

無作爲 振動 技法을 利用한 機械基礎의 振動解析에 關한 實驗的 研究

An Experimental Dynamic Analysis of Machine Foundation through
Random Vibration Technique

金	秀	一*
	Kim, Soo-Il	
閔	憲	基**
	Min, Tuk-ki	
禹	濟	潤***
	Woo, Je-Yoon	

Abstract

In this study, a random vibration technique to analyze the vertical vibration of rigid circular footings on sand whose material properties are not previously determined is proposed. Total of 11 circular model footings varying mass ratio and radius are constructed for the vibration experiment and the elastic half space is represented by compacted sand layer.

From the random vibration experiments, it is found that the technique suggested in this study gives more accurate prediction of circular footing behavior under vertical vibration than the simplified analog which assumes the subsoils as elastic half space. The predicted resonant frequencies agree very well with the measured values from the sinusoidal vibration experiments. The ratio of the predicted resonant amplitudes to the measured values vary between 0.5 and 1.35 for the site used for the vibration experiments in this study.

要 旨

本 研究에서는 無作爲 振動 技法을 通하여 物性이 알려져 있지 않은 모래 地盤 위에 놓인 剛性基礎의 垂直 振動 舉動을 分析하는 方法을 提案하였다. 垂直 振動 實驗을 위한 模型 基礎는 質量比와 半徑이 다른 11 個의 圓形 基礎를 製作 使用하였으며 實驗 地盤은 모래를 盛土하여 利用하였다.

研究 結果, 本 研究에서 提案된 方法은 地盤을 半無限彈性體로 假定한 單純化된 에널로그보다 正確한 振動 舉動이 推定되었다. 本 方法에 의한 推定 共振 振動數는 實測 共振 振動數와 잘 一致하였으며, 實測 共振 變位에 對한 推定 共振 變位の 比는 本 實驗 地盤에 對하여 0.5~1.35의 範圍에 있음을 알 수 있었다.

* 正會員, 延世大學校 工科大學, 教授

** 正會員, 蔚山大學校 工科大學 助教授

*** 正會員, 延世大學校 大學院 博士過程

1. 序 論

基礎 振動論의 問題 中에서 가장 基本이 되는 것은 地盤위에 놓인 基礎의 共振振動數와 共振變位를 算定하는 것이다. 最近들어 動荷重을 받는 基礎의 設計 및 解析에 關한 研究가 활발히 進行되어 많은 發展이 이루어졌다. 그러나 現在 機械 基礎의 設計에 一般적으로 使用되고 있는 半無限彈性體理論(Elastic half-space theory)이나 集中定數要素系理論(lumped parameter system theory)은 複雜한 地盤 條件에는 適用이 容易하지 않다.

基礎의 振動 舉動에 關한 最近의 研究는 Reissner¹⁾의 半無限彈性體理論으로 부터 始作되었다. 그 後 Quinlan²⁾과 Sung³⁾은 接地壓을 均等 혹은 曲線 分布로 假定하여 解를 提示하였다. Hsieh⁴⁾와 Lysmer⁵⁾는 基礎-흙系를 質量-스프링-대시포트의 要素로 構成된 一自由度의 單純 振動系로 有關係, 置換된 系의 스프링常數와 減衰係數를 基礎의 크기, 地盤의 動的 物性 및 振動數의 函數로 表現하였다. Lysmer et. al⁶⁾은 이를 더욱 확장 發展시켜 振動數와는 無關한 形態의 스프링常數와 減衰係數를 提案함으로써 集中定數要素系理論의 기틀을 마련하였다. 이 後 Lysmer의 研究는 金等⁷⁾에 依해 接地壓이 拋物線 分布인 경우에 對하여 확장되므로써 모래 地盤 위에 놓인 基礎의 解析도 손쉽게 할 수 있게 되었다. 그러나 이러한 研究들은 地盤을 半無限彈性體로 假定하였을 뿐 아니라 基礎에 動荷重이 加하여 질 때 振動荷重이나 振動數에 따라 地盤 物性 및 接地壓 分布가 變化되지 않는다는 假定 下에서 誘導되었기 때문에 複雜한 地盤에는 適用이 困難하다. 本 研究에서는 모래 地盤 위에 놓인 圓形 模型基礎에 對하여 無作爲 振動實驗을 實施하고, 實測 振動數 應答函數로 부터 集中定數要素를 求하므로써 實際 地盤의 振動特性을 包含하고 있는 經驗公式를 誘導하여 보았다.

2. 無作爲 振動 解析 技法

既存 振動實驗에서 主로 使用되어 오던 正規

振動實驗(sinusoidal vibration test) 方法은 各 振動數마다 實驗을 實施하여야 하므로 時間이 많 이 所要된다는 短點이 있다. 이에 反해 無作爲 振動實驗은 所要의 振動數 範圍의 振動을 同時에 줄 수 있으므로 一回 實驗 時 넓은 振動數 영역에 對하여 實驗을 施行하여, 所要의 振動數 範圍에서 振動數 特性을 求할 수 있다. 따라서 無作爲 振動實驗을 施行한다면 크게 實測 時間을 短縮시킬 수 있다.

2.1 一自由度系에의 適用

Fig. 2.1과 같이 質量-스프링-대시포트로 構成된 一自由度系에 對해 振動數 應答函數를 求해 본다. 質量 m 에 外力 $P(t)$ 가 加하여 질 때 變位 $z(t)$ 가 發生된다고 하면 이 系의 運動 方程式은 다음과 같이 쓸 수 있다.

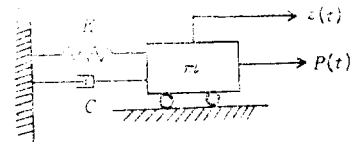


Fig. 2.1 mass-spring-dashpot system.

$$m\ddot{z}(t) + C\dot{z}(t) + kz(t) = P(t) \quad (2.1)$$

이 系의 振動數 應答函數를 求하기 爲하여 荷重을 delta 函數, 即 $P(t) = \delta(t)$ 라 놓으면, 變位 $z(t)$ 의 Fourier 變換은 振動數 應答函數가 된다.⁸⁾ (2.1)式의 양편을 Fourier 變換하면

$$[-(2\pi f)^2 m + j2\pi f C + k]Z(f) = 1 \quad (2.2)$$

이 되어

$$Z(f) = H(f) = [k - (2\pi f)^2 m + j2\pi f C]^{-1} \quad (2.3)$$

이 된다. D 및 f_n 을 다음과 같이 定義하여 (2.3)式을 다른 形態로 表現하는 것이 便利하다.

$$D = C / 2\sqrt{k \cdot m} \quad (2.4)$$

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{k/m} \quad (2.5)$$

여기서 D 는 減衰比, f_n 은 非減衰 固有振動數이다. 따라서 (2.3)式은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$H(f) = \frac{1/k}{1 - (f/f_n)^2 + j2D(f/f_n)} \quad (2.6)$$

(2.6)式으로 부터 利得率(gain factor) $|H(f)|$

와 位相角(gain factor) $\phi(f)$ 는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$|H(f)| = \frac{1/k}{\sqrt{[1-(f/f_n)^2]^2 + [2D(f/f_n)]^2}} \quad (2.7)$$

$$\phi(f) = \tan^{-1} \left\{ \frac{2D(f/f_n)}{1-(f/f_n)^2} \right\} \quad (2.8)$$

一般的으로 線形要素系에서 入力과 出力의 自己 스펙트럼 密度函數 사이에는 다음과 같은 關係가 있다.⁸⁾

$$G_{yy}(f) = |H(f)|^2 \cdot G_{xx}(f) \quad (2.9)$$

따라서 出力의 스펙트럼 密度函數는 (2.7)式과 (2.9)式으로부터 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$G_{yy}(f) = \frac{G_{xx}(f)/k^2}{[1-(f/f_n)^2]^2 + [2D(f/f_n)]^2} \quad (2.10)$$

特殊한 경우로 入力 스펙트럼 密度函數 $G_{xx}(f)$ 가 振動數에 關係없이 G_w 로 一定하다면(white noise), (2.10)式은

$$G_{yy}(f) = \frac{G_w/k^2}{[1-(f/f_n)^2]^2 + [2D(f/f_n)]^2} \quad (2.11)$$

이 된다.

2.2 集中 定數 要素의 算定

質量-스프링-대시포트로 構成된 一自由度系의 運動方程式을 풀기 爲해서는 質量 m , 減衰係數 C 와 스프링常數 k 의 값을 알아야 한다. 前節에서는 一自由度系의 運動方程式을 Fourier 變換하여, 振動數 應答函數가 m , C , k 의 函數로 表示될 수 있음을 보였다. 本節에서는 逆으로 實測 振動數 應答函數로부터 이들 係數를 求하는 方法에 對하여 記述한다. 上記 3個의 未知數 中에서 質量 m 은 基礎와 振動機의 總 質量으로 既知의 값이다. 따라서 運動方程式을 完成시키기 爲해서는 2個의 方程式이 必要하다.

質量-스프링-대시포트로 構成된 一自由度系에서 振動數 應答函數는 (2.7)式과 같다. (2.7)式에서 振動數 應答函數 $|H(f)|$ 의 最大値는

$$\frac{\partial |H(f)|}{\partial (f/f_n)} = 0 \quad (2.12)$$

으로부터 求할 수 있으며, 共振振動數 f_r 과 振動數 應答函數의 最大値 $|H(f)|_r$ 은 다음과 같

이 쓸 수 있다.

$$f_r = f_n \sqrt{1-2D^2} \quad (2.13)$$

$$|H(f)|_r = \frac{1}{k} \frac{1}{2D\sqrt{1-D^2}} \quad (2.14)$$

따라서 2個의 方程式 (2.13)式과 (2.14)式으로부터 2個의 未知數를 求할 수 있다. 即 (2.4)式, (2.13)式과 (2.14)式으로부터 k 와 D 를 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$k = 4\pi^2 f_r^2 m \left[1 + \left(\frac{1}{4\pi^2 f_r^2 m |H(f)|_r^2} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (2.15)$$

$$D = \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \left[1 + \left(\frac{1}{4\pi^2 f_r^2 m |H(f)|_r^2} \right)^2 \right]^{-1/2} \quad (2.16)$$

따라서 實測 振動數 應答函數 曲線으로부터 f_r 과 $|H(f)|_r$ 을 求하게 되면 (2.14)式, (2.15)式과 (2.16)式을 利用하여 스프링常數 k 와 減衰係數 C 의 값을 求할 수 있게 되어 運動方程式을 完成시킬 수 있게 된다.

3. 模型 基礎 實驗

3.1 實驗 地盤 및 實驗 裝備

本 研究에서는 屋外에 實驗 地盤을 造成하고, 圓形 콘크리트 模型基礎를 製作하여 無作爲 振動實驗을 施行하여 振動數 應答函數를 求하였다. 實驗 地盤은 既存 地盤을 깊이 1.8 m, 直徑 4 m의 圓筒形으로 굴착한 후 모래를 채우고, 다짐기로 다져 造成하였다. 地盤의 動的 物性은 Cross-Hole 方法으로 求하였으며, 地盤의 平均 壓縮波 速度 $V_p=276.5$ m/sec, 平均 剪斷波 速度 $V_s=164.5$ m/sec, 포아손 比 $\mu=0.226$ 이었다.

基礎의 動的 舉動은 基礎의 直徑 및 質量比의 變化에 크게 影響을 받는다. 本 研究에서는 實驗 地盤의 크기를 考慮하여 可能한 넓은 範圍의 質量比가 되도록 模型基礎의 크기를 決定하였다. 即, 模型基礎의 直徑이 0.51~0.90 m의 範圍인 圓形 콘크리트 基礎의 높이를 變化시켜 質量比 3.0~16.3의 範圍가 되도록 製作하였다. (參考文獻 7 參照)

지금까지 大部分의 振動實驗에서는 回轉 質量型的 振動機가 많이 利用되어 왔으나, 本 實驗

에서는 一定 振幅의 振動을 줄 수 있는 Ling Dynamic Systems Ltd.의 1,550 N 電磁氣式 振動機를 使用하였다. 가진을 위한 信號發生機로는 同 會社의 RSG-30 無作爲 信號發生機를 使用하였으며, 發生된 信號는 MPA-1 增幅機를 利用하여 所要의 크기로 增幅하여 振動機를 가 진시켰다. 또한 振動 制禦에는 RSA-30 無作爲 信號分析機를 使用하였다.

振動機에 依해 模型 基礎에 加해지는 動荷重의 감지는 Kyowa 社의 引張—壓縮 荷重計를 使用하였고, 감지된 動荷重 信號의 增幅은 Kyowa 社의 Dynamic Strain Amplifier DPM 310B 를 使用하였다. 基礎의 動的 變位測定은 BBN 社의 感度 100 mV/g 壓電式 加速度計를 使用하였으며, 加速度計의 電源 供給 및 信號 增幅은 BBN 社의 Charge Amplifier/Power Supply Unit 를 使用하였다.

振動 信號의 分析은 Nicolet Scientific Corporation의 660 B Dual Channel F.F.T. Analyzer 를 使用하였다. 信號의 記錄 및 貯藏裝備로는 같은 會社의 160 C Data Recorder 및 136 A Digital plotter 를 使用하였다.

Fig. 3.1은 實驗 裝置의 概要圖를 보여 준다. Fig. 3.2는 振動 實驗을 爲한 裝備 및 設置完 了된 모습이다.

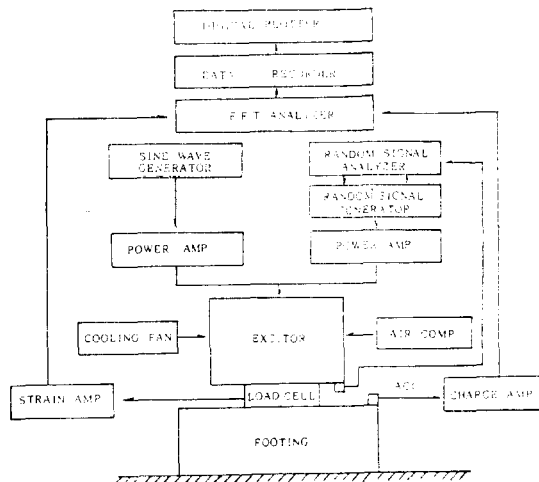
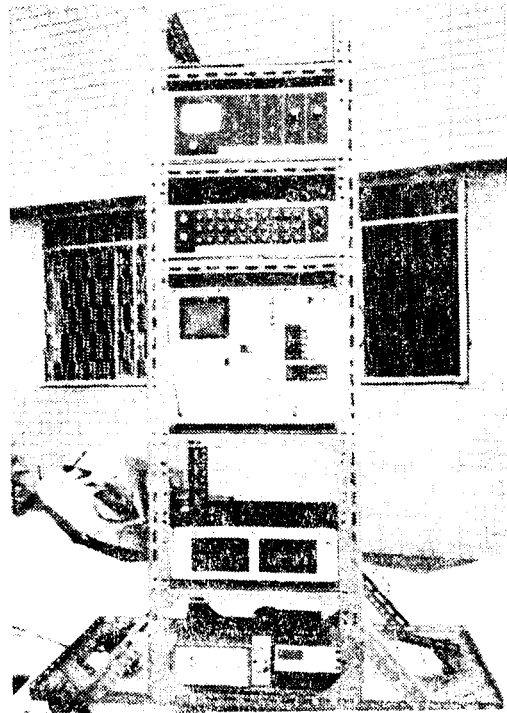


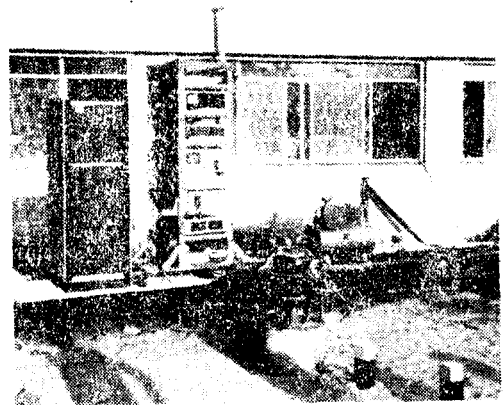
Fig. 3.1 Layout for the Random Vibration Test

3.2 無作爲 振動 實驗

前述한 11個의 模型基礎에 對하여 無作爲 振動實驗을 施行하였다. 實驗時 無作爲 振動은 解 析의 便宜를 爲하여 白色 騒音을 加하였다. 入



a) Equipments for Measurements and Analysis of the Signal



b) Set-up for Vibration Tests

Fig. 3.2 Testing Equipments

力 스펙트럼 密度가 白色 騒音일 경우에는 振動數 應答函數와 出力 스펙트럼 密度函數가 같은 形狀을 가지게 된다.⁸⁾

各 基礎에 對한 無作爲 振動 實驗時資料의 蒐集은 荷重 및 基礎 變位 信號에 對해서는 2秒 間의 資料를 連續的으로 100回 蒐集하여, 그 資料의 平均을 求하고, 이를 利用하여 周波數 應答函數를 求하였다. 各 模型基礎에 對하여 白色 騒音의 入力 스펙트럼 密度를 6.1~34.6 N/Hz의 範圍에서 5가지로 變化시키면서 實驗을 施行하여 入力 스펙트럼 密度의 變化에 따른 振動數 應答函數의 變化를 測定하였다. 實驗時 荷重의 스펙트럼은 荷重計를 利用하여 測定하였으며, 變位の 스펙트럼은 加速度計를 利用하여 加速度量을 測定하고, 測定된 加速度量을 積分함으로써 變位の 스펙트럼을 求하였다.

Fig. 3.3은 荷重 스펙트럼 密度의 增加에 따른 振動數 應答函數의 變化를 나타내는 代表的인 그림이다. Fig. 3.3으로부터 入力 스펙트럼 密度가 增加함에 따라 振動數 應答函數가 最大가 되는 振動數, 即 共振振動數는 약간 減少하는 傾向을 보여주고 있으며, 振動數 應答函數의 最大値는 약간 增加하는 傾向을 보여 주고 있음을 알 수 있다. 이러한 傾向은 다른 研究家들에 依해서도 觀測된 바 있다.^{5),7)}

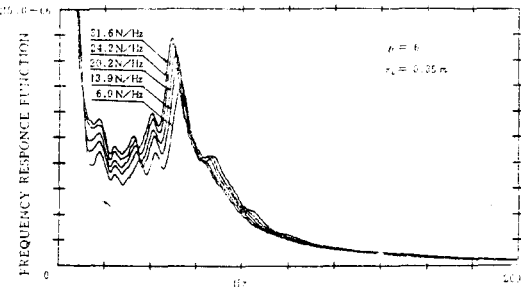


Fig. 3.3 Typical Curves of the Frequency Response Function

4. 實驗 結果 및 考察

4.1 經驗 公式의 誘導

既存 集中定數要素의 애널로그들은 地盤을 半無限彈性體로 假定하였을 뿐 아니라, 基礎에 動

荷重이 加하여 질 때 加振荷重 및 加振振動數에 따라 地盤物性 및 接地壓의 分布가 變化되지 않는다는 假定下에서 誘導되었기 때문에 實測 結果와는 상당한 誤差가 發生될 수도 있다. 本研究에서는 模型基礎에 對한 無作爲 振動實驗의 實測 振動數 應答函數로부터 2.2에서 說明한 方法으로 集中定數要素를 求하여, 實際 地盤의 振動 特性을 包含하고 있는 經驗公式를 誘導하였다.

Fig. 4.1은 模型 基礎에 對한 無作爲 振動 實驗의 實測 振動數 應答函數로부터 推定된 스프링常數 K_{comp} 를 基礎의 半徑 r_0 로 나누어 준 값을 質量比 $b(m/\rho r_0^3)$ 에 對하여 圖示한 것이다. Fig. 4.1은 K_{comp}/r_0 와 質量比 b 가 線形的인 關係가 있음을 보여 준다. 最小自乘法에 依하여 이 直線式을 求하면

$$K_{comp}/r_0 = 3,356 b + 116,800 \quad (4.1)$$

이 된다. 여기서 K_{comp} 의 單位는 KN/m 이고,

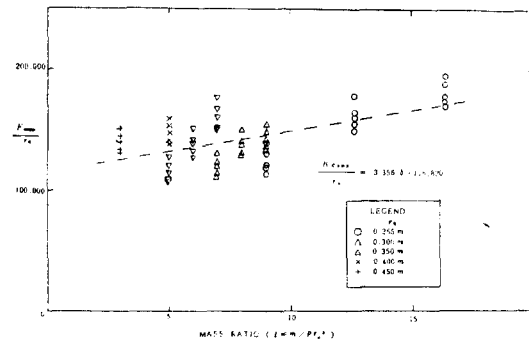


Fig. 4.1 Computed Spring Constant

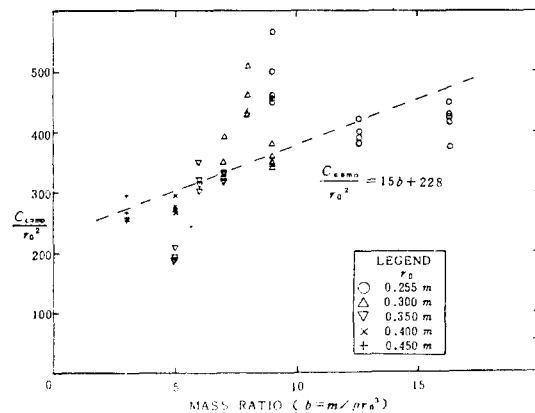


Fig. 4.2 Computed Damping Constant

r_0 의單位는 m 이다. (4.1)式的 相關係數 $r=0.59$ 이었다.

Fig. 4.2는 實測 振動數 應答函數로부터 推定된 減衰係數 C_{comp} 를 基礎 半徑의 제공 r_0^2 으로 나누어 준 값을 質量比 b 에 對하여 圖示한 것이다. Fig. 4.2는 C_{comp}/r_0^2 와 b 가 線形的인 關係가 있음을 보여 준다. 이 直線式을 最小自乘法으로 求하면

$$C_{comp}/r_0^2 = 15b + 228 \quad (4.2)$$

이 된다. 여기서 C_{comp} 의 單位는 $KN\text{-}sec/m$ 이다. (4.2)式的 相關係數 $r=0.64$ 이었다.

따라서 (4.1)式과 (4.2)式으로부터 다음의 運動方程式을 誘導할 수 있다.

$$m\ddot{z} + (15b + 228)r_0^2 \dot{z} + (3,356b + 116,800)r_0 z = P_0 e^{i\omega t} \quad (4.3)$$

(4.3)式은 一自由度系의 運動方程式으로 그 解는 이미 잘 알려져 있다.

Fig. 4.3은 模型基礎에 對한 正規振動實驗 結果 測定된 無次元 共振振動數를 質量比에 對하여 圖示한 것이다. Fig. 4.3의 曲線中 實線은 經驗公式 (4.3)式에 依한 推定 共振振動數이고, 點線은 金等⁷⁾에 依해 提案된 單純化된 愛널로그에 依한 理論 共振振動數이다. 두 값이 다 實測 値와 잘 一致하고 있음을 알 수 있다.

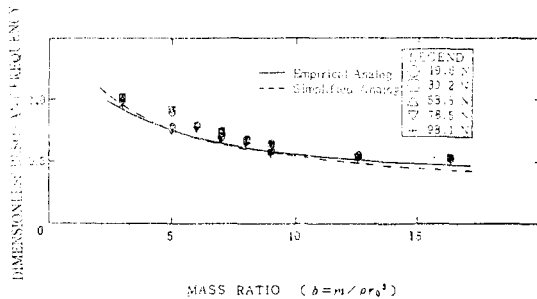


Fig. 4.3 Dimensionless Resonant Frequency

Fig. 4.4는 模型基礎에 對한 正規振動實驗 結果 測定된 無次元 共振變位를 質量比에 對하여 圖示한 것이다. Fig. 4.4의 曲線中 實線은 經驗公式 (4.3)式에 依한 推定 共振變位이고, 點線은 金等⁷⁾에 依해 提案된 單純化된 愛널로그에 依한 理論 共振變位이다.

Fig. 4.5는 模型基礎에 對한 正規振動實驗 結

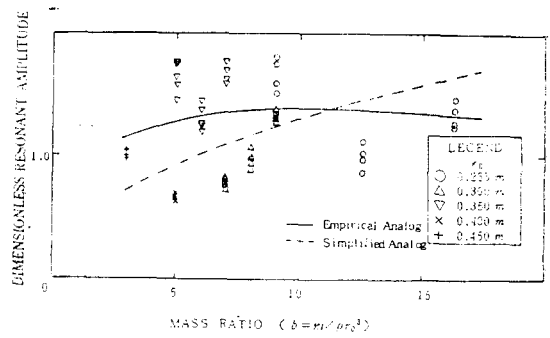


Fig. 4.4 Dimensionless Resonant Amplitude

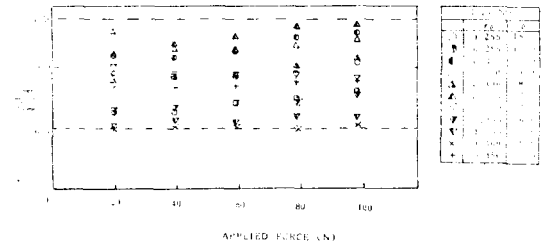


Fig. 4.5 The Relations between the Resonant Amplitudes of Motion as Computed from the Empirical Eq. and Those Measured from the Sinusoidal Vibration Experiments.

果 實測 共振變位 Z_{meas} 와 經驗公式으로부터 推定된 共振變位 Z_{emp} 의 比를 質量比에 對하여 圖示한 것이다. Fig. 4.5는 全 實測 資料에 對하여 Z_{meas}/Z_{emp} 가 0.5~1.35의 範圍에 있음을 보여 준다. 이는 金等에 依해 提案된 單純化된 愛널로그에 依해 推定된 共振變位 Z_{theory} 와 實測 共振變位 Z_{meas} 의 比 Z_{meas}/Z_{theory} 가 0.6~1.9의 範圍에 있었음⁷⁾을 考慮할 때, 本 經驗公式의 경우가 더욱 正確한 共振變位를 推定할 수 있다고 判斷된다.

4.2 一般化시킨 經驗 公式

前 節에서 誘導된 經驗公式은 本 實驗 地盤에 關한 公式으로 一般的인 地盤에는 適用이 困難하다. 따라서 一般的인 地盤에 適用할 수 있도록 公式을 一般化시킨 必要가 있다.

金等⁷⁾에 依해 提案된 單純化된 愛널로그의 式을 살펴 본다.

$$m\ddot{z} + \frac{1}{1-\mu} \frac{1.1r_0^2}{\sqrt{\rho \cdot G}} \dot{z} + \frac{2.28Gr_0}{1-\mu} z = P_0 \cdot e^{i\omega t} \quad (4.4)$$

(4.4)식의 減衰係數 項에서 基礎의 半徑 r_0 의 제공을 除外한 나머지 部分은 地盤 物性(μ, ρ, G)만의 函數이다. 또한 스프링常數 項도 基礎의 半徑을 除外한 나머지 部分은 地盤 物性만의 函數이다. 一般적으로 基礎의 크기나 加振荷重의 크기 등에 따른 地盤 物性의 變化는 미소할 것으로 判斷되므로 減衰係數 및 스프링常數 項의 地盤物性에 關한 部分을 常數化시킬 수 있다.

前 節에서는 2章에서 說明한 集中定數要素 算定 方法을 利用하여, 本 實驗地盤에 對한 無作爲 振動 實驗의 實測振動數 應答函數로부터 集中定數要素, K_{comp} 와 C_{comp} 를 推定하였다. 推定된 스프링常數 K_{comp} 를 基礎의 半徑 r_0 로 나눈 값, K_{comp}/r_0 는 質量比 b 와 線形의 關係가 있었으며(Fig. 4.1 참조), 推定된 減衰係數 C_{comp} 를 基礎의 半徑의 제곱으로 나눈 값 C_{comp}/r_0^2 도 質量比 b 와 線形的인 關係를 보여 주었다.(Fig. 4.2 참조) 即 減衰係數 및 스프링 常數 項의 地盤 物性에 關한 部分은 質量比 b 의 一次式으로 나타낼 수 있다. 따라서 運動方程式은 다음과 같이 一般化시킬 수 있다.

$$m\ddot{z} + (C_1b + C_2)r_0^2\dot{z} + (K_1b + K_2)r_0 \cdot z = P_0 \cdot e^{i\omega t} \quad (4.5)$$

여기서 C_1, C_2, K_1 및 K_2 는 常數로 地盤의 物性 特性을 包含하고 있다. (4.5) 式의 集中定數 要素들은 地盤의 特性을 包含하고 있으므로, 地盤을 半無限彈性體로 假定하고 誘導된 既存의 愛널로그보다 基礎의 振動 特性을 正確히 豫測할 수 있으리라고 判斷된다. 本 實驗地盤의 경우 實測 共振變位에 對한 單純化된 愛널로그에 依한 理論 共振變位の 比는 0.6~1.9의 範圍에 있었음에 反하여(參考文獻 7. 參照), 實測 共振變位에 對한 經驗公式에 依한 推定 共振變位の 比는 0.5~1.35의 範圍의 값을 나타내 經驗公式이 더 正確한 舉動을 豫測할 수 있었다. 또한 既存의 愛널로그들은 地盤의 物性을 알아야 適用을 할 수가 있다. 그러나 地盤의 動的 物性을 正確하게 算定한다는 것은 매우 어려운 問題이며, 많은 裝備와 時間 및 人力 등이 要求된다. 이

에 對하여 本 研究에서 提案된 方法은 係數들이 地盤 物性을 包含하고 있어 地盤 物性을 調査할 必要가 없기 때문에 適用이 比較的 簡便하리라고 判斷된다.

그러나 上述한 結果는 直徑이 0.51~0.90m 範圍의 模型基礎에 對하여 誘導된 것으로 大型 基礎에 對하여 本 方法을 適用시키기 爲해서는 보다 큰 基礎에 對하여 無作爲 振動實驗을 施行할 必要가 있다고 思料된다.

5. 結 果

本 研究에서는 無作爲 振動 技法을 利用하여 地盤의 動的 物性을 包含하고 있는 集中定數要素系의 經驗公式을 誘導하는 方法을 提案하였다. 모래 地盤 위에 놓인 直徑이 0.51~0.90m 範圍에서 11個의 圓形 콘크리트 模型基礎에 對하여 無作爲 振動實驗 및 正規振動實驗을 實施하여 얻어진 結論은 다음과 같다.

1. 無作爲 振動實驗 結果 實測 周波數 應答函數로부터 算定된 集中定數要素系의 經驗公式으로부터 推定된 共振振動數는 正規 振動實驗 結果 實測 共振振動數와 매우 잘 一致하였다.

2. 直徑이 0.51~0.90 m 範圍의 模型基礎에 對한 無作爲 振動實驗 結果 算定된 經驗公式으로부터 推定된 共振變位와 實測 共振變位の 比는 全 實測 資料에 對하여 0.5~1.35의 範圍에 있어 單純化된 愛널로그에 依한 方法보다 더욱 正確한 舉動을 豫測할 수 있었다.

3. 本 研究에서 提案된 方法에 依해 誘導되는 運動方程式의 各 係數들은 地盤의 物性을 包含하고 있기 때문에 별도의 地盤 調査를 하지 않아도 되어, 適用이 比較的 簡便하리라고 判斷된다.

感謝의 글

本 研究는 韓國科學財團의 支援으로 遂行된 것으로 韓國科學財團의 支援에 깊은 感謝를 드립니다.

參 考 文 獻

1. Reissner, E., "Stationäre, Axialsymmetrische

- durch eine Schüttelnde Masse erregte Schwingungen eines homogenen elastischen Halbraumes", *Ingenieur-Archiv.*, No. 7, Part 6, pp. 381~396, 1936.
2. Quinlan, P.M., "The Elastic Theory of Soil Dynamics", *Symposium on Dynamic Testing of Soils*, ASTM, STP 156, pp. 3~34, 1953.
 3. Sung, T.Y., "Vibration in Semi-Infinite Solids Due to Periodic Surface Loadings", *Symposium on Dynamic Testing of Soils*, ASTM, STP 156, pp. 35~54, 1953.
 4. Hsieh, T.K., "Foundation Vibrations", *Proc. Institution of Civil Engineers*, Vol. 22, pp. 211~226, 1962.
 5. Lysmer, J., "Vertical Motions of Rigid Footings", *Ph. D. Thesis*, University of Michigan, Ann. Arbor, 1965.
 6. Lysmer, J. and Richart, F.E. Jr., "Dynamic Response of Footings to Vertical Loading", *J. Soil Mech. & Fdn. Div.*, ASCE, Vol. 92, No. SMI, Proc. Paper 4592, pp. 65~91, 1966.
 7. 金秀一, 閔惠基, "砂質土 위에 놓인 剛性 圓形基礎의 垂直振動", *大韓土木學會論文集*, 第 5 卷, 第 3 號, pp. 127~136, 1985.
 8. Bendat, J.S. and Piersol, A.G., *Engineering Applications of Correlation and Spectral Analysis*, John Wiley & Sons, Inc., pp. 1~187, 1980.