

1. はじめに

最近、強震記録の蓄積とともに、強震時における重要な波動として表面波がフロー・アップされてきた。もし、表面波が強震時の主要な波動であれば、実体波の重複反射を中心としたこれまでの地盤振動の考え方を再検討する必要があるであろう。特に、水平方向に地盤構造の不連続が存在するとき、表面波はこれらの影響を受け、特異な増幅、減衰が生じるので、その詳細な検討は重要な課題となろう。さらに、地盤構造不連続が重なる場合、実体波の重複反射と同様に、表面波の重複反射とも呼ばれる現象も概念的には考えられる。ここでは、一つの考察としてその可能性が考えられ、しかも耐震工学的にも重要な影響を及ぼす予想される表面波の重複反射についてうづ波型表面波を例にとり理論的な検討を試みた。

2. 表面波の重複反射の概念

図-1 沖積平野の地質断面(模式図)

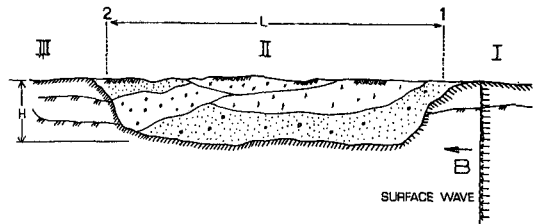
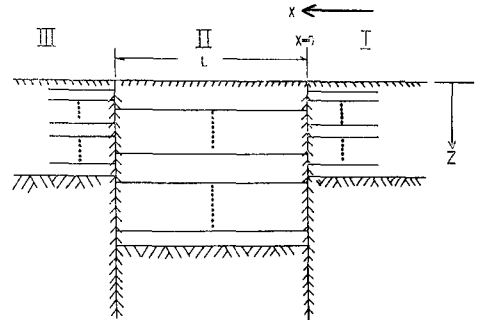


図-1は我国の沖積平野によく見られる地質断面の例を模式的に示したものである。図-1の地盤構造は巨視的に見ると、基盤と連続した境界1, 2によって表層地盤が水平方向に境された構造ととらえることができる。ここで、図-1のBで示される一方の方向から表面波が入射してきたときの表層地盤IIの挙動を考えよう。このとき、入射した表面波は境界の存在により透過と反射を受ける。特に、境界1で透過した表面波は境界2で反射を受け、これが繰り返えされ、境界1, 2の間で交互に反射が起ることが考えられる。このように、著しい形で存在する両端の不連続境界により表層地盤内に生じる表面波の多重反射をここでは「表面波の重複反射」と呼ぶことにする。

図-2 地盤構造のモデル化



3. 表面波の重複反射の理論モデル

図-1の模式図のような細部の地盤構造不連続を厳密に考慮して、表面波の重複反射を考えることはかなり困難である。ここでは、適用範囲に注意を払うことを前提として、数値性より単純化を優先させる。すなわち、図-1のような地盤構造を図-2のように成層地盤が鉛直な不連続面で接する地盤構成にモデル化し、このようなモデル地盤での表面波の重複反射を考える。また、表面波としてはうづ波を考える。なお、図-2のような簡単なモデルであっても、実際の現象としては表面波より実体波への変換が存在すると思われるが、ここでは単純化のため実体波の発生は無視する。

いま、図-2のような座標で x の正方向へ伝播するうづ波のPモードにおける変位のフーリエ変換 $U(\omega, x, z)$ は次のように表わされる。

$$U(\omega, x, z) = A_p \cdot \phi_p(\omega, z) \cdot e^{i p_p x} \quad \dots \dots (1)$$

ここに、 A_p : 振幅係数、 ϕ_p : Pモードの振動形(固有関数)、 p_p : Pモードの波数、 ω : 円振動数。式(1)がうづ波の入射波とすると、鉛直の不連続境界面で生じる透過うづ波、反射うづ波のフーリエ変換は式(1)に透過波の振幅係数 $a(\omega)$ 、反射波の振幅係数 $a(\omega)$ を乗ずることにより表わされる。しかも、このときの振幅係数 $a(\omega)$ 、 $a(\omega)$ は不連続面での境界条件を適用することにより数値的に求まる。¹⁾ このような境界での透過うづ

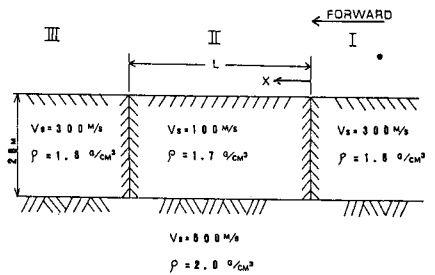
波、反射うが波の振幅を求める手法を表層地盤の両端の境界に適用して、多重反射するうが波を重ね合わせると表層地盤内でのうが波重複反射解が求まる。図-2の地盤Ⅰ、Ⅱが同一の構成から成る場合で、かつモードとして基本モードのみ考えたときの地盤Ⅱの x におけるうが波重複反射の不規則波 $u(t, x)$ は結果として次のように表わされる。

$$u(t, x) = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\phi(\omega) \{ e^{-ikx} + a(\omega) \cdot e^{ik(x+2L)} \}}{1 - a^2(\omega) \cdot e^{-ik \cdot 2L}} F(\omega) \cdot e^{i\omega t} d\omega \dots\dots (2)$$

ここに、 $F(\omega)$: $x=0$ への入射うが波のフーリエ変換、 $\phi(\omega)$: 地盤ⅠからⅡへの透過うが波の振幅係数、 $a(\omega)$: 地盤ⅡからⅠ及びⅢへの反射うが波の振幅係数、 t : 時間、 k : 波数。
式(2)で被積分項における $F(\omega) \cdot e^{i\omega t}$ を除いた項が重複反射うが波の周波数応答関数である。

4. うが波重複反射の計算例

図-3 計算例のモデル地盤



代表例として軟弱表層地盤が堅固地盤に囲まれた図-3の地盤構造について計算結果を示す。図-4は堅固地盤(Ⅰ)から軟弱地盤(Ⅱ)へうが波が入射したときの透過うが波の振幅係数 $\phi(\omega)$ を求めた結果である。図-5は逆に軟弱地盤(Ⅱ)から堅固地盤(Ⅰ及びⅢ)へうが波が入射したときの反射うが波の振幅係数 $a(\omega)$ である。これらの結果から、軟弱地盤が堅固地盤に囲まれているとき、軟弱地盤内では著しい増幅を受けると同時に、表面波エネルギーが軟弱地盤内に閉塞されることかわかる。

図-4 透過うが波の振幅係数

図-5 反射うが波の振幅係数

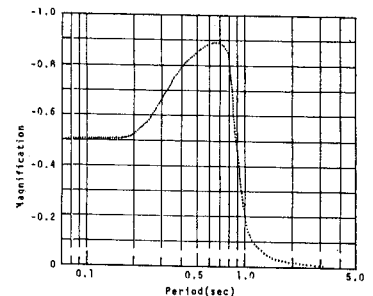
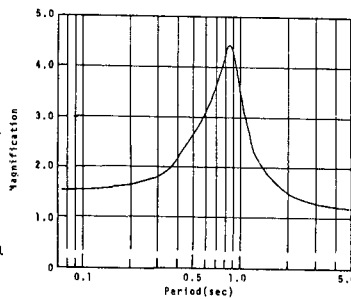
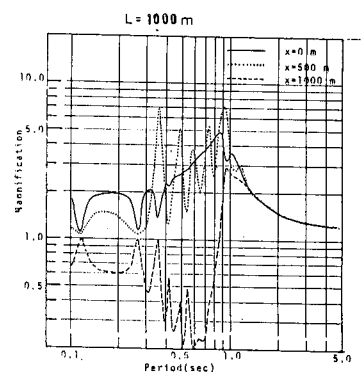
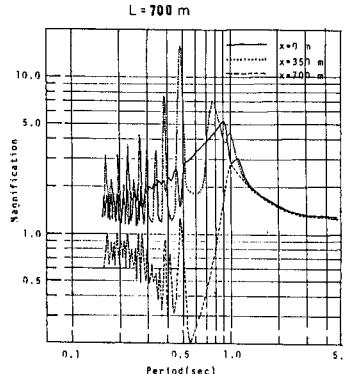


図-6は図-3の地盤構造で $L=700$ mのときの代表的地点($x=0$, 350 m, 700 m)での重複反射うが波の周波数応答関数(絶対値)を求めた結果である。各点ごとに振幅特性が変るとともに、中心点($x=350$ m)で著しく増幅されることかわかる。一方、図-7は同様のものを $L=1000$ mとして求めたものである。図-6と

図-7の比較から、距離 L が変ると図-6 うが波重複反射の周波数応答関数 増幅特性も変化することかわかる。

図-7 うが波重複反射の周波数応答関数

この結果から、表面波の重複反射では軟弱地盤の物性、層厚の他に水平方向への広がりも重要な役割を演ずることかわかる。特に、鉛直方向の層厚に対して、最も不利な水平距離が存在すること考えられる。このことは沖積平野の地震被害も層厚と水平方向の広がりとの組み合わせにより変化することを教えるものと思われる。今後、実際の地盤震動、被害への適用を含めて、さらに検討をすすめたい。



(参考文献) 1) 押山: 土木学会論文報告集, 第284号