

1 はじめに 最近、強震記録が次第に蓄積されだし、強震記録を用いての地震波動に関する基礎的研究が活発となった。これらの研究によると強震記録には地震の発震機構、波動伝播特性などに起因すると思われるスファトリの非定常性が顕著に認められる。筆者は強震記録に認められるスファトリの非定常性に因連して、それが表面波の波動特性に強く帰因するとしても、強震時の表面波の挙動は耐震工学的に極めて重要であることを指摘した。^{1), 2)} 特に、地盤構造不連続面を表面波が伝播する際には媒体波と同様に振中の複雑な増中、減衰の予想されるので、不規則地盤中の表面波の挙動の解明は急務と考えられる。以上の観点から、不規則地盤中での表面波(Love波)の伝播性状について理論計算により若干の考察を試みたので以下に報告する。

2 不規則地盤における表面波の応答計算

一般に沖積地帯の地盤は複雑な地質構成を示しているところが多いが、地下にある断層や段丘を単純なモデルとして表わせば、図-1に示すような鉛直な不連続面を成層構造を有する地盤が考えられる。図-1のような単純化されたモデル地盤での表面波伝播については地震学で多く論じられてゐる。なかでも Aleop³⁾は固有値問題として問題を考え、境界条件を巧みに処理しながらLove波の素波が伝播する場合の数値解を導いている。また、土岐⁴⁾はAleopの方法を援用しながら、Love波型の不規則波動の伝播を論じてゐる。ただし、土岐の研究ではモデル地盤に剛な基盤が設定されてゐる。一方、現実の不規則地盤をリアルにモデル化し、FEMを用いて表面波伝播を論じる研究もあるが、計算機の容量を考えると、不規則波の伝播問題で考えるにはなかなか困難があるようである。この研究では、不規則波の伝播問題を比較的容易に求める利点を考え、さらにモデルの適用範囲に注意すれば工学的応用には十分耐えるものとして図-1のような単純化された地盤でのLove波の伝播問題を考えることにする。

一般に座標 x, z (図-1参照)でのLove波の変位 $u(x, z)$ のFourier変換成分 $U(\omega, x, z)$ は次のようにモード形で表わせる。

$$U(\omega, x, z) = \sum_p A_p \phi_p(\omega, x, z) \exp\{i(\omega t + k_p z)\} \quad (1)$$

ここに、 A_p :モードの係数、 ϕ_p :モードの振動形(固有関数)
 k_p :モードの波数、 ω :円振動数

いま、図-1において、媒質I側から単位の振中をもつLove波のモードが入射するとすると、鉛直不連続面で反射、屈折が生じ変位のFourier変換成分はモードの重ね合わせとして次のように表わされる。

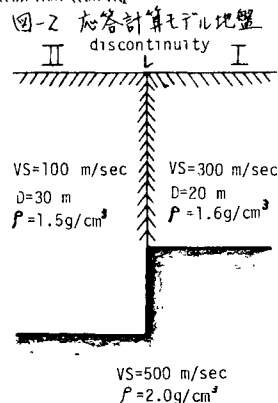
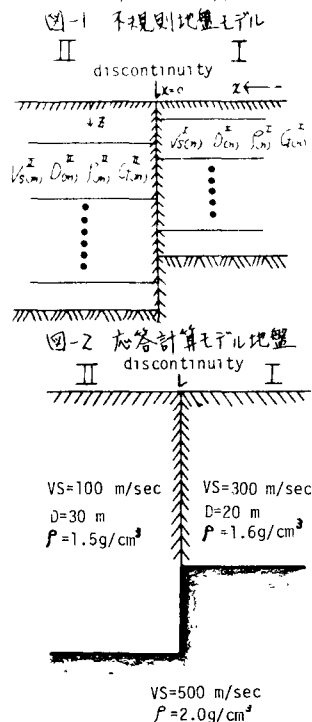
$$U^I(\omega, x, z) = \phi_p^I(\omega, z) \exp(-ik_p^I z) + \sum_{i=1}^N a_i \phi_i^I(\omega, z) \exp(ik_i^I z) \quad (2)$$

$$U^{II}(\omega, x, z) = \sum_{j=1}^M b_j \phi_j^{II}(\omega, z) \exp(-ik_j^{II} z) \quad (3)$$

ここに、 $a_i(\omega)$:反射係数(iモード)、 $b_j(\omega)$:透過係数(jモード)

(上式において上添字I, IIは媒質を表わし、 $\exp(i\omega t)$ の項は省略されてゐる。)

式(2)、(3)および $x=0$ の鉛直不連続面での変位、応力の連続の条件から、次のように入射波、反射波および屈折波のそれぞれの振中係数、 $1, a_i(\omega), b_j(\omega)$ を関係づける次式が得られる。



$$\phi_p^T(\omega, z) + \sum_{i=1}^N A_i(\omega) \cdot \phi_i^T(\omega, z) = \sum_{j=1}^M b_j(\omega) \cdot \phi_j^T(\omega, z) \quad (4)$$

$$G^T(z) \phi_p^T(\omega, z) - G^T(z) \sum_{i=1}^N A_i(\omega) \cdot \phi_i^T(\omega, z) = G^T(z) \sum_{j=1}^M b_j(\omega) \cdot \phi_j^T(\omega, z) \quad (5)$$

ここに $G^T(z)$, $G^T(z)$ はそれぞれ媒質工, 工のせん断弾性係数。

式(4), (5)は連立させても厳密には解けないうち鉛直不連続面での変位 u の差が最小となるような方法により $A_i(\omega)$, $b_j(\omega)$ を数値解として求めることができる。このように求まる $A_i(\omega)$, $b_j(\omega)$ に不規則入射波の Fourier 変換を適用すれば, 一般の周波数領域での応答計算により任意の不規則波形を有する Love 波を入射した場合の透過 Love 波, 反射 Love 波の応答を求めることができる。

3 計算結果

ここでは実際の応答計算を図-2に示すようなモデルについて行った。計算は媒質工側に基本モードの Love 波を入射し, かつ媒質II側では第5次モードまでの Love 波が生じるものとした。図-2のような地盤構成では透過側工での挙動が重要と考え, 主に媒質II側での応答計算を行った。図-3は媒質II側での群速度分散を第5次モードまでの結果であり, 図-4は媒質II側の透過係数すなわち媒質工から工への Love 波の増中率をモード毎に求めた結果である。基本モードの極端に増中されることも, 各モードでも群速度が極小となる周波数域が増中が極大となることわかる。図-5は図中の Input Wave に示される入射波を入射した場合の媒質II側の代表的な位置での応答波形を求めたものである。(各波形の上の数字は鉛直不連続面からの距離を表す) 全体に散中が入射波に比し, 大きく増中されており, 不連続面から離れるに従い, Love 波の分散効果により波形が複雑に変化する様子が観察される。加速度の最大値は 500 m/s² 付近で得られており, Love 波の不規則地盤において極めて特異な挙動を示すことがわかる。詳細は講演時に譲る。

図-5 Love 波不規則応答波形の例

(参考文献) 1) 神山; 第13回地震工学研究発表会講演集(1974)
2) 神山; 工学会論文報告集 No. 407, 3) Alesop; Journal Geophysical Research Vol. 71 4) 土岐; 第13回地震工学研究発表会

図-3 Love 波群速度分散図線

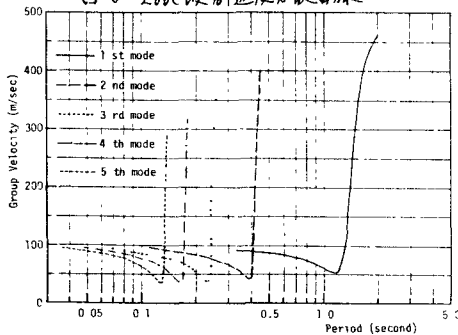


図-4 透過係数(増中率)

