

地盤-構造物連成系の振動解析

京都大学工学部 正員 山田善一
 京都大学工学部 正員 河野健二
 大 林 組 正員 〇河村秀紀

1. ま え が き

本報告は、波動理論を用いた方法で解析されている「地盤-構造物連成系」の振動問題を有限要素法により解析し、系の剛性、減衰の評価を試みたものである。Bycroft, Veletsos¹⁾は、半無限地盤をモデル化するのに、基礎と地盤の接触面に応力分布または変位分布を仮定することにより、波動方程式を積分する方法を提案している。有限要素法で地盤をモデル化する場合、最も重要な問題は加振点から伝播する波動の散逸エネルギーとどのようなシステムで吸収するかである。本報告では、この問題を解決する方法として Lysmerら²⁾が提案した Viscous Boundary を導入し、実体波・表面波を吸収するシステムを考えた。Woods³⁾によれば、伝播する全波動の散逸エネルギーの67%が表面波によることが知られており、表面付近の基礎の振動解析を行なう場合表面波の影響を必ず考慮しなければならないと思われる。

2. 解析方法

- 1) モデル化・・・地盤-基礎のモデルを Fig. 1 のとおり、点線は根入れ部分で2種類考慮した。
- 2) 解析手法・・・二次元弾性体として有限要素法を適用。加振点は基礎上部中央点とし、応答は基礎底面中央点で求めた。
- 3) Viscous Boundary・・・波動エネルギーを吸収する仮想境界を次の様に定義する。

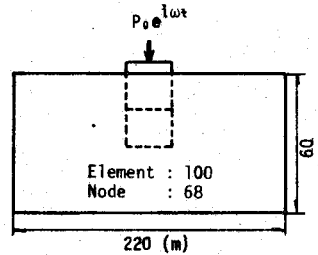


Fig. 1 F.E.M. Model

$$\begin{cases} \sigma = a_p V_p \dot{u} \\ \tau = b_p V_s \dot{w} \end{cases} \quad \begin{matrix} a, b: \text{インピーダンス比 (本報告では } a=1.1, b=0.8 \text{ とする)} \\ V_p: P\text{-波速度} \\ V_s: S\text{-波速度} \\ \rho: \text{密度} \end{matrix} \quad (1)$$

(1)式で定義される応力条件を運動方程式における速度に比例する減衰項として導入する。

$$[C] = t \cdot \int_a [N]^T [H] [N] ds \quad \begin{matrix} [N]: \text{変換マトリクス} \\ [H]: \text{密度} \times \text{速度} \\ t: \text{要素の厚さ} \end{matrix} \quad (2)$$

表面波(Ly-波)を吸収するシステムは、インピーダンス比 a, b が外力振動数と深さの関数になり、³⁾ 一般的には定まらない。本報告では、低次固有振動数を着眼し、深さ³⁾ d' の関数として導入した。(システムを Fig. 2 のとおり)

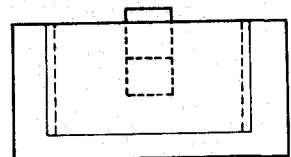


Fig. 2 Viscous Boundary

3) 解析 . . . 計算を行なうのは、下に示す3項目のフイマである。

i. 変位関数 F_1, F_2

$$[M]\ddot{u}_i + [C]\dot{u}_i + [K]u_i = \{P\}$$

$\{u_i\} = \{u_0\}e^{i\omega t}$, $\{P\} = \{P_0\}e^{i\omega t}$ とし $\{u_0\}$ のフイマを式を解く

$$\{u_0\} = \frac{[K] - \omega^2[M] + i\omega[C]}{[R]} \{P_0\}$$

$$[R] = [F_1] + i[F_2]$$

ii. 系の剛性 K , 減衰 C

$$K = \frac{F_1}{F_1^2 + F_2^2}, \quad C = \frac{-F_2/a_0}{F_1^2 + F_2^2}$$

a_0 : 無次元振動数

$$a_0 = \frac{r_0 \omega}{V_s}$$

r_0 : 基礎幅

iii. 増幅係数 M

$$M = \frac{\sqrt{F_1^2 + F_2^2}}{\sqrt{(1 - B a_0^2 F_1)^2 + (B a_0 F_2)^2}}$$

B : 質量比

$$B = \frac{1 - \nu}{4} \frac{m}{\rho V_s^3}$$

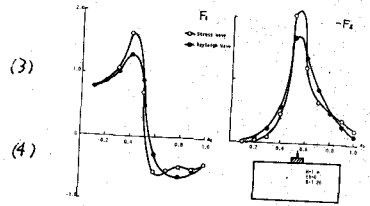


Fig. 3

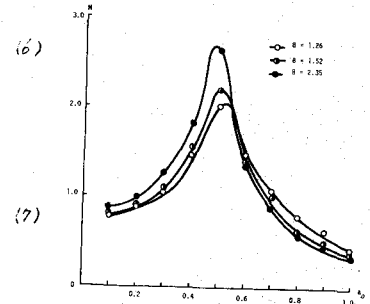


Fig. 4

3. 解析結果および考察

実体波のみ考慮した場合と表面波を考慮した場合を Fig. 3 に示す。

Fig. 4, 5 は地盤上基礎に対し、 M, K, C を示すものである。Fig. 6, 7, 8 は根入れ基礎に対し、 F_1, F_2, M, K, C を示したものである。

地盤上基礎の場合表面波が卓越しているため、モデル化では、さうに研究する必要があると思われる。根入れ基礎では、複雑な仮定を用いる波動論的解法より容易にかつ広範囲にわたる応用の可能性が十分あり、地盤-構造物連成系の振動解析に有限要素法が有効な手法であると思われる。

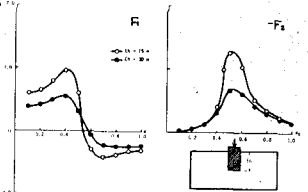


Fig. 6

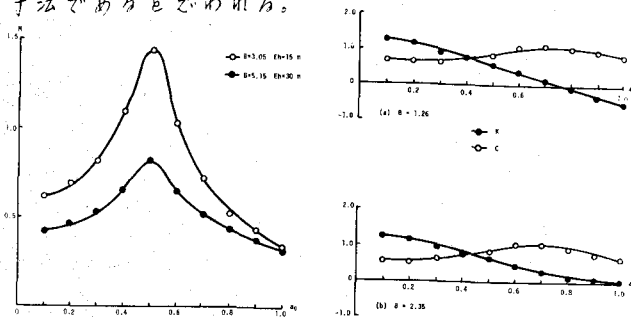


Fig. 7

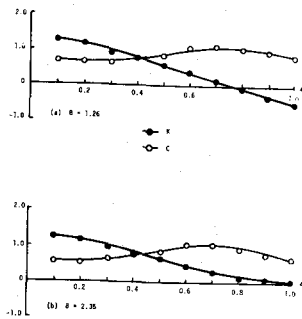


Fig. 5

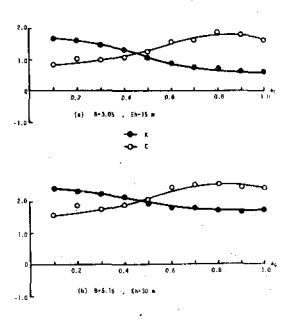


Fig. 8

参考文献

- 1) G.N. Bycroft; Forced Vibrations of Rigid Circular Plate on Semiinfinite Elastic Space and on an Elastic Stratum, Philosophical Trans, Royal Society, London, Ser. A, Vol. 248, pp. 327-368, 1956
- 2) A.S. Veletsos, Y.T. Wei; Lateral and Rocking Vibration of Footing, SM and Foundation Division, Proc, pp1227-1248, September, 1971
- 3) J. Lysmer, R.L. Kuhlemeyer; Finite Dynamic Model for Infinite Media, EM Division, Proc. ASCE, pp859-877, August, 1969