

東京電力株式会社柏崎刈羽原子力発電所
敷地および敷地近傍の地質・地質構造
「解析による追加検討結果」

平成20年7月10日
東京電力株式会社



東京電力

本日の説明の位置づけ

第五回WG
(3月27日)

- 地震後の調査・測量結果の概要を取りまとめて報告
- 追加調査の計画概要の説明

1. 西山丘陵～柏崎平野の地殻変動の調査
 - 敷地近傍の地下探査
 - 敷地内の群列ボーリング
 - 敷地内V系断層の掘削調査（報告済）
 - 水準測量に係る現地調査
2. 海域～陸域の地下構造の調査

第六回WG
(4月18日)

- 委員からの追加意見（資料：合同W6-4）：コメントの主旨のみ記載
中央丘陵（小木ノ城背斜）における変動について説明すること（回答済）
計測された地盤変動量から、解析的に求められる広域的な地殻変動成分を除去したローカルな変動の有無を把握すること（説明事項3）
水準測量の2測線間の沖積地のレーザー地形を示し、段差等の断層活動を示唆する地表面現象の有無を確認するとともに中越沖地震時の被害状況を説明すること（説明事項4.2、説明事項4.3）
盛土の厚い他の地点において、水準測量の2測線で認められた変動と同様の現象の有無を確認すること（説明事項4.1）
真殿坂断層のごく浅い幅の狭い断層変位を仮定した場合に、水準測量による10cm程度の明瞭な変動を説明できるか検討すること（説明事項4.4）

本日の説明の位置づけ

第十三回WG
(7月10日)

- 敷地および敷地近傍の地質構造の概要 (レビュー)
- 地震後の調査・測量結果の概要 (レビュー)
- 委員からの追加意見を踏まえた解析等による検討結果の報告
 1. 広域の変動との対比 (国土地理院の解析結果との比較) -コメント
 2. 現地の状況との対比 (盛土に関する調査) -コメント
 3. 空中写真判読による敷地近傍の変状地形 -コメント
 4. DEMによる敷地近傍の変状地形 -コメント
(DEM: デジタル標高モデル)
 5. 真殿坂向斜の位置にすべり面を考慮した解析との対比 -コメント

次回WGにて

- 追加調査結果の報告
- 敷地および敷地近傍における地盤変動に関する評価

ご説明事項

1. 敷地および敷地近傍の地質・地質構造の概要
2. 地震後の調査・測量結果の概要
3. 広域の変動との対比（コメント）
4. 水準測量結果に関する分析
 1. 地質・地形・現地の状況との対比（コメント）
 2. 空中写真判読による敷地近傍の変状地形（コメント）
 3. DEMによる敷地近傍の変状地形（コメント）
 4. 真殿坂向斜の位置にすべり面を考慮した解析との対比（コメント）
5. まとめ

1. 敷地および敷地近傍の地質・地質構造の概要

2. 地震後の調査・測量結果の概要

3. 広域の変動との対比(コメント)

4. 水準測量結果に関する分析

1. 地質・地形・現地の状況との対比(コメント)

2. 空中写真判読による敷地近傍の変状地形(コメント)

3. DEMによる敷地近傍の変状地形(コメント)

4. 真殿坂向斜の位置にすべり面を考慮した解析との対比(コメント)

5. まとめ

敷地近傍の地形

- 敷地近傍陸域の地形は、寺泊・西山丘陵，中央丘陵及び柏崎平野からなる。
- 寺泊・西山丘陵は、日本海に面した標高150m程度以下のなだらかな丘陵である。
- 中央丘陵は、NNE - SSW方向に連続する標高300m程度の丘陵である。
- 柏崎平野は、鯖石川、別山川、鵜川等により形成された、南北15km，東西4km～7kmの沖積平野であり、平野西側の海岸部には荒浜砂丘が分布する。
- 敷地は、寺泊・西山丘陵の南西部の日本海に面した荒浜砂丘に位置する。
- 空中写真判読結果によると、敷地を中心とする半径5km範囲の陸域には、変動地形の可能性のあるリニアメントは認められない。

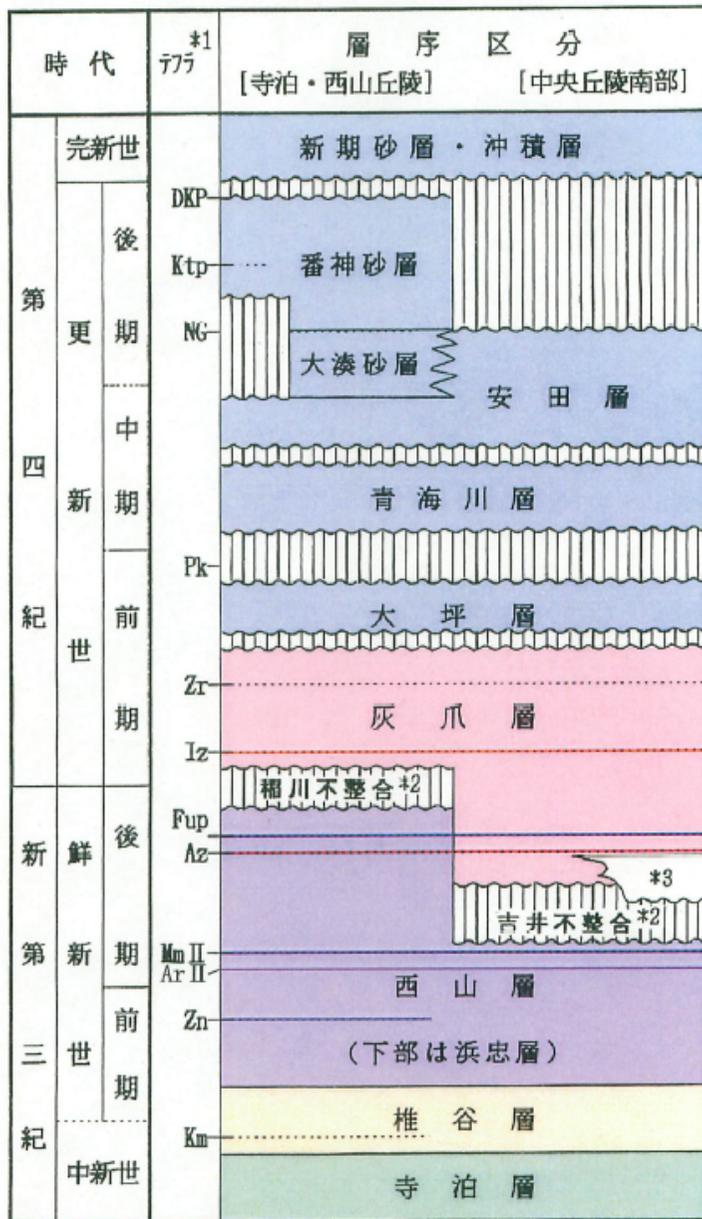


凡	例
段丘区分	
L I 面 (MIS5a~4)	L I
M II 面 (MIS5c)	M II
M I 面 (MIS5e)	M I
M I + 面 (MIS5e)	M I +
H 面群 (MIS7)	H

変動地形の可能性のある地形
敷地を中心とする半径5km範囲に
変動地形の可能性のある地形は判読されない

この地図は、国土地理院発行の5万分の1
地形図（柏崎）を使用したものである。

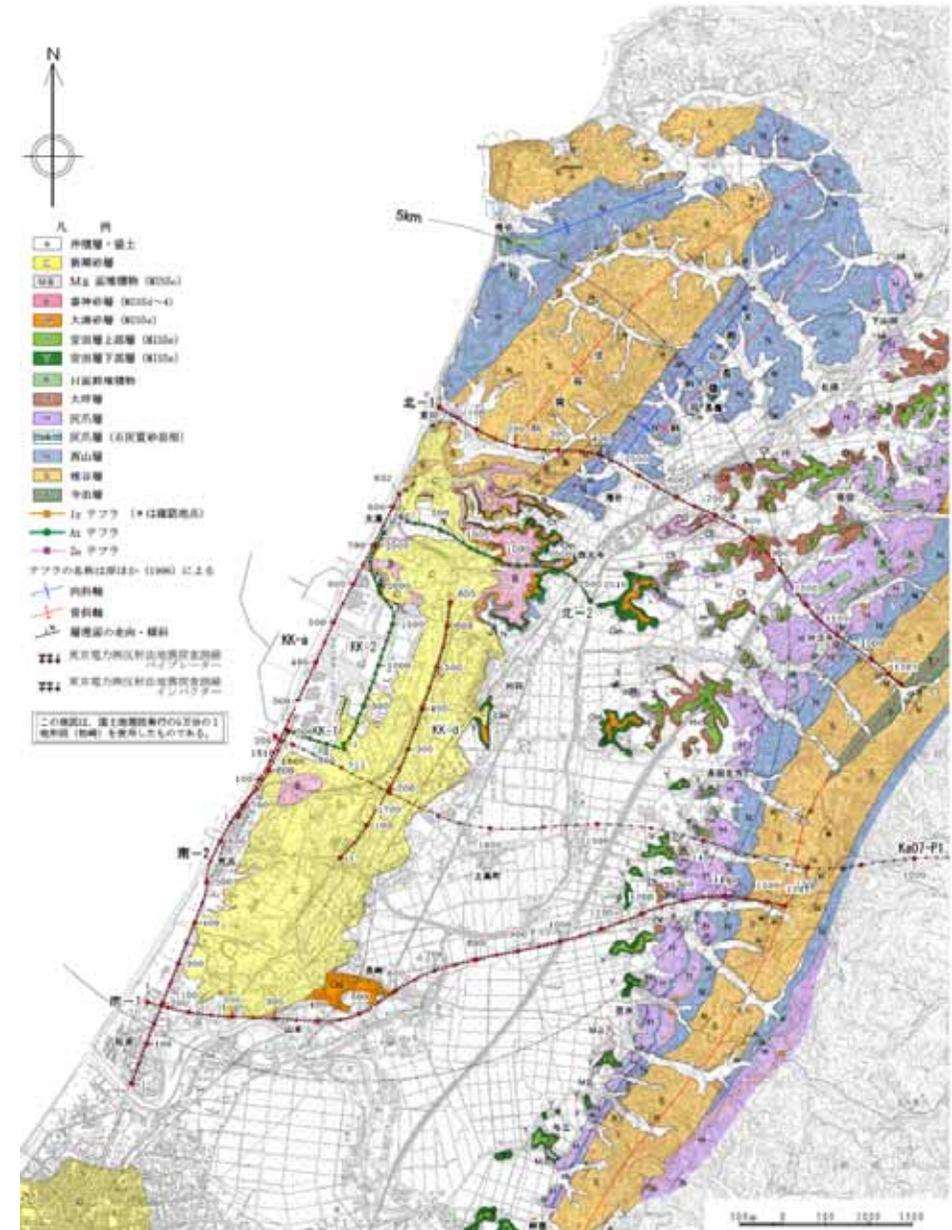
敷地近傍の層序



- *1 テフラの名称は岸・宮脇(1996)を参照。
- *2 不整合の名称は岸・宮脇(1996)を参照。
- *3 米山火山岩類：同火山岩類は米山海岸に広く分布するほか、柏崎市南部の南下付近で西山層中に狭在する。

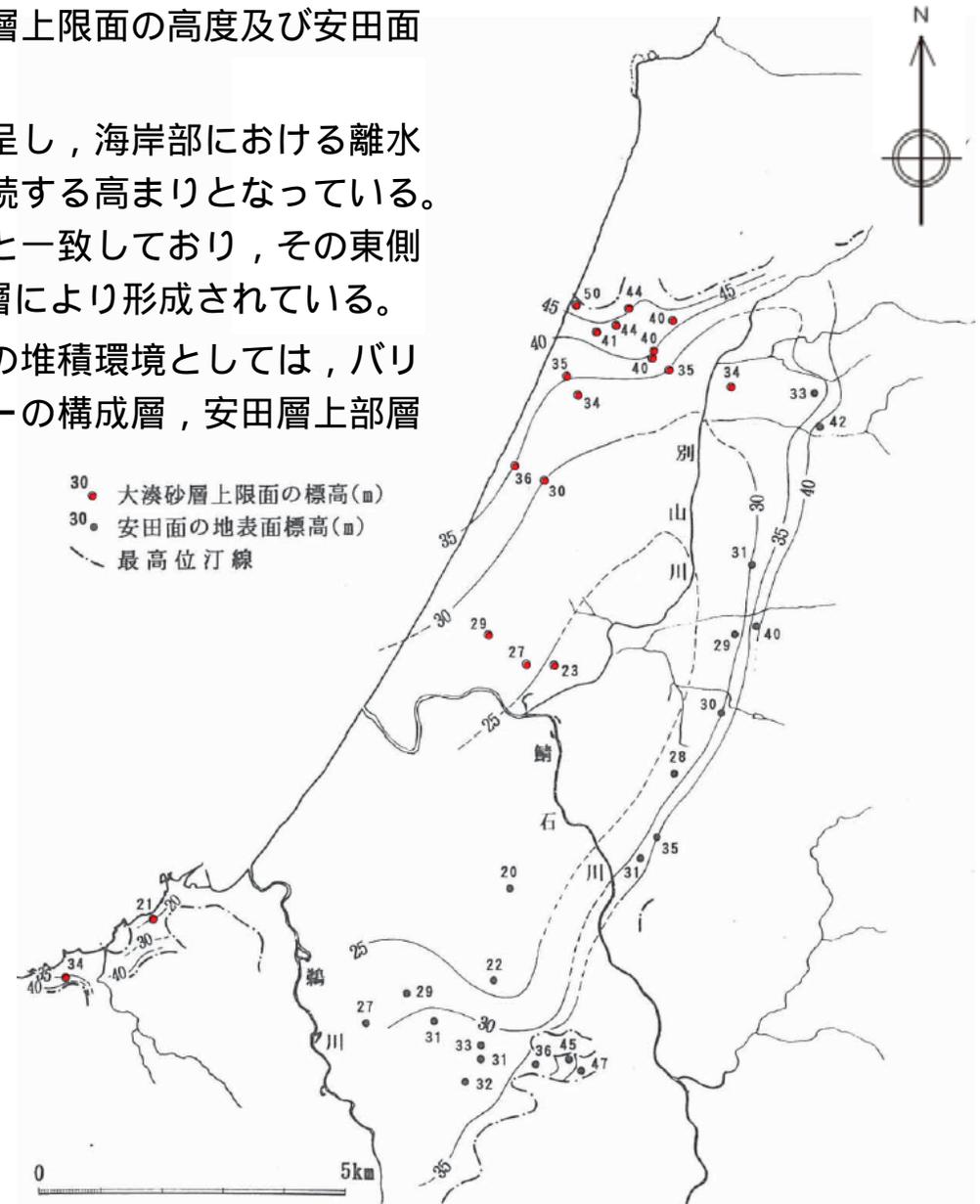
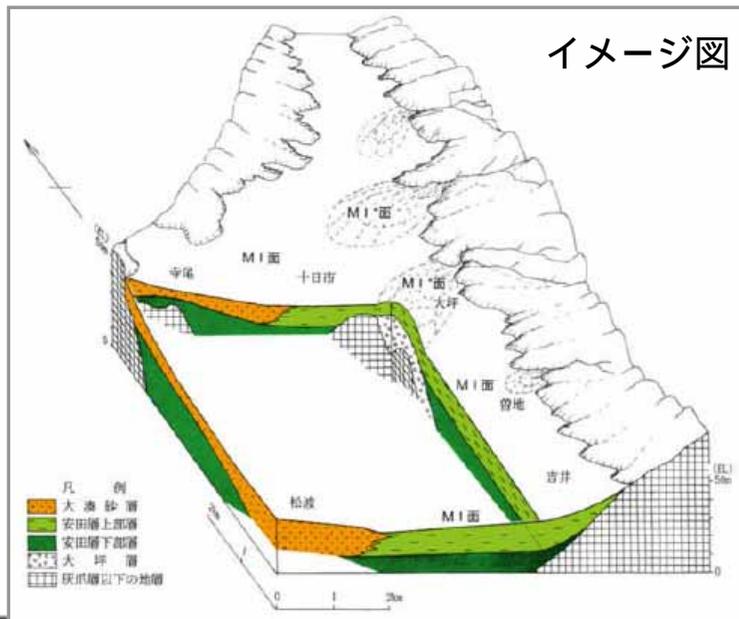
敷地近傍の地質構造

- 敷地北側の寺泊・西山丘陵南部には、NE - SW方向の後谷背斜及び長嶺背斜が分布し、両背斜間には、真殿坂向斜が位置する。
- 敷地における地質調査結果によると、後谷背斜及び真殿坂向斜は敷地に連続し、後谷背斜は敷地中央部付近で、真殿坂向斜は敷地の南端部付近でそれぞれ海域に達する。
- 柏崎平野東側の中央丘陵においては、NNE - SSW方向ないしNE - SW方向に連続する中央油帯背斜が分布する。



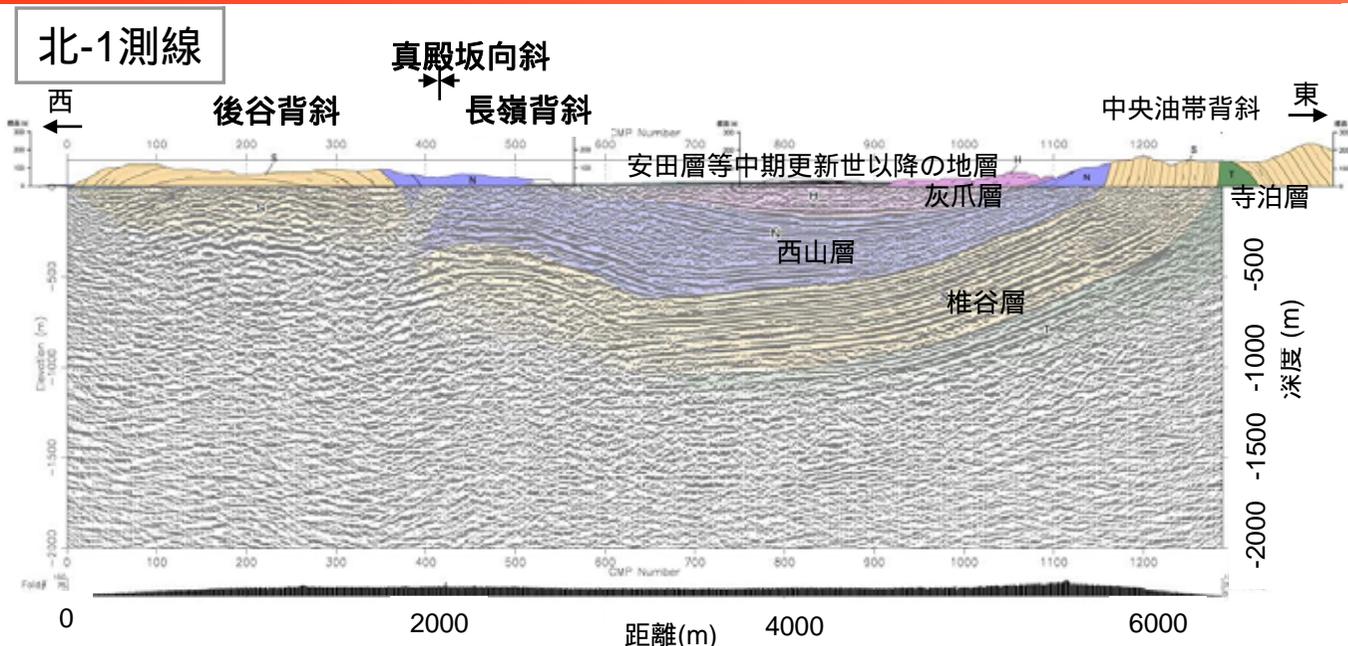
敷地近傍の地質構造

- 柏崎平野における下末吉期の離水面は，大湊砂層上限面の高度及び安田面の高度に基づき復元される。
- 復元された離水面は，平野を中心とする盆状を呈し，海岸部における離水面の形態は，柏崎市大湊付近から南西方向に連続する高まりとなっている。この高まりは，海浜～浅海性の大湊砂層の分布と一致しており，その東側の盆状部における離水面は内湾性の安田層上部層により形成されている。
- これらのことから，下末吉期における柏崎平野の堆積環境としては，バリヤーシステムがあてはまり，大湊砂層はバリヤーの構成層，安田層上部層はラグーンの構成層と考えられる。

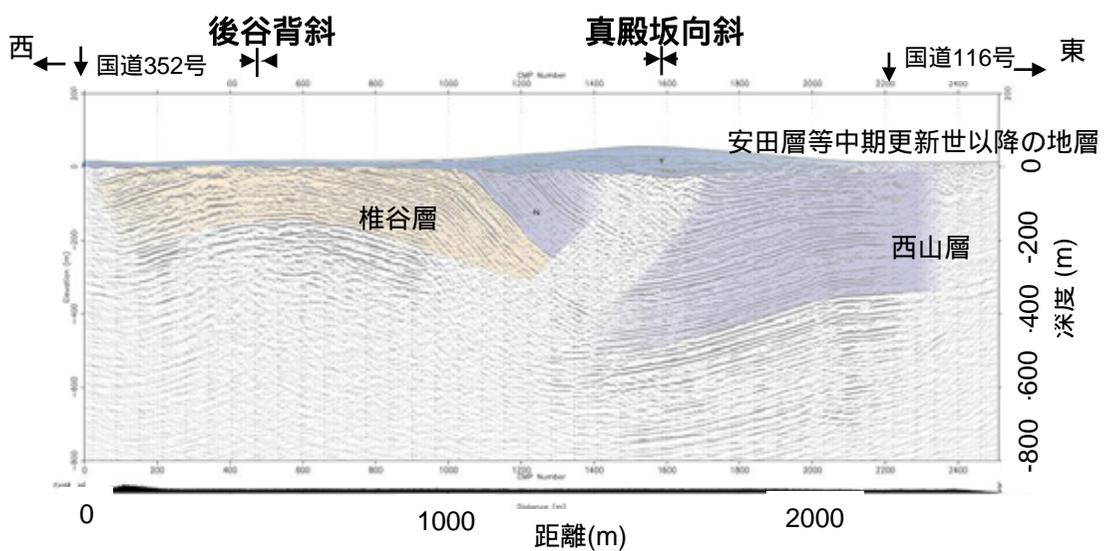


地下探査結果：敷地北側

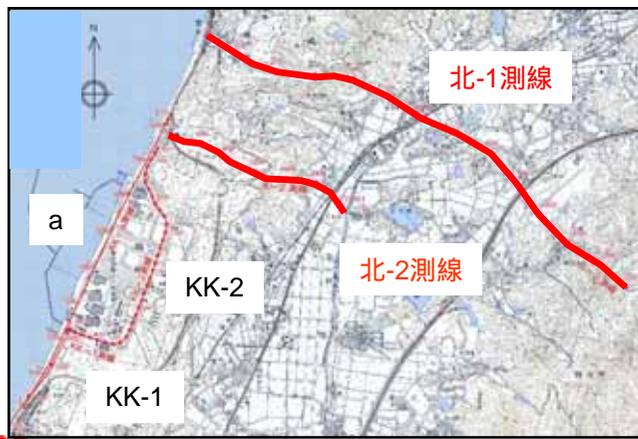
- 敷地北側では、後谷背斜・長嶺背斜の地下構造を捉えている。
- 真殿坂向斜では、非対称な向斜構造が確認され、文献により、その深部には真殿坂断層が想定されている。



北-2測線



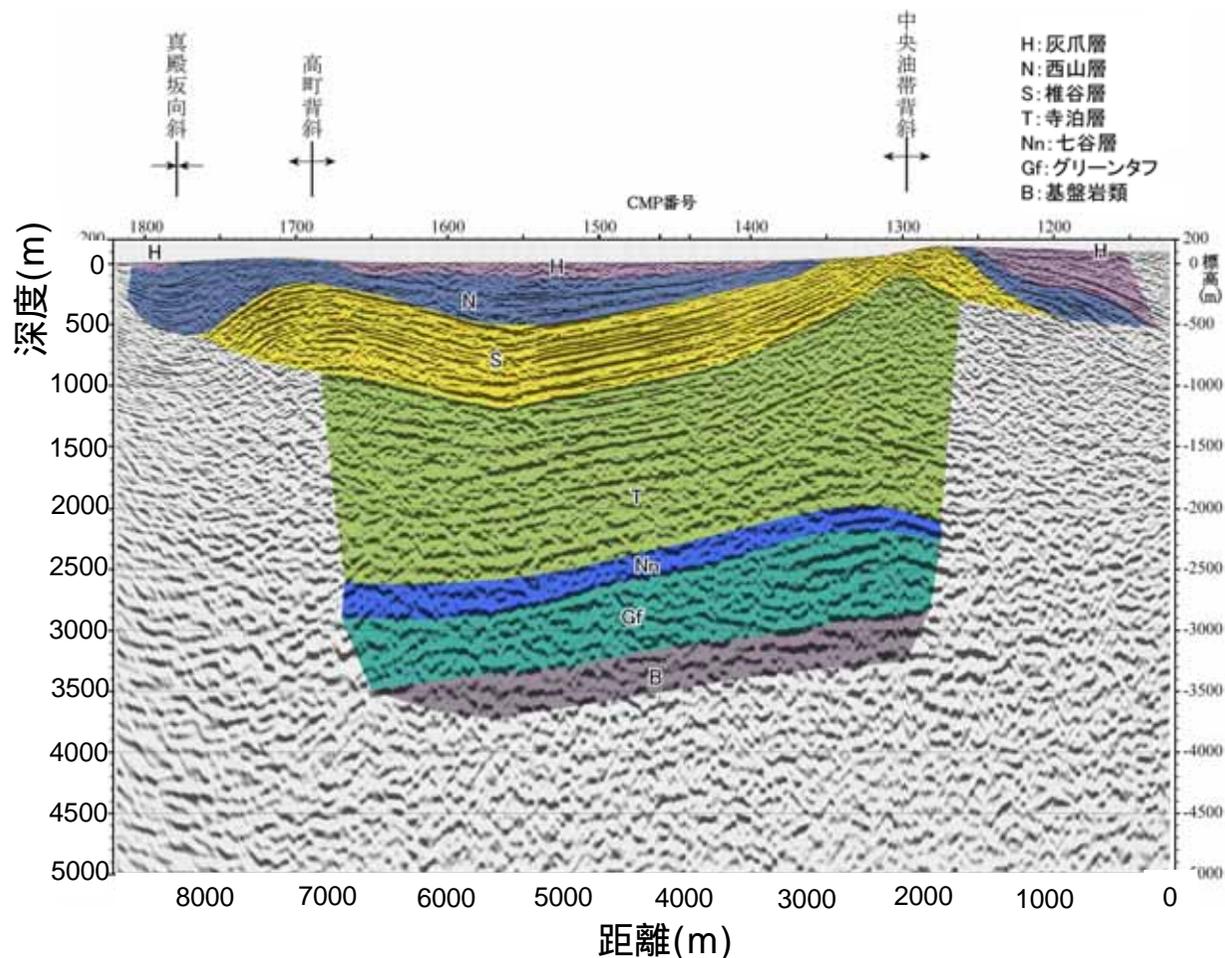
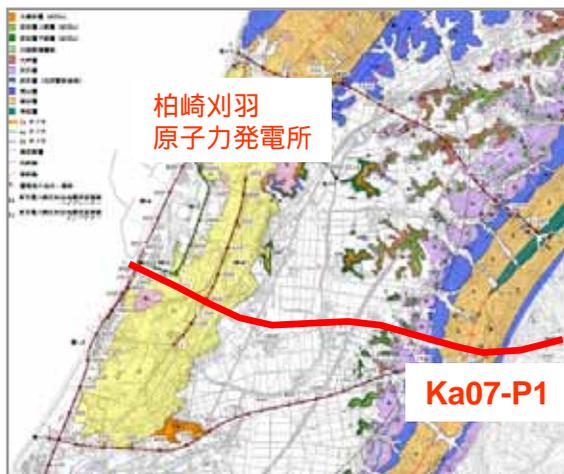
【探査測線図】



地下探査結果：敷地南側～平野

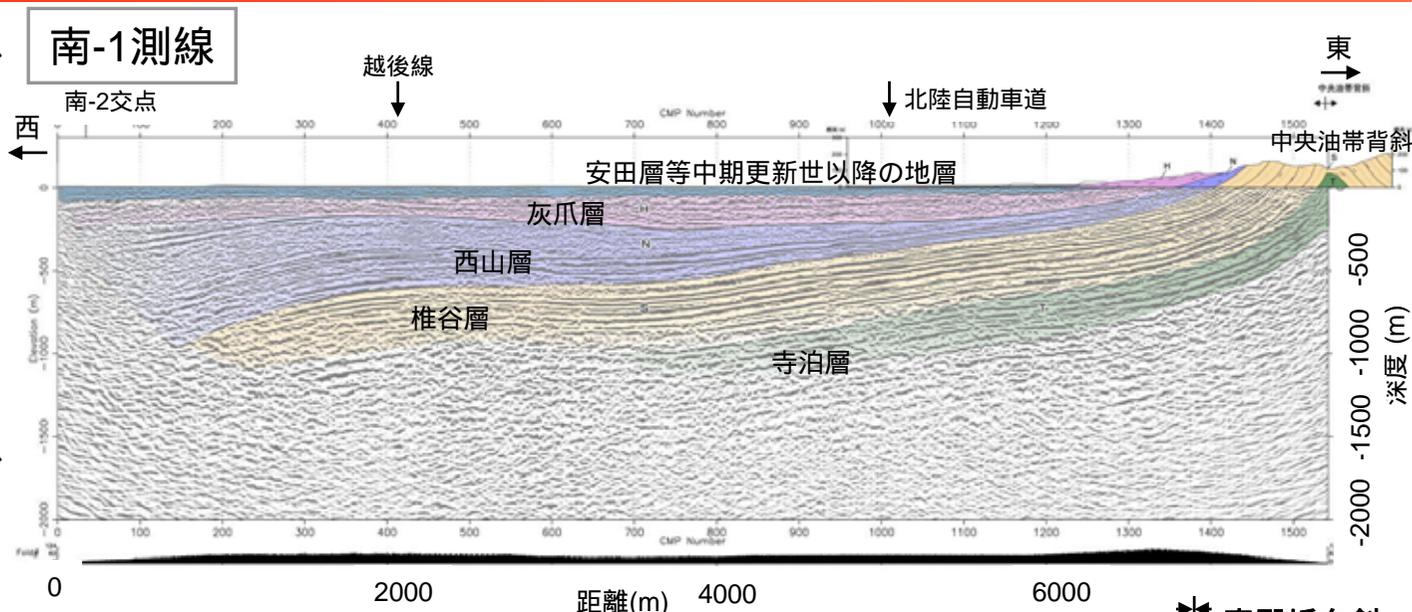
- 敷地で真殿坂向斜、近傍で高町背斜が認められる。高町背斜東側の平野内では緩い向斜構造が認められ、同向斜構造を灰爪層が覆うことが捉えられている。
- 中央油帯背斜は、軸部付近の両翼の地層が急傾斜を示すものの、標高-3,000m付近に基盤岩類上面の推定される反射面が認められ、同反射面は10°以下の傾斜を示す。

【探査測線図】

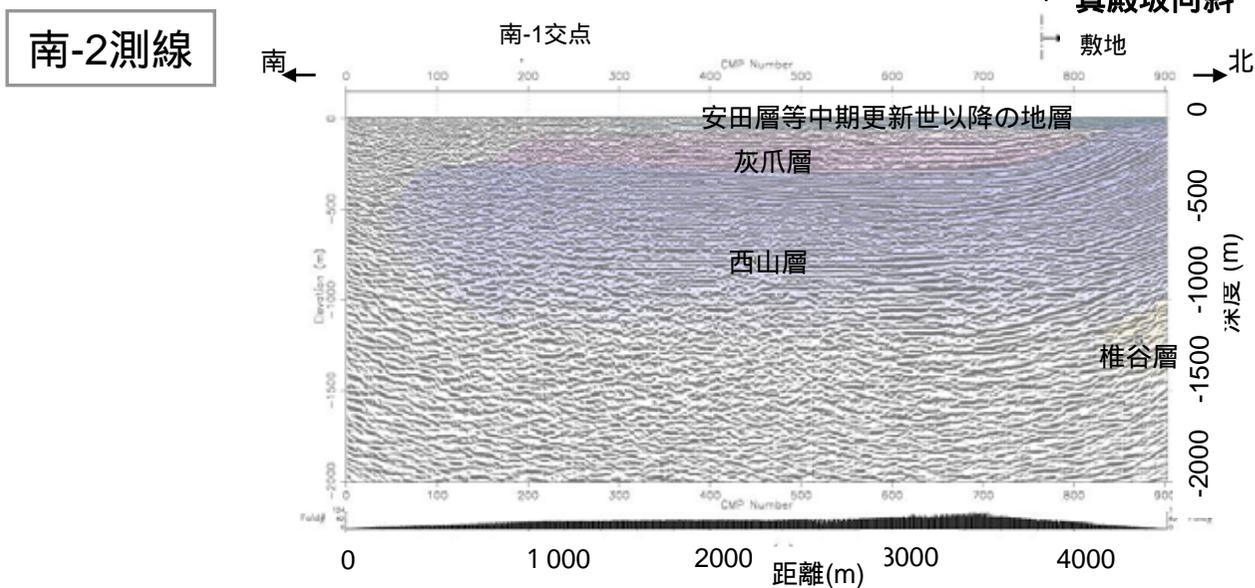


地下探査結果：敷地南側

- 南-1測線においては、地下に断層は捉えられていない。また、高町背斜は消滅し、平野内はやや波状を呈するものの、西傾斜の緩やかな同斜構造を示す。
- 南-2測線においては、真殿坂向斜部で緩やかな傾斜が確認される。

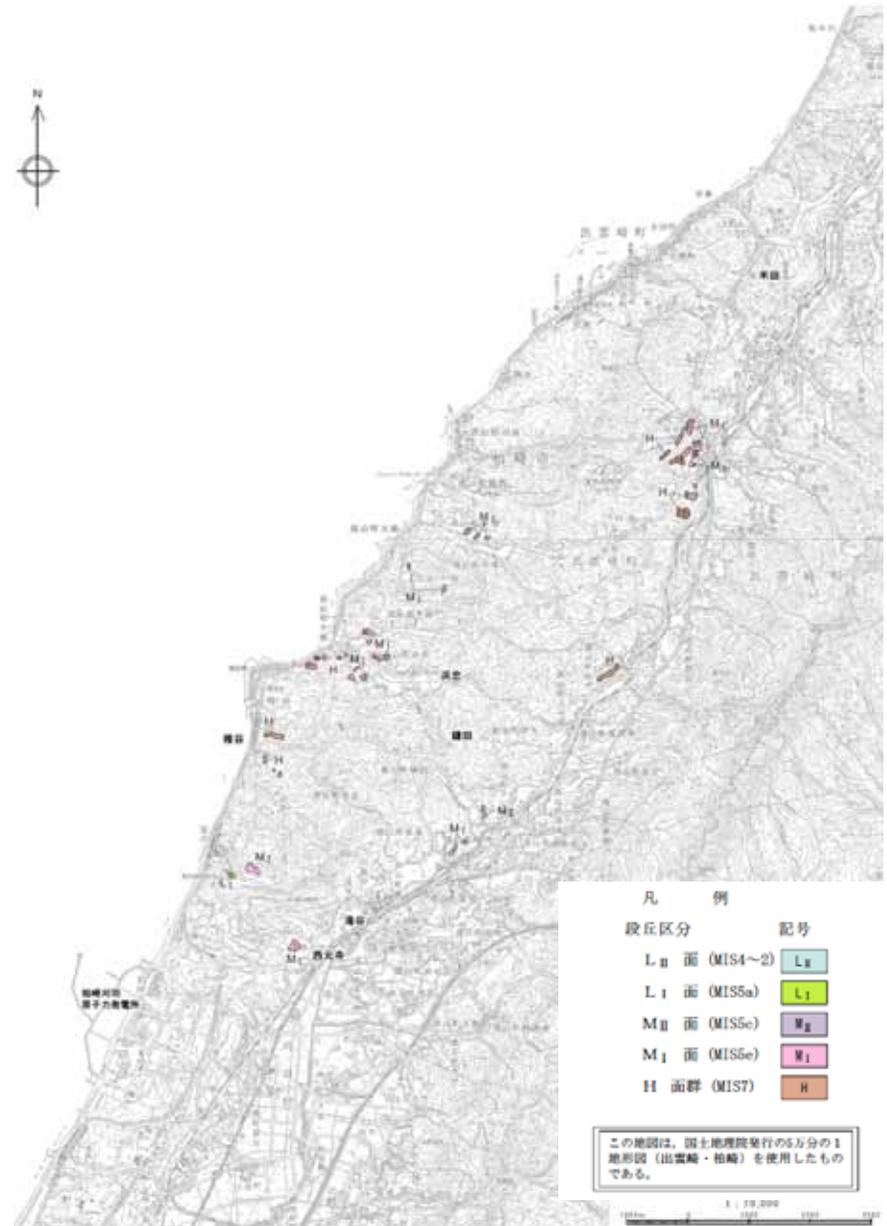


【探査測線図】



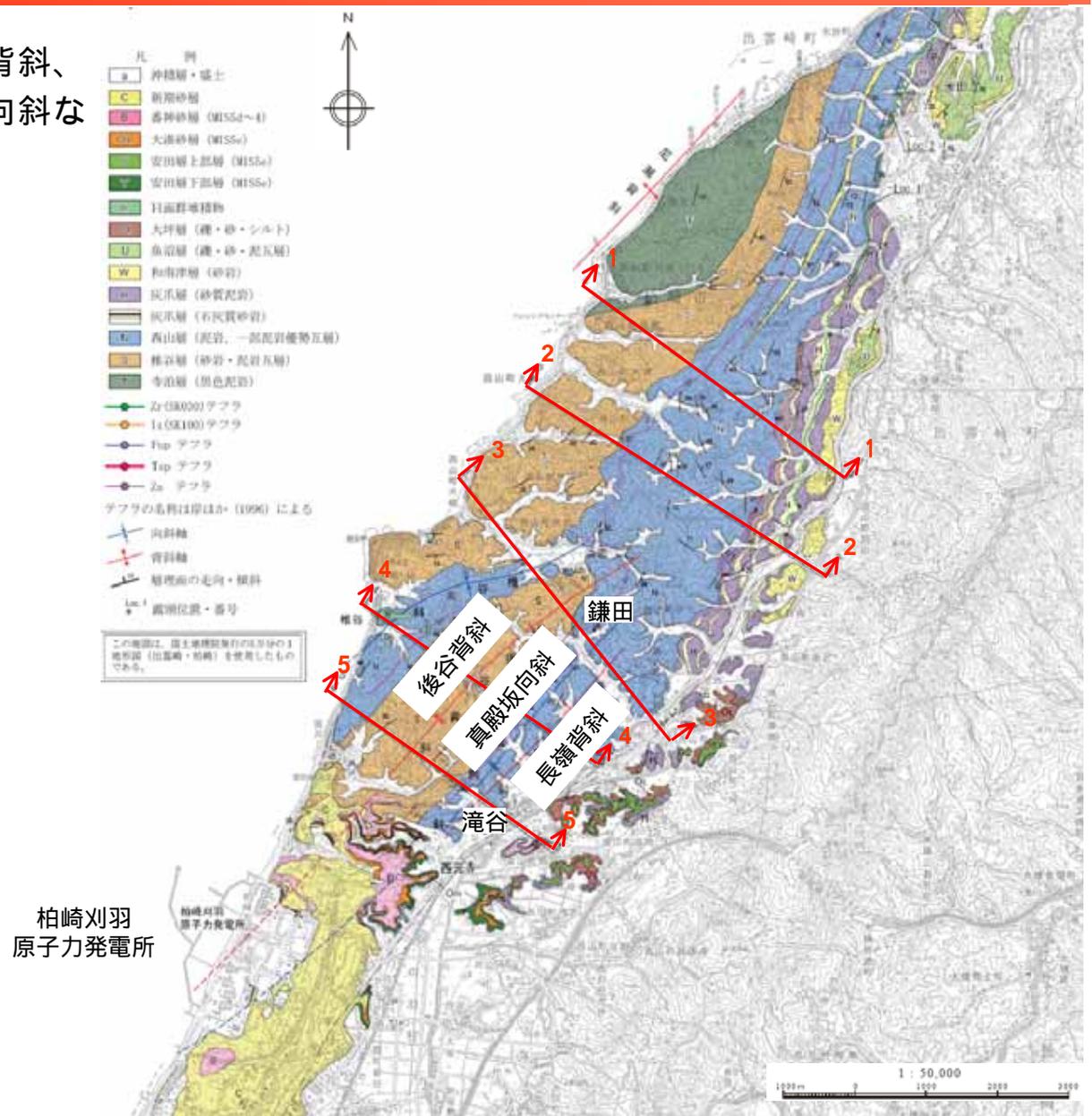
西山丘陵における地形調査結果

- 小松ほか（1968）等の一部の文献では、敷地北側の寺泊・西山丘陵において、後谷背斜と長嶺背斜との間の真殿坂向斜軸部に真殿坂断層が示されており、同断層が位置する真殿坂向斜は、敷地に連続している。
- 「[新編]日本の活断層」（1991）、「活断層詳細デジタルマップ」（2002）等の活断層に関するいずれの文献によっても、敷地近傍陸域においては、活断層、推定活断層あるいはその可能性のあるリニアメントは示されていない。
- 空中写真判読結果によると、真殿坂断層が示されている真殿坂向斜を含め、寺泊・西山丘陵の全域において、変動地形の可能性のある地形は認められない。



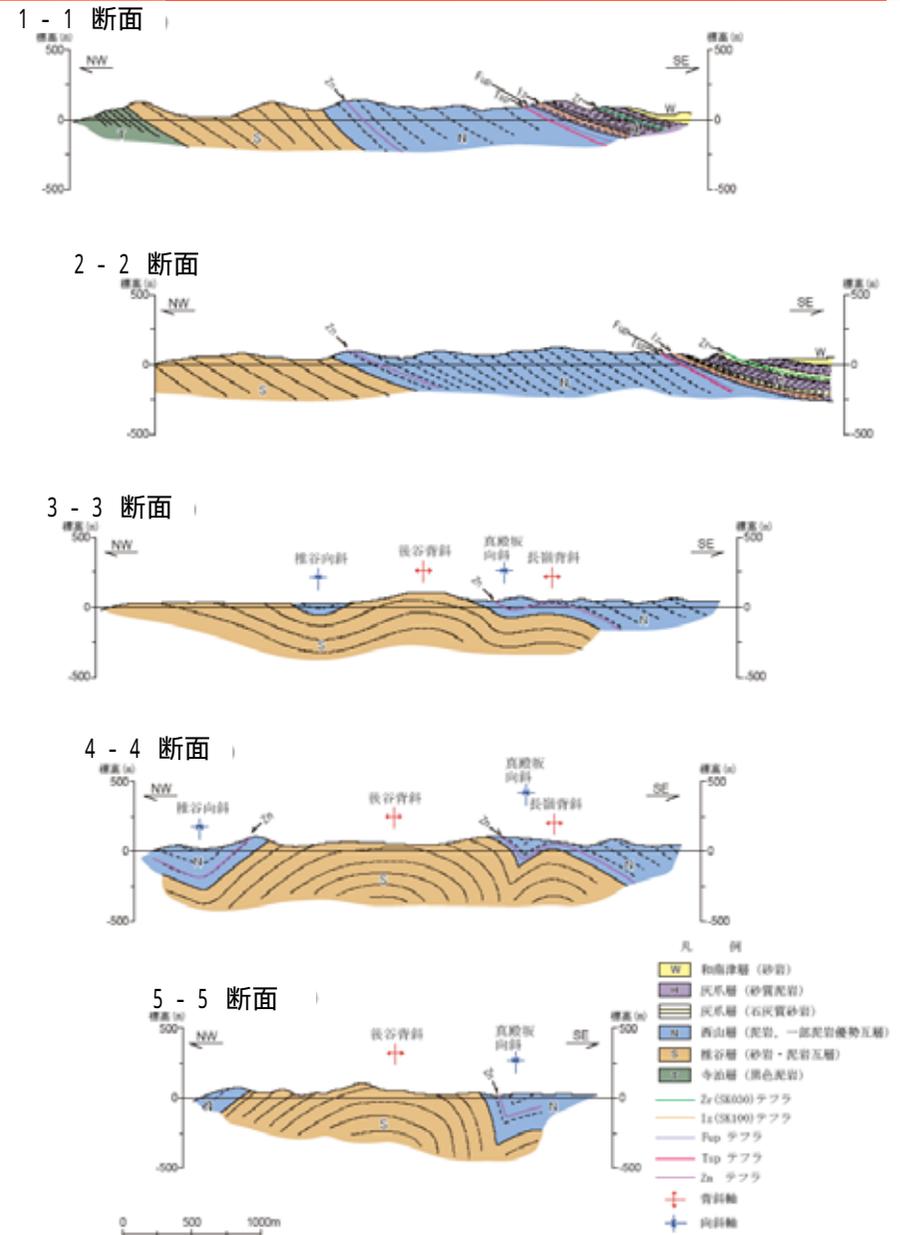
西山丘陵の地質構造

- 敷地北側の西山丘陵には、後谷背斜、長嶺背斜、また背斜間の真殿坂向斜などからなる褶曲構造が確認される。



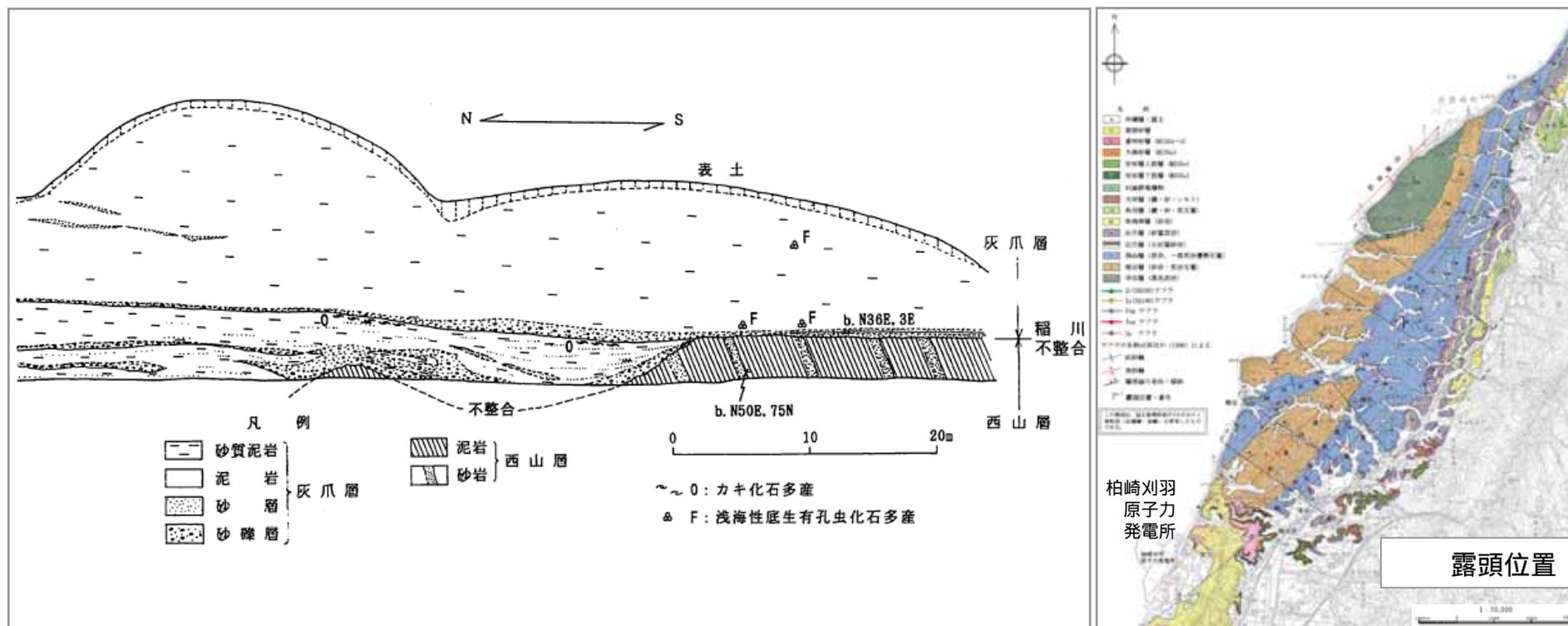
西山丘陵の地質構造

- 3 - 3 断面（西山町鎌田）から5 - 5 断面（西山町滝谷）では、後谷背斜の東翼には、軸部の地層が急傾斜を示す非対称な向斜構造を示す真殿坂向斜が認められる。また、後谷背斜の西翼には、椎谷向斜が認められる。
- 真殿坂向斜の深部には真殿坂断層が想定されている。
- 真殿坂向斜および後谷背斜は、敷地にまで延長することが、敷地における地下探査などで確認されている。。
- 鎌田以北においては、地表部では非対称な向斜構造は不明瞭となり、（2-2 断面）以北においては、長嶺背斜及び真殿坂向斜の北方延長部には、灰爪層が分布し、同層は20°程度東傾斜の同斜構造を示す。



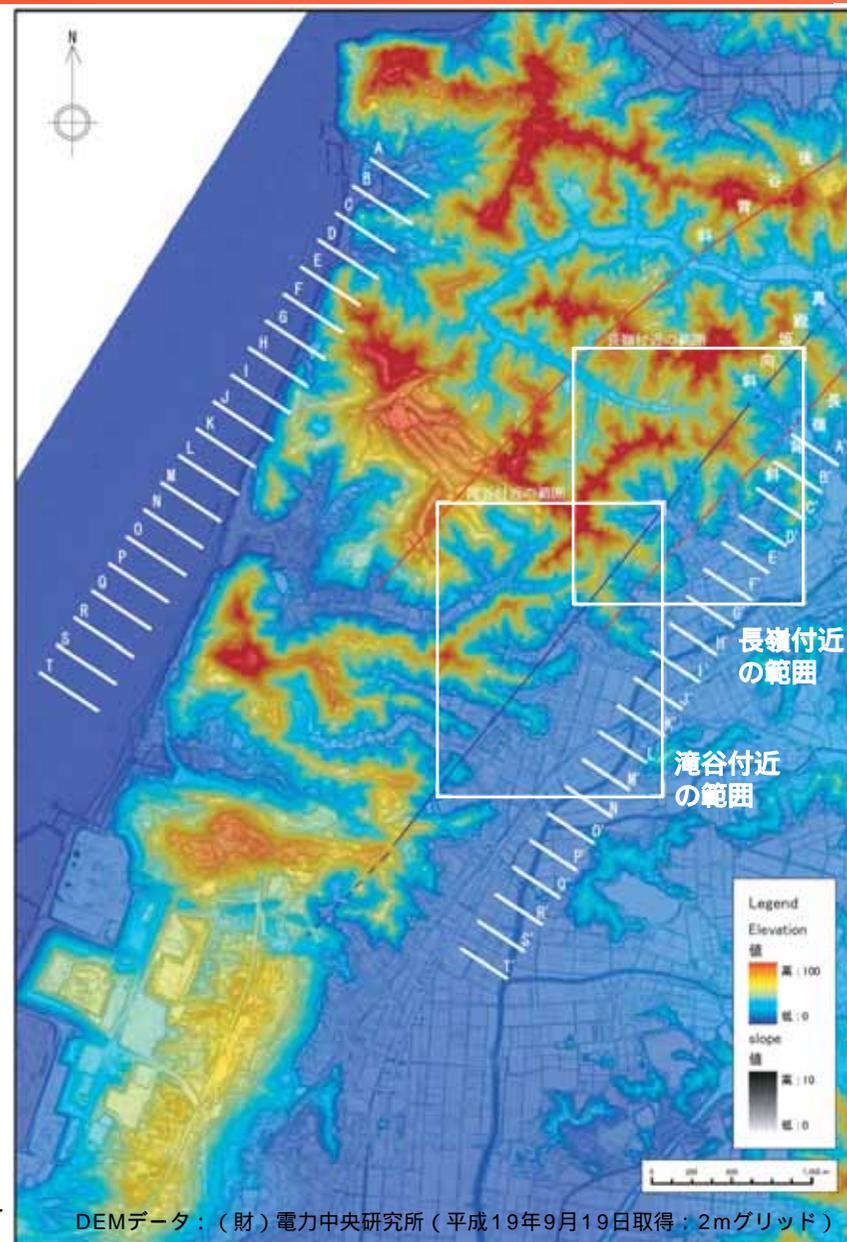
稲川における露頭調査結果

- 出雲崎町稲川における露頭調査において、高角度傾斜の西山層を、緩傾斜の灰爪層が覆っており、顕著な傾斜不整合が確認されている（稲川不整合）。
- 不整合の下位は、西山層およびそれ以下の地層からなり、翼部が急傾斜を示す背斜構造となっている。不整合より上位の灰爪層は層理が東緩傾斜の同斜構造を示しており、西山層等に確認される褶曲構造はみとめられない。
- 西山層上部には、2.0Maの不動滝火山灰層 (Fup)が、灰爪層最下部には1.5Maの出雲崎火山灰層 (Iz) が挟在しており、この間に褶曲構造は形成されたと推定される。



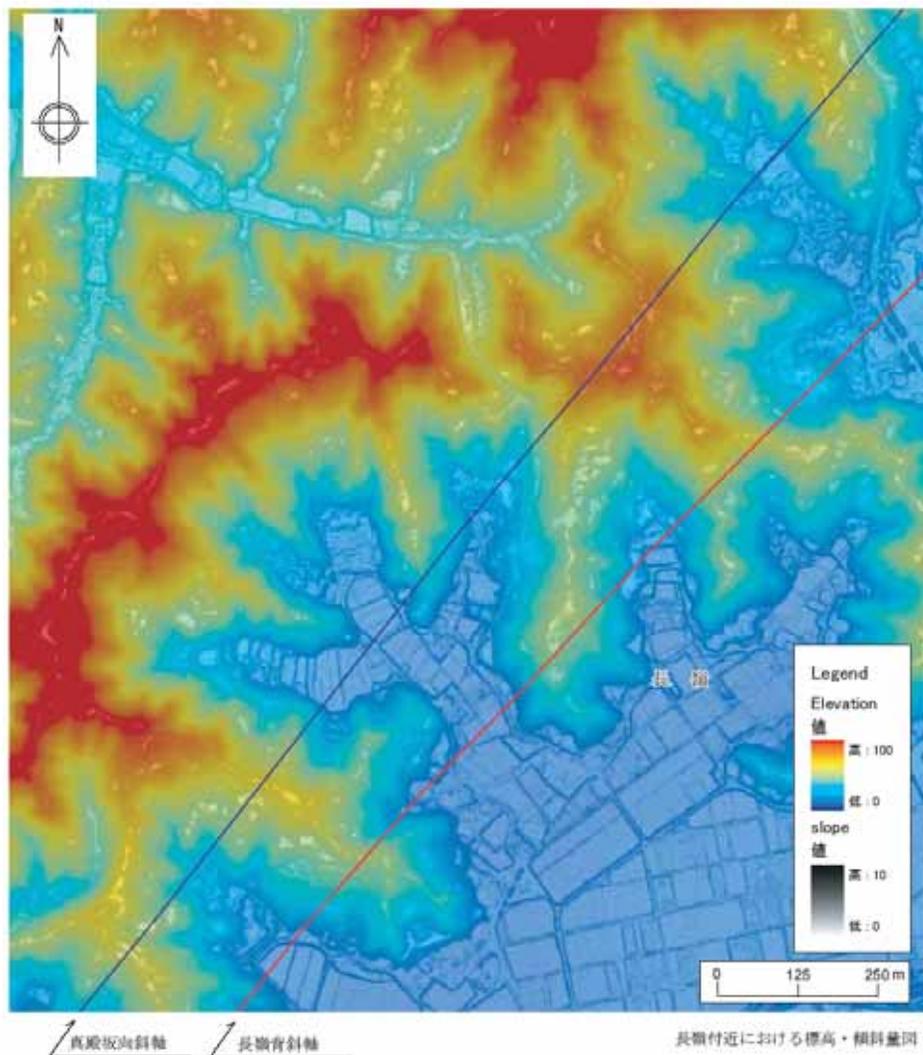
西山丘陵の地形

- 西山丘陵南部においては、稜線及び谷は背斜軸・向斜軸とほぼ直交する方向に発達し、稜線の高度も不規則な分布を示しており、背斜部が高く向斜部が低い傾向も認められない。
- 真殿坂向斜軸部に沿っても、崖、鞍部等の規則的な配列、直線状の谷の発達など、変動地形を示唆する地形は認められない。

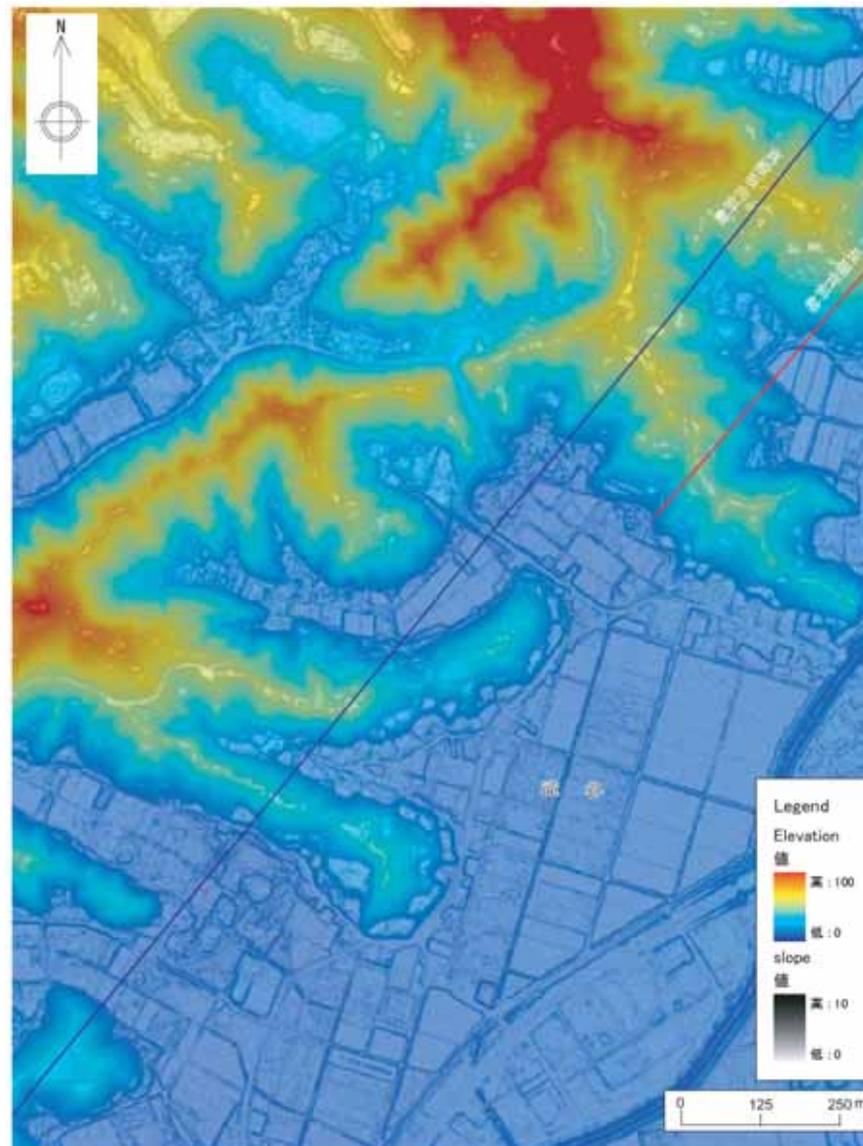


西山丘陵の地形

長嶺付近



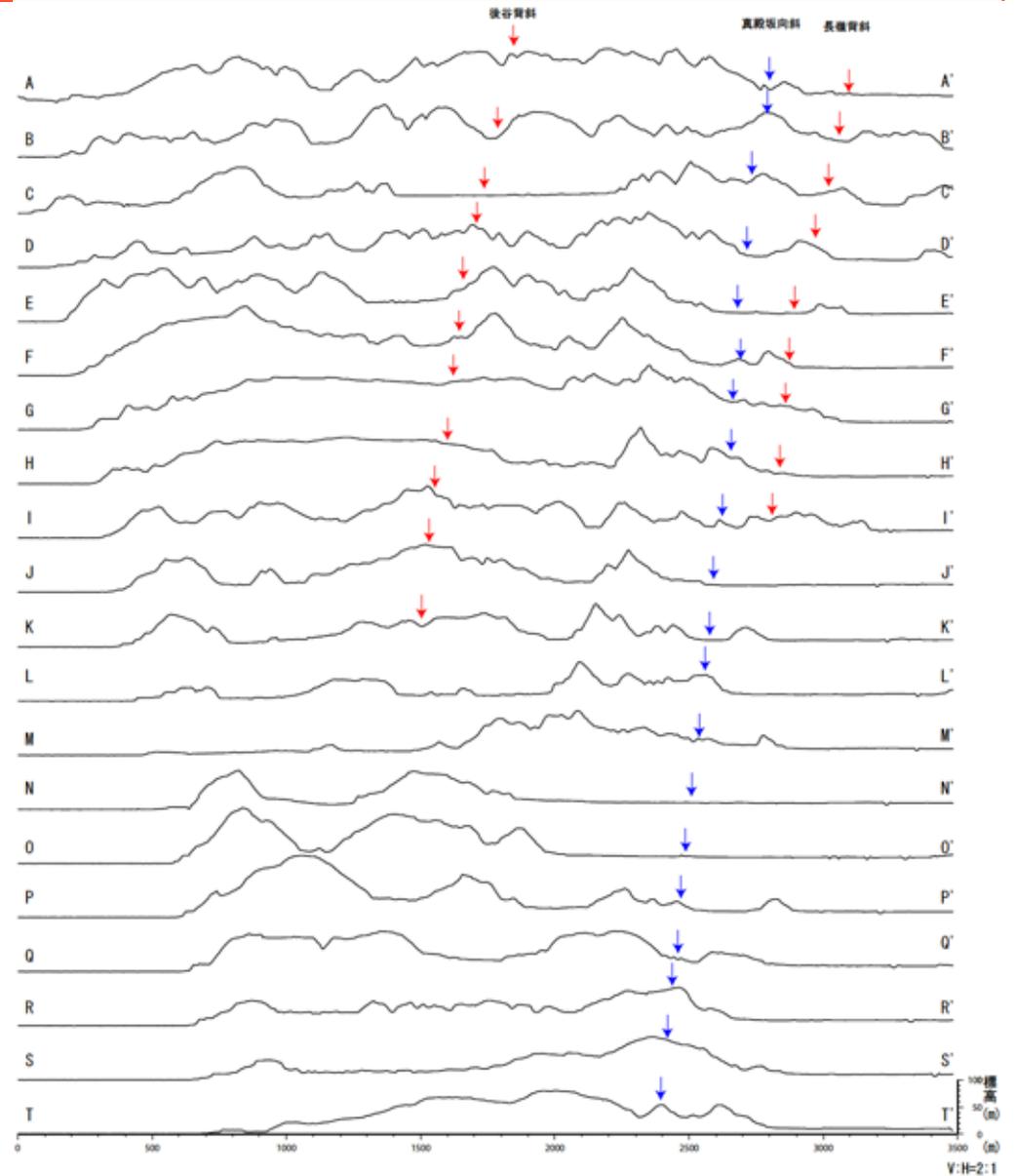
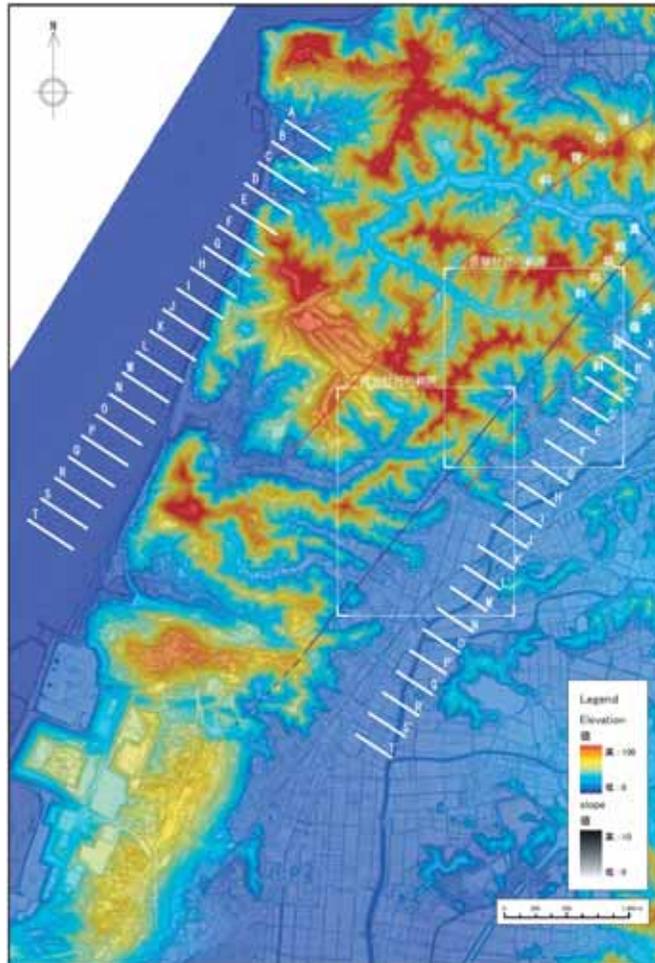
滝谷付近



DEMデータ：(財)電力中央研究所(平成19年9月19日取得：2mグリッド)

西山丘陵の地形

- 同向斜軸部は、尾根の頂部、斜面、谷、谷底等の様々な地形上に位置しており、稜線及び谷底の高度にも真殿坂向斜軸部を挟んで系統的な不連続は認められない。



DEMデータ：(財)電力中央研究所(平成19年9月19日取得：2mグリッド)

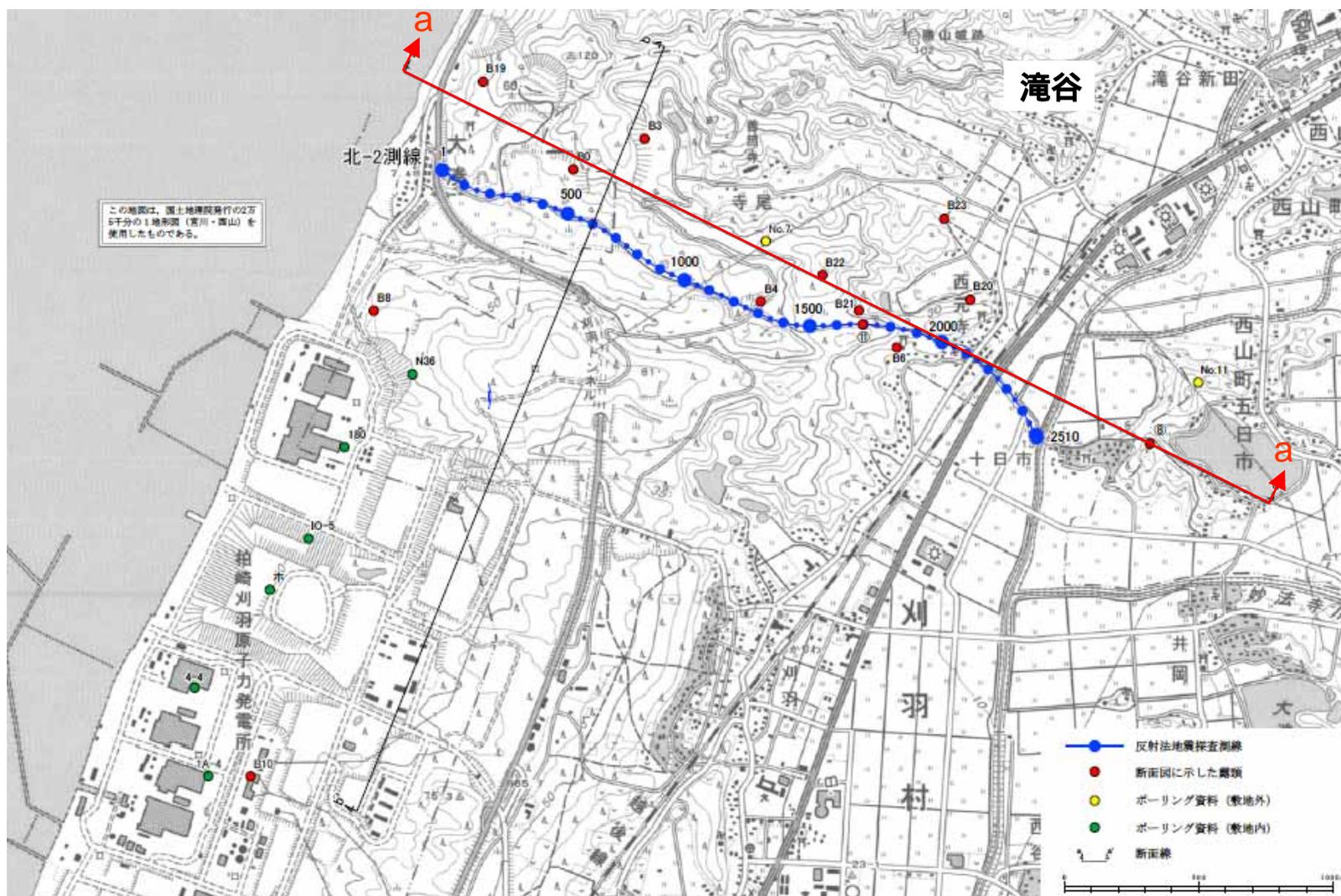
西山丘陵の地形

- 地形と地質構造との関係について，西山丘陵と中央丘陵とを比較すると，両丘陵とも寺泊層，西山層，灰爪層，魚沼層の堆積岩類が分布しており，岩質に差異はないが，中央丘陵の北部（坂田以北）では背斜軸と分水嶺とは良く対応しているのに対し，西山丘陵においては分水嶺と背斜軸とは斜交あるいは直交し，背斜軸と地形とは対応しておらず，西山丘陵の各背斜の成長を示唆する地形は認められない。



敷地北側における地質調査概要

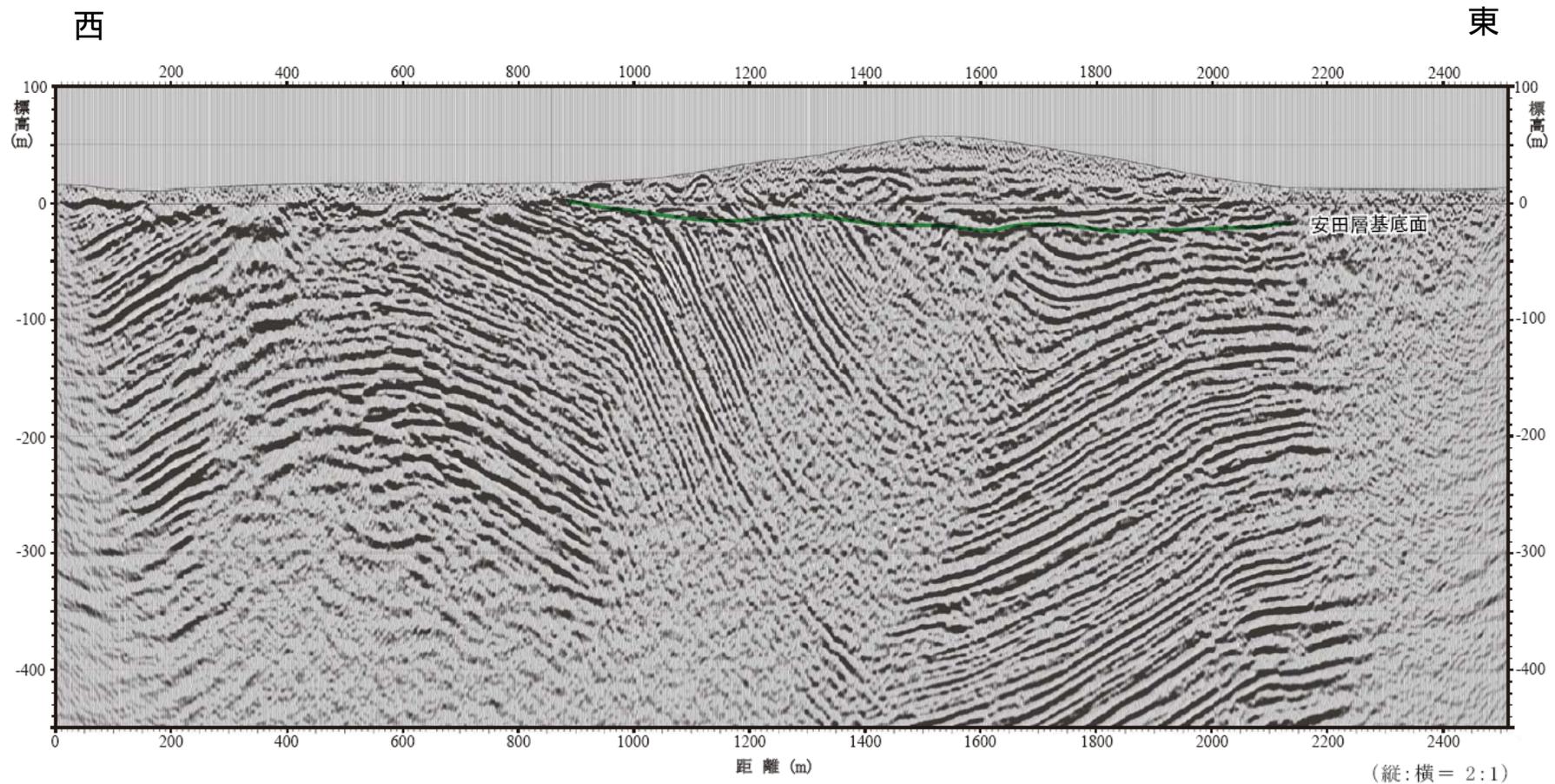
- 滝谷以南では、番神砂層等の上部更新統が、椎谷層・西山層を覆って分布するため、北-2測線で実施した反射法地震探査により、西山層等の構造を確認する。また、露頭調査等の結果を踏まえて、地質断面の検討を行っている。



敷地北側における地質構造：地下探査結果（北-2測線）

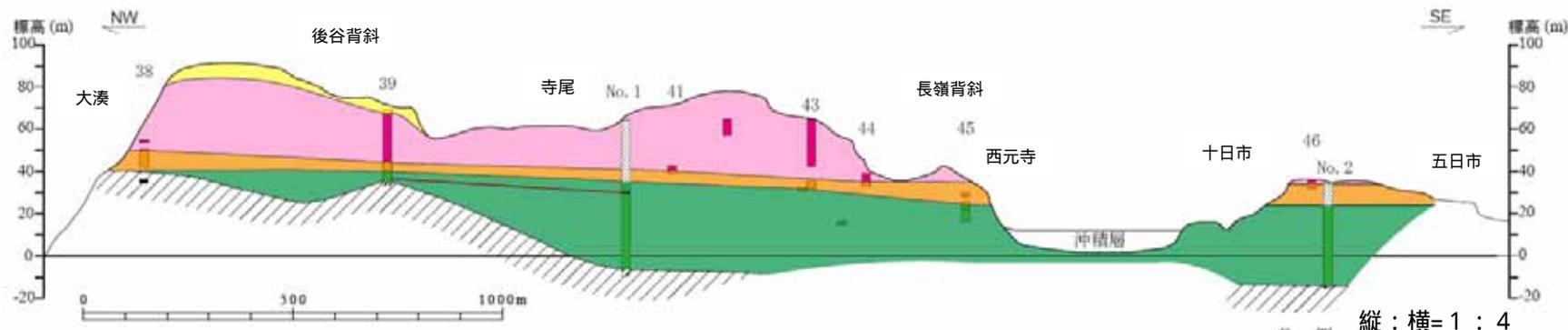
- 西山層に西傾斜の逆断層あるいは軸部の地層が急傾斜を示す非対称な向斜構造が確認され、同構造は安田層及びそれ以上の地層に不整合かつほぼ水平に覆われていることが推定される。

a - a'断面

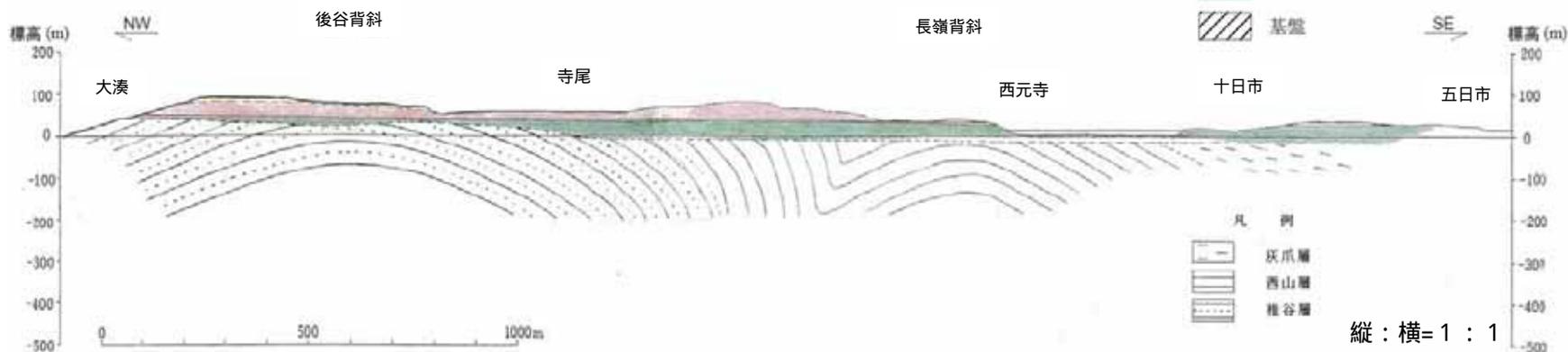


敷地北側における地質構造

- 北 - 2 測線近傍では、安田層 - 大湊砂層境界面及び大湊砂層 - 番神砂層境界面のいずれも、5 / 1,000 ~ 7 / 1,000 程度の南東傾斜を示すものの、西山層にみられる構造に対応する変形は認められない。



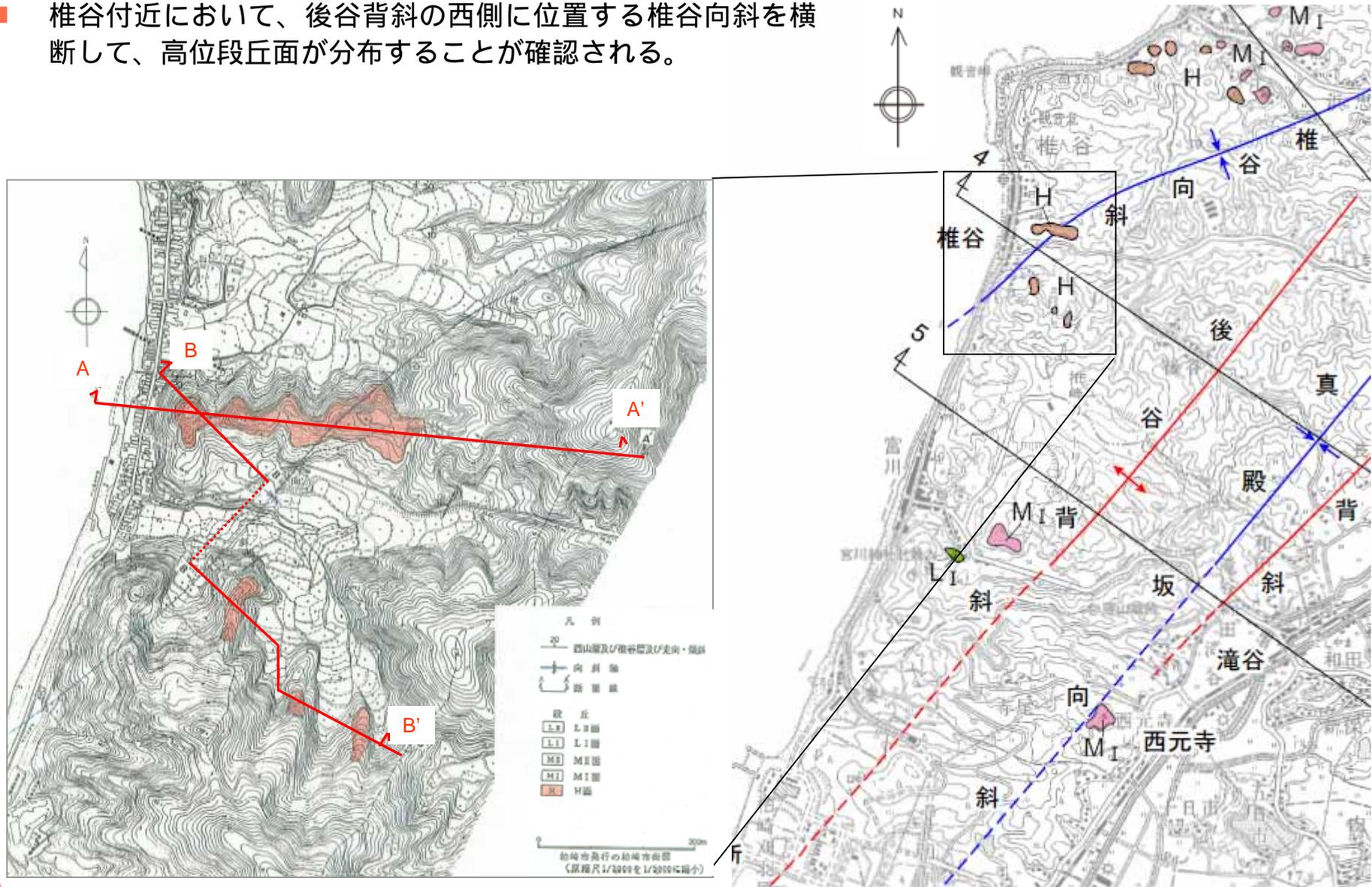
縦横比を強調して表示



追加調査：ボーリングを実施し、より詳細に地質構造を調査中

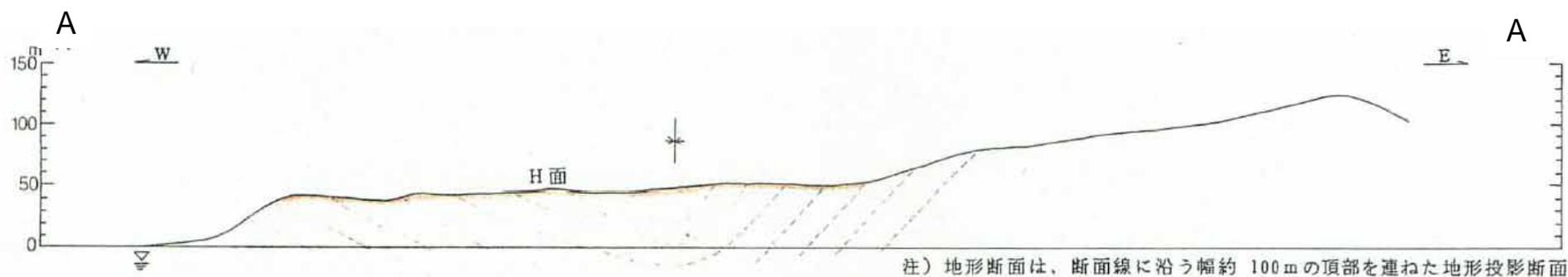
西山丘陵付近に見られる高位段丘面

- 椎谷付近において、後谷背斜の西側に位置する椎谷向斜を横断して、高位段丘面が分布することが確認される。

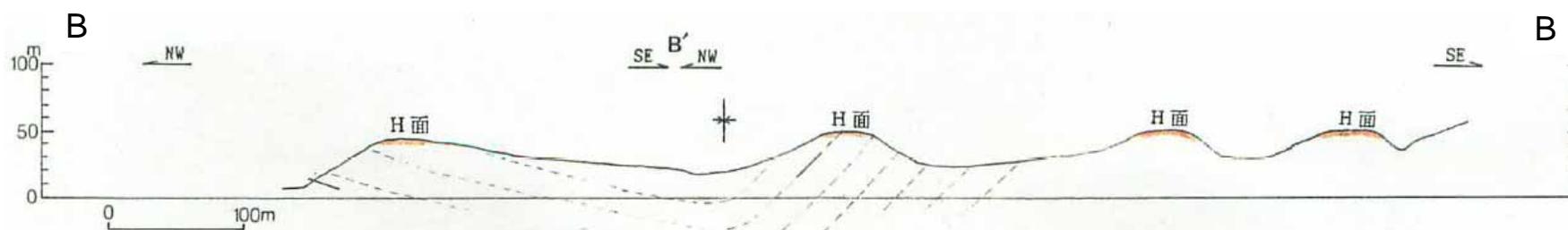


西山丘陵付近に見られる高位段丘面

- 段丘面は開析により、多少凹凸を示すもののほぼ平坦である。また、椎谷向斜の向斜軸を挟んで両側に分布する高位段丘面の高度に不連続はみとめられない。



A-A'断面における高位段丘面の標高分布



B-B'断面における高位段丘面の標高分布

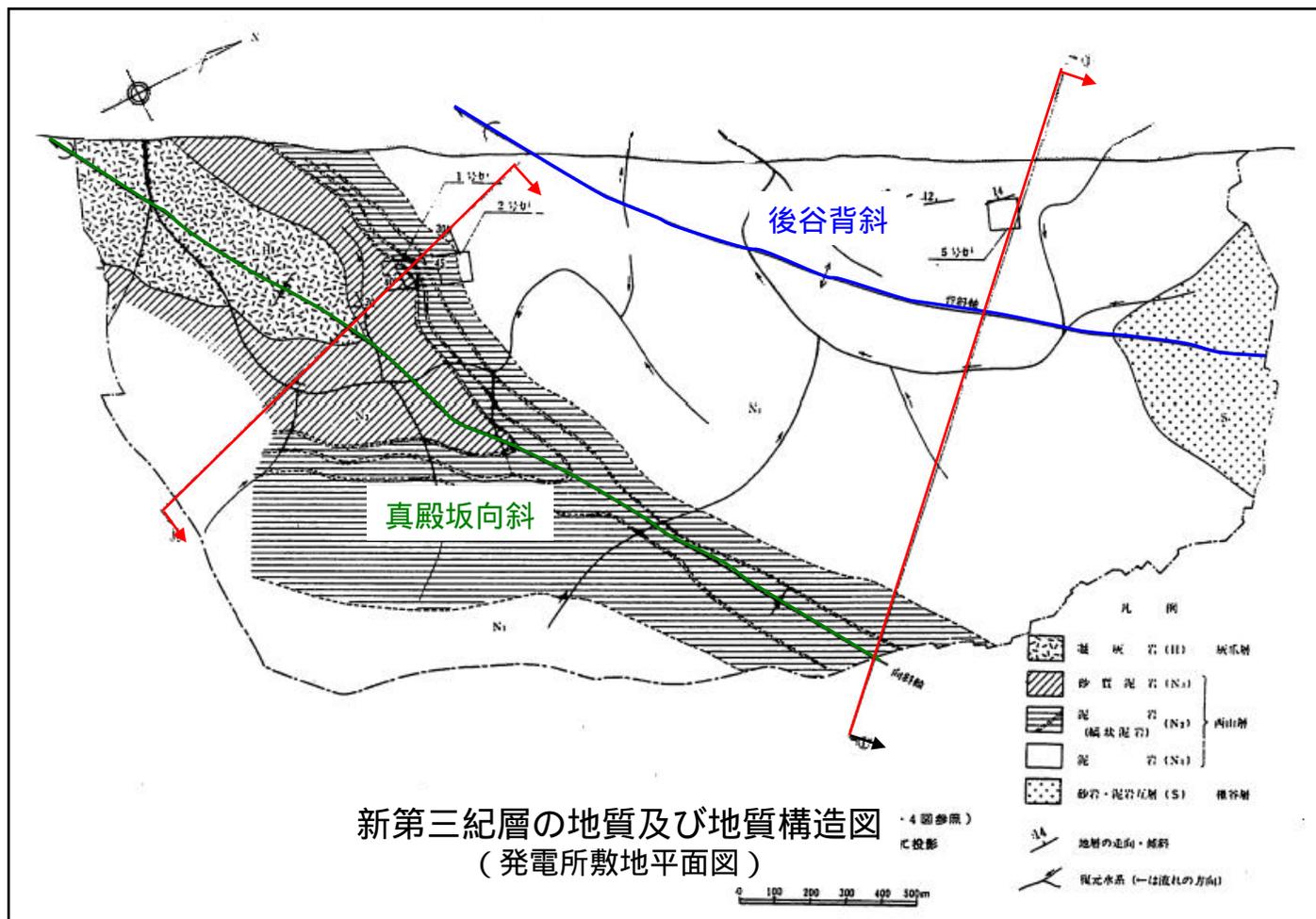
敷地の地質層序

時代	地層名	主な層相・岩質		
第四紀	完新世	新期砂層	上部は灰白色の細～中粒砂 下部は茶褐色の細～中粒砂，腐植物を含む	
	更新世	後期	番神砂層	灰白色～赤褐色の中～粗粒砂
			大湊砂層	褐色～黄褐色の中～粗粒砂，シルトの薄層を含む
			安田層	最上部は砂 粘土～シルト，砂を多く挟む
				粘土～シルト 縞状粘土，有機物，砂を伴う，貝化石を含む
		粘土～シルト 砂，厚い砂礫，有機物を挟む		
		中期	粘土～シルト 砂，砂礫を挟む	
			灰爪層	凝灰質泥岩，凝灰質砂岩，凝灰岩
		新第三紀	鮮新世	後期
	西山層			
シルト質～粘土質泥岩 砂岩，凝灰岩，ノジュールを挟む 珪質海綿化石を含む				
中新世	前期		椎谷層	砂岩，砂岩・泥岩互層，細礫岩等を挟む
	後期		寺泊層	黒色泥岩，砂岩・泥岩互層

 不整合
 指交

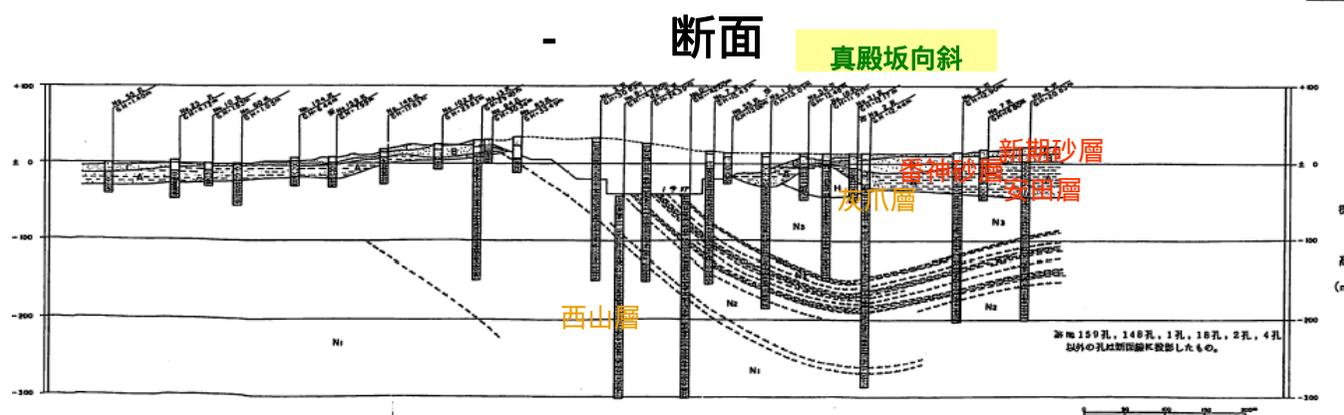
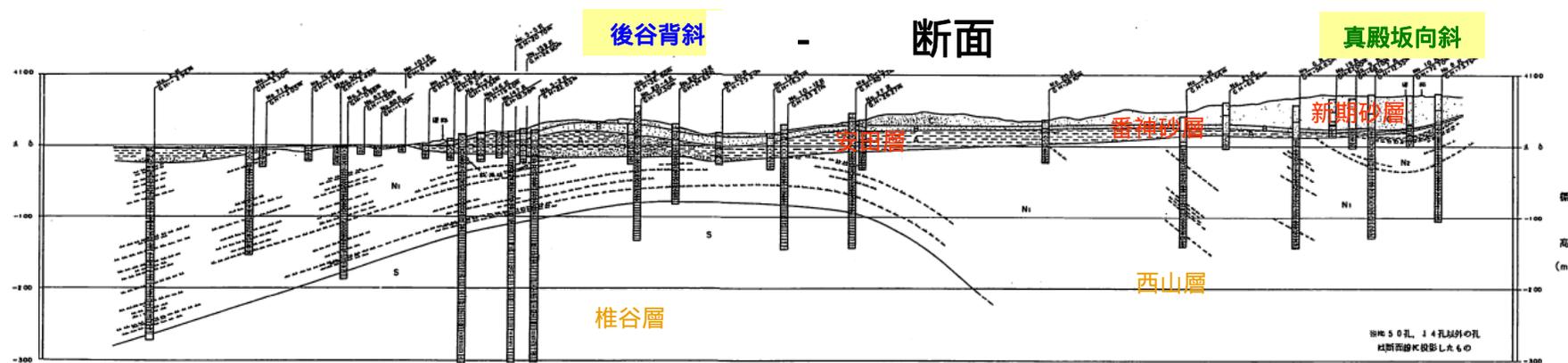
敷地の地質構造

- 海側中央部に背斜軸が、南部に向斜軸が存在している。



敷地の地質構造

- 海側中央部の比較的低位に背斜軸が、南部の比較的高地に向斜軸が存在しているが、新第三紀層上限面は褶曲構造とは調和的でない。また、新第三紀層を不整合に覆って発達する安田層は、ほぼ水平に堆積している。



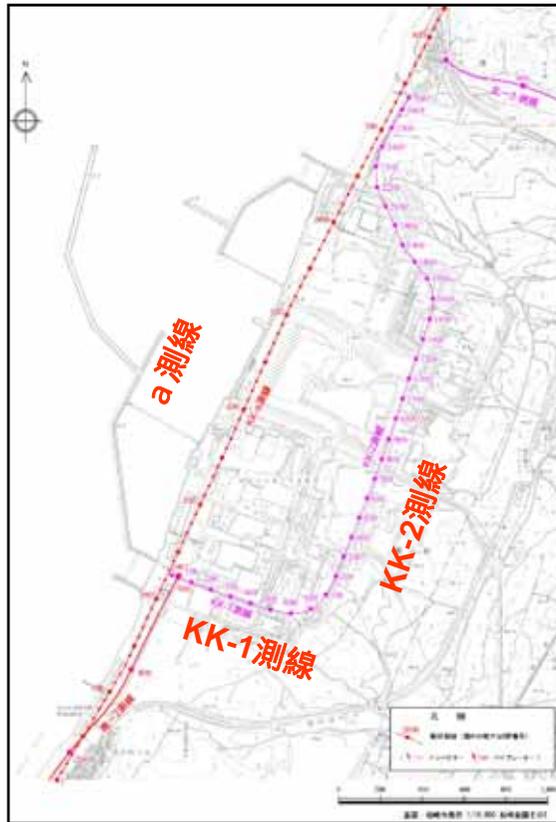
発電所敷地地質断面図

追加調査：真殿坂向斜を横断してボーリングを実施し、褶曲の活動性を調査中

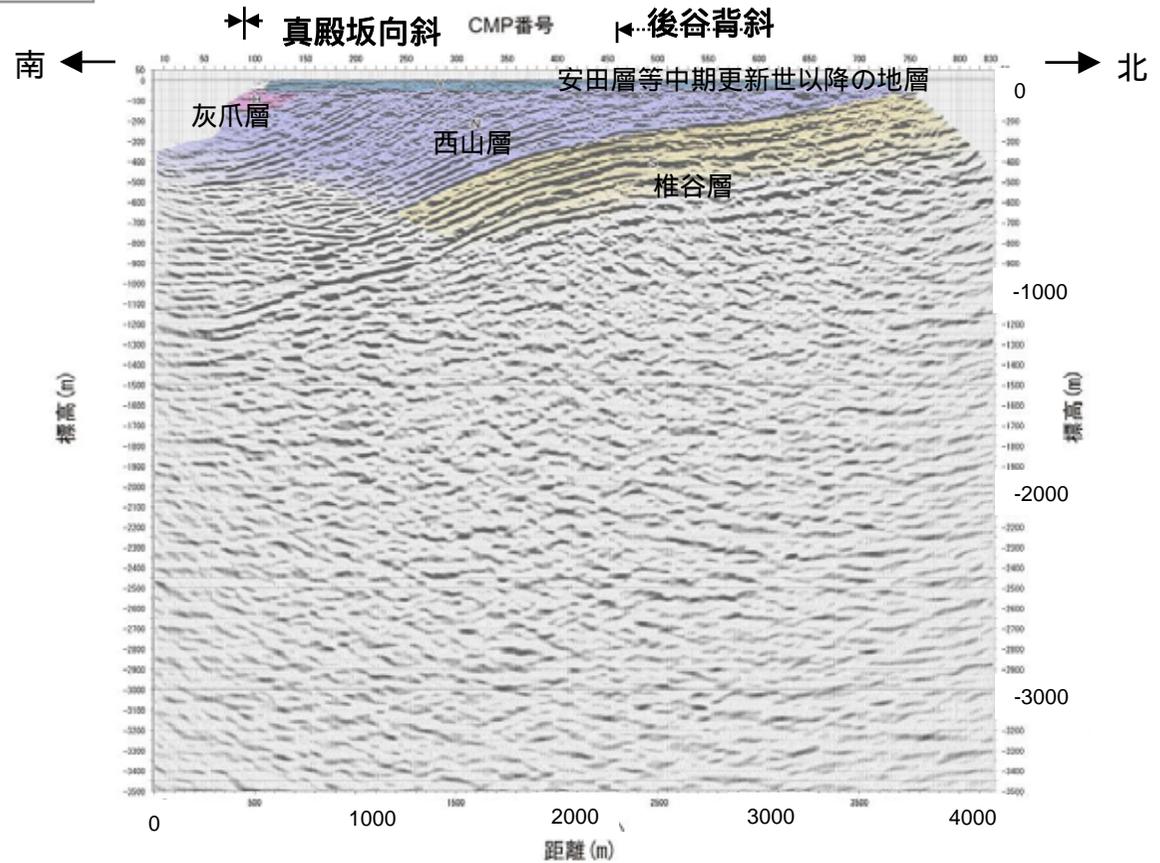
敷地の地質構造：地下探査結果（a測線）

- a測線においては、敷地中央部付近に後谷背斜が、敷地南側に真殿坂向斜が確認され、これらの位置は、これまでの地質調査結果で想定されている位置と一致する。

【探査測線図】

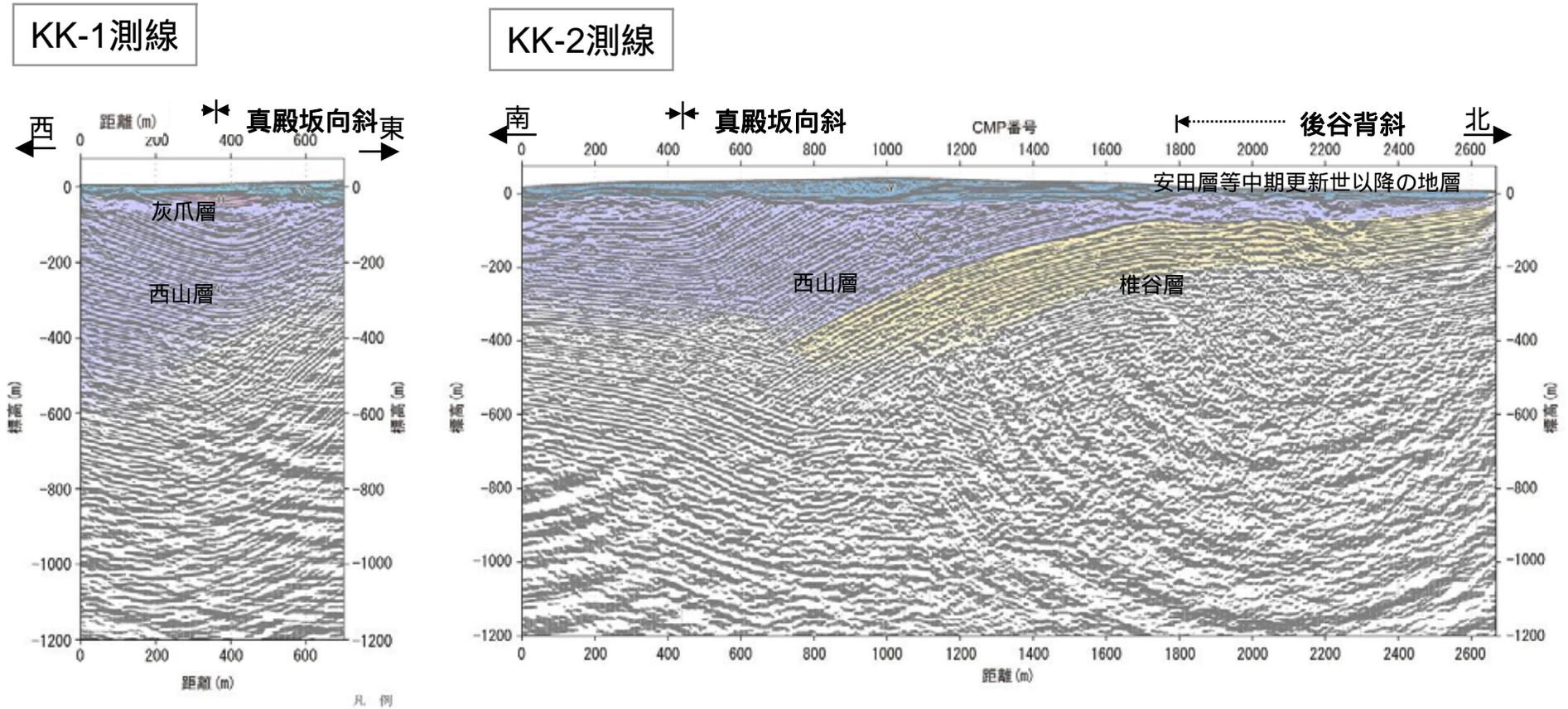


a測線



敷地の地質構造：地下探査結果（KK-1, KK-2測線）

- 真殿坂向斜は、KK-1、KK-2測線の両方で確認され、後谷背斜は、KK-2測線における敷地北側にて確認される。これらの位置は、これまでの地質調査結果で想定されている位置と一致する。



小括

- 敷地は、西山丘陵の南西部に位置し、西山丘陵の新第三紀の地層（西山層、椎谷層等）には後谷背斜、長嶺背斜等の褶曲構造がみられる。発電所では、後谷背斜及び真殿坂向斜が認められる。
- これらの褶曲構造は、丘陵北部の稲川で灰爪層（第四紀の地層）に傾斜不整合で覆われ、灰爪層に褶曲が認められないことから、丘陵北部での褶曲の形成時期は、稲川不整合以前、約150万年前以前と考えられる。
- 地表地質調査結果及び地下探査により、後谷背斜と長嶺背斜間に西傾斜の逆断層あるいは軸部の地層が急傾斜を示す非対称な向斜構造が確認される。但し、地表地質調査および空中写真判読において、敷地近傍には変動地形を示唆する地形は認められない。また、活断層に関するいずれの文献においても、真殿坂断層及びその近傍に活断層，推定活断層あるいはその可能性があるリニアメントは示されていない。
- 発電所敷地北側の地下探査結果において、新第三紀の褶曲構造を不整合に覆う安田層 - 大湊砂層境界面及び大湊砂層 - 番神砂層境界面のいずれにも、この褶曲構造に対応する変形は認められない。また、後谷背斜の西翼の椎谷向斜軸を横断して分布する高位段丘面についても、高度不連続は認められない。敷地においても、安田層が新第三紀の褶曲構造を不整合に覆い、ほぼ水平に堆積している事が確認されている。

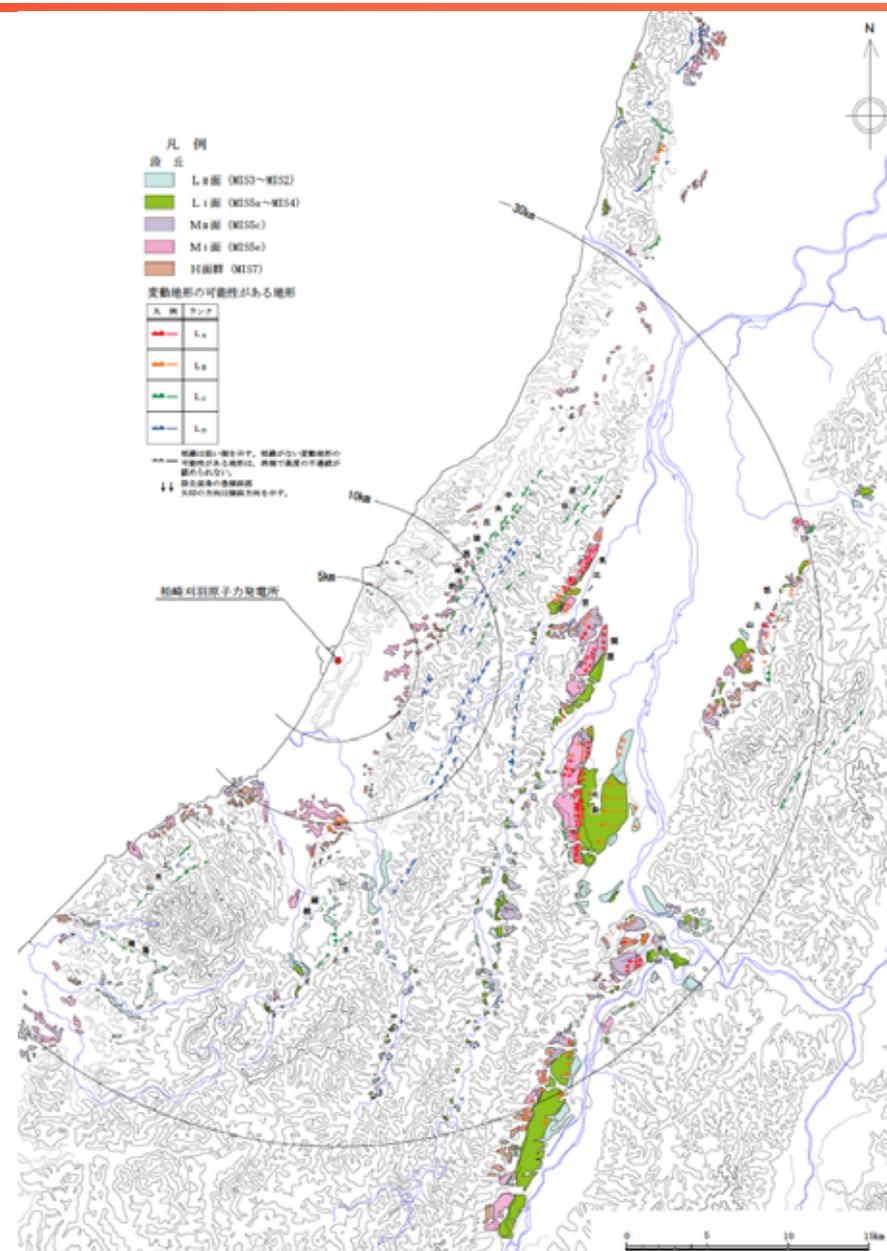
以上を踏まえて、新第三紀の褶曲構造は、安田層堆積時以降の活発な成長はないと考えているが、以下の追加調査を実施し、確認を行っている。

- 西山丘陵から柏崎平野にかけて地下探査を実施し、西山丘陵の後谷・長嶺背斜等の褶曲構造と、それを覆う第四紀の地層との関係を確認
- 敷地および敷地近傍の真殿坂向斜付近で、火山灰の分布標高等をボーリングにより調査し、真殿坂断層を含む褶曲の活動性を確認
- 海域～陸域にかけての地下探査を実施し、発電所前面海域から陸域に至る地下構造を調査

-
1. 敷地および敷地近傍の地質・地質構造の概要
 2. 地震後の調査・測量結果の概要
 3. 広域の変動との対比（コメント）
 4. 水準測量結果に関する分析
 1. 地質・地形・現地の状況との対比（コメント）
 2. 空中写真判読による敷地近傍の変状地形（コメント）
 3. DEMによる敷地近傍の変状地形（コメント）
 4. 真殿坂向斜の位置にすべり面を考慮した解析との対比（コメント）
 5. まとめ

地震後の空中写真判読および地表踏査結果

- 空中写真判読（縮尺1/10,000の航空写真）及び地表踏査の結果，敷地から半径約10kmの範囲では，地表地震断層及び地震に伴い生じた変動地形は認められない。また，上述したとおり、敷地から半径約5kmの範囲においては，地震前から変動地形及びその可能性のある地形は認められない。



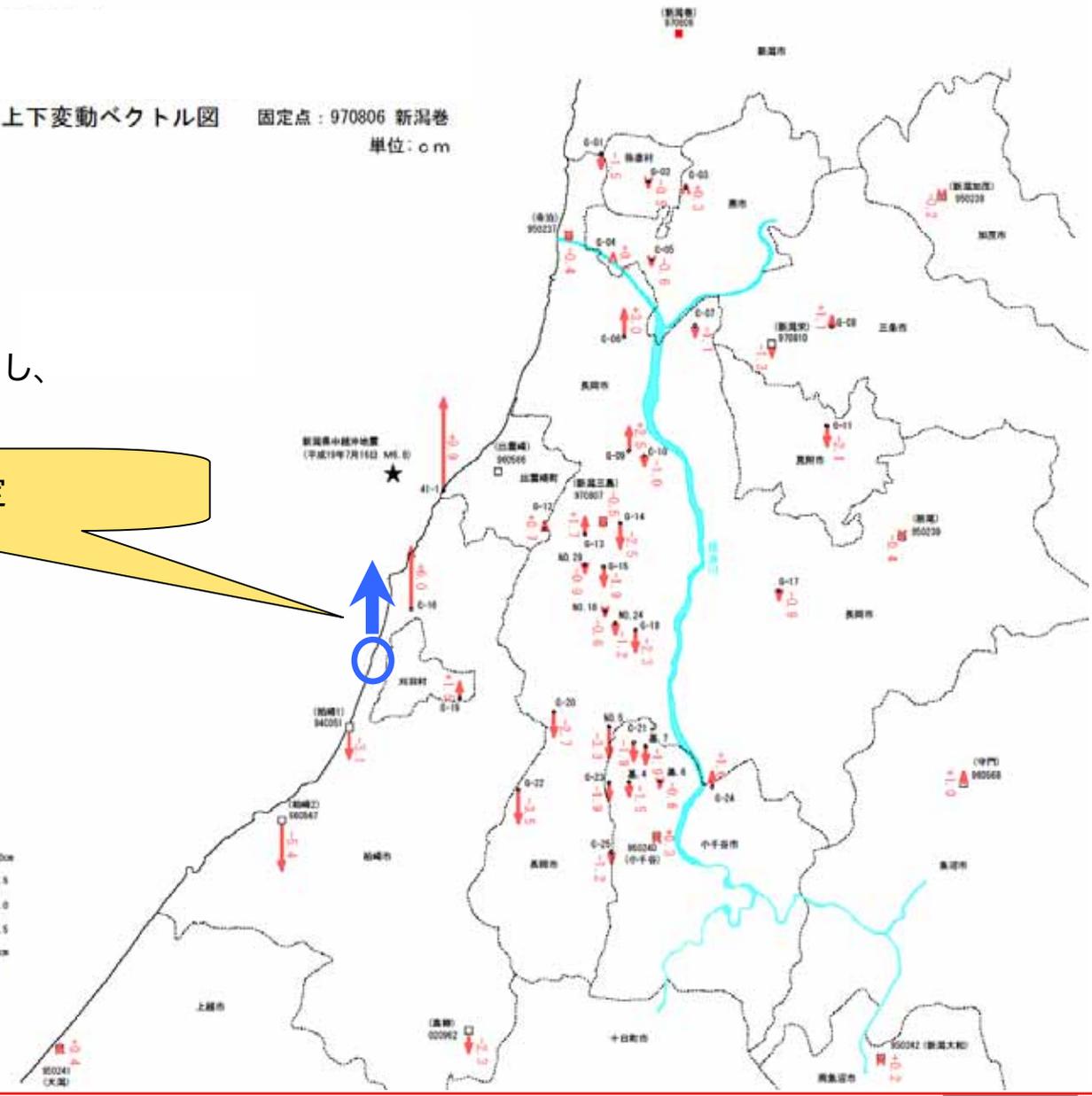
敷地周辺の変動：GPS測量（水平方向）



敷地周辺の変動：GPS測量（鉛直方向）



上下変動ベクトル図 固定点：970806 新潟巻
単位：cm



- 国の電子基準点の動きと調和的
- 発電所敷地の北側の海岸付近は隆起し、南側の柏崎平野部では沈降。

敷地付近では隆起が推定

- 固定点を新潟巻
- 2004年12月～2007年12月の変動量
 - 2004年中越地震の余効変動
 - 3カ年分の日常的な変動
 - 2007年中越沖地震に伴う地殻変動を含む

点の種類
 □ 電子基準点
 * GPS基準点
 • 既設基準点・水準取付点
 ※変動量：平成19年12月～平成16年12月

敷地北側における水準測量の概要

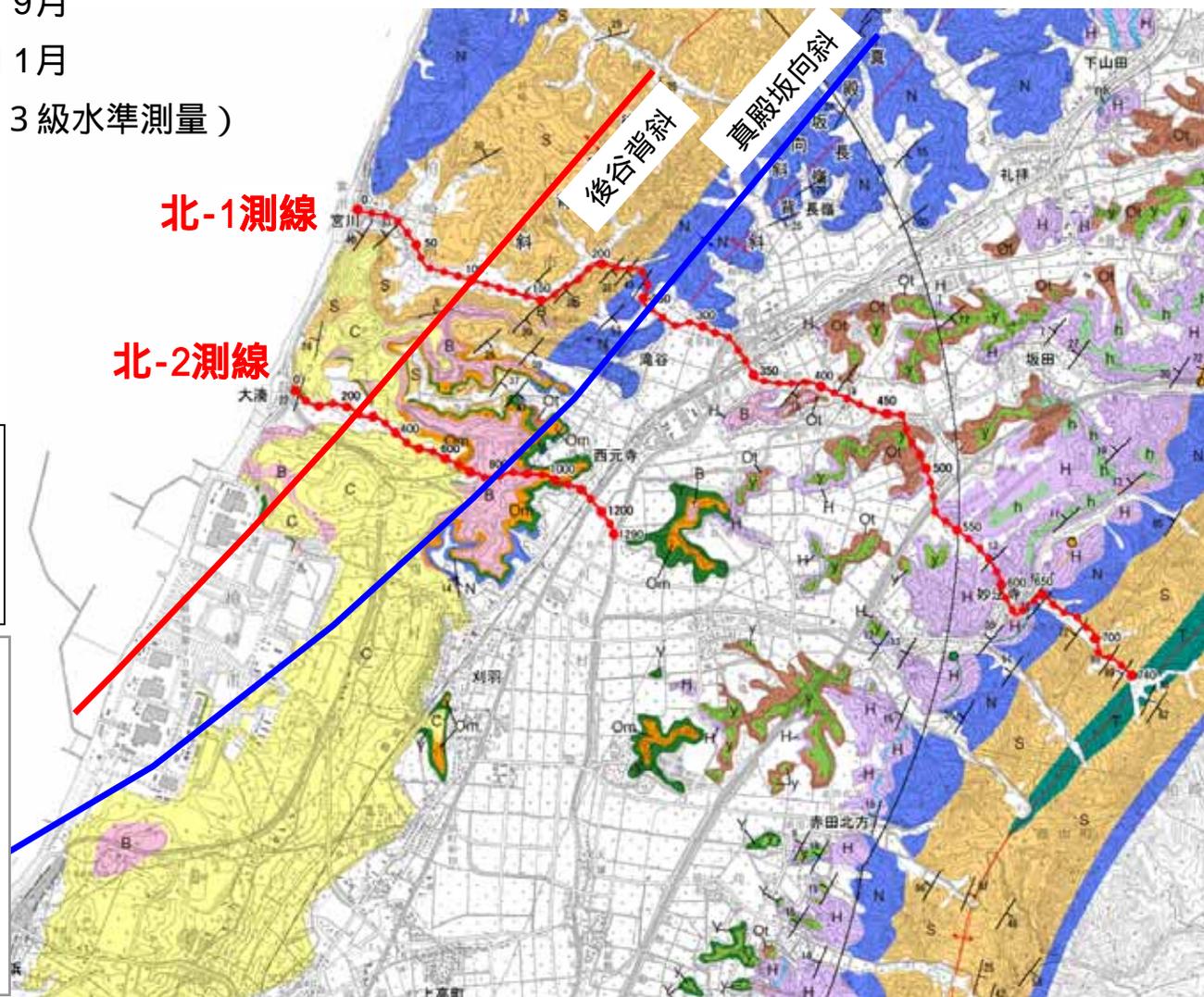
- 今回の地震に伴う西山丘陵の上下方向の地盤変動を捉えるため、西山丘陵にみられる後谷背斜や真殿坂向斜などを横断する地下探査測線（北-1測線、北-2測線）で、水準測量を実施。

- 地震前 : 平成18年 9月
- 地震後 : 平成19年11月
- 精度 : 縦断測量（3級水準測量）

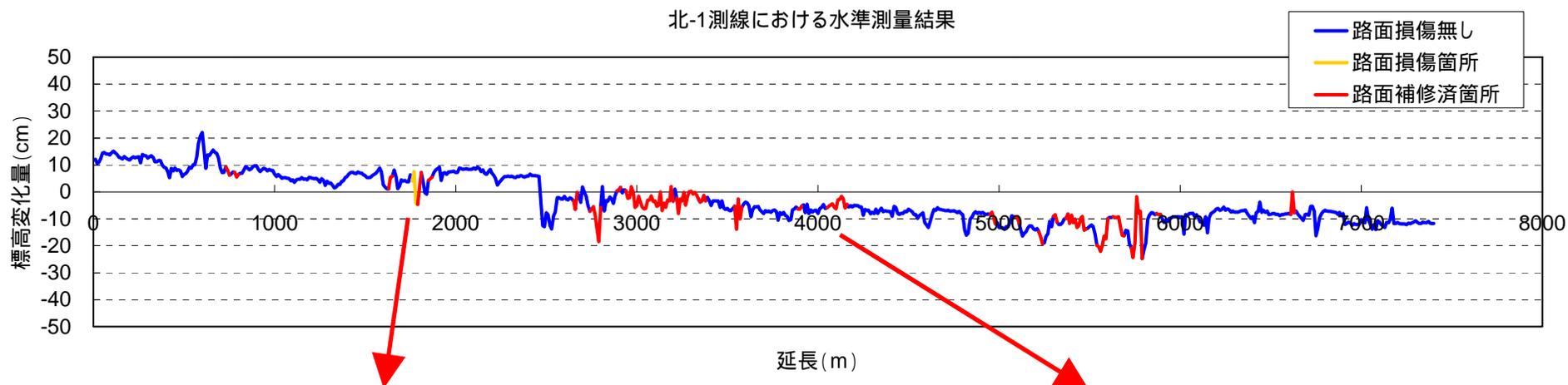
■ 北-1測線における延長距離は
（測点番号 × 10）m

■ 北-2測線における延長距離は
（測点番号 × 2）m

凡 例	
■	沖積層・盛土
■	新期砂層
■	MII MII 面堆積物 (MIS5c)
■	B 香神砂層 (MIS4~4)
■	大湊砂層 (MIS5e)
■	安田層上部層 (MIS5e)
■	安田層下部層 (MIS5e)
■	H 面群堆積物
■	大坪層
■	灰爪層
■	灰爪層 (石灰質砂岩相)
■	西山層
■	横谷層
■	寺泊層



北 - 1 測線における水準測量結果



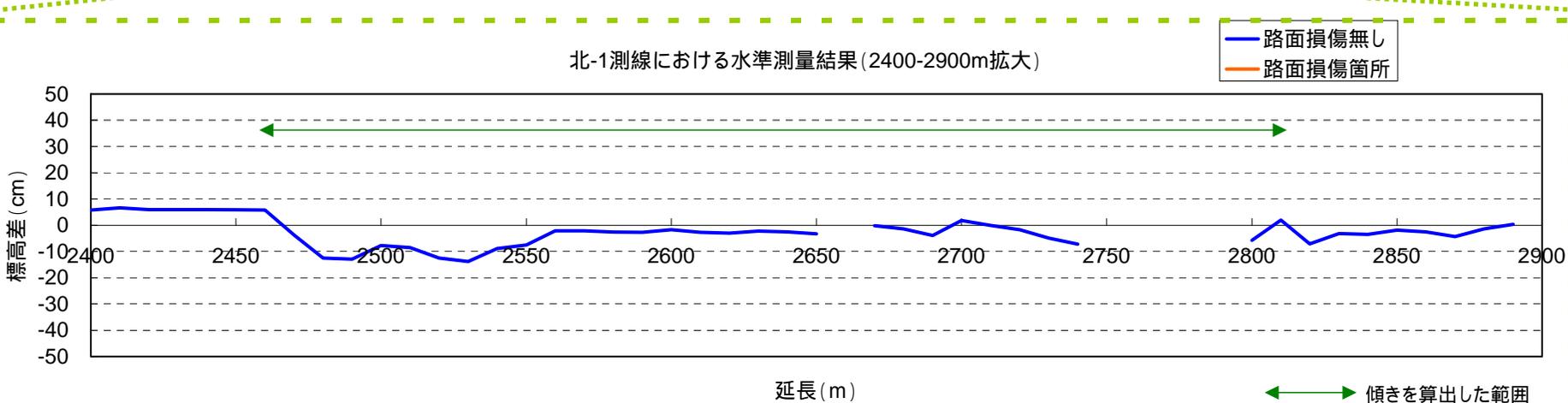
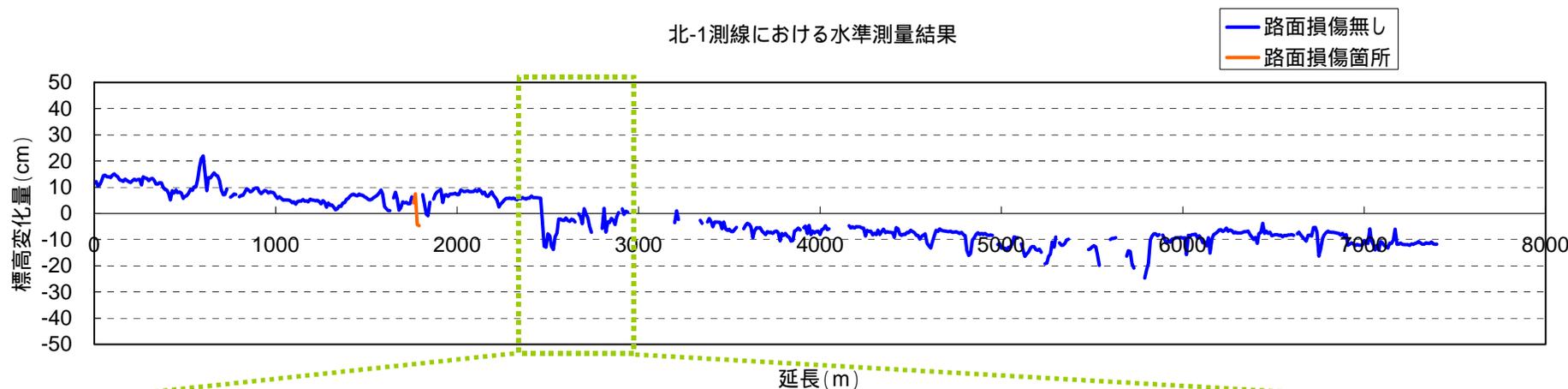
損傷箇所: 路肩崩壊: 修復中 (測量箇所 延長1800m付近)
海側から内陸側を撮影。測線は写真左側。



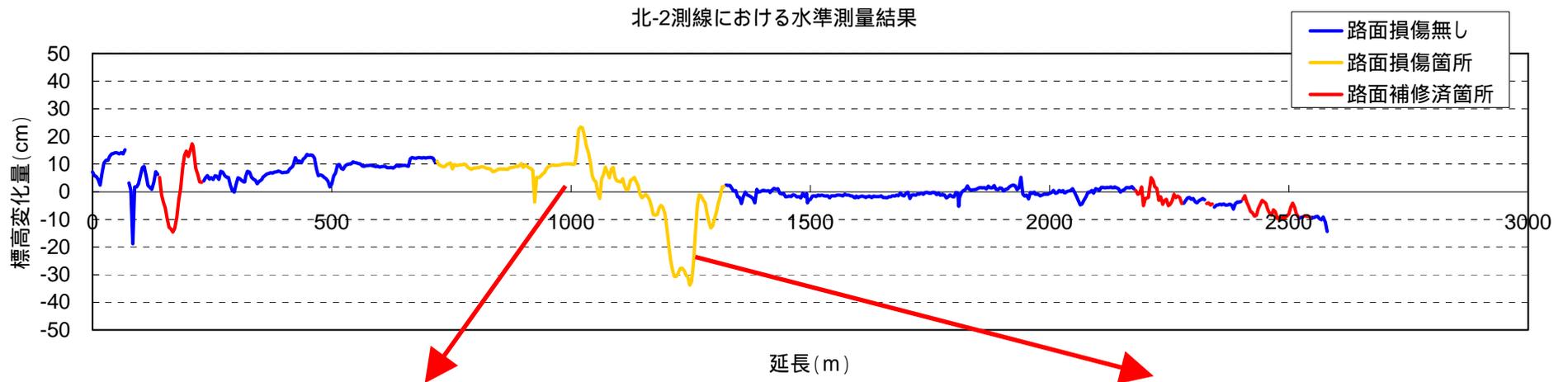
道路修復済箇所 (測量箇所 延長4100m付近)
海側から内陸側を撮影。測線は写真右側。

北 - 1 測線における水準測量結果

- 海側で約10～20cmの隆起、内陸側で約10cmの沈降が認められる。海側が隆起し、内陸側が沈降する変動の傾向は、広域の変動と調和的である。
- 起点から約2450m～2800mの約350mの範囲に約20cmの変動があり、これを境に、海側と内陸側で約10cmの標高変化量の相対的な差がある。この差を生じさせている標高変化量の傾きは、非常に小さい。（緑色の矢印の範囲：1/3500）



北 - 2 測線における水準測量結果



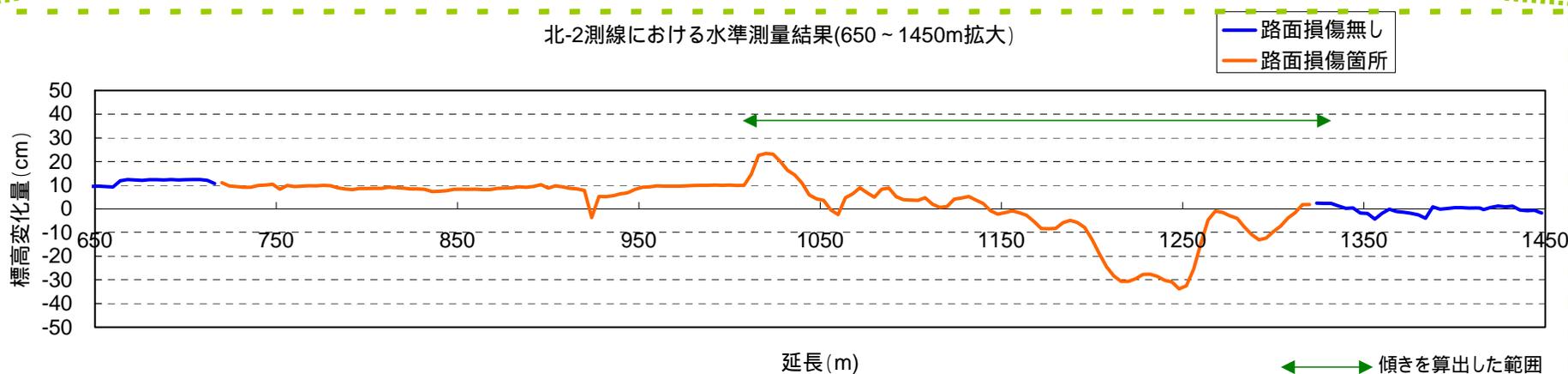
路面亀裂・段差・波打ち(測量箇所 延長1000m付近)
海側から内陸側を撮影。測線は写真左側。



路面亀裂・段差・波打ち(測量箇所 延長1260m付近)
海側から内陸側を撮影。測線は写真左側。

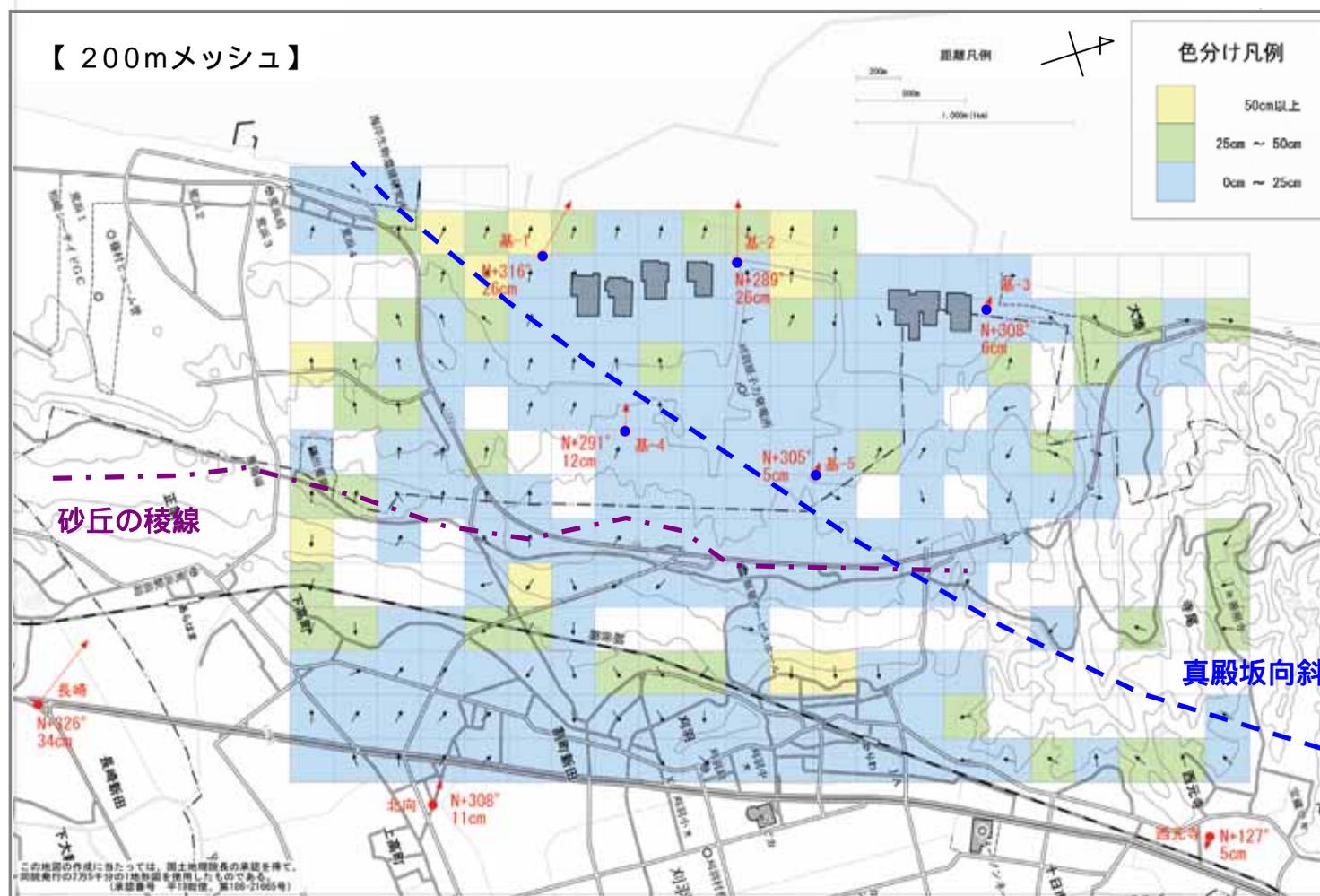
北 - 2 測線における水準測量結果

- 海側で約10cmの隆起、内陸側で約10cmの沈降が認められる。海側が隆起し、内陸側が沈降する変動の傾向は、広域の変動と調和的である。
- 起点から約1000m～1300mの約300mの範囲に約40cmの変動があり、これを境に、海側と内陸側で約10cmの標高変化量の相対的な差がある。この差を生じさせている標高変化量の傾きは、非常に小さい。（緑色の矢印の範囲：1/3000）



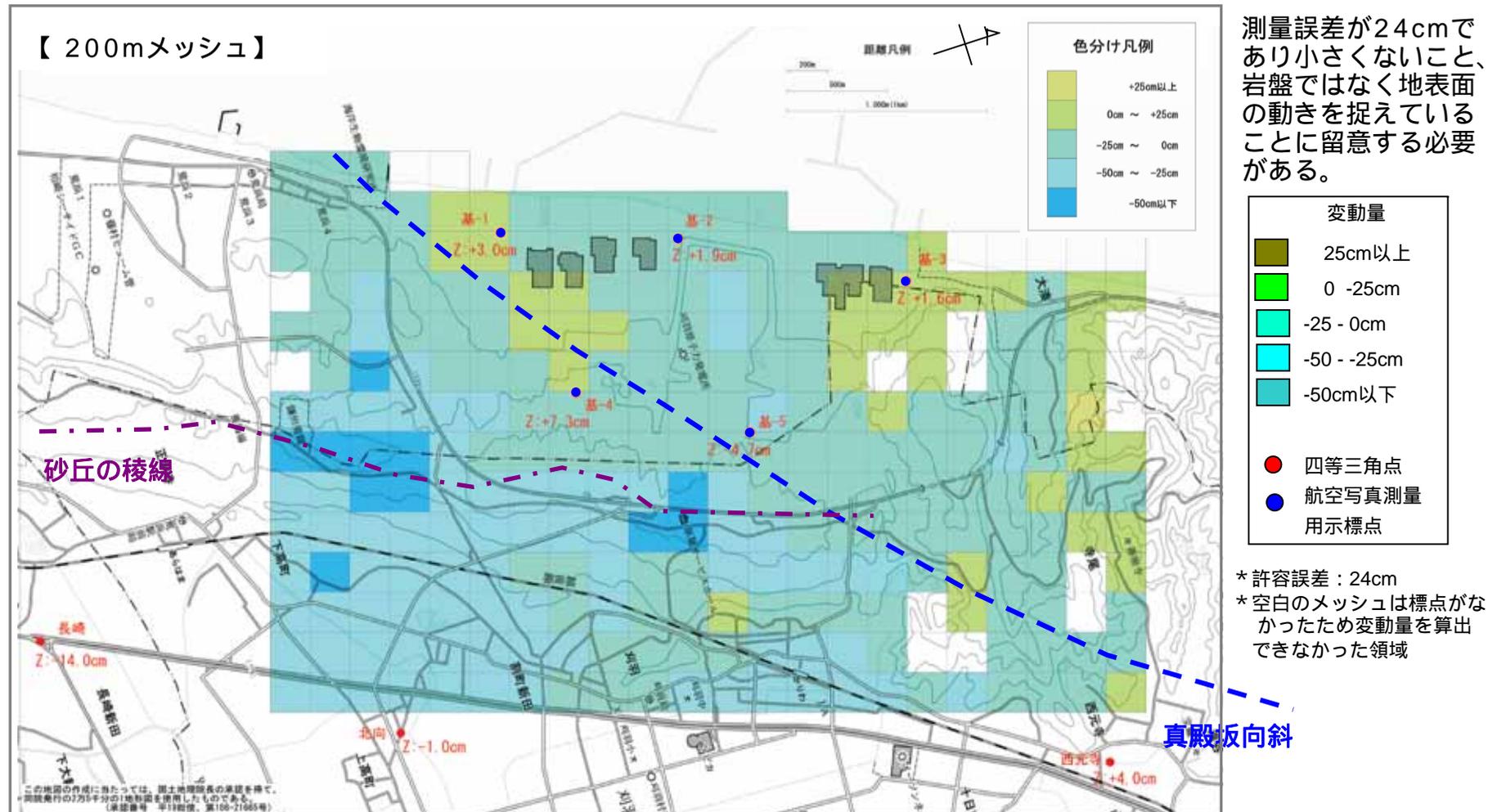
敷地の変動：航空写真測量（水平変動）

- 護岸部は海側に移動し、敷地東側の砂丘部の稜線を境に斜面の傾斜方向に移動する傾向が認められる。また、敷地北側においても、斜面方向に移動する傾向が認められる。
- 地形の影響が無い箇所に着目すれば、敷地の北側では変動の方向が明瞭ではないが、敷地の南側では概ね北西方向に移動しており、広域的な地殻変動から推定された動きと調和的である。



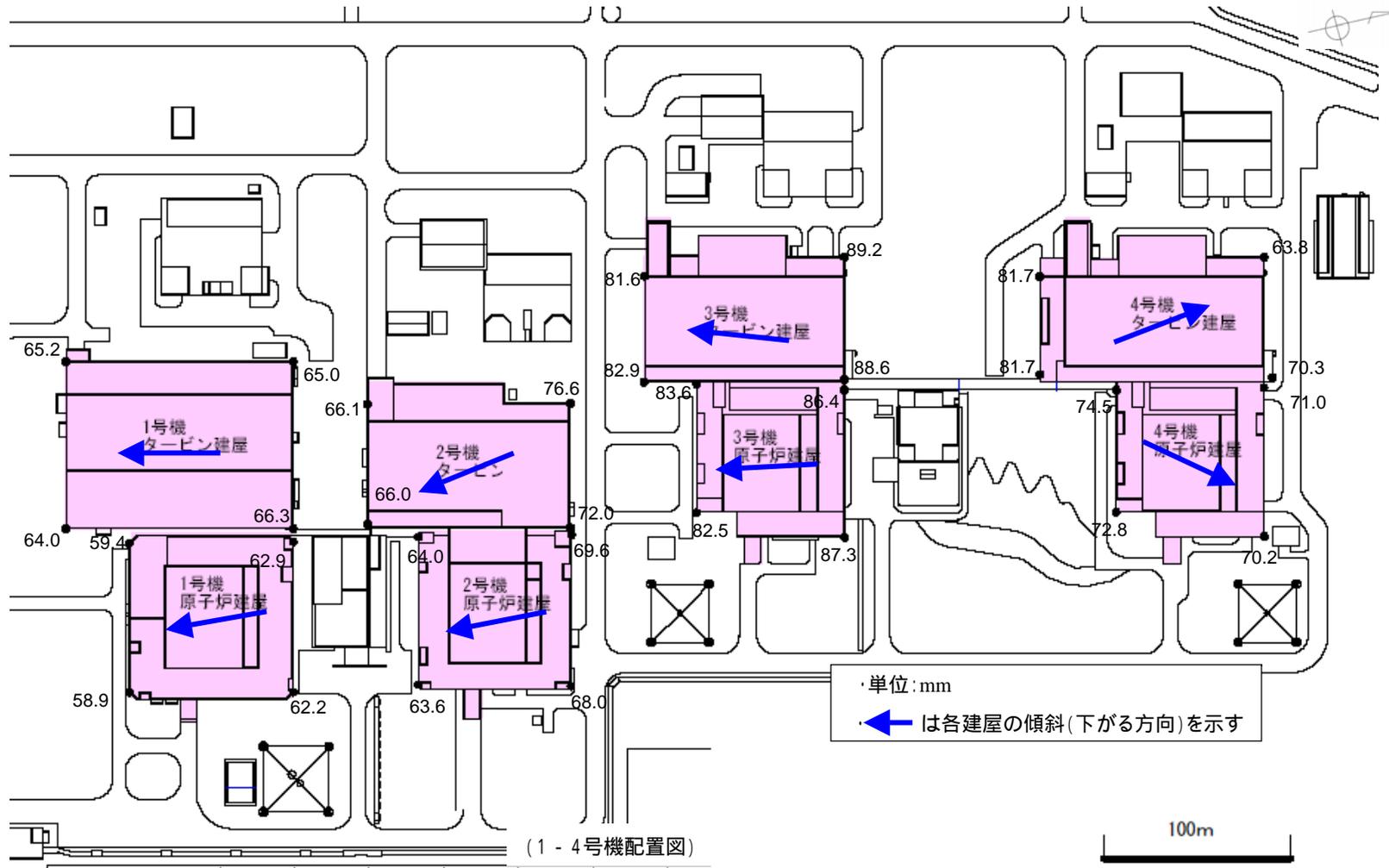
敷地の変動：航空写真測量（鉛直変動）

- 敷地では液状化や埋戻し土の沈下等があり、沈降域が広がっている。
- 建屋近傍は隆起しており、広域的な地殻変動から推定された動きと調和的である。
- 砂丘斜面にて沈降が、敷地北側で隆起傾向が捉えられているが、真殿坂向斜軸沿いに隆起、沈降の境界は認められない。



敷地の変動：建屋水準測量（1 - 4号機側）

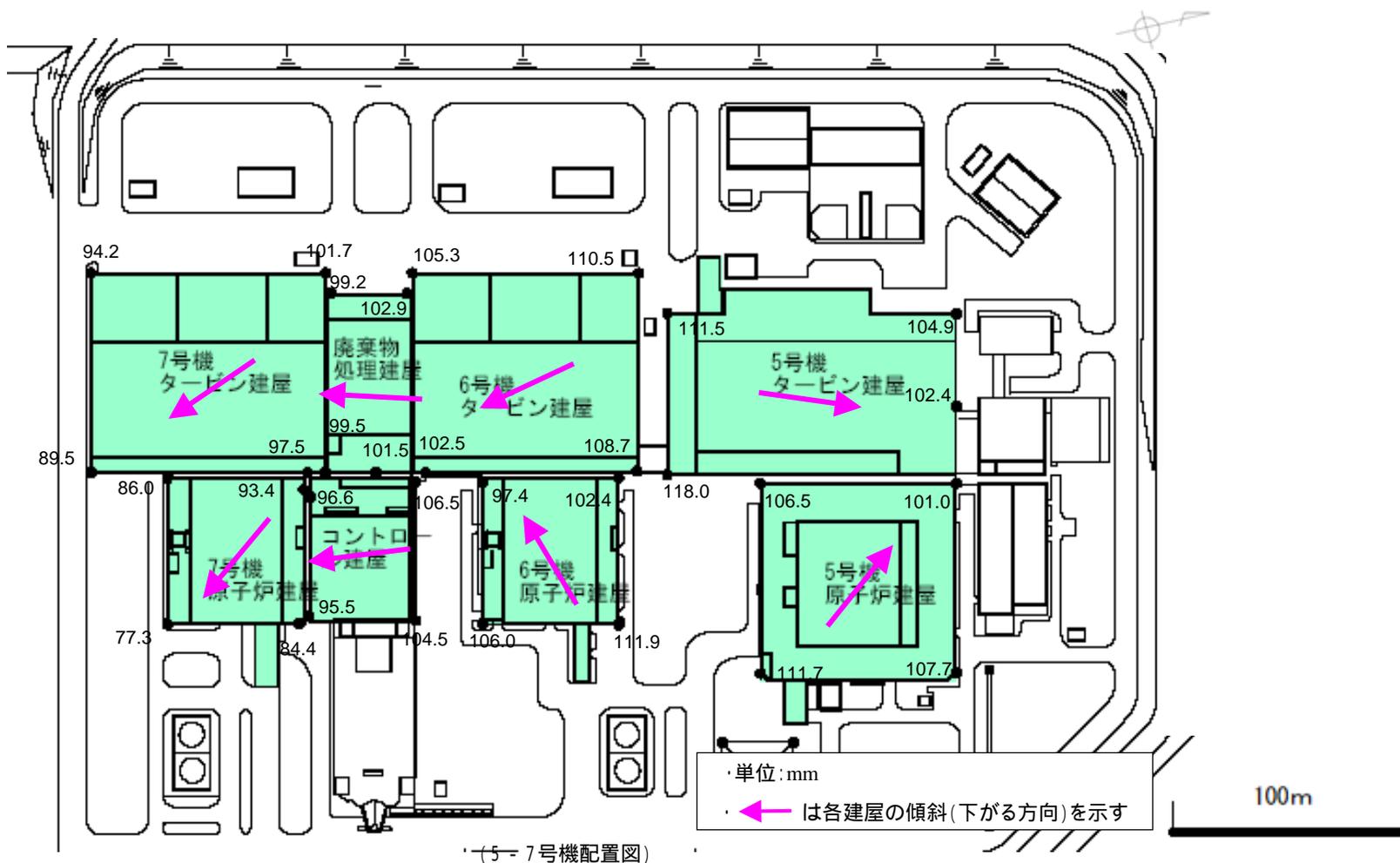
- 測量結果にはばらつきはあるものの、6～9cm程度（平均約7cm）の隆起が見られる。



・建屋レベル変動図は、地震前水準測量(平成18年5月に実施)に対する地震後水準測量(平成20年2月に実施)の差分

敷地の変動：建屋水準測量（5 - 7号機側）

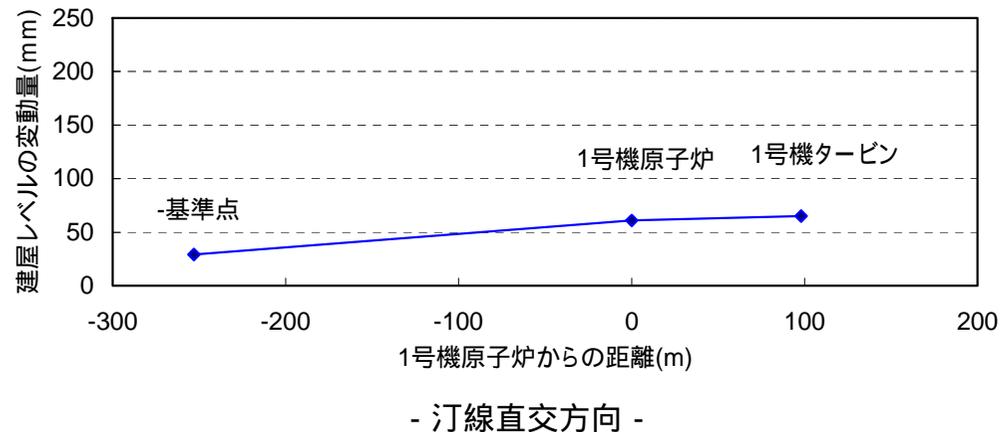
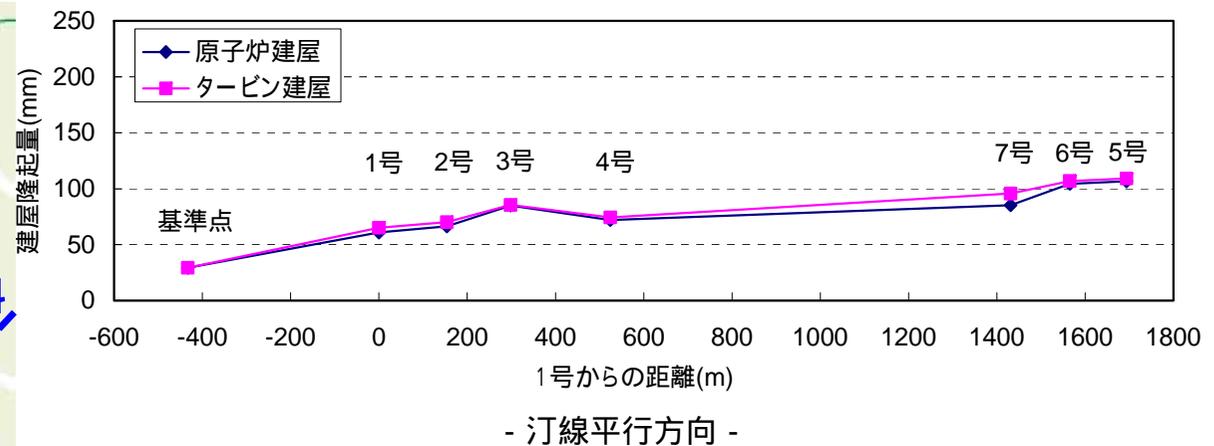
- 測量結果にばらつきはあるものの、8～12cm程度（平均約10cm）の隆起が見られる。



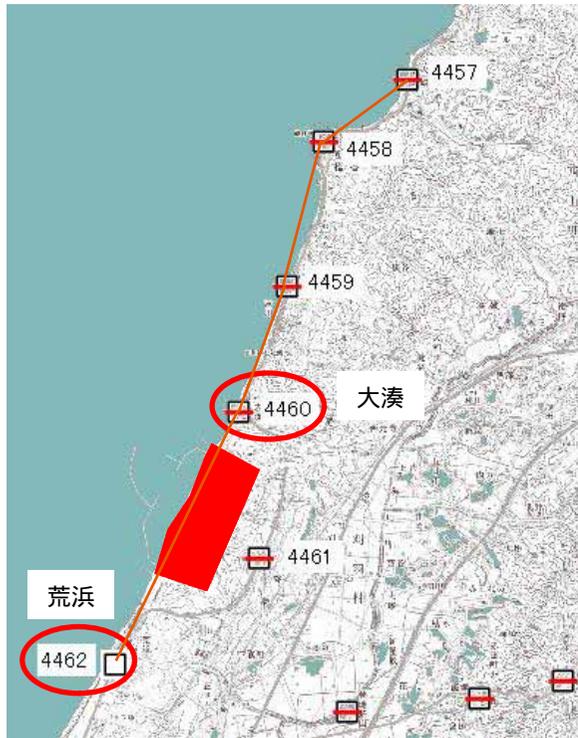
・建屋レベル変動図は、地震前水準測量（平成18年5月に実施）に対する地震後水準測量（平成20年2月に実施）の差分

敷地の変動：建屋水準測量

- 汀線平行方向には、基準点から北側に向かい、緩やかに隆起する傾向を示す。隆起量の傾きは、非常に小さい（距離約2100mに対して、約8cmの隆起量）。
- 汀線直交方向にも、基準点から海側に向かい、緩やかに隆起する傾向を示す。隆起量の傾きは、非常に小さい（距離約350mに対して、約3.5cmの隆起量）。
- 隆起量の増加傾向のばらつきは、地盤物性の局所的なばらつきなどの影響と考えている。



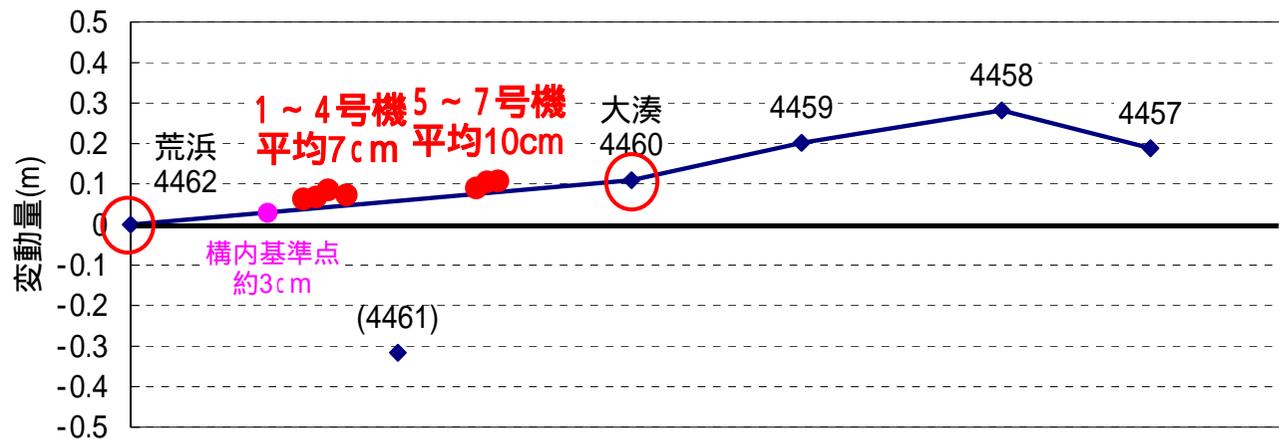
敷地の変動：一等水準点との比較



水準点位置図

- 岩盤に設置されている建屋の隆起量は、国土地理院の一等水準点から評価される地震前後の地盤鉛直変動量と調和的である。
- この変動は、GPS測量の結果から推定された敷地付近の動きとも調和的である。
- なお、水準測量の海側における隆起量は、4460（大湊）における変動量とほぼ一致する。

地震前後の一等水準点成果の鉛直変動量



小括

- 空中写真判読などの結果、変動地形の可能性のある地形は認められない。地表踏査の結果、地表地震断層は認められない。これまでの地質調査結果も踏まえて、敷地近傍に活断層はないと考えられる。

敷地周辺の変動

- 地震後の改測によるGPS基準点の動きは、国の電子基準点の動き等と調和的であり、広域の変動を示している。敷地北側は、海岸沿いに隆起し、北東方向に移動する。それ以外の周辺地域は、西～北西方向に移動し、柏崎平野の南側では沈降する傾向が捉えられた。敷地付近のGPS基準点の動きから、敷地付近では北西側への移動と隆起が推定される。

敷地近傍の変動

- 北-1測線および北-2測線の水準測量から、海側（西側）が隆起し、内陸側（東側）が沈降している様子が捉えられており、海側における隆起量を含めて、広域の変動と調和的である。内陸部において、約20～40cmの変動が生じる箇所を境に、海側と内陸側の標高変化量に約10cmの相対的な差が認められており、これらに係わる分析は後述。

敷地の変動

- 航空写真測量は、許容誤差が地殻変動による変動量に対して大きいため、変動の大きさについて定量的に評価することはできないが、敷地は南側において全体的に北西方向に移動するとともに、建屋近傍では隆起する様子を定性的に捉え、敷地の変動が広域の変動と調和的であることを確認した。
- 建屋の隆起量は、国土地理院の一等水準点から評価される地震前後の地盤鉛直変動量と調和的であることを確認した。

以上より、水準測量における内陸部の変動を除き、敷地および敷地近傍の変動は、広域の変動と概ね調和的であることを確認した。

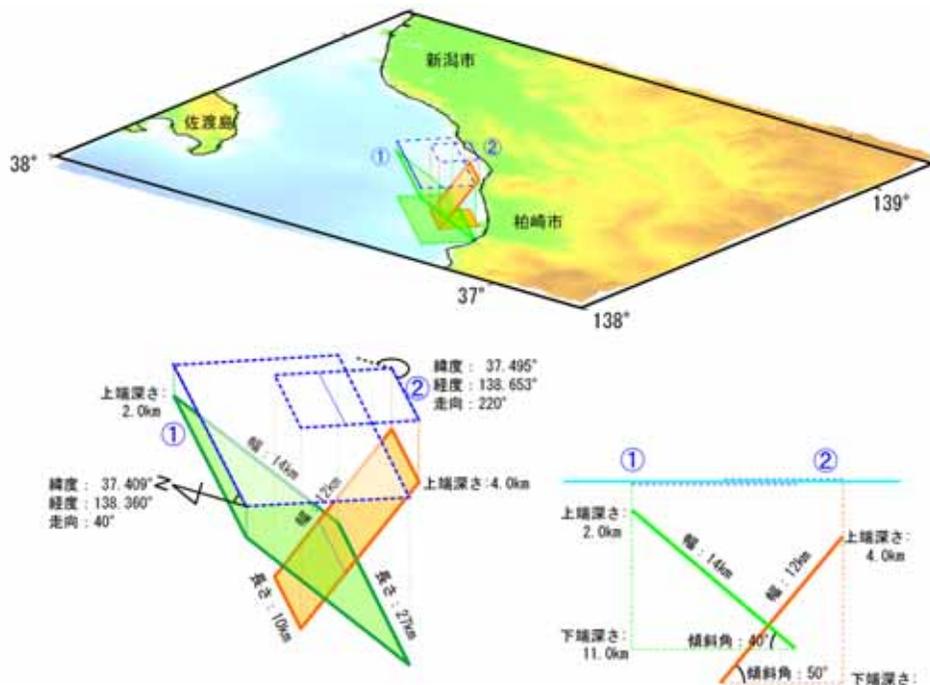
-
1. 敷地および敷地近傍の地質・地質構造の概要
 2. 地震後の調査・測量結果の概要
 3. 広域の変動との対比（コメント）
 4. 水準測量結果に関する分析
 1. 地質・地形・現地の状況との対比（コメント）
 2. 空中写真判読による敷地近傍の変状地形（コメント）
 3. DEMによる敷地近傍の変状地形（コメント）
 4. 真殿坂向斜の位置にすべり面を考慮した解析との対比（コメント）
 5. まとめ

広域の変動との対比：国土地理院の解析結果

コメント

- 鉛直方向：敷地前面の海域は全体的に隆起し、敷地から敷地北側にかけても隆起する。敷地は0～6cm程度隆起し、敷地北側の観音崎付近では20cm以上となる。
- 水平方向：敷地前面海域から敷地北側にかけて、北～北東方向に移動し、敷地付近から南側にかけて南西～北西方向に移動する傾向に変わる。

解析に用いた主要な滑り面の概念図



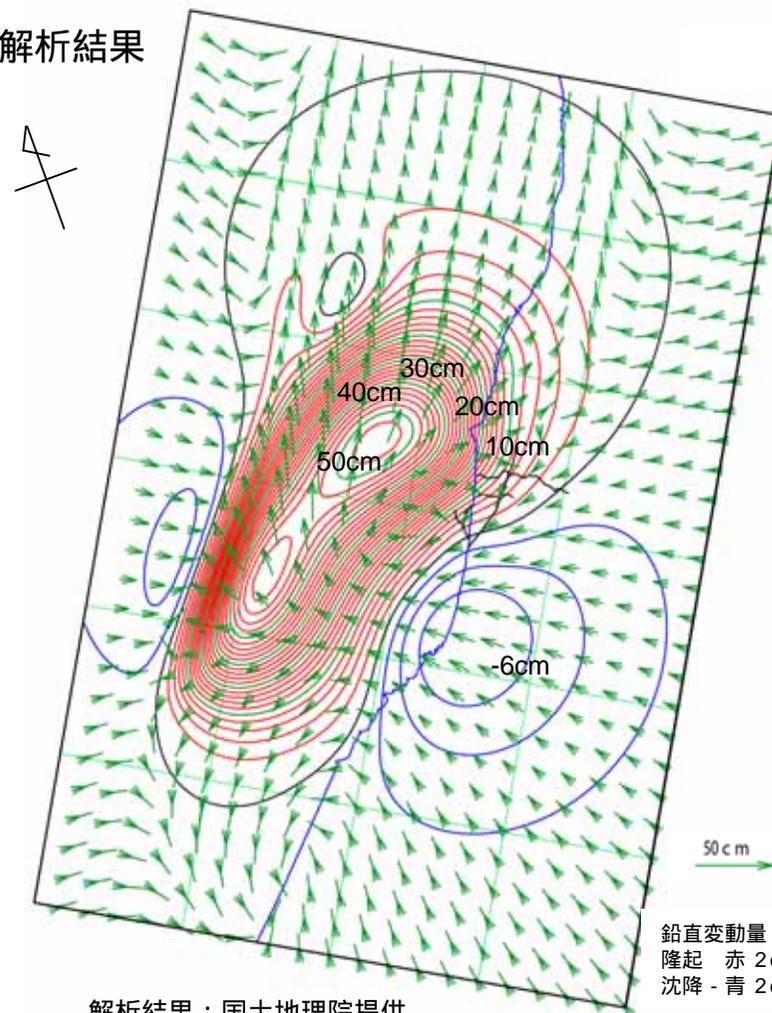
断層面の概略パラメータ

	緯度	経度	上端深さ	長さ	幅	走向	傾斜角	モーメントマグニチュード
①	37.409°	138.360°	2.0km	27km	14km	40°	40°	6.64
②	37.495°	138.653°	4.0km	10km	12km	220°	50°	6.24

Total Mw 6.70

国土地理院HP

解析結果



鉛直変動量：
隆起 赤 2cm/間隔
沈降 青 2cm/間隔

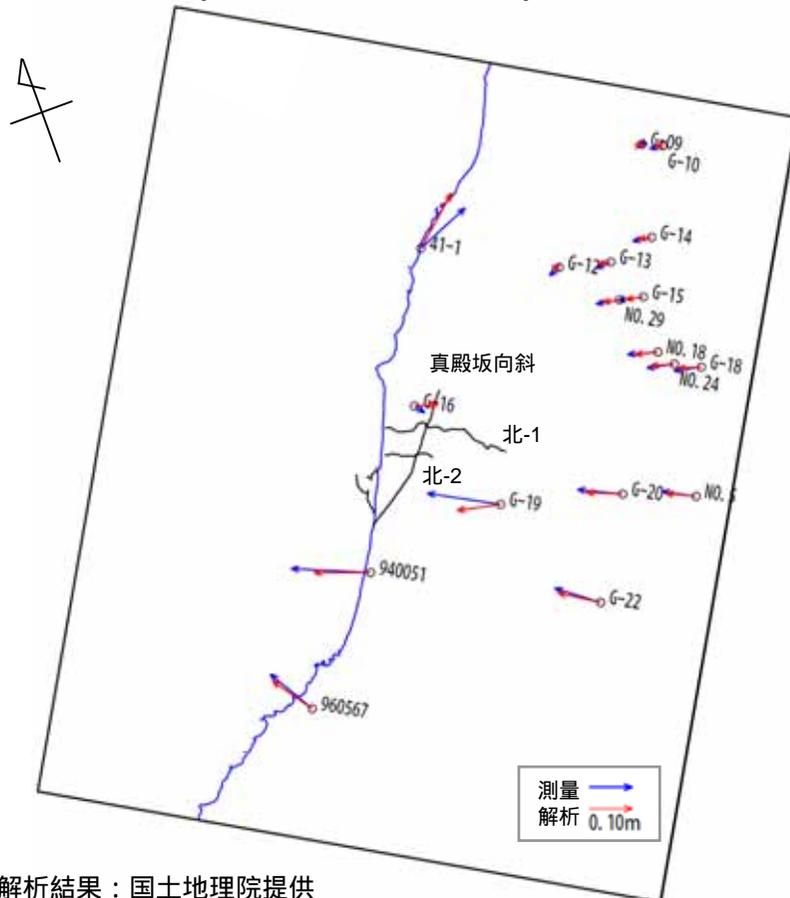
解析結果：国土地理院提供

広域の変動との対比：GPS測量と解析結果の比較（水平変動）

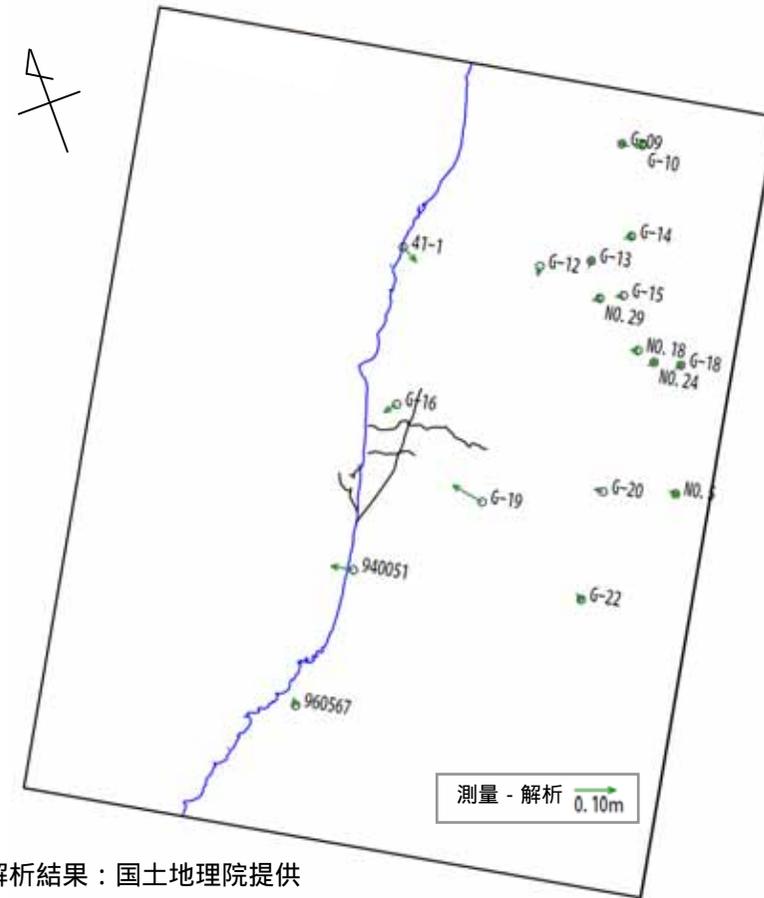
コメント

- GPS測量で捉えられた水平方向の変動は、解析結果で想定される変動に対して、変動方向および変動量の両方において、ほぼ合致する。
- 測量と解析の差分に着目すると、敷地東側の中央丘陵のG-19および敷地南側940051において北西向きの差分ベクトルがみられる。G-19は、中央丘陵付近の隆起を伴う変動を捉えていると考えている。
- 敷地付近において、断層の活動を示唆する断層を境に向き合う差分ベクトルは認められない。

重ね合わせ（水平移動ベクトル）



測量と解析の差分（測量－解析）

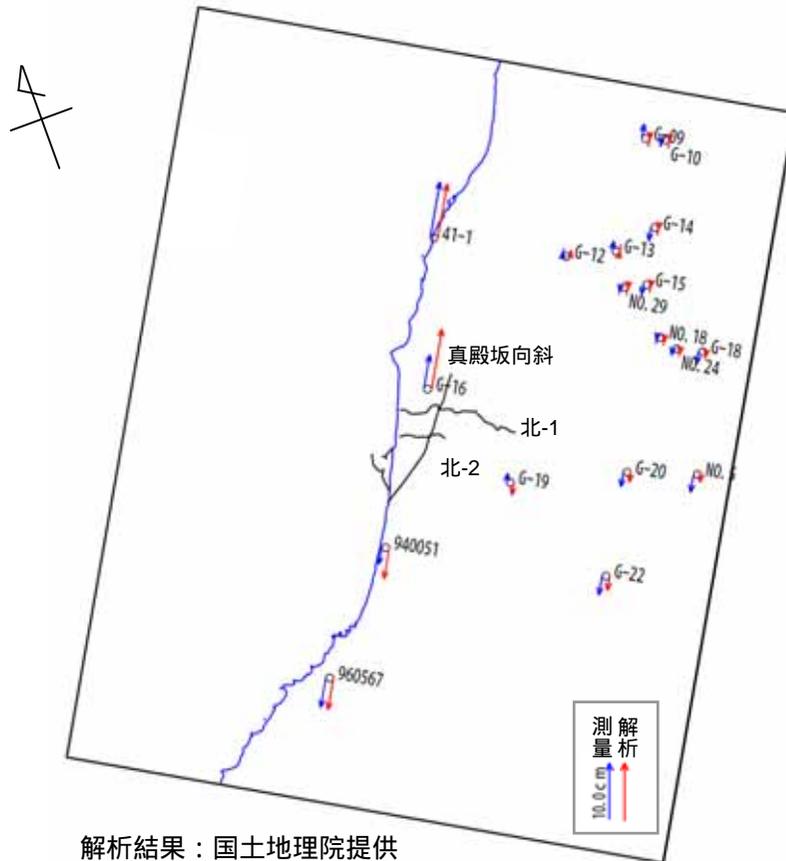


広域の変動との対比：GPS測量と解析結果の比較（鉛直変動）

コメント

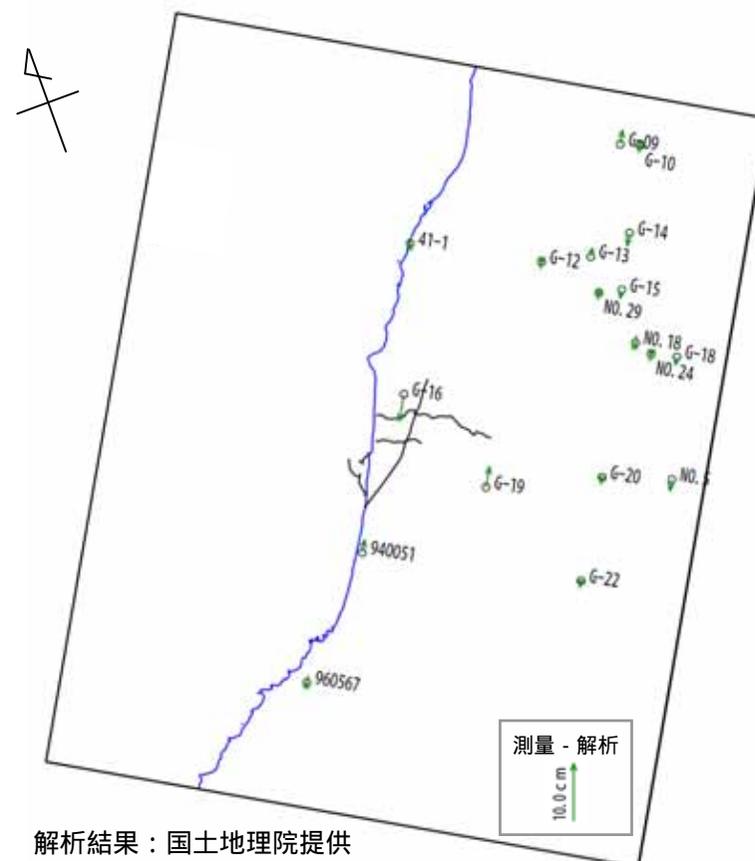
- GPS測量で捉えられた鉛直方向の変動は、解析結果で想定される変動に対して、変動方向および変動量の両方において、おおむね合致する。
- 測量と解析の差分に着目すると、敷地北側のG-16において下向きの、中央丘陵のG-19において上向きの差分ベクトルがみられる。G-19は、中央丘陵付近の隆起を伴う変動を捉えていると考えている。
- 敷地付近において、西傾斜の逆断層の活動を示唆する、断層を境に海側が隆起し、内陸側が沈降する差分ベクトルは認められない。

重ね合わせ（鉛直移動ベクトル）



解析結果：国土地理院提供

測量と解析の差分（測量－解析）



解析結果：国土地理院提供

広域の変動との対比：水準測量と解析結果の比較（北-1測線）

コメント

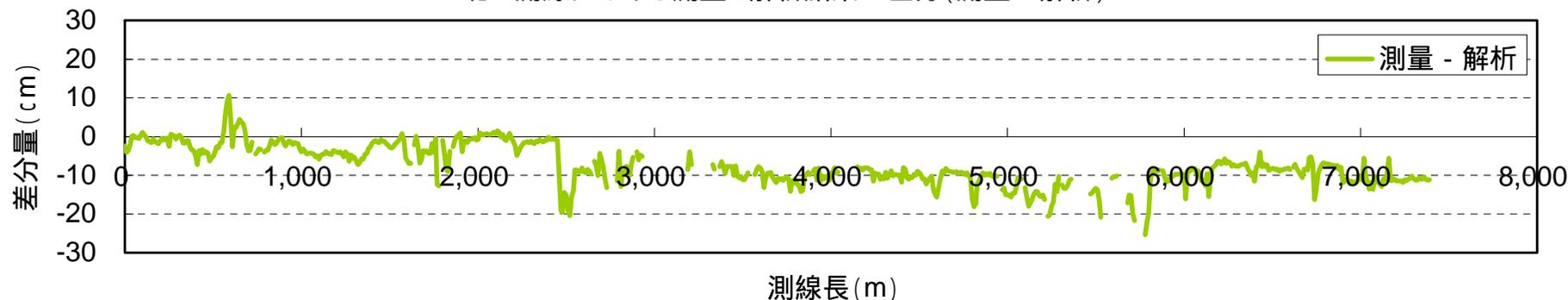
- 解析では，海側で約10cm隆起し，内陸に向かい緩やかに隆起量が小さくなり，測線端部ではほぼ0cmとなる結果が得られている。
- 水準測量では，海側で約10cm隆起し，内陸側で約10cm沈降する傾向が捉えられており，海側から内陸に向かい標高変化量が小さくなる傾向及び海側における隆起量の大きさは，解析結果とおおむね合致している。
- 但し，広域の変動と比較して，測線起点から2500m付近に見られる局所的な変動箇所を境に、内陸側の標高変化量は，海側の標高変化量および広域の変動から想定される隆起量よりも約10cm小さくなる。



北-1測線における測量と解析結果の比較



北-1測線における測量と解析結果の差分(測量 - 解析)



広域の変動との対比：水準測量と解析結果の比較（北-2測線）

コメント

- 解析では、海側で約8～9cm隆起し、内陸に向かい緩やかに隆起量が小さくなり、測線端部では約3cmとなる結果が得られている。
- 水準測量では、海側で約10cm隆起し、内陸側で約10cm沈降する傾向が捉えられており、海側から内陸側に向かい隆起量が小さくなる傾向及び海側における隆起量の大きさは、解析結果とおおむね合致している。
- 但し、広域の変動と比較して、測点起点から、1000m付近に見られる局所的な変動箇所を境に、内陸側の標高変化量は、海側の標高変化量および広域の変動から想定される隆起量よりも小さい。



北-2測線における測量と解析結果の比較



北-2測線における測量と解析結果の差分(測量 - 解析)

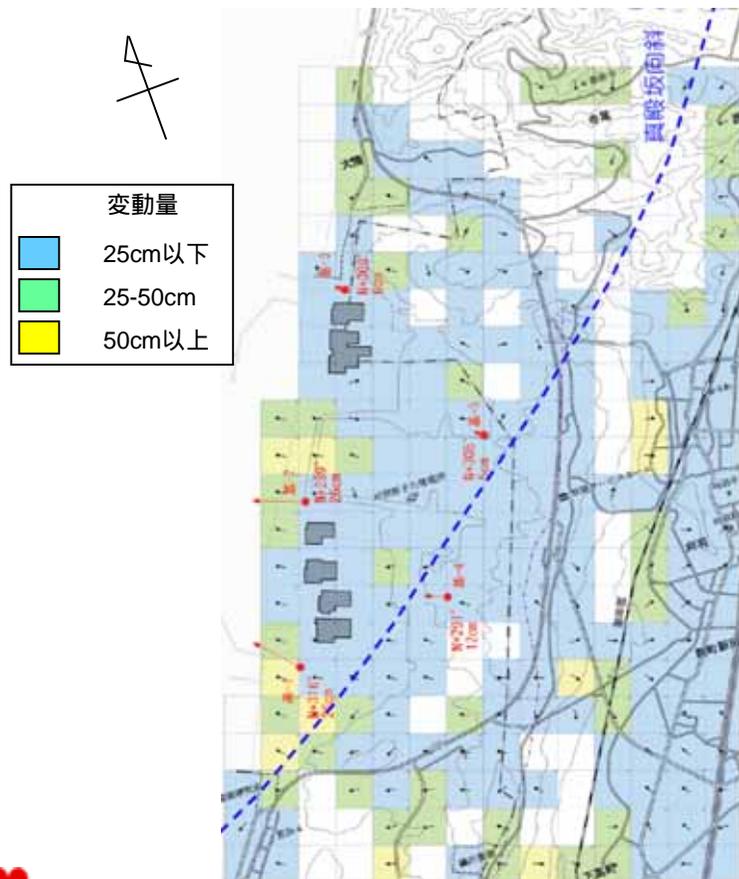


広域の変動との対比：航空写真測量と解析結果の比較（水平）

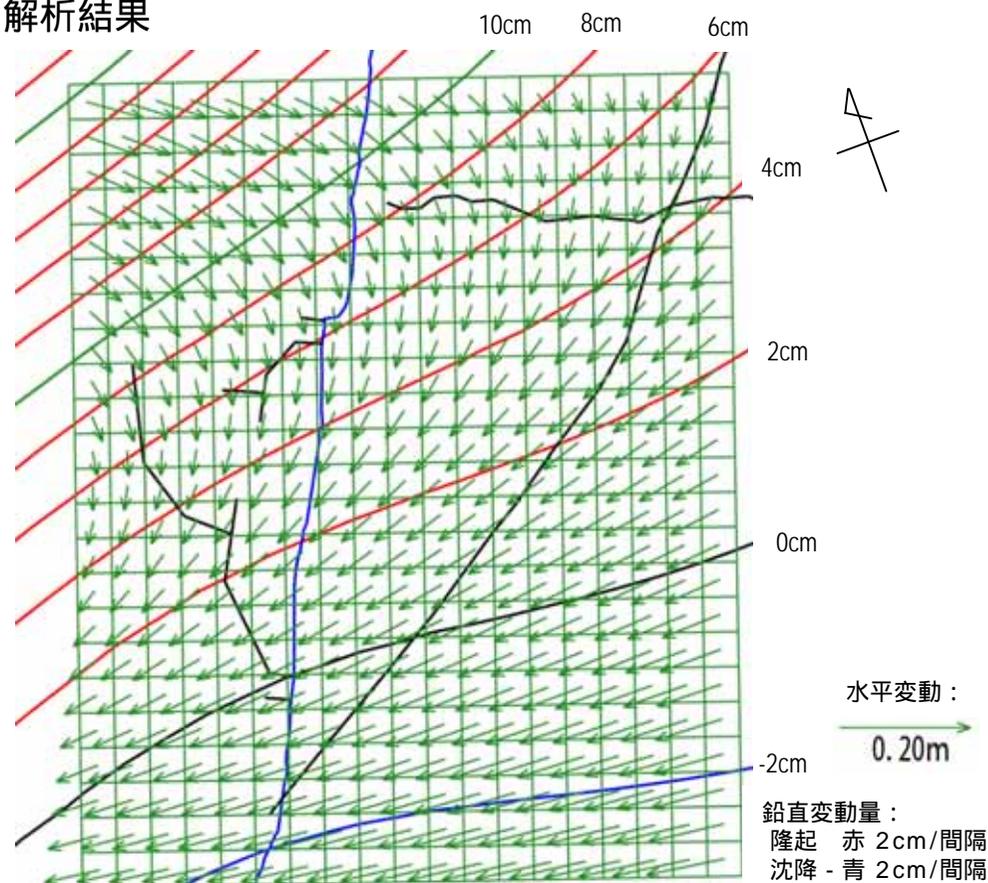
コメント

- 航空写真測量では、敷地北側での水平方向の変動は明瞭ではなく、南側ではおおむね北西方向に移動する。
- 解析では、敷地北側は南の方向に移動し、敷地の南に向かうにつれて、南西～西方向に移動することが想定される。敷地の水平方向の移動は、測量結果と解析結果ともに西方向に向くセンスを示しており、同様の変動傾向を示す。なお、広域の変動を再現するために検討されている解析モデルであること、航空写真測量の測量誤差が小さくないことから、各々の敷地の変動を精度高く比較することはできないと考えている。

航空写真測量結果（水平変動）



解析結果



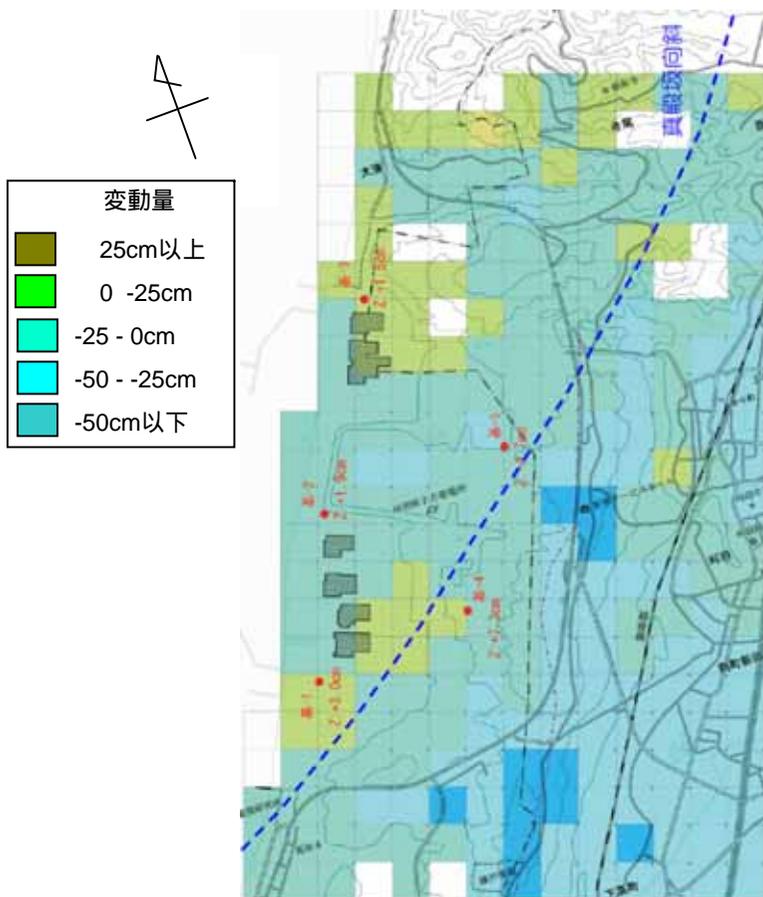
解析結果：国土地理院提供

広域の変動との対比：航空写真測量と解析結果の比較（鉛直）

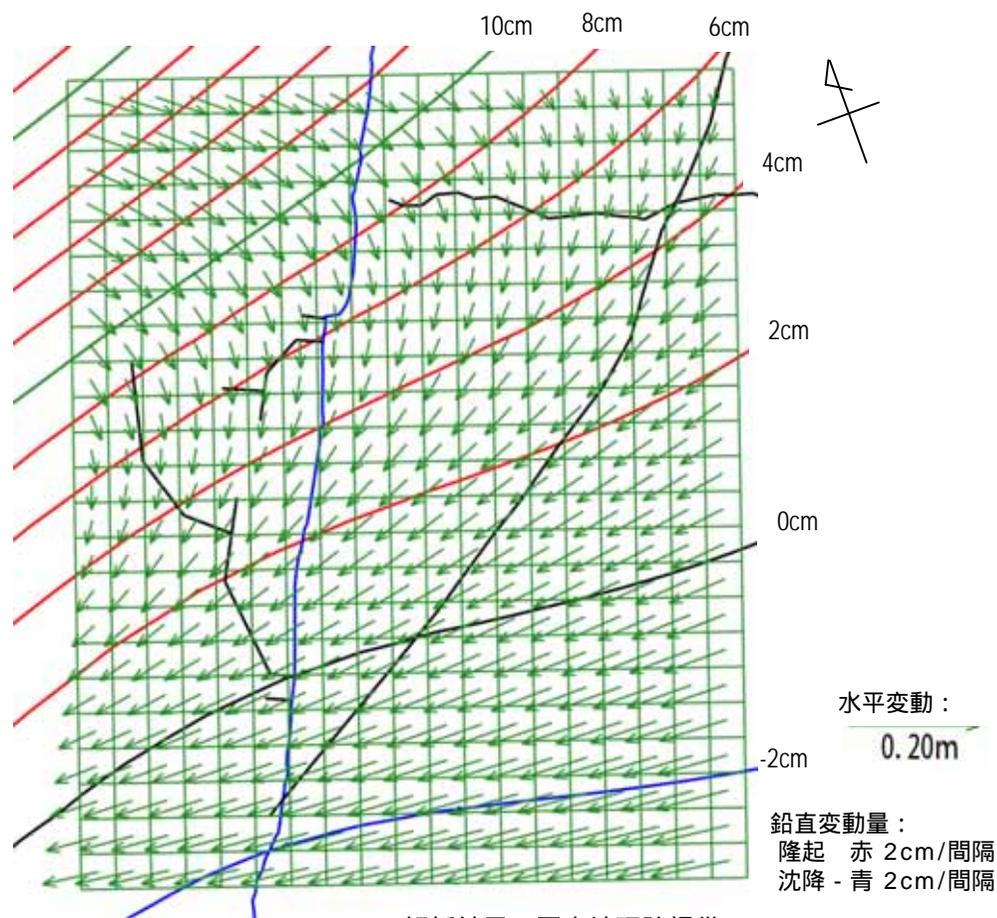
コメント

- 航空写真測量では、埋戻し土などの影響により沈降する範囲が広がるが、建屋近傍は隆起する。
- 解析においては、敷地は、南側から北側にかけて緩やかに隆起することが想定される。測量結果と解析結果ともに、敷地が隆起するセンスを示しており、同様の変動傾向を示す。

航空写真測量結果（鉛直変動）



解析結果

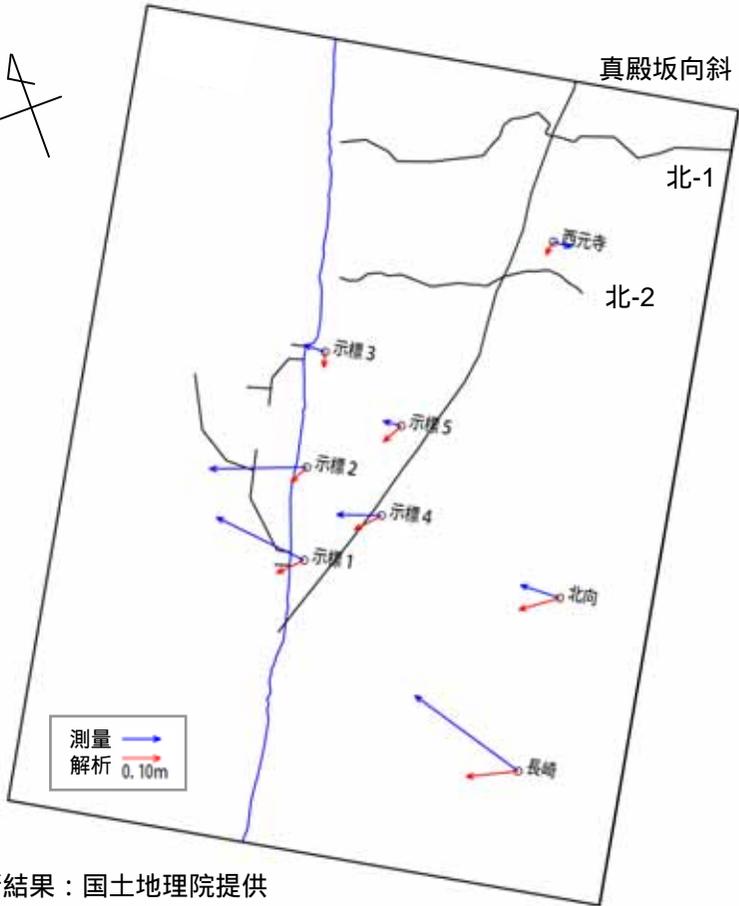


解析結果：国土地理院提供

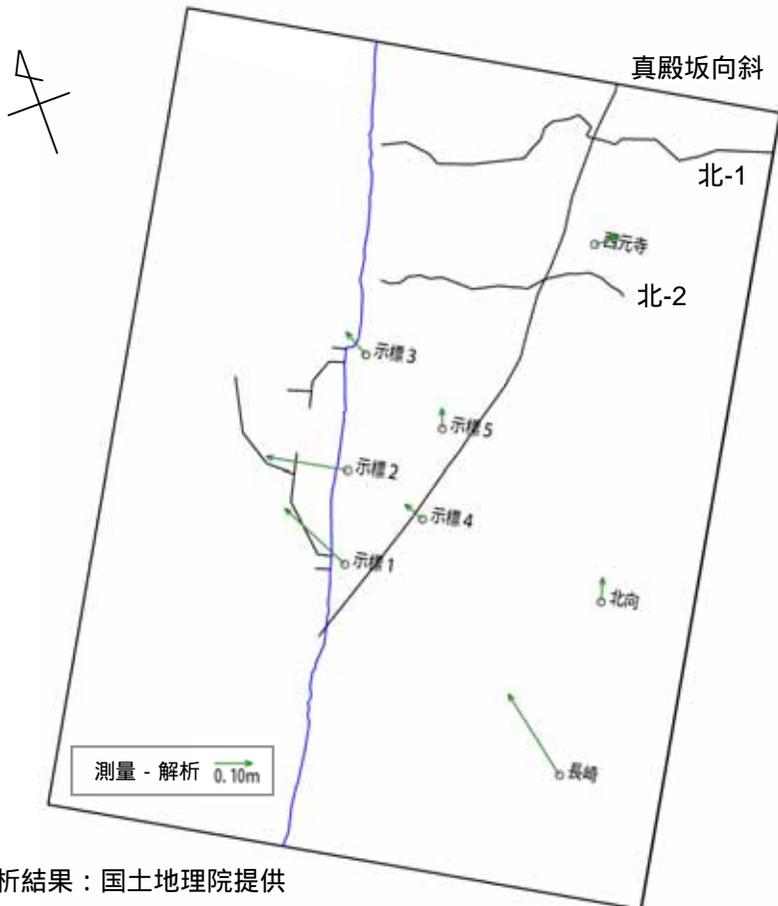
広域の変動との対比：航空写真測量と解析結果の比較（水平）

- 測量では、敷地北側の西元寺で南東方向に，敷地の示標点及び北向・長崎は北西方向に移動する。
- 解析では，示標3及び西元寺は南西方向に，その他の点は西方向に移動する。
- 測量結果と解析結果の差分をみると，西元寺で東方向の差分ベクトルが，その他では北東～北西方向への差分ベクトルが確認されるが，真殿坂向斜軸部を境に，断層の活動を示唆するような、断層を境に向き合う差分ベクトルは認められない。

重ね合わせ（水平移動ベクトル）



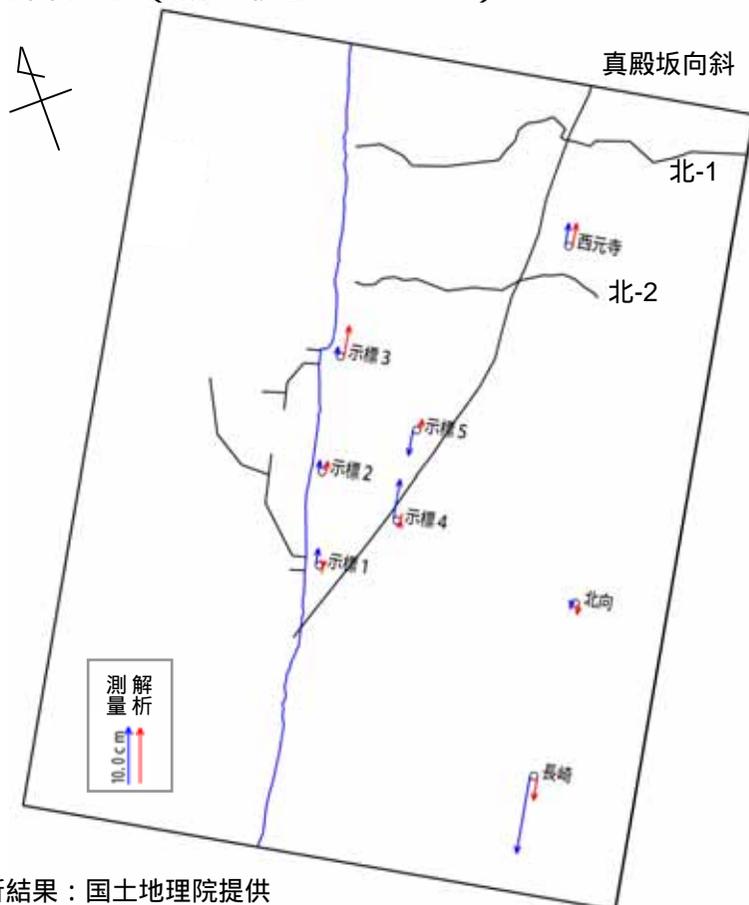
測量と解析の差分（測量－解析）



広域の変動との対比：航空写真測量と解析結果の比較（鉛直）

- 測量では、示標1～4及び西元寺は隆起しており、示標5及び北向・長崎は沈降している。
- 解析では、北向・長崎は沈降するが、北側に向かい隆起する傾向を示す。
- 測量結果と解析結果の差分をみると、示標3, 5, 長崎において、下向き差分ベクトルが、示標4において上向き差分ベクトルが確認される。示標4, 5については、真殿坂向斜を境に逆の傾向を示す差違が認められるが、西傾斜の逆断層の活動を示唆する、断層を境に海側が隆起し、内陸側が沈降する差違ではない。

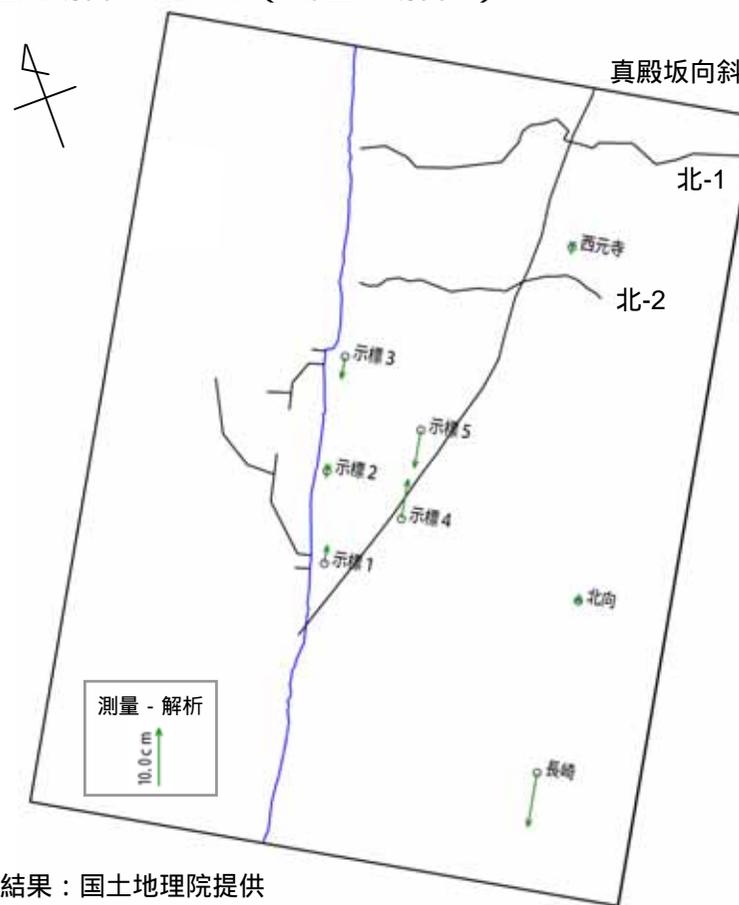
重ね合わせ（鉛直移動ベクトル）



解析結果：国土地理院提供

東京電力

測量と解析の差分（測量－解析）

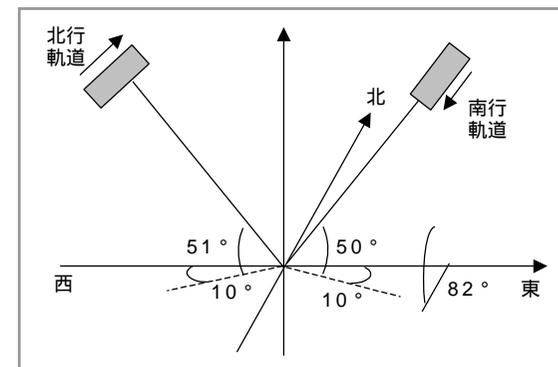


解析結果：国土地理院提供

広域の変動との対比：「だいち」と解析結果の比較

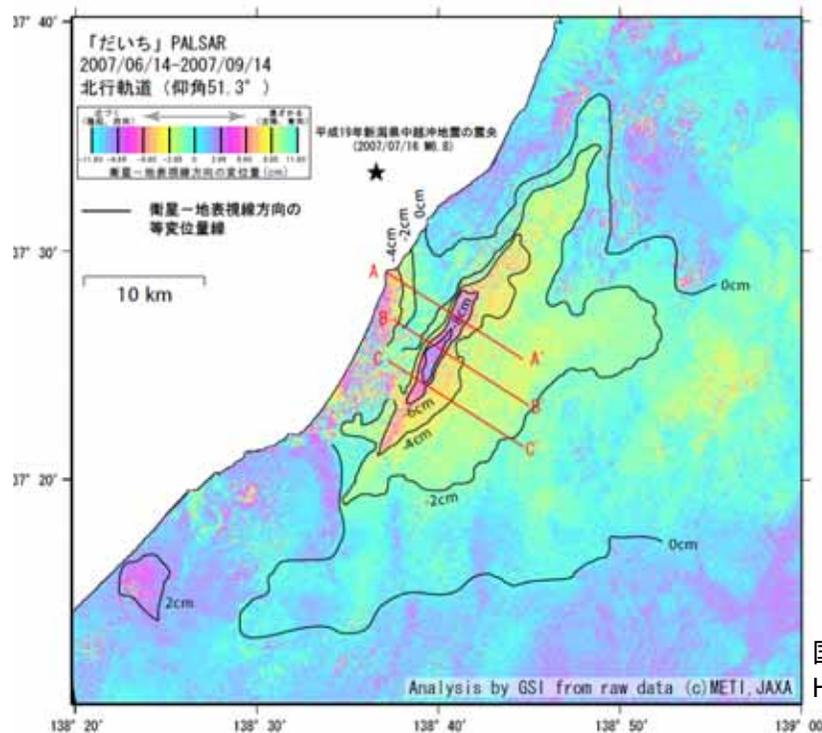
コメント

- 陸域観測技術衛星「だいち」により、地震時の地盤の変動が捉えられている。敷地近傍に着目して、観測された変動状況と国土地理院の解析結果との差分（観測－解析）を整理し、北-1測線、北-2測線付近を含む敷地近傍における、広域の変動との差違の状況を分析する。

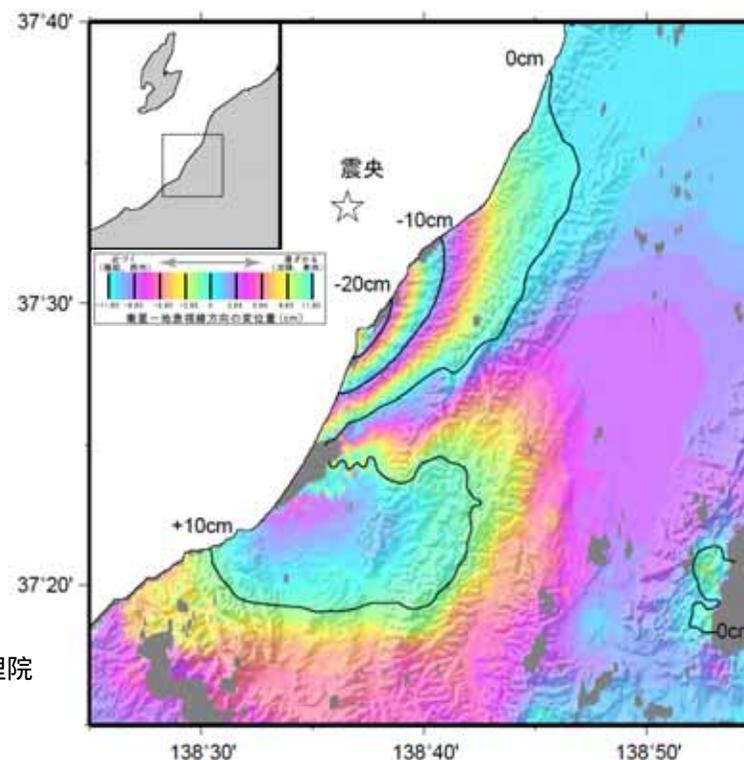


北行軌道（仰角51.3度）

南行軌道（仰角50度）



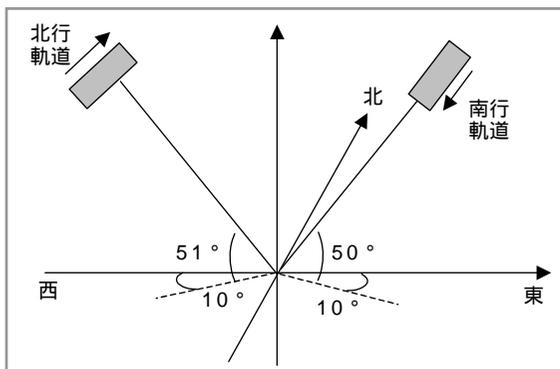
国土地理院
HPより



国土地理院
HPより

広域の変動との対比：「だいち」と解析結果の比較

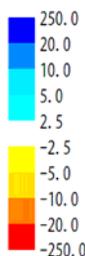
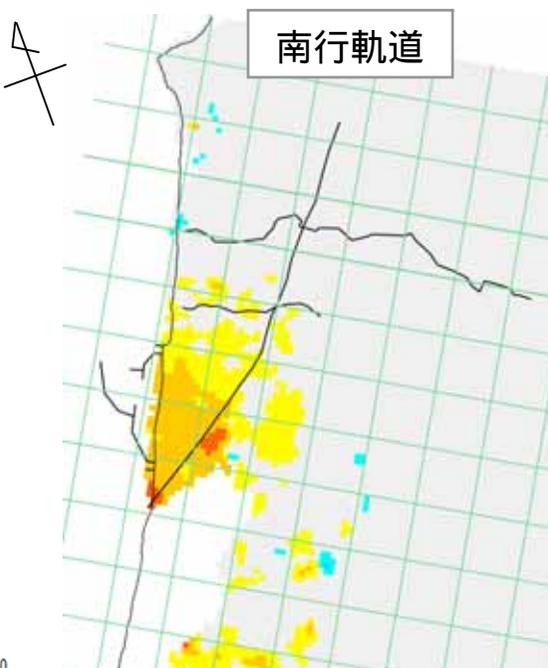
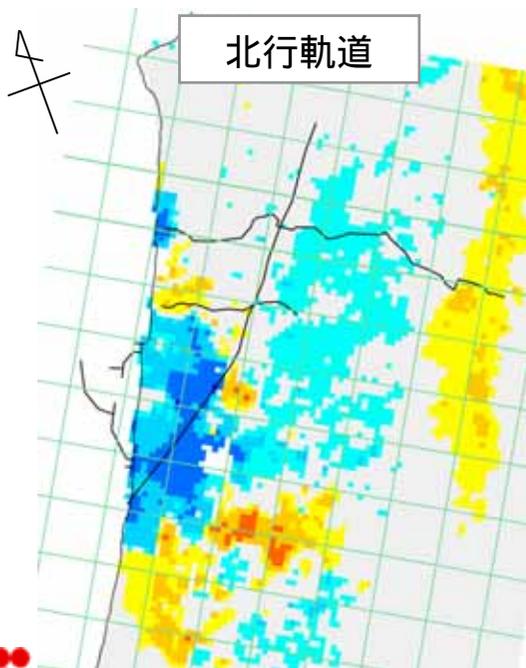
コメント



- 中央丘陵西翼部付近では、観測結果の方が解析結果に比べて、隆起傾向が大きい。
- 真殿坂断層沿いには、中央丘陵西翼部にみられるような隆起は認められない。西傾斜の逆断層の活動を示唆するような、断層を境に、海側が隆起・東方向に移動し、内陸側が沈降・西方向に移動する差は認められない。
- 北-1測線、北-2測線付近における柏崎平野北部は、解析結果に比べて、沈降し、東方向への変動する傾向が大きい。（次シート参照）。
- 敷地は、解析結果に比べて、全体的に沈降し、東方向に水平移動する傾向が大きい（次シート参照）。

「だいち」の観測結果と国土地理院の解析結果の差分

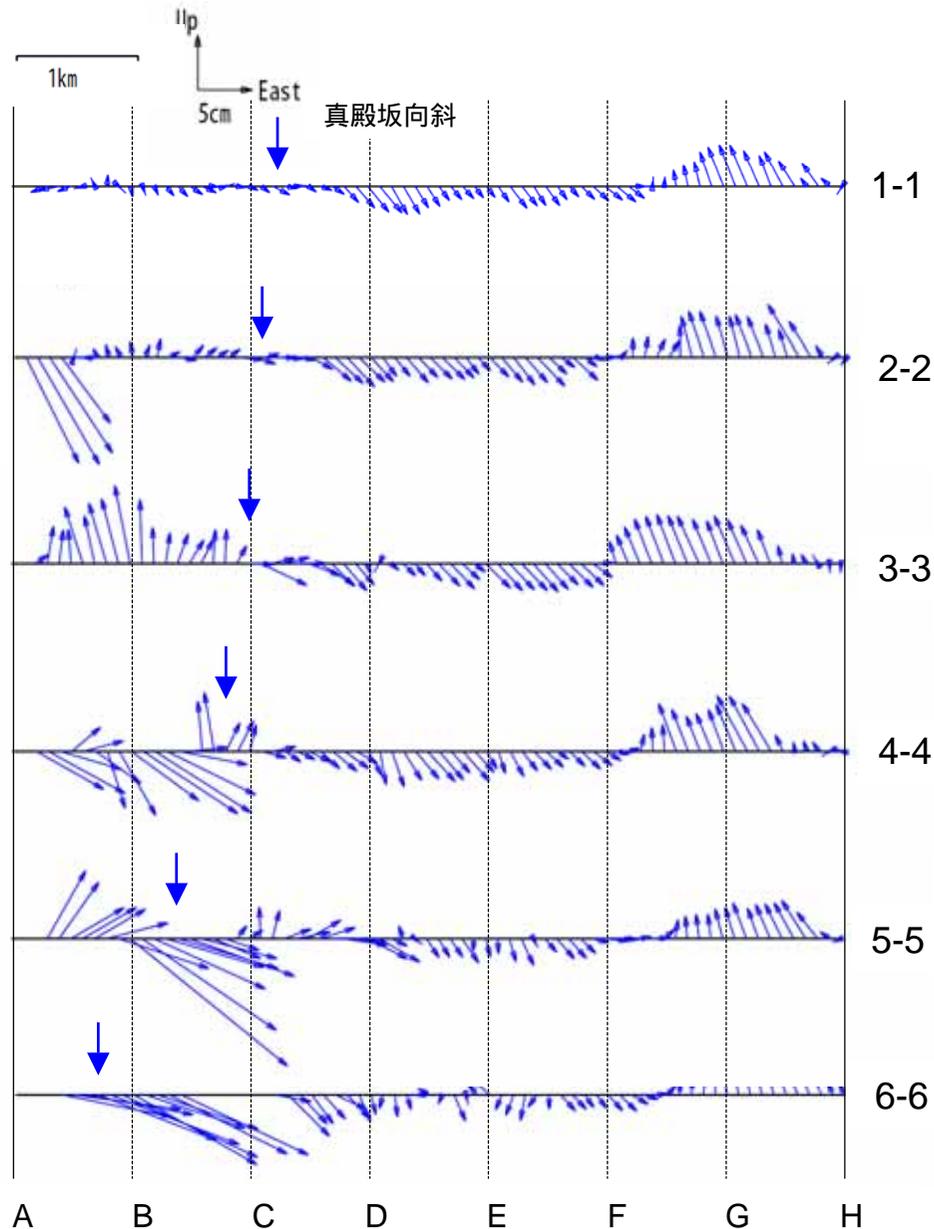
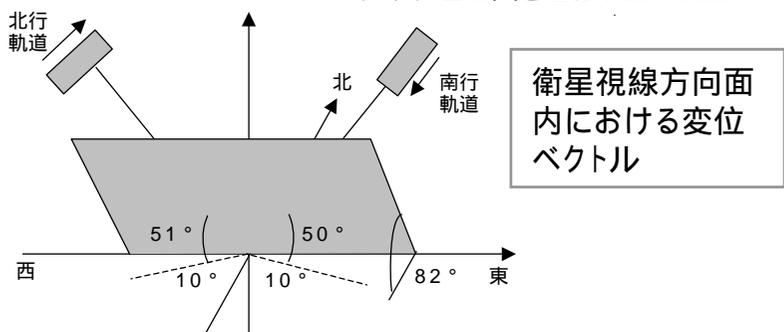
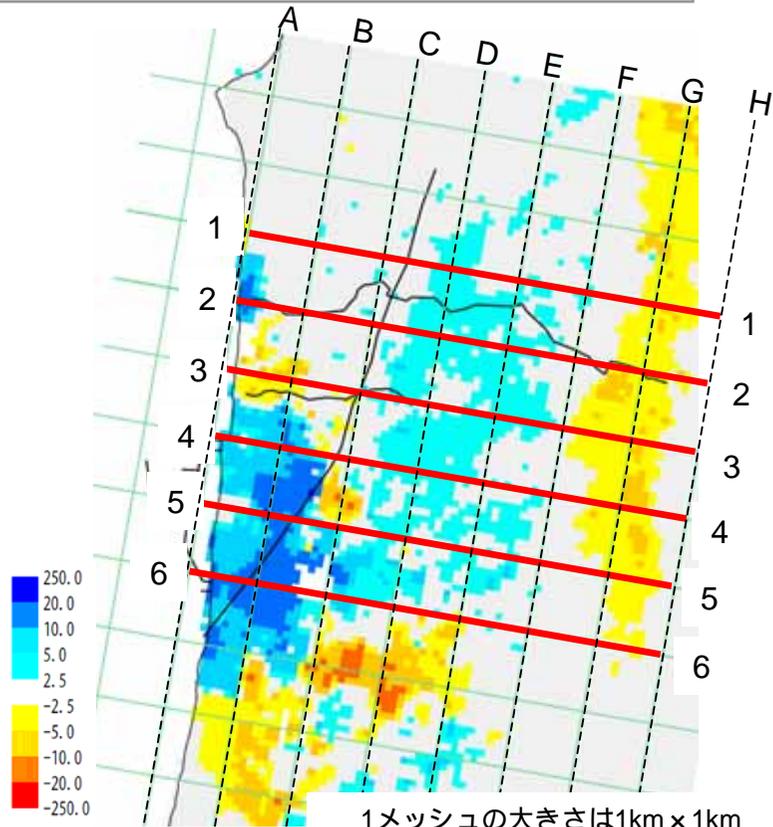
敷地付近の地質図



広域の変動との対比：「だいち」と解析結果の比較

コメント

「だいち」と解析結果の差分（北行軌道）



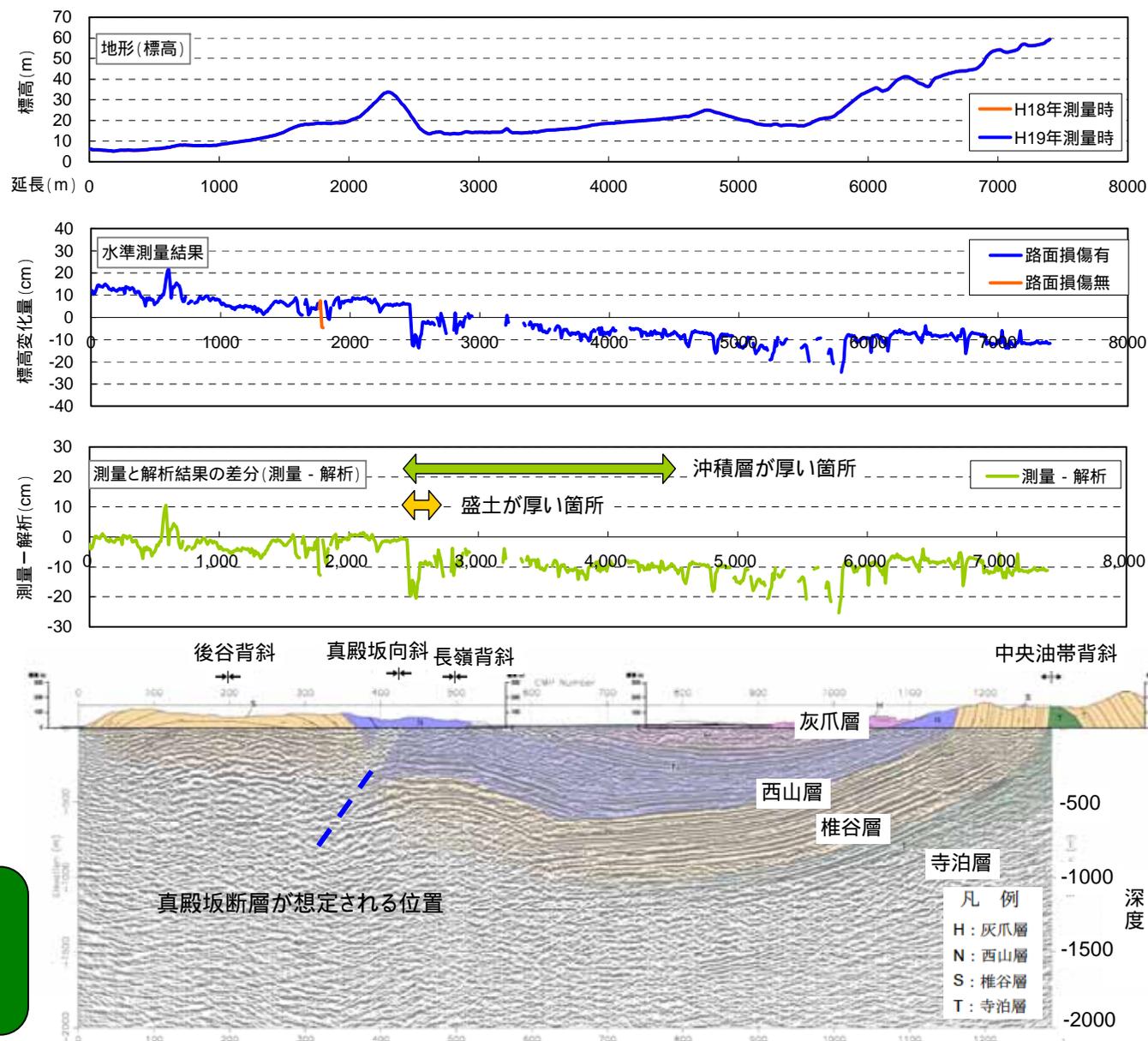
小括

- 電子基準点の移動等の測量結果を踏まえて、国土地理院が実施した解析の結果と各種測量結果（GPS測量、水準測量、航空写真測量）を比較し、敷地周辺および敷地における、広域の変動と傾向が異なる変動の有無について検討を実施した。
- GPS測量、航空写真測量の測量結果は、解析結果で示される変動の傾向と概ね一致する。解析結果との差違が認められる箇所はあるものの、敷地付近および敷地において、西傾斜逆断層の活動を示唆する特異な変動の差違は認められない。
- 水準測量で捉えられた海側での隆起量は、解析結果とほぼ同じであり、海側で隆起し内陸側で沈降する傾向は、解析結果に示される広域の変動傾向と調和的である。しかし、内陸側は、解析で想定されるよりも沈降した結果となっており、解析結果と約10cm、またはそれ以下の差が認められた。
- なお、西傾斜の逆断層である真殿坂断層が動く場合は、断層を境に海側において、広域の変動に伴う隆起量よりも大きく隆起することが想定されるが、水準測量と解析結果の差分においては、このような変動の差違は捉えられていない。
- 陸域観測技術衛星「だいち」と国土地理院の解析結果の差分をみても、敷地近傍において、真殿坂向斜軸を境に、西傾斜の逆断層の活動を示唆する特異な変動の差違は認められない。

-
1. 敷地および敷地近傍の地質・地質構造の概要
 2. 地震後の調査・測量結果の概要
 3. 広域の変動との対比(コメント)
 4. 水準測量結果に関する分析
 1. 地質・地形・現地の状況との対比(コメント)
 2. 空中写真判読による敷地近傍の変状地形(コメント)
 3. DEMによる敷地近傍の変状地形(コメント)
 4. 真殿坂向斜の位置にすべり面を考慮した解析との対比(コメント)
 5. まとめ

地形・地質・現地の状況との対比：北 - 1 測線

- 地形と標高変化との対応はみられない。
- 後谷背斜と長嶺背斜の間、真殿坂断層が推定される真殿坂向斜付近（起点から2550m付近）でやや大きな変動が認められる。
- 該当箇所付近は盛土となっており、変動の原因は盛土の沈下の可能性があると考えている。
- 沖積層が厚く分布する範囲は、内陸側に見られる、広域の変動と比べて標高変化量が小さい範囲と対応する傾向がある。



追加調査：沖積層の分布状況を調査し、測量結果との対応状況を調査中

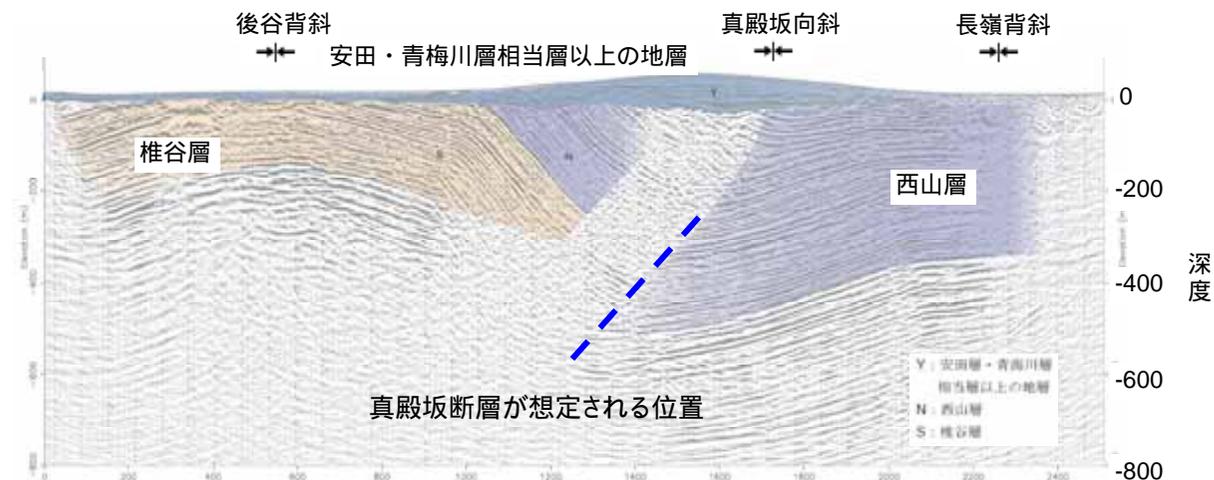
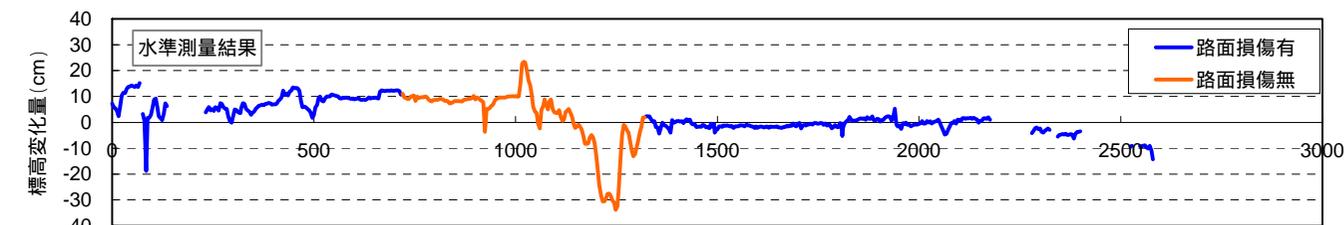
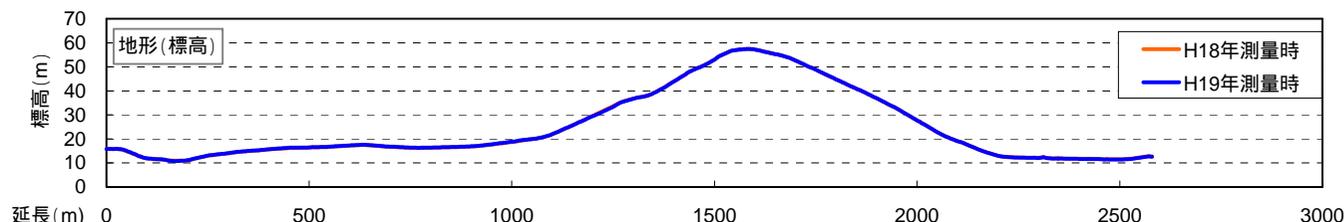
地形・地質・現地の状況との対比：北 - 2 測線

■ 地形と標高変化との対応はみられない。

■ 安田層および番神砂層が厚く分布する範囲や沖積層が厚く分布する範囲は、広域の変動と比べて標高変化量が小さい範囲と対応する傾向がある。

■ 起点から1200m付近の変動が大きい箇所は、盛土が厚く、変動の原因は盛土の沈下の可能性があると考えている。

■ この変動の大きい位置は、推定される真殿坂断層の地表付近への延長位置とは一致していない。

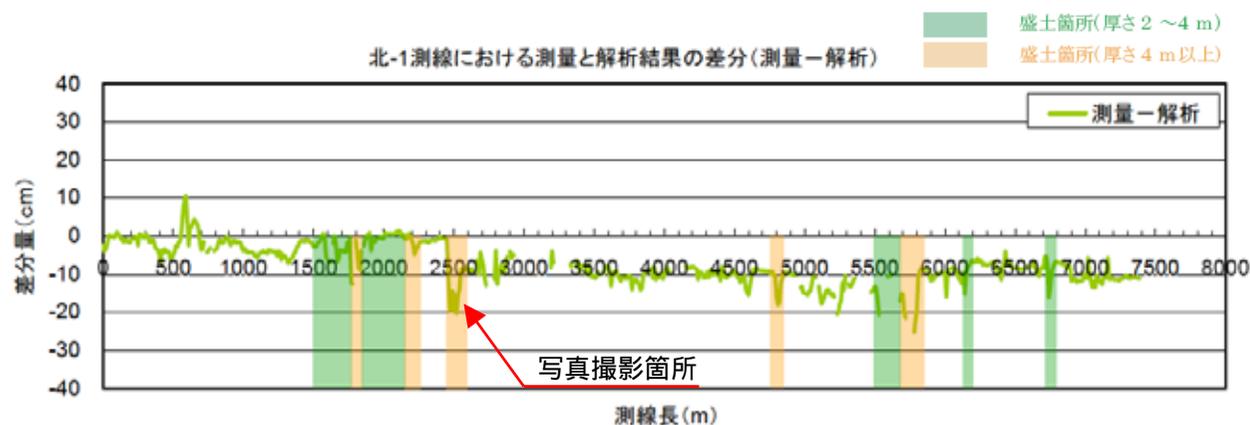


追加調査：安田・番神砂層の分布状況等を調査し、測量結果との対応状況を調査中

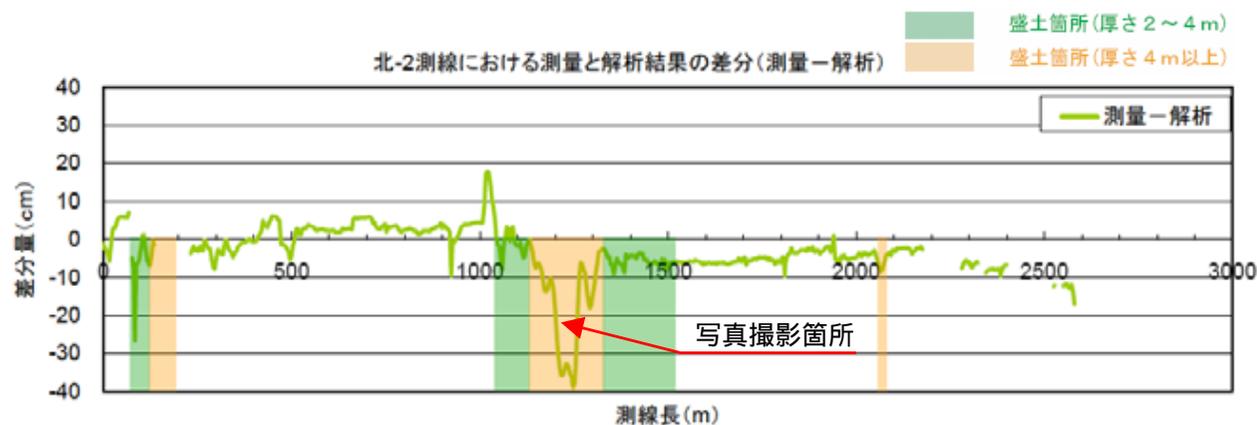
地形・地質・現地の状況との対比：盛土との関係

コメント

- 北-1測線、北-2測線とも、盛土が厚い箇所では、局所的な変動が認められる傾向にある。



起点から2550m付近の盛土状況



起点から1200m付近の盛土状況

上記は、踏査により確認した盛土分布状況となります。

地形・地質・現地の状況との対比：盛土との関係

コメント

- 敷地近傍の盛土の厚い箇所では、道路の被災が確認される。



上記は、敷地近傍の盛土の厚い箇所を抽出して調査を行った結果となります。



3 西山町 後谷



6 刈羽村 県道215号線



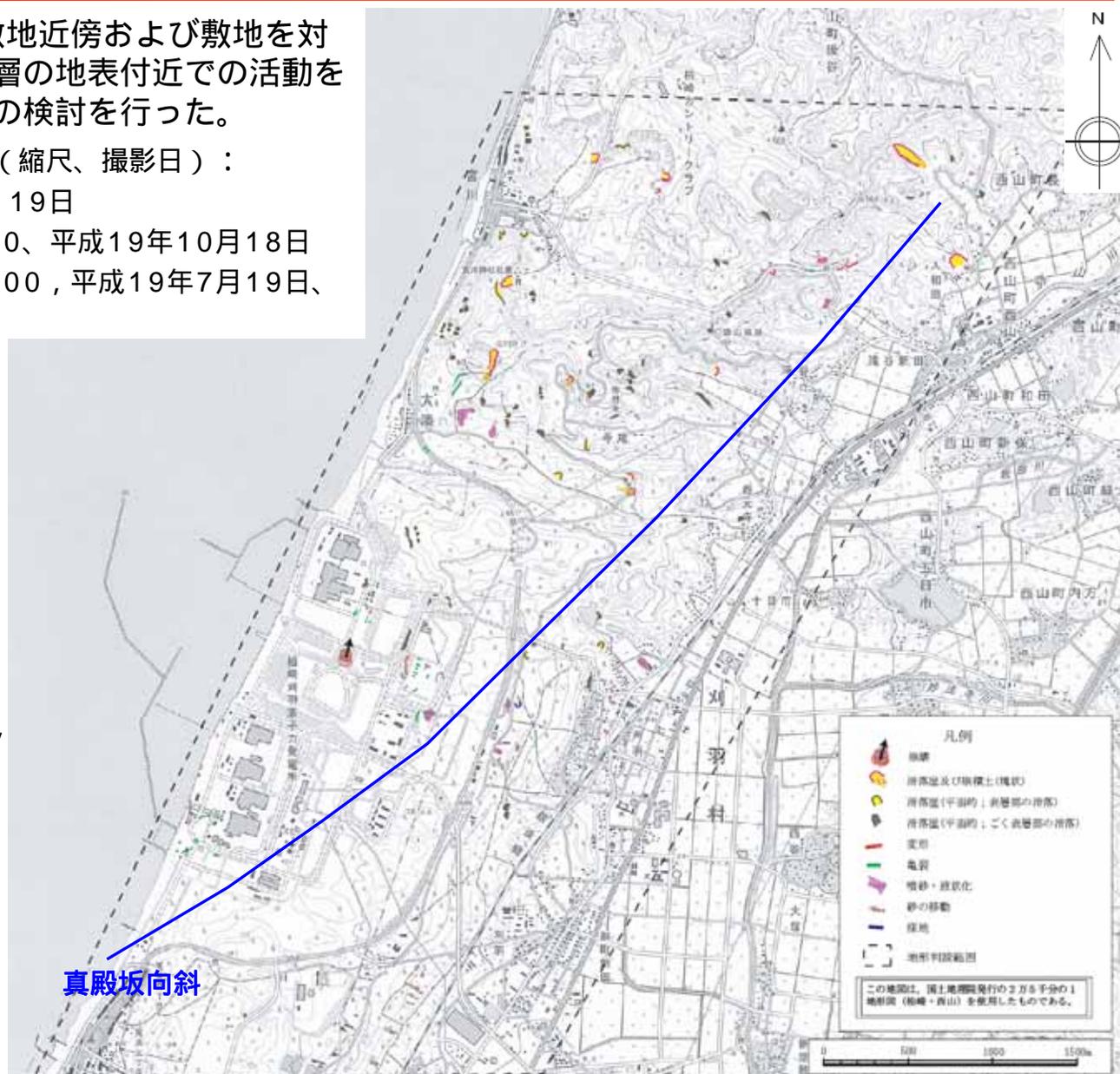
7 西山町 県道23号線

空中写真判読による敷地近傍の変状地形

コメント

- 北-1測線及び北-2測線を含む敷地近傍および敷地を対象に、空中写真判読を行い、断層の地表付近での活動を示唆する変状地形の分布の有無の検討を行った。
- 空中写真判読に用いた航空写真（縮尺、撮影日）：
敷地－1/6,500、平成19年7月18～19日
敷地近傍（北-1測線まで）－1/4,000、平成19年10月18日
敷地近傍（北-1測線以北）－1/10,000、平成19年7月19日、
国土地理院発行

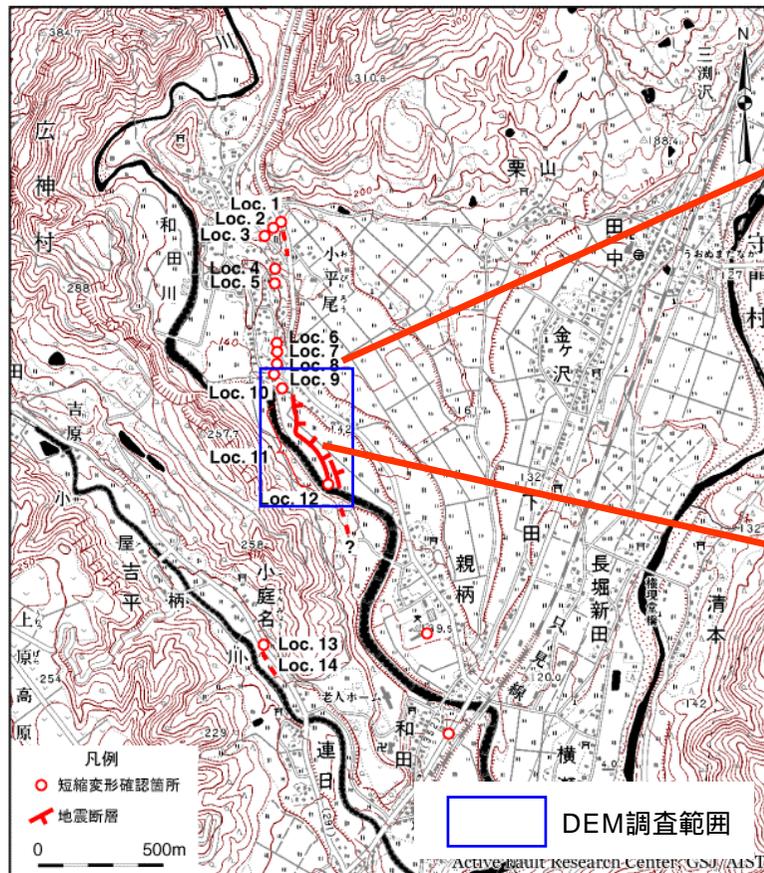
- 空中写真判読により抽出された変状地形は、人工の平場・構築物・土取場などに多く、散在して分布しており、線状の配列或いは特定の場所に集中する傾向は認められない。
- また、真殿坂向斜付近において、変状地形の集中あるいは同向斜に沿った配列は認められない。



DEM (デジタル標高モデル) による変状地形分析の例：小平尾地区

コメント

中越地震時に小平尾地区で確認された地表地震断層による変状地形（段差）の例
中越地震（2004年10月23日）後に，旧広神村小平尾地区において全長1 km以上にわたってほぼ南北方向に延びる地震断層が確認され，小平尾集落の南方では，長さ約350m以上にわたって水田を横切り，10～15 cmの隆起を伴う西側上がりの地震断層として確認された。



地図・写真ともに、産業技術総合研究所HP



Loc.8における露頭



水田で確認された地震断層

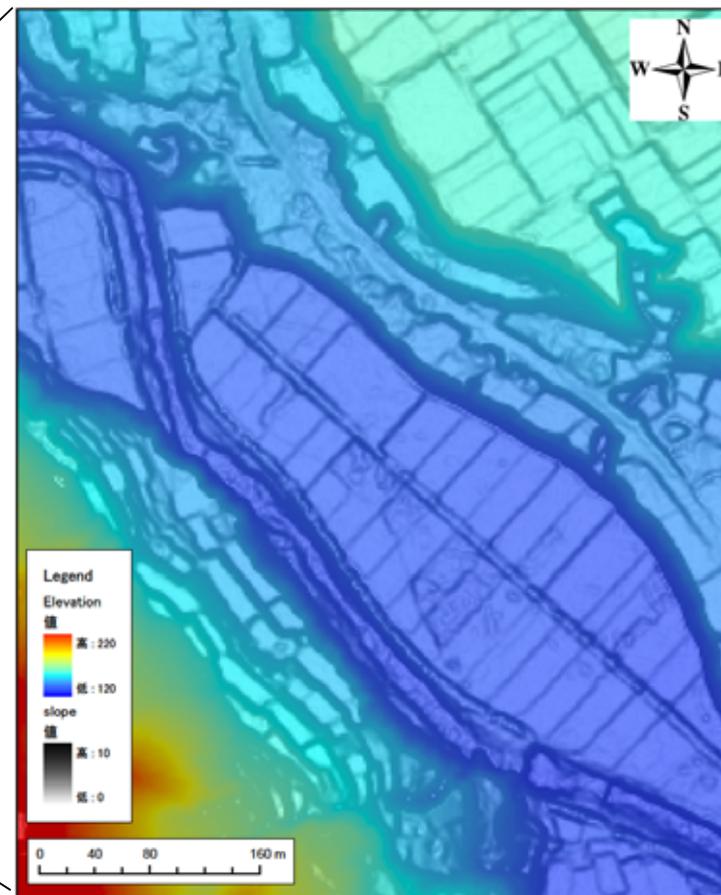
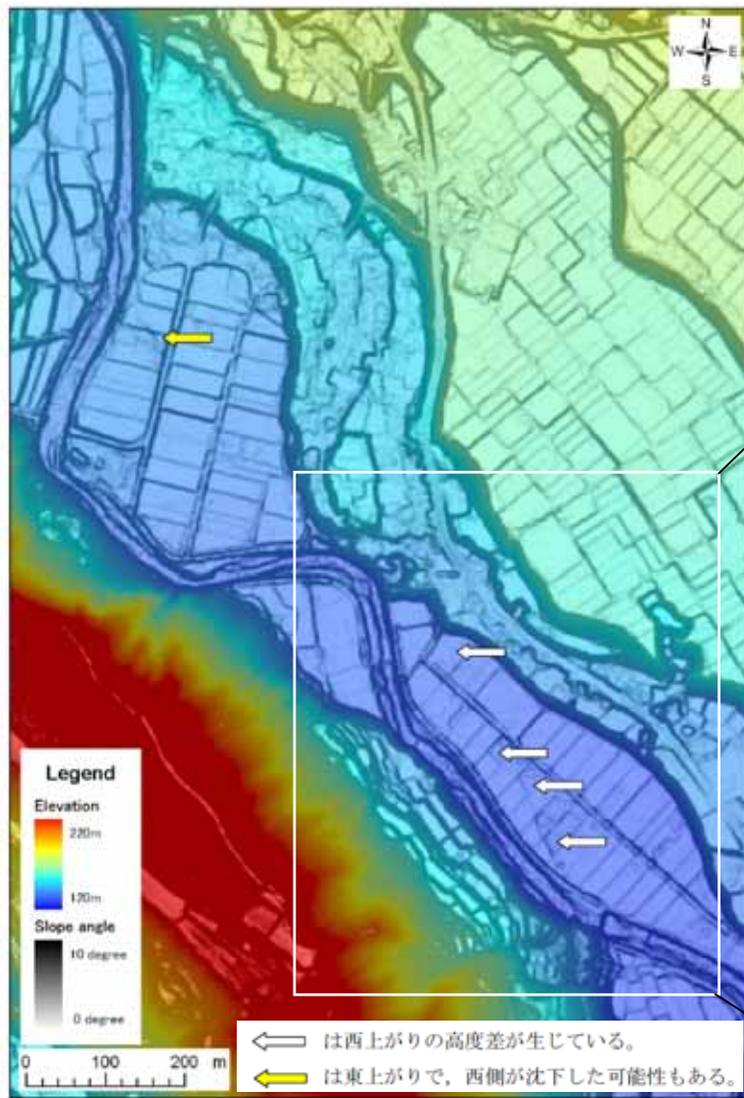
DEMによる変状地形分析の例：小平尾地区

コメント

中越地震時に小平尾地区で確認された地表地震断層による変状地形（段差）の例

DEM（デジタル標高モデル）を用いて，傾斜量をグレースケールの濃淡，標高値をレインボーカラーの色相変化で表し，それらを透過させて重ね合わせて出力する事で変状地形を捉えることが出来ている。

左図の白枠部分の拡大図

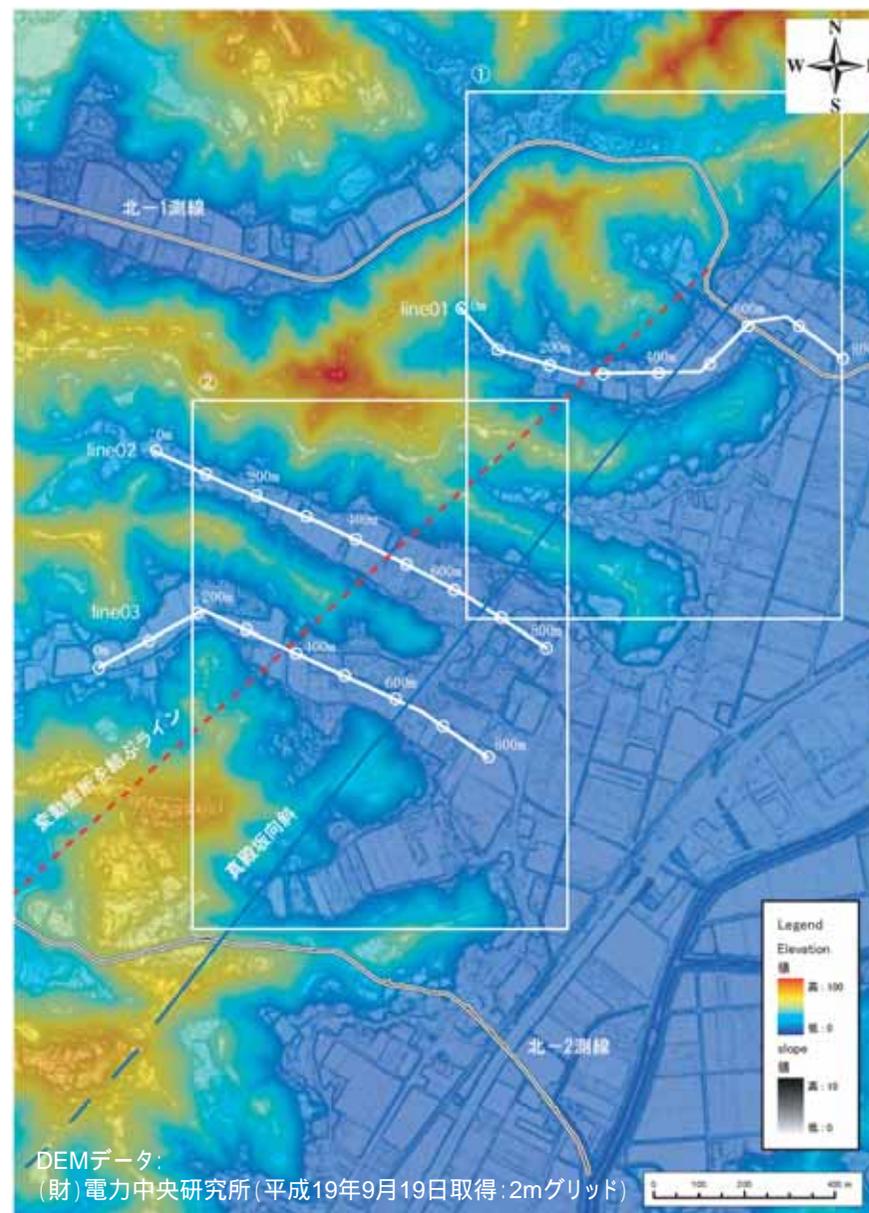


酒井・武田ほか（2005）

DEMによる敷地近傍の変状地形

コメント

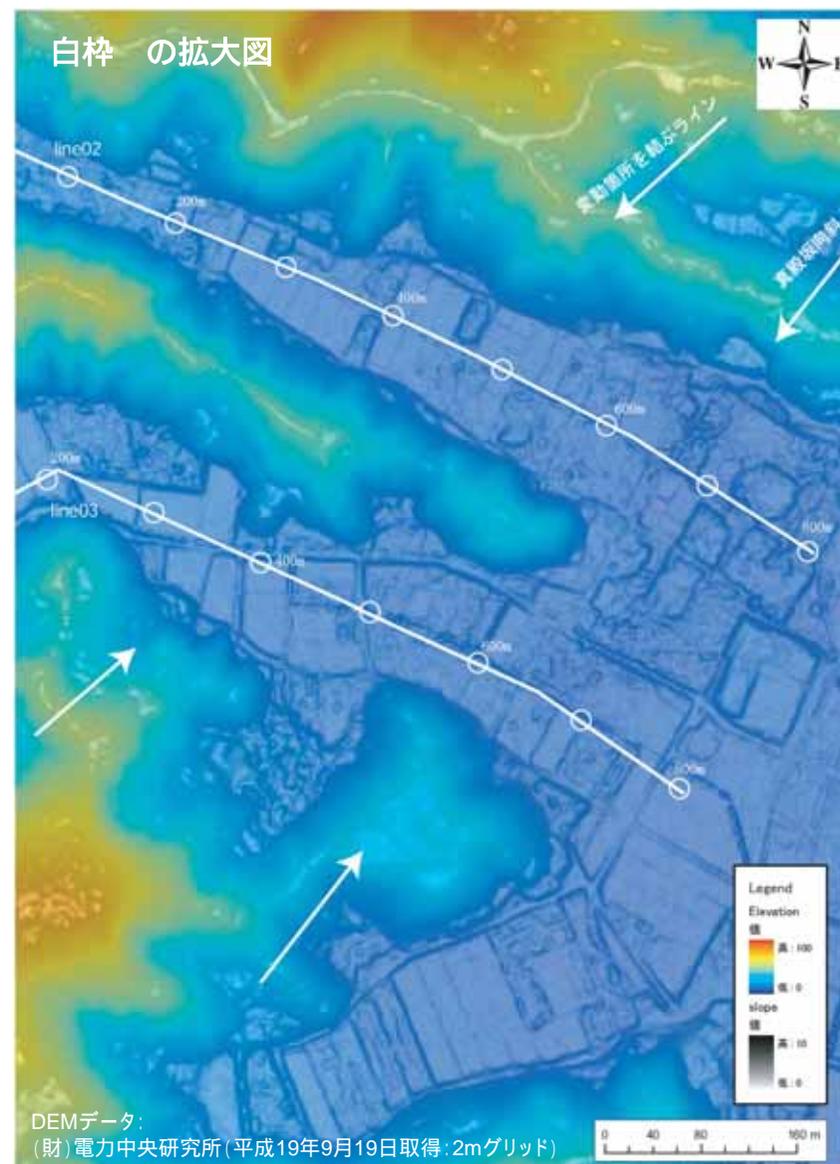
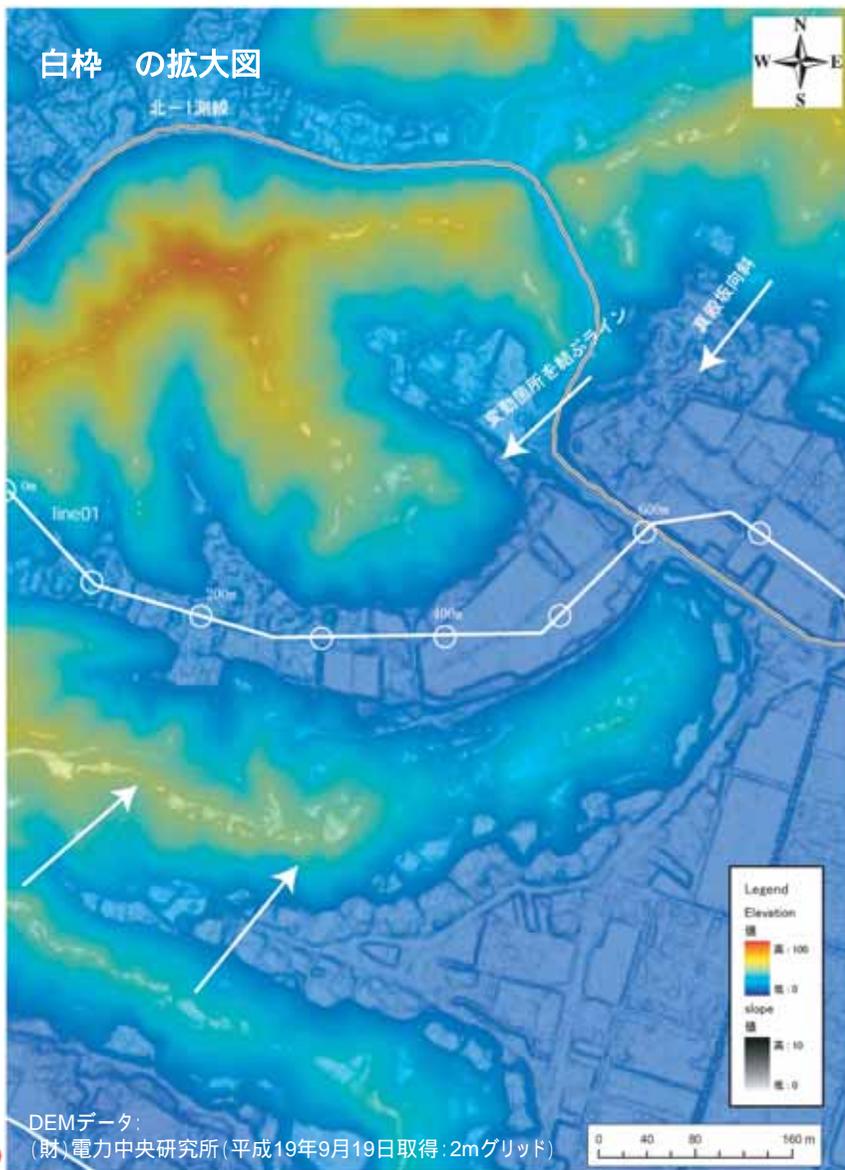
- 北-1測線及び北-2測線で捉えられている変動が、両測線において連続する地表地震断層の活動によるものか否かを確認するために、DEMを用いて、両測線の間分布する3箇所の沖積地に着目して、地表地震断層を示す変状地形の有無の確認を行った。



DEMによる敷地近傍の変状地形

コメント

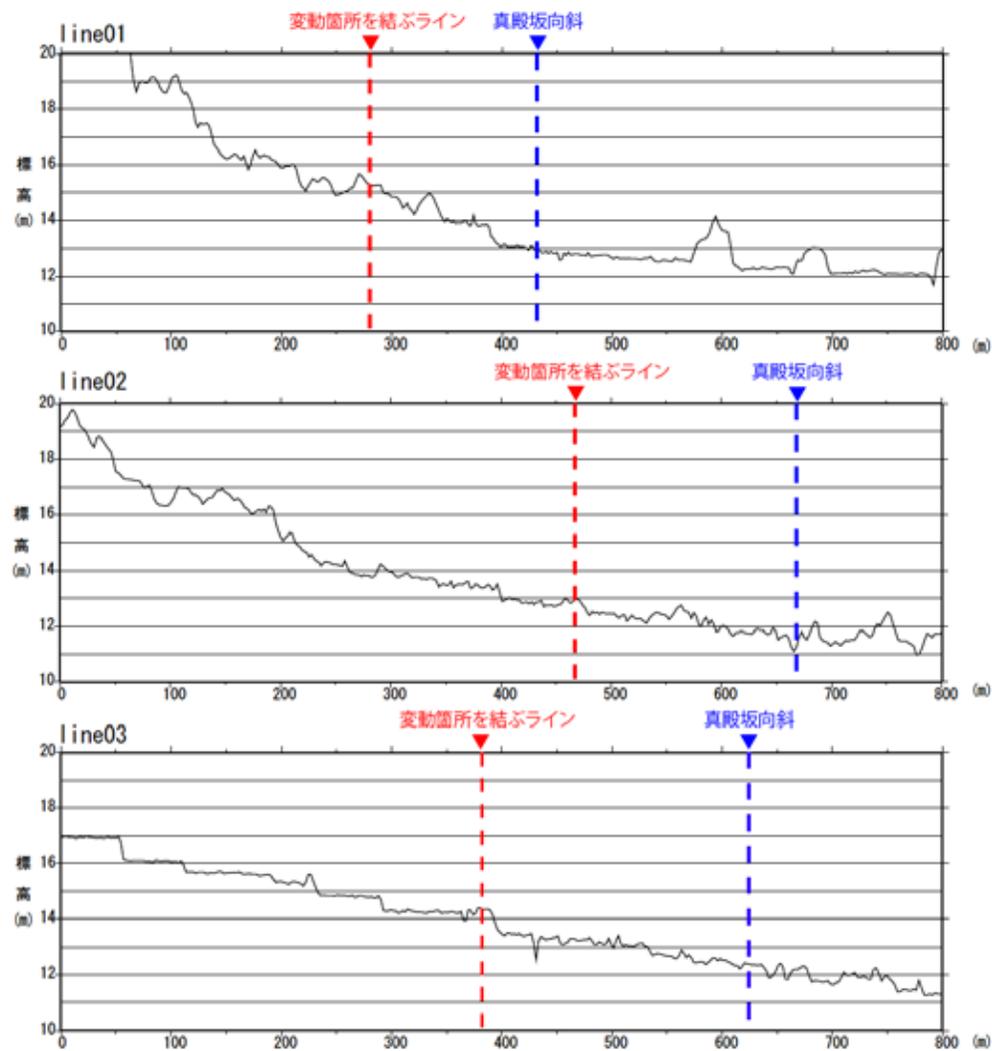
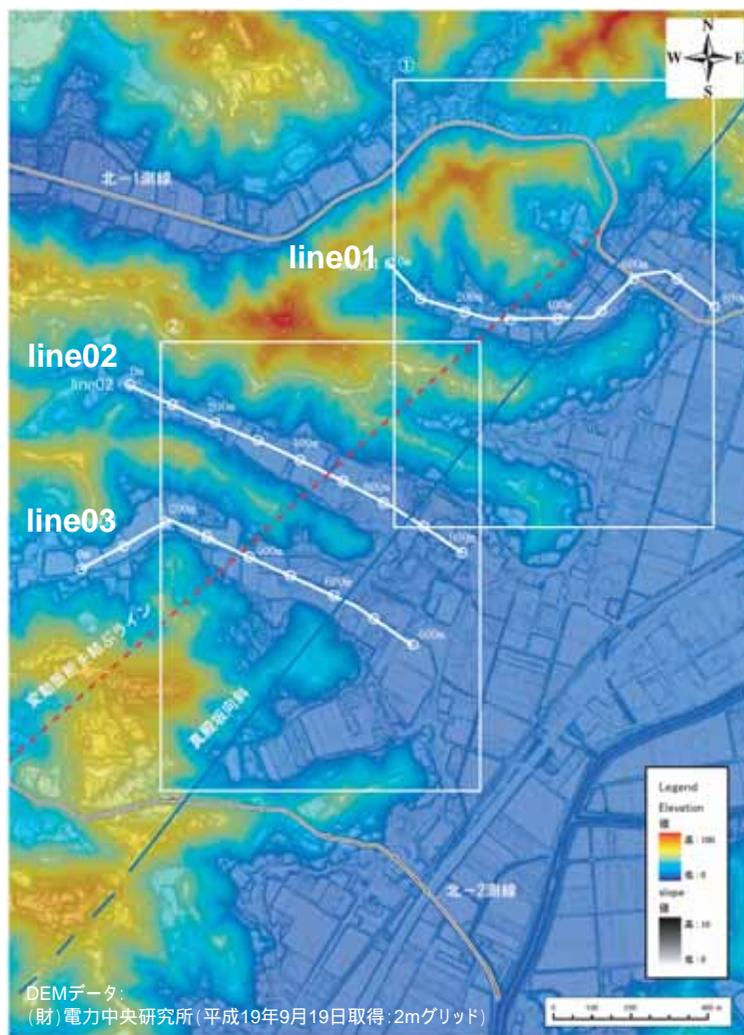
- 真殿坂向斜軸付近および変動箇所を結ぶライン上に、断層の動きを示すような変状地形は認められない。



DEMによる敷地近傍の変状地形

コメント

- 北-1測線および北-2測線の間の中積地には、水田が緩やかな階段状に分布しており、真殿坂向斜軸付近および変動箇所を結ぶライン上に、特異な段差は認められない。

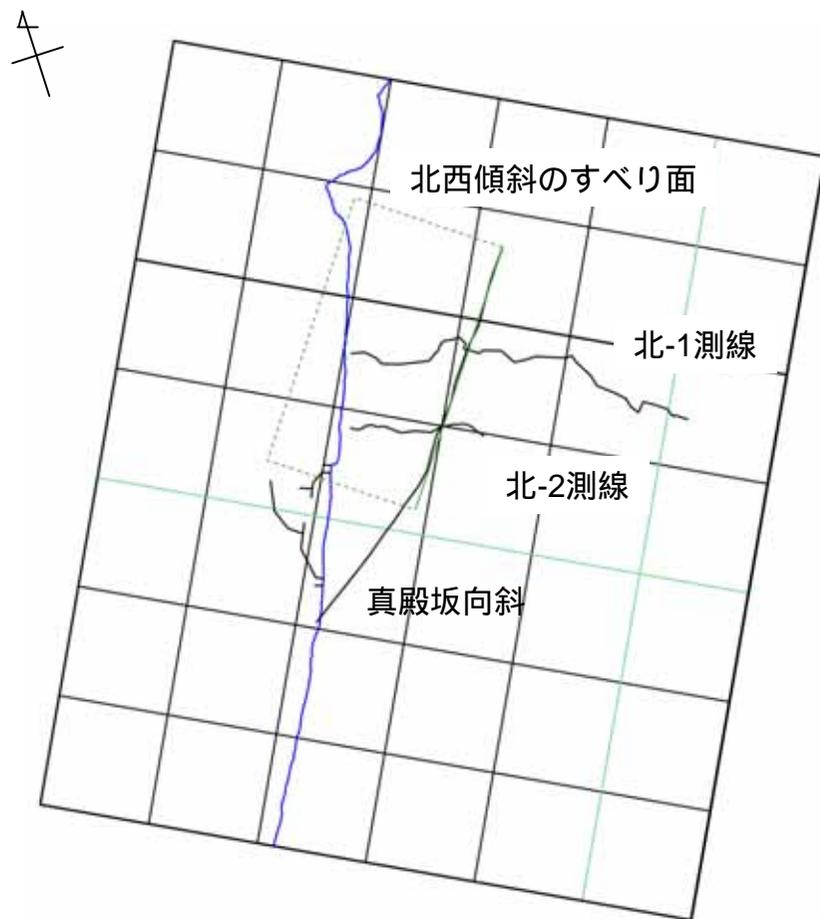


真殿坂向斜の位置にすべり面を考慮した解析との対比

コメント

- 水準測量の測量結果と広域の変動（国土地理院モデル）との差分が、地表付近における真殿坂断層の活動によるものか否かを解析的に確かめるために、真殿坂向斜の位置に、北西傾斜のすべり面を仮定し、くい違い弾性論により解析を行い、水準測量の結果と比較を行った。

すべり面の位置



解析条件

< 基本ケースの条件 >

走向	N38.5E
傾斜	45°W
長さ	5 km
上端深さ	0.1 km
幅	2 km
すべり量	20 cm

< 各種検討ための条件 >

ケース	傾斜	上端深さ	幅
	°	km	km
基本ケース	45	0.1	2.0
傾斜角の影響	30	-	-
	60	-	-
上端深さの影響	-	0.3	-
	-	0.5	-
幅の影響	-	-	1.0
	-	-	3.0

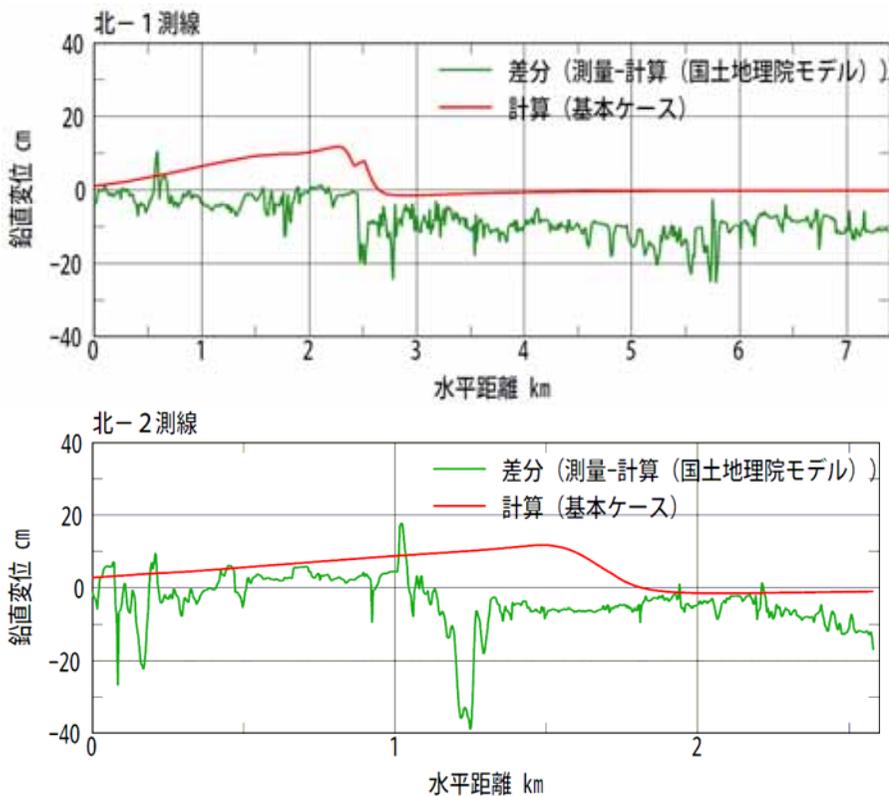
基本ケースから変更される条件のみ数値を記入

真殿坂向斜の位置にすべり面を考慮した解析との対比

コメント

- 解析により局所的な鉛直変動が生じる箇所は、北-1測線については、標高変化量の差分（測量－国土地理院モデル）が生じる箇所と一致するが、北-2測線は一致しない。
- 解析においては、海側が隆起し、内陸側にはほとんど変位が認められない。標高変化量の差分にみられる傾向（海側はほとんど差分が無く、内陸側において差分が生じる）は認められない。

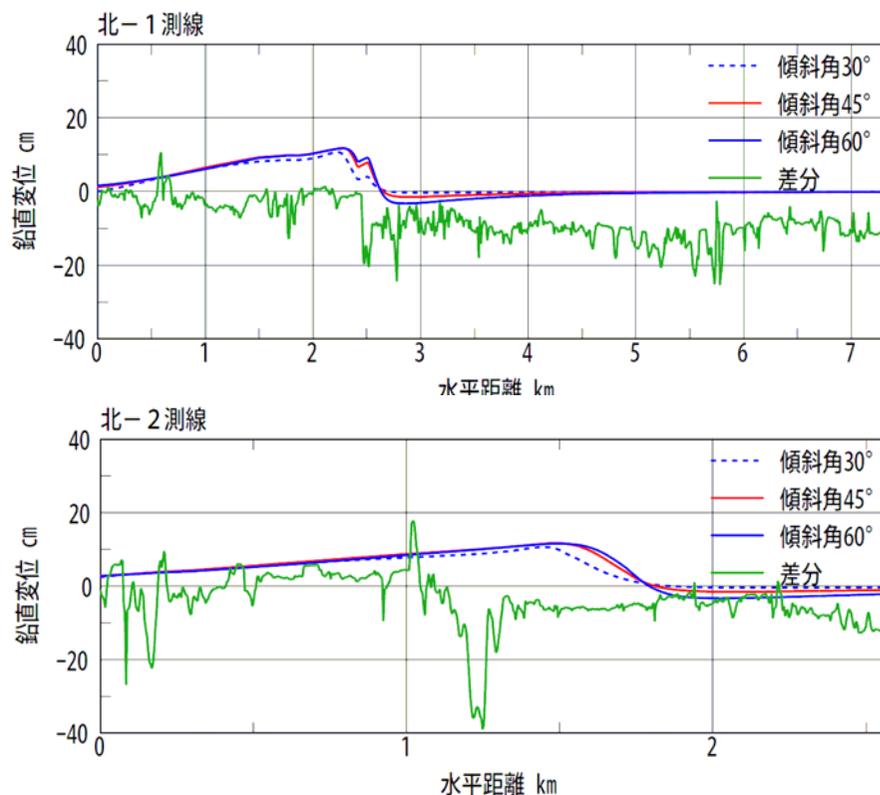
基本ケースと測量結果との比較



< 傾斜の影響検討 >

- すべり面の傾斜を小さくすると、局所的な鉛直変動が生じる範囲は広がる傾向を示す。
- 傾斜を変更することにより、上記範囲が、北-2測線の標高変化量の差分の生じる箇所と一致したり、内陸側が沈降する変動傾向になることは無い。

傾斜の影響検討結果



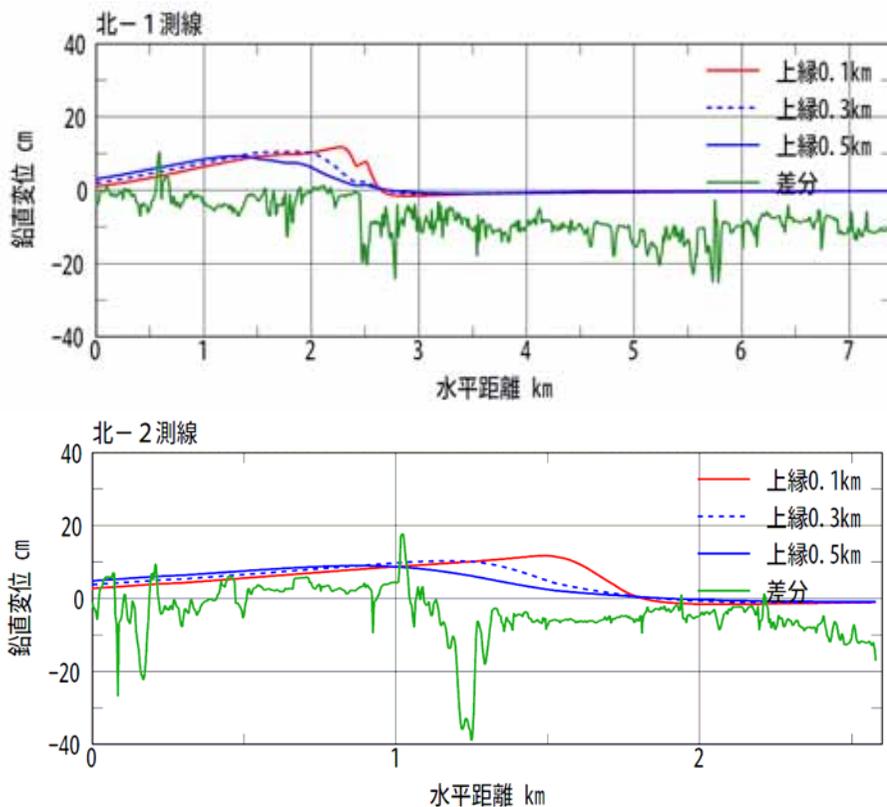
真殿坂向斜の位置にすべり面を考慮した解析との対比

コメント

< 上端深さの影響検討 >

- すべり面上端を深くすると、局所的な鉛直変動が生じる範囲は広がり、海側に移る傾向を示す。
- 上端深さを変更することにより、上記範囲が、両測線の標高変化量の差分の生じる箇所と一致したり、内陸側が沈降する変動傾向になることは無い。

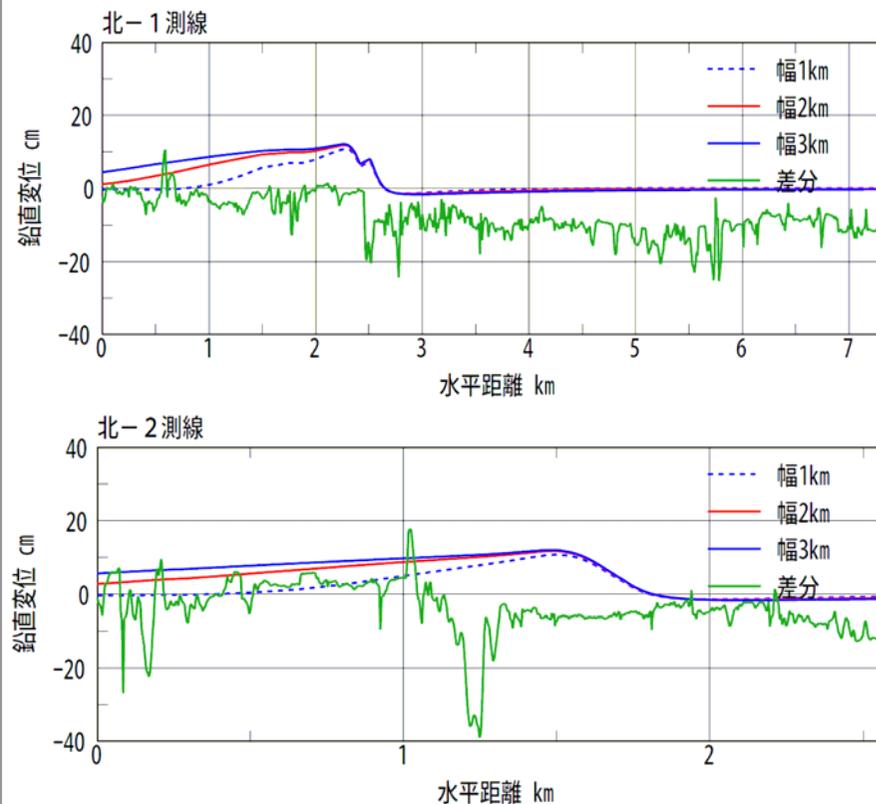
上端深さの影響検討結果



< 幅の影響検討 >

- すべり面の幅を広くすると、海側での隆起量が大きくなる傾向を示す。
- 幅を変更することにより、内陸側が沈降する変動傾向を示すことは無い。また、北-2測線における変動箇所も一致しない。

幅の影響検討結果



小括

- 敷地北側の北-1測線、北-2測線で実施した水準測量により捉えられた、海側が隆起して内陸側が沈降する傾向および海側での隆起量は、広域の変動と調和的である。

- 水準測量において認められた海側と内陸側の標高変化量の相対的な差については、下記の点から、真殿坂断層の活動を示すものではないと考えている。

標高変化量の相対的な差が生じている箇所は、北-1測線では真殿坂断層の地表付近での延長に一致するが、北-2測線においては一致しない。

空中写真判読及びDEMを用いた調査結果から、真殿坂向斜軸上及び2測線における標高変化量の相対的な差を生じさせている変動箇所を結ぶライン上に、地表付近での断層の活動を示唆する段差等の変状地形の特徴的な分布は認められない。

真殿坂向斜の位置に北西傾斜のすべり面を想定した解析結果により、水準測量結果と国土地理院の解析結果との差分を説明できない。

前述したように、約10cmの標高変化量の相対的な差が生じている範囲は、北-1測線では長さ約350mの範囲、北-2測線では長さ約300mの範囲であり、標高変化量の増分の傾きは非常に小さく、地表での段差を生じさせるような地表付近における断層の動きを示唆しない。

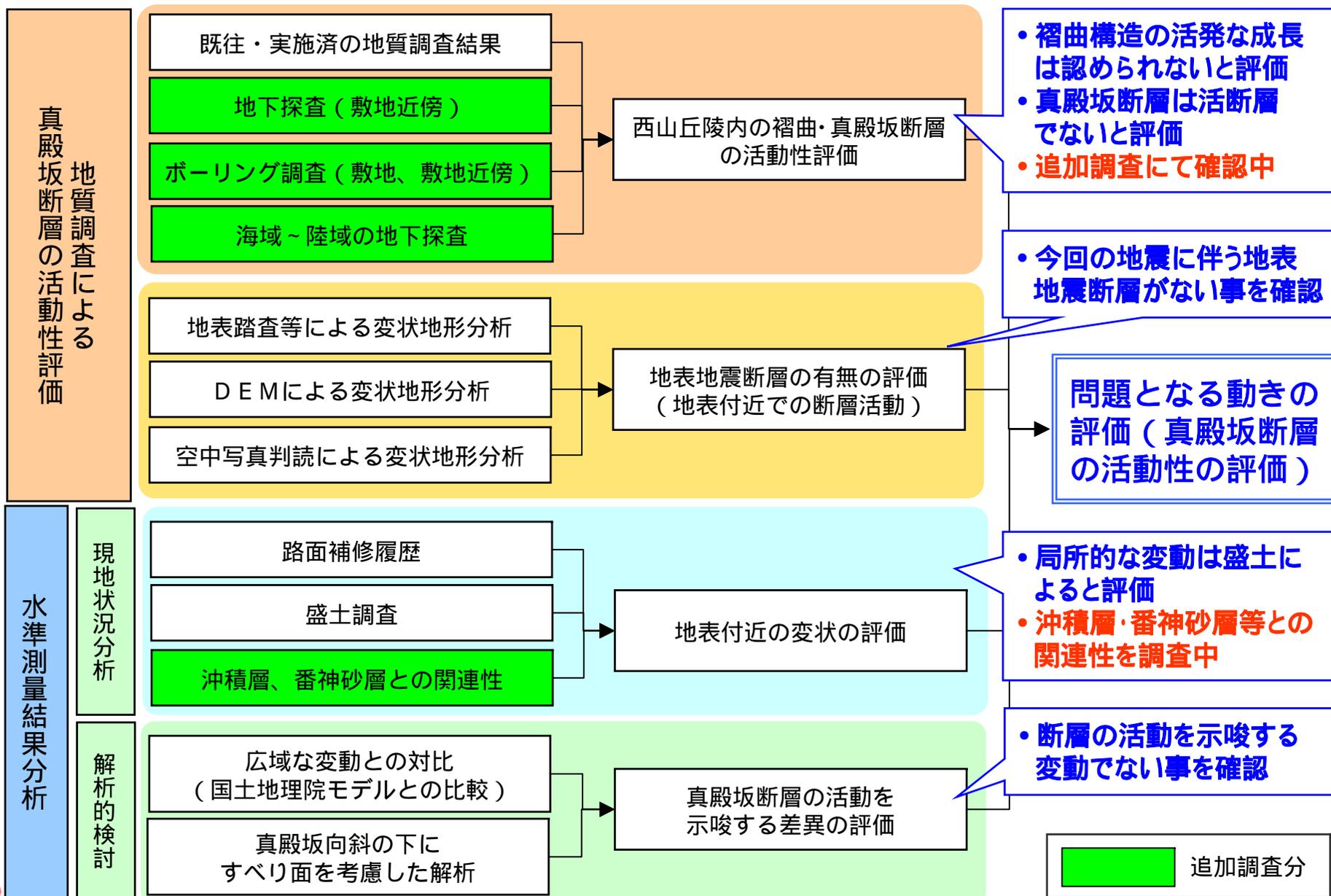
- 海側と内陸側の標高変化量の相対的な差は、局所的に変動の大きい箇所を境に生じているが、この変動については、厚く分布する盛土の影響によると評価する。

以上のことから、水準測量により捉えられた変動は、真殿坂断層の活動を示すものではないと考えており、以下の調査を行い、沖積層や番神砂層等との関係を調査している。

- 北-1測線において地下探査を実施し、沖積層の分布状況の把握
- 北-2測線近傍においてボーリング調査等を行い、番神砂層等の分布状況等の把握

-
1. 敷地および敷地近傍の地質・地質構造の概要
 2. 地震後の調査・測量結果の概要
 3. 広域の変動との対比（コメント）
 4. 水準測量結果に関する分析
 1. 地質・地形・現地の状況との対比（コメント）
 2. 空中写真判読による敷地近傍の変状地形（コメント）
 3. DEMによる敷地近傍の変状地形（コメント）
 4. 真殿坂向斜の位置にすべり面を考慮した解析との対比（コメント）
 5. まとめ

敷地および敷地近傍の地殻変動の分析結果



追加調査の概要

敷地および敷地近傍の地殻変動が発電所の安全性に影響を及ぼすものか否かを確認するために、以下の調査を実施し、調査結果の分析・評価を行っている。

【西山丘陵～柏崎平野の地殻変動の調査】

- 西山丘陵から柏崎平野にかけて地下探査を実施し、西山丘陵の後谷・長嶺背斜などの褶曲構造と、それを覆う第四紀の地層との関係を調査し、この褶曲の活動性を再確認。
(敷地近傍の地下探査)
- 発電所敷地において、真殿坂向斜付近で、火山灰の分布標高等をボーリングにより調査し、発電所敷地における褶曲の活動性を再確認。(群列ボーリング)
- 発電所近傍の水準測量測線において、沖積層・番神砂層等に関する調査を行い、変動の大きい原因を明らかにし、真殿坂断層の活動性との関係を再確認する。
(地下探査、ボーリング)

【海域～陸域の地下構造の調査】

- 地質構造評価の精度向上を図るため、海底ケーブル等を用いて、発電所前面海域から陸域に至る地下構造を連続的に調査。(海域～陸域にかけて地下探査)

追加調査の概要

敷地近傍の地下探査

起震車による地下探査

全8測線、総延長約17km

- インパクト : 7測線 (13.8km) : 発振間隔2m/5m

- パイプレータ: 1測線 (3.3km) : 発振間隔10m

水準測量測線沿いの調査

起震車による地下探査

全1測線、総延長約5km

- 表面波探査 (5km)

- 反射法探査 (1.8km)

ボーリング調査: 9ヶ所、深さ約30~90m

敷地内の断層の調査

群列ボーリング: 15ヶ所、深さ約40~110m

海域~陸域の地下探査

海底ケーブル+地震計+音波探査

全2測線、総延長約70km

- パイプレータ(陸域): 大型4台or中型1台

発振間隔: 25m or 50m (標準)

- エアガン(海域): ガン容量1500in³、480in³

発振間隔: 25m

- JAMSTEC かいれい: ガン容量7800in³

発振間隔: 25m

発振間隔: 50m (ストリーマケーブル、444ch)

