

半無限地盤上の非均質構造物に対する非定常地震応答の解析

京都大学工学部 正員 円羽 義次
 東海大学海洋学部 正員 北原 道弘
 京都大学工学部 正員 廣瀬 壮一
 阪急電鉄 正員 ○神谷 昌平

1. はじめに 大規模な土木構造物の代表的存在であるフィルダムは、堤体内において物質定数が漸次変化するように設計、建設される。そのため、地震が発生した際には堤体内の動的な変形特性が複雑となり、堤体の構造と強度を十分に解明できないという問題点が存在する。本研究では、まず、フィルダムのコア部を想定した地盤に根入れを有する非均質構造物に、P波・S波が入射する場合の非定常地震応答を求めた。数値解析の手法としては、数値的グリーン関数を用いた境界積分方程式法により定式化し、定常解を求め、それを逆フーリエ変換することにより非定常応答を求めた。次に、その非均質構造物の組み合わせで堤体が構成されていると考えられるフィルダムの解析に本手法を適用した。

2. 定常動弾性問題の定式化 本研究では、数値的グリーン関数を用いた境界積分方程式法により、非均質弾性体がある閉領域に限られている均質半無限弾性体に対する定常動弾性問題を次のように定式化した¹⁾

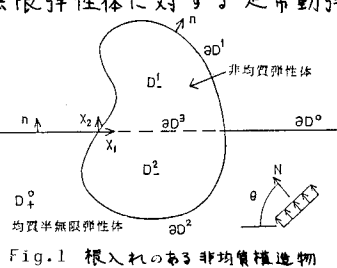


Fig.1 根入れのある非均質構造物

(Fig.1 参照) まず、非均質弾性体に対しては物質定数は Lamé 定数を次のように表記する。

$$\lambda(x) = \lambda^* + \bar{\lambda}(x), \quad \mu(x) = \mu^* + \bar{\mu}(x) \quad (1)$$

ただし、 λ^* と μ^* は一定部分で、 $\bar{\lambda}$ と $\bar{\mu}$ は変化

部分(非均質に関係する項)である。そして、非均質弾性体の基礎式において、上記非均質部分に関係する項と加速度項を見かけの物体力項とみなす。均質静弾性体の基本解 V を用いて、この見かけの物体力項を有する均質静弾性体の基礎式に対して変位の積分表示を定式化する。その結果、非均質物質における変位の積分表示は次式のようにになる。

$$E(x)u(x) = \int_{\partial D} T(x, y) t(y) dS_y - \int_{\partial D} T(x, y) u(y) dS_y + \int_{D^+} \hat{V}(x, Y) u(Y) dV_Y + \int_{D^+} \left\{ \bar{\lambda}(Y) - \frac{\lambda^*}{\mu^*} \bar{\mu}(Y) \right\} \hat{V}(x, Y) u(Y) dV_Y + \rho \omega^2 \int_{D^+} V(x, Y) u(Y) dV_Y \quad (2)$$

$$E(x) = \begin{cases} C(x) & X \in D_1^+ \text{ or } D_2^+ \\ \frac{1}{2} C(x) u(x) & X = x \in \partial D^+ \cup \partial D^2 \\ 0 & X \in D^+ \end{cases}$$

$$C(x) = \frac{\mu^* \lambda(x) + \lambda^* \mu(x) + 4\mu^* \mu(x)}{2\mu^* (\lambda^* + 2\mu^*)} 1$$

ただし、 $T(x, y) = V(x, y) \overset{2 \times 2}{T}(\lambda, \mu; \partial_y)$
 $\{\hat{V}(x, Y) u(Y)\}_i = \{ \bar{\lambda}(Y)^{i,j} V_{i,k}(x, Y)^{k,l} + \bar{\mu}(Y)^{i,j} V_{i,j}(x, Y)^{k,l} + \bar{\mu}(Y)^{i,k} V_{i,k}(x, Y)^{j,l} \} u_j(Y)$
 $\{\hat{V}(x, Y) u(Y)\}_i = V_{i,k}(x, Y)^{k,j} u_j(Y)$ である。

一方、半無限均質弾性体に対しては、動弾性問題の基本解 U を用いて、変位の積分表示を次のように定式化する。

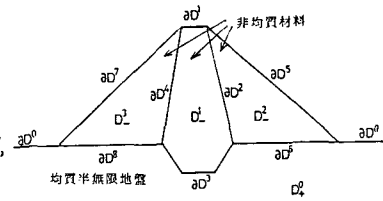
$$E(x)u(x) = U^T(x) + \int_{\partial D} T(x, y; \omega) t(y) dS_y - \int_{\partial D} T(x, y; \omega) u(y) dS_y \quad (3)$$

$$E(x) = \begin{cases} 1 & X \in D_+^0 \\ \frac{1}{2} 1 & X = x \in \partial D^0 \cup \partial D^2 \\ 0 & X \in D_+^0 \cup \partial D^0 \cup \partial D^2 \end{cases}$$

次にマッチングの手法を示す。Fig.1における \bar{D}_1^+ と \bar{D}_2^+ に対しては(2)式より解表現を得、 \bar{D}_+^0 に対しては(3)式より解表現を得ることができ

る。ここで、 ∂D^1 と ∂D^3 において変位と応力の連続条件を課すことにより変位を決定できる。

Fig.2に示したフィルダムの解析も同様に行える。 $\bar{D}^1, \bar{D}^2, \bar{D}^3$ に対しては



(a)式より解表現を得、 \bar{D}^3 に対しては(3)式より解表現を得る。さらに、 $\partial D^1, \partial D^2, \partial D^3, \partial D^4, \partial D^5$ において変位と応力の連続条件を課すことで変位を決定できる。

3. 非定常応答の解析法 非定常問題における平面入射波 $u^I(x,t)$ をN方向に速度Cで進む波とすると $u^I(x,t) = A f(t - \frac{N \cdot x}{C})$ と表わすことができる。上式にフーリエ変換を行うと、Aを定数として $\hat{u}^I(x,\omega) = A e^{i(N \cdot x / C) \omega}$ と得られる。

線形システム論の考え方をを用いると $A e^{i(N \cdot x / C) \omega}$ は定常問題の入射波に対応していることがわかる。つまり、任意の入射波が系に入射した時の非定常応答を求めるには、入射波に対する応答倍率を表わす定常解に入射波形 $f(t)$ のフーリエ変換 $\hat{f}(\omega)$ だけ重みをかけて逆フーリエ変換すればよい。

4. 数値解析例 本報告で示す長方形の非均質構造物及びフィルダムの物質定数はFig.3, Fig.4のように設定した。また、本研究ではFig.5に示す

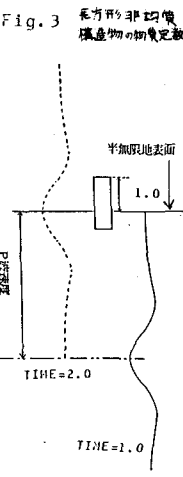
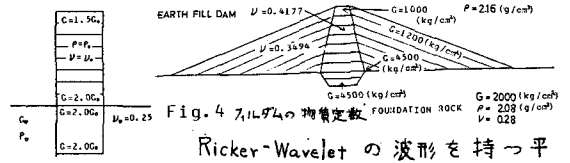


Fig.5 入射波の進行

Ricker-Waveletの波形を持つ平面波が入射する場合を扱った。Fig.6, Fig.7にはP波が入射した時の面モデルに対する数値解析例を示す。なお、物質定数の差異による動的特性の変化等の詳細は当日報告する。
参考文献
1) Niwa, Y., M. Kitahara, and S. Hirose ; Elastodynamic problems for inhomogeneous bodies, 5th. Int. Conf. on BEM, 1983., pp.751-pp.763

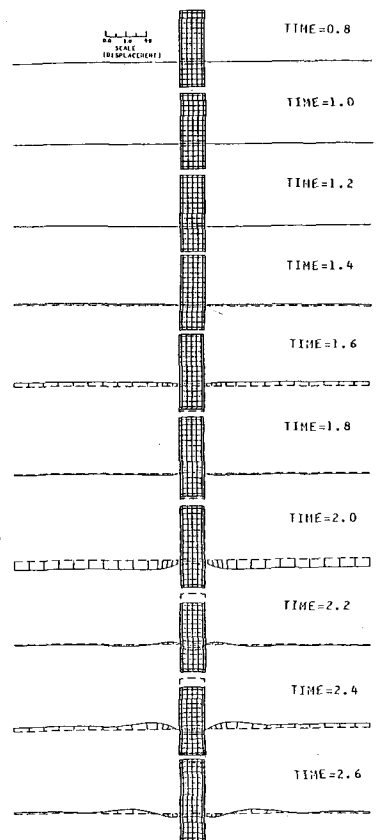


Fig.6 非均質構造物の非定常解析

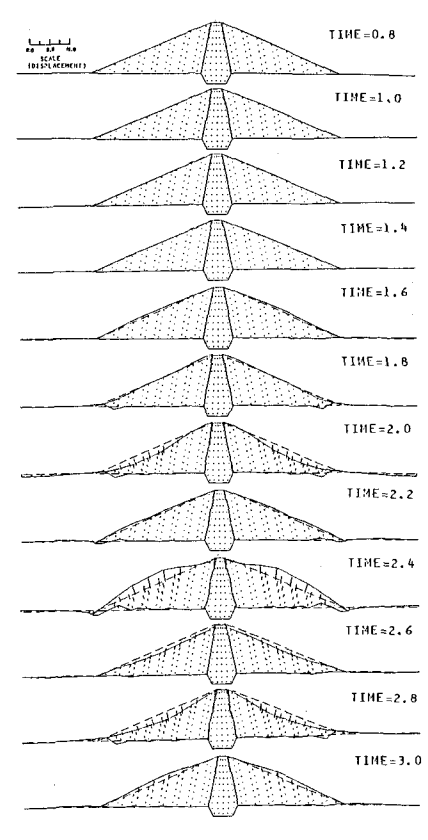


Fig.7 フィルダムの非定常解析