強震資料檢討建築技術規則之震力係數", 結構工程第二卷, 第四期, 第13-20頁, 民國七十六年十月。



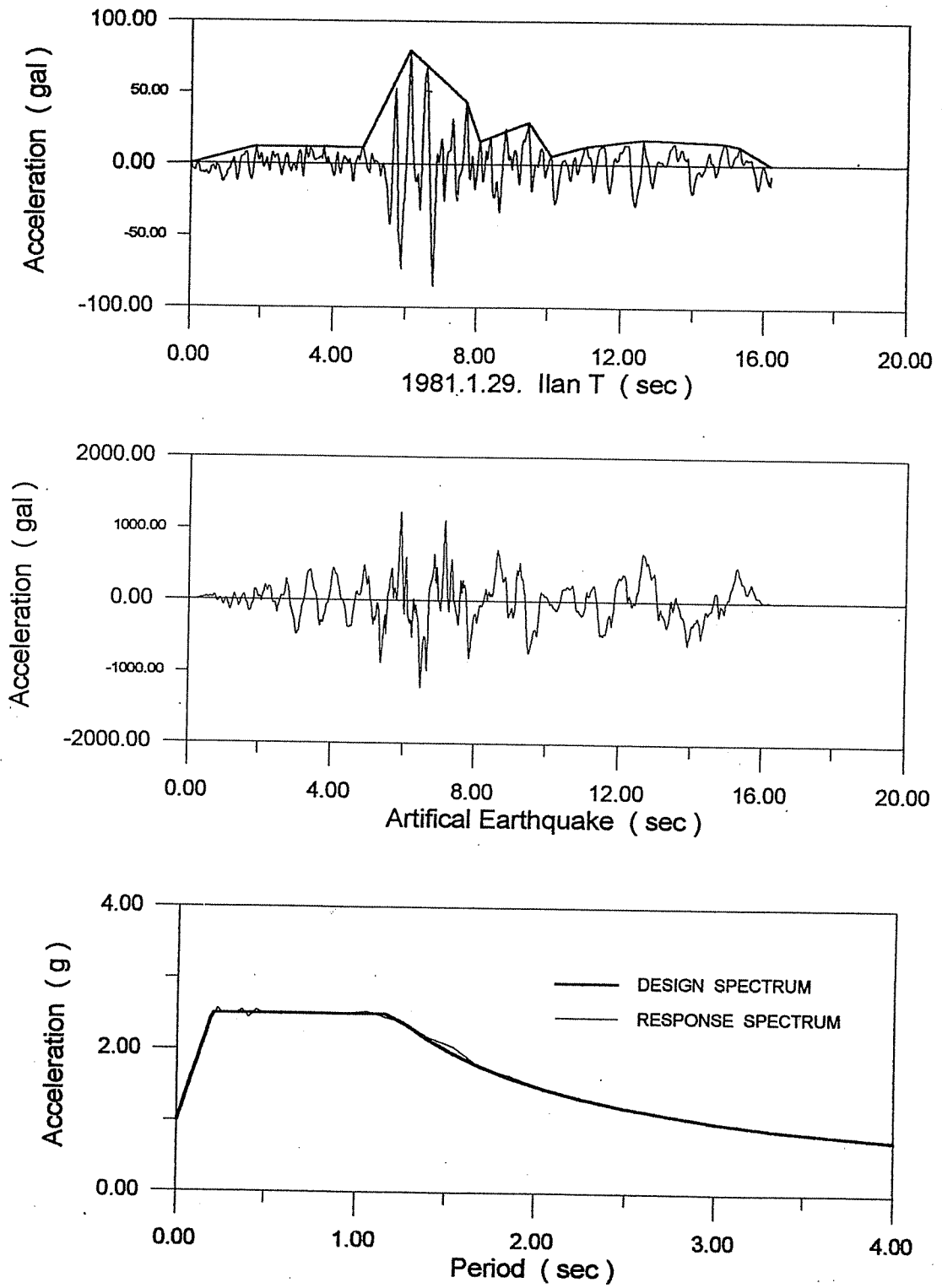
圖(一) 台灣地區第一類地盤地震包絡線人工地震及其反應譜



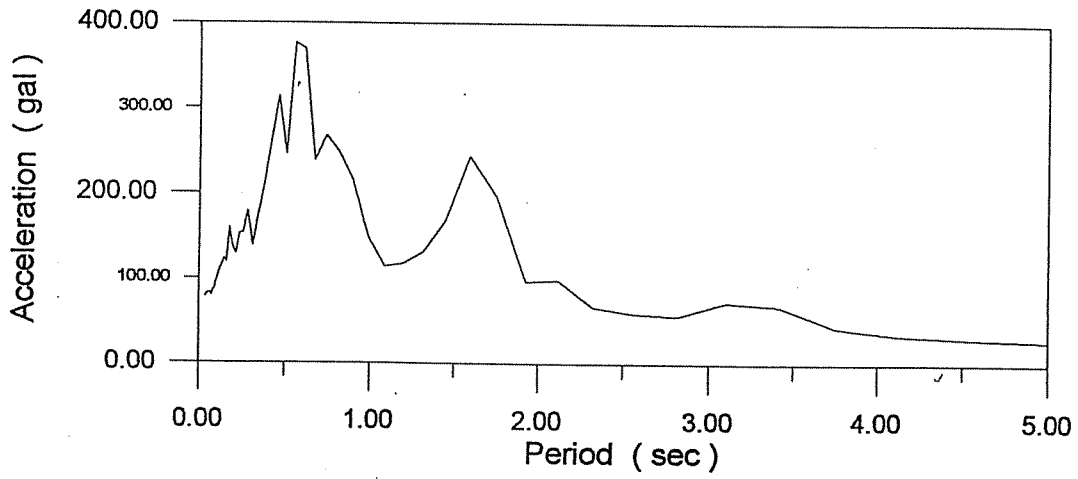
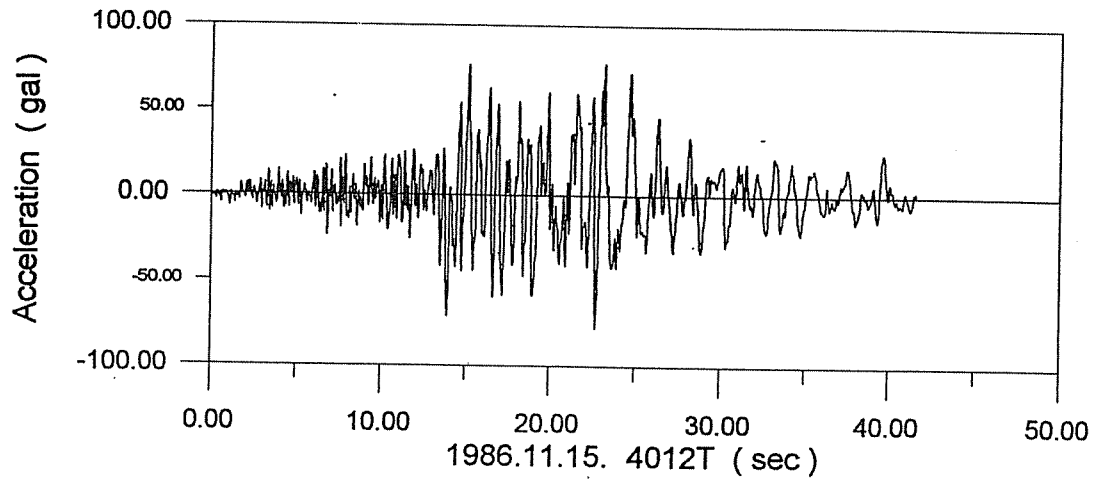
圖(二) 台灣地區第二類地盤地震包絡線人工地震及其反應譜



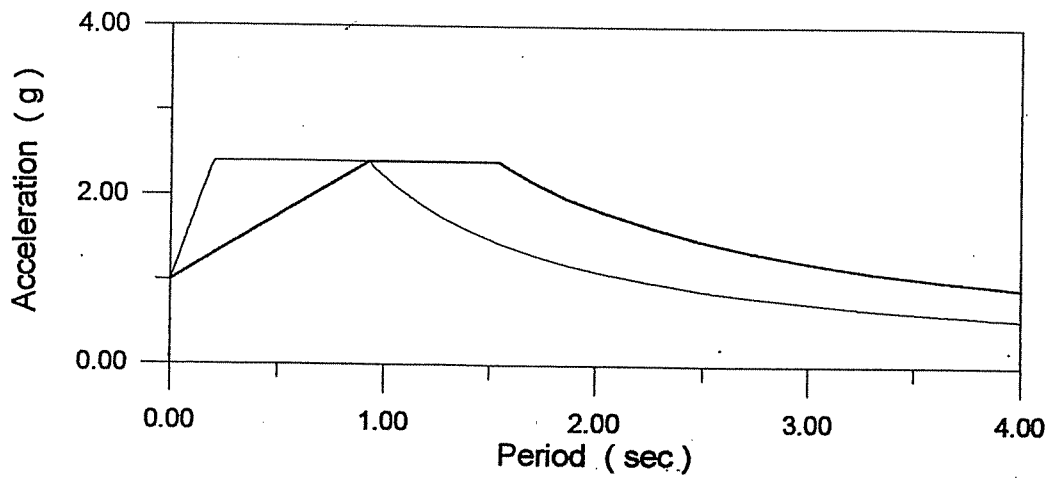
圖(三) 台灣地區第三類地盤地震包絡線人工地震及其反應譜



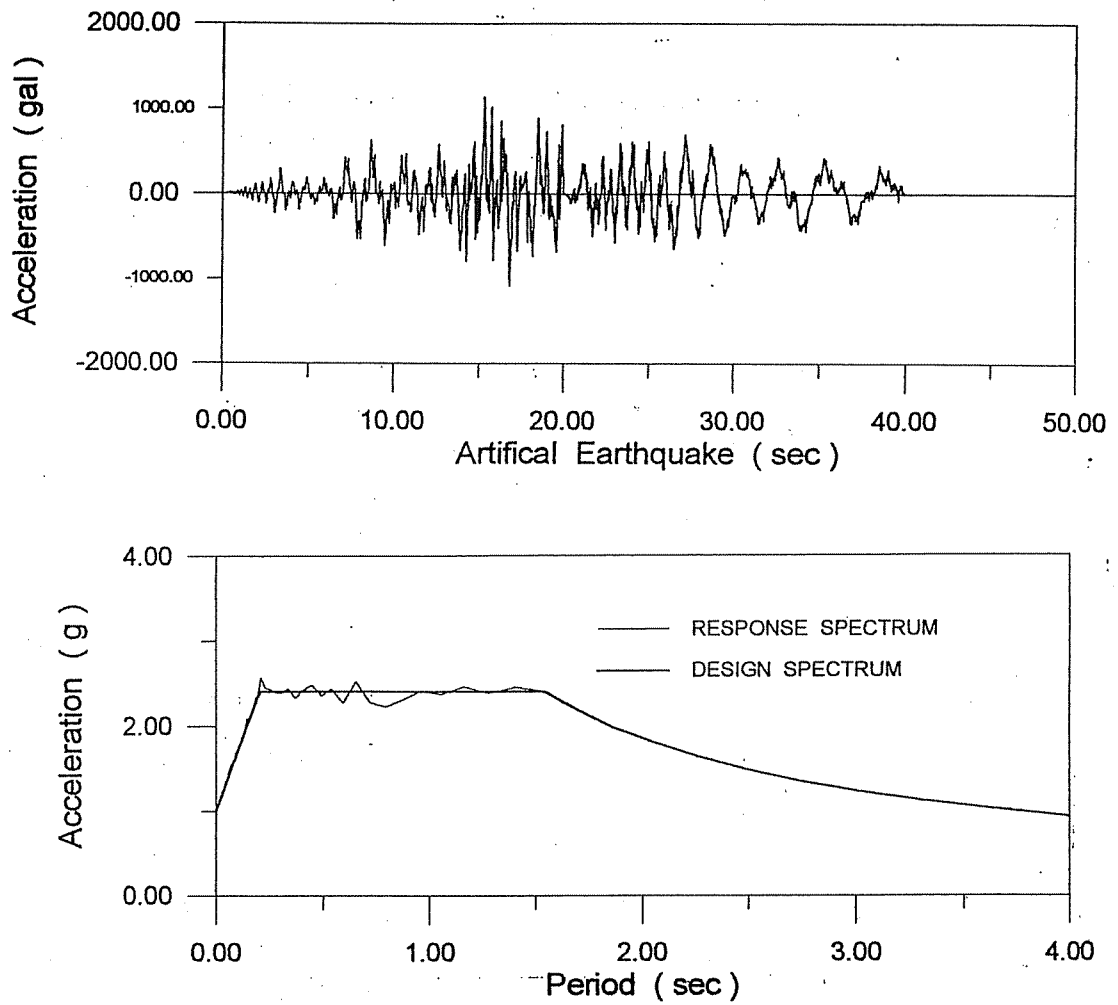
圖(四) 台灣地區第四類地盤地震包絡線人工地震及其反應譜



圖(五) 1986.11.15中正紀念堂測站地表加速度及其反應譜



圖(六) 以震譜分離台北盆地區域設計震譜為兩個次震譜



圖(七) 台北盆地區域人工地震及其反應譜

Generation of Spectrum Compatible Artificial Earthquake

Hung-wen Chen

Abstract

This paper presents a procedure for generation of spectrum compatible artificial earthquakes as the ground motion time histories for use in structural seismic analysis. The spectrum compatible artificial earthquakes are modified and compared the initial response spectra, which are generated by the simulative accelerometer, with the desired design spectra and earthquake time history envelope curves.

There are several advantages for such procedure: (1) The theorem of the artificial time history generated by the accelerometer is clear and well-understood. (2) The procedure avoids the error by using the envelope curve instead of the time history which need be modified by the band pass filter and the base-line correction. (3) For basin area, the artificial earthquakes generated by this procedure are more reasonable by using spectrum separation to reflect the design spectrum and time-severity characteristics.

Keywords : Artificial Earthquake, Design Spectrum, Envelope Curve, Spectrum Separation

