

2011年東北地方太平洋沖地震における液状化発生率と強震継続時間の関係の検討

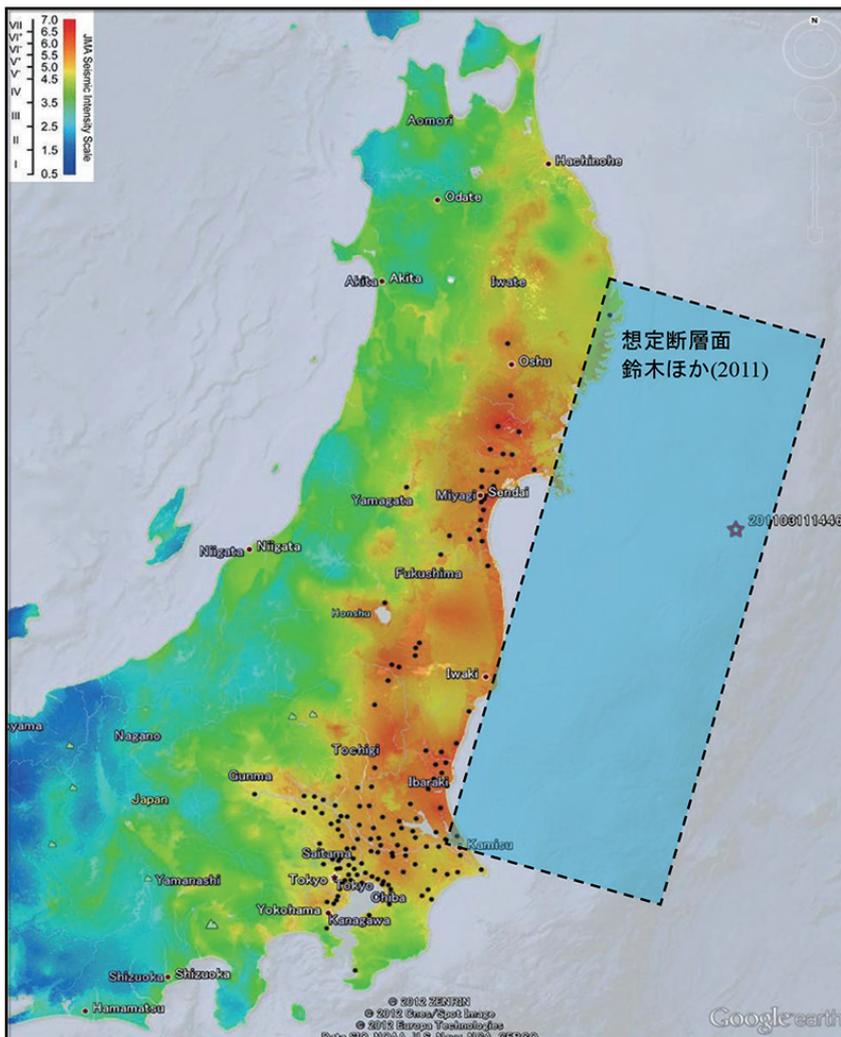
先名重樹¹⁾

1. はじめに

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震（以下、311地震と呼ぶ）では、東北地方から関東地方にかけての極めて広い範囲で液状化被害が発生した。今回の地震は、被害地域が広大であったことに加えて、計画停電やガソリン不足等の影響で被害調査の初動に大きな支障をきたしたことなどの理由により、地震から1年程度を経過した

時点でもその全容は明らかになっていなかった。筆者等の現地調査（先名ほか、2012）や、学会等における調査情報（国土交通省関東地方整備局・公益社団法人地盤工学会、2011）、自治体などの情報によれば、液状化が発生した地域は、第1図に示すように、現時点において、東北地方の6県（宮城県、福島県、青森県、岩手県、秋田県、山形県）と関東地方の1都6県（東京都、栃木県、群馬県、茨城県、埼玉県、千葉県、神奈川県）に及んでおり、想定震度分布をみると、概ね、震度5強以上の区域が存在する自治体で液状化が発生していることがわかる。そのなかでも、特に関東の被害範囲・規模は非常に大きなものであった。被害が大きくなった理由について、今回の地震の余震を含めた継続時間の長さが液状化の発生率と被害規模を大きくしたとの研究報告（安田、2011）もなされている。本報告は2011年12月までにまとめられたものに基づくが、調査されていない、あるいは調査が不十分な地域も多数あることから、まずは、311地震時の液状化発生地点の再整理を行い、液状化地点数を250mメッシュ単位でまとめた。

次に、再収集された液状化の情報に基づいて、311地震の地震動の継続時間の影響を考慮した液状化発生率の検討を目的として、K-NET、KiK-net、気象庁、自治体の地震計の波形記録から、震度および「リアルタイム震度」（功刀ほか、2008）を計算し、液状化発生地点のデータと松岡ほか（2011）の液状化発生率を計算する手法を用いて継続時間の長さが液状化に与える影響を検討した。

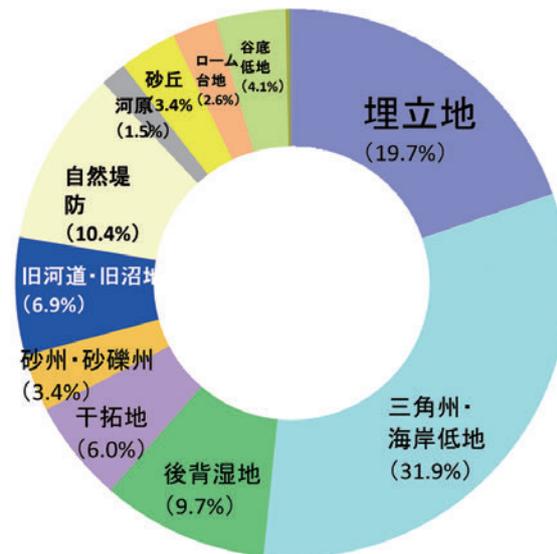


第1図 東北地方太平洋沖地震における液状化が確認された市町村分布図と想定震度分布との関係。

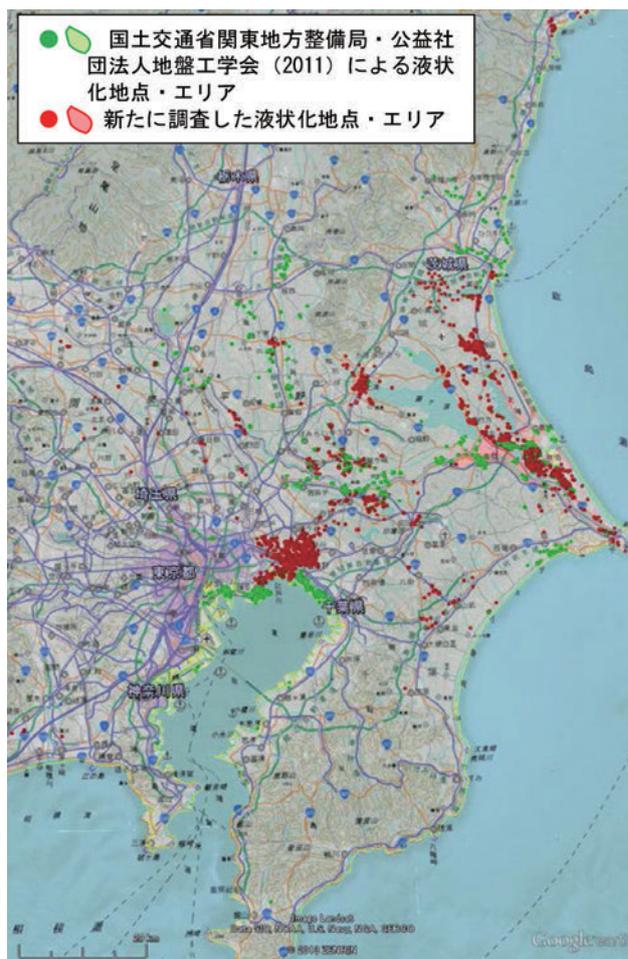
1) 防災科学技術研究所 社会防災システム研究領域



第2図 東北地方太平洋沖地震の液状化地点。新たに調査した情報は2013.9.30現在。



第3図 関東地方の液状化地点に占める各微地形区分の割合。



第4図 東北地方太平洋沖地震の液状化地点（関東平野拡大図）。新たに調査した情報は2013.9.30現在。

第1表 関東地方の液状化地点数（250 m メッシュ数換算）。

区分No.	微地形区分	低地・台地・山地区分	液状化発生メッシュ数	関東地方(1都6県)全メッシュ数	関東地方の全メッシュに対する液状化発生メッシュの割合 (%)	関東地方の液状化メッシュに占める各微地形区分の割合 (%)
20	埋立地	低地	1383	5806	23.82%	19.73%
15	三角州・海岸低地	低地	2236	11868	18.84%	31.90%
13	後背湿地	低地	683	27477	2.49%	9.74%
19	干拓地	低地	422	3432	12.30%	6.02%
16	砂州・砂礫州	低地	236	8307	2.84%	3.37%
14	旧河道・旧沼地	低地	486	2338	20.79%	6.93%
12	自然堤防	低地	726	10299	7.05%	10.36%
22	河原	低地	107	4098	2.61%	1.53%
17	砂丘	低地	236	2764	8.54%	3.37%
9	ローム台地	台地	183	104650	0.17%	2.61%
10	谷底低地	台地	286	25122	1.14%	4.08%
18	砂州・砂丘間低地	低地	16	1748	0.92%	0.23%
23	河道・水路	低地	6	207	2.90%	0.09%
11	扇状地	台地	2	17065	0.01%	0.03%
3	丘陵	山地	1	40094	0.00%	0.01%
1	山地	山地	0	146454	0.00%	0.00%
2	山麓地	山地	0	4271	0.00%	0.00%
4	火山地	山地	0	17804	0.00%	0.00%
5	火山山麓地	山地	0	18804	0.00%	0.00%
6	火山性丘陵	山地	0	8024	0.00%	0.00%
7	岩石台地	台地	0	75	0.00%	0.00%
8	砂礫質台地	台地	0	32654	0.00%	0.00%
21	礫・岩礫	—	0	205	0.00%	0.00%
24	湖沼	—	0	3219	0.00%	0.00%
合計	-	-	7009	496785	1.41%	100.00%

2. 計測震度とリアルタイム震度分布の計算について

継続時間の考慮をするにあたり、まず、松岡ほか（2011）による、液状化発生率の計算方法に基づき、311地震の液状化発生地点（国土交通省関東地方整備局・公益社団法人地盤工学会，2011；若松，2012），および今回改めて調査した結果（第2図，第3図，第4図および第1表）に基づき液状化発生率を計算した。第2図および第4図に最新の液状化発生地点を示す。なお，311地震については，海岸付近は津波により液状化の痕跡が明瞭ではない（または調査が十分ではない）ことから，津波被害エリアの微地形区分を除いて評価した。入力としての地震動強さの指標は，計測震度とし，地形・地盤分類250mメッシュマップ（若松・松岡，2008）から推定した地盤の平均S波速度（Vs30）による地盤増幅率を考慮し，空間補間したものから地表の計測震度を求めている。一方，継続時間の考慮については，功刀ほか（2008）の「リアルタイム震度」を用い，液状化が発生する計測震度閾値を4.5として，その震度よりも大きくなる部分の面積（ ΔI_s ）を求めた。求めた面積を，液状化を発生させる継続時間とみなし，計測震度分布同様の手法で空間補間したものから各メッシュの ΔI_s を算出した。計算式を式（1）に示す。

$$\Delta I_s = \int_{t_0}^{t_a} (\Delta I - I_s) \cdot dt \quad (1)$$

ここで， ΔI は時間震度， I_s は計測震度の閾値を示す。計算結果と，各々の地震についての液状化発生率との比較を行った。使用した強震観測記録については，防災科研のK-NET，KiK-net，気象庁，および自治体の震度計等の地震観測記録を筆者らが独自に収集しデータベース化したものを使用した。

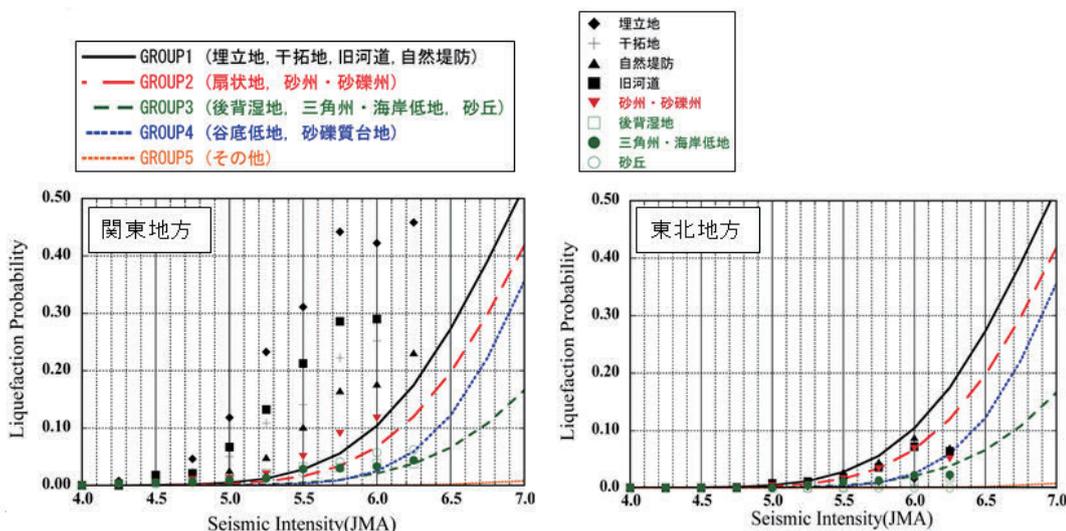
3. 液状化発生率と継続時間との関係

計測震度区分における液状化発生率（液状化メッシュ数／全メッシュ数）を各地震および微地形区分ごとに計算した。ここで，発生率とはメッシュ内で液状化が1ヶ所以上発生する割合を示す。なお，全メッシュ数が10個未満については，算出される発生率の信頼性が低いと考えて検討対象外とした。計測震度と液状化発生率の関係を比較した結果，埋立地・旧河道・干拓地については，松岡ほか（2011）の結果よりも発生確率が全体的に大きく，やや低震度から液状化が発生している。また，関東地方と東北地方を比べると，関東地方のほうがより発生率が大きく，東北地方の結果は相対的に小さくなっている（第5図参照）。

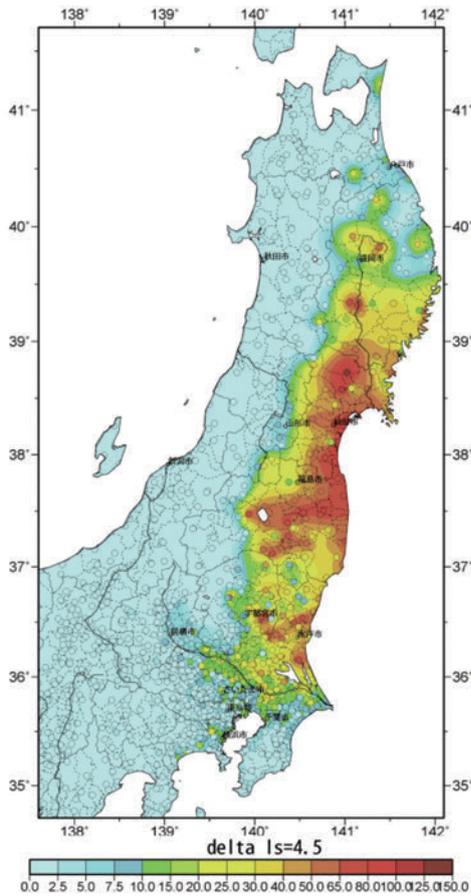
なお，第6図に ΔI_s ($I_s=4.5$)の空間分布を示す。継続時間（ ΔI_s ）の分布は，東北地方は非常に大きく，関東地域はそれに比べて小さいことがわかった。その結果，発生率と継続時間の関係を東北地方と関東地方で比較すると，関東地方の方が，より低震度・低継続時間で液状化が発生したということが明らかになった（第7図および第8図）。なお，1987年千葉県東方沖地震と比較しても，東北地方太平洋沖の関東地方との液状化発生率の比較において，大きな差がなく，継続時間が小さくても発生率が大きくなる傾向が見て取れる（第8図）。

4. まとめ

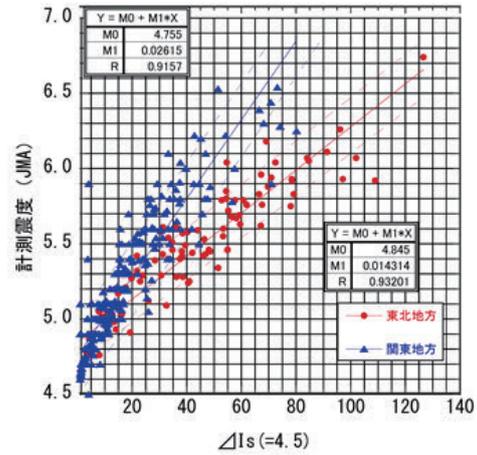
本研究では，311地震における，微地形毎の液状化発生率と計測震度および継続時間の関係を検討した。その結果，特に液状化が発生しやすい微地形において既往の結果よりも発生確率が大きくなり，強震動継続時間の大きさも液状



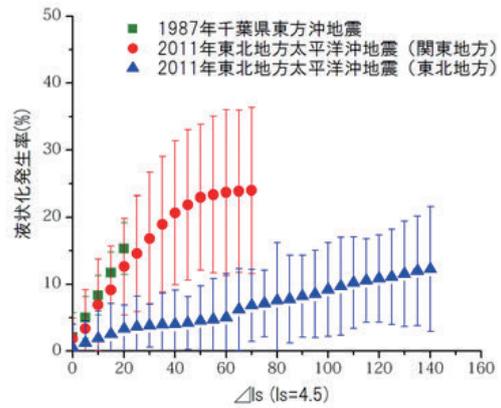
第5図 東北地方太平洋沖地震における関東地方の液状化発生率（左）と東北地方の液状化発生率（右）。



第6図 東北地方太平洋沖地震における継続時間を表す Δls ($ls=4.5$)の空間分布(右).



第7図 東北地方太平洋沖地震における東北地方と関東地方の地震観測点における Δls 値と計測震度の関係(破線は $\pm 1\sigma$).



第8図 各地震における Δls と液状化発生率との関係(エラーバーは $\pm 1\sigma$).

化発生率に影響を与えることがわかった。液状化の発生率や強震動継続時間による液状化の発生状況は、東北地方と関東地方で大幅に異なることから、今後地域性を考慮した検討を行い、新しい液状化発生率の関係式とハザードマップの作成を試みる。

謝辞：各自治体における強震観測記録・液状化地点情報を提供していただいた関係者および機関各位に謝意を表する。

文献

国土交通省関東地方整備局・公益社団法人地盤工学会 (2011) 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), http://www.ktr.mlit.go.jp/ktr_content/content/000043569.pdf (2013/10/13 確認)

功刀 卓・中村光洋・青井 真・森川信之・藤原広行 (2008) 地震瞬時速報システムのための強震観測記録. 地震, **60**, 243-252.

松岡昌志・若松加寿江・橋本光史 (2011) 地形・地盤分類250 m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, **11**, no. 2, 20-39.

先名重樹・長谷川信介・前田宜浩・藤原広行 (2012) 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, **12**, no. 5 (特集号), 146-165.

鈴木 亘・青井 真・関口春子・功刀 卓 (2011) 2011年東北地方太平洋沖地震の震源破壊過程. 防災科学技術研究所主要災害調査報告「東日本大震災調査報告」, 53-62.

若松加寿江 (2012) 2011年東北地方太平洋沖地震による東北地方の液状化地点の地形・地盤特性. 第47回地盤工学研究発表会発表論文集, 1505-1506.

若松加寿江・松岡昌志 (2008) 地形・地盤分類250 mメッシュマップ全国版の構築. 日本地震工学会大会-2008梗概集, 222-223. (デジタルデータは<http://www.j-shis.bosai.go.jp/> 2013/10/13 確認)

安田 進 (2011) 東京湾岸における液状化被害. 地盤工学誌, **59**, no. 7, Ser. no. 642, 38-41.

SENNA Shigeki (2013) Relationship between liquefaction occurrence ratio and strong ground motion duration for The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake.