東日本大震災の長継続地震動を考慮した F_L 値法による液状化判定

東京電機大学　　正会員　○石川　敬祐
東京電機大学　フェロー会員　　安田　進

1. はじめに

東日本大震災では，東京湾岸エリアの埋立て造成地盤で液状化による戸建て家屋の傾斜や沈下，ライフラインの機能損傷など甚大な被害が発生した[1)]。K-NET 浦安で観測された地震動[2)]は，本地震が巨大地震（M_W=9.0）であったためか主要動の継続時間が 100～150 秒と非常に長く，さらに約 29 分後に発生した比較的に大きな余震も本震の最大加速度の半分程度が作用していた。この様に本地震は，海溝型の巨大地震であるため地震動が長時間継続したことで深刻な液状化被害に発展したことが考えられた。今後，海溝型の巨大地震が作用する際の液状化予測を行う上で，長時間継続地震動の影響を考慮した簡易な液状化判定手法も必要になると考えられる。そこで本研究では，浦安市内の現地踏査で確認した液状化箇所と非液状化箇所に対して，海溝型巨大地震に対する F_L 値による液状化判定手法の適用性を評価した。

2. 検討方法

液状化判定の検討を実施した地点は，浦安市高洲小学校（新町：液状化）と浦安市役所（元町：非液状化）の 2 地点である。両検討地点の地盤モデルを図 1 に示す。

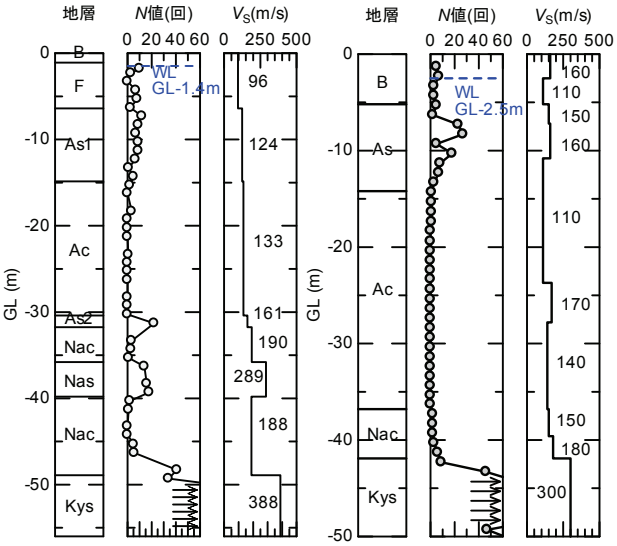

図 1　検討地点の地盤モデル図
（左図：高洲小学校，右図：浦安市役所）

検討外力は, K-NET 浦安で東日本大震災の際に観測された観測地震動の三成分合成加速度の最大値（174.3gal）と一次元地震応答解析[3)]によって求めた各層の最大せん断応力比である。一次元地震応答解析は，東京都港湾局夢の島観測所で観測された GL－89.48m の EW 成分の観測地震波形を用いて，同地点の工学的基盤上面まで順解析を行い，工学的基盤での地震波形（2E 波）を入力地震動とした。各層の動的変形特性は，地表から沖積層までは安田・山口式[4)]を用い，七号地層は土木研究所式[5)]を用いて設定した。液状化強度比は, 様々な推定方法が提案されているが，ここでは一般的に広く用いられている道路橋示方書による推定式[6)]，亀井らによって整理された東京低地における細粒分補正を考慮した推定式[7)]（以下，東京ガス式と呼ぶ）を用いて地下水位以深の B, F，As 層に対して設定した。さらに，文献 8）において，乱れの少ない試料に対する液状化試験結果と上記の推定式から得られる液状化強度比の比較がされており，F 層に対しては液状化試験結果と東京ガス式が比較的に良く一致することが確認され，As 層に対しては東京ガス式で得られた液状化強度比を 1.2 倍することで試験結果と概ね一致することが確認されていることから，As 層の液状化強度を 1.2 倍した値に対しても検討を実施した。地震動特性による補正係数（C_W）は，道路橋示方書のタイプ I 地震動（海溝型）で設定されている C_W=1.0 と K-NET 浦安の観測地震波形を用いた試験結果[9)]による補正係数の 2 通りで検討を実施した。液状化判定の検討条件の一覧表を表 1 に示す。

3. 地震動特性による補正係数を考慮した液状化判定結果

液状化箇所である高洲小学校の液状化判定結果を図 2 に示し，非液状化箇所である浦安市役所の液状化判定結果を図 3 に示す。なお，各条件での判定結果内の検討番号が大きいほど液状化強度比の推定精度は高くなっている。

キーワード　液状化判定，F_L 値，海溝型地震
連絡先　　〒350-0394　埼玉県比企郡鳩山町石坂　東京電機大学理工学部建築・都市環境学系　TEL：049-296-3289

表 1　液状化判定の検討条件一覧表

検討内容	液状化強度比の推定式		外力条件	地震動特性に関する補正係数: C_W
	B, F層: 盛土, 埋土層	As層: 沖積砂層		
1-1	道路橋示方書	道路橋示方書	174.3gal 合成加速度の最大値	1.0 道路橋示方書(タイプ1)
1-2	東京ガス式	東京ガス式		
1-3		東京ガス式×1.2倍		
2-1	道路橋示方書	道路橋示方書		地震波による試験結果[9] $C_W=0.59\times R_{L20}^{(-0.25)}$
2-2	東京ガス式	東京ガス式		
2-3		東京ガス式×1.2倍		
3-1	道路橋示方書	道路橋示方書	一次元地震応答解析 各深度の最大せん断応力比	
3-2	東京ガス式	東京ガス式		
3-3		東京ガス式×1.2倍		

なお，細粒分含有率 F_C は，文献８）の N_1 値～F_C 関係より推定している。

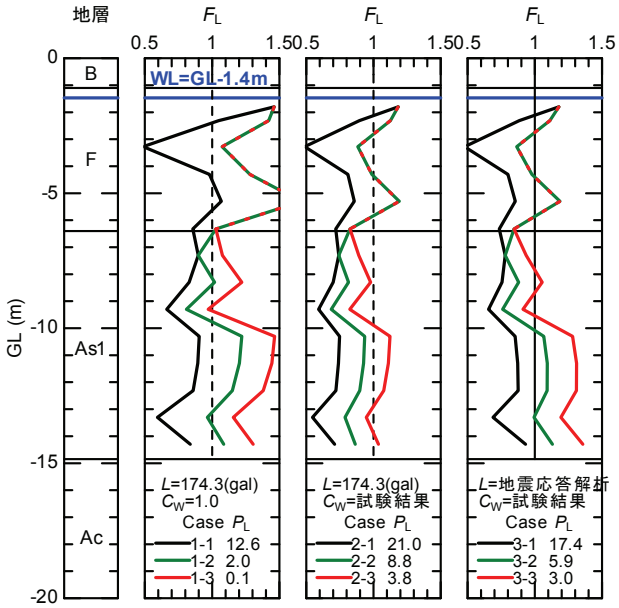

図 2　高洲小学校の液状化判定結果（液状化）

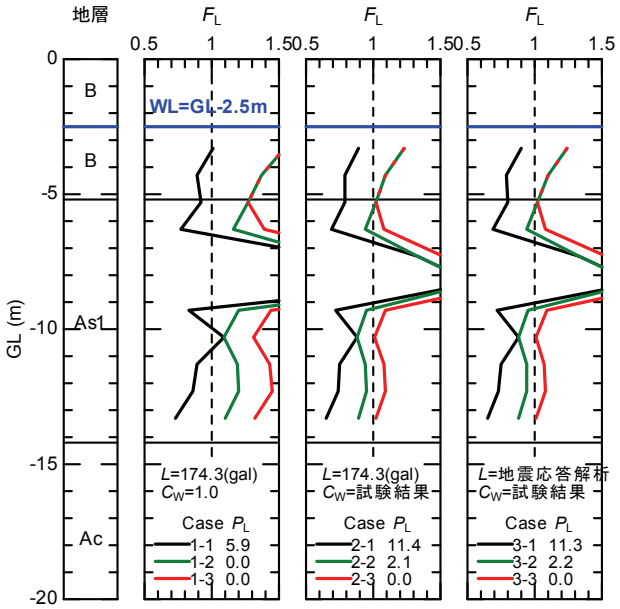

図 3　浦安市役所の液状化判定結果（非液状化）

そこで，液状化強度比がより試験結果に近い Case1-3，2-3，3-3 で両検討地点の判定結果を評価してみる。液状化地点では，Case1-3 の道路橋示方書に準じた判定（C_W=1.0）では F，As 層ともに液状化しない判定結果となり，本地震動の様に継続時間が長い地震動に対して液状化判定を実施する際に C_W=1.0 を用いると，実現象に比べて過小評価する結果となる。そこで，Case2-3 は，C_W を観測波形による試験結果で評価した場合であり，F 層の一部で液状化し，As 層の層上部で液状化が生じる判定結果となった。また，Case3-3 は，外力条件を一次元地震応答解析より求めた場合であり，Case2-3 とほぼ同様な判定結果となっている。一方，非液状化地点では，地震動特性を評価した Case2-3，Case3-3 においても液状化が生じる判定結果にはなっていない。また，Case1-1 のように道路橋示方書に準じて判定を行うと，両地点ともに B，F，As 層での液状化が生じる判定結果となり実現象を評価できない判定結果となっている。

4. まとめ

海溝型巨大地震に対して F_L 値による液状化判定を行う場合には，地震動特性に関する補正係数を見直すことである程度の評価ができることが確認できた。また，液状化強度比を推定式より求める際には，N 値に依存せずに検討地域の地域性や液状化試験結果との整合性を適切に評価する必要がある。

【謝辞】防災科学技術研究所の K-NET で観測された地震動波形を使用させていただきました。

【参考文献】1)安田等：東北地方太平洋沖地震による千葉県の被害,地盤工学ジャーナル,Vo 1 .7,No.1,pp.103-115,2012.　2)（独）防災科学技術研究所：強震観測網（K-NET,KiK-net）3)吉田・末富：DYNEQ 等価線形法に基づく水平成層地盤の地震応答解析プログラム,佐藤工業(株)技術研究所報,pp.61-70,1996.　4)安田・山口：種々な不撹乱土における動的変形特性,第 20 回土質工学研究発表会講演集,pp.539-542,1985.　5)建設省土木研究所：地盤地震時応答特性の数値解析法,土研資料第 1778 号,1982.　6)(社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説　V耐震設計編,pp.134-141,2012.　7)亀井等：東京低地における沖積砂質土の粒度特性と細粒分が液状化強度に及ぼす影響,地盤工学会論文報告集,Vol.42,No.4,pp.101-110,2002.　8)浦安市：浦安市液状化対策技術検討調査報告書,第Ⅱ編,2012.　9)石川等：東北地方太平洋沖地震で観測された地震波形が液状化強度に与える影響,第 48 回地盤工学研究発表会,pp.539-540,2013.