

液状化ハザードマップ作成のための 地形分類情報の効率的整備手法の開発

中埜 貴元¹

¹国土地理院 地理地殻活動研究センター 地理情報解析研究室 (〒305-0811 茨城県つくば市北郷1番)

液状化ハザードマップを作成する際に必要な液状化リスクの評価を、地形分類情報項目に基づく経験則から適切かつ効率的に実施できるよう、地形分類情報項目とリスク評価基準の体系をわかりやすく整理した。また、空間的に詳細に液状化リスク評価を行うため、250mメッシュサイズの地形分類情報を50mメッシュサイズで効率的に生成する手法を開発した。これにより、地方公共団体による、地形分類情報を用いた液状化ハザードマップ整備の効率化が期待される。

キーワード 液状化, ハザードマップ, 地形分類情報, リスク評価基準

1. 研究背景と目的

平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震や平成28年(2016年)熊本地震では多くの液状化被害が発生し、今後の大地震に際しても同様の被害が懸念されている。これまでの液状化研究により、液状化被害は緩く堆積した砂地盤で、地下水位が浅い場合に発生することがわかっている¹⁾。このような条件が揃った場所(地形)としては、旧河道や旧水部の埋立地、砂丘・砂州間低地などが挙げられ、過去の地震でもこれらの地形で集中して液状化が発生している^{2),3),4),5)}。したがって、その場の地形を示す地形分類情報があれば、過去の液状化被害の実例に基づく経験則から相対的な液状化のリスク評価が可能であり、いくつかの評価手法が示されている^{6),7),8),9)}。

一方、液状化リスクを評価した地図である液状化ハザードマップの整備率は、全国で約2割(2016年9月調査時点)と低い状況にある。液状化ハザードマップは、各地方公共団体が作成主体であるため、整備率の低さは財政的な問題等も含めて様々な要因が考えられるが、評価に使用する地形分類情報の不足とリスク評価手法の複雑さが一因と考えられる。さらに、東北地方太平洋沖地震の際には、液状化ハザードマップが整備されていながらも、地形分類情報の空間分解能が粗いことで、実際の被害地域を十分に捉えられなかった事例が見られた。そのため、地方公共団体の担当者でも理解しやすい地形分類情報項目と液状化リスク評価手法であり、かつ、従来よりも空間分解能が高く、全国の平野部をカバーするような地形分類情報の整備が求められている。

そこで本研究では、液状化リスク評価を地形分類情報

項目に基づく経験則から適切かつ効率的に実施できるようにするため、地形分類情報項目と液状化リスク評価基準の体系をわかりやすく再整理するとともに、空間的に詳細な液状化リスク評価を行うため、既存の250mメッシュサイズの地形分類情報と詳細な標高データ等を併用して、効率的に50mメッシュサイズの地形分類情報を生成する手法を開発することとした。

2. 液状化リスク評価の現状と課題

液状化リスク評価の手法としては、地盤の物理特性と入力地震動から液状化対象層ごとに液状化に対する抵抗率(F_L値)を求めて評価する「F_L法」¹⁰⁾や、F_L値を深さ20 mまで総合的に評価した液状化可能性指数(P_L値)を求めて評価する「P_L法」^{11),12)}のような物理モデルを用いた手法と、微地形区分などの地形分類情報と過去の液状化被害の実例に基づく経験則から導かれた地形ごとの液状化リスク評価基準から推定する手法^{6),7),8),9)}がある。

前者の物理モデルを用いる手法は、正確な地盤の物理特性が得られる場合はよりの確な評価が可能となるが、広範囲の地盤の物理特性を均質に得ることは困難であるため、面的な評価が難しく、専門的な知識も必要となる。一方、後者の経験則に基づく評価手法には、地形分類情報が必須であるが、その情報さえあれば比較的容易に評価が可能となる。全国的に整備されている地形分類情報としては、250 mメッシュサイズの地形分類情報¹³⁾や都道府県ごとの土地分類基本調査による地形分類情報(縮尺5万分1)などがあり、主要平野部の場合は国土地理院

が整備している1:25,000土地条件データ（以下「土地条件データ」という。）があり、入手も容易である。ただし、この手法は評価が定性的で、評価手法も多数存在するため、液状化ハザードマップ作成担当者にとって選択肢が複雑であるという課題がある。また、評価の空間的な詳細さが使用する地形分類情報の詳細さに依存するため、液状化ハザードマップ等の地震防災マップは50mメッシュサイズ程度の空間分解能で作成することが推奨されており¹⁴⁾、空間的に粗い地形分類情報しかない場合は、評価結果も粗くなってしまう。

本研究では、後者の経験則に基づく評価手法の課題改善を目指し、研究開発を実施した。

3. 研究開発の概要

(1) 液状化ハザードマップ作成用地形分類情報項目と液状化リスク評価基準の設定

本研究ではまず、液状化リスクと地形分類情報との関係が整理された従来の多数の研究事例^{6), 7), 8), 15), 16), 17), 18)}と、東北地方太平洋沖地震における関東地方の実事例に基づく定量的な解析結果を総合的に勘案し、液状化ハザードマップ作成に有効な平野部の地形分類情報項目とリスク評価基準を設定した体系表を作成した¹⁹⁾。関東地方の実事例に基づく定量的な解析では、東北地方太平洋沖地震に伴う液状化分布情報²⁰⁾と土地条件データとを重ね合わせ、地形分類ごとの液状化発生率を算出して、液状化リスクの大小の判断に使用した。

(2) 50mメッシュサイズの地形分類情報の効率的作成手法の開発

上記(1)で設定した液状化ハザードマップ作成に有効な地形分類情報項目を既存情報を組み合わせて、50mメッシュサイズで効率的に生成する手法を開発した。開発にあたってはモデル地区として、詳細な地形分類情報である土地条件データが整備されており、多種の地形分類情報項目が含まれる5つの地区（関東1地区、関東2地区、福岡地区、大分地区、宮崎地区）を選定した。使用したデータは、250mメッシュ地形分類情報¹³⁾と基盤地図情報5m及び10mメッシュデジタル標高モデル（DEM）データ、マルチバンドの衛星画像データ（TERRA/ASTER：15m及び30m解像度）である。

ここでは、石井ほか（2011）など^{21), 22)}の手法を参考に、250mメッシュ地形分類情報に対して5章で示す分類規則を割り当てることで、50mメッシュサイズの地形分類情報を生成するという工程の確立を目指した。分類規則は、DEMデータから求めた傾斜度や起伏量等の地形量指標とマルチバンド衛星画像データから求めた正規化植生指標（NDVI）等を活用し、既存の250mメッシュ地形分類

情報と各指標の組み合わせから2分木法により50mメッシュ地形分類情報を生成する仕組みとした。

4. 液状化ハザードマップ作成用の地形分類情報項目とリスク評価基準の作成

液状化ハザードマップ作成用の地形分類項目とリスク評価基準の体系表を表-1に示す。ここでは、液状化ハザードマップに特化して分類項目を減らし、同一リスクレベルの分類項目を集約することで簡素化を図った。表-1では、液状化の発生可能性ごとに該当する地形分類情報項目を表示しているが、地形分類情報項目ごとに液状化の発生可能性を示しながら、従来の地形分類情報（土地条件データなど）とも対応がつく形の体系表も作成した。なお、「自然堤防」は比高5mを境界に、また「谷底平野・海岸平野」と「扇状地」は勾配1/100を境界にそれぞれ2分しているが、これらはDEMデータを用いて計算することが可能である。

5. 50mメッシュ地形分類情報の効率的生成手法の開発

(1) 分類規則の導出

分類規則の導出は、以下の手順で実施した。

- ①250mメッシュ地形分類情報の50mメッシュ化
- ②土地条件データの地形分類情報項目の液状化ハザードマップ作成用地形分類情報項目への再分類
- ③上記①と②のデータのオーバーレイ解析による上記①

表-1 液状化ハザードマップ作成用地形分類情報項目とリスク評価基準体系表

液状化発生可能性	地形分類情報項目
非常に大きい	<ul style="list-style-type: none"> ・旧河道 ・埋立地 ・低地隣接砂丘縁辺部 ・砂洲・砂丘間低地
大きい	<ul style="list-style-type: none"> ・自然堤防（比高5m未満） ・谷底平野・海岸平野（勾配1/100未満） ・後背湿地等 ・河原等 ・干拓地
やや大きい	<ul style="list-style-type: none"> ・扇状地（勾配1/100未満） ・自然堤防（比高5m以上） ・砂洲・砂堆・砂礫州等 ・谷底平野・海岸平野等（勾配1/100以上）
小さい	<ul style="list-style-type: none"> ・更新世段丘 ・扇状地（勾配1/100以上） ・砂丘
ほぼ無し	<ul style="list-style-type: none"> ・更新世段丘

の地形分類情報項目と液状化ハザードマップ作成用地形分類情報項目との対応づけ

- ④各50mメッシュにおける8つの地形量指標（平均標高、平均傾斜度、地上開度等）と衛星画像データによる正規化指標（NDVI, NDSI等）の算出
- ⑤上記③における各地形分類情報項目の組み合わせ毎の上記④の各指標の特徴抽出と仮の分類規則の導出
- ⑥上記⑤の仮の分類規則に基づくデータ試作と検証及び検証結果に基づく仮の分類規則の修正による分類規則の導出

上記⑥で導出した分類規則は、例えば250mメッシュ地形分類情報では「丘陵」となっている場所が、50mメッシュサイズで見ると実際には「更新世段丘」であった場合、そのような場所がどのような地形的特徴（地形量指標）や土地被覆特性（正規化指標）を持っているかを調べ、その特徴量を閾値とした変換ルールをまとめたものである。250mメッシュ地形分類情報が「丘陵」の場合の分類規則例を表-2に示す。ここでは上から順に処理していく規則としており、まずDEMデータから計算した水の溜まりやすさを示す指標である「湿潤度」が1より小さく、かつ、当該地点が周囲に比べて地下に食い込んでいる程度を示す「地下開度」が87より小さく、かつ、「傾斜度」が5度より小さい「丘陵」は、「更新世段丘」に分類し直す。続いて、該当しなかった「丘陵」が「谷底平野・氾濫平野」の分類条件に合致するかどうかを調べる。このように順次処理を行い、最後に残った「丘陵」は「山地斜面等」に分類し直すという処理を示している。

(2) 自動生成プログラムの開発

上記で導出した分類規則に基づき、既存の250mメッシュ地形分類情報とDEM・マルチバンド衛星画像データを併用して、50mメッシュ地形分類情報を自動生成するプログラムを開発した。このプログラムは、市販のGIS上で稼働するものとした。プログラムの処理フロー

を図-1に示す。単純に自動生成した50mメッシュ地形分類情報は、ある程度のノイズを含むため、フィルタリングや既存情報（治水地形分類データ）の旧河道・旧水路情報を適用することで改善を図る仕組みとした。自動生成された50mメッシュ地形分類情報を同地区の土地条件データと比較すると、概ね適切に生成できていた（図-2）。また、このプログラムは、既存の土地条件データを50mメッシュデータに変換し、液状化ハザードマップ作成用地形分類情報項目を属性として割り当てる機能も含まれている。

(3) 50mメッシュ地形分類情報の半自動作成手法の提案

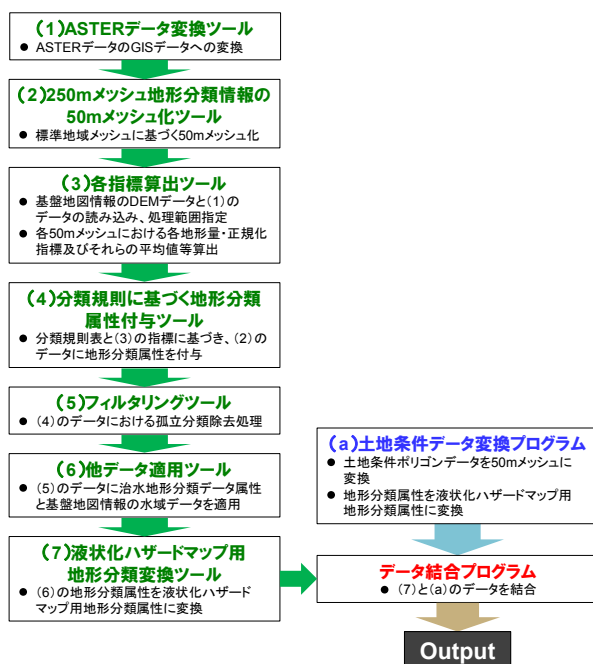


図-1 50mメッシュ地形分類情報自動生成プログラムの処理フロー

表-2 分類規則（250mメッシュ地形分類情報項目が「丘陵」の例）

250mメッシュ地形名	変換後地形名	条件1	条件2	条件3	条件4
丘陵	更新世段丘	[湿潤度]<1	[地下開度]<87	[傾斜度]<5	
丘陵	谷底平野・氾濫平野	[尾根谷密度]>=5	[傾斜度]<5	[湿潤度]>=2	
丘陵	山麓堆積地形	[起伏量]<12	[地下開度]>=85	[湿潤度]>=0.5	[傾斜度]<8
丘陵	旧河道	[傾斜度]<5	[尾根谷密度]<5	[地上開度]>=85	[湿潤度]>=3
丘陵	埋立地	[NDWI]<0.2	[NDSI]<(-0.1)	[地上開度]>=87	
丘陵	山地斜面等				

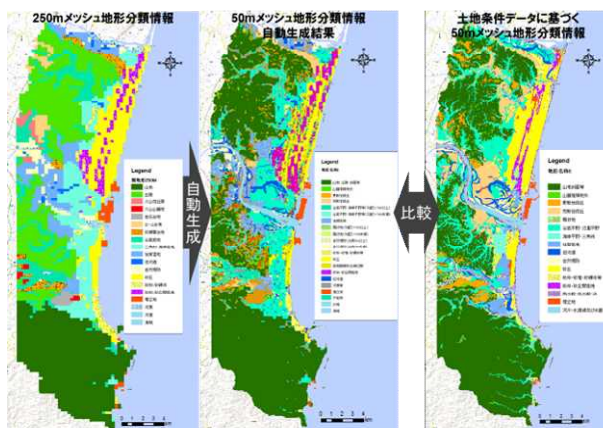


図-2 250mメッシュ地形分類図（左）から自動生成した50mメッシュ地形分類図（中）と土地条件データに基づく50mメッシュ地形分類図（右）

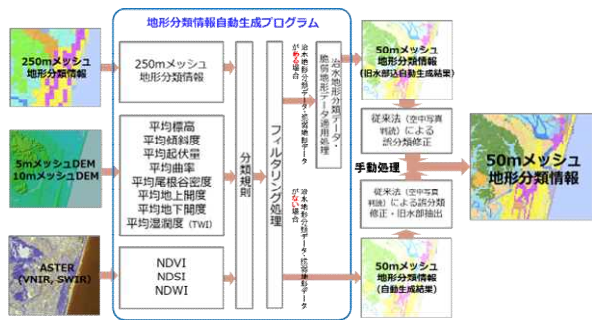


図-3 50mメッシュ地形分類情報の半自動抽出フロー

上記の自動生成プログラムによる処理結果は、概ね適切に生成されるが、ある程度の誤分類を含んでいる。地形量指標や正規化指標が類似している地形分類項目（例えば「谷底平野・海岸平野等」と「後背湿地等」）は誤分類する可能性が高い。特に、現在のDEMデータを用いることから、現在の地形に現れていない旧河道・旧水路等の埋没地形を自動生成することは困難であり、また、道路盛土等の人工地形は誤分類源となる。そこで、旧河道や人工地形については、従来の空中写真判読法を併用して確実に再分類することとし、全体として半自動抽出となる手法を提案した（図-3）。

6. 成果の効果

(1) 液状化ハザードマップ作成用地形分類情報項目と液状化リスク評価基準の理解の容易さ

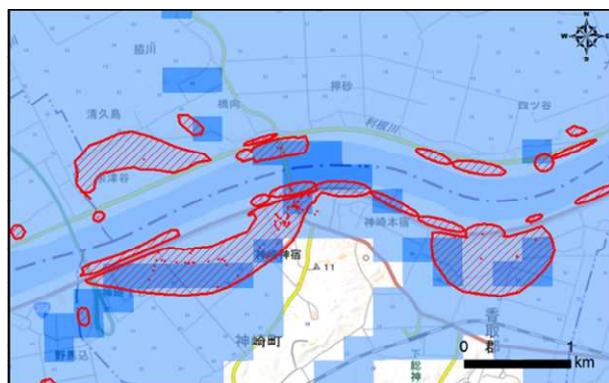
本研究では、地方公共団体の担当者でも理解しやすい地形分類情報項目と液状化リスク評価手法の作成を目標とした。そこで、地方公共団体等の一般職員を対象に、出典を伏せた状態で、本研究で作成した表-1のリスク評価基準体系表と従来の2つのリスク評価基準を提示し、どれが最も分かりやすいかのアンケートを取得した。その結果、回答のあった125名のうちの約3分の2の方が、今回作成したリスク評価基準体系表が最も分かりやすいと回答した。

(2) 50mメッシュ地形分類情報の半自動作成手法の効果

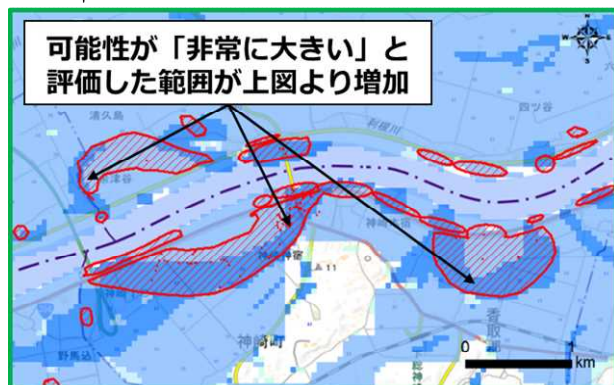
先述の5.(3)で提案した半自動作成手法について、従来法と比べてどの程度作業が効率化されるかを試算した。その結果、従来の空中写真判読法のみによりゼロから地形分類情報を作成する場合と比べて、空中写真判読工程部分の作業人数が5分の1程度になることが見込まれた。全工程においても作業量が5分の2程度になると見込まれることから、十分に作業が効率化できることが示された。

(3) 液状化リスク評価基準と自動生成による50mメッシュ地形分類情報の適用性検証

本研究で作成した液状化リスク評価基準と、自動生成による50mメッシュ地形分類情報が、実際の液状化被害に対してどの程度有効かを検証した。東北地方太平洋沖地震に伴い液状化が多発した関東地区（利根川流域）において、本研究成果で自動生成した50mメッシュ地形分類情報に対して表-1の液状化リスク評価基準を適用し、実際の液状化発生範囲と比較した（図-4）。その結果、本研究で自動生成した50mメッシュ地形分類情報による



↑ 250mメッシュ地形分類情報ベース



↑ 本研究開発による自動生成50mメッシュ地形分類情報ベース



図-4 関東地方（利根川流域）における東北地方太平洋沖地震に伴う液状化発生地点と液状化リスク評価結果との比較。上図：250mメッシュ地形分類情報を用いたケース、下図：本研究による自動生成の50mメッシュ地形分類情報を用いたケース。

液状化ハザード評価結果は、他の情報源（250mメッシュ地形分類情報）を用いた場合よりも、実際の液状化発生場所をより広く「液状化発生可能性が非常に大きい」と評価できており、実際の液状化発生範囲をよりの確に捉えていた。すなわち、人工改変がそれほど小さくなく、既存情報（治水地形分類データ等）により旧河道等の埋没地形が補完できる場所では、液状化リスク評価に有効な地形分類情報が自動生成できていることが示された。

7. まとめと課題

本研究では、液状化リスク評価を地形分類情報項目に基づく経験則から適切かつ効率的に実施できるようにすることを目的として、地形分類情報項目と液状化リスク評価基準の体系をわかりやすく再整理するとともに、既存の250mメッシュサイズの地形分類情報と詳細な標高データ等を併用して、効率的に50mメッシュサイズの地形分類情報を生成する手法を開発した。その結果、液状化リスク評価基準体系表は、地方公共団体等が地形分類情報を用いて液状化リスク評価を行う際に有効と考えられ、液状化ハザードマップ作成や防災・地理教育資料としての活用が見込まれる。また、50mメッシュ地形分類情報の効率的作成手法は、土地条件データ等の詳細な地形分類情報の未整備地域におけるデータ作成手法として有用であり、地方公共団体による、地形分類情報を用いた液状化ハザードマップの整備の効率化につながることを期待される。ただし、自動生成プログラムによる地形分類情報の生成は、モデル地区以外での検証が不十分であることや、人工改変地形や人工物の影響を受けることから、現状では従来の写真判読法などを併用した修正が必要である。そのため、本成果を実務で使用する場合は、従来の写真判読法や別ソースの情報の併用を含めた具体的な作業手順の構築が必要である。

謝辞：液状化リスク評価基準体系表のアンケート調査においては、複数の地方公共団体や国・県の地方出先機関の方の協力を得た。この場を借りて感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 陶野郁雄：地盤の液状化・液状化災害調査研究の成果，農業土木学会誌，第60巻，第9号，pp.7-12，1992.
- 2) 古藤田喜久雄，若松加寿江：日本海中部地震による液状化現象と地形条件との関係，土と基礎，Vol.32，No.9，pp.59-63，1984.
- 3) 若松加寿江，吉田望，規矩大義：2004年新潟県中越地震による液状化現象と液状化発生地点の地形・地盤特性，土木学会論文集C，Vol.62，No.2，pp.263-276，2006.
- 4) 先名重樹，長谷川信介，前田宣浩，藤原広行：東北地方太平洋沖地震における利根川流域の液状化被害，日本地震工学会論文集，Vol.12，No.5，pp.143-162，2012.
- 5) 青山雅史，小山拓志，宇根寛：2011年東北地方太平洋沖地震による利根川下流低地の液状化被害発生地点の地形条件と土地履歴，地理学評論，Vol.87，pp.128-142，2014.
- 6) 国土庁防災局震災対策課：液状化地域ゾーニングマニュアル，1999.
- 7) 若松加寿江，松岡昌志，杉浦正美，久保純子，長谷川浩一：日本の地形・地盤デジタルマップ，東京大学出版会，2005.
- 8) 国土地理院：自治体担当者のための防災地理情報活用マニュアル（案）－土地条件図の数値データを使用した簡便な災害危険性評価手法－，国土地理院技術資料D・1－No.479，2007.
- 9) 松岡昌志，若松加寿江，橋本光史：地形・地盤分類250mメッシュマップに基づく液状化危険度の推定手法，日本地震工学会論文集，Vol.11，No.2，pp.20-39，2011.
- 10) 日本建築学会：建築基礎構造設計指針，2001.
- 11) 岩崎敏男，龍岡丈夫，常田賢一，安田進：地震時地盤液状化の程度の予測について，土と基礎，Vol.28，No.4，pp.23-29，1980.
- 12) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説V，耐震設計編，2002.
- 13) 若松加寿江，松岡昌志：全国を網羅した地形・地盤分類250mメッシュマップの構築，第3回シンポジウム「統合化地下構造データベースの構築」研究成果の中間報告予稿集，pp.15-20，2009.
- 14) 内閣府（防災担当）：地震防災マップ作成技術資料，2005.
- 15) 翠川三郎，松岡昌志：国土数値情報を利用した地震ハザードの総合的評価，物理探査，Vol.48，pp.519-529，1995.
- 16) 小荒井衛：災害軽減に向けた地理空間情報の利活用，地理，5月号，pp.62-68，2010.
- 17) 松岡昌志，若松加寿江，橋本光史：地形・地盤分類250mメッシュマップに基づく液状化危険度の推定手法，日本地震工学会論文集，Vol.11，No.2，pp.20-39，2011.
- 18) 国土交通省北陸地方整備局・地盤工学会北陸支部：新潟県内液状化しやすさマップ，29pp，2012.
- 19) 中埜貴元，小荒井衛，宇根寛：地形分類情報を用いた液状化ハザード評価基準の再考，地学雑誌，Vol.124，No.2，pp.259-271，2015.
- 20) 国土交通省関東地方整備局・地盤工学会：東北地方太平洋沖地震による関東地方の地盤液状化現象の実態解明報告書，65pp，2011.
- 21) 石井一徳，翠川三郎，三浦弘之：数値標高モデルと衛星画像を用いた地形・地盤分類メッシュマップの細密化の検討，地域安全学会論文集，No.9，pp.121-129，2007.
- 22) 石井一徳，翠川三郎，三浦弘之：高分解能衛星画像と数値標高モデルを用いた広域での地形・地盤分類メッシュマップの細密化，地域安全学会論文集，No.14，pp.1-10，2011.