

プレート境界型地震時における甲府盆地の 局所的な地盤構造を考慮した液状化危険度評価

大澤 史崇¹・鈴木 猛康²・宮本 崇³

¹学生会員 山梨大学大学院 医学工学総合教育部 (〒400-0016 山梨県甲府市武田4-3-11)

E-mail:g12mh006@yamanashi.ac.jp

²フェロー 山梨大学大学院 医学工学総合教育部 教授 (〒400-0016 山梨県甲府市武田4-3-11)

E-mail:takeyasu@yamanashi.ac.jp

³正会員 山梨大学 工学部 土木環境工学科 助教 (〒400-0016 山梨県甲府市武田4-3-11)

E-mail:tmiyamoto@yamanashi.ac.jp

山梨県甲府盆地を対象として、局所的な地盤構造の変化とプレート境界型地震特有の継続時間の長さを考慮した簡易液状化判定を行う。従来の地震被害想定に用いられた250mメッシュ内の地盤構造の変化を考慮するため、ボーリングデータを収集し新たに1次元地盤モデルを作成した。また、継続時間に関しては、 F_L 値の計算時におけるプレート境界型地震動に対する補正係数を0.5に減少させることで考慮した。これら2点を同時に考慮した簡易液状化判定の結果、約6割の地点で液状化危険度ランクが上昇した。これにより、従来は液状化危険度が低いと考えられていた地域においても液状化が発生する可能性があることが示された。

Key Words : liquefaction, interplate earthquake, underground structure, Kofu basin

1. はじめに

山梨県では、東海地震や南海トラフ巨大地震などのプレート境界型地震による甚大な被害が懸念されており¹⁾、これらの地震による災害に対する適切な予測と対策が喫緊の課題となっている。

主要な地震災害の一つに、液状化が挙げられる。山梨県域では、過去に釜無川・笛吹川などの河川が幾度も氾濫を繰り返したことにより、甲府盆地を中心としたこれらの河川の現流域や過去の流域において液状化しやすい砂・礫層が厚く堆積している。安政東海地震・大正関東地震時における甲府盆地の液状化被害が多く報告されている²⁻⁷⁾ことから、将来のプレート境界型地震の発生時においても震源域から遠く離れた山梨県でも甲府盆地を中心に大規模な液状化の発生が懸念される。

平成17年に実施された山梨県東海地震被害想定調査では、250m四方を1メッシュとした1次元地盤モデルを利用し、後述する道路橋示方書⁸⁾による手法に基づいて県域の液状化危険度が判定されている。しかし、実際には同一メッシュ内で表層地盤が著しく変化する箇所が少ないが、各地盤モデルはメッシュ内に存在するボーリ

ングデータの中から最も掘削長が長いものに基づいて作成されており、必ずしもメッシュ内で液状化危険性の高い箇所を抽出したモデル、すなわち安全側の液状化危険度判定を導くモデルではない。また近年、プレート境界型地震による地震動継続時間の長さに起因して、液状化が起こる危険性が上昇することが指摘されているが⁹⁾、この点についても既往の液状化危険度判定において十分に考慮されていない。

これらのことを考慮し、本研究では同一メッシュ内の地盤構造の変化とプレート境界型地震による地震動の継続時間の長さの2点を考慮した液状化危険度判定を実施し、従来の想定結果と比較することにより、これらの点が山梨県域の液状化危険度判定に与える影響を評価することを目的とする。

2. 現在の山梨県の液状化判定手法

(1) 想定手法

山梨県の東海地震被害想定調査では、地下水位を地表に設定し、地表20mまでに砂質土または礫質土が分布している地域を対象として、以下に述べる P_L 値による簡

易液状化判定方法⁹⁾を採用している。まず、以下の式から求められる動的せん断強度比 R と地震時せん断応力比 L の比から、ある深さ x における液状化抵抗率 F_L を求める。これを深さ方向に重み付けしながら積分をとることによって、その地点における液状化危険度を示す指標 P_L の値を求めている。

$$R = C_w R_L \quad (2a)$$

$$L = \tau_{MAX} / \sigma_v' \quad (2b)$$

$$F_L = R / L \quad (2c)$$

$$P_L = \int_0^{20} (1 - F_L)(10 - 0.5x) dx \quad (2d)$$

ここで、 C_w は地震動特性による補正係数、 R_L は繰返し三軸強度比、 τ_{MAX} はSHAKEによる解析から得られる最大せん断応力、 σ_v' は有効上載圧、 x は地表からの深さである。このようにして得られる P_L 値の結果に応じてその地点の液状化危険度を4つのランクに分け、甲府盆地全域で評価を実施している。

また、評価の際の地盤モデルは次の手順によって設定されている。まず、250m四方を1メッシュとして、各メッシュ内で最も掘削長が長くかつ N 値の記載があるボーリングデータをそのメッシュの代表データとしている。次に、代表データの深度方向を5m毎に区切り、各区間内で最大層厚を示す層相とその層相における N 値の平均値を、その区間の層相と N 値とする。各層の物性値は、山梨県東海地震被害想定調査報告書に記載される、層の土質分類毎に定められた値が用いられている。

(2) 想定結果

現在の山梨県の液状化危険度分布図を図2.1に示す。

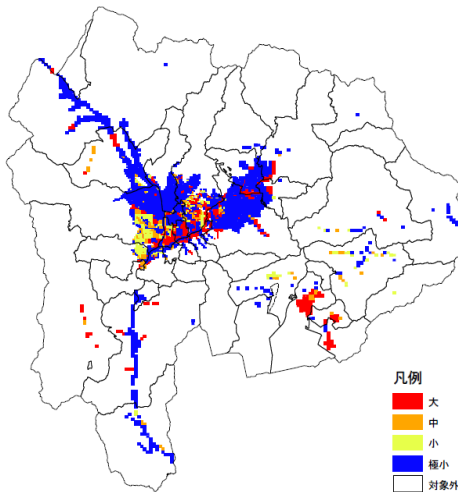


図2.1 山梨県の液状化危険度分布図

本想定結果では、甲府盆地南部、笛吹川や釜無川など

の河川付近と両河川の合流地点で液状化危険度が高くなっている。また、山梨県の中核機能を担っている甲府市においても広範囲で液状化危険度が高い結果となっており、災害時には甚大な被害が出る事が考えられる。なお、白い地域は液状化判定の対象外地域のため、計算が実施されていない。

3. 液状化判定手法の修正

前節における従来の液状化危険度想定手法に対し、メッシュ内の地盤構造の変化とプレート境界型地震による地震動の継続時間1間の長さの2点を考慮した液状化危険度の想定を行った。

(1) 対象地盤と地盤モデルの作成

250mメッシュ内の地盤構造の変化を確認するため、山梨県域におけるボーリングデータの収集¹⁰⁾を行った。収集したデータの中から、本稿における解析では県域の中でも液状化の危険性が高いと考えられる甲府市、中央市、南アルプス市、笛吹市、甲斐市、市川三郷町を対象とし、各地域についてボーリングデータに基づく1次元地盤モデルを作成した。

ボーリングデータに基づき、深度方向について N 値、もしくは土質区分の変化する深さで層を区切り、深度20mまでの地盤モデルを作成した。地盤モデルの N 値にはボーリングデータの値を利用し、地盤物性値には従来の被害想定と同様の値を用いた¹⁾。図3.1に、本研究で作成した地盤モデルと、同一地点での既往の地盤モデルを比較した例を示す。なお、作成した地盤モデル1、2は同一メッシュ内に存在する異なるボーリングデータを用いて作成している。

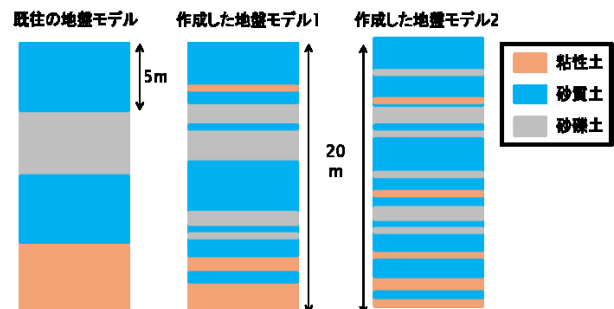


図3.1 地盤モデルの比較

(2) 入力地震動

P_L 値の計算過程中、式 (2b) における τ_{MAX} の値は、従来と同様にSHAKEによる1次元地震応答解析から求められる値を使用した。ここで、工学的基盤からの入力地震動として、内閣府中央防災会議が公開している想定東海地震の地震波を用いた。

(3) 継続時間の影響の考慮

式 (2a) における地震動特性による補正係数 C_w は、プレート境界型地震では一般には1.0とされている。一方、マグニチュードが大きく地震動の継続時間が長い場合には、液状化危険度が高くなることから、吉田ら¹¹⁾は簡易判定法と有効応力解析に基づく詳細法の比較に基づき、プレート境界型地震動に対する補正係数を

$$C_w = 0.5 \quad (3a)$$

とすることを提案している。このほか、2011年東北地方太平洋沖地震後に、国土交通省⁷⁾と千葉県⁸⁾などがプレート境界型地震動に対する補正係数 C_w についてそれぞれ報告している。前者は、2011年東北地方太平洋沖地震による関東全域の液状化被害から、 C_w は 1.0 のままで大きな問題はなく変更する必要はないとしている。後者では、千葉県の地盤に関して C_w を 0.8 にまで減少させる必要があるという検討結果が報告されている。

これらの報告の中から、全国の地盤データを利用し全国平均として C_w の補正を論じていると共に、既往の研究の中で最も安全側の液状化結果を得ることが出来ると判断される吉田らの研究成果を本研究では参考とし、式 (3a) のように C_w をとることで地震動の継続時間の影響を考慮することとした。

3. 解析結果

(1) 地盤構造の影響を考慮した場合

本稿で地盤モデルを作成した59地点について、従来の地盤モデルと本稿による地盤モデルを用いた場合の液状化危険度評価結果を比較し、その結果を表3.1にまとめた。

表3.1 地盤構造を考慮した液状化危険度の結果

地盤を考慮 (割合)					
既往の結果 今回の結果	極小	小	中	大	計
極小	0 (0.0%)	18 (30.5%)	1 (1.7%)	0 (0.0%)	19
小	0 (0.0%)	16 (27.1%)	9 (15.3%)	0 (0.0%)	25
中	0 (0.0%)	0 (0.0%)	7 (11.9%)	0 (0.0%)	7
大	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	8 (13.6%)	8
計	0 (0.0%)	34 (57.6%)	17 (28.8%)	8 (13.6%)	59

解析からは、 P_L 値が大きく変化する箇所が多数存在し、全体の約5割のメッシュにおいて、危険度ランクが異なる結果となった。特に影響が大きかったのは、従来は粘土層とされていた層内に砂層や礫層が存在している場合である。この場合には液状化危険度は上昇し、これまで安全と考えられていた地域でも液状化の可能性があると判断されることとなる。

一方で、約1割の地点では、危険度評価のランクは変わらないものの P_L 値が減少する結果が得られた。これは、

既往の液状化危険度が大きであった地点で多く見られた。その理由として、その様な地域の既往のメッシュは砂層、礫層が厚く堆積しており、そこにボーリングデータを加味すると粘土層や固い層が反映され、最終結果に影響を及ぼしたと考えられる。

(2) 継続時間の影響を考慮した場合

次に、既存の地盤モデルを利用し、地震動特性に関する補正係数 C_w を 1.0 とした場合と 0.5 とした場合の液状化危険度評価の結果の比較を、表3.2にまとめた。

表3.2 継続時間を考慮した液状化危険度の結果

継続時間を考慮 (割合)					
既往の結果 今回の結果	極小	小	中	大	計
極小	10 (16.9%)	9 (15.3%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	19
小	0 (0.0%)	17 (28.8%)	8 (13.6%)	0 (0.0%)	25
中	0 (0.0%)	0 (0.0%)	7 (11.9%)	0 (0.0%)	7
大	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	8 (13.6%)	8
計	10 (16.9%)	25 (42.4%)	16 (27.1%)	8 (13.6%)	59

この場合も、全体の約3割のメッシュにおいて1液状化危険度のランクが上昇する結果となった。一方で、既存の地盤メッシュが粘土層のみで表されている場合には、 C_w を 0.5 にした影響を見ることは出来ず、危険度が極小のままの地点が10地点あった。

(3) 両方を同時に考慮した場合

続いて、地盤構造と継続時間の2つを同時に考慮して液状化危険度評価を行い、従来の評価結果と比較した結果を表3.3にまとめた。

表3.3 両方を同時に考慮した液状化危険度の結果

両方を同時に考慮 (割合)					
既往の結果 今回の結果	極小	小	中	大	計
極小	0 (0.0%)	17 (28.8%)	2 (3.4%)	0 (0.0%)	19
小	0 (0.0%)	7 (11.9%)	18 (30.5%)	0 (0.0%)	25
中	0 (0.0%)	0 (0.0%)	6 (10.2%)	1 (1.7%)	7
大	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	8 (13.6%)	8
計	0 (0.0%)	24 (40.7%)	26 (44.1%)	9 (15.3%)	59

これまでの2つの方法より数値が大きく異なる結果が得られ、6割を超える地域で液状化危険度のランクが上昇する結果となった。

(4) 同一メッシュ内に複数のボーリング記録がある場合

最後に、同一メッシュ内で複数のボーリングデータがあった場合に、それぞれのボーリングデータから作成される地盤モデルによって異なる P_L 値が得られた例を表3.4に示す。

既往の結果では、 P_L 値は3.8で液状化危険度は小であった。しかし、1本目のボーリングデータを用いた結果は4.9で危険度は小、2本目は5.7で危険度が中に上昇した。この様に、同一メッシュ内における地盤特性の変化が液

状化危険度評価結果に与える影響は無視できるものではなく、同一メッシュ内に複数のボーリングデータがある場合など、地盤モデルを作成する際の参照情報がある複数ある場合は、それらの中で最も安全側の評価となる結果を利用するなどの措置が必要であると考えられる。

表3.4 同一メッシュ内での相違

既往	両方を考慮	
3.8	地盤1	4.9
	地盤2	5.7

4. まとめ

本稿では、プレート境界型地震特有の継続時間の長さ、より詳細な地盤構造を用いた液状化危険度評価の結果と、既往の液状化危険度評価の結果を比較した。

山梨県内の59か所を対象に解析を行った結果、これらの点を考慮した場合には6割を越える地点で液状化危険度のランクが上昇し、これまで液状化危険度が低く安全と思われていた地域でも、液状化の可能性が存在する地域が多くあることが分かった。

一方で、危険度ランクが極小から大にまで上昇するような特異な結果は今回の解析では得られなかったが、これは今回収集したボーリングデータの一部が従来の地盤メッシュ作成においても使用されていたためと考えられる。局所的な地盤構造の変化の影響を検証するために、データの収集を継続していきたいと考えている。

今後は解析対象の地域を広げ、甲府盆地全域で地盤構造と継続時間の2点を考慮した液状化判定を行う。さらに、有効応力解析による液状化危険度の評価と簡易液状

化判定法で得られた結果との比較から、山梨県における適切な補正係数 C_w の値についても検討していきたい。

参考文献

- 1) 山梨県：山梨県東海地震被害想定調査報告書，2004
- 2) 甲府市：甲府市史 通史編 第二巻，pp.623-624, pp.908-912,
- 3) 甲府市史 通史編 第三巻，pp.492-498
- 4) 富士吉田市：富士吉田市史 通史編 第三巻，pp.561-564
- 5) 昭和町：昭和町誌，pp.76-89
- 6) 玉穂町：玉穂町誌，pp.10-11, 1453, 1455-1456
- 7) 楡形町：楡形町誌，pp.89-91
- 8) 社団法人 日本道路協会：道路橋示方書（V耐震設計編）・同解説，2011
- 9) 地盤工学会：地震時における地盤災害の課題と対策 2011年東日本大震災の教訓と提言，pp.15-16, 2011.7
- 10) 公益社団法人 地盤学会：関東の地盤，公益社団法人 地盤学会，pp.94-98, 2010
- 11) 吉田望・大矢陽介・澤田純男・中村晋：海溝型長継続時間地震動に対する簡易液状化判定法の適用性，日本地震工学会論文集，第9巻，第3号，pp.28-47, 2009
- 12) 国土交通省 液状化対策技術検討会議：「液状化対策技術検討会議」検討成果，2011
- 13) 東日本大震災千葉県調査専門委員会：第6回東日本大震災千葉県調査検討専門委員会 議事概要，pp.2,2012

Evaluation of Liquefaction Potential Considering Local Underground Structures of Kofu Basin under Interplate Earthquake

Fumitaka OSAWA, Takeyasu SUZUKI and Takashi MIYAMOTO

Liquefaction potential in Kofu basin under interplate earthquakes is evaluated considering local underground structures. 1D underground structure models are constructed based on new boring data. In order to consider the effect of long period ground motions for liquefaction potential, a correction factor for liquefaction strength is set as a half of conventional method. As a result of the evaluation, ranks of liquefaction potential rose in more than 60 % of target places.