

京都大学大学院 学生員○中谷 昌一
 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

1. はじめに

近年、丘陵地あるいは崖地といった様々な不整形地盤において、土木構造物の建設が試みられている。しかし各種土木構造物の耐震性を評価する場合、不整形な地盤における地震動特性が不確定要因の一つとなっている。本研究は、この地震動特性を解明するため実験的な並びに理論的解析を行なうものである。実験的解析においては、モデル地震を作製し、A.E.計測装置を用いて波形の検出を行ない、これを周波数領域に変換することにより地表面上における変位の周波数応答を求める。また一方理論的解析においては、数値解析法として無限あるいは半無限領域を含む解析に適した積分方程式法を用い、地表面上における応答倍率を計算し、両解析結果の比較検討を試みることにする。

2. 実験的解析

本実験では、厚さ5mmのアクリル樹脂の平板(P.M.M.A.; 商品名アクリライト)および真鍮棒によりモデル供試体を作製した。Fig. 1に示す通り、モデル供試体の右側斜面が不整形な地盤の地表面上に相当する。真鍮棒左端に設置した変換子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、波動を発生させる。このとき、右側斜面の傾斜角度を3段階に変化させることにより、平板内を伝播してくるP波の波面と右側斜面とのなす角度は 0° , 30° , 45° となる。つまり不整形地盤に平面P波が入射角 0° , 30° , 45° で入射した3つの場合を取り扱った。供試体内を伝播してきた波動は、右側斜面に設置した変換子により電気信号に変換され、ある波形として検出される。使用した変換子はいずれも圧電素子A.E.センサー(NF社製905S)である。

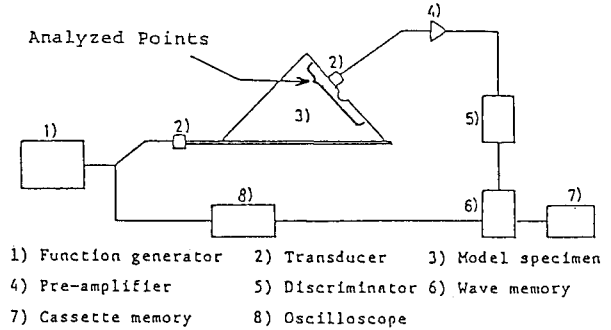


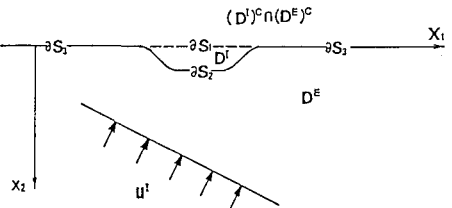
Fig. 1 実験概要図

3. 理論的解析

実際の地震動は3次元的な広がりをもって伝播するため、本来の特性をとらえるには3次元解析が必要である。しかし本研究では、解析する対象を平面ひずみ状態にある半無限とし、これに平面P波が入射した場合の2次元面内問題を解析することにする。Fig. 2に示すように半無限境界 ∂S_1 と不整形な境界 ∂S_2 を有する半無限領域 D^E において入射波 u^i が入射した場合について、境界条件; $t_i(x_0) = 0$, $x_0 \in \partial S_2$, ∂S_3 を考慮して、定式化を行なうと、

$$\frac{1}{2} u_i^T(x_0) = u_i^P(x_0) - \int_{\partial S_2} u_i^T(y) D_i^E(x_0, y) dy - \int_{\partial S_3} u_i^T(y) D_i^E(x_0, y) dy - \int_{\partial S_1} u_i^T(y) D_i^E(x_0, y) dy \quad (1)$$

$$\frac{1}{2} u_i^S(x_0) = - \int_{\partial S_2} u_i^T(y) D_i^E(x_0, y) dy - \int_{\partial S_3} u_i^T(y) D_i^E(x_0, y) dy - \int_{\partial S_1} u_i^T(y) D_i^E(x_0, y) dy \quad (2)$$



となる。ここに u は変位、 D は2重層ポテンシャルを表わし、Fig. 2 不整形な境界を有する半無限地盤また添字T, S, Pにより全変位、境界 ∂S_2 により発生する散乱波による変位、入射波と反射波の和からなる変位を区別して表わした。ここで u^i については既に理論解が求まっており、従って式(1), (2)を数値解析することにより u^T を求めることが可能となる。

4. 実験的解析および理論的解析の関連性

入カシステム, モデル供試体, 計測システムを線形システムと考え, それぞれ伝達関数を $W_1(w)$, $W_2(w)$, $W_3(w)$ とすれば2つの異なるモデル供試体に対し Fig. 3 のように表わせる。従って入力, 出力のフーリエ変換関数 $F(w)$, $G(w)$ の関係は次の2式として表わせる。

$$G^I(w) = W_1^I(w) \cdot W_2^I(w) \cdot W_3^I(w) \cdot F(w) \quad (3)$$

$$G^II(w) = W_1^{II}(w) \cdot W_2^{II}(w) \cdot W_3^{II}(w) \cdot F(w) \quad (4)$$

本実験では, 入カシステム・計測システムに関しては同一のものを使用し, モデル供試体Iを半無限地盤としモデル供試体IIを不整形な境界を有した半無限地盤とし, 式(3)と式(4)との比

$$G^II(w)/G^I(w) = W_2^{II}(w)/W_2^I(w) \quad (5)$$

によって不整形な境界による影響をとらえることにする。また, 積分方程式により理論的に求めた全変位 u^T は, 実験における伝達関数 $W_2(w)$ と等しいことから式(5)より次式

$$u^T(w)/u^P(w) = G^II(w)/G^I(w) \quad (6)$$

を得る。式(6)により両解析の関連性が表わされたことになる。

5. 結果と考察

まず波の伝播状況を Fig. 4, Fig. 5 でみることにする。各図には入射角が 0° の場合に解析地点1から15の間において検出された波形を並べたものが示されており, モデル供試体と解析地点番号および P , S_v , R_p , R_s , P' , S_v' なる6種類の波の到達の様子が併記されている。Fig. 4 から, 入射 P 波および S_v 波が1地点から15地点へと順々に到達しており, このことから入射 P 波および S_v 波が平面波をなして伝播していることがわかる。また R_p 波, R_s 波はそれぞれ入射 P 波・ S_v 波によるモデル供試体側面からの表面波および反射波と思われる。さらに Fig. 5 をみれば, 地盤モデルの不整形性による入射 P 波・ S_v 波の散乱波 P' ・ S_v' が, それぞれ6地点から1地点・10地点から15地点へと順々に伝播していることがわかる。さて次に, 周波数領域における解析結果の一例として, 不整形形状が半円形(半径 $C = 1.0 \text{ cm}$) で入射角が 0° の場合の解析地点6における結果を Fig. 6 に示す。解析地点6は不整形な境界の近辺で, 半円の中心から半径 C の2.5倍の距離にある。数値解析結果・実験結果をそれぞれ実線・破線で同一グラフ上に描いたもので, 横軸には波数 K と半径 C の積である無次元量をとり, 縦軸には理論的に求められた比 $u^T(w)/u^P(w)$ がとられている。ただし, 実験で用いた変換子は縦方向変換子で設置面に垂直方向の波形を検出していると考えられる。また, 変換子による絶対的増幅度は不明であり実験結果の絶対的大さに関しては意味がなく, 数値解析結果と比較する場合にはグラフの形状のみに着目することにした。Fig. 6 を見れば, 両解析結果がよく一致しており, 本実験および理論的解析が妥当であったと考えられる。

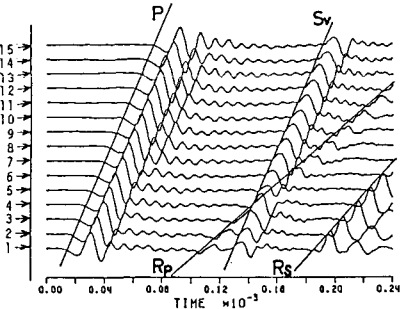
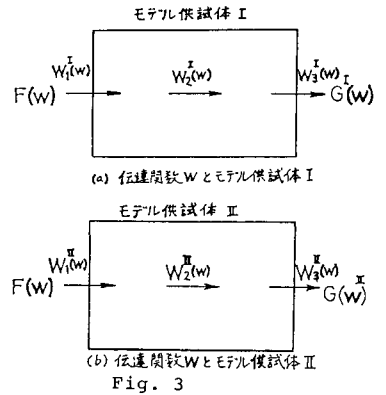


Fig. 4 半無限地盤モデル地表面上の波の伝播状況

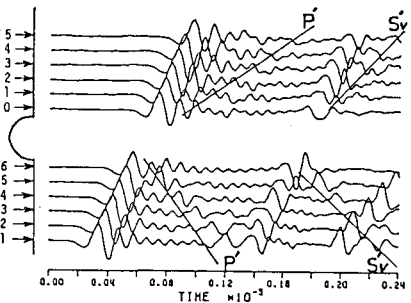


Fig. 5 半円形モデル地表面上の波の伝播状況

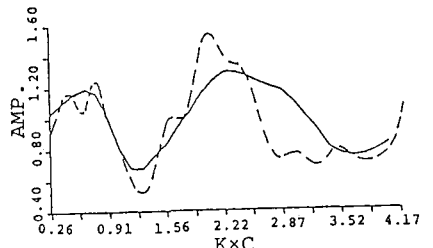


Fig. 6 理論的解析結果
および実験的解析結果