

探討鋼管排樁對列車所產生地表振動之減振效果

羅云岑¹ 蔡佩勳² 郭倍翔³

^{1,3}朝陽科技大學營建工程系碩士班研究生

²朝陽科技大學營建工程系副教授

摘 要

近年來由於大眾運輸工具迅速發展,利用區間運輸工具作為代步的人們也越來越頻繁,載客使用的高鐵列車或捷運列車重量有增加的趨勢,而貨運列車的行車速度也有增加的情形,當這些列車行經都會區時,引發振動而影響附近居民的生活品質,因此如何有效降低列車所引發振動是一個重要的課題。本研究以有限元素軟體 ABAQUS 來模擬當列車經過隧道時,列車對地表面所產生振動,在土壤內埋設鋼管排樁以降低其振動之效果。在取得 7 條測線各別之位移歷時曲線後,利用 Matlab 軟體進行傅利葉轉換與 1/3 八音階頻帶分析得到地表位移均方根減少量,以繪製減振效率圖。本研究在討論鋼管排樁減振效果之影響的參數包括鋼管樁深度與中心頻率,針對埋設鋼管排樁前後的差異性做討論。研究結果顯示,埋設鋼管樁後大致上皆有 dB 減少的情況,鋼管樁深度對減振效果之影響不大,管樁對 10Hz 的減振效果比 20Hz 者要佳。

關鍵字: 鋼管排樁、1/3八音階頻帶分析、高速列車。

The isolation effectiveness of steel pipe pile barriers for high speed train induced vibration

Yun-Cen Luo¹, Pei-Hsun Tsai², Pei-Hsiang Kuo³

^{1,3} Graduate Student, Department of Construction Engineering, Chaoyang University of Technology

² Associate Professor, Department of Construction Engineering, Chaoyang University of Technology

ABSTRACT

The current trend of transportation is towards the increasing train speed and train weight. When these trains enter the city can result in ground vibration and effect on the living quality of people near to the railway. It is an important issue how to reduce the vibration induced by high speed train. In this study, ABAQUS software based on finite element method is used to study the screening effectiveness of steel pipe pile barriers on reducing vibration induced by high speed train moving through a tunnel. The vertical displacement time history on ground surface will be simulated and recorded in order to understand the screening effectiveness by using 7 steel pipe piles. Analyzing results of ground surface vibration will be represented the reduction of 1/3 octave band displacement amplitude by using Matlab software. The results show that the steel pipe pile barrier reduces ground surface vibration induced by high speed train effectively. However, the depth of pile is an insignificant parameter. It shows that the reducing vibration in frequency of 10 Hz behind the pile barrier is more obvious than other frequencies.

Key Words: Steel pipe piles, 1/3 octave band spectrum analysis, high speed train.

1 前言

近年來由於大眾運輸工具迅速發展,利用區間運輸工具作為代步的人們也越來越頻繁,載客使用的高速鐵路或捷運列車重量有增加的趨勢,而貨運列車的

行車速度也有增加的情形,當這些列車在行經都會區時,引發振動而影響附近居民生活品質。由於現代人口稠密,所以在這些地區進行工程施工必定是無可避免的,當其所引發的振動也將造成附近居民不舒適的感覺。因此,對於上述所引發的振動採取減振措施是

必要的。對高速列車所引發之振動，在過去也許多學者做過類似探討，而針對鋼管排樁的部分較少，如鋼管樁埋設深度或位置等參數對減振效果之影響，由於這方面的成果較為不多，所以如何設計較佳的鋼管排樁以對這些震源達到有效的減振效果仍無法提出更多建議。

對於群樁減振問題的分析方式一般可分為實驗方法及數值方法，在實驗方法方面有Barkan (1962)；Woods *et al.*, (1974)；Liao and Sangrey (1978)，雖然可以得到較接近實際情況的分析結果，但卻需要大量的人力與物力，而且所得的成果僅適用於該實驗參數的情形，由於探討的參數不能任意調整，所以其成果是否可適用於其他情形仍未可知。對於土壤介質與幾何邊界複雜的狀況下，可用數值方法來求得近似解，減少許多分析時間。在數值方法方面有Haupt (1981)；Kattis *et al.* (1999)；Gao *et al.* (2006)；Tsai *et al.* (2008)。

2 數值模擬及分析方法

本研究利用國家高速網路與計算中心所提供之有限元素軟體ABAQUS，建立三維有限元素模型，在模型上記錄分析過程中不同位置網格節點上的位移歷時反應，以模擬該位置(測站)所量測到的位移歷時反應，探討在土層中埋入鋼管排樁後受到列車所引發之振動影響時，地表面質點的運動行為。本研究所使用的材料參數為密度、泊松比及楊氏係數，而土壤、隧道混凝土襯砌及鋼管樁材料參數如表1所示。

表 1 材料參數設定

參數	土壤	混凝土襯砌	鋼管樁
密度, $\rho(\text{kg/m}^3)$	1800	2350	7500
泊松比, ν	0.25	0.25	0.3
剪力模數, G (GPa)	0.072	4.5	80
剪力波速, $V_s(\text{m/sec})$	200	1383	3265
楊氏係數, $E(\text{GPa})$	0.18	11	200

本研究使用固定時間增量的計算方法，以高鐵列車車速 300 km/h 為例，該模型的時間總長設定在 4 sec，使用固定增量步，時間間隔 Δt 為 0.001 sec，分析 4000 步。當列車車速為 100 km/h 時，該模型的時間總長設定為 12sec，使用固定增量步，時間間隔 Δt 為 0.001 sec，分析 12000 步，並且取消殘餘力的計算，能夠加快收斂，得到不錯的結果。此程式以高速網路與計算中心的電腦 IBM Cluster 1350 執行，列車車速 300 km/h 案例分析需 60 小時左右；列車車速 100 km/h 案例分析需 100 小時左右。

本研究之高速列車假設為 12 節車廂，每節車廂 25 m，重 50 公噸，列車的 48 個輪軸載重大小及排列方式如圖 1 所示。列車之車速將分兩種情況討論，即模擬高速鐵路之列車速度 $v=300$ km/h 及列車進站或台鐵列車速度 $v=100$ km/h。載重大小與方向不隨時間改變，但作用點隨時間移動改變，單節車廂之荷重示意圖如圖 2 所示。載重時間計算，以列車車速為 300 km/h 為例，300 km/h 經由單位換算過得到 83.33 m/sec，再將列車輪軸距離 2.5 m 除上 83.33 m，就會得到 0.03 sec，所以說在 2.5 m 的距離相當於是 0.03 sec。由於枕木間距假設為 0.5 m，而枕木所受的載重時間，因為枕木間距 0.5 m 除上 83.33 m/sec 得到 0.006 sec，即設定列車行駛中列車輪軸剛好坐落於枕木上的時間為 0.006 sec，且呈三角形衝擊載重形式。輪軸加載部分，每個輪軸分攤承擔車箱重量 6.25 公噸(50 公噸除以 8 輪)相當於 6250 kg 以模擬當列車經過時所受之重量。本研究只考慮元素網格內的車輪載重，若列車車輪尚未進入或已離開有限元素網格時，這些載重將不予考慮。

本研究所用之模型尺寸為25(m)×30(m)×40(m)，共有100,688個元素，除了隧道混凝土襯砌網格大小為0.25(m)×0.5(m)×0.5(m)、0.5(m)×0.5(m)×1(m)及鋼管樁元素尺寸為0.013(m)×0.5(m)×1(m)，鋼管樁交接處的網格大小為0.25(m)×0.5(m)×1(m)，其餘網格大小為0.5(m)×1(m)×1(m)。大地工程實質上是一個半無限空間，ABAQUS提供無限元素結合有限元素分析以此來模擬半無限域，所以本研究在模型邊緣結合無限元素的方式來模擬無限延伸以防止震波的反射。元素網格總共設置1,120個無限元素，其元素大小為2(m)×2(m)×1(m)。邊界條件設定，因為本研究模型周圍採取無限元素故無設置邊界條件，而在模型底部因模擬為岩盤，所以將模型底部X、Y、Z方向之位移固定不動。

本研究利用有限元素軟體 ABAQUS 建立三維數值模型，假設埋設 7 支鋼管樁，分析鋼管排樁對列車所引發的地表振動之減振效果，針對尚未埋置鋼管排樁前以及埋設鋼管排樁後，進行地表振動反應分析。本研究之固定參數為鋼管樁直徑等於 1 m，鋼管樁厚度等於 0.013 m，隧道襯砌至鋼管排樁圓心之距離等於 6.5 m，隧道高度為 5 m，寬度為 5 m，而上部及左右兩旁的混凝土襯砌厚度各為 0.5 m 及底座混凝土厚度為 1 m，軌道寬度為 1.5 m。鋼管樁長度為 30 m 之模型如圖 3 所示。三維 ABAQUS 模型網格圖，如圖 4 所示；三維模型加上無限元素後之模型網格如圖 5 所示。執行 ABAQUS 運算時，記錄網格節點之振動反應，以此模擬該位置設定一個實體收波器之情形。為了方便探討管樁前後方之振動降低或放大情形，因此在地表安置測線，7 支鋼管樁共 7 條測線，測線位置如圖 6 所示。由於從隧道襯砌朝右延伸 19 公尺，而元素長度 1m，因此在一條測線上有 19 個節點(相當於一條測線安裝 19 個收波器)。

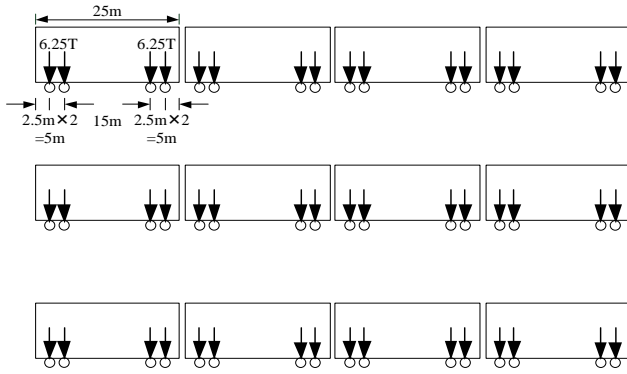


圖 1 十二節車廂列車示意圖

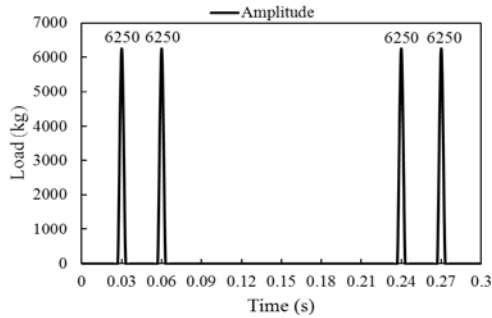


圖 2 單節車廂之荷重示意圖

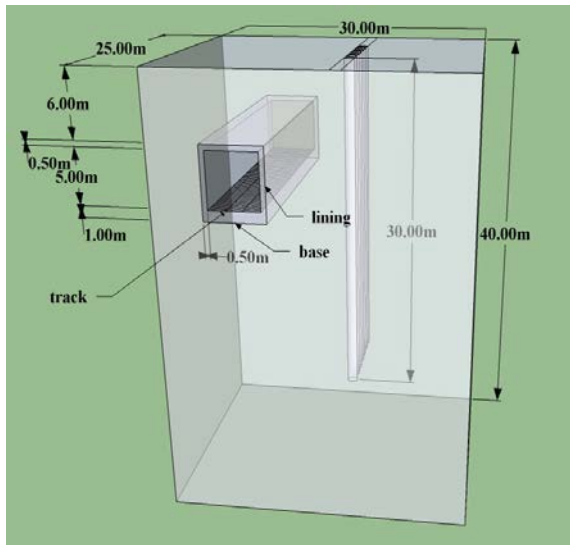


圖 3 模型示意圖(鋼管樁長度 d=30 m)

本研究評估鋼管排樁減振效率之好壞，將以分貝 (dB) 減少量來表示，此值係有設置管樁與無管樁之地表振動分貝減少量來估計。時域的振動訊號經傅利葉轉換後得到不同中心頻率的振幅 u ，為了評估減振效益，本研究採 1/3 八音階頻帶劃分成多個頻帶，計算各頻帶分貝減少量，如下式：

$$dB_{\text{減少量}} = 20 \log_{10} \frac{u_{\text{無管樁情形}}}{u_{\text{有管樁情形}}} \quad (1)$$

由式(1)可知，振幅降低為原來之一半時，dB 減少量等於 6 dB；若減少 12dB 即振幅降低為原先之 1/4。

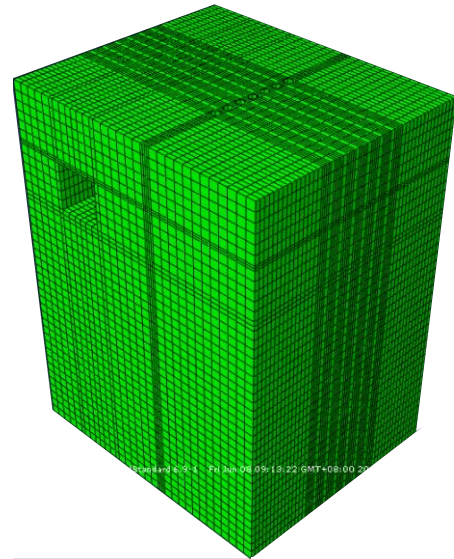


圖 4 ABAQUS 網格示意圖

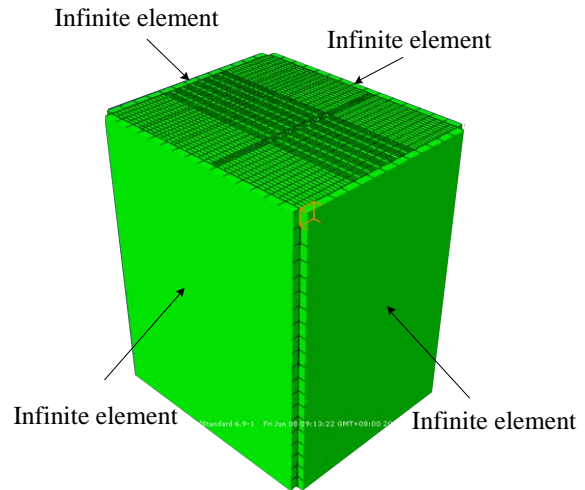


圖 5 無限元素網格位置

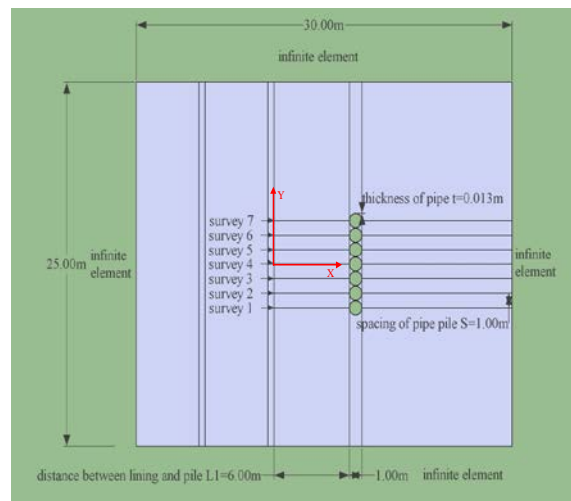
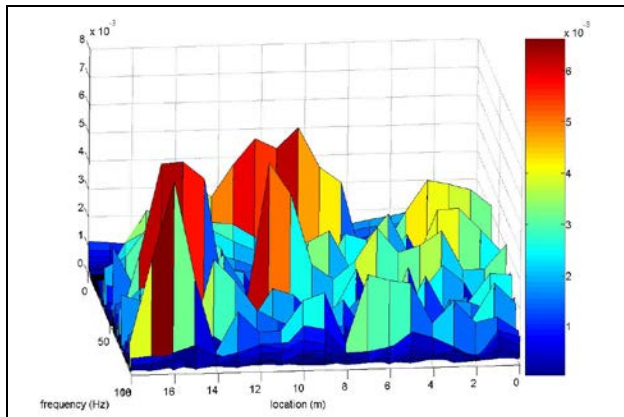


圖 6 管樁減振平面配置圖(樁中心距為 1 m)

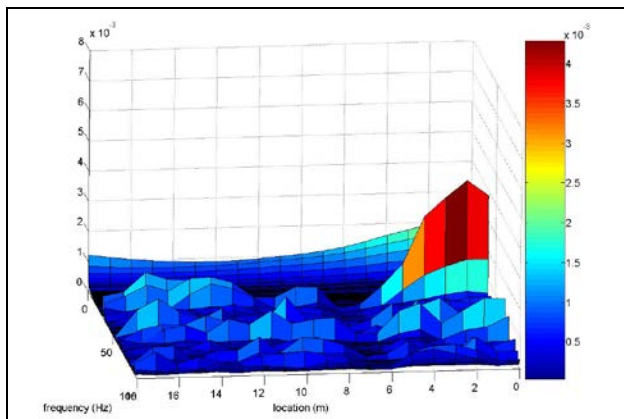
3 數值分析結果

3.1 位移振幅分析

本研究以ABAQUS軟體來分別模擬未設置減振設施與埋設鋼管排樁後，列車經過隧道時列車對地表面所引發之振動反應，得到地表7條測線(在管樁之前後方)之位移振動歷時。當樁中心距等於1.5m，在第4條測線之位置上，車速分別等於100 km/h與300 km/h之位移頻譜圖，如圖7與8所示。

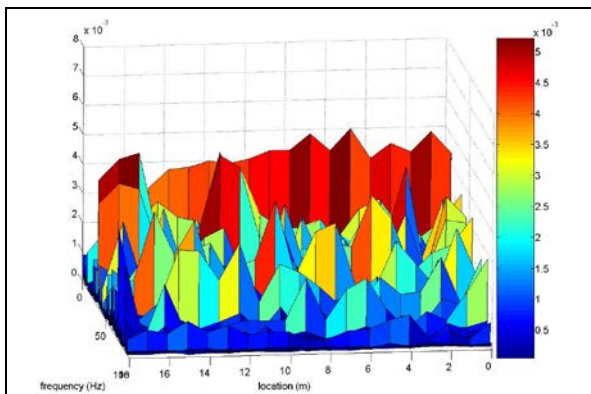


(a)尚未埋設鋼管

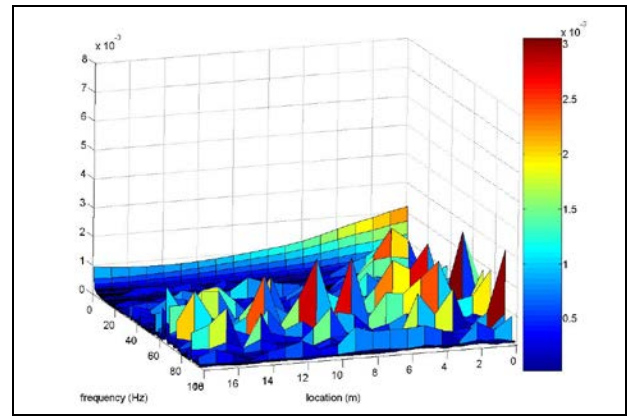


(b)埋設鋼管時

圖7 位移頻譜圖(車速V=100 km/h)



(a)尚未埋設鋼管



(b)埋設鋼管時

圖8 位移頻譜圖(車速V=300 km/h)

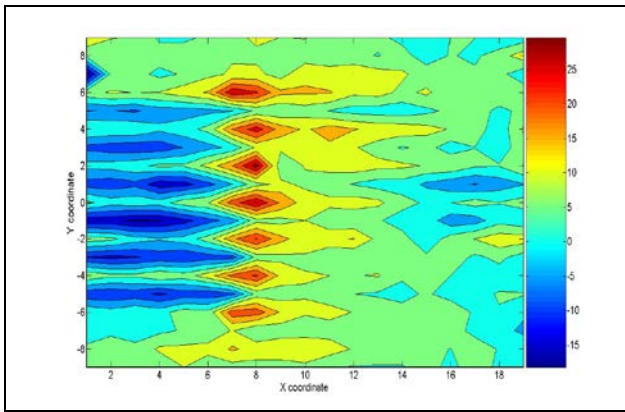
由位移頻譜圖可以明顯觀察到埋設鋼管樁之後各頻率之振幅有減少的趨勢，所以以下將再利用1/3八音階頻帶分析，求出地表位移均方根並繪製減振效率圖，針對鋼管排樁存在之有無的差異做評估與討論。

3.2 減振效率分析

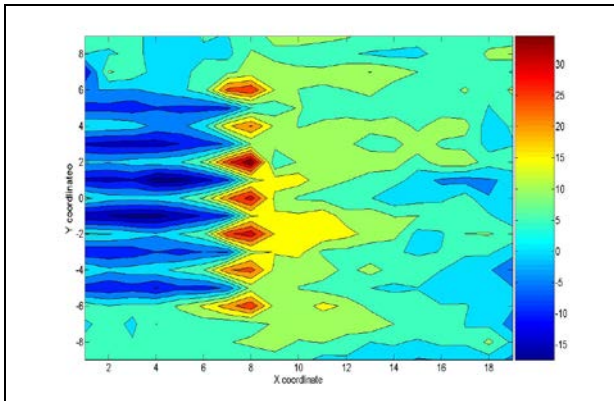
圖9為樁中心距等於1m且車速等於100 km/h時，三種樁長(10m、20m、30m)在中心頻率等於10 Hz下之減振分布圖。由於7支鋼管樁之圓心皆位於x座標等於6.5 m處，所以可以從圖9看出，鋼管樁前方dB減少量為負值，亦即振幅因鋼管樁之存在而有放大之現象，但在鋼管樁後方6~7 m的位置其dB減少量為正值，尤其是在樁正後方2 m的dB減少量為最大，減振的效果較其他區域來的明顯，樁後6~7 m為其減振有效範圍。比較圖9(a)~9(c)，樁長對減振效果之影響似乎無明顯之差異。

圖10為樁中心距等於1m且車速等於100 km/h時，三種樁長在中心頻率等於20 Hz下之減振分布圖。可以從圖10看出，鋼管樁正前方的部分區域dB減少量仍為負值，但與10Hz的結果(圖9)不同，也存在部分區域的dB減少量為正值，亦即在鋼管樁正前方之部分區域的20Hz之振幅有放大之現象。在鋼管樁後方的位置其dB減少量為正值，減振的有效範圍分布較廣，但dB減少量不比10Hz者大。

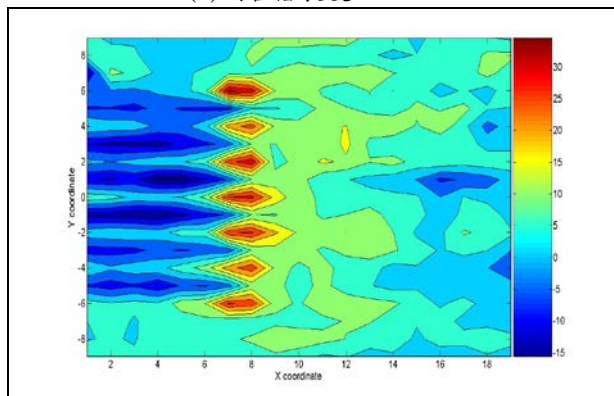
為了探討鋼管樁在不同頻率之減振效果，當車速等於300 km/h，樁長30m且樁中心距等於1.5m時，在第4條測線之頻譜如圖11所示。從圖11可看出，低頻振動有大幅降低之趨勢，列車在10Hz的振幅很大，存在鋼管群樁後，10Hz的振幅有大幅降低。未設鋼管樁的情形下，20Hz的振幅雖不如10Hz的振幅大，但設置鋼管樁後也有降低振幅的情形。



(a)鋼管樁長度d=10 m

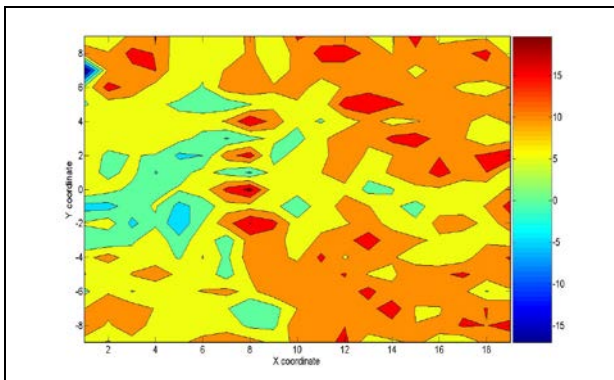


(b)鋼管樁長度d=20 m

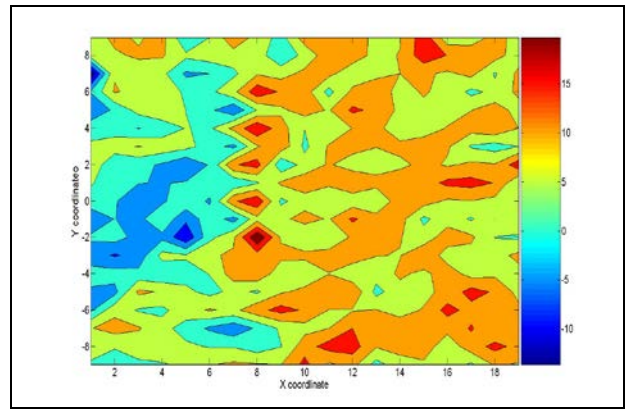


(c) 鋼管樁長度d=30 m

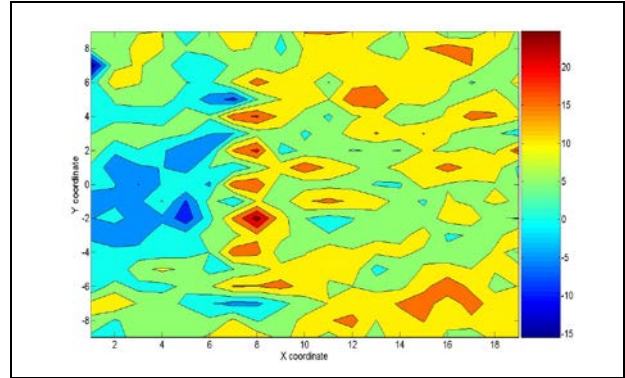
圖9 樁長對減振效率之影響(中心頻率=10Hz)



(a)鋼管樁長度d=10 m

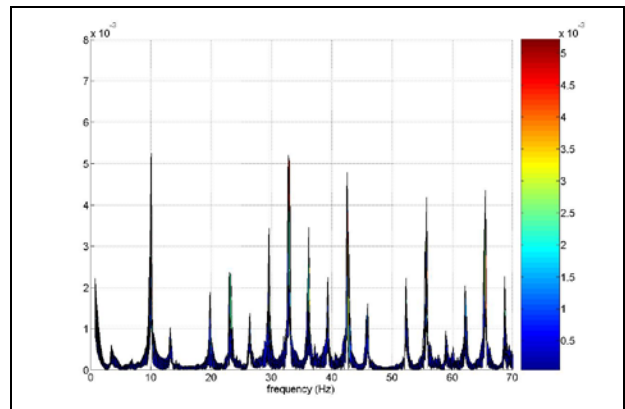


(b)鋼管樁深度d=20 m

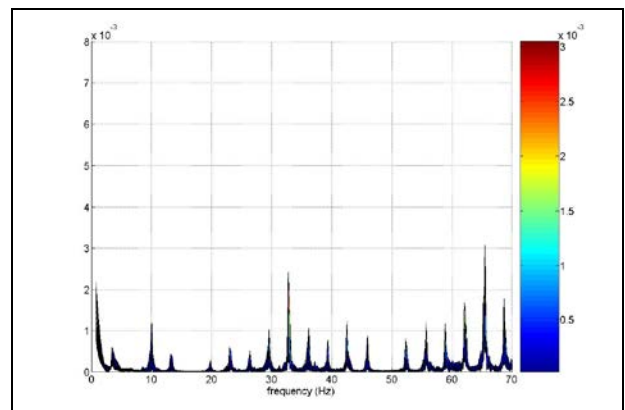


(c)鋼管樁長度d=30 m

圖10 樁長對減振效率之影響(中心頻率=20Hz)



(a) 未埋設鋼管樁時



(b) 埋設鋼管樁後

圖11 鋼管群樁之頻譜分析

4 結論

本研究以數值模擬方法，得到地表面的位移振動歷時，利用Matlab進行訊號處理，得到該測線之位移頻譜圖，使用Matlab進行1/3八音階頻帶分析，得到減振效率分布圖，經由分析之結果得到以下結論：

- (1) 從1/3八音階頻帶分析繪製減振效率圖發現，埋設鋼管樁後大致上皆可降低dB值。
- (2) 鋼管樁長度10 m、20 m、30 m此三種長度對高速列車之減振效果差異不大，如果以成本為考量，鋼管樁長度等於10 m之選擇即可。
- (3) 在列車所引發之不同頻率的振動中，管樁對10Hz的減振效果比20Hz者要佳。

誌謝

本研究承蒙國科會計畫(NSC101-2221-E-324-030)之經費支持，以及國家高速網路與計算中心提供軟硬體設備，使本研究能順利進行，特此致謝。

參考文獻

- Barkan, D. D., (1962) *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, 434p.
- Gao, G. Y., Li, Z. Y., Qiu, C. and Yue, Z. Q., (2006) "Three-Dimensional Analysis of Rows of Piles as Passive Barriers for Ground Vibration Isolation," *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Vol. 26, pp. 1015-1027.
- Haupt, W. A., (1981) "Model Test on Screening of Surface Waves," Proc., 10th, *Int. Conf. Soil Mech. And Found. Engineering*, Stockholm, Vol. 3, pp. 215-222.
- Kattis, S. E., Polyzos, D., and Beskos, D. E., (1999) "Modelling of Pile Wave Barriers by Effective Trenches and Their Screening Effectiveness," *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Vol. 18, pp. 1-10.
- Liao, S. and Sangrey, D. A., (1978) "Use of Piles as Isolation Barriers," *Journal of the Geotechnical Engineering Division*, ASCE 104(GT9), pp. 1139-1152.
- Pei-hsun Tsai, Zheng-yiFeng, Tin-lon Jen, (2008) "Three-dimensional analysis of the screening effectiveness of hollow pile barriers for foundation-induced vertical vibration," *Computers and Geotechnics*, Vol. 35, pp. 489-499.
- Woods, R. D., Barnett, N. E. and Sagesser, R., (1974) "Holography, a New Tool for Soil Dynamics," Proc. ASCE 100, *Journal of the Geotechnical Engineering Division*, GT11, pp. 1231-1247.