

レベルⅡ地震動を想定した東京低地の 液状化予測

草野 郁¹・小川 好²・森 洋³

¹正会員 工博 東京都土木技術研究所 (〒136-0075 東京都江東区新砂一丁目9-15)

²正会員 工博 東京都土木技術研究所 (〒136-0075 東京都江東区新砂一丁目9-15)

³正会員 農博 東京都土木技術研究所 (〒136-0075 東京都江東区新砂一丁目9-15)

東京低地で実施した不覚乱試料の繰返し三軸試験結果から繰返し三軸強度比の推定式を作成した。この式を使用し、道路橋示方書(平成8年改定)で定義したレベルⅡ・タイプⅡを想定して東京低地の液状化予測を行った。液状化の可能性は、道路橋示方書における側方流動を求める際のPL値(液状化指数)による区分に従い3ランク(可能性大: $20 < PL$, いくらかあり: $5 < PL \leq 20$, なし: $PL \leq 5$)に分け、領域で表した。東京低地で実施した試験値から作成した推定式による液状化予測図は、道路橋示方書の式による予測図より液状化の可能性大の地域は少なく、可能性大の地域の多くは、現・旧河川沿い、埋立地に分布する結果になった。

Key Words: Liquefaction potential map, fines content ratio, mean diameter

1 はじめに

道路橋示方書(平成8年改定)¹⁾で定義したレベルⅡ地震動に対する、東京都管理の既設橋梁基礎の耐震点検を行う目的で、設計水平震度0.6(タイプⅡ)を想定した東京低地の液状化予測をおこなった。予測に使用した式は、道路橋示方書(平成8年改定)による式と、東京低地で実施した不覚乱試料の液状化試験結果から作成した推定式を使用した。

数値情報化された14,000本のボーリングデータから液状化指数PL値を求め、マイラー上に出力する。関東地震の液状化履歴調査結果と、地形・地質の情報、液状化計算結果の3つの情報を統合して作成した「東京低地の液状化予測図²⁾」を下図にし、マイラー上に出力したPL値を重ね合わせ、液状化の可能性を3ランクに区分し括り出し領域で表示し液状化予測図を作成した。

2. 繰返し三軸強度比の推定式

東京低地の表層に分布する砂層は、粒径が細かく細粒分を多く含み、N値は小さい場合が多い。このような砂層では、凍結サンプリングによらず通常のサンドサンプルにより採取される試料であっても乱れは少ないと考えられる。東京低地で採取した不覚乱試料の繰返し三軸試験のうち、拘束圧 σ_o' が上載圧 σ_v' に近い($\sigma_v'/\sigma_o' = 0.7 \sim 1.3$)試験結果を

選び、繰返し回数20回で軸ひずみ両振幅5%に至る繰返し三軸強度比RL(20)の推定式RLを作成した^{3,4)}。推定式の作成に当たっては、サンプリング後に凍結した試料で細粒を多く含む場合、圧密時間の短い試験結果は強度が著しく小さくなったことから、この試験条件のものは検討の対象から除いた。

RLはN値と有効上載圧 σ_v' (kg/cm^2 表示)から求めるRLに、平均粒径D50(mm)による補正項R2、細粒分含有量Fc(%)による補正項R3、さらに、 σ_v' による補正項R4を加え、次式で表した。

$$RL = RL(20) = R1 + R2 + R3 + R4 \quad (1)$$

攪乱砂の繰返し三軸試験結果によると、相対密度 Dr が60%以下の緩い試料に対してはRL(20)は Dr に比例するが、 Dr が60%以上の密な場合、 Dr の増加に伴いRL(20)は急激に大きくなる。

換算N1値を次式で表す。

$$N1 = 1.7 N / (\sigma_v' + 0.7) \quad (2)$$

$N1 = 14$ は、 $Dr \approx 60\%$ に相当する。 $N1$ が14より小さい場合は、従来の推定法と同様にRL(20)は Dr に比例する。これに対し、 $N1$ が14以上の密な地盤に対しては、通常のサンドサンプラーでは試料は乱れの影響を受け、液状化試験値は小さくなるため、ここでは凍結サンプルで試験した道路橋示方書(平成8年改定)の細粒を含まない試料の“Na ~ RL”の関係式を使用しR1を定義した。

$$R1 = 0.0882 (N1 / 1.7)^{1/2} \quad (N1 \leq 14) \quad (3)$$

$$=0.0882 (N1/1.7)^{1/2} + 1.6 \times 10^{-6} \times (N1-14)^{4.5} \quad (N1 > 14)$$

$$R2 = 0.21 \log_{10} (0.20/D50) \quad (0.075 \leq D50 \leq 0.50) \quad (4)$$

$$= -0.084 \quad (0.50 < D50)$$

$$R3 = 0.065 \log_{10} (Fc + 1) \quad (Fc \leq 50) \quad (5)$$

$$R2 + R3 = 0.0027 Fc + 0.065 \quad (Fc > 50) \quad (6)$$

$$R4 = -0.065 \log_{10} \sigma v' \quad (0.5 \leq \sigma v' \leq 1.5 \text{ mm}) \quad (7)$$

$$= 0.020 \quad (\sigma v' < 0.5 \text{ mm})$$

$$= -0.011 \quad (1.5 \text{ mm} < \sigma v')$$

タイプ I、II の地震動に対する動的せん断応力比 R は次式で表し、Cw は道路橋示方書と同じ値とする。

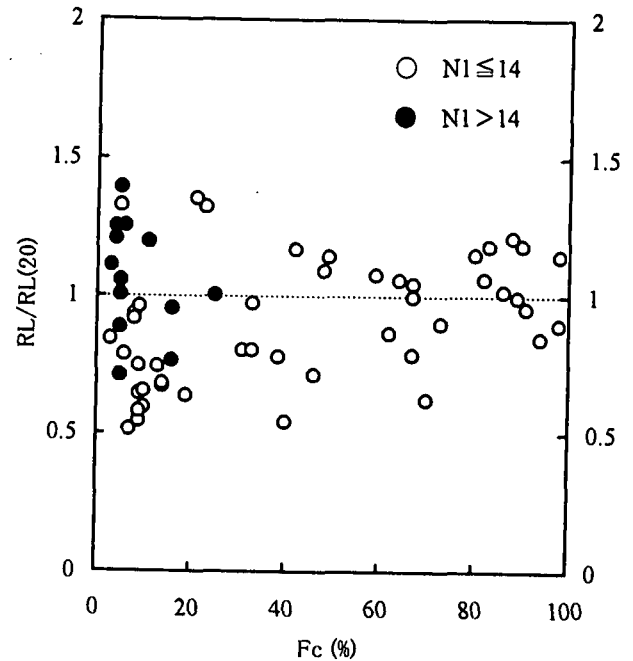
$$R = Cw \cdot RL \quad (8)$$

試験値 RL(20) と、推定式 (式 1 ~ 8) と道路橋示方書の式による推定値 RL との関係を示す RL/RL(20) ~ Fc の関係で表示し図-1(1)(2)に示す。

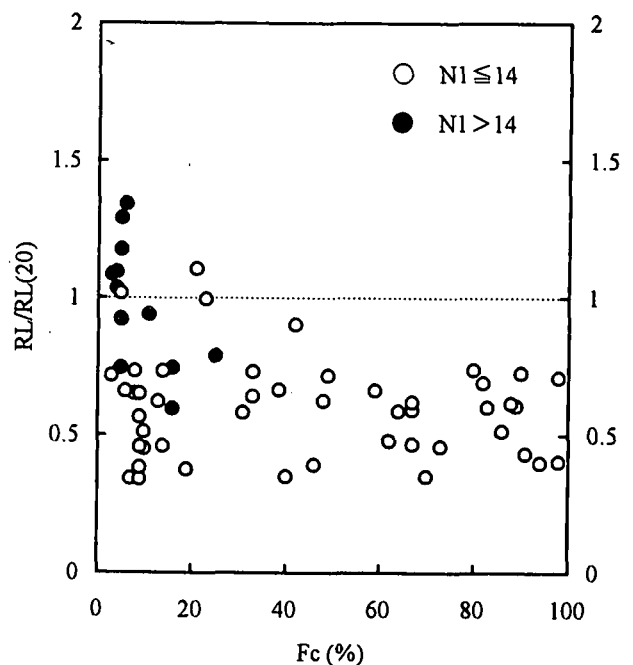
図-1(1)によると、推定式 (式 1 ~ 8) では、RL/RL(20) の値は Fc の大小によらず、約 1.0 の値を示す。一方、道路橋示方書の式では、RL/RL(20) の値は 1.0 より小さく、とくに Fc が大きくなると RL/RL(20) は極端に小さくなる。

東京低地のボーリングデータの統計処理から、土質名称と物性値の関係を求めた²⁾。この物性値を使用し、中砂層 (D50=0.28mm, Fc=10%)、細砂層 (D50=0.20mm, Fc=15%)、シルト質細砂 (D50=0.20mm, Fc=30%) について、推定式 (式 1 ~ 8) と道路橋示方書の式による $\sigma v' = 49, 98 \text{ kPa}$ (0.5, 1.0 kgf/cm²) の推定値 RL, R (=Cw · RL) と N 値との関係を図-2(1)(2)(3)に示す。

東京低地の表層に分布する砂層の多くは、GL-2 ~ -10m 程度の深さに堆積していることから、砂層中の $\sigma v'$ は約 40 ~ 100 kPa 程度の値となる。図-2 の RL, R と N 値の関係は、地盤中の N 値に対し、 $\sigma v' = 49 \text{ kPa}$ の強度が上限値、98 kPa が下限値のめやすを表している。東京低地では、中砂層の N 値は 10 ~ 15 以上、細砂層の N 値は 5 ~ 15、シルト質細砂層の N 値は 10 以下の場合が多い。図-2 によると、中砂の場合、推定式 (式 1 ~ 8) と道路橋示方書の式では推定値に大きな差は現れないが、細砂やシルト質細砂のように粒径が小さい場合、東京低地の表層砂層で見られる通常の N 値の範囲では、道路橋示方書の式は試験値に比べ極端に小さな推定値を示すことになる。東京低地の液状化の対象となる表層の砂層は粒径が細かく N 値が小さい。このような試料は通常のサンプリングでも乱れの影響は少ない。このことから、提案式は東京の液状化対象土層の液状化特性を適切に表現していると考えられる。



(1) 推定式 (式 1 ~ 8)



(2) 道路橋示方書の式

図-1 RL/RL(20) ~ Fc の関係

3 液状化予測

東京低地のボーリングデータの統計処理から、土質名称と I_p の関係を求める。シルト質細砂では、 I_p の中央値は 10 ~ 15%、全体の 2/3 は I_p が 15 以下となり、砂質シルトでは、 I_p の中央値は 15 ~ 20%、全体の 2/3 は I_p が 15 以上を示す。

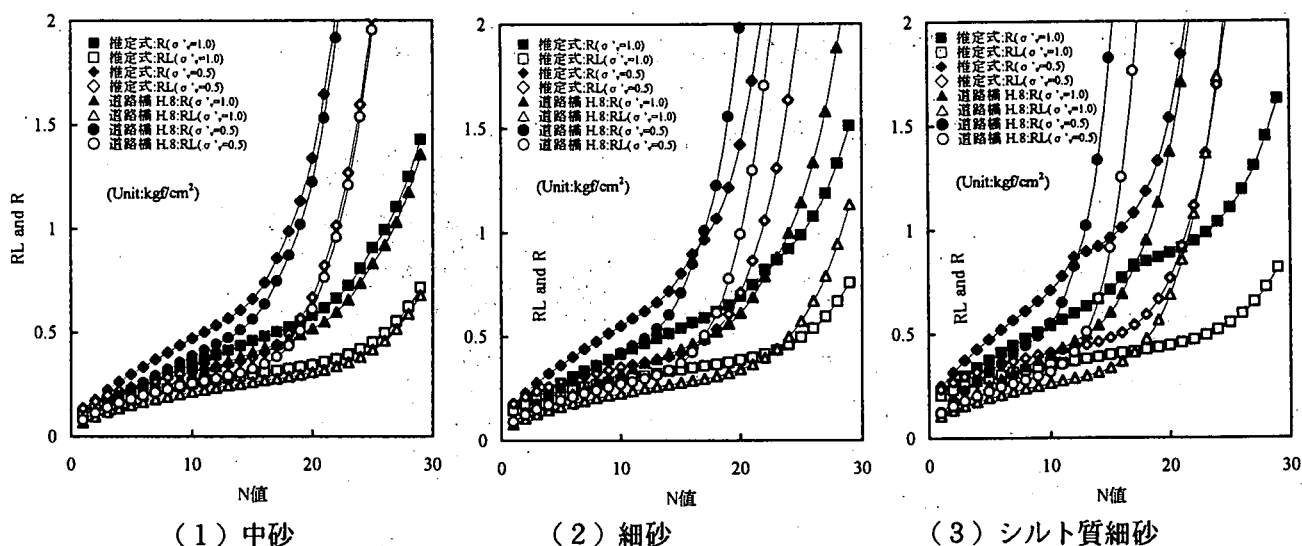


図-2 推定値RL, RとN値の関係

ここでは、シルト質細砂・シルト混じり細砂、粘土混じり細砂など砂質土の土質名称はI p が15以下とし液状化の対象土層とする。砂質シルト・砂混じりシルト、砂混じり粘土などの土質名称はI p が15より大きく、液状化の検討の対象から除外した。

広域的な液状化予測を行う場合は、液状化調査を目的としていない通常のボーリングデータを使用する。このため、液状化計算に必要な物性値を土質名称から推定することになる。ここでは、液状化解析に使用したボーリングデータのうち、物性値のある柱状図はそのデータを使用し、土質名称だけで試験値のない柱状図は東京低地のボーリングデータの統計処理から求めた物性値を使用し液状化計算を行った。

推定式(式1～8)と道路橋示方書(平成8年改定)から動的せん断強度比R、設計水平震度0.6(タイプII)から地震時せん断応力比Lを定め、液状化指数PL値を計算し、 $20 < PL$ を液状化の可能性大、 $5 < PL \leq 20$ を可能性いくらかあり、 $PL < 5$ を可能性なしの3ランク色分けし、色分けしたPL値の数値を1/25,000の縮尺でマイラー上に出力した。

関東地震の液状化履歴調査結果と、地形・地質の情報、液状化計算結果の3つの情報を統合し作成した「東京低地の液状化予測図²⁾」を下図にし、今回計算した出力図を重ね合わせ、3ランクに区分し括り出し、領域表示の液状化予測図を作成した。

予測図は、道路橋示方書で定めるレベルIIを対象とし、東京低地で採取した不攪乱試料の繰返し三軸試験結果から作成した推定式と道路橋示方書の式を使用し、タイプII(設計水平震度0.6)の液状化予測図を作成した。千代田区・中央区区・江東区・墨田区・荒川区・葛飾区・江戸川区の予測結果を図-3(推定式:式1～8)と図-4(道路橋示方書の式)に示す。

道路橋示方書の式を使用した場合、低地の大半

の地域が液状化の可能性大の判定結果になった(図-4)。東京低地の液状化特性を配慮した推定式の予測結果では、現・旧河川沿い、および、関東地震において液状化が発生した地域⁵⁾に液状化の可能性大の判定領域が多く分布する結果が得られた(図-3)。

埋立て後の経過年数の少ない若齢な埋立地を除くと、低地の大半がPL値が20以上となり、地盤流動の可能性をもつような激しい液状化現象が生じる予測結果は、関東地震や安政江戸地震の被害事例⁴⁾から考えにくい。東京低地に限って見れば、道路橋示方書の式は、液状化の強度を過少に評価すると考えられる。

なお、道路橋示方書の式を使用したタイプI(設計水平震度0.4)の液状化予測図を作成した。ここでは図は省略するが、同式を使用したタイプIIと比較して、若齢な埋立地を除くと、両者はあまり違いのない予測結果となった。推定式(式1～2)を使用した場合は、自然地盤では、タイプIの方がタイプIIより液状化しやすい結果がえられた。

参考文献

- 1 道路橋示方書・同解説 V耐震設計編:日本道路協会、1996.
- 2 東京都土木技術研究所著:「東京低地の液状化予測」、地盤工学会(旧土質工学会)、1987.
- 3 草野 郁:細粒分を含む砂質地盤の液状化強度の推定法、土木学会論文集、第418号/Ⅲ-13、1990.
- 4 阿部 博、草野 郁:東京低地における地盤の再液状化現象、土木学会論文集、第554号/Ⅲ-37、1996.
- 5 草野 郁:関東地震における東京低地の液状化履歴、土木学会論文集、第406号/Ⅲ-11、1989.

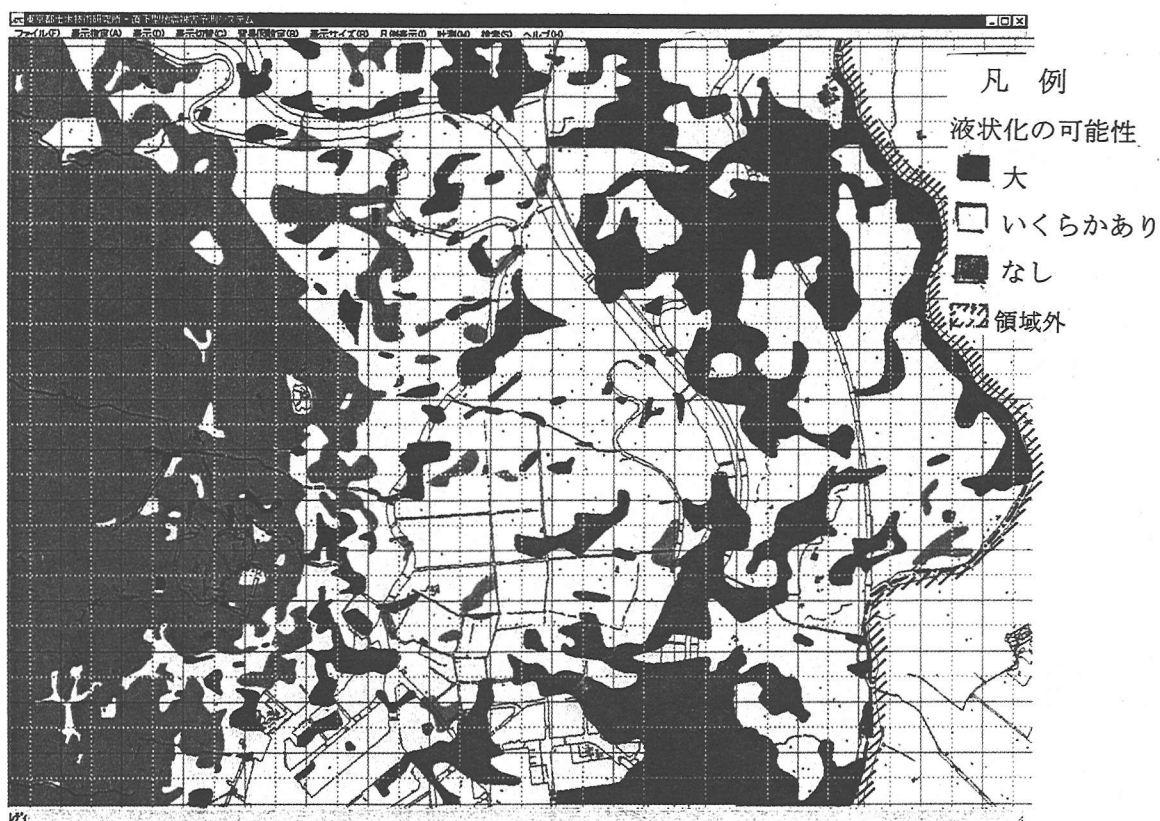


図-3 推定式(式1~8)による東京低地の液状化予測結果

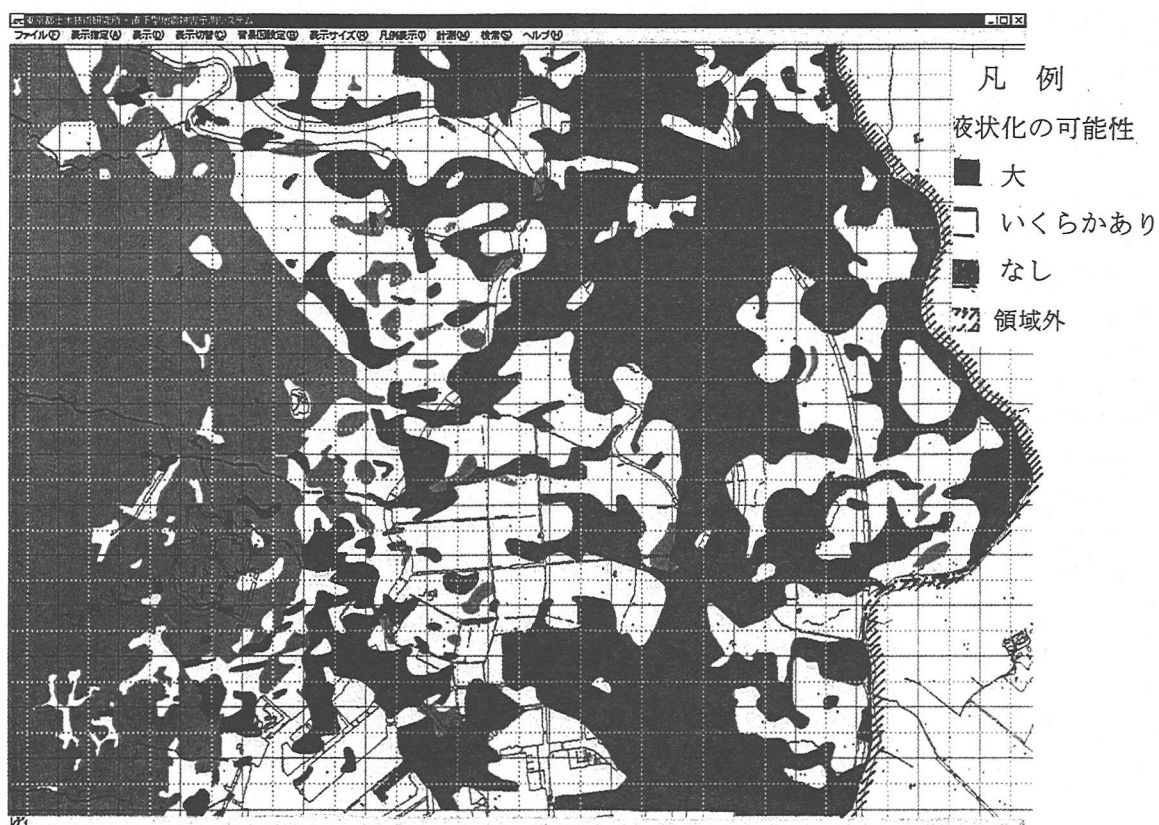


図-4 道路橋示方書の式による東京低地の液状化予測結果