

第Ⅱ章 液状化発生率の予測手法（地震動強さと液状化発生 の関係）の検討

1. 液状化発生予測手法の検討方法

液状化発生予測手法の検討にあたっては，過去の地震での液状化発生範囲と，その時の地震動分布が必要となる。

液状化発生範囲と地震動分布（本研究では1kmメッシュ単位で予測）のデータが得られれば，両データをGIS上で重ね合わせることにより，地震動レベル別の液状化発生の有無（液状化発生率）と，液状化の発生したメッシュにおける液状化範囲の割合（液状化面積率）を求めることができる。

そこで本章では，まず過去の被害地震について広域的な液状化発生範囲が調査されている事例の調査を行う。さらに，調査した各地震の液状化発生範囲と地震動分布，微地形区分の各データを用いて，地震動レベル別の液状化発生率を1kmメッシュ単位の微地形区分データを用いて予測する方法について検討を行う。

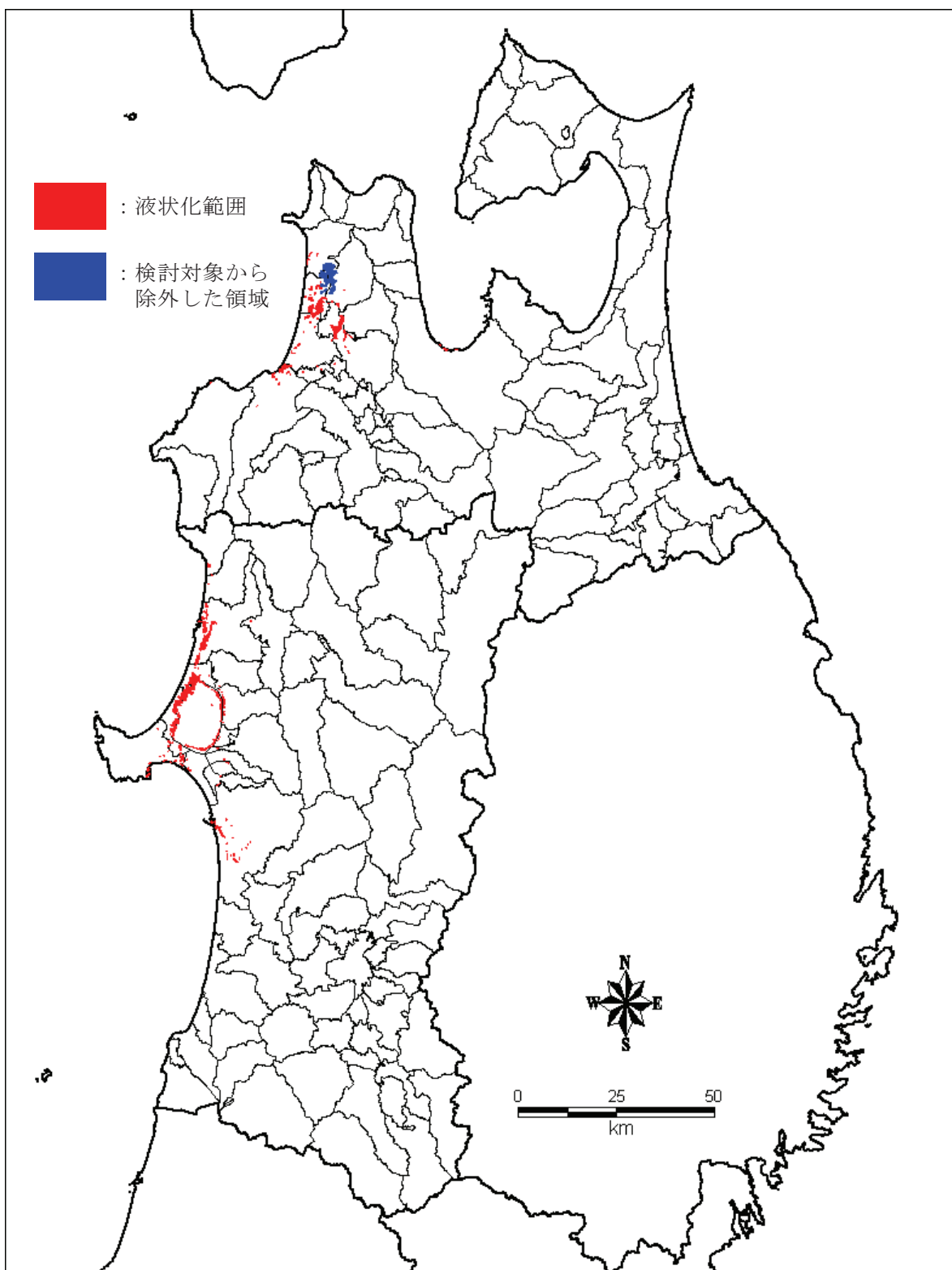
なお，液状化発生メッシュでの液状化面積率の予測手法については，第Ⅲ章で検討を行う。

2. 過去の被害地震における液状化発生範囲データの調査

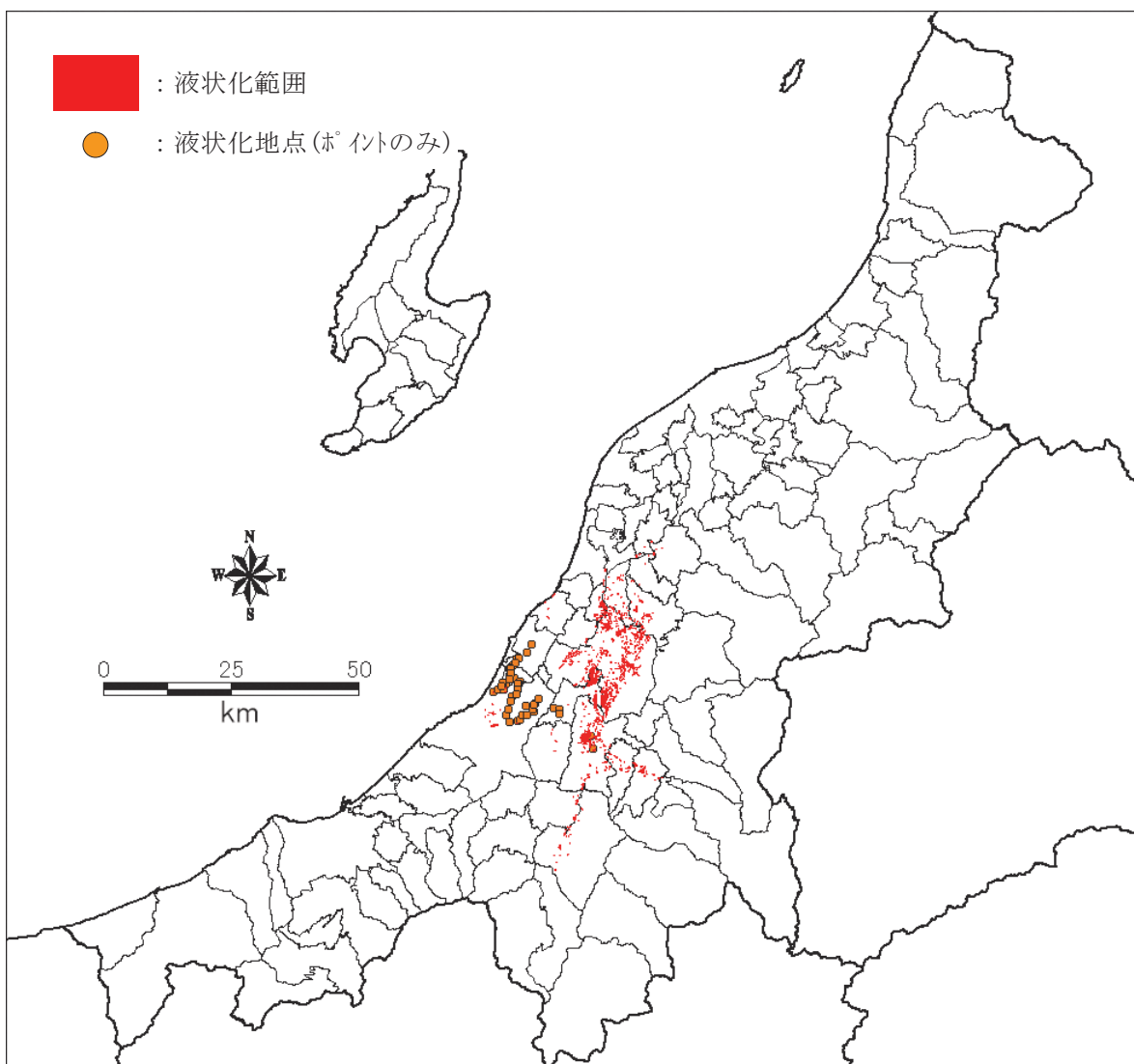
過去の被害地震について，広域的な液状化発生範囲が調査されている事例の調査を行った。その結果，1983年日本海中部地震に関する土木学会の調査報告書（土木学会，1986）と，2004年新潟県中越地震についての若松加寿江博士による調査結果（若松，2007）の中で，被災地域のほぼ全体の液状化発生範囲が調査されていることが分かった。

土木学会（1986）をもとにGISデータ化した1983年日本海中部地震の液状化発生範囲データを図Ⅱ-1に，若松加寿江博士よりご提供いただいた2004年新潟県中越地震の液状化発生範囲データを図Ⅱ-2に示す。

なお，検討委員会の中で，1983年日本海中部地震について土木学会（1986）で液状化発生範囲とされている十三湖付近の岩木川下流域は実際にはほとんど液状化が発生していないとの指摘があったため，検討対象データには含めないこととした（図Ⅱ-1の青色の領域）。



図Ⅱ-1 1983年日本海中部地震の液状化発生範囲(土木学会(1986)より作成)



図Ⅱ-2 2004年新潟県中越地震の液状化発生範囲(若松(2007)より作成)

3. 検討対象地震の地震動分布の推定

1983年日本海中部地震と2004年新潟県中越地震について、液状化発生予測手法の検討に必要な地震動分布の推定を行う。

3-1. 1983年日本海中部地震

1983年日本海中部地震の地震動分布（地表最大速度）は、距離減衰式により求めた工学的基盤の最大速度に、表層地盤の増幅度を掛けることで求める。以下に地震動予測手法の概要と地震動分布の推定結果を示す。

(1) 震源モデル

1983年日本海中部地震の地震動分布推定にあたっては、小菅ら(1986)を参考に設定した下表に示す震源モデルを用いた。

表Ⅱ-1 1983年日本海中部地震の震源モデル

断層面	基準位置		長さ(km)	幅(km)	走向(°)	傾斜(°)	上端深さ(km)	モーメントマグニチュード ^a Mw
	緯度(°)	経度(°)						
①	40.79	139.09	40	40	345	25	0	7.8
②	40.65	139.03	30	40	20	25	0	
③	40.39	138.91	30	40	20	25	0	

(注) 震源モデルのパラメータは小菅ら(1986)を用いた。ただし、Mwは、 $M_0=6.5 \times 10^{27}(\text{dyne}\cdot\text{cm})$ との記述から $\log M_0(\text{dyne}\cdot\text{cm})=1.5M_w+16.1$ の関係式を用いて計算した。また、上端深さは小菅ら(1986)では設定されていないため、佐藤(1989)に掲載されている1983年日本海中部地震の他の震源モデルを参考に0kmとした。

(2) 工学的基盤の最大速度

工学的基盤（S波速度 $V_s=600\text{m/s}$ 相当）での最大速度 V は、司・翠川(1999)による以下の距離減衰式を用いて予測した。

$$\log_{10} V = 0.58M_w + 0.0038h + d - 1.29 - \log_{10} \left(X + 0.0028 \cdot 10^{0.50M_w} \right) - 0.002X$$

V : 基準地盤 ($V_s=600\text{m/s}$ 相当) の最大速度 [cm/s]

M_w : モーメントマグニチュード

h : 断層面の平均的な深さ [km]

X : 断層最短距離 [km]

d : 断層タイプ別の係数(地殻内地震 0.00, プレート間地震 -0.02, プレート内地震 0.12)

(3) 表層地盤の増幅度

表層地盤の増幅度 ARV は、松岡・翠川(1994)による深さ30mまでの地盤平均S波速度 $AVS30$ との関係式を用いて算出する。

$$\log_{10} ARV = 1.83 - 0.66 \log_{10} AVS30 \pm 0.16 \quad (\text{ただし, } 100\text{m/s} < AVS30 < 1500\text{m/s})$$

ARV : 基準地盤 ($V_s=600\text{m/s}$) の最大速度振幅に対する表層地盤の増幅度

$AVS30$: 深さ30mまでの地盤平均 S 波速度 [m/s]

また, $AVS30$ は, 「日本の地形・地盤デジタルマップ」(若松ら, 2005) に収録されている 1km メッシュごとの微地形区分等のデータを用いて, 松岡ら (2005) による以下の関係式から推定する.

$$\log_{10} AVS30 = a + b \cdot \log Ev + c \cdot \log Sp + d \cdot \log Dm \pm \sigma$$

Ev : 各メッシュの標高 [m]

Sp : 傾斜 ($\tan \times 1000$)

Dm : 先第三系・第三系の山地, 丘陵からの距離 [km]

σ : 標準偏差 (表 II-2 参照)

a, b, c, d : 回帰係数 (表 II-2 参照)

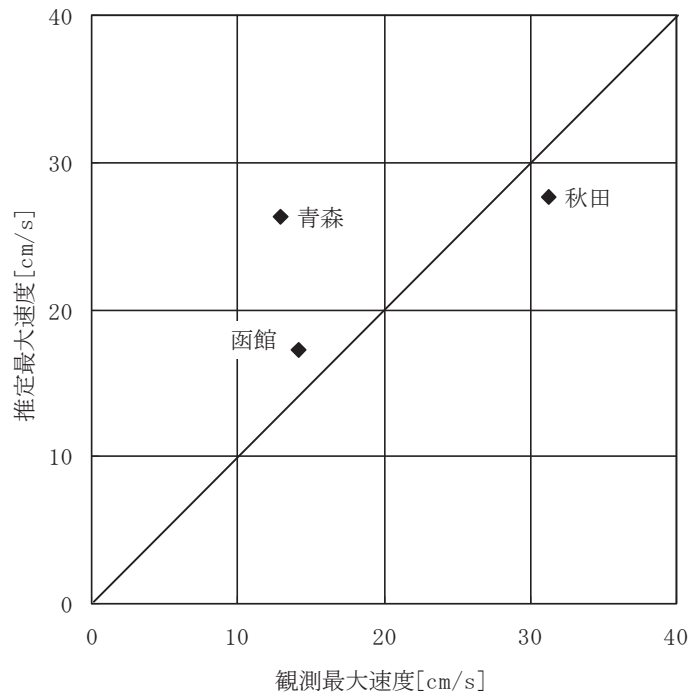
表 II-2 多変量解析による回帰係数および標準偏差(松岡ら, 2005)

ID	微地形	回帰係数(標準回帰係数)				標準偏差 σ
		a	b	c	d	
1p	山地(先第三系)	2.900	0	0	0	0.139
1t	山地(第三系)	2.807	0	0	0	0.117
2	山麓地	2.602	0	0	0	0.092
3	丘陵	2.349	0	0.152(0.219)	0	0.175
4	火山地	2.708	0	0	0	0.162
5	火山山麓地	2.315	0	0.094(0.382)	0	0.100
6	火山性丘陵	2.608	0	0	0	0.059
7	岩石台地	2.546	0	0	0	0.094
8	砂礫質台地	2.493	0.072(0.270)	0.027(0.101)	-0.164(-0.336)	0.122
9	ローム台地	2.206	0.093(0.269)	0.065(0.223)	0	0.115
10	谷底低地	2.266	0.144(0.447)	0.016(0.040)	-0.113(-0.265)	0.158
11	扇状地	2.350	0.085(0.419)	0.015(0.059)	0	0.116
12	自然堤防	2.204	0.100(0.368)	0	0	0.124
13	後背湿地	2.190	0.038(0.178)	0	-0.041(-0.152)	0.116
14	旧河道	2.264	0	0	0	0.091
15	三角洲・海岸低地	2.317	0	0	-0.103(-0.403)	0.107
16	砂州・砂礫州	2.415	0	0	0	0.114
17	砂丘	2.289	0	0	0	0.123
18	干拓地	2.373	0	0	-0.124(-0.468)	0.123
19	埋立地	2.404	0	0	-0.139(-0.418)	0.120

(4) 地震動分布の推定結果

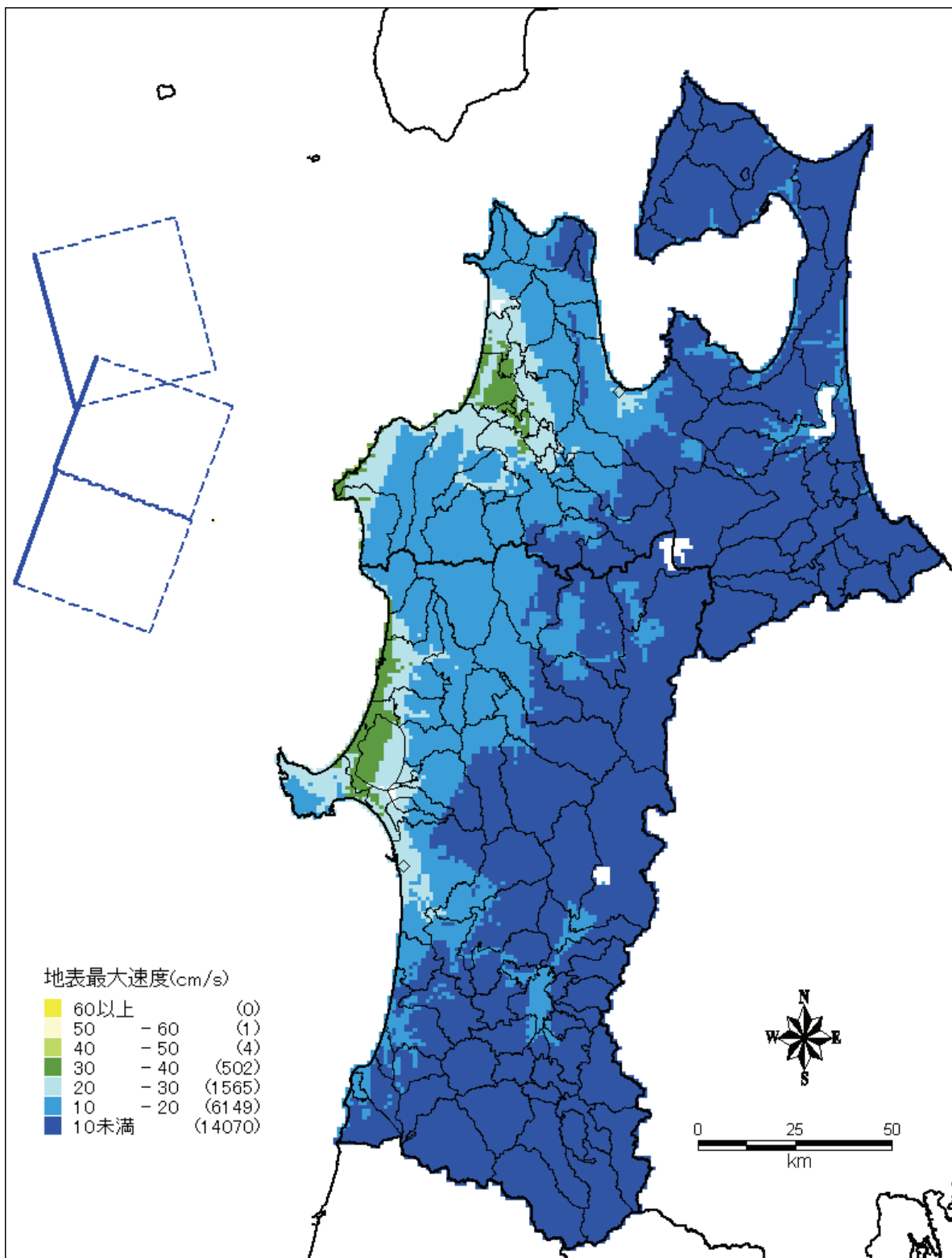
1983年日本海中部地震の地震動分布推定結果（地表最大速度）を図Ⅱ-4に示す。

また、地表最大速度の推定値と観測値（独立行政法人港湾空港技術研究所・港湾地域強震観測システムのデータ）との比較を下図に示す。観測値は3点と数は少ないが、図から、ある程度の精度で地表最大速度の推定はできていると考えられる。



図Ⅱ-3 1983年日本海中部地震 地表最大速度の観測値と推定値の比較

(注) 3点の観測最大速度は、独立行政法人港湾空港技術研究所・港湾地域強震観測システム (<http://www.eq.ysk.nilim.go.jp/>)の加速度波形(補正済)を積分して求めたもの



図Ⅱ-4 1983年日本海中部地震の地震動分布推定結果（地表最大速度）

(注1)地震動分布の推定範囲は青森県・秋田県の全域とした。

(注2)凡例のカッコ内の数値はメッシュ数。

3-2. 2004年新潟県中越地震

2004年新潟県中越地震については、より実際に近い地震動分布の推定を行うため、地震動観測記録を活用した以下の推定方法を用いた。

(1) 震源モデル

2004年新潟県中越地震の地震動分布推定にあたっては、Hikima and Koketsu(2005)による震源モデルを用いた(表II-3)。

表II-3 Hikima and Koketsu(2005)による2004年新潟県中越地震の震源モデル

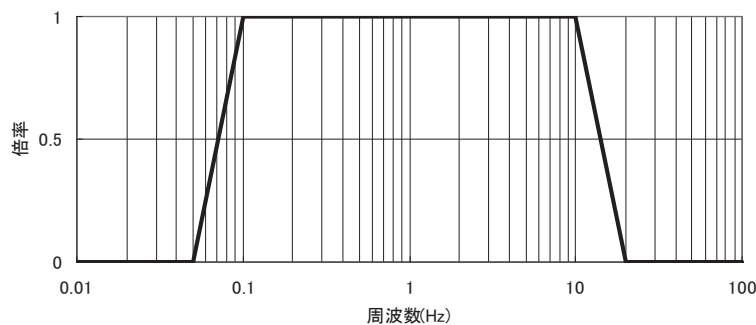
基準位置		長さ(km)	幅(km)	走向(°)	傾斜(°)	上端深さ(km)	Mw
緯度(°)	経度(°)						
37.38	138.99	24	16	216	53	0.2	6.6

(注)基準位置の緯度・経度,長さは論文の図から読み取った値.幅,上端深さは他の値から換算した値.

(2) 地震動分布の推定方法

2004年新潟県中越地震の地震動分布(地表最大速度)は、以下の考え方で求めた。

- ① (独)防災科学技術研究所による観測データ(強震観測網(K-NET)および基盤強震観測網(KiK-net))のうち、震源断層からの最短距離が150km以内の観測点を抽出する(K-NET 61点, KiK-net 59点. 表II-4, 図II-6)。なお、地表最大速度は、各観測点の加速度波形に下図のようなバンドパスフィルターを適用して積分し求めた。



図II-5 地表最大速度の算出に用いたバンドパスフィルター

- ② 抽出した各観測点のAVS30を以下の方法で設定する。AVS30推定可能な観測点の条件は下記の通り。
 - a) 深度30m以上のS波速度構造が把握されている場合は、そのデータを用いてAVS30を計算する。
 - b) a)に該当しない観測点についても、深度20mまでS波速度構造が把握され

ている場合は、Kanno et. Al. (2006)による $AVS20$ と $AVS30$ の関係式 ($AVS30=1.13 \times AVS20+19.5$) から $AVS30$ を推定。

- ③ 各観測点の地表最大速度を、松岡・翠川(1994)の方法で求めた表層地盤の増幅度 ARV で除すことにより、S波速度600m/sec相当層での基盤最大速度を推定する。

■松岡・翠川(1994)の方法

$$\log_{10} ARV = 1.83 - 0.66 \log_{10} AVS30 \pm 0.16 \quad (\text{ただし, } 100\text{m/s} < AVS30 < 1500\text{m/s})$$

ARV : 基準地盤 ($V_s=600\text{m/s}$) の最大速度振幅に対する表層地盤の増幅度

$AVS30$: 深さ30mまでの地盤平均S波速度 [m/s]

- ④ 各観測点の基盤最大速度より、空間補間により各1kmメッシュの基盤最大速度を推定する。空間補間の方法は、観測点が存在しない断層近傍の地震動が過少評価にならないように、観測地点の基盤最大速度より最小2乗法で推定した距離減衰式(下式参照)をトレンド成分としたSimple Kriging法を用いた。計算の際の相関距離は澤田ら(2007)を参考に20kmとした。なお、Simple Kriging法の計算プログラムは、(独)防災科学技術研究所川崎ラボラトリーより公開された"rasmo"を使用した(前述の条件で計算できるように一部コードを修正)。

$$\log PGV_{600} = a - \log(X + 0.0028 \cdot 10^{0.50M_w}) - k \cdot X$$

PGV_{600} : S波速度600m/sの工学的基盤上の最大速度 [cm/s]

M_w : モーメントマグニチュード

X : 断層最短距離 [km]

a, k : 回帰係数

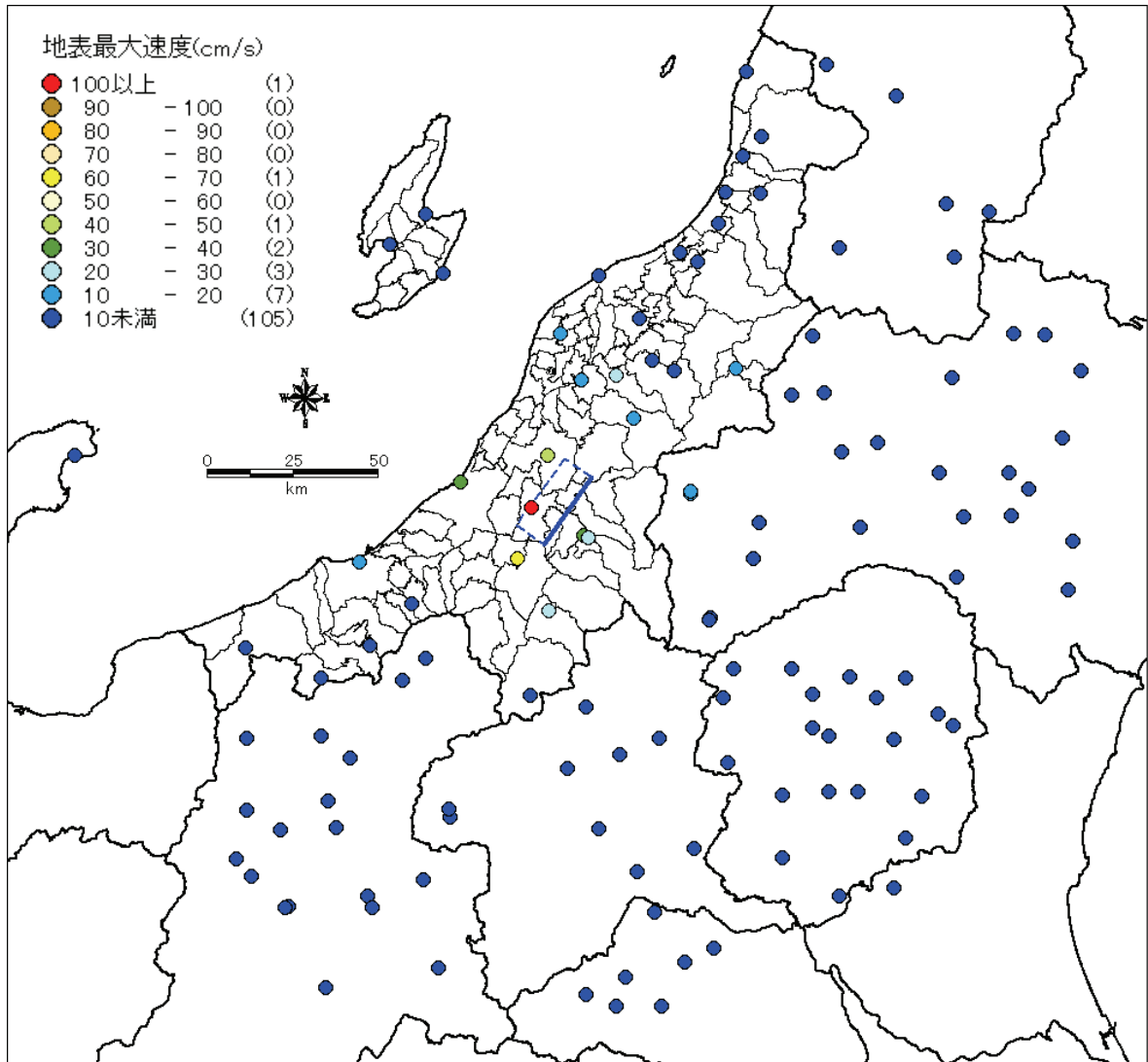
- ⑤ 若松ら(2005)による微地形区分データを用いて、松岡ら(2005)および松岡・翠川(1994)の方法により、各1kmメッシュの $AVS30$ および表層地盤の増幅度 ARV を求める。
- ⑥ 各1kmメッシュの基盤最大速度と ARV から地表最大速度を予測する。

(3) 地震動分布の推定結果

2004年新潟県中越地震の地震動分布推定結果(地表最大速度)を図II-7に示す。

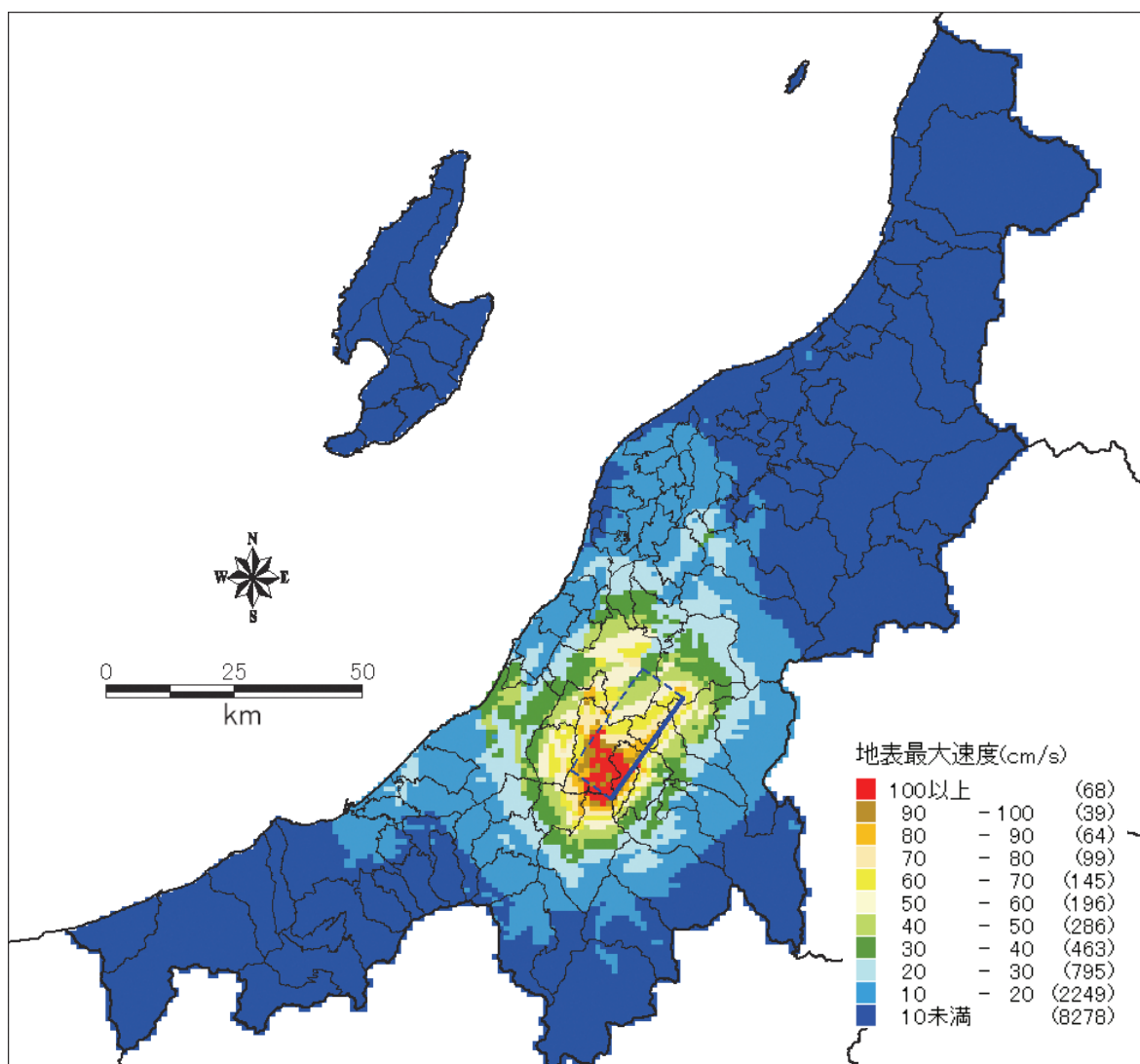
表Ⅱ-4 2004年新潟県中越地震 断層最短距離が150km以内のK-NET・KiK-net観測点

観測点 コード	観測点 名称	観測網	緯度 (度)	経度 (度)	地表最大 速度(cm/s)	断層最短 距離(km)	観測点 コード	観測点 名称	観測網	緯度 (度)	経度 (度)	地表最大 速度(cm/s)	断層最短 距離(km)
NIG019	小千谷	K-NET	37.303	138.793	125.73	7.6	GNM009	桐生	K-NET	36.408	139.328	2.88	102.1
NIGH11	川西	KiK-net	37.170	138.747	67.65	11.9	IBR008	下館	K-NET	36.303	139.986	2.63	145.6
NIG017	長岡	K-NET	37.439	138.846	47.63	10.3	GNMH07	利根	KiK-net	36.697	139.214	2.59	68.8
NIG018	柏崎	K-NET	37.369	138.561	31.12	25.2	NIG009	新発田	K-NET	37.948	139.341	2.55	69.6
NIG020	小出	K-NET	37.230	138.965	30.67	10.2	TCGH08	栗山東	KiK-net	36.880	139.649	2.52	82.0
NIGH06	加茂	KiK-net	37.650	139.071	28.93	29.6	FKSH07	檜枝岐	KiK-net	37.007	139.379	2.49	54.1
NIGH12	湯之谷	KiK-net	37.224	138.982	28.93	10.4	NIGH03	荒川	KiK-net	38.130	139.432	2.49	91.2
NIG022	塩沢	K-NET	37.033	138.849	20.42	23.1	NIG002	両津	K-NET	38.072	138.443	2.47	82.8
NIG025	直江津	K-NET	37.158	138.227	17.82	52.0	TCG004	湯元	K-NET	36.803	139.424	2.46	70.8
FKSH21	只見	KiK-net	37.339	139.318	17.04	32.5	TCGH11	今市	KiK-net	36.704	139.773	2.42	101.9
NIGH09	下田	KiK-net	37.536	139.131	16.06	21.5	NIG008	中条	K-NET	38.500	139.409	2.39	82.4
NIG014	三条	K-NET	37.638	138.959	15.49	26.0	GNMH09	高山	KiK-net	36.618	138.910	2.28	69.4
NIG013	巻	K-NET	37.761	138.887	13.33	38.7	NGN010	小諸	K-NET	36.325	138.439	2.20	107.9
FKS028	只見	K-NET	37.346	139.318	12.25	32.3	SIT006	秩父	K-NET	35.992	139.074	2.19	140.2
NIGH08	津川	KiK-net	37.668	139.468	10.61	53.9	SITH06	川本	KiK-net	36.109	139.299	2.19	132.2
NIGH18	妙高	KiK-net	36.939	138.262	8.36	59.9	TCG003	藤原	K-NET	36.811	139.719	2.15	91.2
NGN001	飯山	K-NET	36.848	138.369	8.27	60.2	NGN004	長野	K-NET	36.646	138.197	2.07	87.2
NIGH05	聖籠	KiK-net	37.973	139.282	8.20	69.8	TCGH09	矢板	KiK-net	36.859	139.840	2.05	97.7
GNM003	沼田	K-NET	36.655	139.082	8.19	68.4	TCG010	足尾	K-NET	36.632	139.441	2.03	86.0
NGNH29	野沢温泉	KiK-net	36.907	138.444	7.98	51.0	FKS018	郡山	K-NET	37.393	140.365	1.96	124.2
GNM002	水上	K-NET	36.779	138.973	7.97	52.6	FKS017	須賀川	K-NET	37.281	140.372	1.89	125.6
FKS022	西会津	K-NET	37.597	139.650	7.78	64.8	FKSH01	西会津	KiK-net	37.754	139.718	1.71	77.6
NIG010	新潟	K-NET	37.912	139.014	7.55	55.8	TCGH15	宇都宮	KiK-net	36.556	139.867	1.71	118.6
NIGH17	妙高高原	KiK-net	36.854	138.100	7.48	76.9	NIG005	松ヶ崎	K-NET	37.917	138.501	1.69	65.7
NIG011	新津	K-NET	37.798	139.148	7.09	47.3	TCG013	真岡	K-NET	36.434	140.026	1.68	138.2
FKSH03	高郷	KiK-net	37.605	139.757	6.80	73.9	YMTH05	小国	KiK-net	37.985	139.805	1.68	98.9
ISK002	正院	K-NET	37.441	137.291	6.52	133.8	TCG008	鹿沼	K-NET	36.557	139.771	1.58	112.1
NIGH13	牧	KiK-net	37.051	138.400	6.47	43.0	NGN005	白馬	K-NET	36.695	137.857	1.51	104.6
TCGH07	栗山西	KiK-net	36.879	139.457	4.83	67.7	FKS016	白河	K-NET	37.120	140.195	1.48	113.7
TCGH10	大田原	KiK-net	36.855	140.026	4.83	112.2	NIGH16	糸魚川	KiK-net	36.935	137.851	1.44	91.2
NGNH28	戸隠	KiK-net	36.704	138.100	4.78	87.9	TCGH13	馬頭	KiK-net	36.731	140.181	1.44	131.1
FKS023	会津若松	K-NET	37.474	139.933	4.77	86.3	NGNH26	上山田	KiK-net	36.463	138.150	1.39	106.0
NIG015	村松	K-NET	37.690	139.192	4.77	38.3	NGN007	杭瀬下	K-NET	36.531	138.122	1.38	101.4
TCG009	今市	K-NET	36.723	139.719	4.62	96.7	NIG007	村上	K-NET	38.227	139.490	1.27	103.1
SIT001	本庄	K-NET	36.240	139.197	4.57	115.6	NGNH32	松本	KiK-net	36.255	137.993	1.26	133.1
FKS026	南郷	K-NET	37.263	139.542	4.51	53.7	FKSH15	猪苗代	KiK-net	37.643	140.177	1.20	110.7
FKSH06	伊南	KiK-net	37.169	139.523	4.50	56.1	NGN006	大町	K-NET	36.506	137.854	1.18	118.9
FKS024	中野	K-NET	37.393	140.136	4.49	103.9	FKSH08	長沼	KiK-net	37.279	140.218	1.10	112.1
TCGH12	氏家	KiK-net	36.693	139.988	4.23	118.5	FKSH18	三春	KiK-net	37.486	140.541	1.08	140.0
GNM008	前橋	K-NET	36.345	139.140	4.09	103.0	NGN009	徳高	K-NET	36.335	137.872	1.07	132.1
NIG003	佐和田	K-NET	37.995	138.326	4.04	81.5	FKS003	福島	K-NET	37.758	140.483	1.06	140.1
TCG012	小山	K-NET	36.283	139.808	4.03	136.8	SITH09	皆野	KiK-net	36.068	139.102	1.05	132.3
SIT002	熊谷	K-NET	36.144	139.392	3.96	131.2	NGNH33	生坂	KiK-net	36.457	137.967	1.03	116.3
YMTH06	高畠	KiK-net	37.960	140.187	3.89	124.7	TCG011	葛生	K-NET	36.384	139.618	1.01	117.5
GNMH08	嬭恋	KiK-net	36.489	138.527	3.81	88.2	FKSH16	福島	KiK-net	37.761	140.380	1.00	131.5
NIGH19	湯沢	KiK-net	36.808	138.788	3.80	48.3	YMTH13	朝日	KiK-net	38.467	139.764	0.97	138.1
FKS029	檜枝岐	K-NET	37.013	139.383	3.71	54.1	FKSH12	平田	KiK-net	37.214	140.574	0.96	144.2
NIG006	寒川	K-NET	38.447	139.499	3.70	125.4	TCGH14	粟野	KiK-net	36.548	139.619	0.94	103.3
NIGH02	朝日	KiK-net	38.277	139.552	3.55	110.5	YMTH04	上山	KiK-net	38.078	140.301	0.94	140.0
NGN015	諏訪	K-NET	36.042	138.115	3.53	148.2	YMTH03	南陽	KiK-net	38.101	140.159	0.91	131.1
YMTH14	西川西	KiK-net	38.383	139.995	3.53	142.2	NGN012	松本	K-NET	36.253	137.982	0.86	133.8
NIGH07	村松	KiK-net	37.663	139.264	3.38	39.8	NGNH09	武石	KiK-net	36.283	138.252	0.82	118.7
FKSH04	会津高田	KiK-net	37.448	139.816	3.29	75.8	SITH08	小鹿野	KiK-net	36.024	138.972	0.81	135.6
FKSH05	下郷	KiK-net	37.251	139.876	3.26	82.7	SITH10	都幾川	KiK-net	35.993	139.222	0.79	142.7
TCG006	小川	K-NET	36.761	140.133	3.21	125.7	FKS013	古殿	K-NET	37.087	140.560	0.77	145.9
TCG005	矢板	K-NET	36.803	139.930	3.18	107.8	NGNH35	徳高	KiK-net	36.379	137.823	0.71	131.0
TCGH16	芳賀	KiK-net	36.545	140.078	3.14	134.3	FKSH09	郡山	KiK-net	37.350	140.430	0.68	130.0
GNM007	渋川	K-NET	36.459	139.013	3.11	88.2	NGN011	長門	K-NET	36.253	138.270	0.67	121.0
GNM005	嬭恋	K-NET	36.510	138.521	2.98	86.1	FKSH17	川俣	KiK-net	37.661	140.601	0.57	147.6
NIGH04	関川	KiK-net	38.128	139.546	2.89	96.0	NGN014	小海	K-NET	36.092	138.488	0.57	131.5



図Ⅱ-6 2004年新潟県中越地震の震源モデルと地震動分布推定に用いた観測点

(注) 凡例のカッコ内の数値はK-NET・KiK-net観測点数。



図Ⅱ-7 2004年新潟県中越地震の地震動分布推定結果（地表最大速度）

(注1)地震動分布の推定範囲は新潟県の全域とした。

(注2)凡例のカッコ内の数値はメッシュ数。

4. 液状化発生検討のための微地形区分データの作成

4-1. 地盤・地形に関する基礎データ

本研究では、全国地域を対象とした液状化発生予測手法を検討しているため、予測に使用する地盤・地形データは全国を統一的な基準で評価したものであることが望ましい。

従来の広域を対象とした液状化発生予測では、国土数値情報のデータ（地形・地質・標高など）から作成した地形分類を用いている場合が多い（ボーリングデータの情報があある地域はそれを反映させている場合もある）。しかし、国土数値情報の地形区分は、都道府県単位で作成された地形データをもとに作成されているため、地域的な特色を反映している一方で、複数の都道府県にまたがって使用する場合は、統一的な解釈で地形データが作成されていないため、県境などで不連続が生じることが多くあるという欠点がある。

そのような国土数値情報の欠点を克服した地形分類データとして、若松ら(2005)による「日本の地形・地盤デジタルマップ」がある。これは、統一した基準で全国の地形分類を見直し、さらに必要に応じて現地調査を行い評価した結果を1kmメッシュ単位でとりまとめたものである。

そこで、本研究では、液状化発生予測手法の検討用基礎データとして、「日本の地形・地盤デジタルマップ」を用いることとし、それを基に液状化予測に用いる微地形区分への細分類を行うこととする。

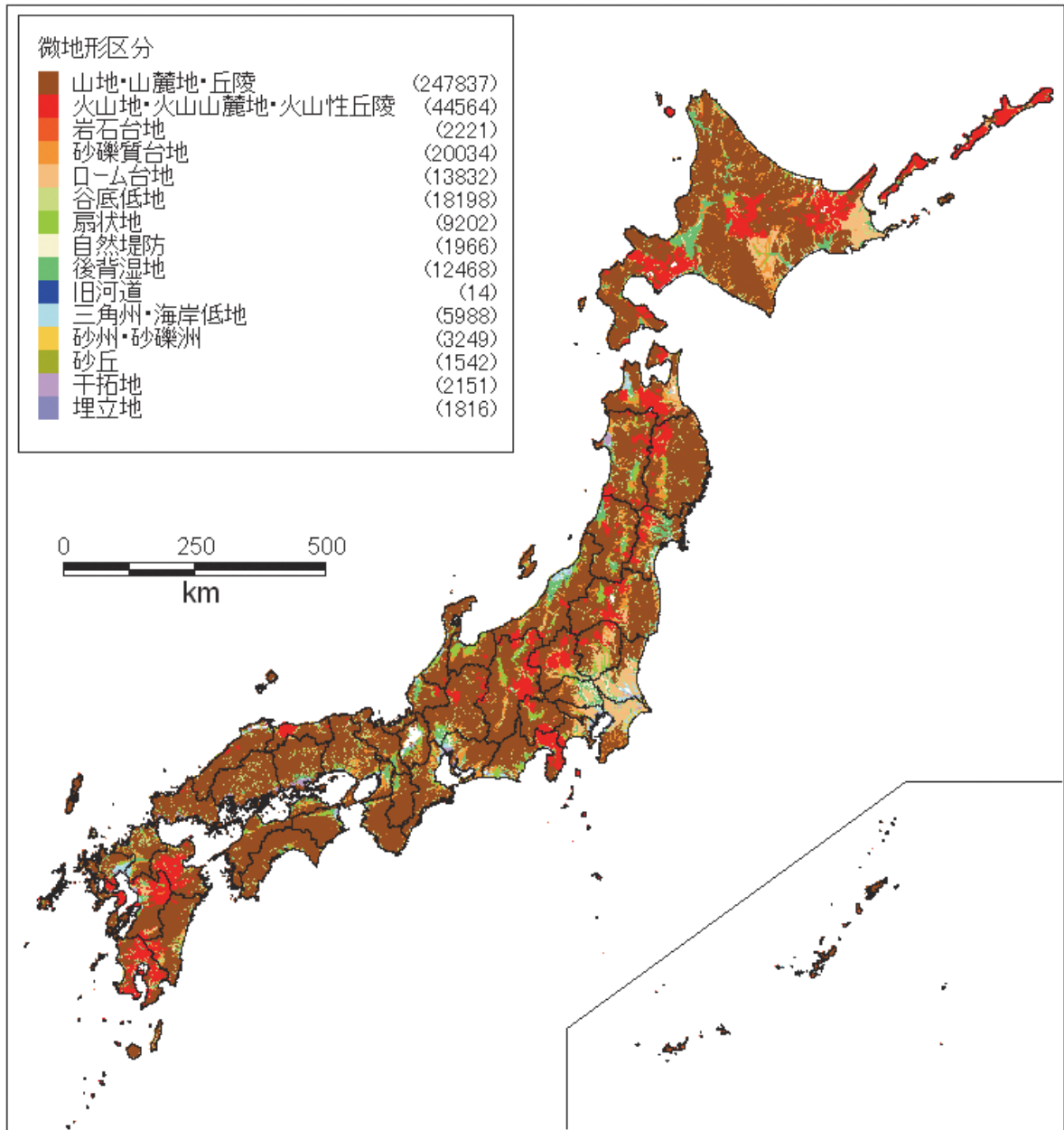
4-2. 若松ら(2005)による「日本の地形・地盤デジタルマップ」

若松ら(2005)による「日本の地形・地盤デジタルマップ」では、表Ⅱ-5に示す分類基準に基づき、日本全国を1kmメッシュ単位で20の微地形区分に分類している。

日本全国の微地形区分の分布を図Ⅱ-8に示す。

表Ⅱ-5 若松ら(2005)における微地形区分と分類基準

No.	微地形区分	定義・特徴
1	山地	1kmメッシュにおける起伏量(最高点と最低点の標高差)が概ね200m以上で、先第四系(第三紀以前の岩石)からなる標高の高い土地。
2	山麓地	先第四系山地に接し、土石流堆積物・崖錐堆積物など山地から供給された堆積物等よりなる比較的平滑な緩傾斜地。
3	丘陵	標高が比較的小さく、1kmメッシュにおける起伏量が概ね200m以下の斜面からなる土地。
4	火山地	第四系火山噴出物よりなり、標高・起伏量の大きなもの。
5	火山山麓地	火山地の周縁に分布する緩傾斜地で、火砕流堆積地や溶岩流堆積地、火山体の開析により形成される火山麓扇状地・泥石流堆積地などを含む。
6	火山性丘陵	火砕流堆積地のうち侵食が進み平坦面が残っていないもの、または小面積で孤立するもの。
7	岩石台地	河岸段丘または海岸段丘で表層の堆積物が約5m以下のもの、隆起サンゴ礁の石灰岩台地を含む。
8	砂礫質台地	河岸段丘または海岸段丘で表層に約5m以上の段丘堆積物(砂礫層、砂質土層)をもつもの。
9	ローム台地	河岸段丘または海岸段丘で表層が約5m以上のローム層(火山灰質粘性土)からなるもの。
10	谷底低地	山地・火山地・丘陵地・台地に分布する川沿いの幅の狭い沖積低地。表層堆積物は山間地の場合は砂礫が多く、台地・丘陵地・海岸付近では粘性土や泥炭質土のこともある。
11	扇状地	河川が山地から沖積低地に出るところに形成される砂礫よりなる半円錐状の堆積地。勾配は概ね1/1000以上。
12	自然堤防	河川により運搬された土砂のうち粗粒土(主に砂質土)が河道沿いに細長く堆積して形成された微高地。
13	後背湿地	扇状地の下流側または三角州の上流側に分布する沖積低地で自然堤防以外の低湿な平坦地。軟弱な粘性土、泥炭、腐植質土からなる。砂丘・砂州の内陸側や山地・丘陵地・台地等に囲まれたポケット状の低地で粘性土、泥炭、腐植質土が堆積する部分を含む。
14	旧河道	過去の河川の流路で、低地一般面より0.5~1m低い帯状の凹地。
15	三角州・海岸低地	三角州は河川河口部の沖積低地で、低平で主として砂ないし粘性土よりなるもの。海岸低地は汀線付近の堆積物よりなる浅海底が陸化した部分で、砂州や砂丘などの微高地以外の低平なもの。海岸・湖岸の小規模低地を含む。
16	砂州・砂礫州	波や潮流の作用により汀線沿いに形成された中密ないし密な砂または砂礫よりなる微高地。過去の海岸沿いに形成され、現在は内陸部に存在するものも含む。
17	砂丘	風により運搬され堆積した細砂ないし中砂が表層に約5m以上堆積する波状の地形。一般に砂州上に形成されるが、台地上に形成されたものも含む。
18	干拓地	浅海底や湖底部分を沖合の築堤と排水により陸化させたもの。標高は水面よりも低い。
19	埋立地	水面下の部分を盛土により陸化させたもの。標高は水面よりも高い。
20	湖沼	内陸部の水域。



図Ⅱ-8 若松ら(2005)による微地形区分の分布(1kmメッシュ単位)

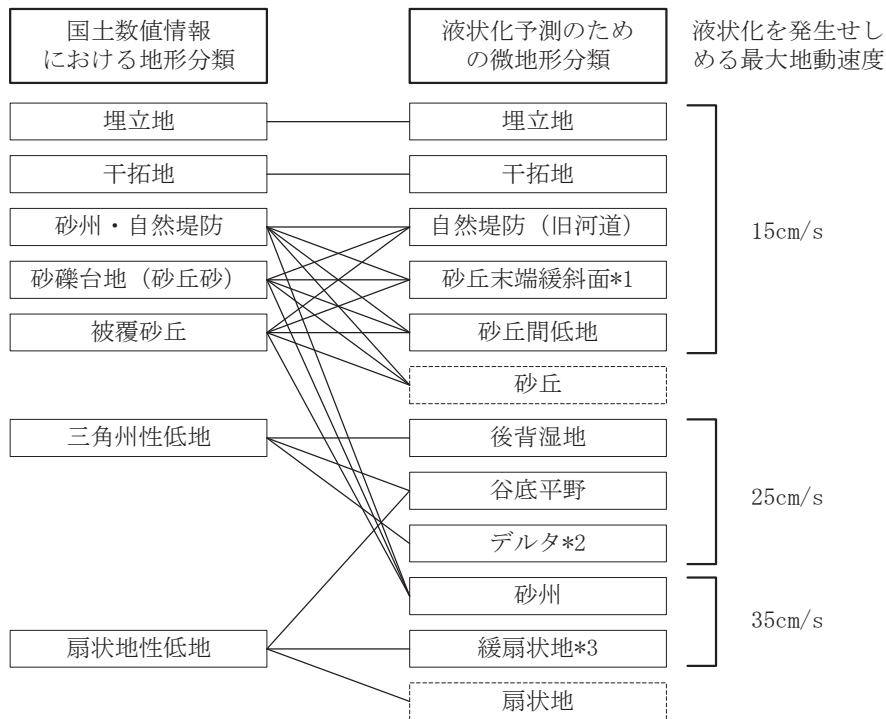
(注) 凡例のカッコ内の数値はメッシュ数。

4-3. 液状化発生予測のための微地形区分データの作成

若松ら(2005)による「日本の地形・地盤デジタルマップ」の微地形区分データを基に、液状化予測に用いる微地形区分への細分類を行う。

(1) 既往研究における液状化予測のための微地形区分

松岡ら(1993)は、 N 値や土の粒度などの地盤調査結果を用いずに、国土数値情報の地形分類から作成した液状化予測のための微地形分類と地表最大速度を用いて液状化危険度を評価する手法を提案している(図II-9, 表II-6)。液状化が最も発生しやすい微地形は、埋立地、干拓地、自然堤防、旧河道、砂丘末端緩斜面、砂丘間低地などであり、次に発生しやすいものは後背湿地、谷底平野、デルタなど、また砂州や緩扇状地などでは比較的発生しにくく、その他の微地形では液状化しにくいとしている。論文では、提案手法を1987年千葉県東方沖地震に適用してその予測精度を検証しており、液状化危険度分布の計算結果と実際の液状化発生地点が比較的良好に対応していることを確認している。



*1 砂丘と低地部との境界付近であり、砂丘縁辺部を含む

*2 デルタ地帯と呼ばれる地形分類のうち、埋立地、干拓地などを除いた狭義のデルタを指す

*3 扇頂から扇端までの平均縦断勾配が10/1000程度以下の扇状地を指す

図II-9 国土数値情報の地形分類と液状化予測のための微地形分類との対応関係

(松岡ら, 1993)

表Ⅱ-6 液状化危険度の評価基準(松岡ら(1993)より作成)

液状化危険度	地表最大速度
	液状化を発生せしめる地表最大速度
高い	1.25以上
やや高い	1.00～1.25
低い	0.75～1.00

また、国土庁による「液状化地域ゾーニングマニュアル(平成10年度版)」(国土庁防災局震災対策課, 1999)では、過去の被害事例に基づき、地盤表層の液状化可能性を微地形区分と地震動レベルから判定する基準を作成している(表Ⅱ-7)。

表Ⅱ-7 液状化地域ゾーニングマニュアルにおける液状化可能性の判定基準
(国土庁防災局震災対策課, 1999)

地盤表層の液状化可能性の程度				微地形区分	
グレード1	グレード2				
	レベル1地震動	レベル2地震動			
液状化の検討を要する地域	大	液状化の可能性は大きい	極大	液状化の可能性は非常に大きい	埋立地、盛土地、旧河道、旧池沼、ポイントバー、砂泥質の河原、人工海浜、砂丘間低地、堤間低地、湧水地
	小	液状化の可能性は小さい	大	液状化の可能性は大きい	自然堤防、湿地、砂州、後背低地、三角州、干拓地、緩扇状地 デルタ型谷底平野
	極小	液状化の可能性は極めて小さい	小	液状化の可能性は小さい	扇状地、砂礫質の河原、砂礫州、砂丘、海浜 扇状地型谷底平野
要しない地域	無	可能性無し	無	可能性無し	台地・段丘、丘陵地、山地

- (注1) ・ここで言う盛土地とは、崖・斜面に近接した盛土地、低湿地・干拓地・谷底平野の上の盛土地をさす。これ以外の盛土地は、盛土前の微地形区分と同等に扱う。
- (注2) ・自然堤防のうち、自然堤防縁辺部、比高の小さい自然堤防等、地下水位が高い部分(G.L.-2m～G.L.-3m以浅)は液状化の可能性を1ランク高く評価する。
- ・砂丘のうち、砂丘末端斜面や切土地など、地下水位が高い部分(G.L.-2m～G.L.-3m以浅)は液状化の可能性を2ランク高くする。
 - ・台地・段丘上でも凹地部分などで地下水位が高い場合は、液状化の可能性がある。

(2) 液状化発生予測のための微地形区分データの作成方法

(1) より、「日本の地形・地盤デジタルマップ」(若松ら, 2005)による微地形区分(表Ⅱ-5)のうち、「谷底低地」「扇状地」「砂丘」の3つについては、より細分類した微地形区分を用いて液状化発生予測を行ったほうがよいと考えられる。そこで本研究では、以下に示す方法で「谷底低地」「扇状地」「砂丘」の細分類を行った。

① 谷底低地の細分類

谷底低地については、若松ら(2005)による傾斜角を利用した方法を用いて、扇状地型谷底低地とデルタ型谷底低地の2区分に細分類する。具体的には、若松ら(2005)に収録されている1kmメッシュのメッシュ傾斜の値が0.01以上のものを扇状地型谷底低地とし、0.01未満をデルタ型谷底低地として判定する。

② 扇状地の細分類

扇状地については、若松ら(2005)による傾斜角を利用した方法を用いて、急勾配扇状地と緩勾配扇状地に細分類する。具体的には、1kmメッシュのメッシュ傾斜の値が0.01以上のものを急勾配扇状地とし、0.01未満を緩勾配扇状地として判定する。

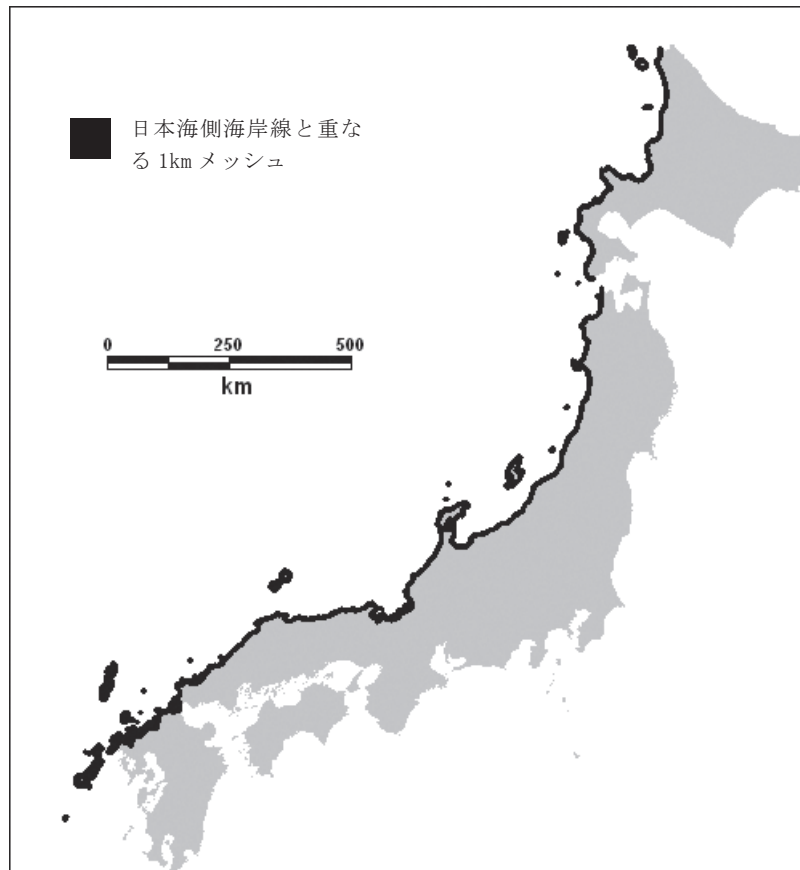
③ 砂丘の細分類

砂丘は、太平洋側と日本海側の海岸沿いに分布している。日本海側の砂丘は、主に偏西風により形成され、比高が高く、大規模なものが多い。そのため、砂丘の内部や境界部において砂丘間低地や砂丘末端緩斜面が形成され、そこでは砂丘から吹き飛ばされた緩い砂層が堆積しやすい環境にある。したがって、それらの砂丘間低地や砂丘末端緩斜面の液状化危険度はかなり高い。一方、太平洋側の砂丘は、主に沿岸流と波浪により形成され、比高が低く、小規模なものが多い。そのため、砂丘間低地や砂丘末端緩斜面は発達しにくい環境にある。

そこで本研究では、日本海側の砂丘についてのみ、砂丘・砂丘間低地・砂丘末端緩斜面の3区分に細分類することとする。具体的な手順は下記1)～4)の通りであるが、2)～4)に示す砂丘・砂丘間低地・砂丘末端緩斜面への細分類の方法は、松岡ら(1993)による250mメッシュ標高データ(1kmメッシュ内に4×4=16地点の標高データが存在する)を利用した分類方法を用いる。

- 1) 砂丘のメッシュ中心点と日本海側海岸線と重なるメッシュ(図Ⅱ-10)の中心点との最短距離が10km以内の砂丘メッシュを、細分類の対象とする日本海側の砂丘とする。10kmという値は、大規模に砂丘が発達している新潟平野に存在する砂丘メッシュを抽出できるように設定した。
- 2) 自然堤防、後背湿地、旧河道、三角州・海岸低地、砂州・砂礫州、砂礫質台地と接する砂丘のメッシュ内において、他の地形と接する側の8地点の標高の最小標高値と、他の地形のメッシュ内の16地点の最小標高値との差が5m未満を砂丘末端緩斜面、5m以上を砂丘とする。

- 3) 両隣に砂丘，砂丘末端緩斜面がある砂丘で，メッシュ内の標高値の標準偏差が4m以下，かつ，最大標高値が両隣の最大標高値より小さいものを砂丘間低地とする．
- 4) 隣に砂丘，砂丘末端緩斜面があり，逆隣に砂丘間低地がある砂丘で，メッシュ内の標高値の標準偏差が4m以下，かつ，最大標高値と隣接の砂丘間低地の最大標高値との差が2m以下を砂丘間低地とする．



図Ⅱ-10 設定した日本海側海岸線と重なる1kmメッシュの分布

上記により作成した本研究における液状化発生予測のための微地形区分と若松ら(2005)における微地形区分との対応を表Ⅱ-8に示す．

表Ⅱ-8 若松ら(2005)の微地形区分と本研究の液状化発生予測のための微地形区分の対応

若松ら(2005)	本研究	若松ら(2005)	本研究
山地	山地・丘陵・台地(注2)	扇状地	急勾配扇状地
山麓地			緩勾配扇状地
丘陵		自然堤防	自然堤防
火山地		後背湿地	後背湿地
火山山麓地		旧河道	旧河道
火山性丘陵		三角州・海岸低地	三角州・海岸低地
岩石台地		砂州・砂礫州	砂州・砂礫州
砂礫質台地		砂丘	砂丘末端緩斜面
ローム台地			砂丘間低地
谷底低地	扇状地型谷底低地		砂丘
	デルタ型谷底低地	干拓地	干拓地
		埋立地	埋立地

(注1) 微地形区分「湖沼」は液状化予測の対象外のため除いた

(注2) 微地形区分と液状化可能性の関係をまとめている主な既往研究としては、松岡ら(1993)と国土庁防災局震災対策課(1999)があるが、両研究とも山地・丘陵・台地は液状化発生の可能性が非常に低いとしている。そこで、本研究では若松ら(2005)の微地形区分のうち山地～ローム台地までを1つの微地形区分として取り扱うこととした。

(3) 液状化発生予測のための微地形区分データの作成結果

(2)の方法により作成した微地形区分データを図Ⅱ-12に、面積および世帯数について微地形区分別に集計した結果を表Ⅱ-9、図Ⅱ-11に示す。

図表から、1kmメッシュ単位の微地形区分別に存在する世帯数(全国)は、山地・丘陵・台地(2269万世帯)、後背湿地(566万世帯)、三角州・海岸低地(427万世帯)、扇状地型谷底低地(347万世帯)、緩勾配扇状地(328万世帯)の順に多い。旧河道と砂丘間低地については、全国で1万世帯に満たない。単位面積あたりの世帯数については、自然堤防(759世帯/km²)、三角州・海岸低地(684世帯/km²)、緩勾配扇状地(608世帯/km²)、旧河道(545世帯/km²)、干拓地(507世帯/km²)の順に多い。

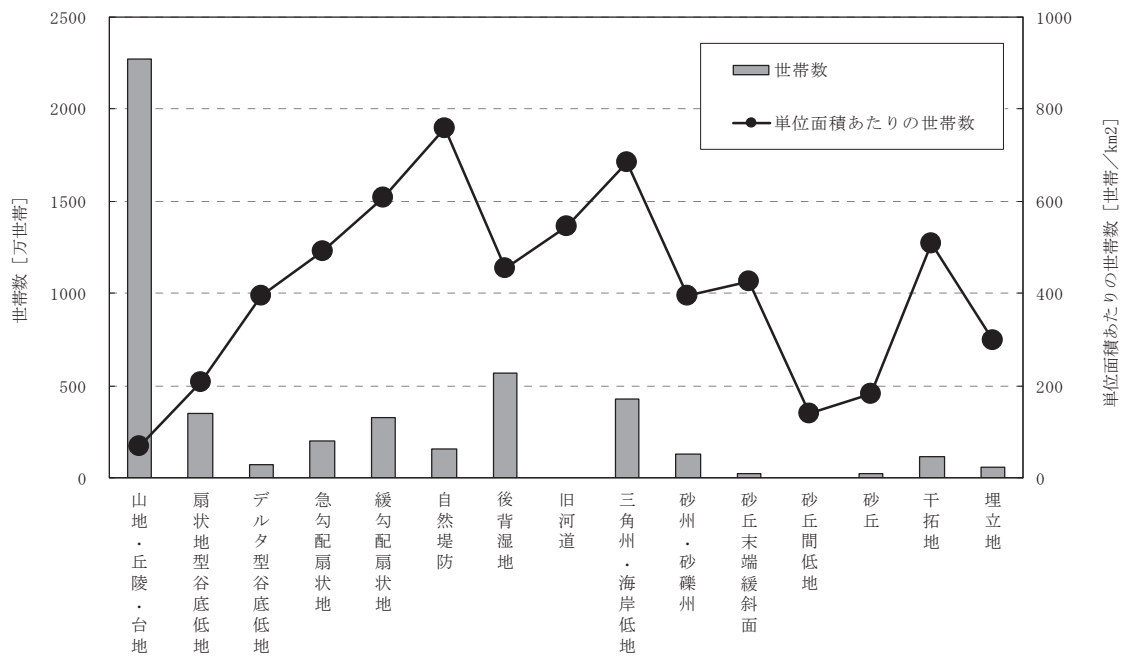
既往研究により液状化発生の可能性が非常に低いこと分かっている山地・丘陵・台地を除いた微地形区分のうち、液状化による住宅被害を予測する上で特に重要となる微地形を世帯数と単位面積あたりの世帯数の2つから判断すると、三角州・海岸低地、緩勾配扇状地、後背湿地などが挙げられる。

なお、微地形区分と面積・世帯数との関係については、付録1で簡単にまとめを行っている。

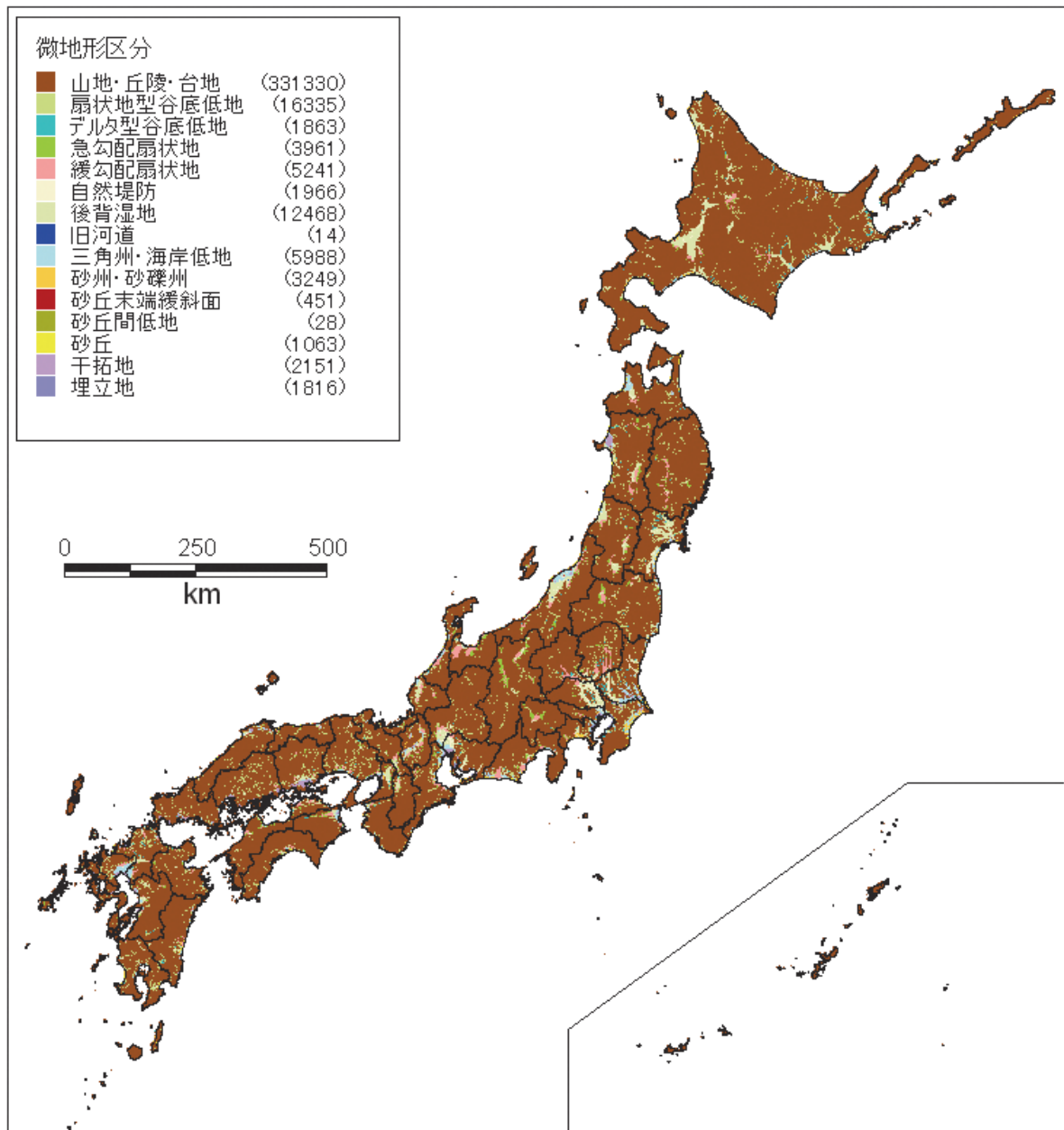
表Ⅱ-9 微地形区分別の面積・世帯数(全国計)

微地形区分	面積[km ²]			世帯数[万世帯]			単位面積あたりの世帯数 [世帯/km ²]
		割合1	割合2 (山地・丘陵・台地を除く)		割合1	割合2 (山地・丘陵・台地を除く)	
山地・丘陵・台地	335,627	85.3%	—	2,269.4	48.2%	—	68
扇状地型谷底低地	16,703	4.2%	28.9%	346.9	7.4%	14.2%	208
デルタ型谷底低地	1,878	0.5%	3.2%	74.3	1.6%	3.0%	396
急勾配扇状地	4,088	1.0%	7.1%	201.2	4.3%	8.3%	492
緩勾配扇状地	5,402	1.4%	9.3%	328.3	7.0%	13.5%	608
自然堤防	2,022	0.5%	3.5%	153.4	3.3%	6.3%	759
後背湿地	12,474	3.2%	21.6%	565.5	12.0%	23.2%	453
旧河道	14	0.0%	0.0%	0.8	0.0%	0.0%	545
三角州・海岸低地	6,241	1.6%	10.8%	426.6	9.1%	17.5%	684
砂州・砂礫州	3,263	0.8%	5.6%	128.5	2.7%	5.3%	394
砂丘末端緩斜面	458	0.1%	0.8%	19.5	0.4%	0.8%	426
砂丘間低地	28	0.0%	0.0%	0.4	0.0%	0.0%	140
砂丘	1,095	0.3%	1.9%	20.0	0.4%	0.8%	183
干拓地	2,266	0.6%	3.9%	114.9	2.4%	4.7%	507
埋立地	1,899	0.5%	3.3%	56.5	1.2%	2.3%	298
全国計	393,457	100.0%	—	4,706.3	100.0%	—	120
山地・丘陵・台地を除く計	57,830	14.7%	100.0%	2,436.9	51.8%	100.0%	421

(注) 面積は1kmメッシュ単位で集計した値であり、実際の面積とは異なる。



図Ⅱ-11 微地形区分別の世帯数および単位面積あたりの世帯数



図Ⅱ-12 若松ら(2005)を基に作成した液状化発生予測のための微地形区分

5. 液状化発生範囲・地震動分布・微地形区分の重ね合わせ

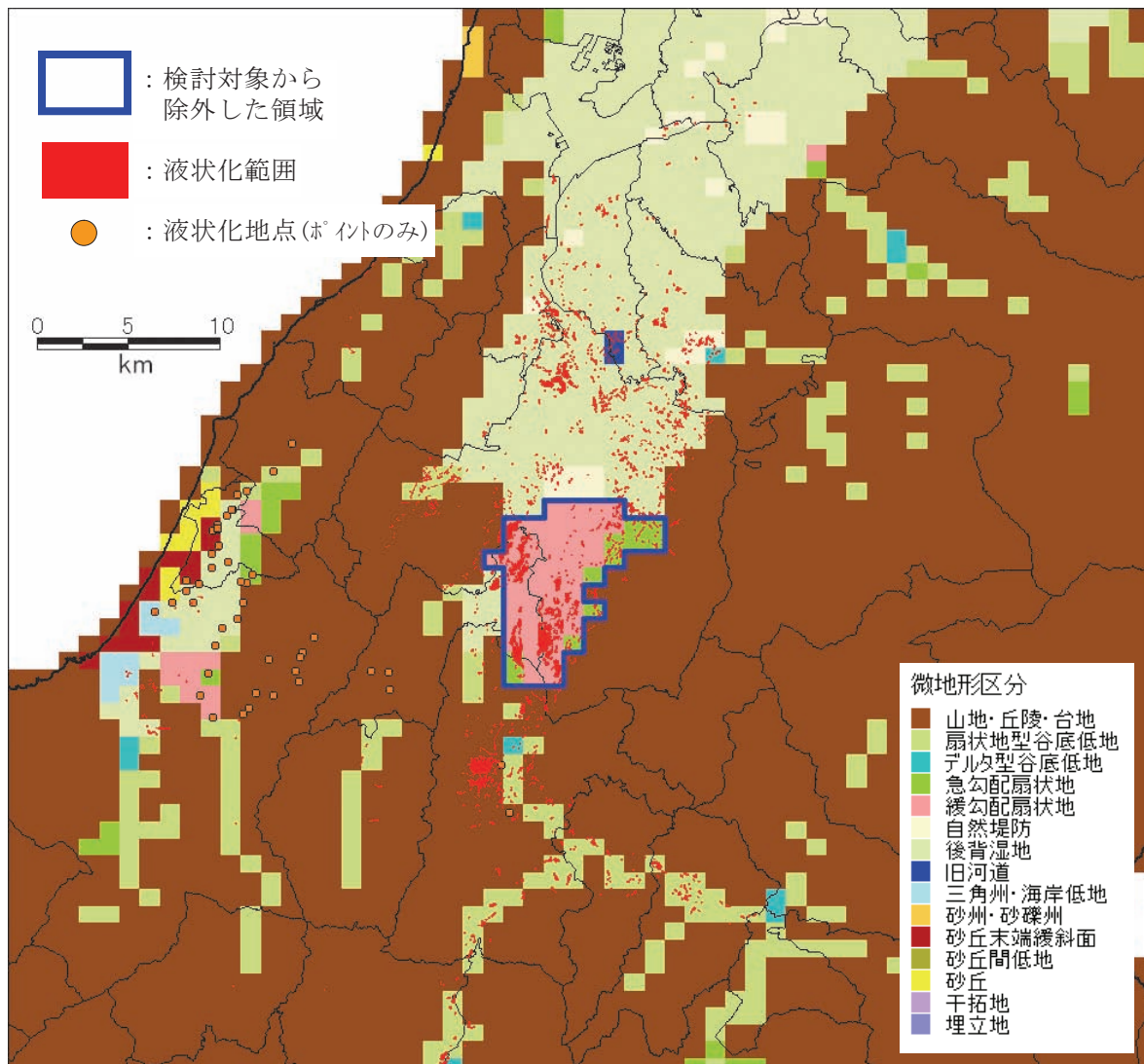
1983年日本海中部地震と2004年新潟県中越地震について、2. で検討した液状化発生範囲、3. で推定した地震動分布、4. で作成した微地形区分の3つデータの重ね合わせを行い、液状化発生予測手法を検討するための基礎データを作成する。

5-1. データの作成方法

具体的なデータ作成の手順は以下のとおりである。

- ① まず液状化発生範囲データ（ポイントも含む）から1kmメッシュ内の液状化発生の有無を判定する（わずかでも1kmメッシュ内に液状化発生範囲が含まれていれば、そのメッシュは液状化発生メッシュとする）。
- ② 次に、推定した1kmメッシュ単位の地表最大速度を利用して、1kmメッシュの液状化発生の有無の数を地表最大速度別に集計する。

なお、2004年新潟県中越地震については、若松ら(2006)において、液状化発生範囲のうち、図Ⅱ-13に青枠で示した扇状地の地域は砂利を採取した後の部分が液状化したものであることが指摘されている。したがって、微地形区分別の液状化発生予測方法を検討する基礎データとしては適当でないと考えられるため、以降の検討対象データには含めないこととした。



図Ⅱ-13 2004年新潟県中越地震の液状化発生範囲と検討対象から除外した領域
(若松(2007)より作成)

5-2. 微地形区分別のデータ数

5-1. で作成した1kmメッシュ単位で液状化発生の有無を判定したデータについて、微地形区分別と微地形区分別・地表最大速度別にどの程度のデータ数が存在するかを確認した結果を表Ⅱ-10、表Ⅱ-11に示す。表から、対象地域のメッシュ数と液状化メッシュ数が非常に少ない微地形が存在することが分かる。

表Ⅱ-10 微地形区分別 液状化発生状況データ

液状化用微地形	1983年日本海中部地震		2004年新潟県中越地震		2地震合計	
	メッシュ数	液状化メッシュ数	メッシュ数	液状化メッシュ数	メッシュ数	液状化メッシュ数
山地・丘陵・台地	18,811	36	10,091	129	28,902	165
扇状地型谷底低地	865	11	392	69	1,257	80
デルタ型谷底低地	117	4	51	4	168	8
急勾配扇状地	265	0	246	2	511	2
緩勾配扇状地	316	0	204	4	520	4
自然堤防	95	11	83	13	178	24
後背湿地	516	27	875	162	1,391	189
旧河道	4	1	10	2	14	3
三角州・海岸低地	478	140	412	2	890	142
砂州・砂礫州	177	9	8	0	185	9
砂丘末端緩斜面	138	40	134	4	272	44
砂丘間低地	12	4	11	0	23	4
砂丘	238	33	67	0	305	33
干拓地	220	67	0	0	220	67
埋立地	39	11	43	0	82	11
合計	22,291	394	12,627	391	34,918	785

(注) メッシュ数の集計範囲は1983年日本海中部地震が青森県・秋田県の全域、2004年新潟県中越地震は新潟県の全域。

表Ⅱ-11 微地形区分別・地表最大速度別 液状化発生状況データ（その1）

微地形区分 地表最大 速度 (cm/s)	全微地形						山地・丘陵・台地					
	日本海中部地震		新潟県中越地震		2地震合計		日本海中部地震		新潟県中越地震		2地震合計	
	メッシュ数	液状化 メッシュ数	メッシュ数	液状化 メッシュ数	メッシュ数	液状化 メッシュ数	メッシュ数	液状化 メッシュ数	メッシュ数	液状化 メッシュ数	メッシュ数	液状化 メッシュ数
5未満	1,986		5,285		7,271		1,977		4,736		6,713	
5-10	12,084		3,011		15,095		11,142		2,361		13,503	
10-15	4,152		1,345	3	5,497	3	3,379		1,005	1	4,384	1
15-20	1,997	17	999	18	2,996	35	1,586	8	623	4	2,209	12
20-25	893	71	453	15	1,346	86	583	24	295	5	878	29
25-30	672	160	296	26	968	186	102	4	206	11	308	15
30-35	424	107	249	52	673	159	30		156	18	186	18
35-40	78	39	184	45	262	84	11		128	12	139	12
40-45	4		146	34	150	34			90	5	90	5
45-50	1		113	28	114	28	1		75	6	76	6
50-55			89	28	89	28			59	5	59	5
55-60			74	15	74	15			54	3	54	3
60-65			71	19	71	19			51	4	51	4
65-70			66	14	66	14			54	7	54	7
70-75			49	14	49	14			41	6	41	6
75-80			39	9	39	9			35	5	35	5
80-85			32	8	32	8			28	4	28	4
85-90			22	4	22	4			21	3	21	3
90-95			24	13	24	13			22	12	22	12
95-100												
100-105			13	6	13	6			10	3	10	3
105-110			15	11	15	11			10	6	10	6
110-115			9	5	9	5			6	2	6	2
115-120			6	2	6	2			4		4	
120-125			6	1	6	1			4		4	
125-130			4	4	4	4						
130-135			6	6	6	6			1	1	1	1
135-140			21	11	21	11			16	6	16	6
140-145												
145-150												
計	22,291	394	12,627	391	34,918	785	18,811	36	10,091	129	28,902	165
微地形区分	扇状地形谷底低地						デルタ型谷底低地					
5未満	9		101		110				8		8	
5-10	388		30		418		31		2		33	
10-15	226		38		264		27		22		49	
15-20	159	1	39	1	198	2	18	1	5		23	1
20-25	41	3	25	3	66	6	13	1	5		18	1
25-30	30	5	27	2	57	7	21	1	1		22	1
30-35	9	2	30	8	39	10	7	1	4	1	11	2
35-40	3		13	2	16	2			1		1	
40-45			22	7	22	7						
45-50			6	1	6	1						
50-55			6	3	6	3			1	1	1	1
55-60			5	2	5	2						
60-65			8	4	8	4			1	1	1	1
65-70			7	2	7	2						
70-75			4	4	4	4						
75-80			3	3	3	3						
80-85			2	2	2	2						
85-90												
90-95												
95-100												
100-105			3	3	3	3						
105-110			4	4	4	4			1	1	1	1
110-115			3	3	3	3						
115-120			2	2	2	2						
120-125			2	1	2	1						
125-130			4	4	4	4						
130-135			5	5	5	5						
135-140			3	3	3	3						
140-145												
145-150												
計	865	11	392	69	1,257	80	117	4	51	4	168	8

(注1) メッシュ数の集計範囲は1983年日本海中部地震が青森県・秋田県の全域、2004年新潟県中越地震は新潟県の全域。

(注2) メッシュ数が0の場合は空欄とした。

表Ⅱ-11 微地形区分別・地表最大速度別 液状化発生状況データ（その2）

微地形区分 地表最大 速度 (cm/s)	急勾配扇状地						緩勾配扇状地					
	日本海中部地震		新潟県中越地震		2地震合計		日本海中部地震		新潟県中越地震		2地震合計	
	メッシュ数	液状化 メッシュ数	メッシュ数	液状化 メッシュ数	メッシュ数	液状化 メッシュ数	メッシュ数	液状化 メッシュ数	メッシュ数	液状化 メッシュ数	メッシュ数	液状化 メッシュ数
5未満			97		97				137		137	
5- 10	171		51		222		194		52		246	
10- 15	77		23		100		45		3		48	
15- 20	10		25		35		77		2		79	
20- 25	1		24		25							
25- 30	6		18		24				2		2	
30- 35			7	1	7	1			5	3	5	3
35- 40			1	1	1	1			3	1	3	1
40- 45												
45- 50												
50- 55												
55- 60												
60- 65												
65- 70												
70- 75												
75- 80												
80- 85												
85- 90												
90- 95												
95-100												
100-105												
105-110												
110-115												
115-120												
120-125												
125-130												
130-135												
135-140												
140-145												
145-150												
計	265		246	2	511	2	316		204	4	520	4
微地形区分	自然堤防						後背湿地					
5未満									81		81	
5- 10	1		29		30				139		139	
10- 15	16		23	2	39	2	210		83		293	
15- 20	18		19	2	37	2	29		255	11	284	11
20- 25	32		1		33		80	12	100	7	180	19
25- 30	27	10	1	1	28	11	145	6	41	12	186	18
30- 35	1	1	2	2	3	3	44	5	23	17	67	22
35- 40			2	2	2	2	8	4	27	21	35	25
40- 45									34	22	34	22
45- 50									32	21	32	21
50- 55			4	4	4	4			19	15	19	15
55- 60			2		2				13	10	13	10
60- 65									11	10	11	10
65- 70									5	5	5	5
70- 75									4	4	4	4
75- 80									1	1	1	1
80- 85									2	2	2	2
85- 90									1	1	1	1
90- 95									2	1	2	1
95-100												
100-105												
105-110												
110-115												
115-120												
120-125												
125-130												
130-135												
135-140									2	2	2	2
140-145												
145-150												
計	95	11	83	13	178	24	516	27	875	162	1,391	189

(注1) メッシュ数の集計範囲は1983年日本海中部地震が青森県・秋田県の全域、2004年新潟県中越地震は新潟県の全域。

(注2) メッシュ数が0の場合は空欄とした。

表Ⅱ-11 微地形区分別・地表最大速度別 液状化発生状況データ（その3）

微地形区分 地表最大 速度 (cm/s)	旧河道						三角州・海岸低地					
	日本海中部地震		新潟県中越地震		2地震合計		日本海中部地震		新潟県中越地震		2地震合計	
	メッシュ数	液状化 メッシュ数	メッシュ数	液状化 メッシュ数	メッシュ数	液状化 メッシュ数	メッシュ数	液状化 メッシュ数	メッシュ数	液状化 メッシュ数	メッシュ数	液状化 メッシュ数
5未満			8		8		13		51		51	
5- 10								224			237	
10- 15							76		122		198	
15- 20							22		7		29	
20- 25	4	1			4	1	43	6			43	6
25- 30							145	67			145	67
30- 35							134	34	3		137	34
35- 40			2	2	2	2	44	33	5	2	49	35
40- 45							1				1	
45- 50												
50- 55												
55- 60												
60- 65												
65- 70												
70- 75												
75- 80												
80- 85												
85- 90												
90- 95												
95-100												
100-105												
105-110												
110-115												
115-120												
120-125												
125-130												
130-135												
135-140												
140-145												
145-150												
計	4	1	10	2	14	3	478	140	412	2	890	142
微地形区分	砂州・砂礫州						砂丘末端緩斜面					
5未満			2		2				34		34	
5- 10	85		1		86		10		67		77	
10- 15	16		5		21		29		6		35	
15- 20	29	7			29	7	6		11		17	
20- 25	19	2			19	2	13	3	3		16	3
25- 30	19				19		33	15			33	15
30- 35	2				2		45	21	11	2	56	23
35- 40	4				4		2	1	2	2	4	3
40- 45	3				3							
45- 50												
50- 55												
55- 60												
60- 65												
65- 70												
70- 75												
75- 80												
80- 85												
85- 90												
90- 95												
95-100												
100-105												
105-110												
110-115												
115-120												
120-125												
125-130												
130-135												
135-140												
140-145												
145-150												
計	177	9	8		185	9	138	40	134	4	272	44

(注1) メッシュ数の集計範囲は1983年日本海中部地震が青森県・秋田県の全域、2004年新潟県中越地震は新潟県の全域。

(注2) メッシュ数が0の場合は空欄とした。

表Ⅱ-11 微地形区分別・地表最大速度別 液状化発生状況データ（その4）

微地形区分 地表最大 速度 (cm/s)	砂丘間低地						砂丘					
	日本海中部地震		新潟県中越地震		2地震合計		日本海中部地震		新潟県中越地震		2地震合計	
	メッシュ数	液状化 メッシュ数	メッシュ数	液状化 メッシュ数	メッシュ数	液状化 メッシュ数	メッシュ数	液状化 メッシュ数	メッシュ数	液状化 メッシュ数	メッシュ数	液状化 メッシュ数
5未満			7		7				17		17	
5- 10			4		4		36		27		63	
10- 15							46		8		54	
15- 20							41		7		48	
20- 25	4	2			4	2	31	6			31	6
25- 30	7	2			7	2	32	15			32	15
30- 35	1				1		47	11	8		55	11
35- 40							5	1			5	1
40- 45												
45- 50												
50- 55												
55- 60												
60- 65												
65- 70												
70- 75												
75- 80												
80- 85												
85- 90												
90- 95												
95-100												
100-105												
105-110												
110-115												
115-120												
120-125												
125-130												
130-135												
135-140												
140-145												
145-150												
計	12	4	11		23	4	238	33	67		305	33
微地形区分	干拓地						埋立地					
5未満									14		14	
5- 10							13		16		29	
10- 15	5				5				7		7	
15- 20							2		6		8	
20- 25	16	6			16	6	13	5			13	5
25- 30	98	30			98	30	7	5			7	5
30- 35	101	31			101	31	3	1			3	1
35- 40							1				1	
40- 45												
45- 50												
50- 55												
55- 60												
60- 65												
65- 70												
70- 75												
75- 80												
80- 85												
85- 90												
90- 95												
95-100												
100-105												
105-110												
110-115												
115-120												
120-125												
125-130												
130-135												
135-140												
140-145												
145-150												
計	220	67			220	67	39	11	43		82	11

(注1) メッシュ数の集計範囲は1983年日本海中部地震が青森県・秋田県の全域、2004年新潟県中越地震は新潟県の全域。

(注2) メッシュ数が0の場合は空欄とした。

6. 液状化発生率の検討

本節では、5. で作成した液状化発生範囲・地震動分布・微地形区分の重ね合わせデータおよびその集計結果を用いて、液状化発生率の検討を行う。

6-1. 全体的な液状化発生の傾向

(1) 全微地形区分での検討

5. でまとめた微地形区分別・地表最大速度別の液状化発生状況データ（表Ⅱ-11）を用いて、まず、全体的な液状化発生の傾向について検討する。表Ⅱ-11の全微地形区分のデータから地表最大速度別に液状化発生率を計算した結果を表Ⅱ-12、図Ⅱ-14に示す。図表から、地表最大速度と液状化発生の関係については、以下のような傾向が指摘できる。

- 地表最大速度が大きくなるほど液状化の発生するメッシュの割合（液状化発生率）は大きくなる
- 液状化の発生しはじめる地表最大速度の目安は15～20cm/s程度である。地表最大速度が15cm/s以下で液状化が発生する可能性は非常に小さい。

(2) 山地・丘陵・台地以外の全微地形区分での検討

微地形区分と液状化可能性の関係をまとめている主な既往研究としては、松岡ら(1993)と国土庁防災局震災対策課(1999)があるが、両研究とも、山地・丘陵・台地については、液状化発生の可能性が非常に低いとしている。そこで、山地・丘陵・台地以外の全微地形区分について、全体的な液状化発生の傾向の検討を行う。

山地・丘陵・台地以外の全微地形区分のデータから地表最大速度別に液状化発生率を計算した結果を表Ⅱ-13、図Ⅱ-15に示す。図表から、地表最大速度と液状化発生の関係については、以下のような傾向が指摘できる。

- 地表最大速度が大きくなるほど液状化の発生するメッシュの割合（液状化発生率）は大きくなる
- 液状化の発生しはじめる地表最大速度の目安は15～20cm/s程度である。地表最大速度が15cm/s以下で液状化が発生する可能性は非常に小さい。
- 液状化発生率は、地表最大速度が15cm/s～80cm/s程度まではほぼ単調に増加し、80cm/s程度以上では100%に近い値となっている。

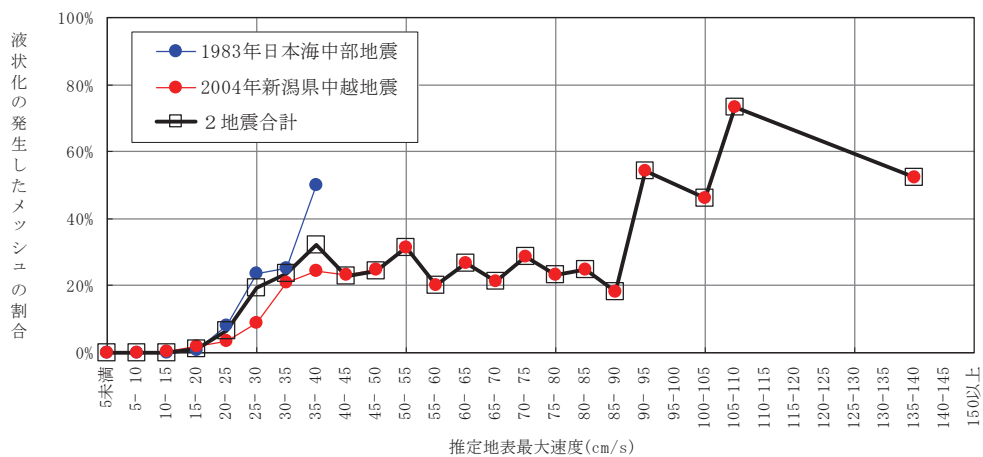
上記の傾向のうち、1点目と2点目は(1)と同様の傾向であるが、3点目の傾向は山地・丘陵・台地を除いたことで明瞭になった点である。

表Ⅱ-12 地表最大速度と液状化発生の関係：全微地形区分

推定地表最大速度 (cm/s)	1983年日本海中部地震			2004年新潟県中越地震			2地震合計		
	メッシュ数	液状化メッシュ数	割合 (%)	メッシュ数	液状化メッシュ数	割合 (%)	メッシュ数	液状化メッシュ数	割合 (%)
5未満	1,986		0.0	5,285		0.0	7,271		0.0
5- 10	12,084		0.0	3,011		0.0	15,095		0.0
10- 15	4,152		0.0	1,345	3	0.2	5,497	3	0.1
15- 20	1,997	17	0.9	999	18	1.8	2,996	35	1.2
20- 25	893	71	8.0	453	15	3.3	1,346	86	6.4
25- 30	672	160	23.8	296	26	8.8	968	186	19.2
30- 35	424	107	25.2	249	52	20.9	673	159	23.6
35- 40	78	39	50.0	184	45	24.5	262	84	32.1
40- 45	4		0.0	146	34	23.3	150	34	22.7
45- 50	1		0.0	113	28	24.8	114	28	24.6
50- 55			-	89	28	31.5	89	28	31.5
55- 60			-	74	15	20.3	74	15	20.3
60- 65			-	71	19	26.8	71	19	26.8
65- 70			-	66	14	21.2	66	14	21.2
70- 75			-	49	14	28.6	49	14	28.6
75- 80			-	39	9	23.1	39	9	23.1
80- 85			-	32	8	25.0	32	8	25.0
85- 90			-	22	4	18.2	22	4	18.2
90- 95			-	24	13	54.2	24	13	54.2
95-100			-			-			-
100-105			-	13	6	46.2	13	6	46.2
105-110			-	15	11	73.3	15	11	73.3
110-115			-	9	5	55.6	9	5	55.6
115-120			-	6	2	33.3	6	2	33.3
120-125			-	6	1	16.7	6	1	16.7
125-130			-	4	4	100.0	4	4	100.0
130-135			-	6	6	100.0	6	6	100.0
135-140			-	21	11	52.4	21	11	52.4
140-145			-			-			-
150以上			-			-			-
計	22,291	394		12,627	391		34,918	785	

(注1) メッシュ数の集計範囲は1983年日本海中部地震が青森県・秋田県の全域、2004年新潟県中越地震は新潟県の全域。

(注2) メッシュ数が0の場合は空欄とした。



図Ⅱ-14 地表最大速度と液状化発生の関係：全微地形区分

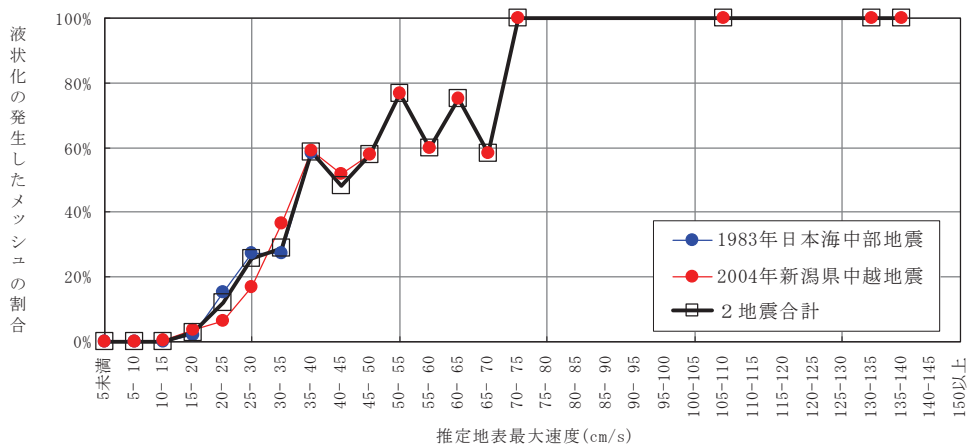
(注) メッシュ数が10以上の区分のみグラフに表示した。

表Ⅱ-13 地表最大速度と液状化発生の関係：山地・丘陵・台地以外の全微地形区分

推定地表最大速度(cm/s)	1983年日本海中部地震			2004年新潟県中越地震			2地震合計		
	メッシュ数	液状化メッシュ数	割合(%)	メッシュ数	液状化メッシュ数	割合(%)	メッシュ数	液状化メッシュ数	割合(%)
5未満	9		0.0	549		0.0	558		0.0
5- 10	942		0.0	650		0.0	1,592		0.0
10- 15	773		0.0	340	2	0.6	1,113	2	0.2
15- 20	411	9	2.2	376	14	3.7	787	23	2.9
20- 25	310	47	15.2	158	10	6.3	468	57	12.2
25- 30	570	156	27.4	90	15	16.7	660	171	25.9
30- 35	394	107	27.2	93	34	36.6	487	141	29.0
35- 40	67	39	58.2	56	33	58.9	123	72	58.5
40- 45	4		0.0	56	29	51.8	60	29	48.3
45- 50			-	38	22	57.9	38	22	57.9
50- 55			-	30	23	76.7	30	23	76.7
55- 60			-	20	12	60.0	20	12	60.0
60- 65			-	20	15	75.0	20	15	75.0
65- 70			-	12	7	58.3	12	7	58.3
70- 75			-	8	8	100.0	8	8	100.0
75- 80			-	4	4	100.0	4	4	100.0
80- 85			-	4	4	100.0	4	4	100.0
85- 90			-	1	1	100.0	1	1	100.0
90- 95			-	2	1	50.0	2	1	50.0
95-100			-			-			-
100-105			-	3	3	100.0	3	3	100.0
105-110			-	5	5	100.0	5	5	100.0
110-115			-	3	3	100.0	3	3	100.0
115-120			-	2	2	100.0	2	2	100.0
120-125			-	2	1	50.0	2	1	50.0
125-130			-	4	4	100.0	4	4	100.0
130-135			-	5	5	100.0	5	5	100.0
135-140			-	5	5	100.0	5	5	100.0
140-145			-			-			-
150以上			-			-			-
計	3,480	358		2,536	262		6,016	620	

(注1) メッシュ数の集計範囲は1983年日本海中部地震が青森県・秋田県の全域、2004年新潟県中越地震は新潟県の全域。

(注2) メッシュ数が0の場合は空欄とした。



図Ⅱ-15 地表最大速度と液状化発生の関係：山地・丘陵・台地以外の全微地形区分

(注) メッシュ数が5以上の区分のみグラフに表示した。

6-2. 微地形区分別（液状化可能性ランク別）の液状化発生の傾向

次に、微地形区分別に液状化発生の傾向について検討を行う。

表Ⅱ-10、表Ⅱ-11の微地形区分別の液状化発生状況データをみると、対象地域のメッシュ数と液状化メッシュ数が非常に少ない微地形が存在する。したがって、15の微地形区分別に液状化発生率の検討を行うことはできないと考えられる。ここでは、類似の液状化可能性の傾向を持つ微地形区分をグループ化して検討を行っていく。

（1）液状化可能性から見た微地形区分のグループ分け

4-3. （1）でまとめたように、微地形区分と液状化可能性の関係をまとめている主な既往研究としては、松岡ら(1993)と国土庁防災局震災対策課(1999)があるが、両研究はともに、液状化可能性から微地形を4ランクに区分している（両研究の各ランクの意味は厳密に対応している訳ではない）。2つの研究におけるランク分けと、それらを参考に設定した本研究のランク分けを表Ⅱ-14に示す。なお、本研究のランク分けにあたっては、より最近の研究である国土庁防災局震災対策課(1999)にできるだけ整合するように設定し、砂州・砂礫州のようにランクが異なるものは液状化しやすい方に設定した。

表Ⅱ-14 液状化可能性から見た微地形区分のランク分け

液状化可能性 ランク	松岡ら(1993)	国土庁防災局震災対策課(1999)	本研究
ランク1 (可能性大)	<ul style="list-style-type: none"> 埋立地 旧河道 砂丘末端緩斜面 砂丘間低地 干拓地 自然堤防 	<ul style="list-style-type: none"> 埋立地 砂丘間低地 旧河道 旧池沼 ポイントバー 砂泥質の河原 人工海浜 堤間低地 湧水地 盛土地 	<ul style="list-style-type: none"> 埋立地 砂丘末端緩斜面 砂丘間低地 旧河道
ランク2 (可能性中)	<ul style="list-style-type: none"> 後背湿地 谷底平野 デルタ *1 	<ul style="list-style-type: none"> 自然堤防 砂州 後背湿地 三角州 干拓地 デルタ型谷底平野 緩扇状地 湿地 	<ul style="list-style-type: none"> 自然堤防 砂州・砂礫州 後背湿地 三角州・海岸低地 干拓地 デルタ型谷底低地 緩勾配扇状地
ランク3 (可能性小)	<ul style="list-style-type: none"> 砂州 緩扇状地 *2 	<ul style="list-style-type: none"> 砂丘 扇状地型谷底平野 扇状地 砂礫質の河原 砂礫州 海浜 	<ul style="list-style-type: none"> 砂丘 扇状地型谷底低地 急勾配扇状地
ランク4 (可能性ほぼなし)	<ul style="list-style-type: none"> その他の微地形 	<ul style="list-style-type: none"> 山地・段丘 丘陵地 台地 	<ul style="list-style-type: none"> 山地・丘陵・台地

*1 デルタ地帯と呼ばれる地形分類のうち、埋立地、干拓地などを除いた狭義のデルタを指す。

*2 扇頂から扇端までの平均縦断勾配が10/1000程度以下の扇状地を指す。

(2) 液状化可能性ランク別の液状化発生率の検討

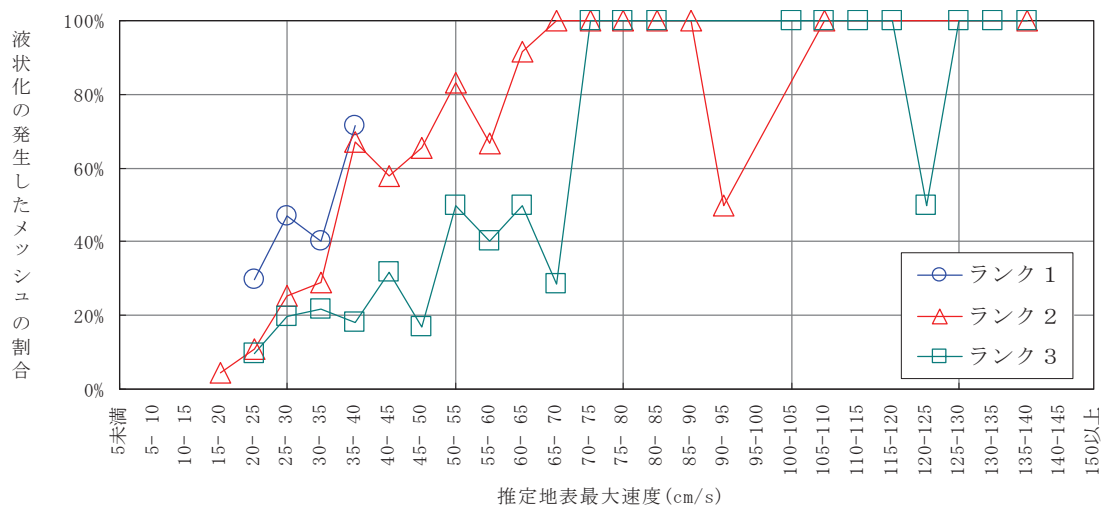
5. でまとめた微地形区分別・地表最大速度別の液状化発生状況データ（表Ⅱ-11）について、（1）で分類した液状化可能性ランク別に再集計し、液状化発生率の検討を行う。ランク別のデータ数を表Ⅱ-15に、地表最大速度別に液状化発生率を計算した結果を表Ⅱ-16、図Ⅱ-17に示す。また、液状化可能性ランク別に地表最大速度別の液状化発生率をまとめたグラフを図Ⅱ-16に示す。

図表から、液状化発生ランク2の液状化発生率は、25cm/s～70cm/s程度まではランク3よりも高くなっている。ランク1については、サンプル数が少ないものの、ランク2よりも液状化発生率が高い傾向が見られる。

表Ⅱ-15 液状化可能性ランク別 液状化発生状況データ

液状化可能性 ランク	微地形区分	1983年日本海中部地震		2004年新潟県中越地震		2地震合計	
		メッシュ数	液状化 メッシュ数	メッシュ数	液状化 メッシュ数	メッシュ数	液状化 メッシュ数
ランク1 (可能性 大)	・埋立地 ・砂丘末端緩斜面 ・砂丘間低地 ・旧河道	193	56	198	6	391	62
ランク2 (可能性 中)	・自然堤防・後背湿地 ・砂州・砂礫洲・干拓地 ・三角洲・海岸低地 ・デルタ型谷底低地 ・緩勾配扇状地	1,919	258	1,633	185	3,552	443
ランク3 (可能性 小)	・砂丘 ・扇状地型谷底低地 ・急勾配扇状地	1,368	44	705	71	2,073	115

(注) メッシュ数の集計範囲は1983年日本海中部地震が青森県・秋田県の全域、2004年新潟県中越地震は新潟県の全域。



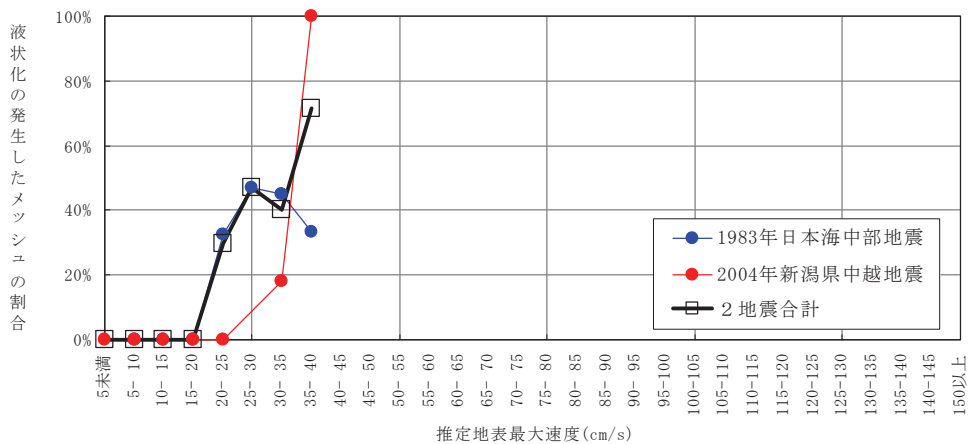
図Ⅱ-16 地表最大速度と液状化発生の関係：液状化可能性ランク別

表Ⅱ-16 地表最大速度と液状化発生の関係 (その1)液状化可能性ランク 1

推定地表最大速度 (cm/s)	1983年日本海中部地震			2004年新潟県中越地震			2地震合計		
	メッシュ数	液状化メッシュ数	割合 (%)	メッシュ数	液状化メッシュ数	割合 (%)	メッシュ数	液状化メッシュ数	割合 (%)
5未満			-	55		0.0	55		0.0
5- 10	23		0.0	95		0.0	118		0.0
10- 15	29		0.0	13		0.0	42		0.0
15- 20	8		0.0	17		0.0	25		0.0
20- 25	34	11	32.4	3		0.0	37	11	29.7
25- 30	47	22	46.8			-	47	22	46.8
30- 35	49	22	44.9	11	2	18.2	60	24	40.0
35- 40	3	1	33.3	4	4	100.0	7	5	71.4
40- 45			-			-			-
45- 50			-			-			-
50- 55			-			-			-
55- 60			-			-			-
60- 65			-			-			-
65- 70			-			-			-
70- 75			-			-			-
75- 80			-			-			-
80- 85			-			-			-
85- 90			-			-			-
90- 95			-			-			-
95-100			-			-			-
100-105			-			-			-
105-110			-			-			-
110-115			-			-			-
115-120			-			-			-
120-125			-			-			-
125-130			-			-			-
130-135			-			-			-
135-140			-			-			-
140-145			-			-			-
150以上			-			-			-
計	193	56		198	6		391	62	

(注1) メッシュ数の集計範囲は1983年日本海中部地震が青森県・秋田県の全域、2004年新潟県中越地震は新潟県の全域。

(注2) メッシュ数が0の場合は空欄とした。



図Ⅱ-17 地表最大速度と液状化発生の関係 (その1)液状化可能性ランク 1

表 II-16 地表最大速度と液状化発生の関係 (その2)液状化可能性ランク 2

推定地表最大速度 (cm/s)	1983年日本海中部地震			2004年新潟県中越地震			2地震合計		
	メッシュ数	液状化メッシュ数	割合 (%)	メッシュ数	液状化メッシュ数	割合 (%)	メッシュ数	液状化メッシュ数	割合 (%)
5未満			-	279		0.0	279		0.0
5- 10	324		0.0	447		0.0	771		0.0
10- 15	395		0.0	258	2	0.8	653	2	0.3
15- 20	193	8	4.1	288	13	4.5	481	21	4.4
20- 25	203	27	13.3	106	7	6.6	309	34	11.0
25- 30	455	114	25.1	45	13	28.9	500	127	25.4
30- 35	289	72	24.9	37	23	62.2	326	95	29.1
35- 40	56	37	66.1	38	26	68.4	94	63	67.0
40- 45	4		0.0	34	22	64.7	38	22	57.9
45- 50			-	32	21	65.6	32	21	65.6
50- 55			-	24	20	83.3	24	20	83.3
55- 60			-	15	10	66.7	15	10	66.7
60- 65			-	12	11	91.7	12	11	91.7
65- 70			-	5	5	100.0	5	5	100.0
70- 75			-	4	4	100.0	4	4	100.0
75- 80			-	1	1	100.0	1	1	100.0
80- 85			-	2	2	100.0	2	2	100.0
85- 90			-	1	1	100.0	1	1	100.0
90- 95			-	2	1	50.0	2	1	50.0
95-100			-			-			-
100-105			-			-			-
105-110			-	1	1	100.0	1	1	100.0
110-115			-			-			-
115-120			-			-			-
120-125			-			-			-
125-130			-			-			-
130-135			-			-			-
135-140			-	2	2	100.0	2	2	100.0
140-145			-			-			-
150以上			-			-			-
計	1,919	258		1,633	185		3,552	443	

(注1) メッシュ数の集計範囲は1983年日本海中部地震が青森県・秋田県の全域、2004年新潟県中越地震は新潟県の全域。

(注2) メッシュ数が0の場合は空欄とした。

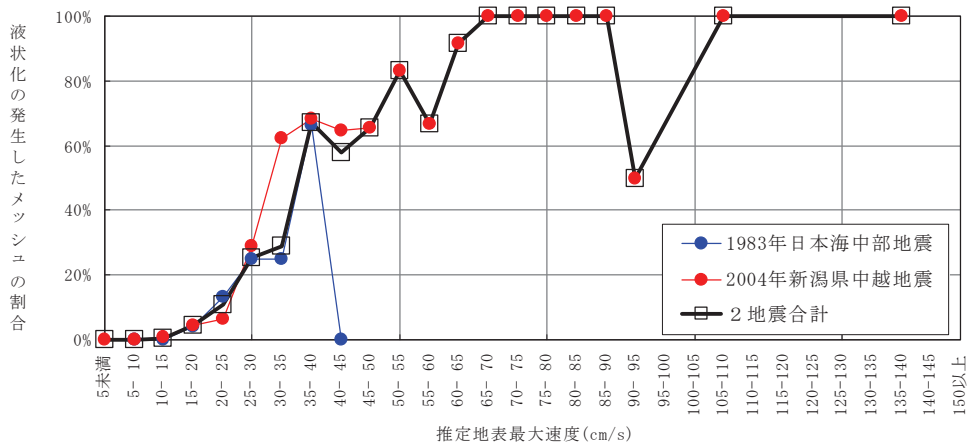


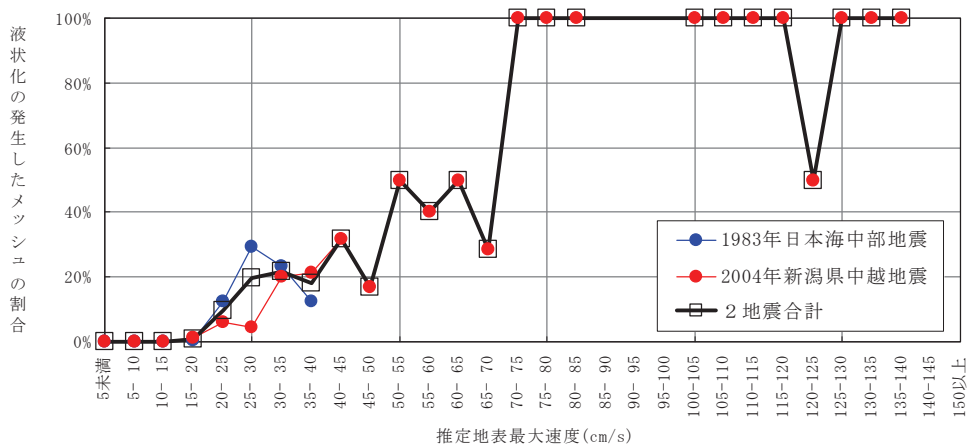
図 II-17 地表最大速度と液状化発生の関係 (その2)液状化可能性ランク 2

表Ⅱ-16 地表最大速度と液状化発生の関係 (その3)液状化可能性ランク3

推定地表最大速度(cm/s)	1983年日本海中部地震			2004年新潟県中越地震			2地震合計		
	メッシュ数	液状化メッシュ数	割合(%)	メッシュ数	液状化メッシュ数	割合(%)	メッシュ数	液状化メッシュ数	割合(%)
5未満	9		0.0	215		0.0	224		0.0
5- 10	595		0.0	108		0.0	703		0.0
10- 15	349		0.0	69		0.0	418		0.0
15- 20	210	1	0.5	71	1	1.4	281	2	0.7
20- 25	73	9	12.3	49	3	6.1	122	12	9.8
25- 30	68	20	29.4	45	2	4.4	113	22	19.5
30- 35	56	13	23.2	45	9	20.0	101	22	21.8
35- 40	8	1	12.5	14	3	21.4	22	4	18.2
40- 45			-	22	7	31.8	22	7	31.8
45- 50			-	6	1	16.7	6	1	16.7
50- 55			-	6	3	50.0	6	3	50.0
55- 60			-	5	2	40.0	5	2	40.0
60- 65			-	8	4	50.0	8	4	50.0
65- 70			-	7	2	28.6	7	2	28.6
70- 75			-	4	4	100.0	4	4	100.0
75- 80			-	3	3	100.0	3	3	100.0
80- 85			-	2	2	100.0	2	2	100.0
85- 90			-			-			-
90- 95			-			-			-
95-100			-			-			-
100-105			-	3	3	100.0	3	3	100.0
105-110			-	4	4	100.0	4	4	100.0
110-115			-	3	3	100.0	3	3	100.0
115-120			-	2	2	100.0	2	2	100.0
120-125			-	2	1	50.0	2	1	50.0
125-130			-	4	4	100.0	4	4	100.0
130-135			-	5	5	100.0	5	5	100.0
135-140			-	3	3	100.0	3	3	100.0
140-145			-			-			-
150以上			-			-			-
計	1,368	44		705	71		2,073	115	

(注1) メッシュ数の集計範囲は1983年日本海中部地震が青森県・秋田県の全域、2004年新潟県中越地震は新潟県の全域。

(注2) メッシュ数が0の場合は空欄とした。



図Ⅱ-17 地表最大速度と液状化発生の関係 (その3)液状化可能性ランク3

6-3. 液状化可能性ランク1のメッシュに隣接するランク2・3の低地部メッシュの液状化発生傾向

検討を進める中で、最も液状化可能性の高いランク1のメッシュに隣接する低地部のメッシュにおいても、液状化発生率が高くなる傾向があるのではないかとの指摘があった。そこで、ランク2・3の低地部のメッシュ（自然堤防，砂州・砂礫州，後背湿地三角州・海岸低地，干拓地，，砂丘）について、ランク1に隣接するメッシュとそれ以外のメッシュで液状化発生率に差があるかを検討した。

(1) 若松ら(2005)における各1kmメッシュの微地形区分の決め方

本研究では、若松ら(2005)による「日本の地形・地盤デジタルマップ」を基礎データとして用いているが、そこでの各1kmメッシュの微地形区分の決め方は、原則としてメッシュ内で最も広い面積をしめる微地形区分を採用している。したがって、液状化可能性ランク1のメッシュに隣接するランク2・3のメッシュの一部には、ランク1の微地形区分が含まれている場合が相当数あると考えられる。

◆若松ら(2005)における各1kmメッシュの地形分類の決め方◆

一つのメッシュ内に複数の微地形区分が存在する場合は、原則としてメッシュ内で最も広い面積をしめる微地形区分をそのメッシュの属性として与えた。両側を山地や丘陵等で挟まれた谷底低地のみ、人間活動が山地や丘陵より谷底低地で行われることを考慮して、メッシュ内の谷底低地の占める割合が1/3程度以上の場合は「谷底低地」と区分した。またメッシュ内の大部分が河川や海などの水域の場合でも、属性としては陸域の微地形区分を与えた。

※若松ら(2005)より抜粋

(2) 液状化可能性ランク1に隣接するランク2・3のメッシュの液状化発生傾向

液状化可能性ランク2・3の低地部メッシュについて、ランク1に隣接するメッシュとそれ以外のメッシュに分けて液状化発生率を計算した結果を表II-17，図II-21に示す。また、それらの結果をまとめたグラフを図II-18～図II-20に示す。

図II-18，図II-19から、ランク2・3ともに、ランク1に隣接する低地部メッシュの液状化発生率は、それ以外のメッシュの液状化発生率よりも高い傾向がある。また、図II-20から、ランク2のランク1に隣接するメッシュの液状化発生率は、ランク1の液状化発生率とほぼ同程度となっており、ランク3のランク1に隣接するメッシュの液状化発生率もランク1と大きな差はないといえる。

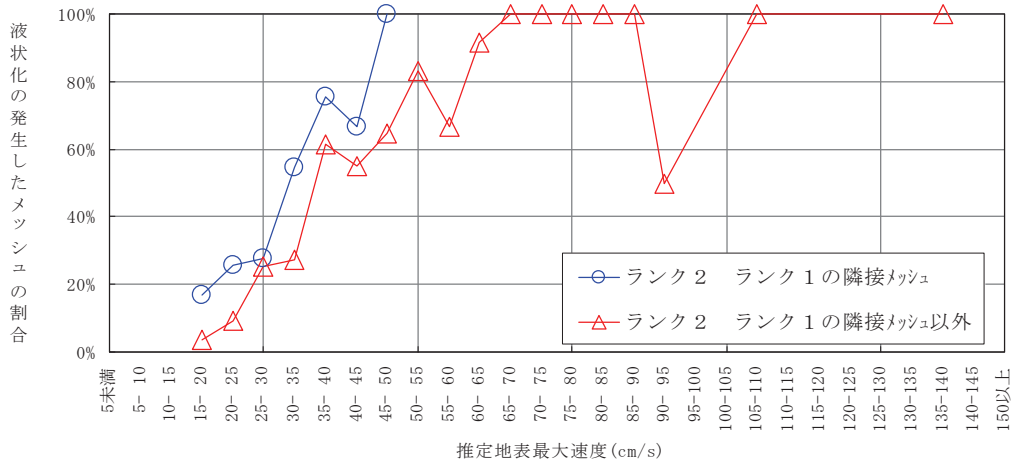


図 II-18 地表最大速度と液状化発生の関係 液状化可能性ランク 2

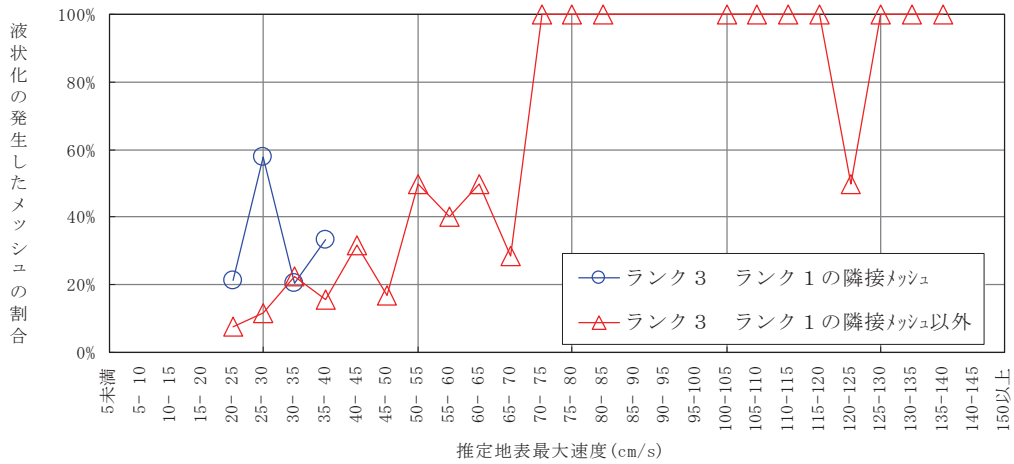


図 II-19 地表最大速度と液状化発生の関係 液状化可能性ランク 3

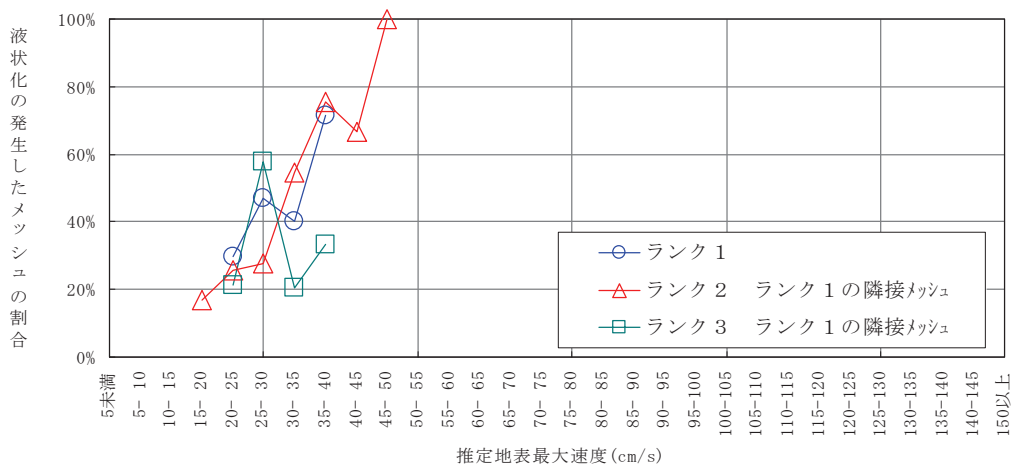


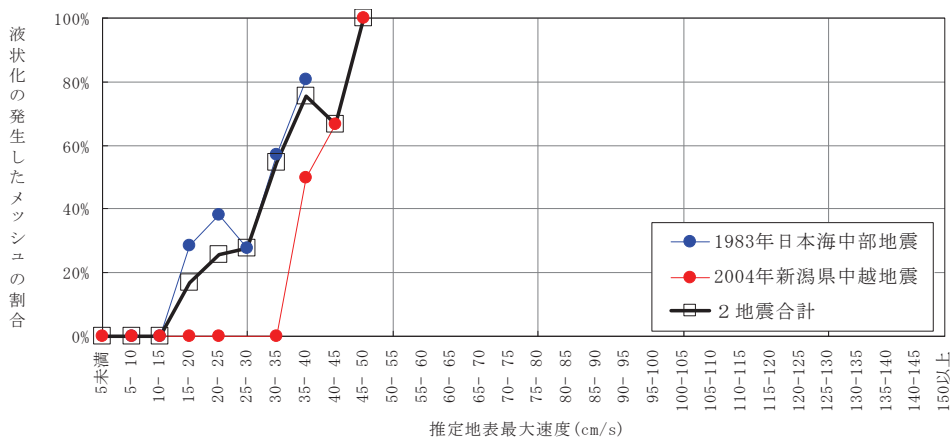
図 II-20 地表最大速度と液状化発生の関係 液状化可能性ランク 1 とその隣接メッシュ

表Ⅱ-17 地表最大速度と液状化発生の関係（その1）
 -液状化可能性ランク2のうちランク1に隣接する低地部メッシュ-

推定地表最大速度 (cm/s)	1983年日本海中部地震			2004年新潟県中越地震			2地震合計		
	メッシュ数	液状化メッシュ数	割合(%)	メッシュ数	液状化メッシュ数	割合(%)	メッシュ数	液状化メッシュ数	割合(%)
5未満			-	43		0.0	43		0.0
5- 10	34		0.0	96		0.0	130		0.0
10- 15	15		0.0	26		0.0	41		0.0
15- 20	14	4	28.6	10		0.0	24	4	16.7
20- 25	21	8	38.1	10		0.0	31	8	25.8
25- 30	29	8	27.6			-	29	8	27.6
30- 35	21	12	57.1	1		0.0	22	12	54.5
35- 40	31	25	80.6	6	3	50.0	37	28	75.7
40- 45			-	9	6	66.7	9	6	66.7
45- 50			-	1	1	100.0	1	1	100.0
50- 55			-			-			-
55- 60			-			-			-
60- 65			-			-			-
65- 70			-			-			-
70- 75			-			-			-
75- 80			-			-			-
80- 85			-			-			-
85- 90			-			-			-
90- 95			-			-			-
95-100			-			-			-
100-105			-			-			-
105-110			-			-			-
110-115			-			-			-
115-120			-			-			-
120-125			-			-			-
125-130			-			-			-
130-135			-			-			-
135-140			-			-			-
140-145			-			-			-
150以上			-			-			-
計	165	57		202	10		367	67	

(注1) メッシュ数の集計範囲は1983年日本海中部地震が青森県・秋田県の全域、2004年新潟県中越地震は新潟県の全域。

(注2) メッシュ数が0の場合は空欄とした。



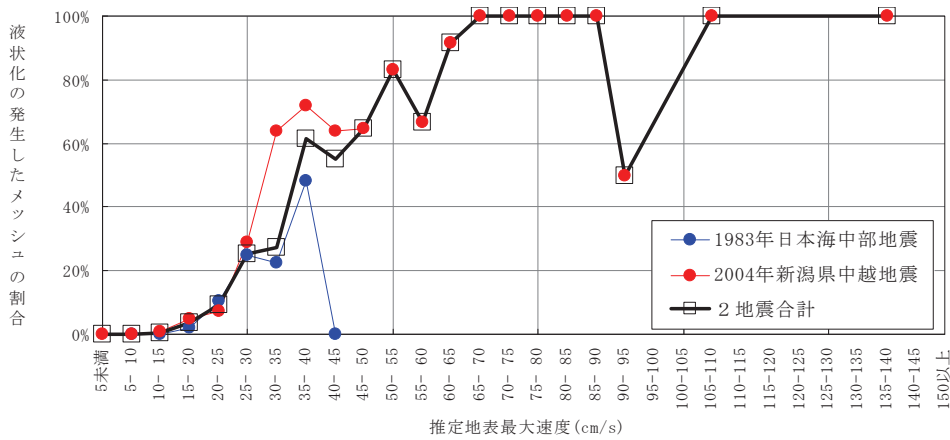
図Ⅱ-21 地表最大速度と液状化発生の関係（その1）
 -液状化可能性ランク2のうちランク1に隣接する低地部メッシュ-

表Ⅱ-17 地表最大速度と液状化発生の関係（その2）
 ー液状化可能性ランク2のうちランク1に隣接する低地部メッシュ以外ー

推定地表最大速度 (cm/s)	1983年日本海中部地震			2004年新潟県中越地震			2地震合計		
	メッシュ数	液状化メッシュ数	割合 (%)	メッシュ数	液状化メッシュ数	割合 (%)	メッシュ数	液状化メッシュ数	割合 (%)
5未満			-	236		0.0	236		0.0
5- 10	290		0.0	351		0.0	641		0.0
10- 15	380		0.0	232	2	0.9	612	2	0.3
15- 20	179	4	2.2	278	13	4.7	457	17	3.7
20- 25	182	19	10.4	96	7	7.3	278	26	9.4
25- 30	426	106	24.9	45	13	28.9	471	119	25.3
30- 35	268	60	22.4	36	23	63.9	304	83	27.3
35- 40	25	12	48.0	32	23	71.9	57	35	61.4
40- 45	4		0.0	25	16	64.0	29	16	55.2
45- 50			-	31	20	64.5	31	20	64.5
50- 55			-	24	20	83.3	24	20	83.3
55- 60			-	15	10	66.7	15	10	66.7
60- 65			-	12	11	91.7	12	11	91.7
65- 70			-	5	5	100.0	5	5	100.0
70- 75			-	4	4	100.0	4	4	100.0
75- 80			-	1	1	100.0	1	1	100.0
80- 85			-	2	2	100.0	2	2	100.0
85- 90			-	1	1	100.0	1	1	100.0
90- 95			-	2	1	50.0	2	1	50.0
95-100			-			-			-
100-105			-			-			-
105-110			-	1	1	100.0	1	1	100.0
110-115			-			-			-
115-120			-			-			-
120-125			-			-			-
125-130			-			-			-
130-135			-			-			-
135-140			-	2	2	100.0	2	2	100.0
140-145			-			-			-
150以上			-			-			-
計	1,754	201		1,431	175		3,185	376	

(注1) メッシュ数の集計範囲は1983年日本海中部地震が青森県・秋田県の全域、2004年新潟県中越地震は新潟県の全域。

(注2) メッシュ数が0の場合は空欄とした。



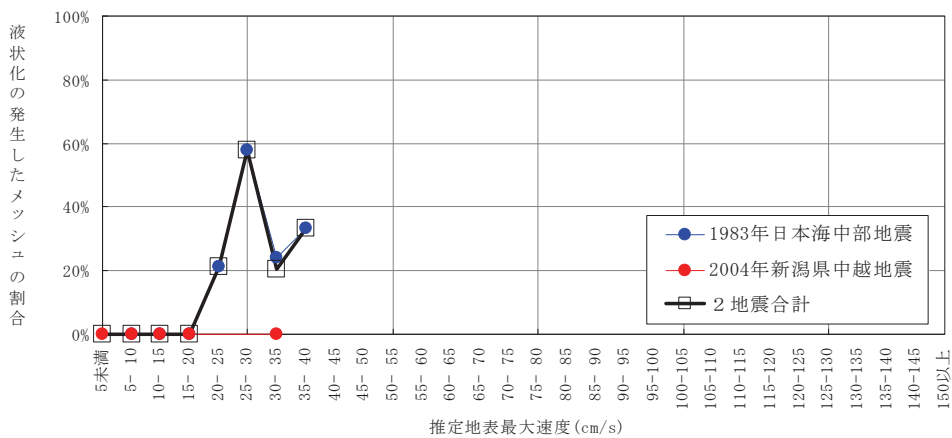
図Ⅱ-21 地表最大速度と液状化発生の関係（その2）
 ー液状化可能性ランク2のうちランク1に隣接する低地部メッシュ以外ー

表Ⅱ-17 地表最大速度と液状化発生の関係（その3）
 -液状化可能性ランク3のうちランク1に隣接する低地部メッシュ-

推定地表最大速度 (cm/s)	1983年日本海中部地震			2004年新潟県中越地震			2地震合計		
	メッシュ数	液状化メッシュ数	割合 (%)	メッシュ数	液状化メッシュ数	割合 (%)	メッシュ数	液状化メッシュ数	割合 (%)
5未満			-	14		0.0	14		0.0
5- 10	12		0.0	26		0.0	38		0.0
10- 15	10		0.0	7		0.0	17		0.0
15- 20	8		0.0	6		0.0	14		0.0
20- 25	19	4	21.1			-	19	4	21.1
25- 30	19	11	57.9			-	19	11	57.9
30- 35	33	8	24.2	6		0.0	39	8	20.5
35- 40	3	1	33.3			-	3	1	33.3
40- 45			-			-			-
45- 50			-			-			-
50- 55			-			-			-
55- 60			-			-			-
60- 65			-			-			-
65- 70			-			-			-
70- 75			-			-			-
75- 80			-			-			-
80- 85			-			-			-
85- 90			-			-			-
90- 95			-			-			-
95-100			-			-			-
100-105			-			-			-
105-110			-			-			-
110-115			-			-			-
115-120			-			-			-
120-125			-			-			-
125-130			-			-			-
130-135			-			-			-
135-140			-			-			-
140-145			-			-			-
150以上			-			-			-
計	104	24		59			163	24	

(注1) メッシュ数の集計範囲は1983年日本海中部地震が青森県・秋田県の全域、2004年新潟県中越地震は新潟県の全域。

(注2) メッシュ数が0の場合は空欄とした。



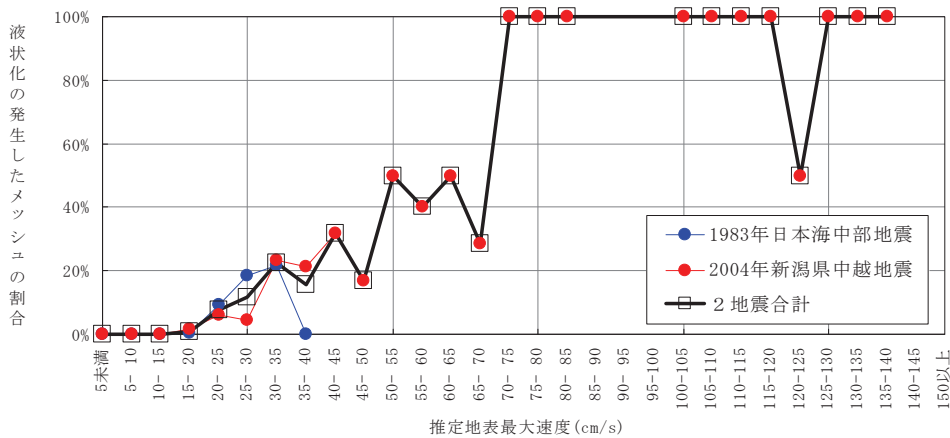
図Ⅱ-21 地表最大速度と液状化発生の関係（その3）
 -液状化可能性ランク3のうちランク1に隣接する低地部メッシュ-

表Ⅱ-17 地表最大速度と液状化発生の関係（その4）
 ー液状化可能性ランク3のうちランク1に隣接する低地部メッシュ以外ー

推定地表最大速度 (cm/s)	1983年日本海中部地震			2004年新潟県中越地震			2地震合計		
	メッシュ数	液状化メッシュ数	割合 (%)	メッシュ数	液状化メッシュ数	割合 (%)	メッシュ数	液状化メッシュ数	割合 (%)
5未満	9		0.0	201		0.0	210		0.0
5- 10	583		0.0	82		0.0	665		0.0
10- 15	339		0.0	62		0.0	401		0.0
15- 20	202	1	0.5	65	1	1.5	267	2	0.7
20- 25	54	5	9.3	49	3	6.1	103	8	7.8
25- 30	49	9	18.4	45	2	4.4	94	11	11.7
30- 35	23	5	21.7	39	9	23.1	62	14	22.6
35- 40	5		0.0	14	3	21.4	19	3	15.8
40- 45			-	22	7	31.8	22	7	31.8
45- 50			-	6	1	16.7	6	1	16.7
50- 55			-	6	3	50.0	6	3	50.0
55- 60			-	5	2	40.0	5	2	40.0
60- 65			-	8	4	50.0	8	4	50.0
65- 70			-	7	2	28.6	7	2	28.6
70- 75			-	4	4	100.0	4	4	100.0
75- 80			-	3	3	100.0	3	3	100.0
80- 85			-	2	2	100.0	2	2	100.0
85- 90			-			-			-
90- 95			-			-			-
95-100			-			-			-
100-105			-	3	3	100.0	3	3	100.0
105-110			-	4	4	100.0	4	4	100.0
110-115			-	3	3	100.0	3	3	100.0
115-120			-	2	2	100.0	2	2	100.0
120-125			-	2	1	50.0	2	1	50.0
125-130			-	4	4	100.0	4	4	100.0
130-135			-	5	5	100.0	5	5	100.0
135-140			-	3	3	100.0	3	3	100.0
140-145			-			-			-
150以上			-			-			-
計	1,264	20		646	71		1,910	91	

(注1) メッシュ数の集計範囲は1983年日本海中部地震が青森県・秋田県の全域、2004年新潟県中越地震は新潟県の全域。

(注2) メッシュ数が0の場合は空欄とした。



図Ⅱ-21 地表最大速度と液状化発生の関係（その4）
 ー液状化可能性ランク3のうちランク1に隣接する低地部メッシュ以外ー

6-4. 隣接メッシュを考慮した微地形区分グループ

(1) 隣接メッシュを考慮した微地形区分の液状化可能性のグループ分け

6-3の検討において、最も液状化可能性の大きいランク1に隣接するランク2・3のメッシュの液状化発生率は、それ以外のメッシュよりも高い傾向があり、ランク1の液状化発生率に近いことを確認した。したがって、液状化可能性から微地形区分をグループ分けするにあたっては、隣接メッシュとの関係も考慮する必要があると考えられる。

そこで、液状化発生率予測手法の検討のための微地形区分のグループ分けとして、下表のような隣接メッシュを考慮した液状化可能性グループを採用することとした。

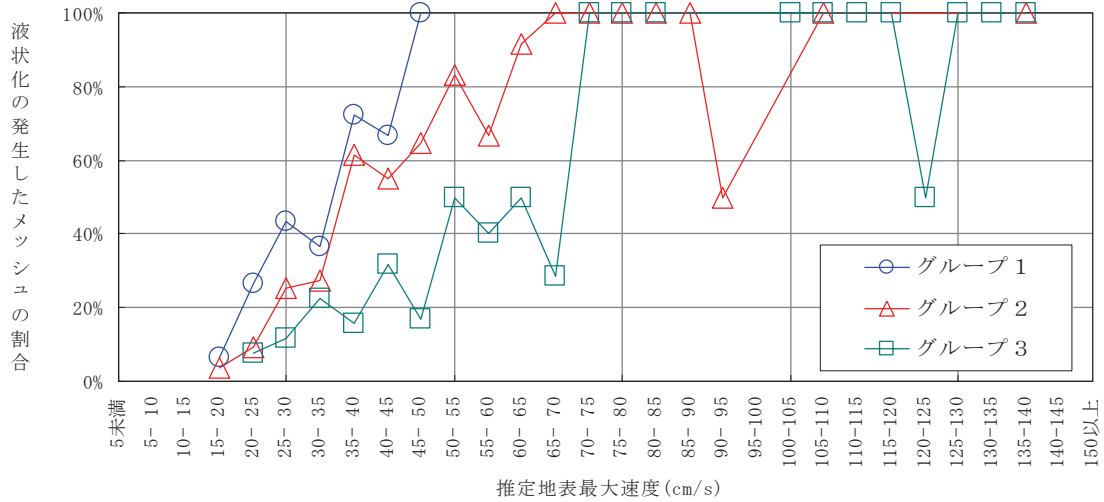
表Ⅱ-18 隣接メッシュを考慮した微地形区分の液状化可能性のグループ分け

液状化可能性 グループ	所属する微地形区分
グループ1 (可能性 大)	<ul style="list-style-type: none"> ・埋立地 ・砂丘末端緩斜面 ・砂丘間低地 ・旧河道 ・上記の4微地形区分に隣接する低地部のメッシュ（自然堤防，砂州・砂礫州，後背湿地，三角州・海岸低地，干拓地，砂丘）
グループ2 (可能性 中)	<ul style="list-style-type: none"> ・自然堤防 ・砂州・砂礫州 ・後背湿地 ・三角州・海岸低地 ・干拓地 ・デルタ型谷底低地 ・緩勾配扇状地 <p>※ただし，上記のうちグループ1に属するメッシュは除く</p>
グループ3 (可能性 小)	<ul style="list-style-type: none"> ・砂丘 ・扇状地型谷底低地 ・急勾配扇状地 <p>※ただし，上記のうちグループ1に属するメッシュは除く</p>
グループ4 (可能性 ほぼなし)	<ul style="list-style-type: none"> ・山地・丘陵・台地

(2) 隣接メッシュを考慮した微地形区分グループの液状化発生率

(1) で設定した微地形区分のグループ別の液状化発生率を表Ⅱ-19, 図Ⅱ-23に示す. また, それらの結果をまとめたグラフを図Ⅱ-22に示す.

図Ⅱ-22から, 液状化発生率はグループ1が最も高く, 次いでグループ2, グループ3の順番になっていることが確認できる.



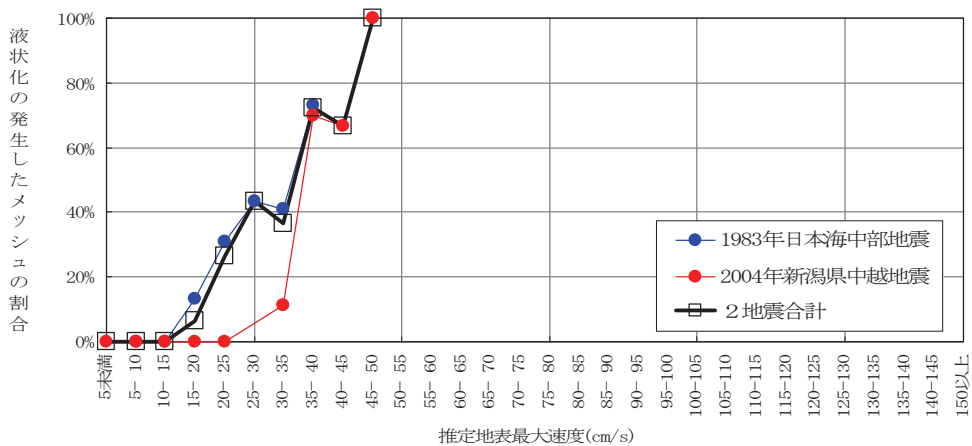
図Ⅱ-22 地表最大速度と液状化発生率の関係 グループ別

表Ⅱ-19 地表最大速度と液状化発生の関係 (その1)グループ1

推定地表最大速度(cm/s)	1983年日本海中部地震			2004年新潟県中越地震			2地震合計		
	メッシュ数	液状化メッシュ数	割合(%)	メッシュ数	液状化メッシュ数	割合(%)	メッシュ数	液状化メッシュ数	割合(%)
5未満			-	112		0.0	112		0.0
5- 10	69		0.0	217		0.0	286		0.0
10- 15	54		0.0	46		0.0	100		0.0
15- 20	30	4	13.3	33		0.0	63	4	6.3
20- 25	74	23	31.1	13		0.0	87	23	26.4
25- 30	95	41	43.2			-	95	41	43.2
30- 35	103	42	40.8	18	2	11.1	121	44	36.4
35- 40	37	27	73.0	10	7	70.0	47	34	72.3
40- 45			-	9	6	66.7	9	6	66.7
45- 50			-	1	1	100.0	1	1	100.0
50- 55			-			-			-
55- 60			-			-			-
60- 65			-			-			-
65- 70			-			-			-
70- 75			-			-			-
75- 80			-			-			-
80- 85			-			-			-
85- 90			-			-			-
90- 95			-			-			-
95-100			-			-			-
100-105			-			-			-
105-110			-			-			-
110-115			-			-			-
115-120			-			-			-
120-125			-			-			-
125-130			-			-			-
130-135			-			-			-
135-140			-			-			-
140-145			-			-			-
150以上			-			-			-
計	462	137		459	16		921	153	

(注1) メッシュ数の集計範囲は1983年日本海中部地震が青森県・秋田県の全域、2004年新潟県中越地震は新潟県の全域。

(注2) メッシュ数が0の場合は空欄とした。



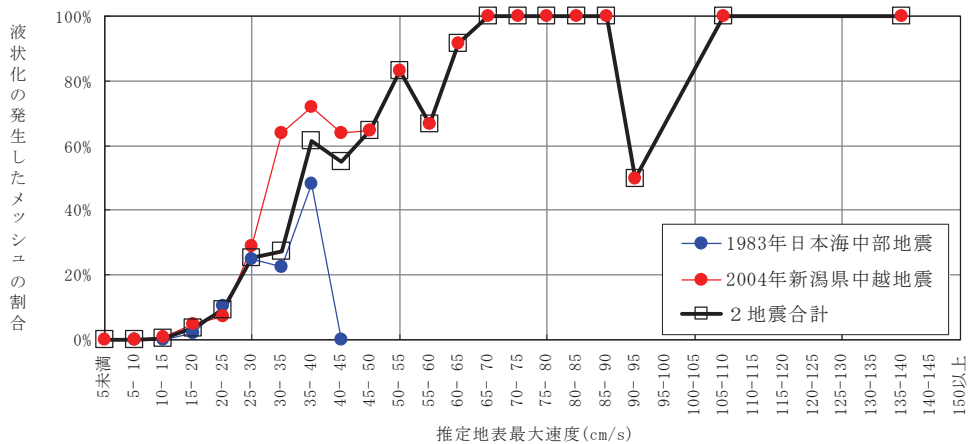
図Ⅱ-23 地表最大速度と液状化発生の関係 (その1)グループ1

表Ⅱ-19 地表最大速度と液状化発生の関係 (その2)グループ2

推定地表最大速度(cm/s)	1983年日本海中部地震			2004年新潟県中越地震			2地震合計		
	メッシュ数	液状化メッシュ数	割合(%)	メッシュ数	液状化メッシュ数	割合(%)	メッシュ数	液状化メッシュ数	割合(%)
5未満			-	236		0.0	236		0.0
5- 10	290		0.0	351		0.0	641		0.0
10- 15	380		0.0	232	2	0.9	612	2	0.3
15- 20	179	4	2.2	278	13	4.7	457	17	3.7
20- 25	182	19	10.4	96	7	7.3	278	26	9.4
25- 30	426	106	24.9	45	13	28.9	471	119	25.3
30- 35	268	60	22.4	36	23	63.9	304	83	27.3
35- 40	25	12	48.0	32	23	71.9	57	35	61.4
40- 45	4		0.0	25	16	64.0	29	16	55.2
45- 50			-	31	20	64.5	31	20	64.5
50- 55			-	24	20	83.3	24	20	83.3
55- 60			-	15	10	66.7	15	10	66.7
60- 65			-	12	11	91.7	12	11	91.7
65- 70			-	5	5	100.0	5	5	100.0
70- 75			-	4	4	100.0	4	4	100.0
75- 80			-	1	1	100.0	1	1	100.0
80- 85			-	2	2	100.0	2	2	100.0
85- 90			-	1	1	100.0	1	1	100.0
90- 95			-	2	1	50.0	2	1	50.0
95-100			-			-			-
100-105			-			-			-
105-110			-	1	1	100.0	1	1	100.0
110-115			-			-			-
115-120			-			-			-
120-125			-			-			-
125-130			-			-			-
130-135			-			-			-
135-140			-	2	2	100.0	2	2	100.0
140-145			-			-			-
150以上			-			-			-
計	1,754	201		1,431	175		3,185	376	

(注1) メッシュ数の集計範囲は1983年日本海中部地震が青森県・秋田県の全域、2004年新潟県中越地震は新潟県の全域。

(注2) メッシュ数が0の場合は空欄とした。



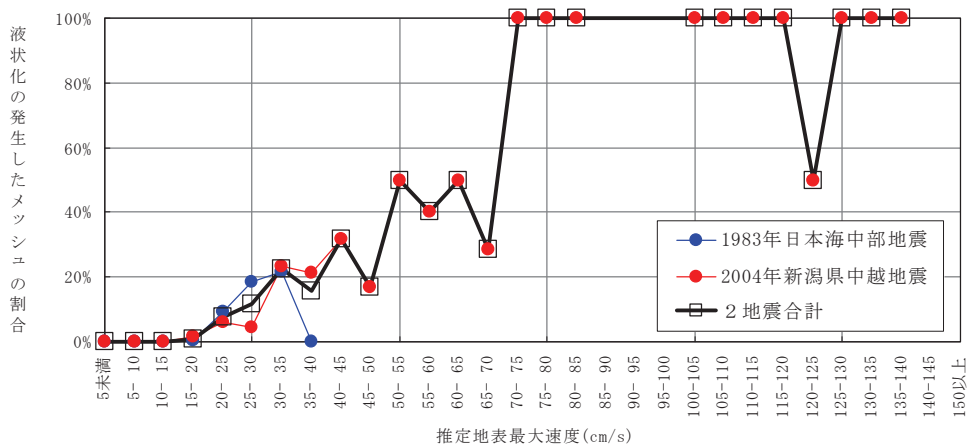
図Ⅱ-23 地表最大速度と液状化発生の関係 (その2)グループ2

表Ⅱ-19 地表最大速度と液状化発生の関係 (その3)グループ3

推定地表最大速度(cm/s)	1983年日本海中部地震			2004年新潟県中越地震			2地震合計		
	メッシュ数	液状化メッシュ数	割合(%)	メッシュ数	液状化メッシュ数	割合(%)	メッシュ数	液状化メッシュ数	割合(%)
5未満	9		0.0	201		0.0	210		0.0
5- 10	583		0.0	82		0.0	665		0.0
10- 15	339		0.0	62		0.0	401		0.0
15- 20	202	1	0.5	65	1	1.5	267	2	0.7
20- 25	54	5	9.3	49	3	6.1	103	8	7.8
25- 30	49	9	18.4	45	2	4.4	94	11	11.7
30- 35	23	5	21.7	39	9	23.1	62	14	22.6
35- 40	5		0.0	14	3	21.4	19	3	15.8
40- 45			-	22	7	31.8	22	7	31.8
45- 50			-	6	1	16.7	6	1	16.7
50- 55			-	6	3	50.0	6	3	50.0
55- 60			-	5	2	40.0	5	2	40.0
60- 65			-	8	4	50.0	8	4	50.0
65- 70			-	7	2	28.6	7	2	28.6
70- 75			-	4	4	100.0	4	4	100.0
75- 80			-	3	3	100.0	3	3	100.0
80- 85			-	2	2	100.0	2	2	100.0
85- 90			-			-			-
90- 95			-			-			-
95-100			-			-			-
100-105			-	3	3	100.0	3	3	100.0
105-110			-	4	4	100.0	4	4	100.0
110-115			-	3	3	100.0	3	3	100.0
115-120			-	2	2	100.0	2	2	100.0
120-125			-	2	1	50.0	2	1	50.0
125-130			-	4	4	100.0	4	4	100.0
130-135			-	5	5	100.0	5	5	100.0
135-140			-	3	3	100.0	3	3	100.0
140-145			-			-			-
150以上			-			-			-
計	1,264	20		646	71		1,910	91	

(注1) メッシュ数の集計範囲は1983年日本海中部地震が青森県・秋田県の全域、2004年新潟県中越地震は新潟県の全域。

(注2) メッシュ数が0の場合は空欄とした。



図Ⅱ-23 地表最大速度と液状化発生の関係 (その3)グループ3

7. 液状化発生率の予測手法

本節では、液状化発生率に関する6.の検討内容をもとに、液状化発生率の予測手法を作成する。

7-1. 予測手法の作成方針

6-4(2)で作成した微地形区分グループ別の液状化発生状況データ(表II-19)をもとに、液状化発生率の予測手法(地表最大速度と液状化発生率の関係式)を求める。具体的には、6-1.で検討した全体的な液状化発生の傾向(全微地形区分および山地・丘陵・台地以外の全微地形区分での検討)や既往研究の成果(国土庁防災局震災対策課(1999),松岡ら(1993)),また本研究で推定した地震動分布と実際の地震動分布との間に存在する推定誤差などを総合的に勘案し、以下の考え方にに基づき予測式を求めた。

- 地表最大速度と液状化発生率の関係は、対数正規分布の確率分布関数で表せるとする。
- 地表最大速度が15cm/s未満では液状化は発生しない(地表最大速度が15cm/s超から液状化が発生しはじめる)。

7-2. 液状化発生率の予測手法(地表最大速度と液状化発生率の関係式)

7-1の作成方針に基づき、表II-19に示したグループ1~3の地表最大速度別の液状化発生状況のデータ(2地震合計の値)を用いて最尤法によりパラメータを求めた(表II-20)。

作成した液状化発生率の予測式を以下に示す。

■グループ1~3(山地・丘陵・台地以外の微地形区分)

$$\begin{cases} P(PGV)=0 & (PGV \leq 15) \\ P(PGV)=\Phi\left(\frac{\ln(PGV)-\lambda}{\zeta}\right) & (15 < PGV) \end{cases}$$

ただし、 $P(PGV)$: 液状化発生率(液状化の発生するメッシュの割合)

PGV : 地表最大速度[cm/s]

Φ : 標準正規分布関数

λ, ζ : $\ln(PGV)$ の平均値および標準偏差(表II-20参照)

■グループ4(山地・丘陵・台地)

$$P(PGV)=0$$

また、液状化発生率の予測式のグラフを図II-24に示す。

表 II-20 液状化発生率予測式のパラメータ

液状化可能性グループ	所属する微地形区分	$\ln(PGV)$ の 平均値 λ	$\ln(PGV)$ の 標準偏差 σ
グループ 1	<ul style="list-style-type: none"> ・埋立地 ・砂丘末端緩斜面 ・砂丘間低地 ・旧河道 ・上記の4微地形区分に隣接する低地部のメッシュ（自然堤防，砂州・砂礫州，後背湿地，三角州・海岸低地，干拓地，砂丘） 	3.561	0.393
グループ 2	<ul style="list-style-type: none"> ・自然堤防 ・砂州・砂礫州 ・後背湿地 ・三角州・海岸低地 ・干拓地 ・デルタ型谷底低地 ・緩勾配扇状地 ※ただし，上記のうちグループ 1に属するメッシュは除く 	3.722	0.402
グループ 3	<ul style="list-style-type: none"> ・砂丘 ・扇状地型谷底低地 ・急勾配扇状地 ※ただし，上記のうちグループ 1に属するメッシュは除く 	4.014	0.469

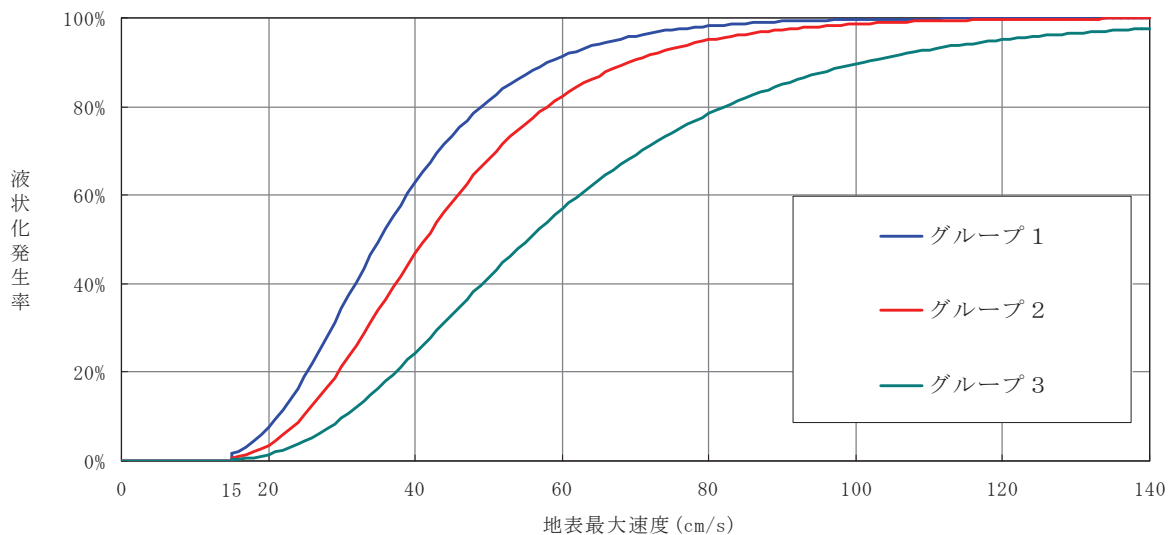


図 II-24 液状化発生率の予測式 (グループ 1~3)