

第3章 地盤モデルの作成

地震動計算のためには、地震波の伝播・増幅特性に関連する地盤モデル（速度構造モデル）の作成が必要になる。速度構造モデルの作成にあたっては、まず地質（地盤）状況を三次元的に想定する必要があることから、三次元的地質（地盤）モデルを作成する。本調査では、地盤構造を大きく深部地盤と浅部地盤との2つに分けて、それぞれについてモデルを作成した。（表3-1、図3-1）

表3-1 本調査における地盤モデルの概要

今回作成したモデル	S波速度 (m/sec)	地質区分
浅部地盤（モデル） N値50	100~300 (土質とN値から換算)	埋立土 沖積層 ローム 下総層群上部（木下層）
	300	下総層群下部 (横田層～地蔵堂層)
	350	
	400	
工学的基盤*	400	上総層群～先第三系
深部地盤（モデル）	500~2900	
	地震基盤*	3200

※広域に速度構造モデルを構築する必要がある為、地層境界（木下層下底ほか）を速度構造の境界としてモデルを作成している。

***工学的基盤**：建築物の杭基礎の支持層となる、ある程度の硬さを持った地盤のこと。県内の平野部では地表から数10m程度の深さである。

通常ボーリング調査は工学的基盤面まで実施されるため、工学的基盤以浅については詳しいモデル化が可能である。このため、工学的基盤以浅と以深とを分けて解析することがよく行われる。

***地震基盤**：地盤の硬さが水平方向に概ね一定であり、地震動の増幅特性が均質であると想定される地盤のこと。この性質のため、地震基盤面上の地震動の大きさは地震のマグニチュードと震源距離で表すことが出来る。

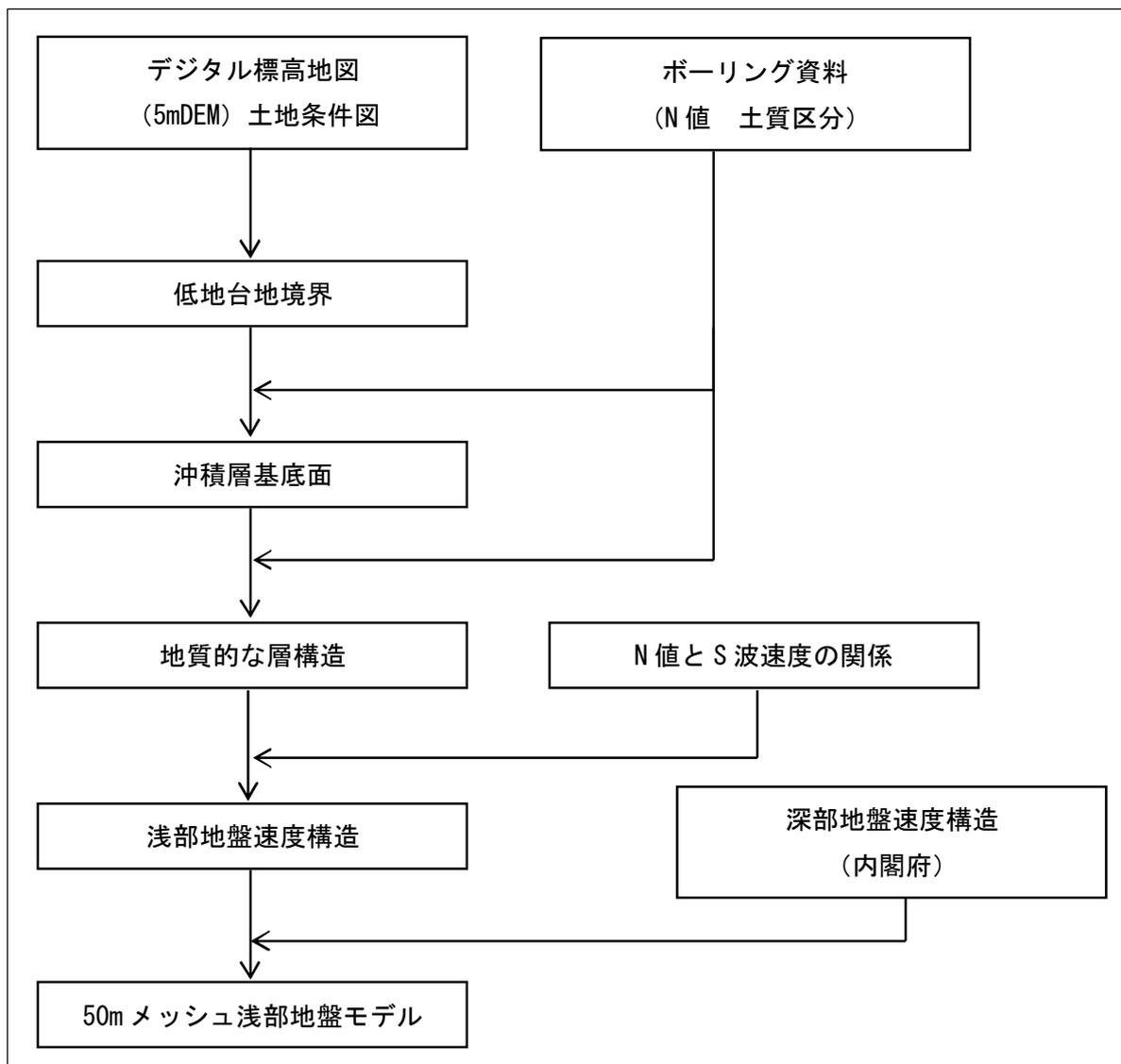


図 3-1 地盤モデル作成のフロー図

3.1 深部地盤

深部地盤は、地震基盤（S波速度が3.2km/s以上となる地殻最上部層）から工学的基盤（S波速度0.5km/s以上となる地盤）までを合わせたものである。深部地盤の構造は、コンビナート施設や超高層建築物等の被害に影響のある長周期地震動の想定において重要である。このため、千葉県域だけでなく、想定地震の震源域を含む広い範囲についてカバーするモデルを作成する必要がある。最新の知見を反映させることが望ましいので、本調査では、S波速度0.5km/secまでの深部地盤について、首都直下地震モデル検討会（内閣府2013）によるモデルを採用した（図3-2）。

※地震基盤面 $V_s=3200\text{m/sec}$ の上面、工学的基盤面は $V_s=500\text{m/sec}$ の上面とする。

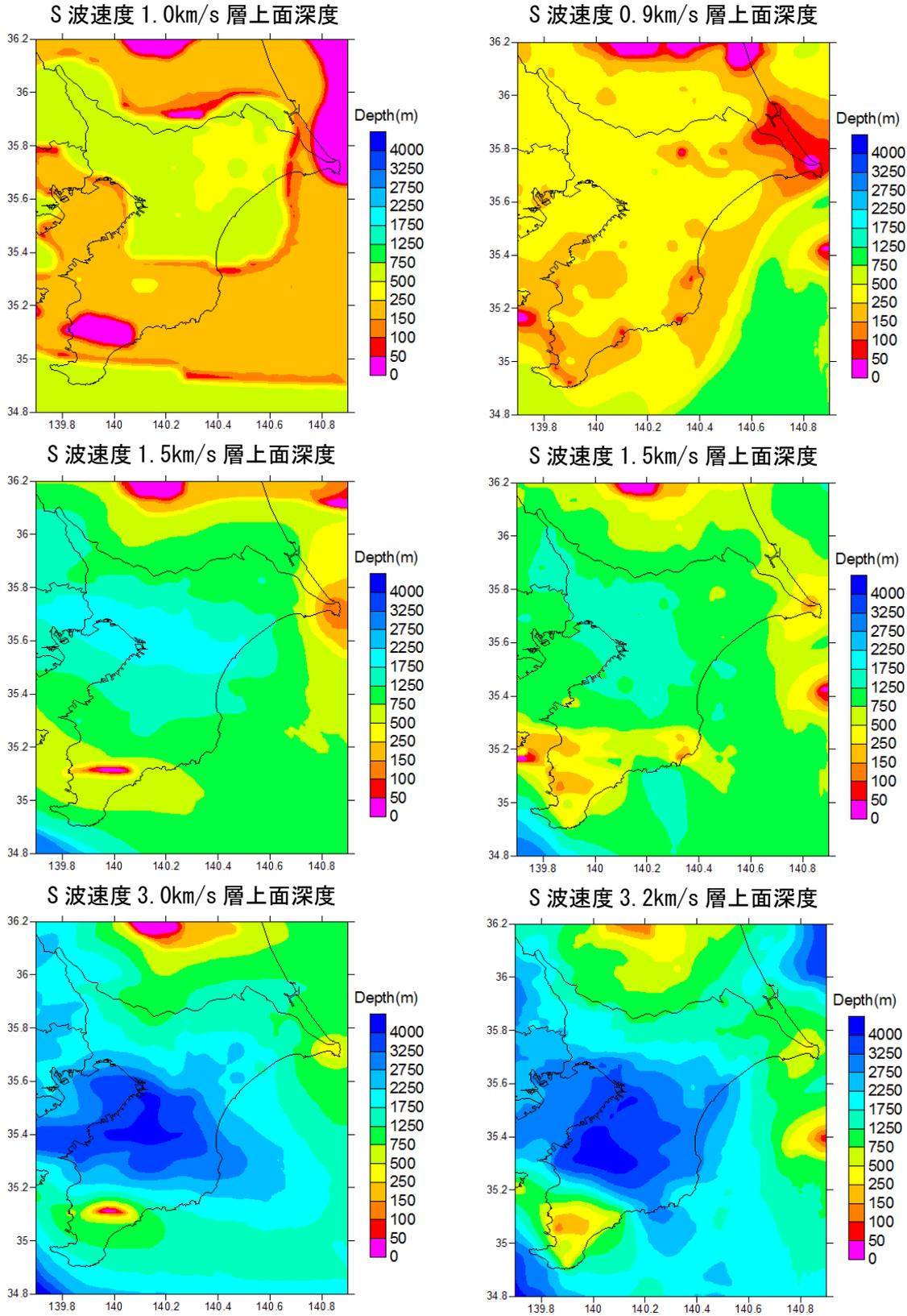


図 3-2 深部地盤モデルの比較 (左 : 千葉県 2008、右 : 内閣府 2013)

3.2 浅部地盤

浅部地盤は、工学的基盤面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。

千葉県では 2011 年の東北地方太平洋沖地震の際に、海岸や旧河道の埋立地において広域な液状化が発生した。液状化発生状況の違いは、同じ埋立地でも埋立材料（地質）によって大きく異なることが判明した。このため、従来の地震動予測においては 250m メッシュ* 単位（メッシュ数：80,534）で地盤モデルを作成していたが、このような液状化被害状況を再現するためには、250m メッシュよりも詳細な 50m メッシュ*（メッシュ数：2,076,026）でのモデル化を行った。

液状化現象は、浅層部である埋立層において発生しているが、その下位の沖積層の分布形状も液状化に影響を与えることから、木村ほか（2013）¹⁸などの方法により沖積層の埋没地形面を考慮したモデル化を行った。

3.2.1 ボーリングデータの収集整理

前回までの調査時に収集したボーリングデータ約 5 万本に加えて、新たに市町村等の協力を得てボーリングデータの収集を行った（図 3-3）。

新たに収集したボーリングデータは、8,005 本（うち紙資料 2,038 本）である（表 3-2）。

3.2.2 沖積層低地台地境界の設定

本調査では浅部地盤モデルの重要性を踏まえ、低地と台地の境界を詳細に読みとることとした。まず、沖積層の分布域と低地部へと流入する谷筋の位置を把握するための基礎データとして、国土地理院 5mDEM の傾斜区分図をベースにして低地台地の境界を読み取り、低地台地境界データを作成した（図 3-4）。

なお、5mDEM を用いていることから、幅 5m 未満の低地及び台地は抽出されていない。

*250m メッシュ：全国の地域を緯度経度の値によって、経度 11.25 秒間隔（東西方向）、緯度 7.5 秒間隔（南北方向）に分割した領域を指す。昭和 48 年 7 月 12 日行政管理庁告示第 143 号により「標準メッシュ」として定められており、250m メッシュの正式な名称は「4 分の 1 地域メッシュ」である。一辺の長さは約 250m であるが、緯線の長さが場所によって異なるため、北半球では北に行くほどメッシュの面積は小さく、南に行くほど大きくなる。

*50m メッシュ：平面直角座標と呼ばれる座標系に準拠して、東西南北それぞれ 50m 間隔で作成した格子を、本報告書では「50m メッシュ」と呼ぶ。標準メッシュとは異なり、格子の間隔が正確に 50m であることが特徴であるが、緯度経度に準拠した 250m メッシュとは、場所によってずれが生じる。

表 3-2 新規収集ボーリングデータの一覧

	入力本数		入力総掘進長 (m)	
	全データ	紙資料	全データ	紙資料
新規収集分 総計	8,005	2,038	160,983.67	41,956.63
地質環境インフォメーションバンク	2,032	0	40,960.06	0.00
県土整備部	642	0	11,701.87	0.00
企業庁	35	0	605.83	0.00
特定事業所	82	82	2,955.99	2,955.99
市町村	5,214	1,956	104,759.92	39,000.64
既収集分	50,035			
総計	58,040			

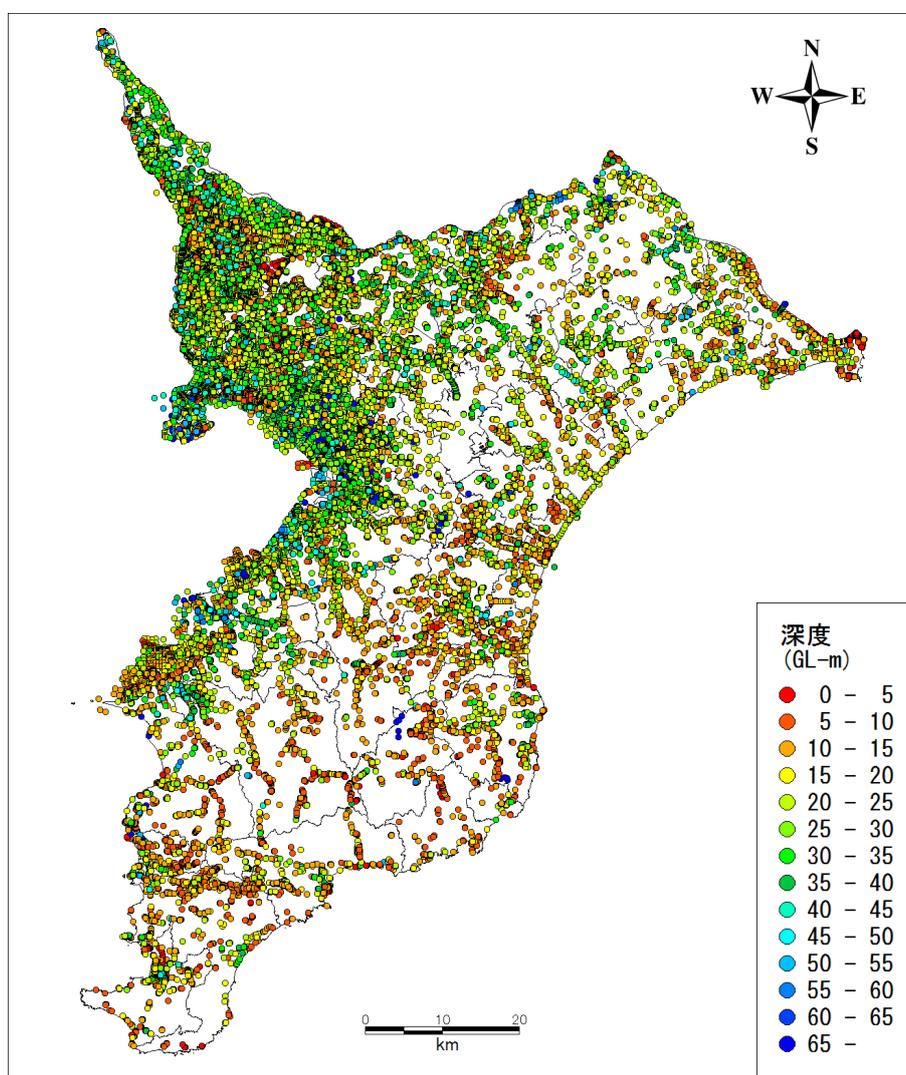


図 3-3 ボーリングデータ分布図 (新規収集分を含む)

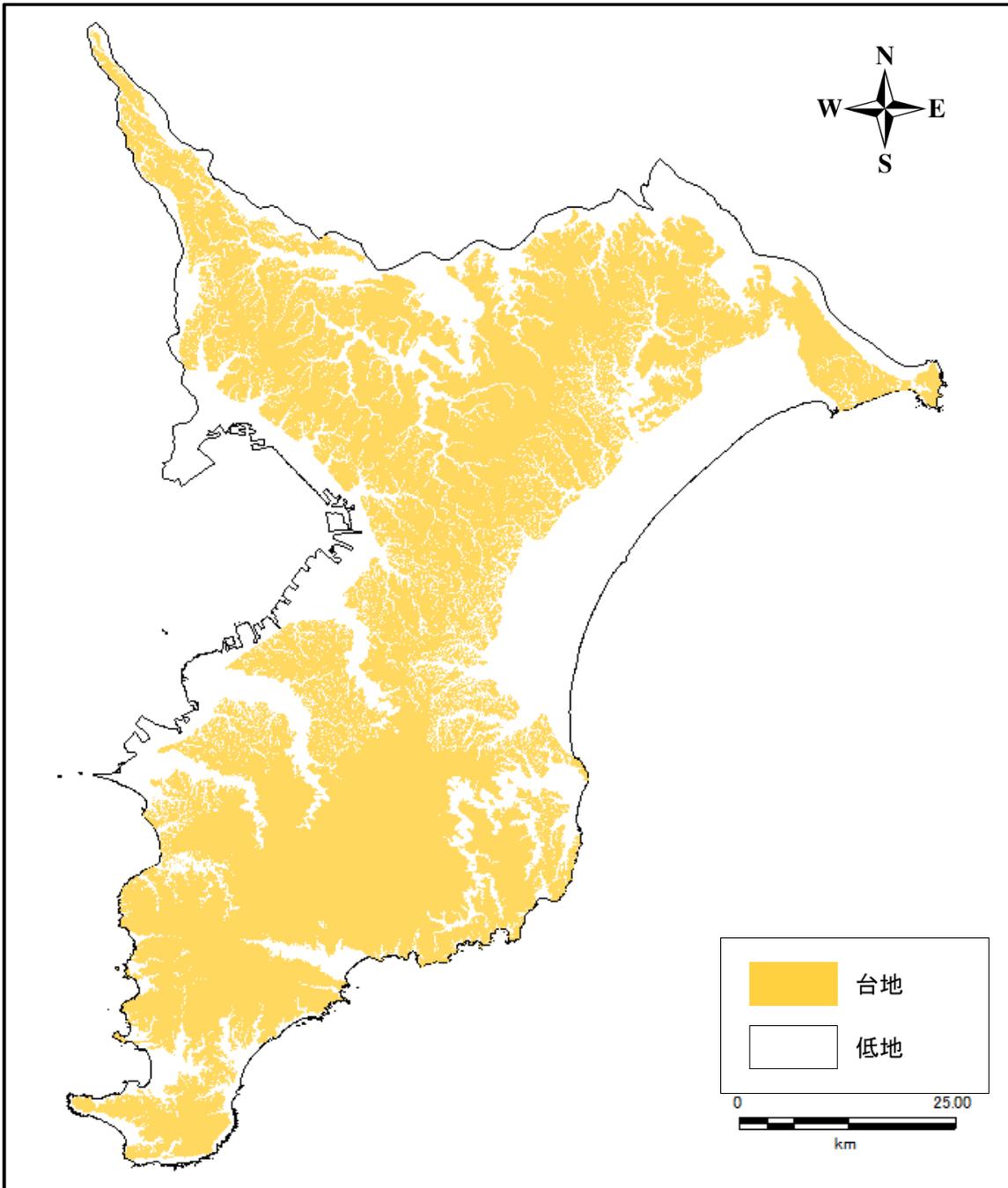


図 3-4 新たに作成した低地台地境界図
(国土地理院 5mDEM をベースに作成)

3.2.3 沖積層基底面モデルの作成

以下の手順で沖積基底面モデルを作成した。

(1) 沖積層基底面一次面モデルの作成

収集整理したボーリングデータについて、まず沖積層基底面位置の読み取りを行った。これらのデータを 50m メッシュ間隔で補間して、沖積層基底面一次面モデルを作成した（図 3-5 a）。補間に際しては、低地台地境界の標高データも追加して、低地台地境界で沖積層基底面深度が 0m になるように調整した。

(2) 谷底補填データの作成

低地台地境界データから推定される台地部の谷筋の流路及び低地部のボーリングデータから読み取った基底面深さのポイントデータを参照して、低地内の埋没谷の構造を表現するために、谷底の基底深さを表現する補填ポイントデータを作成した（図 3-5 b）。

(3) 埋没谷地形を表現した基底面モデルの作成及びその修正

沖積基底面位置データに谷底補填データを追加して再度 50m メッシュ間隔で補間して、沖積層基底面モデルを作成した（図 3-5 c）。作成した地形面をチェックして、不自然な流路の修正を繰り返して（図 3-5 d,e,f）、最終的な三次元面モデルを作成した。

最終的な三次元面モデルの例として、全県の沖積層基底面標高分布図（図 3-6）及び代表的な地域における沖積層基底面標高分布図（図 3-7～9）を示した。

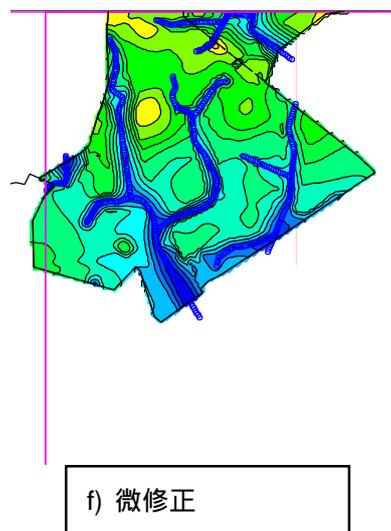
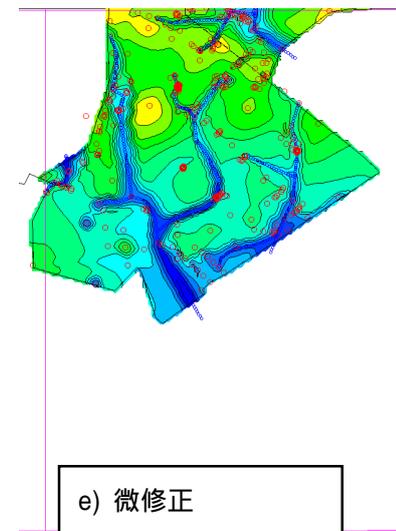
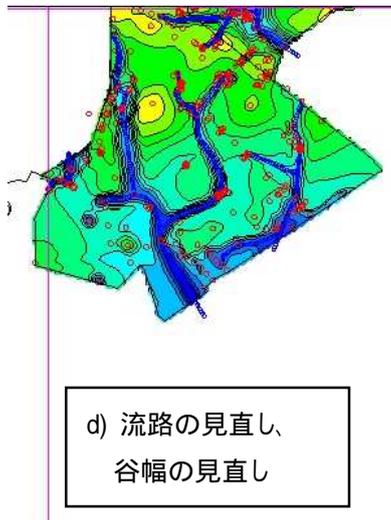
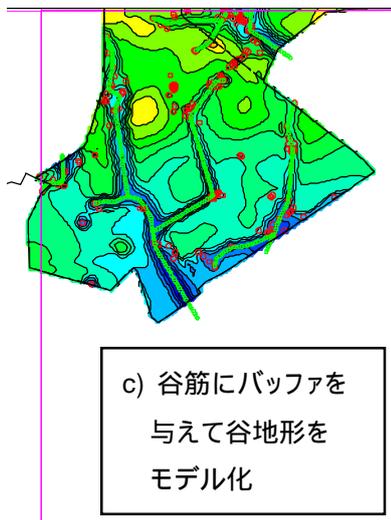
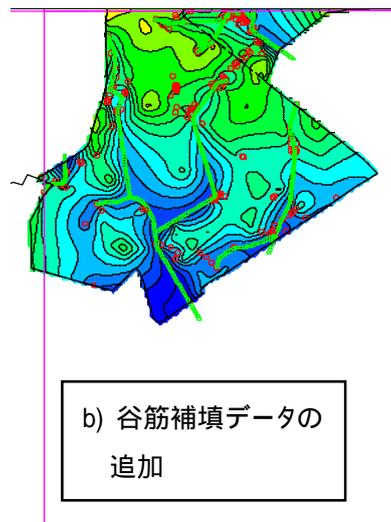
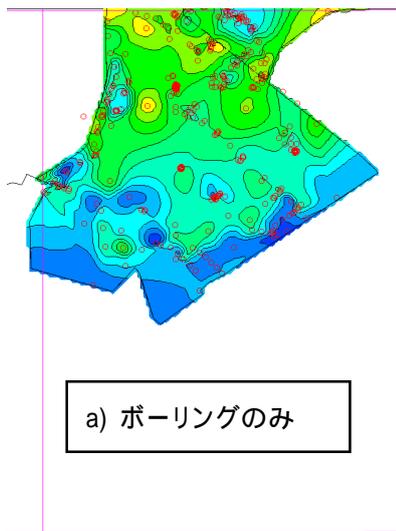


図 3-5 沖積層基底面のモデルの修正例（浦安市）

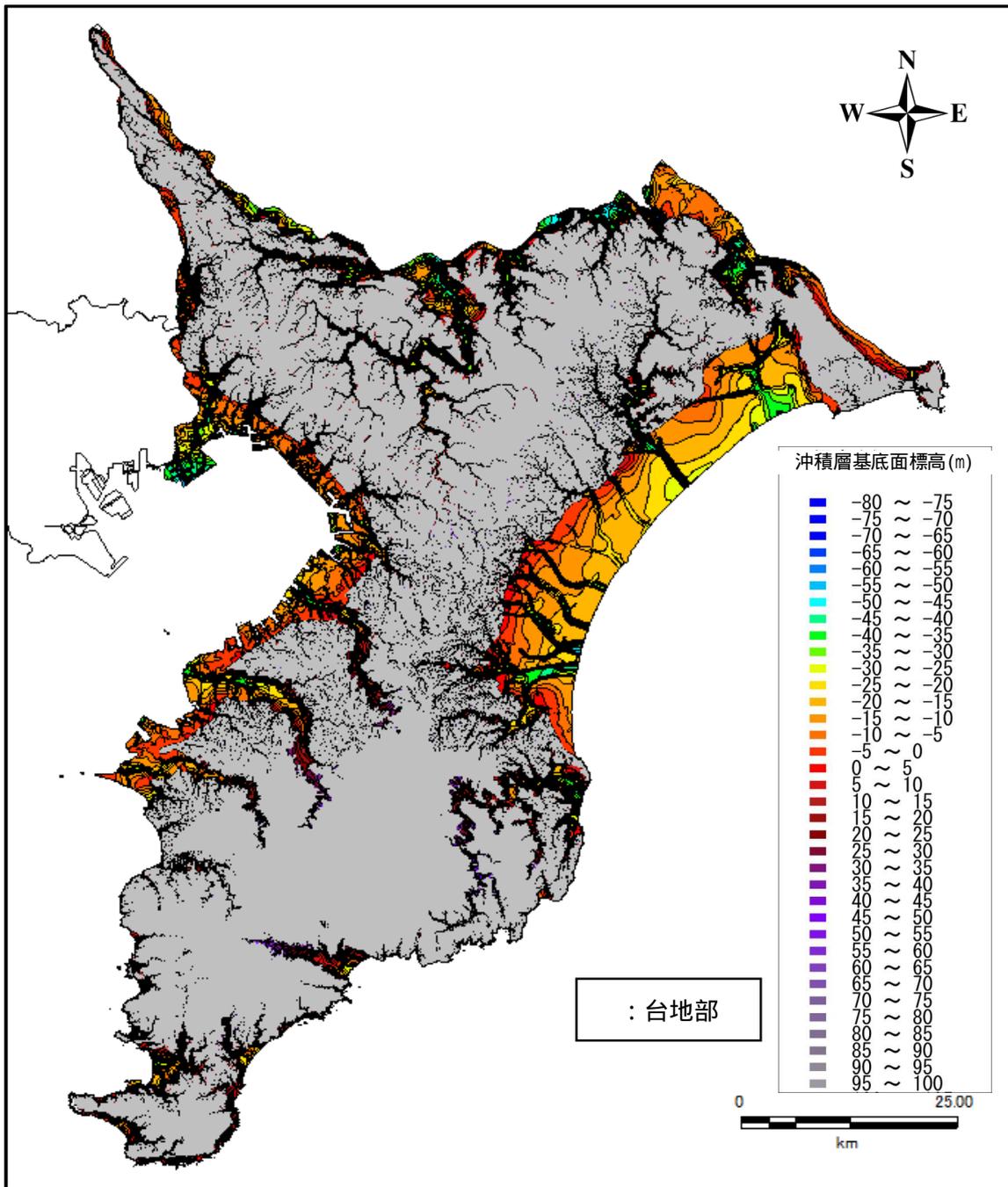


図 3-6 沖積層基底面の三次モデル (全県版)

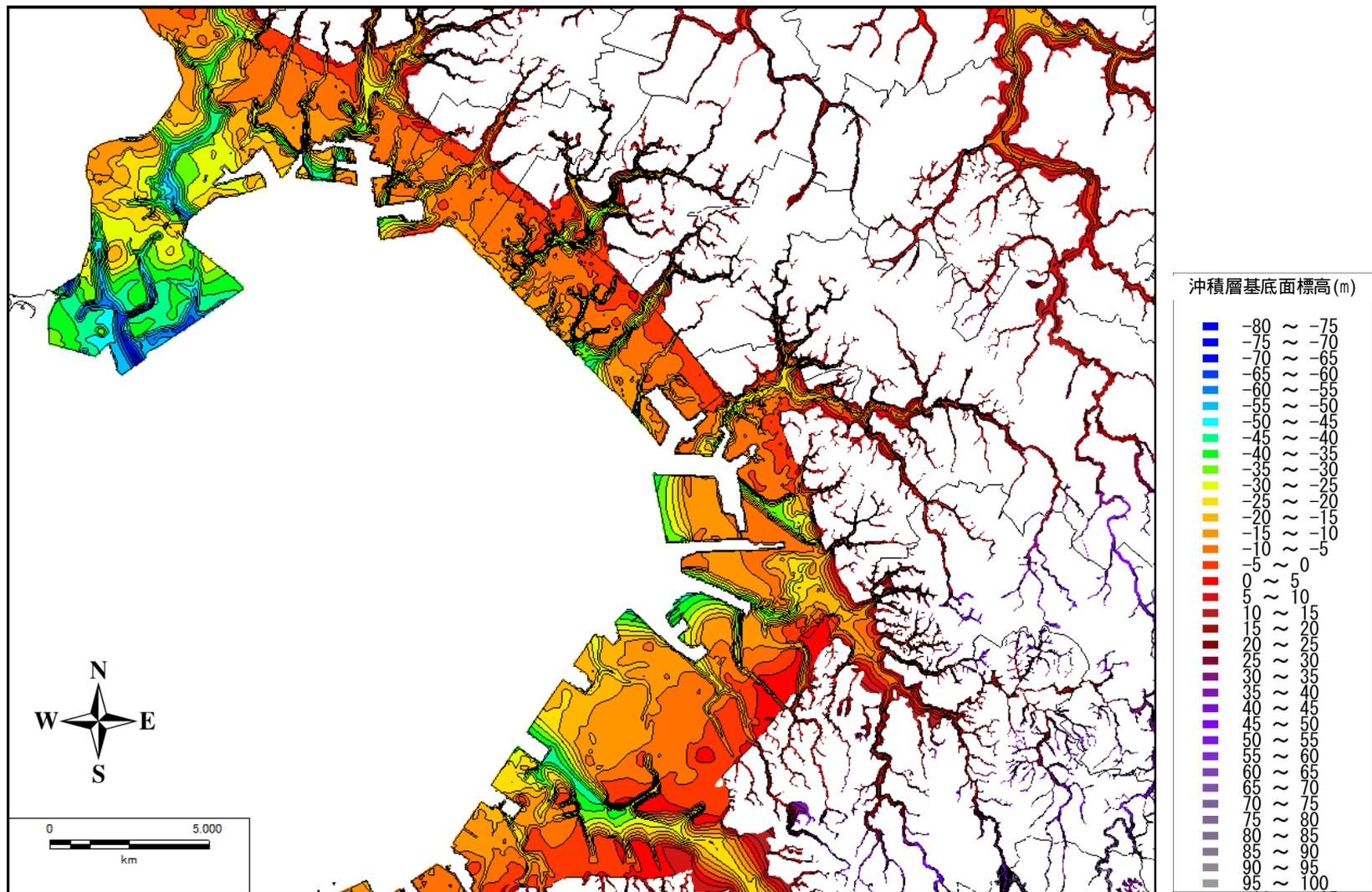


図 3-7 沖積層基底面コンター図（東京湾岸・浦安市～千葉市）

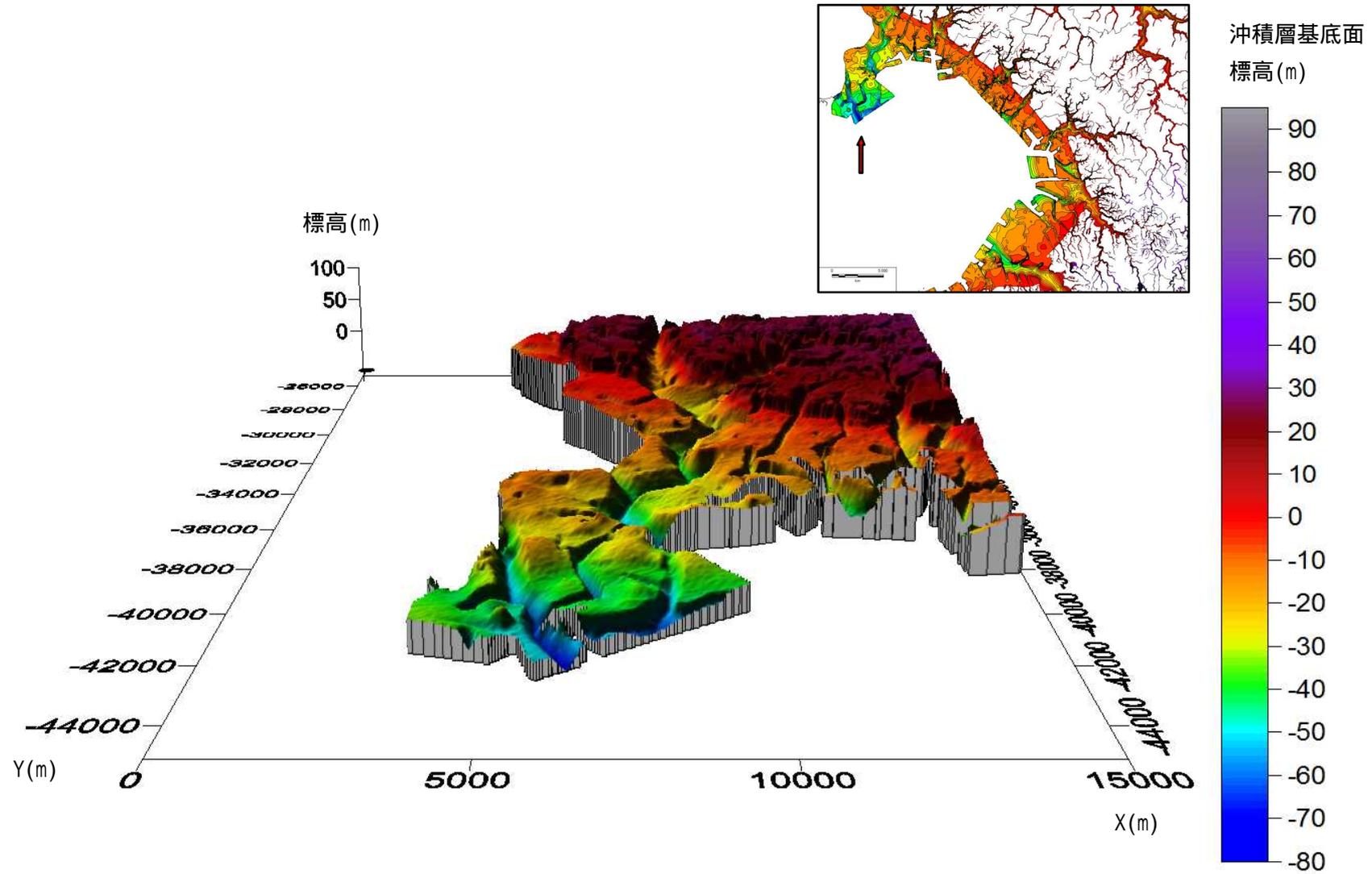


図3-8 沖積層基底面コンターの三次元分布図（浦安市・市川市）
（赤矢印からの視角・水平方向の数字は平面直角座標（ 系 ））

沖積層基底面標高(m)

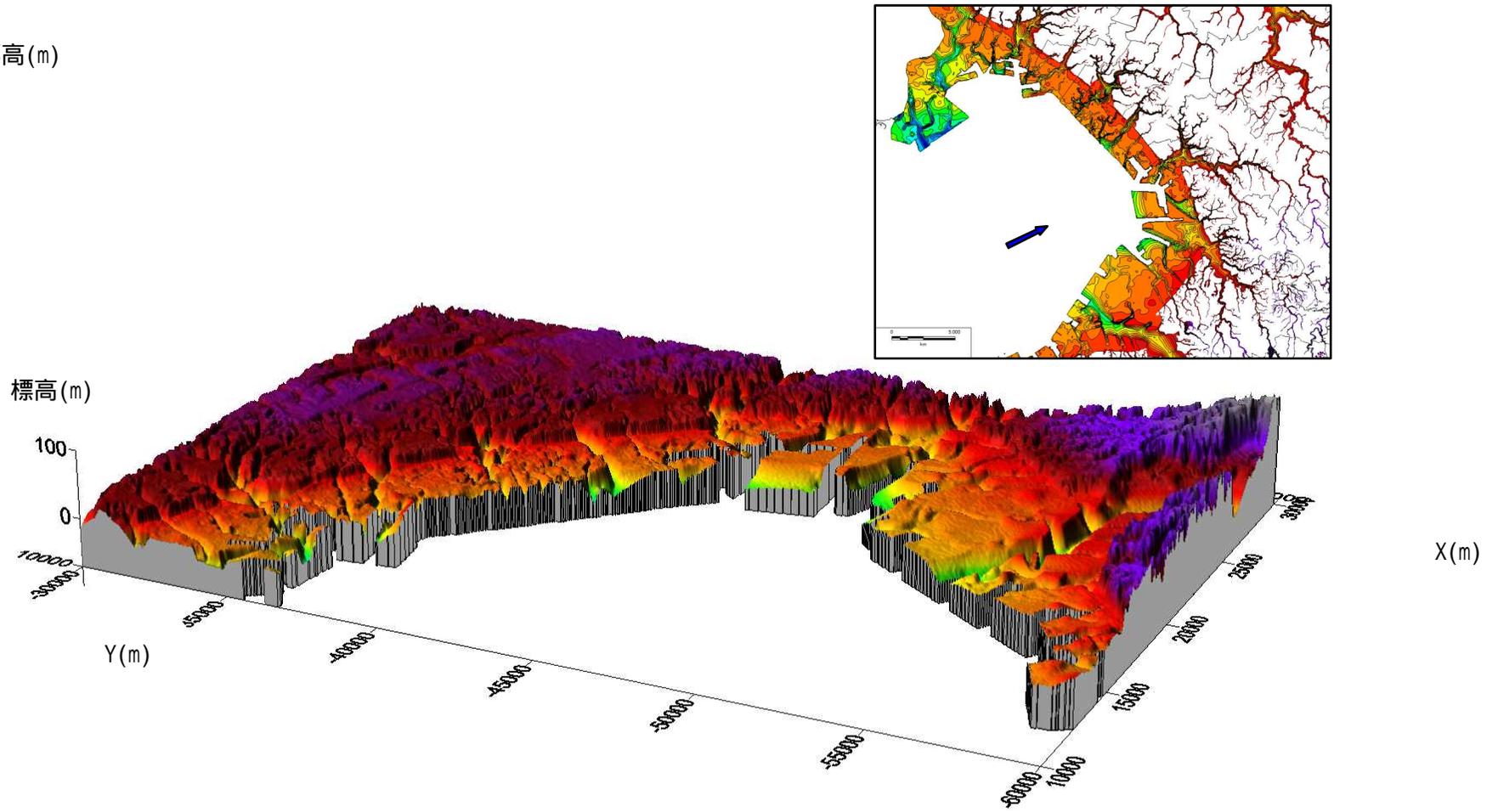
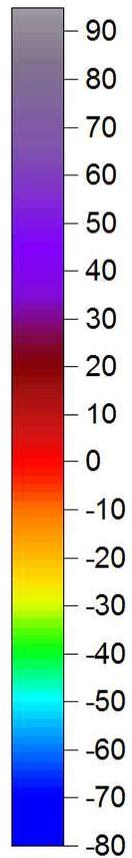


図 3-9 沖積層基底面コンターの三次元分布図（東京湾岸・千葉市）
（青矢印からの視角・水平方向の数字は平面直角座標（ 系 ））

3.2.4 東京湾岸の埋立地の履歴と埋立土層の検討

東京湾岸の埋立地の範囲及び埋立履歴について、千葉県（2002）¹⁹等を基礎資料とし、埋立履歴図（図3-10）を作成した。なお、利根川沿いや印旛沼等の埋立履歴についての資料については未収集である。

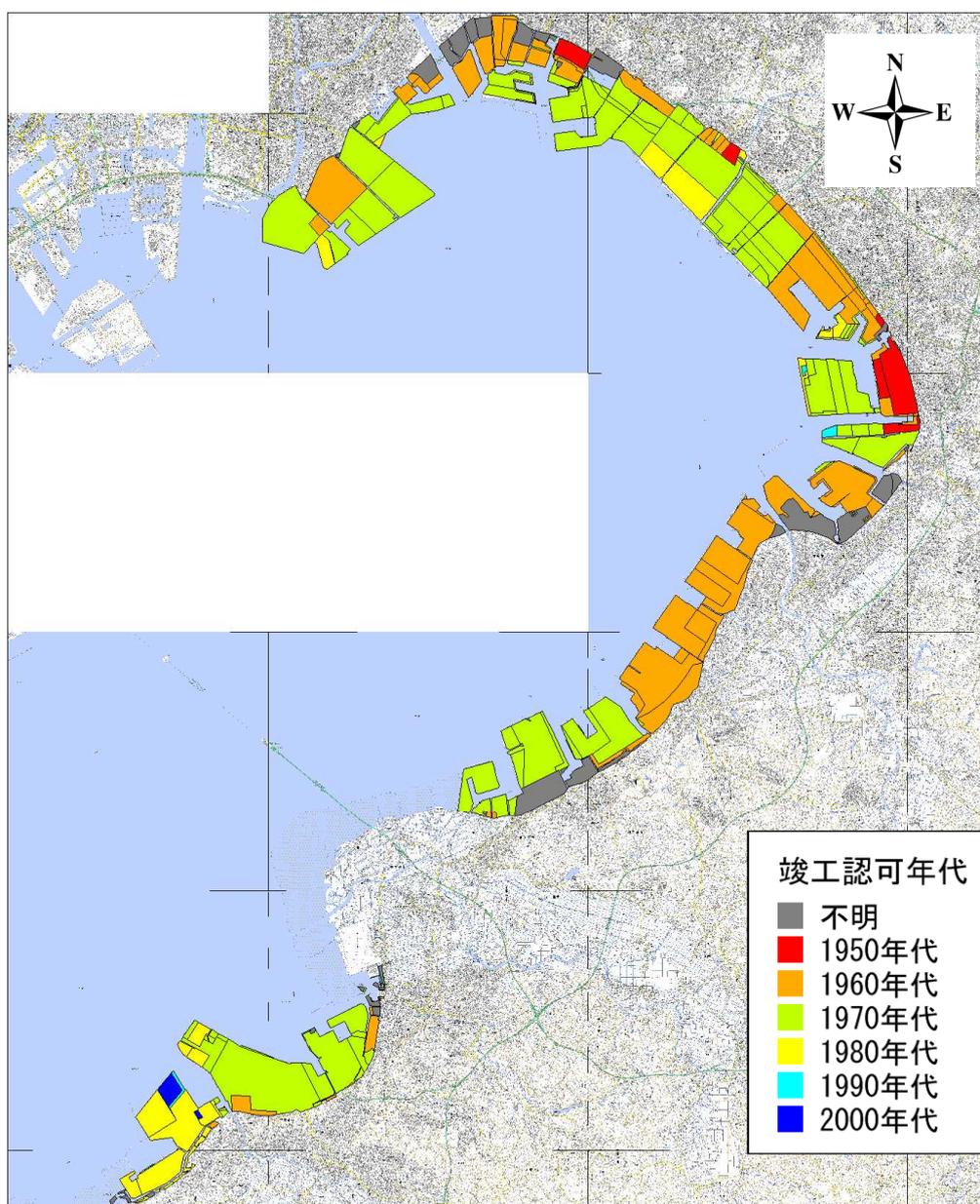


図3-10 東京湾岸の埋立履歴図

3.2.5 沖積層基底面～工学的基盤面モデルの作成

沖積層基底面から深部地盤との境界である工学的基盤面までのモデルについて、その基底面に相当する N 値 50 以上相当層上面及び下総層群基底面のコンターを作成した。

N 値 50 以上相当面については、木下層分布域では概ね木下層の下端と一致するものとみなし（表 3-1）、中里・佐藤(2001)²⁰及び 5 万分の 1 地質図『野田』（2011）²¹等の既存資料を参照してコンターを作成した。

下総層群基底面については、中里・佐藤（2001）及び千葉県水理地質図を参照してコンターを作成した。また、木下層及び下総層群の分布域については、千葉県水理地質図及び 20 万分の 1 シームレス地質図等の既存資料を参照して設定した。

代表的な断面線位置（図 3-11）における断面図を作成した（図 3-12～13）。また、代表的な地域における N 値 50 以上相当面 3 次元分布図（図 3-14）及び、工学的基盤面 3 次元分布図（図 3-15）を作成した。

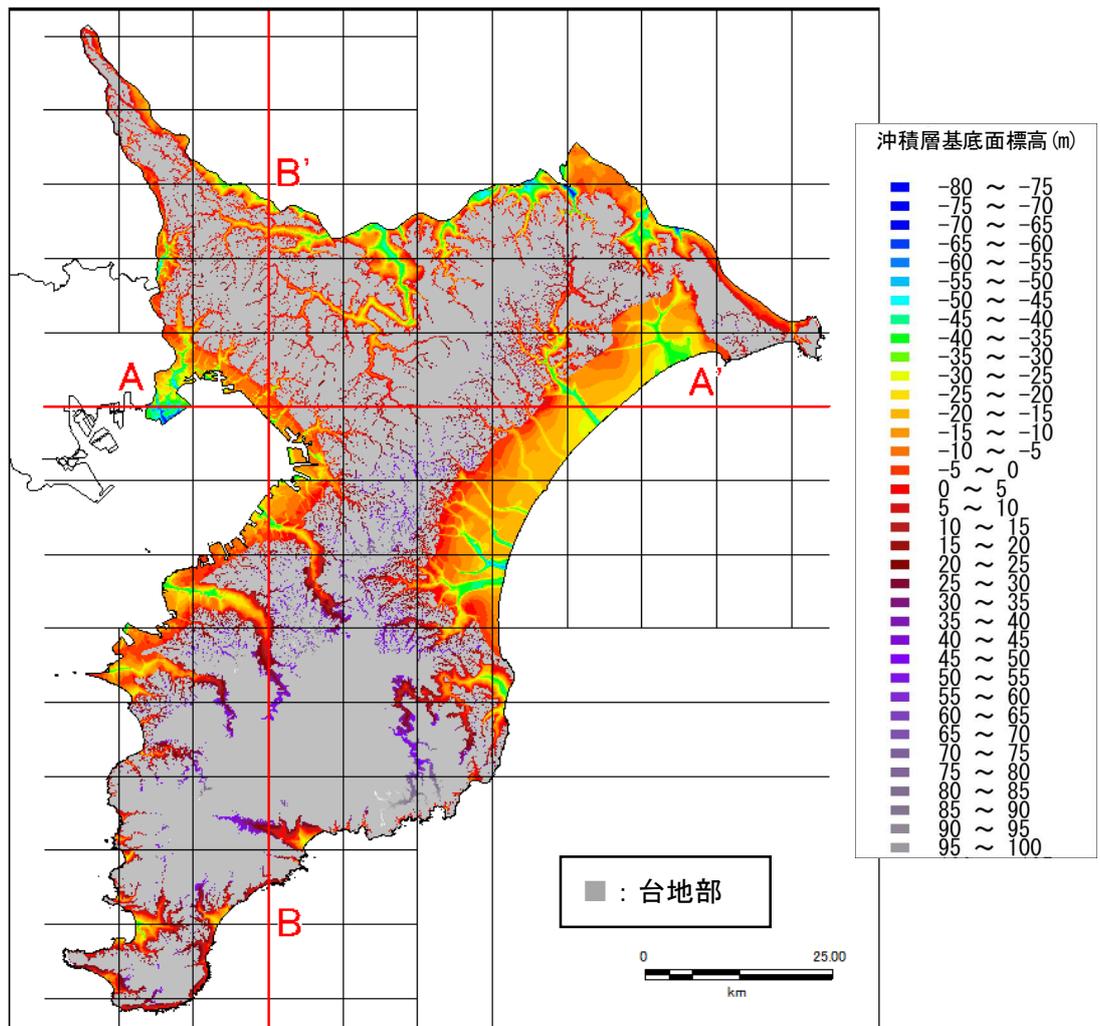


図 3-11 沖積層基底面標高及び作成した断面図の位置

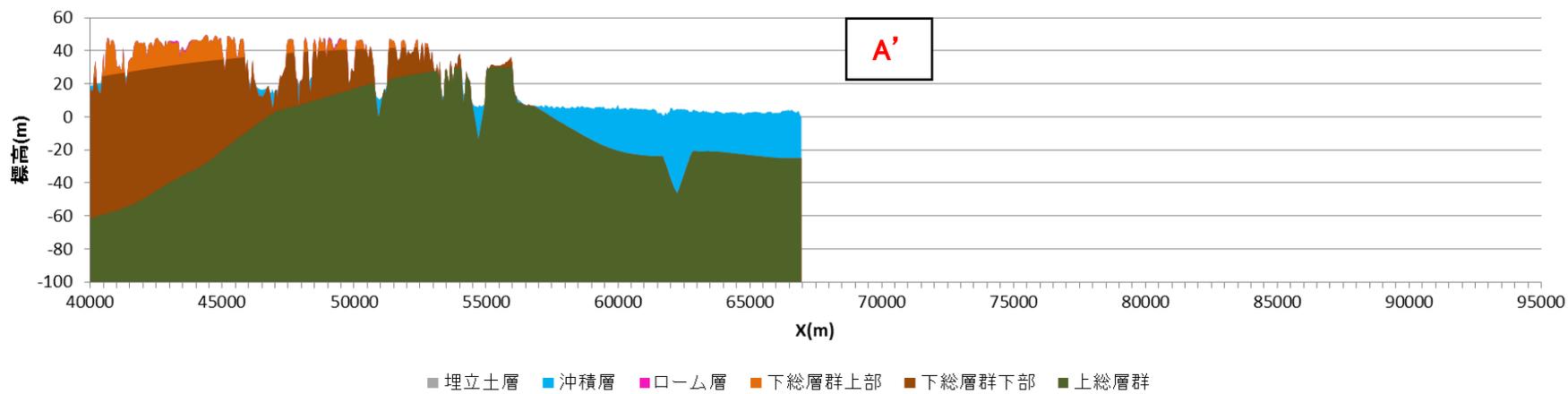
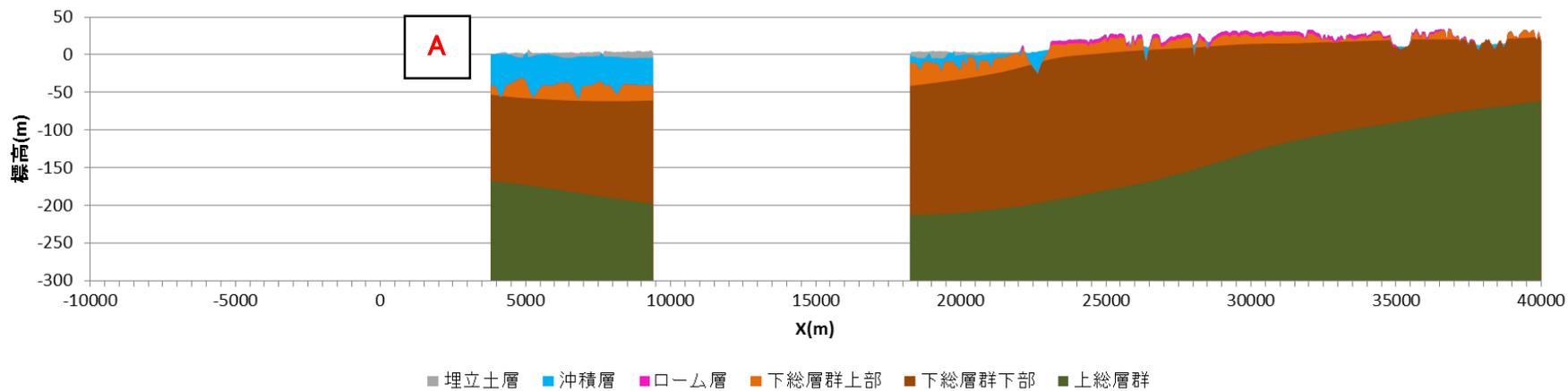


图 3-12 東西方向断面图 (Y=-40000m · X=5000~80000m) (例)

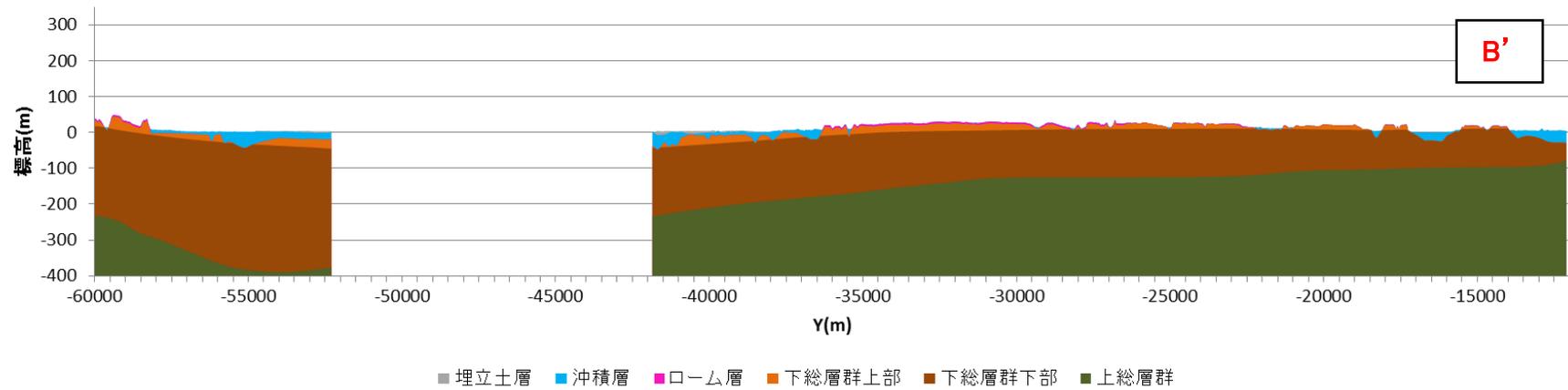
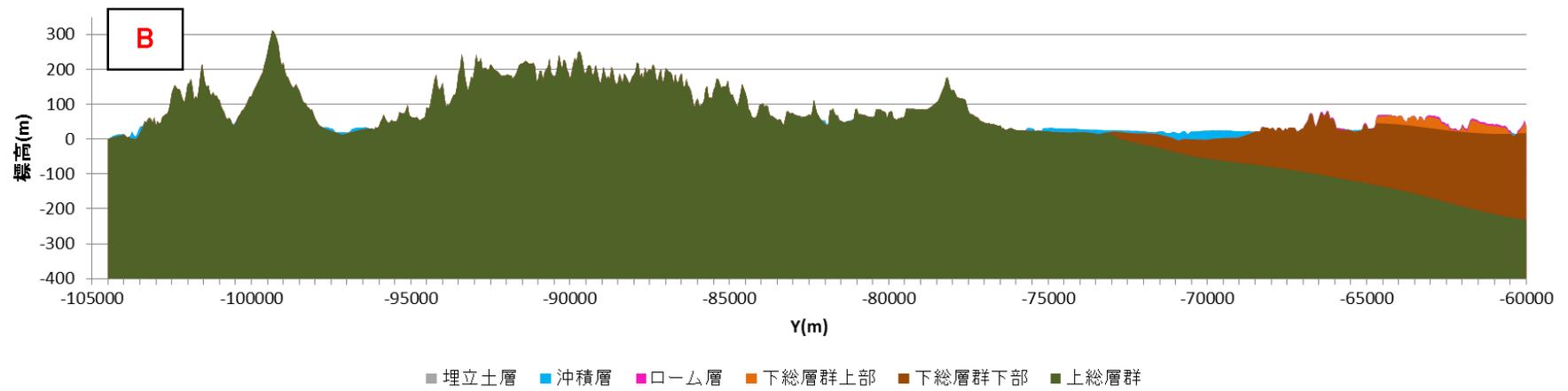


图 3-13 南北方向断面图 (X=20000m · Y=-105000~-12000m) (例)

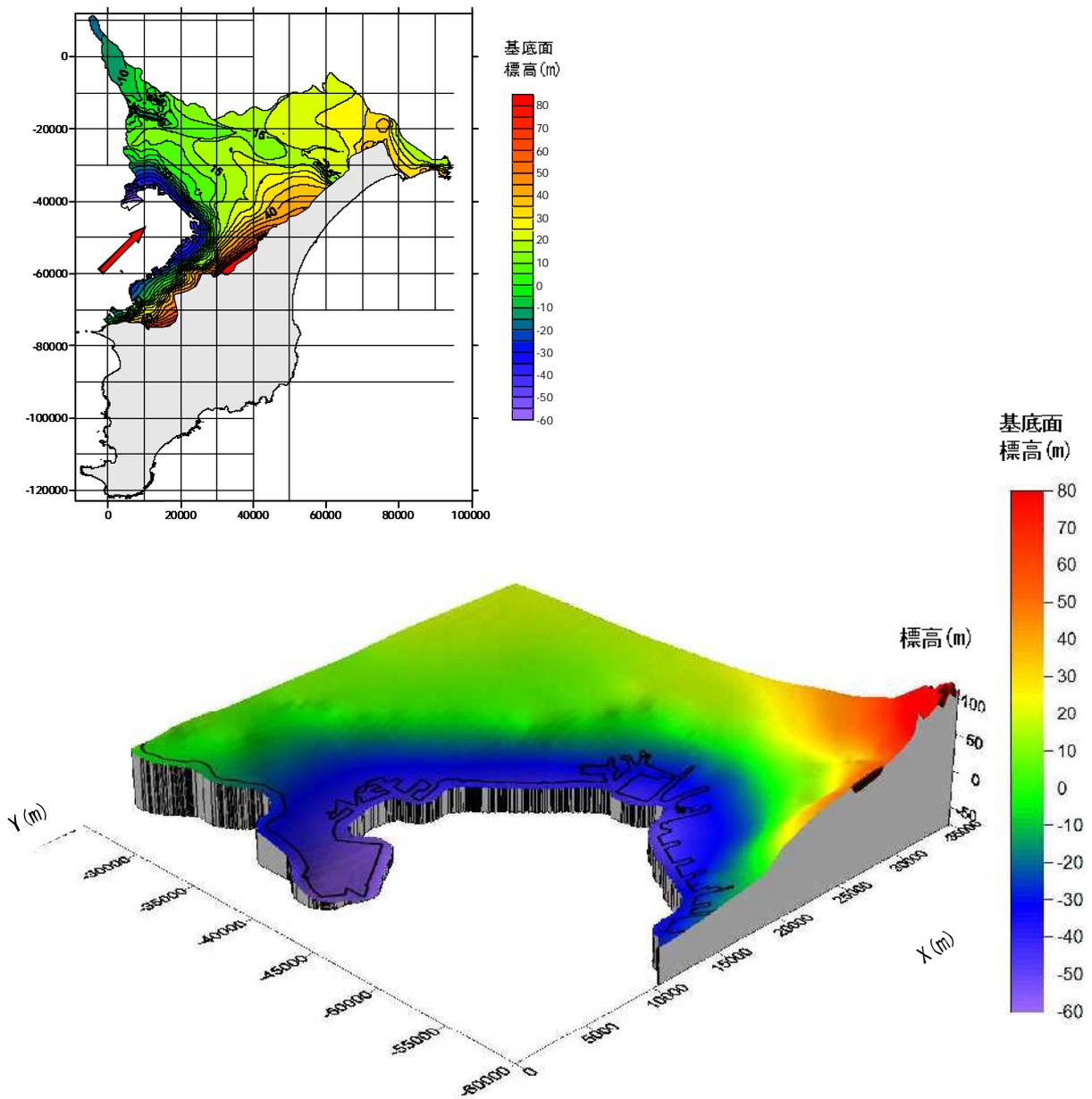


図3-14 N値50以上相当層 基底面3次元分布図（浦安市～千葉市・東京湾岸）
（赤矢印からの視角）

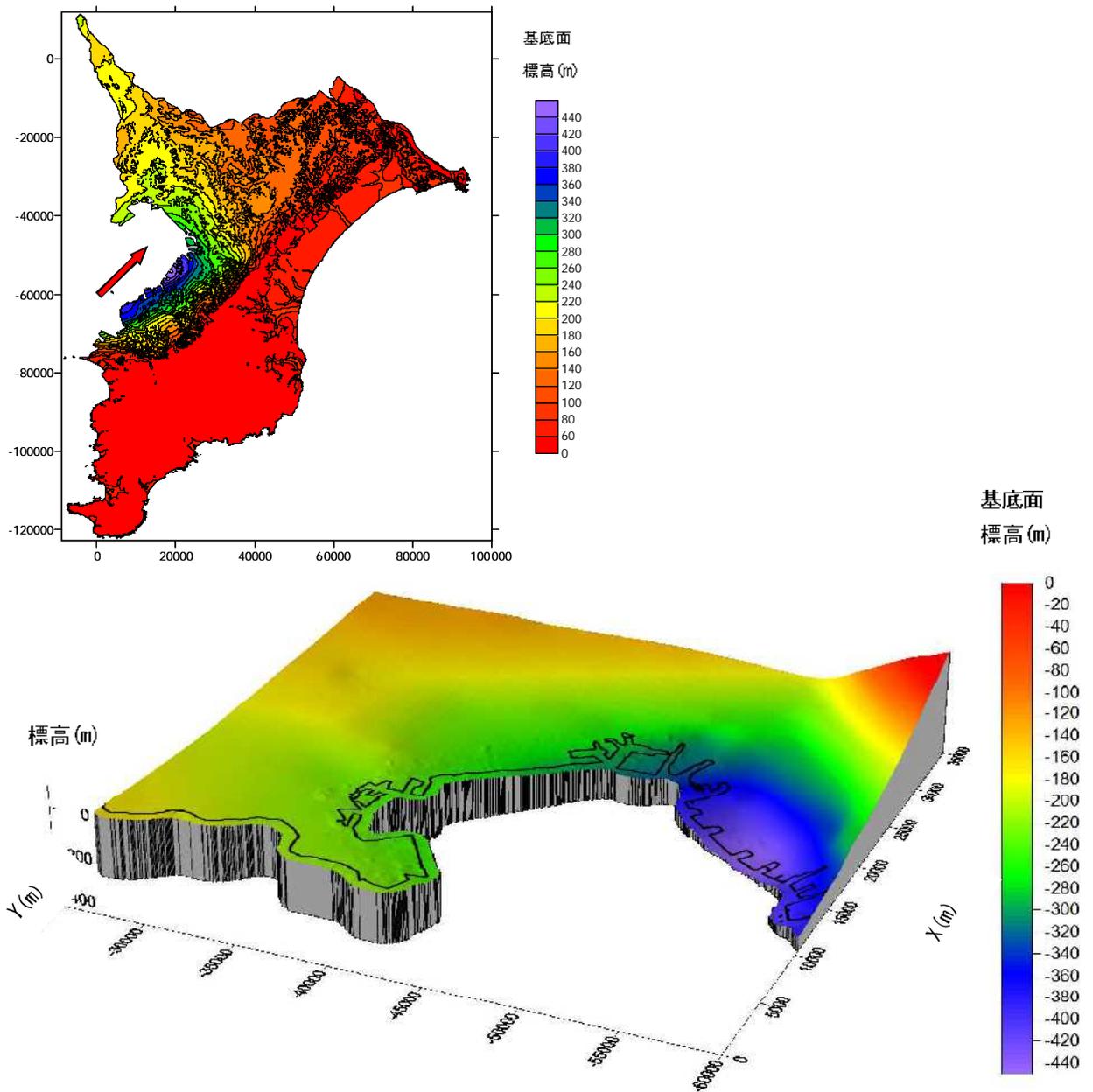


図 3-15 工学的基盤面の 3 次元分布図
(赤矢印からの視角)

3.2.6 三次元グリッドモデルの作成

これまでの検討を元に、木村ほか(2014)²²に基づき、今回新たに収集したデータを含む約6万本のボーリングデータを用いて、全県で50mメッシュのボクセルモデル*を作成した。このモデルをもとに、地震動については250mメッシュ地盤モデル、液状化については東京湾沿いの埋立地について50mメッシュモデル、それ以外の地域で250mメッシュモデルを作成した(代表的な断面図を図3-16~19に示した)。50mメッシュモデルについては、その三次元構造を可視化するとともに、将来的には地震動についても250mメッシュより細かいモデルが作成できるような仕様で作成した。

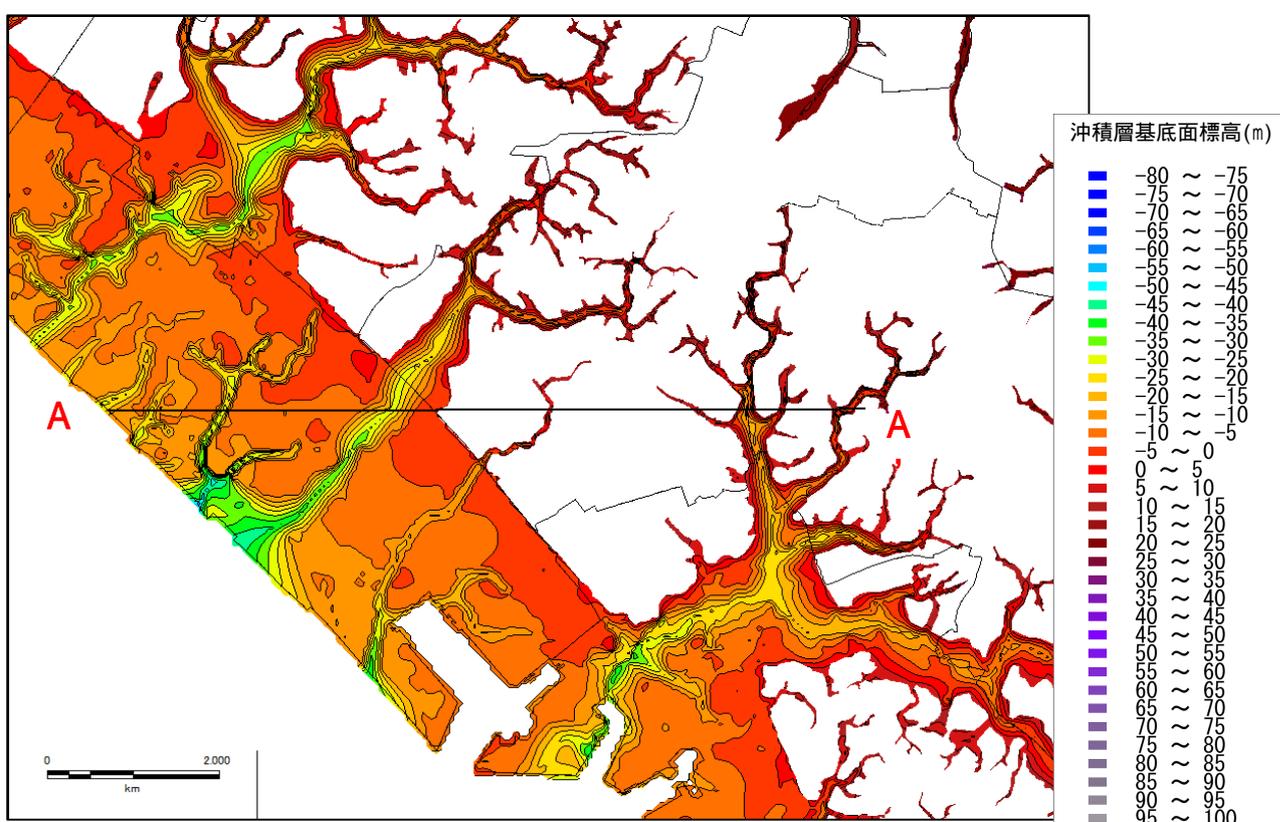
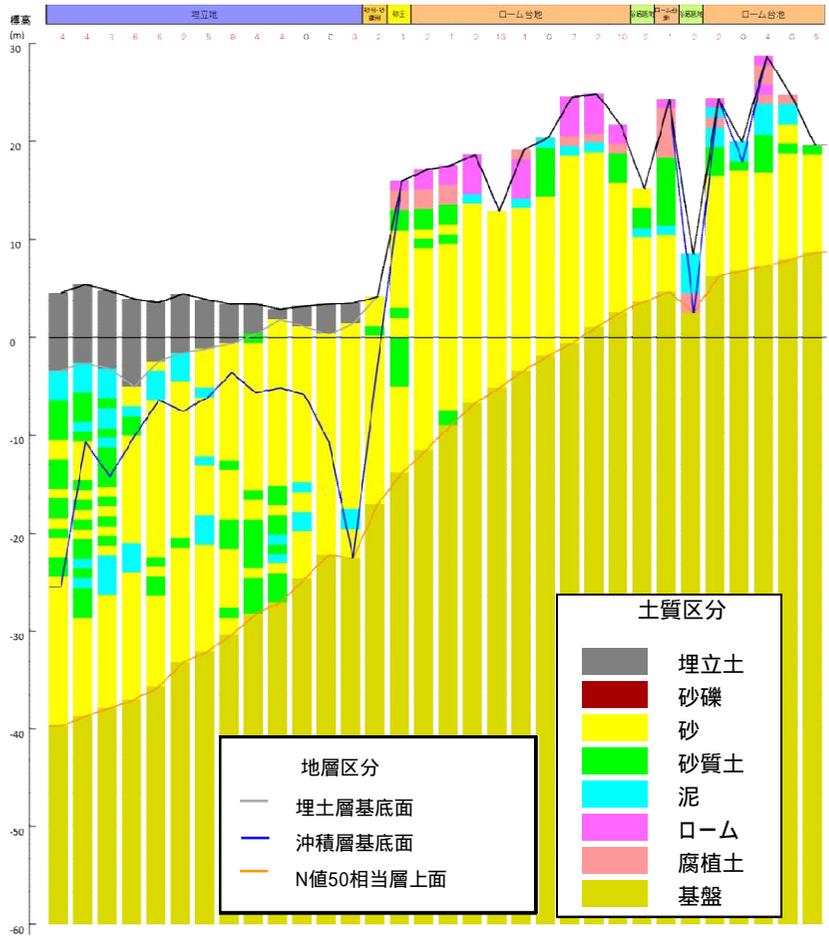


図 3-16 作成した断面図の位置(千葉市美浜区)

*ボクセルモデル: 水平方向及び深度方向に等間隔なモデル。本調査における50mメッシュモデルは、水平方向(x、y方向)が50m、鉛直方向(z方向)が1mのボクセルモデルである。

A 250m メッシュモデル A'



A A'

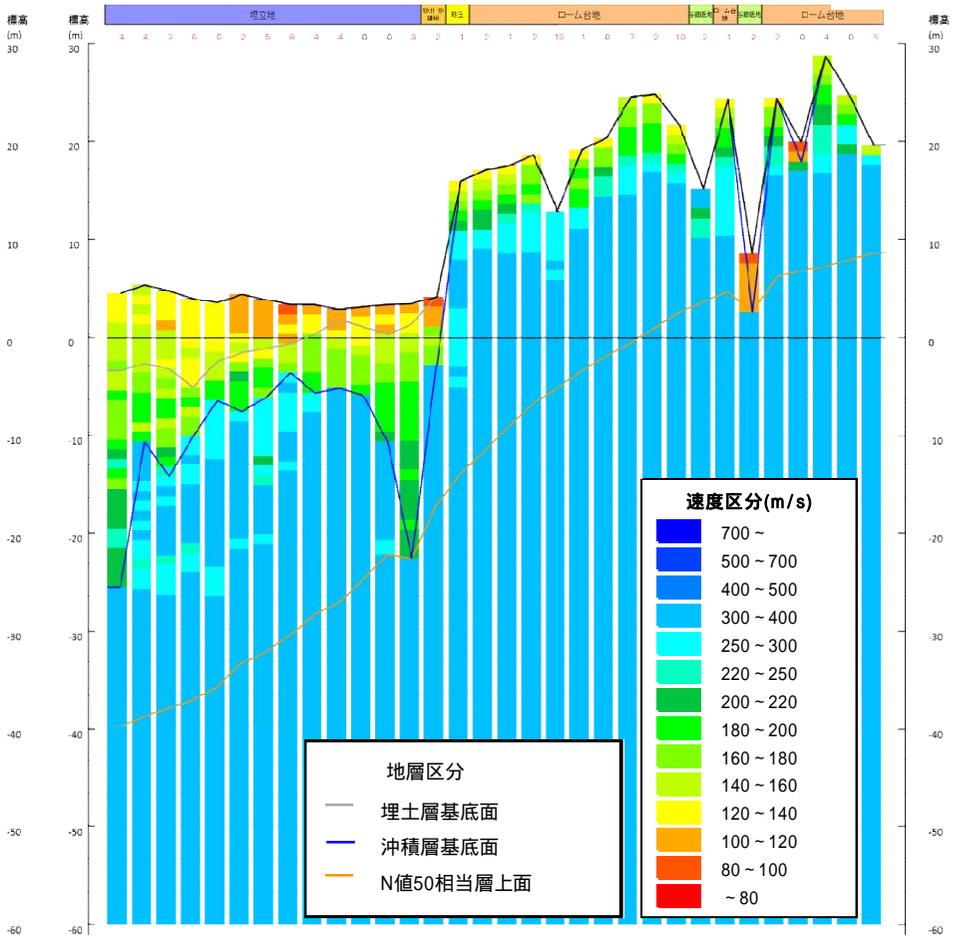


図 3-17 地盤モデル断面図 (250m メッシュ・千葉市美浜区・左：土質断面図・右：速度断面図)

50m メッシュモデル

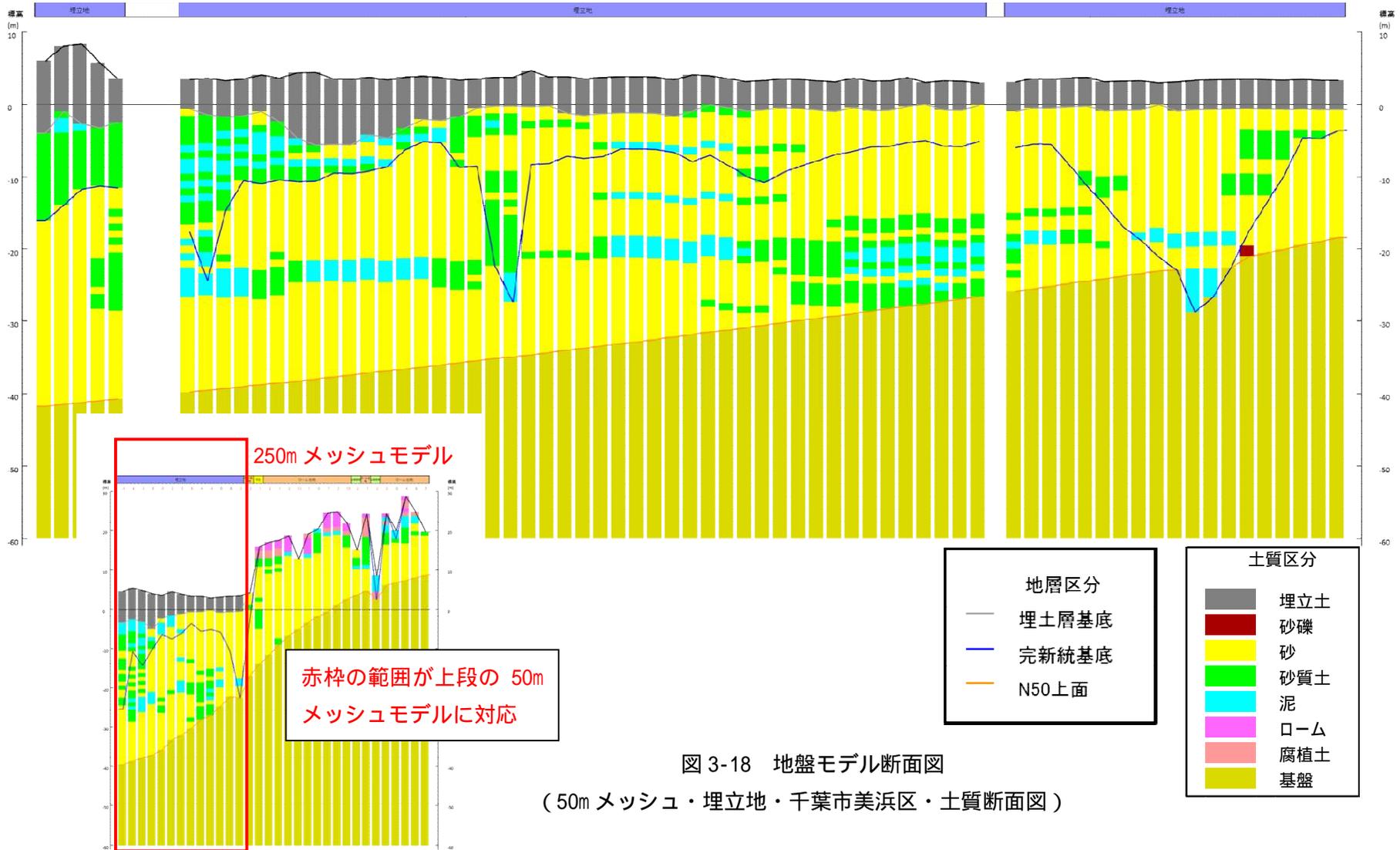


図 3-18 地盤モデル断面図

(50m メッシュ・埋立地・千葉市美浜区・土質断面図)

3.2.7 地盤モデルの物性値の設定

作成した浅部地盤モデルについて、地震応答計算のために必要な物性値の設定を行った。

土質区分層構造モデルを速度区分層構造モデルに変換するために必要な S 波速度 V_s は、砂質土及び粘性土については、永田ほか(2007)²³による千葉市内の N 値と S 波速度との以下の関係式を用いて設定した (千葉県 2008)。

$$V_s = a \cdot N^b \cdot Dep^c \text{ ————— (式 3-1)}$$

ここに、

N : N 値

Dep : 地表からの深さ(m)

$a \sim c$: 以下に示す土質毎の係数

土質名	a	b	c
埋立粘性土	81.2	0.211	0.221
埋立砂質土	93.8	0.178	0.000
沖積粘性土	116.9	0.188	0.055
沖積砂質土	103.5	0.089	0.158
洪積粘性土	125.5	0.145	0.137
洪積砂質土	163.4	0.183	0.029

礫質土については中央防災会議 (2001)²⁴による以下の関係式を用いて設定した。

$$V_s = a \cdot N^b \cdot c \cdot d \text{ ————— (式 3-2)}$$

ここに、

N : N 値

$a \sim d$: 以下に示す土質毎の係数

土質名	a	b	c	d
沖積礫質土	112.73	0.256	1.000	1.000
洪積礫質土	112.73	0.256	1.223	0.885

密度については、中央防災会議 (2001) による値を用いた (表 3-3)。

表 3-3 地震応答計算のための物性値 (中央防災会議 2001)

時代	土質	記号	N値	密度 (g/cm ³)	S波速度(m/s)			動的 記号	
					係数a	係数b	係数c		
完新統	盛土	B1	0~4	1.60	116.9	0.188	0.055	Bc	
		B2	4~10	1.70	116.9	0.188	0.055	Bc	
		B3	10~	2.00	116.9	0.188	0.055	Bc	
	埋立土	F1	0~4	1.60	97.1	0.146	0.059	Bs	
		F2	4~10	1.70	97.1	0.146	0.059	Bs	
		F3	10~	2.00	97.1	0.146	0.059	Bs	
	腐植土	Ap1	0~1	1.20	116.9	0.188	0.055	Ap	
		Ap2	1~	1.30	116.9	0.188	0.055	Ap	
	泥	Ac1	0~2	1.40	116.9	0.188	0.055	Ac	
		Ac2	2~4	1.50	116.9	0.188	0.055	Ac	
		Ac3	4~8	1.60	116.9	0.188	0.055	Ac	
		Ac4	8~15	1.70	116.9	0.188	0.055	Ac	
		Ac5	15~30	1.80	116.9	0.188	0.055	Ac	
		Ac6	30~	1.80	116.9	0.188	0.055	Ac	
	砂質土	Am1	0~2	1.40	116.9	0.188	0.055	Ac	
		Am2	2~4	1.50	116.9	0.188	0.055	Ac	
		Am3	4~8	1.60	116.9	0.188	0.055	Ac	
		Am4	8~15	1.70	116.9	0.188	0.055	Ac	
		Am5	15~30	1.80	116.9	0.188	0.055	Ac	
		Am6	30~	1.80	116.9	0.188	0.055	Ac	
	砂	As1	0~4	1.70	103.5	0.089	0.158	As	
		As2	4~10	1.80	103.5	0.089	0.158	As	
		As3	10~30	1.90	103.5	0.089	0.158	As	
		As4	30~50	1.90	103.5	0.089	0.158	As	
		As5	50~	1.90	103.5	0.089	0.158	As	
	礫	Ag1	~20	1.90	101.457	0.256	0.000	g	
		Ag2	20~30	2.00	101.457	0.256	0.000	g	
		Ag3	30~50	2.00	101.457	0.256	0.000	g	
		Ag4	50~	2.10	101.457	0.256	0.000	g	
	更新統	腐植土	Dp1	0~1	1.20	125.5	0.145	0.137	Ap
			Dp2	1~	1.30	125.5	0.145	0.137	Ap
		ローム	DI1	0~4	1.40	125.5	0.145	0.137	Dc
			DI2	4~	1.50	125.5	0.145	0.137	Dc
		泥	Dc1	0~2	1.50	125.5	0.145	0.137	Dc
			Dc2	2~4	1.60	125.5	0.145	0.137	Dc
			Dc3	4~8	1.70	125.5	0.145	0.137	Dc
			Dc4	8~15	1.80	125.5	0.145	0.137	Dc
			Dc5	15~30	1.80	125.5	0.145	0.137	Dc
			Dc6	30~	1.80	125.5	0.145	0.137	Dc
		砂質土	Dm1	0~2	1.50	125.5	0.145	0.137	Dc
			Dm2	2~4	1.60	125.5	0.145	0.137	Dc
			Dm3	4~8	1.70	125.5	0.145	0.137	Dc
Dm4			8~15	1.80	125.5	0.145	0.137	Dc	
Dm5			15~30	1.80	125.5	0.145	0.137	Dc	
Dm6			30~	1.80	125.5	0.145	0.137	Dc	
砂		Ds1	0~4	1.80	163.4	0.183	0.029	Ds	
		Ds2	4~10	1.80	163.4	0.183	0.029	Ds	
		Ds3	10~30	1.90	163.4	0.183	0.029	Ds	
		Ds4	30~50	1.90	163.4	0.183	0.029	Ds	
		Ds5	50~	2.00	163.4	0.183	0.029	Ds	
礫		Dg1	~20	1.90	124.082	0.256	0.000	g	
		Dg2	20~30	2.00	124.082	0.256	0.000	g	
		Dg3	30~50	2.00	124.082	0.256	0.000	g	
		Dg4	50~	2.10	124.082	0.256	0.000	g	
岩		RW	50~	1.80	300.0	0	0	-	
		R	50~	1.80	300.0	0	0	-	
下総層群		SL1	50~	1.80	300.0	0	0	-	
		SL2	50~	1.80	350.0	0	0	-	
		SL3	50~	1.85	400.0	0	0	-	
上総層群		KZ1	50~	1.85	400.0	0	0	-	
		KZ2	50~	1.90	500.0	0	0	-	

3.2.8 東北地方太平洋沖地震の再現計算による地盤モデルの検証

今回作成した浅部地盤モデルについて、その妥当性を検証することを目的として、東北地方太平洋沖地震における千葉県内の観測波形を収集し、収集した波形を用い作成した浅部地盤モデルにおいて地震応答解析を行い、地表震度分布の再現を行った。再現計算の手順は、以下の通りである。

収集した観測地点の加速度波形を浅部地盤モデルを用いて工学的基盤への引き戻し計算を行い、観測地点における工学的基盤での加速度波形を求めた。

で得られた基盤加速度波形から基盤最大加速度を求め、これを空間的に補間して、工学的基盤での 250m メッシュ最大加速度の分布を求めた。空間補間については、防災科学技術研究所川崎ラボラトリー（2007）²⁵によるプログラム“rasmo”を用いた。

工学的基盤上での 250m メッシュ加速度波形を作成した。波形の時刻歴については、250m メッシュから最も近い地震観測点で得られた の波形を採用し、振幅を調整して、
で求めた最大加速度と一致するようにした。

で得られた工学的基盤の地震動を 250m メッシュ地盤モデルに入射して、**応答計算***により地表地震動を求めた。

地表の震度分布と気象庁及び自治体による観測点の計測震度を比較すると概ね近い値が得られており（図 3-20、21）、今回作成した地盤モデル及び地盤の応答解析については、概ね妥当であると考察され、新たに作成した浅部地盤モデルの妥当性が確認された。

*（地震）応答計算：基盤層に入力した地震波形が、地盤をどのように伝播して地表ではどのような波形として出力されるかを、数値シミュレーションにより行う計算。
地盤のモデル化手法などにより、いくつかの手法がある。

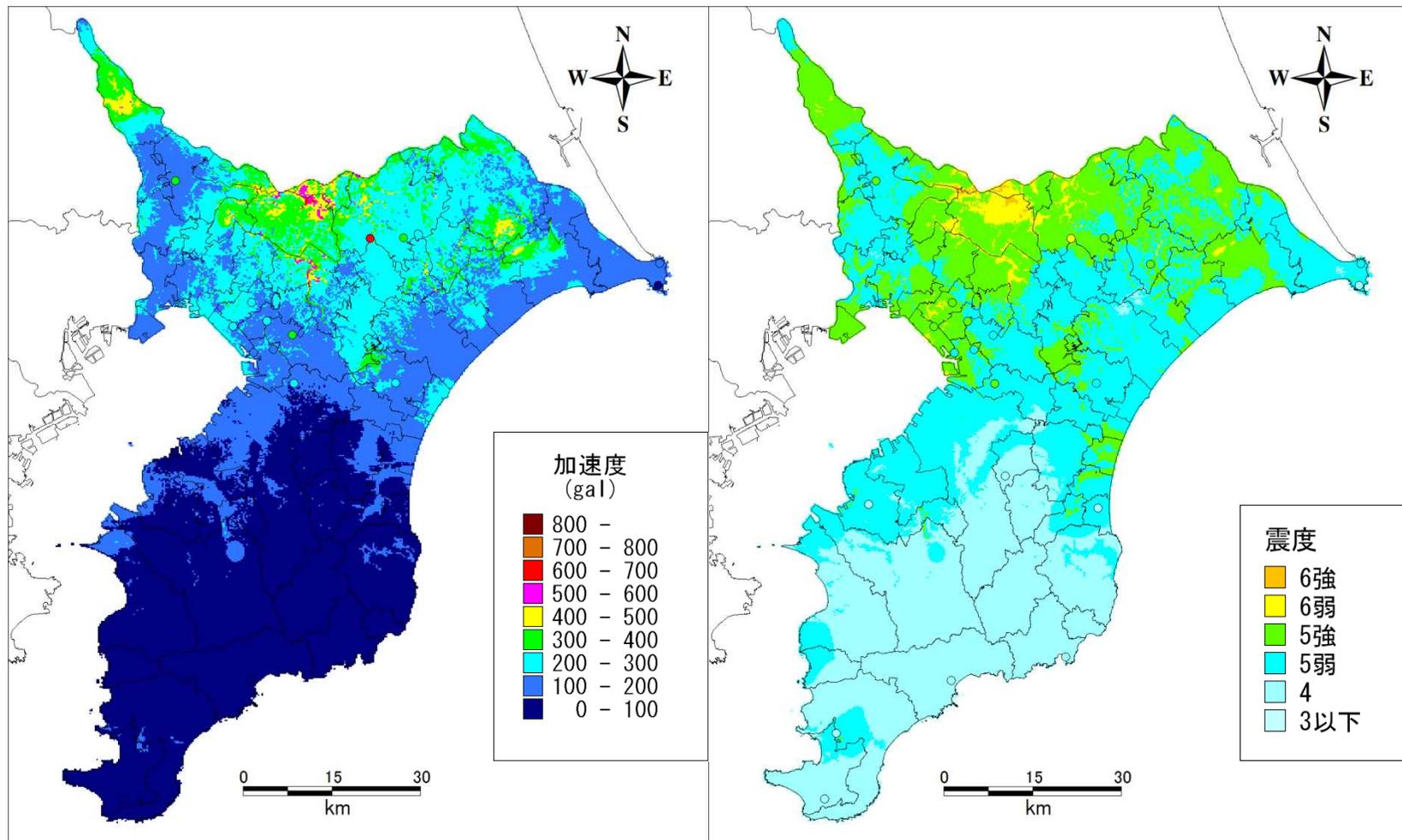


図 3-20 地震応答計算により求めた東北地方太平洋沖地震の地表地震動と気象庁及び自治体による地震観測点の地震動との比較
(左：最大加速度・右：震度)

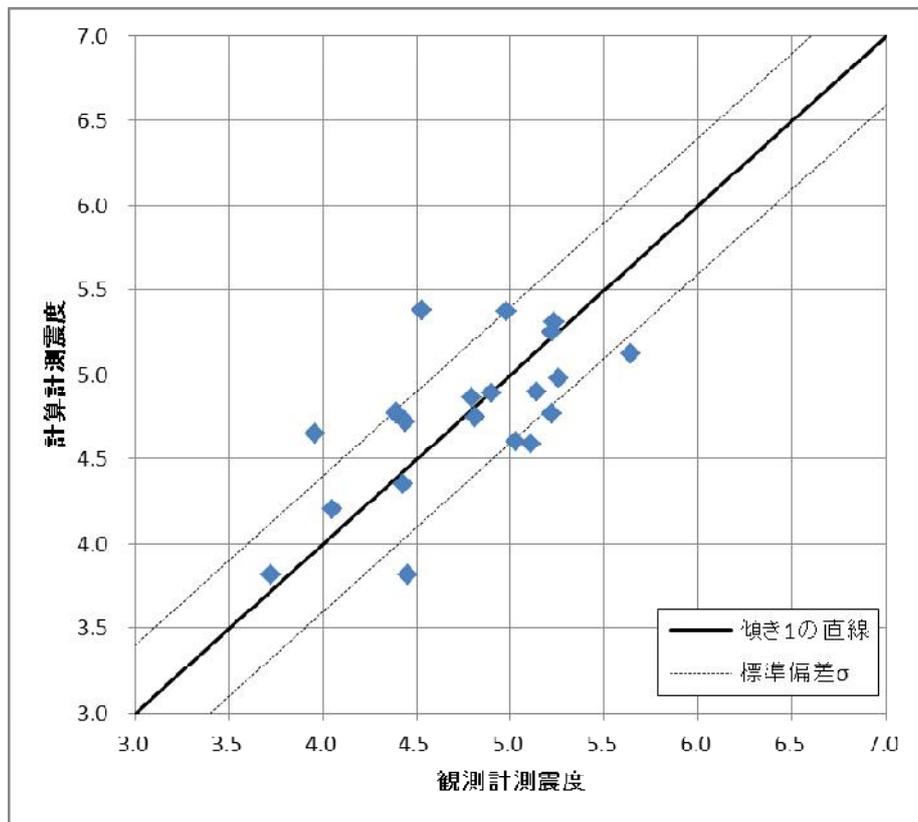


図 3-21 地震応答計算により求めた東北地方太平洋沖地震の計測震度と気象庁及び自治体による地震観測点の計測震度の比較