

液状化発生地点の特徴評価に向けた共分散構造分析

千葉大学大学院融合理工学府地球環境科学専攻都市環境システムコース 学生会員 ○柳瀬 匡雄
千葉大学大学院工学研究院 正会員 丸山 喜久

1. 研究の背景と目的

2011 年東北地方太平洋沖地震によって、青森県から神奈川県までのおよそ南北 650km の広域な範囲で液状化が発生した¹⁾。液状化は、土構造物、橋梁やライフライン施設等に甚大な被害を与えることがある。したがって、将来起こりうる地震に対して液状化が発生する危険がある地点をリアルタイムに予測し、応急復旧に役立てることは有意義と考えられる。

関東地方は大河川の沖積作用による低地や埋立地の面積が多いため、東北地方太平洋沖地震では液状化が多数発生した。一方、東北地方は津波の襲来によって液状化の痕跡が消えてしまったこともあるが、海岸近くまで山地・丘陵が迫っているため、液状化による被害が少ない。つまり、液状化の発生には、地形的特徴の違いが大きく影響したものと考えられる¹⁾。

そこで本研究では、共分散構造分析²⁾を用いて液状化発生地点を予測する手法の構築を目的とする。さらに、本研究の液状化の危険性評価結果と、既存の液状化危険度マップとの比較を行う。本研究の最終目標としては、今後どの地域で液状化発生の危険性が高いのかを予測することを目指している。

2. 対象地域と使用データ

本研究では千葉県を対象に分析を行った。使用したデータは国土交通省が整備する国土数値情報³⁾と若松・松岡の微地形区分⁴⁾である。前者は標高、傾斜角などの地形データが 5 次メッシュ (250m メッシュ) 毎に格納されている。後者には微地形が 5 次メッシュ (250m メッシュ) 毎に格納されている。今回使用した素因は標高、傾斜方向、傾斜角、起伏量、微地形、河川からの距離、計測震度⁵⁾の 7 つである。また、本研究の東北地方太平洋沖地震による液状化発生地点は、若松らがまとめたデータを用いた¹⁾。

3. パスモデルの構築と適合度指標の検討

誘因 (潜在変数) が各素因 (観測変数) に影響し、さらに素因をいくつかの要因にまとめることができるものと仮定して、要因間と液状化発生確率との相関を求める。ここで、観測変数は平均 0、標準偏差 1 に標準化してある。なお、基本モデルは既往研究⁶⁾を参考にした (図-1)。

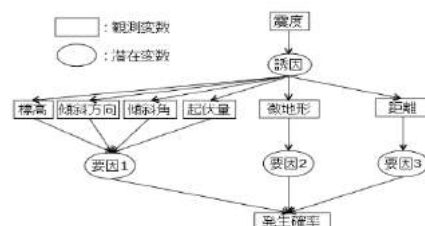


図-1 本研究で仮定した基本モデル

メッシュごとの液状化発生確率 S_q を次式により求める⁷⁾。

$$S_q = P\{T_q | C_{1j}, C_{2j}, \dots, C_{nj}\} \quad (1)$$

$$P(T_q | C_{ij}) = N_d / N_{ij} \quad (2)$$

ここで、 T_q はメッシュ q において液状化が発生すると想定される事象、 C_{ij} はメッシュ q における「 i 番目の素因における j 番目のカテゴリ」、 N_d は i 番目の素因における j 番目のカテゴリに属する既存の地すべり地形のメッシュ数、 N_{ij} は i 番目の素因におけるカテゴリ j のメッシュ数である。

S_q をベイズアンモデルで算出した後、図-1 の基本パスモデルの適合度を算出する。さらに、基本モデルから観測変数を 1~2 個減らしたモデルの適合度を評価し、適合度が高かった上位 5 つのモデルを選定した。結果を表-1 にまとめる。ここで、適合度指標である RMSEA、AIC は小さいほど、CFI、TLI は 1 に近いほど、良好なモデルとなる²⁾。

表-1 比較的適合度の良いパスモデルの適合度指標

削除した要因	RMSEA	CFI	TLI	AIC
傾斜角	0.194	0.781	0.54	1476098
震度	0.095	0.968	0.916	1408171
標高+距離	0.201	0.85	0.624	1247599
標高+震度	0.021	0.999	0.995	1246561
起伏量+震度	0.026	0.998	0.993	1233879

4. モデルの的中率の検討

前章で示した 5 つのモデルと基本モデルについて、それぞれの的中率を算出し、最もの中率の高いモデルを採用する。具体的には、横軸にパスモデルをもとに算出した液状化発生確率を、縦軸にその度数および累積頻度をとる。さらに、負極側から液状化発生地点の累積頻度曲線を、正極側から非液状化発生地点の累積頻度曲線を描く (図 2)。つまり、液状化発生地点を A グループ、非液状化発生地点を B グループとすると、

Key Words: 共分散構造分析, 液状化, 東北地方太平洋沖地震, パスモデル

連絡先: 〒263-8522 千葉県千葉市稲毛区弥生町 1-33 千葉大学大学院融合理工学府地球環境科学専攻 TEL043-290-3555

$$F_A(X) = 1 - \int_{-\infty}^X f_A(x)dx \quad (\int_{-\infty}^{+\infty} f_A(x)dx = 1) \quad (3)$$

$$F_B(X) = \int_{-\infty}^X f_B(x)dx \quad (\int_{-\infty}^{+\infty} f_B(x)dx = 1) \quad (4)$$

となり、累積度数分布 $F_A(X)$, $F_B(X)$ の交点が判別の閾値 a となる⁷⁾。すなわち、

液状化発生の危険がある領域: $X \geq a$

液状化発生の危険がない領域: $X < a$

であり、的中率は式(5)のようになる。

$$P = 1 - F_i(a) \quad (i=A,B) \quad (5)$$

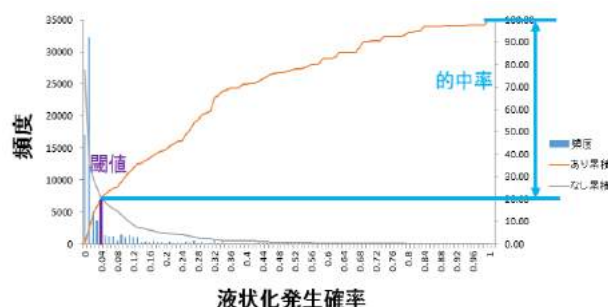


図-2 基本モデル的中率の評価

表-1 に示した 5 つのモデルと基本モデルについての的中率を算出した結果、基本モデルが最も高い的中率(79.7%)を示した。したがって、本研究では基本モデルを採用することにした。

5. 採用したモデルの考察

基本モデルのパス係数を図-3 に示す。図-3 より、液状化の発生には、微地形の影響を表す要因 2 が最も影響を与えていることがわかる。また、要因 1 の中では標高の相関が最も低く、起伏量は負の相関を示した。

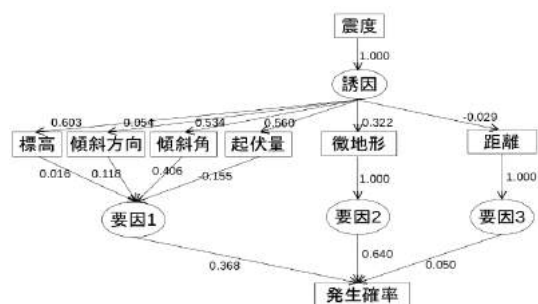


図-3 基本モデルのパス係数

次に図-3 のパスモデルで抽出される液状化発生の危険箇所についての考察を行う。実際の液状化地点のデータと本研究で算出した液状化発生予測結果を比較し、結果を GIS 上に表示した(図-4)。本研究の液状化地点の的中精度は 80.5%と良好な結果となった。一方、千葉県の一部を中心に、実際の液状化発生地点よりも過度に液状化発生の危険があるものと推定さ

れた。具体的には、県北部のローム台地の標高が低い地点で、液状化の発生の危険性があるものと推定された。

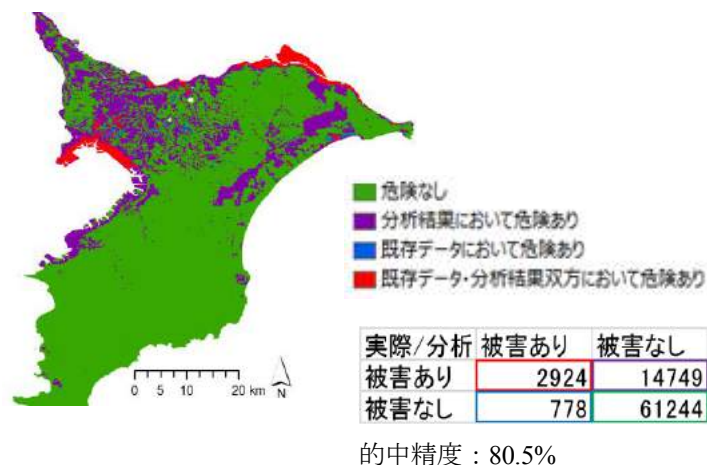


図-4 液状化発生の危険性評価図

6. まとめと今後の課題

共分散構造分析を用いて千葉県の液状化発生の危険性を評価した。本研究では液状化の発生には微地形と傾斜角の 2 素因が大きく影響するという結果が得られた。しかしながら、実際に液状化が発生していない多くの地点でも液状化発生の危険ありとの評価されることがあった。今後はさらなる素因の選定やモデルの組み方の見直しを行い、分析の精度を向上させる必要がある。

参考文献

- 1) 若松加寿江, 先名重樹: 2011 年東北地方太平洋沖地震による関東地方の液状化発生と土地条件, 日本地震工学会論文集, Vol.15, No.2, pp.25-44, 2015.
- 2) 豊田秀樹: 共分散構造分析[R 編], 東京図書, 2014.
- 3) 国土交通省: 国土数値情報ダウンロードサービス, <http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/>.
- 4) 若松加寿江, 松岡昌志: 全国統一基準による地形・地盤分類 250m メッシュマップの構築とその利用, 日本地震工学会誌, No.18, pp. 35-38, 2013.
- 5) 産業技術総合研究所: 地震動マップ即時推定システム, <https://gbank.gsj.jp/Quake/QuakeMap/>
- 6) 小島尚人, 大林成行, 青木太: 共分散構造分析を導入した斜面崩壊危険箇所評価アルゴリズムの構築, 土木学会論文集, No.714/VI-56, pp.79-93, 2002.
- 7) 大林成行, 小島尚人, Chang-Jo F.Chung: 斜面安定性評価モデルの精度比較とその実用化への提案, 土木学会論文集, No.630/VI-44, pp.77-89, 1999.