

I-461 地盤の非線形地震応答解析結果に及ぼす地層分割数および有効ひずみ換算係数の影響度に関する基礎的検討

清水建設（株）技術研究所 （正）田蔵 隆 （正）佐藤 正義 （正）清水 勝美

1. ま え が き

本報は地層の分割数および最大ひずみから有効ひずみを求めるための係数（有効ひずみ換算係数 η と称する）が、逐次積分法による非線形地震応答解析および等価線形解析の結果に与える影響度に関して検討したものである。本報での検討は、均質の一様地盤モデルに対して行ったものであり、強震記録に基づく実地盤モデルに対する検討は別報⁽¹⁾に示した。

2. 解析モデルならびに解析ケース

図1に解析モデルを示す。これは表層厚 $H=20\text{ m}$ 、せん断波速度 $V_s=80\text{ m/s}$ 、単位体積重量 $w=1.5\text{ tf/m}^3$ とした均質一様地盤モデルであり、1次固有周期は $T_1=1.0\text{ s}$ である。

表1は解析ケースについて示したものである。地盤の地層分割は5等分割（地層分割厚 $\ell=4\text{ m}$ ）、20等分割（ $\ell=1\text{ m}$ ）および40等分割（ $\ell=0.5\text{ m}$ ）の3種類とした。入力地震波は1940年E1-Centro記録のNS成分と1968年十勝沖地震八戸記録のEW成分の2波とし、入力最大加速度 $a_{\max}=100\text{ ガル}$ 、計算時間間隔 $\Delta t=0.01\text{ s}$ として、15秒間の解析を行うことにした。

逐次積分法による非線形地震応答解析の土の動力学モデルとしては、Masing則によって履歴曲線を定めた修正Hardin-Drnevichモデルと龍岡らによる修正Ramberg-Osgoodモデルの2種類のモデルに対する解析とした。また、解析モデルはせん断型の1次元多質点ばね系モデルである。等価線形解析は有効ひずみ換算係数を $\eta=0.50$ 、 0.65 、 0.80 、 1.00 とした場合の4ケースについて考えた。

各地層の規準ひずみ γ_r 、最大減衰定数 $h_{\max}$ ならびに等価線形解析における土の剛性低下曲線および減衰曲線は、砂質土に関して提案されている岩崎らの実験曲線⁽²⁾に基づいて定めた。

3. 解析結果ならびに考察

解析結果を表2、表3、図2および図3に示す。表2および図2は逐次積分法による非線形地震応答解析の結果であり、表3および図3は等価線形解析による結果である。

表2から逐次積分法の場合、地層の分割数 N によって地表部の最大加速度はかなり変動することが分かる。修正Ramberg-OsgoodモデルによるE1-Centro波入力の結果では、5等分割モデルの場合と40等分割モデルの場合で約35%（48.0ガル/35.5ガル）の差が発生しており、非線形地震応答解析から地表面での最大加速度を議論する場合、地層の分割数 N によってこの程度の差が生じることがあり得るということに留意する必要がある。最大速度および最大変位に関しては、表2においてそれぞれ最大で3%（22.6kine/21.9kine）および7%（9.3cm/8.7cm）となっており、地表部での最大速度および最大変位に与える地層分割数 N の影響は、最大加速度の場合に比較して顕著ではないことが分かる。

図2は地中の最大せん断ひずみの分布について見たものである。これより地層分割の粗いモデルによる最大せん断ひずみは、地層分割の細かいモデルの最大ひずみのほぼ平均的な値になっていることが分かる。

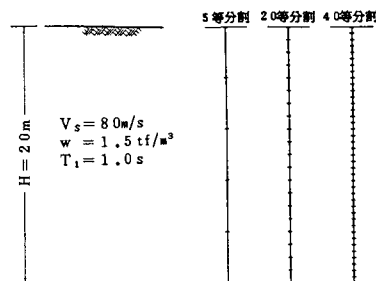


図1 地盤モデルおよび地層分割

表1 解析ケース

非線形地震応答解析手法		地層分割数	入力地震波
逐次積分法 (計12ケース)	修正H-Dモデル	5	E1-Centro記録 NS成分
		20	十勝沖地震八戸記録 EW成分
	修正R-Oモデル	40	
等価線形解析法 (計24ケース)	$\eta=0.50$	5	E1-Centro記録 NS成分
	$\eta=0.65$	20	十勝沖地震八戸記録 EW成分
	$\eta=0.80$	40	
	$\eta=1.00$		

表2 逐次積分法による地表の最大応答値

	地層 分割数	E1-Centro記録		十勝沖地震八戸記録	
		修正H-D	修正R-O	修正H-D	修正R-O
最大 加速度 (cm/s^2)	5	31.9	35.5	42.2	50.9
	20	36.4	41.7	40.4	57.1
	40	37.3	48.0	38.6	59.3
最大 速度 (cm/s)	5	13.4	13.8	22.6	28.1
	20	13.4	13.9	21.9	28.1
	40	13.4	13.9	21.9	28.3
最大 変位 (cm)	5	4.3	4.3	8.7	9.9
	20	4.0	4.2	9.3	9.7
	40	4.0	4.2	9.3	9.6

表3 等価線形解析法による地表の最大応答値

	地層 分割数	El Centro記録 NS成分				十勝沖地震八戸記録 EW成分			
		$\eta=0.50$	$\eta=0.65$	$\eta=0.80$	$\eta=1.00$	$\eta=0.50$	$\eta=0.65$	$\eta=0.80$	$\eta=1.00$
最大 加速度 (cm/s^2)	5	57.6	49.6	45.6	42.3	78.4	67.2	57.4	48.4
	20	57.8	49.6	45.6	42.2	78.4	67.4	57.5	49.4
	40	57.7	49.4	45.4	42.2	78.5	67.4	57.5	49.5
最大 速度 (cm/s)	5	14.2	13.3	14.0	14.9	29.8	31.7	30.4	28.5
	20	14.2	13.3	14.0	14.9	29.8	31.7	30.4	28.6
	40	14.2	13.3	14.0	14.9	29.8	31.7	30.4	28.6
最大 変位 (cm)	5	3.5	4.2	4.5	4.6	8.6	9.4	10.0	10.3
	20	3.5	4.2	4.5	4.6	8.6	9.4	10.0	10.3
	40	3.5	4.2	4.5	4.6	8.6	9.4	10.0	10.3

表3の結果から等価線形解析の場合、地層分割数Nが地表部の最大加速度に与える影響は非常に小さいことが分かる。しかし、地表部の最大加速度は有効ひずみ換算係数 η によってかなり変動し、十勝沖波入力の場合、 $\eta=0.5$ としたときの最大加速度は $\eta=1.0$ のときに対して約62% (78.4ガル/48.4ガル)の差が生じていることが分かる。地表部の最大加速度は η の値が大きいほど小さくなっているが、これは η の値が大きいほど剛性低下率を大きく見積ることになり、このことから加速度増幅の伸びが抑えられるためである。通常、有効ひずみ換算係数 η は0.5～0.8の範囲で用いられることが多いが、 η がこの範囲の場合、表3より地表部の最大加速度は最大で37% (78.4ガル/57.4ガル)程度変動することが分かる。

最大速度および最大変位に関しては、最大加速度と同様、地層分割数Nによる影響は見られない。有効ひずみ換算係数 η の値による影響は、最大速度では最大で10%程度であるが、最大変位では30%程度の差が生じている。また、地中の最大せん断ひずみの分布に関しては、図3より有効ひずみ換算係数 η の大きさに準じて最大ひずみの大きさが変化していることが分かる。

4. まとめ

逐次積分法による解析の場合、地盤の地層分割数Nによって地表部の最大加速度に35%程度の差が生じる場合がある。しかし、地表部の最大速度および最大変位に関しては、最大加速度ほどの顕著な差は発生しない。一方、等価線形解析の場合、地盤の地層分割数Nが地表部の最大応答値に与える影響はきわめて少ない。しかし、有効ひずみ換算係数 η の値によって、地表部の最大加速度、最大速度および最大変位に対して、それぞれ最大62%、10%、30%程度の差が発生する。

5. 参考文献

- (1) 田蔵、佐藤、清水、小山、渡辺：地層分割数および有効ひずみ換算係数が地盤の非線形地震応答解析結果に及ぼす影響度に関する基礎的検討、第22回土質工学研究発表会、1987年6月。
- (2) 岩崎、龍岡、高木：地盤の動的変形特性に関する実験的研究(Ⅱ)、土木研究所報、第153号、1980年3月。

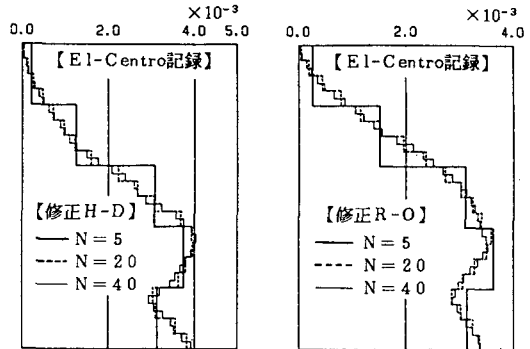
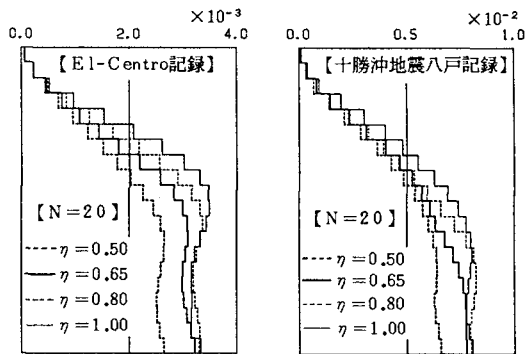


図2 逐次積分法による地盤の最大せん断ひずみ (地層分割数Nの違いによる比較)

図3 等価線形解析法による地盤の最大せん断ひずみ (有効ひずみ換算係数 η の違いによる比較)