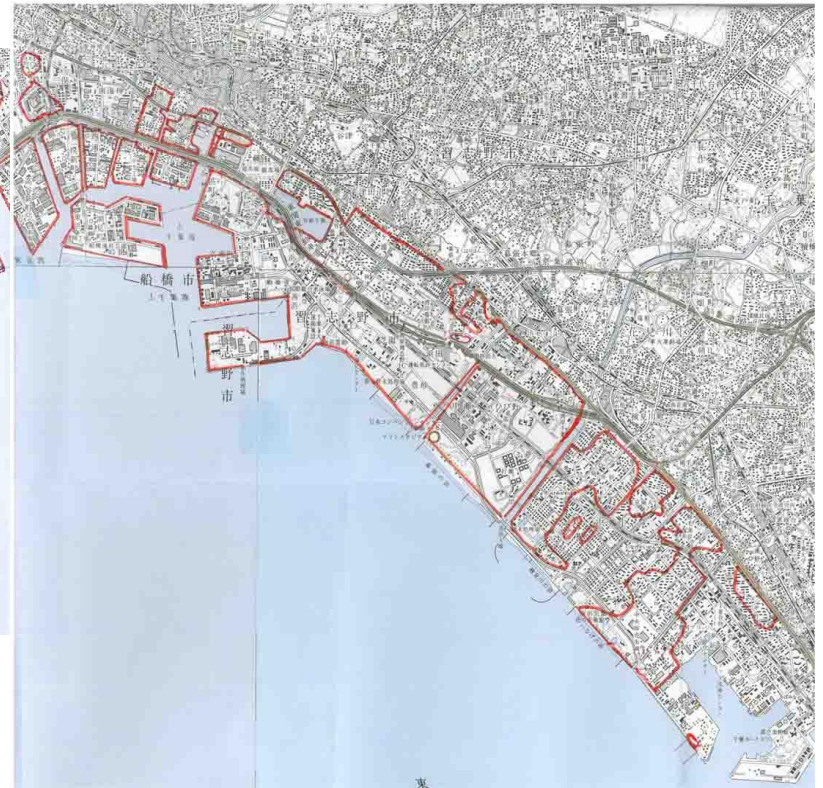
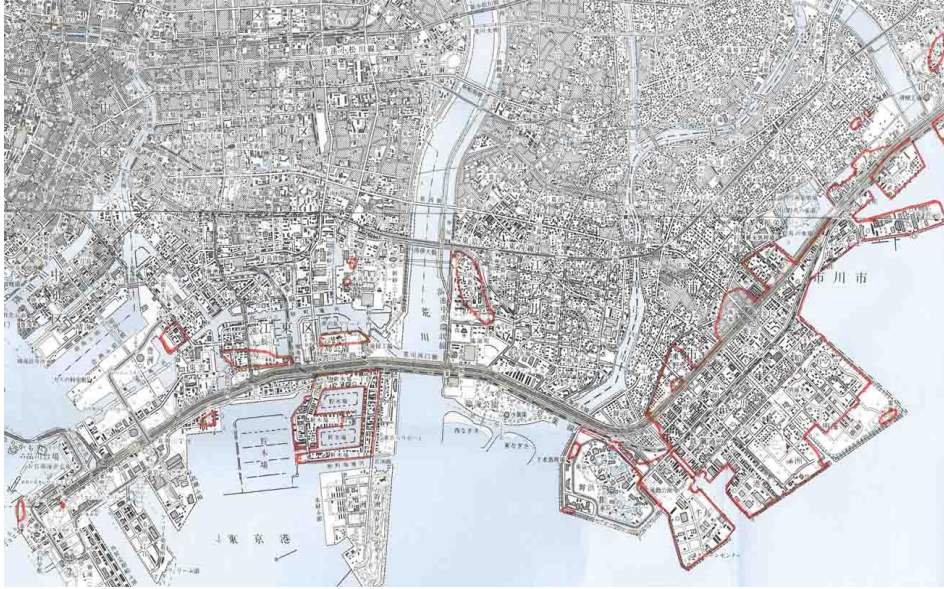


土木学会東日本大震災被害調査団(地震工学委員会)
緊急地震被害報告会 2011.4.11

東京湾岸の液状化被害

東京電機大学 安田進

東京湾岸の液状化



横浜は規矩先生と堀越
さんの調査による

注：

1. 3月12日～23日に行った現地踏査結果に、(株)八州で、3月20日に撮影された航空写真の情報を加え(ただし概略判読であり今後詳細な判読をする予定)、液状化が発生したと推定される地区をおおまかに赤で囲ったもの。
2. この範囲内にも地盤改良を施したりしていて、液状化していない区域も含まれる。



今回の調査の困難さ

- ・液状化した範囲が大変広かった。
- ・住宅地での噴砂の片付けはすごく早く、翌日でもすでになりに片付けられていた。
- ・地震翌日は交通大渋滞で高坂から浦安まで5時間かかった。
- ・地震3日目あたりからガソリンがなくなり、潮来かた帰る際にはやっと浦安で給油できて帰った状態であった。
- ・電車で出かける方法をとったところ、今度は東電の計画停電のために2日間高坂から出られず、また、その後出ても時間がかかった。
- ・メディアの情報が津波と原発ばかりで、液状化からの情報はほとんど得られなかった。



現地踏査の生データ

調査者：安田進（東京電機大学）と研究室の学生
原田健二（不動テトラ（株））

調査期間：3月12日～23日

調査方法：徒歩や車による

液状化の判断方法：

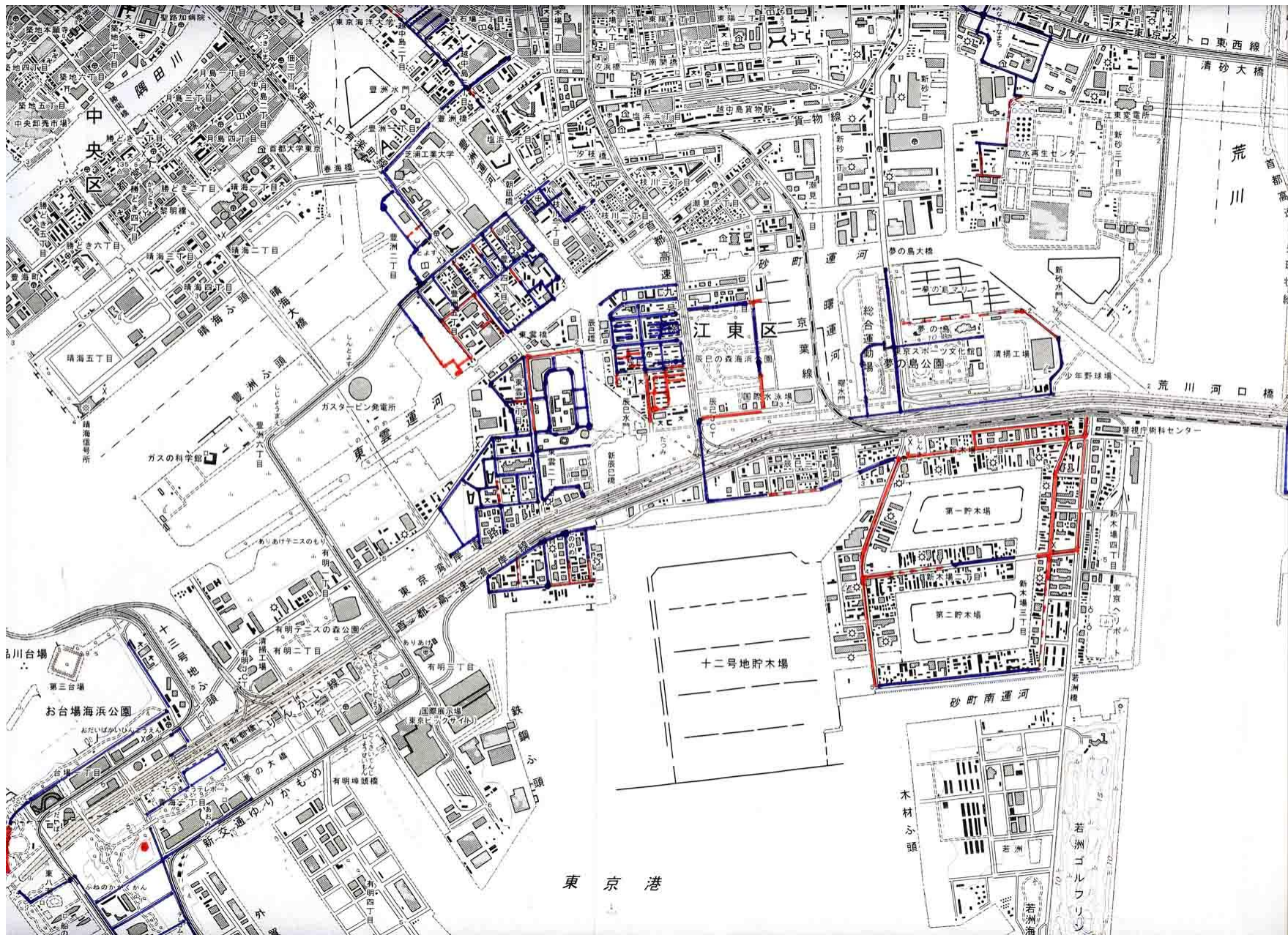
赤の実線：道路や脇に噴砂があり明らかに液状化している

赤の破線：道路や脇に噴砂らしきものがあり液状化していると思われる

青の実線：道路や脇に噴砂が見あたらない

地図：1/25,000地形図

注：住民の方々により噴砂はすぐ片付けられていましたので、青の区域でも噴砂があった可能性はなきにしもあらずです。



お台場



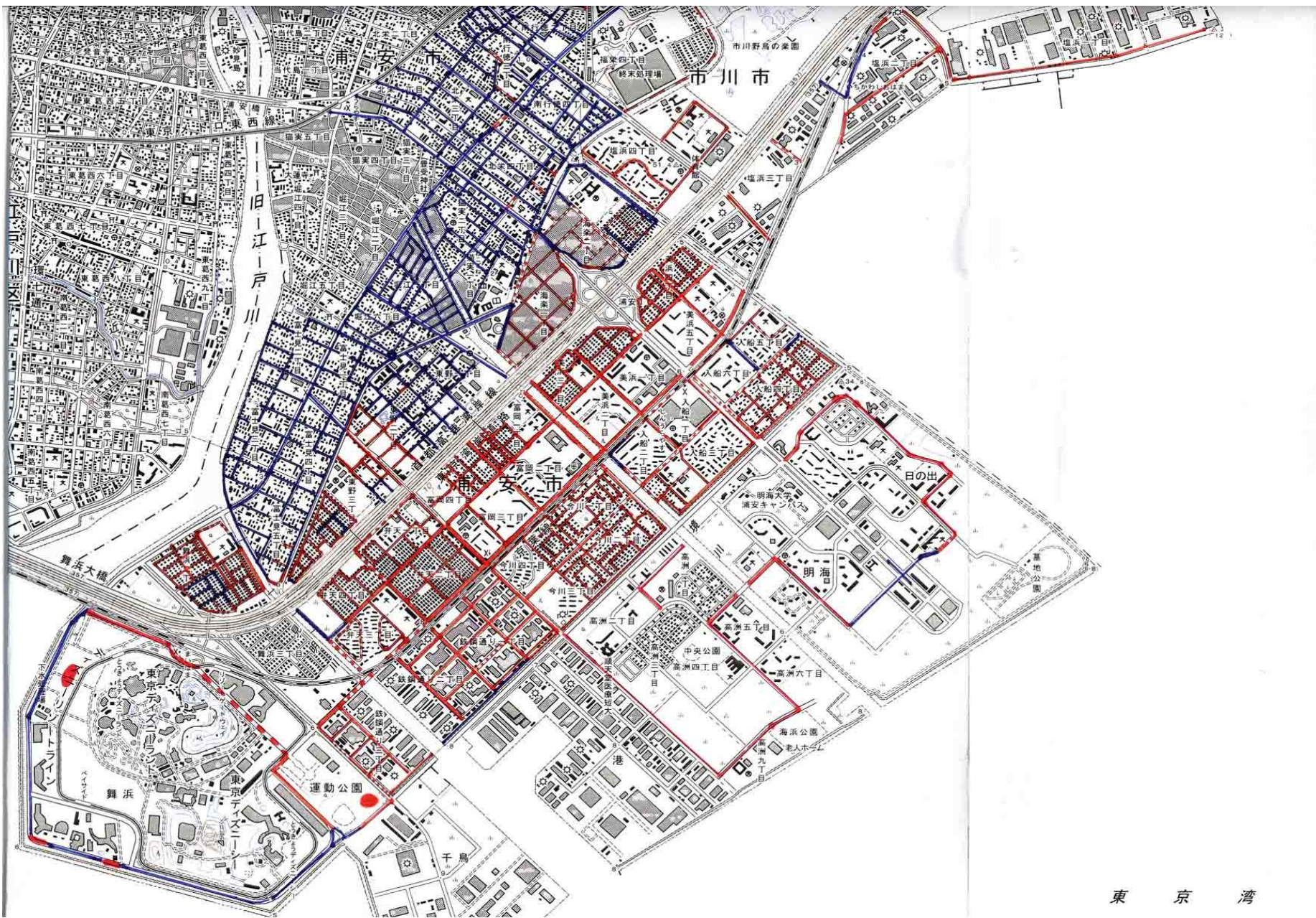
辰巳



新木場







浦安





浦安市今川







浦安市入船

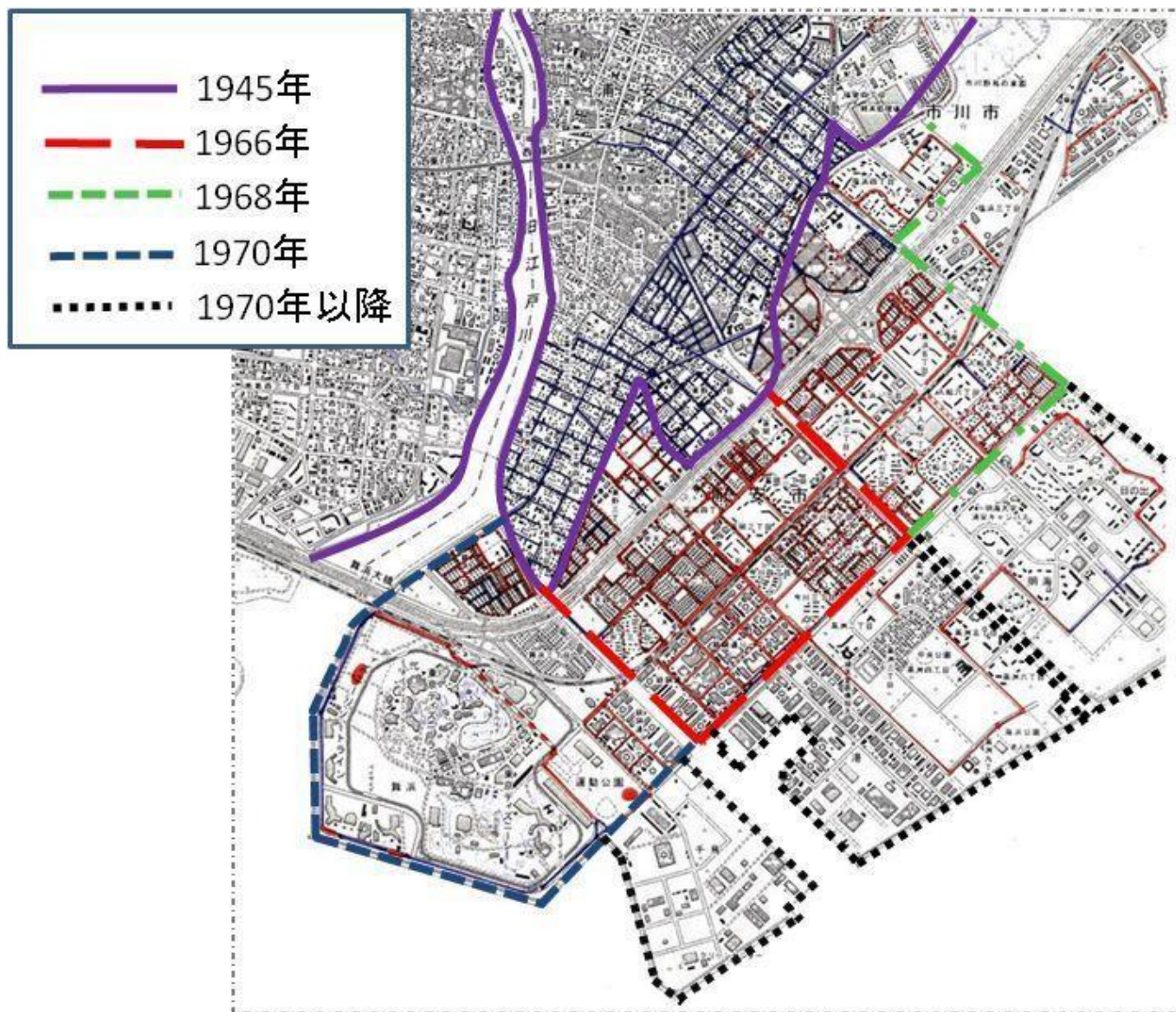




浦安市弁天



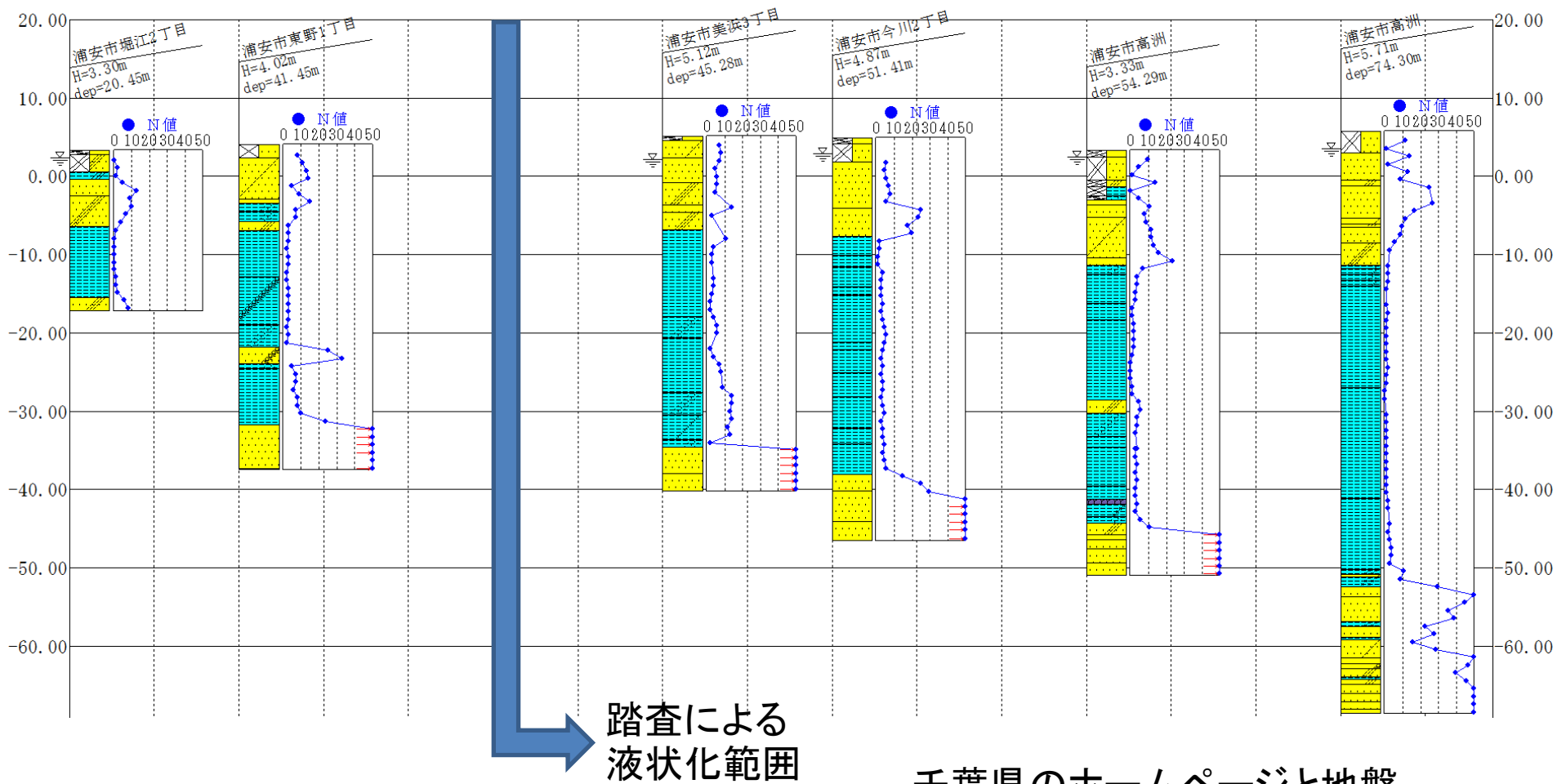
浦安の埋立歴史



A-A'断面

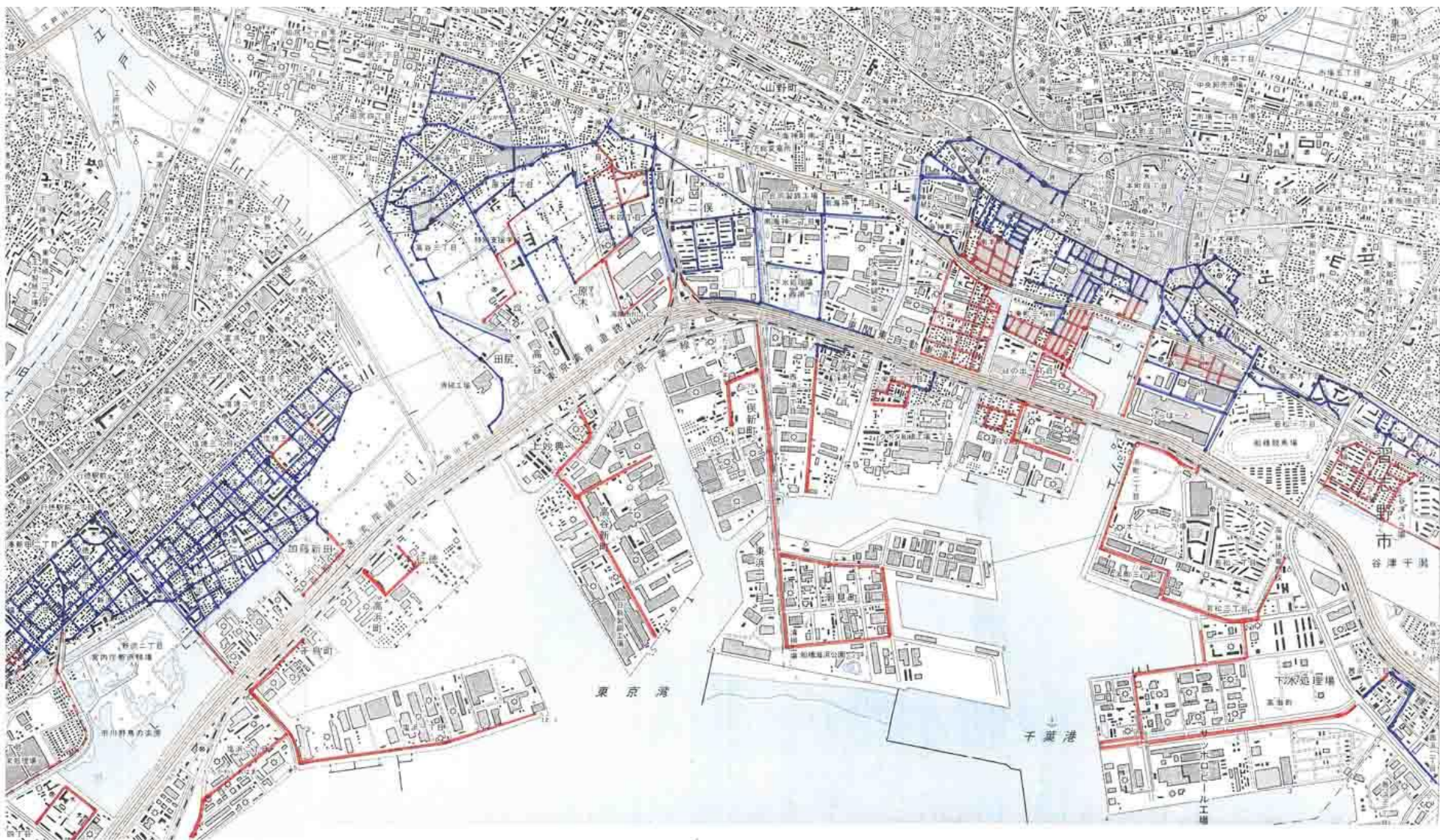
標高TP (m)

標高TP (m)



250
m

千葉県ホームページと地盤
工学会の「関東の地盤」より



市川市高浜町



市川市塩浜



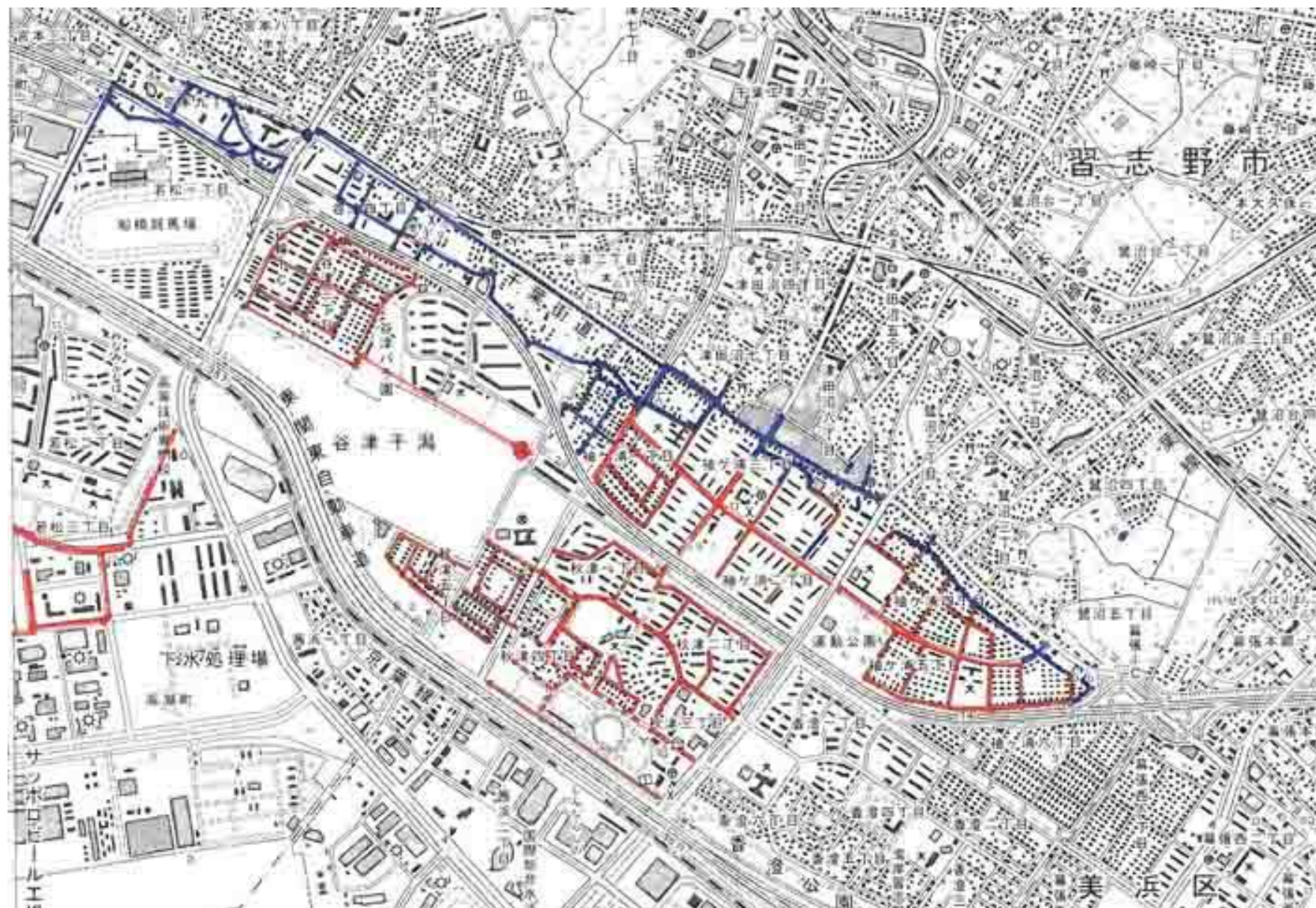
船橋市栄町



船橋市日の出







習志野市香澄







千葉市美浜区磯辺

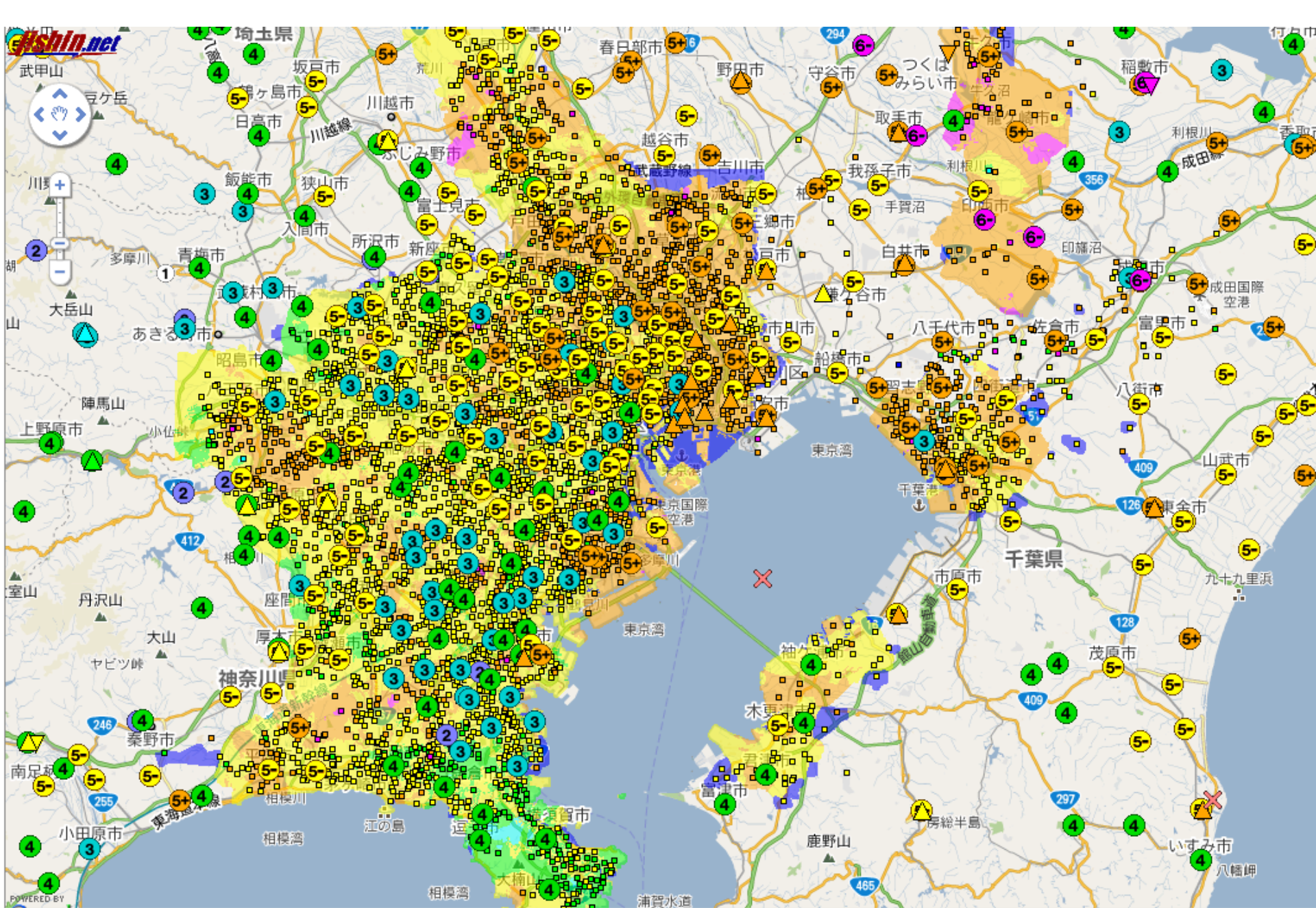




東京湾岸の液状化の特徴

1. 東京湾岸の液状化発生地域に関して

- ・千葉県から神奈川県にかけて大変広い範囲で液状化が発生した。
- ・千葉市から木更津市にかけての埋立地，川崎市～横浜市にかけての埋立地では液状化はあまり発生していない。
- ・200Gal程度以下の加速度でこのように広範囲にまた激しく液状化したのは，今回の地震の規模が非常に大きく，地震動の継続時間が長く，繰返しせん断力が数多く加わったためではないかと考えられる。



Jishin.net(<http://sample.jishin.net/>)による

件名： 東京湾岸液状化判定

ボーリングNo.： 浦安市美浜3丁目

地盤標高： 5.124 m

地下水位： GL-3 m

標 尺 m	柱 状 図	地 層 深 度 m	層 厚 m	γ_t kN/m ³	γ_{sat} kN/m ³	γ' kN/m ³	計算 深度 m	N 値	σ_v kN/m ²	σ'_v kN/m ²	F_c %	P_c %	I_p	D_{50} mm	D_{10} mm	計算 式 の 種 別	タイプⅠ地震動			低 減 係 数	N値の深度分布 ●		標 尺 m	
																					FLの深度分布 タイプⅠ地震動 △			10 20 30 40
																	K _{hc} = 0.18							
																	R	L	FL					
5		0.80	0.80	17.50	19.50	9.50	1.150	7	20.13	20.13	30.0	0.0	0.0	0.150	0.000	S	****	****	****	1				
		2.80	2.20	17.50	19.50	9.50	2.150	8	37.63	37.63	30.0	0.0	0.0	0.150	0.000	S	****	****	****	1				
		3.150	7	55.42	53.92	7.7	0.0	0.0	0.180	0.000	S	0.210	0.176	1.189	1									
		4.150	5	74.93	63.43	7.7	0.0	0.0	0.180	0.000	S	0.171	0.199	0.856	2/3									
		5.150	6	94.43	72.93	7.7	0.0	0.0	0.180	0.000	S	0.181	0.215	0.840	2/3									
		6.150	6	113.55	82.05	50.0	0.0	0.0	0.070	0.000	S	0.256	0.226	1.131	1									
		7.150	5	131.55	90.05	50.0	0.0	0.0	0.070	0.000	S	0.232	0.235	0.989	2/3									
		9.150	14	168.25	106.75	7.7	0.0	0.0	0.180	0.000	S	0.248	0.245	1.014	1									
		10.150	3	187.35	115.85	50.0	0.0	0.0	0.070	0.000	S	0.181	0.247	0.734	1									
		13.150	11	240.77	139.27	75.0	0.0	0.0	0.025	0.000	S	****	****	****	1									
10		8.80	2.90	16.00	18.00	8.00	14.150	4	258.27	146.77	75.0	0.0	0.0	0.025	0.000	S	****	****	****	1				
		9.70	0.90	18.00	20.00	10.00	15.150	3	275.77	154.27	75.0	0.0	0.0	0.025	0.000	S	****	****	****	1				
		16.150	3	293.27	161.77	75.0	0.0	0.0	0.025	0.000	S	****	****	****	1									
		18.150	4	328.28	176.77	75.0	0.0	0.0	0.025	0.000	S	****	****	****	1									
		19.150	4	345.78	184.27	75.0	0.0	0.0	0.025	0.000	S	****	****	****	1									
15							20.150	3	363.28	191.77	75.0	0.0	0.0	0.025	0.000	S	****	****	****	*				
							21.150	3	381.28	209.77	75.0	0.0	0.0	0.025	0.000	S	****	****	****	*				
							22.150	3	399.28	227.77	75.0	0.0	0.0	0.025	0.000	S	****	****	****	*				
							23.150	3	417.28	245.77	75.0	0.0	0.0	0.025	0.000	S	****	****	****	*				
							24.150	3	435.28	263.77	75.0	0.0	0.0	0.025	0.000	S	****	****	****	*				
20		23.00	11.00	15.50	17.50	7.50																		

対象土層条件 $F_c \leq 35\%$ または $F_c > 35\%$ の場合 $I_p \leq 15$
 $D_{50} \leq 10\text{mm}$ か $D_{10} \leq 1\text{mm}$

式の種別
 S : 砂質土
 G : 礫質土

PL	5.79
CNL	0.05
沈下量	0.30

PLによる補正係数CNL
 $PL \leq 5$: CNL=0
 $5 < PL \leq 20$: CNL=(0.2 PL-1) / 3
 $20 < PL$: CNL=1

TYPE1の
 $khg=0.1$ で
 計算

件名： 東京湾岸液状化判定

ボーリングNo.： 浦安市今川2丁目

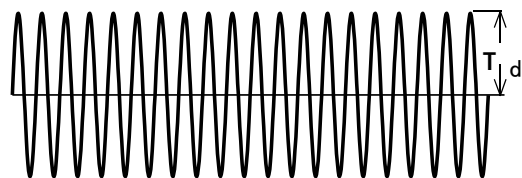
地盤標高： 4.874 m

地下水位： GL-1.98 m

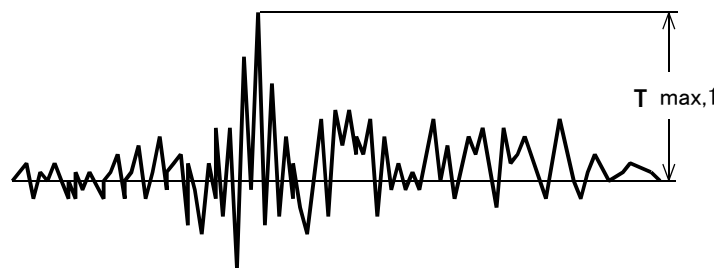
標 尺 m	柱 状 図	地 層 深 度 m	層 厚 m	γ_t kN/m ³	γ_{sat} kN/m ³	γ' kN/m ³	計算 深度 m	N 値	σ_v kN/m ²	σ_v' kN/m ²	F_c %	P_c %	I_p	D_{50} mm	D_{10} mm	計算 式 の 種 別	タイプⅠ地震動			低 減 係 数	N値の深度分布 ●		標 尺 m	
																	K _{hc} = 0.18				FLの深度分布 タイプⅠ地震動 △			
																	R	L	FL		0.5	1.0		1.5
5		0.70	0.70	17.50	19.50	9.50																		
		3.00	2.30	17.50	19.50	9.50	3.150	6	57.47	45.77	7.7	0.0	0.0	0.180	0.000	S	0.201	0.215	0.932	2/3				
							4.150	5	76.97	55.27	7.7	0.0	0.0	0.180	0.000	S	0.176	0.235	0.750	2/3				
							5.150	6	96.47	64.77	7.7	0.0	0.0	0.180	0.000	S	0.186	0.247	0.752	2/3				
							6.150	7	115.97	74.27	7.7	0.0	0.0	0.180	0.000	S	0.194	0.255	0.761	2/3				
							7.150	8	135.47	83.77	7.7	0.0	0.0	0.180	0.000	S	0.201	0.260	0.774	2/3				
							8.150	6	154.97	93.27	7.7	0.0	0.0	0.180	0.000	S	0.169	0.263	0.644	1/3				
							9.150	25	174.47	102.77	7.7	0.0	0.0	0.180	0.000	S	0.401	0.264	1.522	1				
							10.150	24	193.97	112.27	7.7	0.0	0.0	0.180	0.000	S	0.343	0.264	1.301	1				
10		8.00	6.00	17.50	19.50	9.50	11.150	18	213.47	121.77	7.7	0.0	0.0	0.180	0.000	S	0.270	0.263	1.028	1				
		12.50	3.50	17.50	19.50	9.50	12.150	20	232.97	131.27	7.7	0.0	0.0	0.180	0.000	S	0.278	0.261	1.065	1				
							13.165	2	251.43	139.58	75.0	0.0	0.0	0.025	0.000	S	****	****	****	1				
							14.160	2	268.34	147.04	75.0	0.0	0.0	0.025	0.000	S	****	****	****	1				
15		15.00	2.50	15.50	17.50	7.50	15.175	1	286.60	154.65	75.0	0.0	0.0	0.025	0.000	S	****	****	****	1				
		16.50	1.50	15.50	17.50	7.50	16.175	1	304.10	162.15	75.0	0.0	0.0	0.025	0.000	S	****	****	****	1				
							17.160	4	321.34	169.54	75.0	0.0	0.0	0.025	0.000	S	****	****	****	1				
							18.165	3	338.93	177.08	75.0	0.0	0.0	0.025	0.000	S	****	****	****	1				
20		19.00	2.50	15.50	17.50	7.50	19.160	3	356.34	184.54	75.0	0.0	0.0	0.025	0.000	S	****	****	****	1				
		20.00	1.00	15.50	17.50	7.50	20.165	3	373.75	192.00	75.0	0.0	0.0	0.025	0.000	S	****	****	****	*				
		28.00	6.00	15.50	17.50	7.50																		

巨大地震において液状化発生予測上考慮すべきポイント

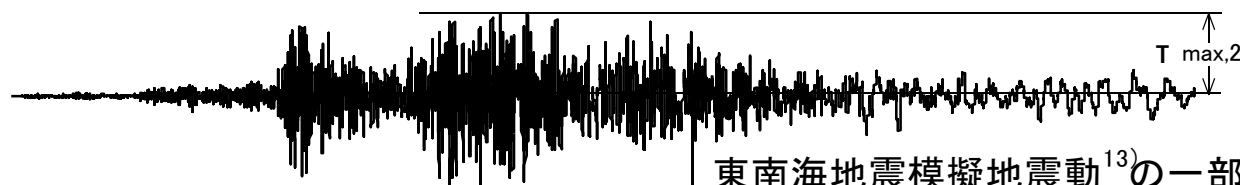
[P1] 単独で地震が発生する場合でも地震動の継続時間が長くなり、その分波数が多くなる。



(a) 正弦波荷重20波



(b) 通常地震波荷重



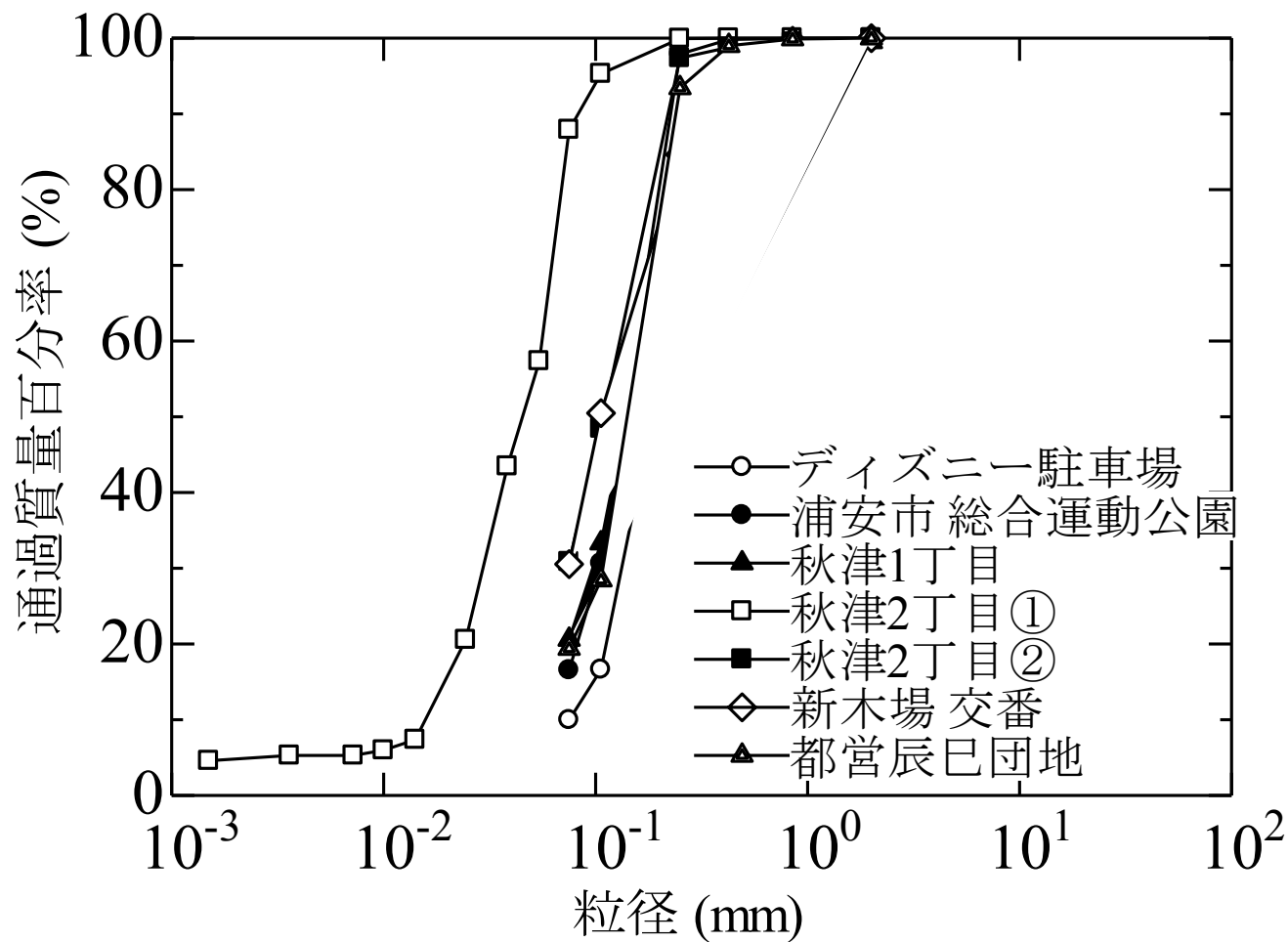
(c) 特に波数の多い地震荷重

東南海地震模擬地震動¹³⁾の一部

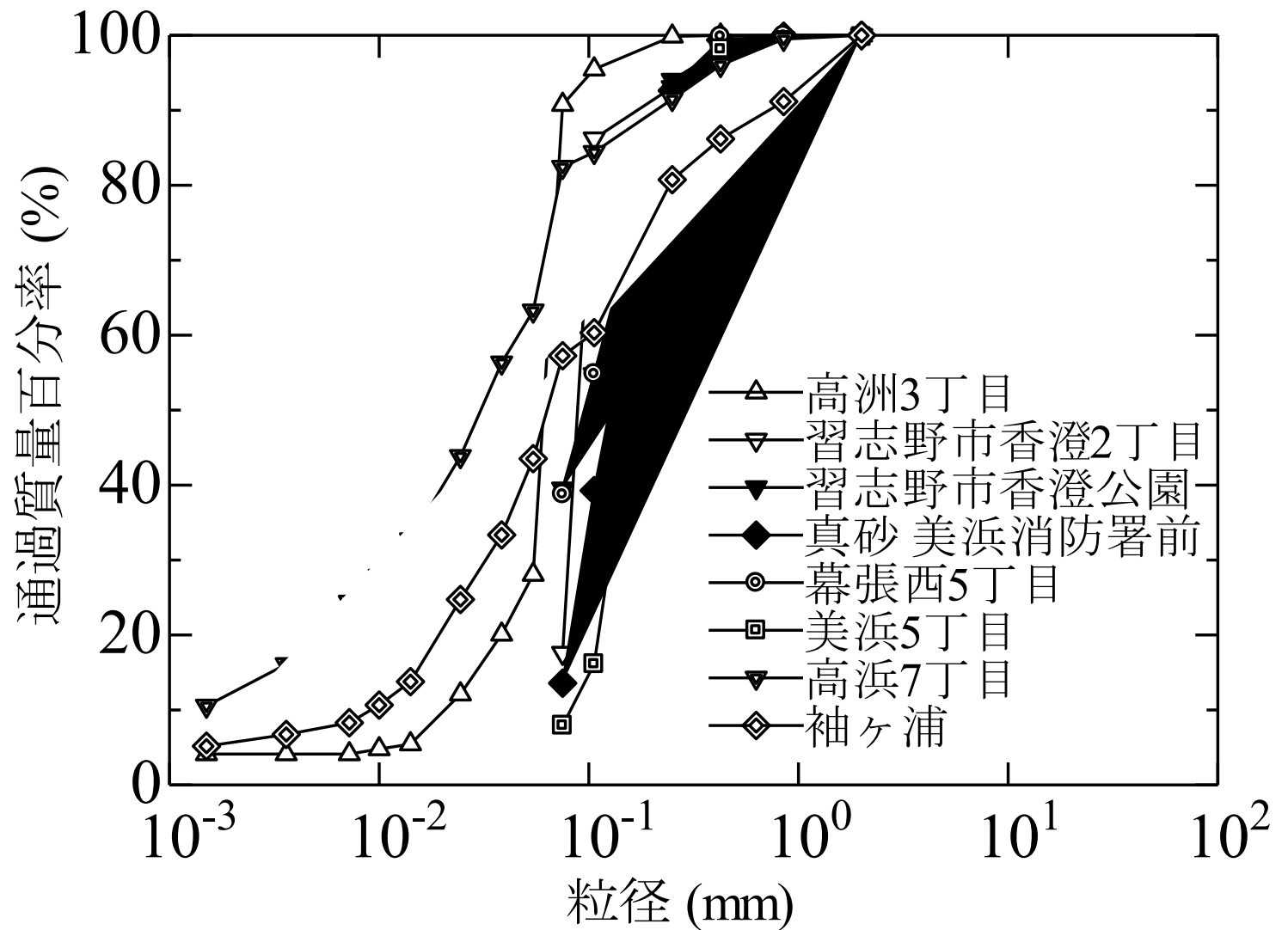
Rを求めるための補正係数 $C_w=0.8\sim0.5$ 程度に下げ(液状化強度を下げ)ないといけないことになる。

2. 東京湾岸の液状化発生状況

- ・噴砂はほとんどが貝殻混じりの細かいシルト質砂である。
- ・細かい砂なので、乾燥すると風に舞いやすく、砂埃がひどかった。
- ・噴砂が堆積した厚さは最大30cm程度もあり、過去の日本における液状の際に見られた噴砂の厚さに比べ、最大といえるほどの厚さであった。
- ・クライストチャーチではさらに噴砂の厚さが厚く、最大で昨年9月の地震の際に50cm程度、今年2月の際に70cm程度と非常に厚かった。両者の共通点から考えると、粒径が細かいので透水係数が小さく噴水が続いている時間が長くて、その間砂を巻き込んで噴出し続けたので噴砂の量が多いのではないかと考えられる。また、古関先生によると、「平均粒径が小さく比表面積が大きいので流体力で動きやすい。また、亀裂内を移動する際の途中の目詰まりが生じにくい。」ことも原因となっているかもしれないとのことである。



粘土	シルト	細砂	中砂	粗砂	細礫	中礫	粗礫	
----	-----	----	----	----	----	----	----	--



粘土	シルト	細砂	中砂	粗砂	細礫	中礫	粗礫
----	-----	----	----	----	----	----	----



Bexleyでの同じ位置での噴砂の厚さの比較

昨年9月の本震時



噴砂の厚さ: 約40cm

今回の余震時



噴砂の厚さ: 約50cm

Cubrinovski准教授によると噴砂の最大厚さは
昨年9月: 50cm程度, 今回: 70cm程度
厚さは異常に厚い。

・大きなビルは杭基礎で支えており沈下していないので、地盤との間に段差が至るところで発生していた。その値は最大50cm程度にも達していた。

・今回の地震の規模が極端に大きく、地震動の継続時間も非常に長かった。したがって、液状化が発生した後も地盤全体が大きくゆっくり揺すられたのではないかと推察される。このことが今回の液状化被害を大きくし、さらに道路の突き上げや電柱の大きな傾きをもたらした原因ではないかと思われる。





3. 建物の被害に関して

- ・非常に多くの戸建て住宅が被害を受けた。
- ・戸建て住宅ではめり込み沈下が多く発生し、その際傾斜を伴っていた。浦安市では40/1000の傾きに達している2階建て店舗もあった。このように大きく沈下・傾斜してもガラスは割れていなく、中の棚の上にあった物も散在しないといった状況であった。
- ・全般に護岸の被害は軽微であったが、船橋市日の出2丁目と船橋市栄町2丁目では護岸が大きくはらみ出し、背後の地盤が運河に向かって流動した。そのため、そこにあった家や工場を股さき状態になり甚大な被害にしていた。

4. ライフラインの被害に関して

- ・上下水道, ガス, 通信, 電力が広い範囲で被災したが液状化に起因したものが多いと思われる。
- ・下水道のマンホールは最大1m弱ほどの浮上がりを生じたものもあった。ただし, 液状化した面積は非常に広い割には浮き上がったマンホールの数や量はたいしたことはなかった。
- ・電柱の沈下量が非常に大きく, また, その傾斜もひどいものであった。家の屋根にぶつかるほど傾斜した電柱もあった。沈下量の最大は2m程度。これまでの液状化による被害に比べて激しいものであった。



5. 護岸その他

- ・護岸の被害は上記の2箇所と市川漁港の傾斜護岸の被害程度と軽いものであった。加速度はそんなに大きくなかったせいかもしれない。
- ・その他橋梁などの土木構造物に液状化が与えた影響も軽微であったと考えられる。これは液状化を考慮した設計をしていることと、加速度が小さかったためではないかと思われる。(今後検討が必要)
- ・小型タンクで沈下したものがあつた。
- ・空の重油タンクで大きく浮き上がったものがあつた。
- ・工場内の被害も多く発生しているものと思われるが、立ち入れないので被災状況は分からない。

船橋市西浦

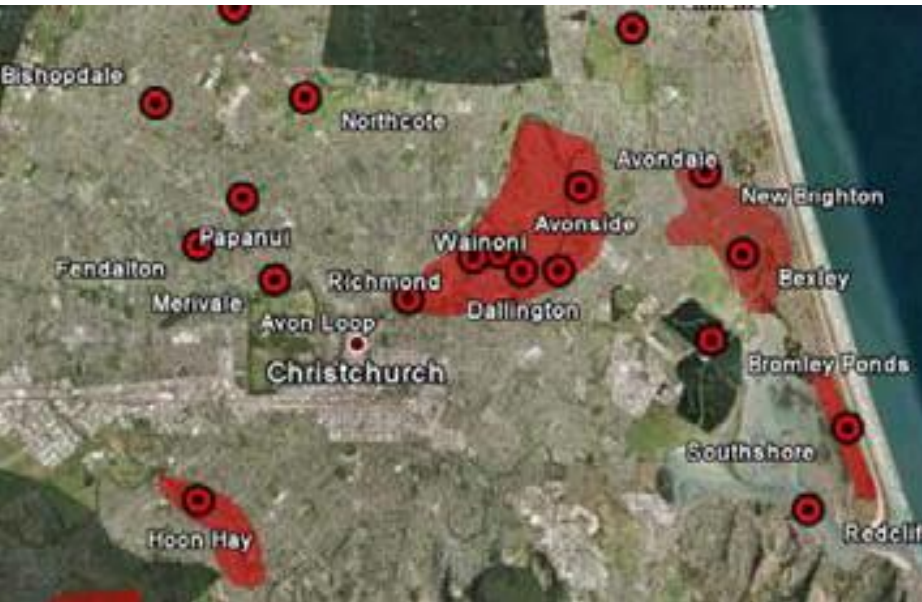


6. 復旧に関して

・原形復旧と対策を施した復旧とあり、通常は原形復旧が行われる。ただし、今回の場合地震の規模が大きいため、大きな余震が今後長期間にわたって発生する可能性がある。その場合、再び液状化が発生し、せっかく復旧してもまた被災する可能性もある。逆に、復旧しないにおいて再液状化が発生した場合、沈下量などが加速され、被害が甚大になり修復不可能になってくるケースもある。クライストチャーチでは9月の地震で20cm沈下した家が2月の地震で50cmの沈下量になってしまった例もある。しがたって、今回原形復旧する場合にはそのタイミングが難しくなる。対策を施した復旧が理想的であるが、費用がかかる。特に個人住宅では問題。

クライストチャーチにおける液状化範囲の比較

昨年9月の本震時



(Misko Cubrinovskiらによる)

今回の余震時



(この他にも軽微な液状化が生じた地点が多数あり)

カンタベリー大学と地盤工学会で調査した液状化発生
地区(中間報告)

クライストチャーチの液
状化発生範囲は2～3倍

7 × 8kmの60%の広い範囲で自然堆
積地盤が液状化

Dallingtonでの同じ家の沈下量の比較

昨年9月の本震時



20cm程度の沈下

今回の余震時



50cm程度の沈下

30cm程度さらに沈下