

# 東海・東南海・南海三連動地震の地震動継続時間を考慮した液状化危険度判定

岐阜大学流域圏科学研究センター 正会員 ○久世 益充  
 岐阜大学流域圏科学研究センター 正会員 杉戸 真太  
 岐阜大学 正会員 八嶋 厚  
 徳島大学 正会員 渦岡 良介  
 岐阜大学工学部 正会員 能島 暢呂

## 1. はじめに

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震を契機に、南海トラフで発生する東海・東南海・南海の三連動地震(以下、三連動地震)に対する被害想定や対策検討の必要性が指摘されている<sup>1)</sup>。想定される断層規模が非常に大きなことから、強い揺れが長時間継続することが予測されるため、広域かつ甚大な被害が発生する恐れがある。特に、地盤の液状化被害は、地震動の最大振幅と地震動継続時間が大きく影響することが知られており、三連動地震による液状化被害を的確に予測するためには、長く続く地震動の影響を十分に考慮する必要がある。八代ら<sup>2)</sup>は、道路橋示方書<sup>3)</sup>の簡易液状化判定法において、東海、東南海地震の地震動継続時間を考慮した地盤せん断強度の補正係数を算出した。これと同様に本研究では、三連動地震を対象に補正係数を検討した。

## 2. 地震動継続時間を考慮した補正係数の算出<sup>2)</sup>

三連動地震の継続時間の影響について、道路橋示方書<sup>3)</sup>に基づき、累積損傷度理論による地震動の繰り返し特性による補正係数を求める。累積損傷度理論とは、金属疲労の分野で提案された計算手法であり、地震動波形の不規則性を考慮した液状化問題に適用されている<sup>4),5)</sup>。この手法は、図1に示すように、地震動の加速度波形をゼロクロッシングではさまれた半パルスに分解し、正弦波による砂質土の非排水繰り返しせん断強度試験から得られる液状化強度(動的せん断強度比と繰り返し回数 $N_i$ の関係)から、1つのパルス $R_i$ の応力比に対応する繰り返し回数 $N_i$ を求め、次式に示すように、累積損傷度 $D \geq 1$ の時に液状化と判定される。

$$D \geq \sum_{i=1}^n \frac{1}{2N_i} \quad (1)$$

ここに、 $n$ はパルス数である。

道路橋示方書で定められている、地震動の繰り返し特性による補正係数 $C_w$ は、ある1つの地震動波形より、 $D=1.0$ となる最大せん断応力比 $R_{max}$ と、正弦波20回での液状化強度比 $R_{20}$ を用いて、次式より算定できる。なお、本研究で解析に用いた液状化強度曲線は、図2に示す豊浦標準砂の繰り返しせん断試験結果を、八代ら<sup>2)</sup>が双曲線型の関数でモデル化したものを用いた。

$$c_w = \frac{2}{3} \cdot \frac{R_{mas}}{R_{20}} \quad (2)$$

## 3. 地震動特性による補正係数の比較

三連動地震は、中央防災会議<sup>7)</sup>、地震調査研究推進本部<sup>8)</sup>を参考に設定した断層モデル<sup>9)</sup>を用いて、図3の2ケースを想定した地震動を算定した。算定には地震動予測法 EMPR<sup>10)</sup>、地盤震動解析法 FDEL<sup>11)</sup>を使用し、着目地点の地盤データはメッシュ地盤データベース<sup>12)</sup>を用いた。比較のため、東海地震単独の場合と、東北地方太平洋沖地震で震度7が観測された K-NET<sup>13)</sup>築館 (MYG004)、周辺で広域的な液状化被害が報告された K-NET 浦安 (CHB008)の波形記録を使用した。図4(a)に、三連動地震のシミュレーション波形(岐阜市)と前述の観測波形を示す。同図(a)より、三連動地震が比較的振幅の大きな地震動が2分以上継続していることが確認できる。一方、同図(b),(c)の K-NET 築館、浦安についても、地震動が長く継続していることが確認できると共に、K-NET 築館では、内陸直下型地震のような、衝撃的な加速度振幅である特徴も見られる。

図5(a),(b)に、三連動地震の地震動予測結果より求めた補正係数 $C_w$ を示す。図に示すように、地震動予測は東海地域の8地点を対象とした。繰り返し回数、すなわち地震動継続時間の影響により、道路橋示方書のタイプI地震動( $C_w=1.0$ )より小さい値を示している。図5(a),(b)より、三連動地震の液状化危険

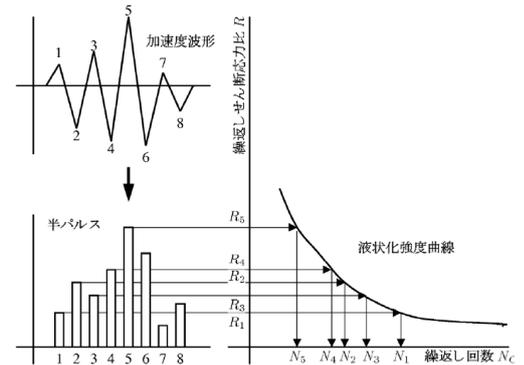


図1 累積損傷度理論の概要<sup>6)</sup>

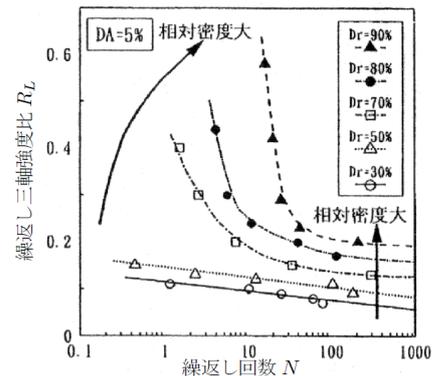
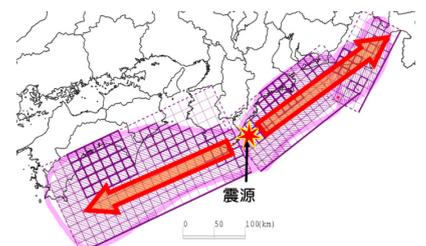
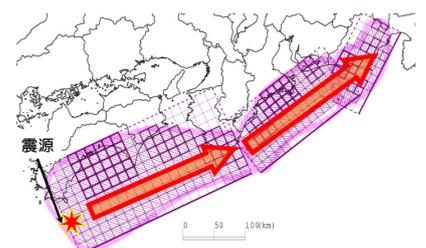


図2 豊浦標準砂の液状化強度曲線<sup>6)</sup>



case1 : 東南海地震西端から  
東西に断層破壊が進行



Case2 : 南海地震西端から  
東方へ断層破壊が進行

図3 三連動地震の断層モデル

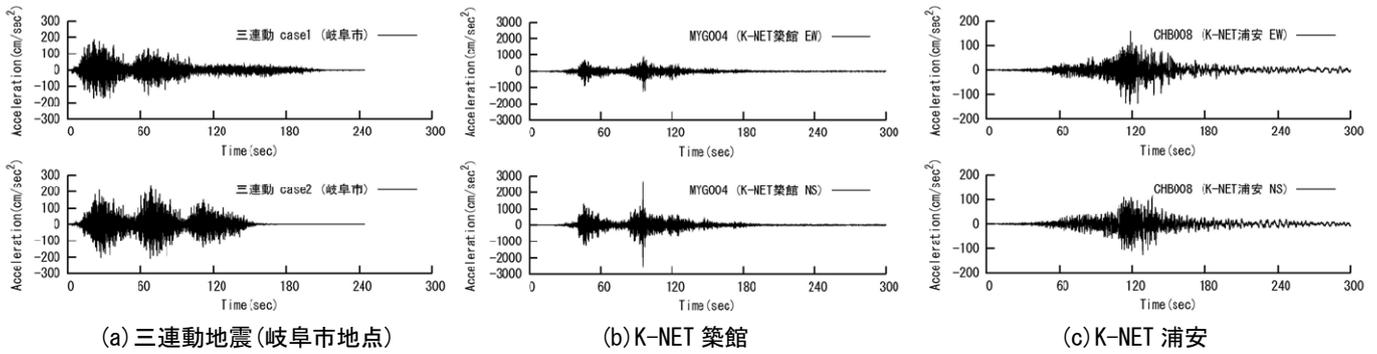


図4 地震動波形の比較

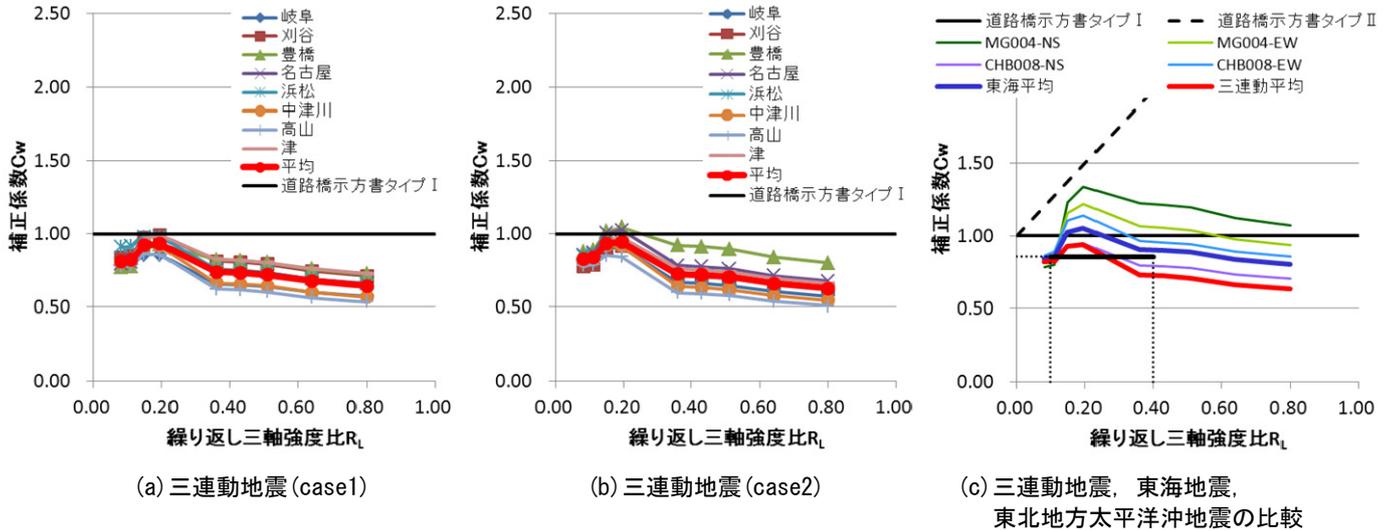


図5 地震動の繰り返し特性の影響を考慮した補正係数の比較

度判定に用いる補正係数  $C_w$  は、八代ら<sup>2)</sup>の考えと同様に、通常のゆるい砂地盤に相当する、 $0.1 \leq R_L \leq 0.4$ の範囲の平均値を求めると、 $C_w=0.855$ となる。東海地震、東南海地震を対象とした補正係数( $C_w=0.9$ )<sup>2)</sup>よりもさらに小さくなることから、地震動継続時間の影響により、三連動地震の方が、東海地震や東南海地震よりも液状化被害の危険性が高いと言える。

図5(c)に、三連動地震、東海地震の平均と、図4(b),(c)に前述したK-NET 築館(MYG004)、浦安(CHB008)の観測記録より求めた  $C_w$  を示す。振幅の時間変動が急激なMYG004(NS成分)では、1より大きな傾向が見られる。反対に、振幅の時間変動が緩やかなCHB008(NS成分)はタイプI地震動よりも小さい。さらに、CHB008(NS成分)は、三連動地震の平均と同程度である。図4(a)に示した三連動地震の地震動波形では、長い継続時間に加えて、複数地震の連動による振幅の時間変動が見られることから、 $C_w$ に加えて、振幅の時間変動の影響も考慮する余地があると思われる。

#### 4. おわりに

本研究では、長い地震動継続時間が予想される三連動地震の液状化危険度判定を目的に、シミュレーション波形を用いて継続時間の影響を考慮した補正係数  $C_w$  の検討を行った。その結果、道路橋示方書で定められている  $C_w(=1.0)$  よりも低い値を設定した判定が必要であることが示された。

謝辞：本研究では、防災科学技術研究所 K-NET の観測記録を使用した。記して謝意を表す。

#### 参考文献

- 1) 中央防災会議，防災対策推進検討会議，<http://www.bousai.go.jp/chubou/suishinkaigi/index.html>
- 2) 八代和幸・杉戸真太・八嶋厚・古本吉倫・渦岡良介，震動継続時間の影響を考慮した液状化危険度判定法について，第27回地震工学研究発表会，paper No.111 (CD-ROM)，2003。
- 3) (社)日本道路協会，道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編，2002。
- 4) 龍岡文夫，講座土の動的性質 2.2 動的強度特性，土と基礎 Vol.33, No.9, pp63-70, 1985。
- 5) 大川征治・前田良刀・真鍋進・龍岡文夫，累積損傷度理論を用いた簡易液状化判定法の提案，第19回地震工学研究発表会，1987。
- 6) 東拓生・田村敬一・二宮嘉朗，地震動波形の繰り返し特性を考慮した液状化判定法に関する研究，土木学会第51回年次学術講演概要集，pp.196-197, 1996。
- 7) 中央防災会議，東海地震に関する専門調査会，<http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/tokai/index.html>
- 8) 地震調査研究推進本部，南海トラフの地震を想定した強震動評価手法について(中間報告)，<http://www.jishin.go.jp/main/kyoshindo/01b/hyoka.pdf>
- 9) 久世益充・杉戸真太・能島暢呂，南海トラフの巨大地震を想定した広域震度予測，自然災害科学，Vol.22, No.1, pp.87-99, 2003。
- 10) M.Sugito, Y.Furumoto, T.Sugiyama: Strong Motion Prediction on Rock Surface by Superposed Evolutionary Spectra, 12WCEE, Auckland, New Zealand (CD-ROM), 2000。
- 11) 杉戸真太・合田尚義・増田民夫：周波数特性を考慮した等価線形ひずみによる地盤の地震応答解析法に関する一考察，土木学会論文集 No.493/III-27, pp.49-58, 1994。
- 12) 古本吉倫・久世益充・能島暢呂・杉戸真太・谷口仁士，東海地方における強地震動推定のための広域地盤メッシュデータの統合，地盤工学会中部支部第14回地盤工学シンポジウム論文集，pp.75-80, 2000。
- 13) 防災科学技術研究所，強震ネットワーク K-NET，<http://www.wold.k-net.bosai.go.jp/k-net/>