

**令和2年度 第1回
札幌市 地震被害想定検討委員会**

**資料 6-1:地震動予測結果
(説明資料)**

令和2年10月8日

札幌市危機管理対策室

地震動の予測

1. 震源モデル	3
2. 地盤構造モデル	12
3. 強震動計算	25
4. 液状化の評価	27

1. 震源モデル

1.1	対象地震と巨視的断層パラメータ	4
1.2	震源断層の微視的震源パラメータ	5
1.3	海溝型地震の微視的断層パラメータ	6
1.4	内陸型(活断層)地震の微視的断層パラメータ	7
1.5	内陸型(伏在活断層)地震の微視的断層パラメータ	8

1.1 対象地震と巨視的断層パラメータ

【海溝型地震】

① プレート内地震(苫小牧沖)

地震本部が公表している平成28年版以降の「震源断層を特定した地震の強震動予測手法(「レシピ」)」には、スラブ内地震(プレート内地震)の特性化震源モデルの設定方法が示されるようになっており、これを踏まえて**最新の「レシピ」**(地震本部, 2020)の設定方法に従い**パラメータを再設定**する。

【内陸型(活断層)地震】

② 石狩低地東縁断層帯主部で発生する地震

平成22年8月に石狩低地東縁断層帯の長期評価は改定されており、「全国地震動予測地図」に用いられる震源パラメータも「今後の地震動ハザード評価に関する検討 ~2011年・2012年における検討結果~」(地震本部, 2012)において更新されている。これを踏まえ、2012年版以降の「**全国地震動予測地図**」において**設定されているパラメータに更新**する。

【内陸型(伏在活断層)地震】

③ 野幌丘陵断層帯で発生する地震

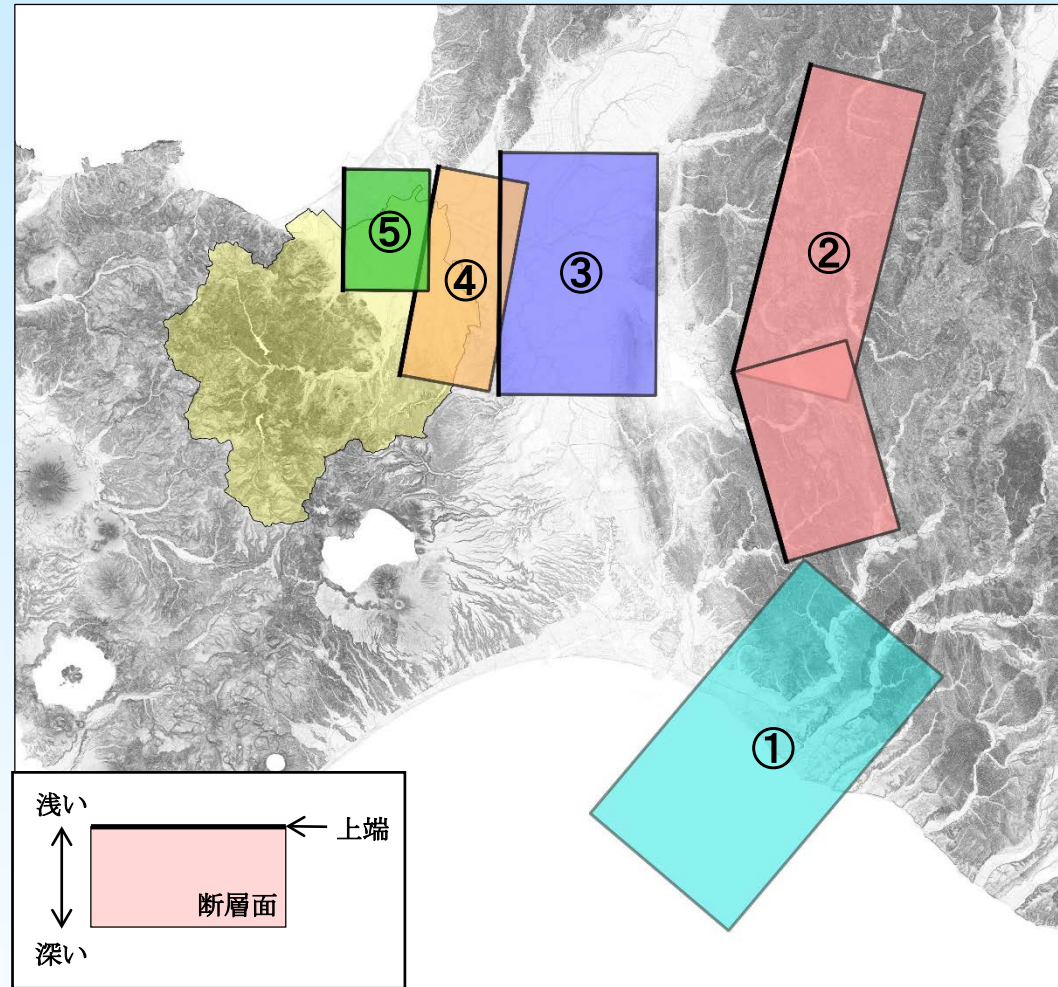
R1年度の検討結果を踏まえて**断層幅と傾斜角を更新**

④ 月寒背斜に関連する断層で発生する地震

R1年度の検討結果を踏まえて**断層幅を更新**

⑤ 西札幌背斜に関連する断層で発生する地震

H19年度被害想定からの**変更点なし**



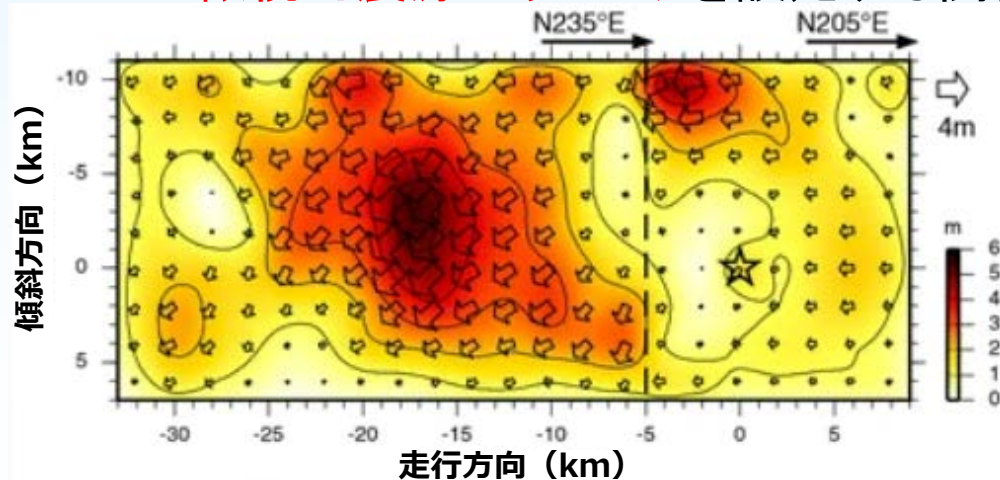
No.	M_w	M_{jma}	地震モーメント (Nm)	上端深さ (km)	走行 (°)	傾斜角 (°)	断層長 (km)	断層幅 (km)
①	7.58	7.5	3.00E+20	130	220	0	44	24
②	7.22	7.9	8.38E+19	北部: 9 南部: 9	北部: 14 南部: 16	北部: 30 南部: 30	北部: 42 南部: 26	北部: 18 南部: 18
③	6.94	7.52	3.28E+19	6	0	30	32	24
④	6.67	7.16	1.26E+19	6	10	45	28	17
⑤	6.33	6.73	3.89E+18	5	0	45	16	16

※赤字はH19年度被害想定からの変更

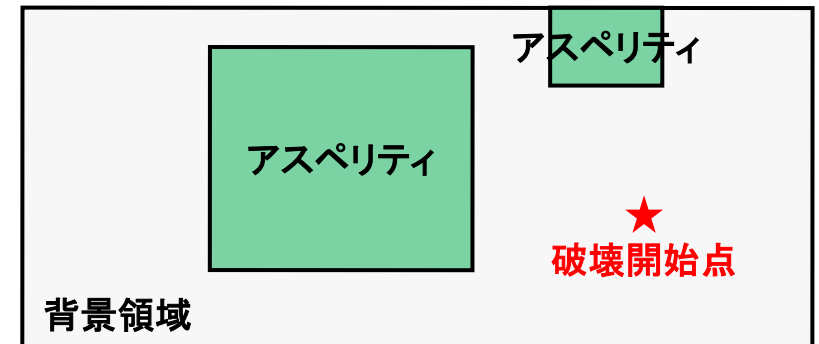
1.2 震源断層の微視的震源パラメータ

【特性化震源モデル(アスペリティモデル)】

- 震源断層において発生する地震動に大きく影響する断層面上のすべり量や応力降下量などの分布は、一様ではなく不均質。
- 事前の想定で複雑な分布を予測することは困難。
- 統計的グリーン関数法や差分法など断層をモデル化する強震動予測手法では、断層面をアスペリティと呼ばれるすべり量の大きい領域と背景領域とに二元化し、複雑な震源の情報を単純化した特性化震源モデルが提案され、現在の標準的な手法とされている(下は2016年熊本地震の例)。
- 地震本部による「震源断層を特定した地震の強震動予測手法(「レシピ」)」には、「標準的な特性化震源モデル」の設定方法がまとめられている。また、この中で、既往地震の震源パラメータを分析した様々な既往研究に基づき、アスペリティの面積やすべり量、応力降下量などの微視的震源パラメータを設定する関係式が示されている。



二元化



2016年熊本地震での断層面上のすべり量分布

(Asano and Iwata(2016)より引用・加筆)

特性化震源モデルのイメージ

1.3 ①プレート内地震(苫小牧沖)

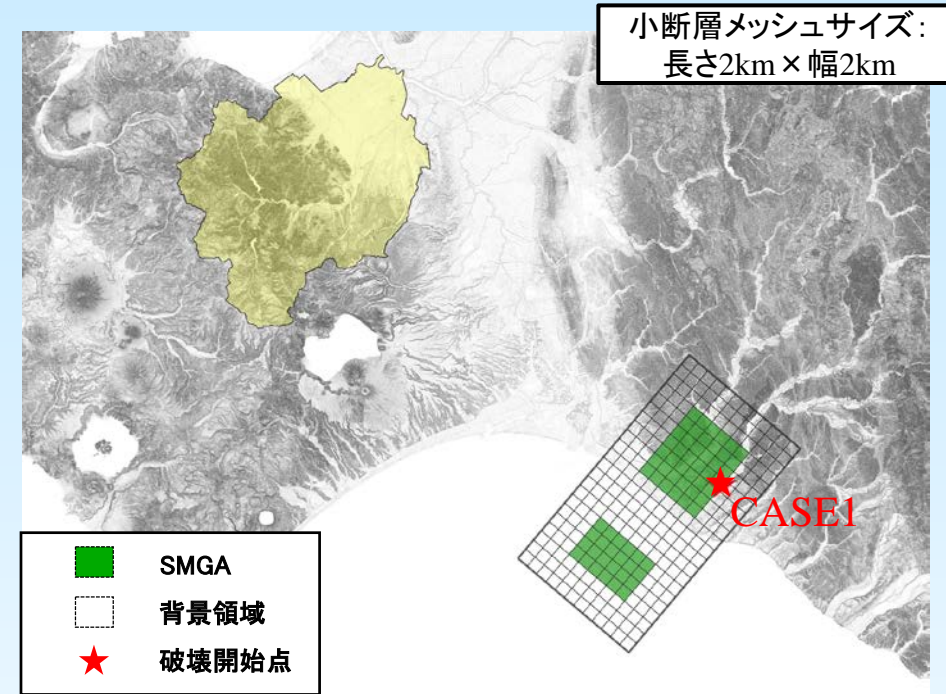
【微視的断層パラメータの設定方針】

- 巨視的パラメータ同様、最新の「レシピ」の「1.3 スラブ内地震の特性化震源モデル」に従い再設定する。
- SMGAは2つ配置することとし、北東側に主SMGAを配置したモデル1と、南西側に主SMGAを配置したモデル2を設定する。
- 破壊開始点は、正断層であることを踏まえて下端中央に配置し、主SMGAから破壊が開始するケースのみを検討対象とする。

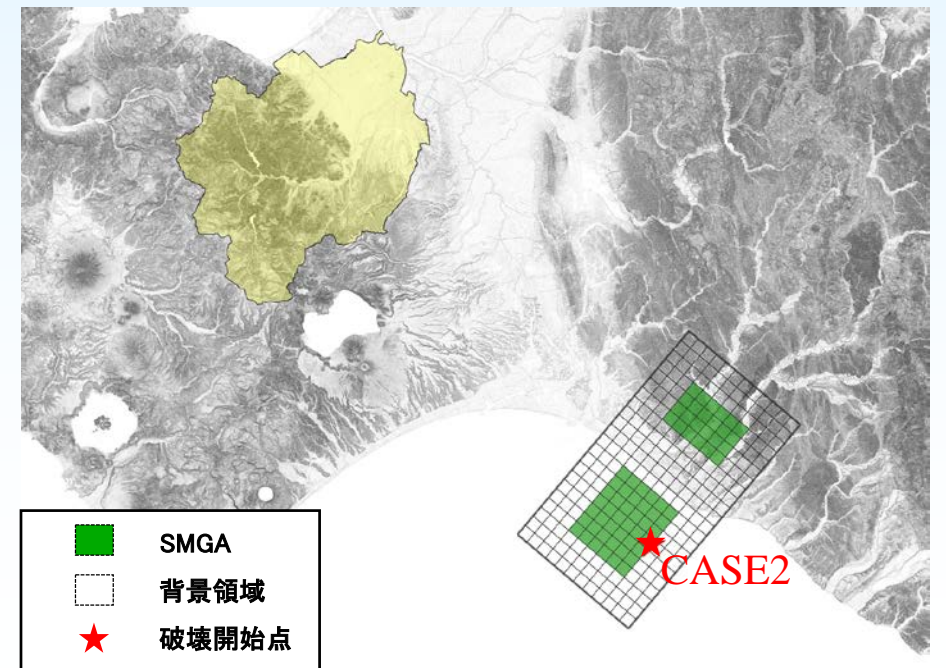
※ SMGA(強震動生成域)

断層面において特にすべり速度が大きく、0.1~10Hz程度の建物等の施設への影響が大きい周波数帯域の地震動を強く発生させる領域。

アスペリティとSMGAはともに強震動を発生させる領域という意味であるが、「レシピ」では、断層パラメータの設定手順等の違いから、内陸地殻内地震ではアスペリティ、プレート内地震ではSMGAとしている。



【モデル1】



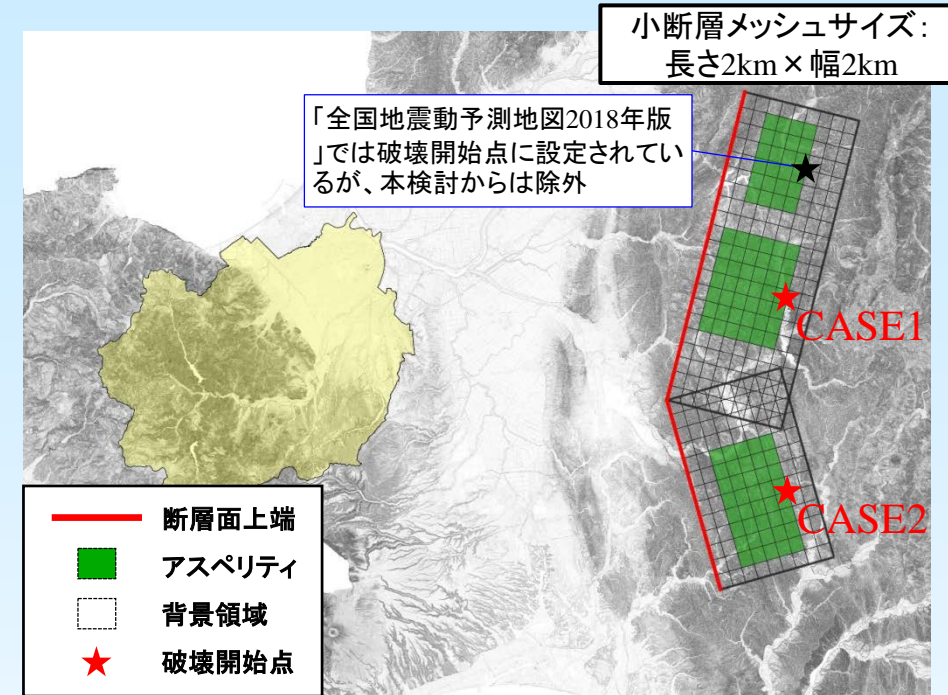
【モデル2】

1.4 ②石狩低地東縁断層帯主部

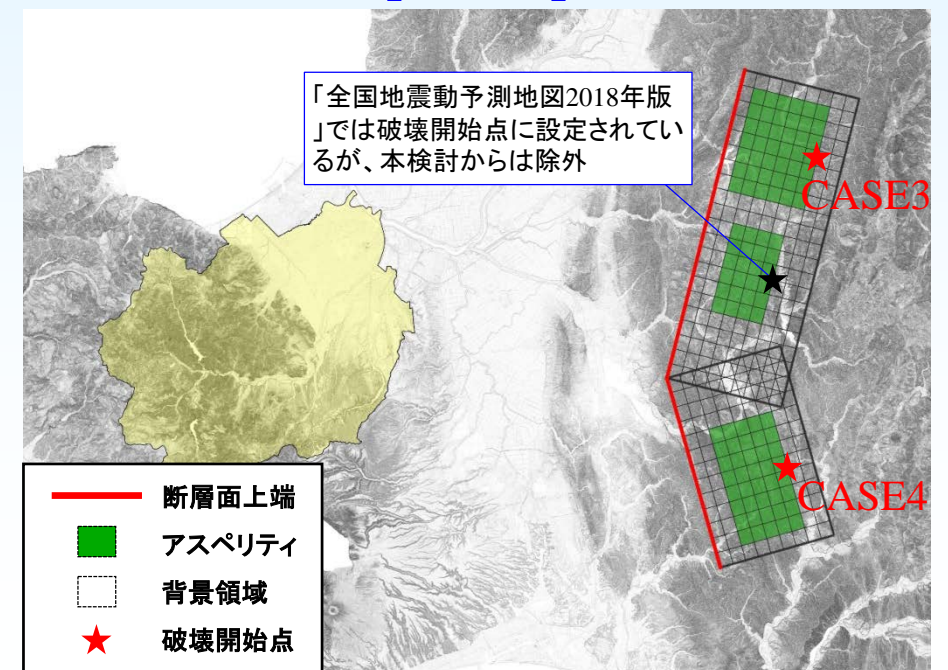
【微視的断層パラメータの設定方針】

- 巨視的パラメータ同様、2012年版以降の「**全国地震動予測地図**」(現時点での最新は2018年版)において**設定されているパラメータを基本的に使用する**。
- 破壊開始点について、「全国地震動予測地図2018年版」(地震本部, 2018)では6ケースが想定されているが、北部セグメントについては、2つ設定されているアスペリティのうち**主アスペリティから破壊が開始するケースのみを検討対象とする**。

※★で示したケースは、「全国地震動予測地図2018年版」において、他ケース(★)より揺れが小さいことが示されているので、今回の検討からは除外する。



【モデル1】



【モデル2】

1.5 内陸型(伏在活断層)地震の微視的断層パラメータ

【微視的断層パラメータの設定方針】

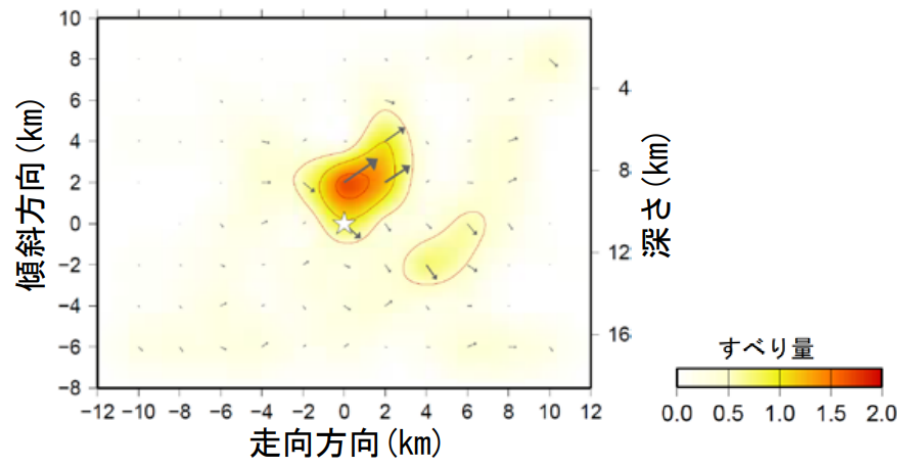
- 最新のレシピ(→「1.1 活断層で発生する地震の特性化震源モデル」)に従い設定。
- M_{jma} 7以上の③④の地震については、アスペリティ配置を変えるケースを追加(下図参照)。
- 破壊開始点(★)は逆断層であることを踏まえて下端中央に配置。

※ 既往地震における断層面上のすべり量分布

⇒地震規模が大きくなるとすべり量が多い領域(アスペリティ)の数が増えると考えられる。

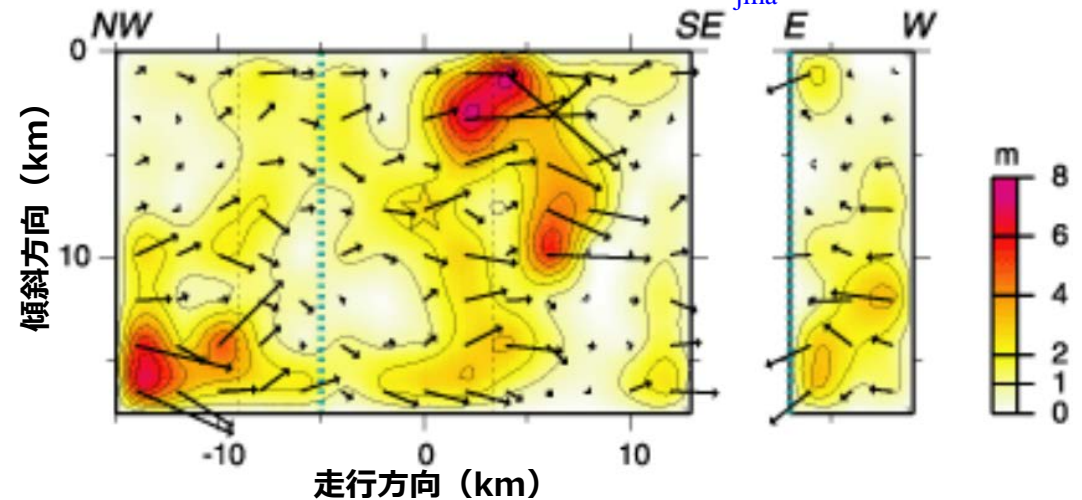
【2016年10月21日鳥取県中部の地震(M_{jma} 6.6)】

【2000年鳥取県西部地震(M_{jma} 7.3)】



断層面上のすべり量分布

(「2016年10月21日鳥取県中部の地震 - 近地強震波形による震源過程解析(暫定) -」(気象庁)より引用)



断層面上のすべり量分布

(「2000年鳥取県西部地震の断層モデル」(堀川ほか, 2001)より引用・加筆)

- H19年度被害想定では、3地震ともアスペリティ配置を1ケースとしていたが、アスペリティと対象地点の距離が揺れの大きさに影響する。また、深さ方向についてもアスペリティ中心を断層中心より浅く設定している。
- アスペリティを複数設定したモデルについては主アスペリティから破壊が開始するケースのみを検討対象とする。

1.5.1 ③野幌丘陵断層帯

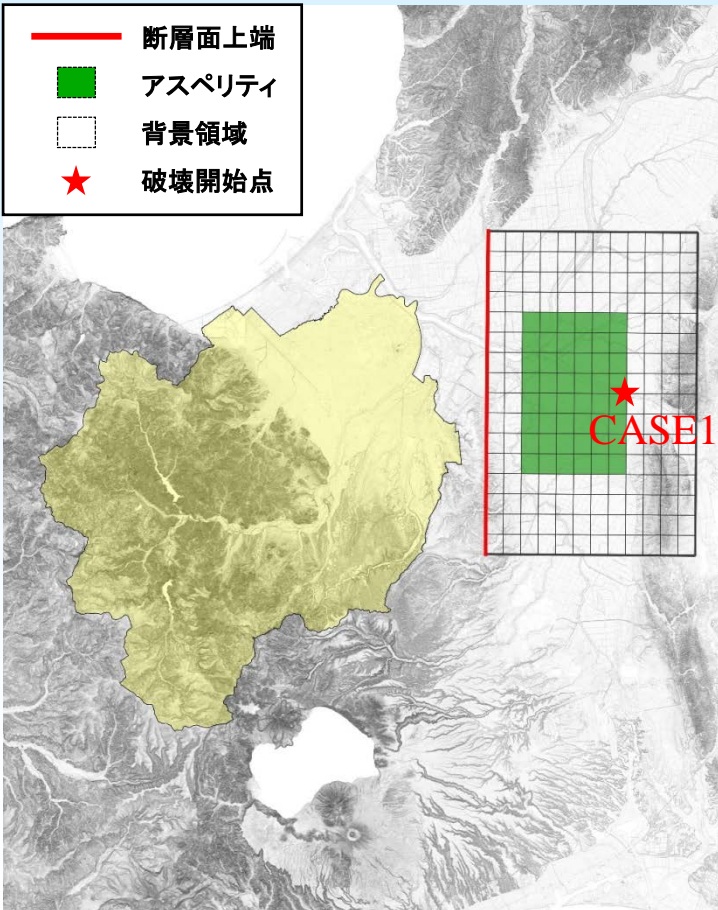
③ 野幌丘陵断層帯については、発生する地震規模が比較的大きい($M_{jma} \geq 7.0$)ことから、アスペリティが1つの【モデル1】に加えて、アスペリティを2つ設定したモデルを設定する。

【モデル2】: 南側に主アスペリティを配置

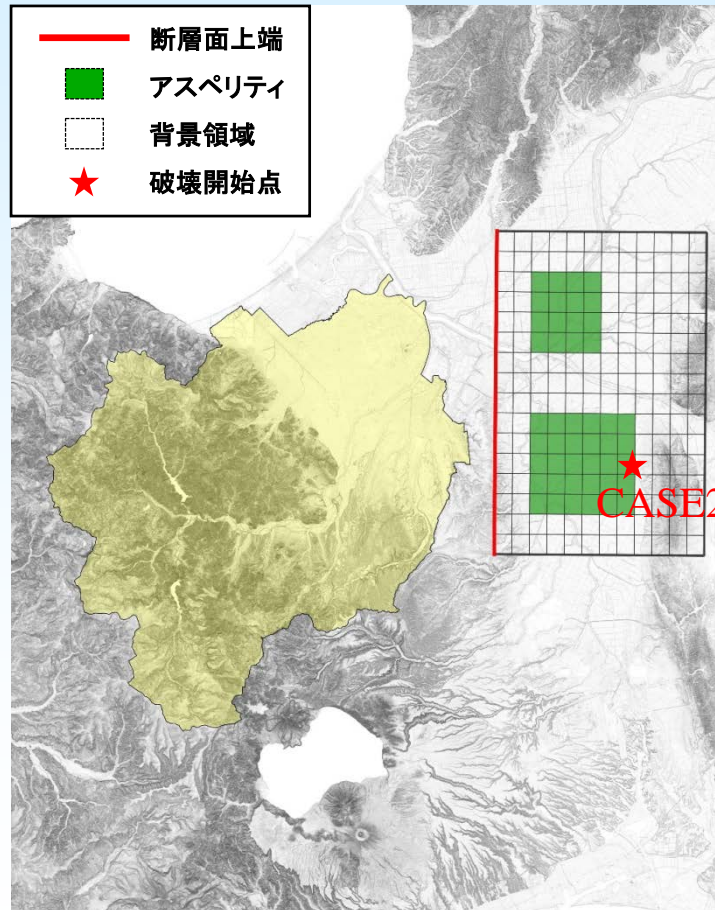
【モデル3】: 北側に主アスペリティを配置

小断層メッシュサイズ:
長さ2km×幅2km

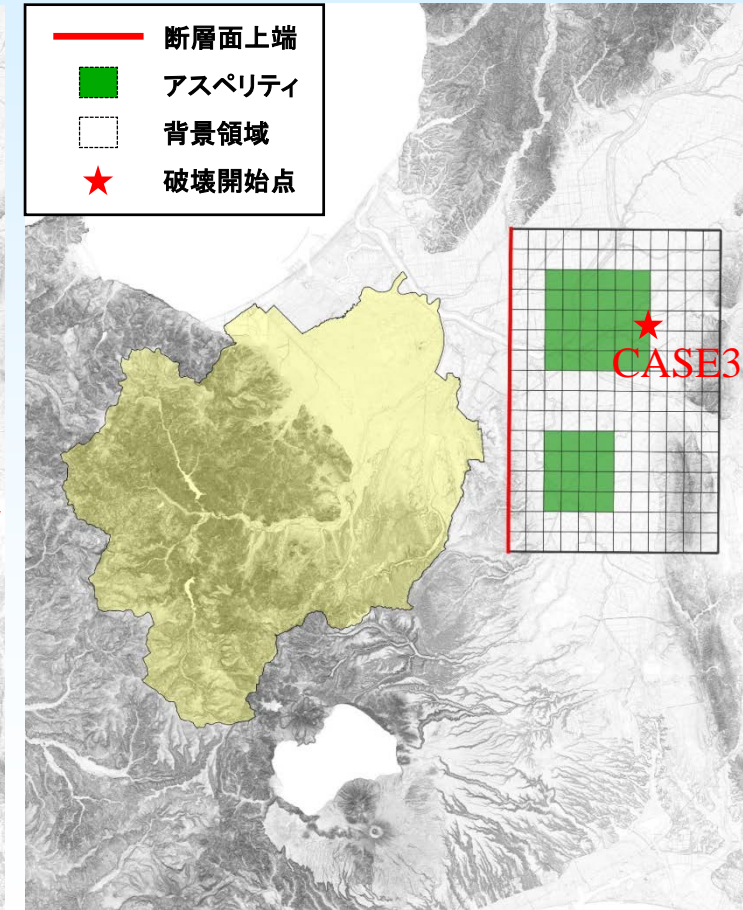
— 断層面上端
■ アスペリティ
□ 背景領域
★ 破壊開始点



【モデル1】



【モデル2】



【モデル3】

1.5.2 ④月寒背斜に関連する断層

④月寒背斜に関連する断層については、発生する地震規模が比較的大きい($M_{jma} \geq 7.0$)ことから、アスペリティが1つの【モデル1】に加えて、アスペリティを2つ設定したモデルを設定する。

【モデル2】: 南側に主アスペリティを配置

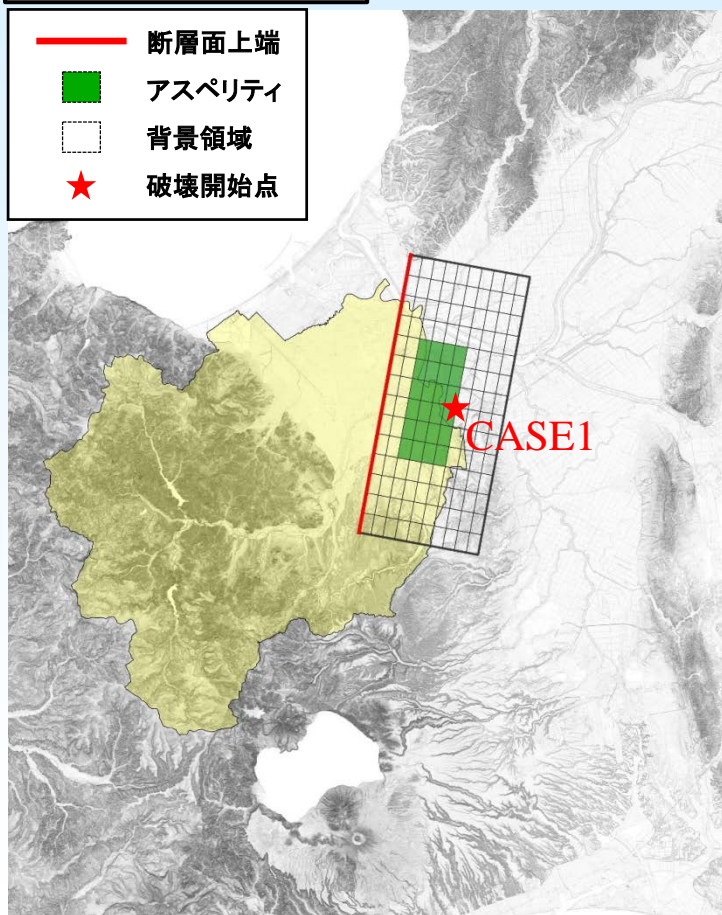
【モデル3】: 北側に主アスペリティを配置

小断層メッシュサイズ:
長さ2km×幅1.7km

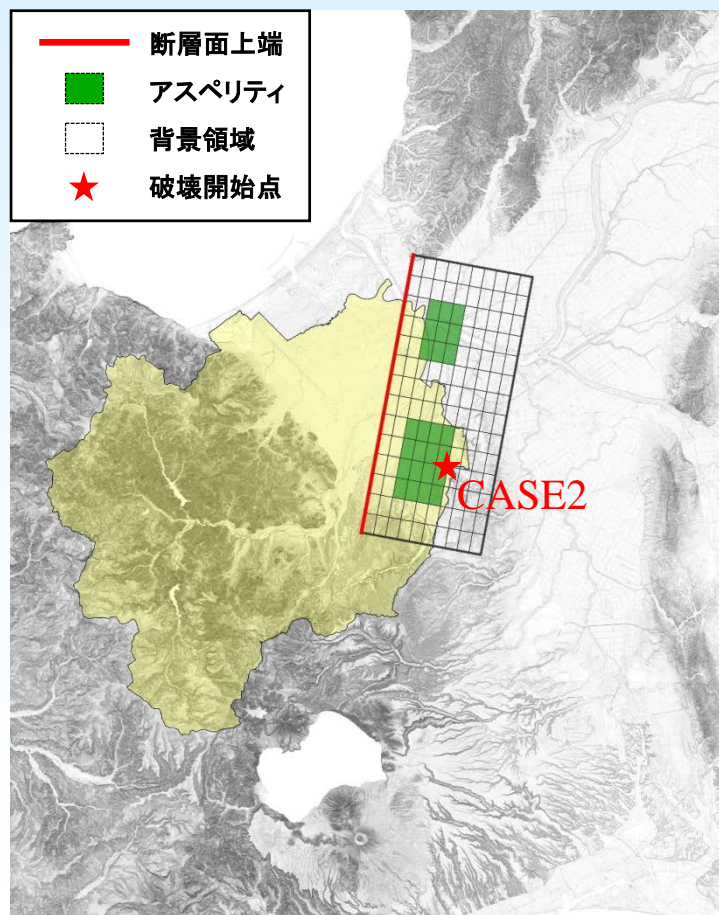
— 断層面上端
■ アスペリティ
□ 背景領域
★ 破壊開始点

— 断層面上端
■ アスペリティ
□ 背景領域
★ 破壊開始点

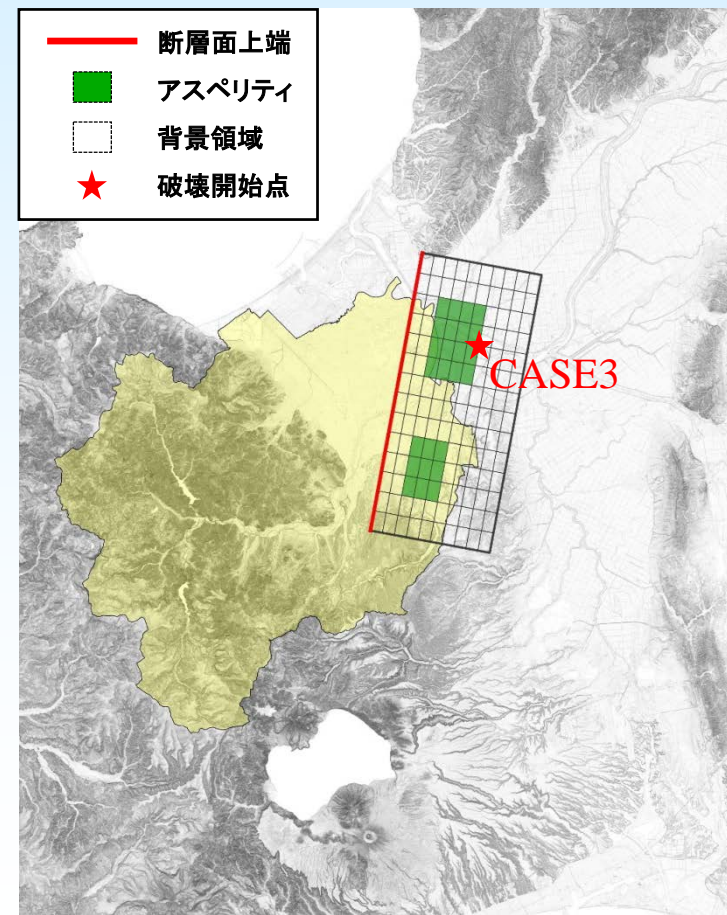
— 断層面上端
■ アスペリティ
□ 背景領域
★ 破壊開始点



【モデル1】



【モデル2】

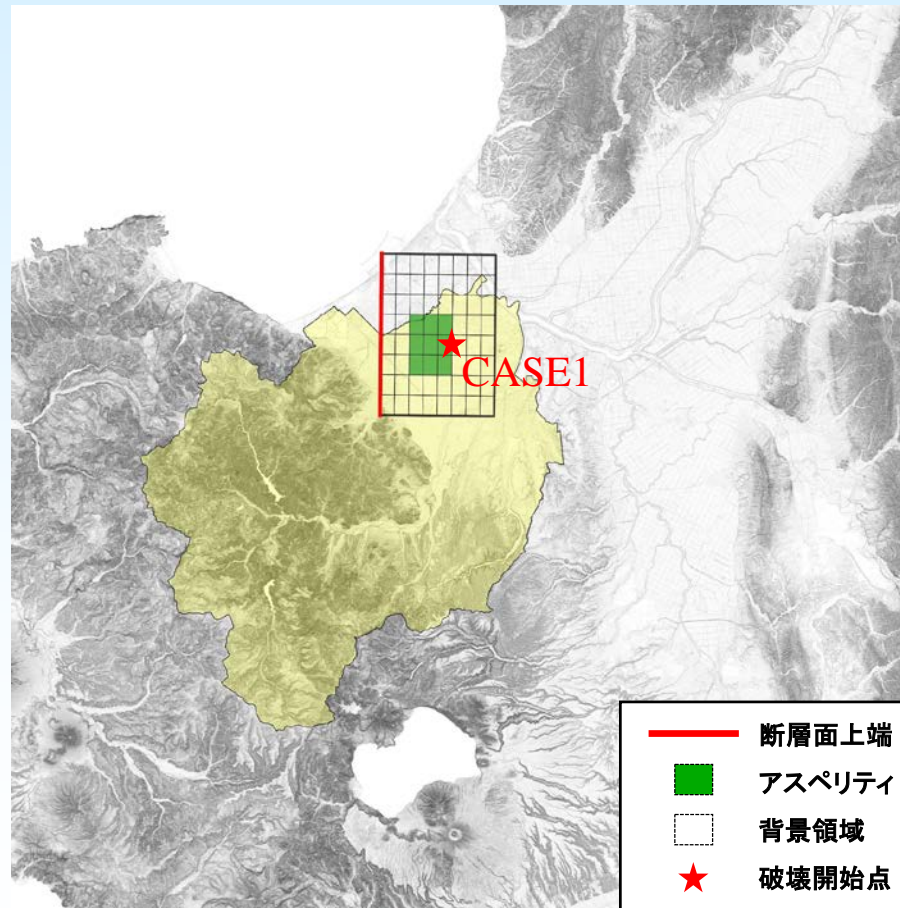


【モデル3】

1.5.3 ⑤西札幌背斜に関連する断層

⑤西札幌背斜に関連する断層については、地震規模が小さいので、アスペリティ1つのモデルのみ設定する。

小断層メッシュサイズ：
長さ2km×幅2km



2. 地盤構造モデル

2.1	深部地盤構造モデル	13
2.2	浅部地盤構造モデル	15

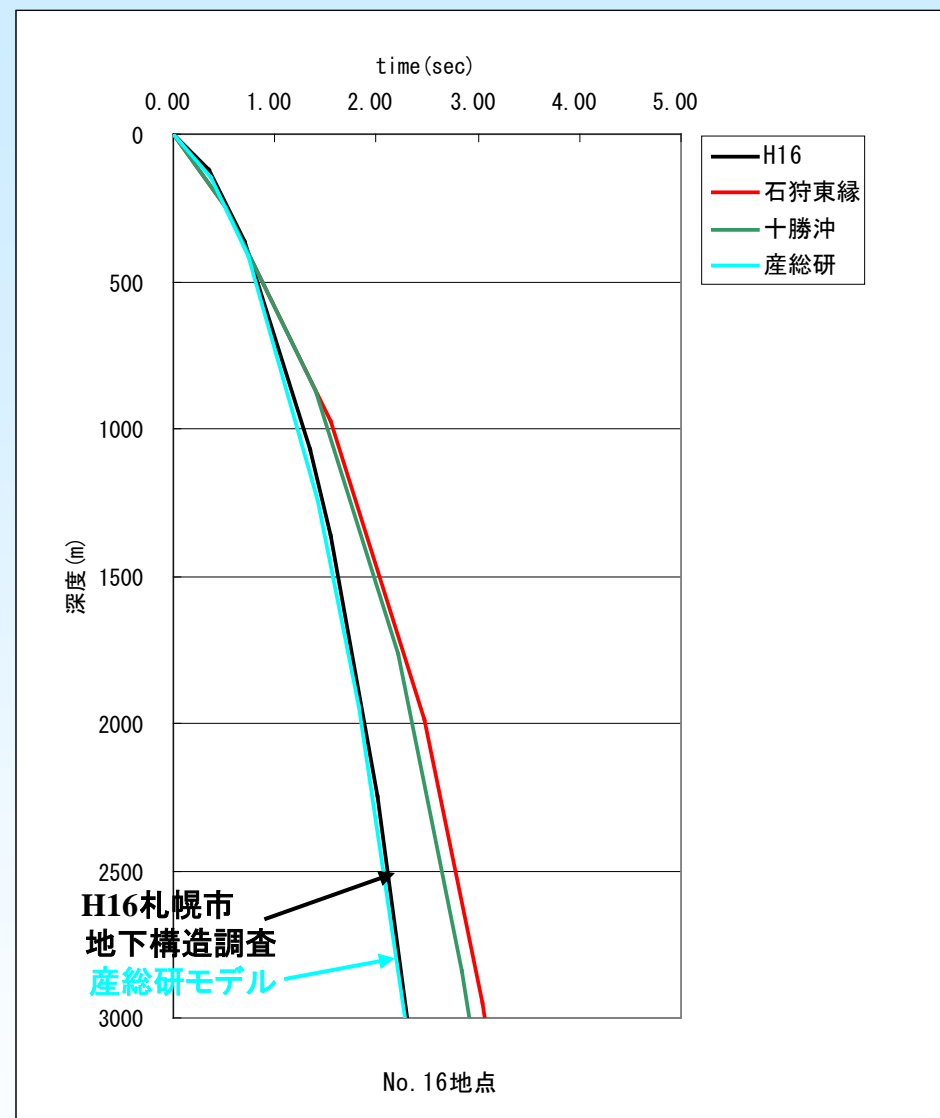
2.1.1 深部地盤モデルの検証(R1年度検討より)

【現行想定による深部地盤モデルの比較】

既往モデルの地質区分とS波速度構造の比較

地質	石狩平野北部モデル(札幌市)	石狩低地東縁モデル(防災科研)	十勝沖モデル(防災科研)	石狩・勇払平野地域モデル(産総研)
完新統～中部更新統	183m/s	480m/s	480m/s	400m/s
下部更新統	669m/s			722m/s
鮮新統	1081m/s, 1516m/s	700m/s	700m/s	1196m/s
上部中新統	2073m/s	1100m/s	1100m/s	1725m/s
中部中新統	2622m/s	1700m/s	1700m/s	2350m/s
グリーンタフ	3136m/s	2200m/s	2200m/s	3131m/s
古第三系				2000m/s
上部白亜系 衝上断層帯				2700m/s
基盤岩類		3200m/s (3300～3500m/s)	3200m/s	3400m/s
コンラッド面～モホ面		(3600～3800m/s)		3750m/s
モホ面～ 深度100km		(4200～4500m/s)		4300m/s
深度100km以深				4500m/s

- ・地質区分ごとのS波速度一覧表での比較では、札幌市地下構造調査結果と産総研モデルの整合性が高い



S波速度、累積走時の比較
(微動アレイ探査地点No.16箇所での例)

- ・札幌市地下構造調査による微動アレイ探査結果においても、産総研モデルの整合性は高い

2.1.2 深部地盤モデルの更新

産総研は2009年3月に石狩平野・勇払平野3次元地盤構造モデルを更新している。技術的な事項は、吉田ら(2007)に述べられている。

この吉田ら(2007)の妥当性は、土木学会による2018年胆振東部地震調査報告書等でも確認されているので、これを用いることとする。

【データ確認結果】

各層のS波速度(前のスライド)は変更なく、層厚が修正されている。

※1: 吉田邦一・吉見雅行ら(2007): 長周期地震動計算のための石狩平野および勇払平野の3次元堆積盆地、活断層・古地震研究報告、No.7、p.1-29

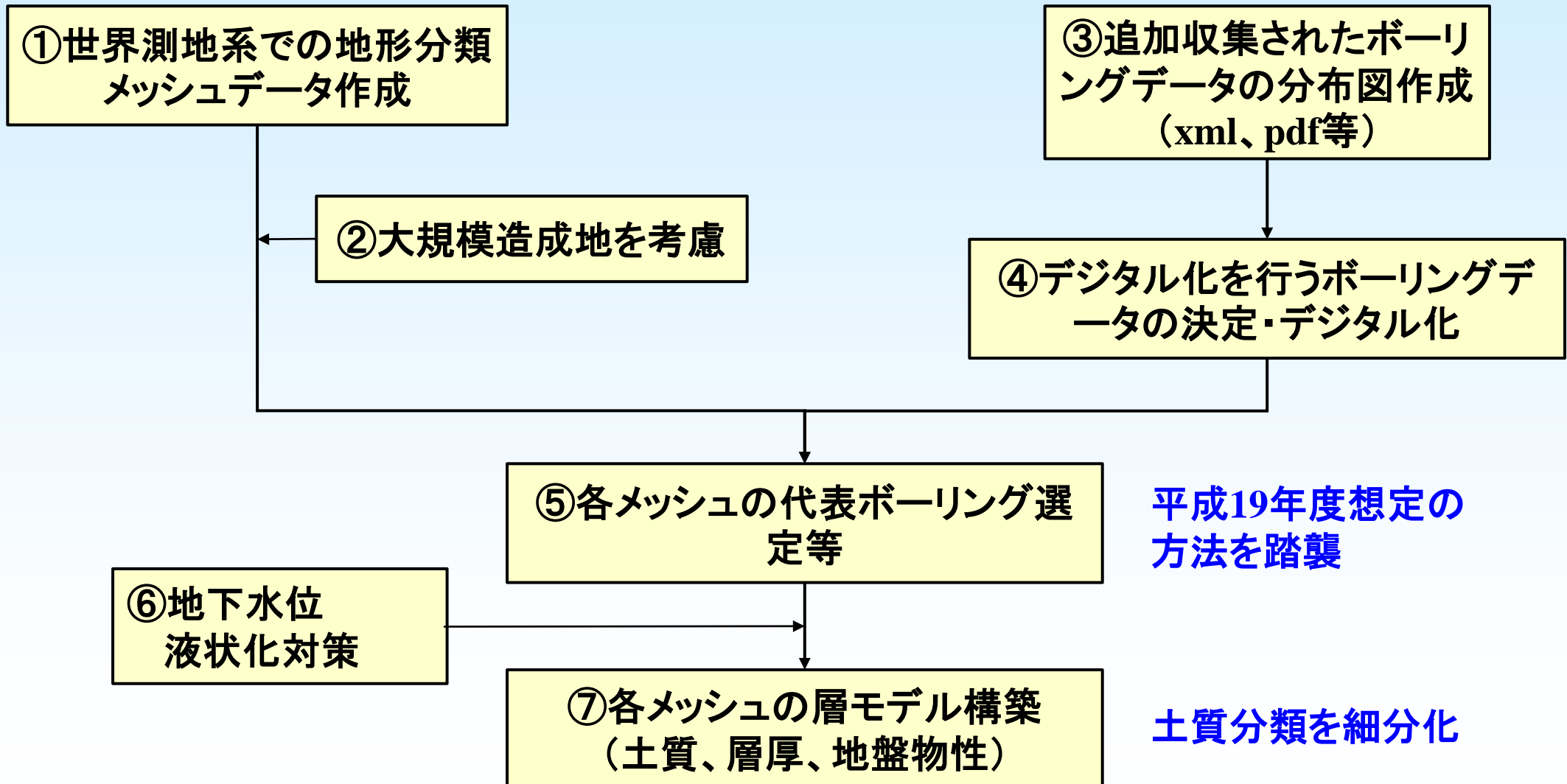
※2: 土木学会地震工学委員会(2019): 1.2 震源域周辺の活構造と深部地下構造、2018年北海道胆振東部地震被害調査報告書、地震被害調査シリーズNo.2

2.2 浅部地盤構造モデル

2.2.1	浅部地盤モデルの更新手順	16
2.2.2	地形分類メッシュ	17
2.2.3	ボーリングデータの追加	22
2.2.4	メッシュの地盤モデル構築	23

2.2.1 浅部地盤モデルの更新手順

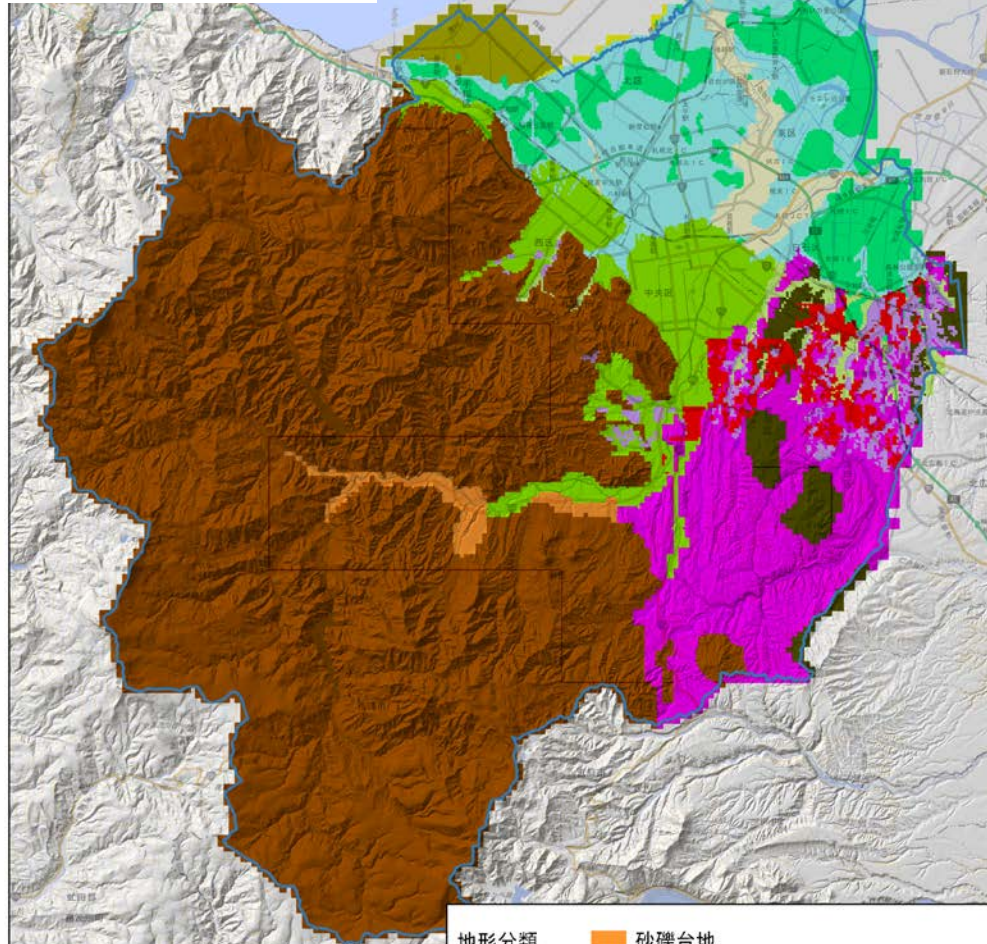
以下のフローに基づき、平成19年度に構築した地盤モデルを活かしつつ、データを充実させて更新



2.2.2 ①地形分類メッシュデータの作成(世界測地系対応)

地形分類は現行想定(H19)を踏襲するが、世界測地系メッシュで再構築した。(割り当て率99.6%で、残り0.4%は市境部で、周辺メッシュの地形分類から設定した。)

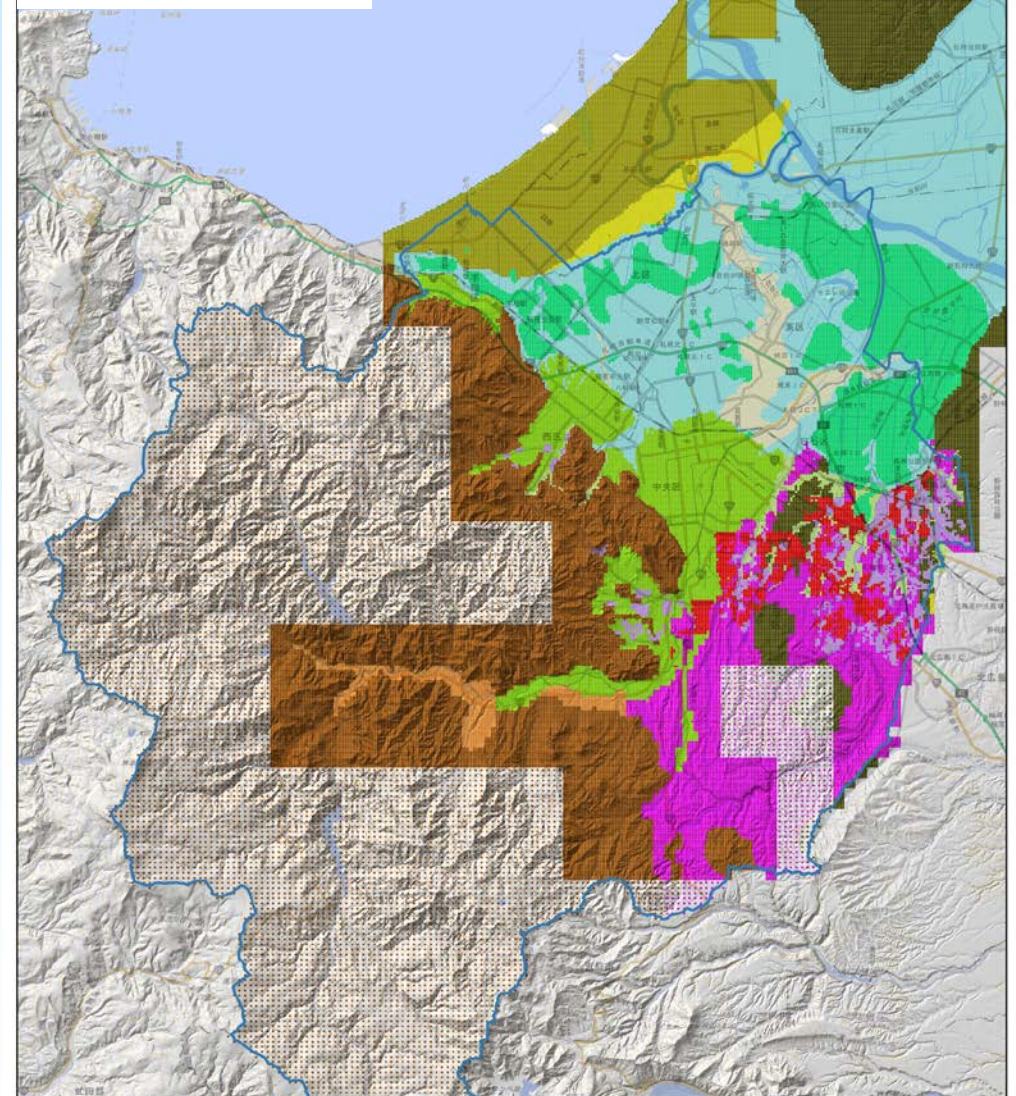
100mメッシュ数: 62,950
250mメッシュ数: 9,596



メッシュ番号の付け方も、
国土地理院が採用している
ルールに変更した。

地形分類	
三角州	砂礫台地
堤列平地	丘陵地(更新統堆積物)
泥炭地	丘陵地(支笏軽石流堆積物)
自然堤防	山地(新第三紀以前)
谷底平野	S44年時宅地部(盛土厚2.5~20m)
砂丘	S44年以降盛土造成地(盛土厚2.5~20m)
扇状地	清田団地(盛土厚10m)

現行想定(H19)



地形分類	
三角州	砂礫台地
堤列平地	丘陵地(更新統堆積物)
泥炭地	丘陵地(支笏軽石流堆積物)
自然堤防	山地(新第三紀以前)
谷底平野	S44年時宅地部(盛土厚2.5~20m)
砂丘	S44年以降盛土造成地(盛土厚2.5~20m)
扇状地	清田団地(盛土厚10m)

2.2.2 ②大規模盛土造成地の考慮

【予測精度向上手法の検討】

- 造成地の反映の仕方～よりマッチングを高めるための手法の検討

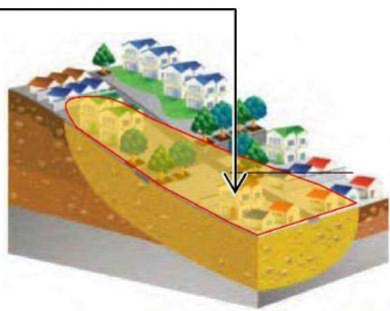


【大規模盛土造成地の考慮】

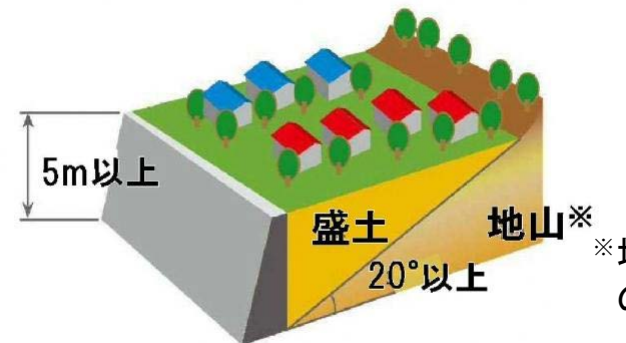
- 平成30年北海道胆振東部地震を契機に、「大規模盛土造成地マップ」が改訂され、当該マップで示された造成地を地形分類に反映することで、人工改変された地形の特定がより高精度化する。
- 「大規模盛土造成地マップ」と「現行想定(H19)で特定・反映されている谷埋め盛土」の分布を踏まえ、地形分類を更新する。

札幌市大規模盛土造成地マップ

盛土面積が3,000m²以上



谷埋め型大規模盛土造成地



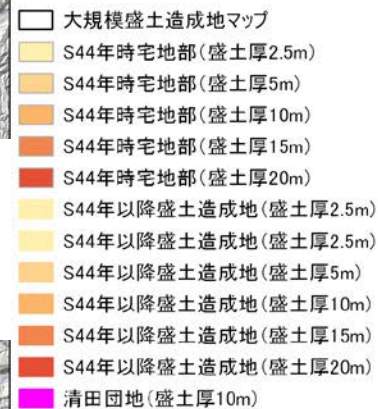
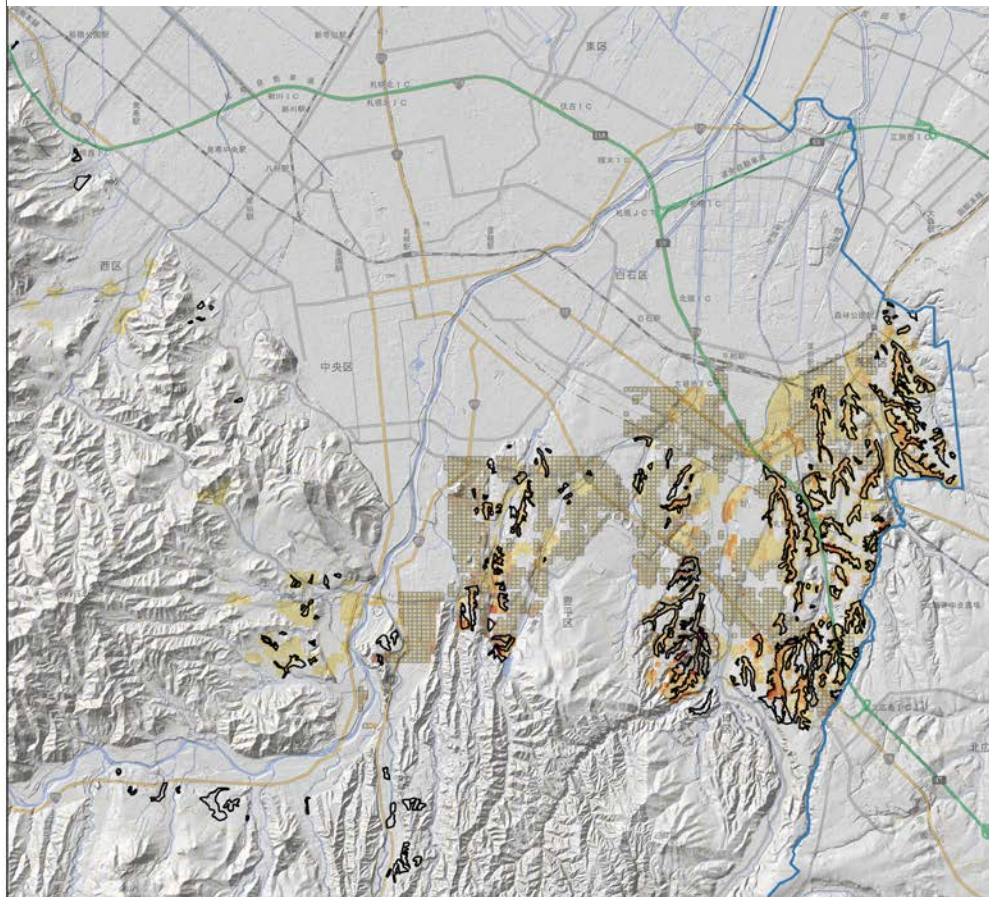
※地山とは、盛土する前の自然のままの地盤

腹付け型大規模盛土造成地

主に昭和40年頃の造成前の地形図と、主に平成24年頃の造成後の地形図を重ね合わせるにより作成

2.2.2 ②大規模盛土造成地の考慮

「大規模盛土造成地マップ」と「現行想定(H19)の谷埋め盛土」



※大正5年の1/25,000地形図のDEMと平成2~8年時測量の1/25,000地形図のDEMの差分により盛土厚を算定(DEM:標高データ)



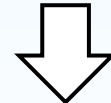
【地形分類の更新】

- 「大規模盛土造成地マップ」は、その大部分が現行想定(H19)で特定・反映されている谷埋め盛土の「昭和44年以降の盛土造成地」に該当することが確認された。

⇒「大規模盛土造成地マップ」は、昭和40年頃の地形図を造成前の地形として評価していること、「現行想定(H19)の谷埋め盛土」は、昭和44年の地形図とH19当時の地形図を比較して、盛土部の平面的な位置を特定していることに対応。



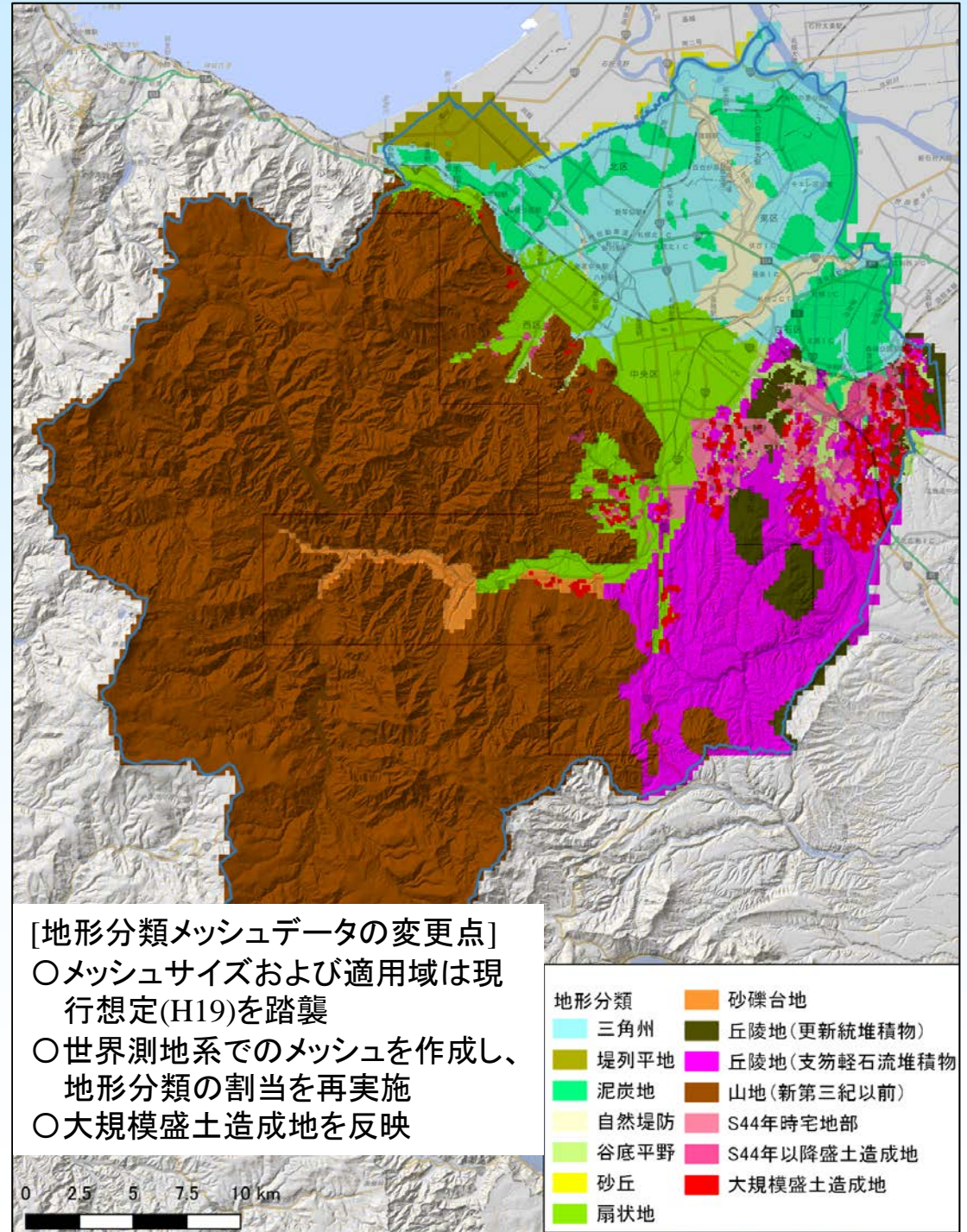
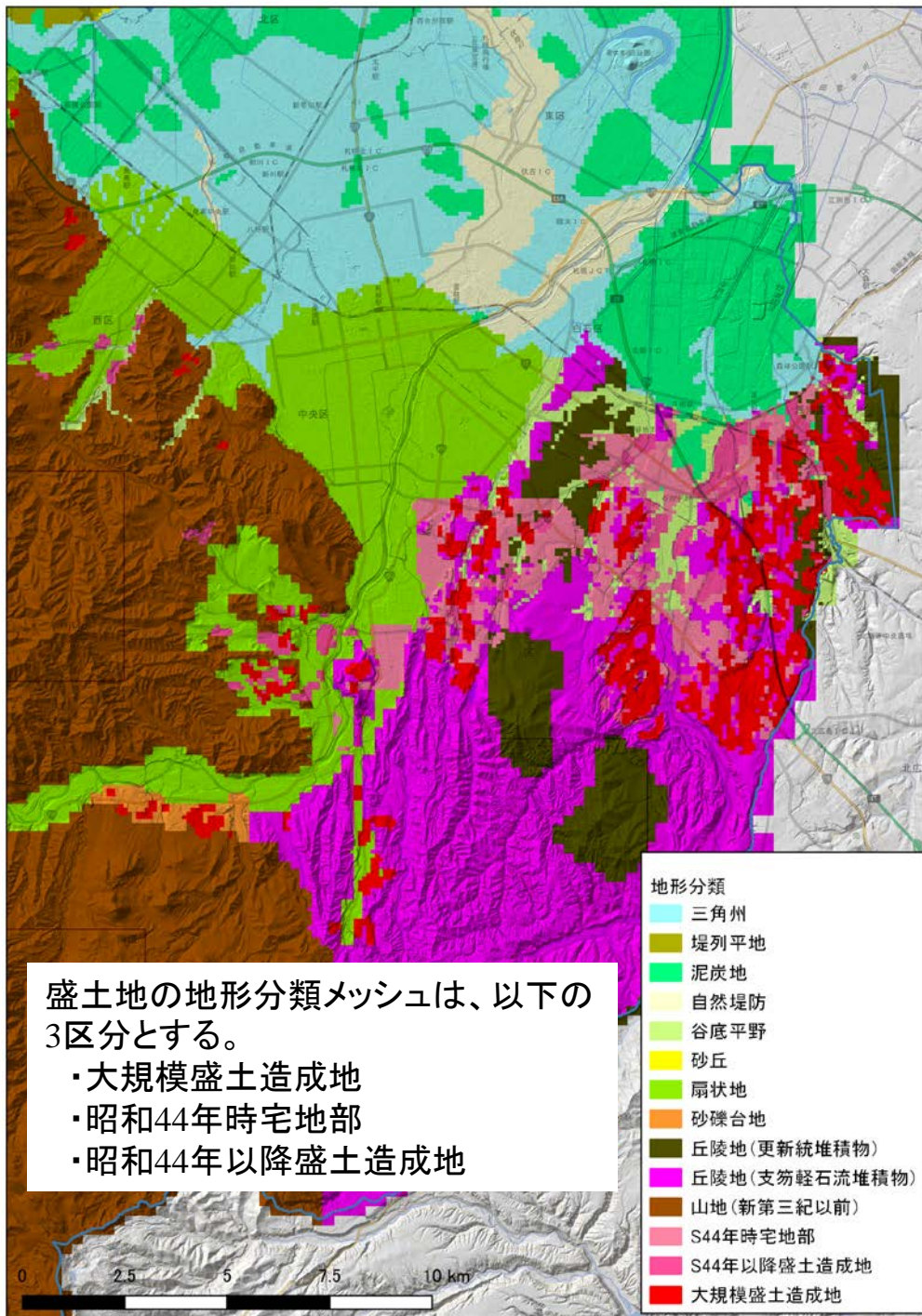
- 「大規模盛土造成地マップ」は、「現行想定(H19)の昭和44年以降の盛土造成地」を精度よく特定しているものという位置付け。
- 一方で、昭和44年以前に造成(宅地化)された場所も現行想定(H19)では得られている。



- 「現行想定(H19)の谷埋め盛土」は、そのまま踏襲し、「大規模盛土造成地マップ」に該当するメッシュを大規模盛土造成地として、別の分類として割り当てる。

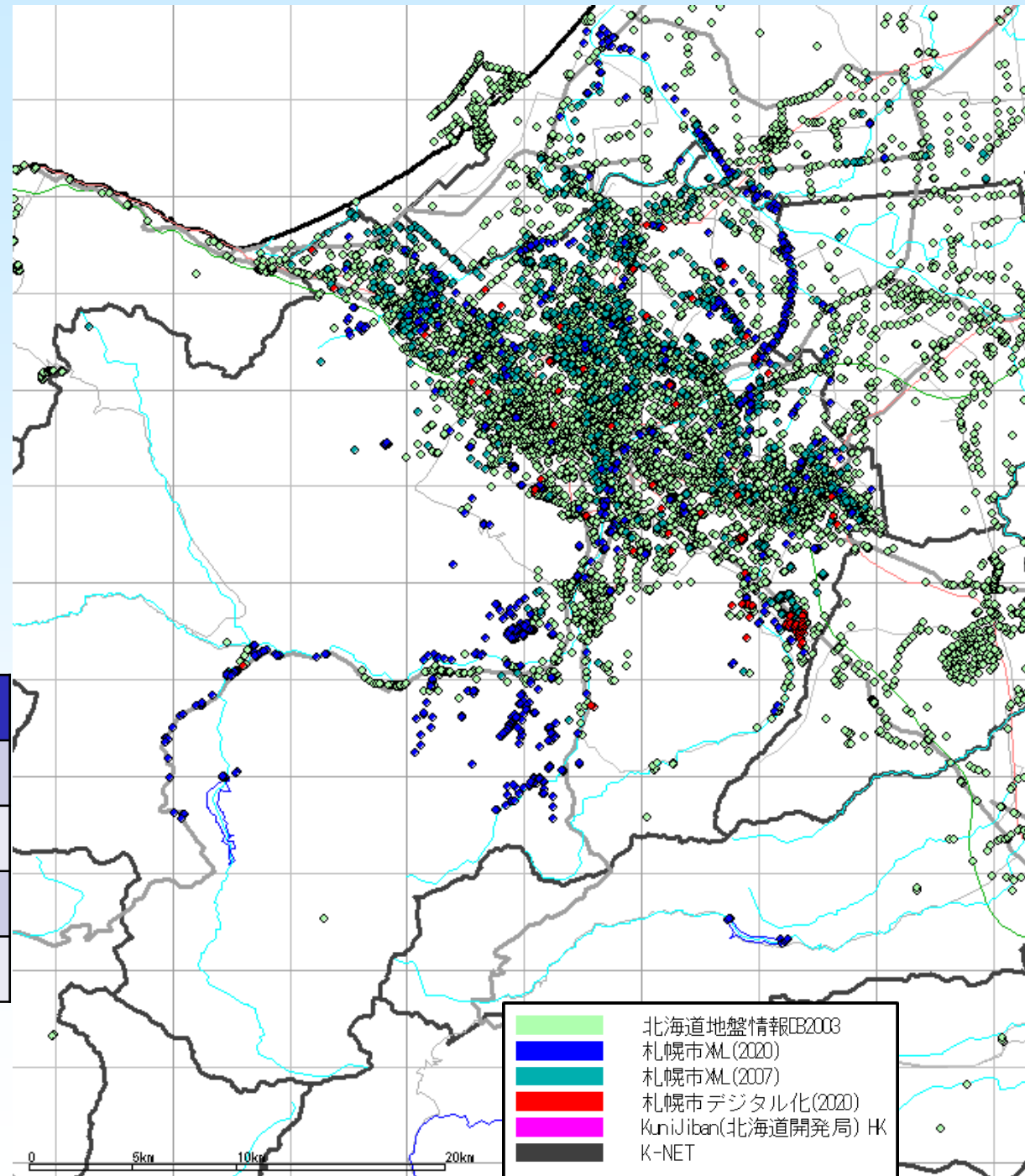
※ただし、現行想定(H19)で算定された盛土厚による区分は行わない。

2.2.2 ②大規模盛土造成地の考慮



2.2.3 ③④ボーリングデータの追加

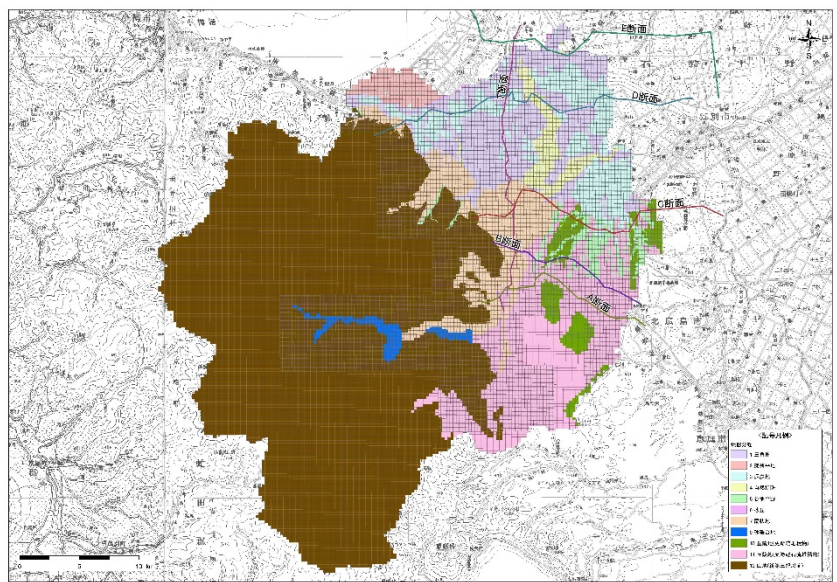
前回想定以降の公共工事等のボーリングデータを加えた。山側や河川沿いで特に増えており、清田区などデジタル化されたデータが増えている。データありのメッシュ数も増加。



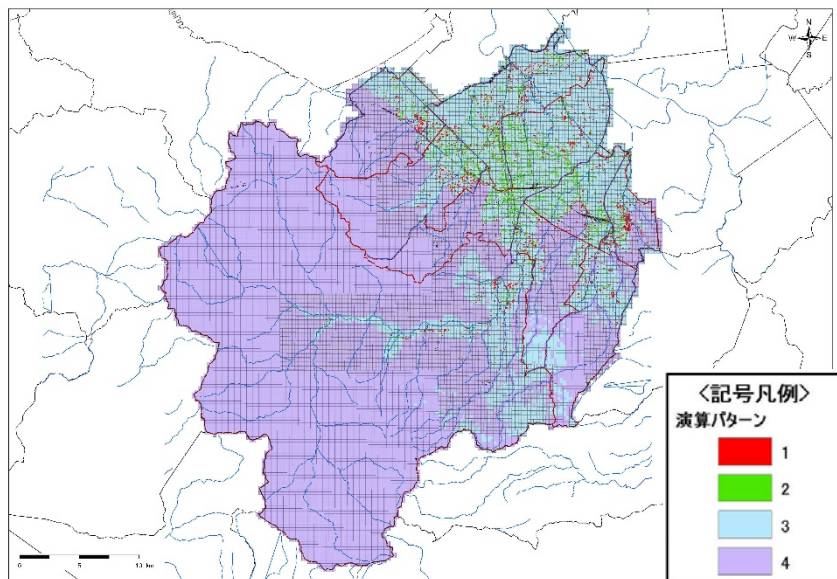
	現行想定	今回
①メッシュ(100m)	65,325	62,950
②総ボーリング数	12,326	18,125
③データのあるメッシュ数	4,887	5,383
割合(③/①)	7.5%	8.6%

2.2.4 ⑤メッシュの地盤モデル構築

【現行想定(H19)の手法】



【地形分類メッシュ】



【ボーリングデータ水平展開結果】

■地形分類メッシュの作成

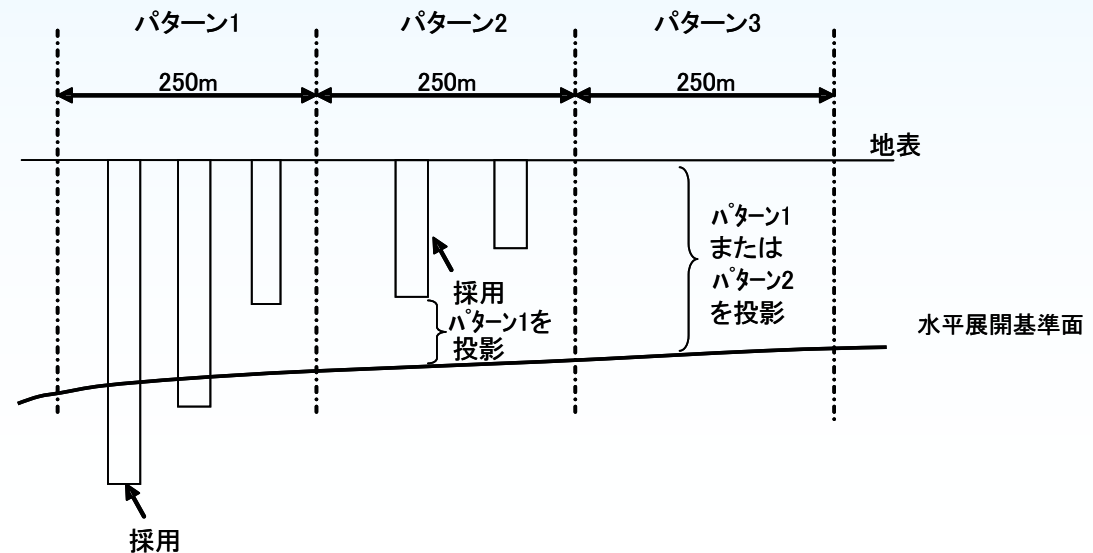
- ・札幌市の市街地は「1/3万札幌および周辺部地盤地質図」(ポリゴン)、南西山地を初めとする山間部は「国土数値情報の地形分類」(1kmメッシュ)の分類に従い、分類種類を調整
- ・最終的に、50mメッシュ地形情報を解析して、ポリゴンデータと1kmメッシュデータを本想定で用いたメッシュ(市街地100m、山地250m)に適合させ、メッシュ内最多占有地形をメッシュの地形分類とした

■ボーリングデータの水平展開方法

- ・ボーリングはメッシュ内で最も長いボーリングを採用(パターン1:赤)
- ・水平展開基準面まで達しないボーリングの場合、同一地形区分で最も近いパターン1の下部を補足的に投影(パターン2:緑)
- ・ボーリングがないメッシュでは、同一地形区分のうち最も近いパターン1または2を投影(パターン3:水)
- ・表層土砂層が薄い山地(パターン4:紫)

■モデルの検証

- ・地質構造について、文献等の大構造との比較
- ・工学的性質として、PS検層データとモデルの速度構造との比較



盛土造成地の滑動崩落防止対策の効果の反映について

【対策の実施状況】

- 平成30年北海道胆振東部地震において被害が発生した清田区・豊平区のエリアでは、復旧工事に際し、再度災害防止対策が実施中または実施予定である。
 - これら対策の多くは、地下水位低下工法や地盤改良工法（宅地部においては主に薬液注入工法）である。
 - 対象エリアのうち、里塚地区については、地震被害想定の見直し期間中に対策が完了することから、地盤モデルへの反映を行う。
- ※ その他の地区については、対策工事実施中のため、次回地盤モデル更新時に反映する。

【揺れへの考慮】

- 実施の対策は、土の強度を高める工法ではないので、**揺れの大きさについては考慮の対象としない**（地震応答解析モデルは変更しない）。

【液状化への考慮】

- 液状化対策の効果については、**地表から3～7m程度の非液状化層厚を設定する考え方を検討する**。

2.2.4 ⑦浅部地盤モデルの土質分類の細分化

液状化危険度の評価で用いる平均粒径や細粒分含有率を土質に応じて適切に設定するため、下表のとおりシルト、砂の分類を細分化する。

土質分類		平均粒径 D50(mm)	細粒分含有率 FC(%)
H19年度	今回		
粘土	粘土	—	—
シルト	シルト	0.025	75
	砂質シルト	0.04	65
砂	シルト質細砂	0.07	50
	細砂	0.15	30
	中砂	0.35	10
	粗砂	0.6	0
砂れき	砂れき	2.0	0
盛土(砂系)・表土	盛土(砂系)・表土	2.0	0
泥炭	泥炭	—	—
火山灰	火山灰	0.2	40
火山灰質盛土	火山灰質盛土	0.2	42
岩盤	岩盤	—	—
UNP	UNP	—	—

3. 強震動計算

3.1 強震動計算の基本方針

26

3.1 強震動計算の基本方針(R1年度より一部見直し)

【強震動計算の方針】 現行想定¹⁾の計算手法を継続する

■ 深部地盤の計算手法～ハイブリッド合成法

・地震本部で採用している“詳細法”と同じ手法で、高度な計算手法である

■ 浅部地盤の計算手法～等価線形解析法

・埋立地等の軟弱地盤で大きく揺れるような「浅部地盤での増幅」を評価する手法は、波形データを扱う地震応答解析(詳細法)と震度等の指標のみを扱う簡易法に大別され、下表に示すようにいずれも多く自治体で採用している。

算出方法	概要	採用事例
地震応答解析(詳細法)	等価線形解析法が用いられることが多い(非線形化の影響を少ないパラメータで考慮できる)	札幌市(2008)、大阪府(2007)、福岡県(2012)、群馬県(2012)、千葉県(2016)、埼玉県(2014)
増幅率を用いる方法(簡易法)	被害想定ではボーリングデータを活用して地域特性を反映したVs30を算定し用いることが多い	内閣府南海トラフ(2012)、内閣府首都直下(2013)、徳島県(2013・2017)、神奈川県(2017)、京都府(2017)
両方で計算し大きい方を採用	簡易な増幅率の方が大きくなることが多い	岡山県(2013・2014)、山形県(2016)

● 詳細法で行うには、地盤モデル(土質、層厚、S波速度等)を全メッシュで構築する必要がある。ボーリングデータが高密度で活用できる必要もあり、簡易法を採用している例も少なくない。

● 札幌市では、H19想定の際に地盤モデルを構築している。以下の2点の改良を加え、詳細法(等価線形解析手法)を用いる。

- 1) **ボーリングデータを追加し、地盤モデルの精度を高める**(合わせて世界測地系対応とする)
- 2) **等価線形解析には改良手法を用いる**(旧来のSHAKEは、過小評価する可能性がある)

4. 液状化の評価

4.1	液状化評価の基本方針	28
4.2	液状化に関わる地下水標高分布	29
4.3	液状化危険度の評価手法	31

4.1 液状化評価の基本方針(R1年度より一部見直し)

【評価(計算)手法】

■ 現行想定の確認

・「道路橋示方書」に記されている方法に基づき、PL法を採用。従来のPL値による手法を引続き採用する。

■ ガイドラインや示方書等の新規発行・改訂状況確認

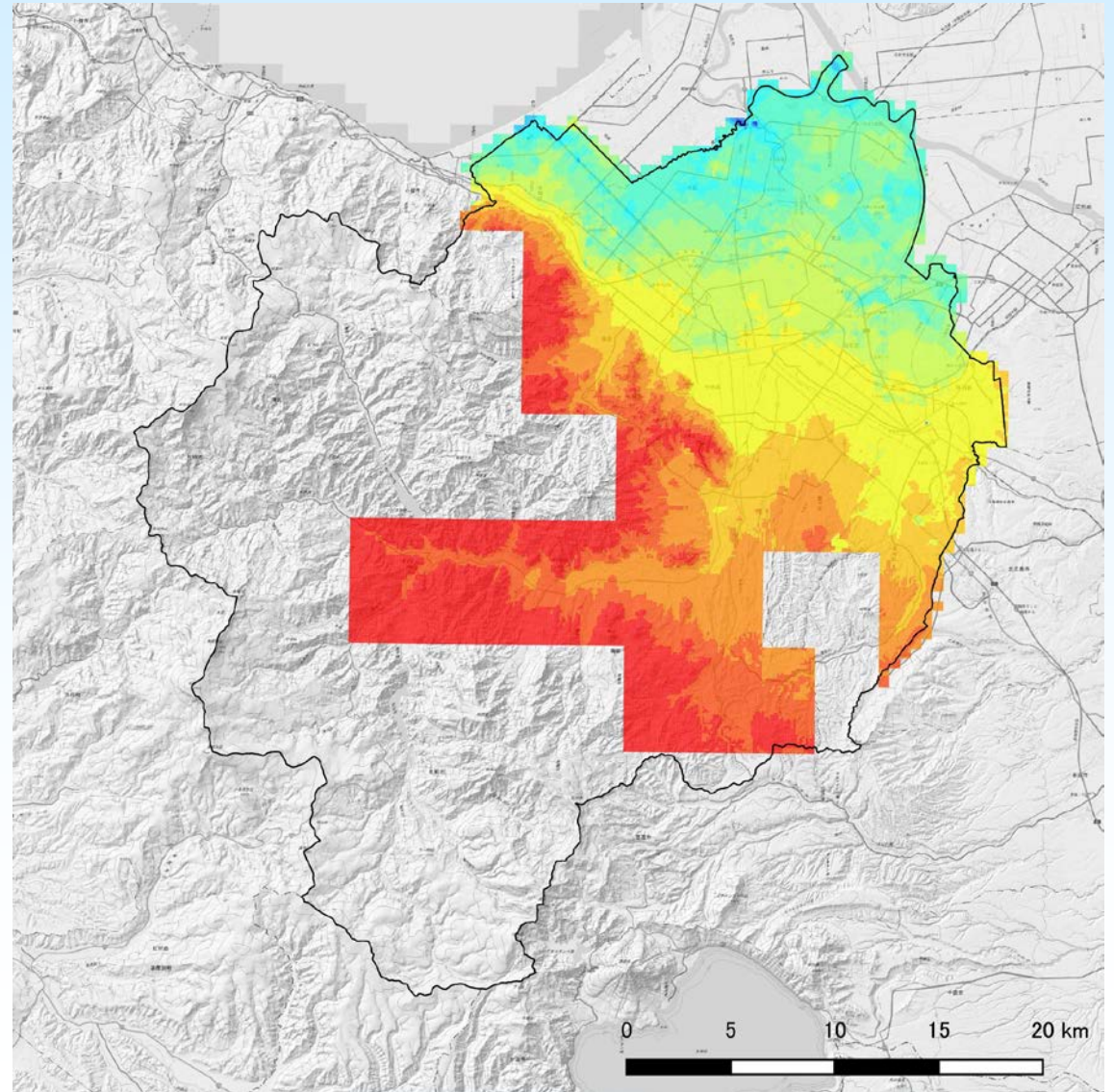
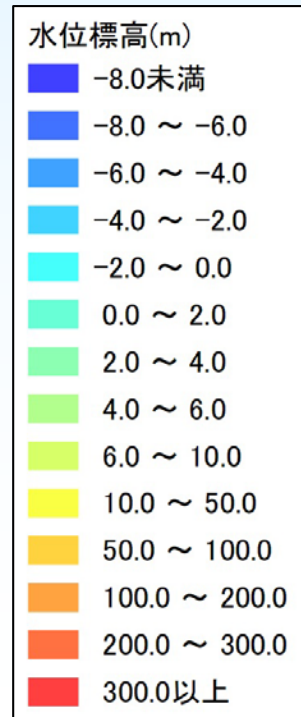
- ・H19想定で採用した道路橋示方書の方法は、H29改訂で変更されている。
- ・H24改訂:H23東北地方太平洋沖地震のような巨大地震では継続時間が長いことの影響に関する議論はあったが、変更なし
- ・H29改訂:従来式は安全側のため、**橋梁評価に適した合理的な改訂**
～ **粒度の影響を反映する評価式に変更**

⇒ **新しい「道路橋」2017と従来の「道路橋」1996の結果を比較し、問題がないことを確認した上で、新手法を採用**

4.2 液状化に関わる地下水標高分布

■ 地下水位モデル構築手順

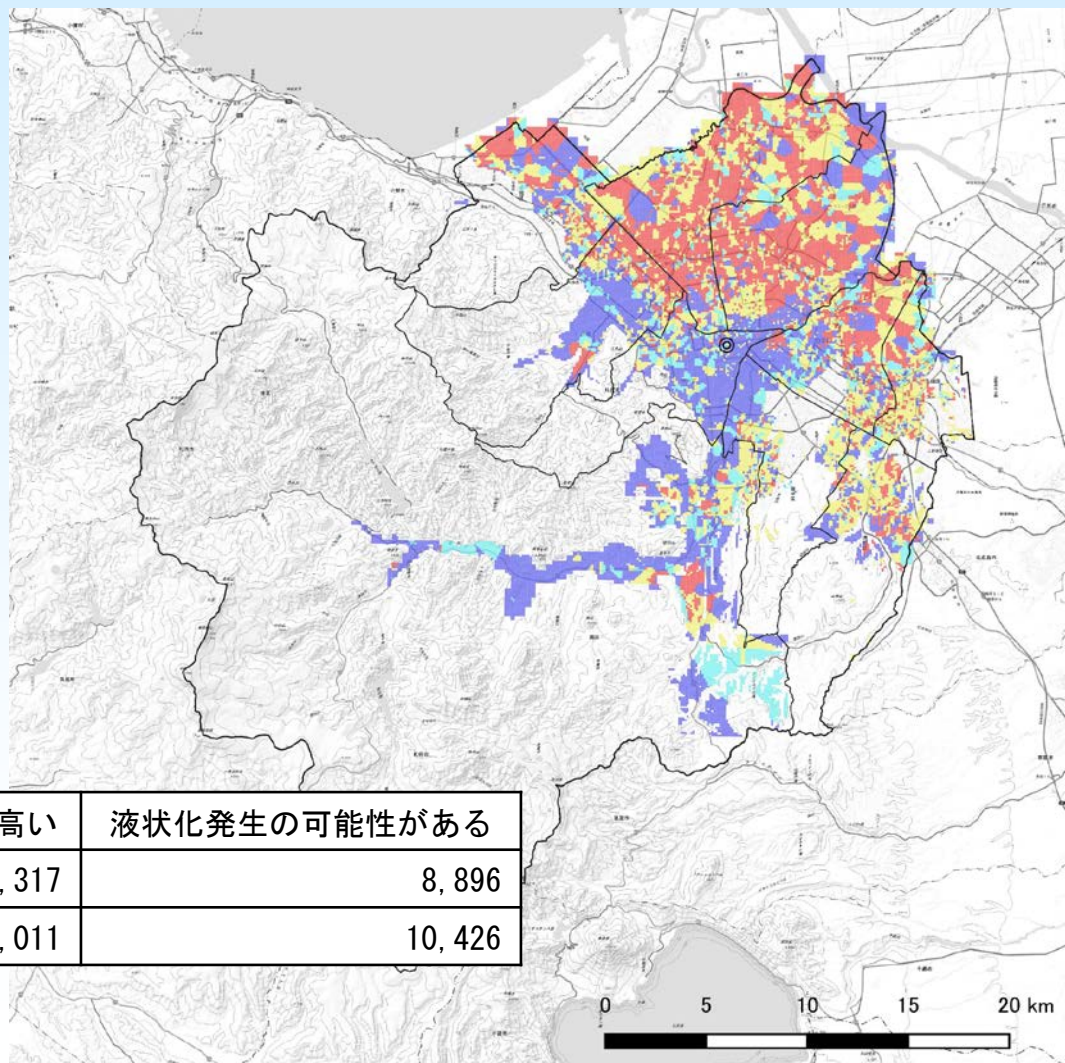
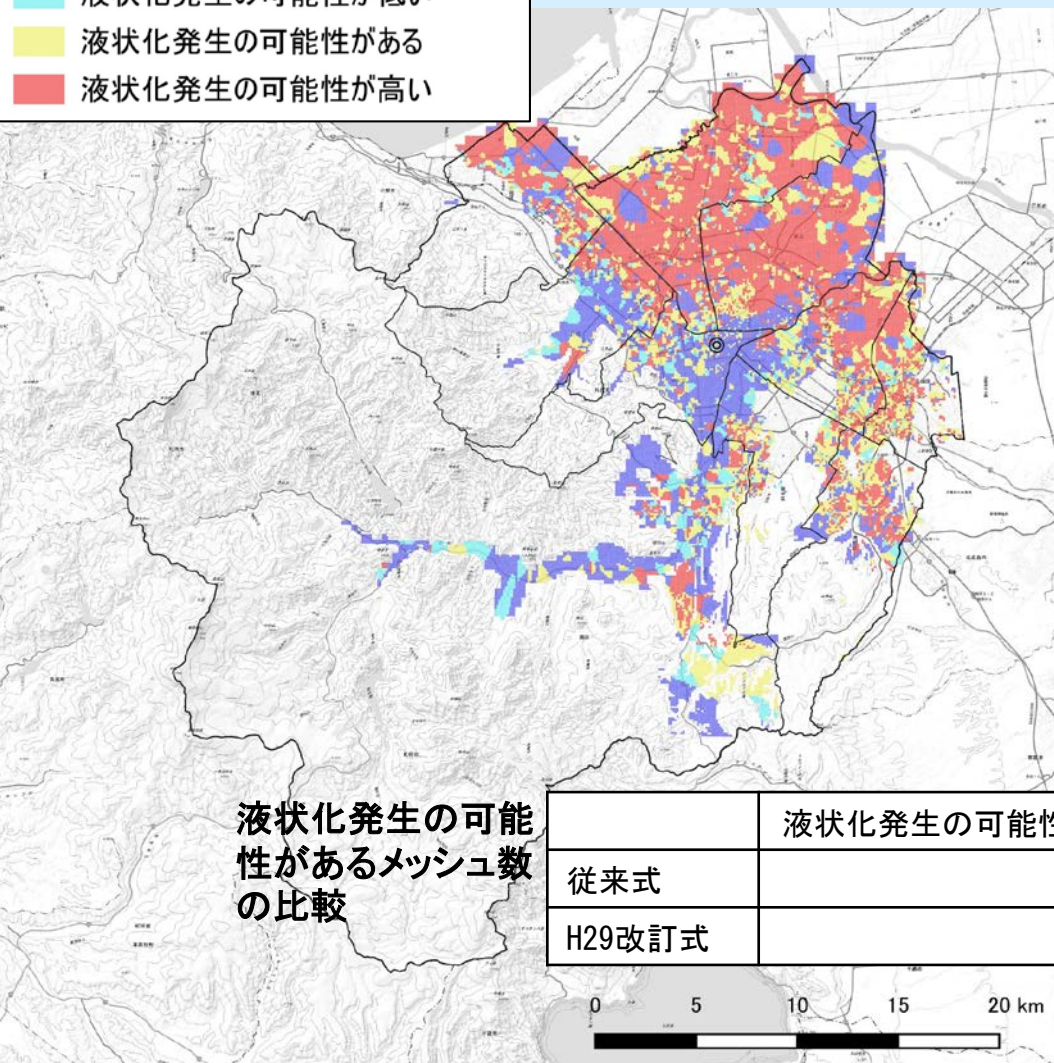
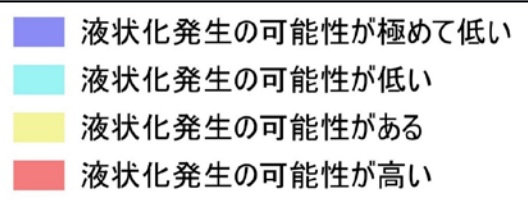
- ・北海道開発局、北海道、札幌市環境局による観測井の近年のデータと、復旧工事箇所でのボーリングでの連続観測データを追加し、各地点で最高水位を採用(計104地点)
- ・ボーリングによる地下水位と合わせ、補間により各100mメッシュでの地下水位モデルを構築(100mメッシュの範囲について)



4.3 液状化危険度の評価手法～一様震度でのPL値分布比較

■結果の比較

- ・手法による結果の差異を確認(下図は【内陸直下型(タイプⅡ)、計測震度6.0を一様に与えたケース】)
- 計算式の考察(資料6-3 p.43参照)や算出結果を確認したところ、一部で危険度ランクが下がるものの、分布の傾向に大きな齟齬はないことを確認した。最新の知見を取り入れた見直しを進める観点から、H29改訂式を用いたい。



液状化発生の可能性があるメッシュ数の比較

	液状化発生の可能性が高い	液状化発生の可能性がある
従来式	14,317	8,896
H29改訂式	10,011	10,426

(a)従来法

(b) H29改訂式