

1 はじめに

地震の際地盤が液状化するか否かの判定は設計にとって重要な事項である。多くの設計指針では F_L 法により判定が行われる。この方法は一次元地盤に発生するせん断応力と液状化強度を比較するものであるが、地震動はランダム波に対するものであるのに対して液状化強度は一定応力振幅の試験で求められるものであるため、両者を比較するためには補正が必要である。たとえば、道路橋示方書の元となった岩崎らの方法¹⁾では液状化強度に対する補正係数が $1/0.55 \sim 1/0.7$ の間にあるとしている。この差は、地震動が衝撃型と振動型の違いであるとされているが、両者を区別するのは繰返し回数が 2 以下か 3 以上かである²⁾。その後、1995 年兵庫県南部地震では大きい入力での少ない繰返し回数で液状化したことを受けて、レベル 2 地震動のうち、直下型地震に対して C_w という補正係数で見かけの液状化強度を上げる補正が付け加えられ³⁾現在に至っている。

一方、著者の一人は、将来予想される南海・東南海地震に対する液状化解析を行い、このような海溝型地震では地震動の継続時間が長いため、繰返し数も多く、直下型地震に比べ液状化しやすいということを事例で示した⁴⁾。すなわち、このような地震は揺れの大きさという面では小さいかもしれないが、繰返し数は多いわけである。

繰返し数の効果は、例えば道路橋示方書では見ることもできるが、上記のように繰返し数の多い振動型でも繰返し回数は 3 以上と設定されており、上で述べたような海溝型の非常に長い継続時間まで含まれてはいないと考えられる。そこで、本論では長い継続時間に関する簡易判定法を検討する。

2 検討の方針

F_L 法に基づく簡易判定法では液状化強度のせん断応力に対する比を F_L と設定しているので、この二つの要因を考慮

する必要がある。せん断応力の算出では、地表の地震動と地下への最大加速度（またはせん断応力）の低減係数が問題となる。多くの設計指針では地表の地震動指標として最大加速度（または水平震度）を、また、地下への減衰については $r_d=1-0.015z$ が用いられている。これに対し、地表の地震動指標として SI 値を用いたり、減衰特性を提案する改良法も提案されている。ここでは、道路橋示方書に加え、新しい提案法である、安田ら⁵⁾、佐藤ら⁶⁾、Orense⁷⁾の方法に対して適用性を検討する。

このような判定法の適用性は、本来、実現象をターゲットとして検証されるべきであろう。しかし、本論で対象としているような地震動に関しては信頼に足る記録はほとんど無いことから、ここでは、有効応力解析コード YUSAYUSA の結果と比較することによって適用性を検証する。

検討には、文献⁸⁾に示される 275 サイトを用いた。これらのサイトは過去の地震に関する液状化判定に用いられたものであり、液状化しなかったサイトや判定の対象とならない地盤も含まれており、判定の対象となる層が含まれているのは 269 サイトである。これらのサイトの最下層に所定の地震動を入力して地震応答解析と簡易法の結果を比較することによ

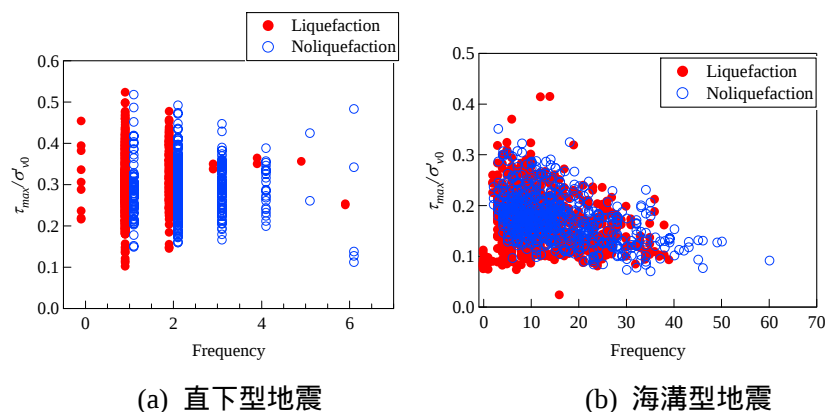


図1 せん断応力比 - 繰返し数関係

表1 せん断応力予測のまとめ

	道路橋		佐藤ら		安田ら		Orense	
	直下型	海溝型	直下型	海溝型	直下型	海溝型	直下型	海溝型
平均	0.989	0.999	1.098	0.933	1.244	0.861	1.419	1.521
標準偏差	0.072	0.106	0.088	0.102	0.237	0.196	0.224	0.382

て適用性を検討する。

3 直下型地震に対する検討

既往の方法の適用性と有効応力解析を用いた検討法の妥当性を検討するために、1995 年兵庫県南部地震の際ポートアイランドで観測された波形の NS 成分 (GL-32m) を用いた計算を行う。

図 1(a)に繰返し数と最大せん断応力比の比較を示す。繰返し数は 0 ~ 6 の間にあり、これから液化した層としなかった層を区別することは困難である。表 1 に各種法によるせん断応力の有効応力に対する比と標準偏差をまとめて示す。ここで、手法の適用に際しては有効応力解析で得られた地表の応答値より地震動指標を計算したものをを用いている。各手法とも最大せん断応力という観点では精度がよい。この中では道路橋示方書が一番精度がよかったので、以下ではこれを検討に用いる。

図 2(a)には液化化判定の対象となる層について F_L と有効応力解析の最大過剰間隙水圧を比較したものである。図の○と□は両方の判定が一致したこと、●は簡易法で液化化したが無効応力解析で液化化しなかったこと、■は簡易法では液化化しなかったが無効応力解析で液化化したものである。ここで、■は危険側の設計となり一番まずい。また、●が多いことは安全側とはいえ好ましいことではない。

表 2 はこれらの結果をまとめたもので、危険率は 0.4%でかなりよい精度と言える。

4 長継続時間地震に対する検討

前項と同様の検討を、文献⁴⁾に示される南海・東南海地震を想定した模擬地震動に対して行う。表 1 には最大せん断応力の予測精度を示しているが、やはり精度はよい。図 1(b)に示す有効な繰返し数は最大では直下型地震の 10 倍程度である。図 2(b)には F_L 最大過剰間隙水圧の発生量を比較しているが、表 2 に示されるように危険率は 46.9%と大きい。

そこで、この様な地震動に対して既往の方法に加え $C_w=0.5$ なる補正係数を設定すると、危険率は

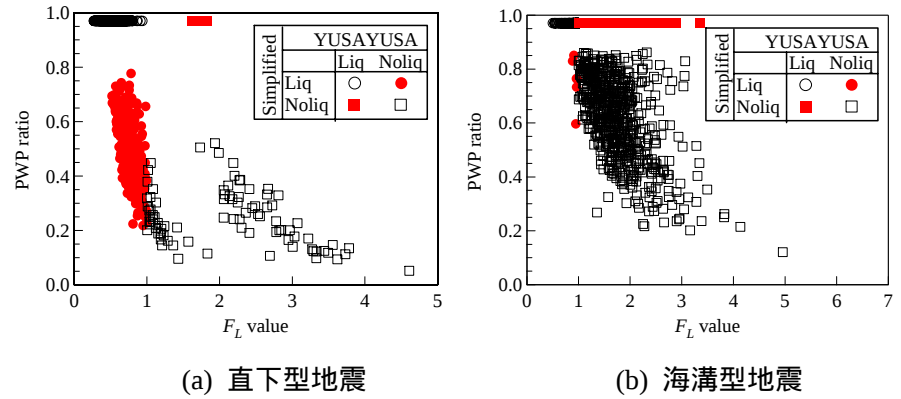


図 2 F_L - 過剰間隙水圧比関係 (道路橋の方法)

表 2 簡易法のまとめ

	道路橋		佐藤ら		安田ら		Orense	
	直下型	海溝型	直下型	海溝型	直下型	海溝型	直下型	海溝型
両方液化化	883	92	883	52	883	35	884	417
簡易法	369	6	391	1	390	0	397	207
YUSAYUSA	5	630	5	670	5	687	4	305
両方非液化化	87	616	65	621	66	622	59	415
正解率 (%)	72.2	52.7	70.5	50.1	70.6	48.9	70.2	61.9
危険率 (%)	0.4	46.9	0.4	49.9	0.4	51.1	0.3	22.7

2.08%, また、安全率 (○と□の割合) は 52.7%から 63.8%に改善される。

5 まとめ

長継続時間地震等に対する範囲判定法の適用した結果、繰返し数が非常に多いことから液化化する可能性が高く、既往の方法では危険側の判定となるケースが多いことがわかった。補正係数として $C_w=0.5$ を適用すると大幅に改善される。ただし、1 つの地震動に対する検討であることから今後事例を積み重ねる必要がある。

本研究は大都市大震災軽減化特別プロジェクトの一環として行ったものである。

参考文献

- 1) 岩崎敏男, 龍岡文夫, 常田賢一, 安田進 (1978): 砂質地盤の地震時流動化の簡易判定法と適用例, 第 5 回日本地震工学シンポジウム論文集, pp. 461-468
- 2) 石原研而, 安田進 (1975): 液化化に及ぼす地震波の不規則性と初期拘束圧の影響, 土と基礎, Vol. 23, No. 6, pp. 29-35
- 3) 日本道路協会 (1996): 道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編, (社)日本道路協会
- 4) 澤田純男, 川辺秀憲, 釜江克宏, 飛田潤, 吉田望, 岩田知孝 (2005): 長大構造物は大丈夫か, 第 5 回比較防災学ワークショップ, 神戸, pp. 41-49
- 5) 安田進, 吉川洋一, 牛島和子, 石川利明 (1993): SI 値を用いた液化化予測手法, 第 28 回土質工学研究発表会, pp. 1325-1328
- 6) 佐藤正行, 安田進, 吉田望, 増田民夫 (1998): 地盤の地震時せん断応力の簡易推定法, 土木学会論文集, No. 610/III-45, pp. 83-96
- 7) Orense, R. P. (2005): Assessment of liquefaction potential based on peak ground motion parameters, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol. 25, pp. 225-240
- 8) 土木研究所, 国土開発研究センター (1996): 兵庫県南部地震における液化化・非液化化事例に基づいた液化化判定法の妥当性に関する調査報告書