

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

二維時間域邊界元素法分析瞬態載重下槽溝被動阻隔雷利波之行為與現象之研究

Investigations on Open Trench Passive Isolation of Rayleigh Wave Due to Transient Loads by 2-D Time Domain BEM

計畫編號：NSC92-2211-E-009-045

執行期限：92年8月1日至93年7月31日

主持人：劉俊秀 交通大學土木工程系 教授

一、中文摘要

本次研究主要是想利用二維時間域邊界元素法來分析此類所謂的被動及主動阻隔暫態波傳之問題，土壤可假設為彈性半空間無限域來處理而雷利波視為平面波。在處理奇異性的過程中，我們藉由圍繞元素的引入加以解決。當圍繞元素處理半無限問題時，其圍繞之區域必須足夠大，以防止邊界反射之影響，藉由以上的假設分別對不同槽溝深度情形建立分析模型，透過改變不同幾何變化參數（深度、位置）再給定瞬態外力作用於基礎上當成振源後開始做一系列系統分析，預期將對各項變因對雷利波波傳衰減的行為有一深切瞭解。

關鍵詞：邊界素法、槽溝、雷利波

Abstract

This research is trying to deal with the so-called active and passive isolation of Rayleigh Wave by 2-D time-domain BEM. Soil can be assumed to be an elastic

half-space medium. Numerous numerical investigations are conducted for the influence of different geometrical parameters on the effectiveness of isolation. In the process of solving the singularity in BEM, “enclosing element” has been employed and the domain enclosed by these elements must be large enough in order to avoid the contamination by the reflection waves from the fictitious boundary. The analytic model is then established according to the assumptions mentioned above. Furthermore, we will discuss how displacement amplitudes be reduced for different trench depth and topography cases under a transient applied loading. Through these numerical experiments, some useful conclusions will also be drawn.

Key words: BEM, trench, Rayleigh Wave

二、目的

過去三十幾年以來，以開口溝槽（明渠）或填充式溝槽（以水泥漿或保麗龍填充之）來作為主動及被動阻隔減振的分析一直是學者們關注的問題，因其具有實際的工程應用價值。先驅的研究工作比較重要的有 Wood's 在 60 年代作了現地實驗，

並得到寶貴的成果。Dasgupta 等人在上世紀 80 年代後期首先提出溝槽主動阻隔減振的三維邊界元素法數值成果，隨後有 Banerjee 等人(1988)也以邊界元素法作分析研究，在此前後幾年間亦有 Beskos 和 Leung 等人(1986、1987)、Emad 和 Monolis(1985)首先提出在拉普拉斯域及頻率域中或使用不同的基本解邊界元素法分析溝槽阻隔減振的數值成果。上世紀 90 年代，Ahmad 與 Al-Hussaini 以三維及二維頻率域邊界元素法(彼時稱為高階元素，與本計畫使用元素同型)分析溝槽主動及被動的阻隔減振情形。與此同時，有限元素法仍是受大多研究學者所喜愛的分析方法，早期例如：Waas(1962)、Haupt(1977、1978)和 Segol 等人(1978)，後期如：May and Bolt(1982)皆以有限元素法為理論做出相關貢獻。然而，比起有限元素法，邊界元素法在處理彈性半空間無限的問題時有著先天上的優越，亦即邊界積分方程式內含的基本解（即格林函數）自動滿足無限遠處的輻射條件，如此一來，除了吾人不需要對整個領域作切割以及思考如何安排有限個網格、大小的問題外，亦無需有人工的邊界條件來滿足極遠處之輻射條件。在台灣，也有一批努力工作的學者及其團隊循著上述的軌跡對相關問題進行眾多的研究，例如：倪勝火、徐俊雄、蔡佩勳等人。

本研究主要是以二維時間域邊界元素法來分析開口溝槽的被動阻隔減振之情形，吾人將使用二次元素切割土壤表面及溝槽邊界，假設位移在時間軸上之變化為兩單位小時階內呈二次變化，曳引力則在一單位時階內作線性變化。吾人必須說明除了使用「時間域」邊界元素法外，其餘數值方法皆難以展現雷利波在彈性半空間表面傳遞至定位之現象，就連同無溝槽時的所謂的 Lamb's 問題，其本身水平方向在雷利波到達時的解析解亦付之闕如(Israil and Banerjee, 1990)，如此可知，本研究之方法可解決此類之工程問題。前述文字已經隱含雷利波傳導至場址時可視為平面波，故整個模型可假設為二維平面應變模型亦無可議之處。不同於頻率域之解法，吾人並不關心溝槽後方整體區域的「平均」阻隔減振成效，而是計算某一吾人有興趣之場址上，溝槽斷面尺寸或位置對之絕對阻隔減振的效果，且吾人並非考量穩態外力的作用，而是考量在近乎瞬態的外力載重作用下（例如：高速通過的列車有複雜高頻外力），溝槽對此特定場址的位移場影響之情形，故亦不用把穩態外力的特定頻率或曰雷利波長考量進來。吾人預期將觀察到在溝槽被動阻隔下，表面波所引致之位移確實有衰減，進一步考量改變距離、深度或建造一個以上的溝槽時，位移衰減的成效，作為提供實際設計時的參考資訊。

三、結果與討論

我們在兩槽溝間和槽後 100 公尺內之元素採 10m 等長切割,200 公尺 300 公尺採 20m 元素切割, 300 公尺以後採 40m 元素切割, 如此類推至 4500 公尺處, 所以我們在 4500 公尺處設圍繞元素 此外我們將分析模型分為 1 元素深 (模型一) 和 2 元素深 (模型二) 也就是約 10 公尺和 20 公尺, 兩槽溝間相距 200 公尺, 整體模型剖面見圖 1.2.3。

而載重型態也分衝擊載重 (impulse loading) 和簡諧載重 (harmonic loading), 因此將分析案例分為幾種情況如表 1.2 所示。

主動分析結果：我們將衝擊載重放置於模型一和模型二 (圖 1.2) 的兩溝槽中點處 (如 case 、case) , 比較有槽和無槽距載重點 110 公尺、120 公尺、130 公尺、140 公尺、150 公尺、160 公尺、170 公尺、180 公尺、190 公尺處垂直位移情況, 分析結果如圖 4 5 所示。地形變化處的雷利波阻隔效果並不顯著, 距離槽溝 30 40 公尺處效果較好, 水平位移之阻隔效果不隨觀察點遠近而有太大變化, 只隨槽溝深度而增加。因此槽溝對阻隔雷利波有較佳的效果, 而深度增加亦可增加阻隔效果。

對於簡諧載重 $1e^{i\omega t}$ 頻率 $f=1、2、3、4、5、6、7、8、9、10\text{Hz}$ 等十個不同頻率依上述作法, 分析結果如圖 6 25 所示, 以垂直位移而言模型一和模型二頻率 $f=1、2\text{Hz}$ 振幅相當接近, 阻隔率較低, 但深度增加亦可增加阻隔效果, 頻率較高時和衝擊載重的結果一樣距地形變化處的雷利波阻隔效果並不顯著, 距離槽溝 30 40 公尺處效果較好, 而水平位移無論頻率高低其阻隔效果不隨觀察點遠近而有太大變化, 只隨槽溝深度而增加。

被動分析結果：由 case 、case , 將載重分別置於離兩槽溝中點 110、120、130、140、150、160、170、180、190 公尺處, 比較兩槽溝中點處有槽和無槽垂直位移和水平位移情況, 其分析結果如圖 26 27 所示, 由圖所知, 以垂直位移而言, 槽溝深度在被動阻隔方面必須要一定深度才有其阻隔效果。

再由 case 、case , 載重 $1e^{i\omega t}$ 頻率 $f=1、2、3、4、5、6、7、8、9、10\text{Hz}$ 置於離兩槽溝中點 110、120、130、140、150、160、170、180、190 公尺處, 比較兩槽溝中點處有槽和無槽垂直位移和水平位移情況, 其分析結果如圖 28 47 所示, 以垂直位移而言模型一的阻隔率在頻率 $f=1 10\text{Hz}$ 皆在 20 % 以下, 模型二的阻隔率 $f=1\text{Hz}$ 時完全看不效果, $f=3 10\text{Hz}$ 阻隔效果較顯著, 而水平位移無論頻率高低其阻隔效果不隨觀察點遠近而有太大變化, 只隨槽溝深度而增加, 整體而言主動機制的效果比被動機制的阻隔效果好。

四、計畫成果自評

本計畫除了獲得重要之成果外, 參與研究人員亦獲得寶貴之訓練。值得在未來對於相關之領域作更深入的發展。

五、參考文獻

1. Barkan, D. D., Dynamics of Bases and Foundations, translated from the Russian by L. Drashevskaya, and translation edited by G. P. Tschebotarioff, McGraw-Hill Book Co., New York, p. 434 ,1962.
2. Dolling, H. J., "Schwingungsisolierung Von Bauwerken durch Tiefe auf Geeignete Weise Stabilisierte Schlitze,"

- VDI-bar. 88 S. 3741 ,1965.
3. Neumeuer, H., "Untersuchungen über die Abschirmung eines Bestehen den Gebäudes gegen Erschütterungen beim Bau und Betrieb Einer U-Bahnstrecke," Baumaschine und Bautechnik 10, pp. 23-29 ,1963.
 4. Woods, R. D., Barnett, N.E. and Sagesser, R , "Holography, a New Tool for Soil Dynamics," Proc. ASCE 100, J. Geotech. Engng., Dir. GT11, pp. 1231-1247, 1974.
 5. Liao, S and Sangrey, D. A . , "Use of Piles as Isolation Barries," Journal of the Geotechnical Engineering Division
 6. Sridharan, A., M. V. Nagenendra, and T. Parthasarathy, "Isolation of Machine Foundations by Barriers," International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics ,St. Louis, Vol. 1, pp. 279-282 ,1981.
 7. Haupt, W. A., "Model Test on Screening of Surface Waves," Proc., 10th, Int. Conf. Soil Mech. And Found. Engng., Stockholm, Vol. 3, pp. 215-222 , 1981.
 8. 倪勝火, 徐俊雄, 蔡佩勳, 「填充槽溝阻隔效應之實驗研究與分析」, 中華民國第十七屆全國力學會議論文集, 臺北, 第 349-356 頁, 1993.
 9. Wass, G., "Linear Two-Dimensional Analysis of Soil Dynamics Problem in Semi-Infinite Layered Media," Ph. D. thesis, University of California, Berkeley, California ,1972.
 10. Aboudi, J., "Elastic Waves in Half-Space with Thin Barrier," Proc. ASCE, J. Engrg. Mechs. Div., Vol. 99, EM1, pp. 69-83 ,1973.
 11. Haupt, W. A., "Surface Waves in Nonhomogeneous Half-Space," Dynamical Methods in Soil and Rock Mechanics, Prange, B., eds, Rotterdam: Balkema, pp. 335-367 ,1977.
 12. 倪勝火、馮正一、蔡佩勳, 「條形基礎振動反應與阻隔效應之分析」, 中國土木水利工程學刊, 第六卷, 第三期, 第 269-277 頁, 1994.
 13. 楊永斌, 高速列車所引致之土壤振動分析法, 中興工程顧問社, 臺北, 1995.
 14. 蔡佩勳, 「槽溝對方形振動基礎的震波阻隔效應之研究」, 博士論文, 國立成功大學土木工程研究所, 臺南, 1996.
 15. Graff, K.F., Wave Motion in Elastic Solids, Dover Publications, Int., New York, 1973
 16. Gutowski, T.G., Dym, C.L., "Propagation of Ground Vibration : A Review ", J. Sound Vibr., Vol 49(2), p179-193, 1976
 17. Banerjee, P.K. and Butterfield, R. "Boundary Element Method in Engineering Science," McGraw-Hill, London and New York, 1981.
 18. 王忠成, "推導高階時間域邊界元素法求解二維暫態應力波", 國立交通大學, 博士論文, 1996
 19. Ahmad, S. and Banerjee, P.K. "Multi-domain BEM for two-dimensional problems of elastodynamics", International Journal for Numerical Methods in Engineering , Vol 26, p891-911, 1988
 20. 麥永慶, 「以二維時間域邊界元素法分析地表幾何變化對波傳之影響」, 碩士論文, 國立交通大學土木研究所, 2002.

六、附圖：

被動模式	一個元素深	兩個元素深
衝擊載重	case	case
簡諧載重	case	case

表 1

主動模式	一個元素深	兩個元素深
衝擊載重	case	case
簡諧載重	case	case

表 2

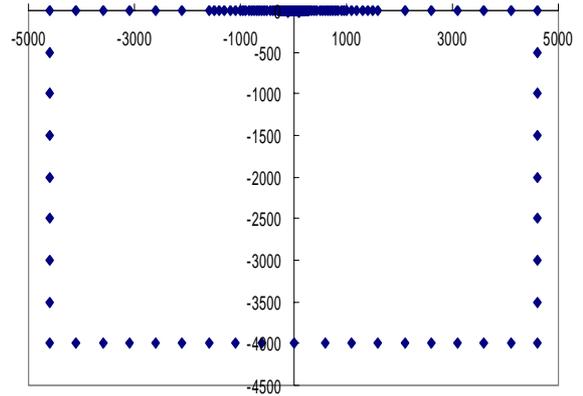


圖 3 圍繞元素模型圖

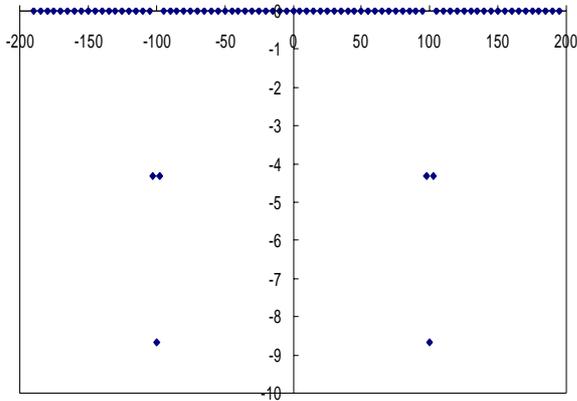


圖 1 一個元素深模型圖

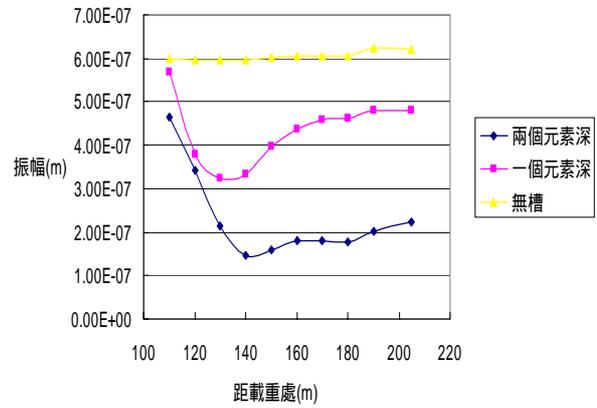


圖 4 case、case 各觀察點垂直位移振幅比較

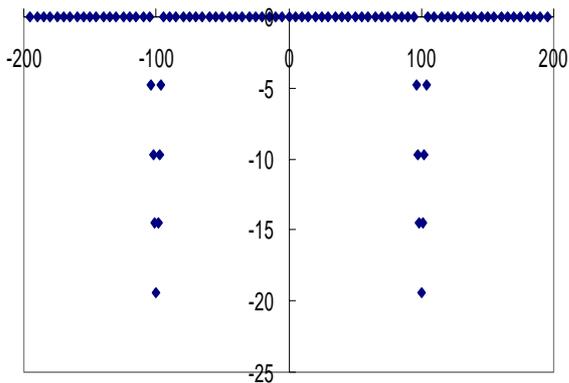


圖 2 兩個元素深模型圖

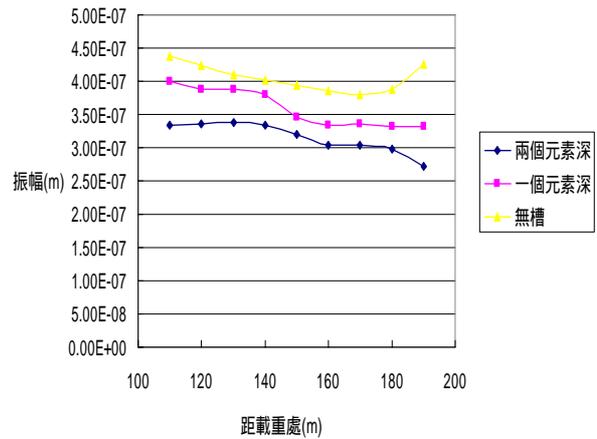


圖 5 case、case 各觀察點水平位移振幅比較

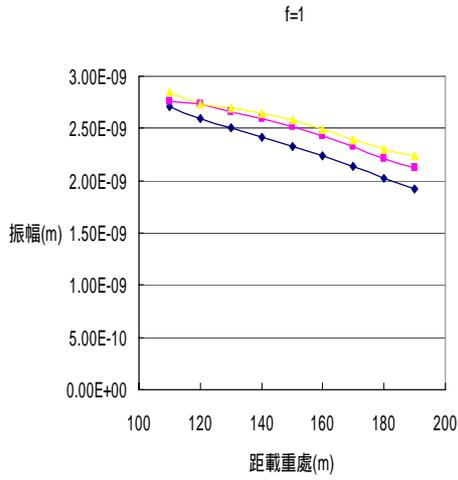


圖 6 case 、 case 各觀察點垂直位移振幅比較

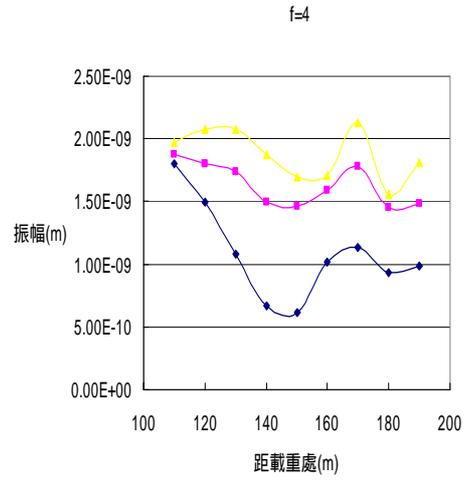


圖 9 case 、 case 各觀察點垂直位移振幅比較

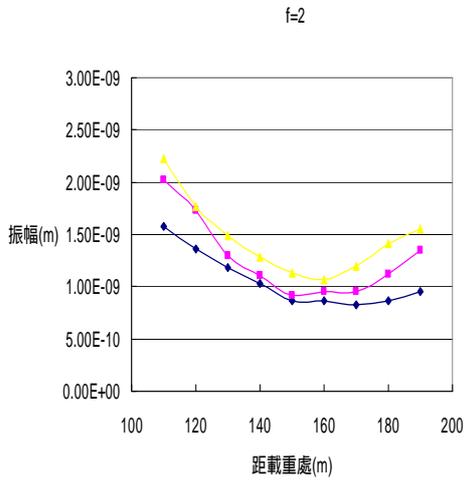


圖 7 case 、 case 各觀察點垂直位移振幅比較

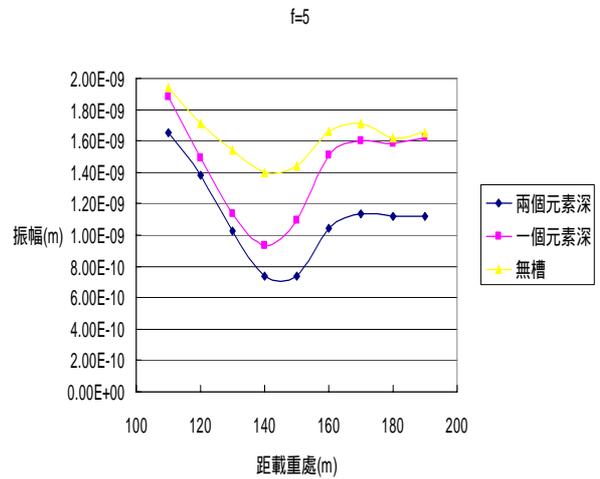


圖 10 case 、 case 各觀察點垂直位移振幅比較

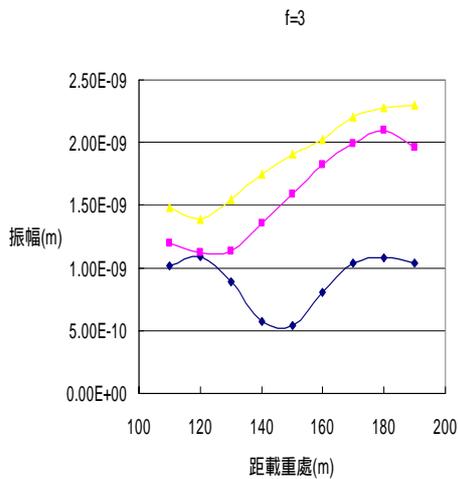


圖 8 case 、 case 各觀察點垂直位移振幅比較

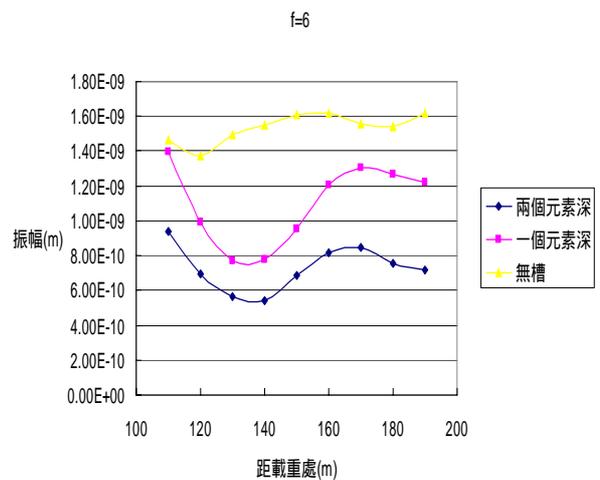


圖 11 case 、 case 各觀察點垂直位移振幅比較

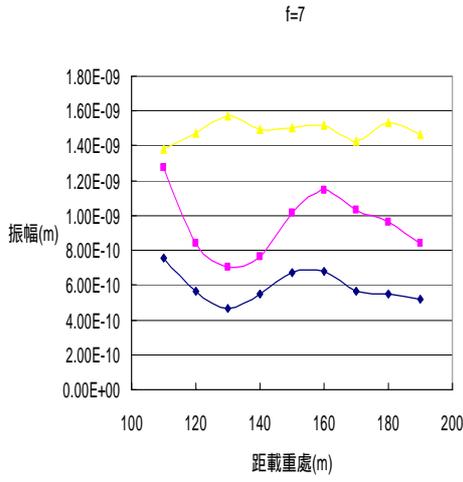


圖 12 case 、 case 各觀察點垂直位移振幅比較

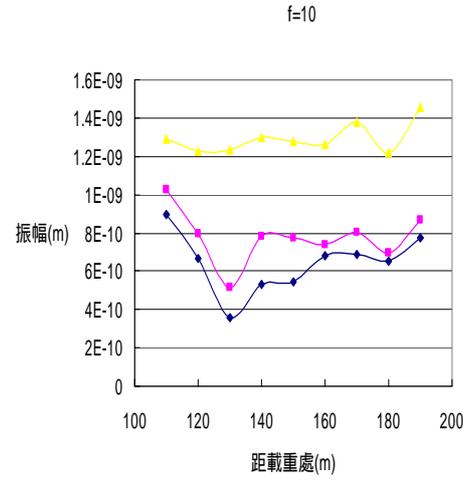


圖 15 case 、 case 各觀察點垂直位移振幅比較

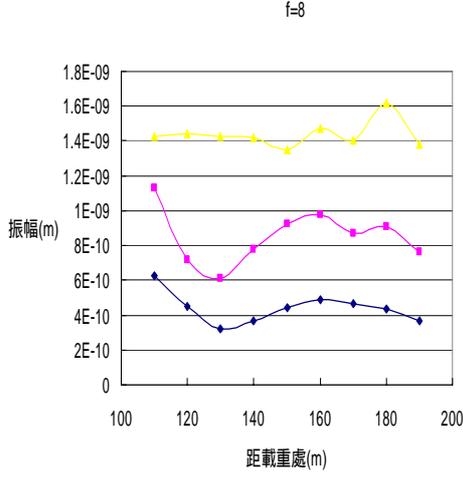


圖 13 case 、 case 各觀察點垂直位移振幅比較

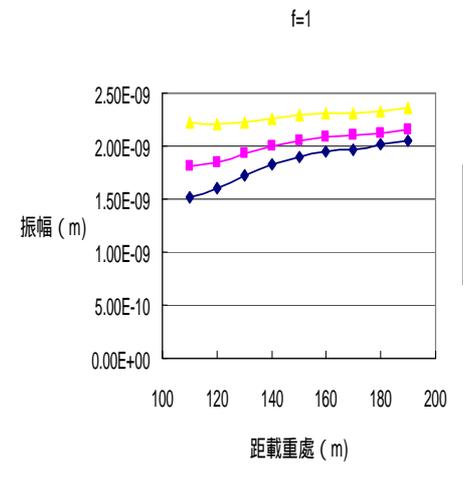


圖 16 case 、 case 各觀察點水平位移振幅比較

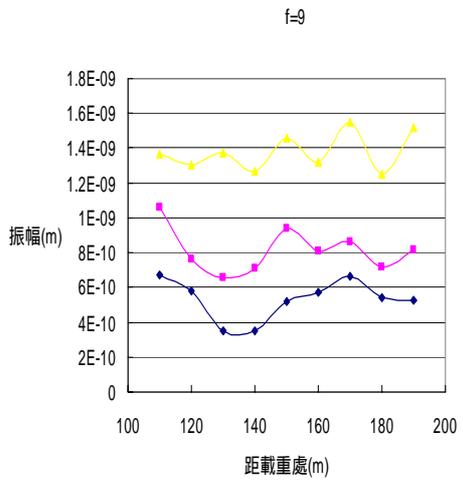


圖 14 case 、 case 各觀察點垂直位移振幅比較

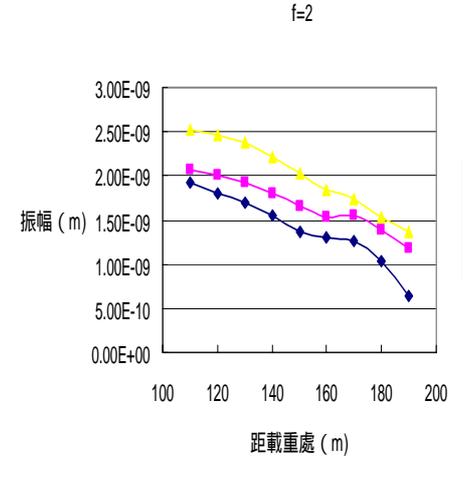


圖 17 case 、 case 各觀察點水平位移振幅比較

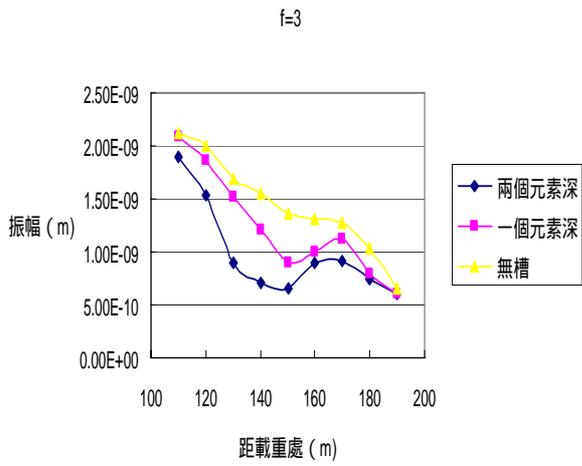


圖 18 case 、 case 各觀察點水平位移振幅比較

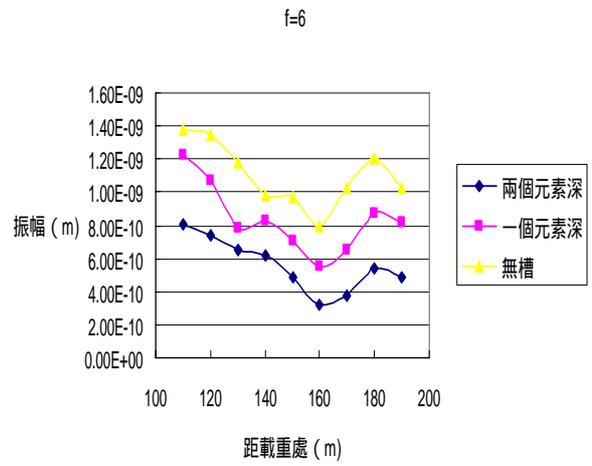


圖 21 case 、 case 各觀察點水平位移振幅比較

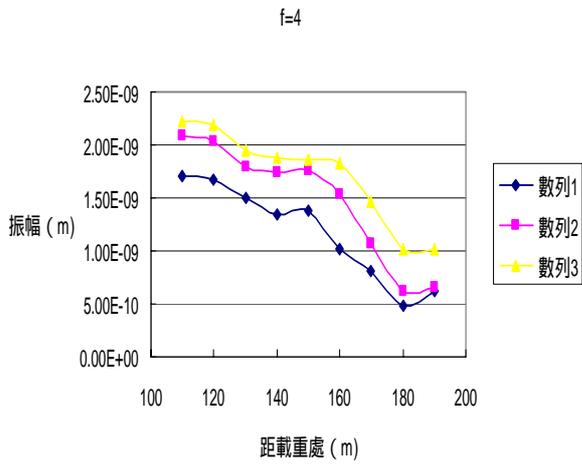


圖 19 case 、 case 各觀察點水平位移振幅比較

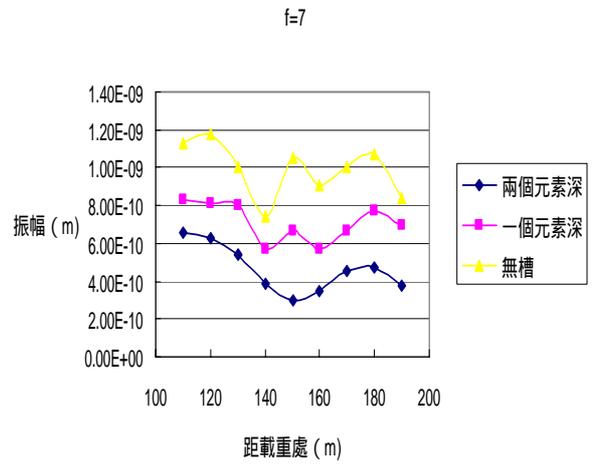


圖 22 case 、 case 各觀察點水平位移振幅比較

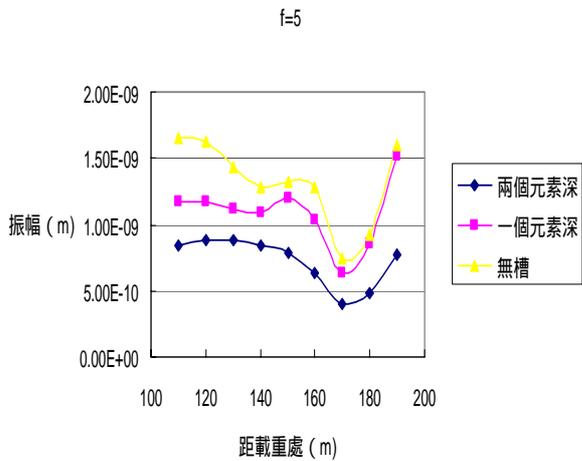


圖 20 case 、 case 各觀察點水平位移振幅比較

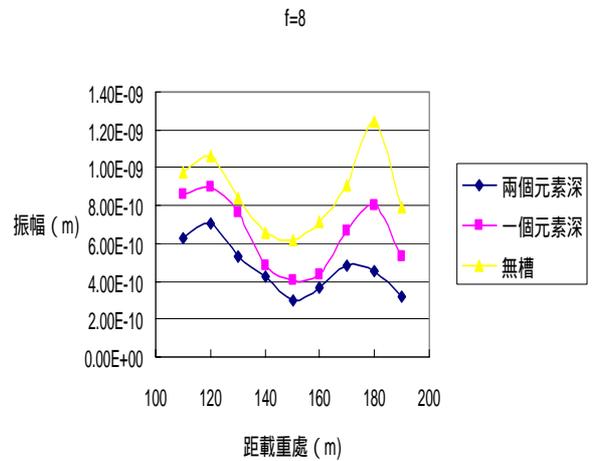


圖 23 case 、 case 各觀察點水平位移振幅比較

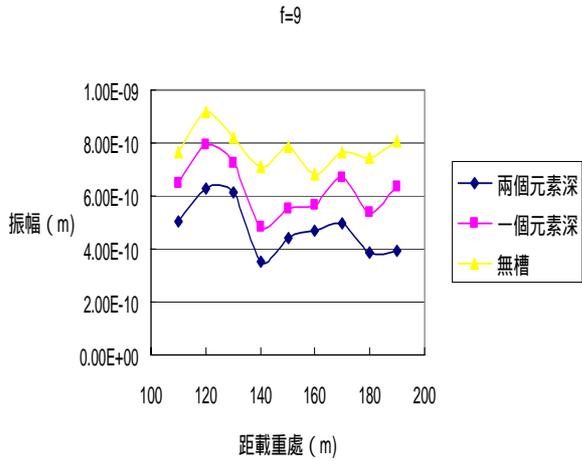


圖 24 case 、 case 各觀察點水平位移振幅比較

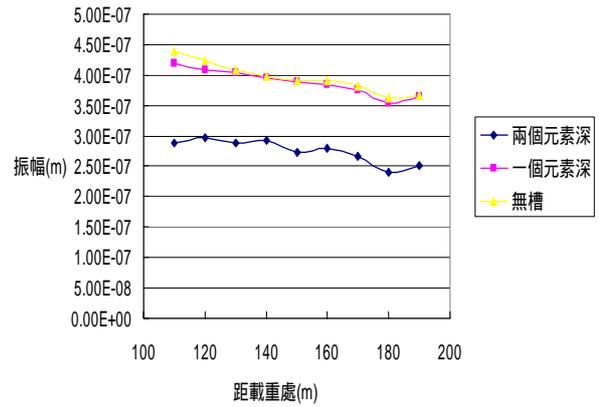


圖 27 case 、 case 各槽溝中點有槽、無槽水平位移比較

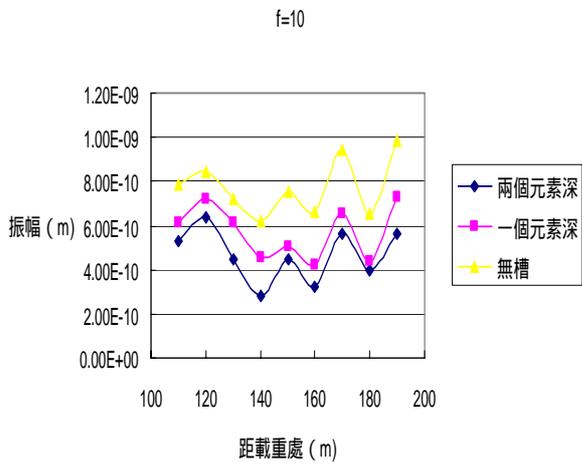


圖 25 case 、 case 各觀察點水平位移振幅比較

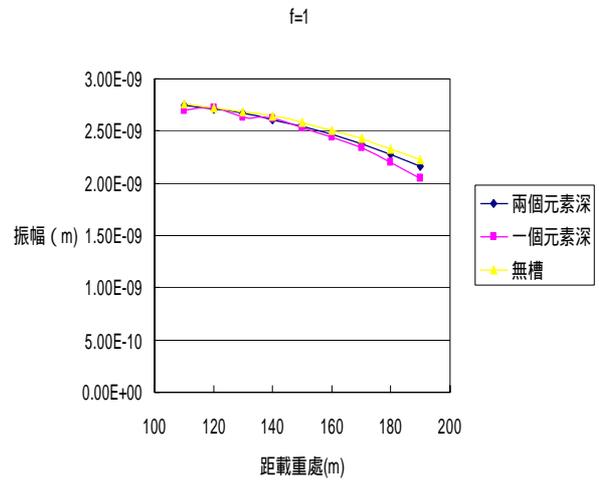


圖 28 case 、 case 各槽溝中點垂直位移振幅比較

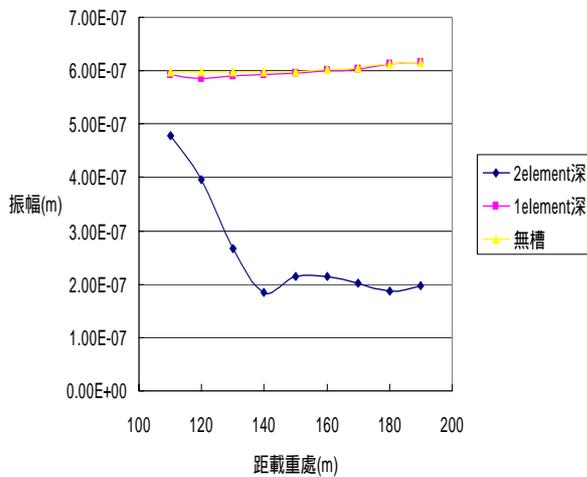


圖 26 case 、 case 各槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

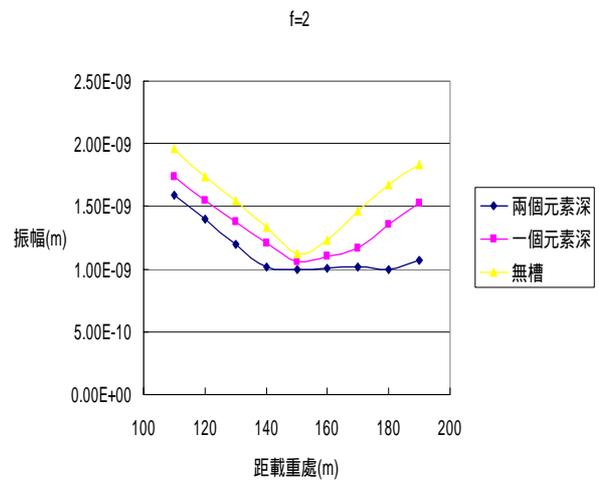


圖 29 case 、 case 各槽溝中點垂直位移振幅比較

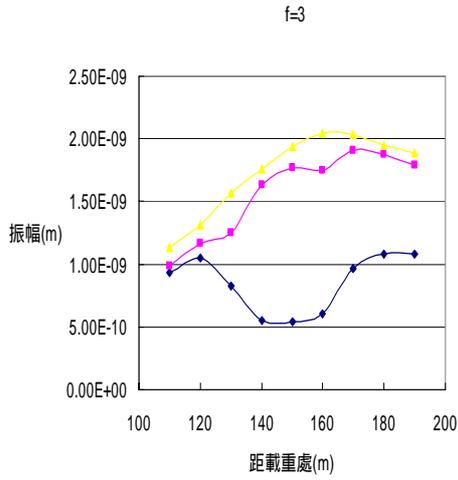


圖 30 case 、 case 各槽溝中點垂直位移振幅比較

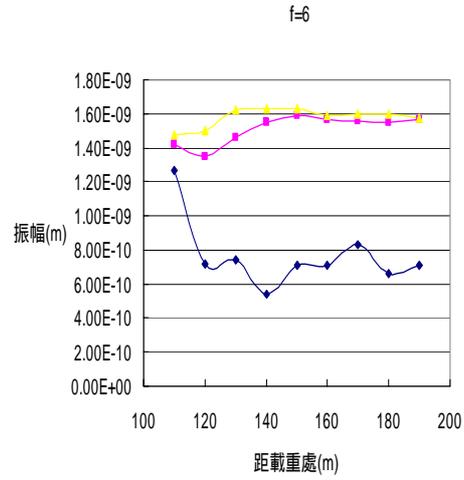


圖 33 case 、 case 各槽溝中點垂直位移振幅比較

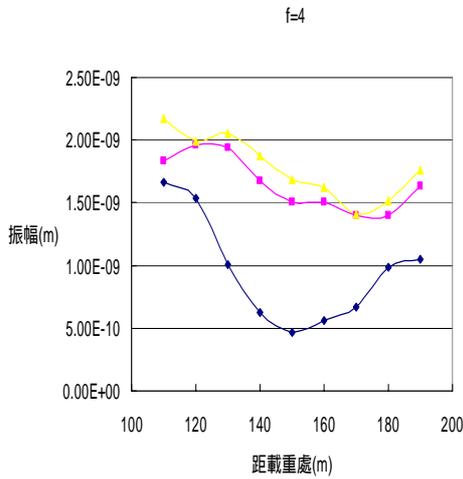


圖 31 case 、 case 各槽溝中點垂直位移振幅比較

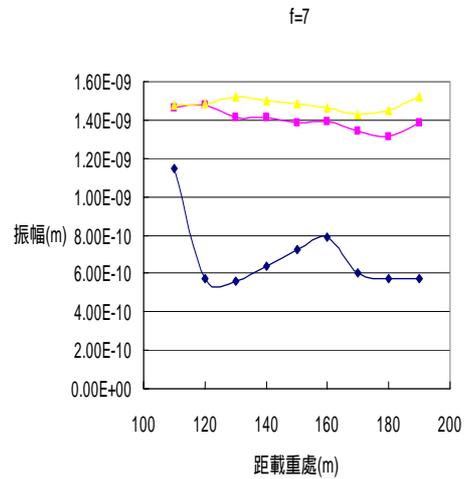


圖 34 case 、 case 各槽溝中點垂直位移振幅比較

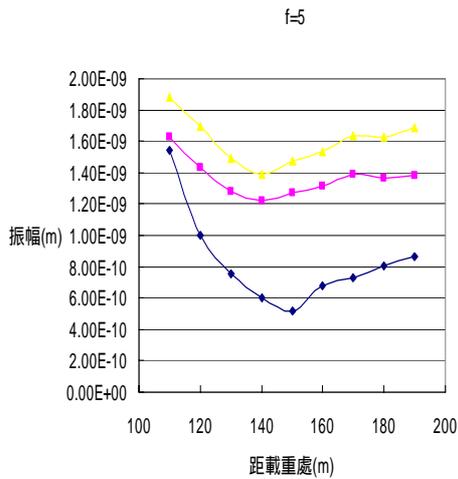


圖 32 case 、 case 各槽溝中點垂直位移振幅比較

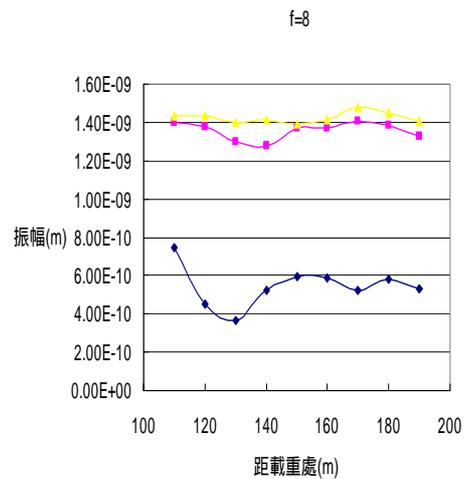


圖 35 case 、 case 各槽溝中點垂直位移振幅比較

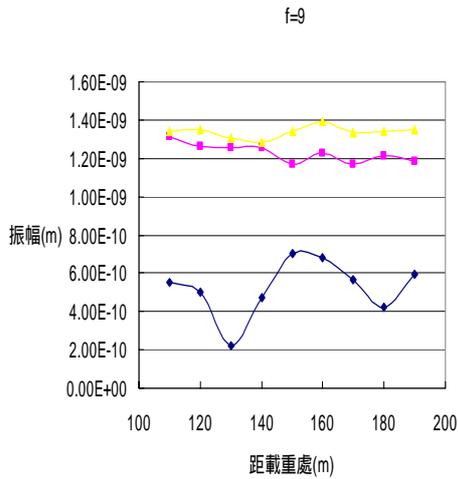


圖 36 case 、 case 各槽溝中點垂直位移振幅比較

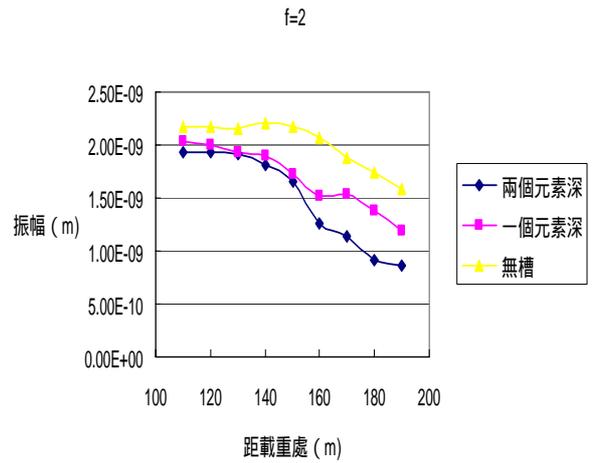


圖 39 case 、 case 各槽溝中點垂直位移振幅比較

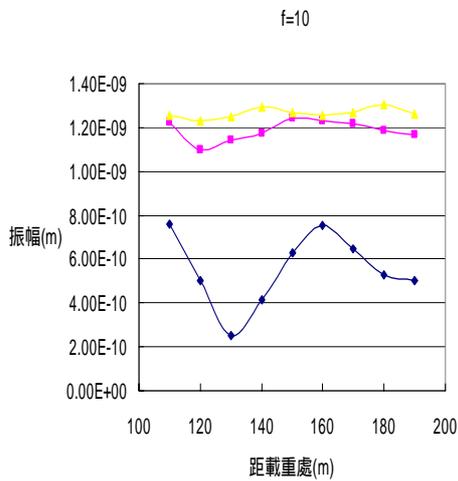


圖 37 case 、 case 各槽溝中點垂直位移振幅比較

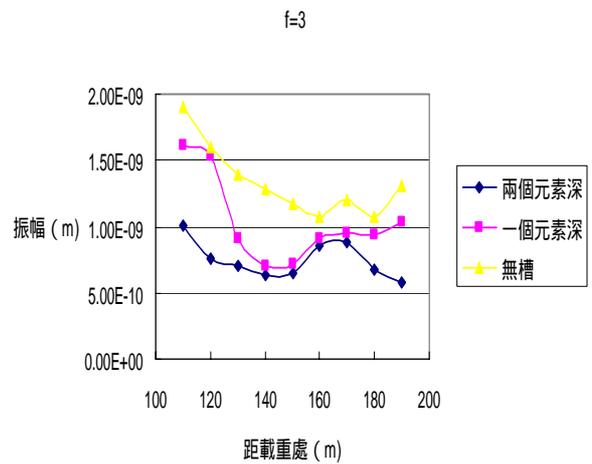


圖 40 case 、 case 各槽溝中點垂直位移振幅比較

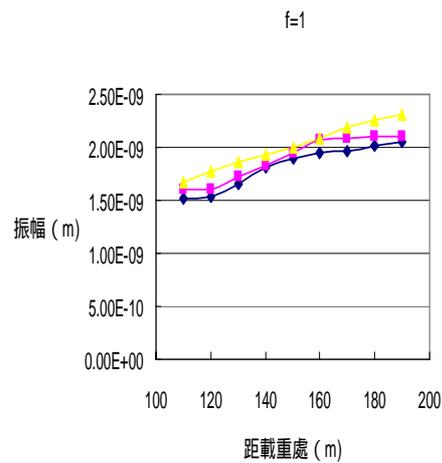


圖 38 case 、 case 各槽溝中點垂直位移振幅比較

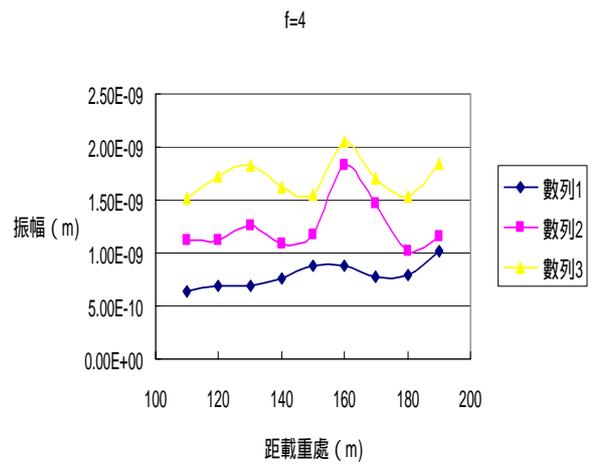


圖 41 case 、 case 各槽溝中點垂直位移振幅比較

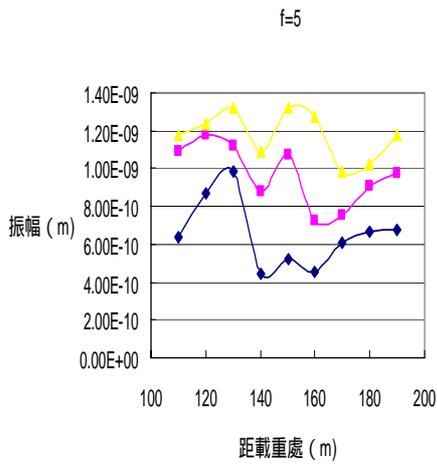


圖 42 case 、 case 各槽溝中點垂直位移振幅比較

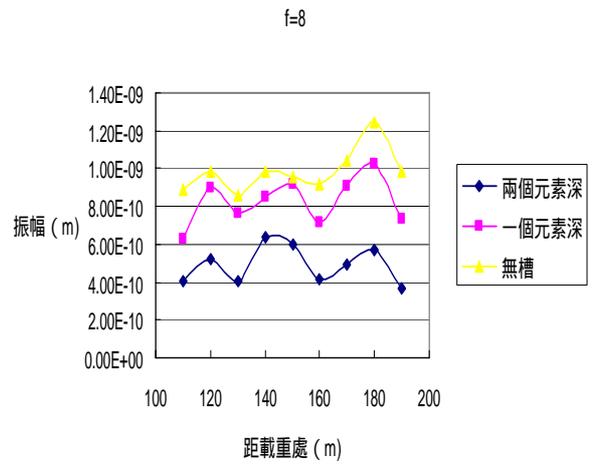


圖 45 case 、 case 各槽溝中點垂直位移振幅比較

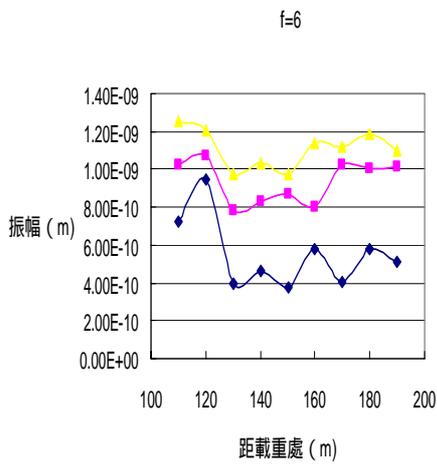


圖 43 case 、 case 各槽溝中點垂直位移振幅比較

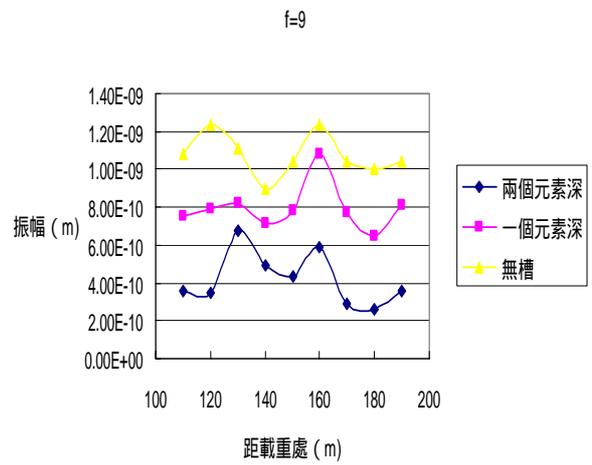


圖 46 case 、 case 各槽溝中點垂直位移振幅比較

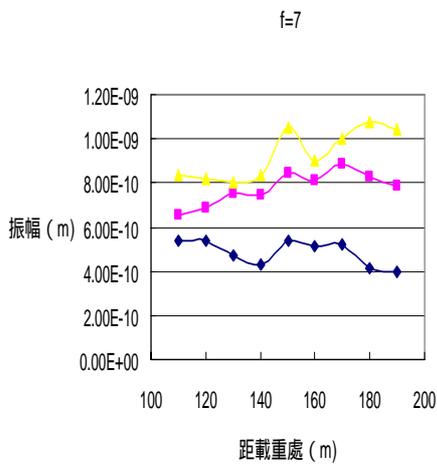


圖 44 case 、 case 各槽溝中點垂直位移振幅比較

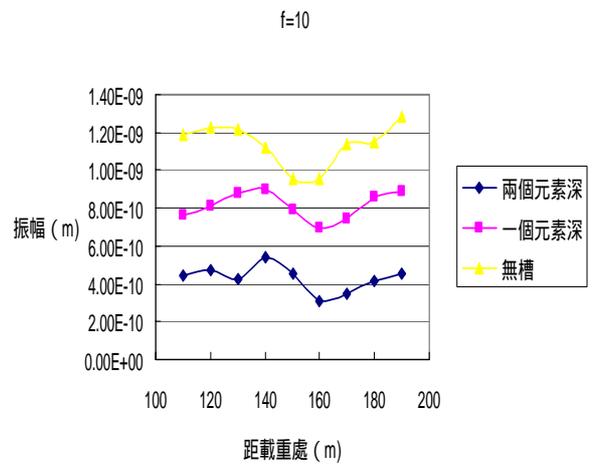


圖 47 case 、 case 各槽溝中點垂直位移振幅比較