

傾斜層を有する地盤の波動伝播特性に関する実験的検証

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
 京都大学工学部 正員 廣瀬 壮一

1. はじめに

地球内部の地盤構造には、様々な構造があり、それらが、地表面における地震動特性に対して、大きな影響を及ぼすことはよく知られている。本研究は、代表的な地盤構造の一つである傾斜層を有する半無限二層地盤について、その波動伝播特性を理論的に明らかにし、それを実験的に検証したものである。理論的解析においては、波線理論と積分方程式法の両解法により、数値計算を行ない、その結果を比較することによって、波線理論では説明できない回折波の影響を明らかにした。また、AE計測法によるシミュレーション実験を行なうことにより、理論的解析結果を実験的に検証し、その妥当性を確認した。

2. 傾斜層内における波動伝播特性

解析モデルは、Fig. 1 に示すように、傾斜層 D_1 と基盤 D_2 から成り、両者は共に等方等質な線形弾性体で、 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 で与えられており、 $\theta = \theta_d$ において描いているものとする。また、入射波は平面波が、問題に適応した波動形式で、

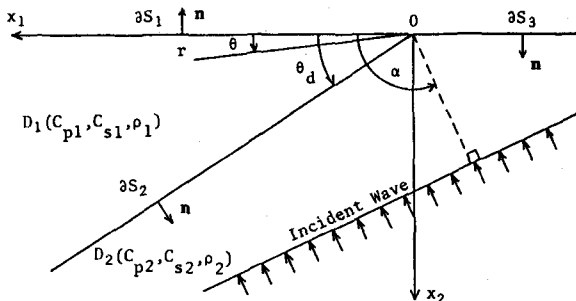


Fig. 1 解析モデル

$\theta = \alpha$ の方向から入射するものとする。上記の解析モデルに対して、H. Ishii and R. M. Ellis は、波線理論を用いて解析を行なっている^{1), 2)}。彼らの用いた波線理論によれば、傾斜層内における波の多重反射により、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の影響を評価することはできない。例えば、Fig. 2 に示すように、 SH 波が多重反射する場合を考えると、波線理論によれば、波線 ψ_2 により、 $\theta = \phi_2$ において、変位および応力の不連続が発生する。このことは、物理現象としては不合理なことであり、実際には、この不連続を連続にするように、回折波が発生するのである。さて、R. Sato によれば、このように発生した回折波は、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速に振幅は小さくなる³⁾。したがって、Fig. 2 に示すように、不連続面が地表面からある程度、離れている場合には、回折波が地表面上の変位などに

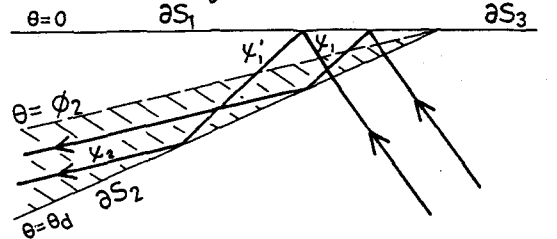


Fig. 2 傾斜層内における波の多重反射

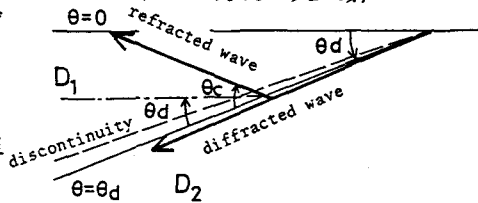


Fig. 3 回折波により誘発される屈折波

及ぼす影響は小さいと考えられ、波線理論が適用できると思われる。しかし、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、 $\theta_c = \cos^{-1}(C_1/C_2)$ なる角度で、屈折波となって、地表面上の変位に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、以上に述べた波を一括して評価することができるので、積分方程式法による解と波線理論による解を比較することにより、回折波の性質を明確にすることができる。

3. 実験、およびシミュレーション解析

本実験の模式図を Fig. 4 に示す。モデル供試体は、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、次の通りである。 $C_{p2}/C_{p1} = 1.896$, $C_{s1}/C_{p1} = 0.612$, $C_{s2}/C_{p1} = 1.161$, $\rho_2/\rho_1 = 1.332$ ただし、下指標 1、および 2 はそれぞれ石こうとモルタルを表わす。実験および計測は、AE 計測法により、次のように行なった。すなわち、供試体の上下面にある点 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。

過去の研究より、点 A の変換子は、Fig. 5 に示すような力 $f(t)$ を接着面に垂直に作用させ、点 B の変換子は、近似的に接着面に垂直方向の加速度を検出することが明らかとなっているので、本研究においてもこの仮定を用いて、シミュレーション解析を行なった。また、点 A の変換子からは、点 A を中心とした球面 P 波、および S 波などが発生するが、点 A から十分離れた点では球面 P 波の一部を平面 P 波と考えることにより、解析を行なった。

4. 結果と考察

Fig. 6 は実験結果とそれに対応するシミュレーション解析の結果の一例で、傾斜角 $\theta_d = 45^\circ$ 、平面入射波の入射角 $\alpha = 135^\circ$ 、 $r/H = 4/15$ の場合である。(a) は、実験による検出波形、(b)、(c) は、それぞれ、積分方程式法と波線理論によるシミュレーション波形を表わす。検出波形は、積分方程式法による解とよく一致しており、回折波がはっきりと認識できる。

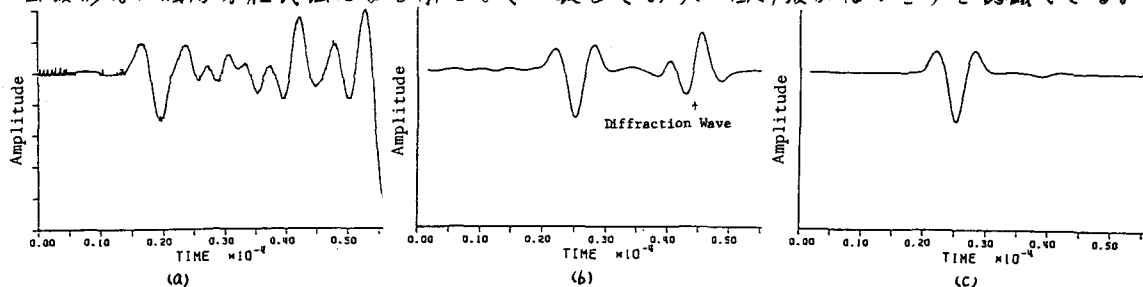


Fig. 6 検出波形とシミュレーション波形

参考文献

- 1) Ishii, H. and R. M. Ellis; Multiple Reflection of Plane SH Waves by a Dipping Layer, B.S.S.A., 60, pp. 15-28, 1970
- 2) Ishii, H. and R. M. Ellis; Multiple Reflection of Plane P and SV Waves by a Dipping Layer, Geophys. J. R. astr. Soc., 20, pp. 11-30, 1970
- 3) Sato, R.; Diffraction of SH-Waves at an Obtuse-angled Corner, J. Phys. Earth, 11, pp. 1-17, 1963