

C

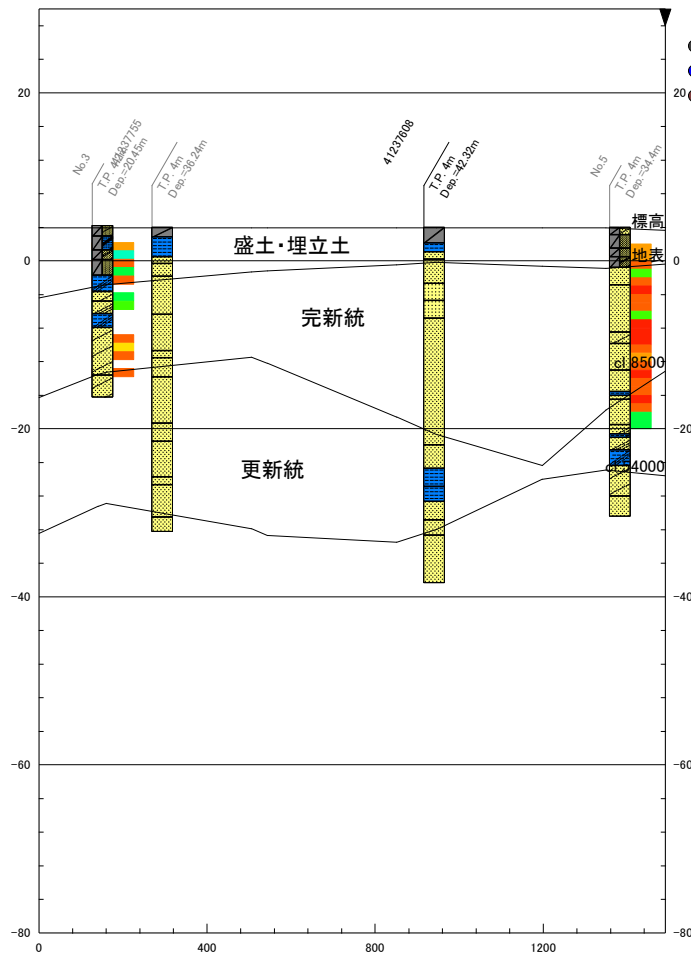
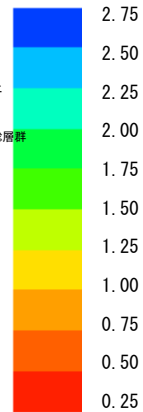
美浜区C

横 1:10000
縦 1:500

C'

FL 値

区分凡例
● 盛土・浚渫土
● 沖積層
● 洪積層・下総層群



(140.06561, 35.62648)

(140.07908, 35.63418)

精査中

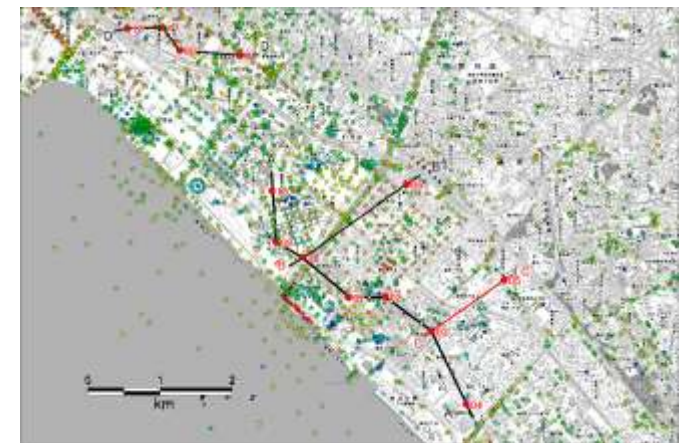
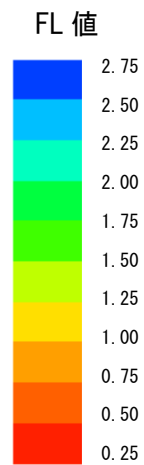
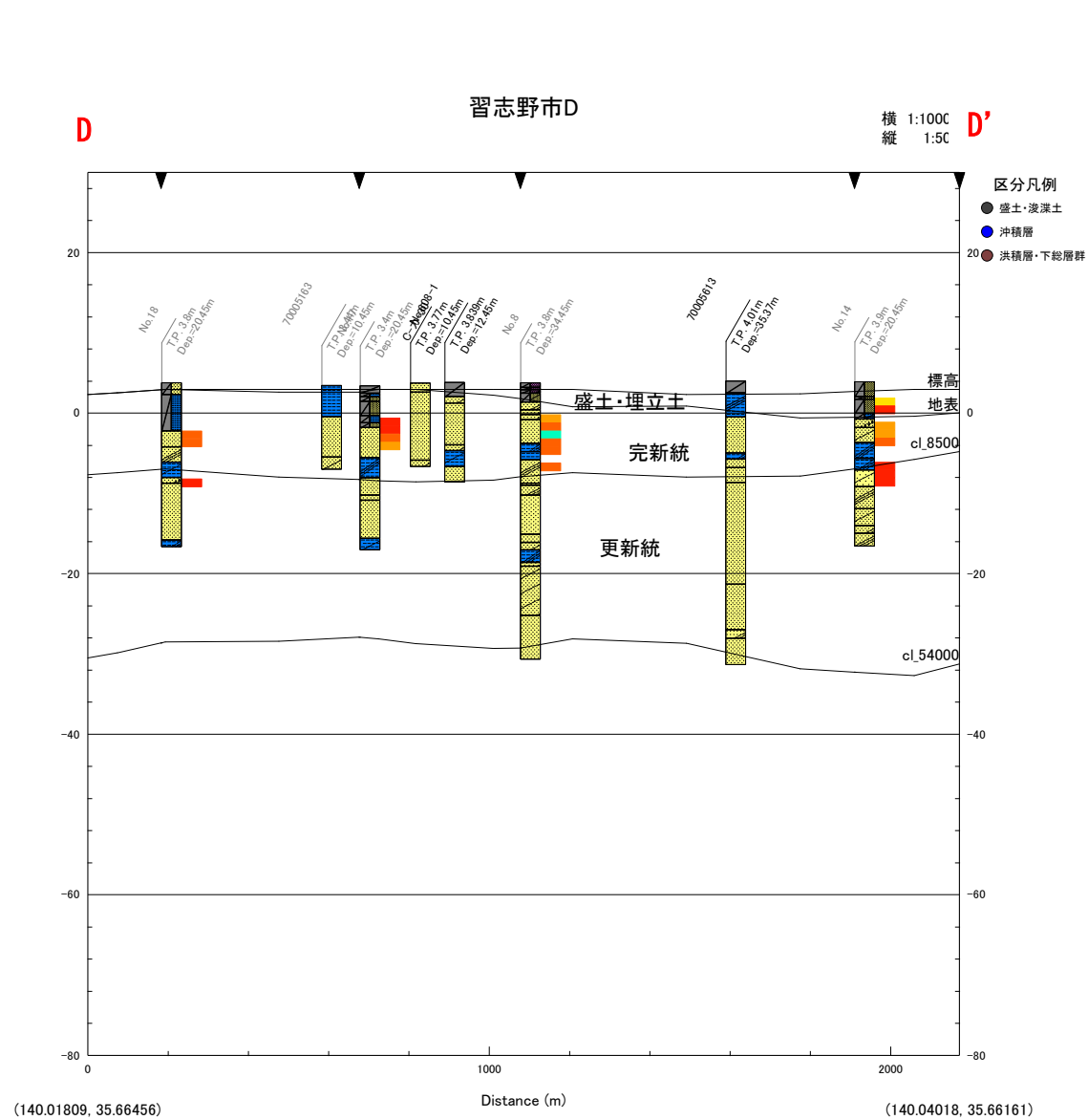


図 3.3-2(3) 断面図及び FL 値の分布（千葉市美浜区・C-C' 断面・FL は建築基礎を参照）



精査中

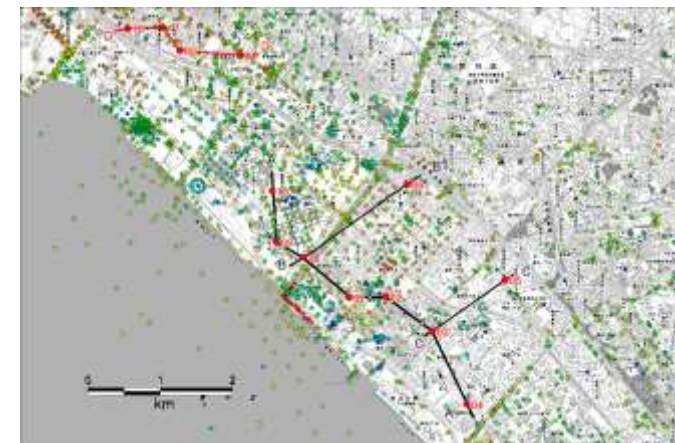
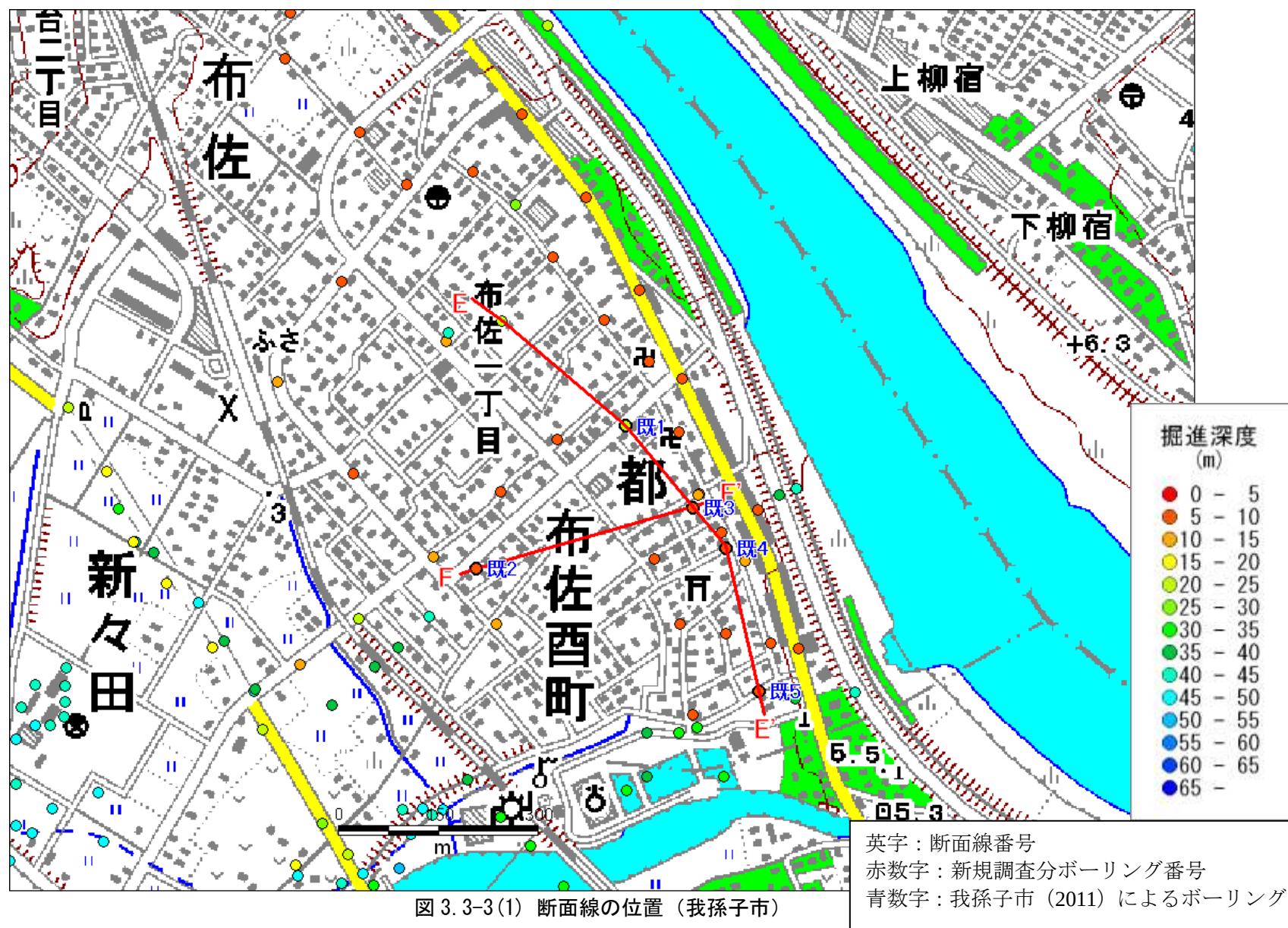


図 3.3-2(4) 断面図及び FL 値の分布（習志野市・D-D' 断面・FL は建築基礎を参照）



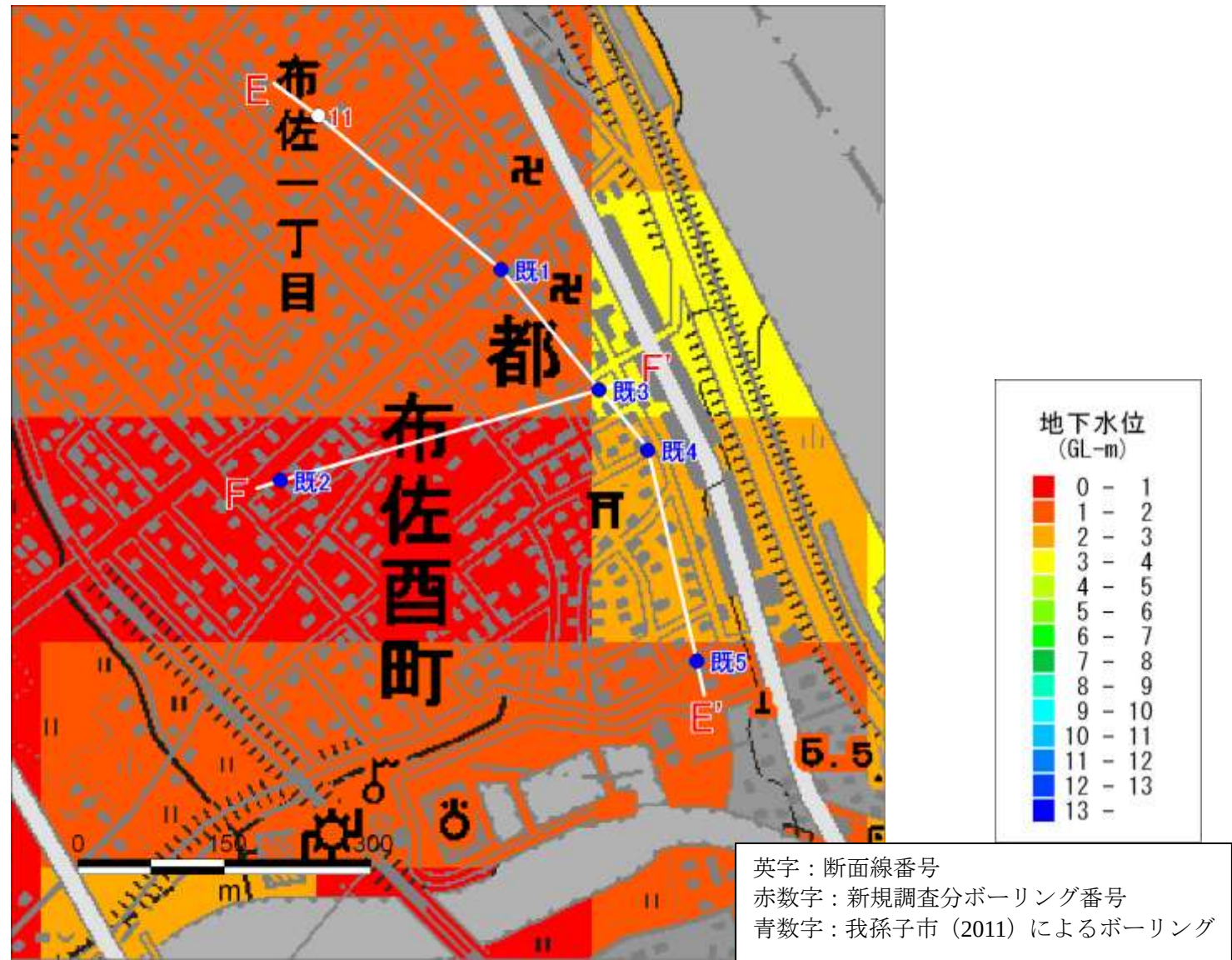


図 3.3-3(2) ボーリング孔内水位から求めた 250m メッシュ地下水位の分布（我孫子市）

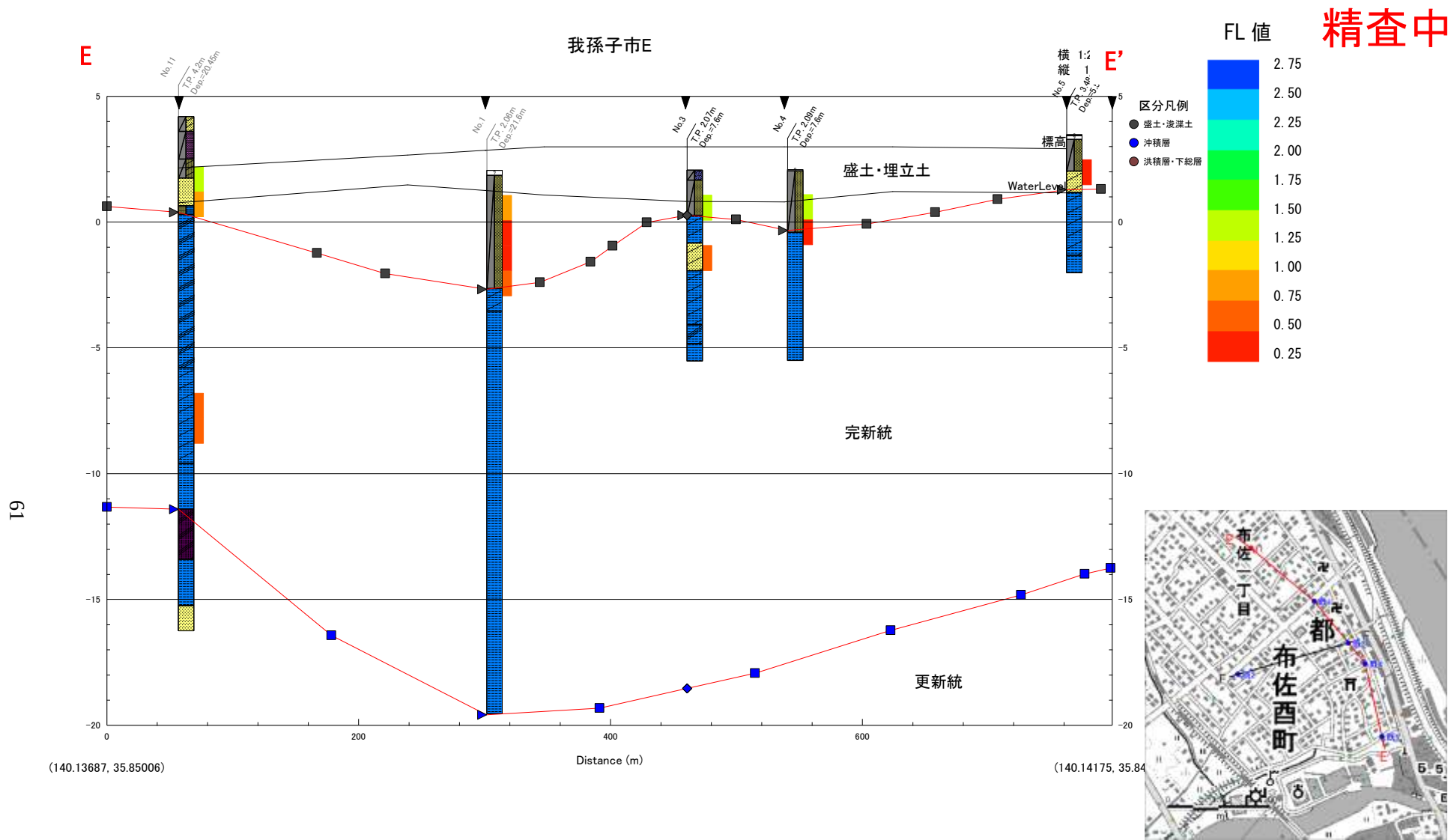


図 3.3-4(1) 断面図及びFL 値の分布 (我孫子市・E-E' 断面・FL は建築基礎を参照)

精査中

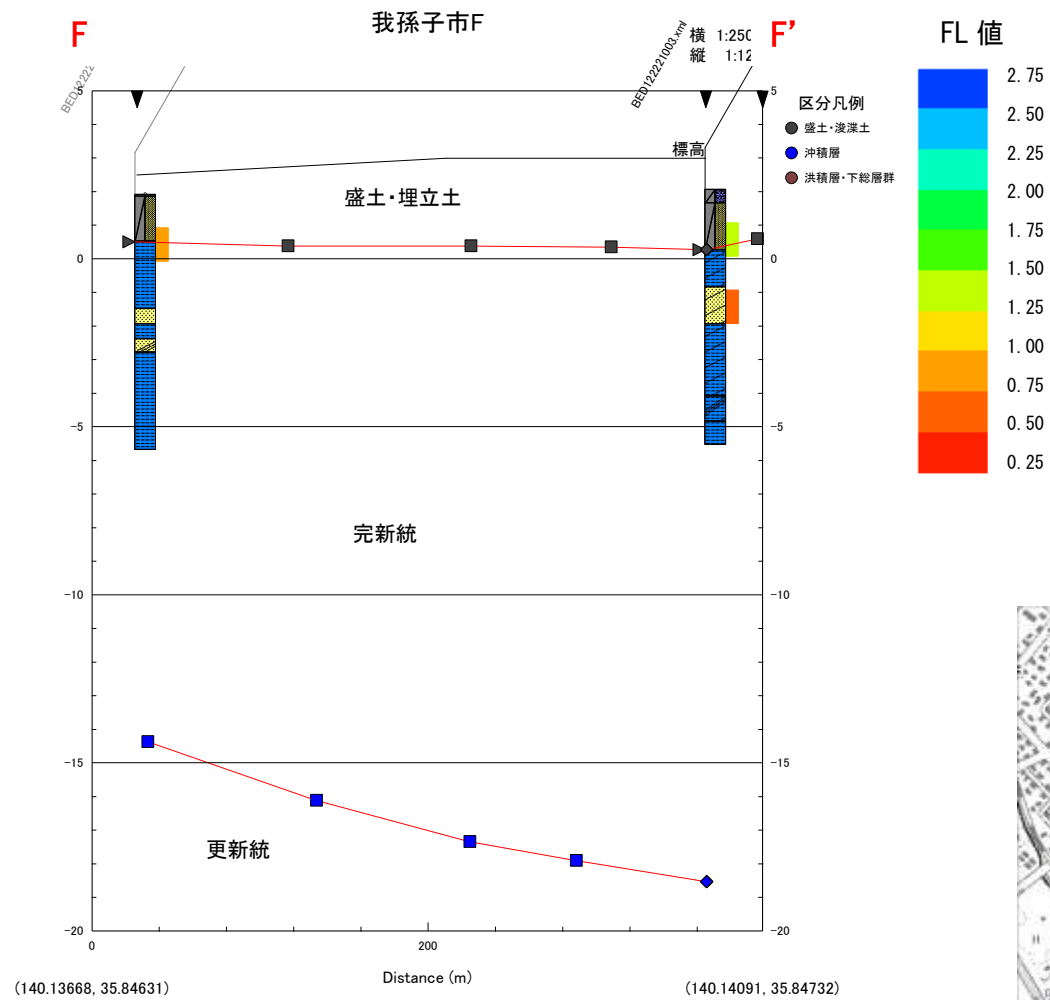


図 3.3-4 (2) 断面図及び FL 値の分布（我孫子市・F-F' 断面・FL は建築基礎を参照）

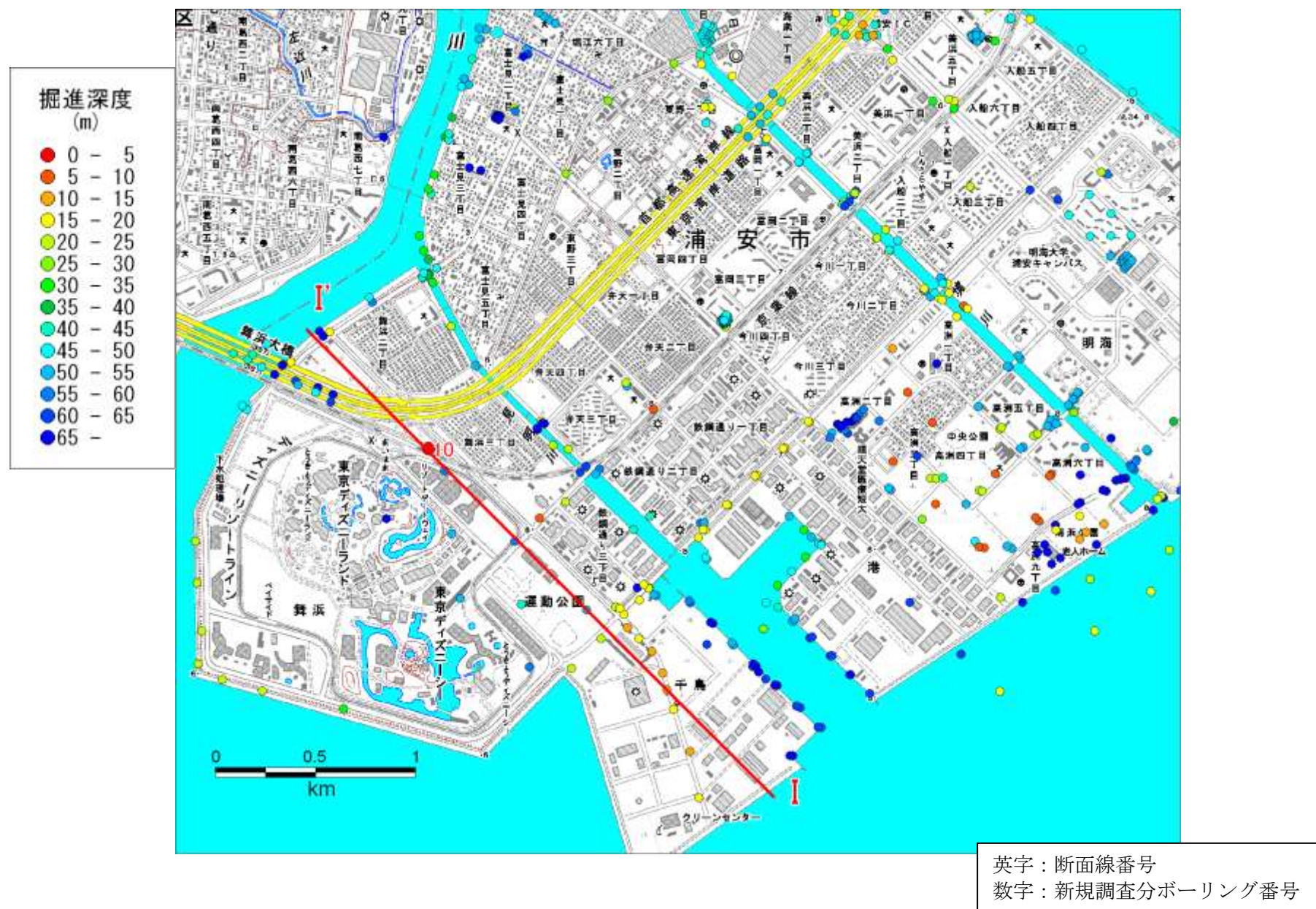


図 3.3-5(1) 断面線の位置 (浦安市)

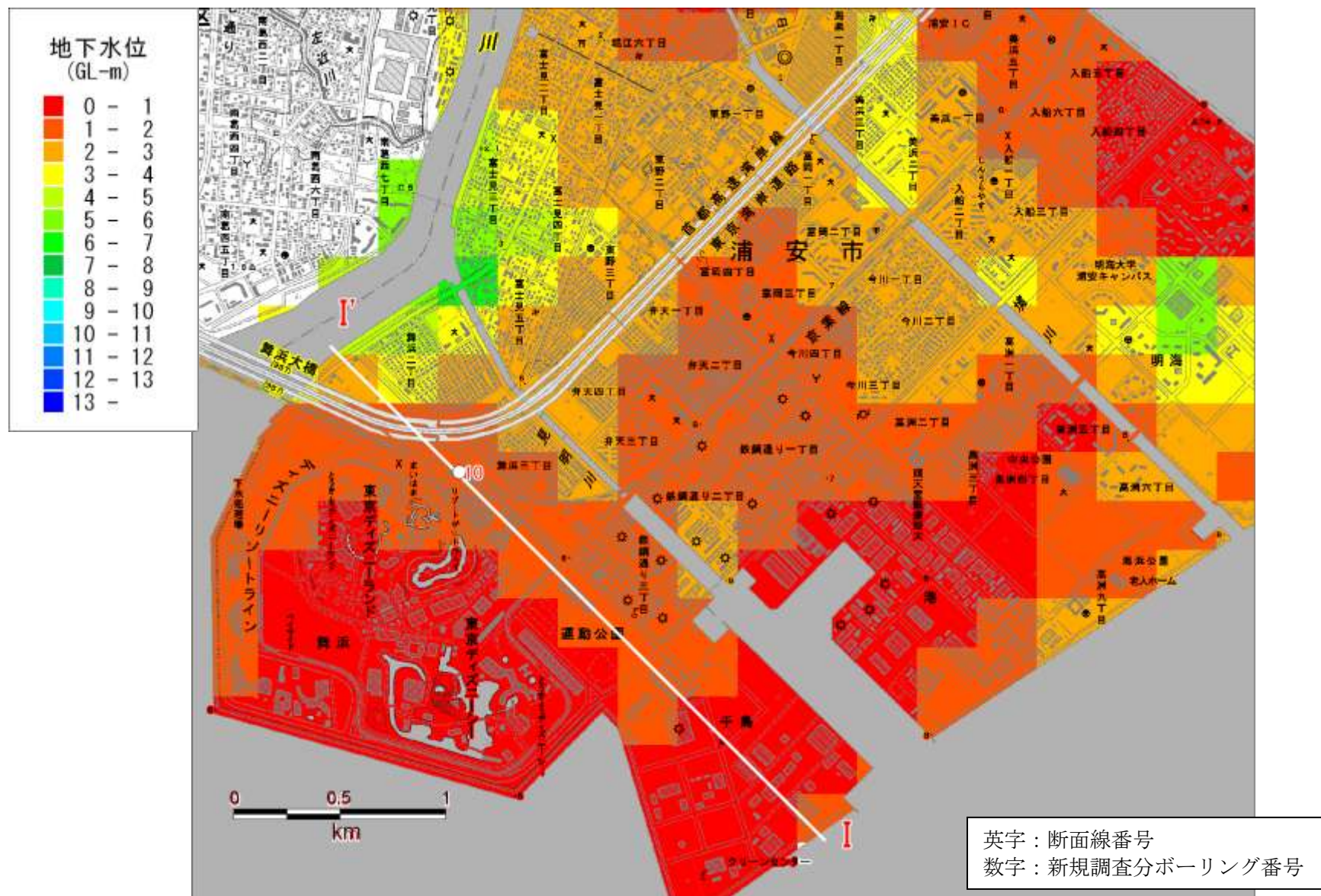


図 3.3-5(2) ボーリング孔内水位から求めた 250m メッシュ地下水位の分布 (浦安市)

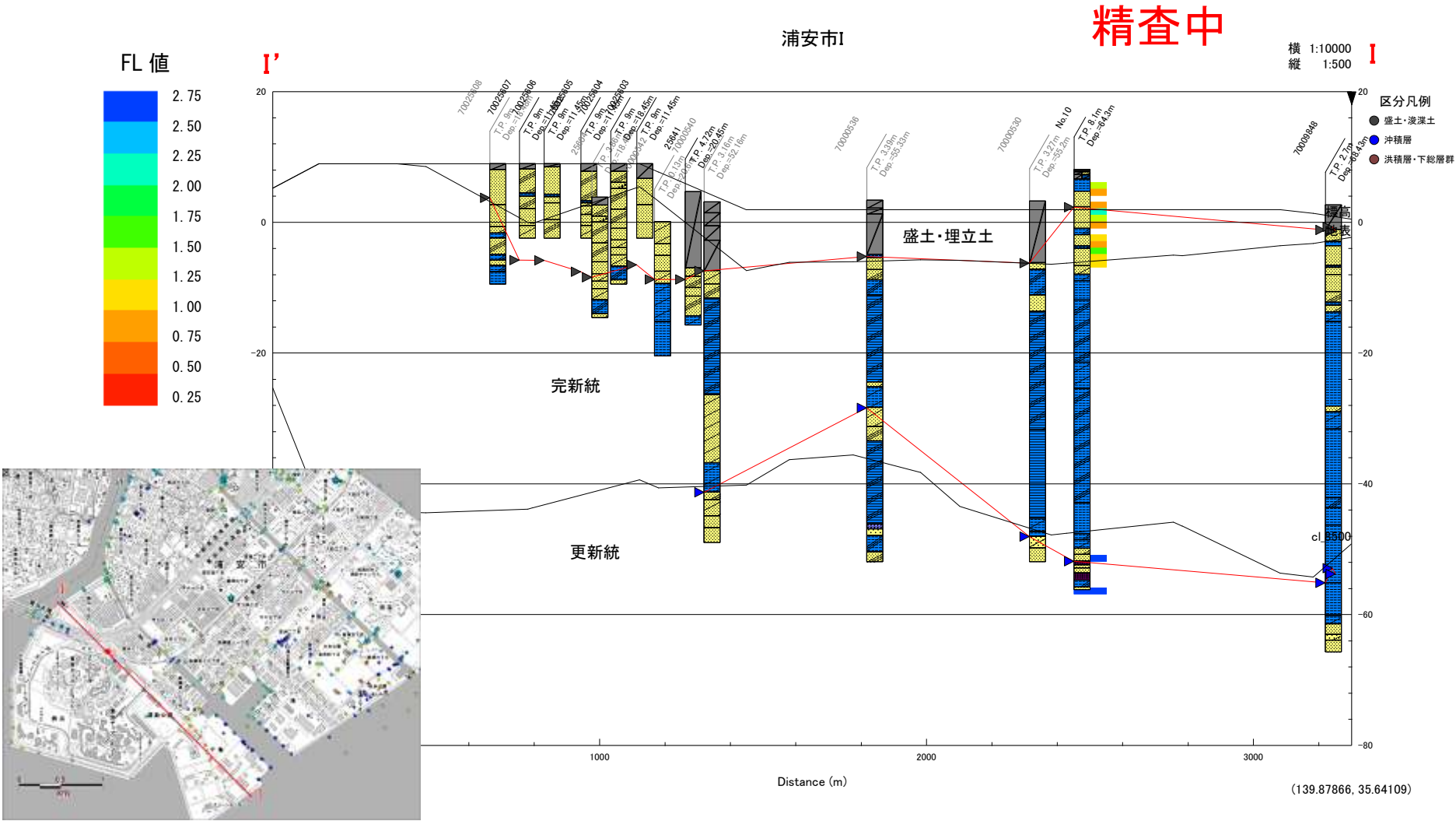


図 3.3-6 断面図及び FL 値の分布（浦安市・I-I' 断面・FL は建築基礎を参照）

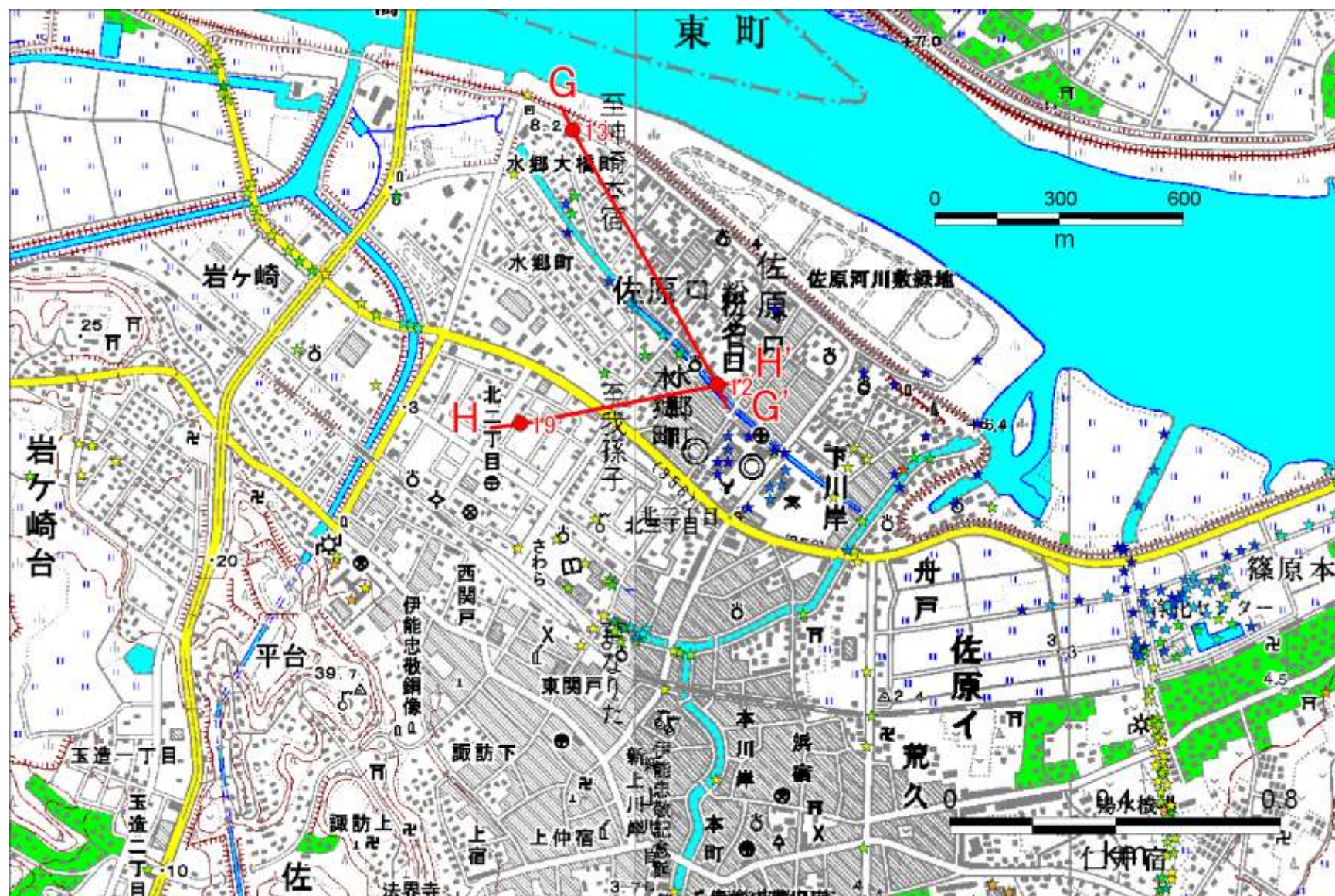


図 3.3-7(1) 断面線の位置 (香取市)

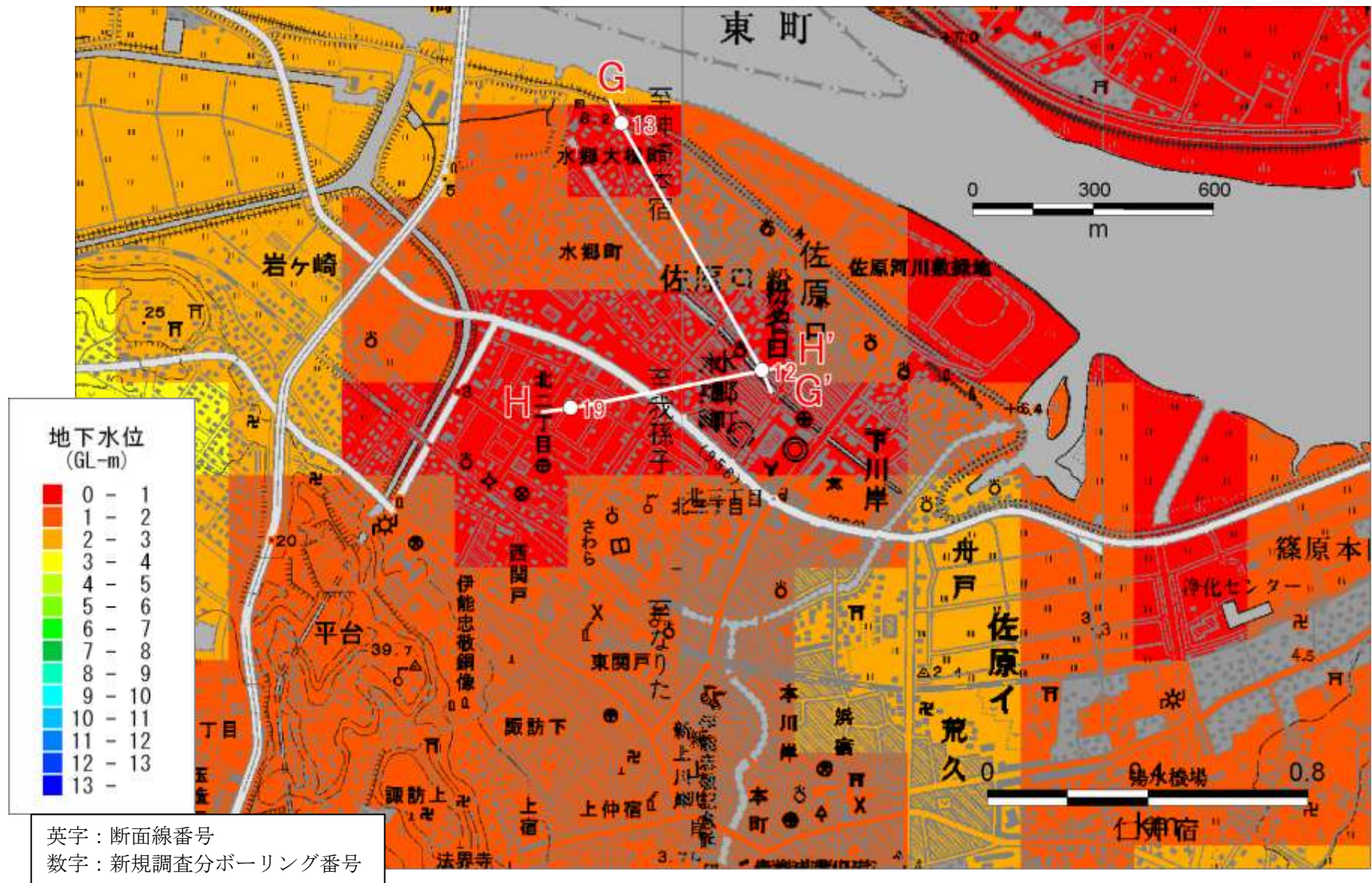


図 3.3-7(2) ボーリング孔内水位から求めた 250m メッシュ地下水位の分布 (香取市)

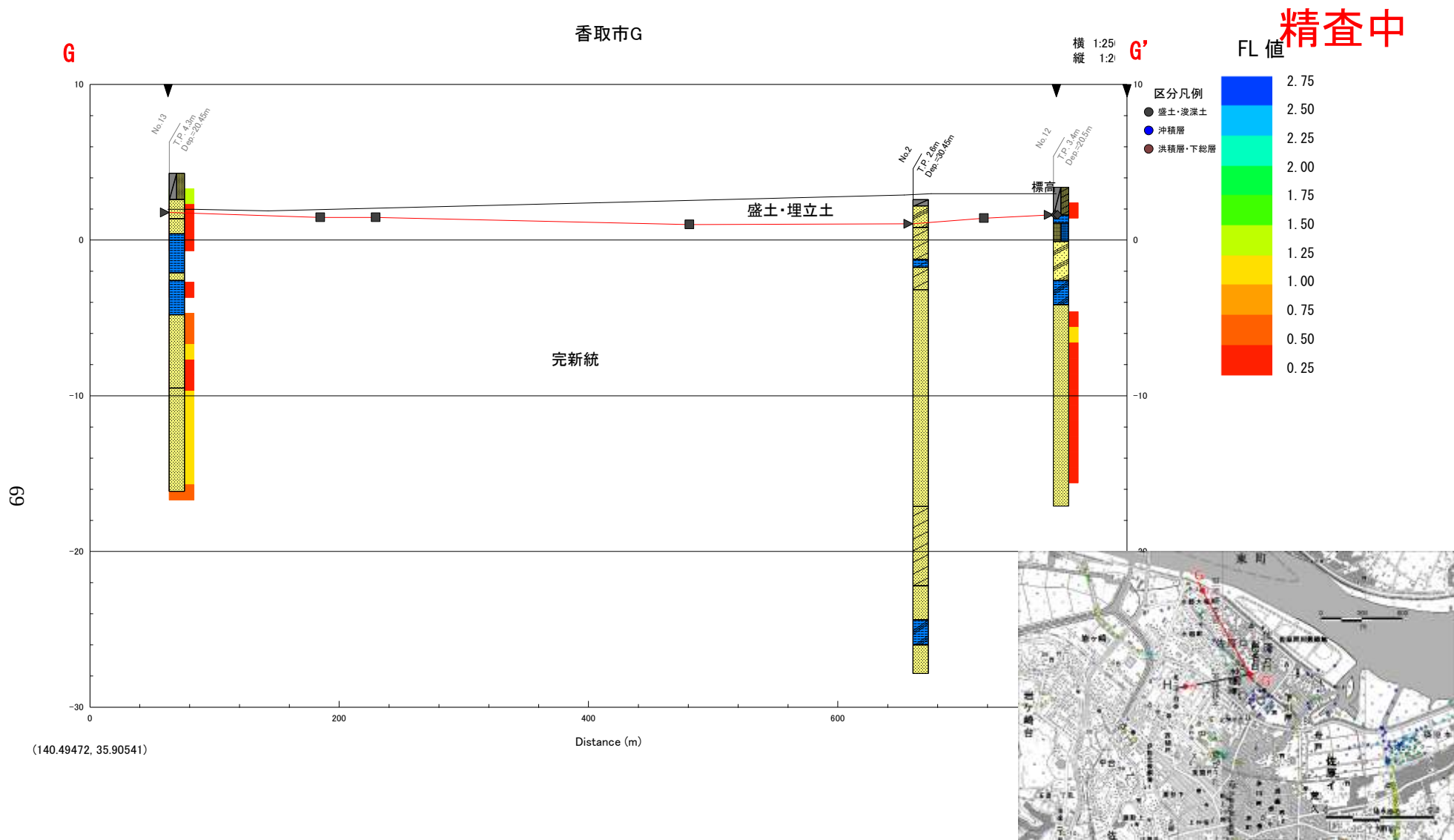


図 3.3-8(1) 断面図及び FL 値の分布（香取市・G-G' 断面・FL は建築基礎を参照）

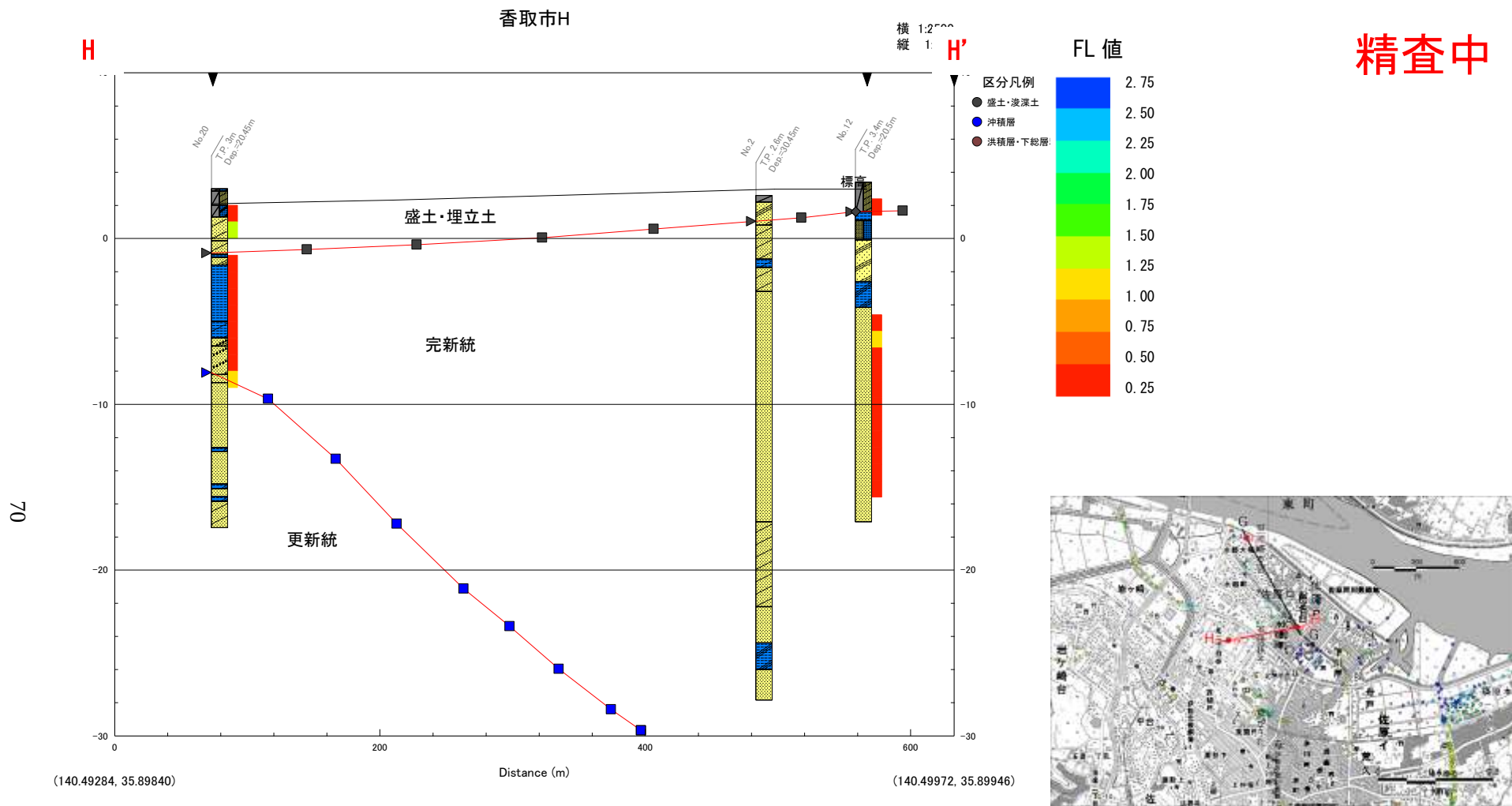


図 3.3-8(2) 断面図及び FL 値の分布（香取市・H-H' 断面・FL は建築基礎を参照）

3.4 1987 年千葉県東方沖地震との比較

本節では、1987 年千葉県東方沖地震による液状化地点と、今回の地震による被害地点の比較検討を行う。

図 3.4-1 によると、千葉県東方沖地震による千葉県の液状化地点は、東京湾岸地域、九十九里浜沿岸域、茨城県境の利根川沿いに多く、内陸部でも液状化現象が確認されている。

また、図 3.4-2 には、1987 年千葉県東方沖地震による浦安地域の液状化地点を示す。同図によると、首都高湾岸線と境川が交差している 4 地点に液状化地点が認められた。

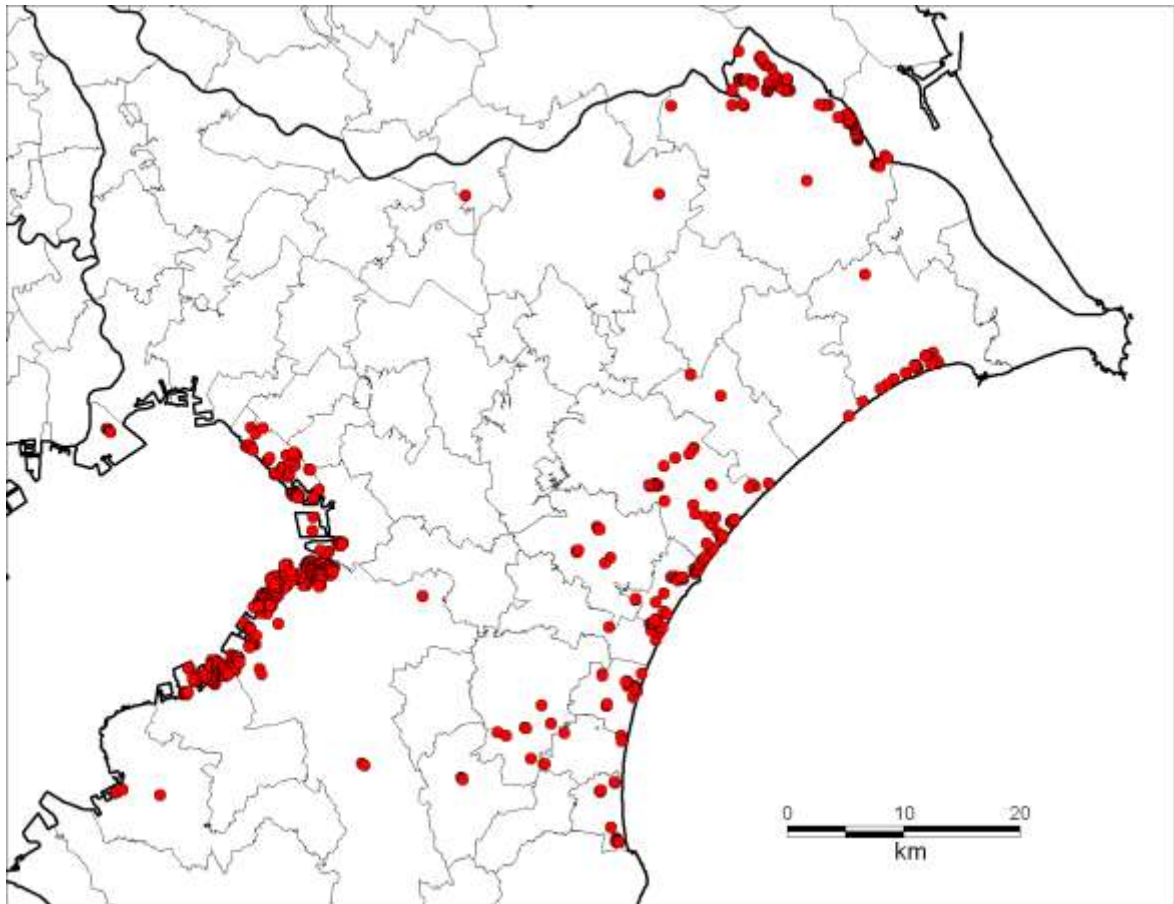


図 3.4-1 1987 年千葉県東方沖地震による千葉県内の液状化地点

表 3. 4-1 1987 年千葉県東方沖地震による千葉県内の計測震度と最大加速度 (PGA)

場所	緯度(度分秒)	経度(度分秒)	計測震度	震度階	PGA(NS)	PGA(EW)
稲毛	353749	1400452	4.6	震度 5弱	125.9	134.8
銚子	354208	1405118	3.9	震度 4	100.0	69.0
木更津	352225	1395506	5.5	震度 6弱	384.4	357.4
岩井南	350449	1395153	3.5	震度 4	41.1	43.6
千倉	345819	1395648	3.6	震度 4	40.4	39.4
勝浦	351037	1401608	5.1	震度 5強	209.0	189.4
市原	353007	1400306	4.7	震度 5弱	196.1	131.8
千葉港	353303	1400623	4.8	震度 5弱	160.9	170.9
東大・生研	353717	1400637	4.9	震度 5弱	327.1	213.6
茂原	352600	1401600	5.2	震度 5強	361.9	419.7
習志野	354210	1400450	4.6	震度 5弱	242.6	15.2

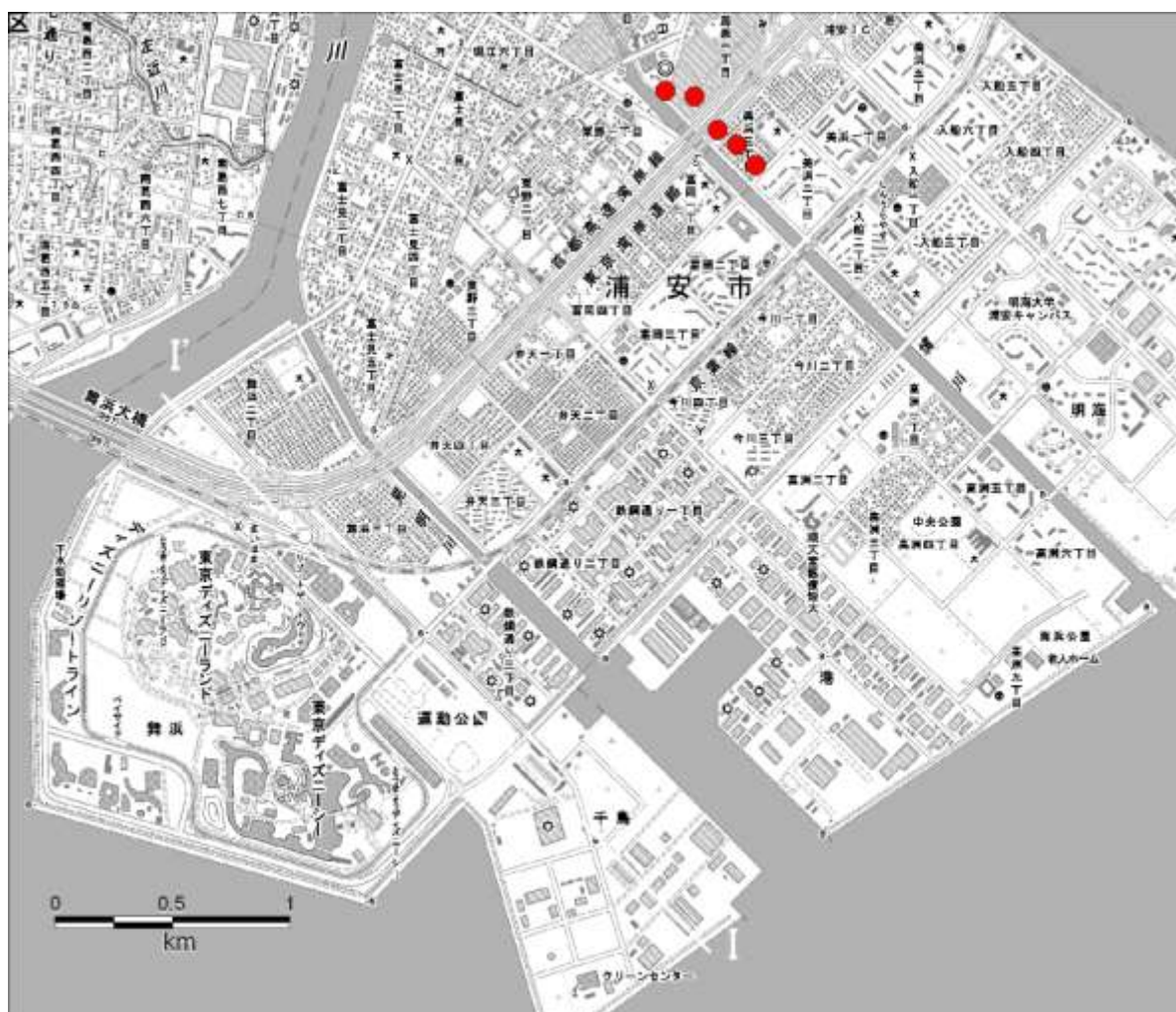


図 3. 4-2 1987 年千葉県東方沖地震による浦安市における液状化地点

3.5 室内繰返し三軸試験と液状化強度推定式について

千葉県の実験委員会で行われた液状化試験結果と、浦安市の実験委員会で行われた液状化試験結果を総合し、千葉県全域における液状化予測に用いる式として以下のような安田委員のコメントを示す。

1. 千葉県の実験委員会ではあるが、浦安市の実験委員会での検討も考慮した、全県オールラウンドな方法で液状化を推定した方がよい。
2. 千葉県で試験された千葉市美浜区稲毛海岸での土と、浦安市で試験された土では粒径が大きく異なった。細粒分含有率で比較すると、稲毛海岸のものは10～24%程度と細粒分がそんなに多くないのに対し、浦安市のものは浚渫土(Fs)で平均値44%、沖積砂質土層(As)で平均値30%程度と細粒分を大変多く含む土であった。
3. 現在首都圏で使われている推定方法としては、道路橋示方書、建築基礎設計指針、東京ガス方式の3つがある。この3つを浚渫土と沖積砂質土ごとに今回の千葉県と浦安市の実験委員会での試験結果と比較したところ以下のようになった(図3.5-1)。

- ・試験結果～道路橋示方書(浚渫土)
- ・試験結果～道路橋示方書(沖積砂質土)
- ・試験結果～建築基礎(浚渫土)
- ・試験結果～建築基礎(沖積砂質土)
- ・試験結果～東京ガス方式(浚渫土)
- ・試験結果～東京ガス方式(沖積砂質土)

これを見ると、いずれもぴったりとあてはまる関係にはならなかった。特に稲毛と浦安とで関係が少し異なった。これは、液状化試験を行った機関の違いもあるかもしれないが、主には細粒分の違いではないかと思われる。一般に、細粒分が多くてN値も小さい場合には、道路橋示方書の式は液状化強度比を過少評価する傾向にある。また、建築基礎ではN値が大きくなるにつれ液状化強度比が一気に大きくなる傾向にある。

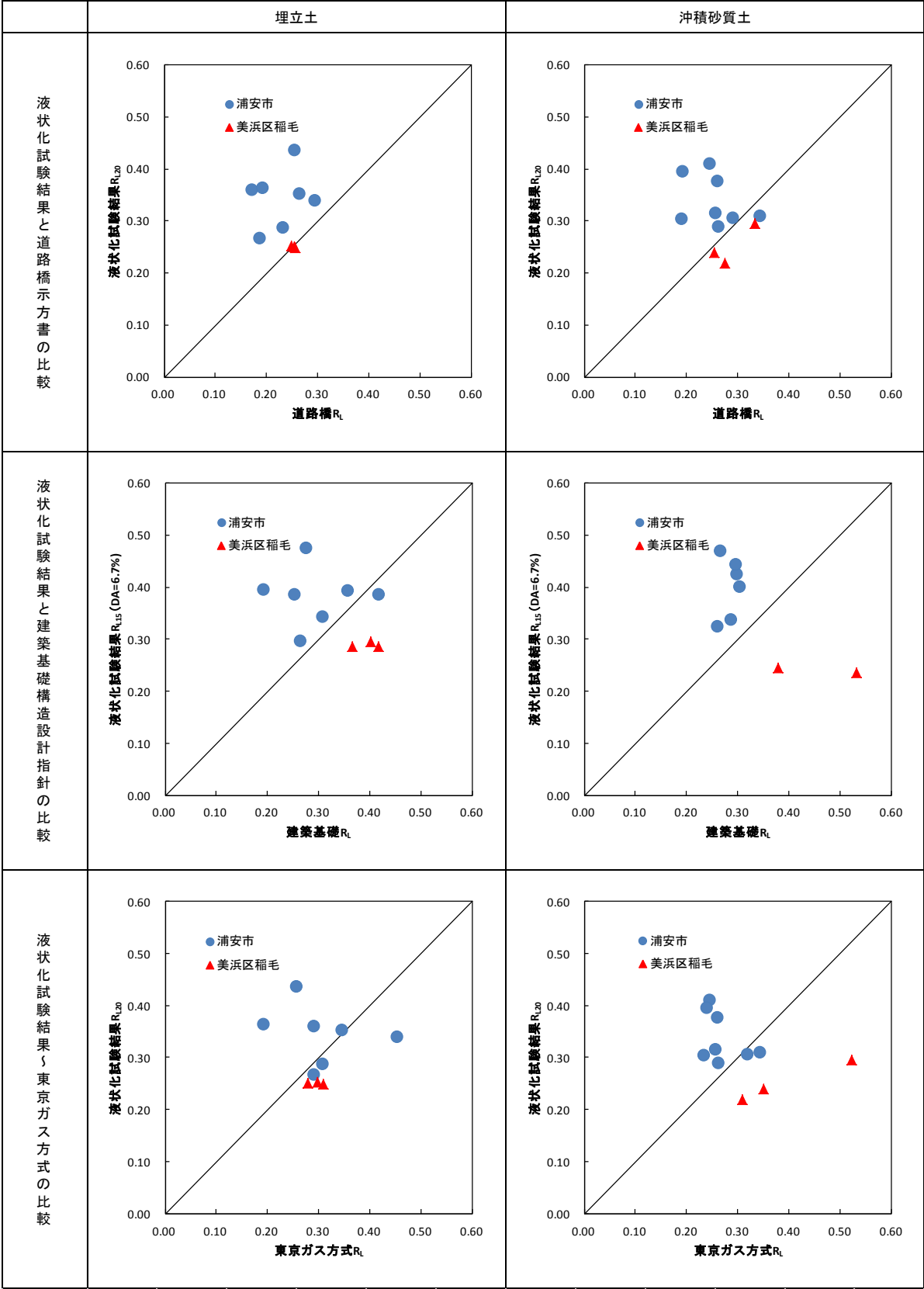


図 3.5-1 繰返し三軸試験結果による液状化強度と推定式による液状化強度の比較

4. 千葉県で液状化が発生し易い地区としては、東京湾岸の埋立地、利根川沿いの低地、九十九里低地、内陸の沼や池などを埋め立てた所が挙げられる。このうち、やはり液状化する可能性の面積は最も広いのは東京湾岸の埋立地である。ここで液状化の可能性のある埋立土と沖積砂層は他地区に比べて細粒分が多いのが特徴であり、細粒分が多い場合に適する推定式を用いた方が良いと考えられる。上記の 3 つの方法のうち、道路橋示方書、建築基礎設計指針は国内全域を対象に開発された手法であるのに対し、東京ガス方式は細粒分が多い東京低地を対象に開発された手法である。また、細粒分が多い浦安の浚渫土では東京ガスの方式が合っている。
- このようなことにより、千葉県全域の液状化推定にあたっては東京ガス方式で液状化強度を求めたら良いのではないかと思われる。ただし、浦安の場合、沖積砂質土ではこの沖東京ガス方式でも液状化強度を少し低めに推定する結果となったのに対し、稲毛では逆の傾向になった。このため、埋立土、沖積砂質土とも同じ東京ガス方式を用いた方が良いと考えられる。現実には千葉県全域の液状化予測を行う場合には、埋立土と沖積土の区別が難しいケースもあり、両方で同じ推定式を用いておいた方が良いと考えられる。

3.6 再液状化の検討

再液状化については、図 3.6-1 に示すように今回の地震の前後で収集したボーリングデータの物性値が整理されているが、その結果をみるとほとんどN値に変化はなく、液状化対策を実施しない限り再液状化は避けられないと考えられる。

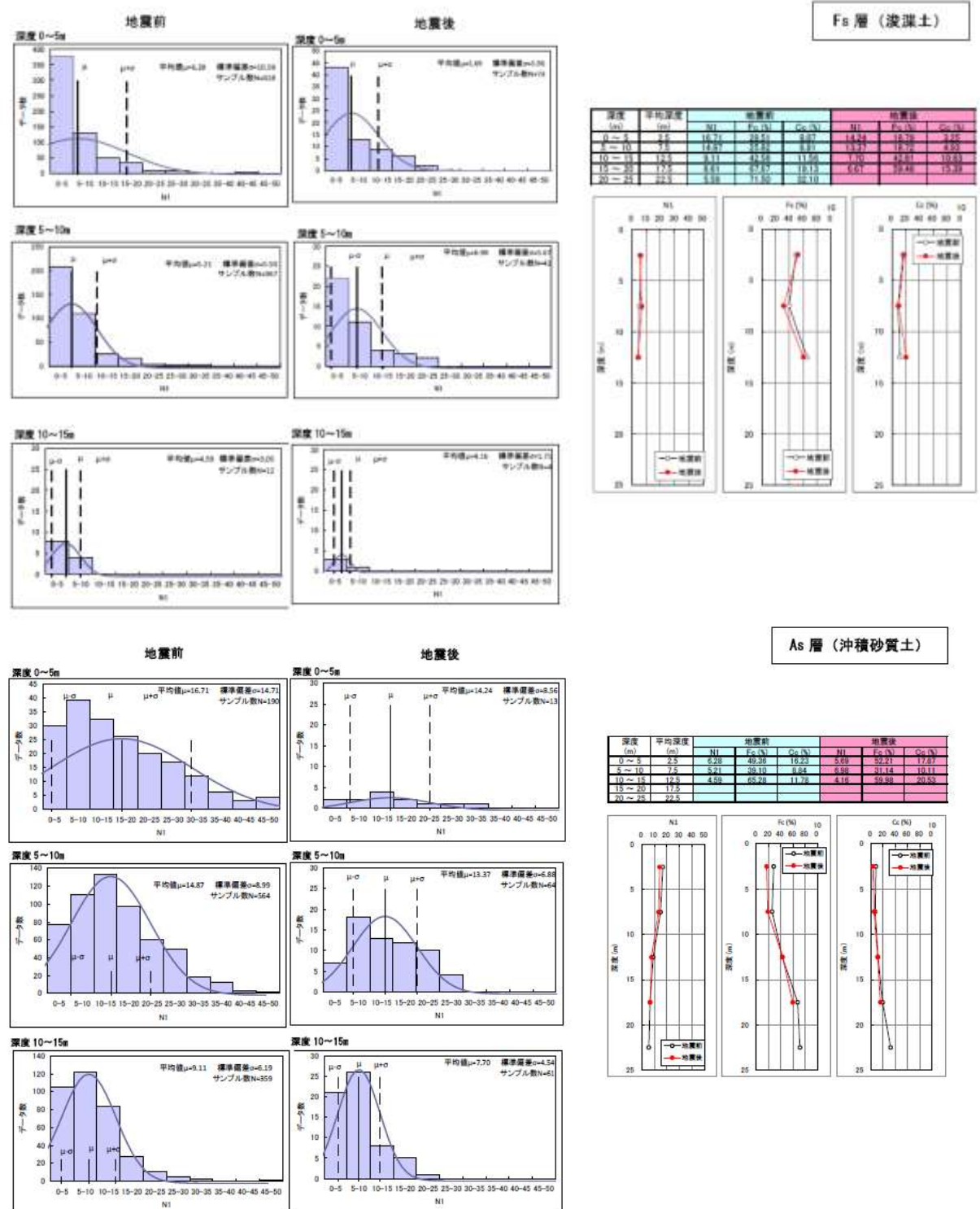


図 3.6-1 地震前後の物性値の比較（浦安市（2011）による）

3.7 波形の継続時間に関する検討

3.7.1 実波形を用いた繰返し三軸試験結果

道路橋示方書の波形の継続時間による補正係数（地震動特性による補正係数）は、以下のような定義となっている。

$$R = C_w \cdot R_L$$

ここで R : 動的せん断強度比

R_L : 繰返し三軸強度比（ N 値と F_c から算出する。）

（タイプⅠ地震動：プレート境界型地震動）

$$C_w = 1.0$$

（タイプⅡ地震動：内陸直下型地震動）

$$\begin{aligned} C_w &= 1.0 & (R_L \leq 0.1) \\ &= 3.3R_L + 0.67 & (0.1 < R_L \leq 0.4) \\ &= 2.0 & (0.4 < R_L) \end{aligned}$$

今回の地震ではタイプⅡ地震動とは逆に継続時間が非常に長く波数が非常に多いことから C_w を 1.0 より小さな値に設定するのが妥当だと考えられる。

安田委員の資料から、繰返しねじりせん断試験で今回の地震の実波形および余震の波形も加えて検討している。図 3.7-1 にねじりせん断試験結果を示した。

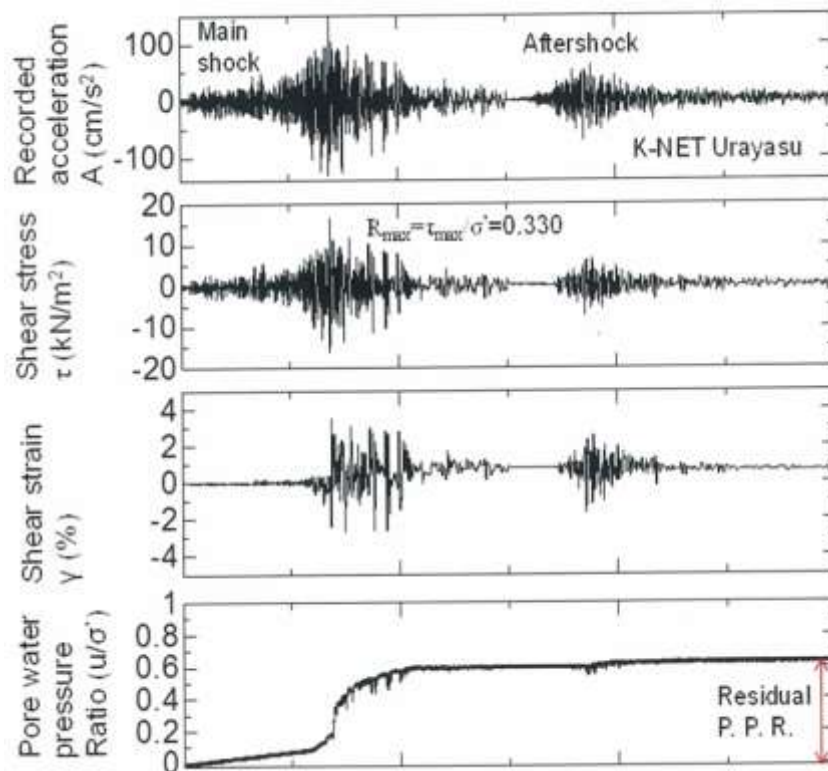


図 3.7-1(1) 試験に用いたせん断応力波形（上から 2 つ目の図面）

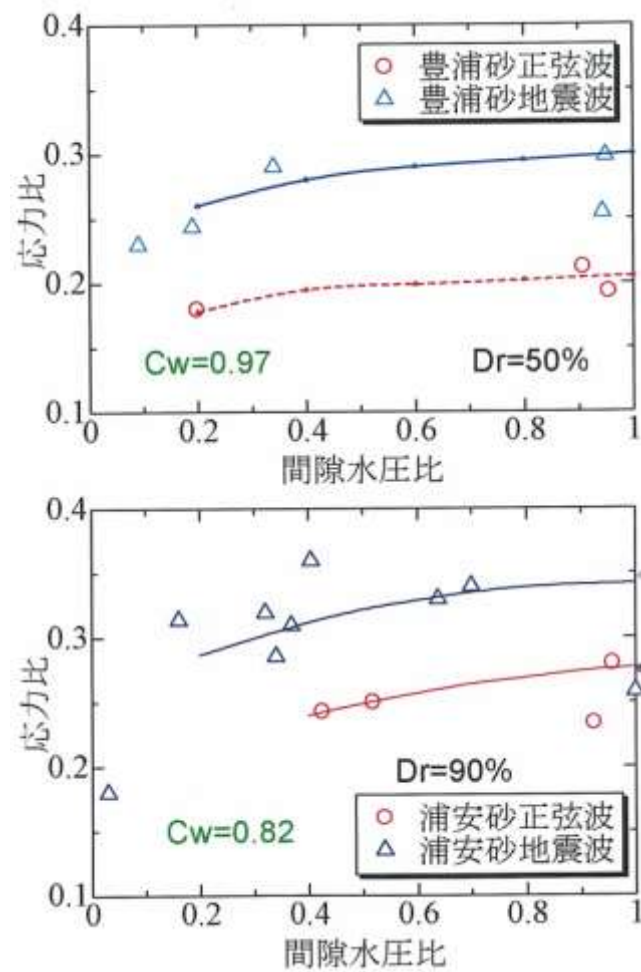


図 3.7-1 (2) 試験結果 (下図が浦安の試料の試験結果)

図 3.7-1(2)より横軸間隙水圧比 1.0 の正弦波と地震波の比から $C_w=0.82$ となり、今回の地震の C_w : 地震動特性による補正係数は $C_w=0.8$ 程度の値を使用しても差し支えないと考えられる。

3.7.2 千葉県環境研究センターにおける有効応力解析による検証

千葉県環境研究センター（千葉県美浜区稲毛）は、今回の地震において液状化被害が認められた。一方、1987年の千葉県東方沖地震では、震源が今回の地震に比べ比較的近かったにもかかわらず、液状化被害は認められなかった。

この要因の一つとして、今回の地震は、1987年千葉県東方沖地震に比べ、地震動継続時間が極めて長かったことが挙げられる。

そこで、2011年東北地方太平洋沖地震と1987年千葉県東方沖地震を入力波形として、表3.7-1の環境研究センターの地盤モデルを用いて有効応力解析を行い、過剰間隙水圧比について考察を行う。

有効応力解析に用いた入力波形は、1987年千葉県東方沖地震は、平成19年度千葉県地震被害想定による統計的グリーン関数法による環境研近傍の工学的基盤面での計算結果を用いる。

2011年東北地方太平洋沖地震は、千葉大学・中井教授提供の幕張の地表における観測記録を工学的基盤面にひき戻した計算結果を入力波形とした。

表 3.7-1 有効応力解析に用いた環境研究センターの地盤モデル

no	Vs(m/s)	上端深度(m)	下端深度(m)	層厚計算	層厚(m)	ave ρ (g/cm ³)
1	140	0.00	5.50	5.50	5.50	1.79
2	190	5.50	8.00	2.50	2.50	1.76
3	250	8.00	23.50	15.50	15.50	1.79
4	210	23.50	28.40	4.90	4.90	1.88
5	420	28.40				

図3.7-4に示すように、工学的基盤への入力加速度は2011年東北地方太平洋沖地震と1987年千葉県東方沖地震でほぼ同じにもかかわらず、過剰間隙水圧比の上昇の仕方はかなり異なっており、波形の継続時間の影響があると考えられる。

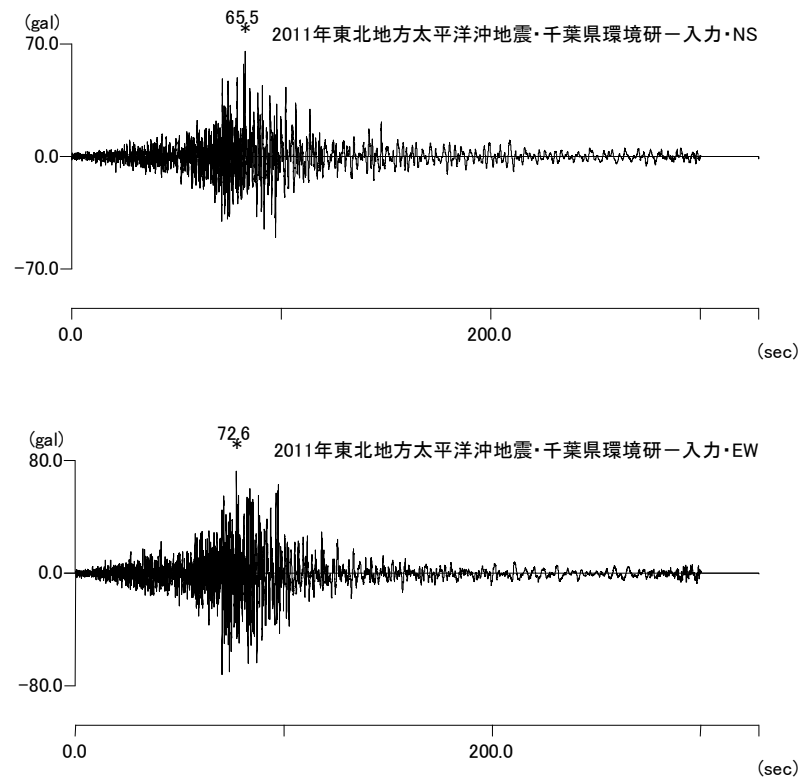


図 3.7-2 2011 年東北地方太平洋沖地震の工学的基盤面における入力波形

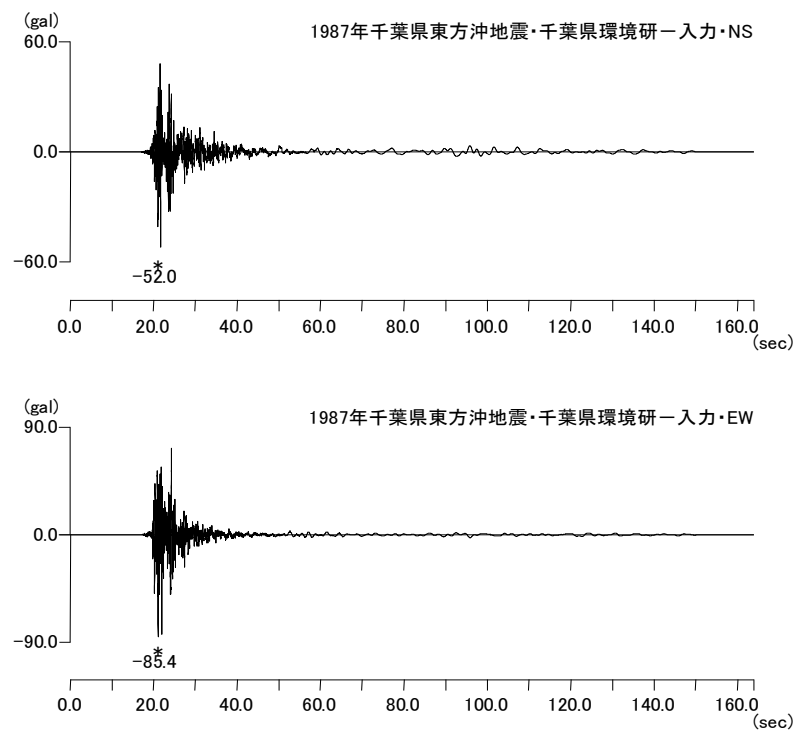


図 3.7-3 1987 年千葉県東方沖地震の工学的基盤面における入力波形

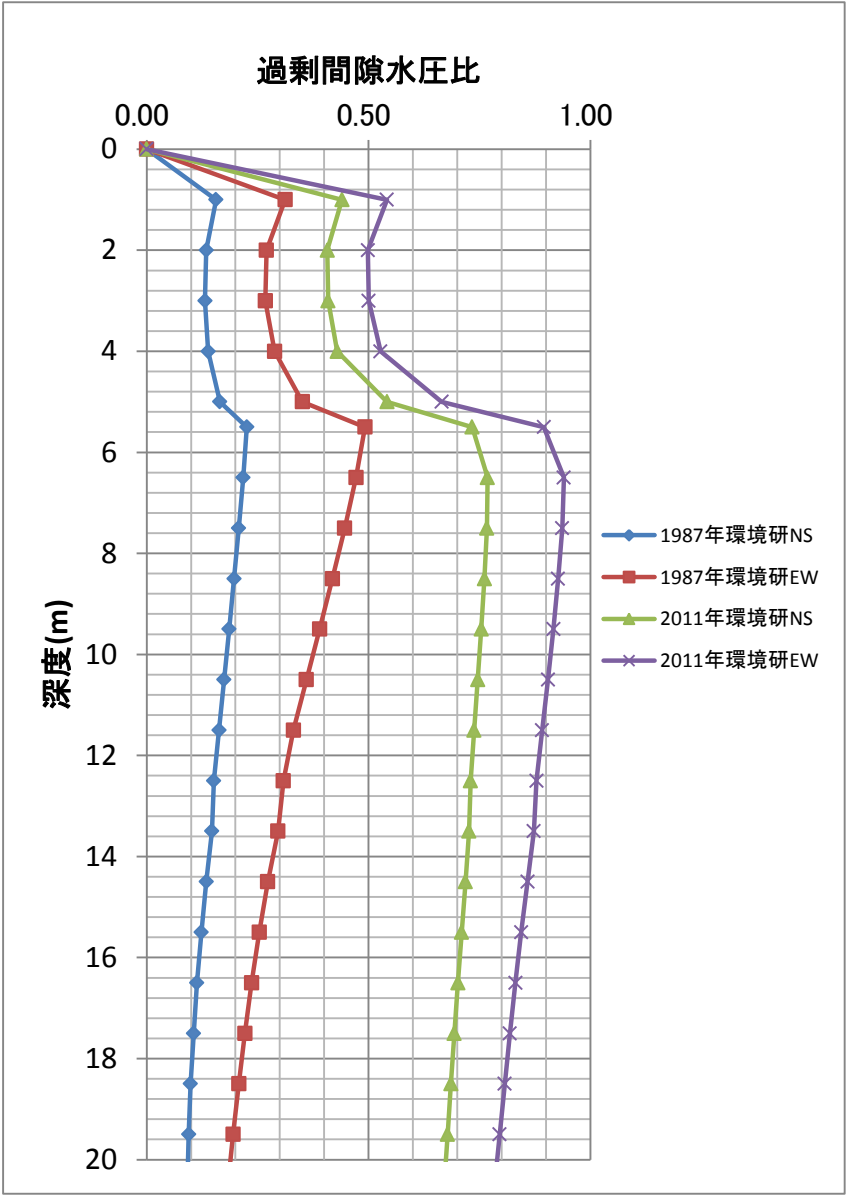


図 3. 7-4 有効応力解析による過剰間隙水圧比の比較

3.8 各地域の液状化の原因とメカニズム

2011 年東北地方太平洋沖地震による、千葉市美浜区、習志野市、我孫子市、浦安市、香取市における各地域の液状化の原因とメカニズムについて考察した。

1) 千葉市美浜区

千葉市美浜区では、地震動の大きさは最大加速度 270gal（震度 5 強）程度であり、多数の液状化が発生している。地下水位は、ほぼ G.L.-2.0m 程度であるが、海岸に向かって地下水位の深い地域が筋状に連なっている。

千葉県美浜区の液状化層分布の最大の特徴は、砂と粘土の層相が非常に複雑に分布しており、埋立時の吹き出しポンプの位置などの原因が考えられる。分布する砂の細粒分はそれほど高くなく、地震動も浦安地区などよりも高いため、表層近くに分布する砂層は液状化したと考えられる。不規則に分布する粘土層が存在する地域は、液状化が発生しない。

1987 年千葉県東方沖地震でも多数の地点が液状化しており、再液状化の可能性が高い。砂層と粘土層の層相が複雑に分布するため、液状化対策も既存ボーリングのチェック及び地盤調査が不可欠である。

表 3.8-1 (1) 千葉市美浜区における液状化の原因とメカニズム

No.	地区	地震動の 大きさ (最大加速度)	震度階	地下水位	液状化層の分布状況 (FL 値からの考察)	1987 年千葉県東方沖地震で の同地区の液状化状況	液状化の原因とメカニズム
1	千葉市美浜区	270gal	5 強 (5.2 美浜 区真砂)	ほぼ GL-2.0m 以浅であるが、 海岸に向かって 地下水位の 深い分布が筋 状に連なっ ている	層相が非常に複雑であるが、ほ ぼ GL-10m 程度までに分布する 砂層はほぼ FL<1.0 のため液状 化した可能性が高い	多数の地点が液状化している	細粒分が少ない緩い砂が不規則 に分布している。地震動も浦 安地区などより最大加速度が大 きく、全域で液状化の可能性が 高いが、地盤の層相が不規則 に異なり粘土層が非常に厚く堆 積する地点は、液状化は発生し ない

2) 習志野市

習志野市では、地震動の大きさは 230gal（震度 5 強）程度である。深度 10m 付近から分布する粘土層の上部の砂層の FL 値が 1.0 以下で液状化した可能性が高い。地下水は G.L.-1.0m～G.L.-2.0m 付近に分布する。

習志野市に分布する砂層の細粒分は、千葉市美浜区とほぼ同等と考えられる。1987 年千葉県東方沖地震では、液状化は発生していない。これは、千葉市美浜区よりも砂層と粘土層の層相の変化が激しくなく、砂層の液状化層厚が薄い影響だと考えられる。

表 3.8-1 (2) 千葉市美浜区における液状化の原因とメカニズム

No.	地区	地震動の 大きさ (最大加速度)	震度階	地下水位	液状化層の分布状況 (FL 値からの考察)	1987 年千葉県東方沖地震で の同地区の液状化状況	液状化の原因とメカニズム
2	習志野市	230gal	5 強 (5.0 習志 野市鷺沼)	GL-1.0m～ GL-2.0m に分 布する	深度 10m (標高-8m) 付近から 分布する粘土層の上部の砂層 がほとんど FL<1.0 のため液状 化した可能性が高い	液状化は発生していない	砂層の細粒分は千葉市美浜区 とほぼ同等と考えられる。地震 動は千葉市美浜区より最大加 速度は小さい。FL 値が 1.0 より 下回る砂層が連続するため液 状化が発生している

3) 我孫子市

我孫子市では、地震動の大きさは最大加速度 180gal（震度 5 弱）でそれほど大きくない。我孫子市の地下水位は非常に浅く、G.L.-1.0m～1.5m にある。

我孫子市の液状化層分布の特徴は、深度 4m 以深に厚い粘土層が分布し、液状化発生層が浅部に限られる。地下水位が G.L.-1.5m と非常に浅いため、粘土層以浅の緩い砂が液状化した可能性が高い。1987 年千葉県東方沖地震では液状化は発生していない。

浅部砂層の厚さも 4m 程度とあまり厚くないことから、深度 4m の粘土層を利用して地下水位低下工法を採用できる可能性が高い。

表 3.8-1 (3) 我孫子市における液状化の原因とメカニズム

No.	地区	地震動の 大きさ (最大加速度)	震度階	地下水位	液状化層の分布状況 (FL値からの考察)	1987年千葉県東方沖地震で の同地区の液状化状況	液状化の原因とメカニズム
3	我孫子市	180gal	5弱(4.8我孫子市我孫子)	ボーリング No.11は、GL-1.0m～1.5mに地下水位が分布する	深度4m(標高±0m)付近に分布する粘土層以浅の砂層のFL<1.0で液状化した可能性が高い。砂層の層厚は薄い	液状化は発生していない	深度4m以深に厚い粘土層が分布するため、液状化発生層は限られる。地下水位が1.5m以浅と非常に浅く分布するため、粘土層以浅の緩い砂が液状化した可能性が高い

4) 浦安市

浦安市では、地震動の大きさは最大加速度 160gal（震度 5 強）程度であり、多数の液状化が発生している。地下水位は、G.L.-1.0m～1.5m に分布するが、地域ごとにその分布が異なっている。

浦安市の液状化層の特徴は、細粒分が非常に高いことであり、繰返し三軸試験の液状化強度も高くなっている。最大加速度も千葉市美浜区に比べて小さいため、地震動の継続時間による液状化発生への影響が出ている可能性が高い。

1987 年千葉県東方沖地震では 5 箇所程度で液状化発生が発生しており、今回は 1987 年千葉県東方沖地震よりかなり多数の地点が液状化している。

我孫子市と同じように、連続性のある粘土層が標高-8m～-12m 以深で分布しており、対策工法として地下水位低下工法が採用できる可能性がある「。

表 3.8-1 (4) 浦安市における液状化の原因とメカニズム

No.	地区	地震動の 大きさ (最大加速度)	震度階	地下水位	液状化層の分布状況 (FL値からの考察)	1987年千葉県東方沖地震で の同地区の液状化状況	液状化の原因とメカニズム
4	浦安市	160gal	5強(5.1浦安市猫実)	ボーリング No.10は、GL-1.0m～1.5mに地下水位が分布する	標高-8m～-12m付近から分布する厚い粘土層の上部の埋土層及び沖積砂層のFL<1.0で液状化した可能性が高い	海楽1丁目、高浜3丁目で5箇所程度液状化が発生している	沖積層、浚渫土層とも細粒分含有率が高く、繰返し三軸試験による液状化強度も千葉市美浜区よりも高くなっている。地震動も千葉市美浜区に比べ最大加速度が小さい。地震動の継続時間が長い影響がでている可能性もある。1987年千葉県東方沖地震の液状化発生地点よりもかなり多数の地点が液状化している

5) 香取市

香取市では、地震動の大きさは 400gal(震度 5 強)と非常に大きく、多数の液状化が発生している。地下水位は、G.L.-0.5m～1.0m と非常に浅く分布する。

利根川沿いで、砂層の分布層厚も厚く、地下水位も非常に浅いため、粘土層がやや厚く分布する地点以外は、液状化が発生したと考えられる。

1987 年千葉県東方沖地震でも利根川沿いに液状化が多数発生しているが、この原因としては、利根川の浚渫砂で埋め立てられたところが液状化したと考えられている。今回の地震でもほぼ同様な地点が液状化している。

表 3.8-1 (5) 香取市における液状化の原因とメカニズム

No.	地区	地震動の 大きさ (最大加速度)	震度階	地下水位	液状化層の分布状況 (FL値からの考察)	1987年千葉県東方沖地震で の同地区の液状化状況	液状化の原因とメカニズム
5	香取市	400gal	5強(5.4香取 市役所)	ボーリング⑫、 ⑬、⑭はすべて GL-0.5m～ 1.0mに地下数 位が分布する	ボーリングNo.12、No.13と砂層 が15m以上分布する。No.19は 粘土層が他のボーリング地点よ り粘土層が厚い。	利根川沿いに液状化が多数発 生している	利根川沿いで、砂層の分布層 厚も厚く、地下水位も高く、地震 動も300gal～400gal程度あつた と推測され、粘土層がやや厚く 分布する地点以外は液状化が 発生したと考えられる

4. 地震動の再現のための地盤モデルの修正

4.1 ボーリングデータの収集

平成 19 年度地震被害想定で作成した浅部地盤モデルの修正を行うことを目的として、ボーリングデータの収集を行っている。

平成 19 年度に収集し、デジタル化を行ったボーリングデータの本数は、27,850 本である。これに対して、新規に収集したボーリングデータの本数は、現時点で 34,183 本である。収集状況を表 4.1-1 に示す。

既存ボーリング及び今回デジタル化したデータの分布を図 4.1-1 に示す。既存分と新規分（環境研究センター）を単純に合わせると約 6 万 2 千本となるが、両者に重複しているデータを除いた結果、最終的には 50,035 本となった。

参考までに、250m メッシュ内のボーリングデータの本数を図 4.1-2 に示す。また、現地調査対象地域の拡大図については、3.3 節を参照されたい。

表 4.1-1 新規収集ボーリングデータ一覧

提供機関	本数
環境研究センター	26,953
国土交通省関東地方整備局	2,036
消防課	30
企業庁(浦安市)	313
企業庁(千葉建設事務所)	19
市町村	1,738
市町村(松戸市CD)	2,447
特定事業所	627
新規調査分	20
合計	34,183

(一部重複データを含む)

※環境研究センター、国土交通省関東地方整備局及び市町村の一部は、デジタルデータでの提供。それ以外については、紙資料での提供。