

第2章 地盤改良実施済エリアの改良工法の概要と液状化被害の状況の取りまとめ

2.1 地盤改良実施済エリアの概要

2.1.1 日の出エリア(浦安東地区)

地盤改良実施済エリアの改良工法の概要として、ここでは浦安東地区における地盤改良について取りまとめた。

【出典】ぎょうせい:宅地防災マニュアルの解説Ⅱ,第二次改訂版,編集 宅地防災研究会,pp221-224,平成19年.

当該地の模式地質断面図を図-2.1.1に、同図中のF層及びA層の砂質土の物理的性質を図-2.1.2に示した。図-2.1.2に示した粒度組成より、F層及びA層の砂質土は、粘土・シルト含有量がおおむね20%以上を占め、砂としては細粒分含有率が高いことが特徴である。

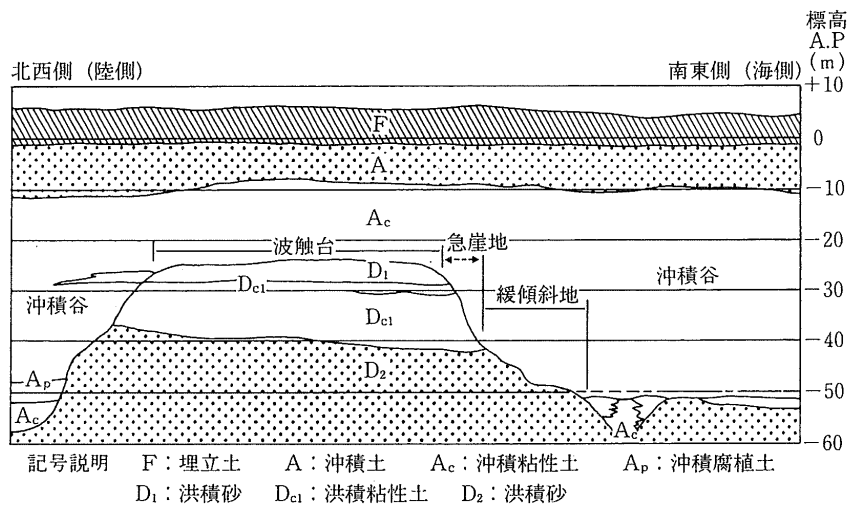


図-2.1.1 模式地質断面図

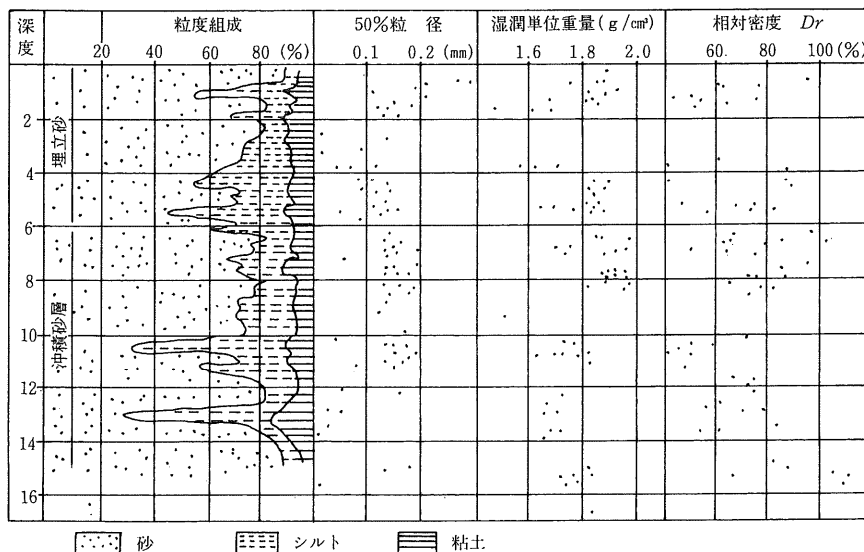


図-2.1.2 埋立砂質土及び沖積砂質土の物理的性質

「(建築基礎構造設計指針(1988))に準拠した液状化判定の結果、当該地区では GL-8～15m の自然堆積地盤で液状化安全率 $F_L < 1.0$ となったことから、液状化対策が検討された。

液状化対策工法としては、本地区地盤への適用性及び経済性からサンドコンパクションパイル工法(SCP工法)が選定された。液状化対策は道路部においてのみ実施されている。また、沈下対策としては、沖積層底面の深い海側では載荷盛土+サンドドレーン工法(SD工法)が、陸側では載荷盛土が実施されている。

なお、液状化対策工法以外の沈下対策も含めた地盤対策の方針を表-2.1.1に示した。また、対策工法実施状況模式図を図-2.1.3に示した。

表-2.1.1 地盤対策の方針

沖積層底面 土地利用	A.P-30m以浅 (台地)		A.P-30m～A.P-45m (谷斜面)		A.P-45m以深 (沖積谷)		
	粘性土	砂質土	粘性土	砂質土	粘性土	砂質土	
道路	2.3m 載荷盛土		4.0m 載荷盛土 SCP工法		4.0m 載荷盛土 + SD工法 SCP工法		
住宅地	独立住宅		2.5m 載荷盛土		4.0m 載荷盛土 基礎指定		
	低層集合住宅		1.7m 載荷盛土		4.0m 載荷盛土 + SD工法 基礎指定		
	高層住宅		液状化対策は構造物の基礎で対応		液状化対策は構造物の基礎で対応		
学校	学校舎		1.7m 載荷盛土		—		
	校庭		液状化対策は構造物の基礎で対応		液状化対策は構造物の基礎で対応		
	校舎		1.7m 載荷盛土		—		
都市施設	公園		1.7m 載荷盛土		—		
	護岸周辺		液状化対策は構造物の基礎で対応		液状化対策は構造物の基礎で対応		
護岸周辺		2.5m 載荷盛土		液状化対策は高盛土の築造で対応		—	
土地利用で対応							

注) 土地利用に対応する地盤対策は上段が沈下対策及び表層改良を、下段が液状化対策を示す。

SD工法：サンドドレーン工法、SCP工法：サンドコンパクションパイル工法

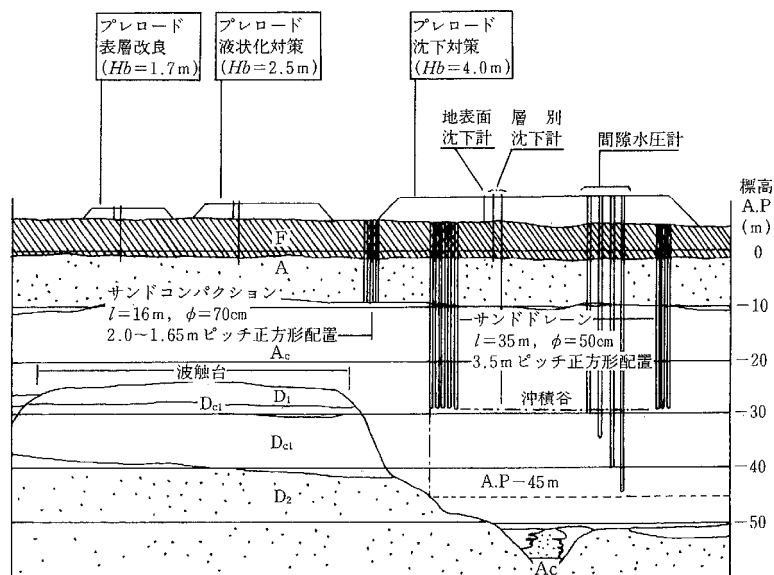


図-2.1.3 対策工法実施状況模式図

2.1.2 入船地区における地盤改良の概要

【出典】安田進・原田健二・石川敬祐：東北地方太平洋沖地震による千葉県の被害、地盤工学ジャーナルに投稿中

入船地区では、上部の緩い砂層の締固めによる支持力増加、液状化防止を目的にサンドクッションパイル(以下 SCP)工法が主に3階建壁式鉄筋コンクリート造の建物の基礎に採用されている。また、グラベルドレーン(以下 GD)工法も液状化防止の目的で2,3階建建物に採用されている。

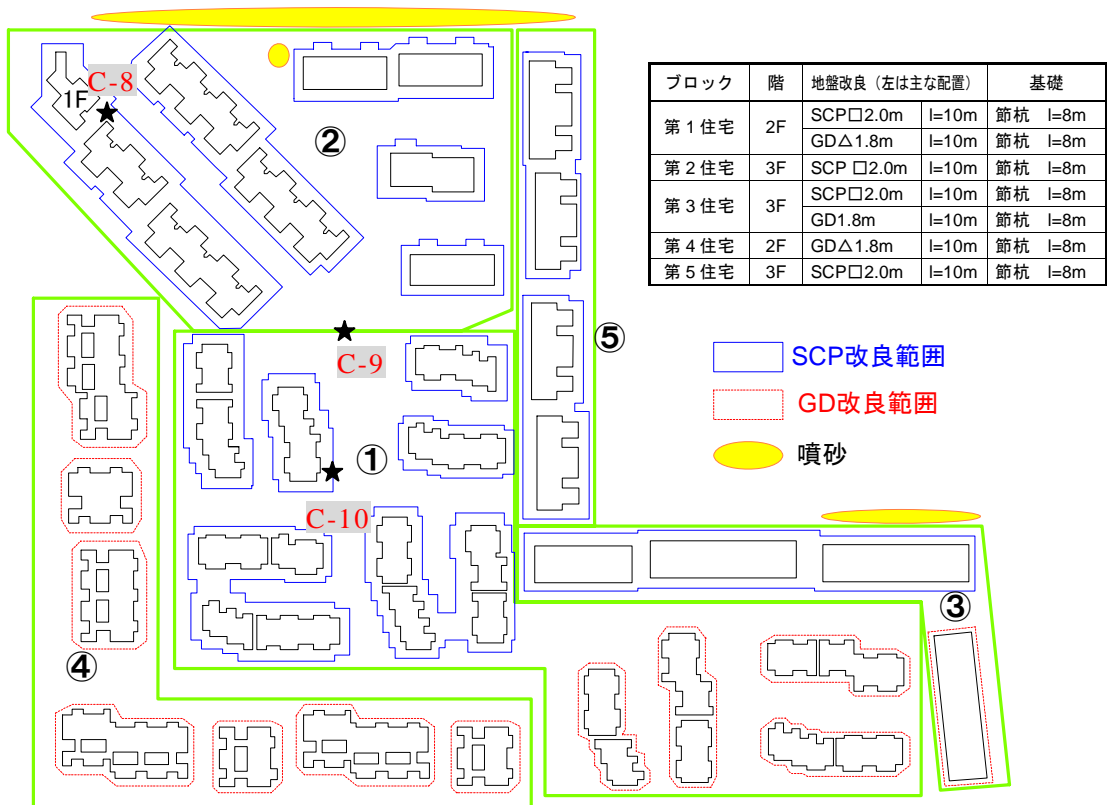
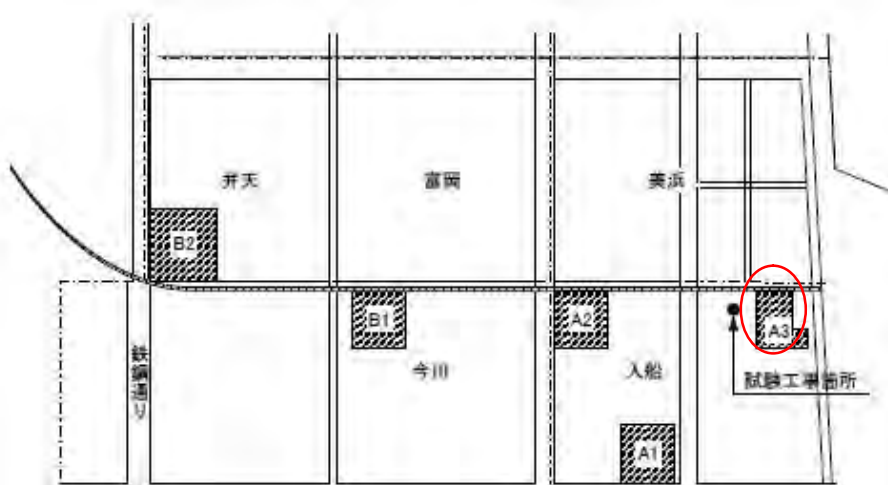


図-2.1.4 地盤改良の概要【出典】に加筆

2.2 被害状況の整理

(1) 日の出エリア(浦安東地区)

SCP 工法により液状化対策として地盤改良を実施していた道路、歩道では損傷がなく、また、沈下対策として打設された SD 工法施工箇所においても、敷地内での噴砂などは確認されなかった。

(2) 入船地区

地震後に実施した三成分コーン貫入試験の調査地点は、SCP エリア(C-08 地点、C-10 地点)及び未改良エリア(C-09 地点)の 3 地点である(図- 2.1.4 の★印位置)。

当エリア内では地盤改良の事前・事後を比較した結果がないことから、既存ボーリング結果と地震後に実施した三成分コーン貫入試験結果を併せて図- 2.2.1 に示した。ただし、図- 2.2.1 に示したとおり、既存ボーリング結果と地震後に実施した 3 地点の調査結果を比較したところ、地盤改良による液状化対策効果の有意な差異は確認できなかった。このため、対策効果を検証するためには十分な調査を実施する必要があると考えられる。

なお、当エリアでは、図- 2.1.4 に示すように地震時に団地周辺の未改良部で噴砂が発生し、団地敷地内でも一部の未改良域で噴砂が発生した。一方、改良域では液状化や被害は発生しなかった。

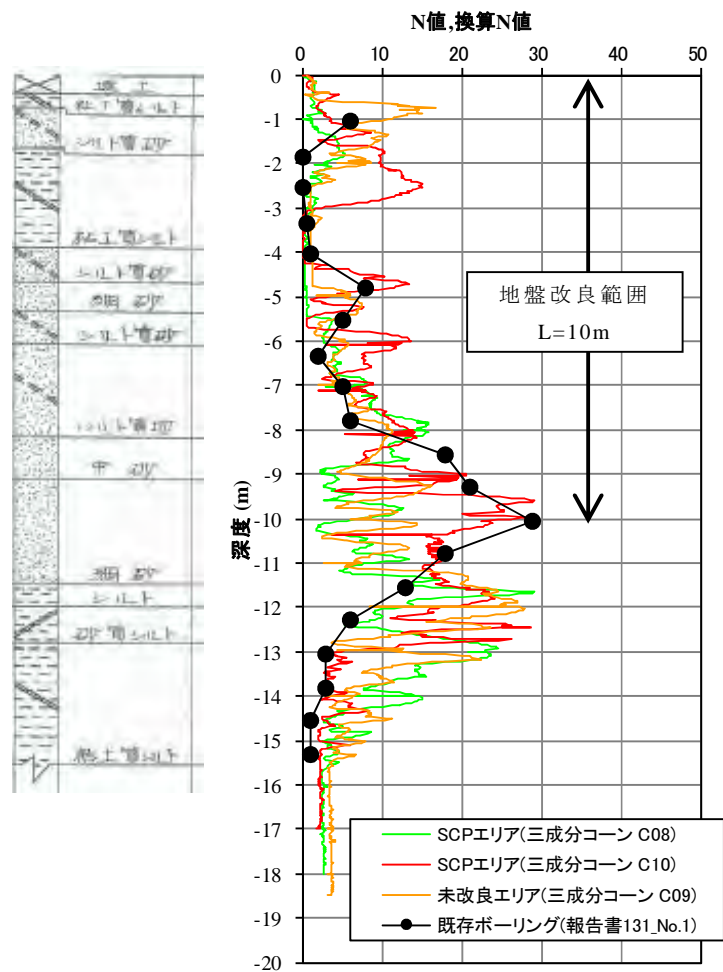


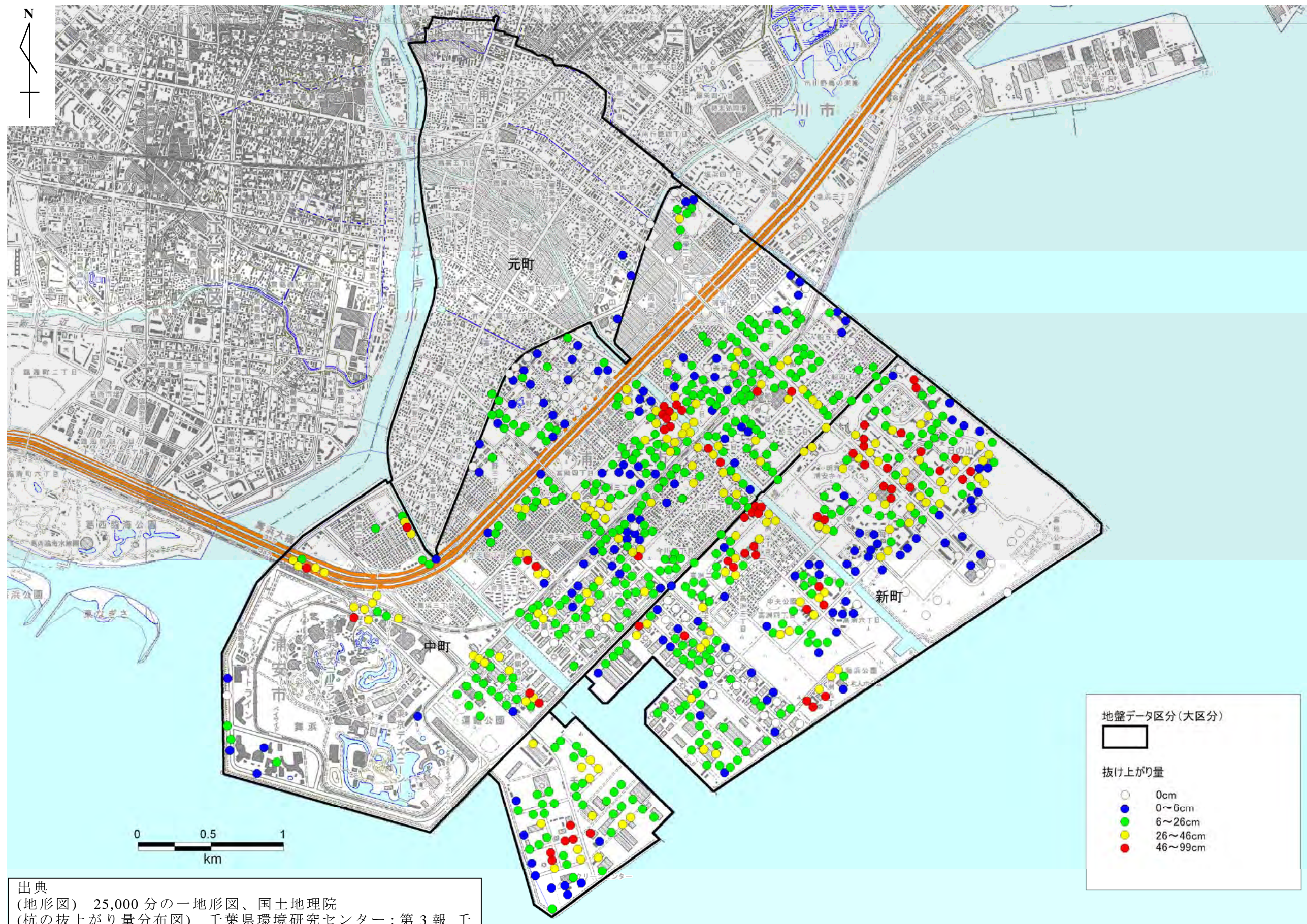
図- 2.2.1 311 地震後の調査結果(三成分コーン貫入試験)及び既存調査結果

第3章 区域別の液状化被害の程度と要因分析

3.1 被害状況の整理

東北地方太平洋沖地震による液状化被害の程度を面的に把握するため、「杭の拔上がり量³⁾」、「罹災証明データによる被災コンター図」及び「航空レーザー測量結果による沈下量の分布図」を用いて被害状況を整理した。「杭の拔上がり量の分布図」を図- 3.1.1 に、「罹災証明データによる被災コンター図」を図- 3.1.2 に、「航空レーザー測量結果による沈下量の分布図」を図- 3.1.3 に示した。

3) 千葉県環境研究センター：第3報 千葉県内の液状化－流動化現象とその被害の概要及び詳細分布調査結果－浦安地区(1)－ 図 5,2011.



出典
 (地形図) 25,000分の一地形図、国土地理院
 (杭の抜け上がり量分布図) 千葉県環境研究センター: 第3報 千葉県内の液状化-流動化現象とその被害の概要及び詳細分布調査結果-浦安地区(1)-」図 5,2011.

図- 3.1.1 杭の抜け上がり量分布図



- 凡例**
- 一部損壊
 - 半壊
 - 大規模半壊
 - 全壊

一部損壊：全壊及び半壊にいたらない程度の住家の破損で、補修を必要とする程度のものとする。

図- 3.1.2 罹災証明データによる被災コンター図(中町・新町を対象)

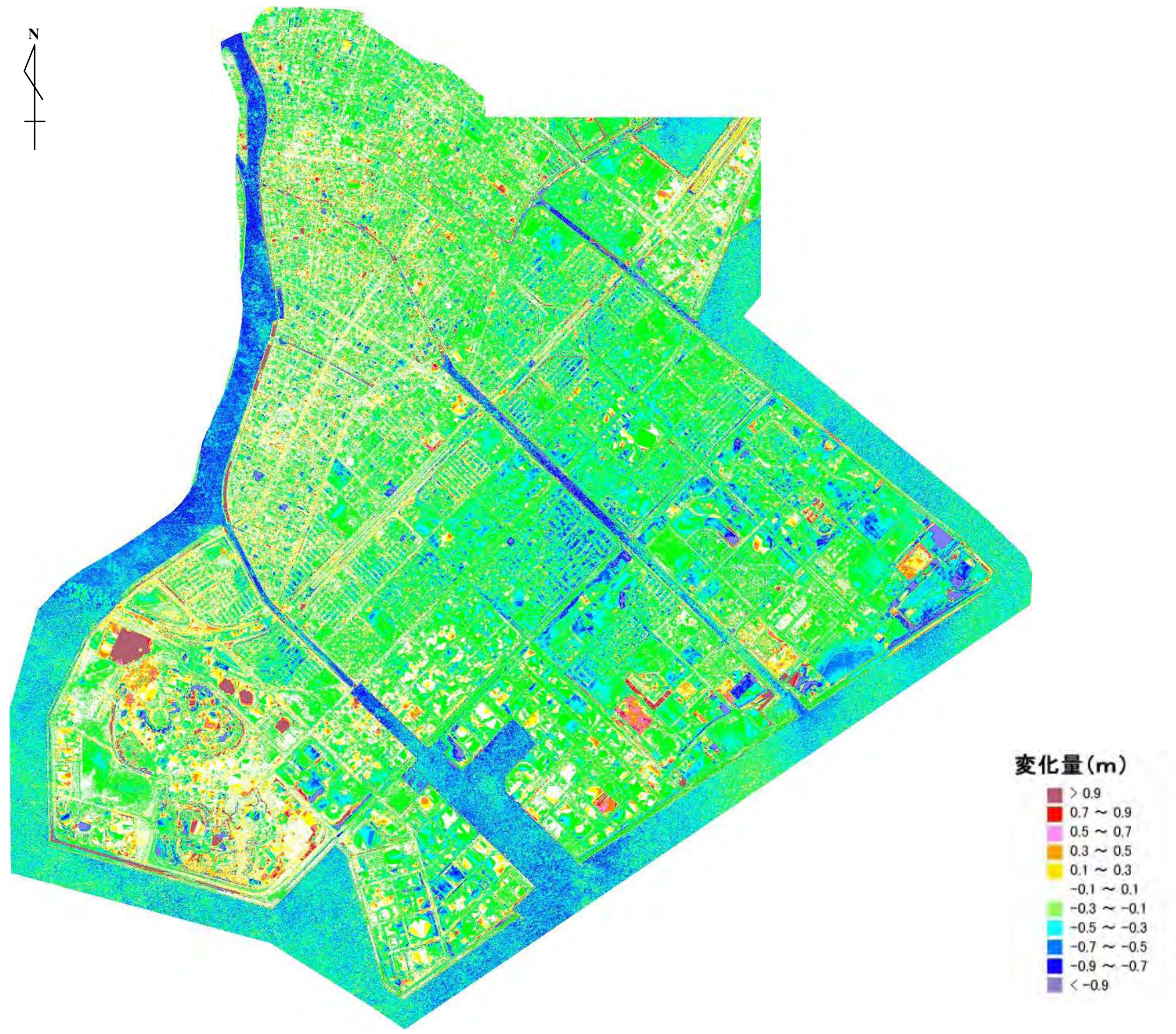


図- 3.1.3 地震前後での地盤高変動量(再掲)

3.2 被災要因の分析

(3) 杭の拔上がり量及び罹災証明データによる被災コンターと地盤の関係

① 地下水位以深のFs層と杭の拔上がり量の関係

図-1.4.5及び図-3.1.1を基に「地下水位以深のFs層と杭の拔上がり量の関係」を整理して図-3.2.1に示した。杭基礎構造物の杭の拔上がり量は、図-3.2.1に示したとおり地下水位以深のFs層厚が厚いほど大きくなる傾向を示した。特に、地下水位以深のFs層厚が4.0m以上堆積している場合は0.5m以上の拔け上がり量が発生しているケースがある。

② 被災率と地下水位の関係

図-1.4.2及び図-3.1.2を基に「被災率と地下水位の関係」を整理して図-3.2.2に示した。なお、図-3.2.2の基データとなる「全壊」「大規模半壊」「半壊」「一部損壊」毎の地下水位別頻度分布を図-3.2.3に示した。被災率は、図-3.2.2に示したとおり地下水位が高くなるほど大きくなる傾向を示した。特に、被災率が50%を超える地下水位は、全壊で0.5～1.0m、大規模半壊、半壊及び一部損壊で1.5～2.0mであった。

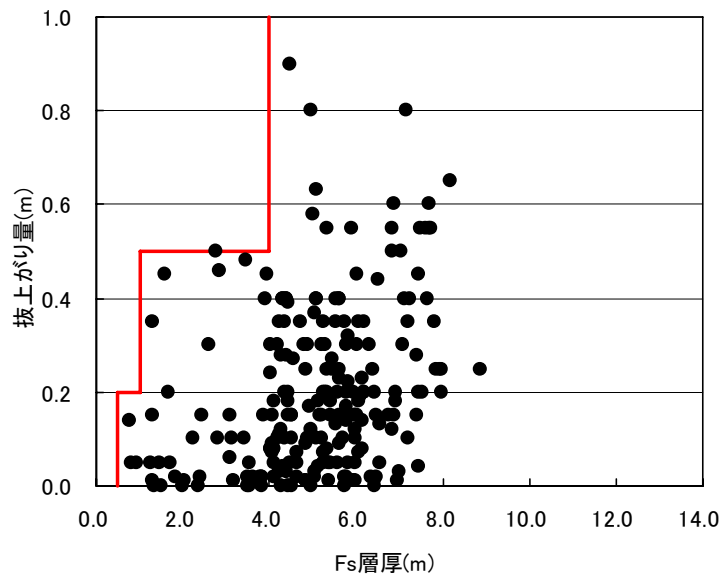


図-3.2.1 地下水位以深のFs層と杭の拔上がり量の関係

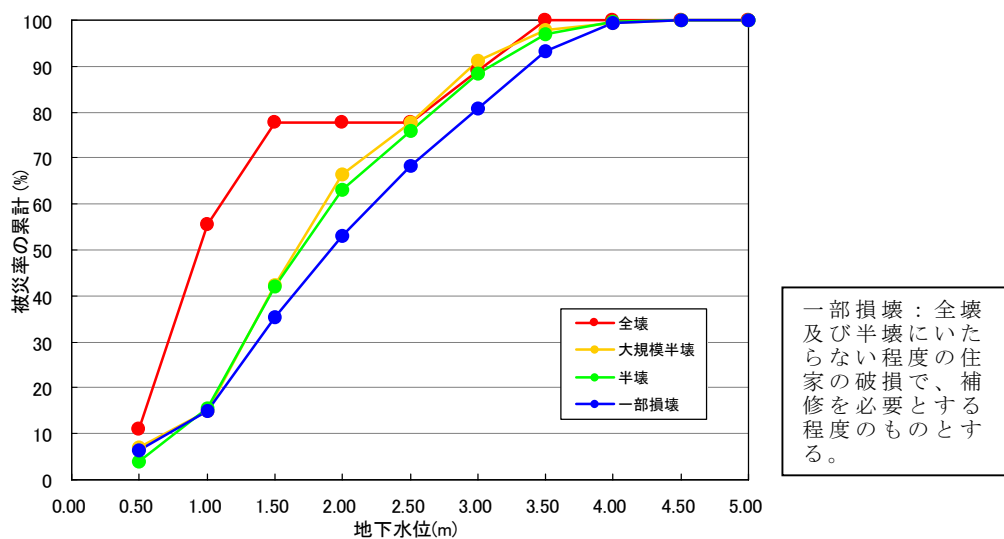
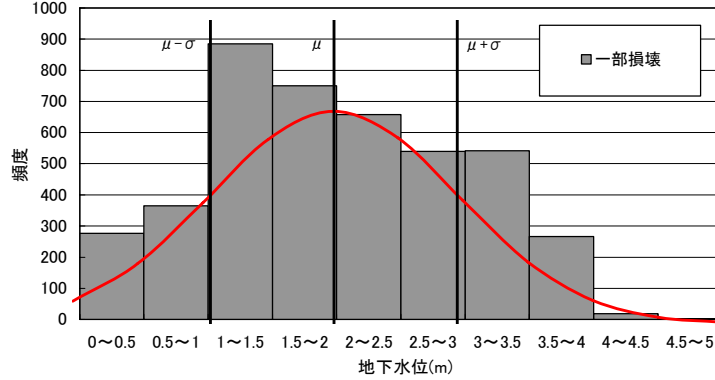


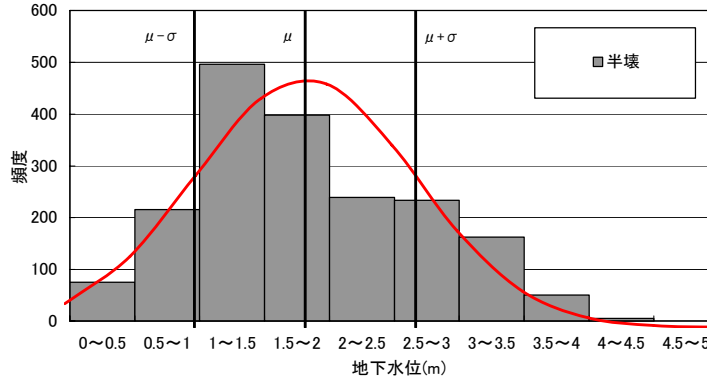
図-3.2.2 被災率と地下水位の関係

平均値 μ 2.007
 標準偏差 σ 0.949
 データ数 n 4305

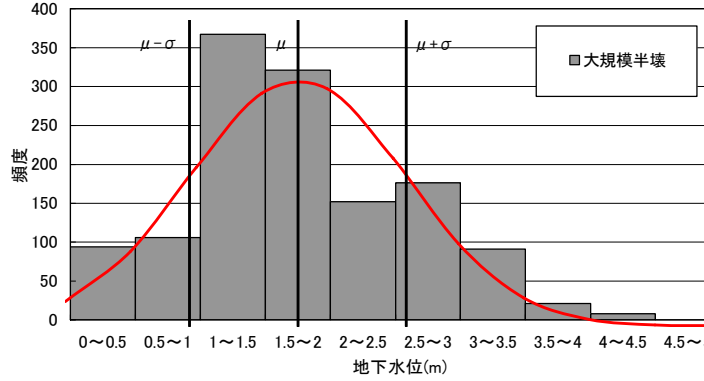


一部損壊：全壊にいたるまでの住補
 及び半壊にいたるまでの住補
 ならぬ程度の破損で、補修を必要とするものとする。

平均値 μ 1.836
 標準偏差 σ 0.846
 データ数 n 1873



平均値 μ 1.776
 標準偏差 σ 0.827
 データ数 n 1336



平均値 μ 1.378
 標準偏差 σ 0.965
 データ数 n 9

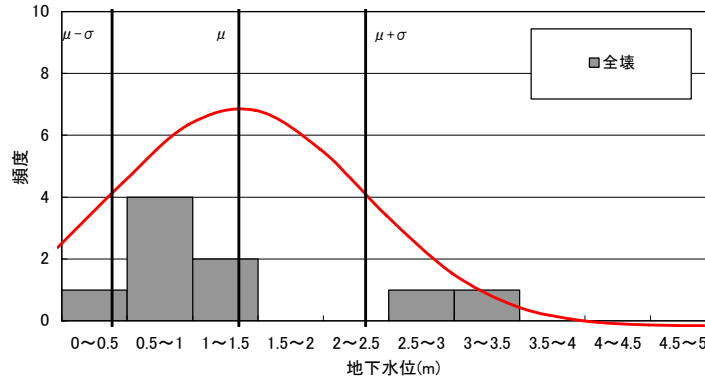


図- 3.2.3 地下水水位別頻度分布

(4) 航空レーザー測量結果による沈下量と地盤特性との関係

航空レーザー測量結果による沈下量の分布図をもとに、建物の沈下・傾斜などの被災程度が大きいと判断したエリアを図-3.2.4に点線で示した。このエリアを前出の地下水位深度コンター図、工学的基盤標高コンター図、Fs層厚コンター図、及び地下水位以深のFs層厚コンター図に被災程度の大きいエリアを重ねた図をそれぞれ図-3.2.5、図-3.2.6、図-3.2.7及び図-3.2.8に示した。

図-3.2.5から、被災程度(沈下量)は、入船4丁目地区、日の出2丁目地区、千鳥地区など地下水位が浅い箇所が大きくなる傾向にあることが分かる。地下水が深い箇所については、東野地区、海楽地区など被害が少ないエリアがある一方、美浜3丁目地区など被害が大きいエリアもある。

また、図-3.2.9に示したS23年当時の空中写真と比較すると、滞筋(写真の黒っぽいエリア)と考えられる箇所では、Fs層厚が厚く、また工学的基盤も深い傾向を示し、図-3.2.6及び図-3.2.7に示したように、Fs層厚が厚いエリア、また工学的基盤も深いエリアで被災程度(沈下量)が大きくなる傾向を示している。しかしながら、東野地区および港地区など、埋没谷の存在と被害程度が必ずしも一致しない箇所もある。図-3.2.8の地下水位以深のFs層厚コンター図に示したように、被害程度(沈下量)の大きいエリアと地下水位以深のFs層厚の厚い箇所もおおむね一致しているが、層厚の薄い今川地区など一部で被害の程度が合わない箇所もある。

地下水位、Fs層の層厚、工学的基盤層の層厚については相互に関連性は強いが、これらのことから、被害程度(建物の沈下量)と地盤特性の関係については、以下のように考えることができる。

- ①埋立砂層(Fs層)の層厚が5mを超えるようなエリアでは、液状化による被害が大きい。
- ②地下水位が地表から1m未満のように高いエリアでは、液状化による被害が大きい。

なお、地下水位が深い場合の被害程度との関係については、明確な関係は見出すことはできないが、地下水位深度コンターは、調査時期の異なる既存ボーリング実施時の孔内水位から想定したものであること、また、311地震の本震直後の地下水位ではないこと等から、必ずしも311地震時の正確な地下水位ではないことに留意する必要がある。

さらに、被害程度(沈下量)の大きなエリアの大半は戸建住宅地区であり、土地利用状況も被害の程度に大きく影響を与えていることにも留意が必要である。

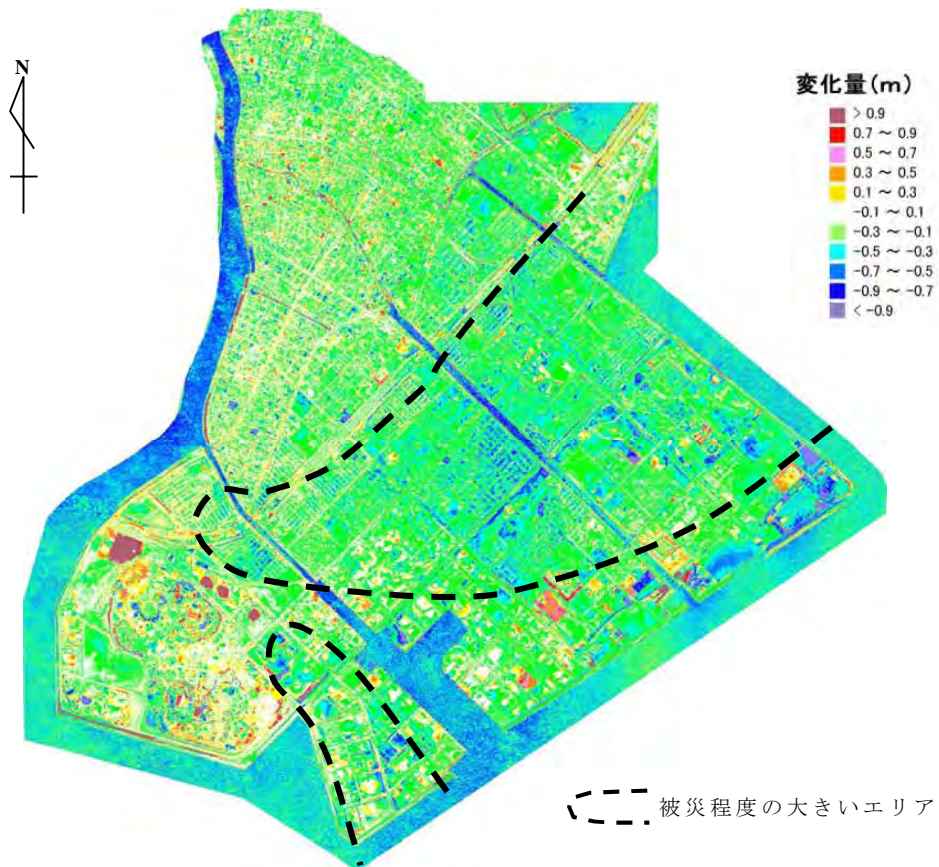


図- 3.2.4 航空レーザー測量結果から判断した被災程度の大きいエリア

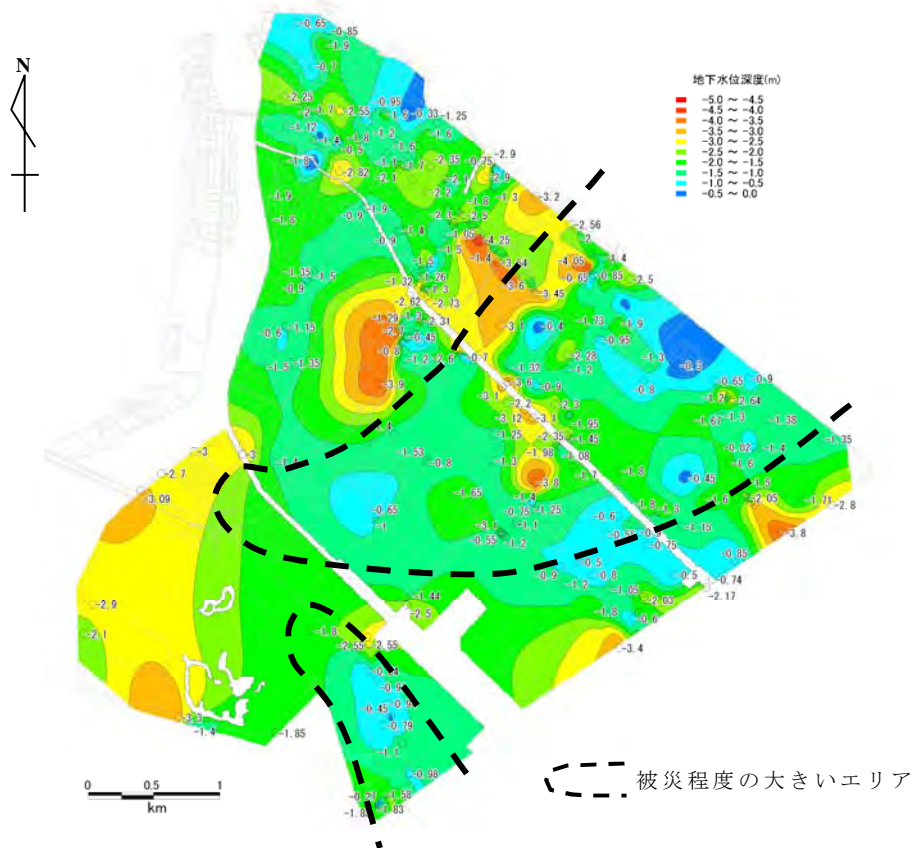


図- 3.2.5 地下水位深度コンター図と被災程度の大きいエリアの重ね合わせ図

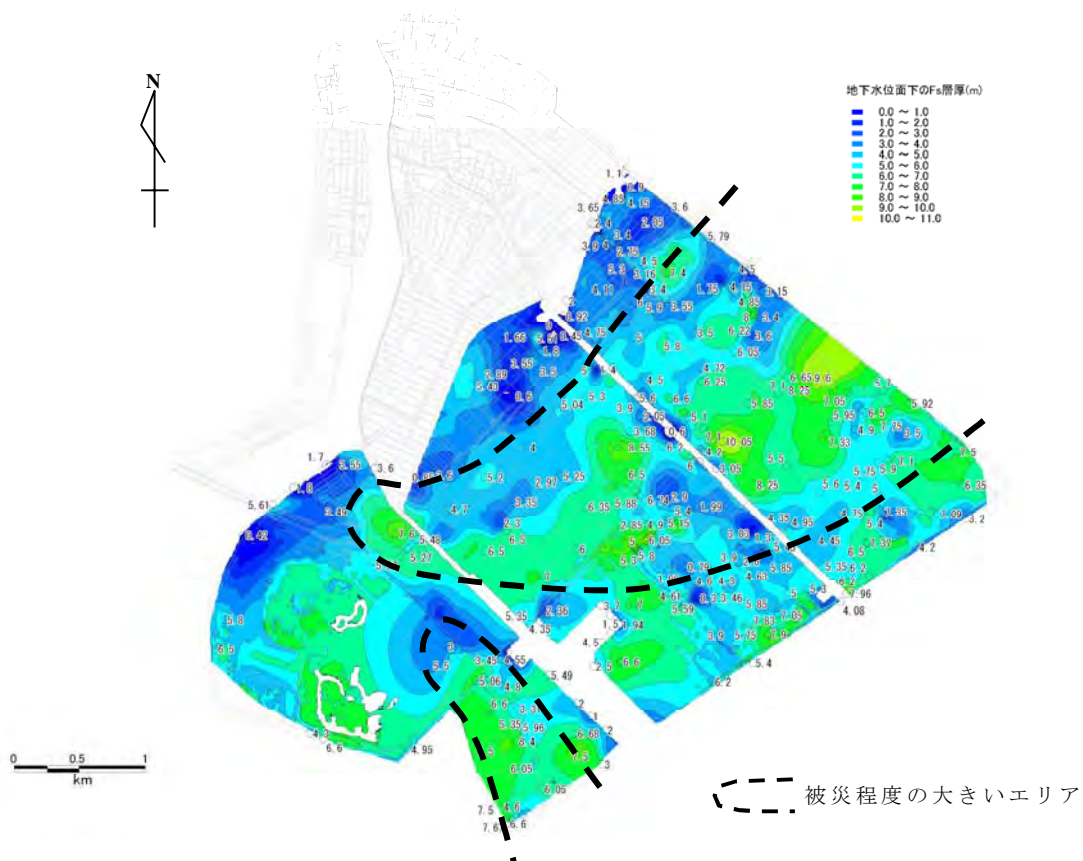


図- 3.2.8 地下水位以深の Fs 層厚コンター図と被災程度の大きいエリアの重ね合わせ図

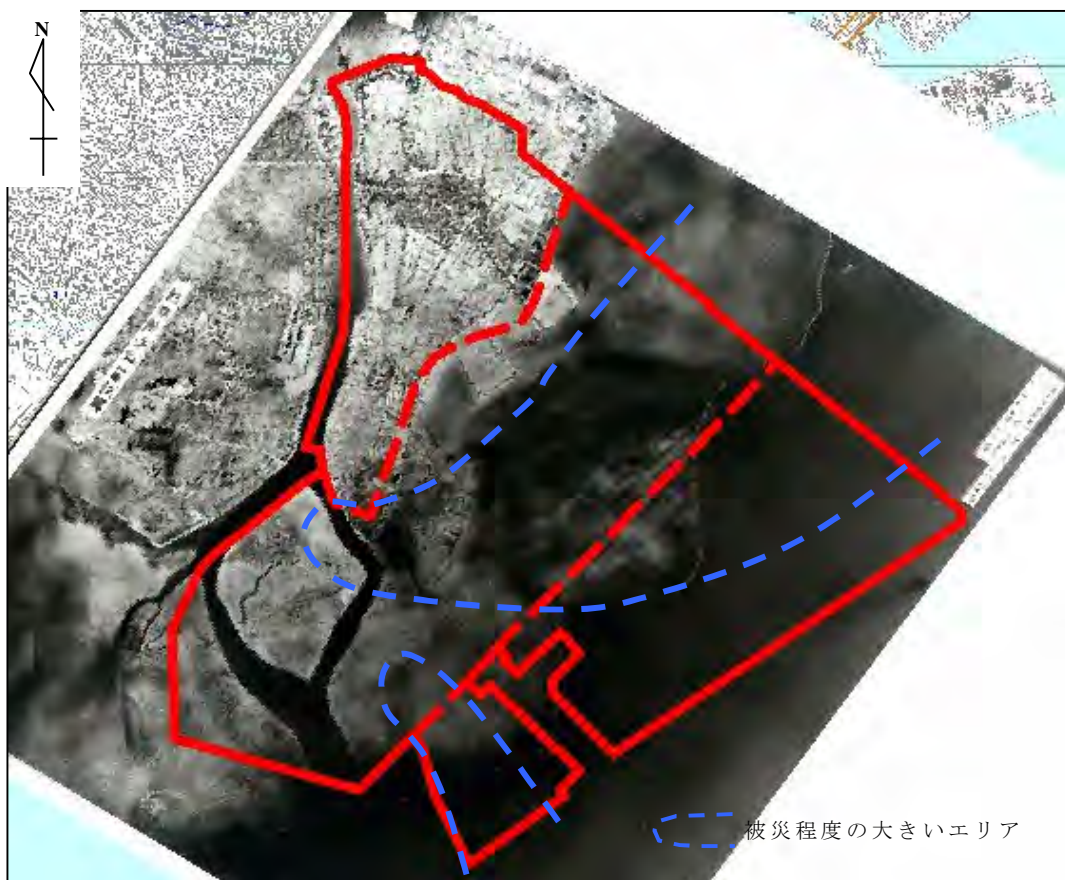


図- 3.2.9 S23 年航空写真図と被災程度の大きいエリアの重ね合わせ図

出典：浦安市全域航空写真図(浦安市)に加筆

(5) 被災要因分析結果

被災要因分析の結果から、被害と地盤の関係を整理して以下に列記した。

- ① 支持杭構造物の杭の抜上がり等の液状化被害は、Fs 層が厚いほど被害程度が大きくなる傾向を示した。
- ② 戸建住宅などの小規模建築物の傾斜等の液状化被害は、Fs 層が厚いほど、また、地下水位が浅いほど被害程度が大きくなる傾向を示した。

1.5.4 埋立土層及び沖積砂質土層の特性の整理で示したとおり As 層と比較して Fs 層の N 値は小さい。また、後述する 4.4311 地震の再現計算で実施した液状化判定結果のうち代表地点での結果を図-3.2.10 に示したが、同図に示したとおり、As1 層よりも Fs 層の F_L 値のほうが小さい傾向にあることが分かる。

このため、Fs 層を中心に液状化が発生したものと考えられる。

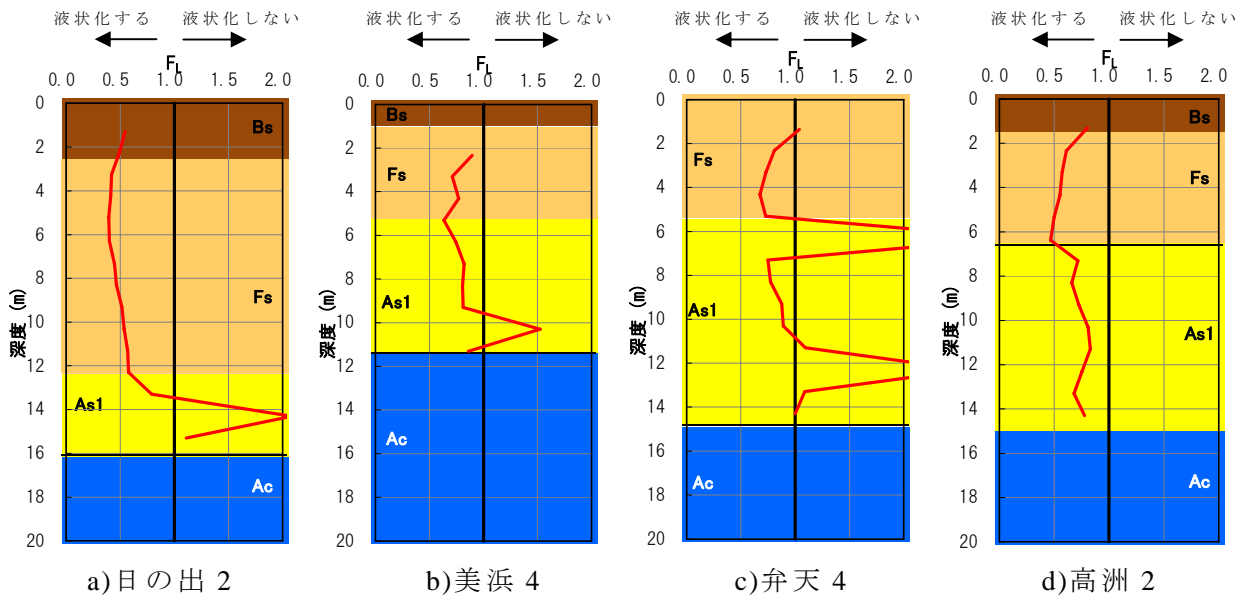


図- 3.2.10 代表地点における液状化判定結果(311 地震)

3.3 浦安市における液状化被害の発生状況

東日本大震災による浦安の液状化による噴砂等の発生状況を模式図として図-3.3.1に示した。

浦安市域の液状化対象層は主に地下水位以深のFs層及びAs層である。後述する本検討結果を踏まえると、これらの両層が本震時もしくは余震時に液状化したものと考えられる。なお、地表への噴砂・噴水等の発生については、後述する「4.3 余震の影響の整理」に示したとおり、本震時よりも余震時における噴出量のほうが多い。このことは、本震時に長時間の(数多くの)繰返し荷重を受けたことで地盤内の過剰間隙水圧が上昇し、その状態が維持されたまま余震の影響を受けたことが原因であると推察される。

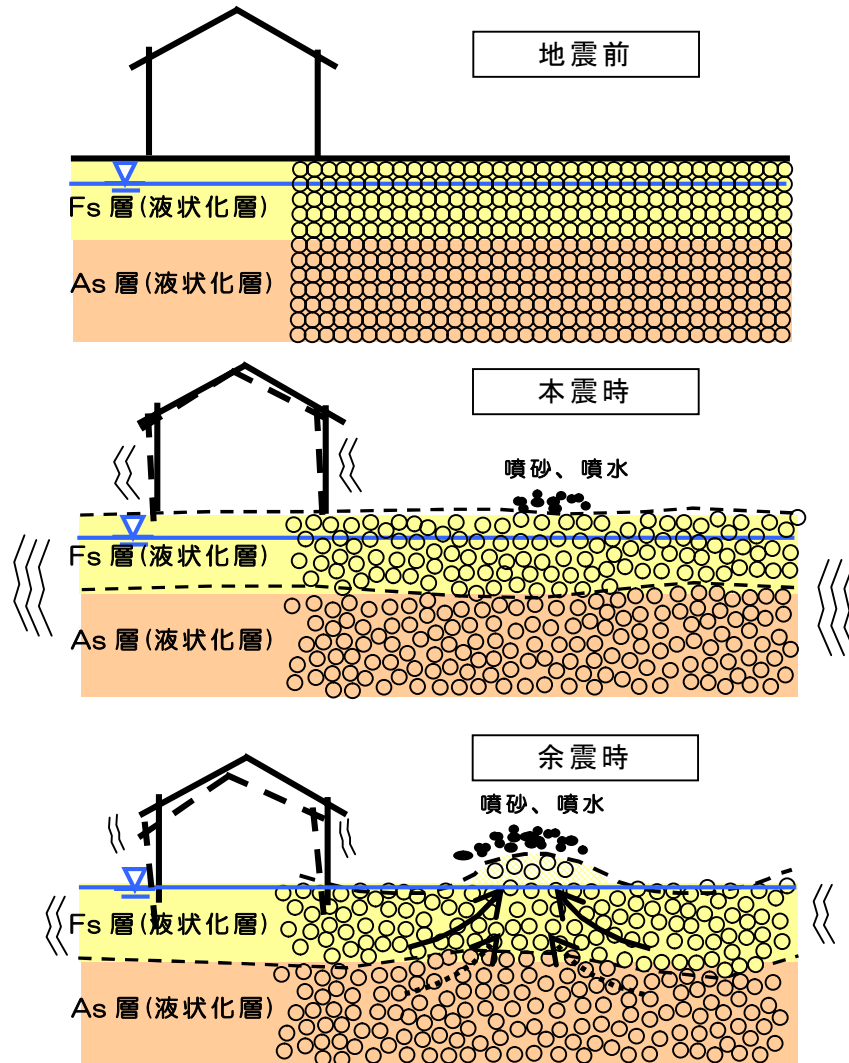
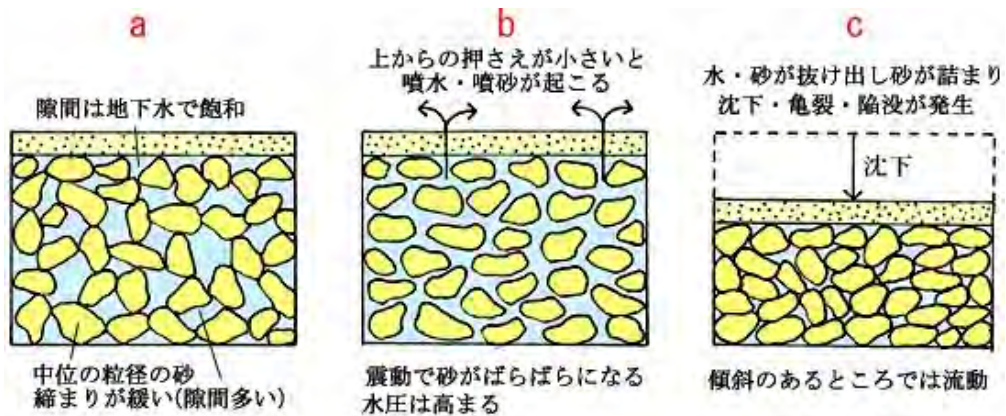


図- 3.3.1 浦安の液状化による噴砂等の発生状況の模式図

参考 液状化の発生機構

独立行政法人 防災科学技術研究所 自然災害情報室より引用
http://dil.bosai.go.jp/workshop/01kouza_kiso/kuzure/slide.htm

a のように緩く詰まっていて隙間が多く、その隙間は地下水で満たされている砂層が、強い地震動によって繰り返し揺すられると、砂粒子間の支え合いがはずれていき、ついには b のように砂は完全にばらばらになって水の中に浮いたような状態になります。これが液状化です。これに伴って地中水の圧力は高まり、水と砂が地上へ噴出します。これは中身の一部分が抜け出したことを意味し、c のような沈下や亀裂・陥没などの地盤変形が生じます。



第4章 液状化危険度マップの作成

4.1 液状化危険度マップの作成手順

浦安市域の液状化危険度マップの見直しの基本方針を以下に示した。

図-4.1.1 のとおり、はじめに311本震での観測記録を用いて、地震応答解析手法および液状化判定手法の検証を行った。次いで、想定地震に対して浦安市全域における詳細評価区分(以下、評価ポリゴン)毎に一次元地震応答解析・液状化判定を行い、その結果を用いて液状化危険度マップを作成した。

また、地震応答解析及び液状化判定の流れを図-4.1.2 に示した。

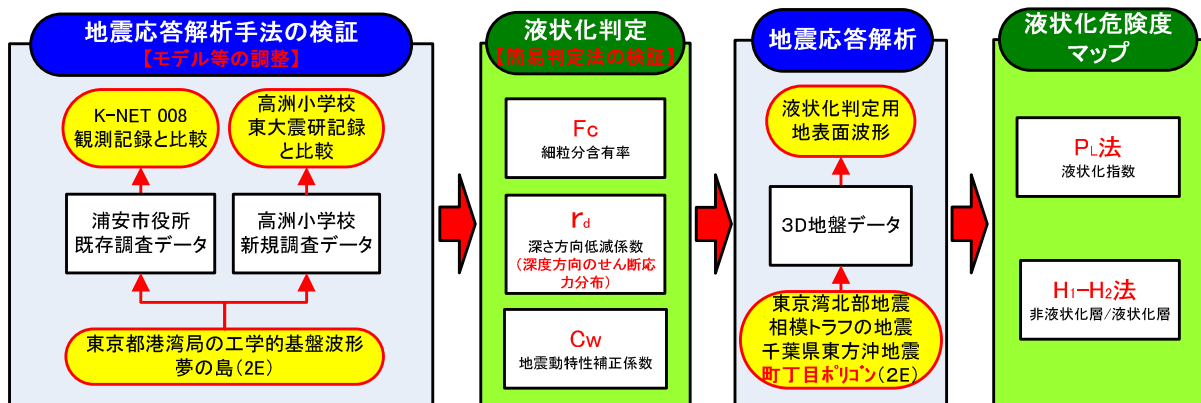


図-4.1.1 液状化マップ見直し手順

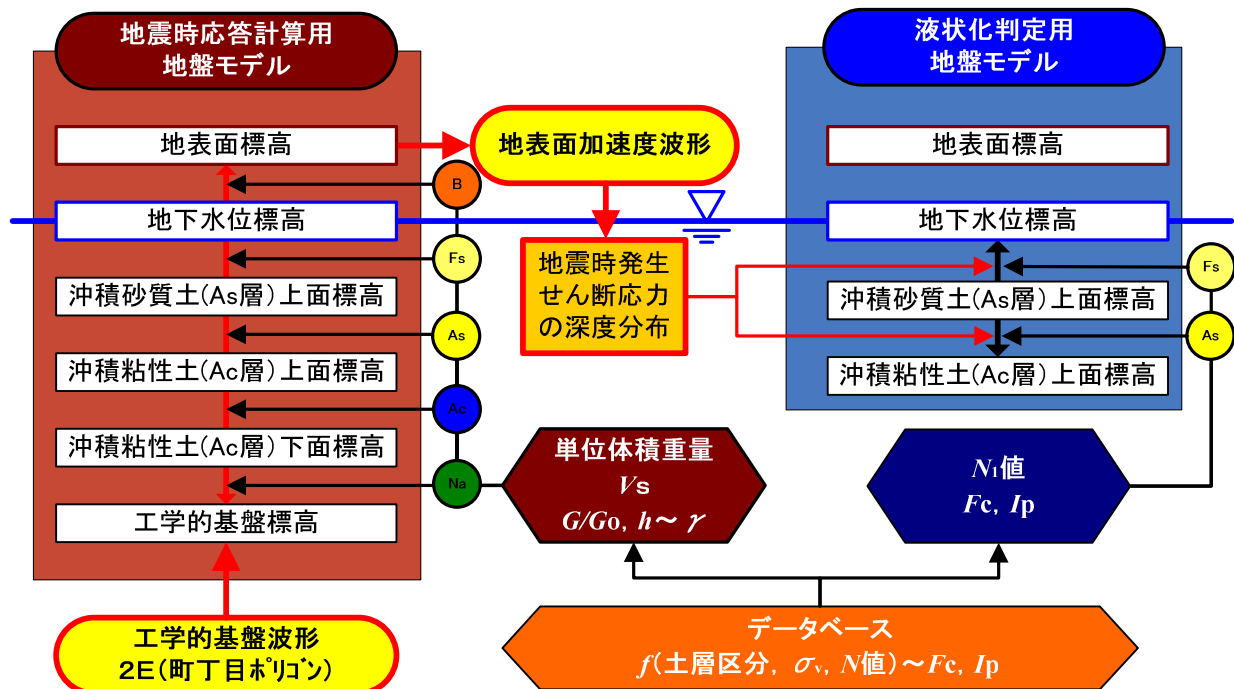


図-4.1.2 地震応答解析及び液状化判定の流れ

4.1.1 液状化危険度評価ポリゴン

浦安市域の液状化危険度マップを作成するための評価ポリゴンを図-4.1.3に示した。評価ポリゴンは、浦安市の町丁目を基本として工学的基盤上面標高、被害状況、地盤データ(Fs層、As1層の層厚等)を勘案して作成した。なお、評価ポリゴンは全196区分とした。

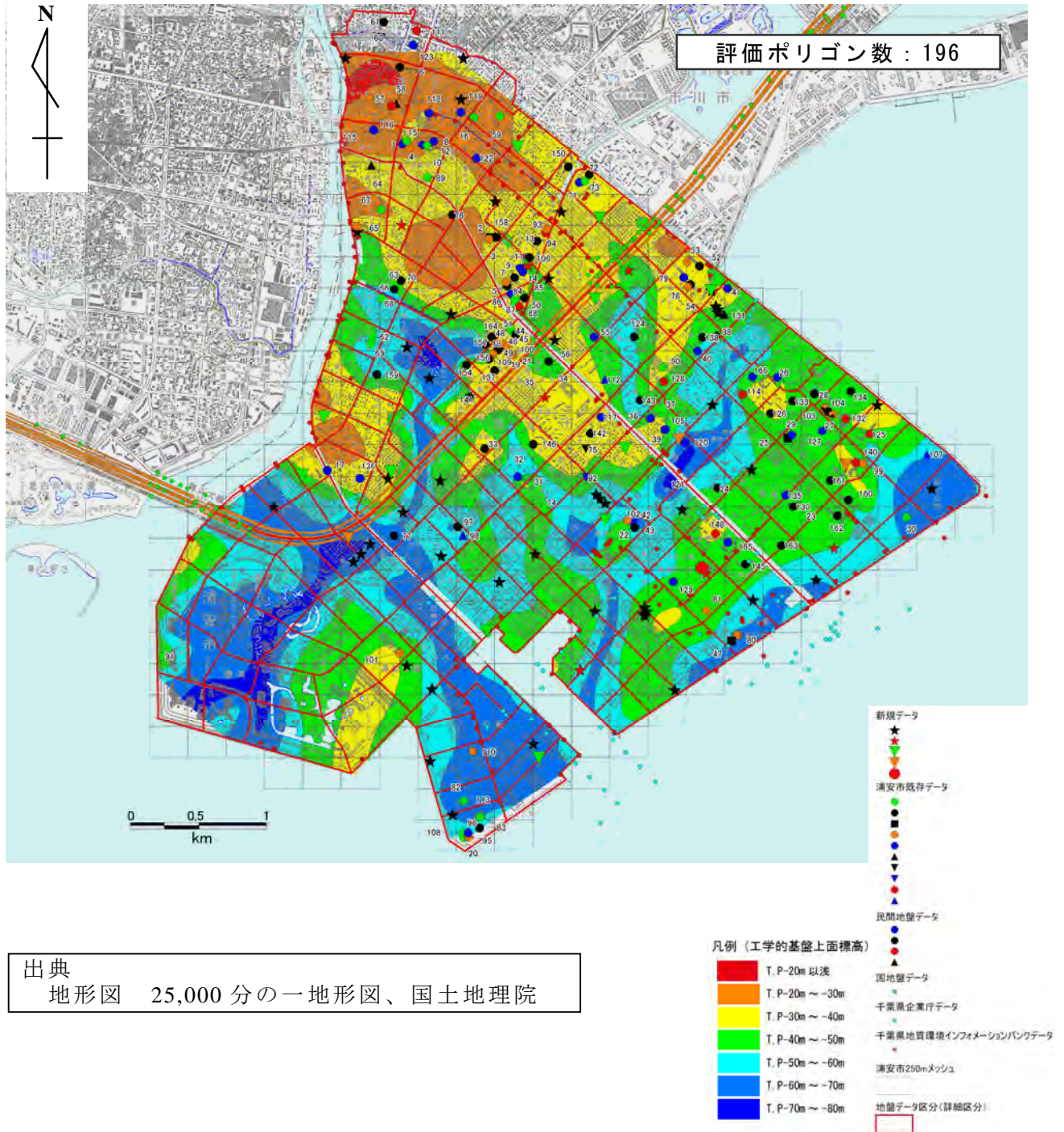


図-4.1.3 液状化危険度評価ポリゴン

4.1.2 解析モデルの作成方法

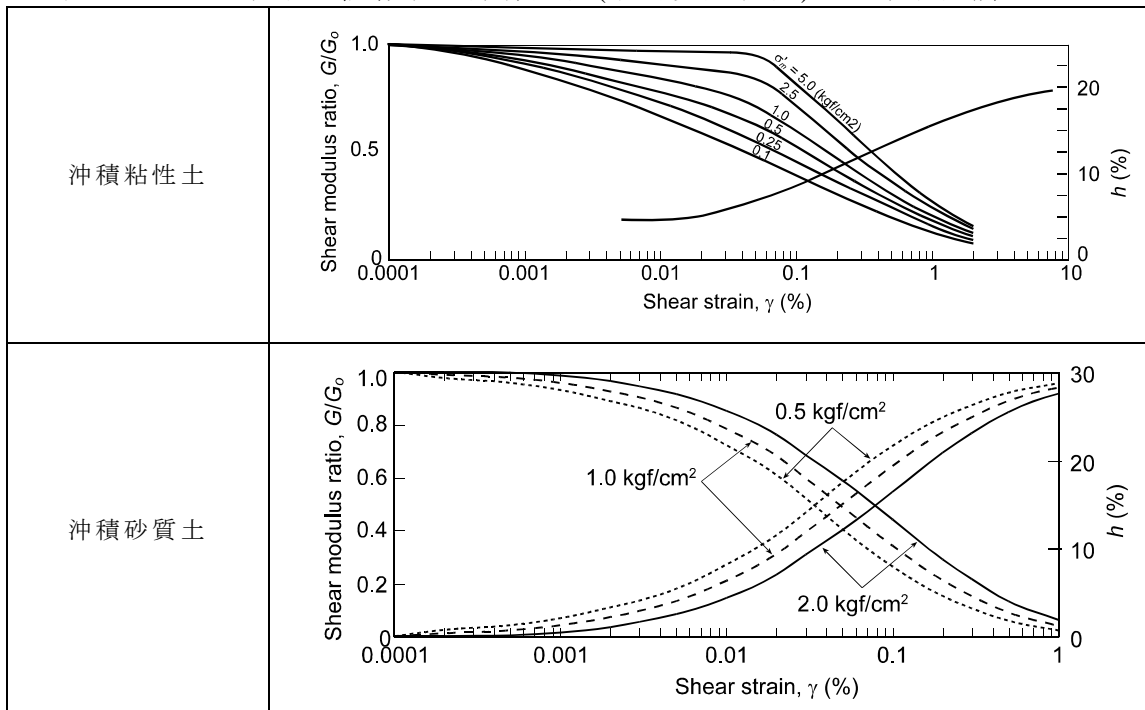
評価ポリゴン毎に解析モデルを設定した。地盤物性値については、表- 4.1.1 及び表- 4.1.2 を用いた。また、解析モデルは、ボーリングデータの存在する評価ポリゴンについてボーリングデータを使用し、ボーリングデータが存在しない評価ポリゴンについては、三次元地盤モデルから評価ポリゴンの重心位置の層境界を把握した。地盤モデルの作成手順を図- 4.1.4 に、三次元地盤モデルからの地盤モデル作成方法を図- 4.1.5 に示した。

表- 4.1.1 地盤物性値

地質時代	地質名	記号	地震応答計算および液状化判定のための物性値							
			平均 ^{※4)} N値	γ_t (kN/m ³)	Vs(m/sec) ^{※1)}			動的変形特性 ^{※2)} G/G ₀ , h~ γ	Fc (%)	
					係数a	係数b	係数c			
現世	盛土層	砂質土 Bs	11	17	77.68	0.146	0.059	細砂	—	
		粘性土 Bc	8	16	77.68	0.146	0.059	シルト	—	
	埋立土層(浚渫土層)	砂質土 Fs	6	18	77.68	0.146	0.059	細砂	N値の関数 ^{※3)}	
		粘性土 Fc	2	16	77.68	0.146	0.059	シルト	—	
第四紀	完新世	上部沖積層	砂質土 As1	13	18	82.8	0.089	0.158	細砂	N値の関数 ^{※3)}
			粘性土 Ac1	1	16	116.9	0.188	0.055	シルト	—
		下部沖積層	砂質土 As2	9	18	103.5	0.089	0.158	細砂	—
			粘性土 Ac2	2	17	116.9	0.188	0.055	シルト	—
	後期更新世	七号地層(沖積層)	砂質土 Nas	27	18	103.5	0.089	0.158	細砂	—
			粘性土 Nac	8	17	116.9	0.188	0.055	シルト	—
		木下層および木下層相	砂質土 Kys	50	19	300	0	0	線形	—
			粘性土 Kyc	50	18	300	0	0	線形	—

※1) $V_s = a \cdot N^{b} \cdot D^{c}$; N: N値, Dは地表面からの深度, a~c: 係数, 永田他(2007)
 なお、盛土層、埋立土層及び上部沖積層については、本検討結果を踏まえ係数aを修正
 ※2) 土木研究所式 ※3) 土質定数整理結果
 ※4) 七号地層は、 N_{γ} 値とした。

表- 4.1.2 ひずみに依存する非線形性(動的変形特性) 土木研究所の式¹⁾



1)建設省土木研究所(1982)：地盤地震時応答特性の数値解析法-SHAKE:DESRA-,土研資料第 1778 号.

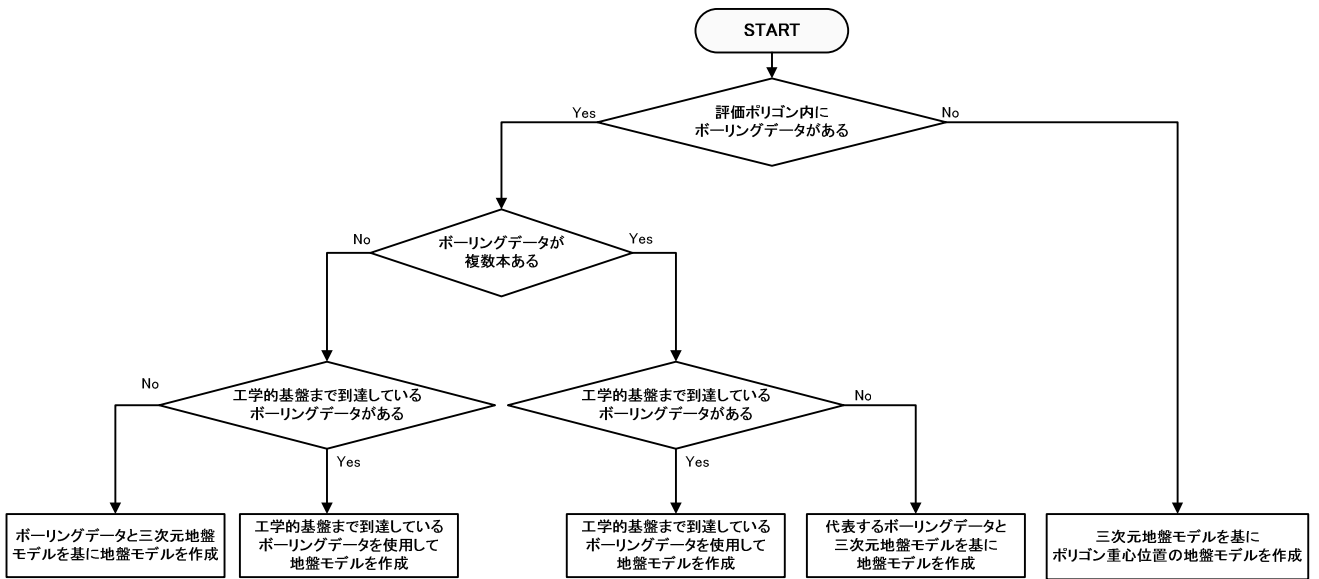


図 - 4.1.4 地盤モデルの作成手順

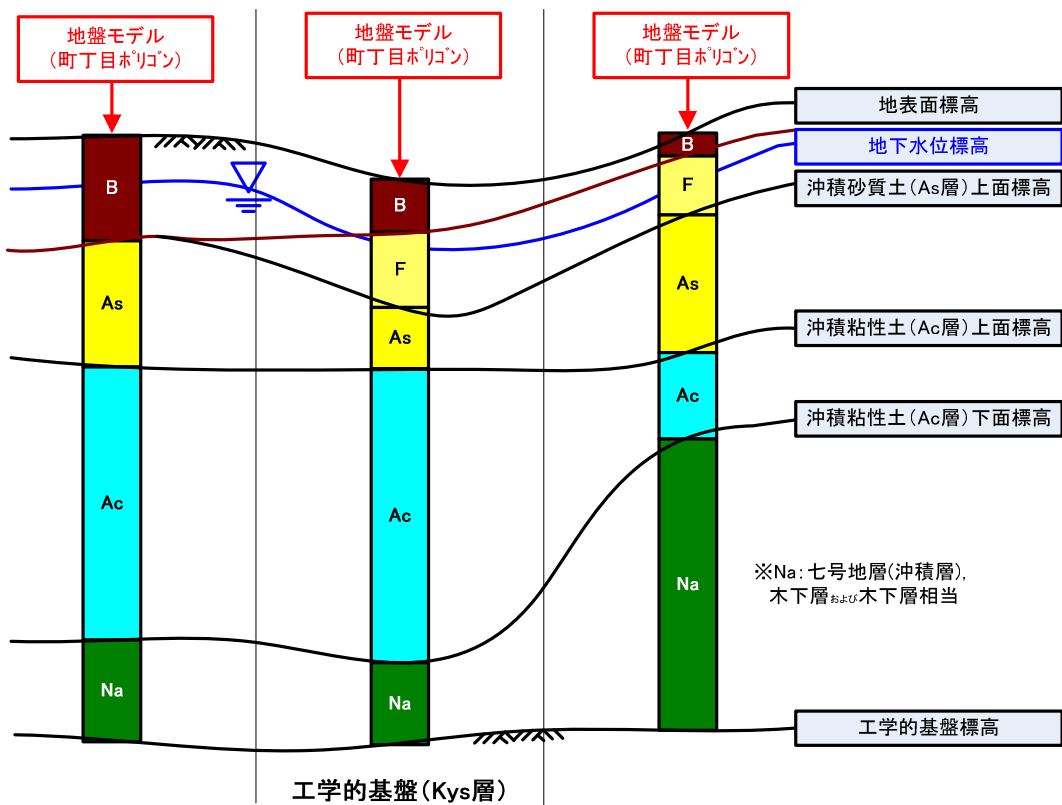


図 - 4.1.5 3次元地盤モデルからの解析モデルの作成方法

4.2 浦安市周辺で観測された地震動

浦安市周辺において東北地方太平洋沖地震(Mw=9.0 以下、311 本震)の地震動が観測された地点を整理して図- 4.2.1 に示した。

- ・ 防災科学技術研究所地震観測網 K-NET 及び KiK-net の観測記録
- ・ 東京都港湾局地震観測所アレー観測記録(東京都港湾局 HP より)
- ・ 東京大学地震研究所観測記録(東京大学地震研究所から提供)

また、図- 4.2.1 に黒線でアンダーラインを引いた地点の地震観測記録を整理して図- 4.2.2～図- 4.2.8 に示した。

これらの観測地点の記録から、地表最大加速度は本震で 131～234Gal、余震で 61～101Gal を示した。また本震では主要動が概ね 100 秒程度、余震では概ね 50 秒程度継続しており、継続時間が非常に長い地震であったことが分かる。

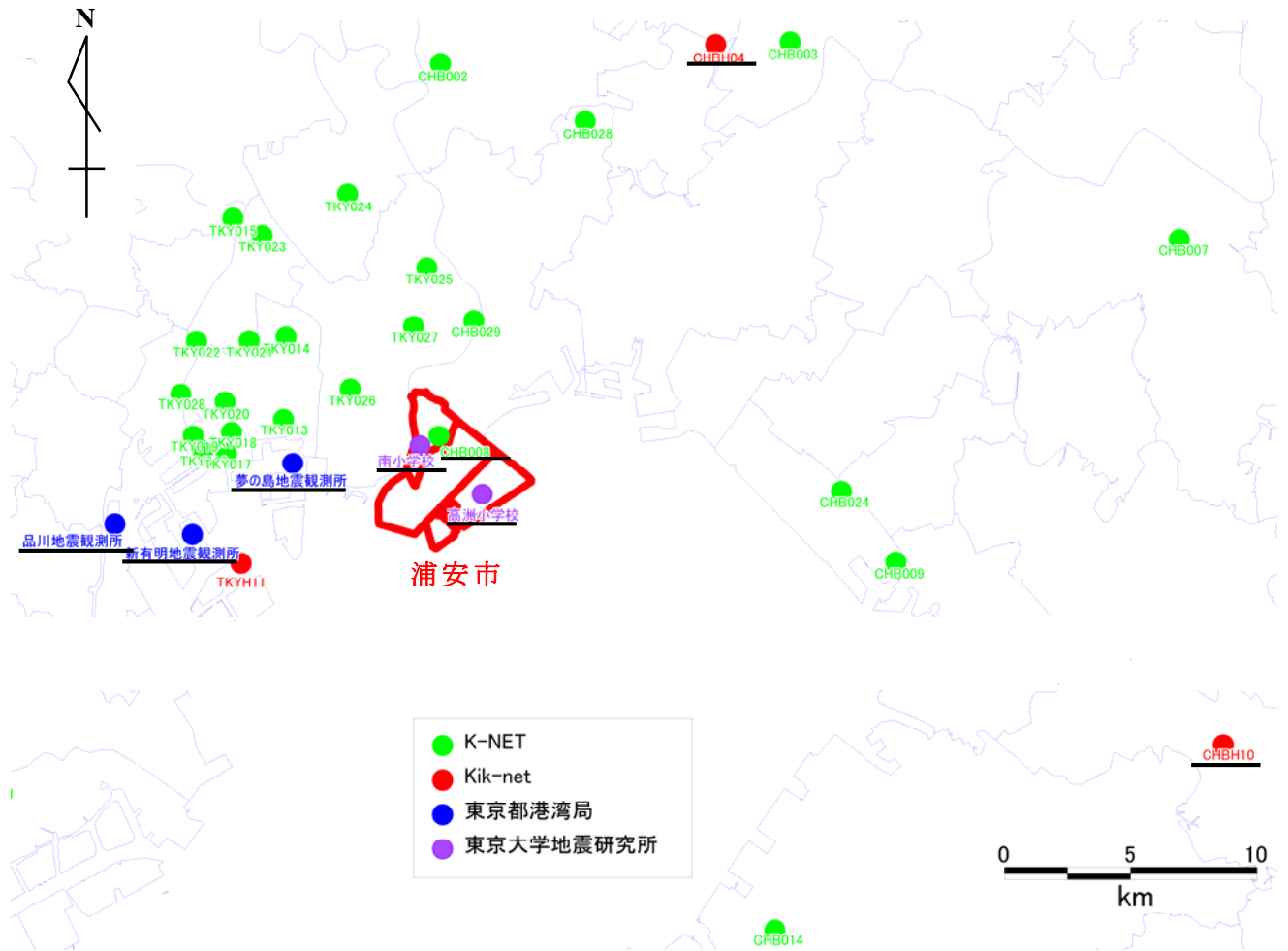


図- 4.2.1 浦安市周辺における地震観測記録地点

2011年3月11日 14時46分 38.0N 142.9E 24km M9.0

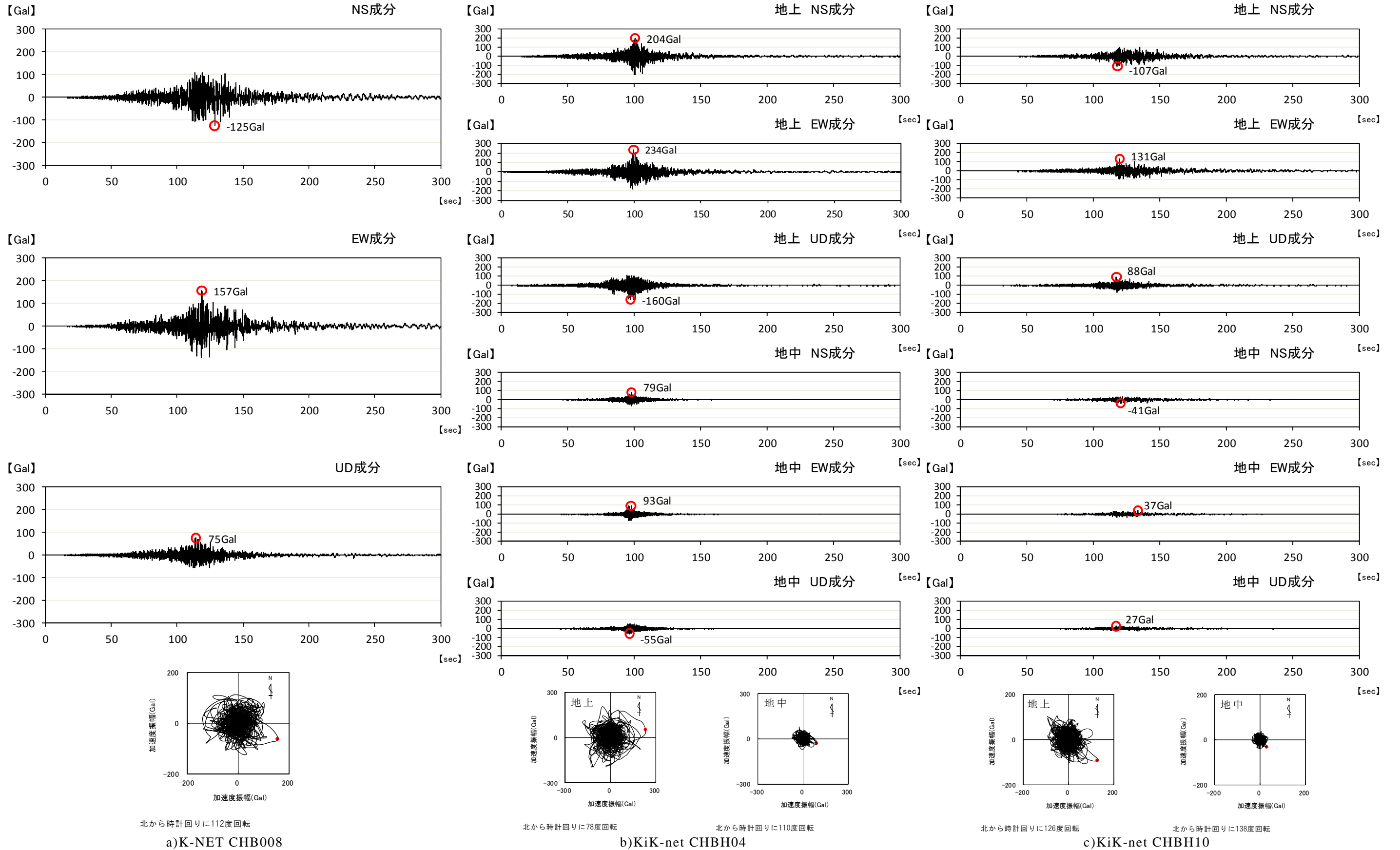


図- 4.2.2 K-NET 及び KiK-net で観測された加速度時刻歴波形及びオービット(本震 2011/3/11 14:46)

2011年3月11日 15時15分 36.1N 141.3E 43km M7.7

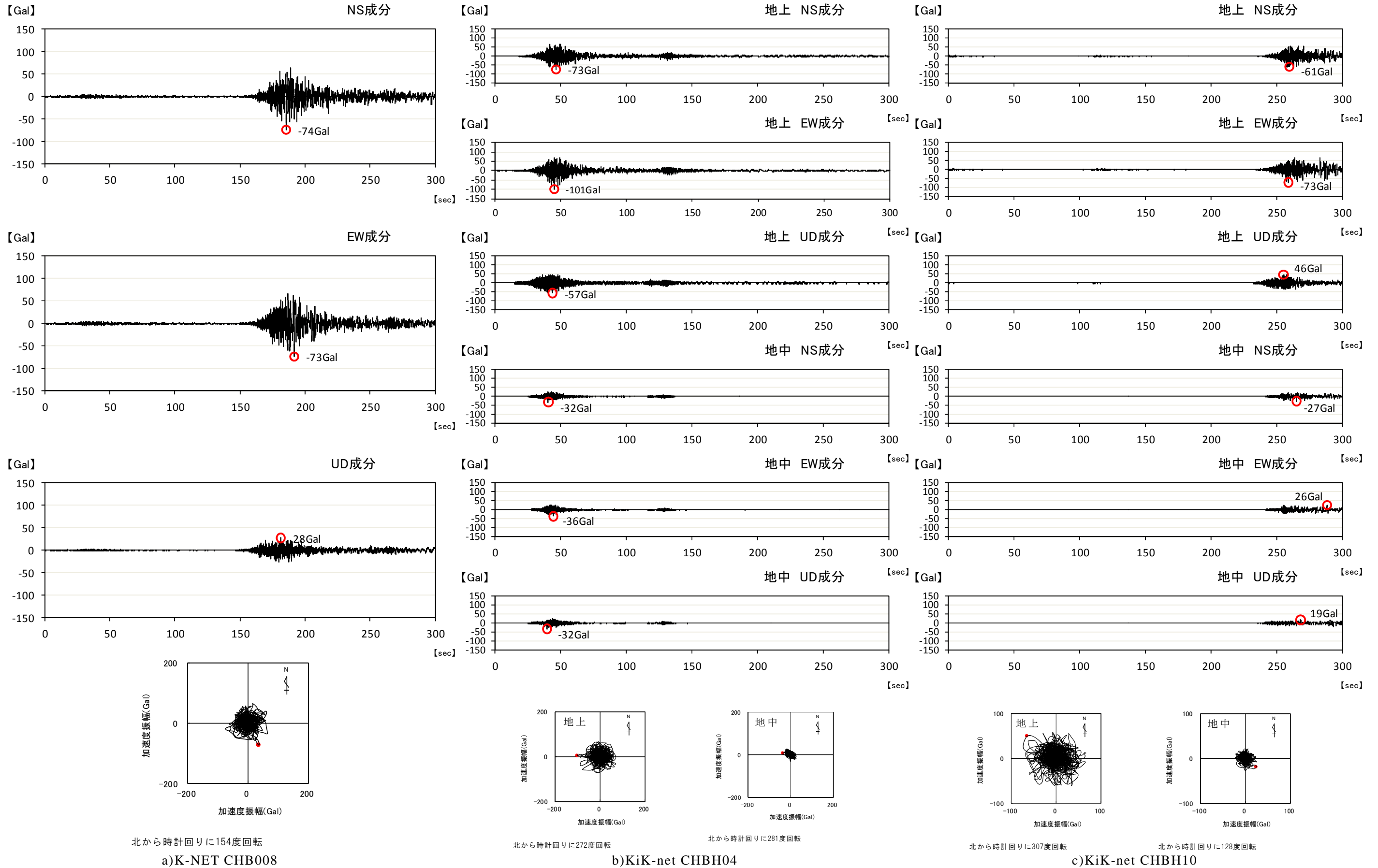
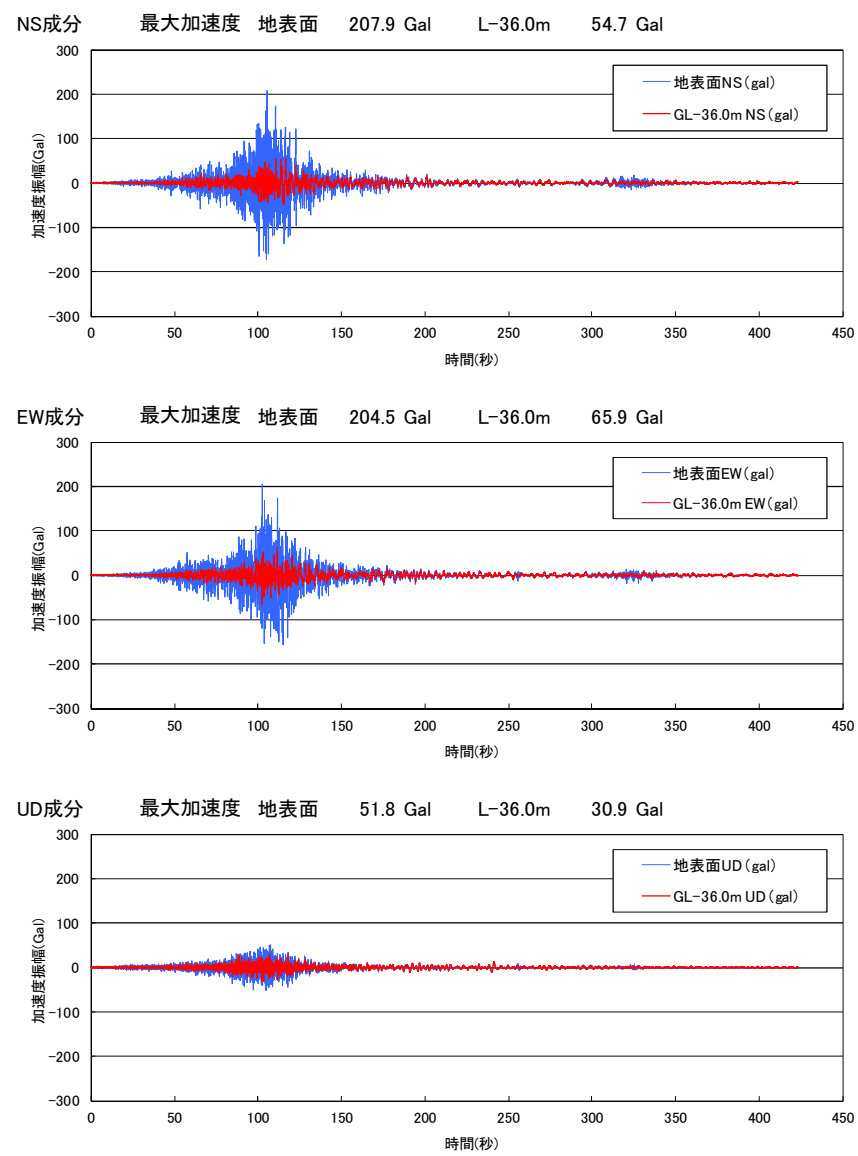
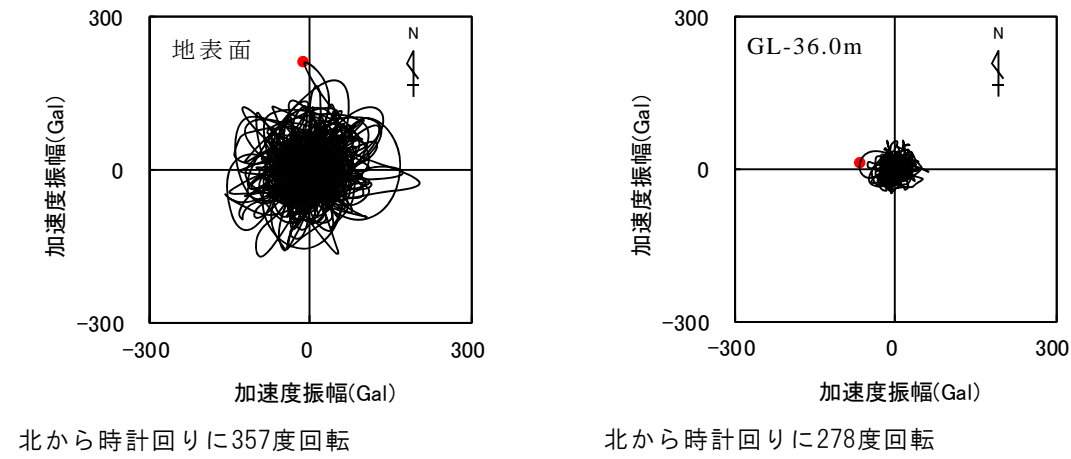


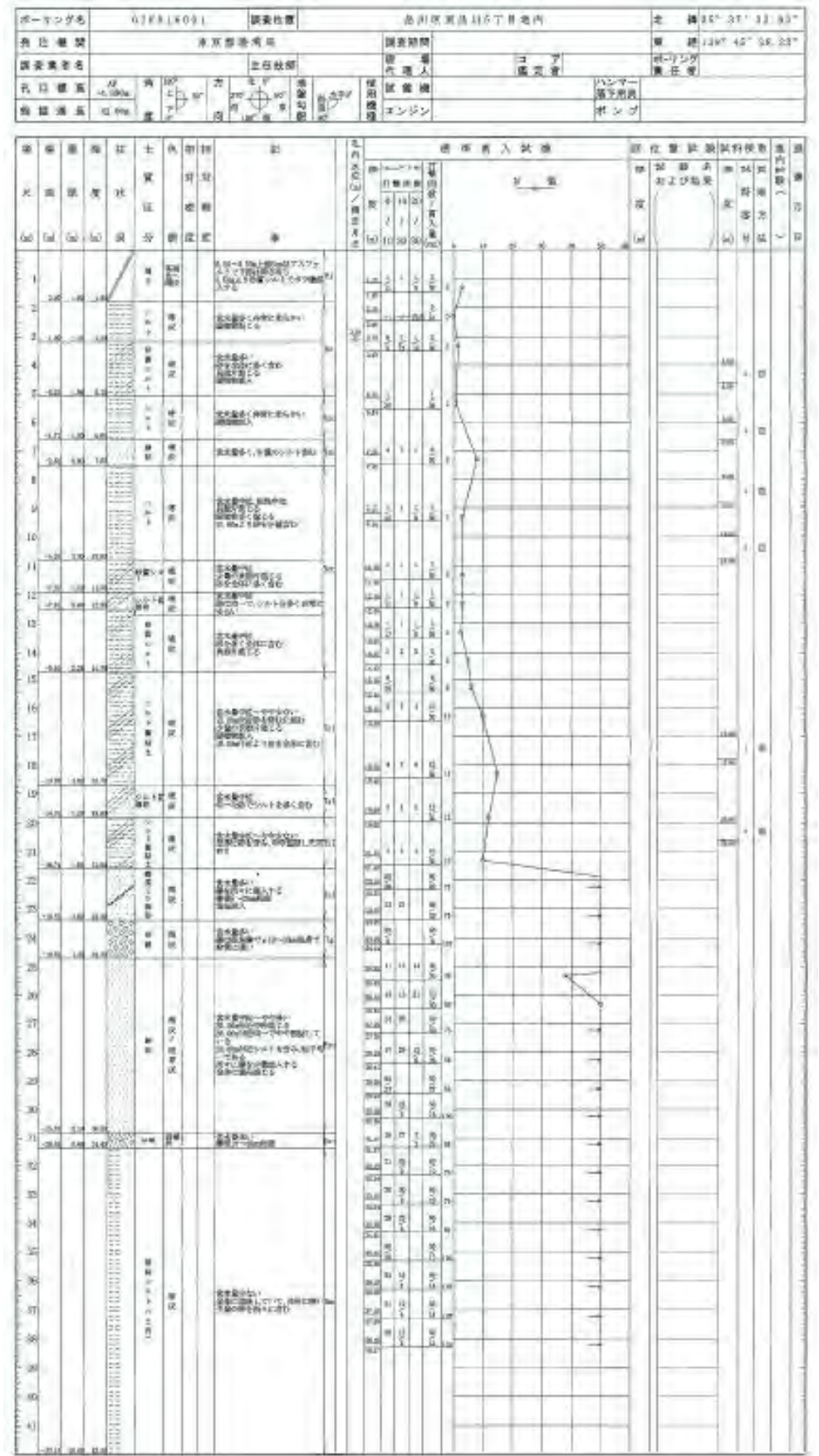
図- 4.2.3 K-NET 及び KiK-net で観測された加速度時刻歴波形及びオービット(余震 2011/3/11 15:15)



a) 加速度時刻歴波形



b) 加速度のオービット



c) ボーリング柱状図

図-4.2.4 東京都港湾局のアレー観測データ 品川地震観測所(本震 2011/3/11 14:46)