

第二回NIED-NU研究交流会(1/26-1/13)

東北地方太平洋沖地震の液状化発生地点と強震動継続時間を考慮した液状化発生率の検討

独立行政法人防災科学技術研究所
先名重樹

NIED

BOSAI-DRIP

はじめに

■ 東北地方太平洋沖地震(M9.0)において、これまでに経験のない広範囲にわたる液状化被害が発生した。今後想定される南関東地震や、南海トラフの地震では、関東地方のみならず東海地方から西日本にかけて、広域で液状化被害が発生することが懸念される。

防災科研では、震災後に2年間以上の液状化地点に関する調査を行っており、その記録等に基づく液状化発生率を検討し、液状化ハザードマップの試作を目標としている。

NIED BOSAI-DRIP

検討内容と目的

<検討内容>
主に東北地方太平洋沖地震における液状化発生地点情報を新たに収集し、また、地震波形記録から、震度および「リアルタイム震度」を計算し、その結果に基づく液状化発生率と継続時間との関係を検討。

<目的>
継続時間を考慮した液状化発生率のフラジリティの作成

① 継続時間を考慮した液状化被害の即時推定
② 広域(日本全国)の液状化ハザードマップの作成

BOSAI-DRIP

検討結果の利用方法

液状化被害率の算出方法(既往)

① 液状化発生率

当該メッシュの液状化発生確率を微地形区分により評価

下記2地震の液状化事例に基づく
・1983年日本海中部地震
・2004年新潟県中越地震

② 液状化面積率

液状化発生メッシュにおける液状化発生面積の割合を微地形区分により評価

(例)旧河道…40%
三角州…30% など

下記2地震の液状化事例に基づく
・1983年日本海中部地震
・2004年新潟県中越地震

③ 液状化被害率

液状化発生範囲内での建物被害率を評価

構造	建築年代	階数	全損率	半損率	一部損率
RC造	～1970年	-	20.0%	30.0%	40.0%
	1971年～	1～2F	12.4%	21.2%	29.2%

下記4地震の液状化事例に基づく
・1923年関東地震
・1964年新潟地震
・1983年日本海中部地震
・2011年東北地方太平洋沖地震

今後の研究(一体化)

- 液状化被害率算出のための発生率情報の提供
- リアルタイム液状化発生率情報の提供 (自治体の初動体制)

NIED BOSAI-DRIP

収集した液状化地点情報



<関東地方(1都6県)の液状化地点情報>

国土交通省関東地方整備局・地盤工学会(2011):
東北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)

<東北地方(6県)の液状化地点情報>

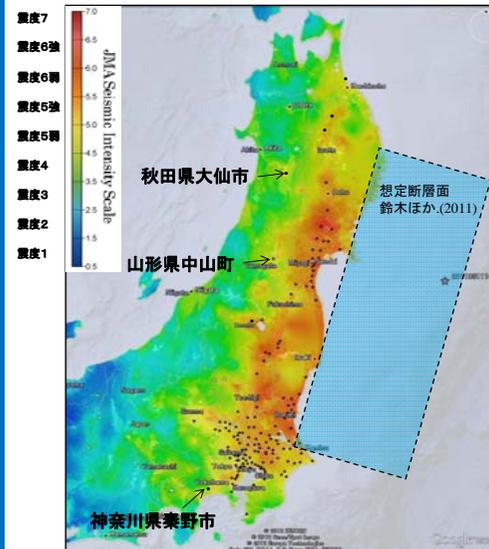
若松加寿江(2011):東北地方太平洋沖地震による
東北地方の液状化地点の地形・地盤特性

上記の情報のみでは、集めた経緯から情報不足と判断

●改めて情報を収集(H24.4~現在)

- ・自治体の罹災証明の調査・データの精査
(関東地方・東北地方1都12県の全市町村)
- ・航空写真(Google Earth Pro)による写真判読によるデータ
の追加・検討

東北地方太平洋沖地震の計測震度と 液状化発生自治体

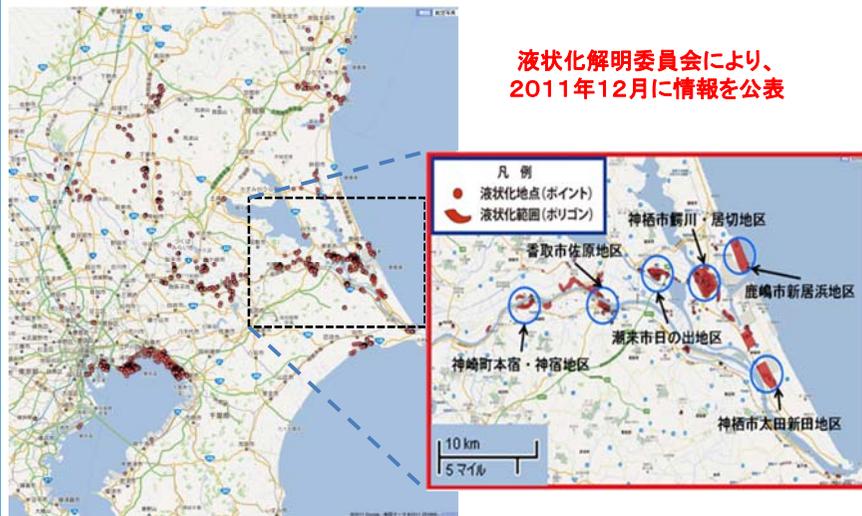


東北地方から関東地方にかけての極めて広い範囲で液状化被害が発生した。液状化が発生した地域は、東北地方と、関東地方全体の1都12県に及んでおり、液状化発生地点は、概ね震度5強以上(計測震度5.0以上:黄色)で発生しているようにみえる。



山形県中山町の液状化の状況

液状化地点情報(関東地方拡大) (国土交通省関東地整・地盤工学会(2011))



液状化解明委員会により、
2011年12月に情報を公表

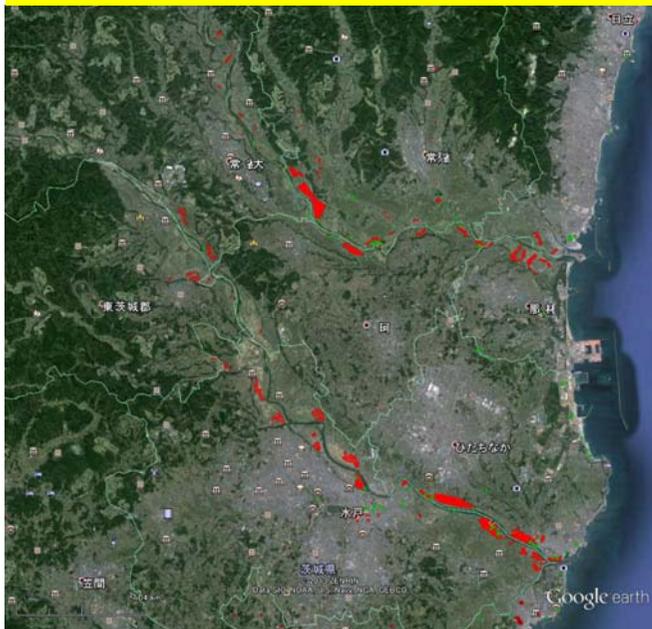
現時点でもこの情報が最終的な液状化地点の情報として扱われている!

神栖市付近の液状化地点情報(写真判読例)



Google Earth Proによる写真判読(2011.3.29)

那珂川・久慈川の液状化地点情報(写真判読例)



銚田市・土浦市付近の液状化地点情報 (罹災情報等の例)



銚田市(液状化被害793件)



土浦市(液状化被害188件)

データの整理状況(銚田市の場合)

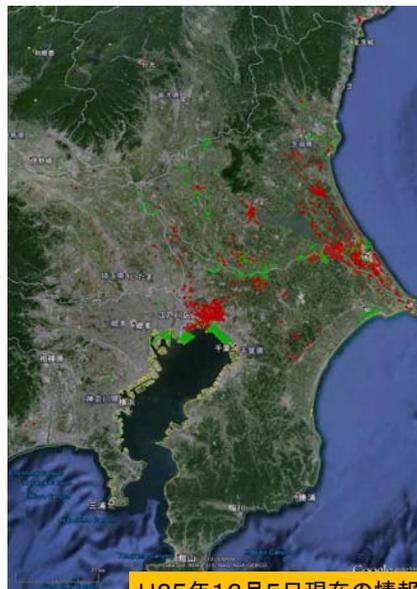
所在地	地番	枝番	液状化	地割れ	擁壁崩壊	土留崩壊	盛土	沈下	崖崩れ	地盤被害	その他地盤被害	その他
●	31	2	○	○								
▲	24	3	○	○								
△	25	1	○	○								
■	123	2	○	○							○	
■	32	2	○	○								
○	28	1	○	○								

液状化地点分布の比較

- 国土交通省関東地方整備局・公益社団法人地盤工学会(2011)による液状化地点・エリア
- 新たに調査した液状化地点・エリア

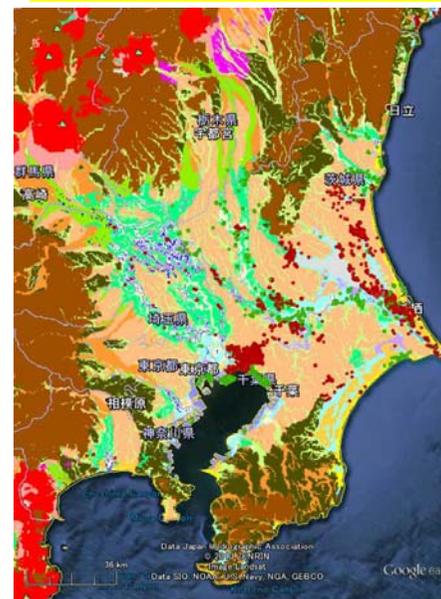


若松・先名(2013)



H25年12月5日現在の情報

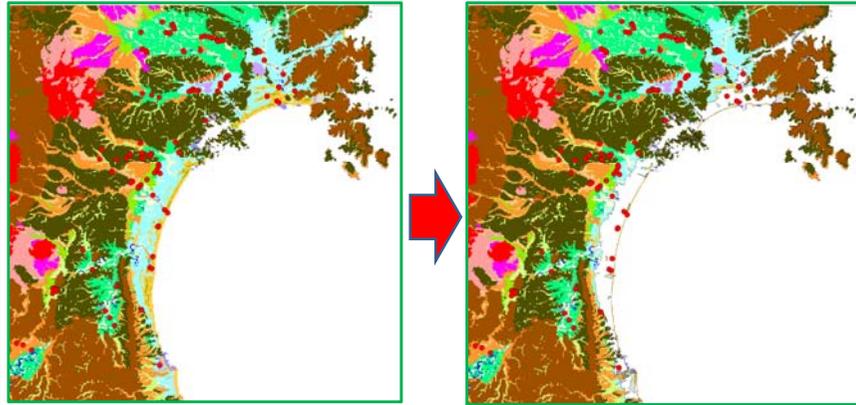
約250mメッシュ微地形区分と液状化地点



液状化ポイント・エリアデータについて250mメッシュの微地形区分にデータがあれば、液状化メッシュとする。

津波浸水エリアにおける液状化地点の取り扱い

宮城県周辺の液状化地点(●)と微地形区分図
(白抜きは津波被害エリア)



津波エリアの情報は、国土地理院の津波浸水範囲概況図(2.5万分の1)をデジタル化したものを利用

液状化地点の削除エリアは、東北地方は多い。



関東地方液状化メッシュ数の比較

本研究

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%	17.07%
15	三角州・海岸低地	低地	2236	11868	18.84%	27.59%
13	後背湿地	低地	962	27477	3.50%	11.87%
19	干拓地	低地	622	3432	18.12%	7.68%
16	砂州・砂礫州	低地	236	8307	2.84%	2.91%
12	旧河道・旧沼地	低地	486	2338	20.79%	6.00%
17	自然堤防	低地	726	10299	7.05%	8.96%
22	河原	低地	107	4098	2.61%	1.32%
17	砂丘	低地	236	2764	8.54%	2.91%
9	ローム台地	台地	583	104650	0.56%	7.19%
10	谷底低地	台地	502	25122	2.00%	6.19%
18	砂州・砂丘間低地	低地	16	1748	0.92%	0.20%
23	河道・水路	低地	6	207	2.90%	0.07%
11	扇状地	高地	2	17065	0.01%	0.02%
1	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%
8	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・岩礁	—	0	205	0.00%	0.00%
24	湖沼	—	0	3219	0.00%	0.00%
合計	-	-	8104	496785	1.63%	100.00%



埋立地以外の微地形区分においては大幅に増加



東北地方液状化メッシュ数

本研究

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	東北地方(6県)全メッシュ数	東北地方の全メッシュに対する液状化発生メッシュの割合(%)	東北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	4	970	0.41%	0.75%
15	三角州・海岸低地	低地	74	13062	0.57%	13.83%
13	後背湿地	低地	111	25072	0.44%	20.75%
19	干拓地	低地	1	3162	0.03%	0.19%
16	砂州・砂礫州	低地	15	4162	0.36%	2.80%
12	旧河道・旧沼地	低地	7	1129	0.62%	1.31%
12	自然堤防	低地	89	6322	1.41%	16.64%
22	河原	低地	14	2014	0.70%	2.62%
17	砂丘	低地	0	6218	0.00%	0.00%
9	ローム台地	台地	24	19872	0.12%	4.49%
10	谷底低地	台地	49	45256	0.11%	9.16%
18	砂州・砂丘間低地	低地	2	1196	0.17%	0.37%
23	河道・水路	低地	0	30	0.00%	0.00%
11	扇状地	高地	45	36188	0.12%	8.41%
1	丘陵	山地	30	183656	0.02%	7.29%
1	山地	山地	2	572565	0.00%	0.37%
3	山麓地	山地	0	12540	0.00%	0.00%
5	火山地	山地	0	68322	0.00%	0.00%
5	火山山麓地	山地	6	72635	0.01%	1.12%
8	火山性丘陵	山地	20	18371	0.11%	3.74%
7	岩石台地	台地	0	216	0.00%	0.00%
8	砂礫質台地	台地	33	68281	0.05%	6.17%
21	礫・岩礁	—	0	1729	0.00%	0.00%
24	湖沼	—	0	3345	0.00%	0.00%
合計	-	-	535	496785	0.11%	100.00%



東北地方は関東地方と比べ液状化地点は1/16程度



収集した地震観測記録

東日本地域の1道・1都16県のK-NET・KiK-netおよび、気象庁・自治体震度計・港湾技研の観測点のうち本震の記録が取得している観測点(合計1924地点)

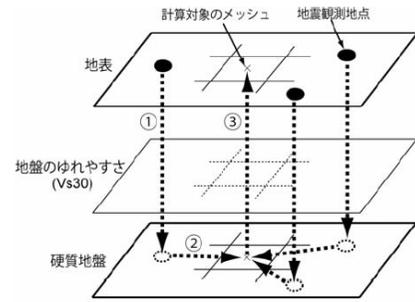
自治体震度計

都道府県名	観測点数(自治体のみ)
北海道	68
北海道	12
青森	58
秋田	56
岩手	58
山形	48
宮城	49
仙台市	5
福島	83
群馬	54
栃木	52
新潟	104
長野	101
山梨	78
静岡	67

地方自治体、とりわけ緑で示した東北地方等の震度計の地震波形データは、自治体(県・政令指定都市)に御願いでデータを御提供いただいた。



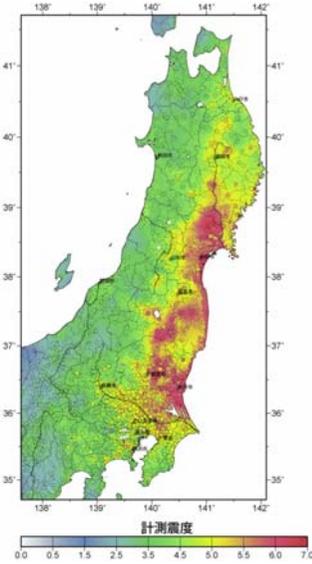
地表での震度分布の算出方法



- ① 地震観測記録から地盤の増幅率を除いて硬質地盤上での値を推定
- ② 空間補間にて計算対象メッシュの硬質地盤上での値を算出
- ③ 地盤の増幅率を乗じて計算対象メッシュの地表での値を推定

基盤での空間補間は、防災科研の「RASMO」を使用

地盤増幅率は、防災科研「J-SHIS」のVs30による増幅率を使用



液状化発生率の計算方法



＜計算手法＞ **【松岡・他(2011) 地震工学会論文集】**
 微地形区分毎に液状化発生確率を計算する。
 (計測震度毎の、液状化メッシュ数 / 全メッシュ数 を計算)

＜条件(特殊)＞

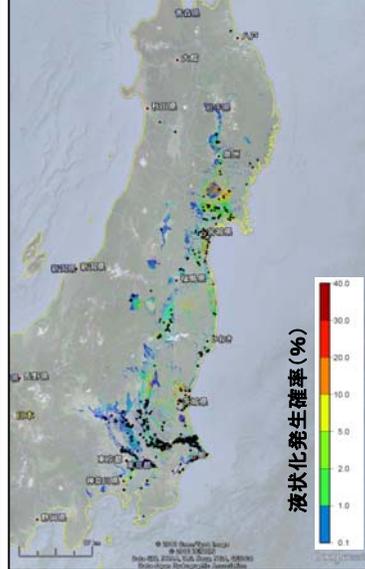
海岸付近については津波により液状化の痕跡が明瞭ではない(または、調査が十分ではない)ことから、津波被害エリアの微地形区分を分母から除いて評価。

注: 確率はメッシュ内で液状化が1箇所以上発生する割合を示すもので、発生数や面積を表すものではない。また、被害の大・小も考慮しない。

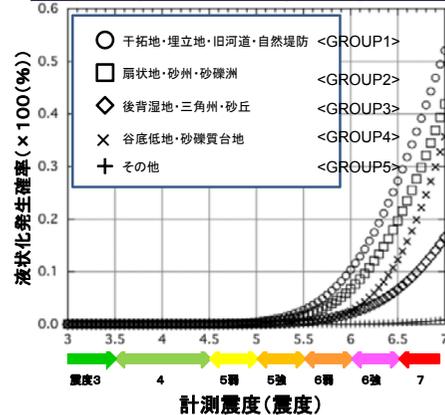
液状化地点と松岡・他(2011)の液状化発生率



松岡・他(2011)による311地震による液状化発生率



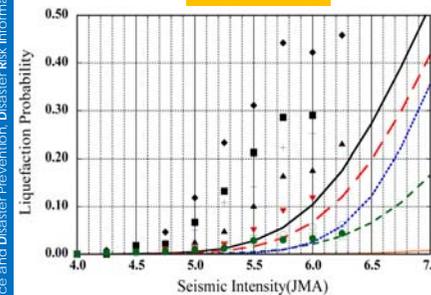
松岡・他(2011)で使った地震				
年	月日	地震	規模(Mw)	液状化メッシュ数
2000	10月6日	鳥取県西部地震	6.60	194
2003	5月26日	宮城県沖地震	7.00	25
2003	7月26日	宮城県北部地震	6.00	26
2003	9月26日	十勝沖地震	8.10	111
2004	10月23日	新潟県中越地震	6.50	890
2005	3月20日	福岡県西方沖地震	6.60	68
2007	3月25日	能登半島地震	6.70	37
2007	7月16日	新潟県中越沖地震	6.60	78
2008	6月14日	岩手・宮城内陸地震	6.80	6
2011	3月11日	東北地方太平洋沖地震	9.00	8639



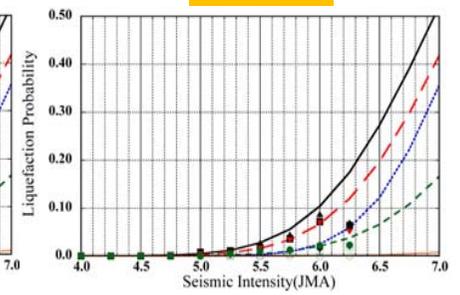
液状化発生確率と震度との関係



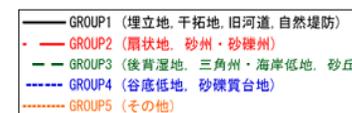
関東地方



東北地方



松岡・他(2011)の液状化確率



東北地方太平洋沖地震の液状化確率



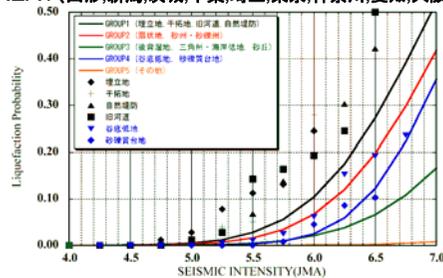
関東地方の液状化発生率は東北地方と比べて大きく、既往の研究と比べて極めて大きい。

311以前の地震における液状化発生率

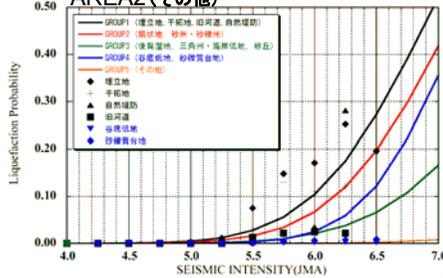


年	M	地震名	液状化メッシュ数	震度3以上のメッシュ数
1987	6.7	千葉県東方沖地震	309	396,581
1993	7.5	釧路沖地震	136	1,461,058
1993	6.6	能登半島沖地震	30	128,309
1993	7.8	北海道南西沖地震	338	676,323
1994	8.2	北海道東方沖地震	120	866,115
1994	7.6	三陸はるか沖地震	58	902,123
1995	7.3	兵庫県南部地震	1,266	565,556
1997	6.6	鹿児島県北西部地震	10	146,477
1997	6.4	鹿児島県北西部地震	13	130,851
1999	5.3	秋田県沖地震	8	22,968
2000	7.3	鳥取県西部地震	194	565,248
2001	6.7	雲予地震	28	689,585
2003	7.1	宮城県沖地震	25	1,015,088
2003	6.4	宮城県北部地震	26	261,029
2003	8.0	十勝沖地震	110	1,115,083
2004	6.8	新潟県中越地震	991	541,677
2004	7.1	釧路沖地震	68	291,279
2005	7	福岡県西方沖地震	8	956,329
2007	6.9	能登半島地震	37	288,500
2007	6.8	新潟県中越沖地震	78	507,624
2008	7.2	岩手・宮城内陸地震	6	731,832

AREA1 (山形,新潟,茨城,千葉,埼玉,東京,神奈川,愛知,大阪)



AREA2 (その他)



<参考文献>

若松加寿江: 日本の液状化履歴マップ 745-2008, 東京大学出版会, 2011.

関東地方と東北地方の差の理由について(予測)

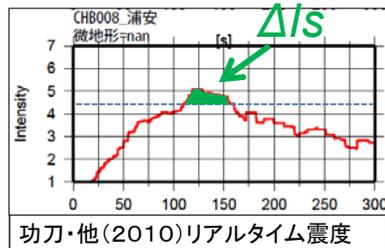
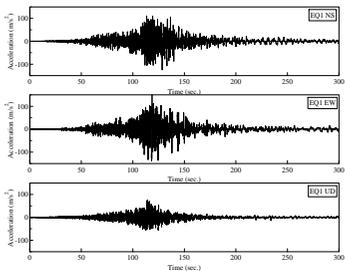


- i) 東北地方は関東地方に比べ液状化が発生しづらい地形・地質条件
 - ・平野部において、大きな河川の沖積作用による低地や埋立地の面積が関東平野と比べて少ない。
 - ・平均標高が高い(水位が低い)
- ii) 関東地方では、すぐ後(過剰間隙水圧の消散できていない)にMw7.7の余震が発生していることで液状化発生頻度が大きくなった。
- iii) 東北地方の震度が大きくなると推定される低地では、沿岸部に津波が襲来し、液状化の痕跡が消失している。
- iv) 既往の液状化発生率の計算には、過去の関東地方で発生した液状化調査結果が反映されていない。

リアルタイム震度を利用した、震度と継続時間の関係の検討



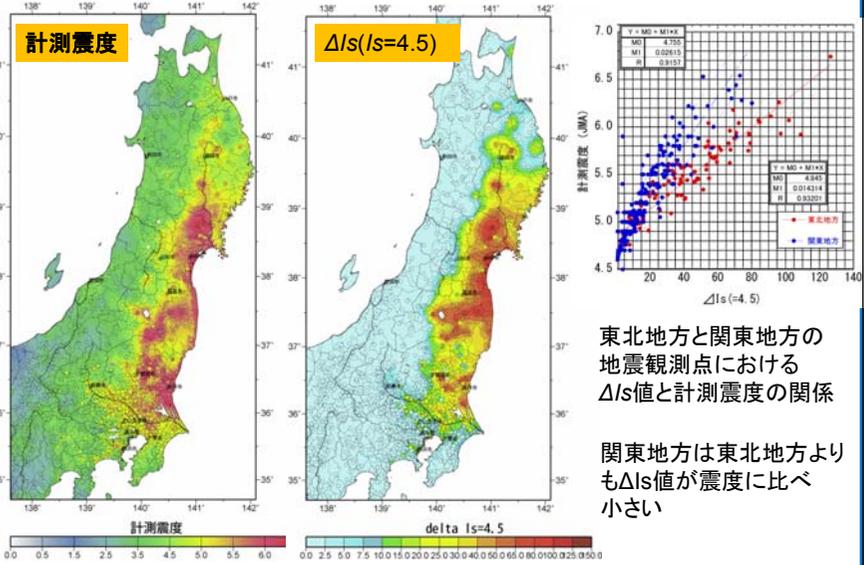
功刀・他(2008)・(2010)によるリアルタイム震度の計算手法を利用し、フラジリティカーブの立ち上がり震度を考慮して、閾値震度 I_s (ここでは計測震度4.5)を超過した部分の面積(ΔI_s)と液状化発生率を検討することで継続時間や直近に起きた余震を考慮。



ΔI_s の増加=繰返し作用の回数増加=液状化抵抗の減少

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

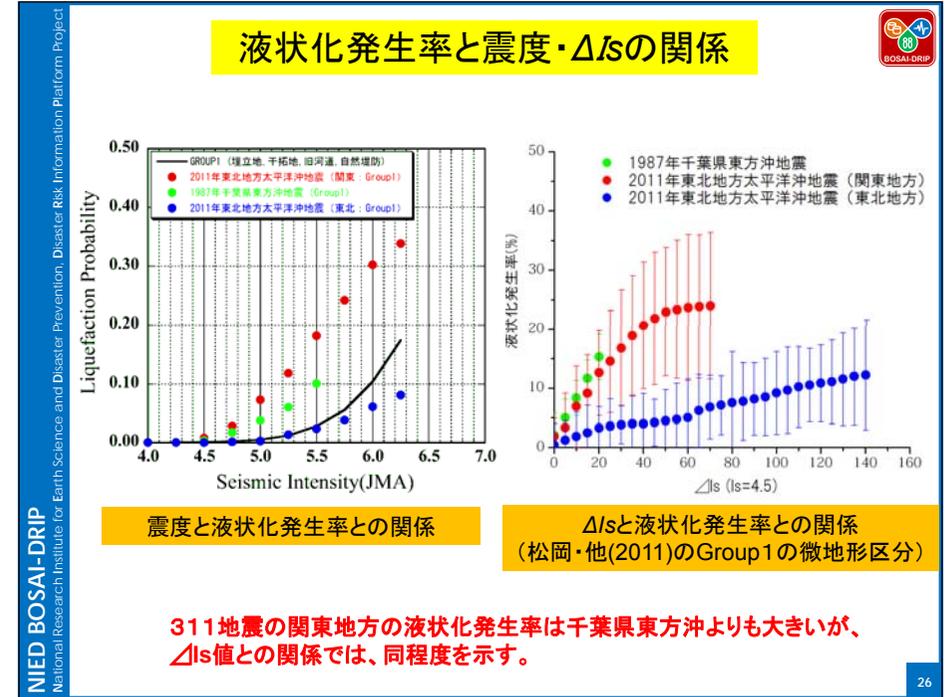
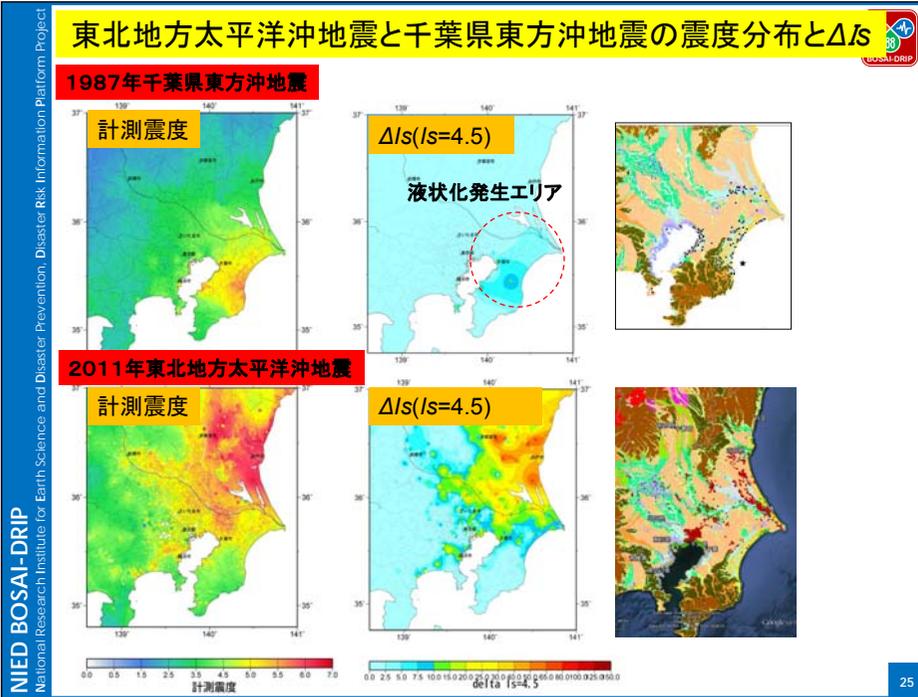
計測震度と継続時間を表す $\Delta I_s(I_s=4.5)$ の空間分布



東北地方と関東地方の地震観測点における ΔI_s 値と計測震度の関係

関東地方は東北地方よりも ΔI_s 値が震度に比べ小さい

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。



まとめ

i) 東北地方の液状化発生率は、関東地方と比べて非常に小さく、既往の研究結果よりも大きくなった。それ以前の地震でも地域特性を確認することが出来た。液状化発生率の検討では地域性の考慮が必要。

ii) 地震動の継続時間を考慮した結果、千葉県東方沖地震の ΔI_s ・液状化発生率の関係がほぼ同程であり、継続時間(ΔI_s)が大きくなれば、液状化発生率も大きくなるという関係が確認できた。

— 以上 —

27