

波動の入射角を考慮した地盤の最大応答

広島大学工学部 正 員 佐藤 誠
中電技術コンサルタント(株) 正 員 ○岩田 直樹

1. まえがき

平行多層地盤へ平面SV波が任意角度で入射する場合には、入射波のスペクトルのみならず入射角と基盤の臨界角の関係が応答を大きく支配することが示されている¹⁾。また、それらの関係は、各入射角に対する振動数応答関数から、地盤の最大応答(比)によって明らかにされた²⁾。しかし、入射角が臨界角を越える場合には振動数に対応して応答の位相が激しく変化するため、地震波のように複雑なスペクトル分布を持つ入射波に対する応答は、上記の最大応答だけから推定できるとは限らない。

ここでは、任意波形の平面SV波に対する最大応答を明らかにする目的で、入射角 γ が $0^\circ \leq \gamma \leq 90^\circ$ の範囲について、一定の振動数範囲での振動数応答関数の最大応答 $\eta_{max}(\gamma)$ と、任意波形の入射波に対する応答の最大値である時刻歴の最大応答 $R_{max}(\gamma)$ をもとに、地盤の応答特性と時刻歴応答との関係を検討する。

2. 解析地盤および入射波

ここでは、解析地盤として道路橋示方書の地盤例から、2種地盤に属するL6)地盤と4種地盤に属するL16)地盤を選んだ。なお、減衰ファクター Q は、弾性横波速度 C_T をもとに $Q^{-1} = 0.033 + 0.00039 \cdot C_T$ (C_T : m/sec)として決定した。

入射波は、周期 $T = 1.0, 0.5, 0.25, 0.1$ secの4種類の正弦一波および図-1に示すELcentro地震のNS成分の最初の約3秒を用いた。

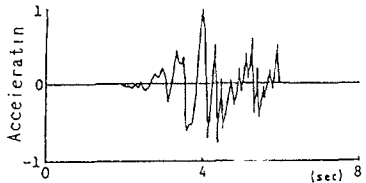


図-1 ELcentro地震波(NS)

3. 解析結果

図-2は、L6)弾性地盤の地表の振動数応答関数の水平動成分 η_x である。 $\gamma \leq 38^\circ$ では、16Hz付近のピークで最大となり、 $\gamma > 38^\circ$ では5Hz付近の第1次ピークで最大となる。このため、図-3に示す $\eta_{max}(\gamma)$ は、 $\gamma > 38^\circ$ の入射角で急変しながら、非常に大きな値をとる。図-4(a)は、各正弦一波が入射した場合の、L6)弾性地盤の水平動の $R_{max}(\gamma)$ である。

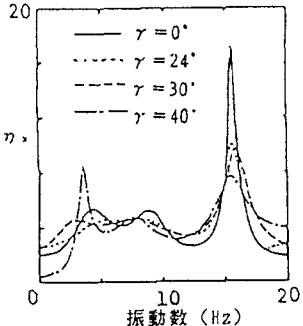


図-2 L6)弾性地盤の振動数応答関数

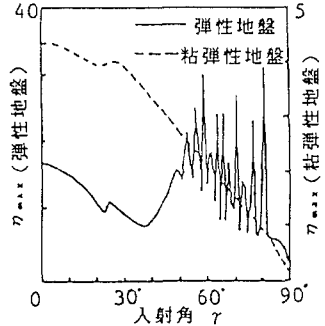
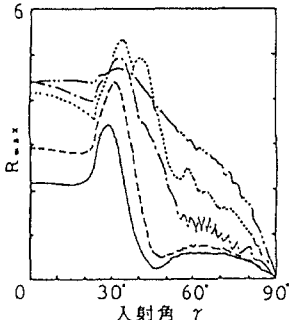
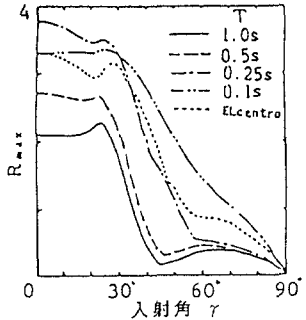


図-3 L6)地盤の最大応答 η_{max}

基盤の臨界角($\gamma_c = 24.1^\circ$)以下では、低振動数域の η_x が比較的小さいため、周期の短い正弦一波が大きな応答を示すが、臨界角を越える入射角では、低振動数で η_x が大きくなり $\gamma = 30^\circ$ 付近で垂直入射よりも大きな応答を示す。また、 $\gamma > 30^\circ$ の入射角では、低振動数で η_x が大きくなるがピークを形成する振動数の幅が小さいため、



(a) 弾性地盤

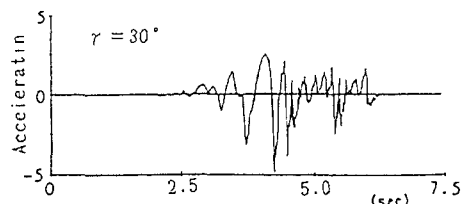


(b) 粘弾性地盤

図-4 L6)地盤の時刻歴の最大応答 R_{max}

時刻歴応答の値は η_{∞} ほど大きくならない。

図-5は、ELcentro地震波が $\gamma = 30^\circ$ で入射したときの水平動の時刻歴応答である。各ピークは入射波形と良く対応し、最大振幅は負で生じる。ELcentro地震波の $R_{\max}(\gamma)$ は、正弦一波と同様に臨界角以上で急増し $\gamma = 30^\circ$ 付近で最大となる。



L 6) 粘弾性地盤の η_{∞} は、振動数の増加とともに応答が減衰し鋭いピークが存在せず、垂直入射のときに最大となり、

入射角の増加に伴って特に低振動数域で減少するため、 $\eta_{\max}(\gamma)$ は図-3に示す形となる。図-4(b)に示した $R_{\max}(\gamma)$ は、臨界角付近の応答が垂直入射のときと同程度となり、それ以上の入射角では急激に減少する。

図-6は、L 16) 弾性地盤の η_{∞} である。この場合、 η_{∞} の各ピークの η_{∞} の値は非常に大きい、ピークを形成する振動数の幅は非常に小さい。そのため、図-7に示すように $\eta_{\max}(\gamma)$ は、特定の入射角で非常に大きな値となる。図-8に示す $R_{\max}(\gamma)$ は、臨界角以下では滑らかに変化するが、臨界角以上では急変し、臨界角付近での応答が垂直入射のそれより増加する。

L 16) 粘弾性地盤では、減衰効果が大きい、 $\eta_{\max}(\gamma)$ は図-7に示すように入射角の増加とともに滑らかに減少する形となり、 $R_{\max}(\gamma)$ は図-8(b)に示すように、臨界角以下ではほぼ一定で、臨界角以上で急速に減少する。

ここで考えた範囲の正弦一波が入射す

る場合は、各地盤の基本固有周期(地盤の特性値 T_0)に近い周期の正弦一波の応答が最大となり、 $R_{\max}(\gamma)$ が $\eta_{\max}(\gamma)$ より大きくなることはない。

4. まとめ

以上のことより、弾性地盤における時刻歴応答は、地盤種別によらず垂直入射の場合より臨界角付近の入射角の方が大きくなる。また、粘弾性地盤の時刻歴応答は、正弦一波の周期によっては垂直入射の場合より臨界角付近の入射角の方が若干大きくなることもあるが、多くの場合ほぼ同程度かそれ以下である。弾性地盤やL 16) 粘弾性地盤では、高振動数域で η_{∞} が卓越したり、 η_{∞} の各ピークを形成する振動数の幅が非常に小さくなるため、 $\eta_{\max}(\gamma)$ と $R_{\max}(\gamma)$ は、入射角の変化による応答の形や応答の大きさが全く異なる。しかし、L 6) 粘弾性地盤としての $R_{\max}(\gamma)$ は、形は $\eta_{\max}(\gamma)$ とほぼ同じで値はやや小さく、 $\eta_{\max}(\gamma)$ によって $R_{\max}(\gamma)$ を推定することができる。

参考文献 1) 佐藤：粘弾性平行多層地盤の調和SV波動応答，土木学会論文集，386/I-8，pp. 377～386，1987。

2) 佐藤他：非均質波動による粘弾性地盤の臨界角と最大応答，広工大研究報告，Vol. 38，1，pp. 51～62，1989。

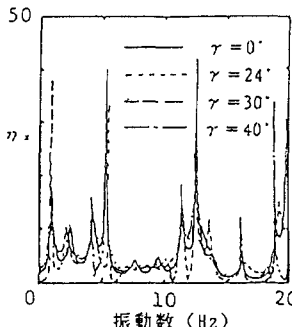


図-6 L16) 弾性地盤の振動数応答関数

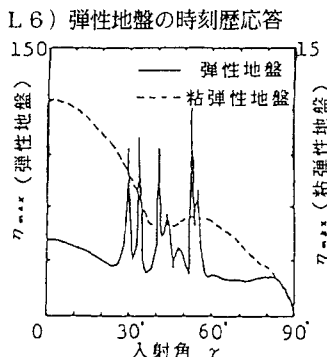
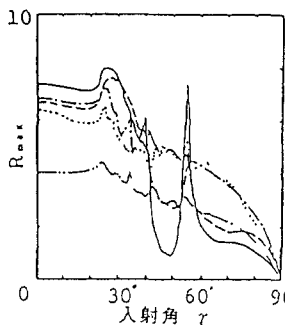
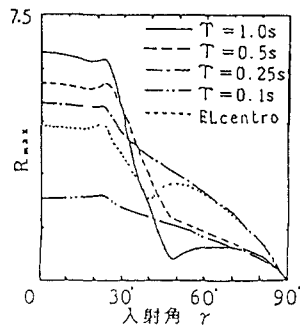


図-7 L16) 地盤の最大応答 $\eta_{\max}$



(a) 弾性地盤



(b) 粘弾性地盤

図-8 L 16) 地盤の時刻歴の最大応答 $R_{\max}$