

松江平野の地震ハザードマップの作成および震動特性

松江工業高等専門学校 正会員 ○河原 荘一郎

松江工業高等専門学校 非会員 佐藤 怜唯

1. はじめに

近年、地震や大雨による土砂災害や地盤の液状化現象が問題となっている。島根県内の液状化危険度マップ¹⁾は作成されているが、使用されているボーリングデータが少なく精度が低い。また、揺れやすさマップは作成されているが、使用しているボーリングデータが少ないため不十分である。島根県内では出雲平野の液状化危険度マップと揺れやすさマップは作成されている²⁾が、松江平野のものは作成されていない。

本研究では松江平野の液状化解析および地震応答解析を行い、ハザードマップの作成を行った。また、作成したハザードマップと松江平野の微地形図³⁾を比較し考察した。

2. 解析方法

(1) 対象地域

本研究における対象地域は、松江平野である。松江平野は宍道湖東岸に位置する東西 4 km、南北 2.5 km の三角州平野であり、平野を形成させた主な川は宍道湖と中海を南北に結ぶ大橋川である。また、宍道地溝帯の一部で、市街地の大部分は標高 3 m 以下の低平地である。図 1 に松江平野の微地形図を示す。

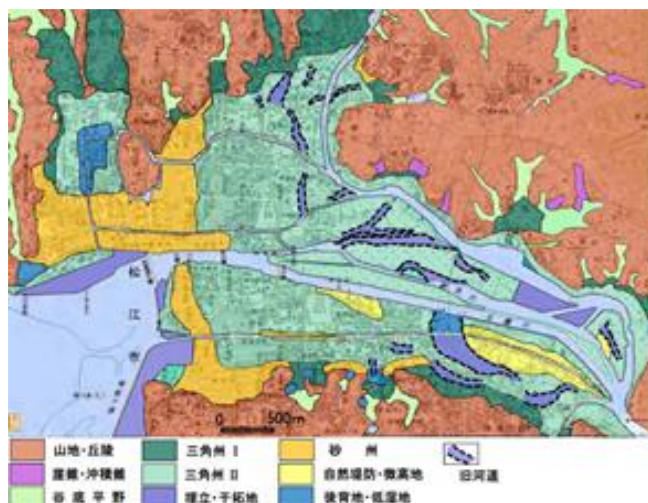


図 1 松江平野の微地形図³⁾

(2) 地盤モデル

液状化解析と地震応答解析には「全国電子地盤図」⁴⁾を用いた。全国電子地盤図とは、2007 年に地盤工学会が提起した地盤モデル作成システムで、対象地域を 250m メッシュで区分けし、その中のボーリングデータを平均化することで地盤モデルを作成することができる。利点として、所有権や著作権の問題が発生しないこと、データのファイル形式が XML 形式であるためデータを活用できることが挙げられる。

(3) 液状化解析

液状化解析には、液状化判定ソフトである「CKC-Liq」⁵⁾を用いた。作成した地盤モデルのデータを CKC-Liq に入力し解析を行い、液状化指数である PL 値により液状化のしやすさを判定した。PL 値とは液状化危険度を表す指標のひとつで、液状化抵抗率である FL 値を求め、それに深度による重さを付けたものである。得られたデータはフリー GIS ソフトである「MANDARA」⁷⁾を使用し、マップに起こした。

(4) 地震応答解析

地震応答解析には、成層地盤地震応答解析プログラム「k-SHAKE」⁸⁾を用いた。k-SHAKE は、設定した成層地盤(一次元地盤)に工学的基盤面の地震波を入力することで建物入力位置の地震波の作成が可能で、各層での地震波応答解析に幅広く対応しているプログラムである。これに全国電子地盤図⁴⁾の 250m メッシュ地盤モデルのデータを入力し、地表面の加速度から算出した計測震度により揺れやすさを判定した。

3. 液状化解析結果

(1) 入力地震動

液状化判定には、道路橋示方書⁹⁾に基づいたレベル 1 地震動、レベル 2 地震動(タイプ I、タイプ II)、建築基礎構造設計指針に基づいた地震動の基準を用いた。レベル 1 地震動とは中規模な地震であり、比較的頻繁に起きている地震のことである。レベル 2 地震動とは発生確率は低い極めて強い地震のことであり、タイプ I はプレート境界型、タイプ II は内陸直下型でマグニチュード 7 程度の地震である。また、建築基礎構造設計指針の地震動はマグニチュード 8 程度、地表

キーワード 液状化, 揺れやすさ, 微地形, 松江平野, ハザードマップ

連絡先 〒690-8518 島根県松江市西生馬町 14-4 Tel: 0852-36-5263 e-mail: kawahara@matsue-ct.jp

面最大加速度は 200cm/s^2 の地震動である。

(2) 判定基準

解析によって得られた PL 値は、液状化の可能性が「低い」(PL 値 ≤ 5)、「高い」($15 \geq \text{PL 値} > 5$)、「極めて高い」(PL 値 > 15)の3段階でマップに表した。

(3) 地盤条件

入力した地盤の条件を表1に示す。

表1 液状化解析の地盤条件

土質 分類	γ_t [kN/m ³]	γ_{sat} [kN/m ³]	D_{50} [mm]	F_c [%]	非液状化 指定
砂質土	17.5	19.5	0.150	30	0
粘性土	15.5	17.5	0.025	75	0
礫	19.0	21.0	2.0	0	0
岩盤	19.0	21.0	0	0	1

γ_t : 湿潤単位体積重量, γ_{sat} : 飽和単位体積重量
 D_{50} : 平均粒径 F_c : 細粒分含有率

(4) 結果と考察

図2～図5は作成した液状化危険度マップである。レベル1地震動では、大橋川周辺地域の PL 値が大きくなっており、液状化の可能性が高くなっていることがわかる。橋北地域では特に北田町の京橋川沿いや、島根大学東側の朝酌川沿いで PL 値が大きくなっている。これらの地区は三角州地帯であ

り、標高が低い。橋北地域では他に宍道湖大橋周辺や松江城西側地域で PL 値が大きくなっている。宍道湖大橋周辺は砂州であり、三角州地帯より標高はわずかに高い。また、松江城西側地域は低湿地となっており、非常に水はけが悪い地域である。

また、レベル2地震動(タイプI)では、全体的に PL 値が大きく液状化しやすいという結果になった。大橋川周辺や宍道湖埋め立て地、橋北地域全域の PL 値が大きくなっている。レベル2地震動(タイプII)では、レベル2地震動(タイプI)の結果と大きな差は見られなかった。建築基礎構造設計指針に基づいた地震動でも解析を行ったが、他の地震動に比べて全体的に PL 値が小さくなった。これは出雲平野の液状化危険度マップ²⁾にもいえることで、なぜ PL 値が小さくなったのかは現時点では不明である。

作成した液状化危険度マップと微地形図³⁾⁴⁾との比較をすると、特に液状化危険度が高くなった地点は、河川沿い、旧河道、松江城周辺となった。これらの地点では厚い粘性土の上に砂質土が存在している。一般的に地震による液状化は地下に厚い泥層があり、表層部を砂層が覆っている地点で発生しやすいといわれているため、これらの地点の液状化危険度が高くなったと考えられる。図6にレベル1地震動の地震波を入力した場合に PL 値が高くなった地域の地盤モデルの一

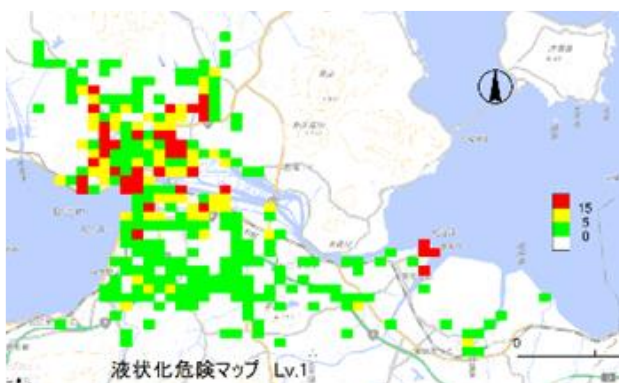


図2 液状化マップ (レベル1地震動)



図4 液状化マップ (レベル2地震動タイプII)

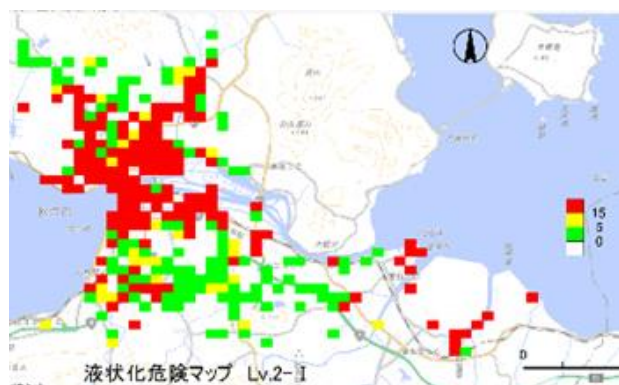


図3 液状化マップ (レベル2地震動タイプI)



図5 液状化マップ (建築基礎構造設計指針)

部を示す。左の図は島根大学東側の朝酌川沿い地域、中央の図は北田町の京橋川沿い地域、右の図は黒田町の松江城西側地域である。

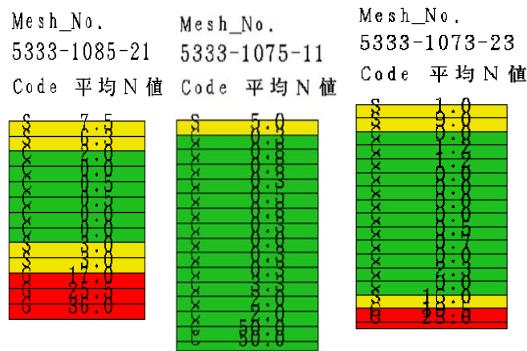


図6 PL値が高くなった地域の地盤モデル

4. 地震応答解析結果

(1) 入力地震動

地震応答解析は、日本建築センターが公開している模擬波のレベル1地震動¹⁰⁾を工学的基盤に与え行った。この模擬波の計測震度は4.7、震度階級は震度5弱である。また、継続時間は60秒、波形時間刻みは0.01秒とした。図7に模擬波形図を示す。

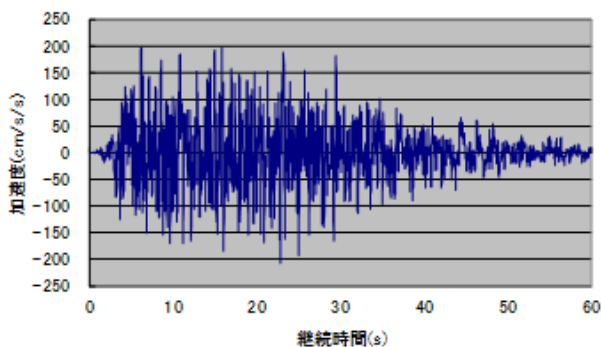


図7 模擬波（レベル1地震動）

(2) 地盤条件

解析を行う際に入力するせん断波速度 V_{si} は式(1)(2)によって求めた数値を用いる⁸⁾。

$$\text{粘性土層の場合 } V_{si} = 100N_i^{1/3} \quad [\text{m/s}] \quad (1)$$

$$\text{砂質土層の場合 } V_{si} = 80N_i^{1/3} \quad [\text{m/s}] \quad (2)$$

N_i : 標準貫入試験によるN値

また、入力した地盤の条件⁸⁾を表2に示す。

解析を行い得られた地表面の加速度を(3)式で計測震度 I に変換し、4段階でマップに表示した。

$$I = 0.547 + 1.848 \times \log_{10}(a_{\max}) \quad (3)$$

$a_{\max}$: 最大加速度 $[\text{cm/s}^2]$

(3) 結果と考察

図8は作成した揺れやすさマップである。松江平野全域で

表2 地震応答解析の地盤条件

土質分類	γ_t [kN/m ³]	減衰定数 [%]	ひずみ依存特性 曲線設定
砂質土	18.0	2.0	土研式(沖積砂質土)
粘性土	16.0	2.0	土研式(沖積砂質土)
礫	20.0	2.0	土研式(沖積砂質土)
岩盤	20.0	2.0	土研式(沖積砂質土)



図8 揺れやすさマップ

計測震度5.0以上の地点あるいは計測震度4.5~4.9の地点がほとんどであった。一般に計測震度4.5~4.9は震度階で表すと震度5弱、計測震度5.0~5.4は震度階で表すと震度5強である。作成した揺れやすさマップを見ると、計測震度が特に大きくなった地点は、橋北地域では京橋川沿い、朝酌川沿い、松江城周辺、橋南地域では、古志原地区、浜乃木地区となった。一般的に、地震は表層に軟弱地盤があり、それが厚くなるほど揺れが増幅されるといわれている。作成した揺れやすさマップと微地形図³⁴⁾との比較をすると、これらの地域は三角州や低地であり、粘性土層が厚く堆積している地盤のため、揺れやすいと考えられる。

作成した液状化危険度マップと揺れやすさマップとの比較をすると、液状化しやすい地域と揺れやすい地域は一致している傾向が高いことが分かった。これは、どちらのマップもN値と土質区分が結果に影響するためN値が小さい地盤ほど液状化しやすく揺れやすいためである。

既往の研究¹¹⁾では、鳥取県西部地震のアンケートによる震度が推定されている。鳥取県西部地震は本研究で作成した揺れやすさマップに用いた地震動よりとほぼ同等の規模の地震である。松江平野のデータは多くはなかったが、本研究で作成した揺れやすさマップと比較すると、揺れやすい地域が概ね一致していることが分かった。

5. おわりに

本研究では松江平野の液状化危険度マップと揺れやすさマップを作成し、微地形図や土質区分と比較することを目的とした。その結果を以下に示す。

- 1) 作成した液状化危険度マップと微地形図²⁾³⁾との比較をすると、特に液状化危険度が高くなった地点は、河川沿い、旧河道、松江城周辺となった。これらの地点では厚い粘性土の上に砂質土が存在している。一般的に地震による液状化は地下に厚い泥層があり、表層部を砂層が覆っている地点で発生しやすいといわれているため、これらの地点の液状化危険度が高くなったと考えられる。
- 2) 作成した揺れやすさマップと微地形図²⁾³⁾との比較をすると、計測震度が特に大きくなった地点は、橋北地域では京橋川沿い、朝酌川沿い、松江城周辺、橋南地域では、古志原地区、浜乃木地区となった。一般的に、地震は表層に軟弱地盤があり、それが厚くなるほど揺れが増幅されるといわれている。これらの地域は三角州や低地であり、粘性土層が厚く堆積している地盤のため、揺れやすいと考えられる。
- 3) 液状化危険度マップと揺れやすさマップとの比較をすると、液状化しやすい地域と揺れやすい地域は相関があると考えられる。
- 4) 既往の研究¹⁾で推定された鳥取県西部地震のアンケートによる震度と本研究で作成した揺れやすさマップを比較すると、揺れやすい地域が概ね一致していた。

今後の課題は、他平野の地盤図及び地震ハザードマップを作成することである。

参考文献

- 1) 島根県地震・津波被害想定調査報告書（平成30年3月）
第3章 地震動の想定，2018
- 2) 遠藤桃花：出雲平野の地震ハザードマップと震動特性，
松江工業高等専門学校環境・建設工学科卒業論文，
2020
- 3) 林正久：山陰諸平野の微地形分類のメディア化，pp.1-4，
2013
- 4) 防災科研：J-SHIS Map 地震ハザードステーション
<https://www.j-shis.bosai.go.jp/> (2021.1.21 確認)
- 5) 地盤工学会 全国電子地盤図：松江市 [2014年公開,2013
年作成]
<https://203.203.55.120/mapguide/jibanview34/jibanviewer.php/> (2021.1.21 確認)

- 6) 中央開発 王寺秀介：電子地盤図を用いた液状化解析
演習 地盤工学会関東支部，pp.1-28，2018.
- 7) フリーGIS ソフト MANDARA10 入門 古今書院
pp.92-100，2018
- 8) 落合努：電子地盤図を用いた地震応答解析に関する講
習会 地盤工学会関東支部，pp.1-76，2018.
- 9) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，V 耐震設計編，
pp.46-54,68-70，2017.
- 10) 日本建築センター：日本建築センター模擬波(基盤波)
<https://www.bc.j.or.jp/download/wave/> (2021.1.15
確認)
- 11) 河原莊一郎，森伸一郎：アンケート震度に基づいた島
根県内の高密度震動特性，第13回日本地震工学シンポ
ジウム論文集，pp.2027-2034，2010