

I - 696

液状化判定における地中せん断応力の推定方法に関する一考察

東電設計(株) 正会員 佐藤正行 黒瀬浩公
 東京電機大学 正会員 安田 進
 東京電力(株) 正会員 増田民夫 悦永賢司

1. はじめに

地震による被害想定や耐震診断の際、広範囲の液状化判定は道路橋示方書等の簡易判定法に準じて行うことが多い。この方法の妥当性は新潟地震(1964)などの液状化、非液状化事例で検証されているが、いずれの事象も震央から遠く、200gal前後の地表面加速度のものである。ところが、最近の強震記録では高周波成分の測定精度の向上などの理由により、500gal程度の記録も得られるようになってきており、このような観測記録に基づいた距離減衰式により近距離地震を想定すると、震源近くで400gal~500gal程度の地表面最大加速度を想定して液状化の予測を行わざるを得ないことも生じている。ここでは、このような加速度の大きい地震動を想定して液状化判定を行う際に地中せん断応力を精度よく推定する方法について検討した。

2. 検討方法

千葉県東方沖地震(1987)の際に8地点で観測された14波の地震波を入力地震動とし、基盤の深さや地層構成の異なる5タイプの地盤モデルを用いた70ケースの地盤の一次元応答解析を行い、地表面の加速度応答波形から求めた最大加速度($\alpha_{\max}$)とSpectral Intensity(SI)を用いて地中の最大せん断応力($\tau_{\max}$)の分布を簡便的に推定する方法について検討した。地震波の観測地点および諸元をそれぞれ図-1および表-1に、5タイプの地盤モデルを図-2に示す。なお、ここでのSIは、地表面応答加速度波形の減衰定数20%の速度応答スペクトルの周期0.1sec~2.5secの間の平均値として定義したものである。



図-1 地震波の観測地点

表-1 地震波の諸元

観測地点	震央距離 (km)	成分	最大加速度 (gal)
東金	2.9	NS	360
		EW	287
茂原	3.2	EW	420
千葉	3.9	NS	173
五井	4.1	NS	138
		EW	111
袖ヶ浦	4.8	X	116
		Y	78
上総湊	5.9	NS	71
		EW	62
大田	6.4	X	33
		Y	48
横須賀	7.4	NS	27
		EW	24

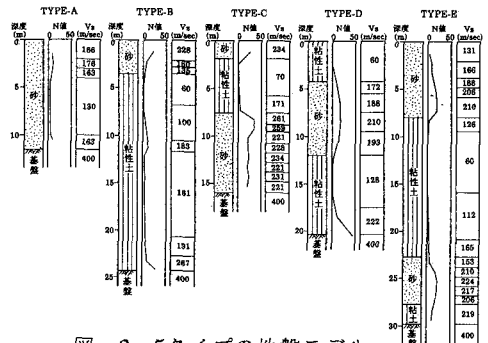
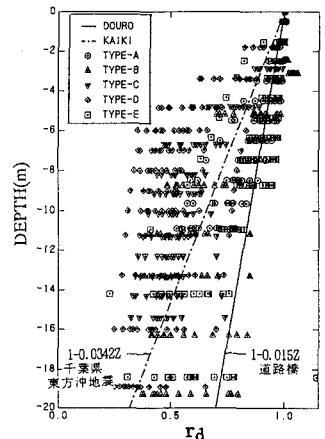


図-2 5タイプの地盤モデル

3. 検討結果

まず、解析結果の深さ20mまでの $\tau_{\max}$ と地表面の $\alpha_{\max}$ および全上載圧(σ_v)から通常液状化判定で用いられる地震時せん断応力比の深さ方向の低減係数(r_d)を計算した。この結果を道路橋示方書の値と比較して図-3に示す。同図を見ると道路橋示方書の r_d は今回の結果のほぼ上限に位置している。これは、一般に言われているように、 r_d は地震波の卓越周期や地盤の固有周期によって変化するためであり、道路橋示方書の r_d を用いてせん断応力を推定すると、この地震のケースではせん断応力をかなり大きめに見積もることになる。

次に、地表面の $\alpha_{\max}$ の代わりにSIを用いて $\tau_{\max}/SI/\sigma_v$ を計算し、その深度分布を入力地震波ごとに整理した。これらの結果のうちの4例を図-4に示す。同図を見ると、同じ地震波を用いた $\tau_{\max}/SI/\sigma_v$ の値は地盤モデルの違いにより若干ばらついてはいるが、深度分布はほぼ同様の傾向を示している。また、入力最大加速度が20gal~400galの範囲で変化しているにもかかわらず、20mの深さにおける $\tau_{\max}/SI/\sigma_v$ の値は地表面近傍ほど

図-3 r_d の深度分布

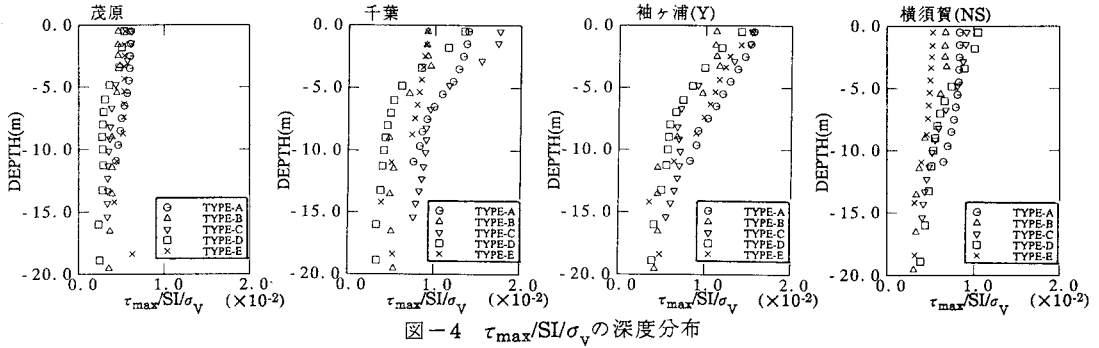


図-4 $\tau_{max}/SI/\sigma_v$ の深度分布

は変化せずほぼ同程度の値となっている。これは、地表面近傍の地盤の τ_{max} は地表面近傍で増幅する短周期成分の影響を受けやすい地表面の α_{max} に依存するのに対して、ある程度深い位置における τ_{max} はこのような短周期成分の影響をあまり受けないため、短周期成分の影響を加速度ほどは受けないSIとの相関が高いものと思われる。このことは、地表面近傍では地表面の α_{max} を用いて、またある程度深い位置ではSIを用いることによって τ_{max} を精度よく推定できることを示唆している。

そこで α_{max}/SI という指標を考えてみた。例えば、非常に高周波成分の卓越した地震波が基盤から表層地盤に入射した場合を考えると、地表面近傍で増幅してさらに大きくなった高周波成分の影響で地表面の α_{max} は非常に大きくなると考えられるが、SIの値は高周波成分の影響をあまり受けないため α_{max}/SI は大きな値となる。このような状況では、 τ_{max} は地表面から浅い深さまでの間で急激に大きくなった後、それ以後はあまり増加しなくなり、 $\tau_{max}/SI/\sigma_v$ は地表面から深部に向かって急激に小さくなるはずである。逆に高周波成分をあまり含まない地震波が入射した場合には α_{max}/SI は小さな値となり、 τ_{max} の深度分布は三角形分布に近づいて、 $\tau_{max}/SI/\sigma_v$ の深さ方向の変化は小さいものになるはずである。

このことを調べるために $\tau_{max}/SI/\sigma_v$ の深さ方向の分布を各解析ケースごとに直線近似し、得られた直線の勾配 a および地表面における切片 b と α_{max}/SI の関係をみたところ、図-5に示すように、 a と b は α_{max}/SI と非常に良い相関を示す結果が得られた。また、共通の震源による地震波を用いているとはいえ、20gal~400galの広い加速度レベルの範囲の入力波を用いた結果であることから、この相関関係は入力レベルによらないものであるといえる。なお、図-5の平均値の直線から α_{max}/SI をパラメータとした $\tau_{max}/SI/\sigma_v$ と深度の関係を図-6に示すとおりとなる。

4. まとめ

α_{max}/SI という指標を持ち込むことにより地震波の周波数特性や地盤特性を考慮して地中せん断応力の推定精度を向上できる見通しが得られた。今後、他の地震波を用いた解析や実際に液状化を生じた地盤についての解析を行ってさらに検討していく方針である。また最近、今まで主に α_{max} を地震外力の指標として用いることが多かった簡易な耐震設計や耐震診断にSIを導入する試みがなされているが、これらの単純な比である α_{max}/SI を、高周波成分を含む度合いを表す指標としてこれらに適用していくことができないかについても今後検討していく方針である。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 耐震設計編，平成2年2月
- 2) 安田進，他：SIを用いた液状化予測手法，第28回土質工学研究発表会，平成5年6月

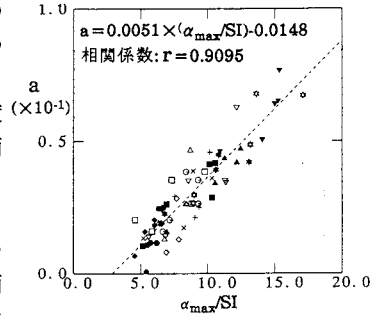


図-5(a) 勾配 a と α_{max}/SI の関係

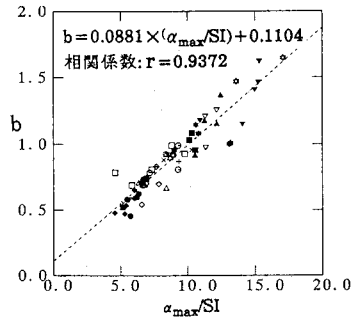


図-5(b) 地表面における切片 b と α_{max}/SI の関係

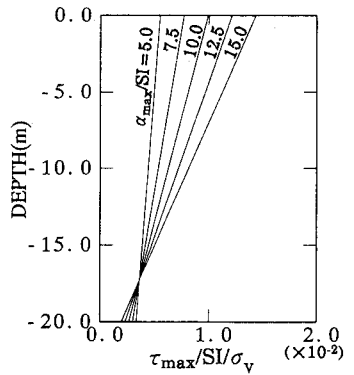


図-6 α_{max}/SI をパラメータとした $\tau_{max}/SI/\sigma_v$ と深度の関係