

伝播性地震波動の観測速度値と理論分散曲線の比較

神戸大学工学部 正員・高田至郎 学生員 安福亮博

1. まえがき：地震時に地表面に沿って伝播する短周期の波動の存在が指摘され、近年、アレー観測、高密度観測が数多く実施されている。これらの短周期の表面波はとくに、平面的なひろがりを持つライフライン構造物の耐震解析において、きわめて重要である。地表面に沿って伝播する1次元的な波動の地盤変形を $f(x-z/c)$ で表示して、伝播方向を x 、時間、波速を z 、 c とすれば、伝播方向での地盤ひずみ ε は上式を z で偏微分して得られ、地盤速度振幅 V は z で偏微分して得られるので、 $\varepsilon = V/c$ の関係が知られる。ライフライン構造物の地震応答は、この ε と直接関係しており、 V 、 c の推定は重要な課題となる。 V に関しては従来、速度応答スペクトルなどの概念により、地盤の周期特性に応じた値が設定される。一方、 c については、短周期表面波の性質が十分解明されていないこともあって、地震波の周期特性にかかわらず一定値を与えている場合が多い。しかし上述のように、近年、伝播性波動に関する地震観測が数多く実施されるに至り、 c を地震波周期と結びつけて考えるべきとする傾向にある。その際、上式は T を地震波卓越周期として、 $\varepsilon(T) = V(T)/c(T)$ に書き改められ、ストレインスペクトラムの概念が新たに提案されることになる。本文では、既往の伝播性波動に関する観測より周期と地震波速度の関係を知るとともに、観測地点の地盤条件よりLove波、Rayleigh波の理論分散曲線を求め、実測速度値と比較を行なったものである。また軟弱な地盤と堅固な地盤の理論分散曲線を求め、地盤特性と位相速度の関連を調べ、両者の比較を行っている。

2. 既往観測速度値と理論分散曲線：資料として用いた、地表面を伝播する波動速度に関する既往観測実験は合計8ケースである。そのうち、5ケースは起振機によって発生させられたSH波の速度値に関するものであり^{(1)~(5)}、残りは、実地震観測記録の解析によって得られた表面波速度値に関するものである⁽⁶⁾⁽⁸⁾。Fig. 1には、一例として起振機実験による観測値（文献(1)）と、当該の地盤条件より計算されたLove波、Rayleigh波の理論分散曲線を示している。起振機実験のために、波動の周期は0.1~0.4秒ときわめて狭い範囲であるが、その周期域ではLove波の理論分散曲線ときわめて良い一致を示している。他の起振機実験による観測値も同様にLove波の理論値と良く一致することが確かめられた。また、Fig. 2には、一例として実地震記録より解析された速度値を示している（文献(6)）。この観測値はResponse Envelop Spectrum解析より分散性を調べ、その

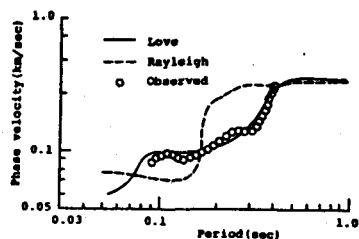


Fig. 1 Theoretical and observed phase velocity

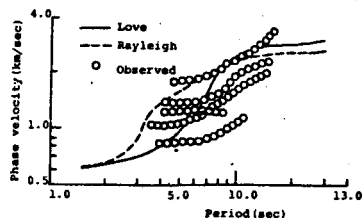


Fig. 2 Theoretical and observed phase velocity

Shiro TAKADA Akihiro YASUFUKU

波形について Moving Window 解析を行ない得られた群速度値である。理論分散曲線とは細部に亘って一致しないものの、周期4秒～12秒の範囲で理論値と大差はない。他の実地震観測速度値も理論値とは、上記と同様の関係にあることが知られた。したがって、観測値が十分でない現況では、地盤条件より計算される Love 波、Rayleigh 波の理論分散曲線を用いて、当該地盤での見掛け波動速度と周期の関係を推定することには十分の意義があると云えよう。

3. 埋立地盤と比較的堅固な地盤での理論分散曲線：地盤特性の相異による分散曲線の違いを検討するために、表1に示す各地点のPS検層資料をもとに Love 波、Rayleigh 波の理論値の計算を行った。Fig. 3は埋立地盤、Fig. 4は比較的堅固な地盤に対する計算結果の一例である。図より知られるように、埋立地盤では、長周期域でも分散値の増加はゆるやかである。長周期波動は波長も長く、地盤深部でのPS速度値が関与しているために、深部でも軟弱層の多い埋立地盤でかかる傾向を示すものである。Love 波、Rayleigh 波は基本的にS波速度と関連していることを考え合わせれば、表面波分散値を $v(T)$ とすれば、 $v(T) \approx v_s(\kappa)$ 、 $T = 4\pi/v_s(\kappa)$ の関係が知られる⁽¹⁰⁾。ここに、 $v_s(\kappa)$ は、地表面より κ の深さにおけるS波速度である。したがって、地盤特性によって理論分散曲線の傾向が異なるであろうことが推察される。Fig. 5は、両者地盤で得られた曲線の平均値を示したものである。地盤特性の違いが顕著にあらわれた結果となっている。同図中には、参考としてガスパイプライン基準で必ずみ推定のために設定された基準値を示している。堅固な地盤に対しては設計上安全側となっているが、埋立地盤に対しては、長周期域で大きい見掛け速度を与えるものとなっている。

表-1 解析対象地盤

埋立地盤	PS検層果 ⁽⁹⁾ (m)	比較的堅固な地盤	PS検層果 ⁽⁹⁾ (m)
大阪市住吉区南 芝地盤	83.0	大阪市北正極田 阪急ビル	62.0
大阪市住吉区南 芝埋立地内	73.0	大阪市城東区森 宮2丁目	61.2
神戸市六甲アイ ランド	165.0	大阪市東淀川区 西中島5丁目	50.0
神戸市ポートアイ ランド	199.0	大阪市西区江戸 堀1丁目	60.0
—	—	神戸市長田区	100.0

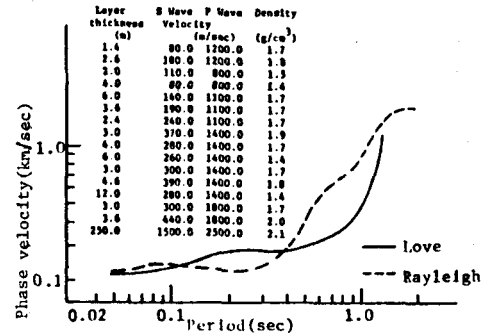


Fig.3 Theoretical dispersion curve

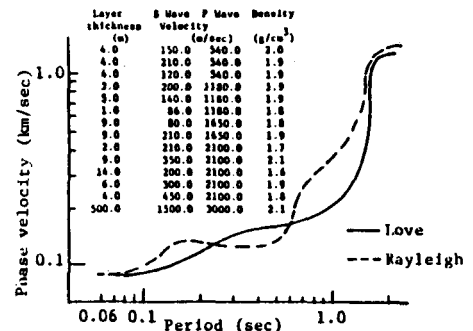


Fig.4 Theoretical dispersion curve

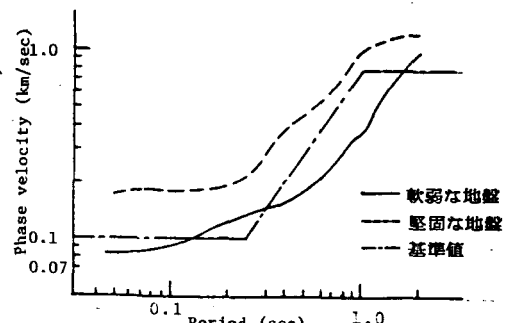


Fig.5 Theoretical dispersion curves and standard values

(1)佐藤他: 3 JEES, 1971 (2)嶋他: 3 JEES, 1971 (3)吉川他: 4 WCEE (4)鈴木: 東京電力社内報, 1981
 (5)松井他: 埋設パイプラインの耐震性の研究, 1972 (6)横田他: 5 JEES, 1979 (7)土岐: 4 JEES, 1976 (8)田中他: 5 JEES, 1979 (9)関西情報センター: 1981 (10)高田他: 土木学会論文報告集 No.299/1980 (11)カマキ管の耐震設計指針: 1982