

地盤構成と表面波による地震動特性に関する研究

京都大学工学部 正員 山田善一 野田 茂  
 京都大学大学院 学生員 ○上松英司

1. 緒言

大規模構造物の耐震解析においては、その固有周期が長い場合、強震動で卓越する表面波を考慮しなければならない。表面波はその振幅が地表面付近に限られており、表層地盤の特性が波動特性を表わす速度や波長に大きく反映される。そこで、本研究では、表層地盤条件の変化によって、表面波の波動特性がどのような影響を受けるかを検討した。ただし、ここでは基本モードの Rayleigh 波のみを対象にした。

2. 多層地盤における表面波伝播理論

本研究では、半無限多層地盤における表面波に関する正規モード理論<sup>1)</sup>を適用している。正規モード(変位の深度分布)から誘導されるエネルギー積分値  $I_0, I_1, I_2, I_3$  を用いれば、Rayleigh 波について、

$$L = \omega^2 I_0 - \omega^2 I_1 - 2\omega I_2 - I_3 = 0 \quad (1)$$

という特性方程式が得られる。方程式(1)を満たす  $(\omega, \lambda)$  すなわち  $(C, T)$  の組を固有値問題として算出すれば、Rayleigh 波の波動特性を示す分散曲線などが求まる。ところで式(1)より求まる位相速度  $C$  は、多層地盤各層の情報である層厚と物理定数  $(\rho, \mu, \beta)$  の関数形である。そこで、位相速度が各層の物理定数にどの程度影響を受けているかを調べてみる。その影響度は位相速度の各層の物理定数による偏微分係数で表わされ、例えば、第  $m$  層の  $\beta_m$  による影響度は、

$$\left( \frac{\partial C}{\partial \beta_m} \right)_{\omega, \rho, \mu} = 2\rho_m \beta_m \left\{ \left( \frac{\partial C}{\partial \mu_m} \right)_{\omega, \rho, \mu} - 2 \left( \frac{\partial C}{\partial \lambda_m} \right)_{\rho, \mu, \omega} \right\} \quad (2)$$

ただし、上式における右辺の偏導関数は、いずれもエネルギー積分値より求まる。このような値から、表面波の波動特性がどの層の影響を強く受けているか、また分散曲線による地下構造の決定に対する目安を知ることが出来る。ここで、

$\omega$ : 角振動数  $\lambda$ : 波数  $C$ : 位相速度  $T$ : 周期  
 $\rho$ : 密度  $\mu$ : P 波速度  $\beta$ : S 波速度  $\lambda, \mu$ : ラメ定数

3. 数値計算結果および考察

ここでは、八戸港湾における表層地盤<sup>2)</sup>を基本モデルとし、これを大別して以下に示す4層から成る地盤として捉えた。

- ① 深度 0m ~ 10m: 地表層
- ② 深度 10m ~ 180m: 第1中間層
- ③ 深度 180m ~ 380m: 第2中間層
- ④ 深度 380m 以上: 基層

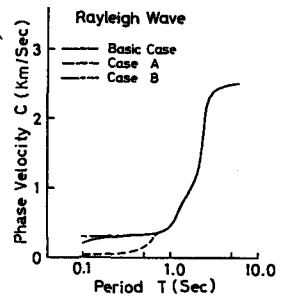


図1 地表のβの変化による位相速度

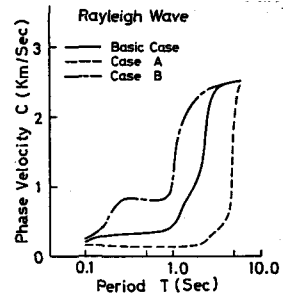


図2 第1中間層のβの変化による位相速度

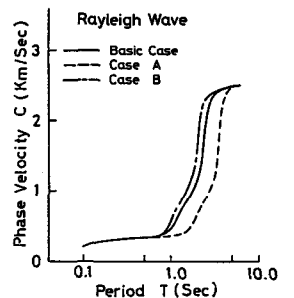
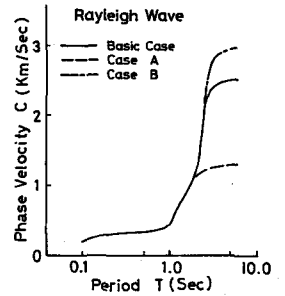


図3 第2中間層のβの変化による位相速度

Yoshikazu YAMADA, Shigeru NODA, Eiji UEMATSU

解析の結果、表面波は各層のS波速度 $\beta$ の影響を最も強く受けることがわかったので、主に各層の $\beta$ のみを変化させて波動特性について2,3の検討を加えた。以下Case Aは $\beta$ が小さくなる、Case Bは $\beta$ が大きくなる地盤モデルを示している。

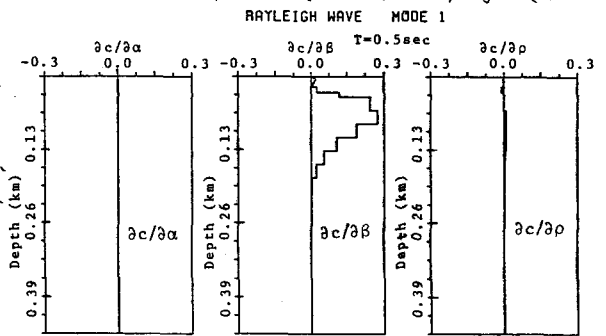


(a)分散性 図1~4は各層の $\beta$ の変化に対する位相速度の分散の感度分析の結果を示したものである。地表層の $\beta$ の影響は短周期成分に、基層の $\beta$ の影響は2秒以上の長周期成分にのみ出現している。

第1中間層の $\beta$ の変化は、短周期からやや長周期の広範囲にわたって分散曲線に顕著な影響を与えている。深度400mぐらいの八戸地盤において、0.5秒から数秒の周期帯域の分散性には、第1中間層の影響が大きく反映され、波動インピーダンスの相違により、各層の影響はある限られた周期範囲にしか現われない。

(b)各層の物理定数の影響度 図5は、基本モデルにおける周期0.5秒のRayleigh波の位相速度に対する各層の各物理定数の影響度を示したものである。

同図より、S波速度 $\beta$ の位相速度に与える影響が、 $\rho, \alpha$ に比べてさわだつて大きいことがわかる。そこで、地表層と第2中間層の $\beta$ の変化により、各層の $\partial c/\partial \beta$ がどう変化するかを検討した(図6と図7)。



両図より、地表層の $\beta$ が小さくなると、短周期(0.5秒)において地表層の $\partial c/\partial \beta$ が卓越する。第2中間層は周期2秒において、その $\beta$ が小さくなると自らの層の影響度を増し、その $\beta$ が大きくなると第1中間層の影響をいっそう卓越させる。また、長周期になるほど深い層の影響が大きくなることも明らかである。

#### 4. 結言

表面波の波動特性は、各層の物理定数のうちS波速度による寄与が大きく、その周期に応じて深い層の影響を受ける。S波速度の小さい(軟弱な)層は広範囲の周期にわたり表面波による地盤震動に大きく影響している。

#### (参考文献)

- 1) Ben-Benahem, A. and Singh, S.J.: Seismic Waves and Sources, Springer-Verlag, 1981.
- 2) 大沢 祥 ほか: 1968年十勝沖地震における八戸港湾の強震記録と地盤特性, 文部省科学研究費「構造物災害に対する地震動特性の研究」報告, 昭和47年6月.

図5 基本モデルにおける各層の物理定数の位相速度に与える影響度

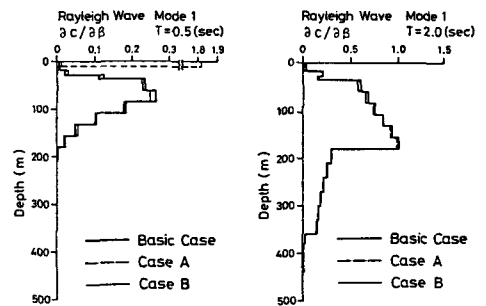


図6 地表層の $\beta$ の変化による $\partial c/\partial \beta$

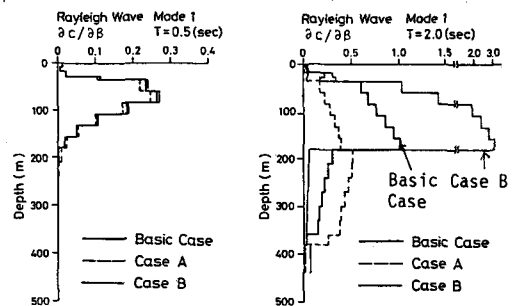


図7 第2中間層の $\beta$ の変化による $\partial c/\partial \beta$