

板樁式槽溝對振動基礎之減震效應分析

蔡佩勳¹ 陳振昌² 鄭丁榮²

摘要

本文應用二維頻率域邊界元素法，分析無質量剛性條形基礎在垂直簡諧外力作用下，以板樁式槽溝作為震波阻隔機制，研究其對槽溝後方地表振幅的阻隔效果。假設土壤為線彈性、均質且均向的半無限域介質，並且考慮遲滯材料阻尼的存在。本文針對板樁式槽溝的幾何尺寸、與基礎之距離、板樁型式等參數對減震效果的影響，作一系列之研究與探討。板樁式槽溝型式方面將討論材料為鋼板或木板之板樁式槽溝。為了評估槽溝對震波阻隔之效果，本文將以平均振幅降低比 \bar{A}_r 來表示，平均振幅降低比係取板樁式槽溝後方適當區域之地表振幅降低比 A_r 加以平均而得。木板槽溝阻隔效果隨板樁式槽溝深度之增加而增加，但鋼板槽溝的阻隔效果受槽溝深度之影響不大。板樁式槽溝寬度及槽溝與振動基礎中心距對震波阻隔之效果影響不大。

關鍵詞：邊界元素法、板樁式槽溝、阻隔。

THE STUDY OF THE WAVE SCREENING EFFECTIVENESS OF VIBRATING FOUNDATION USING SHEETPIILING TRENCHES

Pei Hsun Tsai¹ Chen Chang Chen² Tin Lon Jen²

ABSTRACT

The main objective of this paper is to study the screening effectiveness of strip foundation subjected to vertical harmonic vibration by sheetpiling trenches. Two-dimensional boundary element method in frequency domain is used in this study. Soil is assumed to be homogeneous, isotropic and linear elastic half-plane, the hysteretic damping is also considered. The main influence factors considered in this study are trench geometry, the distance of trench and foundation, and the types of sheetpiling materials maybe of timber or steel in this study. To study the efficiency of isolation vibration, vertical average amplitude reduction ratios behind trench are analyzed. The results of this study show that the deeper of timber sheetpiling trench, the more efficiency of isolation vibration, but the depth of steel sheetpiling trench is insignificant influence factor on screening effectiveness. The width and location of sheetpiling trench do not matter to isolation vibration.

Key Words: boundary element method, sheetpiling trench, isolation.

一、前言

隨著工商業的發展及生活品質的提升，精密機械的靈敏性及生活上的舒適性均無法忍受地表之震動。然而由於施工或機械所產生之振動，常對於周圍地表環境造成某一程度的影響，因此如何阻隔震波，使之對周圍環境的影響減至最低，已成為一個重要的課題。一般而言，槽溝 (trench) 在工程上可用於減低交通或機械所引起的地表震動，同時為了解決穩定性問題，以板樁式槽溝 (sheetpiling trench) 來阻隔震波不失為一種有效方法。隔震這類問題的關鍵通常與介質材料的性質和槽溝幾何尺寸有關，其中震波阻隔效果涉及複雜的應力波傳播行為。本文之研究以板樁式槽溝作為震波屏障，置於震源與保護區之間，探討其對震波阻隔之有效性。本文應用二維頻率域全平面基本解【1】(fundamental solution)、Bettis 交換定理【2】及輻射條件 (radiation condition)，導出邊界積分方程式，再將邊界離散化成元素網格，求出槽溝後方之地表振幅 (amplitude)。

本文將針對無質量剛性條形基礎，在簡諧垂直外力作用下，探討以板樁式槽溝作為震波阻隔機制，計算木板或鋼板之板樁式槽溝後方土壤地表位移振幅大小，並針對各種影響參數對震波阻隔之影響加以探討，如槽溝尺寸、埋設位置、板樁材料性質等。

二、數值方法

假設土壤為二維線彈性、均質且均向之介質材料，將時間域之運動方程式以 Fourier 轉換至頻率域，應用頻率域之無限域基本解及貝氏交換定理導出邊界積分方程式，並以對應原理 (correspondence principle) 將材料阻尼引入系統中。為求簡化及不失精度，邊界之元素離散，將邊界分割成 n 個常數元素，則邊界積分方程式可離散成 n 個以常數元素物理量為參數的線性方程式，然後將介質域之邊界條件代入，求解此 n 個方程式，求得其邊界上之物理量即地表位移振幅與曳引力 (traction)。

1 朝陽科技大學營建工程系助理教授

2 朝陽科技大學營建工程系碩士班研究生

利用貝氏交換定理，我們可得邊界積分方程式

$$\int_{\partial D + \partial R} [t_i(x, \omega) U_{ij}(x, y, \omega) - T_{ij}(x, y, \omega) u_i(x, \omega)] d\Gamma = u_j(x, \omega), \quad (1)$$

y 屬介質 D 內

其中 $u_i(x, \omega)$, $t_i(x, \omega)$ 為槽溝減震問題之位移場與曳引力場，而 $U_{ij}(x, y, \omega)$ 與 $T_{ij}(x, y, \omega)$ 為基本解力系之位移場與曳引力場。

以上積分在無窮遠的邊界 ∂R ，因滿足 Sommerfield 【1】之輻射條件，無窮遠的邊界 ∂R 之積分值為零，故 (式 1) 可化為下式：

$$\int_{\partial D} [t_i(x, \omega) U_{ij}(x, y, \omega) - T_{ij}(x, y, \omega) u_i(x, \omega)] d\Gamma = u_j(y, \omega) \quad (2)$$

若使 y 趨近邊界時，可建立邊界積分方程式【3】：

$$\int_{\partial D} [t_i(x, \omega) U_{ij}(x, y, \omega) - T_{ij}(x, y, \omega) u_i(x, \omega)] d\Gamma = C_{ij} u_i(y, \omega) \quad (3)$$

當 y 在平滑邊界上且應用常數元素時，根據 Cauchy 主值觀念。

$$C_{ij} = \frac{1}{2} \delta_{ij} \quad (4)$$

切割為 n 個常數元素，則邊界積分方程式(式 3) 離散化，成為 n 個線性方程式：

$$C_{ij} u_i + \sum_{j=1}^n \tilde{H}_{ij} u_j = \sum_{j=1}^n G_{ij} t_j \quad (5)$$

其中

$$\tilde{H}_{ij} = \int_{\Gamma_j} T_{ij}(x, y, \omega) d\Gamma_j \quad (5.1)$$

$$G_{ij} = \int_{\Gamma_j} U_{ij}(x, y, \omega) d\Gamma_j \quad (5.2)$$

(式 5)可改寫為：

$$\sum_{j=1}^n H_{ij} u_j = \sum_{j=1}^n G_{ij} t_j \quad (6)$$

其中

$$H = C + \tilde{H} \quad (6.1)$$

(式 6)以矩陣形式表示，可表示如下：

$$H \cdot U = G \cdot T \quad (7)$$

將邊界條件代入上式，可整理成以下形式：

$$A \cdot X = F \quad (8)$$

此式為複數線性方程式，可用高斯消去法將未知向量 X 解出後，即可得邊界上所有元素之位移振幅及曳引力。

基礎在土壤之振動，其能量之消散，除了幾何阻尼外，也可考慮土壤介質存在材料阻尼，此阻尼與振動頻率無關。在頻率域分析中，可經由對應原理，將材料阻尼引入系統內計算。

三、分析模式

板樁式槽溝之震波阻隔效率則以 \bar{A}_r (平均振幅降低比) 表示：

$$\bar{A}_r (\text{振幅降低比}) = \frac{\text{有槽溝之地表位移振幅}}{\text{無槽溝之地表位移振幅}} \quad (9)$$

$$\bar{A}_r = \frac{1}{L} \int A_r(x) dL \quad (10)$$

其中 L 為槽溝後方十倍雷利波波長所涵蓋範圍之長度。

若 \bar{A}_r 為 20% 則表示該槽溝機制可減少 80% 的震波。因此 \bar{A}_r 愈低，則表示板樁式槽溝後方地表振幅愈小，震波阻隔效果愈佳。一般而言，若無特殊規定 \bar{A}_r 小於等於 25%【4】，則可認定其可有效阻隔震波。當 \bar{A}_r 大於一時，表示槽溝後方之振幅比未設槽溝前還要來的大，這可能是槽溝因波的反射與折射引起之放大效應所致。

在本研究中，板樁式槽溝之板樁材料我們只取木板及鋼板，且其厚度分別取 5cm 及 3cm，而各項材料參數如表一所示。

為了所得結果能應用於其他土壤材質與基礎振動頻率，本文將所有幾何尺寸參數以雷利波波長 L_r 作為正規化，如圖一所示，例如正規化寬度參數 W 等於槽溝寬度 w 除以 L_r ，深度參數 D 等於槽溝深度 d 除以 L_r ，距離參數 L 等於板樁式槽溝至基礎中心距離除以 L_r ，如此可在不同外力振動頻

率直接針對波長換算對應之最佳槽溝尺寸。

為了板樁之穩定性，我們假設槽溝深度為 d 時，則板樁之入土深為 $2d$ 。在探討板樁式槽溝之減震分析，我們將使土壤與板樁接觸面之元素，滿足平衡條件和位移諧和條件。而在剛性基礎面上，我們假設該處元素之垂直位移均相同。

四、結果與討論

在板樁式槽溝幾何尺寸方面，將探討板樁材料為木板或鋼板的板樁式槽溝，分別對不同寬度參數 w ，深度參數 D ，距離參數 L 對震波阻隔之影響進行討論。分析所得結果以上述參數對平均振幅降低比 \bar{A}_{ry} 之關係曲線來表示。材料阻尼比 $b = 0.05$ 。本文所採用之土壤之雷利波波速 = 250m/sec；基礎半寬因子 B (基礎半寬除以 L) = 0.25，基礎振動頻率 f 為 50Hz。

木板或鋼板之板樁式槽溝深度對震波阻隔效果之影響，如圖二所示，當槽溝深度較淺時 (D 小於 0.5)，其阻隔效果並不佳，而當深度增至某一定值時 ($D=1.0$)，阻隔效率大幅提升，但再持續增加深度 ($D=1.5$) 時，對震波阻隔的影響就沒有明顯的增加。如圖三所示，鋼板槽溝深度較淺時 (D 小於 0.5) 阻隔效果已經不錯，但再持續增加深度時，對震波阻隔的影響就沒有明顯的增加。因此可看出槽溝深度對震波阻隔有一定的影響，例如：木板(厚度為 5cm)槽溝最佳深度為 1 倍雷利波波長，而鋼板(厚度為 3cm)槽溝在淺槽溝即可發揮震波阻隔效果。

木板或鋼板之板樁式槽溝寬度對震波阻隔之影響，以槽溝寬度參數 W 與平均振幅降低比之關係曲線表示，由圖四、五可看出木板或鋼板之板樁式槽溝寬度對阻隔的效果並沒有太大影響。所以整體而言，板樁式槽溝寬度對震波阻隔的考慮是可忽略的。

若是我們改變鋼板厚度，分析其對震波阻隔之影響，我們可以發現鋼板厚度對震波阻隔有很大之影響，如圖六所示。由圖可看出，厚度之改變，平均振幅降低比也隨之而異，這可能是鋼板之單位重與剪力模數十分大於土壤的對應值，致系統之自然頻率受鋼板勁度的影響，致基礎振動頻率接近系統自然頻率所導致地表位移振幅放大之故。

板樁式槽溝之位置對震波阻隔之影響，將以距離參數 L 對平均振幅降低比關係曲線表示。木板槽溝之阻隔效應如圖七所示，由圖可看出它的位置對震波繞射的影響不大。而鋼板槽溝也有相同之分析結果，如圖八所示，因此板樁式槽溝設置位置對震波阻隔之影響皆不大。另外比較兩者之震波阻隔效果，3cm 後的鋼板槽溝比 5cm 後的木板槽溝對基礎震動之震波阻隔效果要好。

五、結論

1. 木板槽溝深度對震波阻隔之影響隨槽溝深度的增加而增加，在本文之分析範圍中，木板槽溝深度以 1 倍雷利波波長為最佳尺寸，但鋼板槽溝的阻隔效果受槽溝深度之影響不大。
2. 板樁式槽溝寬度與設置位置對阻隔效果的影響皆不大。
3. 鋼板厚度對系統自然頻率有很大影響，因此也表現在其震波阻隔之效率上。
4. 在相同槽溝尺寸下，以 3cm 厚鋼板做為板樁牆之震波阻隔效果比 5cm 厚木板樁之阻隔效果要好。

參考文獻

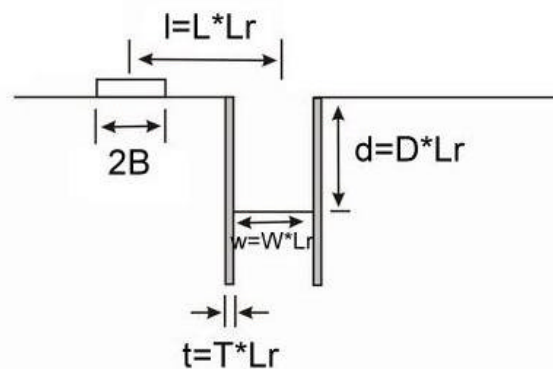
- 【1】. Kitahara, M., Boundary Integral Equation Methods in

Eigenvalue Problem of Elastodynamics and Thin Plates, Elsevier Science Publishers, B.V. (1985).

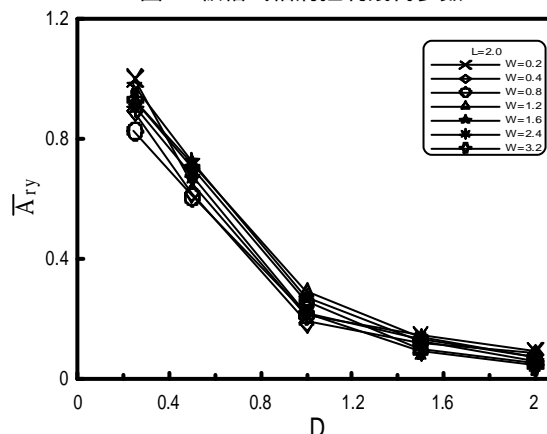
- 【2】. Gutfreund, H. and I. Meroz, Potential Methods in the Theory of Elasticity, Israel Program for Scientific Translations, Ltd., pp. 5-48 (1965).
- 【3】. 洪昌祺, "矩形槽溝對沉埋基礎振動阻隔效應之分析", 碩士論文, 國立成功大學土木工程研究所, 臺南, (1992)。
- 【4】. Woods, R. D., "Screening of Surface Waves in Soils," J. Soil Mech. Found. Div., ASCE. 94(4), pp 951-979 (1968).

表一 各項材料參數值

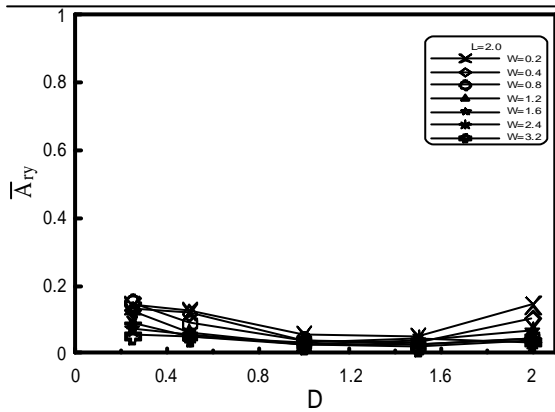
材料名稱	單位重 (KN/m^3)	剪力模數 G (MN/m^2)	柏松比 ν	剪力波速 v_s (m/s)	阻抗比
土壤	19.6	125	0.45	250	1
鋼板	77	78000	0.3	3152	0.02
木材	5.9	6330	0.0345	3244	0.256



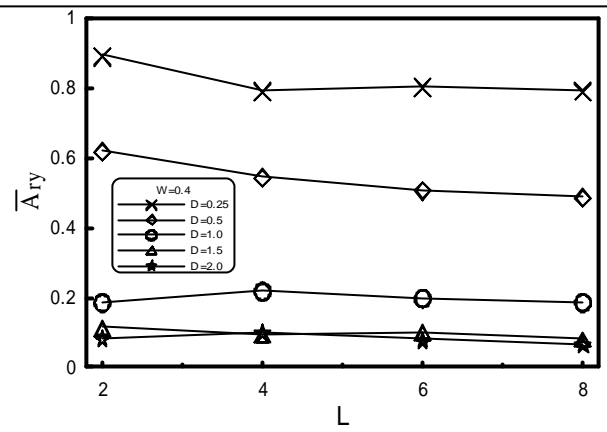
圖一 板樁式槽溝控制幾何參數



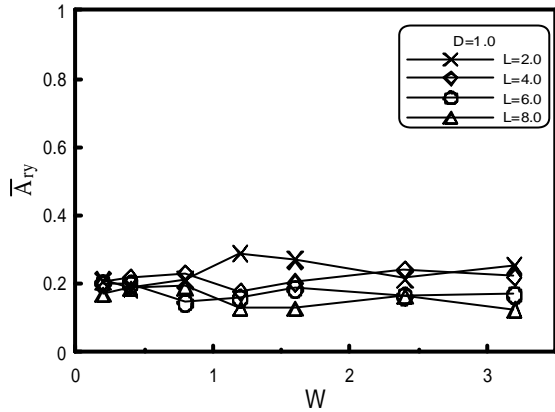
圖二 木板槽溝深度對震波阻隔之影響



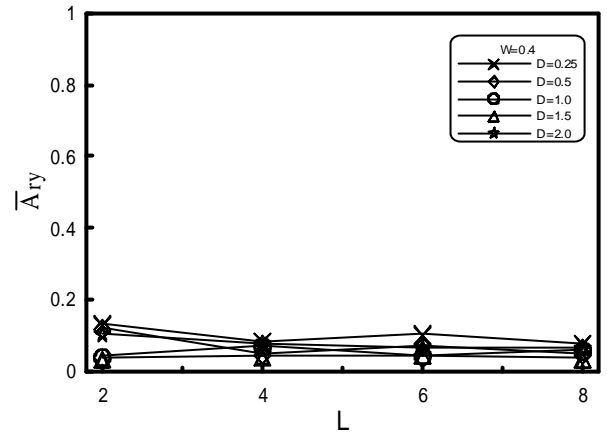
圖三 鋼板槽溝深度對震波阻隔之影響



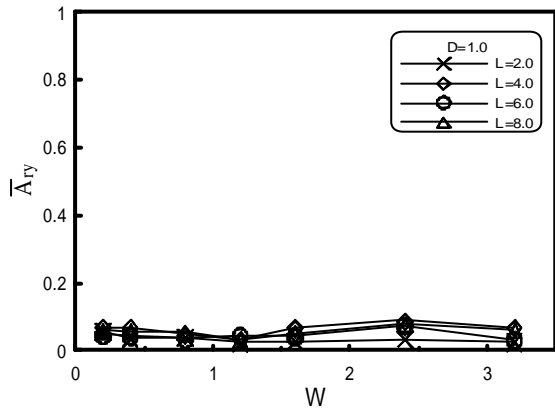
圖七 木板槽溝與基礎中心距離對震波阻隔之影響



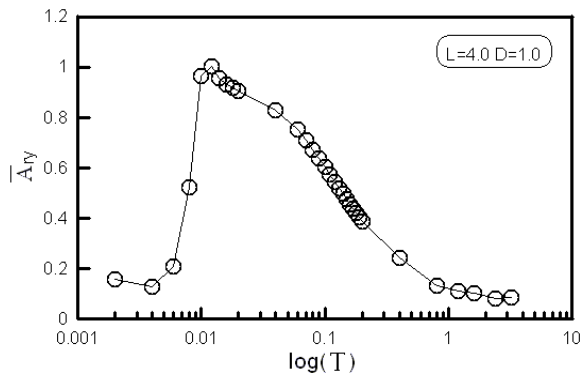
圖四 木板槽溝寬度對震波阻隔之影響



圖八 鋼板槽溝與基礎中心距離對震波阻隔之影響



圖五 鋼板槽溝寬度對震波阻隔之影響



圖六 鋼板厚度對震波阻隔之影響