

## 地震時せん断応力比の簡易評価手法の提案

独立行政法人土木研究所 正員 小林 寛  
正員 田村 敬一

### 1. はじめに

現行の道路橋示方書では、液状化判定で用いる抵抗率  $F_L$  の外力項である地震時せん断応力比  $L$  は、地盤面における設計水平震度  $k_{hc}$  に深さ方向の低減係数  $r_d$  を乗じて算出している。しかし、地盤面における設計水平震度に相当する地表面の最大加速度は、文献 1) に示すように対象地盤及び入力地震動によって変動する。また、深さ方向の低減係数  $r_d$  については昭和 55 年の道路橋示方書改訂時に導入されたものであり、基本的に、その時点までに観測された強震記録の解析によって、地盤種別、地震動の大きさによる区分はなく一律に定められている。

そこで、本研究では、688 箇所のボーリングデータを対象に等価線形化法による地震応答解析を行い、地震時せん断応力比  $L$  の簡易評価法の提案を行った。なお、解析の条件、解析対象地盤及び地震動、標記名称については文献 1) に示す。

### 2. $r_d$ の算定

地震時せん断応力比  $L$  は式(1)により表される。したがって、 $r_d$  は式(2)によって表すことができる。

$$L = \frac{\tau_{\max}}{\sigma_v} = r_d \cdot k_{hc} \cdot \frac{\sigma_v}{\sigma_v} \quad \dots (1)$$

$$r_d = \frac{\tau_{\max}}{k_{hc} \cdot \sigma_v} \quad \dots (2)$$

式(2)にしたがい、平成 8 年道路橋示方書(以下、道示)に規定されている地震時保有水平耐力法に用いる設計水平震度  $k_{hc}$  と地震応答解析から得られた  $\tau_{\max}$  を用いて  $r_d$  を算出した例を図-1 に示す。ここで示した例は、ポートアイランドの基盤地震動を種地盤に入力した場合の解析結果である。これによると、道示で規定されている設計水平震度(=0.6)と解析で算出される地表面最大加速度(ポートアイランドの場合、地表面加速度が 200gal ~ 400gal)が異なるため、道示で示されている  $r_d=1-0.015z$  と乖離が生じる。この傾向は、ポートアイランド以外の基盤地震動を用いても同様である。

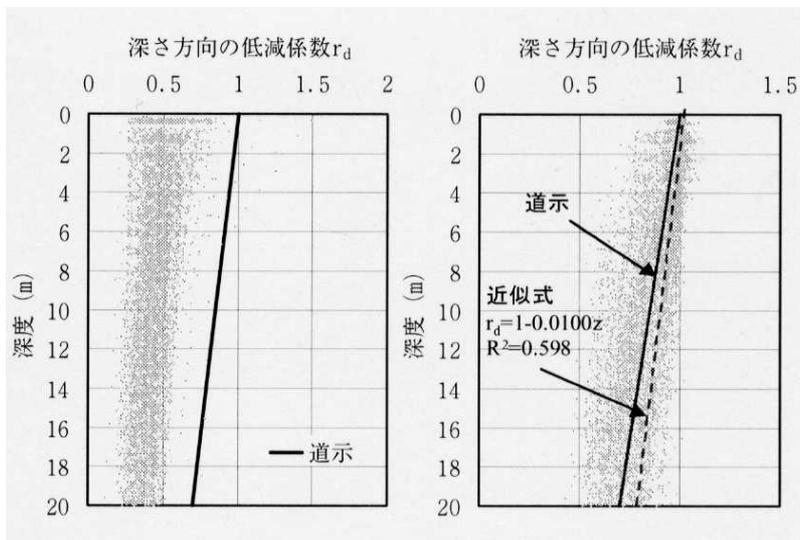


図-1  $k_{hc}$  から算出した  $r_d$  の深度分布の例

図-2  $\tau_{\max}$  から算出した  $r_d$  の深度分布の例

表-1  $r_d$  の算出結果

地盤種別	基盤地震動	$r_d$	$R^2$
種	JRL1	$1-0.0215z$	0.17
	大船渡	$1-0.0311z$	0.64
	JRL2Sp1	$1-0.0222z$	0.26
	ポートアイランド	$1-0.0286z$	0.42
	JRL2Sp2	$1-0.0305z$	0.51
	JMA	$1-0.0268z$	0.31
種	JRL1	$1-0.0083z$	0.61
	大船渡	$1-0.0149z$	0.63
	JRL2Sp1	$1-0.0103z$	0.48
	ポートアイランド	$1-0.0100z$	0.60
	JRL2Sp2	$1-0.0141z$	0.33
	JMA	$1-0.0117z$	0.46

キーワード：液状化判定、地震時せん断応力比、等価線形化解析、L2 地震動

〒305-8561 茨城県つくば市原原 1 番地 6 Tel:0298-79-6771 Fax:0298-64-0598

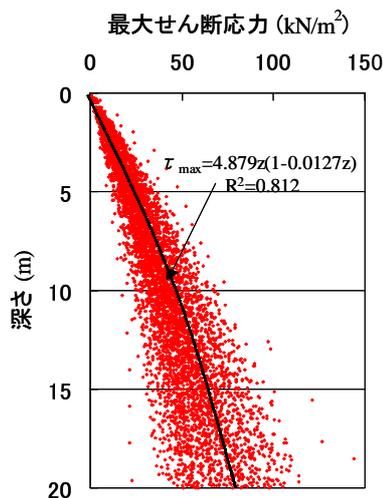


図-3 最大せん断応力  $\tau_{max}$  の深度分布の例

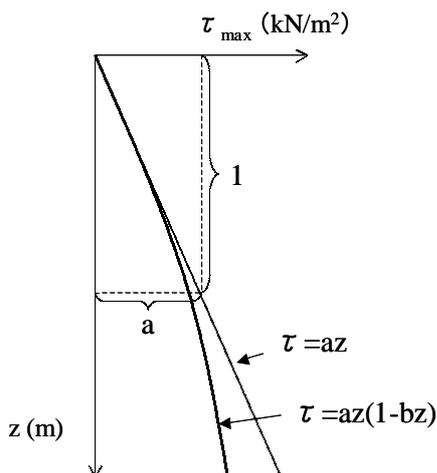


図-4 最大せん断応力  $\tau_{max}$  の簡易評価式

そこで、 $k_{hc}$  の代わりに地震応答解析で算出した地表面最大加速度  $\tau_{max}$  をもとに、 $\tau_{max}/g$  ( $g$  は重力加速度) を  $k_{hc}$  とみなして  $r_d$  を算出した例を図-2 に示す。これによると、深さ方向に低減する傾向は見られるものの、近似式を算出すると  $r_d = 1 - 0.010z$ 、 $R^2 = 0.598$  となり、ばらつきが大きい。表-1 に基盤地震動ごとの  $r_d$  の算出結果を示す。地震動のレベルによって  $r_d$  に有意な差異は認められず、決定係数  $R^2$  も 0.17 ~ 0.64 と低い値を示している。 $\tau_{max}/g$  を  $k_{hc}$  とすれば、道

示で規定する  $r_d$  に近い結果が得られるが、 $r_d$  のばらつきが大きいことが分かる。

### 3. L の簡易評価法の提案

図-3 に地震応答解析により算出した最大せん断応力  $\tau_{max}$  の深度分布の例を示す。これを見ると、深さ方向に一定の相関を示していることが分かる。そこで、図-4 に示す最大せん断応力の簡易評価式を用いて、各基盤地震動入力による  $\tau_{max}$  の近似式を求めると、表-2 のようになる。係数  $a$  は深さ方向へのせん断応力の増加を表す係数であるが、表-2 の各地震動レベルについて比較すると、港湾の施設の基準<sup>2)</sup>で規定されている基盤地震動（大船渡、ポートアイランド）については若干小さい値となっているものの、地震動レベルが大きくなるにしたがい  $a$  の値も大きくなっていることが分かる。また、地盤種別に着目すると、種地盤より種地盤の方が大きい値を示す。次に、係数  $b$  の値に関しては種地盤より種地盤の方が若干大きい傾向を示しているが、地震動レベルによる違いは見られない。

これより、本稿で設定した評価式は、地震動レベルが大きく、または地盤の特性値（固有周期）が短い場合に係数  $a$  が大きくなる傾向を示すことが分かる。次にばらつきに着目すると、最大せん断応力の深さ方向の相関分布に関しては、決定係数  $R^2$  が 0.67 ~ 0.94 と高い値を示す。これは、同一基盤地震動を入力した場合、地盤特性によらず、 $\tau_{max}$  の深度分布は高い相関を示すことを意味している。以上より、最大せん断応力の分布は  $\tau_{max} = az(1 - bz)$  により精度よく表すことができ、地震時せん断応力比は  $L = \tau_{max} / \tau_v$  より簡易に評価できる。

表-2 各基盤地震動入力による  $\tau_{max}$  の近似式

### 4. まとめ

本稿では、地震時せん断応力比  $L$  の簡易評価法として、 $\tau_{max}$  の深度分布を推定し、直接的に  $L$  を算出する手法の提案を行った。

参考文献： 1)高柳,小林,田村：表層地盤の応答を考慮した地表面最大加速度に関する検討，土木学会第56回年次学術講演会，2001.10

2)港湾の施設の技術上の基準・同解説，社団法人日本港湾協会，1999.4

地震動レベル	地盤種別	基盤地震動	a	b	R <sup>2</sup>
レベル1地震動	種	JRL1	2.203	0.0091	0.936
	種	JRL1	2.115	0.0103	0.862
レベル2地震動 プレート境界型 地震	種	大船渡	3.676	0.0230	0.725
		JRL2Sp1	8.010	0.0124	0.867
	種	大船渡	2.616	0.0224	0.722
レベル2地震動 内陸直下型地震	種	JRL2Sp1	5.149	0.0120	0.771
		ポートアイランド	7.921	0.0174	0.762
		JRL2Sp2	12.003	0.0212	0.724
	種	JMA	11.748	0.0202	0.717
		ポートアイランド	4.879	0.0127	0.812
		JRL2Sp2	6.336	0.0177	0.667
	JMA	6.193	0.0163	0.764	