

任意震源に対する領域表示による液状化予測法

草野 郁¹・小川 好²・関根 淳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 東京都道路管理部 (〒163-8001 東京都新宿区西新宿二丁目8-1)

³正会員 工修 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)

建物や人的被害の予測、道路・水道などのライフラインの被害予測において、地震動や液状化のような被害予測の基本となる情報は領域で表す必要がある。ここでは、GIS上にデータベース化された地形・地盤や被害履歴図・予測図などの面情報と、柱状図の点情報から、任意震源に対する領域表示による液状化予測法を述べる。東京全域の液状化の可能性を表した「東京の液状化予測図」と、地盤分類図、土地条件図、砂層分布図の組み合わせから、液状化予測のための領域表示の凡例を設定する。地震動の強さと領域凡例の液状化の可能性を求め、任意震源に対する東京全域の液状化の可能性を領域表示で自動判定により予測する。

Key Words : Liquefaction potential map, zoning, land condition map, liquefaction potential index PL

1. はじめに

地震被害予測には、事前に都市の弱点を把握し優先度を持たせた対策の指標にすることの他に、地震直後の被害推定から敏速な初動体制を確立し被害の拡大を防ぐ役割もある。このため、任意な震源情報に対し、町丁目単位で被害を予測する必要がある。

当所では、GIS上で地形図・地質図や柱状図、建物・人口、道路・水道などの情報をデータベース化し、直下地震に対し、町丁目単位で地震動のゆれの大きさや液状化の可能性を予測し、建物や道路網の被害を推定するシステムを開発している¹⁾。

情報の多くは領域でデータベース化されている。液状化による建物倒壊やライフライン等の被害の予測を行う場合、予測対象が領域の情報であるため、任意震源・地震規模に対する液状化予測を領域で自動表示する必要がある。

ここでは、今までに作成した液状化予測図と、地盤分類図・土地条件図や砂層分布図の領域表示の情報から、液状化予測のための領域凡例を求め、凡例ごとの柱状図の液状化解析を行い、領域表示による自動判定の液状化予測法を示す。

2. 予測手法

都内全域を網羅した東京の液状化予測図²⁾ (平成11年)は、予測図Ⅰ：東京低地の液状化予測³⁾ (昭和62年)と、予測図Ⅱ：東京港埋立地盤の液

状化予測⁴⁾ (平成2年)、予測図Ⅲ：武蔵野台地・多摩地域での液状化の検討⁵⁾ (平成3)をまとめたものである。これら3つの予測図は、関東地震における東京の平均的な地震動の大きさを対象とした予測結果であるが、使用できる情報の違いから予測手法に違いがある。

ここでは、予測手法に違いのある予測結果を統一的に扱うために、図-1のフローに従い、都内全域

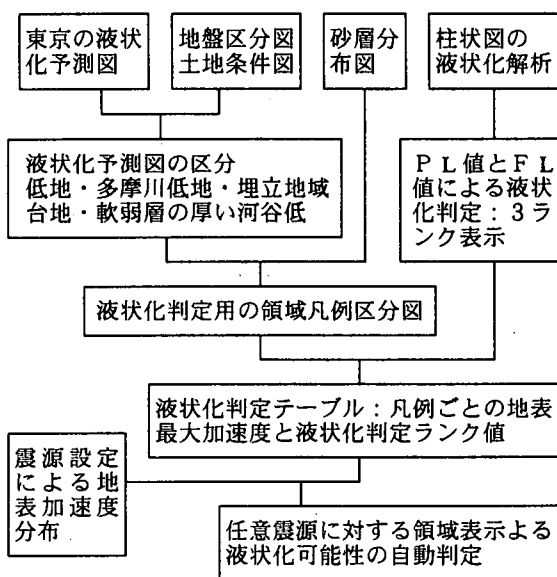


図-1 領域表示による液状化予測のフロー

を網羅した液状化予測図と地盤分類図⁶⁾・土地条件図、砂層分布図の組み合わせから液状化予測のための領域凡例を作成した。

地表最大加速度 α_{max} を変えた柱状図の液状化解析から液状化抵抗率 FL 値と液状化指数 PL 値を求める。 PL 値による液状化判定値と表層砂層の FL 値による液状化判定値の組み合わせにより液状化可能性（大、少、なしの3ランク表示）を求め、柱状図での液状化判定値とする⁷⁾。

各凡例に含まれる柱状図のランク値を集計し、各凡例の α_{max} と液状化可能性を示す液状化判定テーブルを作成し、任意震源に対する領域表示の液状化予測を行った。

3. 液状化予測のための領域凡例

東京低地の液状化予測では、関東地震の液状化履歴図⁸⁾、土地条件図・水系図・砂層分布図などの地形地質図と柱状図の液状化解析結果の3種類の情報を統合して液状化の可能性を判定している³⁾。港湾地域では、 PL 値と埋立土砂の種別から液状化の可能性を判定している⁴⁾。台地部の河谷低と多摩地域は、柱状図が不足していることもあり、地形・地質による液状化の判別を重視し、これらの情報を柱状図による地盤構成と液状化解析結果によって類型化し、これに関東地震の液状化履歴の情報を参考にして液状化の可能性を判定している⁵⁾。

地盤分類図と土地条件図は、予測図Ⅰ（低地部）、予測図Ⅱ（港湾地域）、予測図Ⅲ（台地部+多摩）の液状化予測図を区別し、多摩では多摩低地を、台地部では軟弱層が厚い河谷底とその他の河谷底および台地を区別するために使用した。砂層の厚さは液状化の可能性に及ぼす影響が大きいことから、砂層厚を細かく区分し砂層厚さと液状化解析値の違いに注目した。

液状化予測のための領域凡例の作成に当たっては、表-1に示すように、最初に液状化可能性大の凡例を区分し、次に液状化の可能性小を、最後に液状化可能性なしの凡例区分を行った。領域凡例は表-1の番号順にしたがって確定した。

液状化予測図において液状化可能性大の地域は、予測図Ⅰの低地・多摩川低地と低地周辺の台地部で軟弱層の厚い地域、予測図Ⅱの港湾地域に限定される。可能性大の領域凡例では、地盤分類図と土地条件図から低地と多摩低地、埋立地域、軟弱層の厚い地域を抽出した。

東京低地の液状化予測によると、関東地震の液状化履歴図と砂層分布図の関係では、砂層が10m以

表-1 液状化予測のための領域凡例区分

番号	液状化予測図	地盤区分図	土地条件	砂層分布図
1	低地 大	低地+多摩川低地	全部+領域外	10m以上
2	低地 大	低地+多摩川低地	全部+領域外	10m未満全部
3	低地 液状化可能性大	台地+軟弱層が厚い河谷底	全部+領域外	全部+領域外
4	港湾 大	全部	全部+領域外	全部+領域外
5	低地+多摩 少	低地	全部+領域外	10m以上
6	低地+多摩 少	低地	全部+領域外	6~10m
7	低地+多摩 少	低地	全部+領域外	4~6m
8	低地+多摩 少	低地	全部+領域外	4m未満+領域外
9	港湾 少	低地	全部+領域外	6m以上全部
10	港湾 少	低地	全部+領域外	4~6m
11	港湾 少	低地	全部+領域外	4m未満
12	港湾 少	低地	全部+領域外	全部+領域外
13	低地+多摩 少	多摩川低地	全部+領域外	全部+領域外
14	低地+多摩 少	軟弱層が厚い河谷底	全部+領域外	全部+領域外
15	低地+多摩 少	台地	全部+領域外	全部+領域外
16	低地+多摩 なし	低地	全部+領域外	10m以上
17	低地+多摩 なし	低地	全部+領域外	6~10m
18	低地+多摩 なし	低地	全部+領域外	4~6m
19	低地+多摩 なし	低地	全部+領域外	4m未満
20	港湾 なし	低地	全部+領域外	6m以上全部
21	港湾 なし	低地	全部+領域外	4~6m
22	港湾 なし	低地	全部+領域外	4m未満
23	港湾 なし	低地	全部+領域外	領域外
24	低地+多摩 なし	多摩川低地	A+B+領域外	全部+領域外
25	低地+多摩 なし	軟弱層が厚い河谷底	全部+領域外	全部+領域外
26	低地+多摩 なし	台地	A+B+領域外	全部+領域外
27	全部 なし	台地+軟弱層が厚い河谷底+多摩川低地	C+領域外	全部+領域外
28	対象領域外 なし	全部+領域	全部+領域外	全部+領域外

凡例：液状化予測図（種類）

低地：東京低地の液状化予測、港湾：東京港埋立地盤の液状化予測

多摩：武蔵野台地・多摩地域での液状化の検討

土地条件図（東京低地の液状化予測の分析結果）

A：液状化しやすい凡例、B：ややしにくい、C：なし

上の場合に液状化しやすい結果が得られている³⁾。

予測図の液状化の可能性大の領域は、直下地震のような強い地震動に対する予測値の変動は少ないと考え、砂層厚の評価を2区分にとどめた。凡例番号1では砂層厚10m以上、凡例番号2では砂層厚を10m未満とした。予測図Ⅰに含まれる台地部の軟弱層が厚い地域を凡例番号3とし、港湾地域を凡例番号4とした。

液状化の可能性少と、なしの領域に対しては、低地部と多摩低地、軟弱層が厚い河谷底を区分した。地震動が大きな場合は砂層の厚さにより液状化の可能性は変化すると考え、低地部と港湾地域について砂層厚を細かく区分した領域凡例を作成した。

液状化の可能性なしの地域で軟弱層が薄い河谷底を抽出する凡例番号27を作成した。凡例番号28は

表-2 液状化判定のクロステーブル

PL値による判定			
PL値とFL値による判定値	液状化の可能性大	液状化の可能性少	液状化の可能性なし
液状化の可能性大	○	○	△
液状化の可能性中	○	△	○
液状化の可能性小	△	△	×
液状化の可能性なし	△	×	×

凡例

組み合わせで得られる
ランク値

○ 液状化の可能性大
△ 液状化の可能性少
× 液状化の可能性なし

予測対象外を示し、海上などの柱状図の液状化解析結果を表わし、予測地域から除外した。

4. 液状化解析

(1) 液状化予測式

道路橋の液状化解析では、地震動の波形特性から、海溝型の地震（タイプI）と内陸直下地震（タイプII）に分け、タイプIの動的せん断強度比 $R [=R L(20)]$ に補正係数 C_w をかけた値をタイプIIの動的せん断応力比 $R [C_w \cdot R L(20)]$ としている⁹⁾。前者は振動型の地震動を対象とし、後者は衝撃型の地震動を対象に兵庫県南部地震での阪神地区で観測された波形を考慮し決められたものである。

ここでは、東京直下地震を対象としていることから、衝撃型の地震動に対するタイプIIの液状化強度により液状化解析を行った。

液状化強度は、東京の地盤特性を反映した、東京都土木技術研究所提案¹⁰⁾のタイプIIの予測式を使用した。地震時せん断応力比は道路橋示方書の式⁹⁾を使用し、液状化に対する抵抗率 FL を求めた。

直下地震被害予測システム¹¹⁾の柱状図データの分析から、土質名称と塑性指数の関係を求め¹⁰⁾、液状化対象層は、シルト質細砂・微細砂のような砂質土の名称より粗い粒径の土層とし、砂質シルト以下の粒径の細かい土層名は液状化対象土層から除外した。

(2) 柱状図データの液状化判定

東京都土木技術研究所提案のタイプIIの液状化予測式¹⁰⁾に、地表最大加速度 $\alpha_{max}(gal) = 700, 600, 550, 500, 450, 400, 350, 300, 250, 200, 150, 100$ について液状化解析を行い、 FL 値と PL 値を求めた。 PL 値による液状化の可能性を、可能性大（15

表-3 α_{max} と領域凡例の液状化ランク値

領域凡例番号	地表最大加速度 $\alpha_{max}(gal)$ に対する液状化判定結果											
	700	600	550	500	450	400	350	300	250	200	150	100
1	○	○	○	○	○	○	○	○	△	△	×	×
2	○	○	○	○	○	○	○	△	△	×	×	×
3	○	○	○	○	○	△	△	△	×	×	×	×
4	○	○	○	○	○	○	○	△	△	×	×	×
5	○	○	○	○	○	△	△	△	×	×	×	×
6	○	○	○	○	△	△	△	×	×	×	×	×
7	○	○	△	△	△	△	△	×	×	×	×	×
8	△	△	△	△	△	△	×	×	×	×	×	×
9	○	○	○	○	△	△	△	×	×	×	×	×
10	○	○	○	○	△	△	△	×	×	×	×	×
11	○	○	○	△	△	△	△	×	×	×	×	×
12	○	○	○	○	△	△	△	×	×	×	×	×
13	△	△	△	△	△	×	×	×	×	×	×	×
14	△	△	△	△	△	×	×	×	×	×	×	×
15	△	△	△	△	×	×	×	×	×	×	×	×
16	○	△	△	△	×	×	×	×	×	×	×	×
17	○	△	△	×	×	×	×	×	×	×	×	×
18	△	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
19	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
20	○	○	△	△	×	×	×	×	×	×	×	×
21	○	△	△	×	×	×	×	×	×	×	×	×
22	△	△	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
23	○	○	△	△	×	×	×	×	×	×	×	×
24	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
25	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
26	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
27	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
28	○	○	○	○	△	△	△	×	×	×	×	×

凡例

○: 液状化可能性大、△: 液状化可能性少、×: 液状化可能性なし

$< PL$ ）、少（ $5 < PL \leq 15$ ）、なし（ $PL < 5$ ）の3ランクで表し、表層6mの砂層の構成と FL 値から液状化の可能性を大、中、小、なしの4ランクで表す（表層砂層の FL 値による判定）。両者を表-2のクロステーブル⁷⁾により統合し、判定値として、可能性大、少、なしの3ランク表示で液状化の可能性を示した。

(3) 液状化解析結果: 領域凡例の α_{max} と液状化判定値の関係

各領域凡例内の液状化解析から、 α_{max} と表-2のクロステーブルによる判定値の関係を表-3に示す。

液状化予測図で砂層が10m以上と厚い低地と港湾埋立地では、直下地震の衝撃型波形でも $\alpha_{max} = 300gal$ で液状化可能性大となった。液状化少と判定されている低地では砂層が10m以上と厚い場合は $\alpha_{max} = 450gal$ で液状化可能性大となり、砂層が薄くなると液状化しにくい結果になった。表-1の領域分類は、港湾埋立地と砂層の厚い低地は液状化しやすい結果となり、液状化の可能性を的確に

表している。

液状化少の河谷底と多摩低地（凡例 13,14,15）は、大きな加速度でも液状化なしと判定される傾向が見られたが、幾分液状化しやすい判定値にシフトし、液状化予測図との整合性をはかった。

液状化の可能性を示す領域凡例により全領域が区分され、凡例 28 に含まれる予測結果は予測地域外の柱状図の解析結果となり予測対象外として除外した。

4. 液状化予測図

任意震源に対する領域表示の液状化予測を行う。

東京都防災会議の想定地震のうち区部直下地震の断層震源（断層長さ：42 × 21km、マグニチュード 7.2、深さ 21km、傾斜 25°）¹¹⁾ から、表-3 の領域凡例ごとの α_{max} と液状化ランク値を使用し、領域表示による自動判定の液状化予測を行った。

加速度分布は、港湾地域と海寄りの低地で 450 ~ 500gal、内陸部に入ると小さくなり、葛飾区・足立区では 350 ~ 400gal になる。液状化の判定に際しては、加速度分布の上限の値を表-3 のランク値として採用した。

東京首部の領域判定の液状化予測結果を図-3 に示す。

低地部においても液状化可能性大と少の地域が区分される結果が得られ、江東区の南部から江戸川区にかけて液状化可能性大の地域が広く分布している。

5. おわりに

液状化予測のための領域凡例を作成し、柱状図の液状化解析と関連させ、任意震源に対する液状化予測を矛盾なく自動判定できることがわかった。

予測にあたり、河谷底や多摩低地では柱状図の不足から、解析値を液状化予測図にシフトせざるを得ない領域凡例もあった。今後、このような地域について再検討を加える予定である。

参考文献

- 1) 小川 好、関根 淳、草野 郁、宮崎藤夫：東京直下地震被害予測システムの開発、土木学会 第 54 回 年次学術講演会講演概要集、第 1 部(A)
- 2) 東京都土木技術研究所：東京の液状化予測図、1999.
- 3) 草野 郁、阿部 博、小川 好、中山 俊雄：東京低地の液状化予測、土木学会論文集、No418/Ⅲ-12,1990
- 4) 東京都港湾局：東京港埋立地盤の液状化予測、1991.
- 5) 小川 好、岡本 順：武蔵野台地・多摩地域での液状化の検討、東京都土木技術研究所年報、1996.
- 6) 東京都都市計画局：地震に関する地域危険度測定調査報告書、1999.
- 7) 草野 郁：細粒分を含む砂質土の液状化強度推定法、土木学会論文集、No.418/Ⅲ-13,1990
- 8) 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、No.406/Ⅲ-11, 1989
- 9) 日本道路協会：道路橋示方書・耐震設計編、1996
- 10) 草野 郁：レベルⅡ地震動を想定した東京低地の液状化予測、第25回地震工学研究発表会講演論文集、1999
- 11) 東京都防災会議：東京における直下地震の被害想定に関する調査報告書（被害想定手法編）、1997



図-2 東京区部直下地震における首部の液状化予測結果