

地表面の不規則性によるSH波の回折現象の解析

熊本大学工学部 正員 大津 政康
熊本工業大学 正員 〇上杉 真平

1. はじめに

大きな溝や溪谷などの地形の不規則性に対する地震波入射時の影響は、耐震工学の分野で大きな問題点となっている。⁽¹⁾ 地表面上の不規則性による入射弾性波の散乱の問題もその一つであり、近年、かなり注目されている。⁽²⁾ このような問題は、定常波を対象とすれば、Helmholtzの境界値問題として考えることができ、SH波が入射した場合の半円形の溪谷に関する解析解⁽³⁾も得られている。本研究では、半無限弾性体表面に開削された、任意形状の十分に長い溪谷に、SH波が入射した場合の定常状態の応答解析を、境界要素法の間接法を用いて行ない、他の解析解等と比較して、この解析法の妥当性を検討している。

2. 定式化

Fig. 1に示されるような空間内において、等方、等質かつ線形の弾性体を考え、物体力は無いものとする。当問題は2次元問題であることから、面外方向変位は次のように表わされる。

$$u(x) = u_0(x) + u_s(x) \quad (1)$$

ここに、 $u_0(x)$ は自由場の変位、 $u_s(x)$ は散乱場の変位である。

今、定常状態を考えており、散乱場はHelmholtzの方程式を満足するので、次のような空間について2次元の積分表示式（一重層ポテンシャルあるいは間接法）で場の方程式を表わすことができる。

$$u_s(x) = \int_C G(x, \xi) \varphi(\xi) dS_\xi \quad (2)$$

$$G(x, \xi) = \frac{i}{4} H_0^{(1)}(kr)$$

$$r = |x - \xi|$$

ここに、 $G(x, \xi)$ はGreen関数、 $\varphi(\xi)$ は積分密度、 $H_0^{(1)}$ は第1種Hankel関数、 S は境界上の1点から境界に沿って測った長さを示す変数である。自由表面上で、 $\frac{\partial u}{\partial n}(x) = 0$ という境界条件を式(1),(2)に課すことにより、次の境界要素の方程式を得る。

$$-\frac{\partial u_0}{\partial n}(x) = \frac{1}{2} \varphi(x) + \int_C \frac{\partial G}{\partial n}(x, \xi) \varphi(\xi) dS_\xi \quad (3)$$

ここに、 n は外向単位法線ベクトルとする。

式(1),(3)を離散化し、

$$u_i = u_i^0 + \sum G_{ij} \varphi_j \Delta S_j \quad (4)$$

$$-\left(\frac{\partial u_0}{\partial n}\right)_i = \frac{1}{2} \varphi_i + \sum \left(\frac{\partial G}{\partial n}\right)_{ij} \varphi_j \Delta S_j \quad (5)$$

とすることにより、式(5)より求めた φ_j を用いて、式(4)から面外変位を求めることができる。

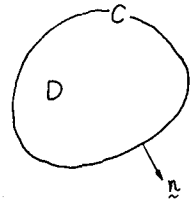


Fig. 1

3. 数値解析および解析結果

数値解析にあたっては、前述した積分表示式において境界の微小区間 Δs_i は一定値とし、半無限境界を有限長さで近似して計算を行なった。解析モデルとしては、半円形及び三角形の断面と、三角形の断面で近くに円形空洞のある場合の3つの考え、その数値結果を、半円形の断面については解析解⁽³⁾と、また三角形の断面につ

いては他の近似解および解析解と比較してある。⁽⁴⁾また、全ての計算例において波数を長とし、代表的長さ a によって、 $ka = \eta\pi = \frac{2a\pi}{\lambda}$ と表わすものとする。ここに、 λ は入射するH波の波長である。まず、半径 a の半円形の断面の場合の計算結果を表1に示す。波の入射角 α は一定とし、 η を変化させてその影響を調べた。 ka が小さい場合には、本法と解析解とが良く一致していることが判る。次に、三角形の断面の場合の結果をFig. 3, 4に示している。Fig. 3は、溪谷表面の散乱場の変位であるが、比較的良好の結果が得られている。ただ、 $Re(U_s)$ の精度に比べて、 $Im(U_s)$ の一致度が良くないようである。Fig. 4は、壁面傾斜角 $\beta = 45^\circ$ 、 $\eta = 0.25$ ($ka = 0.79$) の場合の変位振幅を示したものであるが、入射角 α の変化に応じて、その影響を見ている。全体的にRef. 4の結果と良く一致している。また、波の入射側の変位の一致が、Ref. 2の結果に対して多少劣るようである。この傾向は、他の α の値の時にみられた。

最後に、円形空洞が近くに存在する場合の三角形の断面についてFig. 5に示してある。溪谷の側面の傾斜角 $\beta = 45^\circ$ 、 $\eta = 0.25$ ($ka = 0.79$) として、 α を変化させてある。円形空洞の存在が散乱形式にかなり影響を与えていることが判る。波が入射する方向によって計算結果の精度が変わってくるが、全体的な傾向として、空洞近傍の溪谷側面上の変位振幅の一致性が悪い。しかし、有限長さを長くすることで精度は改良できそうである。

Table 1

η	$\frac{a}{\lambda}$	Ref. 3			Ref. 2			Result		
		Real	Imaginary	Absolute	Real	Imaginary	Absolute	Real	Imaginary	Absolute
0.1	-1.0	1.932	0.781	2.084	1.930	0.738	2.067	1.934	0.737	2.070
	-0.5	1.836	0.462	1.893	1.844	0.435	1.895	1.834	0.445	1.887
	0.5	1.784	-0.204	1.796	1.801	-0.197	1.811	1.784	-0.184	1.794
	1.0	1.832	-0.523	1.905	1.848	-0.500	1.914	1.840	-0.477	1.901
	-1.0	1.804	2.520	3.099	1.854	2.439	3.064	1.959	2.419	3.113
0.5	-0.5	0.325	1.198	1.241	0.442	1.129	1.212	0.301	1.241	1.277
	0.5	0.157	1.113	1.124	0.225	0.928	0.955	0.149	1.169	1.178
	1.0	1.328	-1.150	1.756	1.349	-1.094	1.737	1.501	-1.053	1.834

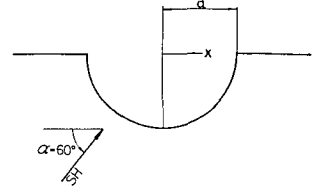


Fig. 2

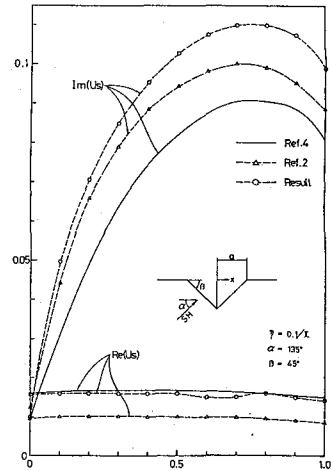


Fig. 3

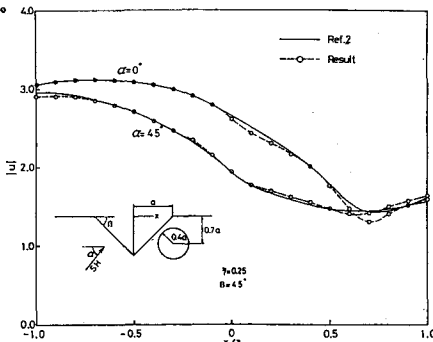


Fig. 5

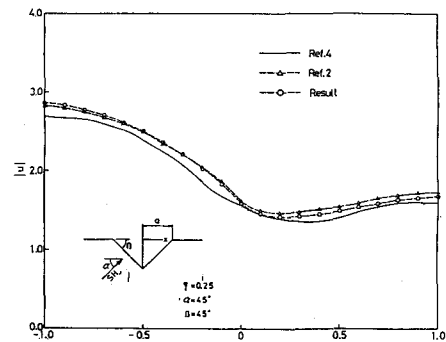


Fig. 4

参考文献

- 1) T.W. Hay and B.A. Bell, "The Effectiveness of Trenches in Reduction Seismic Motion", *Earthquake eng. struct. dyn.* Vol 10, 1982
- 2) S.K. Dutta and K.C. Wong, "Diffraction of Plane SH-waves in A Half-Space", *Earthquake eng. struct. dyn.* Vol 10, 1982
- 3) M.D. Trifunac, "Scattering of plane SH-waves by a Semi-Cylindrical Canyon", *Earthquake eng. struct. dyn.* Vol 1, 1973
- 4) F.J. Sánchez-Sesma and E. Rosenblueth, "Ground motion at canyons of arbitrary shape under incident SH waves", *Earthquake eng. struct. dyn.* Vol 7, 1979