

液状化予測における N 値, F_L 値の表示方法について

岐阜工業高等専門学校 正会員 吉村優治

1. はじめに 飽和した砂地盤が地震などの動的繰返し荷重を受けて間隙水圧が上昇して有効応力が減少する結果, せん断強さを失う現象が液状化であり, 1964 年のアラスカ地震 (3/28, $M=8.4$), 新潟地震 (6/16, $M=7.5$)¹⁾ 以降活発に研究が進められ各種の液状化予測法が提案されてきた. その最も代表的な予測法が, 既存のボーリング資料を用いる簡易液状化予測 F_L 法であり, 道路橋²⁾ などの耐震設計基準にも取り入れられている.

本研究は, この簡易液状化予測 F_L 法において, 地層区分を考慮した N 値と液状化に対する安全率 F_L 値の表示方法を提案し, さらに液状化による被害程度を示す正規化液状化指数 P_L を紹介するものである. なお, 具体例については別報³⁾ を参照されたい.

2. 液状化判定指標 F_L, P_L F_L (Factor of Liquefaction: 液状化抵抗率) は, 原位置における液状化の可能性を判定するための指標であり, 原位置における土要素が有する動的せん断抵抗応力比 R と土要素に作用する動的せん断応力比 L の比によって次式のように定義⁴⁾ される.

$$F_L = \frac{R}{L} = \frac{\tau_l / \sigma_v'}{\tau_{max} / \sigma_v'} \quad \dots\dots (1)$$

ここに, τ_l : 動的せん断強度, τ_{max} : 動的最大せん断応力 (波形中の最大片振幅), σ_v' : 原位置での有効上載圧である. 既存のボーリング資料を利用する簡易液状化予測 F_L 法では, τ_l は N 値, 平均粒径 D_{50} , 細粒分含有率 F_c などから推定され, τ_{max} は地表面加速度などから推定される.

F_L により, ある地点のある深さでの土層の液状化に対する安全性は評価されるが, 仮に F_L により液状化すると判定された層が存在しても, 当然のことながら F_L の大小, 深度や層厚などによって, その地点での液状化の程度や構造物に及ぼす影響の程度は異なる. これらの影響を総合的に評価しようとの試みの一つが, P_L (Potential of Liquefaction: 液状化指数) であり, 次式に示すように各土層ごとに求められた液状化危険率 F の値に重み関数 $w(z)$ を乗じて 20m の深さまで積分したものである⁴⁾.

$$P_L = \int_0^{20} F \cdot w(z) dz, \quad F \begin{cases} = 1 - F_L & (F_L < 1.0) \\ = 0 & (F_L \geq 1.0) \end{cases} \quad \dots\dots (2)$$

この $w(z)$ は, 地表面付近は過剰間隙水圧の下方からの浸透によって液状化しやすいことや構造物に与える液状化の影響も大きいことなどを考慮して, 地表面からの深さを z (m) とすると次式で定義⁴⁾ されている.

$$w(z) = 10 - 0.5z \quad \dots\dots (3)$$

一般に, 大きな P_L の値が得られれば, 地盤液状化による構造物の被害も大きく, 対策も必要になってくるので, この時は液状化危険度が高いと考えられる. したがって, 既往の地震において液状化地点と非液状化地点に対して P_L の算出を行い, 実際現象との対比を行った結果より, 液状化危険度に対して次のような判定基準が提案⁵⁾ されている.

- ① $P_L = 0$ のとき...液状化危険度はかなり低い. 液状化に関する詳細な調査は一般的に不要.
- ② $0 < P_L \leq 5$ のとき...液状化危険度は低い. 特に重要な構造物に対しては, より詳細な調査が必要.
- ③ $5 < P_L \leq 15$ のとき...液状化危険度が高い. 液状化対策が一般に必要.
- ④ $15 < P_L$ のとき...液状化危険度が極めて高い. 液状化に関する詳細な調査と液状化対策は不可避.

図-1 は, 明治24年10月に発生した濃尾地震時の石碑や石燈ろうなどの倒壊から推定された加速度分布図⁶⁾ から読み取った加速度 α を入力して得られた簡易液化 F_L 法の解析結果の一例 (岐阜県大垣市丸の内: $\alpha = 300\text{gal}$) である.

3. N 値, F_L 値の表示方法と正規化液状化指数 P_L 現在の一般的なボーリングデータには柱状図, 土質名, N 値, 物理試験結果などが記載されており, N 値は図-1 に示すように直線で結ばれている. これは便宜的な表示方法であり, 本来 N 値は地層区分を考慮すれば矩形で表示すべきである. また, 簡易液状化予測 F_L 法では動的せん断強度を推定するのに, この N 値を用いているので, F_L の表示も地層区分を反映させた N 値と同様の表示法が適切であろう. 上述の考え方に基づいて図-1 の表示方法を改良したのが図-2 であり, N 値, F_L とも地層による変化の様子が良く表れている.

2. で定義された液状化による被害程度を表す P_L 値⁴⁾ は, 液状化危険率 F に深さ z (単位: m) と地表面からの深さに応じた重み関数 $w(z)$ を乗じており物理的意味が不明確で, さらにはボーリング深度が 20m 未満の場合にはほとんど意味を持たない.

そこで深度が20m以下の既存ボーリングデータの有効利用も考慮し、ボーリング深さ D (m: 20m以上の場合には20)の資料に対して、正規化液状化指数 PL' を次式で定義した。

$$PL' = PL \cdot \frac{20}{D} \cdot \frac{1}{15} \quad (\text{ただし, 信頼度は } D \geq 20\text{m の時 } 1.0, D < 20\text{m のとき } D/20) \quad \dots(4)$$

なお、この場合には式(2), (3)は補正液状化指数 PL^* , 補正重み関数 $w(z)^*$ として次式により求める。

$$PL^* = \int_0^z F \cdot w(z) \cdot dz, \quad F = \begin{cases} 1 - F_L & (F_L < 1.0) \\ 0 & (F_L \geq 1.0) \end{cases} \quad \dots\dots (2')$$

$$w(z)^* = 10 - 0.5z \quad \dots\dots (3')$$

2. で定義された PL の区分①~④を次のように書き換えることにより、液状化危険度が判定できる。

- ① $PL' = 0$, ② $0 < PL' \leq 0.33$,
- ③ $0.33 < PL' \leq 1.0$, ④ $1.0 < PL'$

ただし、この正規化液状化指数は、 PL の数值を正規化し、20m以下のボーリングデータを20mまで拡大したにすぎないので、浅いデータほど PL' の信頼度は低い。

図-3は濃尾平野既存ボーリングデータの正規化液状化指数 PL' と液状化指数 PL の関係をプロットしたものであり、図中の実線が1:1の対応を示しているので、両関係には比較的良好な対応関係が見られる。

4. おわりに 本研究では、簡易液状化予測 FL 法において、地層区分を考慮した N 値と液状化に対する安全率 FL 値の表示方法を提案し、さらに液状化による被害程度を示す正規化液状化指数 PL' を紹介した。しかし、 N 値の表示についてはたとえばPS検層の速度分布と比較し妥当性を検討する、正規化液状化指数 PL' (特に20mより浅いボーリングデータ)に関しては地層ができる堆積環境を考慮するなどの必要があると思われる。

参考文献

- 1) 国立天文台編：理科年表，丸善，1989.11.
- 2) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V耐震設計編，1990.2.
- 3) 吉村優治・古川裕健：濃尾平野における液状化発生時の地表面加速度分布の推定，平成8年度土木学会中部支部研究発表会講演概要集，1997.3.
- 4) 岩崎敏男・龍岡文夫・常田賢一・安田進：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講演集，pp.641~648，1978.11.
- 5) 岩崎敏男・龍岡文夫・常田賢一・安田進：地震時地盤液状化の程度の予測について，土と基礎，Vol.28，No.4，pp.23~29，1980.4.
- 6) 大森房吉：明治24年10月28日濃尾大地震に関する調査，震災予防調査会報告，第28号，pp.79~95，1899.

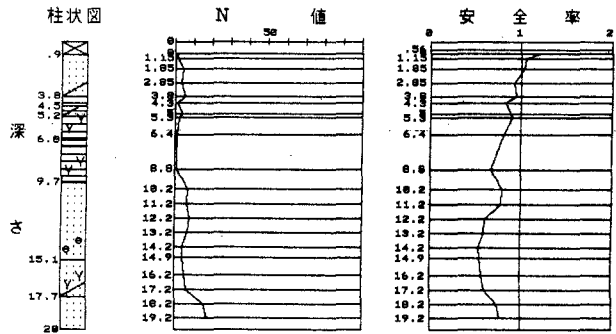


図-1 従来法による液状化予測の一例 (岐阜県大垣市丸の内: $\alpha = 300\text{gal}$)

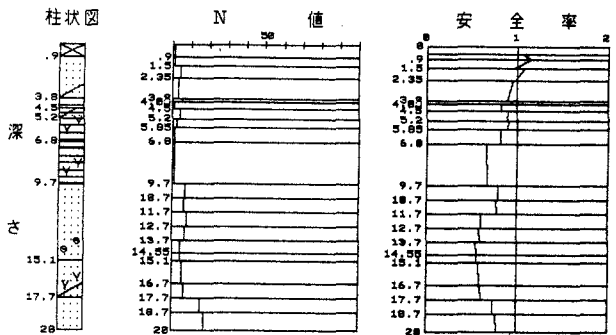


図-2 改良法による液状化予測の一例 (岐阜県大垣市丸の内: $\alpha = 300\text{gal}$)

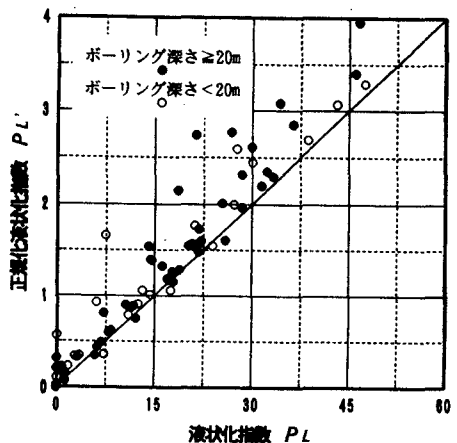


図-3 正規化液状化指数と液状化指数の比較