

溝による弾性波動の遮断効果

Screening of Elastic Waves with Trench in Elastic Medium

大保直人*・片山恒雄*
Naoto OHBO and Tsuneo KATAYAMA

1. ま え が き

空溝での振動遮断効果は溝の深さと主要伝播波動(レイリ波)の波長との比に関係することがわかっている。ところで、溝での遮断効果に関する既往の室内^{1),2)}および野外実験結果^{3),4)}をみると、地盤条件、振動源の種類そして遮断率(透過率)を求めるとき用いる量などが実験により異なっている。また溝での遮断効果の実測値に理論的な考察を加えた研究においても、同様に取り扱っている量が異なる。^{1),4)}

本報告では、溝を介して伝播する波動の基本的特性を検討した数値実験結果をもとに、⁵⁾さらに多くのモデルについて計算を行い、得られた変位の最大振幅値を用いて溝の位置と透過率の関係、および遮断効果の定式化について検討した。

2. 数値実験の概要

波動の伝播経路にある空溝での遮断効果の検討では、溝の深さ(d)とレイリ波の波長(λ)の比 $D=d/\lambda$ が重要なパラメータであるが、野外実験で d と λ の両方を変化させることは難しい。

ここでは、半無限弾性体の地表振動源に単位振幅の正弦一波を作用させたときに発生する弾性波の伝播経路に空溝を設けた地盤モデルについて数値実験を行った。実験モデルの概要を図1に、また数値実験で用いた各種パラメータの値を表1に示す。この表で、 X は振動源から溝までの距離(x)をレイリ波の波長(λ)で割った値である。モデルAでは、溝の位置 $X=3.5$ ($x=56$ m) および 4.0 ($x=64$ m) については計算を行っていない。地盤モデルは二次元であり、この地盤における地表振幅の減衰や溝があるときの波動伝播の特徴については文献5), 6)を参照されたい。

3. 溝の位置と透過率の関係

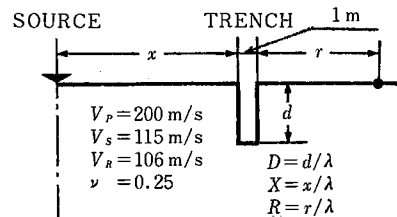


図1 実験モデルの概要と各種パラメータの定義

表1 各種パラメータの値

MODEL	A	B	C
VALUE OF $D (=d/\lambda)$	0.0625	0.1	0.125
	0.1875	0.3	0.375
	0.3125	0.5	0.625
	0.4375	0.7	0.875
TRENCH POSITION $X (=x/\lambda)$	0.5, 1.0, 2.0, 3.0 3.5, 4.0		

溝の位置と遮断効果に関する既往の研究によれば、振動源近くに溝を設置した方が振動遮断には有効であるとされている。⁷⁾しかし、溝近傍の透過率は大きな値を示す場合もあり、溝の位置が透過率に与える影響を十分に把握する必要がある。ここで言う透過率とは溝がある場合の振幅と、ない場合の振幅の比である。

図2, 3は二つの異なる溝の位置 ($X=0.5, 4.0$) で、溝の深さ $D=0.5$ としたとき、溝からの各距離での上下動・水平動成分の透過率の大きさを示す。横軸は溝からの無次元距離 $R(=r/\lambda)$ になっている。上下動成分(図2参照)の $X=0.5$ での透過率は、溝近傍 ($R \leq 1.0$) では溝から離れるに従い減少するが、 $R \geq 1.5$ になるとほぼ一定の値になる。 $X=4.0$ での透過率は溝からの距離によらずほぼ一定の値を示すが、 $X=0.5, R \geq 1.5$ の透過率よりやや小さい。水平動成分の場合(図3参照)にも溝の直近 ($R=0.5$) を除くと、透過率の距離変化の傾向は溝の位置によらずほぼ同じであり、 $R \geq 2.5$ 程度溝から離

* 東京大学生産技術研究所 第5部

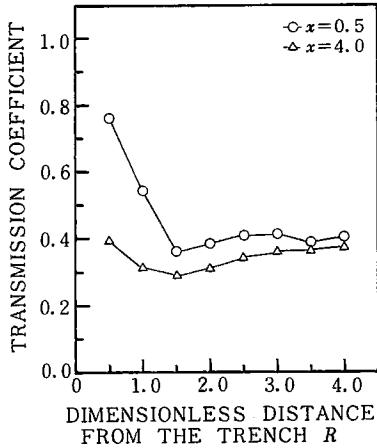


図2 透過率の溝からの距離による変化(上下動成分, $D=0.5$)

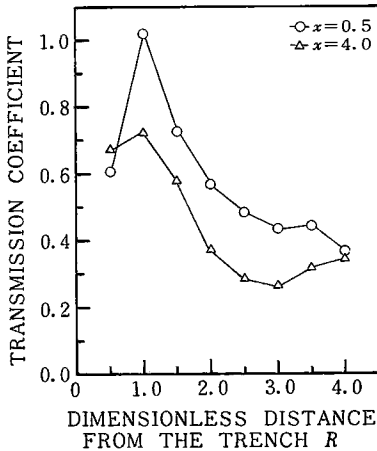


図3 透過率の溝からの距離による変化(水平動成分, $D=0.5$)

れると上下動成分と同様に透過率はほぼ一定となる。

つまり、透過率は溝の位置で変化し、さらに溝後方の距離によっても変化する。溝の位置と透過率の関係をみると、溝の深さ $D=0.5$ の場合では、溝と振動源の距離が離れた方 ($X=4.0$) が上下動・水平動成分とも透過率は小さくなる。また、透過率の距離変化は溝近傍のみで、上下動成分は $R \geq 1.5$ 、水平動成分は $R \geq 2.5$ 程度溝から離れると透過率は一定となる。

4. 遮断効果の定式化

4.1 溝から十分離れた地点での透過率

透過率と溝の深さの关系到注目し、遮断効果の定式化を試みた例はない。ここでは、溝が振動源に近い場合 ($X=0.5$) と十分に離れている場合 ($X=3.5$) について数値実験を行い、溝の位置が異なったときの透過率と溝の深さの关系到について検討した。透過率は3.に述べたように、溝からの距離で変化しないときの値を用いた。

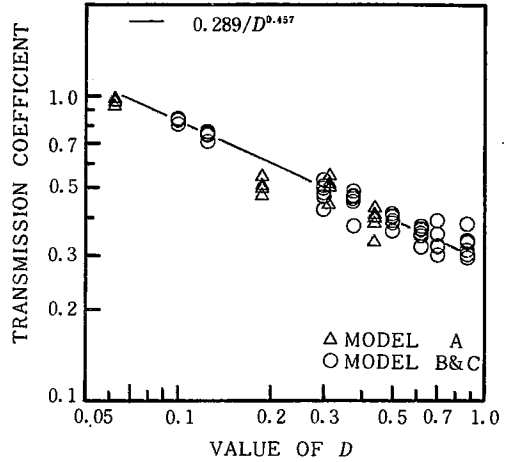


図4 透過率と溝の深さの關係(上下動成分, $X=0.5$)

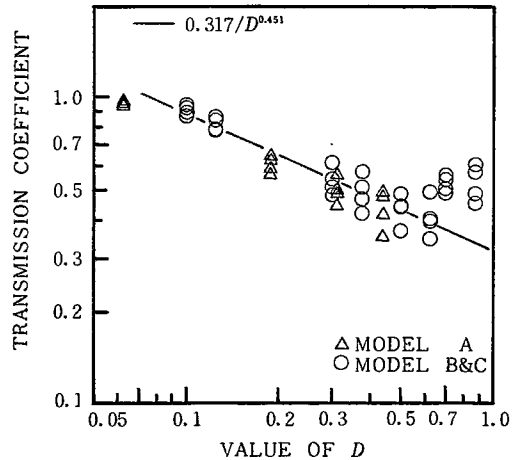


図5 透過率と溝の深さの關係(水平動成分, $X=0.5$)

$X=0.5$ の場合；上下動・水平動成分の透過率と溝の深さ D の関係を両対数表示で図4, 5に示す。水平動成分は $D \geq 0.6$ で透過率が溝の深さとともに増加する傾向があり、今回の検討では対象からはずした。

上下動・水平動成分とも溝が深くなるに従い、透過率は一般に減少傾向を示す。図中の実線はモデルBとCの透過率を用い、最小自乗法より求めた透過率と溝の深さの關係式を示す。モデルAの結果もこの式で十分に近似できる。成分により關係式はやや異なるが、データのバラツキを考慮すると一つの式で表現できよう。

$X=3.5$ の場合；上下動・水平動成分の透過率と溝の深さ D の関係を両対数表示で図6, 7に示す。

上下動・水平動成分とも溝が深くなるに従い、透過率は単調に減少する。図中には最小自乗法で求めた關係式を実線で示してあるが、 $X=0.5$ の場合より減少の度合

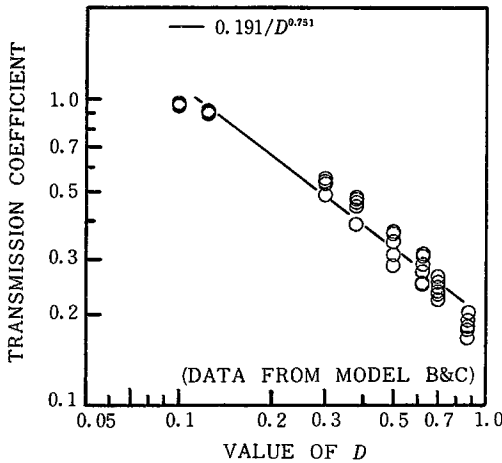


図6 透過率と溝の深さの関係 (上下動成分, $X=3.5$)

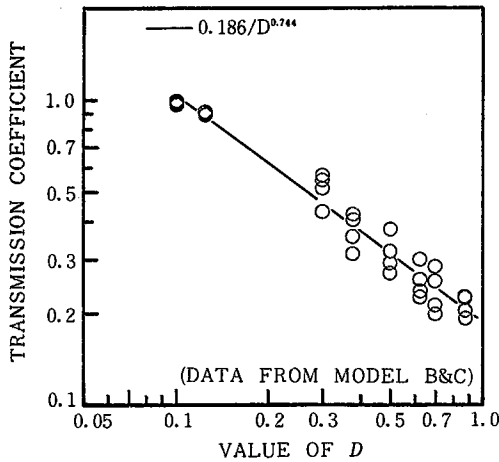


図7 透過率と溝の深さの関係 (水平動成分, $X=3.5$)

が大きい。この場合も、減少傾向は成分によらず一つの関係式で表現できる。

すなわち、透過率と溝の深さの関係式は成分に関係なく、溝の位置で決定される。たとえば、溝の深さが波長と同じ場合 ($D=1.0$)、 $X=0.5$ での透過率は約 0.3、 $X=3.5$ では約 0.2 となり、溝が振動源より離れた方が遮断効果は大きい。一方溝が波長の 1 割の深さの場合 ($D=0.1$)、 $X=0.5$ では約 1、 $X=3.5$ では約 0.9 となり、溝が振動源に近い方が遮断効果は大きい。しかし溝が波長の 2.5 割程度の場合 ($D=0.25$) は溝の位置に関係なく、遮断効果はほぼ同じである。

4.2 溝のごく近傍での透過率

透過率は溝の位置に関係するが、溝近傍では溝からの距離で一般に変化する(図 2, 3 参照)。特に水平動成分は溝の深さにもよるが、溝近傍の振幅が溝がない場合より

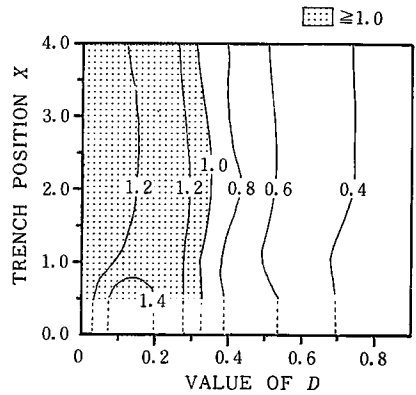


図8 溝の位置と溝の深さを变化させたときの溝近傍の透過率 (水平動成分, $R=0.5$)

大きくなった報告もあり、⁸⁾ 溝での遮断効果を議論するとき無視できない。そこで、溝の位置と溝の深さが変化したときの溝近傍 ($R=0.5$) での透過率の性状を検討した。

図 8 は溝の位置と溝の深さを变化させたときの溝近傍 ($R=0.5$) における水平動成分の透過率の概略の分布を示す。

溝の深さが $D < 0.35$ の場合、溝の位置に関係なく、透過率は 1 より大きく、特に $X=0.5$ 、 $0.06 < D < 0.2$ では透過率は 1.4 より大きくなる。 $X \geq 2.0$ になると、溝の深さに対する透過率はほぼ一定となるが、溝から十分離れた値よりは大きい。

したがって、溝近傍 ($R=0.5$) での水平動成分の透過率は、溝が波長の 35% 程度より浅いと、溝の位置に関係なく 1 を越え、遮断効果は期待できない。この溝近傍での透過率の増大は、溝底部を新しい振動源と考え、ここからの弾性波の発生・伝播を考えることで定性的に説明できる。

5. 振動遮断特性の考察

溝での振動遮断問題を議論する際、レイリ波の深さ方向の運動エネルギー分布が用いられている。すなわち、溝を通過した後のレイリ波の大きさは溝底部より深い部分のみを通過したレイリ波の運動エネルギーに支配されると考えるのである。¹⁾ これをモデル化すると、溝にはレイリ波のみが入射し、さらに溝底部を通過したレイリ波から他の波動への転化はないものに相当する。

そこで、溝にレイリ波のみが入射するとして求まる遮断特性と数値実験結果を比較・検討した。

水平動・上下動成分の深さ方向変位分布を u 、 w とすると、全運動エネルギー E_A は

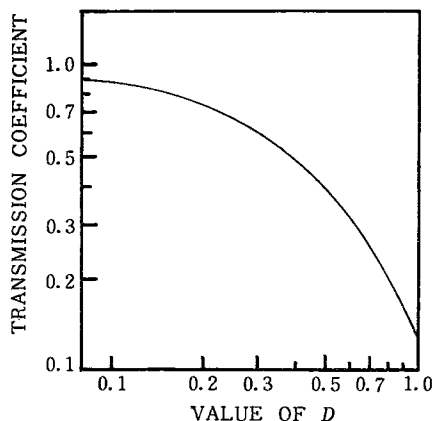


図9 溝にレイリー波が入射するときの透過率と溝の深さの関係

$$E_A = \int_0^{\infty} (u^2 + w^2) dD$$

で求まる。すなわち、透過率 T は溝の底部より深い部分を通過した運動エネルギーの比の平方根で求まる。したがって溝の深さが D_1 のときの透過率 T は

$$T = \sqrt{\int_{D_1}^{\infty} (u^2 + w^2) dD / \int_0^{\infty} (u^2 + w^2) dD}$$

で求まる。

図9は溝の深さ D を変化させ上式から求めた透過率を示す。透過率は溝が深くなるに従い減少するが、この傾向は $X=0.5, 4.0$ で直線的な減少傾向を示す数値実験結果とは明らかに違う。したがって、溝での振動遮断特性は他の波動成分等に関係し、レイリー波成分のみの特性では十分に説明できない。

6. あとがき

ポアソン比 $\nu=0.25$ の半無限弾性体の地表に幅1mの空溝を設置した溝モデルの数値実験を行い、溝の位置と遮断効果の関係と定式化について検討し、以下の結果を得た。

i) 溝近傍での透過率は溝からの距離で変化するため、溝の位置と透過率の関係を明らかにするには、溝からの距離を設定して議論する必要がある。溝の深さ $D=0.5$ について検討した結果、溝からの距離および成分で透過率の大きさに差はあるが、溝と振動源との距離が大きい方が透過率は小さい。

ii) 溝から十分離れた距離での透過率を用い、溝の深さとの関係式を最小自乗法で求めた。関係式は成分によらず溝の位置で決定され、溝が振動源より離れた方が溝の深さが大きくなるに従い透過率は大きく減少する。溝の位置に関係なく透過率が一致するのは $D=0.25$ の場合であり、溝がこれより浅いときは溝と振動源の距離が小さい方が、これより深くなると溝と振動源の距離が大きい方が遮断効果は大きくなる。

iii) 溝近傍 ($R=0.5$) での水平動成分の透過率は、溝の位置に関係なく、溝の深さが波長の35%より浅いと1を越え、溝での遮断効果を議論するときは無視できない。この結果は、溝底部を新しい振動源として伝播する弾性波を考えることで定性的には説明できるが、今後さらに検討する必要がある。

iv) 溝での振動遮断は主にレイリー波が関係するが、溝の位置および深さによっては、他の波動成分も無視できないため、振動遮断特性をレイリー波の特性だけを考慮して説明することは難しい。

今後、ポアソン比および地盤条件等に注目し、より実際に即した振動遮断問題について検討したい。

(1981年2月25日受理)

参 考 文 献

- 1) 吉井敏尅, 溝によるレイリー波の減衰, 地震, Vol. 11, 1971, 70~71
- 2) 藤井和成・中山善律・今井健二・中野正吉, 溝を通過するレイリー波群について(I), 地震, Vol. 33, 1980, 1~10
- 3) Wood, R. D., Screening of Surface Waves in Soils, J. Soil Mech. and Found. Div., Proc. ASCE, Vol. 94, 1968, 951~979
- 4) Koyanagi, T., Experimental Study on Surface Wave Propagation Along the Surface of the Medium with a Trench, Thesis to Hokkaido University, 1978
- 5) 大保直人・片山恒雄, 溝を介して伝播する弾性波動の性質, 生産研究, Vol. 33, No. 3, 1981, 117~120
- 6) 大保直人・片山恒雄, 弾性波の発生・伝播に関する計算手法の比較, 生産研究, Vol. 32, No. 12, 1980, 598~601
- 7) 木村董・小出忠男, 地盤振動の遮断工法, 土と基礎, Vol. 27, No. 8, 1979, 9~16
- 8) 片山恒雄・大保直人, 道路交通で発生する地盤振動の特性, 自動車技術, Vol. 34, No. 12, 1980, 1224~1230