

## 第2 地震動の予測

### 1 断層モデルの設定

#### (1) 想定地震

船橋市を含む南関東地域の首都直下では、近いうちに M7 クラスの地震の発生が懸念されており、この地域での発生確率は今後 30 年間で 70%と推定されている（地震調査委員会（2004）<sup>5</sup>）。内閣府（2013）<sup>3</sup>、千葉県（2016）<sup>4</sup>では、首都直下の M7 クラスの地震として、フィリピン海プレート内の地震（図 2.2-1～2.2-3）を想定し地震被害想定調査を実施している。これらの調査を参照して、船橋市において考慮すべき地震として、以下の 3 地震を想定した。

- ・千葉県北西部直下地震（M7.3）
- ・船橋市役所直下の地震（タイプⅠ）（M7.3）
- ・船橋市役所直下の地震（タイプⅡ）（M7.3）

#### (2) 千葉県北西部直下地震（M7.3）

千葉県北西部直下地震は、市川市から千葉市直下の M7.3 のフィリピン海プレート内の想定地震（過去に発生が確認されていない地震）である。首都直下地震は南関東地域の直下を震源とする大規模な地震とされ（首都直下地震対策特別措置法）、発生場所は特定されていない。このことから、千葉県（2016）<sup>4</sup>では人口が集中する県北西部で発生する地震が県に対し最も被害が大きくなることが想定されることから、新たに本地震を設定し「千葉県北西部直下地震」と命名して（図 2.2-4～2.2-5、表 2.2-1）、被害量の算出、シナリオの作成等を行っている。

地震の規模は、内閣府による首都直下地震と同じく、M7.3 である。断層上端は船橋市南部を通り、上端の深さはフィリピン海プレート上面と一致し、30km である。

#### (3) 船橋市役所直下の地震（タイプⅠ）（M7.3）

千葉県北西部直下地震に加えて、断層面が船橋市役所直下に位置する地震として新たに本地震を設定した（図 2.2-6～2.2-7、表 2.2-2）。

地震の規模は、千葉県北西部直下地震と同じく M7.3 である。断層の形状についても千葉県北西部直下地震と同様とし、走向は 290°、傾斜は 80°とし、断層地表投影の中心が船橋市役所と一致するようにした。断層上端の深さはフィリピン海プレート上面と等しくなるように、31km とした。

#### (4) 船橋市役所直下の地震（タイプⅡ）（M7.3）

船橋市役所直下の地震（タイプⅠ）に加えて、断層面が船橋市役所直下に位置する地震として新たに本地震を設定した（図 2.2-8～2.2-9、表 2.2-3）。

走向を 20°（タイプⅠと垂直方向）とした以外は、船橋市役所直下の地震（タイプⅠ）と同様のモデルとした。断層上端深さは 32km である。

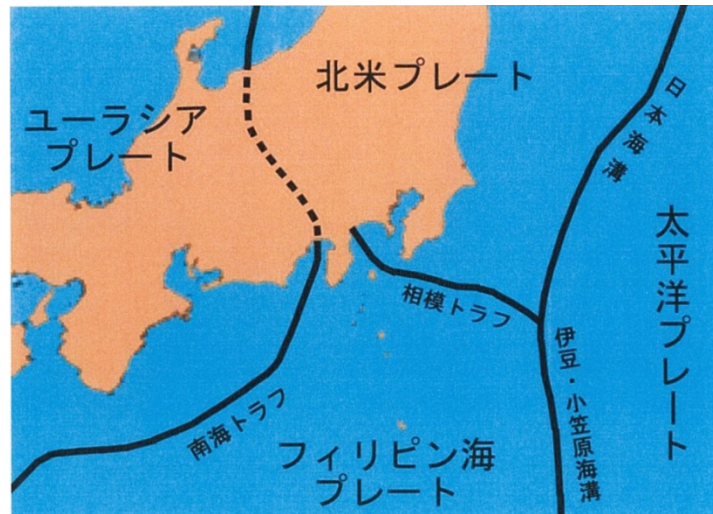
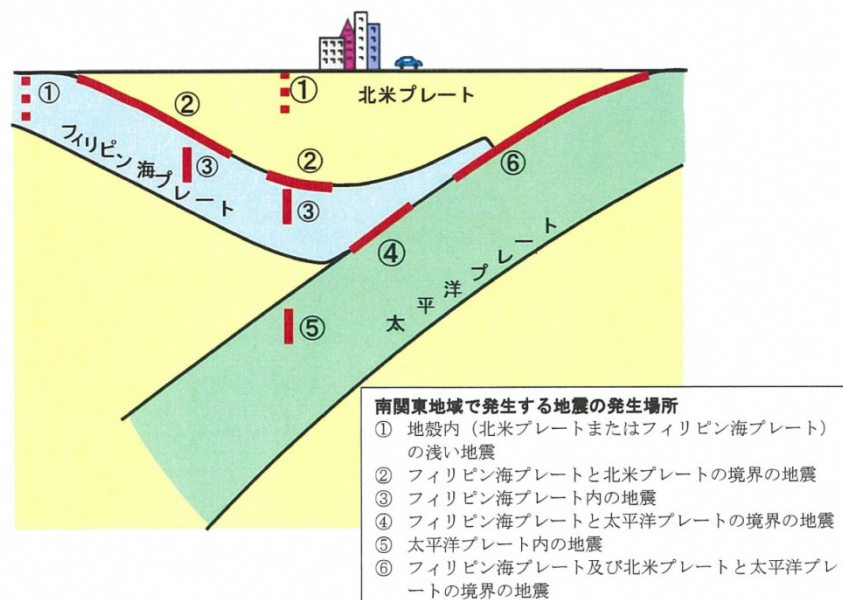


図 2.2-1 関東周辺のプレート境界（内閣府（2013）<sup>3</sup>）



※千葉県北西部直下地震・船橋市役所直下の地震は③に相当

図 2.2-2 南関東地域で発生する地震のタイプ（内閣府（2013）<sup>3</sup>）

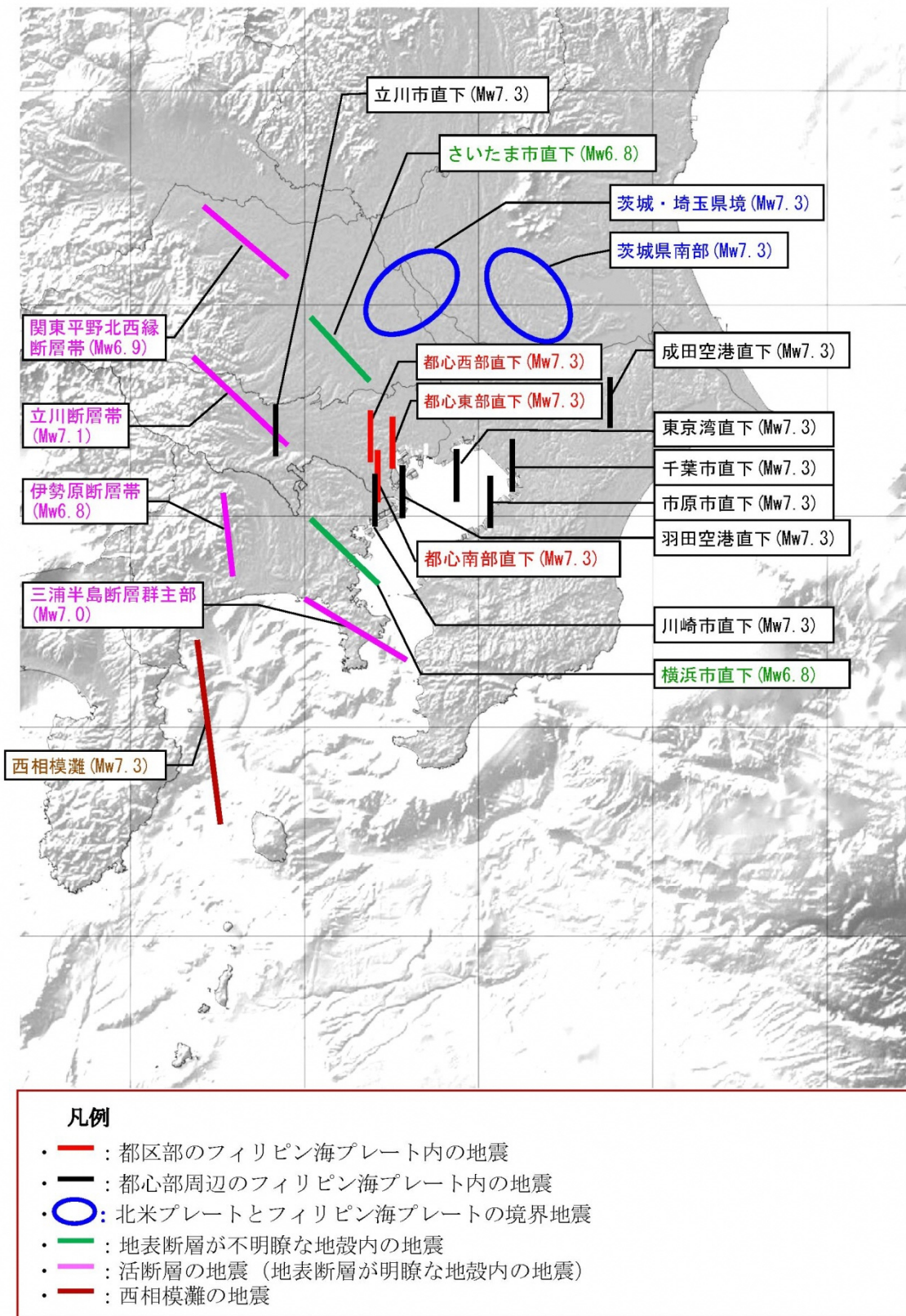


図 2.2-3 首都直下地震で検討した断層の位置（内閣府（2013）<sup>3</sup>）

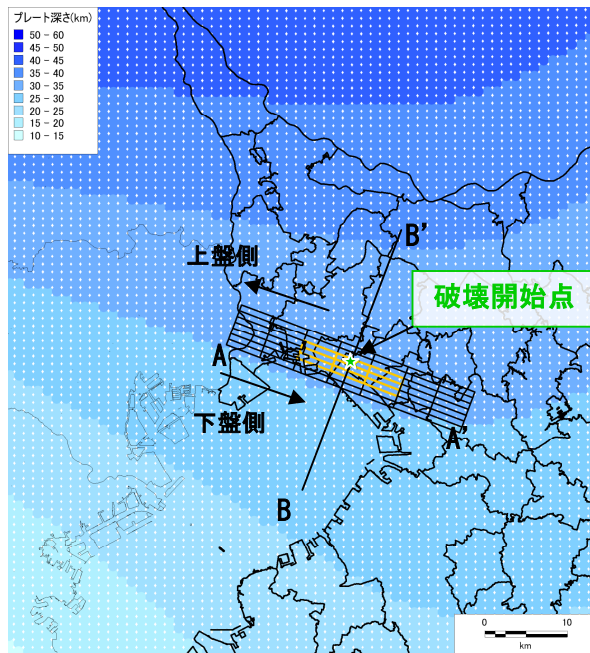


図 2.2-4 千葉県北西部直下地震の震源位置及び破壊開始点\*  
 (フィリピン海プレートの深さは内閣府 (2013) <sup>3</sup>による) —背景領域 —SMGA\*

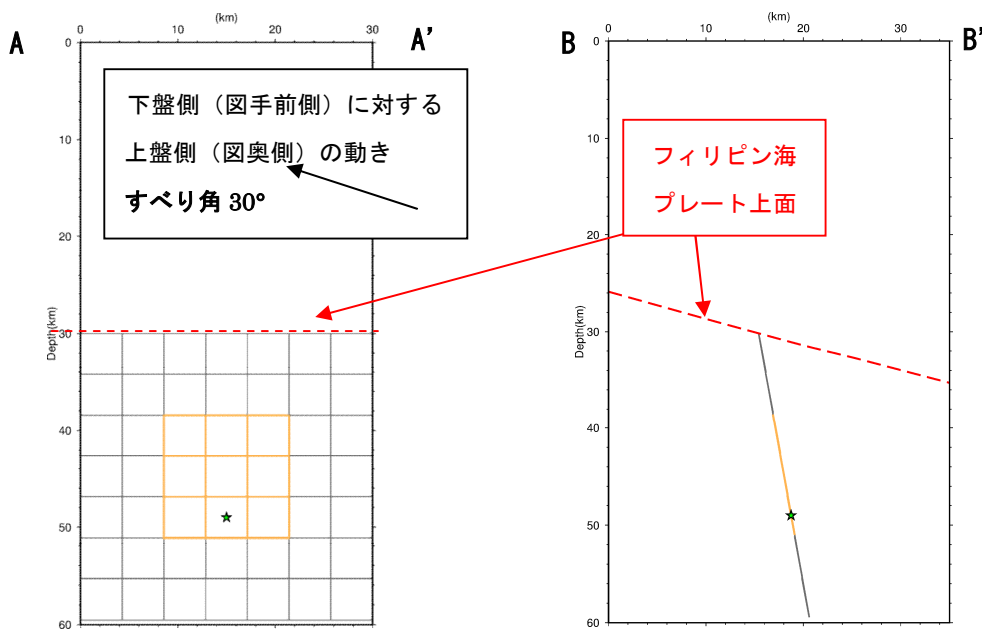


図 2.2-5 断面図とすべり角 —背景領域 —SMGA

\*破壊開始点: 断層面の中で最初に破壊が始まる位置であり、順次隣接する小断層面を破壊が伝播する。  
 \*強震動生成域 (SMGA): 断層面の中で特に強い地震波 (強震動) を発生させる領域のことを「強震動生成域 (SMGA)」という。従来は「アスペリティ」と呼ばれていたが、この言葉は強い強震動を発生させる領域と断層すべりの大きな領域の両方を示す用語であり、東北地方太平洋沖地震の詳細な結果、両者は必ずしも一致しない場合があるため、強震動生成域と呼ばれるようになった。(内閣府 (2013) <sup>3</sup>)

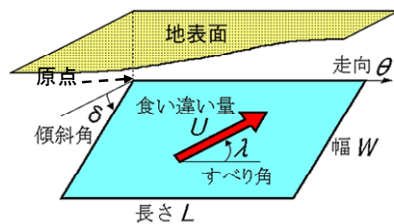


表 2.2-1 千葉県北西部直下地震の断層パラメータ\*

項目		数値	備考
断層全体	断層原点緯度(° N)	35.59	
	断層原点経度(° E)	140.19	
	面積(km <sup>2</sup> )	900	岩田知孝・浅野公之(2010) <sup>6</sup>
	平均応力降下量(MPa)	10.3	面積と地震モーメントの関係より
	平均すべり量(m)	2.5	
	地震モーメント(Nm)	1.1E+20	岩田知孝・浅野公之(2010) <sup>6</sup>
	モーメントマグニチュード Mw	7.3	
	長さ(km)	28.1	
	幅(km)	32.1	
	走向(°)	290	東南東-西北西
	深さ(km)	30	
	傾斜(°)	80	高角
すべり角(°)	30	縦ずれ成分をもった左横ずれ	
SMGA	応力パラメータ	62	岩田知孝・浅野公之(2010) <sup>6</sup>
	面積(km <sup>2</sup> )	150	
	面積比(%)	16.7	
	平均すべり量(m)	5.1	平均すべり量×2
	地震モーメント(Nm)	3.5E+19	Mos=μ DS
	モーメントマグニチュード Mw	7.0	Δσ × S/Ss
	深さ(km)	30	
そのほか	破壊伝播速度(km/s)	2.9	
	Fmax(Hz)	6	
	剛性率(Nm <sup>2</sup> )	4.6E+10	

※断層原点座標、走向、深さ、傾斜、すべり角以外は内閣府(2013)<sup>3</sup>による

\*断層パラメータ：断層の位置、大きさ、向きなどを表現するためのパラメータのこと。大きくは下図のように、断層面の位置（緯度、経度、深さ）の他に、断層面の大きさ（長さL、幅W）と向き（走向θ、傾斜角δ）、及び断層面上での食い違いの大きさ（U）と向き（すべり角λ）の6種類がある。地震動の計算のためには、その他にも様々なパラメータが必要である。



※防災科学技術研究所 HP に加筆

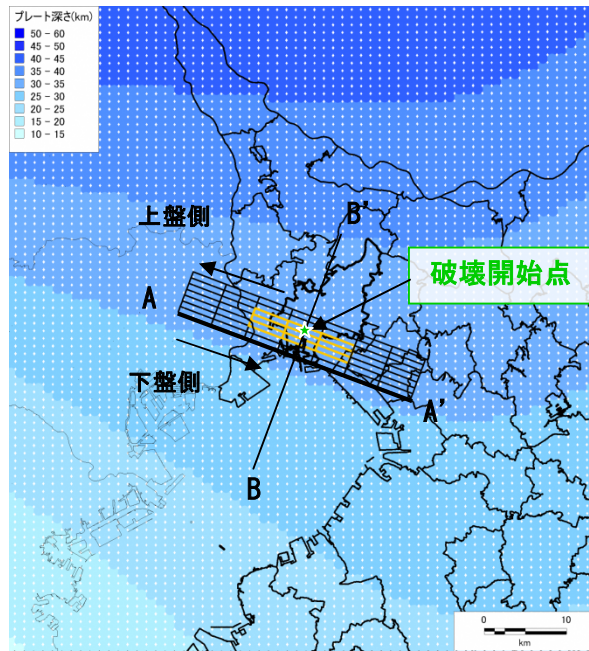


図 2.2-6 船橋市役所直下の地震(タイプ I)の震源位置および破壊開始点\*  
 (フィリピン海プレートの深さは内閣府 (2013) <sup>3</sup>による) —背景領域 —SMGA\*

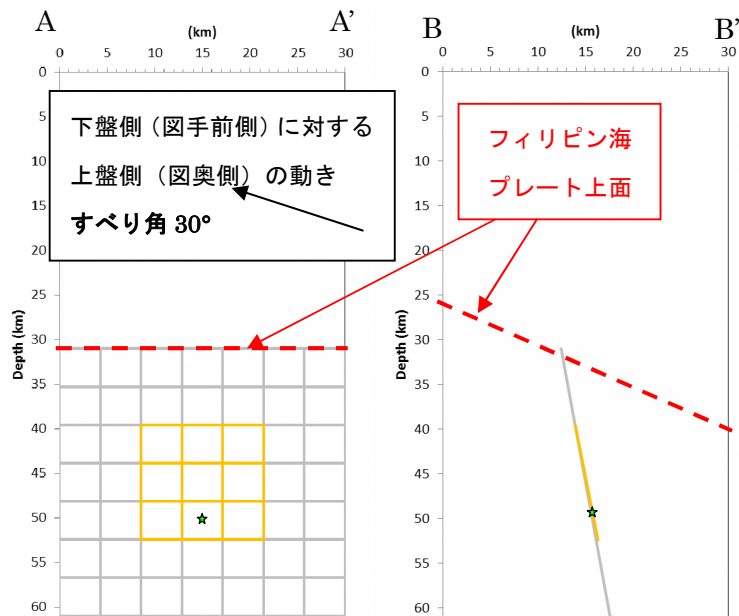


図 2.2-7 断面図とすべり角 —背景領域 —SMGA

\*破壊開始点: 断層面の中で最初に破壊が始まる位置であり、順次隣接する小断層面を破壊が伝播する。  
 \*強震動生成域 (SMGA): 断層面の中で特に強い地震波 (強震動) を発生させる領域のことを「強震動生成域 (SMGA)」という。従来は「アスペリティ」と呼ばれていたが、この言葉は強い強震動を発生させる領域と断層すべりの大きな領域の両方を示す用語であり、2011 年東北地方太平洋沖地震の詳細な結果、両者は必ずしも一致しない場合があるため、強震動生成域と呼ばれるようになった。(内閣府 (2013) <sup>3</sup>)

表 2.2-2 船橋市役所直下の地震(タイプ I)の断層パラメータ

項目		数値	備考
断層全体	断層原点緯度(° N)	35.62	
	断層原点経度(° E)	140.13	
	面積(km <sup>2</sup> )	900	岩田知孝・浅野公之(2010) <sup>6</sup>
	平均応力降下量(MPa)	10.3	面積と地震モーメントの関係より
	平均すべり量(m)	2.5	
	地震モーメント(Nm)	1.1E+20	岩田知孝・浅野公之(2010) <sup>6</sup>
	モーメントマグニチュード Mw	7.3	
	長さ(km)	28.1	
	幅(km)	32.1	
	走向(°)	290	東南東-西北西
	深さ(km)	31	
	傾斜(°)	80	高角
	すべり角(°)	30	縦ずれ成分を持った左横ずれ
SMGA	応力パラメータ	62	岩田知孝・浅野公之(2010) <sup>6</sup>
	面積(km <sup>2</sup> )	150	
	面積比(%)	16.7	
	平均すべり量(m)	5.1	平均すべり量×2
	地震モーメント(Nm)	3.5E+19	Mos=μ DS
	モーメントマグニチュード Mw	7.0	Δσ × S/Ss
	深さ(km)	30	
そのほか	破壊伝播速度(km/s)	2.9	
	Fmax(Hz)	6	
	剛性率(Nm <sup>2</sup> )	4.6E+10	

※断層原点座標、走向、深さ、傾斜、すべり角以外は内閣府(2013)<sup>3</sup>による

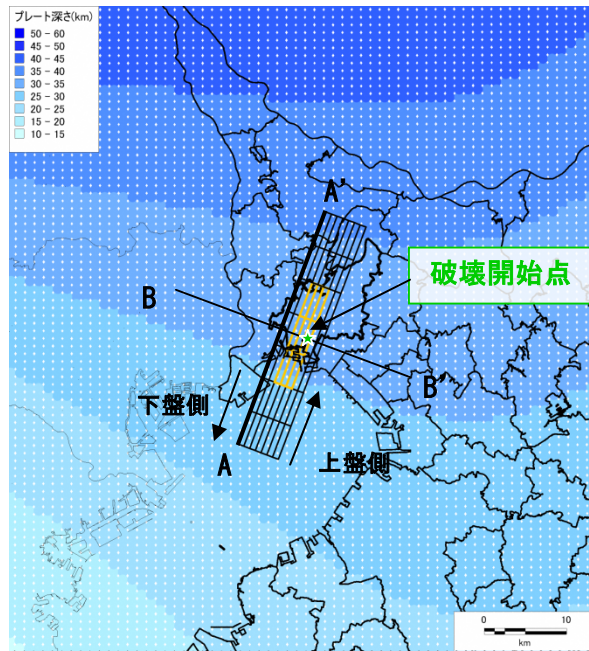


図 2.2-8 船橋市役所直下の地震(タイプⅡ)の震源位置および破壊開始点\*  
 (フィリピン海プレートの深さは内閣府 (2013)<sup>3</sup>による) —背景領域 —SMGA\*

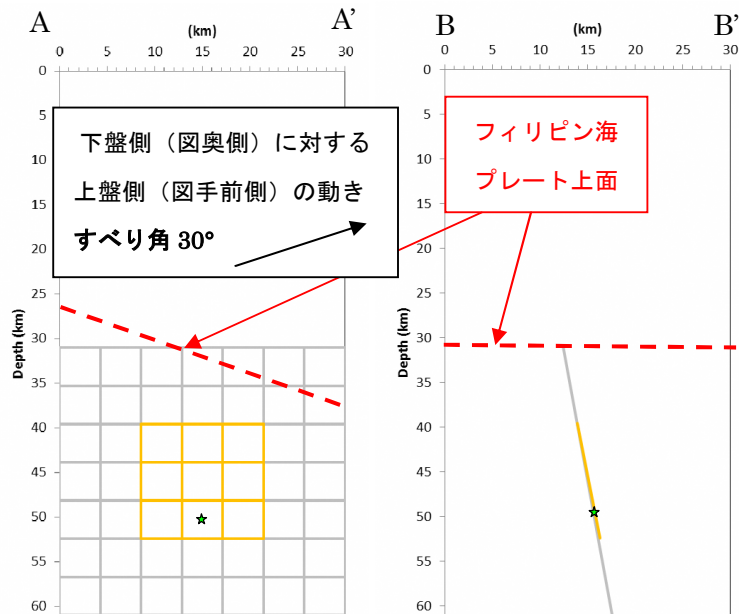


図 2.2-9 断面図とすべり角 —背景領域 —SMGA

\*破壊開始点:断層面の中で最初に破壊が始まる位置であり、順次隣接する小断層面を破壊が伝播する。  
 \*強震動生成域 (SMGA):断層面の中で特に強い地震波(強震動)を発生させる領域のことを「強震動生成域 (SMGA)」という。従来は「アスペリティ」と呼ばれていたが、この言葉は強い強震動を発生させる領域と断層すべりの大きな領域の両方を示す用語であり、2011年東北地方太平洋沖地震の詳細な結果、両者は必ずしも一致しない場合があるため、強震動生成域と呼ばれるようになった。(内閣府(2013)<sup>3</sup>)



表 2.2-3 船橋市役所直下の地震(タイプII)の断層パラメータ

項目		数値	備考
断層全体	断層原点緯度(° N)	35.58	
	断層原点経度(° E)	139.90	
	面積(km <sup>2</sup> )	900	岩田知孝・浅野公之(2010) <sup>6</sup>
	平均応力降下量(MPa)	10.3	面積と地震モーメントの関係より
	平均すべり量(m)	2.5	
	地震モーメント(Nm)	1.1E+20	岩田知孝・浅野公之(2010) <sup>6</sup>
	モーメントマグニチュード Mw	7.3	
	長さ(km)	28.1	
	幅(km)	32.1	
	走向(°)	20	南南西-北北東
	深さ(km)	32	
	傾斜(°)	80	高角
	すべり角(°)	30	縦ずれ成分を持った左横ずれ
SMGA	応力パラメータ	62	岩田知孝・浅野公之(2010) <sup>6</sup>
	面積(km <sup>2</sup> )	150	
	面積比(%)	16.7	
	平均すべり量(m)	5.1	平均すべり量×2
	地震モーメント(Nm)	3.5E+19	Mos=μ DS
	モーメントマグニチュード Mw	7.0	Δσ × S/Ss
	深さ(km)	30	
そのほか	破壊伝播速度(km/s)	2.9	
	Fmax(Hz)	6	
	剛性率(Nm <sup>2</sup> )	4.6E+10	

※断層原点座標、走向、深さ、傾斜、すべり角以外は内閣府(2013)<sup>3</sup>による

## 2 地盤モデルの作成

### (1) 概要

地震動予測の数値計算を行うためには、地盤構造を数値モデル化する必要がある。

地盤の構造の模式図を図 2.2-10 に示す。今回の調査では、工学的基盤地震動を予測するための深部地盤と、地表地震動を予測するための浅部地盤の二つに分けてモデル化を行った。深部地盤と浅部地盤の一般的な特徴を表 2.2-4 に、本調査における地盤モデルの概要を表 2.2-5 に示す。

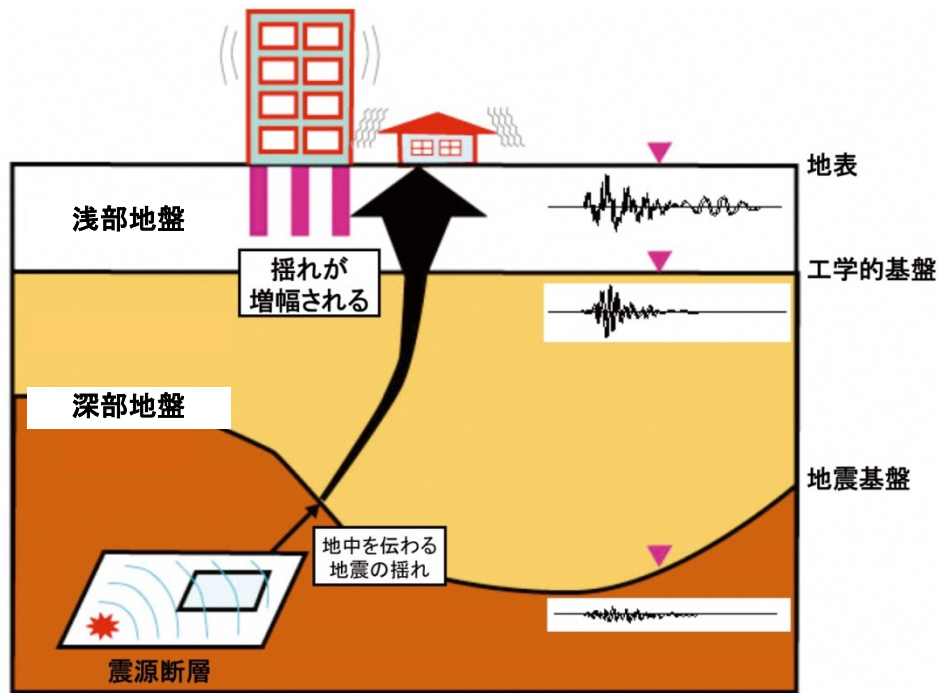


図 2.2-10 地盤の構造と地中を伝わる地震動の模式図

(出典：地震調査研究推進本部 HP<sup>7)</sup>)

表 2.2-4 深部地盤と浅部地盤の一般的な特徴

項目	深部地盤	浅部地盤
定義	地震基盤～工学的基盤	工学的基盤～地表
地盤の硬さ	相対的に硬い	相対的に軟らかい
地震波の伝わる速さ	相対的に速い	相対的に遅い
P 波速度	1,800～5,500m/s	1,800m/s 未満
S 波速度	500～3,200m/s	500m/s 未満
揺れの増幅	増幅度は小さい	増幅度は大きい
非線形性の有無	概ね線形	浅くなるほど非線形性が大きい

表 2.2-5 本調査における地盤モデルの概要

	船橋市内でのおよその深さ(m)	境界面の名称	地質区分			S波速度 (m/s)	モデル作成手法	設定した物性値 <sup>※1</sup>				
			埋立地	低地	台地			土質	速度	密度	N値	動的
浅部地盤	0~10	埋立土層基底面	埋立土層	—	—	100~150	ボーリングデータを基に1mごとに土質区分をモデル化し、速度に換算	○	○	○	○	○
	0~50	沖積層基底面	沖積層		— <sup>※2</sup>	100~200		○	○	○	○	○
	0~50	N値50相当面	下総層群上部			150~300		○	○	○	○	○
	0~310	下総層群基底面	下総層群下部			300	千葉県水理地質図等から下端深さを決め、既存のPS検層を基に速度を決定		○	○		
						350			○	○		
						400			○	○		
上総層群			400		○	○						
50~360	工学的基盤	上総層群~先第三紀層			500~2,900	既存の弾性波探査結果を基に16層に区分し、それぞれの速度を決定		○	○			
2,300~4,500	地震基盤	地殻最上部			3,200			○	○			

※1: 設定した物性値の内容は、以下のとおり。  
 土質：土質区分で、「粘土」「砂」など、地盤の土質特性に着目した区分。  
 速度：速度区分で、地震波（P波、S波）の伝わる速さ。  
 密度：地盤の密度。  
 N値：ボーリング孔内における標準貫入試験によって測定される地盤の硬さを示す値。  
 動的：動的変形特性曲線で、地震時に地盤の特性がどのように変化するかを表す曲線。  
 ※2: 一部範囲に分布。

(2) 深部地盤

本調査における深部地盤モデルについては、S波速度500m/sまでの深部地盤について、千葉県(2016)<sup>4</sup>でも採用されている首都直下地震モデル検討会(内閣府(2013)<sup>3</sup>)によるモデルを採用した(表2.2-6)。

本調査における深部地盤モデルは、工学的基盤～地震基盤までを16層に分割し、それぞれの層についてP波速度、S波速度、密度を設定している。いくつかの代表的な層の上端深さの分布を図2.2-11に示した。

表 2.2-6 深部地盤モデルの速度層の一覧(内閣府(2013)<sup>3</sup>)

境界面		P波速度 (m/s)	S波速度 (m/s)	密度 (g/cm <sup>3</sup> )
工学的基盤	浅部地盤			
	第1層	1,800	500	1.95
	第2層	2,000	600	2.00
	第3層	2,100	700	2.05
	第4層	2,200	800	2.07
	第5層	2,300	900	2.10
	第6層	2,400	1,000	2.15
	第7層	2,500	1,100	2.15
	第8層	2,700	1,300	2.20
	第9層	3,000	1,500	2.25
	第10層	3,200	1,700	2.30
	第11層	3,600	1,800	2.35
	第12層	3,700	1,900	2.35
	第13層	3,500	2,000	2.45
	第14層	4,200	2,400	2.45
地震基盤	第15層	5,000	2,900	2.60
	第16層	5,500	3,200	2.65



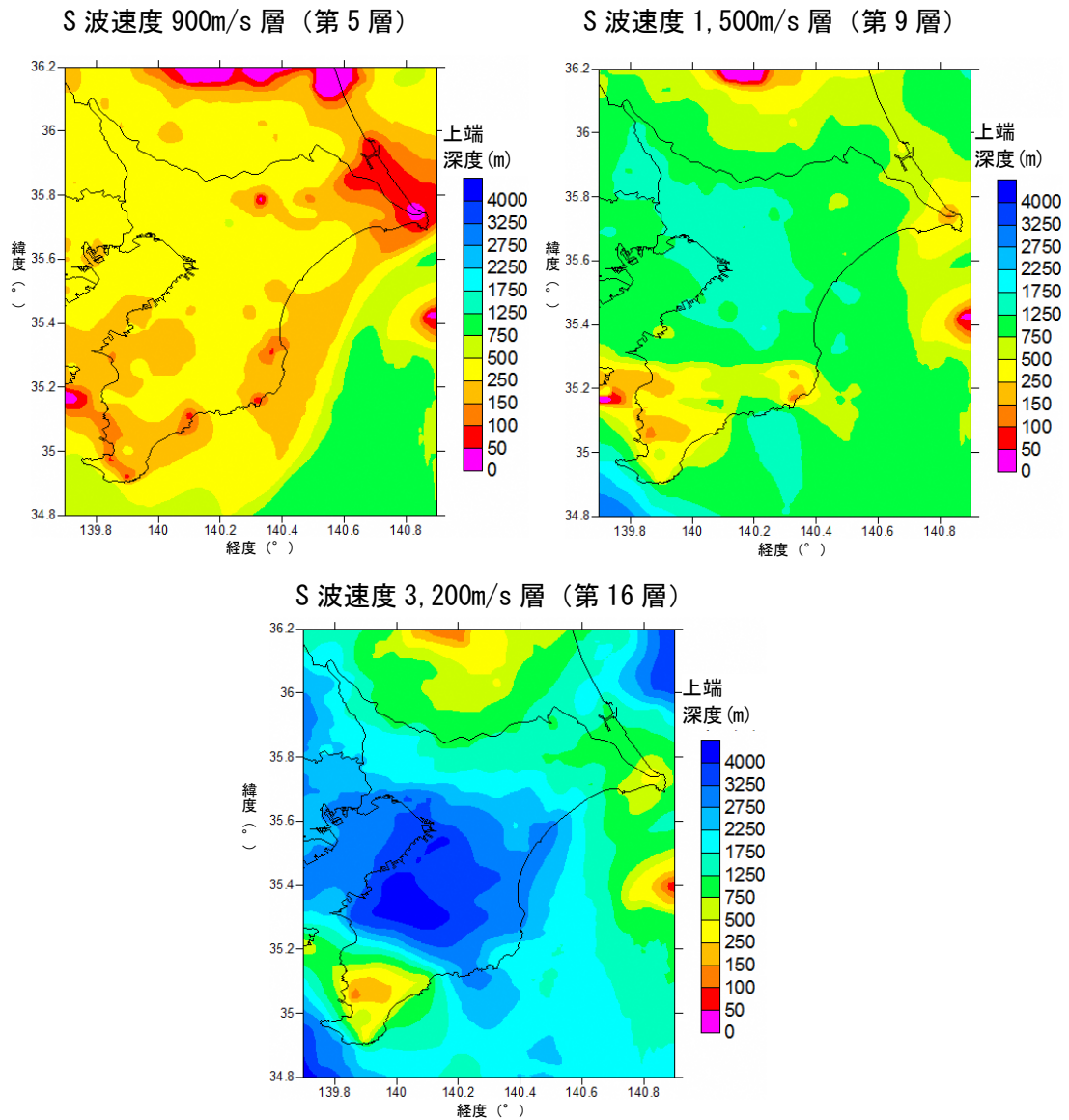


図 2.2-11 深部地盤の代表的な速度層の上端深度の分布 (千葉県 (2016) <sup>4)</sup>)

### (3) 浅部地盤

浅部地盤は、工学的基盤面 (S 波速度 500m/s 以上となる地盤) から地表までの地盤をいう。浅部地盤の構造は、特に短周期地震動の大きさに影響し、震度、液状化被害、建物被害等の想定に重要である。

浅部地盤は、第四紀と呼ばれる地質時代に形成された地盤である。第四紀は約 260 万年前から始まる時代であり、氷期と間氷期の繰り返しにより様々な地層が形成されたことが判明している。このため、浅部地盤モデルの作成に当たっては、このような地層区分に着目することとした。

船橋市に分布する第四紀の地質層序を表 2.2-7 に示す。

表 2.2-7 関東平野に分布する第四紀の地質層序対比 (木村ほか (2014) 8)

赤枠：船橋市の地質層序 Ma：地質年代 (1Ma：100 万年前) MIS：海洋酸素同位体ステージ

年代	Ma	段丘堆積物の統一名称	段丘面	層群名	大磯丘陵	多摩丘陵・三浦半島	層群名	東京地域	大宮台地	常陸台地	下総台地	MIS					
完新世	0.01		立川面									1					
後期更新世	0.14		三崎面		田名原・中津原段丘堆積物			立川段丘堆積物	立川段丘堆積物	桜川段丘堆積物	千葉Ⅱ段丘礫層	3					
		三崎M	小原台面	相模層群	相模野段丘堆積物	三崎段丘堆積物	武蔵野段丘堆積物 M1, M2	武蔵野段丘堆積物	—	千葉Ⅰ段丘礫層	千葉Ⅰ段丘礫層	5.1					
		小原台O	下末吉面										小原台段丘堆積物	常総粘土・大宮層	常総層	姉ヶ崎層, 竜ヶ崎層, 常総粘土	5.3
		下末吉S	多摩面										吉沢層	木下層	木下層	木下層	5.5
		多摩T-au											滝ノ前層	—	—	横田層	7.1
多摩T-a		七圓峠層	鶴見層, 長尾層										清川層	清川層	7.3		
中期更新世	0.73	多摩T-b		長沼不整合	早田層	舞岡層, 土橋層	東京層上部	木下層	上泉層	上泉層	上泉層	7.5					
		多摩T-c			中井層	オシ沼層	“江戸川層”	—	—	—	—	7.1					
		多摩T-du			古怒田層	西根層	“江戸川層”	藪層	藪層	藪層	藪層	9					
		多摩T-d			雑色層	港南(上倉田)層		地蔵堂層	地蔵堂層	地蔵堂層	地蔵堂層	11					
		多摩T-e			鴨沢層	屏風ガ浦層	—	—	—	—	—	13					
					?	長沼層	—	B2層	?	笠森層	15						
						—	—	—	—	—	—	17					
						—	—	—	—	—	—	19					
						—	—	江戸川層	C層	—	—	—	21				
						—	—	—	—	—	—	—	23				
前期更新世	2.6			上総層群		浜層, 中里層, 小柴層, 大船層	舍人層	D層			梅ヶ瀬層	25-33					
							東久留米層				—	—	大田代層	25-33			
鮮新世	5.1					野島層 浦郷層	北多摩層				黄和田層	35-61					
							?				?	—	—	大原層	63		
中新世	15										浪花層	65-67					
											勝浦層	69-81					
												黒滝層	69-81				
	23						安房層群										

以下に、浅部地盤モデルの作成に際して特徴づけられる地質層序について説明する。

- ① 下総層群下部：中期更新世（約 14~73 万年前）のうち、約 40 万年前以降の地層である（表 2.2-7）。このうち、地蔵堂層は MIS11（約 40 万年前）に堆積した地層であり、「下総層群」の最下位に位置する。船橋市域においては、S 波速度が 300~400m/s 程度であり、地蔵堂層の基底面から約 50m 下がった位置を、工学的基盤と想定している（千葉県 (2016) 4）。
- ② 下総層群上部：後期更新世（約 1.2~14 万年前）の地層である（表 2.2-7）。このうち木下層は後期更新世の MIS5.5（約 14 万年前）に堆積した地層である。木下層の下位の横田層が千葉市域においては S 波速度が 300m/s 程度以上であり、標準貫入試験で N 値 50 以上が確認される比較的硬い地盤であることから、県内のボーリング調査は木下層の下端付近まで実施されていることが多い。船橋市域においては木下層の基底面を N 値 50 相当面としている（千葉県 (2016) 4）。
- ③ 沖積層：約 1.2 万年前の最終氷期最盛期以降（完新世）に堆積した地層である。S 波速度は 200m/s より小さいことが多い軟弱な地盤であり、地震の揺れを増幅させる地盤である。また、沖積層内の砂質土層はしばしば地震時に液状化を起こす。このため、沖積層の構造を詳細にモデル化することが、地震動予測のためには重要である。
- ④ 埋立土層：主に 1950 年代以降に東京湾岸における埋め立てにより浚渫された地盤であ

る。浚渫土により構成される地盤は非常に軟弱であり、東北地方太平洋沖地震の際には大きな被害をもたらした。

本調査では、千葉県(2016)<sup>4</sup>における地盤モデルの作成手法を参考にして、新たに50mメッシュ地盤モデルの作成を行った。(図2.2-12)。

- 1) 低地と台地の境界については、千葉県(2016)<sup>4</sup>による区分データを用いる(図2.2-13)。一般的には沖積層の分布する範囲が低地であり、台地には沖積層は分布しない。ただし、今回収集したボーリングデータ(図2.2-14)を確認したところ、台地上に位置するボーリングデータであっても、表層にN値の低い軟弱な層が見られるデータがあった。このようなボーリングデータの分布する範囲については、台地上であっても便宜上沖積層が存在するものとした。
- 2) ボーリングデータを基に、埋立土層下端の標高分布を求める(図2.2-15)。船橋市内における埋め立て範囲については、千葉県(2016)<sup>4</sup>を用いた。
- 3) ボーリングデータを基に沖積層基底面(沖積層とその下位の層との境界面)の標高分布を求める。沖積層基底面の標高分布については、千葉県(2016)<sup>4</sup>において、木村ほか(2013)<sup>9</sup>などの方法により沖積層の成り立ちを考慮したモデル化が行われている。今回船橋市より提供を受けたボーリングデータの全てについて沖積層基底面標高を判定し、千葉県(2016)<sup>4</sup>による沖積層基底面標高データとの差分を求め、これを補間することにより沖積層基底面の標高分布を求めた(図2.2-16)。
- 4) ボーリングデータを基に、木下層基底面(N値50相当面)の標高分布を求めた(図2.2-17)。
- 5) 下総層群(地蔵堂層)基底面の標高分布については、千葉県(2016)<sup>4</sup>を用いた。
- 6) 木下層基底面以浅について、ボーリングデータを基に水平方向50mメッシュ、深さ方向1m間隔の土質区分のモデルを作成した。
- 7) 作成した土質区分のモデルから、千葉県(2016)<sup>4</sup>による標準貫入試験によるN値とS波速度との関係式を用いて、速度構造のモデルを作成した。
- 8) 木下層基底面以深については、千葉県(2016)<sup>4</sup>による水平方向50mメッシュの速度構造のモデルを採用した。

作成した50mメッシュ地盤モデルの例を図2.2-18に示す。

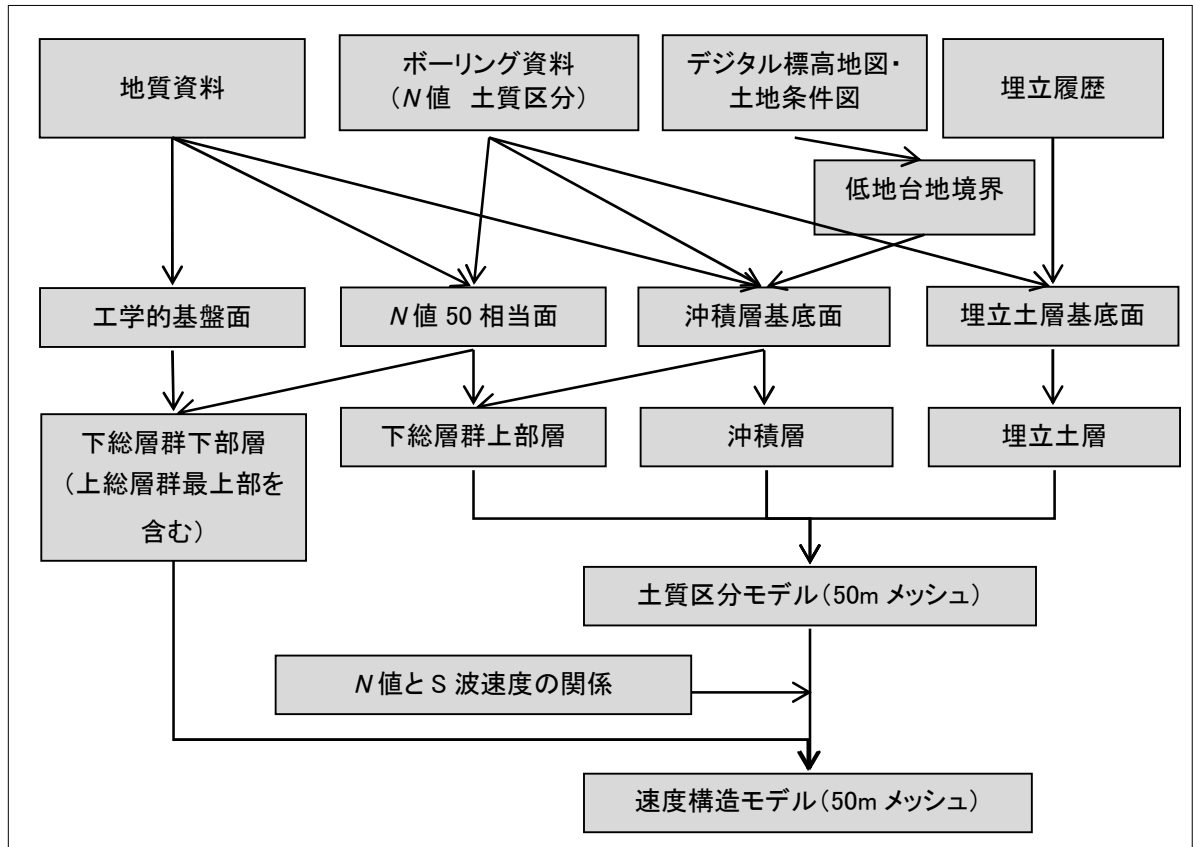


図 2.2-12 浅部地盤モデル作成のフロー図



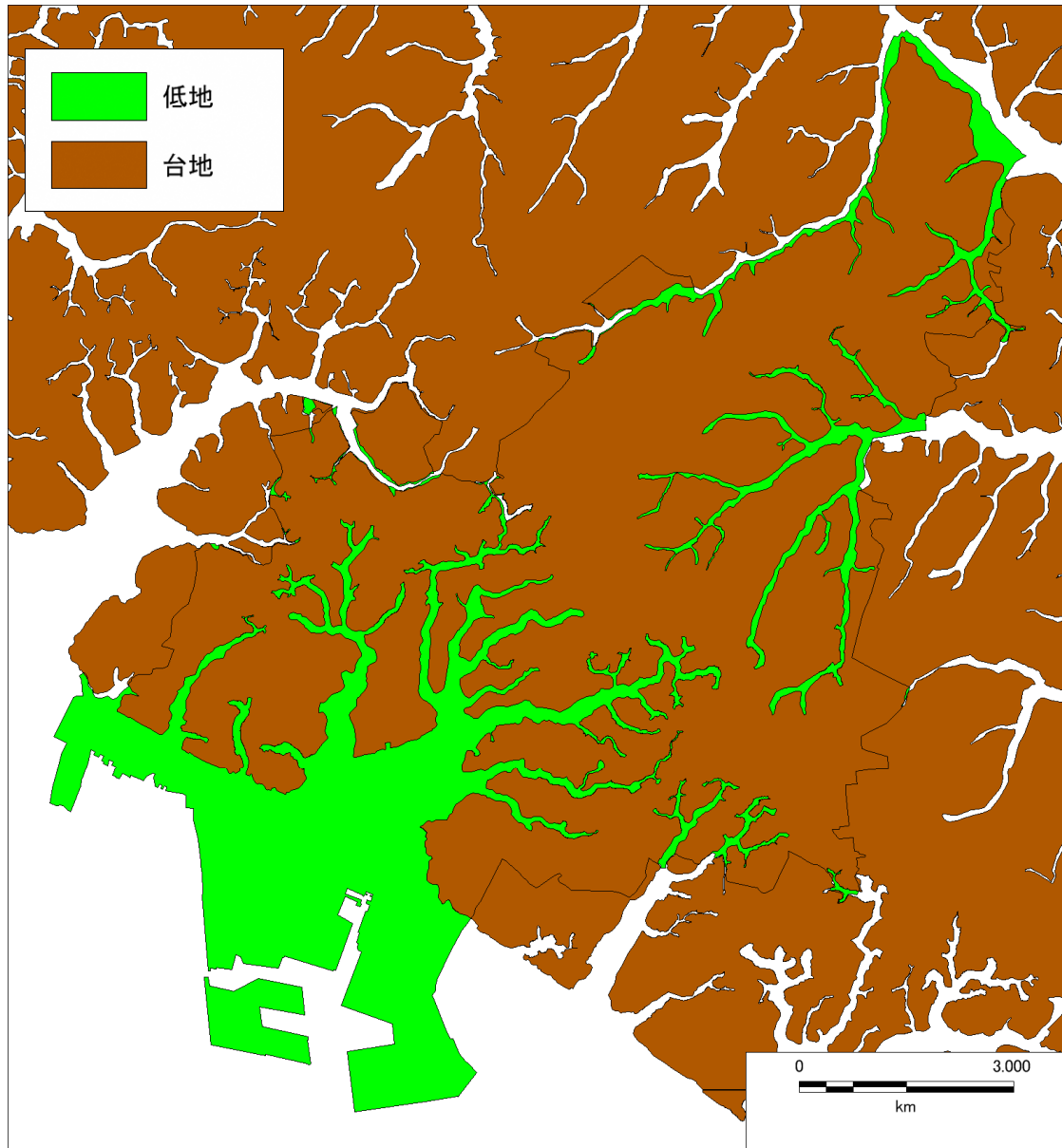


图 2.2-13 低地台地境界の分布

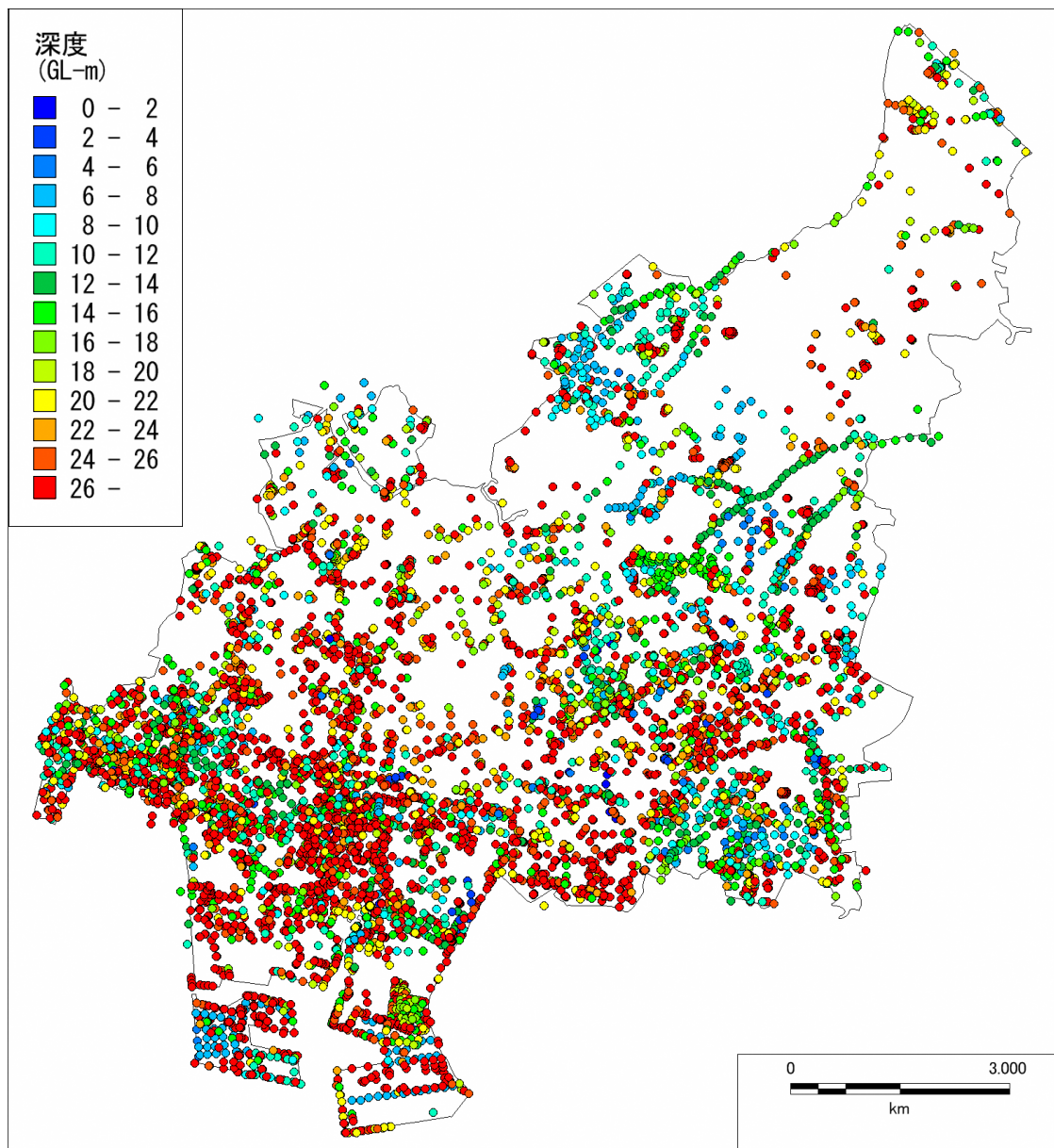


図 2.2-14 市所有のボーリングデータの分布 (7,075 本)

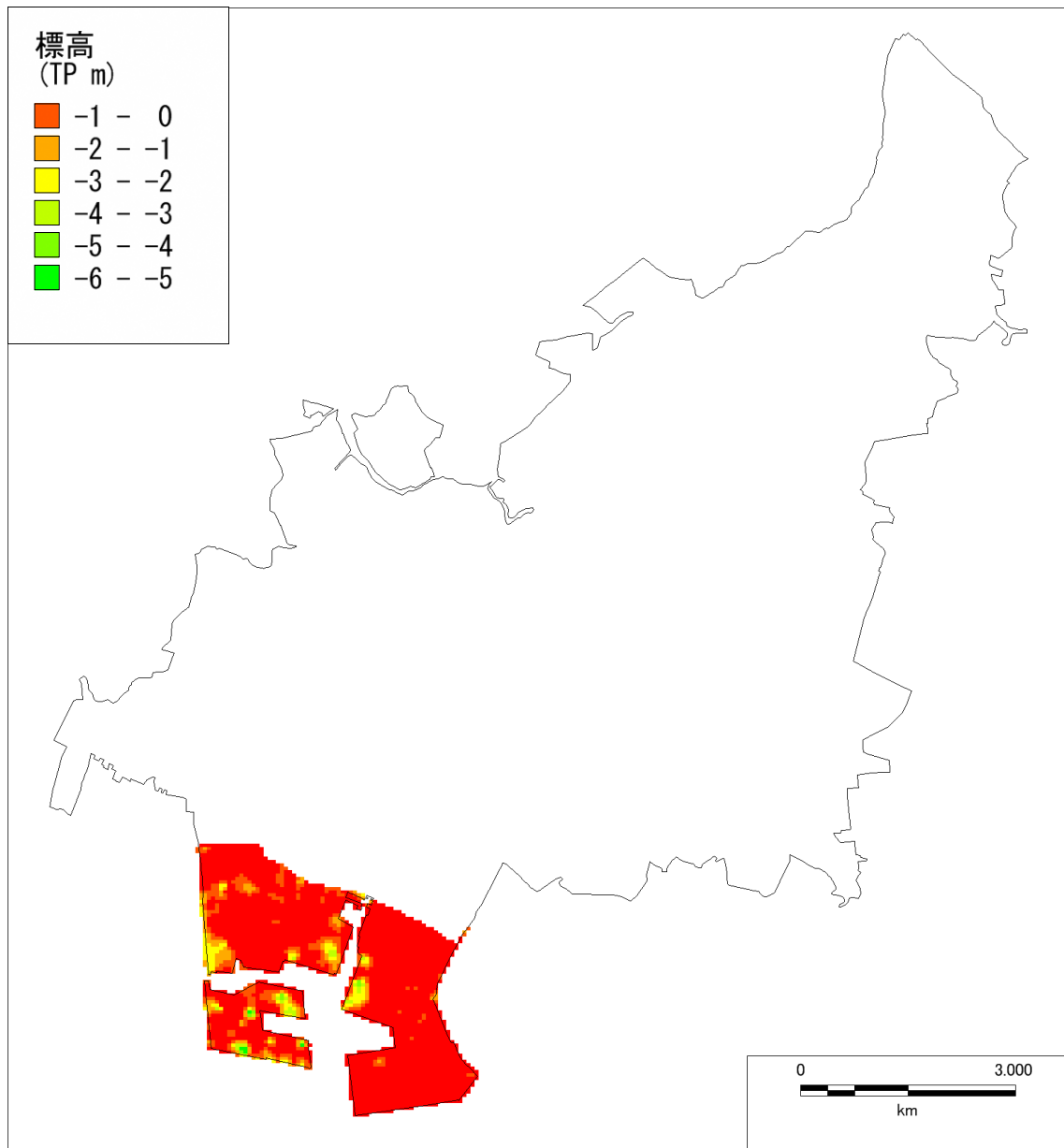


図 2.2-15 埋立土層の標高分布

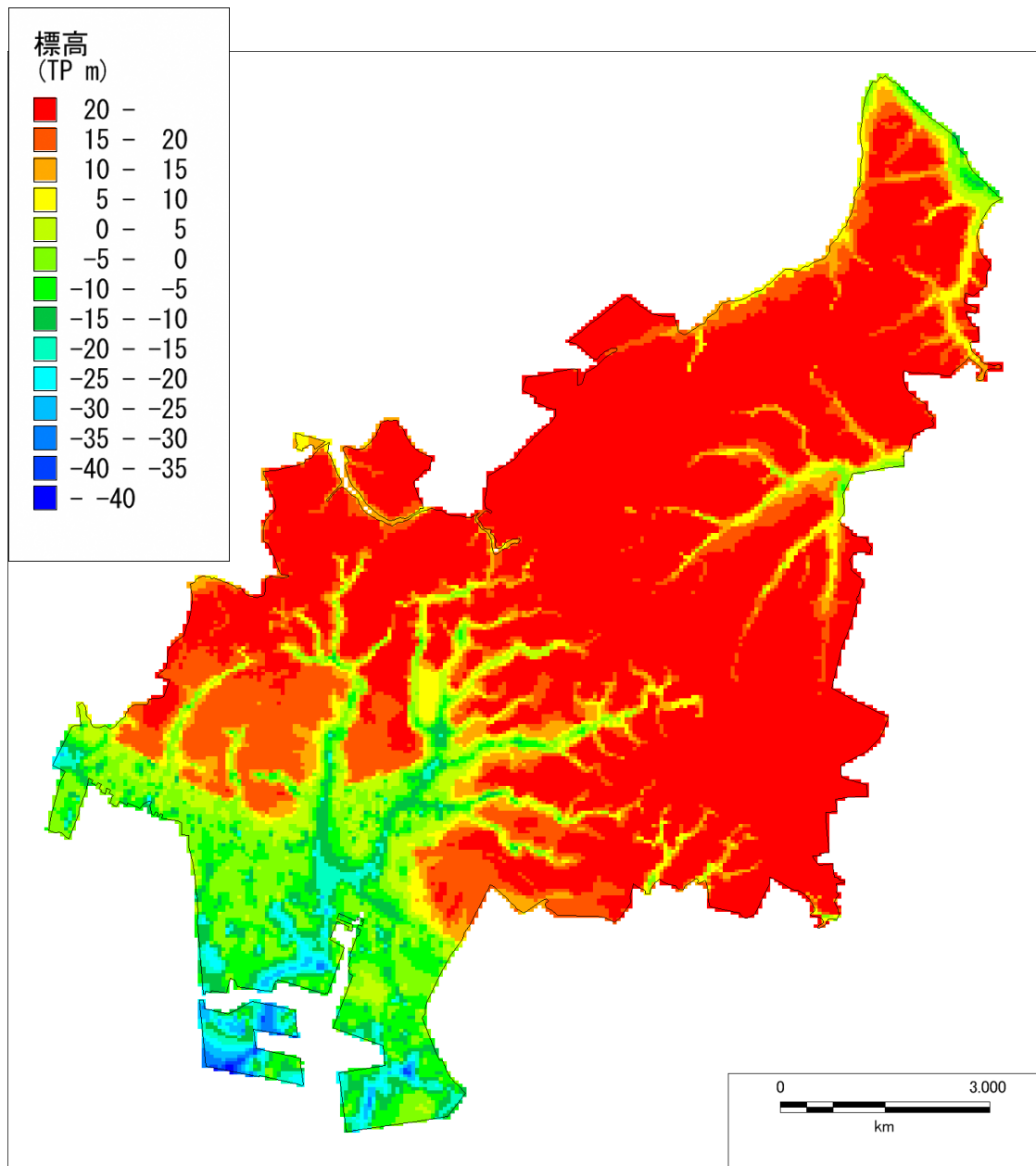


図 2.2-16 沖積層基底面の標高分布  
(沖積層が分布しない範囲については、地表面標高)



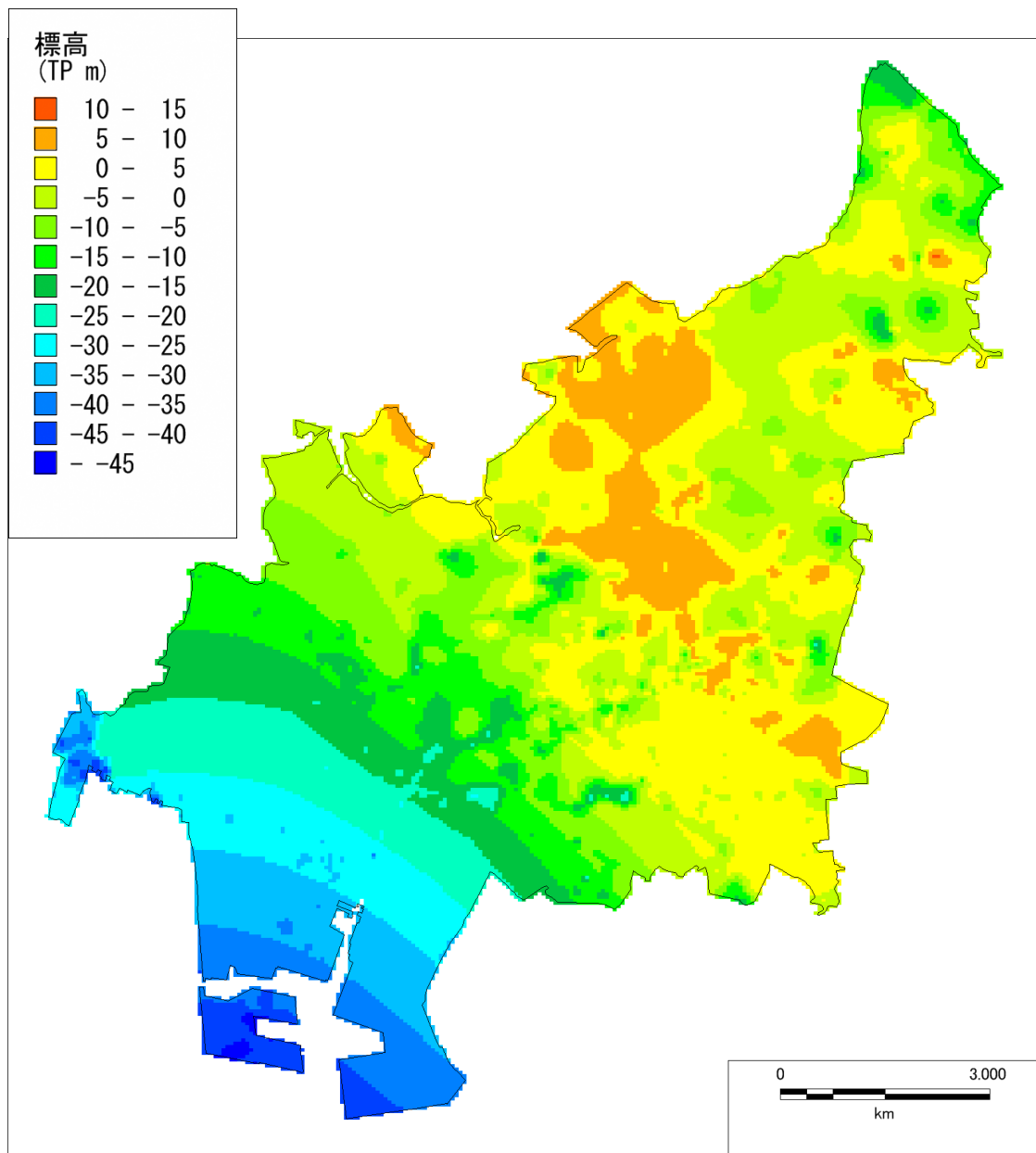


図 2.2-17 N50 相当層上面の標高分布

土質断面

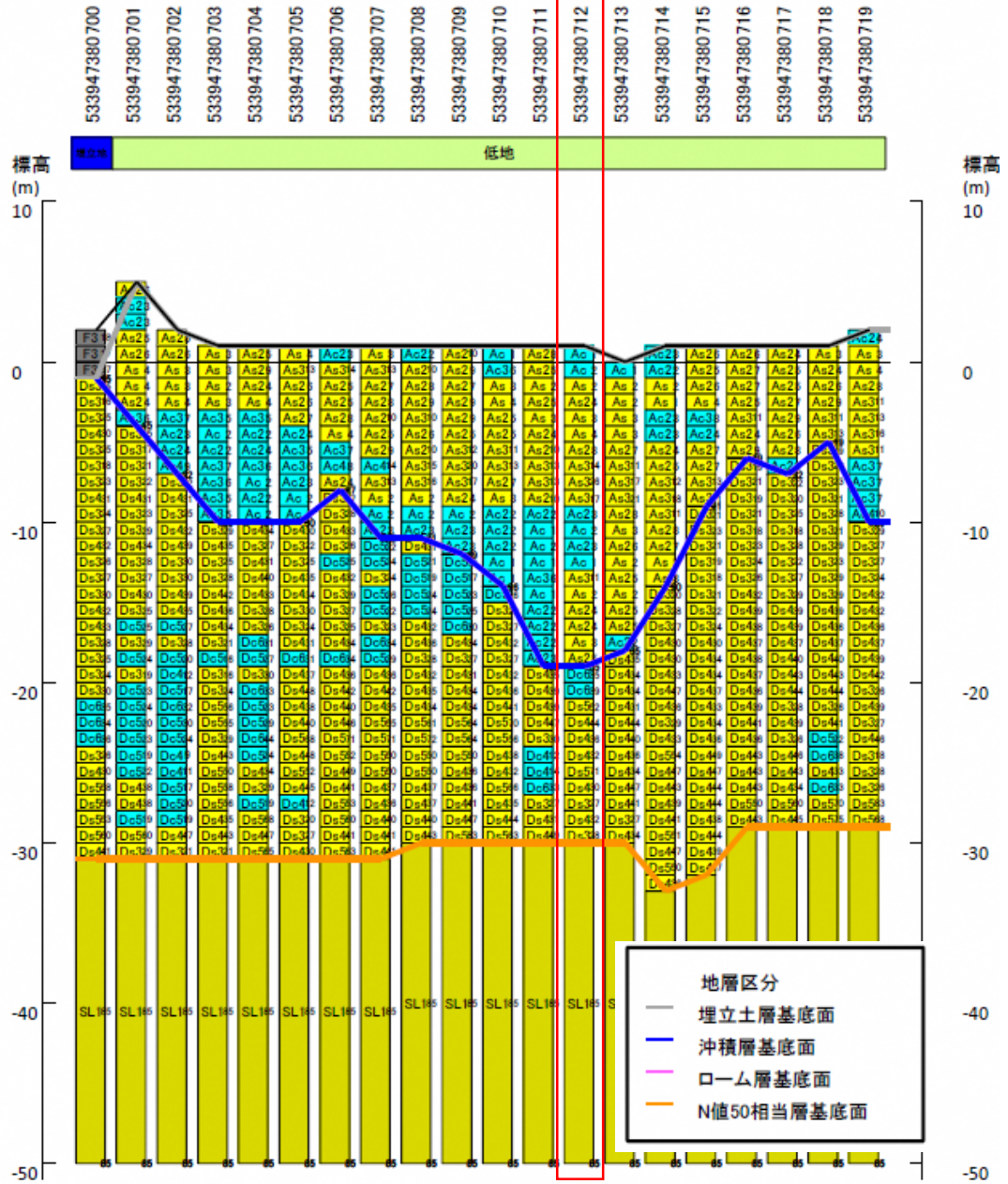


図 2.2-18 船橋市役所付近の50mメッシュ地盤モデル