

京都大学工学部 正員 廣瀬 壮一

京都大学工学部 正員 丹羽 義次

熊本大学工学部 正員 大津 政康

1. まえがき

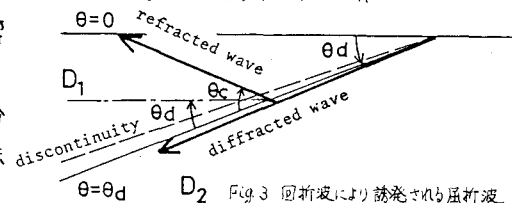
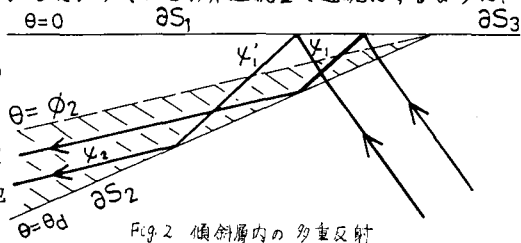
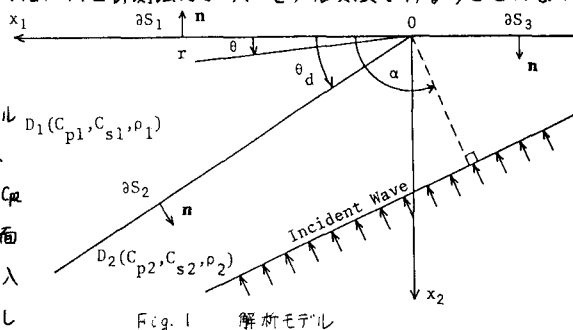
地球内部の様々な地盤構造が、そこを伝播する地震波に影響を与え、局地的な地震災害を引き起こすなど、地表面の地震動特性を複雑にすることはよく知られている。そこで、本研究は、地盤構造が地表面の地震動特性に及ぼす影響を明らかにすることを目的として、その代表的な地盤構造の1つである傾斜層を有する半無限地盤について理論的、あるいは実験的に解析したものである。理論的解析においては、積分方程式法により数値計算を行ない、波線理論による結果と比較することによって、回折波の発生・伝播機構、ならびに地表面における地震動への影響を明らかにした。また、実験的解析においては、AE計測法により、モデル実験を行なうことによって、理論的解析結果との比較検討を行なった。

2. 理論的解析

解析モデルは、Fig. 1に示すような二次元弾性モデルで、 $\theta = \theta_d$ において接する傾斜層 D_1 と基盤 D_2 から成り、 P 波速度、 S 波速度、密度が、それぞれ c_{p1} , c_{s1} , ρ_1 と c_{p2} , c_{s2} , ρ_2 で与えられているとする。また、入射波は、平面波が、問題に適応した波動形式で、 $\theta = \alpha$ の方向から入射するものとする。さて、H. Ishii and R. M. Ellis が示した波線理論によれば、^{2,3)}傾斜層内における波の多重反射によって、変位や応力を簡単に求めることができるが、彼らも指摘しているように回折波は評価できないために、その影響が大きい場合には、誤差が大きくなる可能性がある。例えば、Fig. 2に示すように、SH波が入射し、傾斜層内で多重反射する場合を考えると、波線 ψ_2 により、明らかに $\theta = \phi_2$ において変位および応力の不連続が発生する。したがって、この不連続量を連続にするように、傾斜層の頂点(原点)から回折波が発生するのである。

ところで、このようにして発生した回折波は、不連続面の近傍において、大きい振幅を示し、不連続面から遠ざかると急激に振幅は小さくなる³⁾。このため、回折波が地表面上の変位に及ぼす影響を考える時、Fig. 2のように、不連続面が地表面からある程度離れている場合には、回折波の影響は小さいが、不連続面が地表面の近傍にある場合は、回折波の影響が大きくなると考えられる。さらに、Fig. 3に示すように、不連続面が、傾斜層 D_1 と基盤 D_2 の境界 $\theta = \theta_d$ の近傍にある場合は、回折波が $\theta = \theta_d$ なる境界に沿って伝播し、基盤 D_2 内を伝播する回折波が、 $\theta_c = \cos^{-1}(c_{s1}/c_{s2})$ なる角度で屈折波となって、

地表面上の変位に大きい影響を及ぼすことに注意しなければならない。積分方程式法によれば、波線に關係なく全変位等を評価することができるので、波線理論による解と比較することにより、回折波の性質を明らかにすることができる。数値解析例として、 $\theta_d = 30^\circ$, $\alpha = 60^\circ$, $c_{p2}/c_{p1} = 1.896$, $c_{s1}/c_{p1} = 0.612$, $c_{s2}/c_{p1} = 1.161$, $\rho_2/\rho_1 = 1.332$ 、平面 P 波入射の場合の傾斜層における地表面上の x_2 方向の変位応答倍率をFig. 4に示す。ただし、図の横軸は、原点からの距離 x_1 を入射波の波長 $\lambda (= c/\omega)$ で無次元化して示しており、実線は、積分方程式法による解、破線は、波線



理論による解を表わしている。両者を比較すると、全く異なっていることがわかる。この相違は、前述した回折波の影響である。

3. 実験概要および解析方法

本実験の模式図をFig. 5に示す。地盤モデルは、傾斜層斜線を施した部分)を石こう、基盤をモルタルにより作製した。石こうとモルタルの速度比と密度比は、Fig. 4に示した場合と同じである。実験は、モデルの上下面にある点Bと点AにAE変換子(905S)を接着し、点Aの変換子に方形波電圧パルスを入力し、点Bの変換子により波形を検出した。ここに用いた変換子は、縦方向振動子であり、点Aの変換子は、接着面に垂直な力を作用させ、点Bの変換子は、面に垂直方向の波動成分を検出していると考えられる。また、点Aの変換子が力を作用させると、点Aを中心とした球面波が発生するが、球面P波の一部分を平面P波とみなすことにより、理論的解析と対応させた。

さて、この実験・計測システムを線形システムとみなすと、地盤モデルや変換子等をFig. 6のように伝達関数により表わすことができ、それらの合成積を考えれば、次の関係が得られる。

$$O(t) = W_u(t) * W'_t(t) * W_m(t) * W_t(t) * I(t)$$

上式をフーリエ変換すれば、次のようになる。

$$\bar{O}(f) = \bar{W}_u(f) \cdot \bar{W}'_t(f) \cdot \bar{W}_m(f) \cdot \bar{W}_t(f) \cdot \bar{I}(f)$$

ここで、入力と変換子および計測ユニットは上述のものと全く同じで、地盤モデルだけが異なる別の系を考えると、式(2)に対応して次式が成り立つ。

$$\bar{O}(f) = \bar{W}_u(f) \cdot \bar{W}'_t(f) \cdot \bar{W}_m(f) \cdot \bar{W}_t(f) \cdot \bar{I}(f)$$

よって、式(2)と式(3)より、

$$\bar{W}_m(f) = \bar{W}_m(f) \cdot \bar{O}(f) / \bar{O}(f) \quad (4)$$

となり、もし、 $\bar{W}_m(f)$ が既知ならば、実験結果 $\bar{O}(f)$ 、 $\bar{O}(f)$ を用いて、式(4)により、未知の $\bar{W}_m(f)$ が得られることになる。本実験では、既知なる $\bar{W}_m(f)$ をもつ地盤モデルとして、モルタルだけからなる半無限地盤モデルを採用した。このとき、 $\bar{W}_m(f)$ は、周波数に無関係な一定値となるので、

$$\bar{W}_m(f) \propto \bar{O}(f) / \bar{O}(f) \quad (5)$$

となる。また、実験における地盤モデルは、有限なものであるが、側面からの反射波が到達する前の波形に対して式(5)を適用するならば、 $\bar{W}_m(f)$ は、理論的解析における応答倍率に対応していることになる。Fig. 7に $\theta_d = 30^\circ$ 、 $\alpha = 120^\circ$ の場合の実験結果(a)と理論解(b)を示す。(b)の表示方法は、Fig. 4と同一のもので、実験結果(a)は、(b)の実線(積分方程式法による解)と類似していることがわかる。

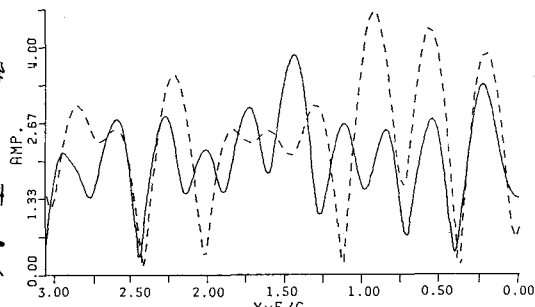


Fig. 4 地表面上の変位成分分布図

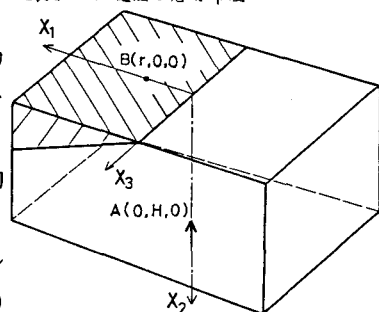


Fig. 5 実験の模式図

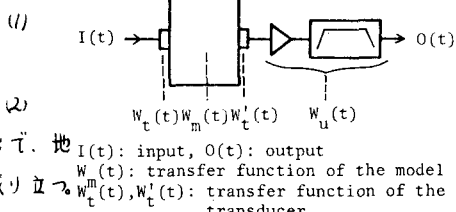


Fig. 6 実験計測のブロックダイヤグラム

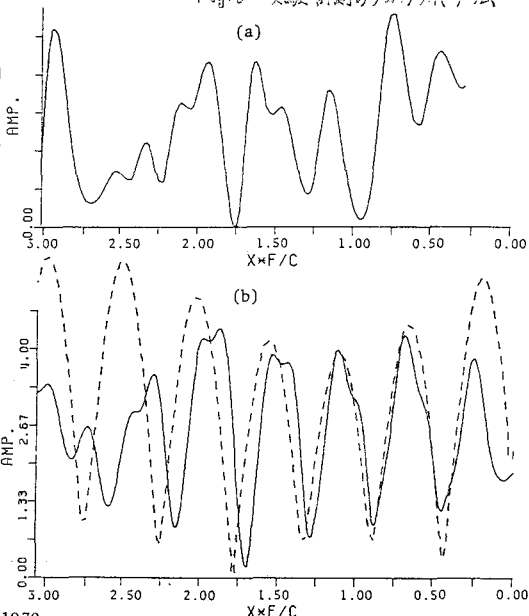


Fig. 7 実験結果(a)と理論解(b)

- 参考文献: 1) Ishii, H. and R.M. Ellis; B.S.S.A., 60, pp.15-28, 1970
 2) Ishii, H. and R.M. Ellis; Geophys. J. R. astr. Soc., 20, pp.11-30, 1970
 3) Sato, R.; J. Phys. Earth, 11, pp.1-17, 1963