

京都大学工学部 正員 丹羽義次

東海大学海洋学部 正員 北原道弘

京都大学大学院 学生員 ○神谷昌平

1. はじめに 沖積平野及び盆地の内部不規則界面の存在に起因する地震波の擾乱のために、これら地層の地上での応答は、水平層の場合と比較してかなり異なったものになることが報告されており、⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾沖積平野、盆地に都市の多くが存在する我が国においては、不規則な内部界面を有する層状地盤の地震波動に対する動的応答特性を解明することは、工学的に極めて重要である。この現象を定量的に解明することができれば、地上で観測された地震記録から内部地層構造が解明され、逆に地層構造が既知であれば、地震波による地表での応答特性が解明されることになる。本研究では、動弾性問題における積分方程式を構成し、積分方程式法により動的応答解析を試みた。

2. 積分方程式法による定式化 後のFig. 4に示す2層地盤の波動問題を解析するにあたり、まず、積分方程式法による解法として、2層地盤問題と類似な性格を持つライニングを有する空洞(Fig. 1)に平面波が入射した場合を考え、積分方程式法による定式化、及び精度の検証を行なった。

媒質1 (D_1 :ライニング)に関する境界上の積分表示は次のようになる。(Fig. 2参照)

$$\frac{1}{2}u^1(x) = (S^1u^1)_1(x) - (D^1u^1)_1(x) + (S^1u^1)_2(x) - (D^1u^1)_2(x) \quad (x \in \partial D_1 \cup \partial D_2) \quad (1)$$

媒質2 (D_2 :地盤)に関する境界上の積分表示は次のようになる。(Fig. 2参照)

$$\frac{1}{2}u^2(x) = (S^2u^2)_2(x) - (D^2u^2)_2(x) + u^{INC}(x) \quad (x \in \partial D_2) \quad (2)$$

ただし、 $(\cdot)_{1,2}$ 等の添字1, 2は、それぞれ境界 ∂D_1 , ∂D_2 に沿った線積分を意味する。また、 $u^{INC}(x)$ は平面入射波を示す。

∂D_1 上の境界条件、 ∂D_2 上の連続、及び釣合条件は次のようになる。

$$u^1(x) = u^2(x) \quad x \in \partial D_1 \quad (\partial D_1 \text{上のすべての点で応力Freeの場合は、} u^1(x) = 0) \quad (3)$$

$$u^1(x) = u^2(x) \quad (\text{連続条件})$$

$$u^1(x) = -u^2(x) \quad (\text{釣合条件}) \quad x \in \partial D_2 \quad (4)$$

(4)式において、 $u^1(x) = u^2(x)$, $u^2(x) = u^1(x)$ とおき、条件(3), (4)を表示(1), (2)に課すこ Fig. 2 媒質1, 2に対する法線ベクトルと積分方向の定義

この未知量 u^1 , u^2 , u^* に関する方程式をMatrix表示すると、次のようになる。

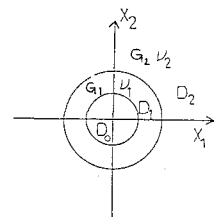
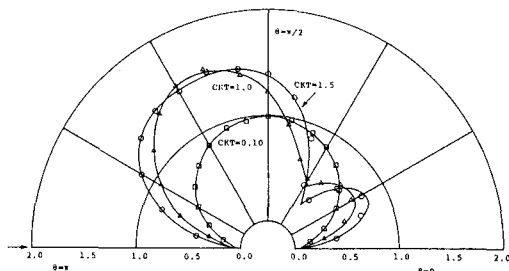
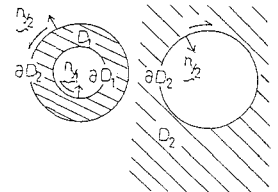
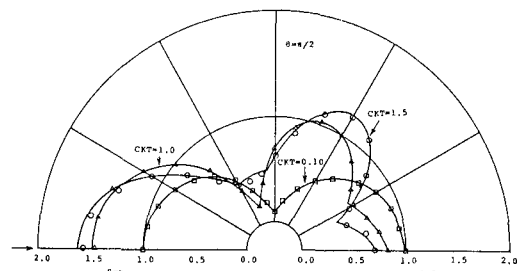


Fig. 1 ライニングを有する空洞



(a) $|u_r|$ (半径方向の変位)



(b) $|u_\theta|$ (周方向の変位)

Fig. 3 空洞周上の $|u_r|, |u_\theta|$ の分布 (ポアソン比 $\nu = 0.25$, 定数: $Mow \& Mow$ ⁽⁴⁾; $\circ, \triangle, \square$: 積分方程式)

$$\begin{bmatrix} (\pm I + D')_1 & (D')_2 & (S')_2 \\ (D')_1 & (\pm I + D')_2 & (S')_2 \\ 0 & (\pm I + D')_2 & -(S')_2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \underline{u}^1 \\ \underline{u}^2 \\ \underline{u}^3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} (S')_1 \underline{g}^1 \\ (S')_1 \underline{g}^2 \\ \underline{u}^{INC.} \end{Bmatrix}$$

この積分方程式を解くことにより、境界 (∂D_1 , ∂D_2) 上の変位、及び応力が求まれば、各媒質内部 (D_1 , D_2) の変位場は、次式により求まる。

$$\begin{aligned} \underline{u}^1(x) &= (S')_1^1(x) - (D')_1^1(x) + (S')_2^1(x) - (D')_2^1(x) & (x \in D_1) \\ \underline{u}^2(x) &= (S')_2^2(x) - (D')_2^2(x) + \underline{u}^{INC.}(x) & (x \in D_2) \end{aligned}$$

無限弾性体内に空洞が1つ存在する場合のSV波に対する境界上の変位 $|\underline{u}|$ と $|\underline{u}|$ がMow等⁴⁾により示されており、Fig. 3 (a), (b)は本問題に対する数値解析結果を、Mow等による解析結果と比較検討するため、媒質1及び媒質2の物理的性質を同一にして、SV波をFig. 3に矢印($\rightarrow$)で示した向きから入射した場合の結果を示したものである。

3. 半無限2層地盤の問題

Fig. 4, 5に示すように、2層地盤の問題に対する積分方程式の定式化は、ライニング問題に対する定式化と同様に行なうことができる。Fig. 6 (a), (b), (c)はそれぞれ表層の厚さ h で無次元化した横波の波数 $k_T = 1.0, 2.0, 3.0$ に対応する縦波を入射した場合の解析結果であり、いずれも実部をあらわしている。(a)は検証

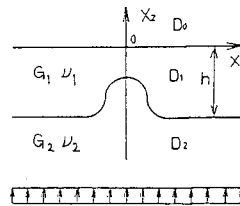


Fig. 4 半無限2層地盤

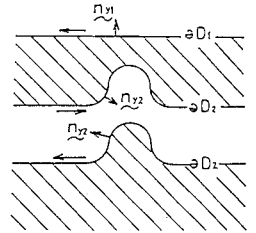


Fig. 5 法線ベクトルと

積分方向

のために、上部表層と下層の物理的性質を同一にしたもの

であり、内部界面による波の擾乱は発生しないことが確認できる。(b), (c)はともに上部表層のせん断弾性係数 G_1 が下層の G_2 の $1/2$ の場合の結果を示している。これは、不規則な内部界面の存在による波の擾乱を示しており、地表面における応答倍率は、水平層の場合と比べて大きくなっていることが確認されている。(a)は一例として、内部界面の不規則性が(a), (b), (c)と逆向き(凹型)である場合のSV波($k_T = 3.0$)に対する結果を示している。また、各周波数に対する地表面での応答倍率を調べることは、1節で述べた目的のために重要であり、これについては紙面の都合上、当日報告する。

参考文献) 1) Gutenberg, B.; Bull. Seism. Soc. Am., Vol. 47, pp. 221-250, 1957. 2) Hudson, D.E.; Bull. Seism. Soc. Am., Vol. 62, pp. 1765-1786, 1972. 3) Griffiths, D.W. and Bollinger, G.A.; Bull. Seism. Soc. Am., Vol. 69, pp. 1081-1105, 1979. 4) Mow, C.C. and Meents, L.J.; J. Appl. Mech., Vol. 30, pp. 599-604, 1963.

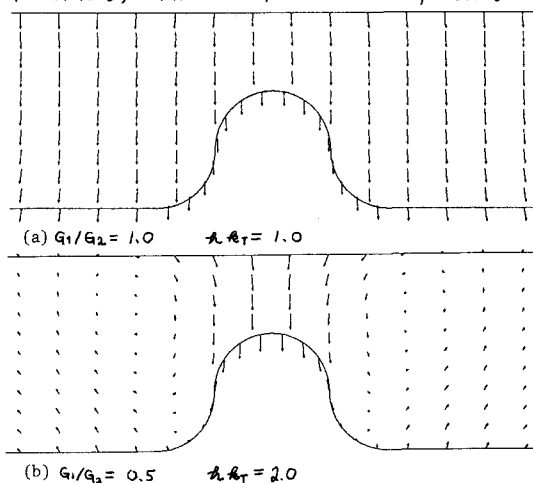
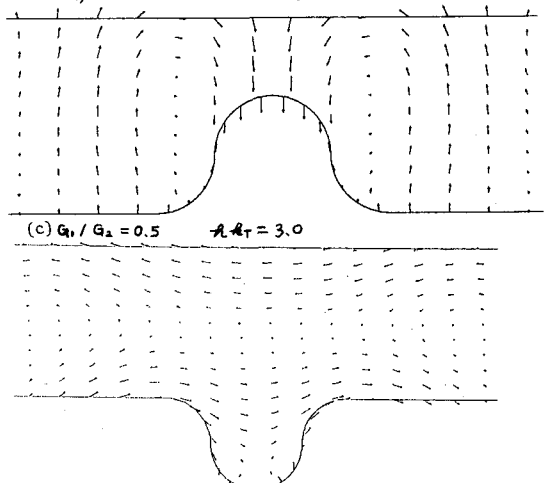


Fig. 6 P波, SV波に対する変位応答図



(c) $G_1/G_2 = 0.5$ $k_T = 3.0$