長継続時間地震動に対する累積損傷度法による地震動特性に関する係数 Cw の算出

東京電機大学理工学部	フェロー会員	安田	進
東京電機大学大学院	学生会員	○萩谷	俊吾

1. はじめに

東日本大震災において、震央から遠く離れた東京 湾岸北部の埋立地では甚大な液状化被害が発生した。 この一因としては、地震動の継続時間が非常に長か ったことが挙げられる。

このような地震動の特性を表す指標として、道路 橋示方書における液状化判定法では、拘束圧に関す る補正係数 C₁ と地震動の不規則性に関する補正係 数 C₂を乗じた係数として Cw が用いられている。こ れに対し、筆者らは浦安市で採取した噴砂(以後、 浦安砂)及び豊浦砂を対象に、震災時に浦安で観測 された地震波荷重及び正弦波を与える繰返しねじり せん断試験により Cw の算出を行っている¹⁾。

本検討では、室内試験において用いた低加速度・ 長継続時間地震動に対して、簡易的に地震動特性を 評価できる累積損傷度理論による方法で Cw を算出 し、室内試験で得られた結果と比較を行った。

2. 累積損傷度法による Cw の算出条件

2.1 せん断応力波形

本検討では図1に示す東北地方太平洋沖地震にお いて K-NET²⁾浦安で観測された本震 EW 成分と29分 後の余震 NS 成分を合成(最大加速度が大きい成分 で合成)した加速度波形を液状化層に加わったせん 断応力比波形とみなして使用した。

2.2 液状化強度曲線

液状化強度曲線は、前述した浦安砂(不撹乱試料 での液状化強度比程度に詰めたもの)及び豊浦砂 (Dr=50%)を対象に行った液状化試験¹⁾より得ら れた、図2に示すせん断応力比と繰返し回数関係を 使用した。なお、上記の液状化試験における Cw の 算出では、過剰間隙水圧比が 1.0 となるときのせん

断応力比を液状化強度比としている。そのため、本 検討においても過剰間隙水圧比がおよそ 1.0 に達し た時点を液状化時点とし、せん断応力比と繰返し回



図2 せん断応力比と繰返し回数関係

数関係を整理している。なお、浦安砂と豊浦砂の液 状化強度曲線の形状を比較すると、密に詰めた浦安 砂の液状化強度曲線は、ゆるく詰めた豊浦砂の液状 化強度曲線に比べて、せん断応力比と繰返し回数の 勾配が大きく、立った形状となっている。

2.3 Cwの算出方法³⁾

まず、図1に示した加速度時刻歴波形を液状化層 に加わったせん断応力比の時刻歴波形とみなし、半 波ごとに分解してせん断応力比のピーク波列を推定 する。そして、図2に示した液状化強度曲線より、 各ピーク波に対応する繰返し回数 Nc を算出し、式 (1)より累積損傷度Dを算出する。

 $D = \Sigma$ (1/2Nc) ・・・式 (1)

D=1 で液状化が発生するとし、D=1 となるように せん断応力比のピーク波列を補正し、これにより得 られた最大せん断応力比を累積損傷度法により地震 波荷重の不規則性を考慮した液状化強度比 R_D とす

累積損傷度、継続時間、液状化

東京電機大学理工学部 〒350-0394 埼玉県比企郡鳩山町大字石坂 TEL049-296-0946

-407-

0.4

る。最後に異方応力状態を考慮して、式(2) より地震動特性に関する補正係数 Cw を算出 する。なお、本検討では K₀=0.5 としている。

 $C_{\rm W} = (2/3) \times (R_D/3R_L) \cdot \cdot \cdot 式$ (2)

3. 累積損傷度法による Cw の算出結果

図3に浦安砂の液状化強度曲線を用いてD =1 となるように補正したせん断応力比と累 積損傷度の時刻歴を示す。これを見ると、累 積損傷度は本震時の最大振幅付近で急激に大 きくなり、およそ 1.0 に達していることが分 かる。なお、豊浦砂の液状化強度曲線を用い た場合でも同様の傾向が見られた。また Cw は、浦安砂では0.96、豊浦砂では0.94となり、 液状化強度曲線の違いによる影響はほぼ見ら れない結果となった。これに対し、室内試験 で得られた Cw は、浦安砂では 0.82、豊浦砂 では 0.98 である。このことから、累積損傷度 法では今回の液状化強度比における浦安砂に 関して地震動の継続時間を過小評価している と考えられた。

4. 累積損傷度と過剰間隙水圧比の上昇傾向 の比較

図4、5に浦安砂、豊浦砂それぞれの地震波 荷重を与えた室内試験結果の一例を示す。累 積損傷度は過剰間隙水圧比と同様に液状化の 程度を表す指標と考えられるが、室内試験で 得られた過剰間隙水圧比の上昇傾向を見てみると、 累積損傷度に比べて各試料とも最大振幅付近での過 剰間隙水圧比の上昇の程度は小さく、最大振幅後に も徐々に大きくなっていることが分かる。これは、 室内試験では過剰間隙水圧が大きくなるにつれ有効 拘束圧が低下し、最大振幅後の波の液状化に対する 寄与度が大きくなっていくのに対し、累積損傷度法 では一つの液状化強度曲線だけで評価するため、継 続時間が長く、徐々に過剰間隙水圧が大きくなって も、それに伴う有効拘束圧の減少を考慮していない ために生じた違いと考えられる。また、液状化強度 曲線が立っている浦安砂の方が、振幅が大きい波の 液状化に対する寄与度を大きく評価しているため、 この影響は大きいと考えられる。

4. まとめ

東北地方太平洋沖地震において浦安で観測され



過剰間隙水圧比の時刻歴の一例(豊浦砂)

た低加速度・長継続時間地震動に対して累積損傷度 法を用いて、地震動特性に関する補正係数 Cw を算 出し、室内試験により得られた結果との比較を行っ た。

その結果、液状化強度曲線が立っている場合には 累積損傷度法を用いた場合、過剰間隙水圧の上昇に 伴う剛性低下を考慮していないため、継続時間の影 響を過小評価してしまう可能性があると考えられた。 ただし、今後も違う条件で比較していきたい。

[参考文献] 1) 安田進・石川敬祐・青柳貴是:東京湾岸 エリアで液状化した砂の強度や変形特性の影響要因の検 討, 第47回地盤工学研究発表会, 2012. (提出中)2)(独) 防災科学技術研究所: 強震ネットワーク K-net. 3) 鉄道構 造物等設計標準·同解說 耐震設計,鉄道総合技術研究所, 1999.