平成 28 年度卒業研究梗概集（部内資料）
千葉大学工学部都市環境システム学科 平成 29 年 2 月 7 日

51

共分散構造分析に基づく液状化発生地点の特徴の評価

13T0252U　柳瀬　匡雄
指導教員：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 の範囲にわたる広域な液状化が発生した[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発生の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め立て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と考えられる．

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，作成した液状化発生の危険性評価図と，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，今後どのような地域で液状化が発生の危険性が高いのか予測することを目指す．

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[2]と防災科学技術研究所による地震ハザードステーション[3]である．前者は標高・微地形・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，震度の 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，若松らが整備したデータを用いた[1]．

3.　パスモデルの構築と適合度指標の検討

プログラミング言語のひとつである R 言語を使用して，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[5]を参考にした（図-1）．

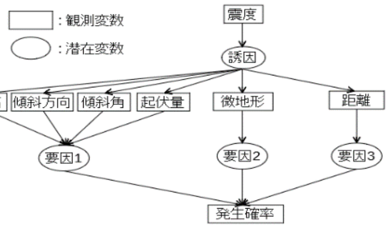


図-1　基本モデルのパスモデル

また，メッシュごとの液状化発生確率$\mathrm{S_q}$を次式により求める[6]．

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

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

ここで，

$\mathrm{T_q}$　：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

$\mathrm{C_{ij}}$　：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」

$\mathrm{N_d}$　：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

$\mathrm{N_{ij}}$　：i 番目の素因におけるカテゴリ j のメッシュ数

である．

$\mathrm{S_q}$ を求めた後，図-1 の基本パスモデルの適合度を算出する．さらに，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[1]．

表-1　比較的適合度の良いパスモデルの適合度

条件（抜き）	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，最も的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示す．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,

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

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

となり，累積度数分布$F_A(X), F_B(X)$の交点が判別の閾値となる．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．

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

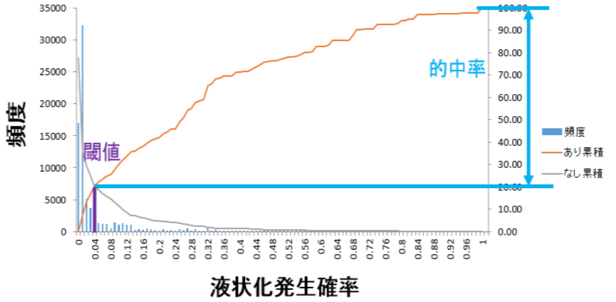


図-2　基本モデルの的中率

前章で示した 5 つのモデルと基本モデルについて的中率を算出した結果，基本モデルが 79.73%という最も的中率が高い値を示した．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．

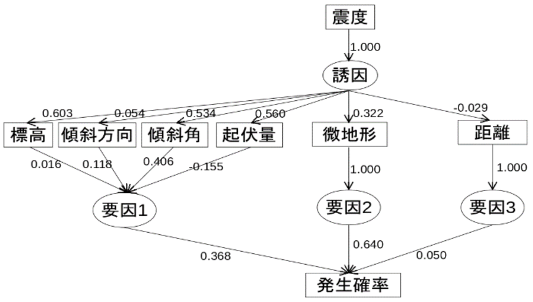
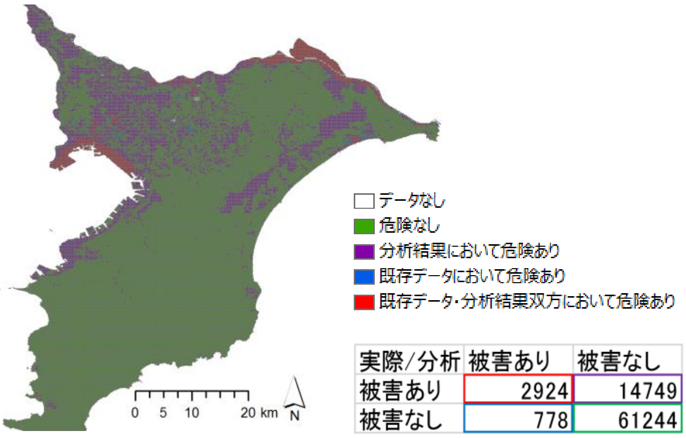


図-3　基本モデルのパスモデルとパス係数

図-3 より，液状化の発生には，微地形をまとめた要因 2 が最も影響を与えていることがわかる．また，要因 1 の中では傾斜方向が標高，傾斜角，起伏量と比較して相関が低いこともわかる．この結果はほかのモデルにおいても確認された．

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のデータを比較し，結果を GIS 上に表示した（図-4）.



実際/分析	被害あり	被害なし
被害あり	2924	14749
被害なし	778	61244

的中精度は 80.5%

図-4　液状化発生の危険性評価図

千葉県の北部を中心に, 実際の液状化発生地点よりも多くの地点で液状化発生の危険ありとの結果になった．原因としては，ローム台地の標高が低い地点が多くある北部で液状化発生危険地点が多くなったと考えられる．本研究の液状化地点の的中精度は 80.5%と良好な結果を出すことができた．

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標高，傾斜角，起伏量という 4 素因が大きく影響するとの結果が得られた．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危険ありとの評価をしてしまった．したがって，今後はさらなる素因の選定, 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)　防災科学技術研究所 : 地震ハザードステーション, http://www.j-shis.bosai.go.jp/tag/subsurface-structure .

5)　小島直尚人，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.

6)　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.