

I - B 227

耐震設計における地形の局所変化の影響評価法に関する検討

その1 基本的性質の検討と評価法の提案

(財) 鉄道総合技術研究所 正会員 西村 昭彦, 正会員 室野 剛隆
正会員 西山 誠治, 正会員 室谷 耕輔

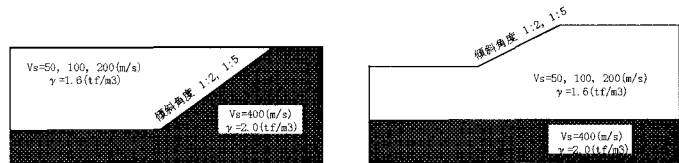
1. はじめに

地震動は不整形地盤の影響を大きく受けるため、不整形地盤構造が地震動特性に及ぼす影響について多くの解析的な研究がされている。しかし、扱っている不整形構造は数 km のオーダーの場合が多く、定性的な議論がなされることが多い。従って上記の得られた知見が耐震設計に反映されているとはいえない。最近、土木構造物の耐震設計への反映を念頭に局所的な地盤の不整形性の影響を定量的に評価する研究がなされるようになってきた¹⁾。

本検討では、考慮する不整形構造としては、100m オーダーの表層地盤(浅層地盤構造)の局所的な不整形性である。この程度の解析でも、設計実務において2次元、3次元の解析を行うのは多くの時間と労力を要し、一般的ではないと考えられる。そこで、より簡便に地盤の局所的な不整形性を評価できる手法について検討を行ったので報告する。

2. 検討方法

土木構造物の耐震設計では、一般的に地盤種別毎の応答スペクトルが提示されている。また、最近では1次元の地震応答解析は設計レベルでも多用さ



(a) Type A

(b) Type B

Fig.1 本検討で考慮する不整形地盤のパターン

れつつある。そこで、1次元の応答波形を利用して、地盤の不整形性の影響を簡便に取り込んで修正する方法(補正係数)、さらには設計応答スペクトルに地盤の不整形性の影響を取り込む方法を検討した。

(1) 解析モデル

ここでは代表的な例として、Fig.1 に示す2タイプを考えた。Type A は基盤不整形地盤、Type B は崖地地盤を表している。解析には面内の2次元FEM解析(2-D)によった。なお、1次元重複反射理論(1-D)による計算も行った。

(2) 考慮するパラメータ

地震動に影響を与える地形の要因としては、基盤と表層のインピーダンス比 IP、表層地盤の層厚 H、傾斜角度 θ などが挙げられる。インピーダンス比としては、基盤のせん断波速度 $V_s=400(\text{m/s})$ とし、表層のせん断波速度を $V_s=50, 100, 200(\text{m/s})$ の2種類とした。層厚については $H=20, 30(\text{m})$ とし、傾斜角度は 1:2 (約 26 度) と 1:5 (約 10 度) の2種類を設定した。Tab.1 に解析ケースの一覧表を示す。

Tab.1 解析ケース一覧表

ケース	傾斜角度	基盤		表層		層厚
	θ	$V_{sr}(\text{m/s})$	$\gamma_r(\text{tf/m}^3)$	$V_s(\text{m/s})$	$\gamma(\text{tf/m}^3)$	
Case1	11.4	400.0	2.0	50.0	1.6	20.0
Case2				100.0		
Case3				200.0		
Case4	26.6	400.0	2.0	50.0	1.6	20.0
Case5				100.0		
Case6				200.0		
Case7	11.4	400.0	2.0	100.0	1.6	30.0

入力波は、基本的性質を検討するために Ricker-Wavlet 波、地震応答特性を検討するために設計用標準基盤入力波 G0C²⁾を用いた。入力方向は面内 SV 波として用いた。

3. 不整形地盤の地震応答特性

2-D 解析で得られた解析結果を Fig.2 に示す。この図は Type A の Case2 (表層 $V_s=100\text{m/s}$, 傾斜角度 1:5) で、地盤の卓越周期を中心周期とする Ricker-Wavlet 波を入力した。傾斜端部から少し盆地側に入った点($x=160\text{m}$)で最も

キーワード：不整形地盤、直達波、表面波、耐震設計

連絡先：〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 (財) 鉄道総合技術研究所 TEL042-573-7262, FAX042-573-7248

大きな加速度を示しており、1-D 応答加速度の 1.2 倍程度になっている。また基盤傾斜部から離れるに従い、継続時間が長くなっている。これらは、鉛直下方からの直達波以外に基盤端部からの水平方向に伝播する波の影響が現れたためと考えられる³⁾。この波を抽出するために、2-D 応答波形から 1-D 応答波形を差し引いた。その結果も図中に示してある。この波形は明らかに時間遅れを伴っており、基盤端部から波形が伝播している

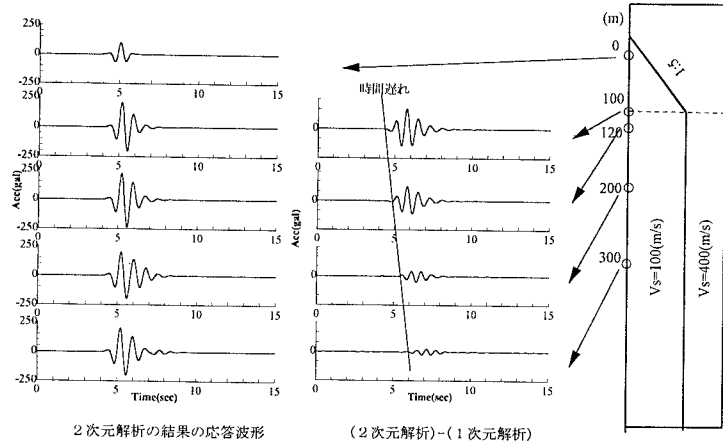


Fig.2 不整形地盤での地震動の特徴

ことが分かる。この波の伝播速度を算定すると、ほぼレーリー波の基本モードの位相速度と一致することが分かった。つまり、不整形構造を有する地盤での地震波は、鉛直下方から入射される直達波（重複反射波） $f(t)$ と基盤端部からの表面波 $f'(t)$ から構成されると言える。

4. 耐震設計における不整形地盤の影響評価法

上記の検討結果から、以下のような仮定をした。

- 1) 地表面波形は、表層地盤を水平成層地盤と仮定したときに鉛直下方からの直達波（重複反射波） $f(t)$ と不整形部付近で生成された横方向へ伝播する表面波 $f'(t)$ で構成される。
- 2) 面内 SV 波を入射しているので、表面波はレーリー波とする。
- 3) 表面波は直達波の振幅だけが変化し、その地点に到達するまでの時間遅れを考慮したものとする。これを振動数領域で定式化すると、式(1)ようになる。

$$G(\omega, x) = F(\omega) + \alpha \cdot F(\omega) \cdot e^{-i(x/l(\omega))\omega} = F(\omega) \cdot \{1 + \alpha \cdot e^{-i(x/l(\omega))\omega}\} = F(\omega) \cdot \eta(\omega) \quad (1)$$

ここに、 $G(\omega, x)$ ：地表面でのフーリエスペクトル、 $F(\omega)$ ：直達波 $f(t)$ のフーリエスペクトル、 α ：振幅の補正係数で $f'(t)$ と $f(t)$ の振幅比、 x ：不整形端部からの距離、 $l(\omega)$ ：レーリー波（基本モード）の位相速度である。さらに、以下の2点に注意する必要がある。

① 伝達関数は $\omega=0$ で 1 に収束するはずであるが、式(1)では、2次元地盤の伝達関数は $\omega \rightarrow 0$ で、 $1+\alpha$ に収束することを意味している。この矛盾を回避するために、 $\omega < \omega_g$ の場合は、 α に ω/ω_g を乗じることとした。

② 式(1)の中の $|\eta(\omega)|$ を考えると、この値は 1 を中心として振動するので、ある振動数 ω では 1 よりも小さくなることになる。これは 1-D の結果よりも応答が小さくなることを示している。ここでは設計上の配慮から、 $|\eta(\omega)|$ が 1 を下回らないようにした。

③ (1)式を用いるとき、時間遅れを算定するのに基盤傾斜部での伝播速度も必要である。この部分では地震波の性状は非常に複雑であり、Fig.2 の方法により伝播速度を算定すると、概ね直達波の見かけの速度に近い値であった。今後、さらにこの扱いについては詳細な検討が必要である。また、この領域での応答加速度は、1-D の結果よりも小さい場合が多く、設計上は増幅を考慮しないこととし、式(1)の適用範囲外とした。

参考文献 1)江尻，後藤：基盤不整形性の影響の設計震度スペクトルの導入に関する基礎的検討，土木学会論文集 No.501/I-29，2)（財）鉄道総合技術研究所：新設構造物の当面の耐震設計に関する参考資料，平成 8 年 3 月，3)中村，末富，秋山，吉田：傾斜基盤の存在により生じる Love 波の特性，土木学会論文集 No.398/I-10