

# N値のばらつきを考慮した液状化評価に関する研究

中部大学工学部 正会員 杉井 俊夫  
 中部大学工学部 正会員 山田 公夫  
 (株)ユニオン 正会員 小川 学

## 1. はじめに

FL値などの簡易予測法などを用いて液状化のリスクマップの作成を行なうには、主に土質柱状図から求める砂層・レキ層内にあるN値を用いる。しかし、主に深いボーリング調査は重要構造物建設時の調査として行なわれるため、メッシュ判定法によるリスクマップの作成には空白域ができてしまう。そこで、著者らはこれまで地盤統計手法<sup>1)</sup>による地層厚・N値の推定により、地盤データがないメッシュにおいて推定を行ってきた<sup>2)</sup>。今回、有効上載圧とN値の関係から、空白域のない新たな液状化リスク評価の提案を行った。

## 2. 沖積層における有効上載圧とN値の関係

液状化の対象となる沖積層の堆積過程を考慮し同一層においては深さに応じた有効上載圧の大きさがN値の分布に影響してくると考え、N値と有効上載圧の散布図を図-1に示した。また、これより回帰曲線を作成し、両者の相関式を導き出すことでN値の推定を試みた。図より、有効上載圧が小さい場合はN値との正の相関が現れていると考えられる。一方、有効上載圧が大きい場合には、明確な相関を得ることが難しいことがわかる。

有効上載圧の違いによってN値の値にどのような違いが見られるか検討を行なうため、有効上載圧の大きさを10kN/m<sup>2</sup>ごとに分割し、各レンジに属すN値から確率密度分布を作成し、極値分布<sup>3)</sup>(式(1)~(3))によるフィッティングを試みた。ゲンベル極値分布としたのは、貫入抵抗であるN値も破壊耐久力を示すものであることから、極値分布により説明される可能性があると考えた。

$$y = \alpha_u \times \exp[-\alpha_u \times (x - u_u)] \times \exp[-\exp[-\alpha_u \times (x - u)]] \quad (1)$$

ここに、 $u_u$ 、 $\alpha_u$ ：パラメータ

$$u = u_u + \frac{\gamma_0}{\alpha_u} \quad (2)$$

$$\sigma = \frac{\pi}{\alpha_u \times \sqrt{6}} \quad (3)$$

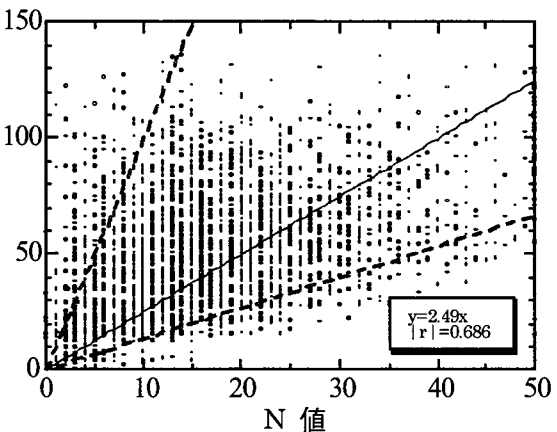


図-1 N値と有効上載圧の散布図

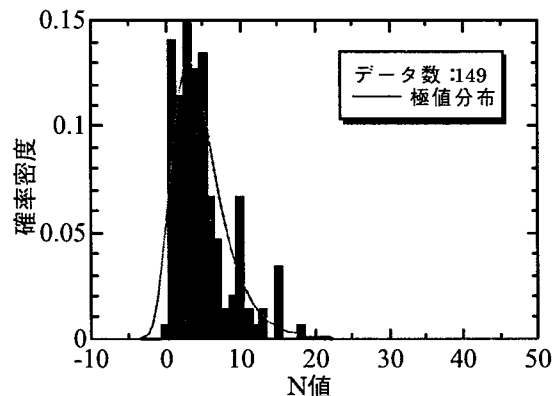


図-2 N値の確率分布  
(有効上載圧 0-10kN/m<sup>2</sup>)

ここに、 $u$ ：平均、 $\sigma$ ：標準偏差

図-3には地盤データをもとに得られた第1砂層の有効上載圧 0-10kN/m<sup>2</sup> 区間の N 値の確率密度を表している。この結果から極値分布のフィッティングが良いことが確認でき、地盤の N 値は耐久力や許容差的な説明ができるといえる。図-4には第1砂層内で作成したすべての有効上載圧に対する極値分布の結果を示す。この図より、有効上載圧が大きくなるにつれ N 値の値が大きい値を取る傾向が出ていることが確認できる。これは同一層においては深い位置にあるほど、締め固められ地盤が硬くなった影響が出ている結果といえる。また、分散も有効上載圧の増加に伴い広がっていき、深い地盤ほど有効上載圧の影響が小さくなる傾向がある。

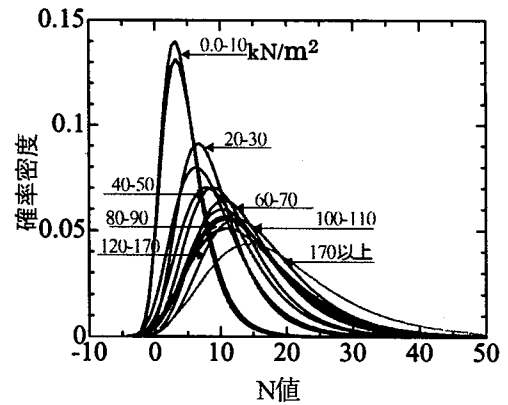


図-3 有効上載圧と N 値の確率分布

今回、極値分布によって有効上載圧別に対する N 値の確率密度が説明できることができた。このことから極値分布関数のパラメータである N 値の平均値と標準偏差を有効上載圧の大きさから推定できれば、任意の地点での N 値が取る値の確率関数を求めることができる。そこで、有効上載圧と平均及び、有効上載圧と標準偏差それぞれの回帰式を作成し、有意義な関係があるか検討を行なうこととした。図-4には第1砂層、図-5には第2砂層の有効上載圧～平均・標準偏差の回帰式を示す。この図より、一部を除いて変動係数が一定であることが推察される。平均値を示す 100～160kN/m<sup>2</sup> 間の分布（矢印）にみられるデータの特性は、沖積平野でみられるレンズ層（粘土層やシルト層がレンズ状に分布している層）の影響により、粘土分やシルト分を含むことが N 値を低下させる原因となったと考えられる。このような変動係数を使うことで、離散的データであるボーリング間の層の連続性を検討することも可能ではないかと考えられる。

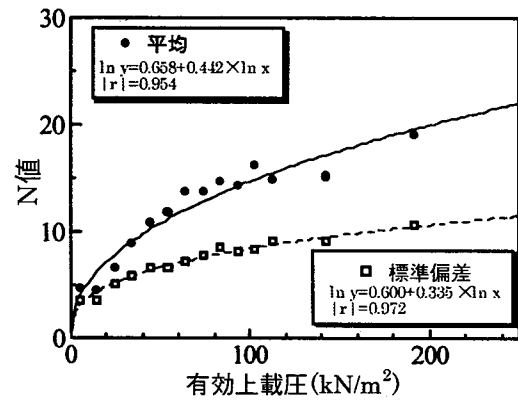


図-4 N 値の平均、標準偏差  
（第1砂層）

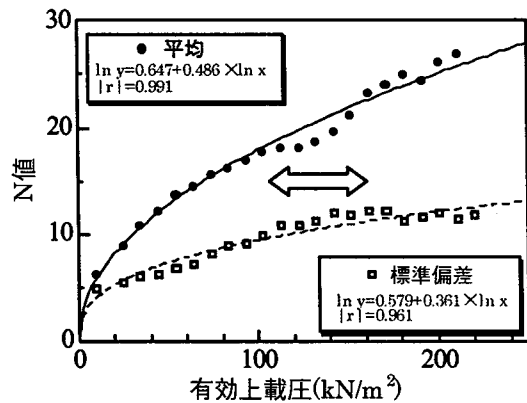


図-5. N 値の平均、標準偏差（第2砂層）

### 3. モンテカルロ法による液状化評価

有効上載圧と N 値の平均値、標準偏差の回帰式を使用することによって、N 値の極値分布の確率関数を求めることが可能である。次に、モンテカルロ法を使用し、有効上載圧から推定された確率関数に従った N 値を発生させ、道路橋示方書<sup>4)</sup>による液状化抵抗力 R<sup>5)</sup>の分布を導くこととした。図-6には求められた液状化抵抗力 R の発生分布の一例として有効上載圧が 10 kN/m<sup>2</sup>であった深さの地点での結果を示す。いま仮に、この地点での地震時せん断応力 L=0.23 が得られたとした場合の線を併せて示した。F<sub>L</sub> 値<sup>4)</sup>による判定では、地震時せん断応力 L が液状化抵抗力 R を上回る場合、すなわち図中の L=0.23 を境界線以下の液状化強度 R の場合には液状化すると判断されることから、任意の地点での液状化確率（F<sub>L</sub> 値=液状化抵抗力 R/地震時せん断応力 L が 1 を下回る確率）を求めることができる。

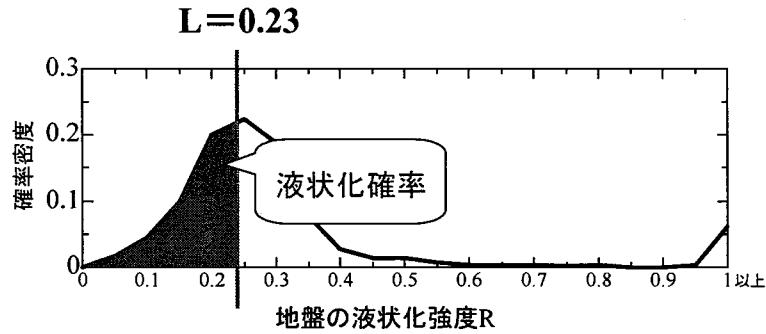


図-6 液状化確率の計算方法

#### 4. 液状化評価の結果

地盤統計手法によって求めた愛知県西部地域の地層<sup>2)</sup>に対して、地表面より1m間隔で上載圧を求め、先に求めた回帰式よりN値の確率分布関数を求め、対応する乱数を発生させ液状化抵抗力Rを算出した。また、液状化履歴<sup>6)</sup>のある東南海地震を外力地震として実効震度 $\eta$ を設計水平震度に用いた地震時せん断応力Lを用いて $F_L$ 値が1を下回る数をカウントし、各地点、深さごとに液状化確率を求めた。結果の断面図の一例を図-7、図-8に示す。同時に地盤統計手法より $P_L$ 値 $\eta$ を用いて求めた液状化判定結果及び、1944年の東南海地震による液状化履歴図<sup>6)</sup>を記載する。この結果より、対象地域の西部にあたる地域では、地盤統計手法による $P_L$ 値による液状化判定では南部での液状化履歴と一致した結果が得られていなかったが、今回の液状化確率を用いた方法では履歴を良く説明することができる結果となった。しかし、図-8に示す東部では逆に履歴と一致しない傾向を得た。この原因として、上載圧を利用するN値の確率分布推定は、対象地域全体を通しては良好な相関で地盤の特性を捉えることができるが、改良地盤や地盤の攪乱などの堆積による地盤特性が変化した場合、これを考慮することができなくなるため、小地域での特性を捕らえきれないためと考えられる。また、上載圧に対して一様にN値の確率が求まってしまうため、ある地点における液状化の確率を効果的に示すことができるが、広域を対象とする場合は液状化層の厚さや、地震の大きさにより液状化の危険度が画一化されてしまう傾向がある。そのため、局所的な特徴など地盤の構成を見極めさらに詳細な分類を行なうことや、地盤統計手法による方法などから、前に述べたような地盤が改良された地域に対する特性を何らかの形で加えることにより、有効上載圧による方法は今後、地盤データがない場合のデータ補完に適用できるものと考えられる。

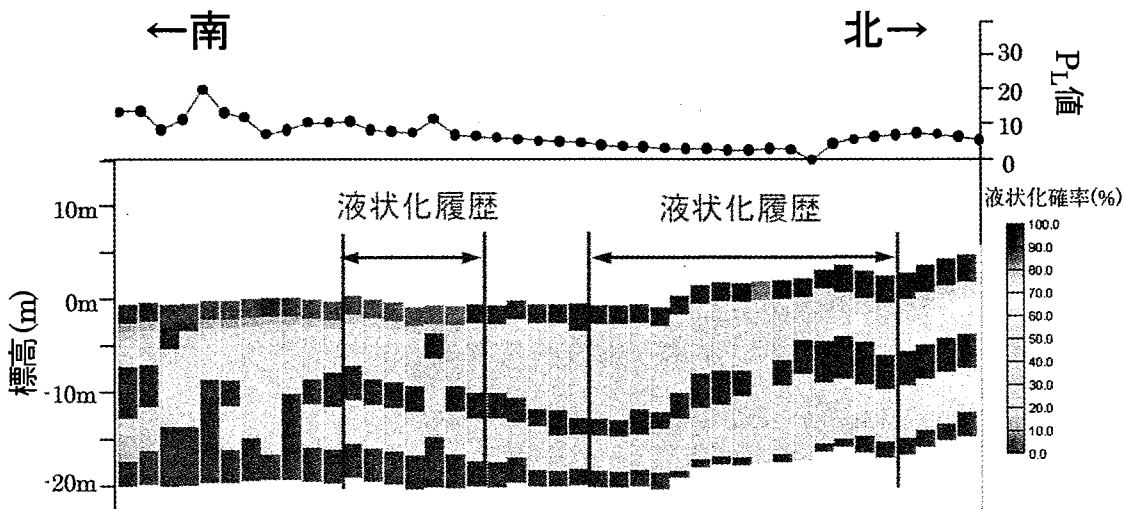


図-7 液状化確率と $P_L$ 値 (西部断面)

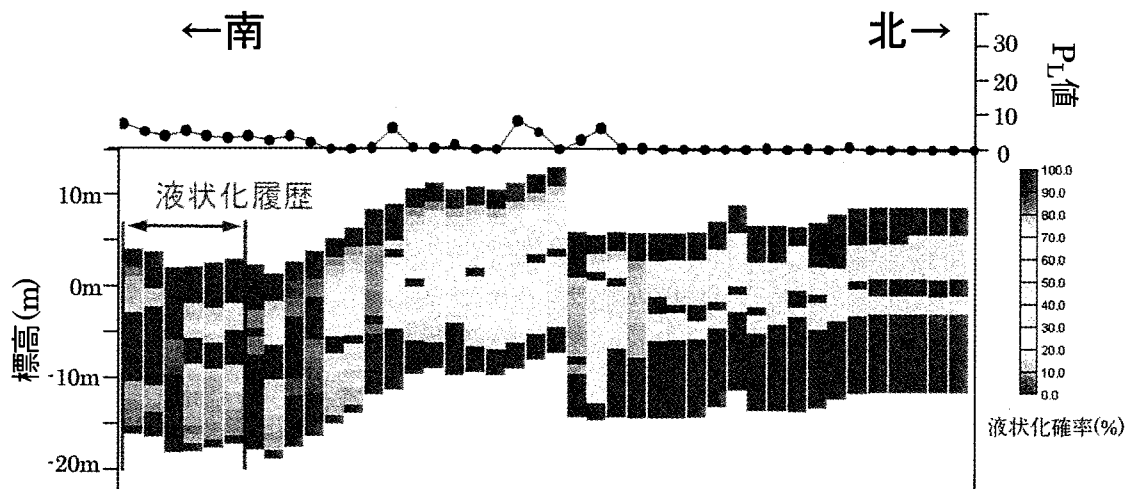


図-8 液状化確率（東部断面）

## 5. おわりに

- 1) N 値を有効上載圧の大きさに対して分割し、確率密度を検討したところ、N 値は極値分布とフィッティングが良く、極値分布の関数を用いることで任意の地点における N 値の分布を説明できることが分かった。
- 2) 有効上載圧と N 値による各平均・標準偏差の相関性を確認したところ、高い相関係数が得られ有効応力と N 値には有意な関係があることが確認できた。
- 3) 西部地域に対し加速度を東南海地震の実効震度で仮定し、上載圧と N 値の関係を考慮した液状化確率の推定マップの作成を行なったところ、N 値の確立推定は対象地域全体を通しては良好な相関で地盤の特性を捉えることができるが、小地域での特性を捕らえきれないためと考えられ、地盤の構成を見極めさらに詳細な分類を行なうことや、地盤統計手法による方法などを取り入れることにより、更に液状化判定の精度を高めることができると考えられることが分かった

## 謝 辞

この研究は中部大学総合工学研究所 平成 12~13 年度の第 6 部門研究費およびハイテクリサーチセンター研究費により援助された。ここに記して謝意を表する。

## 【参考文献】

- 1) 大西有三・田中誠・大澤英昭：不均質地盤内の地盤定数の推定に関する基礎的研究,土木学会論文集, No.457/III-21, pp.51-58, 1992.12.
- 2) 山田公夫・杉井俊夫・小川学：空白域のない液状化リスクマップに関する研究, 総合工学, Vol.14, pp.61-68, 2002.
- 3) 加瀬滋男・岩井重久・河田竜夫：グンベル極値統計学, 1978.
- 4) 社団法人日本道路協会：道路橋示方書・同解説 v 耐震設計編, 1998.8.
- 5) 若松加寿江：日本の地盤液状化履歴図, 東海大学出版会, 1991.
- 6) 市原松平・山田公夫：地震時における名古屋市の水道管の相対的危険度, 土木学会論文報告集, No.316, pp.51-64, 1981.
- 7) 岩崎敏夫・龍岡文夫・常田賢一・安田進：地震時地盤液状化の程度の子測について, 土と基礎, Vol.29, No.11, pp85-91, 1981
- 8) 株式会社 Informatix：Special Information System, 1999.7.
- 9) 建設省中部地方建設局中部技術事務所：濃尾地盤資料目録, 1978.
- 10) 社団法人土質工学会中部支部：名古屋地域地質断面図集, 1987.
- 11) 杉井俊夫・山田公夫・小川学：地盤の空間分布を考慮した液状化リスクマップの構築, 地震工学シンポジウム, 投稿中.