

半無限弾性体における波動散乱問題の実験的研究

京都大学工学部 正会員 丹羽 義次
 京都大学工学部 正会員 廣瀬 壮一
 大阪府 正会員 ○岩井 均

1 はじめに

我が国は、世界でも有数の地震帯に属しており、非均質地盤あるいは不整形地盤における地震動解析が重要とされている。今日、積分方程式や有限要素法などによる理論的地震動の解析は広い範囲で行なわれているが、その結果を確かめる実験は、あまり行なわれていないのが現状である。本研究は耐震設計において、不確定要因の一つである不整形地盤における地震動特性を実験的に解明しようとするものである。本来の地震動は3次元であるが、本研究においては、地盤を平面応力状態にある半無限弾性体と仮定し、平面P波が入射した場合の2次元面内問題を解析した。対象とするモデルは、表面にくぼみを持つものと、内部に空洞を持つ半無限地盤であり、以下、それぞれのモデルに対して、実験および理論の両面から説明していく。

2 積分方程式を用いた理論的解析

Fig 1, a, bに示すような、表面にくぼみを持つモデルと内部に空洞を持つモデルの積分方程式の定式化を行う。物体力が存在しないと仮定し、境界条件を考慮し、さらに、すべての境界面が十分に滑らかであるとすると、それぞれのモデルの境界面はFig 1, a 表面にくぼみを持つモデル次のように積分表示される。

$$\int_{\partial S_2} \mathbb{U}_k^{\textcircled{2}}(y) D_k^R(x_0, y) dy - \int_{\partial S_3} \mathbb{U}_k^{\textcircled{3}}(y) D_k^R(x_0, y) dy - \int_{\partial S_1} \mathbb{U}_k^{\textcircled{1}}(y) D_k^R(x_0, y) dy = \begin{cases} \frac{1}{2} \mathbb{U}_k^{\textcircled{1}}(x_0) - \mathbb{U}_k^{\textcircled{2}}(x_0) & x_0 \in \partial S_2 \\ \frac{1}{2} \mathbb{U}_k^{\textcircled{3}}(x_0) & x_0 \in \partial S_3 \end{cases} \quad (1)$$

$$\int_{\partial S_2} \mathbb{U}_k^{\textcircled{2}}(y) D_k^R(x_0, y) dy - \int_{\partial S_1} \mathbb{U}_k^{\textcircled{1}}(y) D_k^R(x_0, y) dy = \begin{cases} \frac{1}{2} \mathbb{U}_k^{\textcircled{1}}(x_0) - \mathbb{U}_k^{\textcircled{1}}(x_0) & x_0 \in \partial S_2 \\ \frac{1}{2} \mathbb{U}_k^{\textcircled{3}}(x_0) & x_0 \in \partial S_3 \end{cases} \quad (2)$$

ここで、 $\mathbb{U}_k^{\textcircled{1}}$ は散乱波による変位、 $\mathbb{U}_k^{\textcircled{2}}$ は入射波と散乱波による変位、 $\mathbb{U}_k^{\textcircled{3}}$ は全変位を表す。次に、境界要素に分割することによって、数値解析が行なわれる。

3, A E計測装置を用いた実験的解析

本実験では、厚5mmのP.M.H.A板および真鍮棒によりモデル供試体を作製した。Fig 2に示すように、真鍮棒左端に設置した変換子Aからファンクションジェネレータにより方形波電圧を入力し振動を発生させる。右手斜面の傾斜角度を調整することによって、P波の入射角度を変えることができる。供試体内を伝播してきた振動は、右手斜面に設置した変換子Bによって検出される。使用した変換子は圧電素子A Eセンサーである。また、変換子Bの設置位置と不整形の形状はFig 3に示し、

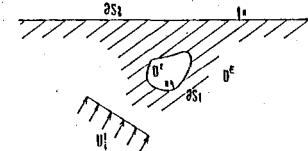
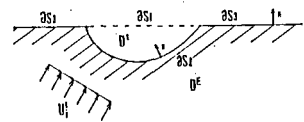


Fig 1, b 空洞を持つモデル

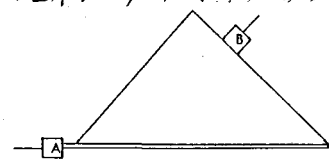


Fig 2. モデル供試体と変換子 A, B.

Yoshiji NIWA Souichi HIROSE Hitoshi IWAI

変換子Bは1.25cm間隔で設置した。実験データは、P波入射のみを解析対象とするので、解析時間領域としては、入射P波が到達してから、入射表面波、あるいは表面波RP波が到達するまでとし、Fig4に示した伝播状況図の○線で囲まれた領域が、解析時間領域となる。

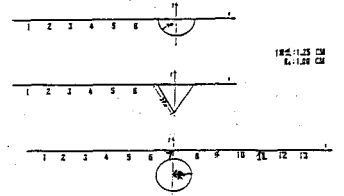


Fig.3 変換子Bの設置位置。

[1] 実験解析と理論解析の関連性について考える。実験の伝達経路は入力システム、モデル供試体、計測システムの3つから成るものと考えられ、それぞれの伝達関数を W_1 , W_2 , W_3 で表わす。整形なモデル供試体Ⅰ、および不整形なモデル供試体Ⅱに対し実験を行うことを考え、このとき入力および計測システムが周波数領域の各成分に対し同一の特性を示すものと仮定できれば、実験解析結果 G^I , G^II の比をとることから次式

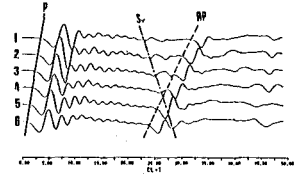


Fig.4 伝播状況図と解析時間の決定

$$G^I(\omega)/G^II(\omega) = W_2^I(\omega)/W_2^{II}(\omega) \quad (W_1^I(\omega) = W_1^{II}(\omega) \quad W_3^I(\omega) = W_3^{II}(\omega)) \quad (3)$$

が得られる。 $W_2^I(\omega)$ には、モデル供試体の散乱波による影響が含まれており、 $W_2^I(\omega)/W_2^{II}(\omega)$ より不整形による影響を検出できる。一方、数値解析解 $g(0;\omega)$ は、実験における伝達関数 $W_2(\omega)$ と等しいことから、次式が得られ、これにより両解析の比較が可能となる。

$$g^I(0;\omega)/g^II(0;\omega) = G^I(\omega)/G^II(\omega) \quad (4)$$

4. 結果と考察

実験解析結果と理論解析結果の一部をFig5,a~dに示した。破線は実験による、実線は理論による解析結果を表し、横軸に周波数を取り、縦軸は式(4)による比を取っている。両解析結果ともに良く似た傾向を示した。しかし、表面のくぼみの形状による差は、ほとんど認められなかった。図の特徴としてはいくつかあり、隔れるに従って、振幅が小さくなっていく。とくに空洞を持つモデルにおいて、P波の入射角が0°のとき、解析地点の7を中心に対称的な結果が得られた。理論値と実験値とに、さらに類似性が認められると、空洞の深さも、ある程度予測が可能になると思われる。今後、多種多様な不整形について実験を行うことにより、両解析の信頼度は増々高いものとなると思われる。

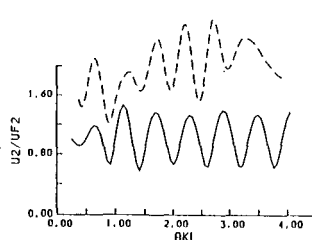


Fig.5,a 表面くぼみ(半円)P波0°入射
変換子Bの位置2

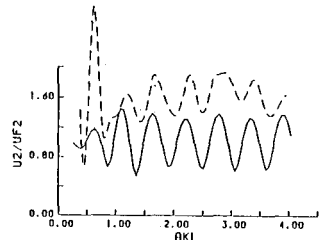


Fig.5,b 表面くぼみ(三角形)P波0°入射
変換子Bの位置2

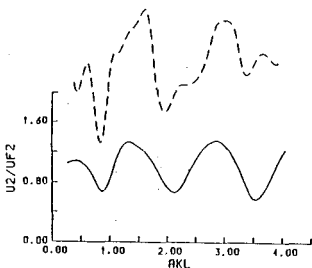


Fig.5,c 表面くぼみ(三角形)P波0°入射
変換子Bの位置5

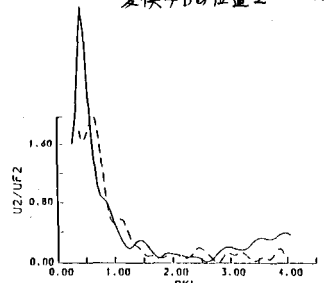


Fig.5,d 空洞 P波30°入射
変換子Bの位置7

参考文献 [1] 近藤 次郎, フーリエ変換とその応用, 培風館, 1975