

地盤の周期特性を考慮した地震時せん断応力比の簡易評価手法に関する検討

独立行政法人土木研究所 正員 小林 寛
 " 正員 田村 敬一
 " 正員 谷本 俊輔

1. はじめに

道路橋示方書をはじめ各種構造物の技術基準では、液状化判定に用いる液状化に対する抵抗率 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_{hg} に深さ方向の低減係数 r_d を乗じて算出される。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。こうした点を踏まえ文献 2) では、実地盤におけるボーリングデータを用いて基盤入力による地震応答解析を行い、地震時せん断応力比 L の簡易評価式の提案を行っている。本研究では、この簡易評価式の高精度化を図るため、表層地盤の振動応答を支配するパラメータである地盤の固有周期に着目し、地震時せん断応力比の再評価を行った。

2. 解析の概要

国土交通省関東地方整備局管内の直轄道路におけるボーリングデータをもとに、519箇所、種地盤が 201 箇所、種地盤が 318 箇所である。

解析対象地盤に対して表-1 に示す基盤地震動を入力し、等価線形化法により地震応答解析を行った。なお、表-1 に示す JMA 神戸基盤地震動波形については、次のように設定したものである。すなわち、平成 7 年兵庫県南部地震で記録された種々の地表面強震記録をそれぞれの地点における工学的な基盤面位置まで一次元の等価線形化法による地震応答解析により引き戻し、解放基盤面における地震動から加速度応答スペクトルを算出した。この加速度応答スペクトルを平滑化した上で、当該加速度応答スペクトルに合致するように、神戸海洋気象台で観測された地表面記録を解放基盤面位置に引き戻した波形を振動数領域で振幅調整したものである。また、土の動的変形特性については、土質区分、有効上載圧を考慮し、沖積粘性土は文献 5)、洪積粘性土は文献 6)、砂質土は文献 7) に示す $G/G_0 \sim$ 、 $h \sim$ 曲線を用いた。ここで、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。

表-1 地震応答解析に用いた基盤地震動

地震動レベル	基盤入力地震動	出典
プレート境界型の大規模な地震を想定した地震動 (以下、プレート境界型地震動)	宮城県沖地震大船渡基盤入射波形 (S-1210E41S) (以下、港湾-大船渡) JR基盤地震動波形 (スペクトル適合波) (以下、JR L2Sp1)	港湾の施設の技術上の基準3) 鉄道構造物等設計標準4)
内陸直下型地震を想定した地震動 (以下、内陸直下型地震動)	JMA 神戸基盤地震動波形 (以下、JMA-Kobe) JR基盤地震動波形 (スペクトル適合波) (以下、JR L2Sp2)	鉄道構造物等設計標準4)

3. 最大せん断応力に関する検討

地震時せん断応力比 L は式(1)により表されることより、最大せん断応力 τ_{max} は文献 2) で提案している式(2)で表すことができる。ここで、 σ_v 、 σ'_v は、それぞれ、全上載圧、有効上載圧、土の単位体積重量である。また、係数 a は深さ方向へのせん断応力の増加を表す係数、 b は深さ方向への減少を表す係数である。

$$L = \frac{\tau_{max}}{\sigma_v} = r_d \cdot k_{hg} \cdot \frac{\sigma_v}{\sigma'_v} \quad (1)$$

$$\tau_{max} = r_d \cdot k_{hg} \cdot \sigma_v = k_{hg} \cdot \rho \cdot z \cdot (1 - 0.015z) = az(1 - bz) \quad (2)$$

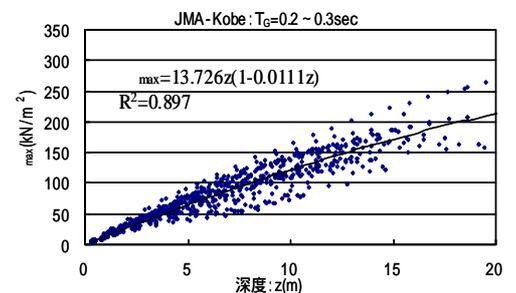


図-1 最大せん断応力の深度分布の例

表層地盤の振動応答は一般に地盤の固有周期と関係が深いことから、本研究では、係数 a 、 b を地盤の特性

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

〒305-8516 茨城県つくば市南原 1 番地 6 Tel:0298-79-6771 Fax:0298-79-6735

値 T_G の関数として表し、地震時せん断応力比の高精度化について検討を行った。種々の T_G を有する地盤について地震応答解析を行い、その結果から評価式の $T_G < 1.0s$ では 0.1 秒間隔に、 $T_G > 1.0s$ では 0.2 秒間隔に区切った各グループの最大せん断応力の深度分布について、式(2)をもとに図-1 に示すような 2 次曲線による回帰分析を行い、係数 a 、 b を算出した。なお、ここでは液状化の判定を検討対象とすることから液状化判定対象土層である 0m ~ 20m の深度におけるせん断応力を係数算出の対象とした。次に、係数 a および b と T_G との関係を入力地震動のタイプ別にそれぞれ図-2、3 に示す。係数 a に着目すると、どの入力地震動についても T_G が大きくなるにしたがって係数 a の値が小さくなるのが分かる。また、その度合いは内陸直下型地震動の方が顕著である。そこで、対数近似による回帰式を図中に示したが、決定係数の値も高く、良い相関が見られる。内陸直下型地震動とプレート境界型地震動の場合を比較すると、係数 a は前者の場合の方が大きく、また、JMA-Kobe と JR_L2Spec2 ではほぼ同じ値を示している。一方、プレート境界型地震動では、港湾-大船渡と JR_L2Spec1 で大きな違いが見られる。これは基盤地震動の最大加速度が大きく異なる（港湾-大船渡： $\max=161gal$ 、JR_L2Spec1： $\max=322gal$ ）ことに起因するものと考えられる。係数 b については、地震動のタイプおよび地盤の特性値による顕著な違いは見られず、港湾-大船渡で $T_G > 0.6s$ の場合を除くと 0.015 に近い値を示すことが分かる。ここで、JMA-Kobe について $a = -3.6457 \ln(T_G) + 6.752$ 、 $b = 0.015$ を用いて \max を推定し、地震応答解析から求めた \max と比較することにより R^2 を算出したものと、全地盤データ、種地盤のみ、種地盤のみで R^2 を算出したものの比較を図-4 に示す。これによれば、全周期領域において今回提案した式の精度が高いことが分かる。

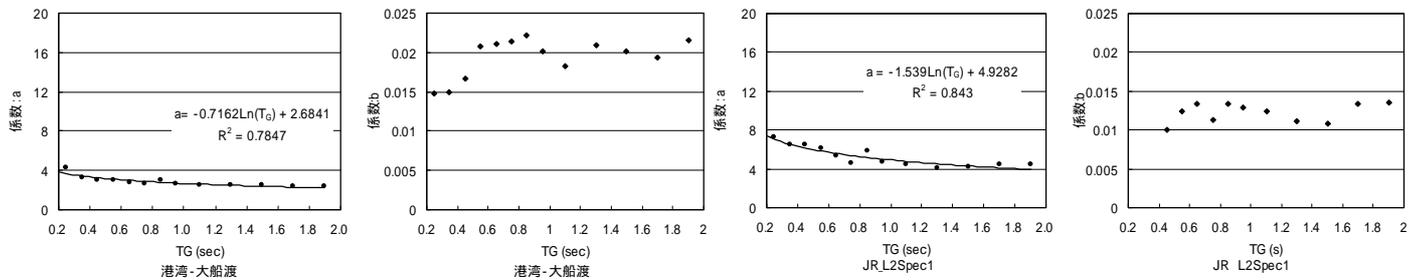


図-2 プレート境界型地震動を入力した場合の係数 a および b の分布

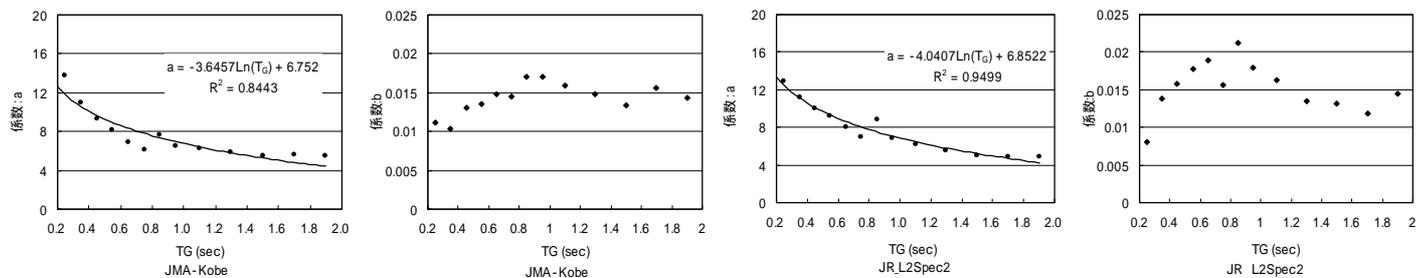


図-3 内陸直下型地震動を入力した場合の係数 a および b の分布

4. まとめ

本稿では、地震時せん断応力比 L の簡易評価法の高精度化を目的として、地盤の固有周期特性を考慮した \max の深度分布について検討を行った。その結果、 \max を地盤の固有周期の関数として表すことにより精度の良い地震時せん断応力比 L の評価手法が提案できた。

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)小林、田村：地震時せん断応力比の簡易評価手法の提案，土木学会第 56 回年次学術講演会，2001.10、3)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、4)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、5)岩崎、龍岡：共振法・振動三軸両試験による沖積粘土

の動的変形係数，第 13 回土質工学発表会講演集，1978、6)岩崎、龍岡：不攪乱粘性土についての室内実験結果，第 12 回土質工学発表会講演集，1977、7)岩崎、龍岡：砂のせん断変形係数と減衰のひずみ依存性について，第 12 回土質工学発表会講演集，1977

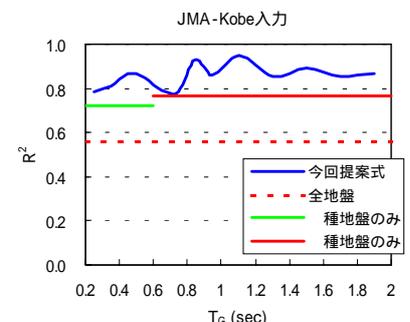


図-4 決定係数 R^2 の周期分布の例