

地震動レベルを考慮した地震時せん断応力比の検討

建設省土木研究所 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、深さ方向の低減係数 r_d を乗じて算出しているが、この係数 r_d 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いる。そこで、本研究では、基盤面で設定された各種地震動（3 種類）を、解析対象地盤（318 箇所）に基盤入力し、等価線形化法により最大せん断応力 $\tau_{\max}$ 、地表面最大加速度 $\alpha_{\max}$ 等を算出した。この結果より、地震動レベルが深さ方向の低減係数 r_d に与える影響について明らかにした。

2. 解析の概要

(1) 解析対象地盤

建設省関東地方建設局管内直轄道路内のボーリングデータをもとに、そのうちのⅢ種地盤(318 箇所)を解析の対象とした。

(2) 基盤入力地震動

解析対象地盤に対して次の基盤地震動を入力し、地震応答解析を行った。①十勝沖地震の際に八戸港で得られた記録より算定した八戸基盤入射波形 (S-252NS Base) (以下、八戸)¹⁾、②宮城県沖地震大船渡基盤入射波形 (S-1210 E41S) (以下、大船渡)¹⁾ および③兵庫県南部地震神戸ポートアイランド基盤入射波形 (PI-79NS Base) (以下、ポートアイランド)¹⁾ である。港湾の施設の技術上の基準¹⁾ の分類では、それぞれ、①、②がプレート境界地震動、③がプレート内地震動に相当する。

(3) 土の動的変形特性

等価線形化法による応答解析でせん断ひずみが 1% を超える場合には、1% ひずみ時の G/G_0 および h を用いた。1% を超えるひずみが生じた地盤は八戸入力で 118 ケース、大船渡入力で 13 ケース、ポートアイランド入力で 270 ケースであった。

3. 解析結果

図-1 に基盤入力地震動ごとの最大せん断応力 $\tau_{\max}$ の深度分布を示す。これによると、同じ深さでは、ポートアイランド入力が他の入力地震動の場合よりも $\tau_{\max}$ が大きい。また、深さが大きくなるにしたがい、 $\tau_{\max}$ が正比例的に増加する傾向が見られる。基盤入力地震動ごとの決定係数 R^2 は、0.7~0.8 程度であり、 $\tau_{\max}$ と深さの間には相関が認められる。

次に、式(1)により、 $\tau_{\max}$ から平成 8 年道路橋示方書（以下、道示）²⁾ に示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} を用いて r_d を算出すると、図-2 のようになる。ここでは、便宜上、①、②のプレート境界地震動をタイプⅠの地震動、③のプレート内地震動をタイプⅡの地震動と見なして計算した。

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

道示では $r_d = 1 - 0.015x$ と規定しているが、この結果を

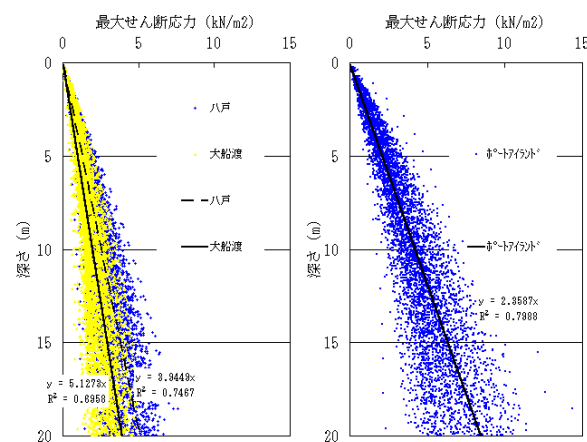


図-1 最大せん断応力の深度分布

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

〒305-0804 つくば市大字旭 1 番地 Tel:0298-64-4963 Fax:0298-64-0598

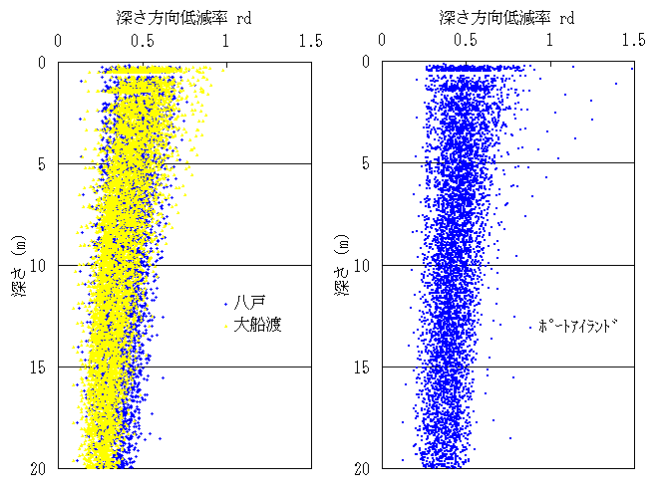


図-2 k_{hc} から算出した r_d の深度分布

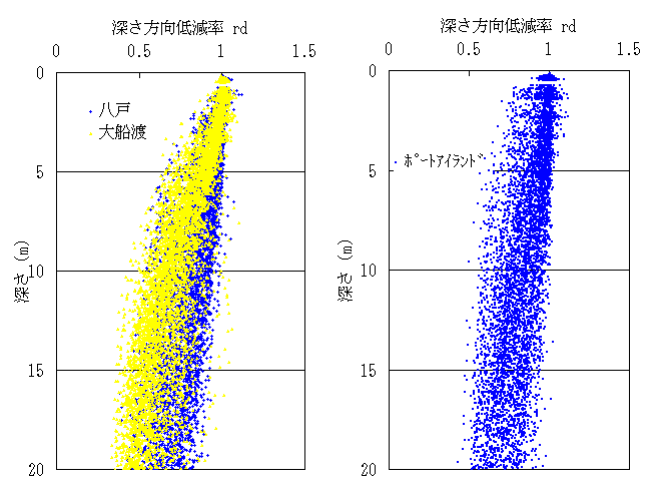


図-4 α_{max} から算出した r_d の深度分布

みると、若干小さくなっている。これは、道示で示されている k_{hc} に比べて、解析で算出された地表面加速度 α_{max} が小さかったことによると考えられる。解析で得られた α_{max} と地盤の特性値 T_g の関係を図-3 に示す。八戸および大船渡入力の場合は、地盤の特性値によらず α_{max} は、約 100gal~250gal 程度である。また、ポートアイランド入力の場合は、III種地盤の中でも T_g の短い領域

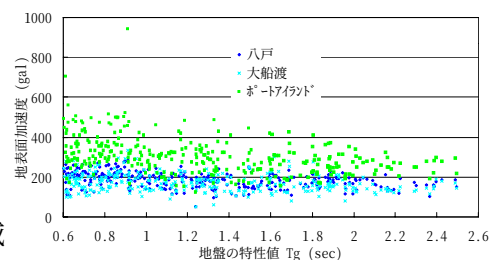


図-3 地表面加速度 α_{max} と地盤の特性値 T_g の関係

では約 200gal~600gal 程度、 T_g の長い領域では約 200gal~400gal 程度である。道示ではタイプ I の地震動で $k_{hc}=0.40$ 、タイプ II の地震動で $k_{hc}=0.60$ (いずれも III 種地盤の場合) と設定

しているが、解析で算出された最大加速度は、多少小さめである。本稿では省略しているが、鉄道構造物等設計標準の基盤地震動波形(スペクトル II 適合波)³⁾を用いて解析を行うと、 α_{max} は約 200gal~850gal 程度となった。以上の結果は、入力する地震動、対象とする地盤によって α_{max} が大きく変わることを示している。

また、 r_d を求める際に、 k_{hc} の代わりに等価線形化解析で算出した地表面加速度 α_{max} を用いて r_d を算出した。その結果を図-4 に示す。これを見ると、図-2 よりも $r_d=1-0.015x$ に近いことがわかる。それぞれの近似式は、八戸： $(r_d=1-0.0225x, R^2=0.444)$ 、大船渡： $(r_d=1-0.0305x, R^2=0.678)$ 、ポートアイランド： $(r_d=1-0.0214x, R^2=0.2587)$ であった。この結果からは、地震動レベルによる r_d には有意な差は見られず、決定係数 R^2 は図-1 の場合よりも低くなっている。このように、従来の手法では α_{max} もしくは k_{hc} から L を算出していたが、基盤入力する地震動に応じて地表面加速度は異なる。また、図-4 のように α_{max} を用いて r_d を算出しても、 r_d の分布にはバラツキが見られる。風間ら⁴⁾が提案しているように、 L は α_{max} のみで規定されるものではなく、入力する地震動および対象地盤の周期、速度等種々の要素に関係する。そこで、図-1 に示したように τ_{max} と深さの間には、基盤地震動の特性に応じて、一定の相関が見られることから、地震時せん断応力比 L の簡易評価手法として、 $L=\tau_{max}/\sigma'_v$ における τ_{max} の深度分布を与えることにより直接的に L を評価を方法が考えられる。

4. まとめ

本稿では、地震動特性、地震動レベルの違いによる r_d の変化を示した。地震時せん断応力比 L の簡易算出法として、 τ_{max} の深度分布を地震動特性に応じて規定し、直接に L を算出する手法が考えられる。

参考文献： 1) 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

2) 道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編、社団法人日本道路協会、1996.12

3) 鉄道構造物等設計標準・同解説―耐震設計、運輸省鉄道局監修、鉄道総合技術研究所編、1999.10

4) 風間基樹、地震時の地中せん断応力比の再考察、地盤工学会誌第 47 巻第 8 号、1999