

實心排樁對方形振動基礎的減震效應之研究

蔡佩勳¹ 鄭丁榮²

關鍵詞：排樁，減震，邊界元素法。

摘 要

一般過去的研究大都以槽溝來作為震波屏障，然而受限於溝壁穩定性與可施工之深度，因此以可貫入深層土壤的排樁來作為震波屏障是值得考慮的。本文利用三維頻率域邊界元素法分析剛性無質量方形基礎在簡諧垂直外力作用下，以圓形實心斷面的排樁作為減震機制，研究其對排樁後方地表振幅的減震效果。本研究探討的排樁減震影響參數，包括排樁材質、排樁幾何尺寸、排樁與震源之中心距離及振動頻率等。而排樁種類有混凝土實心排樁、木製實心排樁等兩種類型的排樁。在混凝土實心排樁以及木製實心排樁中，排樁長度對減震效果的影響最大，其次為排樁淨間距，而排樁與震源之中心距離的減震效果影響很小可忽略不計。排樁長度為2倍雷利波波長，排樁淨間距為0.05倍至0.1倍雷利波波長為實心排樁(混凝土實心排樁、木製實心排樁)之最佳參數值。混凝土實心排樁、木樁在10Hz~100Hz振頻下，平均振幅降低比約為0.4~0.8，當排樁間隔較小時，平均振幅降低比越小。

THE EFFICIENCY OF WAVE ISOLATION FOR SQUARE VIBRATION FOUNDATION USING PILE IN A ROW

Key Words: A row of piles, Wave isolation, Boundary element method.

ABSTRACT

The paper is to investigate the effectiveness of vibration isolation for the waves generated by square foundation subjected to vertical harmonic vibration using a row of round-section piles. Three-dimensional boundary element method in frequency domain is used in this study. The main parameters are considered in this study, including dimensions of solid pile, such as material properties of pile, space of piles, and position of piles. To study the efficiency of wave isolation, vertical average amplitude reduction ratio behind a row of piles was analyzed.

In the numerical analyses, different types of piles including concrete and timber solid piles were investigated for screening effectiveness for various pile dimensions and layouts such as pile length parameter, H , spacing parameter, S , source distance parameter, SL . Use of concrete solid pile and timber pile as barriers, the length of pile is main influential factor, next to the space of piles. However, the position of piles in a row is insignificant on vibration isolation. The optimized length of concrete solid piles or timber piles as barriers is suggested to be $2.0 L_R$, and the space of piles is from $0.05 L_R$ to $0.1 L_R$, in which L_R is defined to be wavelength of Rayleigh wave. As long as the frequency increases, the $\overline{A_{ry}}$ -values of concrete solid pile and timber pile are ranging from 0.4 to 0.8. For smaller net spacing, the $\overline{A_{ry}}$ -value is smaller with better screening effectiveness.

一、前言

隨著經濟發展及生活品質的提升，人們對於周遭環境越來越重視，若因土木施工所引起太大的振動，將會引起附近民眾的抗議。而在高科技的時代裡，有許多精密儀器對振動的要求與限制也愈嚴格，因此人為所造成的振動將無時無刻地影響我們的生活品質與工作環境，對我們造成困擾。如何阻隔(isolation)震波之傳遞，使之對鄰近地區

之地表振動的影響減至最低，已成為工程界所期盼解決的問題。在震波阻隔之諸方法中，於震源與被保護地區之間的地表設置震波屏障，不失為良好的方法之一。一般過去的研究大都以槽溝來作為震波屏障，然而受限於溝壁穩定性與可施工之深度，因此以可貫入深層土壤的排樁來作為震波屏障是值得考慮的。

本文將針對剛性無質量之方形基礎，受到垂直簡諧外力作用，以一排的實心樁作為減震機制，計算排樁後方之地表位移振幅大小。所討論的實心樁，依材料性質，將分

為混凝土、木材之實心圓柱樁。並針對各種減震影響因素

倍，但在頻率小於 4Hz 時，卻放大為無槽溝時的 1~2 倍，

如形狀尺寸(如樁與樁之淨間距、樁長)及排樁與震源中心距離等作一系列之探討，以有效地運用排樁來達到減震效果。

二、文獻回顧

過去對於減震的研究可分為實驗方法及數值方法。在現地實驗上，雖然可以得到較接近實際情況的試驗結果，但卻需要大量的人力與物力，且影響參數不易更動，受限於當時之條件範圍。在實驗方面，Barkan(1962)[1]最早以鋼板樁及開口槽溝來阻隔由街道交通所傳來之振動，但當時之槽溝設計對建築物並沒有達到減震效果。McNeill、Margason 與 Babcock(1965)[2]等人利用鋼板牆作為穩定支撐，他們成功的利用此種減震系統有效的達到減震效果。Woods (1968)[3] 提出有關開口槽溝作為震波阻隔之現地試驗報告，他定義了振幅降低比(amplitude reduction ratio)，並且用振幅降低比等值圖(amplitude reduction ratio contour diagrams)來表示槽溝附近地表位移振幅降低比之分佈情形，同時 Woods 他認為振幅降低比應小於或等於 0.25，才算不錯的震波阻隔機制。Woods、Barnett 和 Sagessar(1974)[4] 等人利用全像攝影技術的原理(principle of holography)模擬半平面空間的振動，觀察中空圓柱屏障(void cylindrical obstacles)之被動減震效果，整理出中空圓柱屏障的被動減震準則。他們認為中空圓柱屏障之直徑應大於 $0.6L_R$ (L_R 為雷利波波長)，中空圓柱屏障間的淨間距應小於 $0.4L_R$ 。Liao 和 Sangrey(1978)[5]研究聲波在流體介質中以模型樁作為屏障，分析排樁作為被動減震屏障的可能性。他們發現軟質的樁比硬質的樁(如混凝土樁)減震效果佳，空心管樁要達到較佳的減震效果，需要空心管樁厚度很小或者管樁的材質具有彈性。兩排排樁減震效果優於單排者，但是如果單排排樁之樁間距較小時，則有可能其減震效果可能優於兩排排樁，樁間距等於 $0.4L_R$ 為有效減震的上限值。Haupt(1981)[6]利用模型試驗進行減震分析，他使用開口槽溝、混凝土之填充槽溝、與一排空心樁作為減震機制，其研究結果得知減震效率與槽溝的斷面積有關，而開口槽溝的減震效率則與槽溝深度有關，會隨著槽溝深度的增加而增加。

用數值方法因易於更動分析參數，進行參數之影響評估，因此過去以數值方法來進行減震分析有越來越多之趨勢。而數值方法中，較常用的有有限差分法、有限元素法及邊界元素法等。Wass(1972)[7]使用有限元素法，以特殊元素模擬邊界的輻射條件，考慮土層下方某一深度有岩層存在，研究槽溝阻隔水平剪力波的影響。其研究結果顯示，開口槽溝在高頻時減震效率並不佳，而僅在某些低頻率之振動上才有效。Adoudi(1973)[8]在彈性半空間設置屏障，利用有限差分法去計算地表反應，他認為地表存在屏障將影響雷利波的波傳行為。Haupt(1977)[9]他以一個跟邊界有關的矩陣，應用有限元素法做數值運算，他也做了一些試驗去確認數值分析的結果。他發現在阻隔物的附近，有複雜的波傳現象。對於較硬的填充物，減震效率與槽溝斷面積有關。而較軟的填充物則與槽溝的形狀有關。Segol(1978)[10]使用有限元素法探討層狀土壤中開口和填充槽溝之二維減震分析。Fuyuki 和 Matsumoto(1980)[11]使用有限差分法，配合不反射邊界之特殊處理，研究雷利波遇到開口槽溝後，所造成之波形轉換(mode conversion)情形。May 和 Bolt(1982)[12]以有限元素法探討雙層土壤中開口槽溝對水平剪力波(SH 波)的震波阻隔效果。他們發現振動頻率在 4Hz~6Hz，槽溝深度大於 0.6 倍雷利波波長時，水平剪力波的波頻能量比(power spectral ratio)可減少至無槽溝時的 0.06

甚至更大。Avilles and Sanchez-Sesma(1983)[13]研究 8 支實心排樁對 P 波(壓力波)、SH 波(水平剪力波)、SV 波(垂直剪力波)的減震效應。由其結果顯示三種震波中，實心排樁對於 SV 波之減震效率較高，對 P 波之減震效率較低，且樁徑為 $1/4 \sim 1$ 倍剪力波波長時，減震效率為最佳。有關實心排樁的幾何尺寸參數部分，樁與樁之間距影響最大。Emad 和 Manolis(1985)[14]使用邊界元素法配合常數元素來研究矩形與圓形的開口槽溝之減震效應，但僅針對某些特定位置之位移振幅的增加或減少作減震效果評估。Beskos(1986)[15]以邊界元素法配合常數元素討論開口槽溝或填充槽溝之減震影響，他認為開口槽溝之減震效率優於填充槽溝。Dasgupta 等人(1986)[16]，(1990)[17]以三維頻率域邊界元素法配合全無限域基本解分析剛性地表基礎受到簡諧荷重，探討開口槽溝或填充槽溝之減震情形。Avilles and Sanchez-Sesma(1988)[18]針對 SV 波或 R 波(雷利波)遇到圓形斷面實心排樁，研究其排樁後方地表位移振幅降低比分布情形，文中也分別討論無限樁長之二維情況與有限樁長之三維情況，作者建議樁徑等於 $1/4$ 倍雷利波波長、樁長等於 2 倍雷利波波長之排樁其減震效果最佳。Ahmad 等人(1991)[19]利用邊界元素法研究開口槽溝與填充槽溝在水平或垂直振動模式下的減震效率，並提出一些簡化設計的方法，他認為槽溝減震效率的影響參數包含頻率，影響的範圍，槽溝位置，震波波速，填充材料之力學性質，柏松比和阻尼比等，而填充槽溝寬度和深度對震波阻隔效果之影響同樣重要，但對開口槽溝來說，除了淺槽溝外，槽溝寬度的影響是可以忽略的。Klein(1997)[20]等人以三維頻率域邊界元素法，研究開口槽溝之震波阻隔效率，並和現場量測的結果作對照。其分析結果顯示槽溝深度仍然是主要的控制參數。Kattis(1999)[21]等人利用三維頻率域邊界元素法分析一排圓形斷面或方形斷面的孔洞與混凝土排樁之減震效率。由其研究結果顯示，樁的斷面形狀對減震效果之影響不大，樁與樁之中心間距是主要的影響參數，間距越小減震效果越好。他認為槽溝之減震效果優於排樁，然而，對於較長之雷利波波長的震波，排樁是較佳的減震屏障方案。回顧前人所進行的研究可知，過去的減震分析大多集中在開口槽溝及填充槽溝之減震效果的數值研究，對於一排的實心樁所構成之排樁之減震效果也僅做到案例之驗證，因此本文將針對此進行一系列之研究。

三、分析模式

本研究所用之分析程式以上述邊界元素分析相關理論公式用 Fortran 程式語言撰寫而成。在程式執行時，獲得國家高速網路與計算中心(The National Center for High-performance Computing, NCHC)之協助，得以借用他們的機器進行數值計算。一般而言，分析所用之邊界元素網格計有 824 個常數邊界元素，而每個元素又有三個方向之位移自由度，因此總共有 2472 個自由度，所以必需藉助可高速運算的機器才行，以 NCHC 所提供的計算機 IBM SP SMP (168 cpus, 184 GB RAM)分析一個案例其計算執行時間約 120min。

在本研究中將假設土壤與基礎接觸之交界面為完全接合(bonded contact)，即基礎振動時不會跳離土壤，接觸面處土壤之位移與基礎位移相同。為確保基礎為剛性(rigid)，當剛性基礎在垂直振態下，接觸面處之各元素之垂直位移振幅均相同。未與基礎接觸之自由地表面及排樁樁頭處，其曳引力為零(traction free)。土壤與排樁交界面上的元素必須滿足平衡條件(equilibrium)和諧合條件(compatibility)。本文在

分析各參數之減震影響時，將以各幾何尺寸對雷利波波長

算出雷利波波長，再參照本研究所得之正規化影響參數，

之正規化(normalized)參數來進行數值分析，如圖 1 所示。排樁之淨間距 S_n 除以土壤雷利波波長 L_R 為間距參數 S ，樁長 h 除以土壤雷利波波長 L_R 為長度參數 H ，排樁與振動基礎的中心距 sl 除以土壤雷利波波長 L_R 成為距離參數 SL ，樁徑 d 除以土壤雷利波波長 L_R 為直徑參數 D 。因本文所用之土壤雷利波波速為 250 m/sec，振動頻率定為 50Hz，故本文使用之土壤雷利波波長 L_R 為 5m。圖 2 為排樁減震機制的元素網格，在排樁後方地表及排樁本身為數值變化較大，也是減震的主要分析範圍，故切割較小的元素尺寸，元素長度為 $L_R/25$ ， L_R 為雷利波波長。而在排樁與振動基礎之間為震波之傳遞區域，由於震波遇到排樁會產生反射、繞射之現象，因此切割元素網格也較為緻密，元素長度定為 $L_R/10$ 。而在排樁後方的區域隨著與排樁距離越遠，切割的元素網格也越大，其長度定為 $L_R/5$ 或 $L_R/3$ 。為了訂定排樁後方邊界的選取範圍，本研究分別以排樁後方 $3L_R$ 、 $9L_R$ 、 $12L_R$ 、 $15L_R$ 為定義域之範圍，計算地表垂直位移振幅的分佈，其結果如圖 3 所示。由圖 3 發現四種不同的邊界範圍所得的地表垂直位移分佈情形大致上是相同的，因此定義域的範圍之選擇只要在 $3L_R$ 以上，均可得大致相同的數值結果，所以本文後續的研究將選取 $3L_R$ 作為分析之邊界範圍。為了評估排樁減震之效率，本研究擬以平均振幅降低比表示，然而評估振幅降低比的有效範圍，在過去文獻中較少討論。因此本研究將先對排樁後方減震的有效區域之選取進行評估，我們將假設 $D=0.2$ 、 $S=0.05$ 、 $SL=1.5$ ，橫向長度 L 分別為 $1L_R$ 、 $1.2L_R$ 、 $1.4L_R$ 、 $1.6L_R$ 、 $1.8L_R$ 、 $2L_R$ (等於 8 支排樁的橫向排列長度)，配合不同的排樁後方縱向寬度 ($0.4L_R \sim 3L_R$)，用本分析程式分別計算上述區域之平均垂直振幅降低比，其分析結果顯示，儘管不同之橫向長度下，縱向寬度等於 $1L_R$ 時，其平均垂直振幅降低比都趨於最低值，故本文在計算平均垂直振幅降低比時，將沿排樁橫向排列長度，取排樁後方一倍雷利波波長之矩形區域，作為計算平均振幅降低比之範圍，如圖 4 所示。為了評估排樁之減震效果，依據 Woods(1974)[3]提出以平均垂直振幅降低比 $\overline{A_{vy}}$ 作為排樁之減震效果的評估，垂直振幅降低比是取設置排樁後地表位移振幅與未設置排樁該點位移振幅之比值。而平均垂直振幅降低比 $\overline{A_{vy}}$ ，係沿排樁橫向排列長度，取排樁後方一倍雷利波波長之矩形區域的垂直振幅降低比 A_{vy} 加以平均。為了檢核本研究所用之數值程式的正確性，將先以本研究所用數值程式分析前人所作的研究，並將結果繪製成圖作為對照，藉以檢驗程式之準確性。所以本文將與 Kattis 等人(1999)[21]的實心排樁對基礎震動之減震研究結果做比較，他所採用實心排樁之材料性質及幾何條件為：樁與樁之間距參數 $S=s/L_R=0.1$ ，樁徑之直徑參數 $D=d/L_R=0.2$ ，樁長之長度參數 $H=h/L_R=1.0$ ，排樁至振動基礎中心之距離參數 $SL=sl/L_R=1.5$ ，土壤剪力模數 $G_s=132$ MN/m²，土壤柏松比 $\nu_s=0.25$ ，土壤材料阻尼比 $\beta_s=0.05$ ，雷利波波速 $C_R=250$ m/sec，土壤單位重 $\gamma_s=17.5$ kN/m³，實心樁材質為混凝土，其混凝土剪力模數 $G_c=34.29G_s$ ，柏松比 $\nu_c=\nu_s$ ，材料阻尼比 $\beta_c=\beta_s$ ，單位重 $\gamma_c=1.37\gamma_s$ ，基礎振動頻率 $f=50$ Hz。本文分析後之結果如圖 5 所示，由圖可看出與 Kattis 等人(1999)[21]所作之結果相當接近。因此，本研究使用之數值程式對減震分析之議題上具有相當的準確性。本研究將分析排樁之減震效果與正規化影響參數之關係，並作出達到減震效果之最合適正規化影響參數之建議值。如此，儘管現地土壤之雷利波波速或基礎振動之頻率與本文之假設不同，仍能應用本研究之分析結果。因為只要將現地土壤之雷利波波速除以基礎振動頻率，就可計

即可換算成現地最佳排樁尺寸。

四、結果與討論

在排樁幾何尺寸部份，將探討材質為混凝土及木材的實心排樁，分別對不同長度參數 H 、間距參數 S 、距離參數 SL 對減震影響來做討論。分析所得結果以正規化參數對平均垂直振幅降低比 $\overline{A_{vy}}$ 之關係曲線來繪制，以表示出各影響參數對減震之影響。

1. 混凝土實心排樁幾何尺寸對減震效果之影響

混凝土的性質如下：混凝土的材料阻尼比 $\beta_c=0.05$ 、柏松比 $\nu_c=0.25$ 、剪力模數 $G_c=4526280$ kPa、單位重 $\gamma_c=23.5$ kN/m³。在混凝土實心排樁部分，當長度參數 H 越大， $\overline{A_{vy}}$ 值越小，減震效果越佳，如圖 6 所示。混凝土實心排樁之間距參數 S 越小， $\overline{A_{vy}}$ 值越小，減震效果越佳，如圖 7 所示。由圖中發現，在長度參數 H 等於 2.0 時，間距參數 S 對 $\overline{A_{vy}}$ 值的影響較大，即 $\overline{A_{vy}}$ 值隨 S 之增加而增加的趨勢較明顯。這代表著長度參數 H 等於 2.0 時，間距參數 S 對於減震效果影響較大。而混凝土實心排樁與振動基礎之距離對減震效果影響並不明顯，如圖 8 所示。

2. 木材實心排樁幾何尺寸對減震效果之影響

木材的材料阻尼比 $\beta_w=0.08$ 、柏松比 $\nu_w=0.29$ 、剪力模數 $G_w=5580000$ kPa、單位重 $\gamma_w=4.2$ kN/m³。當長度參數 H 越大， $\overline{A_{vy}}$ 值越小，減震效果越佳，如圖 9 所示。木材實心排樁之間距參數 S 越小， $\overline{A_{vy}}$ 值越小，減震效果越佳，如圖 10 所示。由圖中發現，在長度參數 H 等於 2.0 時，間距參數 S 對 $\overline{A_{vy}}$ 值的影響較大，即 $\overline{A_{vy}}$ 值隨 S 之增加而增加的趨勢較明顯。這代表著長度參數 H 等於 2.0 時，間距參數 S 對於減震效果影響較大。而木材實心排樁與振動基礎之距離對減震效果影響並不明顯，如圖 11 所示。比較木材實心排樁與混凝土實心排樁此兩者排樁幾何尺寸之減震效果，可發現其減震效果是相似的。

3. 振動頻率對減震效果之影響

為探討排樁對不同振動頻率之減震效果，我們固定樁長為 10m、樁徑 1m、排樁與振動基礎中心距離 10m，樁與樁的淨間距將取三種不同長度，分別為 0.5m、0.75m、1m，而振動頻率取 10Hz、20Hz、30Hz、40Hz、50Hz、60Hz、70Hz、80Hz、90Hz and 100Hz。由圖 12、13 可看出混凝土實心排樁、木樁在 10Hz 振頻下，平均振幅降低比有較大值，然後隨頻率之增加振幅降低比也隨之降低，當高於 60Hz 的振頻時，平均振幅降低比的變化不大。同時，樁與樁的淨間距越小，平均振幅降低比也越小。

五、結論

1. 將各影響參數對混凝土實心排樁減震效果之影響程度作比較，為排樁長度參數對 $\overline{A_{vy}}$ 之影響大於排樁間距參數，又大於排樁與震源之中心距離參數。
2. 對於混凝土實心排樁及木材實心排樁而言，最佳減震效果 ($\overline{A_{vy}} < 0.4$ 且 $\overline{A_{vy}}$ 值為最低) 之幾何參數為長度參數 H 等於 2.0、間距參數 S 等於 0.05 至 0.1，距離參數 SL 之影響可以忽略。
3. 混凝土實心排樁、木樁在 10Hz 振頻下，平均振幅降低比有較大值，然後隨頻率之增加振幅降低比也隨之降低，當高於 60Hz 的振頻時，平均振幅降低比的變化不大。

誌謝

National Center for High-performance Computing, NCHC) 提供可高速計算且記憶體容量大的計算機 IBM SP SMP, 使本研究得以順利完成。

參考文獻

- [1] Barkan, D. D., Dynamics of Bases and Foundations, translated from the Russian by L. Drashevskia, and translation edited by G. P. Tschebotarioff, McGraw-Hill Book Co., New York, 434p (1962).
- [2] McNeill, R. L., Margason, B. E., and Babcock, F. M., "The Role of Soil Dynamics in the Design of Stable Test Pads," Guidance and Control Conference, Minneapolis, Minnesota, Aug. 16-18, pp. 366-375 (1979).
- [3] Woods, R. D., "Screening of Surface Waves in Soil," J. Soil Mech. and Found. Engrg., ASCE, Vol. 94, SM4, pp. 951-979 (1968).
- [4] Woods, R. D., Barnett, N. E. and Sagesser, R., "Holography, a New Tool for Soil Dynamics," Proc. ASCE 100, J. Geotech. Engineering, Dir. GT11, pp. 1231-1247 (1974).
- [5] Liao, S. and Sangrey, D. A., "Use of Piles as Isolation Barriers," Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE 104(GT9), pp. 1139-1152 (1978).
- [6] Haupt, W. A., "Model Test on Screening of Surface Waves," Proc., 10th, Int. Conf. Soil Mech. And Found. Engineering, Stockholm, Vol. 3, pp. 215-222 (1981).
- [7] Wass, G., "Linear Two-Dimensional Analysis of Soil Dynamics Problem in Semi-Infinite Layered Media," Ph. D. thesis, University of California, Berkeley, California (1972).
- [8] Aboudi, J., "Elastic Waves in Half-Space with Thin Barrier," Proc. ASCE, J. Engrg. Mechs. Div., Vol. 99, EM1, pp. 69-83 (1973).
- [9] 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).
- [10] Segol, G., P. C. Y. Lee, and Abel, J. E., "Amplitude Reduction of Surface Wave by Trenches," Proc. ASCE 104, J. Engrg. Mech., Div. EM3, pp. 621-641 (1978).
- [11] Fuyski, M., and Matsumoto, Y., "Finite Difference Analysis of Rayleigh Wave Scattering at a Trench," Bull. Sesim. Soc. Amer., Vol. 70, pp. 2051-2069 (1980).
- [12] May, T. W., and Bolt, B. A., "The Effectiveness of Trench in Reducing Seismic Motion," Earth. Engrg. Struct. Dyn., Vol. 10, pp. 195-210 (1982).
- [13] Avilless, J. and Sanchez-Sesma, F. J., "Piles as Barriers for Elastic Waves," J. Geotech Engrg. Div., ASCE, Vol. 109, pp.1133-1146 (1983).
- [14] Emad, K. and Manolis, G. D., "Shallow Trenches and Propagation of Surface Waves," J. Engrg. Mech., ASCE, Vol. 111, NO. 2, pp. 279-282 (1985).
- [15] Beskos, D. E., Dasgupta, G., and Vardoulakis, I. G., "Vibration Isolation Using Open or Filled Trench. Part 1: 2-D Homogeneous," Comput. Mech., Vol. 1, No. 1, pp. 43-63 (1986).
- [16] Dasgupta, B., D. E. Beskos, and I. G. Vordoulakis, "3-D Vibration Isolation Using Open Trenches," Innovative Spring-Verlog, Berlin, Germany, pp. 385-392 (1986).
- [17] Dasgupta, B., D. E. Beskos, and I. G. Vordoulakis, "Vibration Isolation Using Open or Filled Trenches. Part 2: 3-D Homogeneous Soil," Comput. Mech., Vol. 6, pp. 129-142 (1990).
- [18] Avilless, J. and Sanchez-Sesma, F. J., "Foundation Isolation From Vibration Using Piles as Barriers," J. Engrg. Mech., ASCE, Vol. 114, pp.1854-1870 (1988).
- [19] Ahmad, S., and Al-Hussaini, T. M., "Simplified Design for Open and In-Filled Trenches," ASCE, J. Geotech. Engrg., Vol. 117, No. 1, January, pp. 67-88 (1991).
- [20] Klein, R., Antes, H., and Le Houedec, D., "Efficient 3D Modelling of Vibration Isolation by Open Trenches," Comput. Struct., Vol. 64, pp. 809-817 (1997).
- [21] Kattis, S. E., Polyzos, D., and Beskos, D. E., "Modelling of Pile Wave Barriers by Effective Trenches and Their Screening Effectiveness," Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol. 18, pp. 1-10 (1999).

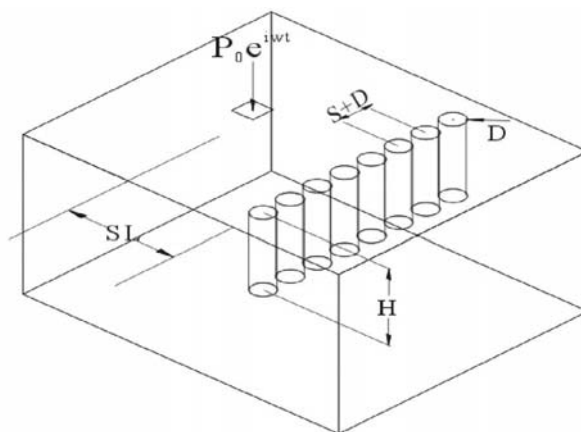


圖 1 幾何尺寸正規化參數示意圖

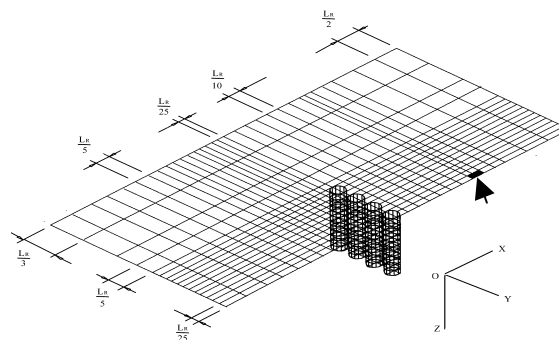


圖 2 排樁減震機制的元素網格

(D=0.2, S=0.05)

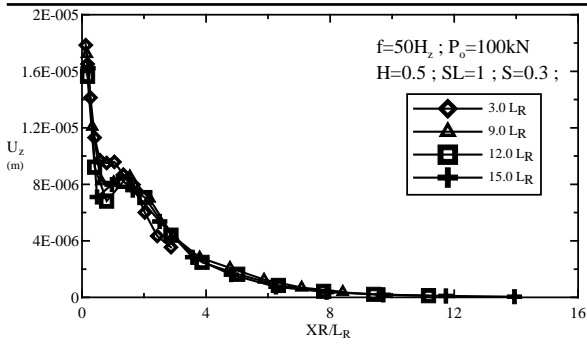


圖 3 排樁後方邊界範圍數值分析結果

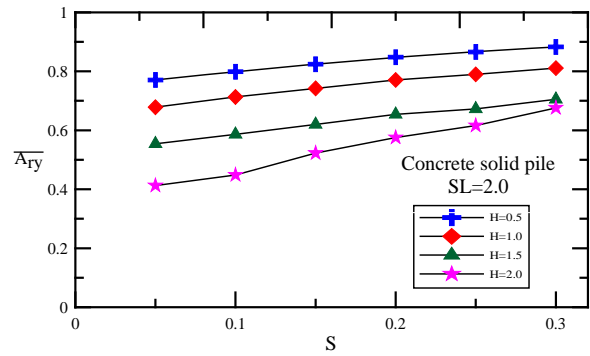


圖 7 混凝土實心排樁間距參數對減震之影響
(D=0.2, SL=2.0)

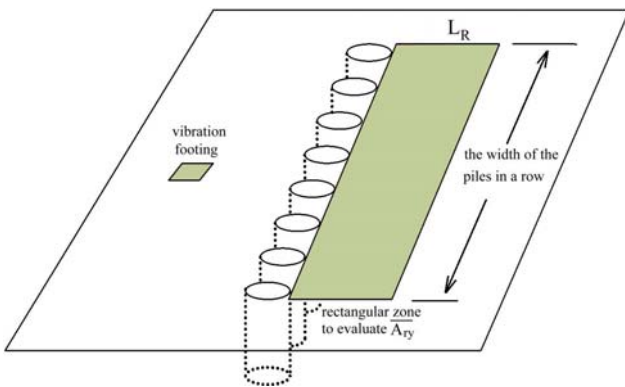


圖 4 排樁後方減震之有效範圍

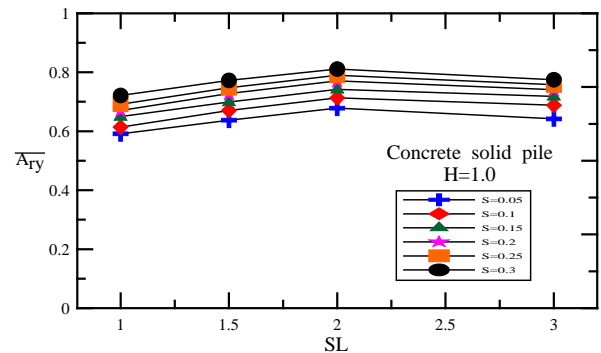


圖 8 混凝土實心排樁距離參數對減震之影響
(D=0.2, H=1.0)

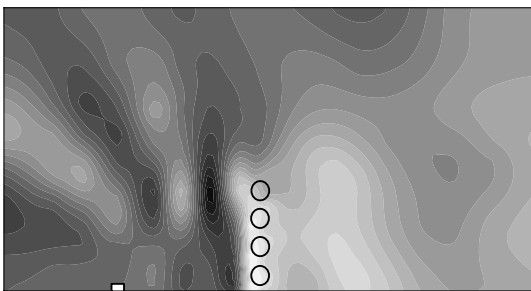


圖 5 地表振幅降低比關係圖

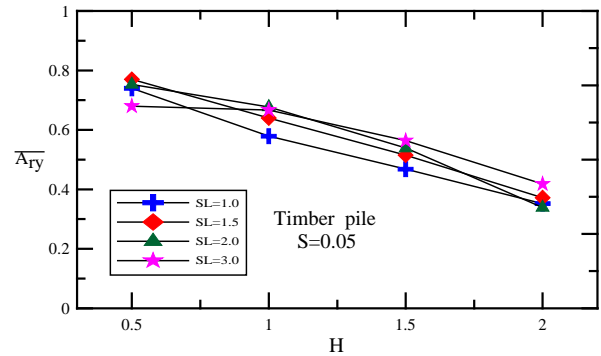


圖 9 木材實心排樁長度參數對減震之影響
(D=0.2, S=0.05)

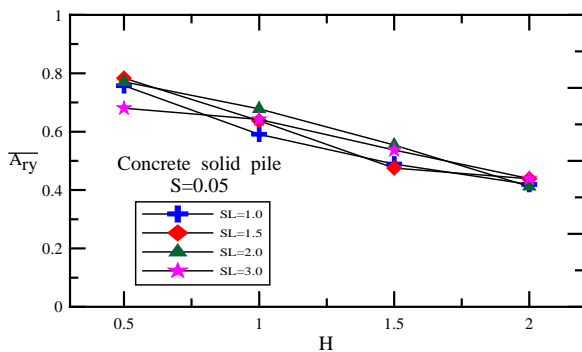


圖 6 混凝土實心排樁長度參數對減震之影響

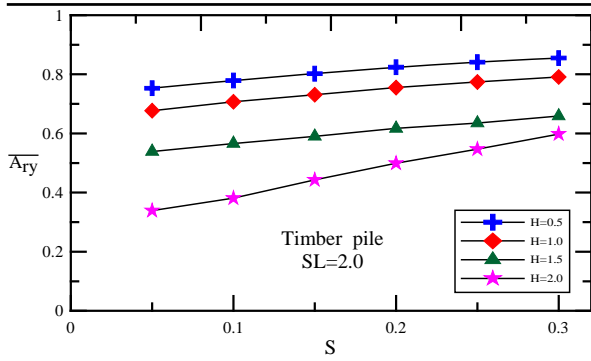


圖 10 木材實心排樁間距參數對減震之影響
(D=0.2, SL=2.0)

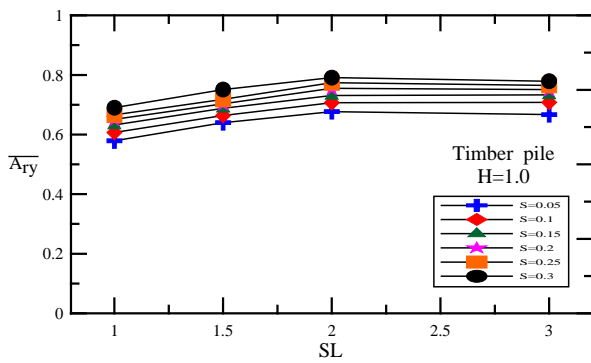


圖 11 木材實心排樁距離參數對減震之影響
(D=0.2, H=1.0)

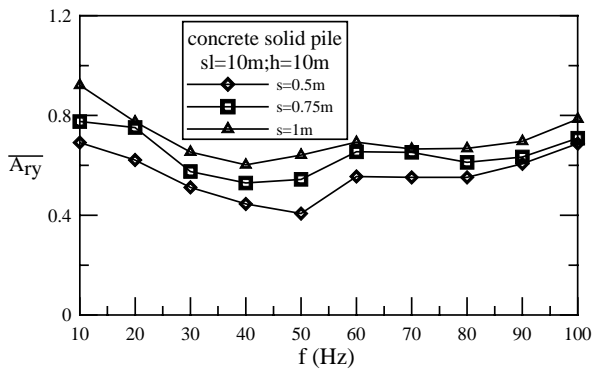


圖 12 振動頻率對混凝土實心排樁減震之影響
(sl=10m, h=10m)

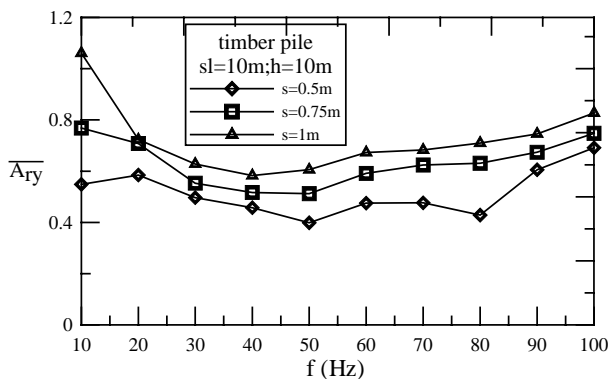


圖 13 振動頻率對木材實心排樁減震之影響
(sl=10m, h=10m)