

福島第一原子力発電所 福島第二原子力発電所

敷地周辺の地質・地質構造及び 基準地震動Ssの策定について (概要)

平成21年6月24日
東京電力株式会社



東京電力

【本日のご説明内容】

・敷地周辺の地質・地質構造について

- 1．敷地周辺陸域の地質・地質構造（概要）
- 2．双葉断層
 - 2．1 北端の評価（島田地点）
 - 2．2 南端の評価（馬場地点）
- 3．地震本部が示す双葉断層北部（相馬断層）
- 4．畑川断層
- 5．大坂 - 芦沢リニアメント
- 6．海域の断層評価

・基準地震動Ssの策定について

- 1．検討用地震の選定
- 2．検討用地震の地震動評価
- 3．震源を特定せず策定する地震動
- 4．基準地震動Ssの策定
- 5．基準地震動Ssの超過確率参照

. 敷地周辺の地質・地質構造について

1. 敷地周辺陸域の地質・地質構造(概要)

2. 双葉断層

2.1 北端の評価(島田地点)

2.2 南端の評価(馬場地点)

3. 地震本部が示す双葉断層北部(相馬断層)

4. 畑川断層

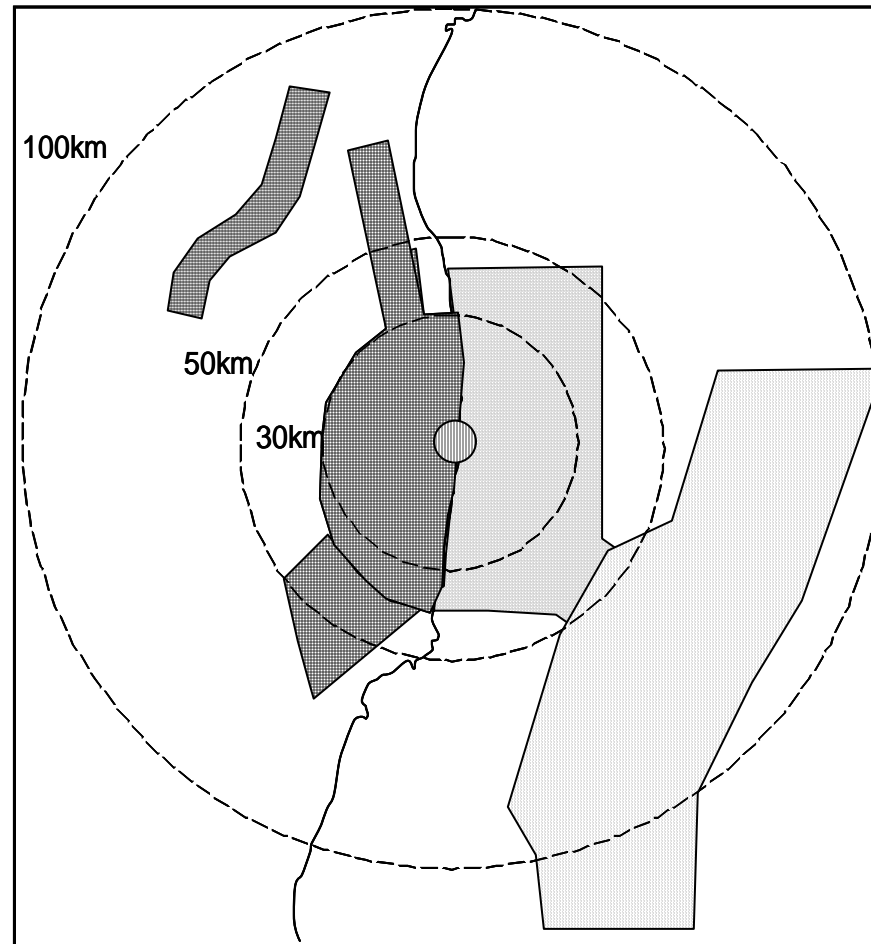
5. 大坂 - 芦沢リニアメント

6. 海域の断層評価

運用補助共用施設申請時～耐震設計審査指針の改訂を踏まえて実施した地質調査

H 5 年	運用補助共用施設申請時の地質調査
H 8 ～ 1 2 年	許可取得後に実施した地質調査
H 1 5 年	海域活断層の再評価
H 1 8 年	耐震設計審査指針の改訂
H 1 8 年	耐震設計審査指針改訂を踏まえた地質調査
H 1 9 年	新潟県中越沖地震の発生
H 1 9 年	新潟県中越沖地震を踏まえた地質調査

- 敷地周辺陸域
- ・文献調査
- ・変動地形学的調査
- ・地表地質調査
- ・ボーリング調査 等
- 敷地周辺海域
- ・文献調査
- ・海上音波探査
- ・他機関の記録再解析 等
- 敷地
- ・ボーリング調査
- ・試掘坑調査 等



敷地からの距離は福島第一原子力発電所から

新潟県中越沖地震を踏まえた地質調査

- H 5 年 運用補助共用施設申請時の地質調査
- H 8 ~ 1 2 年 許可取得後に実施した地質調査
- H 1 5 年 海域活断層の再評価
- H 1 8 年 耐震設計審査指針の改訂
- H 1 8 年 耐震設計審査指針改訂を踏まえた地質調査
- H 1 9 年 新潟県中越沖地震の発生
- H 1 9 年 新潟県中越沖地震を踏まえた地質調査

敷地周辺陸域

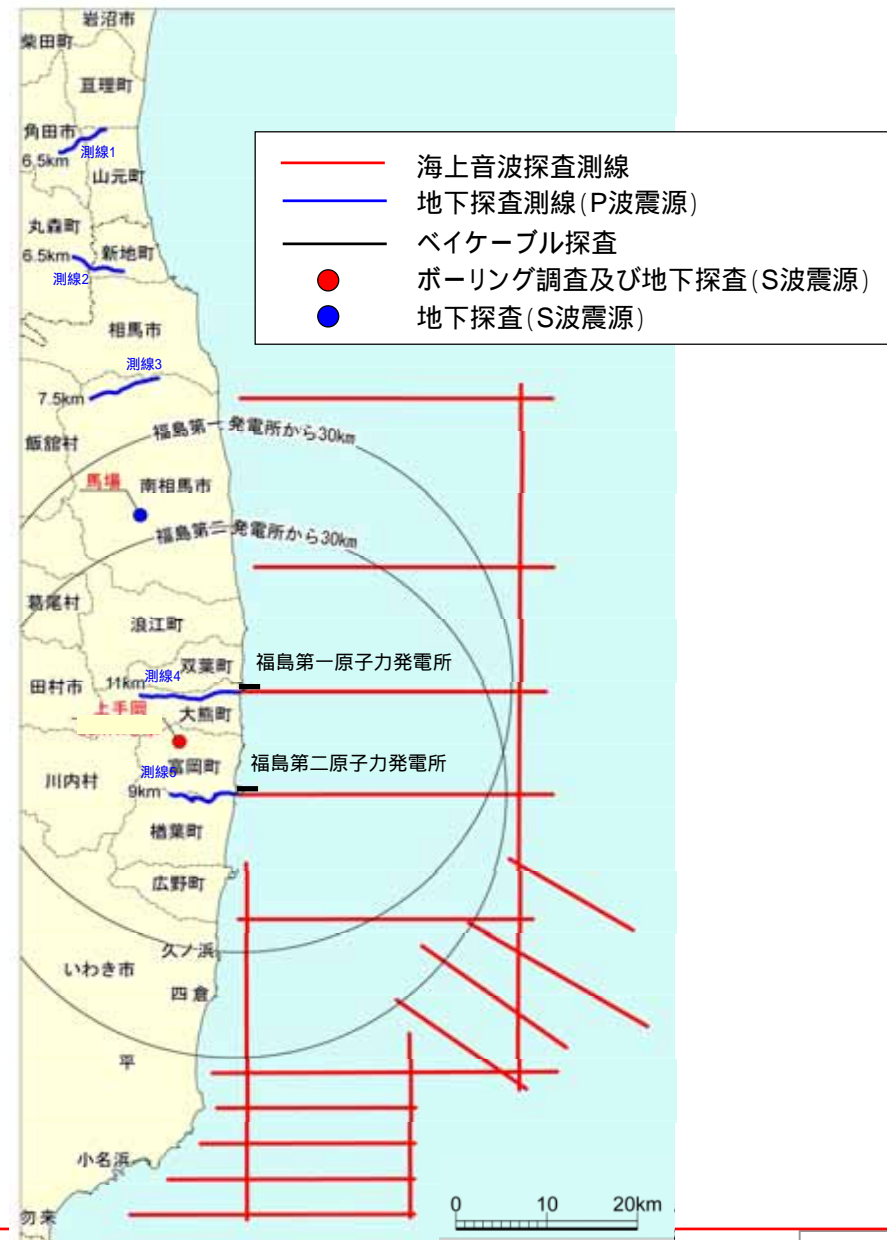
- ・地下探査 (P波震源)
- ・地下探査 (S波震源)
- ・ボーリング調査

敷地周辺海域

- ・海上音波探査
(マルチチャンネル音波探査)

敷地近傍・敷地内

- ・ベイケーブルによる探査
- ・深いボーリング
(第一:約1000m, 第二:約1000m)
- ・浅いボーリング



目的外使用禁止 東京電力株式会社

AサブWGの議論を踏まえた地質調査

- 福島第一・第二原子力発電所の耐震安全性評価については、平成20年3月31日に中間報告を、8月4日に新潟県中越沖地震を踏まえて実施した地質調査結果を国に報告。
- その審議において、双葉断層(相馬断層含む)及び畑川断層の活動性についての補足説明を求められたことを踏まえて、より一層のデータの拡充を目的として追加調査を実施。

調査概要

(1) 調査範囲

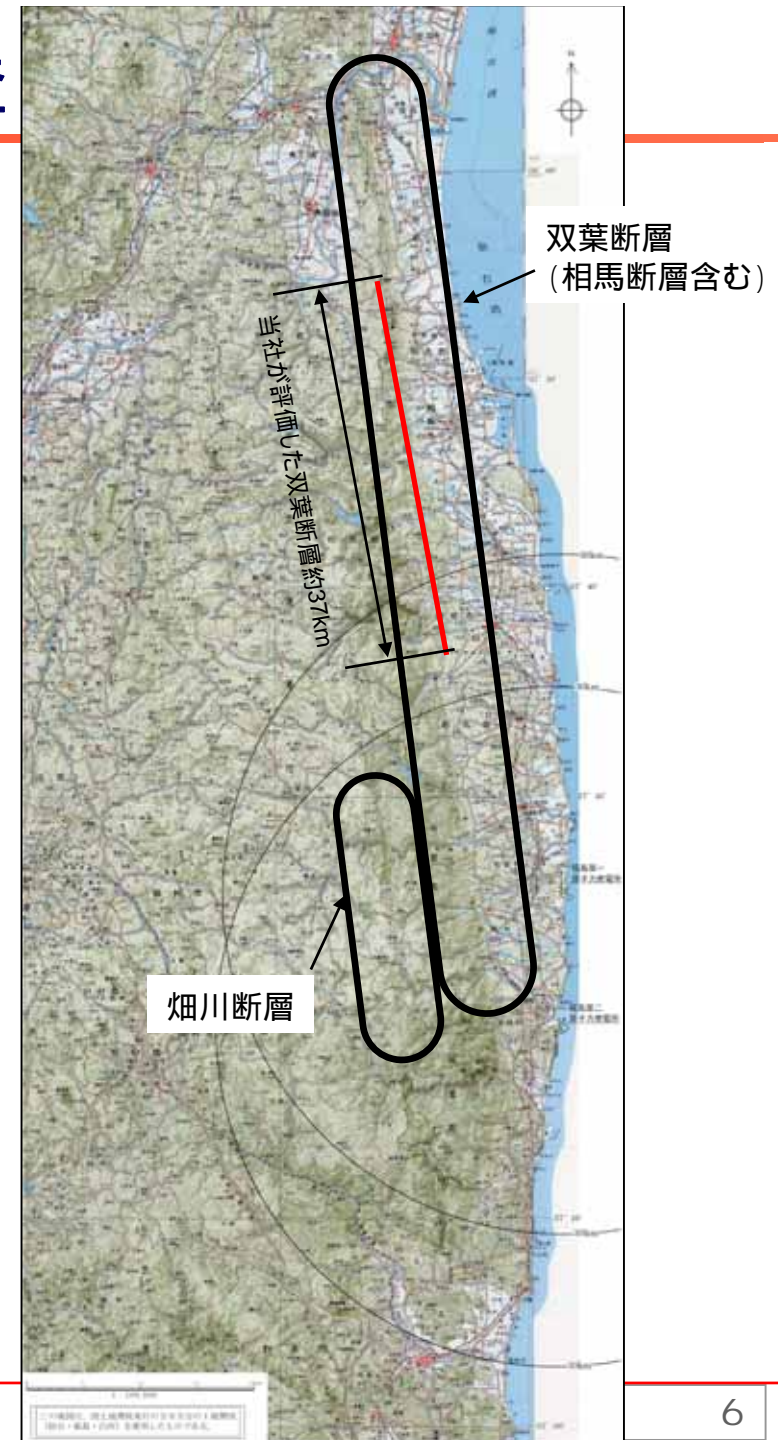
右図に示す範囲において調査を実施

(2) 調査実施時期

平成20年9月上旬～平成21年3月末

(3) 調査項目

- 地表地質調査
- ・火山灰分析
- ・リニアメントの成因調査 等
- 試料分析
- ・断層破砕部の性状に関する各種分析
- 航空レーザー測量
- ・数値標高モデルによる地形面の分析



文献調査結果

活構造図「新潟」, 新編日本の活断層, 活断層詳細デジタルマップ, 地震調査研究推進本部等に示される主な断層として以下の断層が認められる。

- ・双葉断層
- ・相馬断層
- (地震調査研究推進本部が示す双葉断層北部)
- ・畑川断層
- ・大坂-芦沢リニアメント
- ・八茎断層
- ・二ツ箭断層
- ・福島盆地西縁断層帯
- ・井戸沢断層

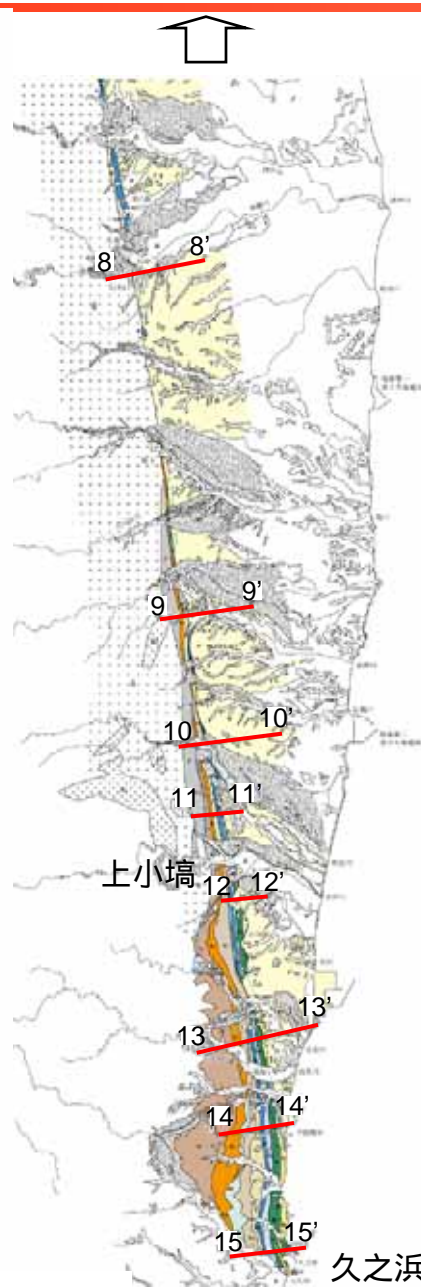
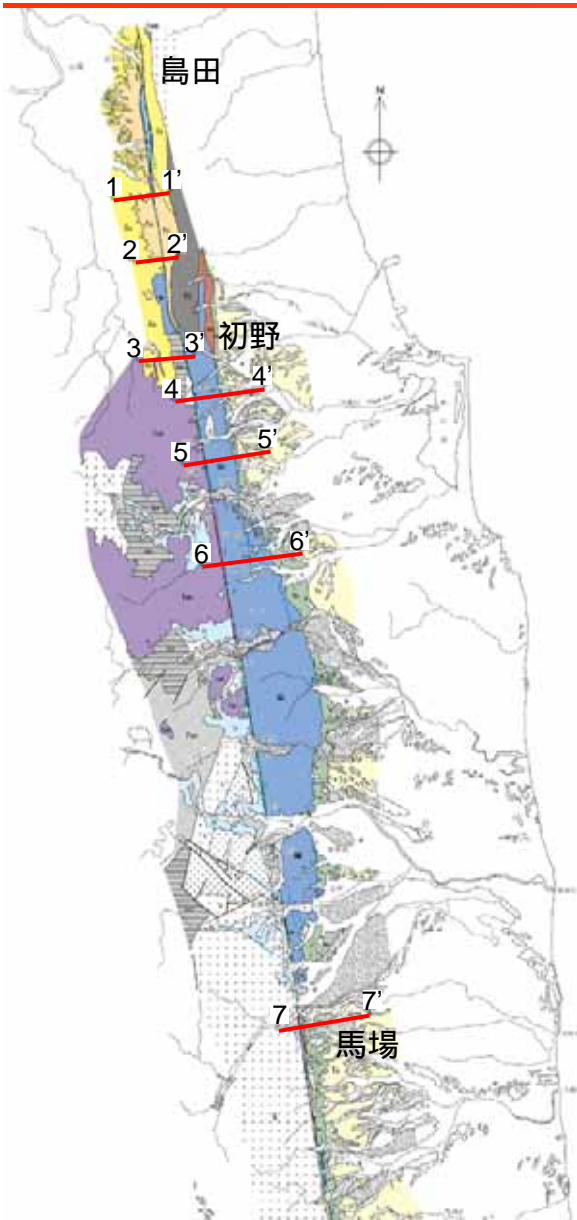


陸域の主な断層

断層名・範囲	「日本の活断層」 (1980) 同新編(1991)	活断層詳細 デジタルマップ (2002)	地震調査研究推進本部(2004)	中間報告書における評価
双葉断層北部	小斉峠 確実度Ⅲ 長さ:11km 初野 萱倉 確実度Ⅰ・B級 長さ:18km 大原 大谷	記載なし 活断層・B級 長さ:13.5km	初野以北の不確かな区間を含めると、長さは40km 活断層・B級 長さ:16km	双葉断層の後期更新世の活動性を考慮すべき区間は、丸森町小斉東方付近から馬場に至る約37kmと評価される。ただし、双葉断層の東側に位置する相馬断層の活動性について、地質調査結果等の取り纏め中であることから、長さを暫定的に最大限見積もることとし、地震調査研究推進本部(2005)が活断層として示す区間を含めた亘理町長瀬から南相馬市原町区馬場までの約47.5kmについて活動性を考慮することとする。
双葉断層南部	確実度Ⅱ・Ⅲ 長さ:34km	推定活断層 長さ:32.5km	原町市以南については、活動性が低いことから、基礎的調査観測対象の活断層基準には該当しないと判断し、詳細な評価の対象とはしない。	
畑川断層	確実度Ⅱ・Ⅲ 活動度:B級、C級 長さ:21km	記載なし	評価対象外	多くの地点で断層面は癒着し、破砕部は固結していること、一部で5万年前よりも古い堆積物に変位を与えていないことが確認されたことから、少なくとも後期更新世における活動はないと判断される。
大坂-芦沢 リニアメント	確実度Ⅱ・Ⅲ 活動度:B~C級 長さ:10km	推定活断層 長さ:6km	評価対象外	リニアメントに対応する断層は存在せず、リニアメントはその両側の岩質の差を反映した侵食地形と判断される。
八茎断層	確実度Ⅲ 長さ:4km	記載なし	評価対象外	古第三系基底面に変位が認められないことなどから、少なくとも後期更新世における活動はないと判断される。
二ツ箭断層	確実度Ⅱ 活動度:B級 長さ:6km	推定活断層 長さ:9km	評価対象外	破砕部は固結していることから、少なくとも後期更新世における活動はないものと判断される。
福島盆地西縁断層帯	確実度Ⅰ 活動度:B級 長さ:約42km	長さ:約57km	宮城県刈田群蔵王町から福島県福島市西部まで 活動度:B級 長さ:約57km	地震調査研究推進本部の示す57kmの活動性を評価する。
井戸沢断層	確実度Ⅱ・Ⅲ 長さ:14.5km	推定活断層 長さ:約11km	評価対象外	湯ノ岳断層部から白米までの19.5kmで活動性を評価する。

 審議のポイントとされた陸域の断層等

双葉断層周辺の地質



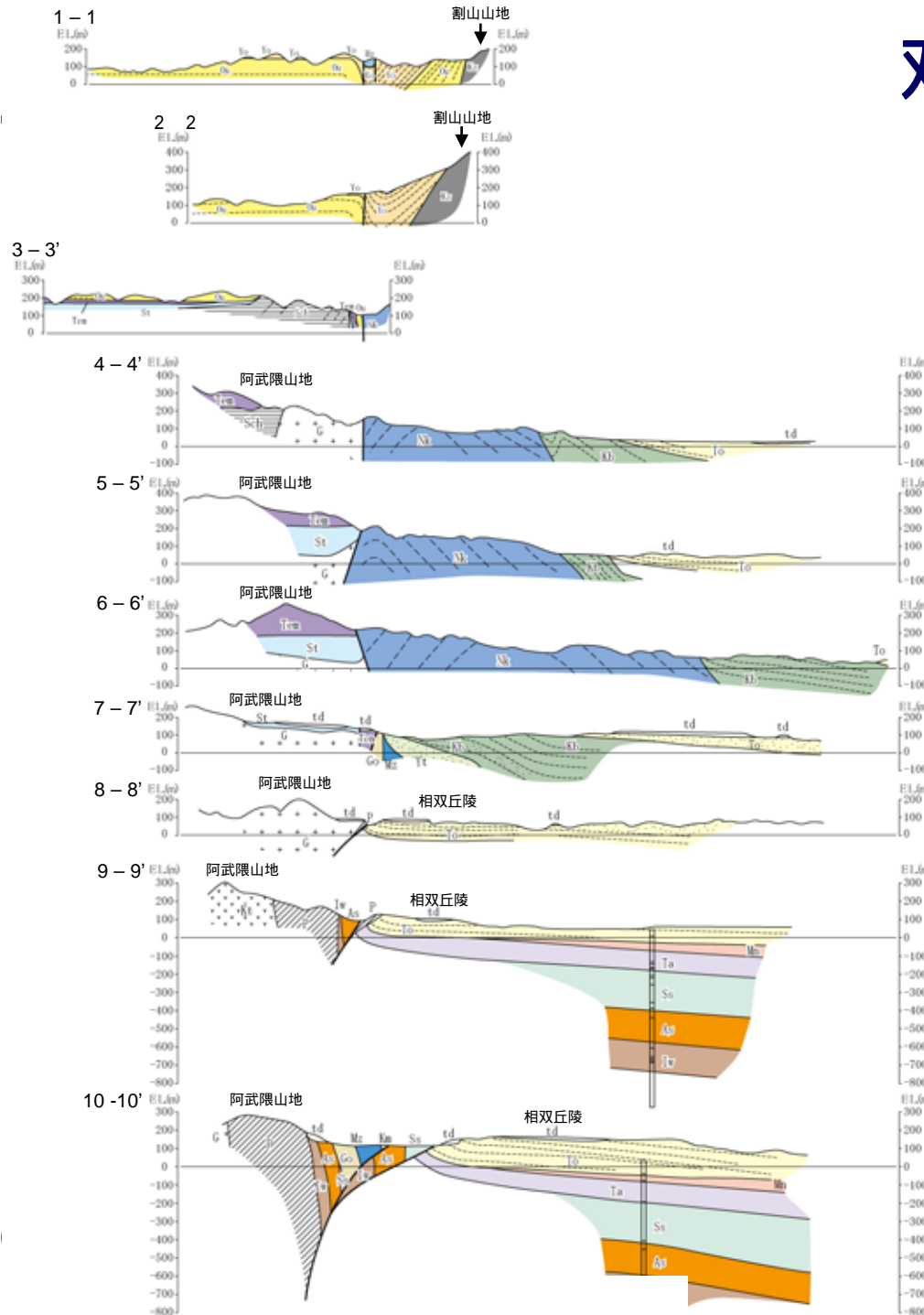
・双葉破碎帯沿いには古第三系の白水層群, 中新統の名取層群, 湯長谷層群, 白土層群, 高久層群, 多賀層群, 中新統最上部～鮮新統の仙台層群, 第四系の段丘堆積物等が分布。

・双葉断層は, 島田から久之浜付近に至る間においてほぼN10°W方向に連続。

凡例

	沖積層		花崗岩類
	扇状地堆積物		高倉山層
	段丘堆積物		郭公山層
	富岡層		相馬中村層群
	久保岡層		鹿島山層
	四倉層		相馬古生層
	南磯原層		古生層
	赤松層		変成岩類
	追層		地層境界
	芳ヶ沢層		断層 (破線は破砕部が岩石化した断層, 点線は伏在断層)
	上高久層・沼ノ内層		リニアメント
	吉野谷層・南白土層		LiA リニアメント
	平層 三沢部層		LiB リニアメント
	平層 本谷部層		LiC リニアメント
	亀ノ尾層		LiD リニアメント
	水野谷層		(短線は低い側を、 矢印は尾根、谷の屈曲方向を示す)
	五安層		
	樽平層		
	大内層		
	天明山層		
	塩手層		
	白坂層		
	浅貝層		
	石成層		

双葉断層周辺の地質

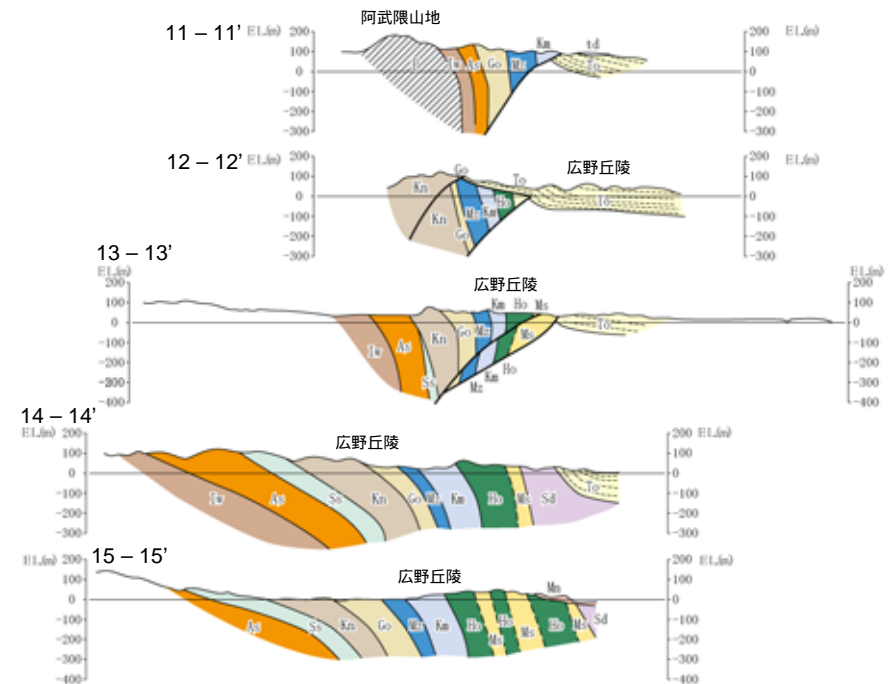


・初野西方以北では南北に細長く延びる割山山地の西側に連続。

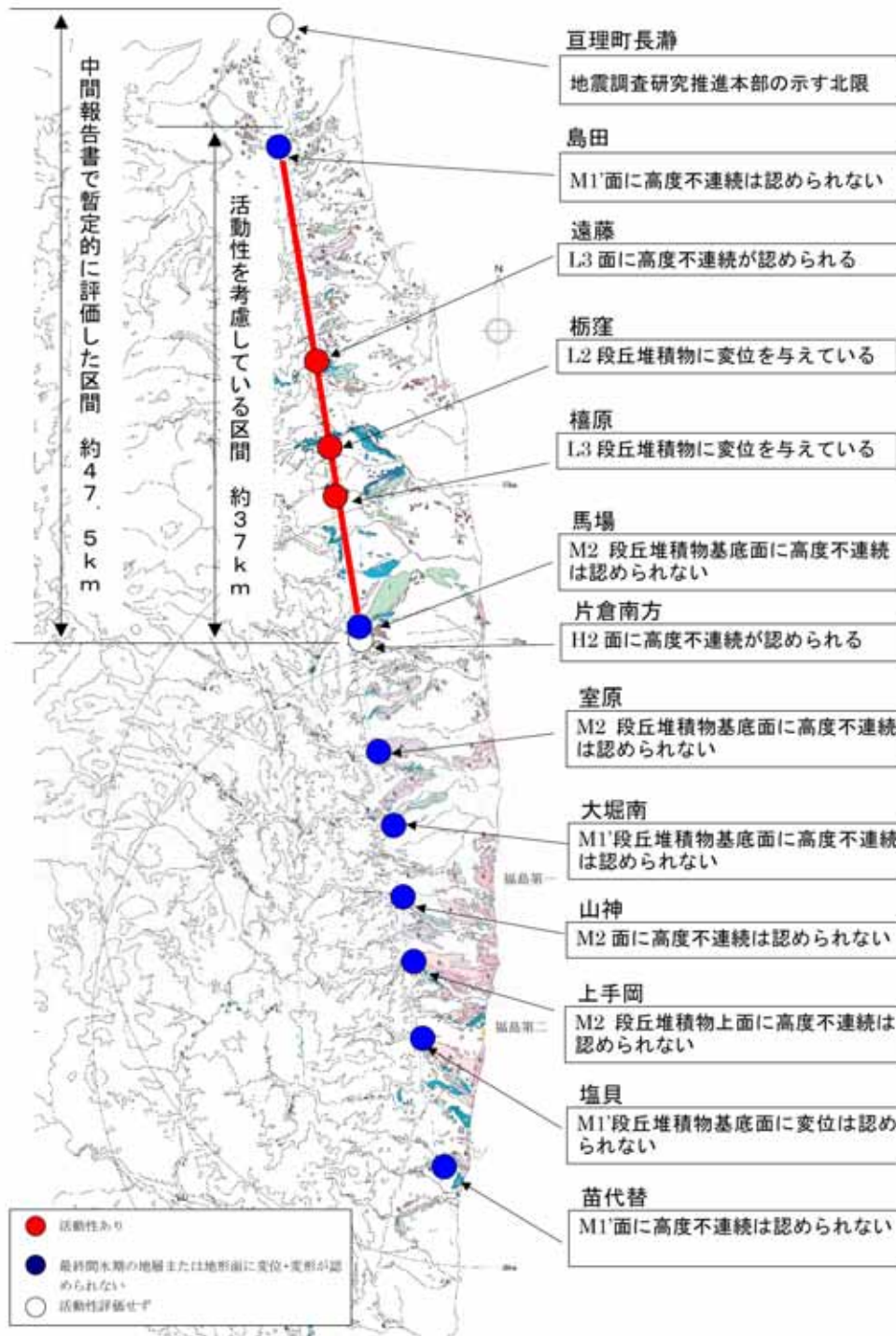
・初野から馬場に至る間では阿武隈山地内に連続。

・馬場から上小埜付近に至る間では阿武隈山地と相双丘陵との境界付近に連続。

・上小埜付近以南では広野丘陵内に連続。



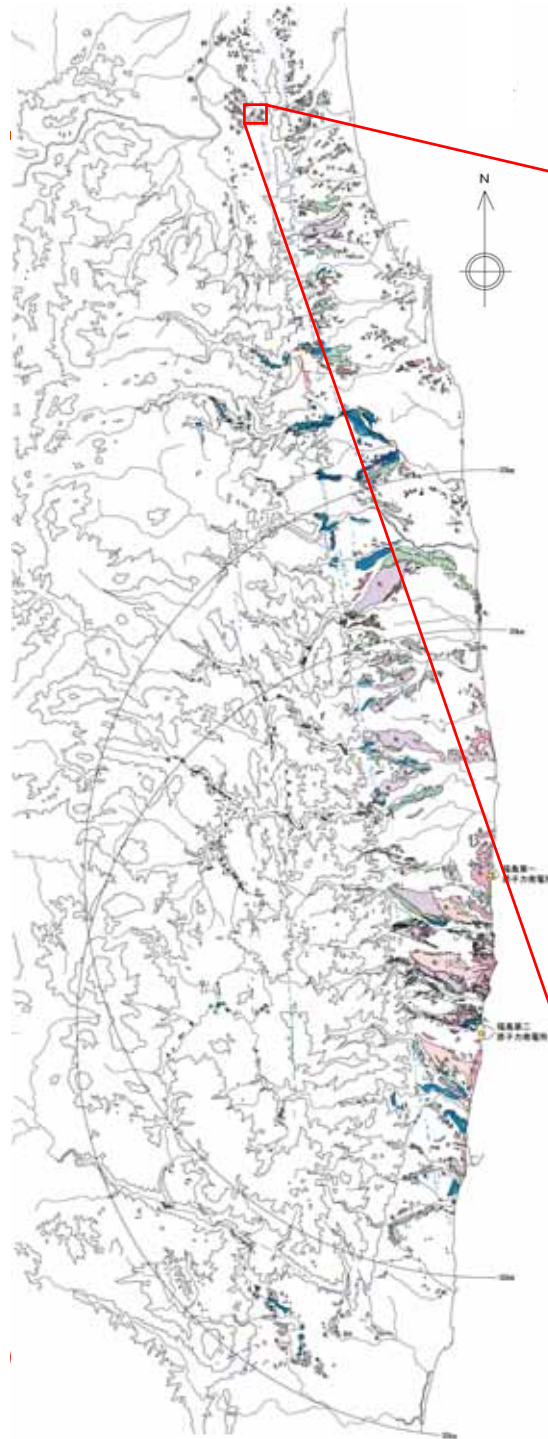
双葉断層調査結果概要



H面: MIS7もしくはそれ以前
 M1: MIS5e(約12~13万年前)
 M1': 約10~12万年前
 M2: MIS5c(約10万年前)
 L1: MIS5a(約8万年前)
 L2: MIS3
 L3: MIS2

-
- 1 . 敷地周辺陸域の地質・地質構造(概要)
 - 2 . **双葉断層**
 - 2 . 1 北端の評価(島田地点)
 - 2 . 2 南端の評価(馬場地点)
 - 3 . 地震本部が示す双葉断層北部(相馬断層)
 - 4 . 畑川断層
 - 5 . 大坂 - 芦沢リニアメント
 - 6 . 海域の断層評価

変動地形分布図



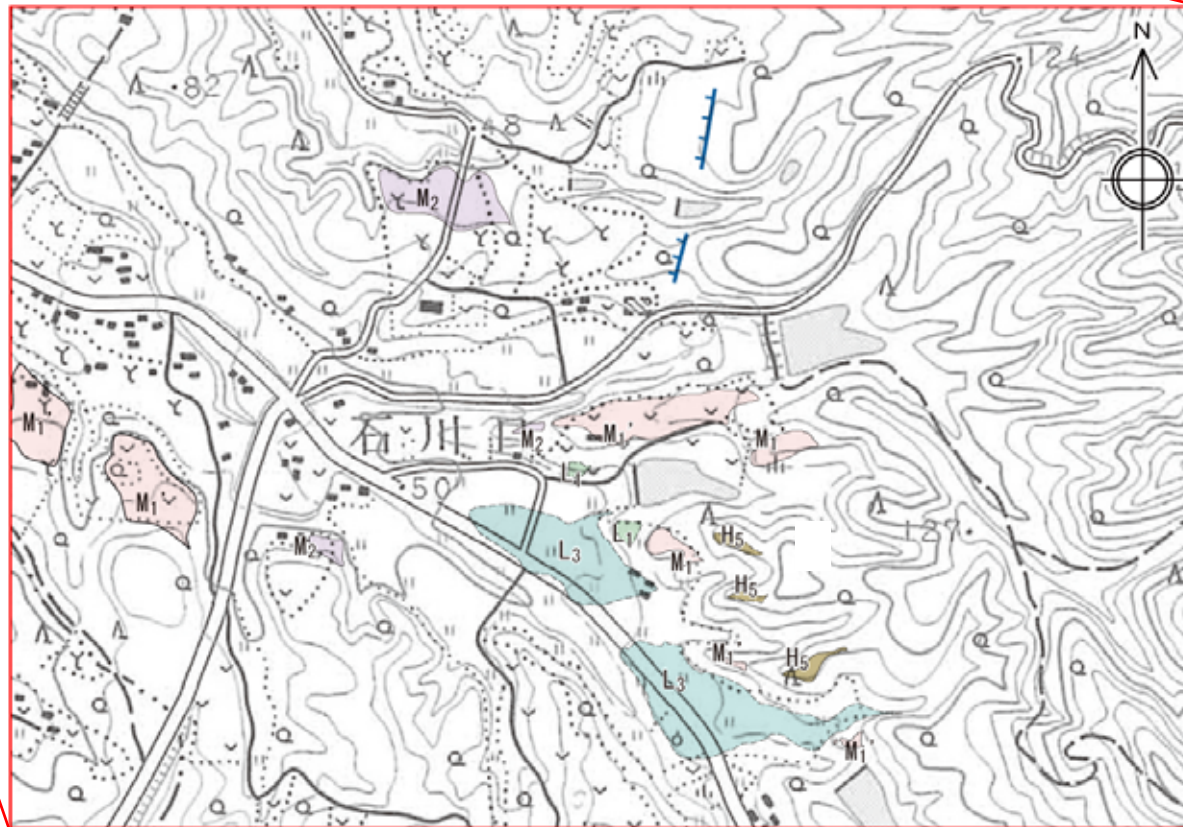
凡例

段丘区分	記号
L3 面	L3
L1 面	L1
M2 面	M2
M1' 面	M1'
H5 面	H5

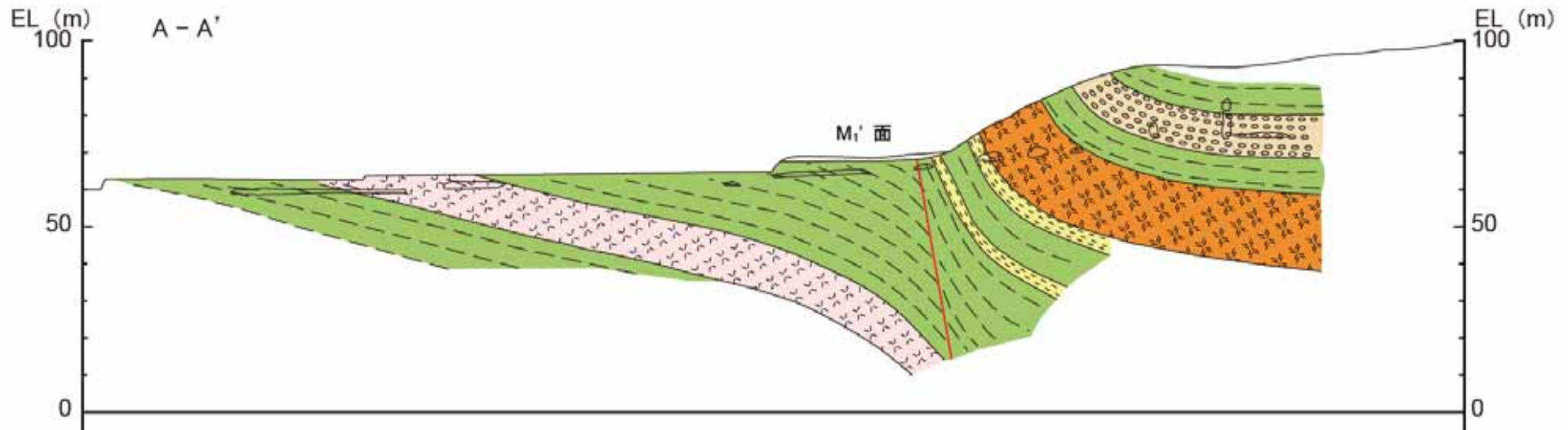
リニアメント

L D

(短線は低下側を示す)



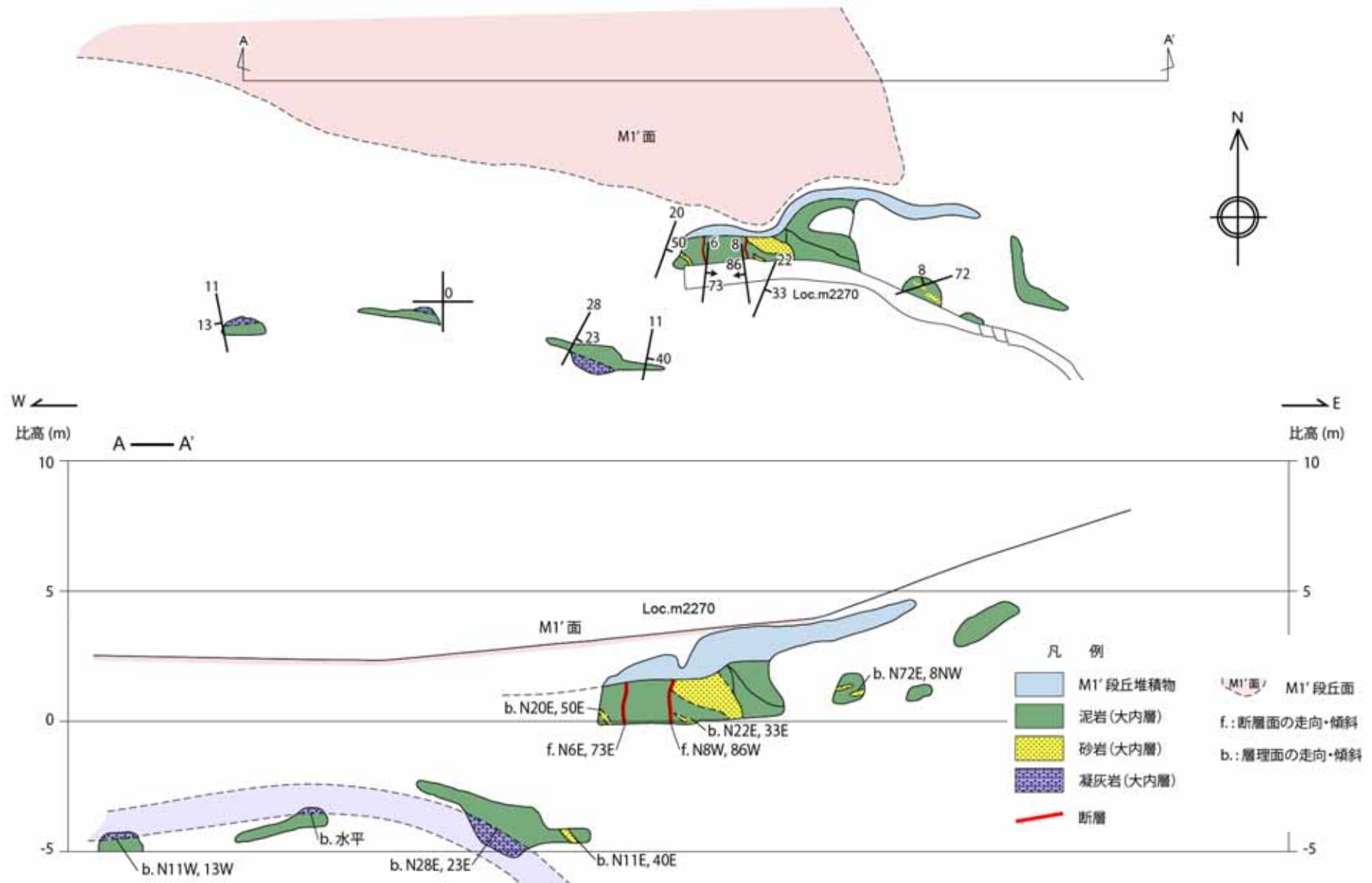
北端部（島田） - 地質断面図（1） -



■M1'面(約10～12万年前)の分布域を含む東西で大内層の傾斜の変化(緩傾斜 急傾斜 緩傾斜)を確認していること、M1'面の南北で双葉断層を露頭で確認していることから、双葉断層はM1'面の分布している付近に存在する。

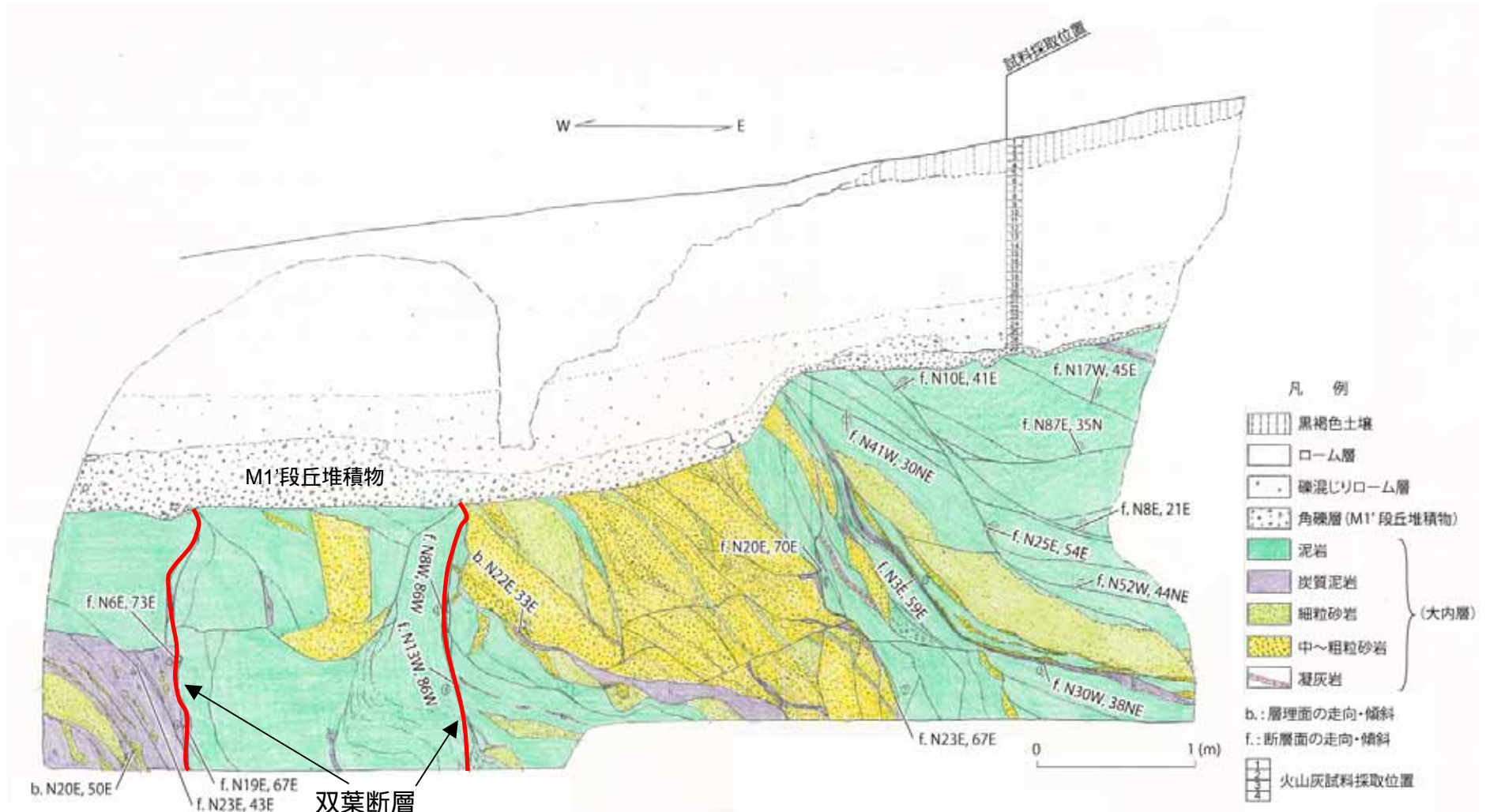
北端部（島田）

- 地質断面図（2） -



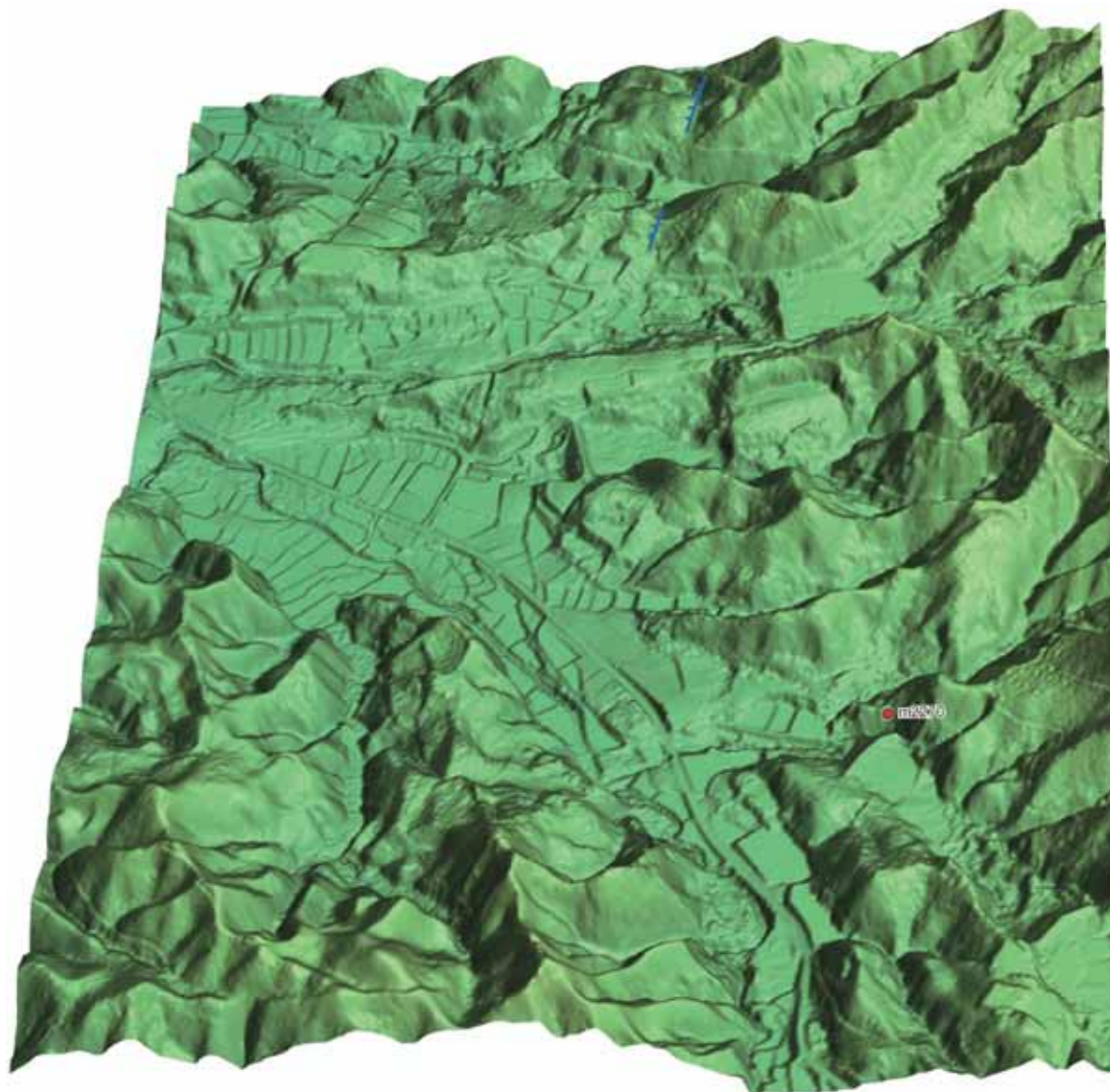
■断層及びその西方に大内層の緩傾斜への変化が確認されたことから、当該断層が双葉断層と判断される。

北端部（島田） - 露頭スケッチ -



■双葉断層はM1'段丘堆積物に変位・変形を与えておらず、後期更新世以降の活動はないと判断される。

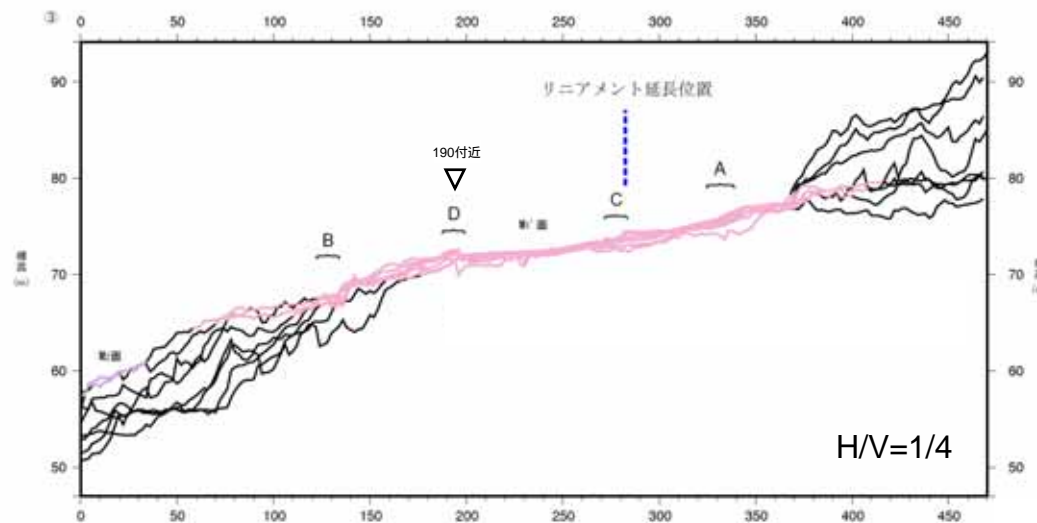
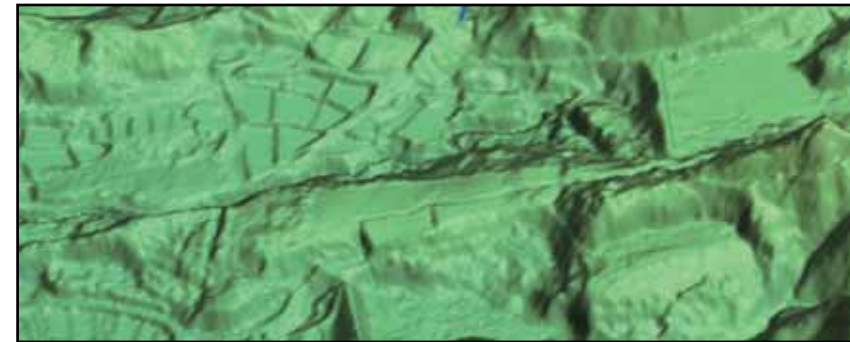
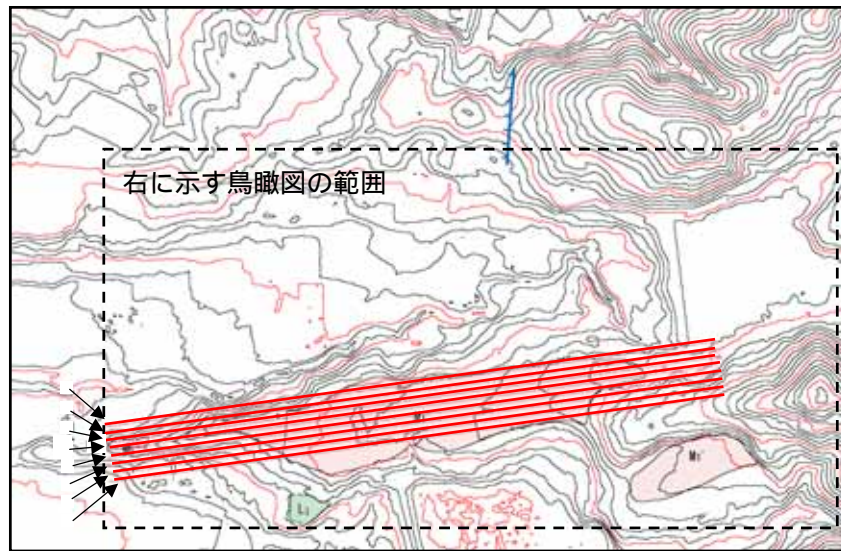
北端部（島田） - レーザー測量による鳥瞰図 -



■ 航空レーザー測量により、島田地点周辺の地形データを作成

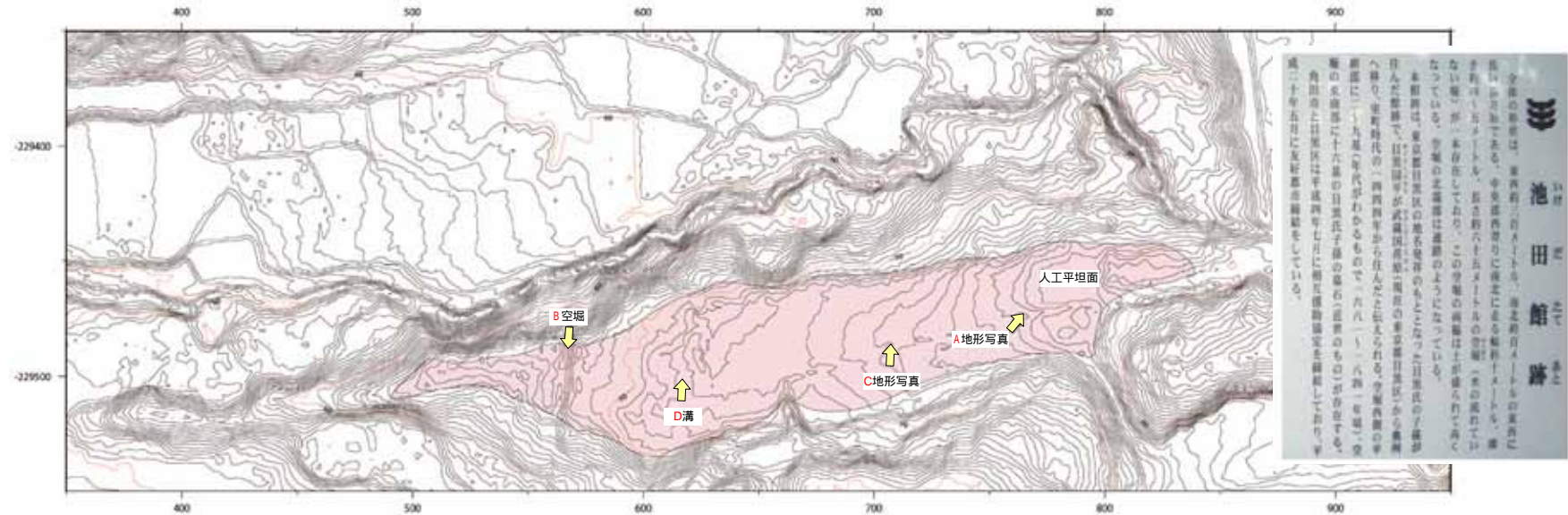
1 リンク
m2270 鳥田

北端部（島田） - M1'面の地形断面 -



- 8断面を重ね合わせて表示したM1'面(約10~12万年前)全体の傾向からも増傾斜は認められない。
- 横軸190付近では、ほとんどの断面において不陸が認められる。

北端部（島田） - M1'面上の不陸に関する現地確認 -



B地点



空堀、南北方向に溝が連続する。

D地点



南北方向に溝が連続する。

C地点



農道敷設時の人工的な崖。写真奥には崖は認められない。

A地点

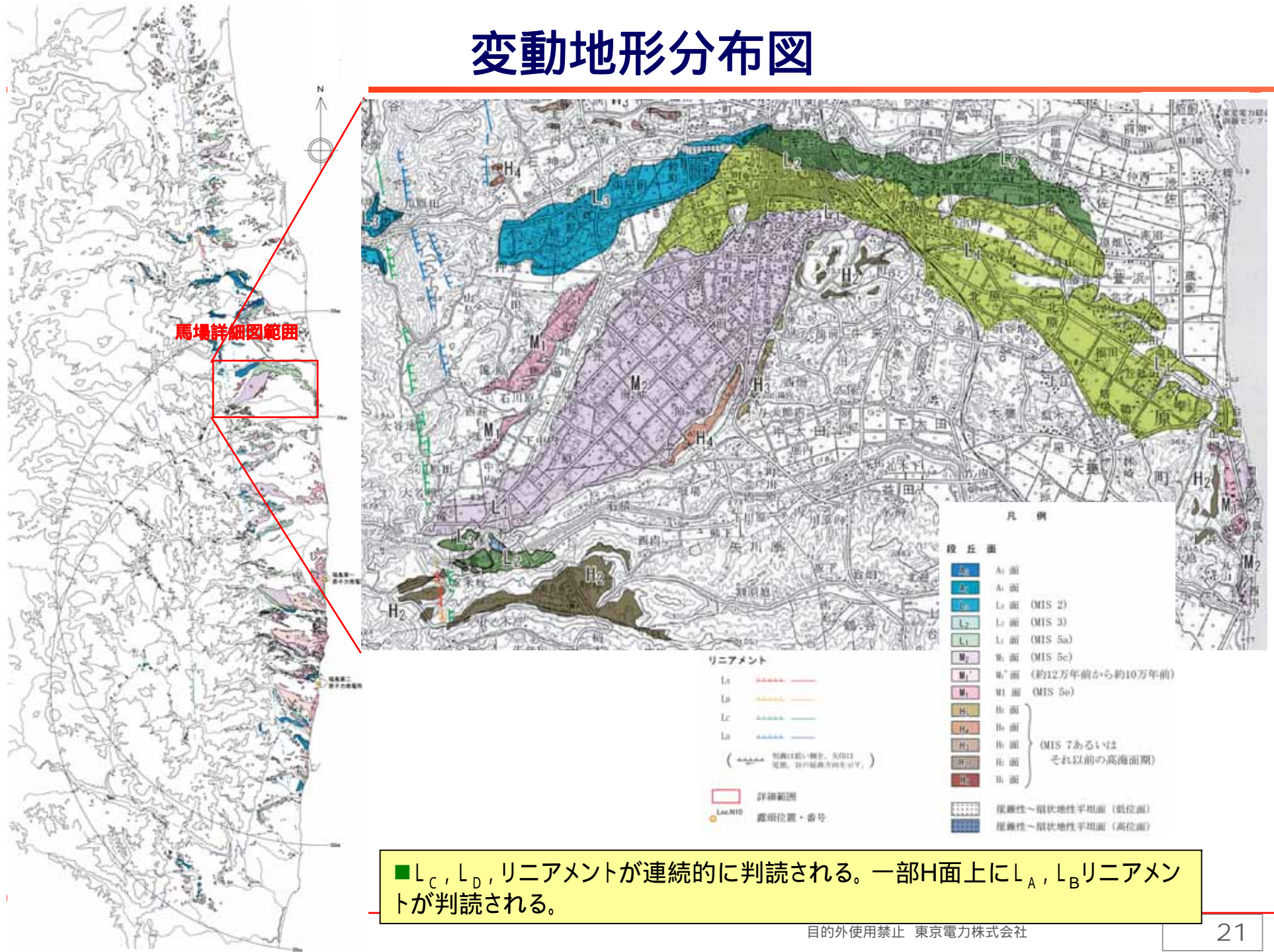


人工と考えられる平坦面、溝が認められる。

■横軸190付近(D地点)及び断面に認められる不陸については、現地状況からいずれも人工改変によるものと判断される。

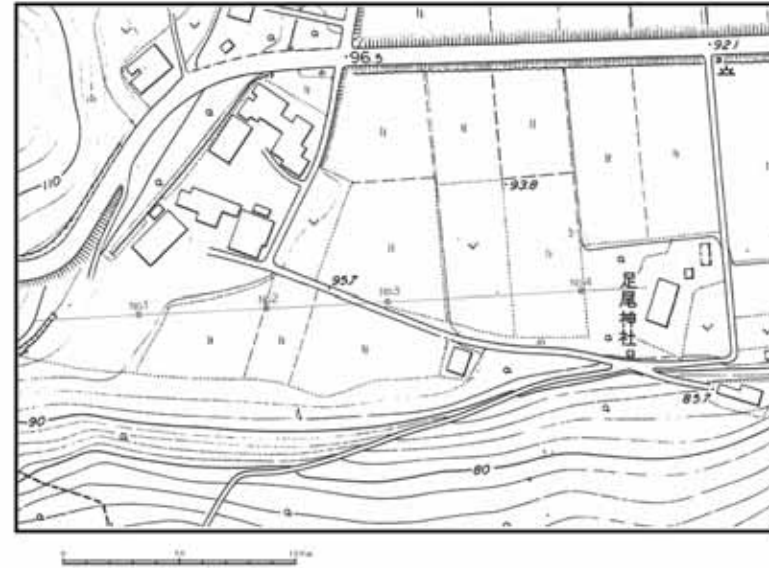
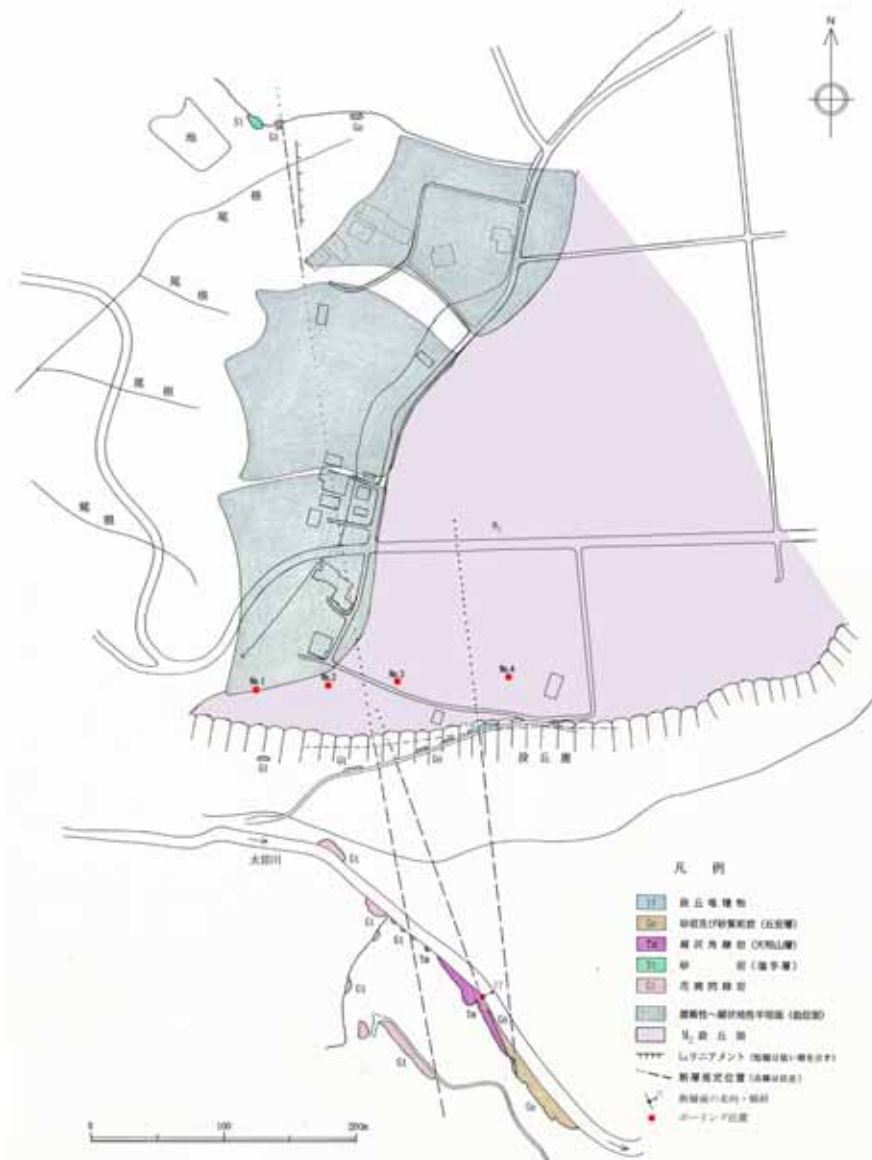
-
- 1 . 敷地周辺陸域の地質・地質構造(概要)
 - 2 . **双葉断層**
 - 2 . 1 北端の評価(島田地点)
 - 2 . 2 **南端の評価(馬場地点)**
 - 3 . 地震本部が示す双葉断層北部(相馬断層)
 - 4 . 畑川断層
 - 5 . 大坂 - 芦沢リニアメント
 - 6 . 海域の断層評価

変動地形分布図



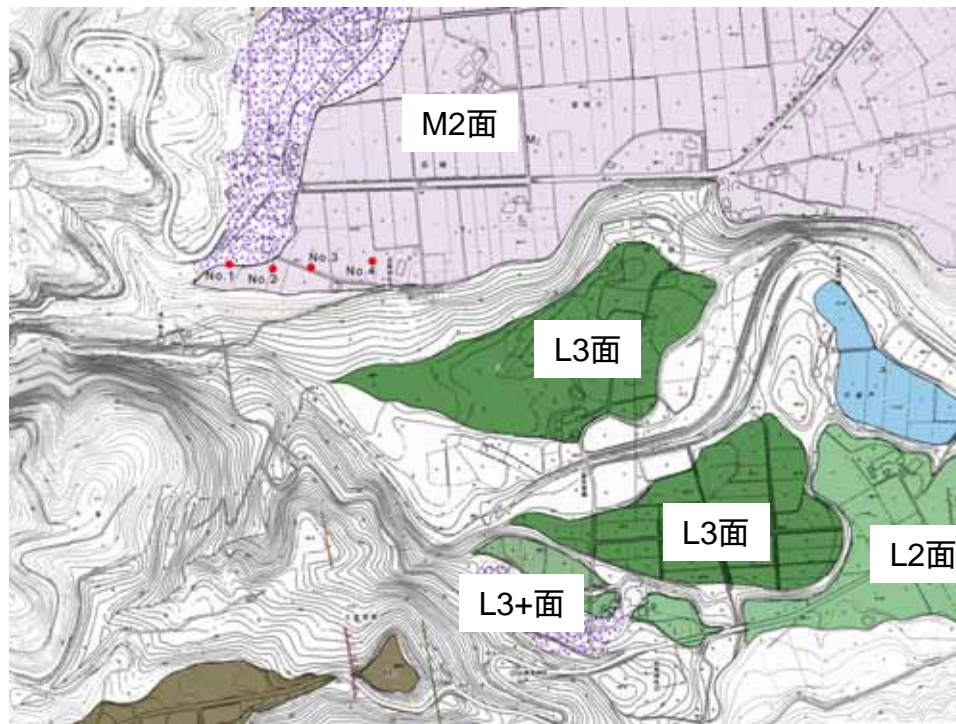
■ L_C, L_D, リニアメントが連続的に判読される。一部H面上にL_A, L_Bリニアメントが判読される。

断層推定位置

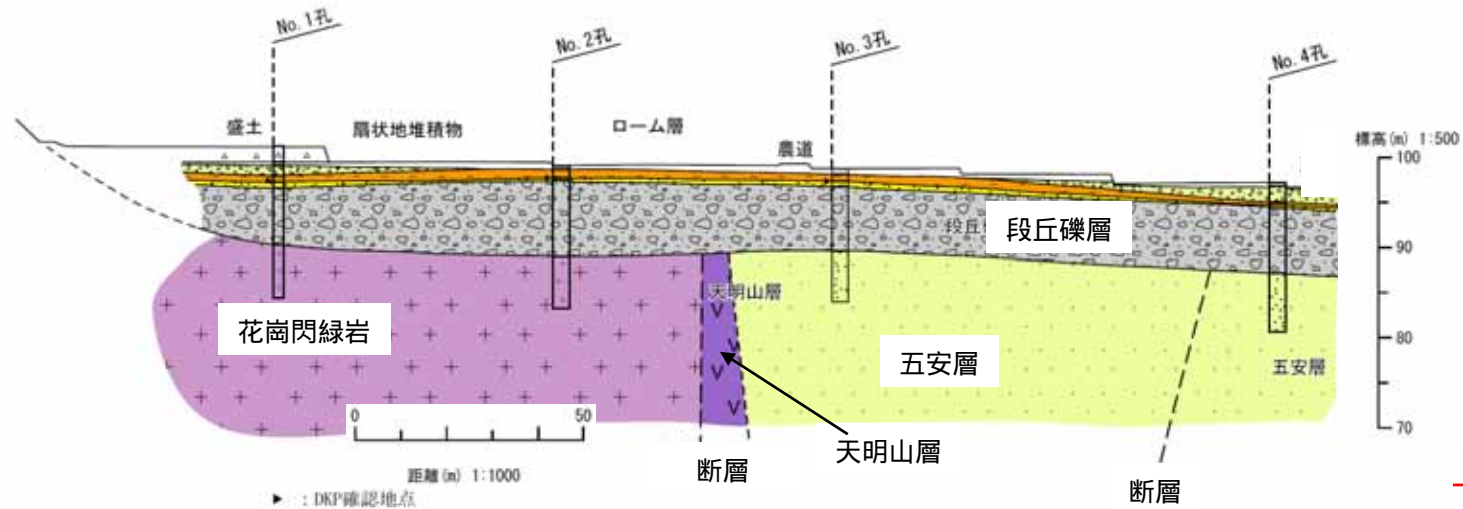


- ボーリング調査位置の南部で花崗閃緑岩から天明山層への地質の変化、天明山層と五安層を境する断層を確認
- ボーリング調査位置の北部ではリニアメントを挟んで花崗閃緑岩から五安層への変化を確認
- リニアメント及び南北の地質の変化からボーリング調査位置付近に断層が推定される
- 断層推定位置に分布するM2面 (MIS5c, 約10万年前) 上でボーリングを4本実施

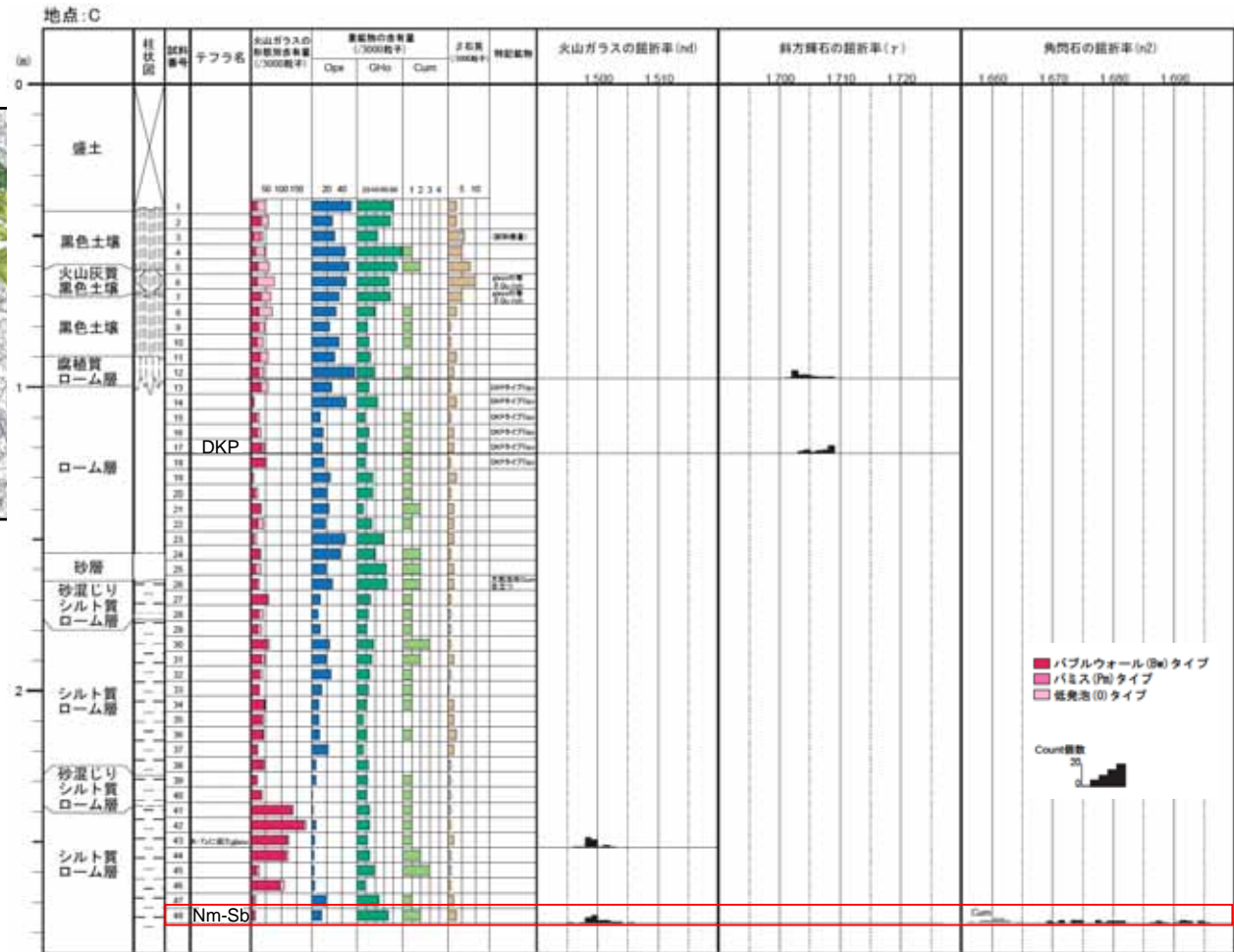
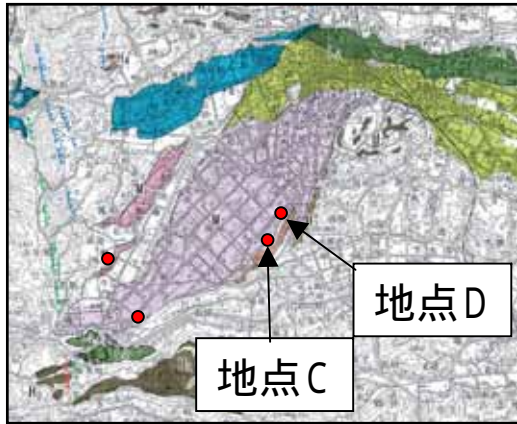
南端部（馬場） - ボーリング調査結果 -



■M2段丘堆積物(MIS5c, 約10万年前)に変位・変形が認められないことから馬場における双葉断層の後期更新世以降の活動性はないと判断。



南端部（馬場） - 火山灰分析：地点C -

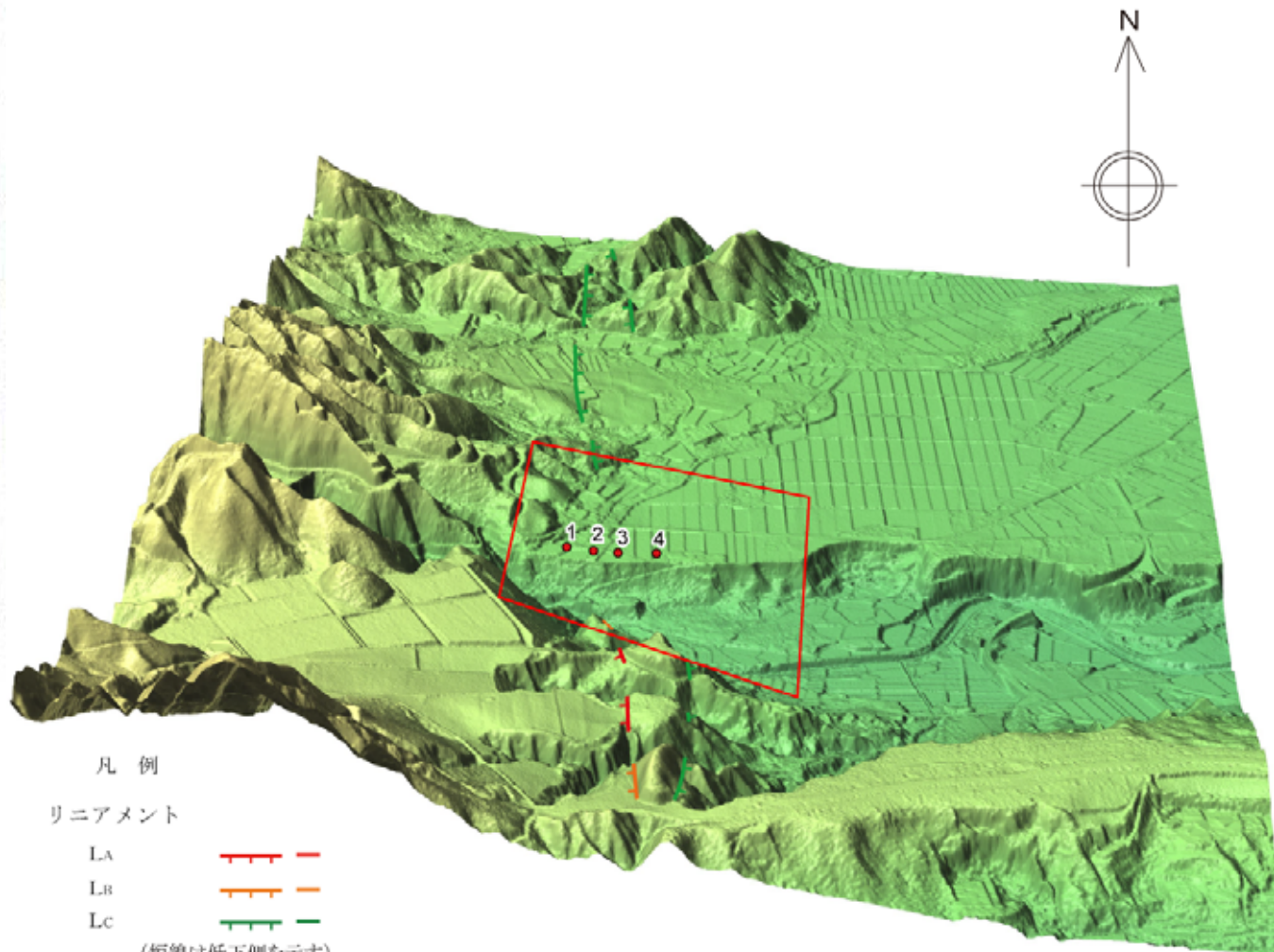
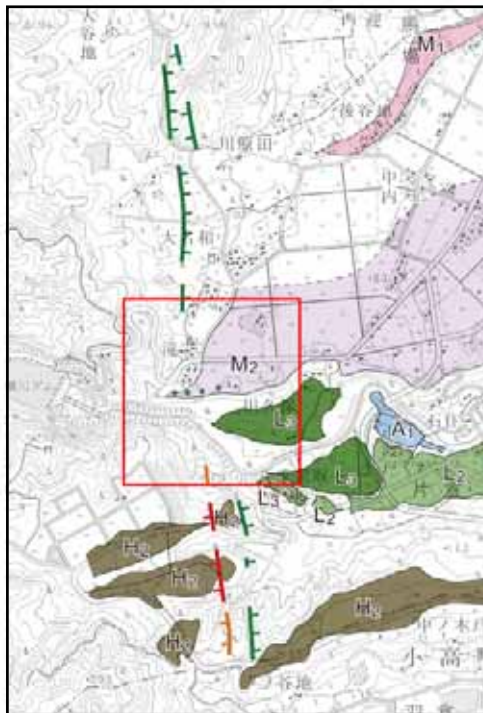


火山・テフラ名	記号	年代 (×1000年)	主な鉱物	火山ガラス タイプ n	opx	ho,cum n2
沼沢芝原	Nm-Sb	90 ~ 130	ho,bi,cum,qt			1.662-1.688

新編火山灰アトラスより抜粋

■地点C及び地点Dにおいてローム層の下部にNm-Sb(沼沢芝原, 9~13万年前)が確認された(ここでは地点Cの結果を示す)ことから,この段丘面はM2面(MIS5c, 約10万年前)と判断される。

南端部（馬場） - レーザー測量：鳥瞰図 -

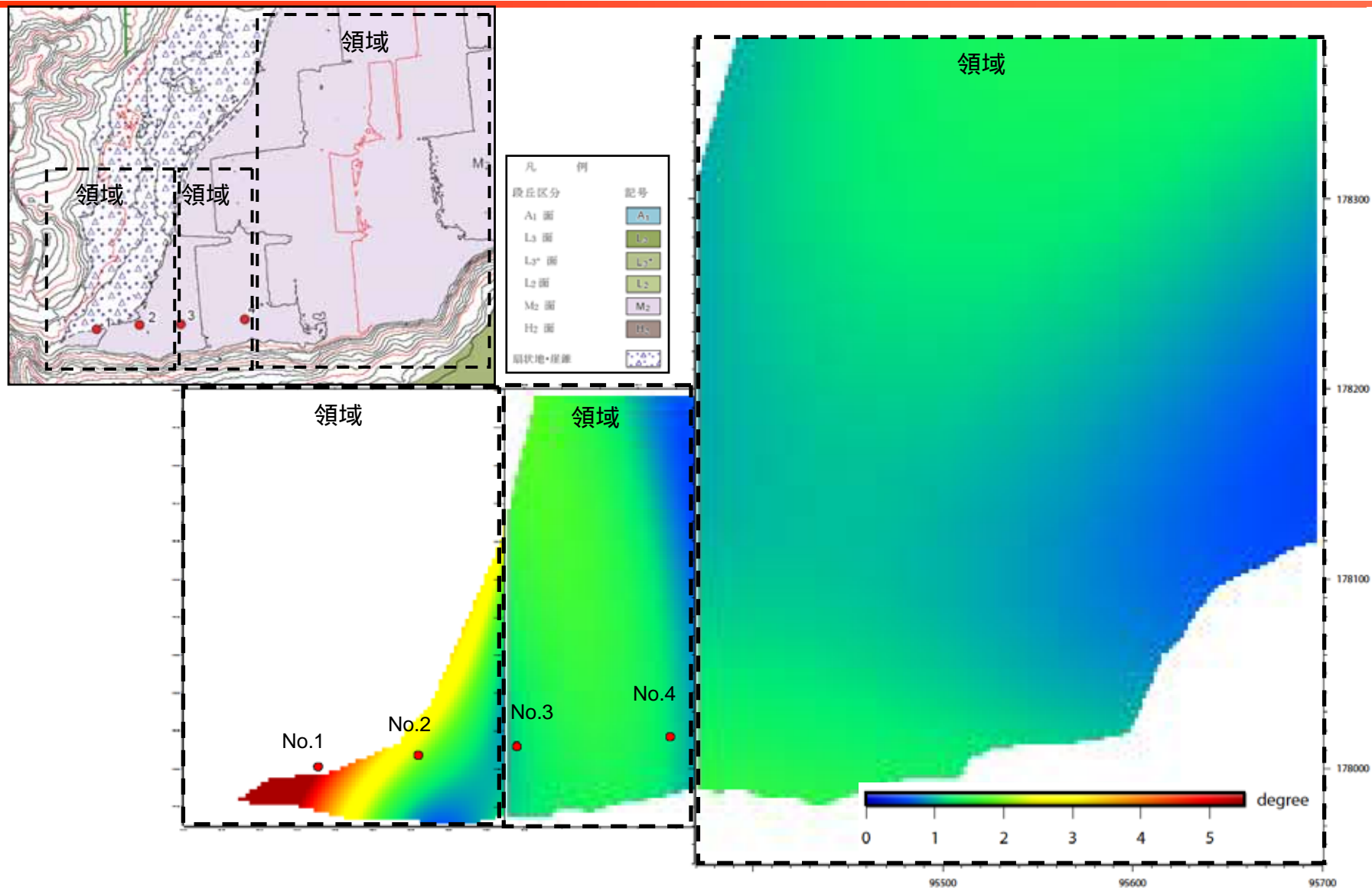


- 凡例
- リニアメント
- LA
 - LB
 - Lc
- (短線は低下側を示す)
- ボーリング位置
- 拡大位置

H/V=1/2

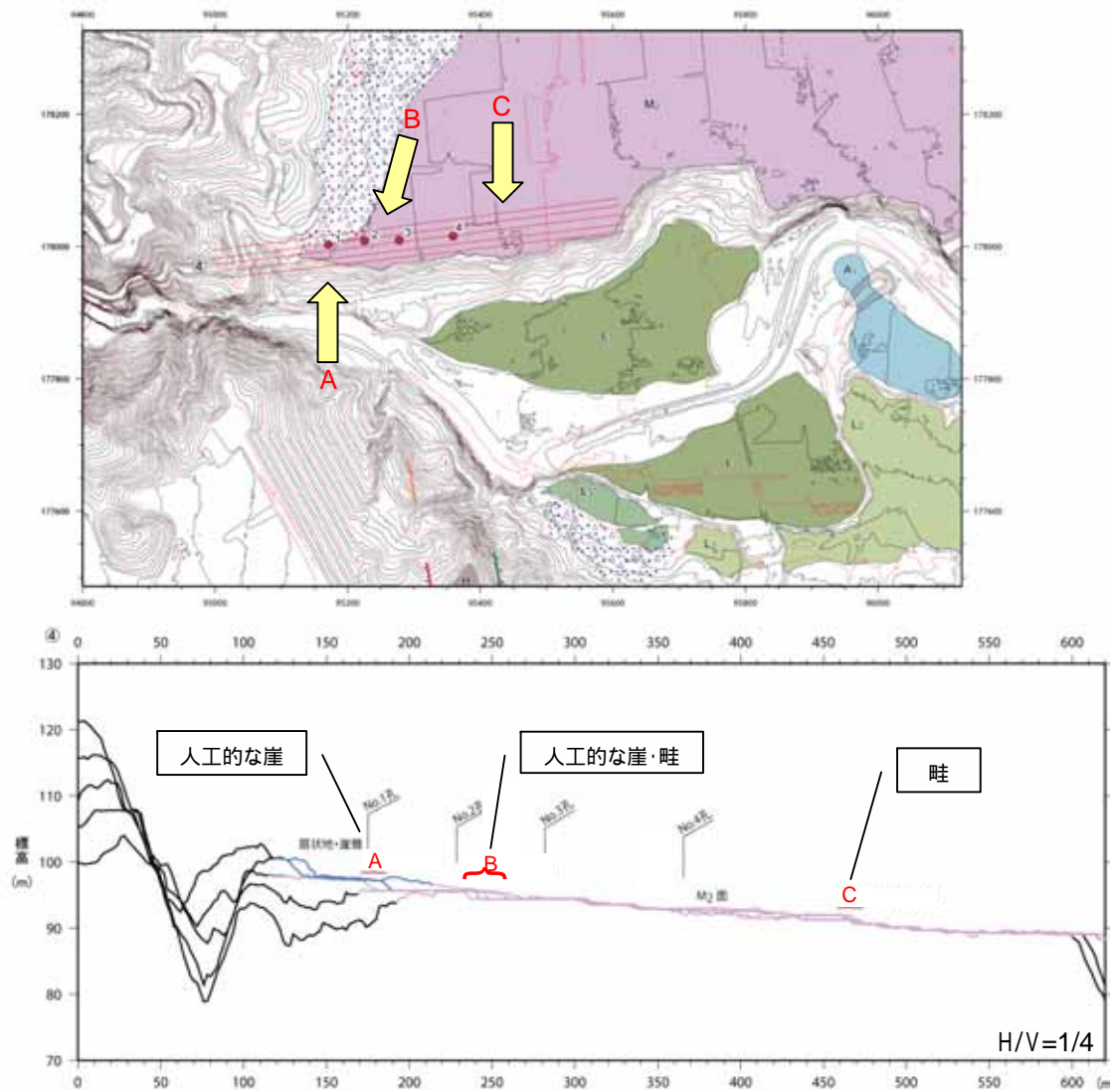
■ 航空レーザー測量により、馬場地点周辺の地形データを作成
 ■ 断層推定位置付近に分布するM2面(MIS5c, 約10万年前)に変動地形は認められない

南端部（馬場） - 傾向面分析 -



■断層推定位置であるNo.2から東側は傾斜は概ね1°～2°程度であり、顕著な傾斜の変化は認められない。

南端部（馬場） - 地形断面図 -



A地点

人工改変による崖。人家の庭に連続しない。



B地点

人工改変による崖ないし畦。連続性に乏しい。

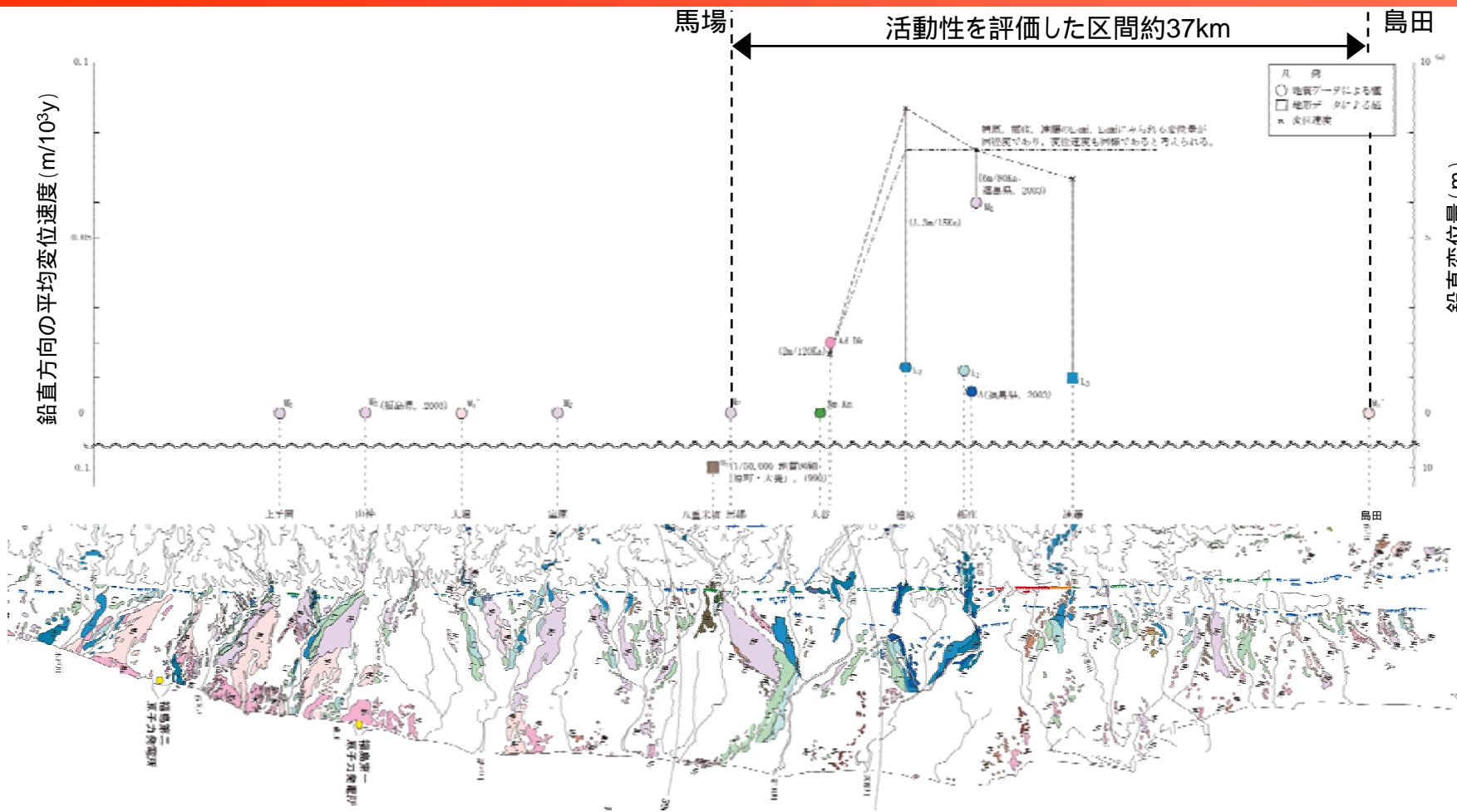


C地点

人工改変による畦。連続性に乏しい。

■ レーザー測量による詳細な地形断面からM2面 (MIS5c, 約10万年前) 上に一部不陸が認められるが、いずれも人工改変によるものであり、断層推定位置に分布するM2面に変動地形は認められない。

双葉断層の後期更新世の鉛直方向の平均変位速度



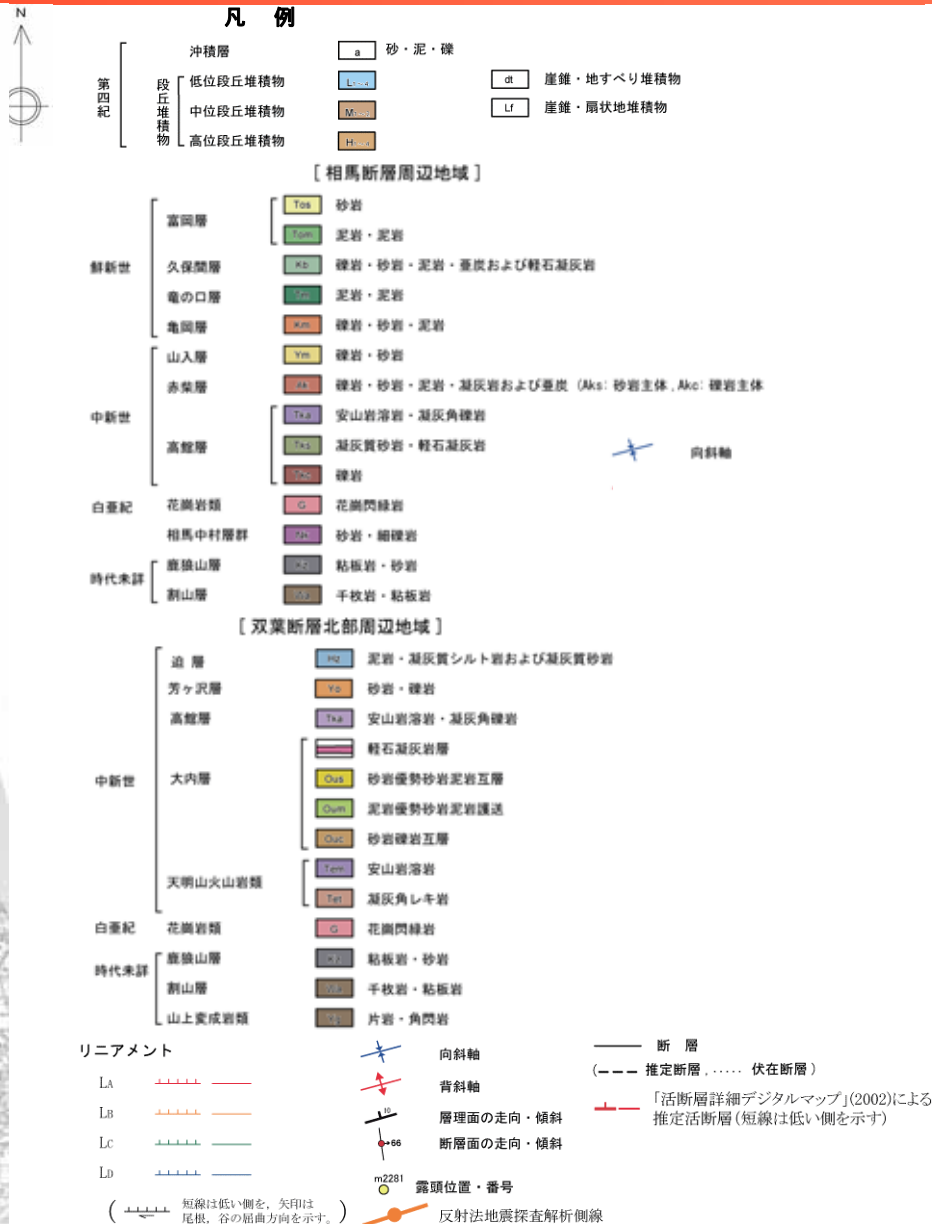
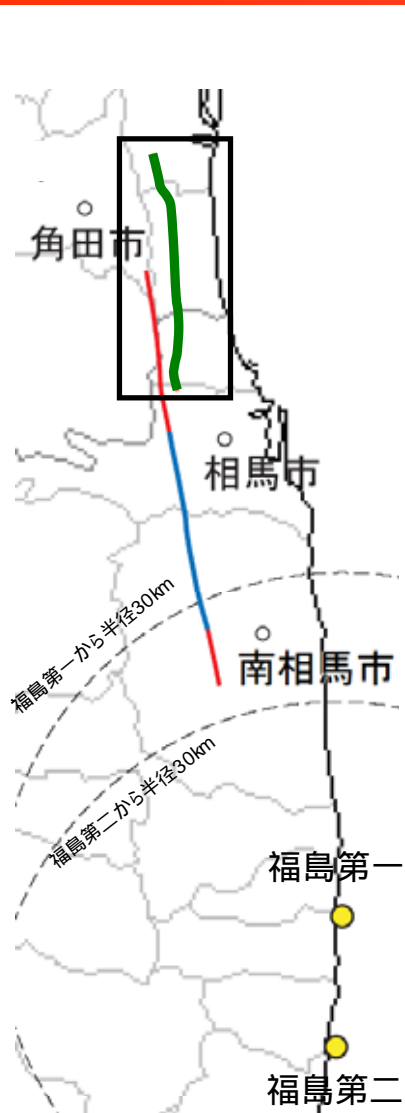
- L面の変位量がほぼ同等であることから、遠藤、榑窪、榑原については同等の平均変位速度と想定される。
- 大谷付近では、Ad-Dk(約12万年前)に約2mの変位が認められていることから遠藤、榑窪、榑原より平均変位速度は小さい。
- 馬場以南では、最終間氷期の地層に変位・変形は認められない。また、北部では島田のM1'面(約10～12万年前)に変位・変形が認められない。

まとめ【双葉断層】

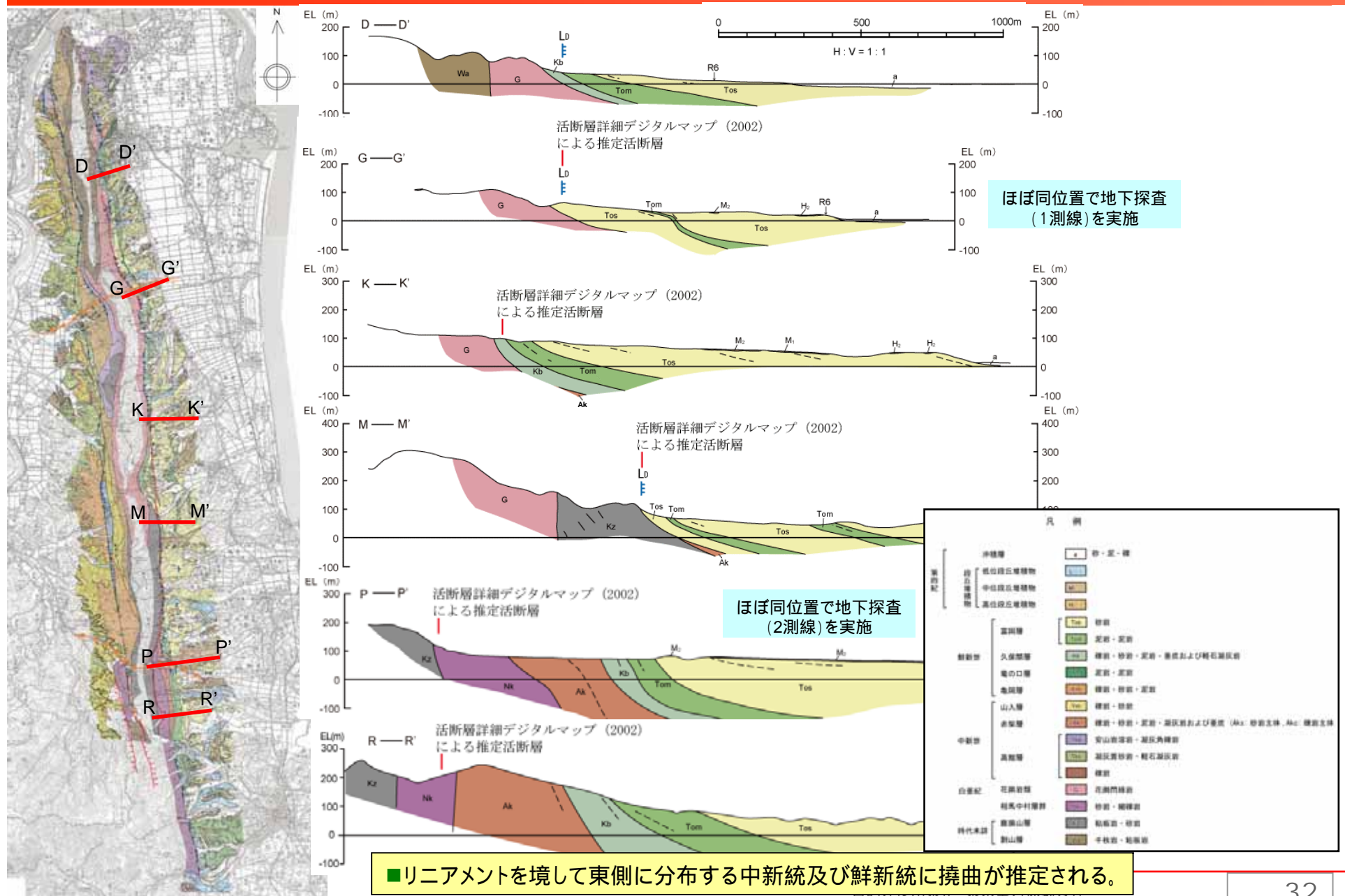
- 遠藤、栃窪、檜原では低位段丘堆積物、中位段丘堆積物もしくは低位面に断層による変位が確認される。
- 遠藤、栃窪、檜原より南方の馬場地点においては、ボーリング調査及びレーザー測量結果に基づく地形面に関する検討の結果、最終間氷期の地層・地形面に変位・変形が認められないことから、双葉断層の後期更新世以降の活動はないと判断される。
- 遠藤、栃窪、檜原より北方の島田地点においては、地表地質調査による断層露頭の状況及びレーザー測量結果に基づく地形面に関する検討の結果、最終間氷期の地層及び周囲の地形面に変位・変形が認められないことから、双葉断層の後期更新世以降の活動はないと判断される。
- 以上より、双葉断層については、島田から馬場までの約37kmについて活動性を考慮することとする。

-
- 1 . 敷地周辺陸域の地質・地質構造(概要)
 - 2 . 双葉断層
 - 2 . 1 北端の評価(島田地点)
 - 2 . 2 南端の評価(馬場地点)
 - 3 . 地震本部が示す双葉断層北部(相馬断層)
 - 4 . 畑川断層
 - 5 . 大坂 - 芦沢リニアメント
 - 6 . 海域の断層評価

相馬断層周辺の地質図



相馬断層周辺の地質断面図



相馬断層の概要



反射法地震探査測線
(次頁に探査記録を示す)

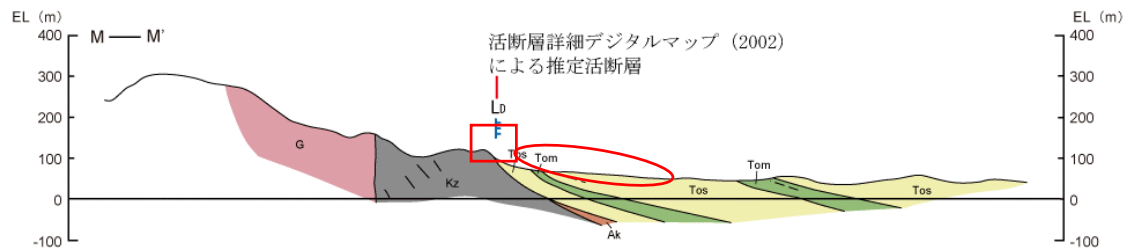
反射法地震探査測線

- 文献により相馬断層が示されている付近は、中新統及び鮮新統の撓曲構造により特徴付けられ、活断層詳細デジタルマップ(2002)による推定活断層及び空中写真判読によるリニアメントは、上記の撓曲部に位置している。
- 上記を踏まえ、下記の9地点について、リニアメントの成因、撓曲構造と地形面の関係について検討を行った。
- ここでは、代表して鷲足地点の調査結果を説明する。

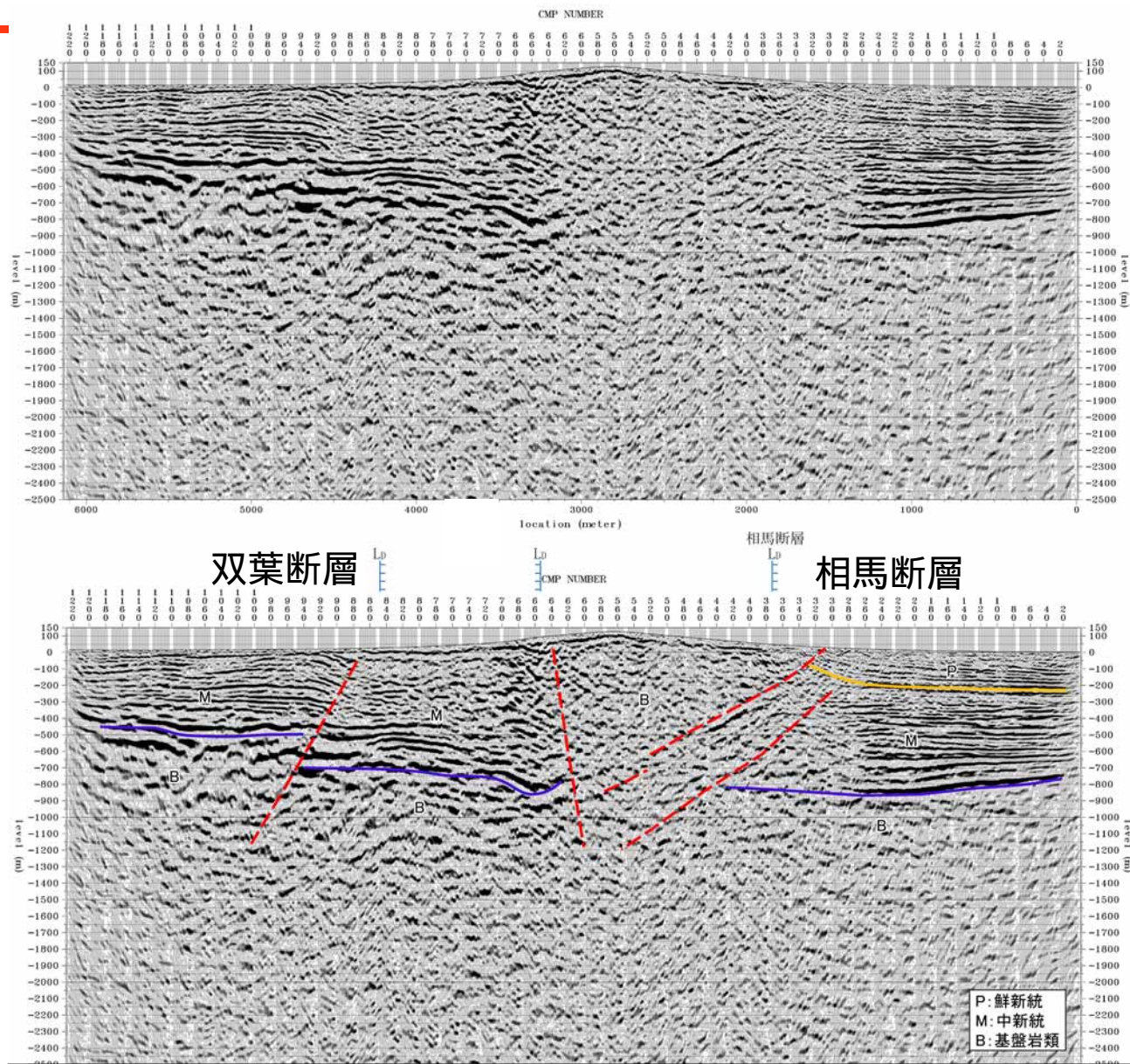
相馬断層に関する調査地点

- 平場地点
- 大平西地点
- 鷲足地点
- 高瀬地点
- 坂元地点
- 沢口地点
- 狼沢地点
- 赤柴地点
- 払川地点

鷲足地点以外の調査結果については、参考資料に示す。



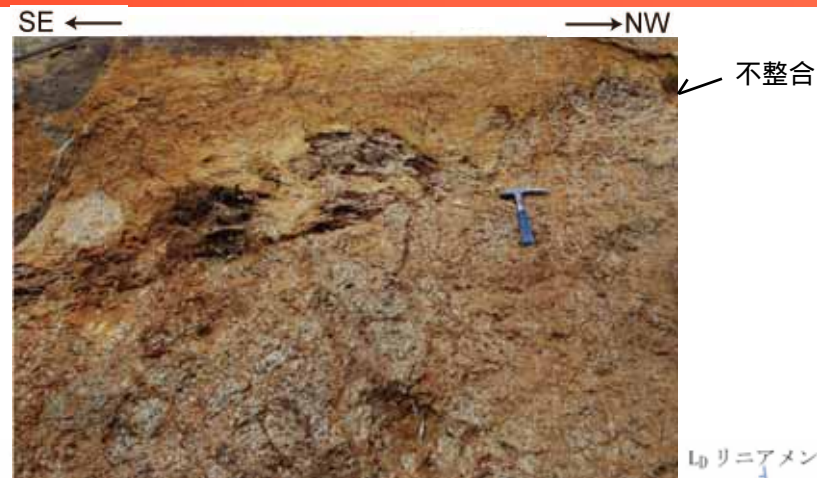
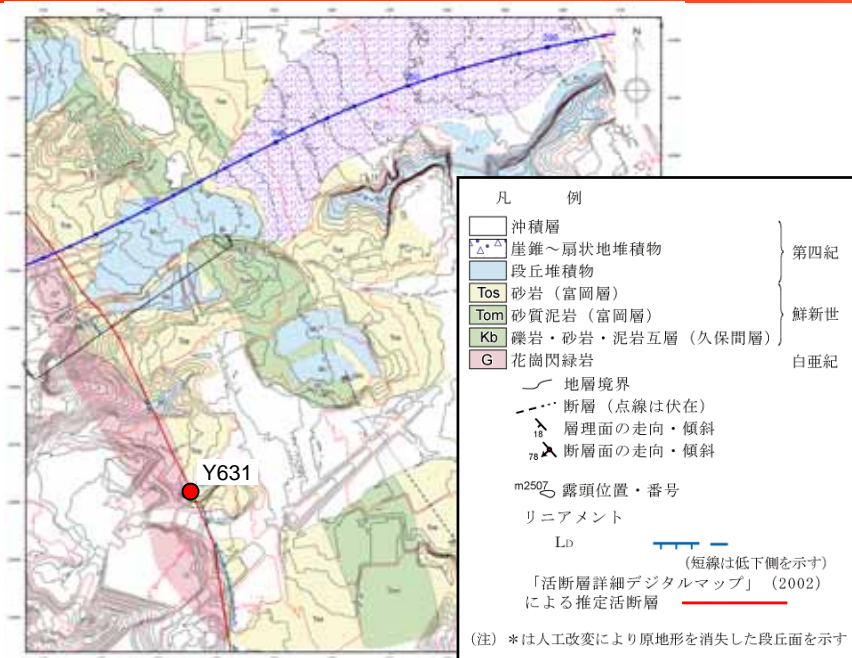
地下探査結果（1測線）



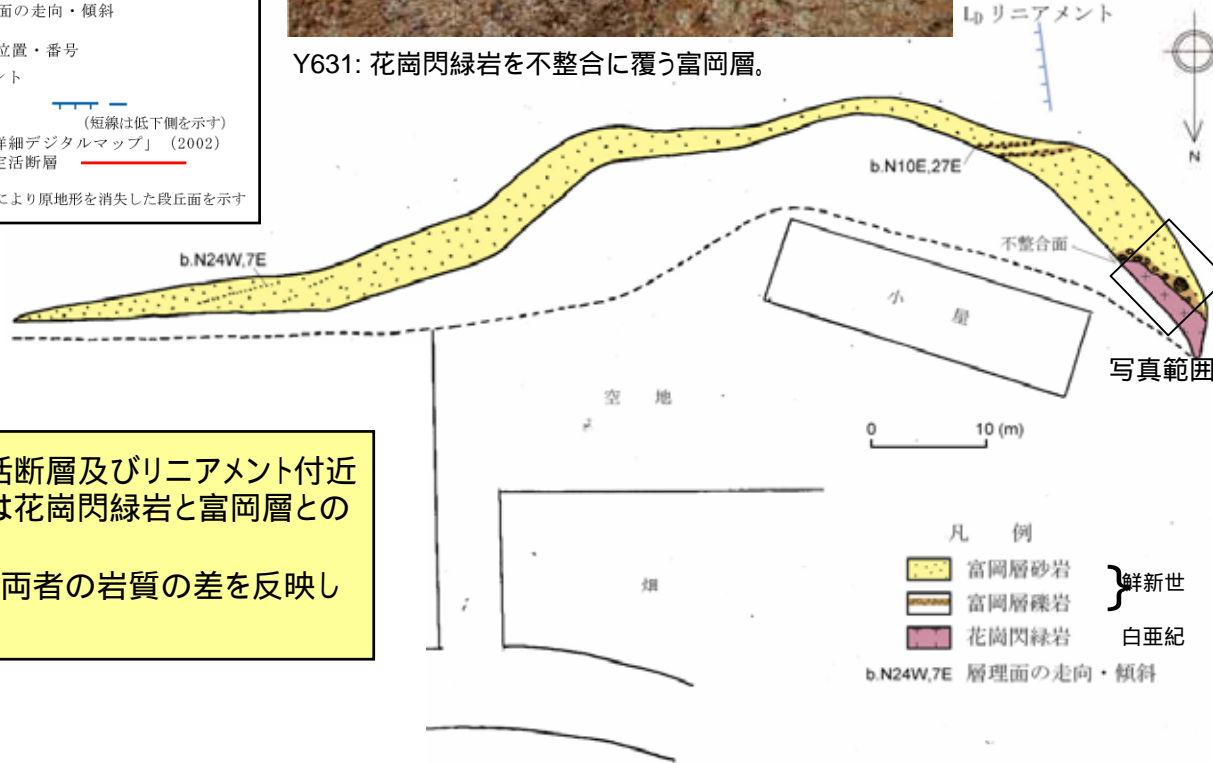
■相馬断層のリニアメントの東側に鮮新統・中新統に撓曲が認められ、地下に断層が推定される。

【驚足地点:Y631】

リニアメントの成因

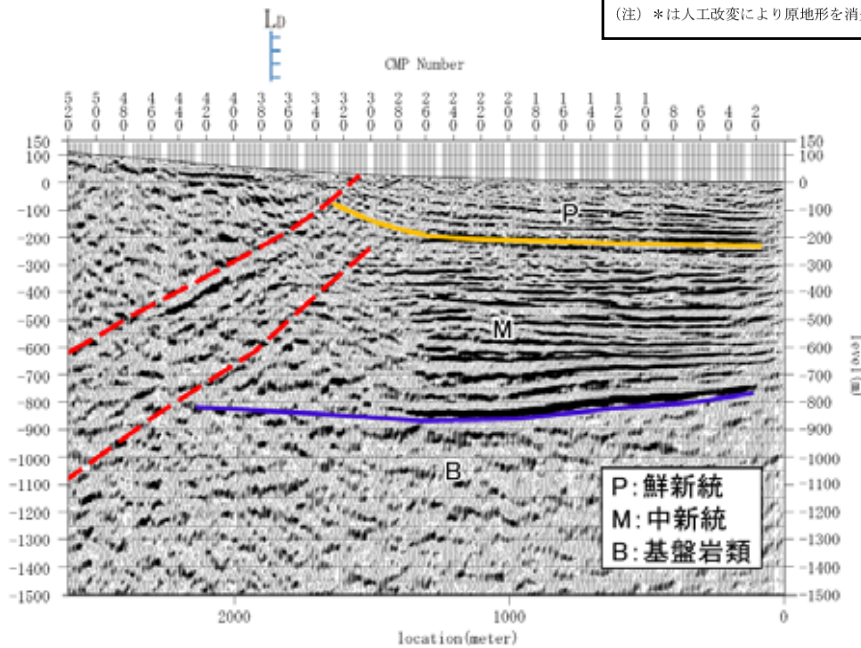
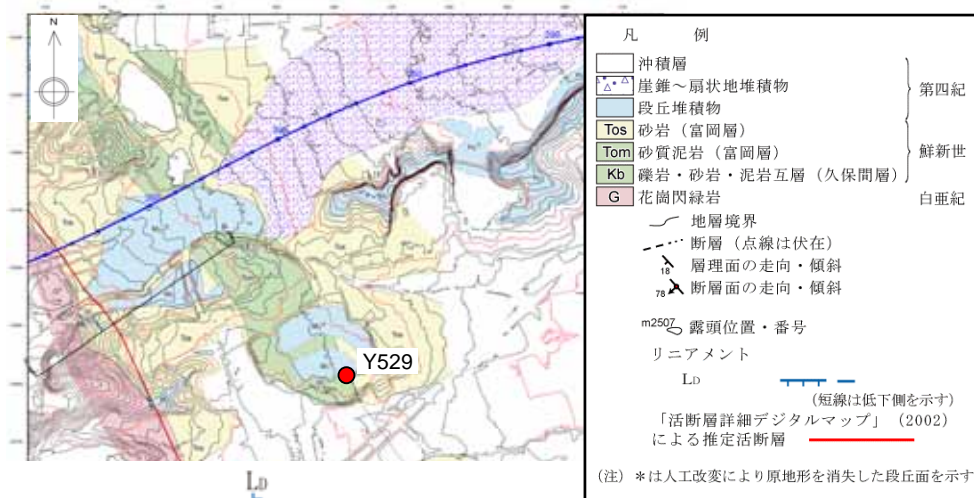


Y631: 花崗閃緑岩を不整合に覆う富岡層。



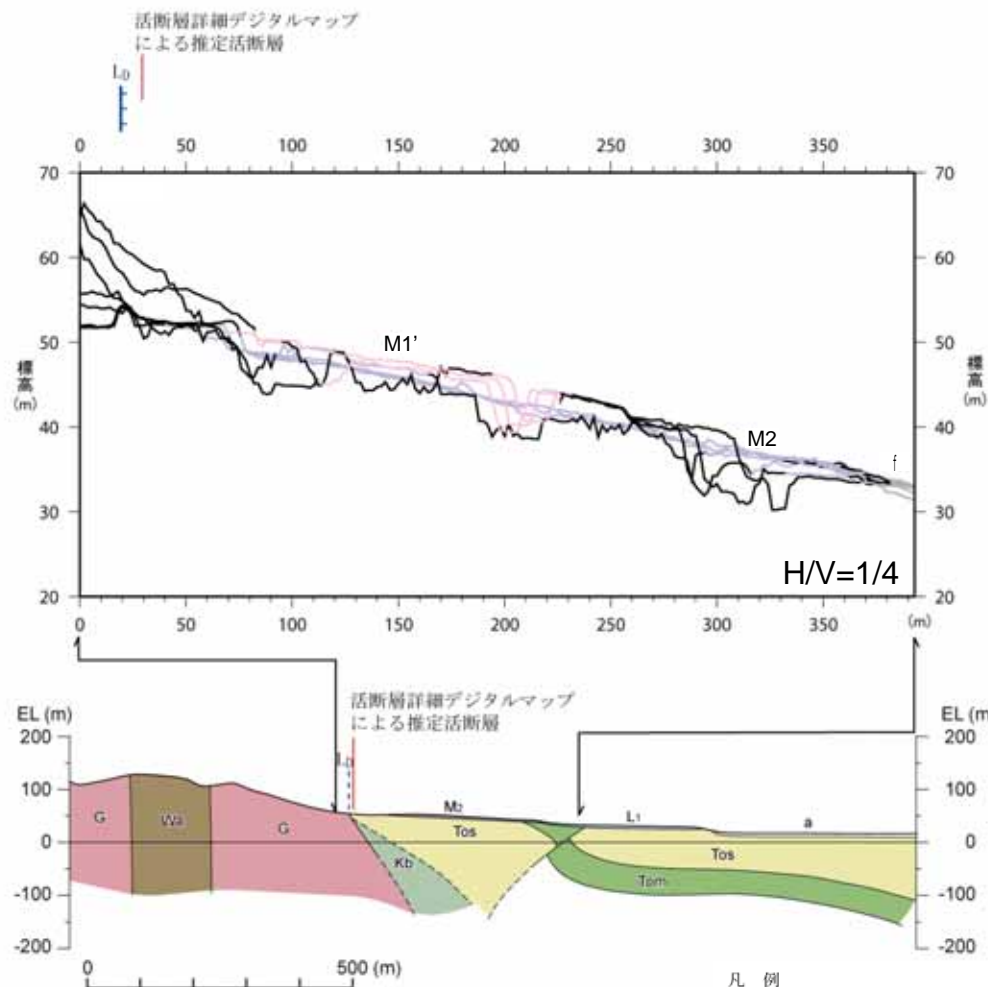
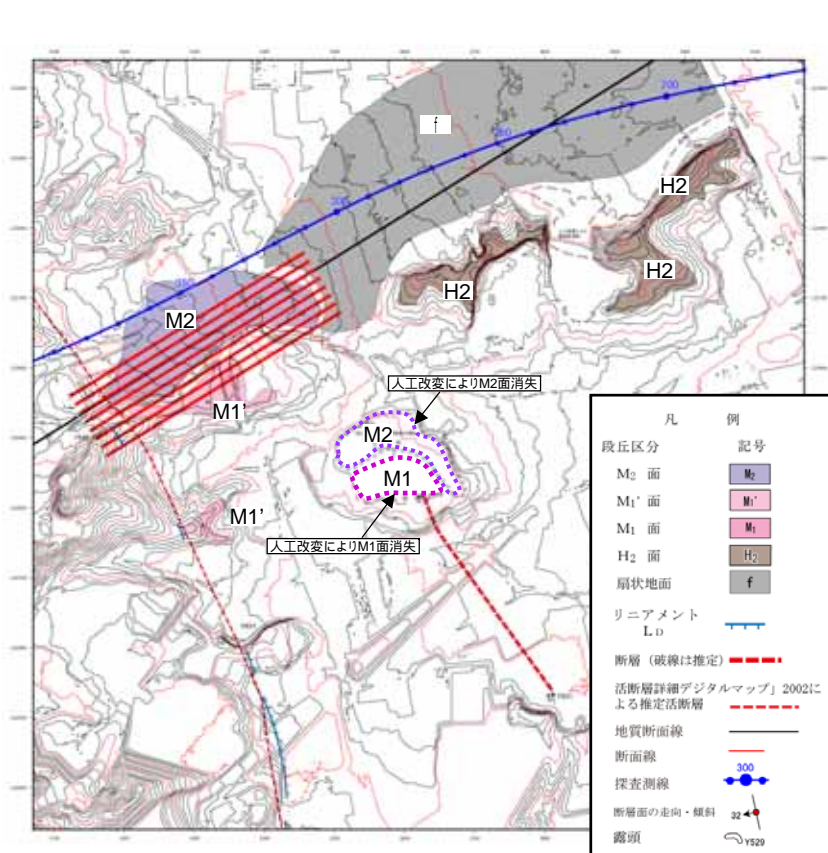
活断層詳細デジタルマップによる推定活断層及びリニアメント付近には断層は確認されず、これらの位置は花崗閃緑岩と富岡層との不整合境界に対応する。推定活断層及びリニアメントの位置は、両者の岩質の差を反映した侵食地形と判断される。

【驚足地点:Y529】



■リニアメント東側の反射法地震探査による断層推定位置付近において下位の富岡層泥岩が上位の富岡層砂岩に衝上する逆断層が確認されるが、断層面は岩石化し硬質。

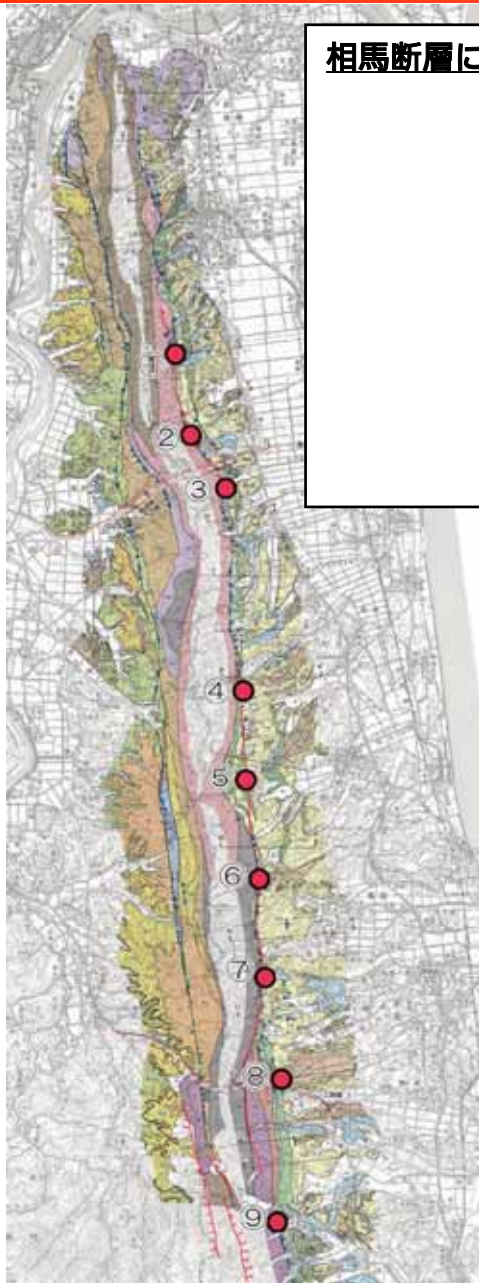
【鷲足付近の地形・地質断面図】



- 断層確認位置付近に分布するM₂面及びM₁'面に変動地形は確認されない。
- 断層の北方延長を横断して分布するM₁面及びM₂面は人工改変により原地形が消失している。
- ただし、航空写真からは、M₁面、M₂面には、いずれも低崖、撓み等の変動地形は判読されない。

- 凡 例
- | | | |
|----------------|---------|------|
| a | 沖積層 | 第四紀 |
| L ₁ | 低位段丘堆積物 | |
| M ₂ | 中位段丘堆積物 | 鮮新世 |
| Tos | 富岡層砂岩 | |
| Tom | 富岡層泥岩 | |
| Kb | 久保間層 | |
| G | 花崗岩類 | 白亜紀 |
| Wa | 割山層 | 時代未詳 |

まとめ【相馬断層】



相馬断層に関する調査地点

平場地点
大平西地点
鷲足地点
高瀬地点
坂元地点
沢口地点
狼沢地点
赤柴地点
払川地点

■文献により相馬断層が示されている付近は、中新統及び鮮新統の撓曲構造により特徴付けられ、活断層詳細デジタルマップ(2002)による推定活断層及び空中写真判読によるリニアメントは、上記の撓曲部に位置している。

■上記を踏まえ、左記の9地点について、リニアメントの成因および撓曲構造と地形面の関係について検討を行った。

■相馬断層については、多数の地点でリニアメントは岩質の差を反映した侵食地形であると判断されること、撓曲構造に対応して分布する中位から高位の地形面に変位・変形が及んでいないことが確認されたことから、後期更新世以降の活動はないと判断する。

双葉断層及び相馬断層の評価



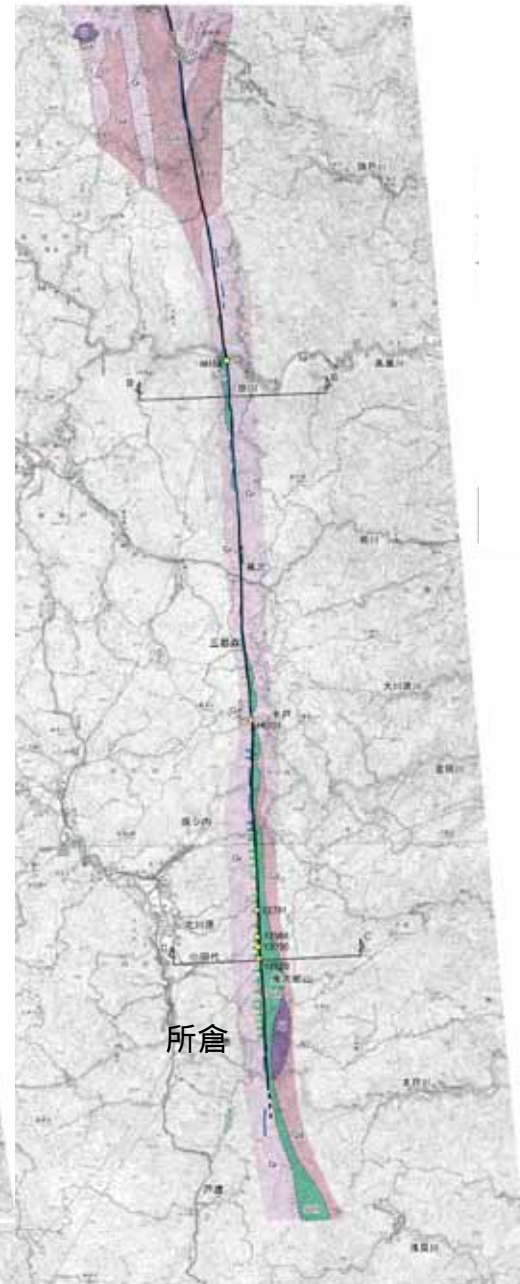
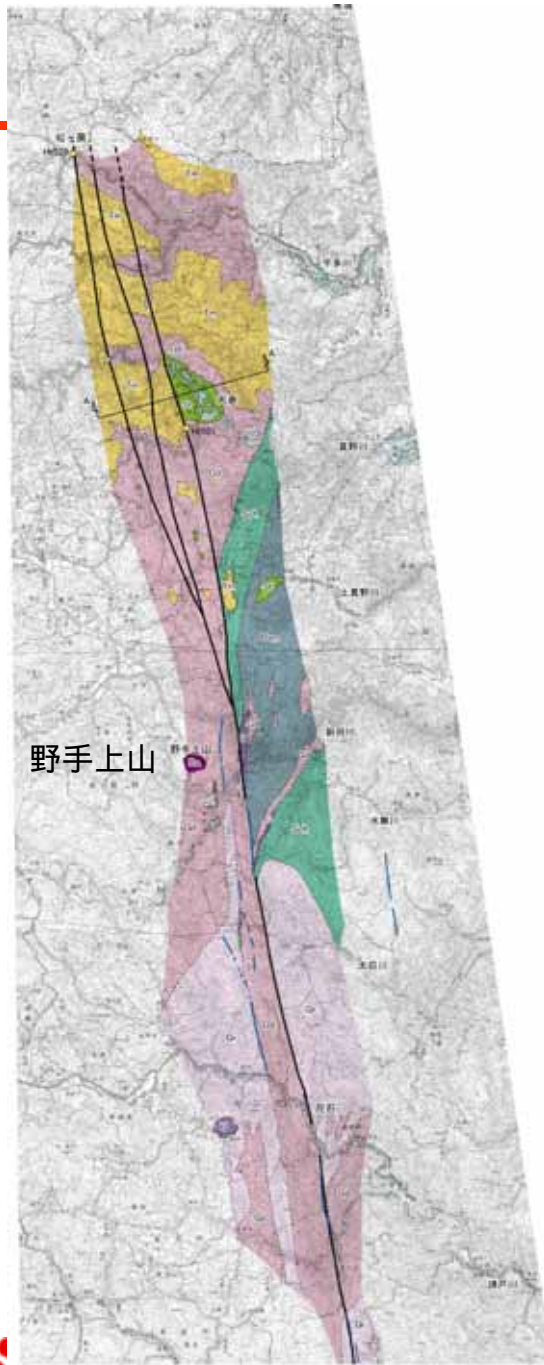
双葉断層及び相馬断層の評価

■双葉断層については、M1'段丘堆積物に断層による変位・変形が及んでいないことが確認された島田地点から、M2段丘堆積物に変位・変形が及んでいないことが確認された馬場地点までの約37kmについて活動性を考慮する。

■相馬断層については、多数の地点でリニアメントは岩質の差を反映した侵食地形であると判断されること、撓曲構造に対応して分布する中位から高位の地形面に変位・変形が及んでいないことが確認されたことから、後期更新世以降の活動はないと判断する。

-
- 1 . 敷地周辺陸域の地質・地質構造(概要)
 - 2 . 双葉断層
 - 2 . 1 北端の評価(島田地点)
 - 2 . 2 南端の評価(馬場地点)
 - 3 . 地震本部が示す双葉断層北部(相馬断層)
 - 4 . 畑川断層
 - 5 . 大坂 - 芦沢リニアメント
 - 6 . 海域の断層評価

畑川断層の概要



地表地質調査結果

・畑川断層は、双葉断層の西方約7km～9kmの阿武隈山地内をN10°W方向に連続する幅の広い破碎帯である。

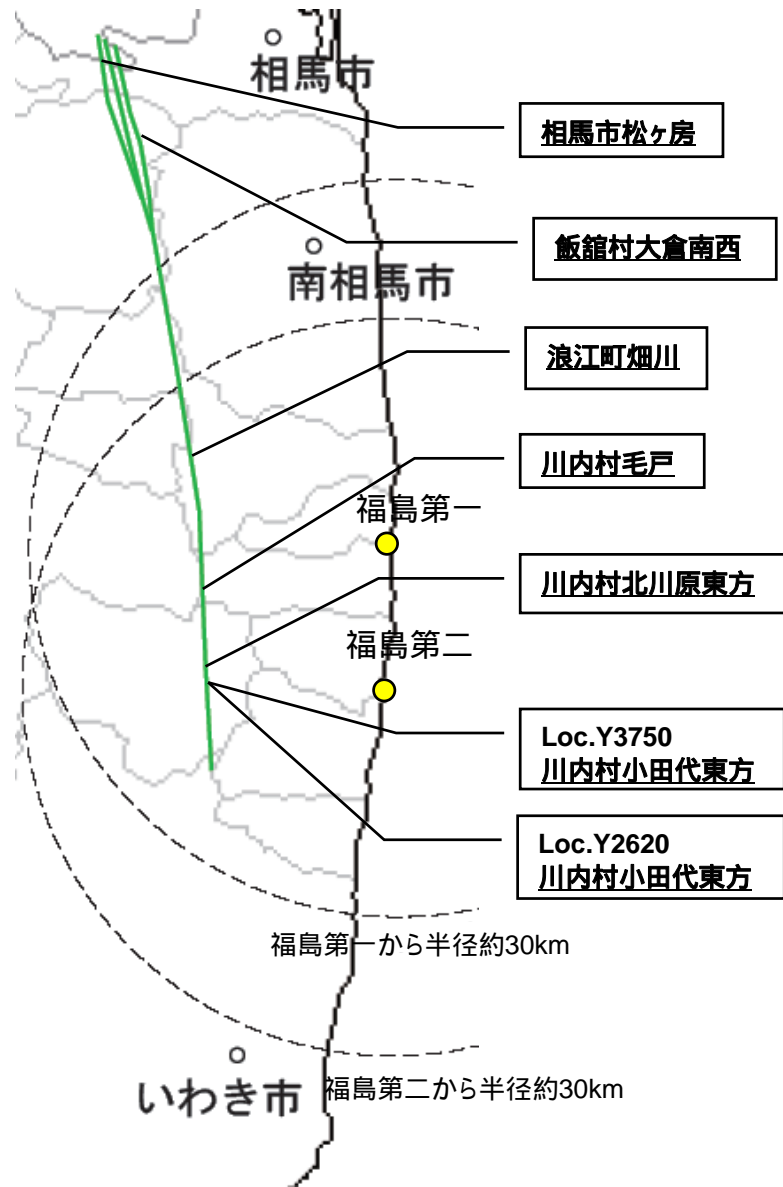
・野手上山以南、所倉東方に至る間では断層は一条であり、花崗岩類と変成岩類との境界あるいは花崗岩類内に連続する。

・野手山以北では断層が3条に分岐し、名取層群の塩手層及び天明山層に変位を与えている。

凡 例			
第四紀	td	段丘堆積物	
新生代	野手上山玄武岩		
	Tm	天明山層	
	S	塩手層	
中生代	白堊紀	Gr	花崗岩
		Gd	花崗閃緑岩
		U	塩基性～超塩基性岩類
古生代	ペルム紀～デボン紀	Pam	相馬古生層
		Sch	変成岩類



まとめ【畑川断層】



畑川断層の評価

- ・野手上山付近以北では3条の断層が認められるが、露頭では断層破碎部は固結している。

- ・野手上山付近から毛戸付近に至る間の断層露頭では、軟質部が認められるものの、鏡肌を伴う鱗片状組織等の明瞭な破碎組織が認められないことから地表水により軟質化したと推定される。(参考資料)

- ・毛戸以南における断層露頭では、断層面は癒着し、断層破碎部は固結しており、約5万年前の崖錘堆積物及びそれより古いと推定される崖錘堆積物に変位・変形を与えていない。(参考資料)

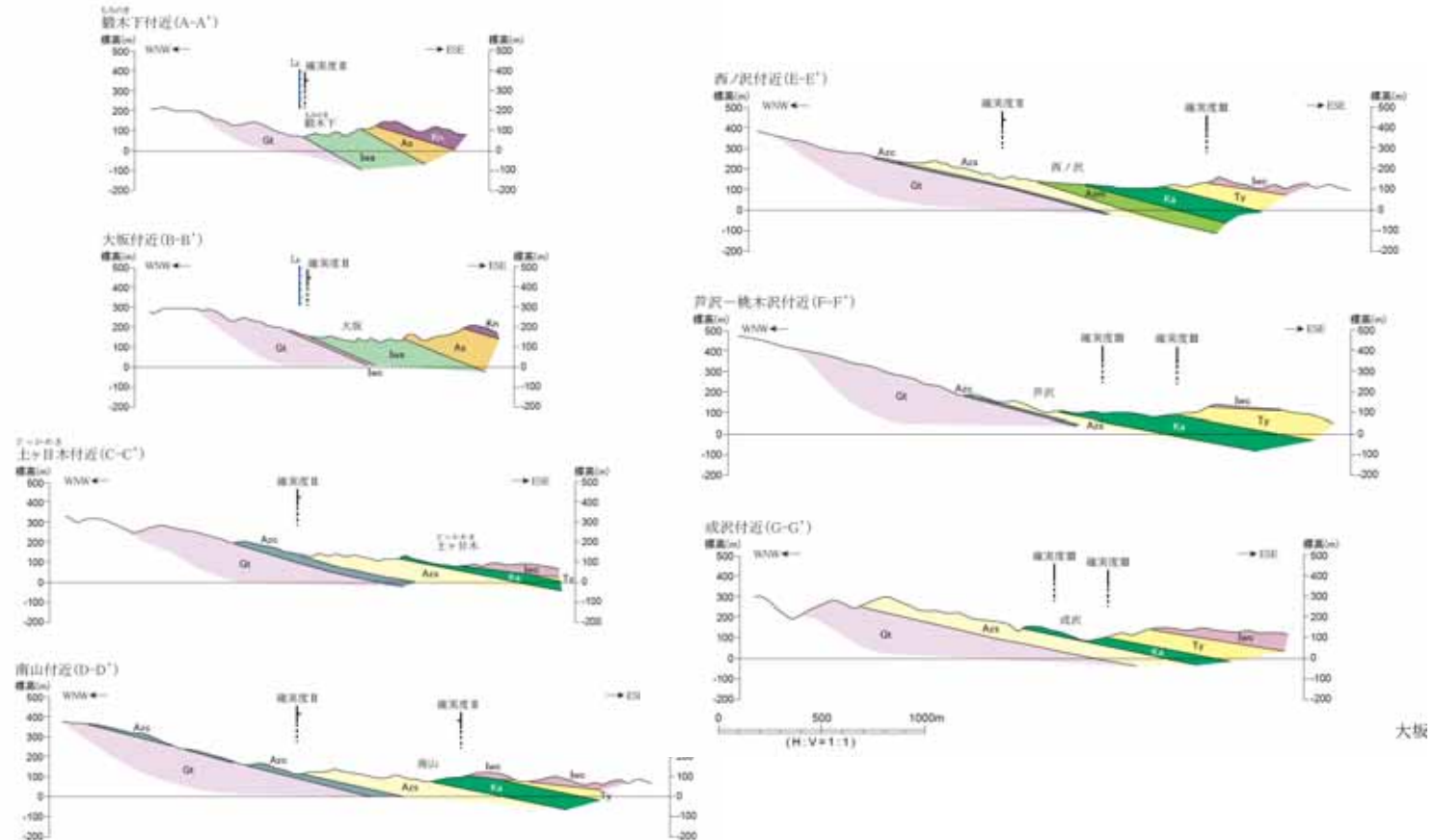
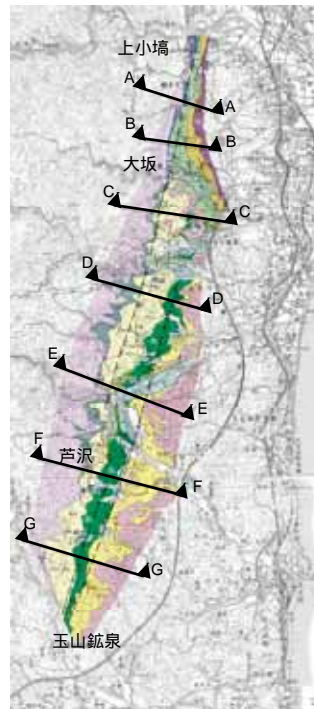
- ・断層破碎部の分析結果から、活断層の特徴と矛盾する結果が確認された。(参考資料)



畑川断層の後期更新世以降における活動はなかったと判断される。

-
- 1 . 敷地周辺陸域の地質・地質構造(概要)
 - 2 . 双葉断層
 - 2 . 1 北端の評価(島田地点)
 - 2 . 2 南端の評価(馬場地点)
 - 3 . 地震本部が示す双葉断層北部(相馬断層)
 - 4 . 畑川断層
 - 5 . 大坂 - 芦沢リニアメント
 - 6 . 海域の断層評価

大坂 - 芦沢リニアメント周辺の地質断面図



地表地質調査結果

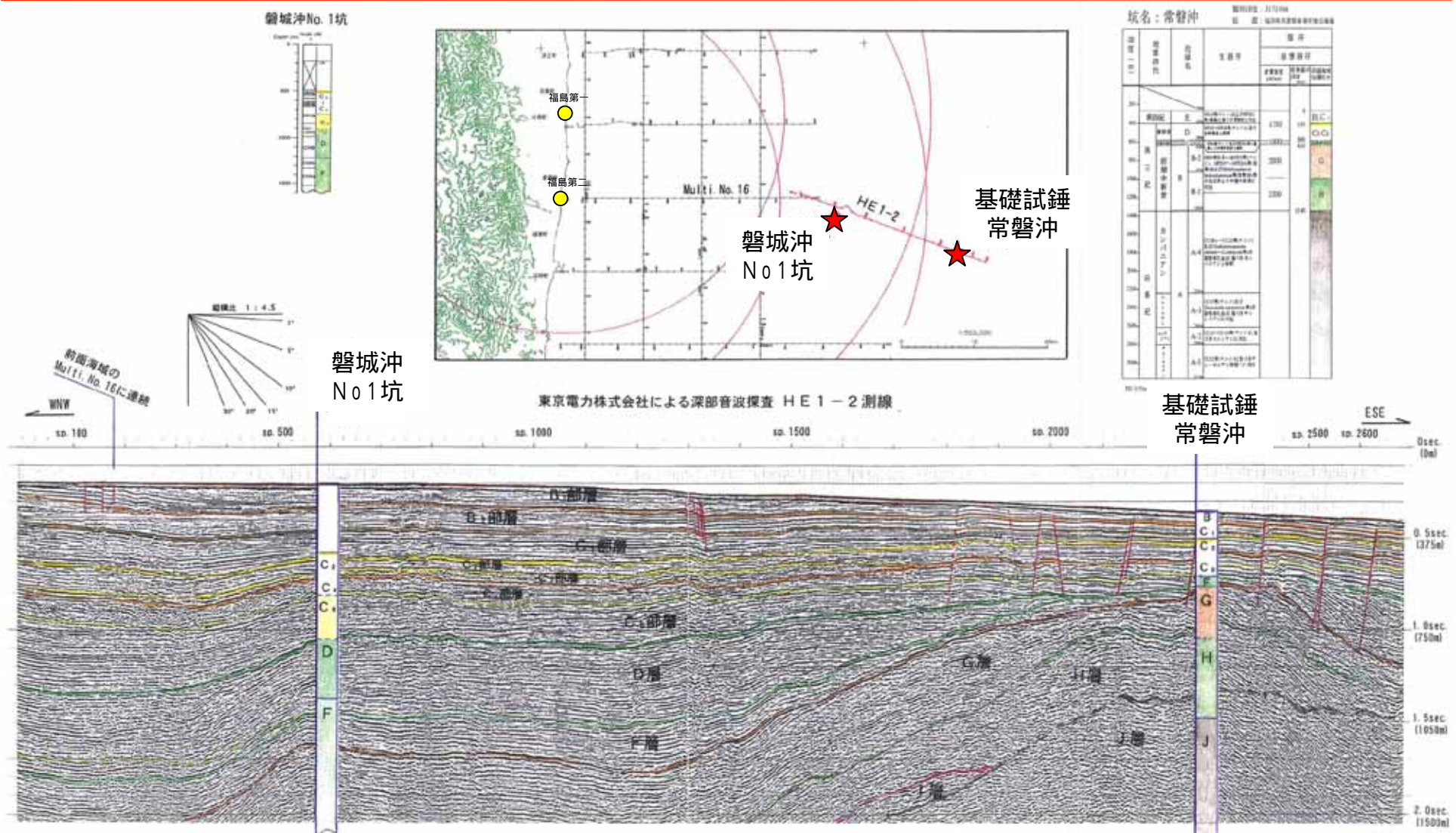
- ・大坂-芦沢リニアメントは、西側の古生層及び花崗岩類と東側の白水層群石城層との岩相境界に対応している。
- ・日本の活断層の示す2条の断層は西側のものは花崗岩類と足沢層との境界付近、足沢層と笠松層との境界付近に対応し、東側のものは、笠松層と玉山層あるいは石城層との境界付近に対応する。
- ・石城層は古生層及び花崗岩類を不整合で覆い、 $20^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 東傾斜の同斜構造を示す。
- ・大坂以南では、足沢層、笠松層、玉山層、石城層が分布しているが、いずれも $10^{\circ} \sim 20^{\circ}$ 東傾斜の同斜構造を示し、断層、撓曲構造は認められない。



大坂-芦沢リニアメントに対応する断層は存在せず、両側の岩質の差を反映した侵食地形と判断される。

-
- 1 . 敷地周辺陸域の地質・地質構造(概要)
 - 2 . 双葉断層
 - 2 . 1 北端の評価(島田地点)
 - 2 . 2 南端の評価(馬場地点)
 - 3 . 地震本部が示す双葉断層北部(相馬断層)
 - 4 . 畑川断層
 - 5 . 大坂 - 芦沢リニアメント
 - 6 . 海域の断層評価

敷地周辺海域の地質層序



■旧石油公団等による基礎試錘(常磐沖:掘削深度3170m,相馬沖:掘削深度3500m)と音波探査記録の対比を行い層序を検討

敷地周辺海域の地質層序

地質時代		敷地周辺陸域の地質区分		敷地周辺海域の地質区分		
第四紀	完新世	沖積層		A層		
	更新世	後期	段丘堆積物		Q層	
		中期	[縦線パターン]			
		前期				
新第三紀	鮮新世	後期	上部	富岡層	B層 C層	
		前期	下部	久保間層		
	中新世	後期	多賀層群	上部		南磯脇層
		中期	下部	注1)		
		前期	高久層群			D層
			白土層群			
湯長谷層群		E層				
		F層				
		G層				
		H層				
古第三紀	漸新世	後期	白水層群		I層	
		前期				
	始新世	後期	[縦線パターン]			
		前期				
	暁新世					
後期白亜紀		双葉層群		J層		

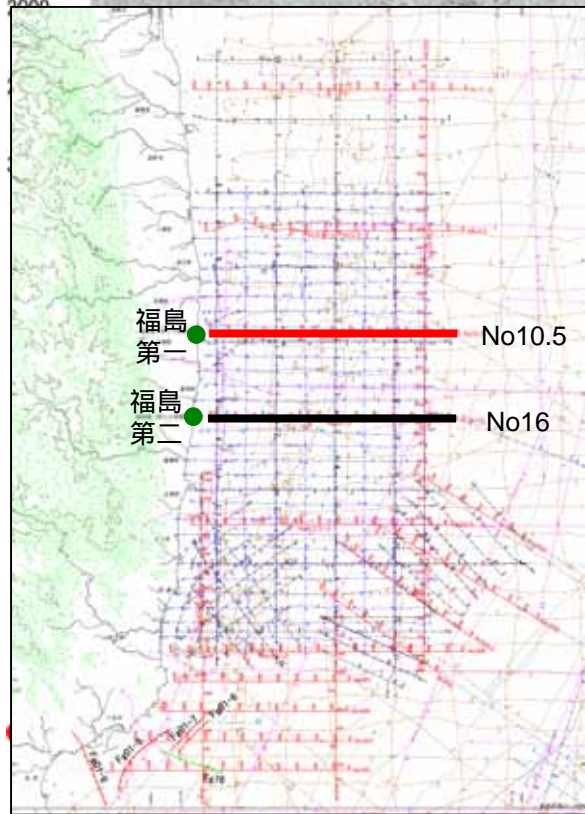
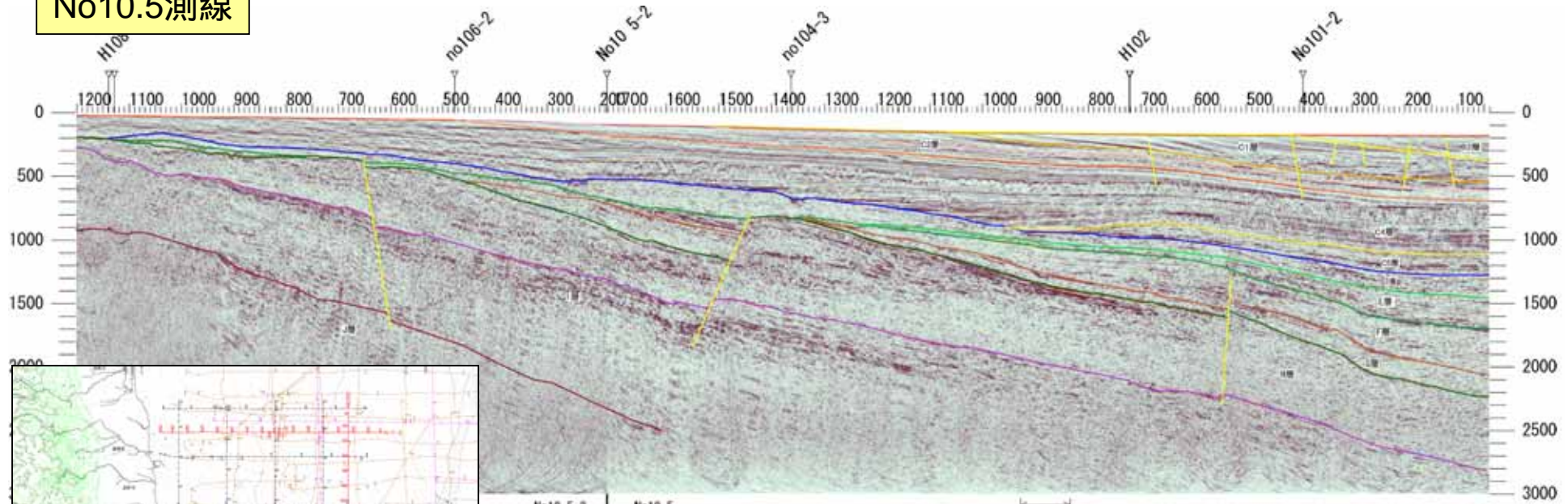
注1) 多賀層群下部は、柳沢ほか(1989)により調査地域の地下に存在することが確認されている。

————— 整合 ~~~~~ 不整合

各地層区分は旧石油公団による資料(基礎試錘「相馬沖」,「常磐沖」等)の解析,ドレッジ等により採取した試料の岩相及びその微化石分析結果等により対比

敷地前面海域の活断層評価

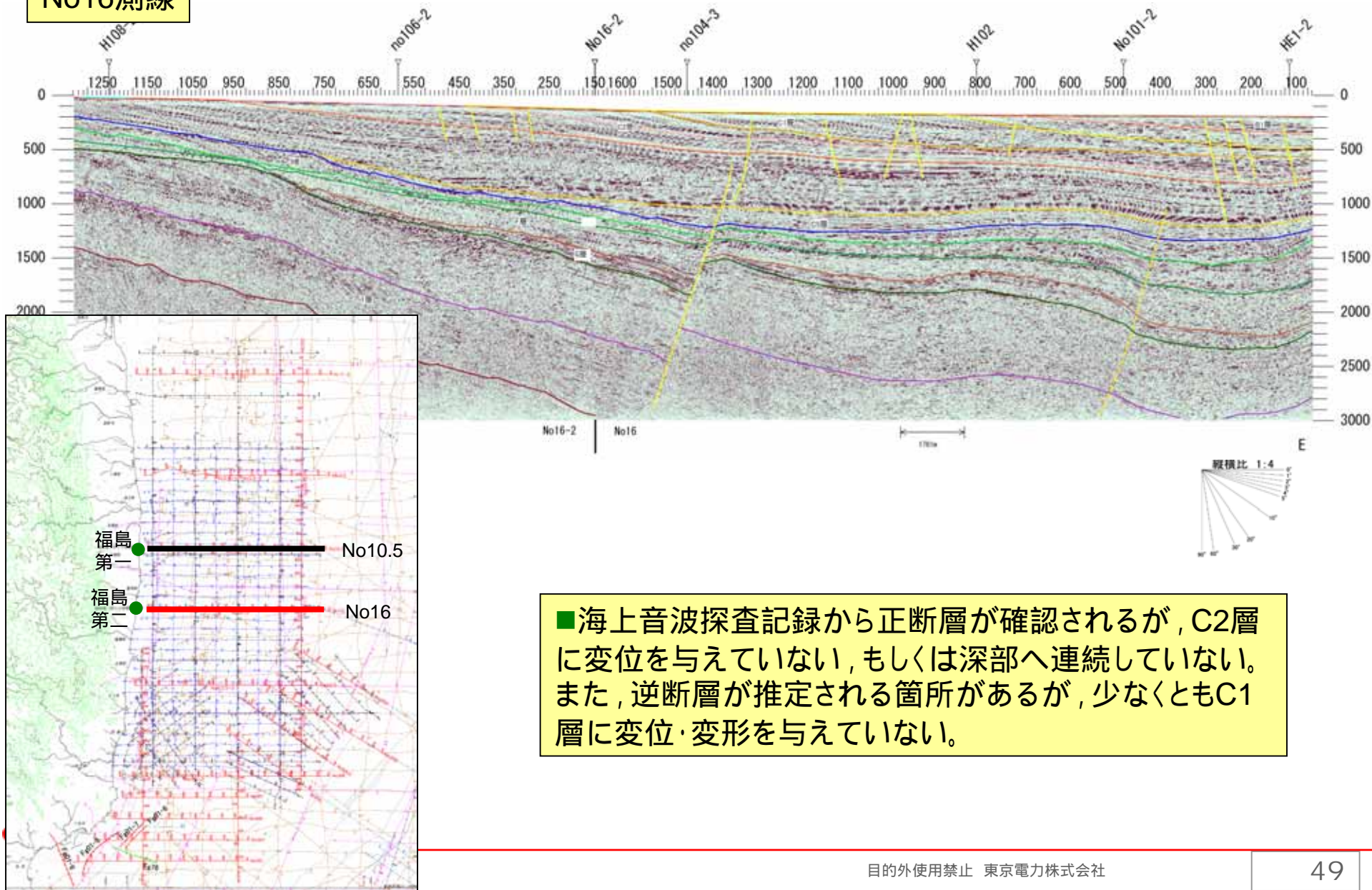
No10.5測線



■海上音波探査記録から正断層が確認されるが、C層に変位を与えていない、もしくは深部へ連続していない。

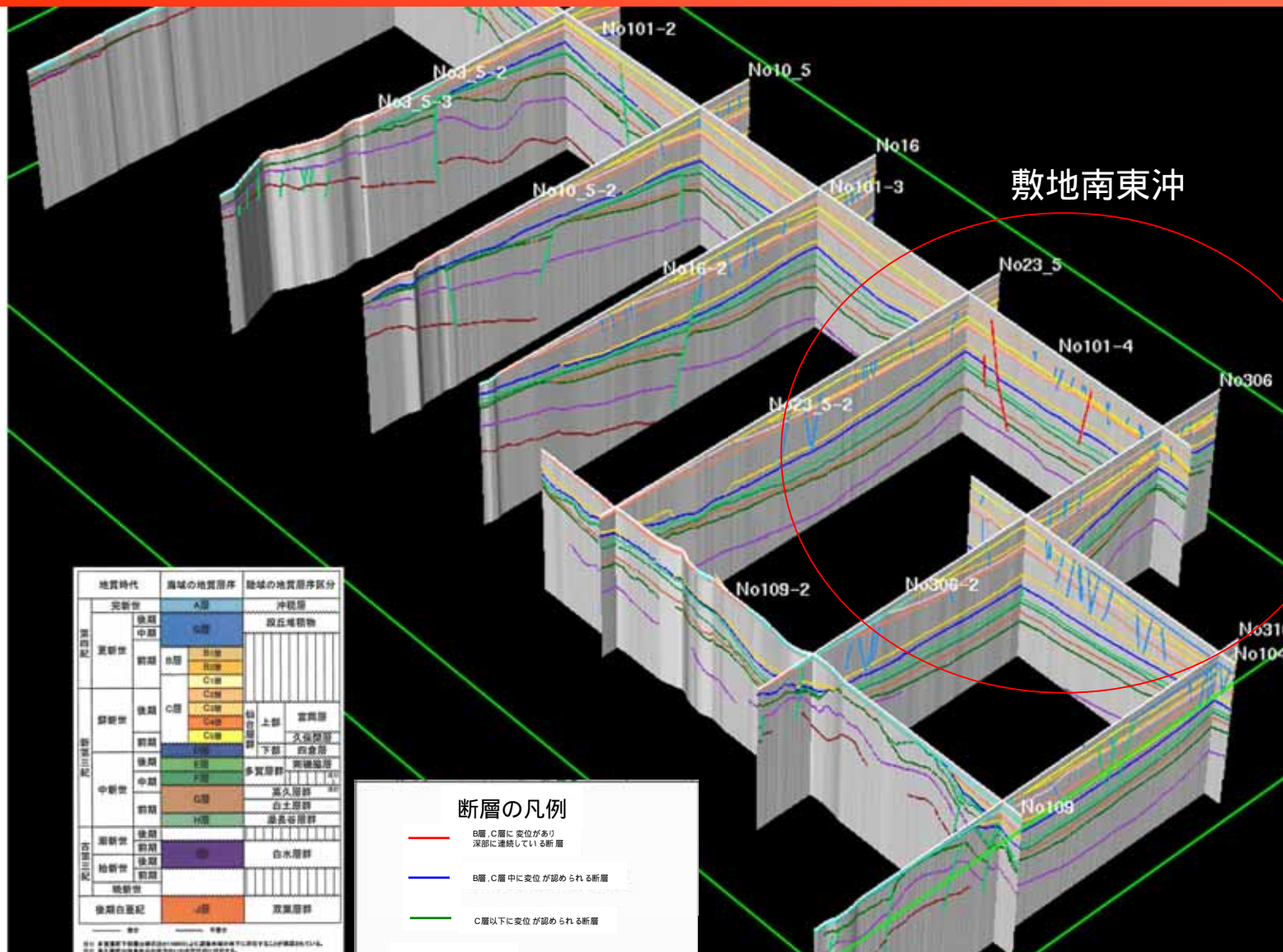
敷地前面海域の活断層評価

No16測線



■ 海上音波探査記録から正断層が確認されるが、C2層に変位を与えていない、もしくは深部へ連続していない。また、逆断層が推定される箇所があるが、少なくともC1層に変位・変形を与えていない。

断層の3次元分布

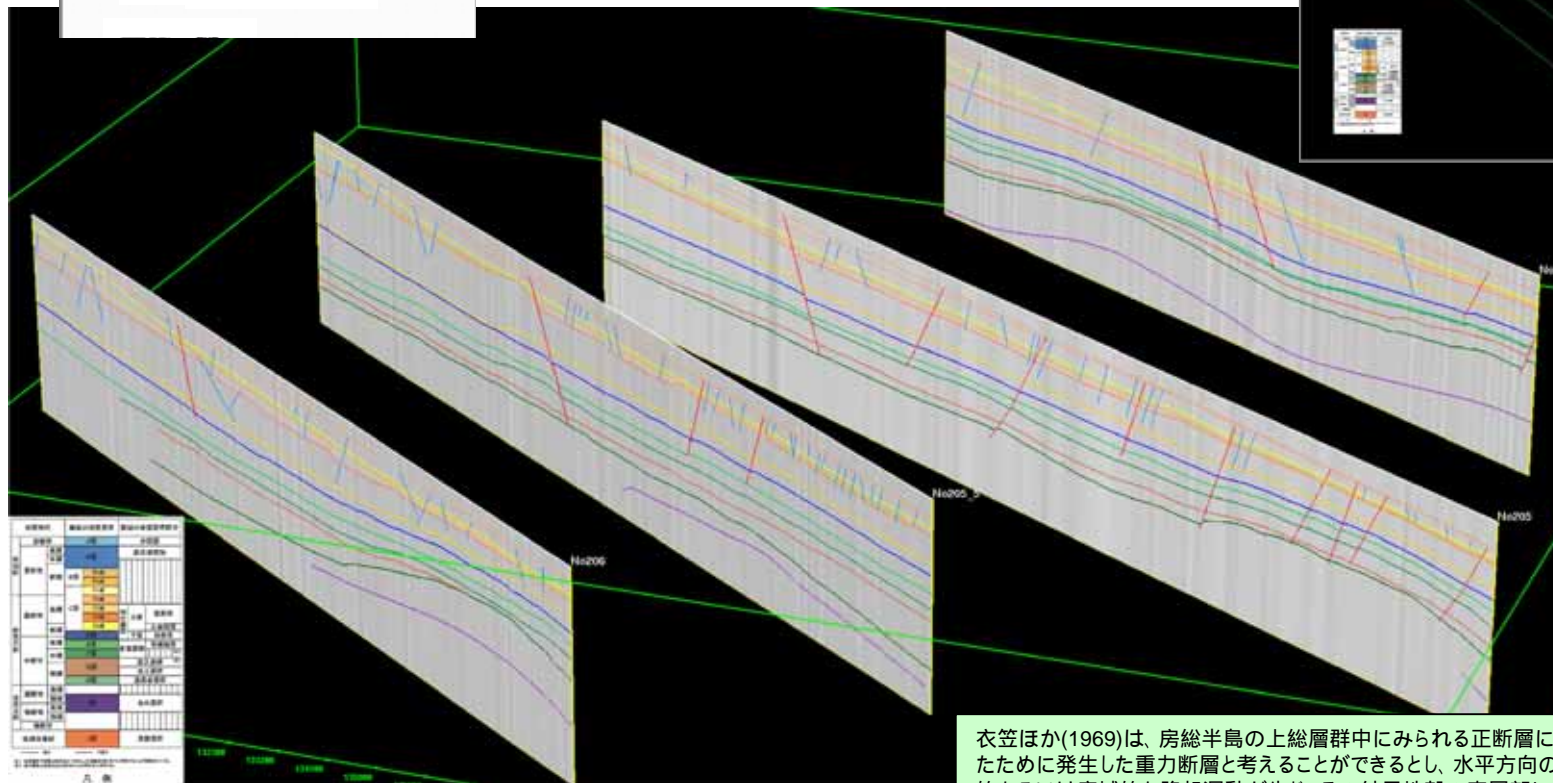
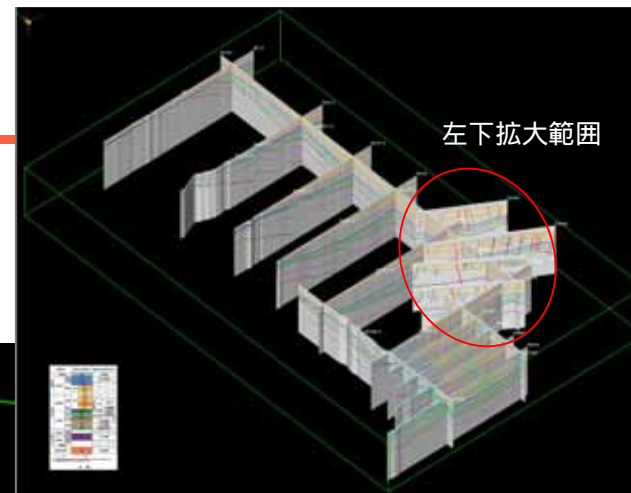


■敷地南東海域はC層基底が盆地状を呈し、C層が厚く堆積していることから、B、C層のみに変位が認められる多数の正断層の成因の一つとして、C層の圧密沈下によるものが推定される。

断層の3次元分布

断層の凡例

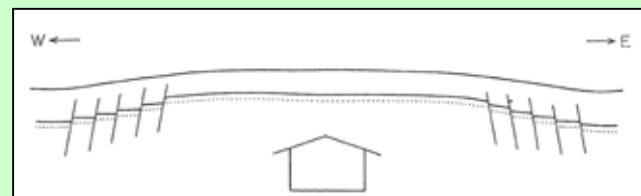
- B層、C層に変位があり、深部に連続している断層
- B層、C層中に変位が認められる断層
- C層以下に変位が認められる断層



地質時代	海域の地質層序	陸域の地質層序区分
新第三紀	更新世	A層 沖積層
	中世	B層 段丘堆積物
	前期	B1層 B2層 C1層
第四紀	後期	C層 上部 富岡層
	前期	C1層 下部 久米原層
	後期	D層 多賀層群 荒巻層群
中新世	中期	E層 富久層群
	前期	F層 吉土層群 湯長谷層群
古新世	後期	G層 吉水層群
	前期	H層
第三紀	前期	I層
後期白堊紀	J層	双葉層群

- B、C層に変位があり、深部へも連続する正断層はC層以深の緩やかな背斜・向斜構造に対応して分布。
- 圧縮応力場における上記構造の成長によって生じた局所的な引張によって生じた可能性が考えられる。

衣笠ほか(1969)は、房総半島の上総層群中にみられる正断層について、水平方向の引張力が働いたために発生した重力断層と考えることができるとし、水平方向の圧力を小さくした理由として、局所のあるいは広域的な隆起運動が生じ、その結果地殻の表層部に伸長が起こり、水平方向の圧力の大きさが減少したものとしている。



衣笠ほか(1969)より抜粋

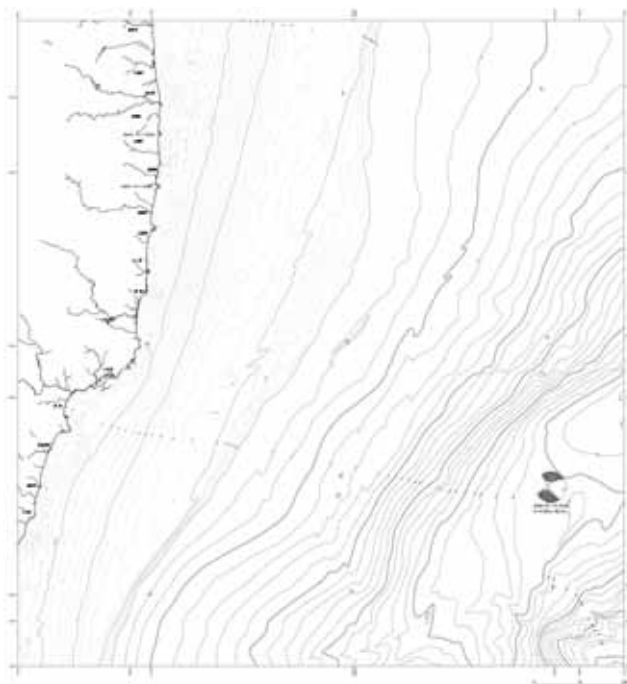
地震のメカニズム解

地震発生時刻	緯度(N)	経度(E)	震源情報の深さ(km)	マグニチュード(Mj)
2004/01/14,16:50	36.7	142.0	19.56	3.8
2004/01/13,08:38	36.7	142.0	15.73	3.5

()震源深さについては気象庁地震カタログによる

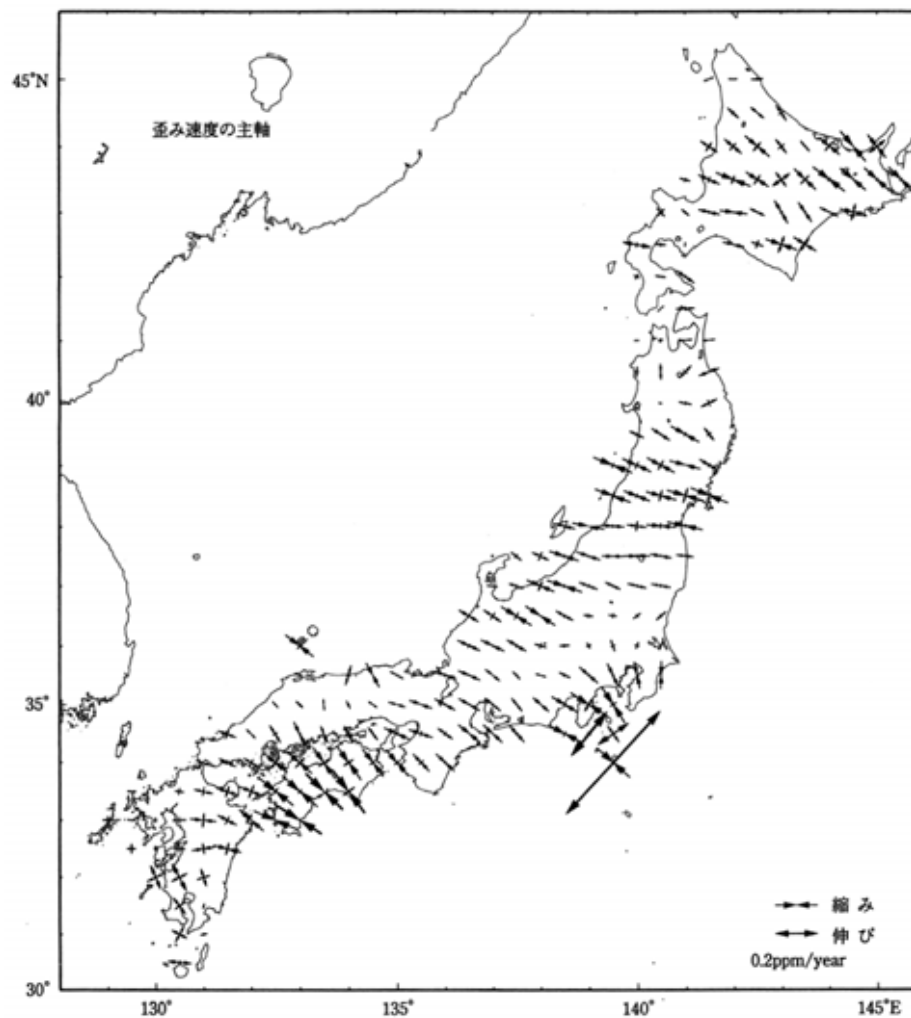
・F-netを用いて右記条件により地震を検索
 ・そのうち気象庁地震カタログの震源深さ20km以浅の地震を抽出

1998/10/1 ~ 2009/4/7
 緯度:36.5 ~ 37.5
 経度:141 ~ 142
 深さ:0 ~ 30km
 マグニチュード(Mj):3.5 ~ 9
 震源地:FUKUSHIMA



■ F-netのデータに基づき、地震のメカニズム解について検討。
 ■ 内陸地殻内地震に該当する20km以浅のデータは2例しかなく、実地震に基づく精度良い検討はできないものの、少なくとも正断層による地震ではない。

GPSによる歪み速度の主軸



Sagiya et al., 2000
「日本海東縁の活断層と地震テクトニクス」から抜粋

■陸域ではSagiya et al.2000によれば、福島県の沿岸周辺は、東西圧縮となっている。このような圧縮応力場においては正断層は大規模な地震を発生させないと判断する。

まとめ【海域の断層】

■敷地周辺海域の地質層序

・旧石油公団の行った基礎試錘(常磐沖(3170m), 相馬沖(3500m))等との対比を行い, 地質層序の検討を行った。

■敷地前面海域及び南東沖海域の活断層評価

・敷地周辺海域には多数正断層が認められるが, 大部分の断層は, 断層上方延長部のB層(前期更新世), C層(前期更新世～前期鮮新世)内で消滅している。断層のうち少数は海底面もしくは海底面付近に変位を与えているが, 深部へ連続しておらず, 耐震設計上考慮すべき活断層ではない。また, 深部への連続が不明瞭な断層についても正断層の形態を示しており, 現在の応力場において地震を発生させることはないと判断した。

■海域の断層の成因

・敷地南東海域はC層基底が盆地状を呈し, C層が厚く堆積していることから, B, C層のみに変位が認められる多数の正断層の成因の一つとして, C層の圧密沈下によるものが推定される。

・B, C層に変位があり, 深部へも連続する正断層はC層以深の緩やかな背斜・向斜構造に対応して分布しており, 圧縮応力場における上記構造の成長によって生じた局所的な引張によって生じた可能性が考えられる。

敷地周辺の地質・地質構造評価のまとめ

■双葉断層

・双葉断層については、M1'段丘堆積物に断層による変位・変形が及んでいないことが確認された島田地点から、M2段丘堆積物に変位・変形が及んでいないことが確認された馬場地点までの約37kmについて活動性を考慮する。

■相馬断層

・相馬断層については、多数の地点でリニアメントは岩質の差を反映した侵食地形であると判断されること、撓曲構造に対応して分布する中位から高位の地形面に変位・変形が及んでいないことが確認されたことから、後期更新世以降の活動はないと判断する。

■畑川断層

・野手上山付近から毛戸付近に至る間の断層露頭では、軟質部が認められるものの、鏡肌を伴う鱗片状組織等の破碎組織が認められないことから地表水により軟質化したと推定される。

・毛戸以南における断層露頭では、断層面は癒着し、断層破碎部は固結しており、約5万年前の崖錘堆積物及びそれより古いと推定される崖錘堆積物に変位・変形を与えていない。

・以上より畑川断層の後期更新世以降における活動はなかったと判断される。

大坂 - 芦沢リニアメント

・大坂-芦沢リニアメントは、西側の古生層及び花崗岩類と東側の白水層群石城層との岩相境界に対応していることから、大坂-芦沢リニアメントに対応する断層は存在せず、両側の岩質の差を反映した侵食地形と判断される。

■海域の断層

・敷地周辺海域には多数正断層が認められるが、大部分の断層は、断層上方延長部のB層(前期更新世)、C層(前期更新世～前期鮮新世)内で消滅している。断層のうち少数は海底面もしくは海底面付近に変位を与えているが、深部へ連続しておらず、耐震設計上考慮すべき活断層ではない。また、深部への連続が不明瞭な断層についても正断層の形態を示しており、現在の応力場において地震を発生させることはないと判断される。

・基準地震動 S_s の策定について

1 . 検討用地震の選定

以下に示す地震種別毎に，敷地に及ぼす影響の比較を行い検討用地震を選定する。

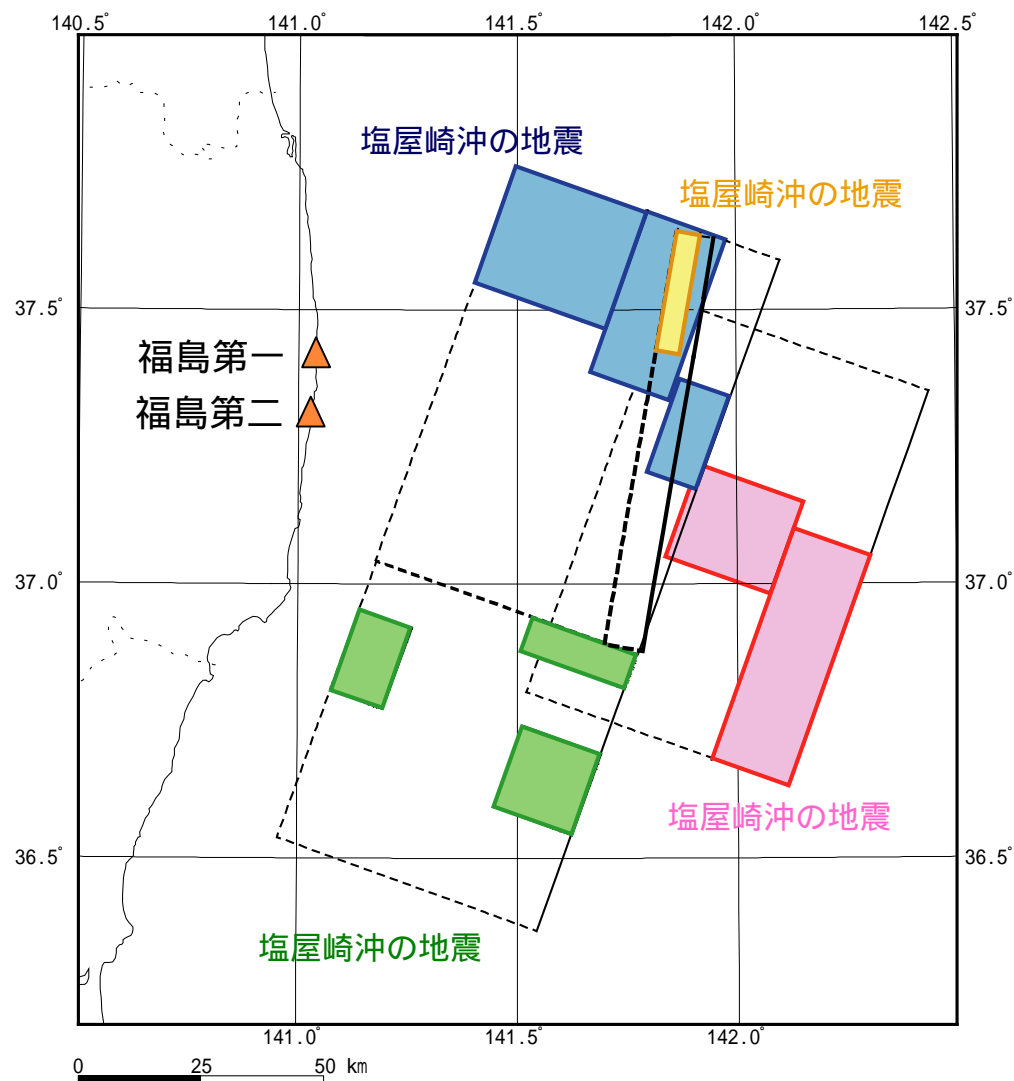
- a)プレート間地震
- b)内陸地殻内地震
- c)海洋プレート内地震

a)プレート間地震

敷地へ最も影響を与えるプレート間地震として、敷地前面のプレート境界付近で発生した1938年塩屋崎沖地震群を選定。

地震	M	等価震源距離 Xeq(km)	
		1 F	2 F
塩屋崎沖の地震	7.0	92	84
塩屋崎沖の地震	7.5	102	98
塩屋崎沖の地震	7.3	73	75
塩屋崎沖の地震	7.4	98	98

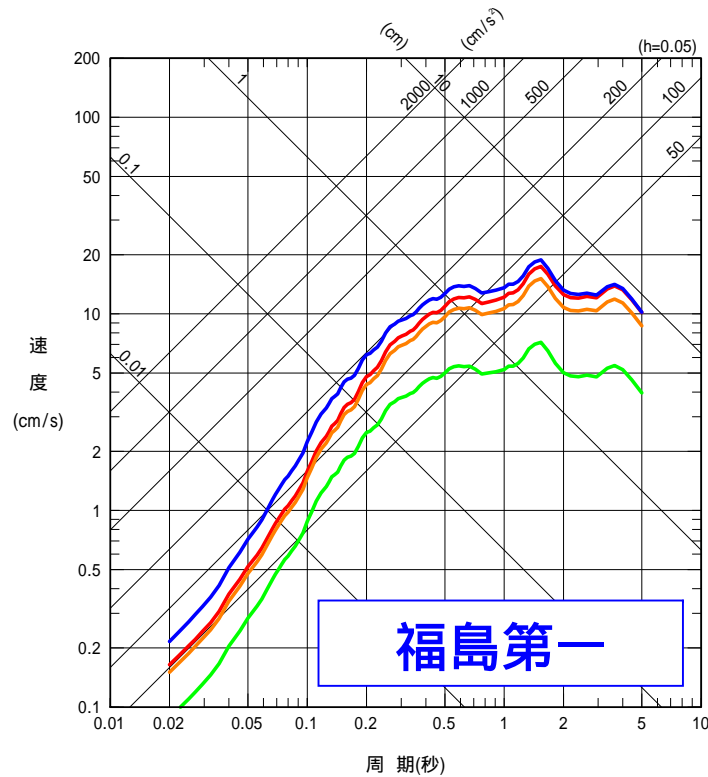
地震規模Mは、気象庁地震カタログによる。
等価震源距離Xeqは、池田ほか(2008)による
1938年塩屋崎沖地震群の特性化震源モデルに
基づき算定。



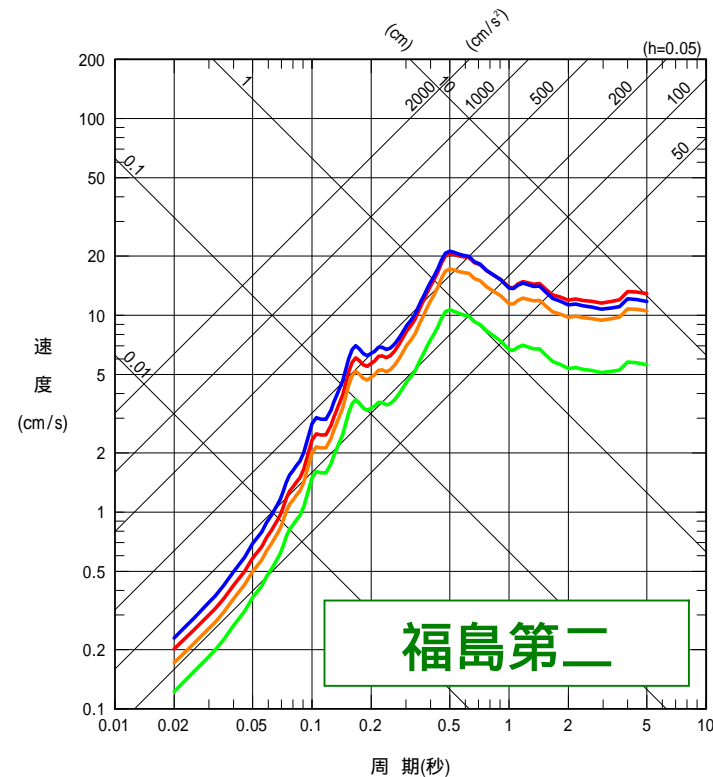
a)プレート間地震

応答スペクトルに基づく手法【耐専スペクトル：Noda et al.(2002)】により，福島第一・福島第二サイトにおけるプレート間地震の検討用地震として塩屋崎沖の地震（M7.5）及び塩屋崎沖の地震（M7.3）を選定。

- 塩屋崎沖の地震 (M7.0, Xeq = 92km)
- 塩屋崎沖の地震 (M7.5, Xeq = 102km)
- 塩屋崎沖の地震 (M7.3, Xeq = 73km)
- 塩屋崎沖の地震 (M7.4, Xeq = 98km)



- 塩屋崎沖の地震 (M7.0, Xeq = 84km)
- 塩屋崎沖の地震 (M7.5, Xeq = 98km)
- 塩屋崎沖の地震 (M7.3, Xeq = 75km)
- 塩屋崎沖の地震 (M7.4, Xeq = 98km)



b)内陸地殻内地震

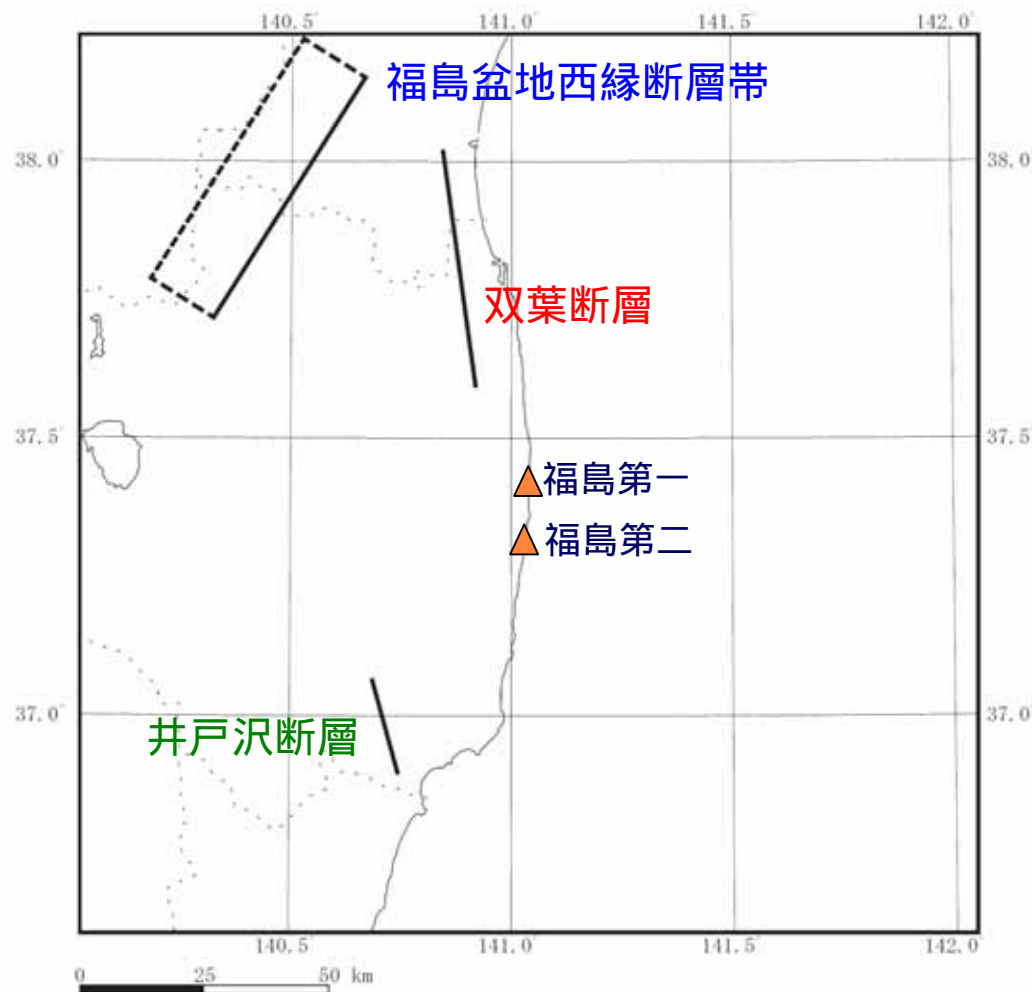
地質調査結果に基づき，敷地への影響が考えられる内陸地殻内地震として以下に示す3地震を考慮する。

地震	M	L (km)	等価震源距離 Xeq(km)	
			1 F	2 F
双葉断層 による地震	7.6	47.5	43	55
福島盆地西縁断層 帯による地震	7.8	57	80	89
井戸沢断層 による地震	7.0	19.5	57	46

地震規模Mは，断層長さより松田（1975）に基づき算定。
等価震源距離Xeqは，強震動予測レシピにしたがいアスペリティを断層中央上端に設定した断層モデルに基づき算定。

双葉断層の長さは，中間報告以降の追加調査を踏まえ，断層長さ37kmと評価。ただし，中間報告では，相馬断層を含めた断層長さ47.5kmで地震動評価を実施。

断層長さ見直しの前後で，地震動評価結果に大きな差はみられないことを確認。



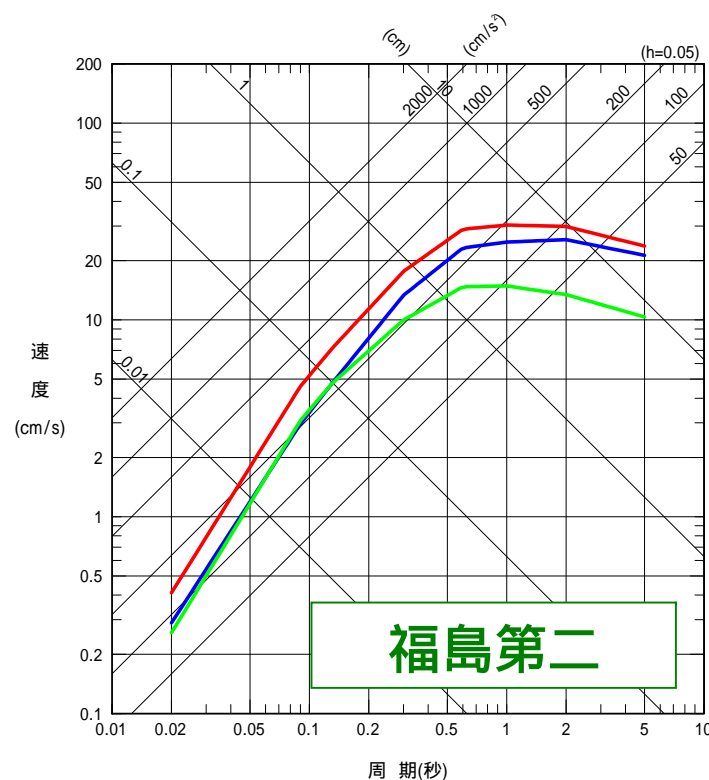
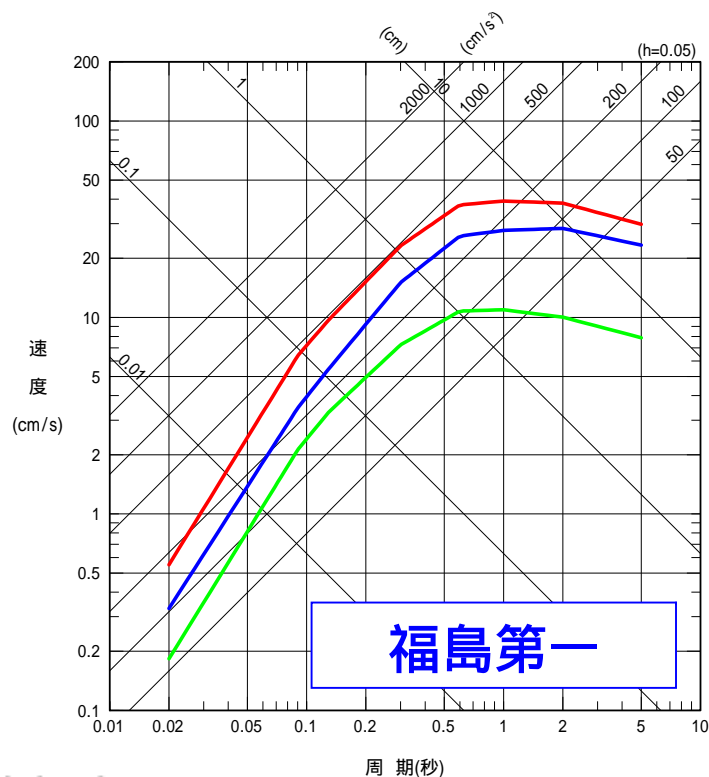
b)内陸地殻内地震

耐専スペクトルにより，福島第一・福島第二サイトにおける内陸地殻内地震の検討用地震として**双葉断層による地震 (M7.6)** を選定。

敷地周辺で発生した内陸地殻内地震の観測記録が得られていないことから，耐専スペクトルの内陸補正係数による低減は考慮しない。

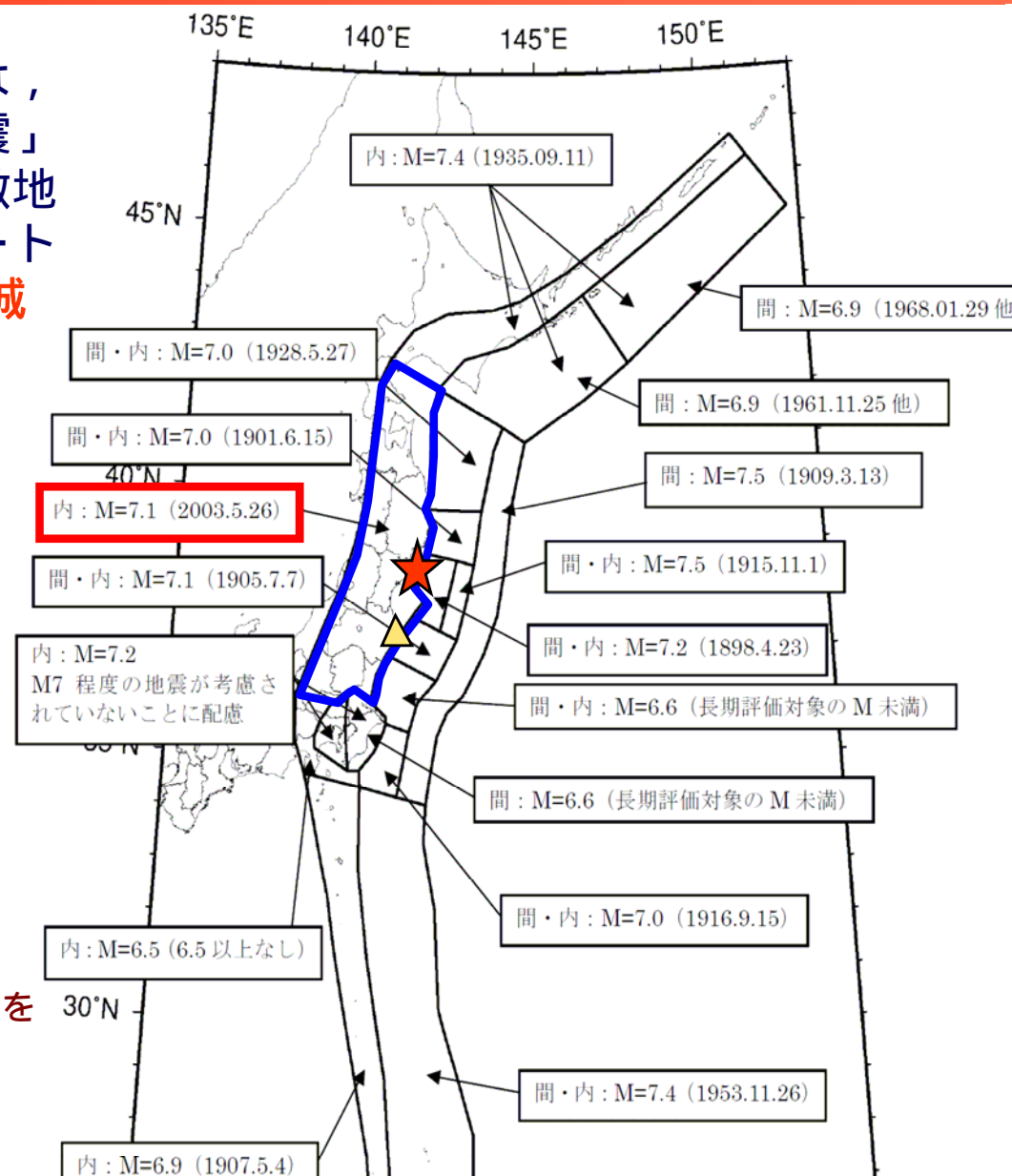
— 双葉断層による地震 (M7.6, $X_{eq} = 43\text{km}$)
— 福島盆地西縁断層帯による地震 (M7.8, $X_{eq} = 80\text{km}$)
— 井戸沢断層による地震 (M7.0, $X_{eq} = 57\text{km}$)

— 双葉断層による地震 (M7.6, $X_{eq} = 55\text{km}$)
— 福島盆地西縁断層帯による地震 (M7.8, $X_{eq} = 89\text{km}$)
— 井戸沢断層による地震 (M7.0, $X_{eq} = 46\text{km}$)



c) 海洋プレート内地震

地震調査研究推進本部（2006）は、
「震源断層を予め特定しにくい地震」
を領域震源として考慮しており、敷地
が位置する領域における海洋プレート
内地震の最大規模を、**2003年宮城
県沖の地震**の **M7.1**としている。



- ▲ : 福島第一・福島第二サイト
- ★ : 2003年宮城県沖の地震の震央

プレート間地震・海洋プレート内地震の震源断層を
予め特定しにくい地震の最大マグニチュード
間：プレート間地震 内：海洋プレート内地震
【地震調査研究推進本部(2006)に加筆】

c) 海洋プレート内地震

海洋プレート内地震の観測地震数がプレート間地震に比べ少ないことを考慮し、上記最大規模の地震を敷地下方の海洋プレート内に想定し、海洋プレート内地震の検討用地震として**想定敷地下方の地震 (M7.1)**を選定する。

地震	M	等価震源距離 Xeq(km)	
		1 F	2 F
想定敷地下方の地震	7.1	81	79

地震規模Mは、気象庁による2003年宮城県沖の地震の諸元に基づき設定。
 等価震源距離Xeqは、浅野ほか(2004)による2003年宮城県沖の地震の特性化震源モデル及び敷地下方の太平洋プレート上面深度に基づき算定。
 【次頁参照】



敷地周辺で発生した海洋プレート内地震 (M 5.5)

検討用地震の選定に関するまとめ

敷地に大きな影響を与える複数のプレート間地震及び内陸地殻内地震について、耐専スペクトルによる比較を行い、検討用地震を選定。

海洋プレート内地震については、観測地震数が少ないことを考慮して、地震調査研究推進本部による最大規模の地震を敷地の下方に想定。

分類	検討用地震	マグニチュード	等価震源距離 (km)	
			福島第一	福島第二
プレート間地震	塩屋崎沖の地震	7.5	102	98
	塩屋崎沖の地震	7.3	73	75
内陸地殻内地震	双葉断層による地震	7.6	43	55
海洋プレート内地震	想定敷地下方の地震	7.1	81	79

2 . 検討用地震の地震動評価

■ 地震動評価手法

- 応答スペクトルに基づく地震動評価
- 断層モデルを用いた手法による地震動評価

■ 検討用地震の震源モデル

- 基本震源モデル
- 不確かさを考慮したモデル

■ 地震動評価

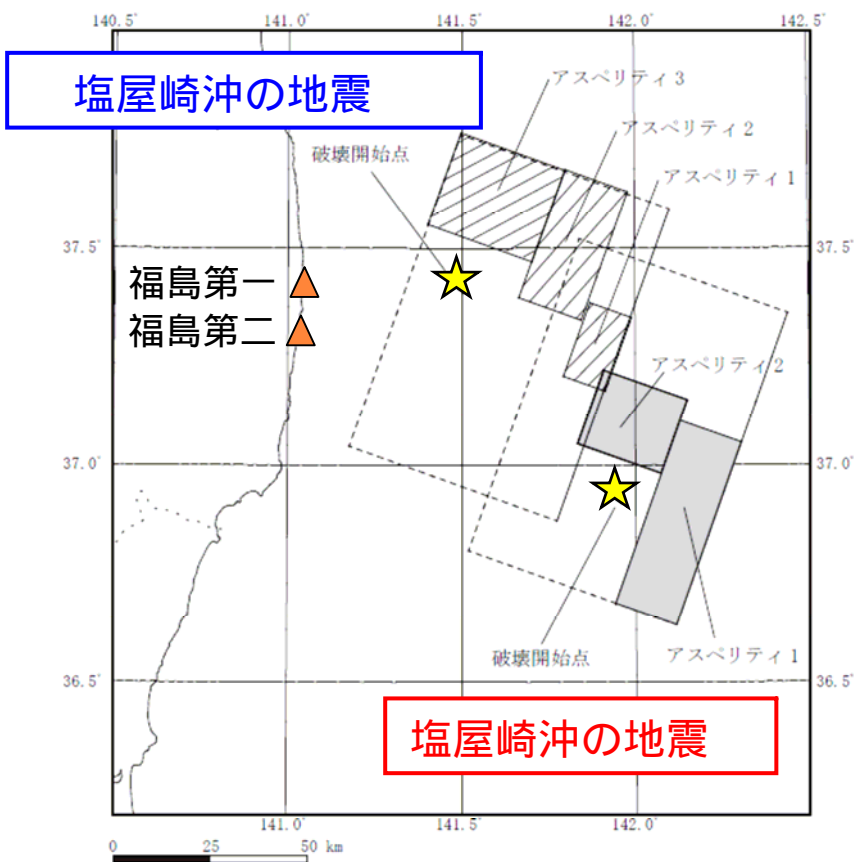
- a) プレート間地震
- b) 内陸地殻内地震
- c) 海洋プレート内地震

地震動評価手法

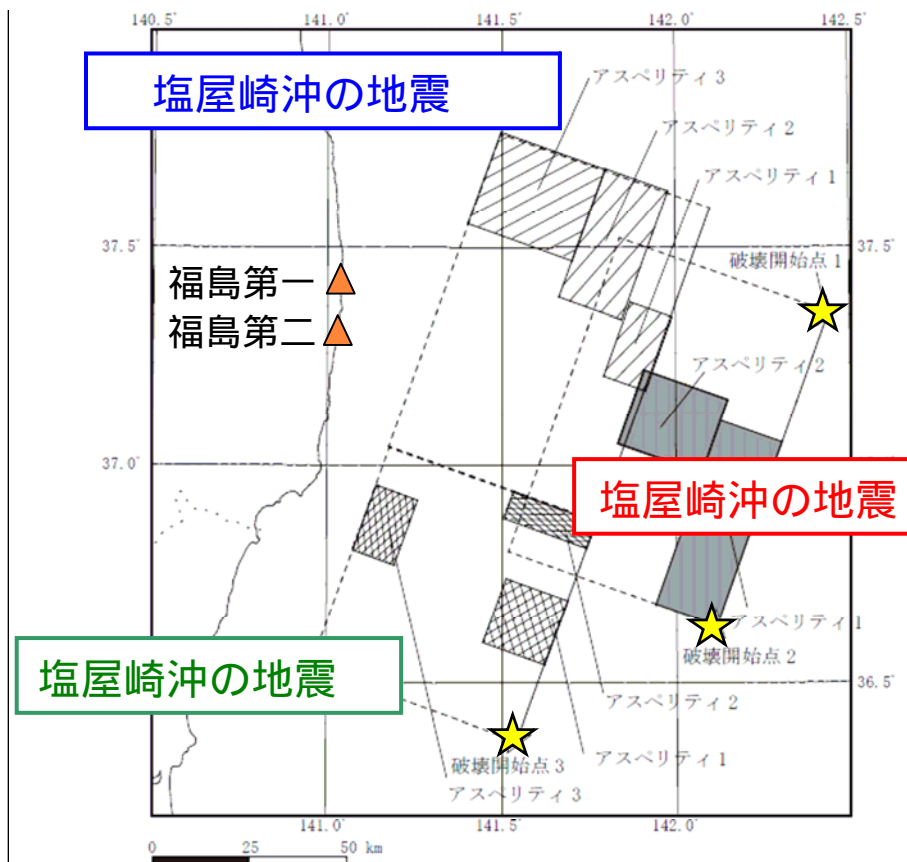
検討用地震		地震動評価手法	
地震種別	選定した地震	応答スペクトルに基づく手法	断層モデルを用いた手法
プレート間地震	塩屋崎沖の地震 塩屋崎沖の地震	耐専スペクトル	経験的グリーン関数法
内陸地殻内地震	双葉断層による地震	耐専スペクトル 大野ほか(2001) 内山・翠川(2006) 片岡ほか(2006)	ハイブリッド法 (統計的グリーン関数法 + 理論的手法)
海洋プレート内地震	想定敷地下方の地震	耐専スペクトル 内山・翠川(2006) 片岡ほか(2006)	経験的グリーン関数法

a)プレート間地震

基本震源モデル	不確かさを考慮したモデル
塩屋崎沖の地震 及び 単独	塩屋崎沖の地震 ・ ・ の同時活動 (M7.9) 及び破壊開始点



基本震源モデル

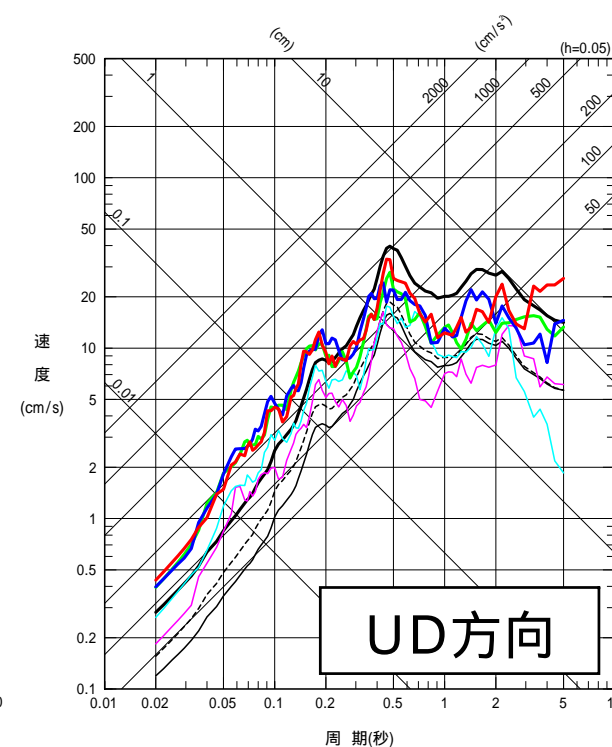
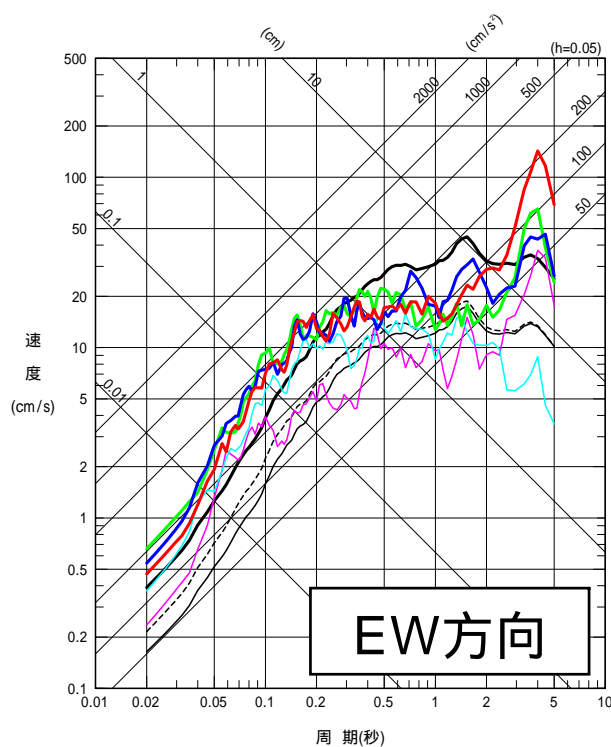
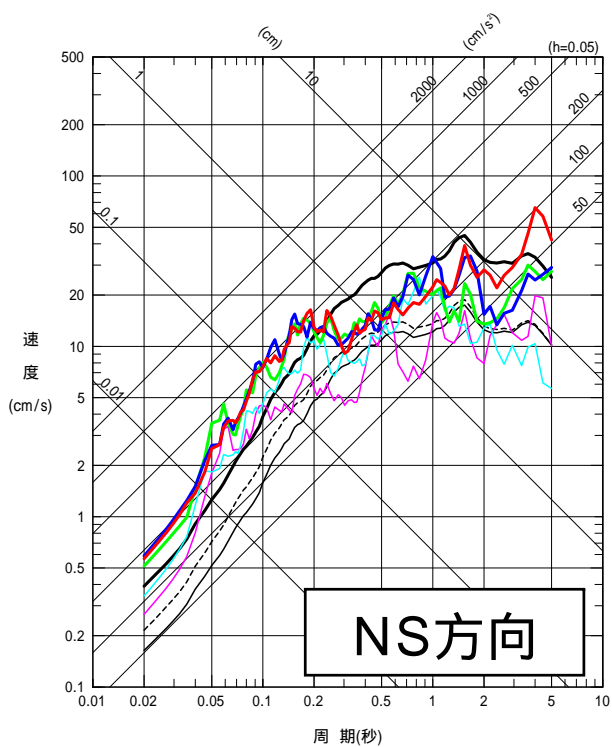


不確かさを考慮したモデル

a) プレート間地震

地震動評価結果（福島第一）

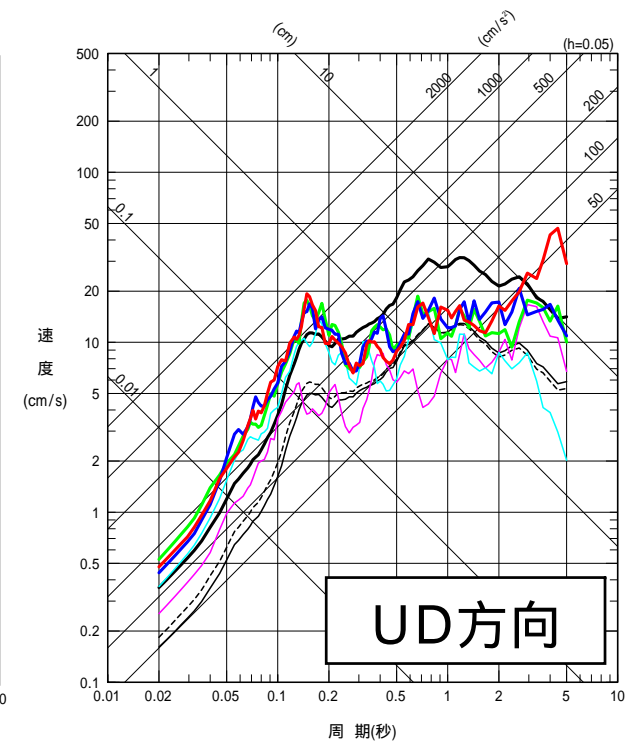
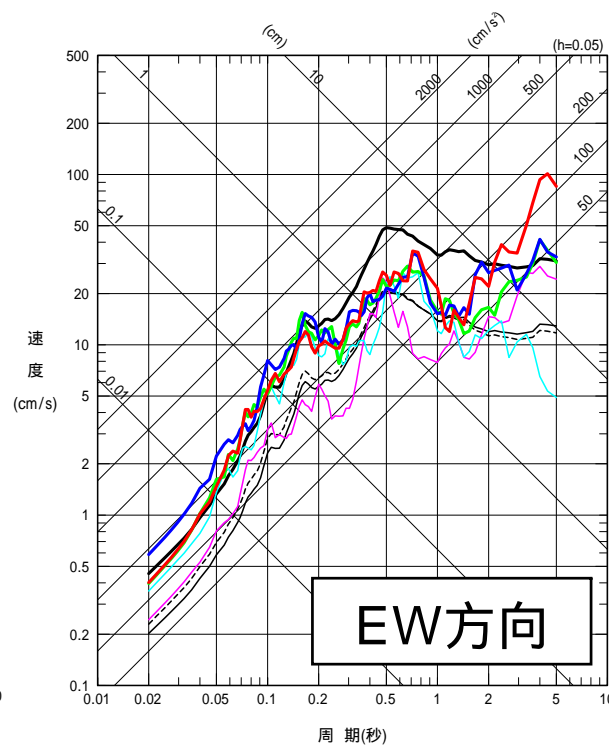
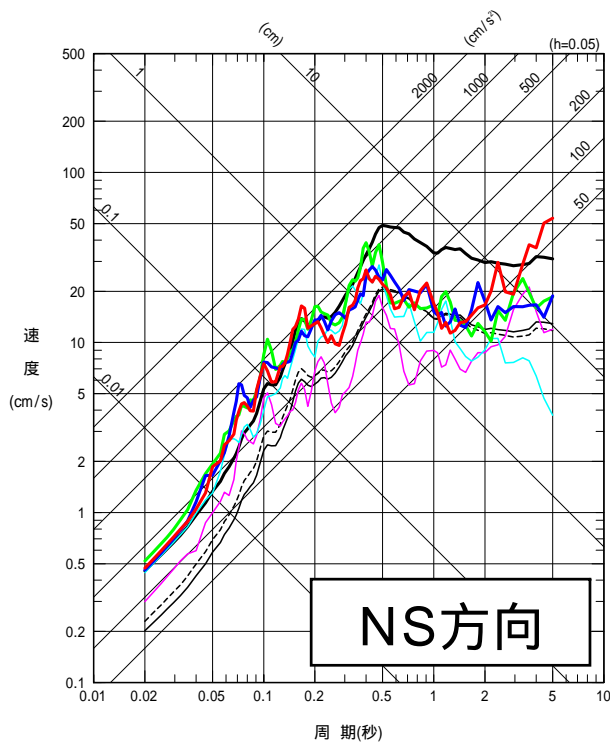
- 応答スペクトル法 塩屋崎沖の地震 (M7.5, Xeq = 102km)
- - - 応答スペクトル法 塩屋崎沖の地震 (M7.3, Xeq = 73km)
- 応答スペクトル法 仮想塩屋崎沖の地震 (M7.9, Xeq = 85km)
- 断層モデル(経験的G関数法) 塩屋崎沖の地震
- 断層モデル(経験的G関数法) 塩屋崎沖の地震
- 断層モデル(経験的G関数法) 仮想塩屋崎沖の地震 破壊開始点1
- 断層モデル(経験的G関数法) 仮想塩屋崎沖の地震 破壊開始点2
- 断層モデル(経験的G関数法) 仮想塩屋崎沖の地震 破壊開始点3



a)プレート間地震

地震動評価結果（福島第二）

- 応答スペクトル法 塩屋崎沖の地震 (M7.5, Xeq = 98km)
- - - 応答スペクトル法 塩屋崎沖の地震 (M7.3, Xeq = 75km)
- 応答スペクトル法 仮想塩屋崎沖の地震 (M7.9, Xeq = 84km)
- 断層モデル(経験的G関数法) 塩屋崎沖の地震
- 断層モデル(経験的G関数法) 塩屋崎沖の地震
- 断層モデル(経験的G関数法) 仮想塩屋崎沖の地震 破壊開始点1
- 断層モデル(経験的G関数法) 仮想塩屋崎沖の地震 破壊開始点2
- 断層モデル(経験的G関数法) 仮想塩屋崎沖の地震 破壊開始点3



b)内陸地殻内地震

基本と不確かさの整理

中間報告時に考慮していた断層長さ47.5kmの場合の基本震源モデルと不確かさの考慮に関する検討ケースは、以下のとおり。 : 不確かさを考慮するパラメータ

No.	検討ケース	断層長さ L ¹	断層幅 W ²	傾斜角	破壊開始点	アスペリティ 位置	応力降下量
1	基本震源モデル	47.5km	15km	90°	アスペリティ 端部	断層中央上端	強震動予測 レシピ
2	破壊開始点の 不確かさ考慮	47.5km	15km	90°	巨視的断層面 端部 ³	断層中央上端	強震動予測 レシピ
3	アスペリティ位置の 不確かさ考慮	47.5km	15km	90°	アスペリティ 端部	発電所に至近 の位置 ³	強震動予測 レシピ
4	断層傾斜角の 不確かさ考慮	47.5km	16km	70° ⁴	アスペリティ 端部	断層中央上端	強震動予測 レシピ
5	応力降下量の 不確かさ考慮	47.5km	15km	90°	アスペリティ 端部	断層中央上端	強震動予測 レシピ × 1.5倍 ⁵

1 : 双葉断層の長さは、中間報告以降の追加調査を踏まえ、断層長さ37kmと評価。ただし、中間報告では、相馬断層を含めた断層長さ47.5kmで地震動評価を実施。

断層長さ見直しの前後で、地震動評価結果に大きな差はみられないことを確認。

2 : 後述のとおり地震発生層の上端・下端深さはそれぞれ6km、18kmであるが、予め不確かさを考慮し、上端深さ3kmと仮定して断層幅を設定。

3 : 最も敷地に及ぼす影響が大きいと考えられる位置に設定。

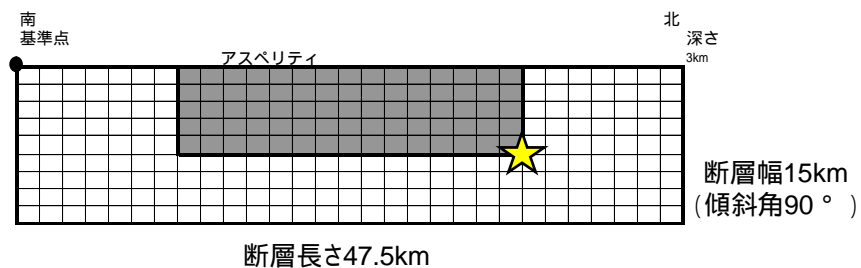
4 : 地質調査結果に基づき設定。

5 : 中越沖地震の知見を反映。

b)内陸地殻内地震

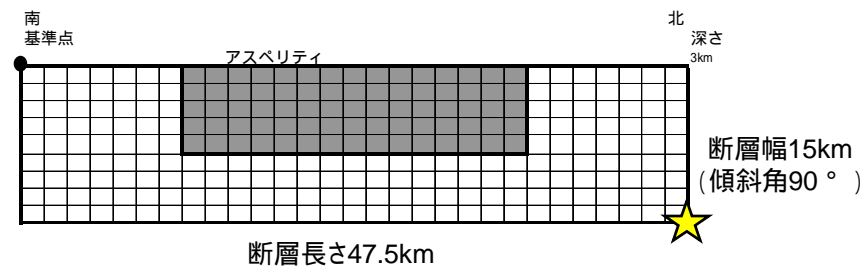
基本と不確かさの整理

基本震源モデル 応力降下量の不確かさ考慮モデル

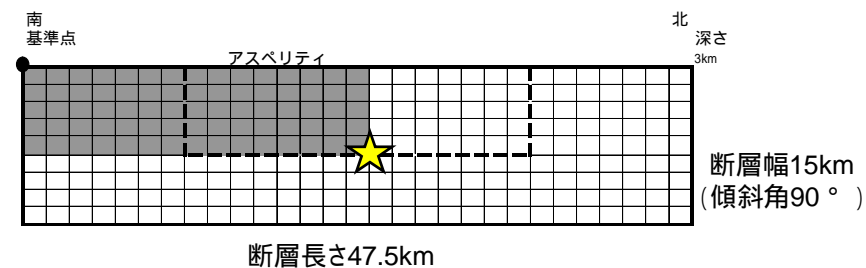


★：破壊開始点

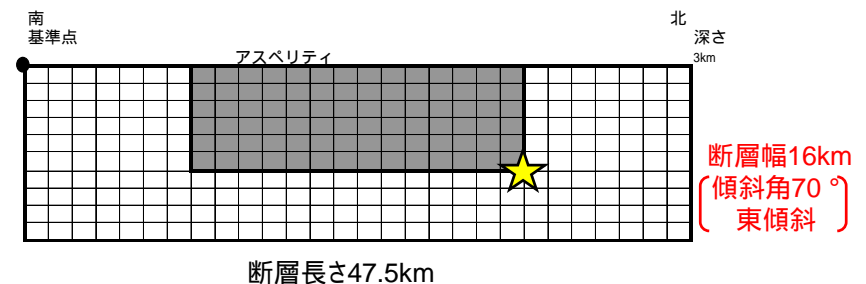
破壊開始点の不確かさ考慮モデル



アスペリティ位置の不確かさ考慮モデル



断層傾斜角の不確かさ考慮モデル



b)内陸地殻内地震

地震発生層の設定

項目		上端深さ	下端深さ	厚さ
微小地震分布	広域【JNES(2004)】	6.1km	18.1km	12.0km
	敷地周辺・陸域	7.0km	18.0km	11.0km
	敷地周辺・海域	13.2km	24.3km	11.1km
速度構造	JAMSTECによる地下構造探査【三浦ほか(2000)】	6～9km程度	15km程度	6～9km程度



地震発生層の上端深さ6km，下端深さ18kmと設定。

敷地周辺の海域における微小地震分布から求まる地震発生層は深めとなっているものの，地震発生層の厚さは変わらないことから，地震動評価において安全側となるように上記のとおり浅めの設定値を採用している。

なお，上記で設定した値は，地殻熱構造やコンラッド面に関する知見とも概ね対応している。

ただし，敷地周辺における微小地震の深さ分布によると，双葉断層の位置する敷地の北側では相対的に浅くなる傾向がみられることから，双葉断層による地震の地震動評価に当たっては，不確かさを考慮して，地震発生層の上端深さ3kmと仮定して断層幅を設定。

b)内陸地殻内地震

地下構造モデルの構築

統計的グリーン関数法による地震動評価で必要となる解放基盤表面～地震基盤面の地下構造モデルは，水平ノ上下スペクトル振幅比の逆解析による地下構造推定法【小林ほか(2005)】に基づき設定。

さらに，理論的手法による地震動評価で必要となる地震基盤以深の地下構造モデルは，福山ほか(1998)に基づき設定。

標高 (m)	層厚 (m)	密度 (t/m ³)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Q値	備考
-196						解放基盤表面
-300	104	1.80	810	2260	100	
-730	430	2.09	1050	2270	100	
-1090	360	2.18	1350	2690	100	
-2210	1120	2.39	2170	3850	100	
-2300	90	2.55	2940	5070	100	
-3000	700	2.60	3140	5500	300	地震基盤面
-18000	15000	2.60	3550	6000	300	
-33000	15000	2.80	3830	6700	300	
		3.20	4460	7800	300	

福島第一

標高 (m)	層厚 (m)	密度 (t/m ³)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Q値	備考
-168						解放基盤表面
-200	32	1.73	820	1990	100	
-520	320	2.06	970	1990	100	
-1400	880	2.17	1320	2730	100	
-1570	170	2.23	1550	3190	100	
-1650	80	2.44	2400	4470	100	
-3000	1350	2.60	3140	5500	300	地震基盤面
-18000	15000	2.60	3550	6000	300	
-33000	15000	2.80	3830	6700	300	
		3.20	4460	7800	300	

福島第二

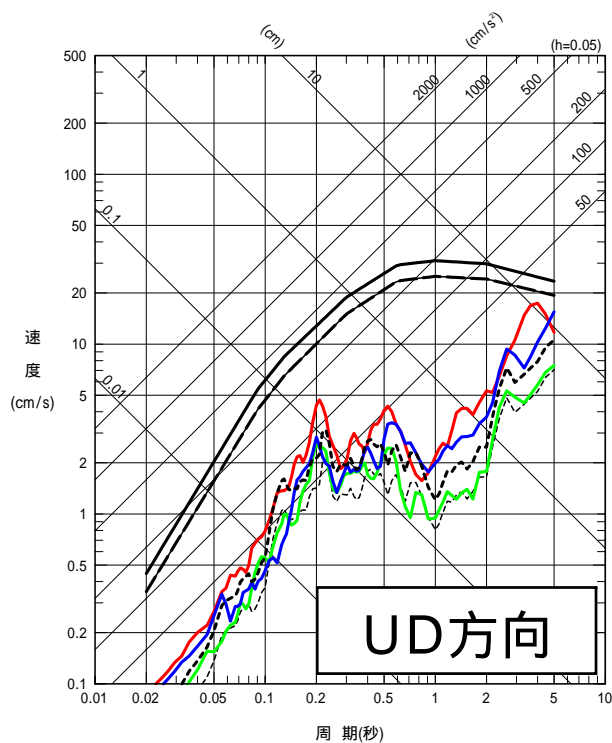
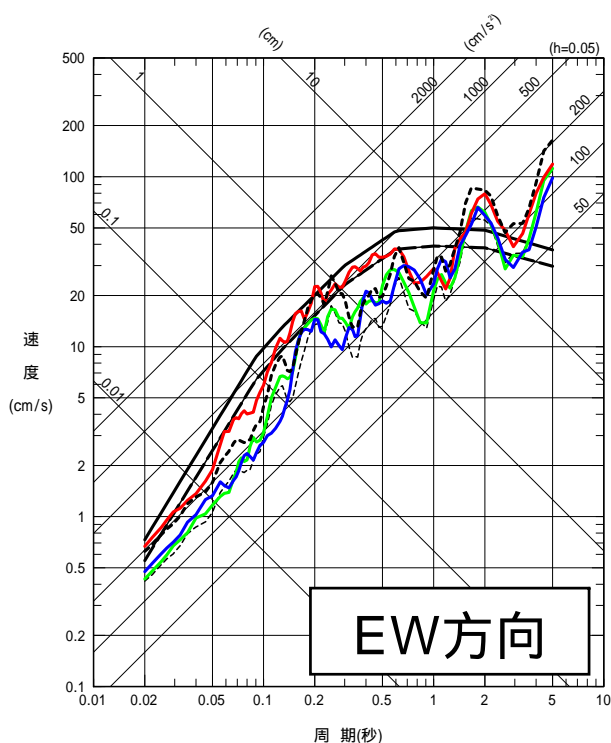
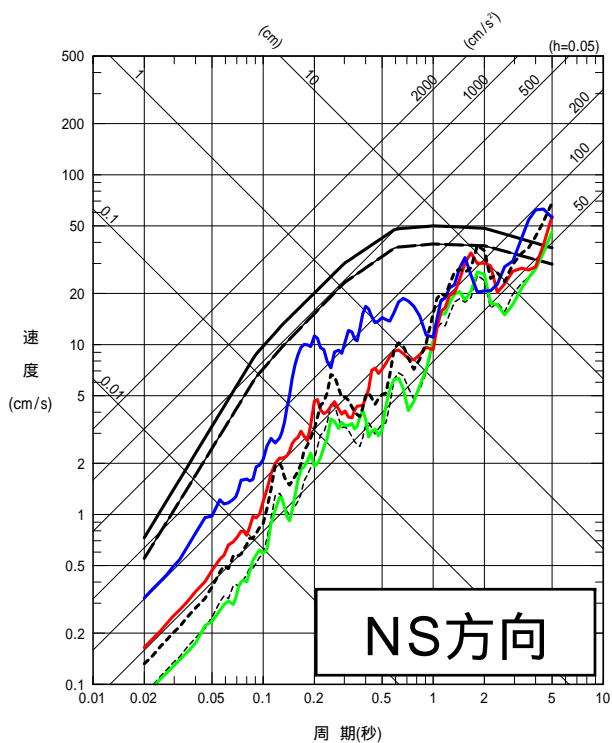
平成20年3月の中間報告後に行われた地質調査結果や微動アレイ探査結果等を踏まえ，本地下構造モデルの再構築を実施。

地下構造モデル見直しの前後で，地震動評価結果に大きな差はみられないことを確認。

b)内陸地殻内地震

地震動評価結果（福島第一）

- 応答スペクトル法 基本震源モデル (M7.6, Xeq = 43km)
- 応答スペクトル法 アスペリティ位置の不確かさを考慮したモデル (M7.6, Xeq = 34km)
- 応答スペクトル法 断層傾斜角の不確かさを考慮したモデル (M7.6, Xeq = 43km)
- - - - 断層モデル (ハイブリッド法) 基本震源モデル
- 断層モデル (ハイブリッド法) 破壊開始点の不確かさを考慮したモデル
- 断層モデル (ハイブリッド法) アスペリティ位置の不確かさを考慮したモデル
- 断層モデル (ハイブリッド法) 断層傾斜角の不確かさを考慮したモデル
- - - - 断層モデル (ハイブリッド法) 応力降下量の不確かさ (基本震源モデル × 1.5倍) を考慮したモデル

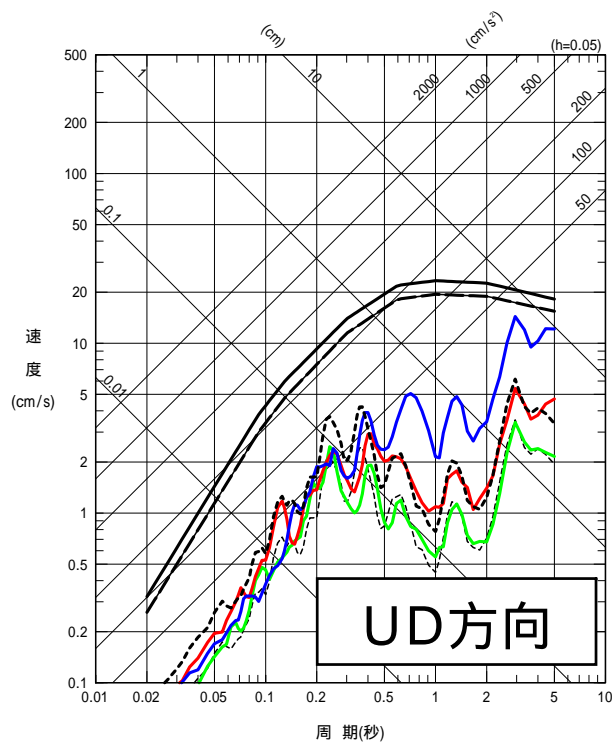
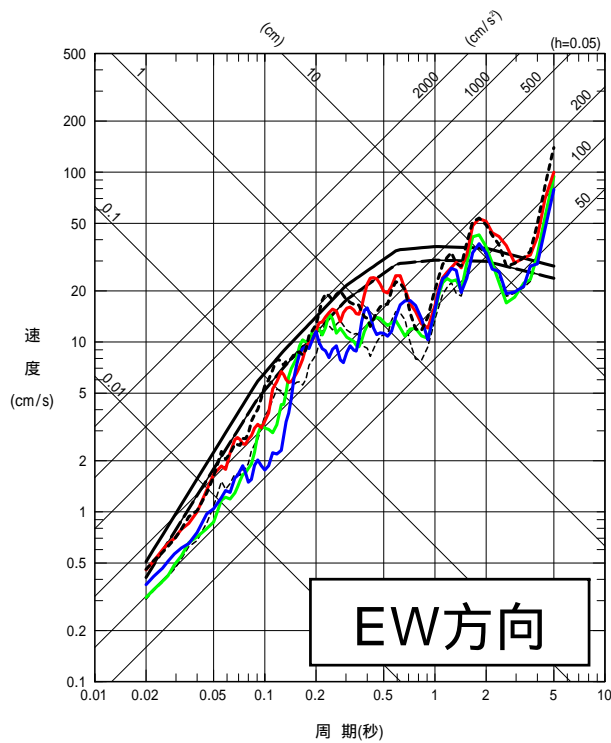
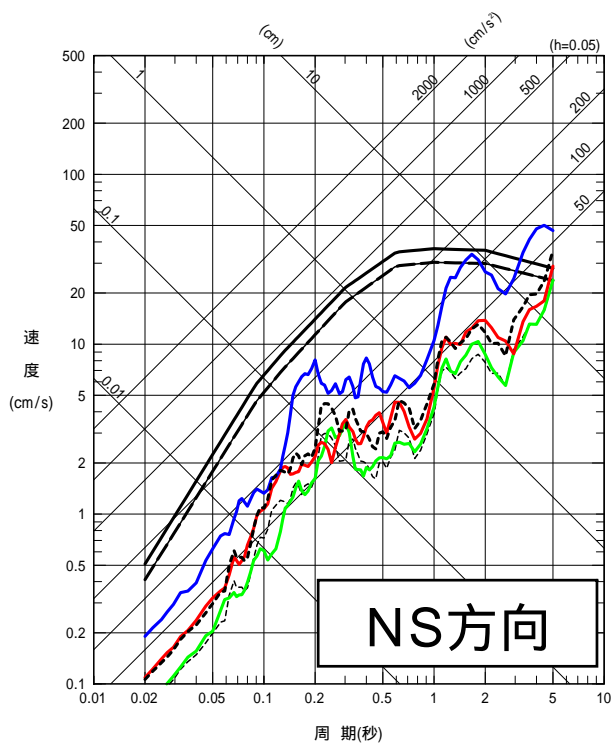


速度構造モデル見直し前の評価結果。

b)内陸地殻内地震

地震動評価結果（福島第二）

- 応答スペクトル法 基本震源モデル (M7.6, Xeq = 55km)
- 応答スペクトル法 アスぺリティ位置の不確かさを考慮したモデル (M7.6, Xeq = 46km)
- - - 応答スペクトル法 断層傾斜角の不確かさを考慮したモデル (M7.6, Xeq = 55km)
- - - 断層モデル (ハイブリッド法) 基本震源モデル
- 断層モデル (ハイブリッド法) 破壊開始点の不確かさを考慮したモデル
- 断層モデル (ハイブリッド法) アスぺリティ位置の不確かさを考慮したモデル
- 断層モデル (ハイブリッド法) 断層傾斜角の不確かさを考慮したモデル
- - - 断層モデル (ハイブリッド法) 応力降下量の不確かさ (基本震源モデル × 1.5倍) を考慮したモデル



速度構造モデル見直し前の評価結果。

c) 海洋プレート内地震

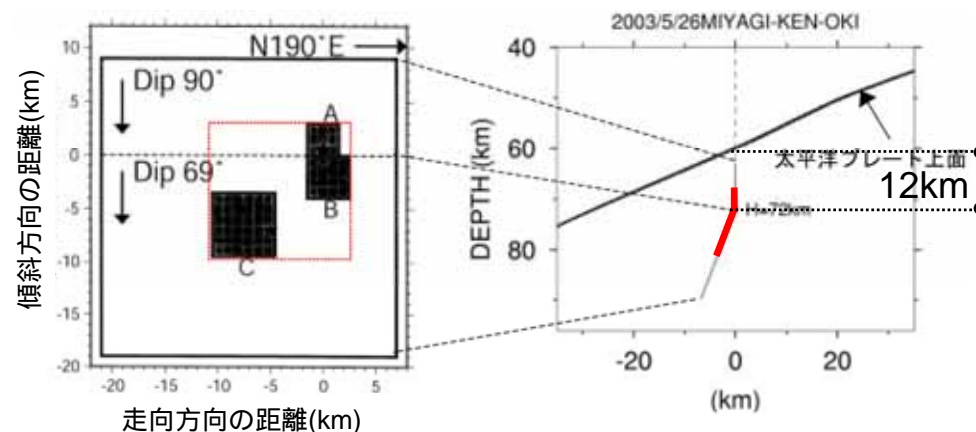
基本震源モデル

浅野ほか(2004)による2003年宮城県沖の地震(M7.1)の特性化震源モデルを敷地下方の太平洋プレート内に設定。

不確かさを考慮したモデル

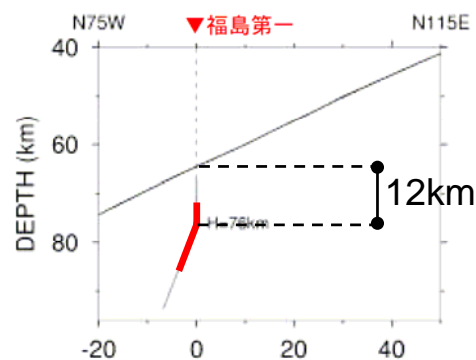
基本震源モデルの断層上端を太平洋プレート上面位置に設定。
(断層面を9km浅く設定)

浅野ほか(2004)による2003年宮城県沖の地震のモデル

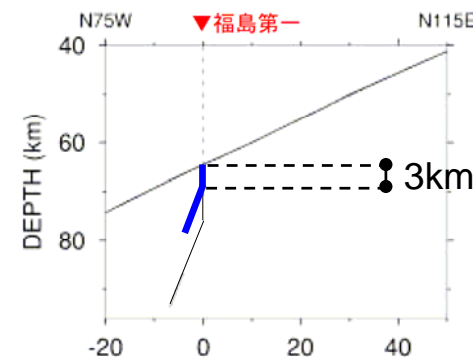


想定敷地下方の地震(福島第一の例)

基本震源モデル



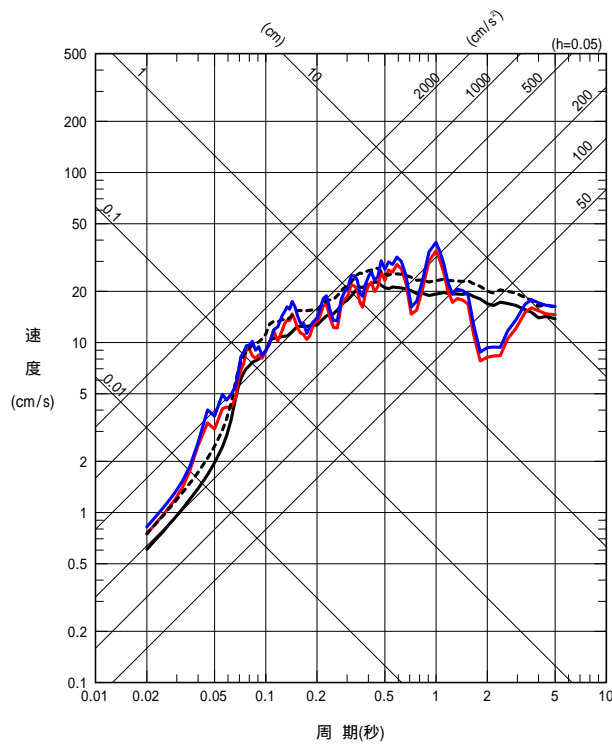
不確かさを考慮したモデル



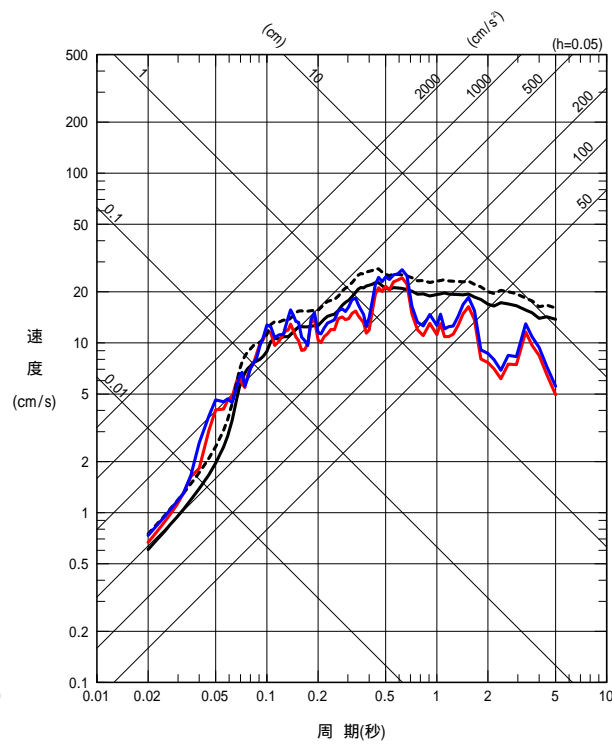
c) 海洋プレート内地震

地震動評価結果（福島第一）

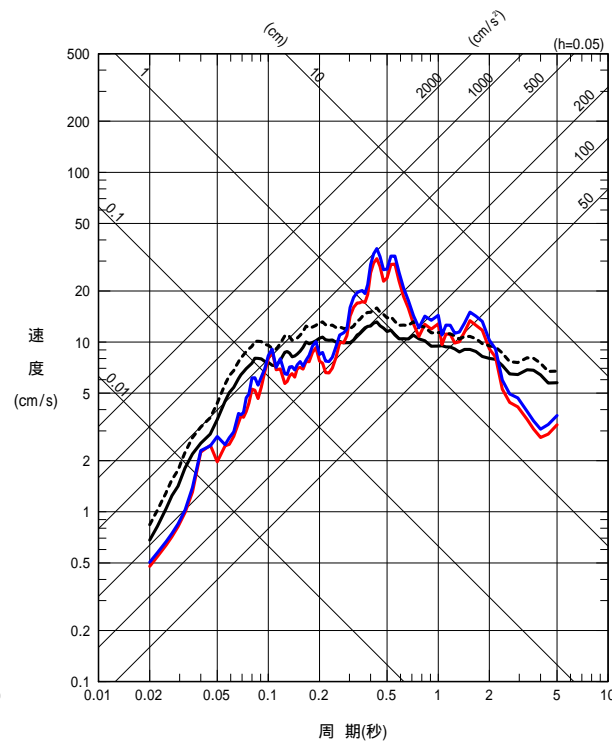
- 応答スペクトル法 基本震源モデル (M7.1, $X_{eq}=81\text{km}$)
- 断層モデル (経験的G関数法) 基本震源モデル
- - - 応答スペクトル法 震源位置の不確かさを考慮したモデル (M7.1, $X_{eq}=72\text{km}$)
- 断層モデル (経験的G関数法) 震源位置の不確かさを考慮したモデル



NS方向



EW方向

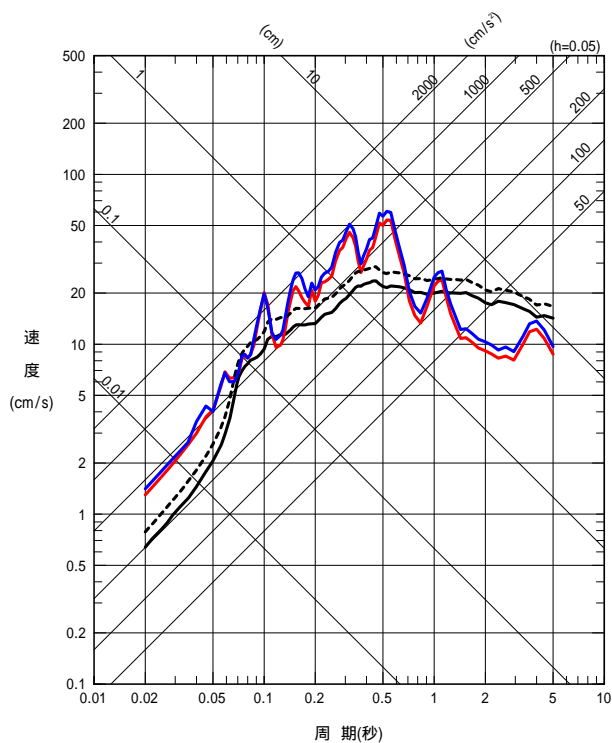


UD方向

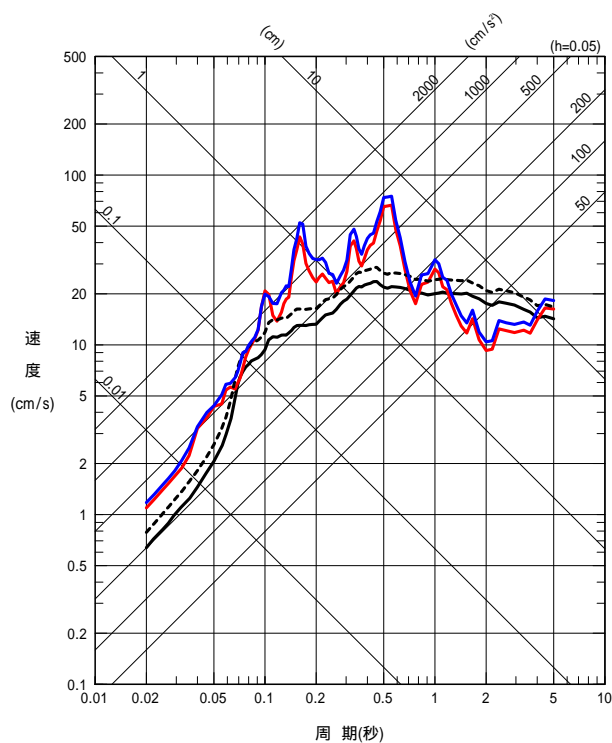
c) 海洋プレート内地震

地震動評価結果（福島第二）

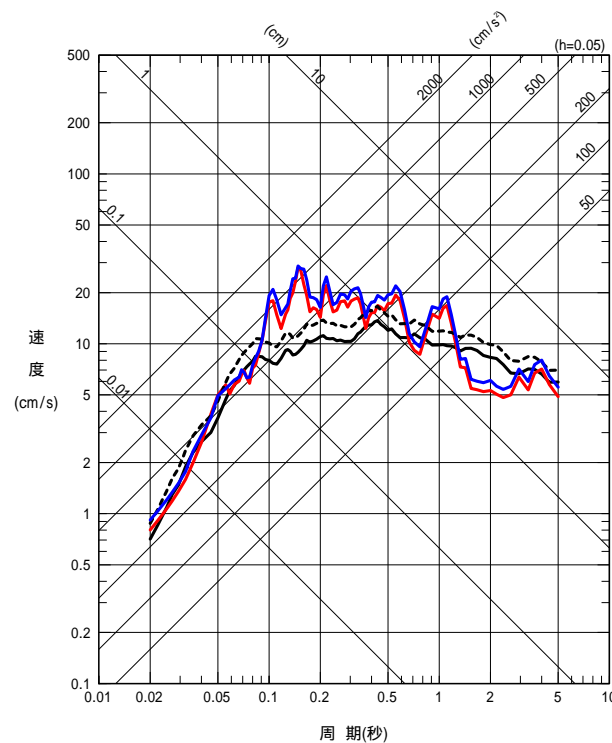
- 応答スペクトル法 基本震源モデル (M7.1, $X_{eq}=79\text{km}$)
- 断層モデル (経験的G関数法) 基本震源モデル
- - - 応答スペクトル法 震源位置の不確かさを考慮したモデル (M7.1, $X_{eq}=70\text{km}$)
- 断層モデル (経験的G関数法) 震源位置の不確かさを考慮したモデル



NS方向



EW方向



UD方向

3 . 震源を特定せず策定する地震動

■ 評価手法

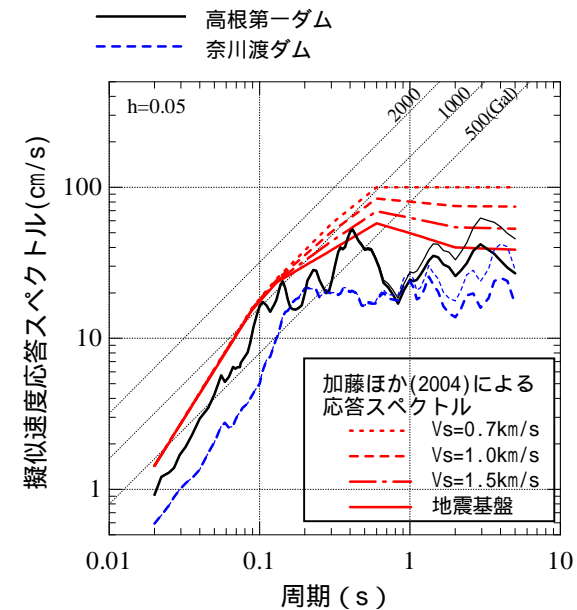
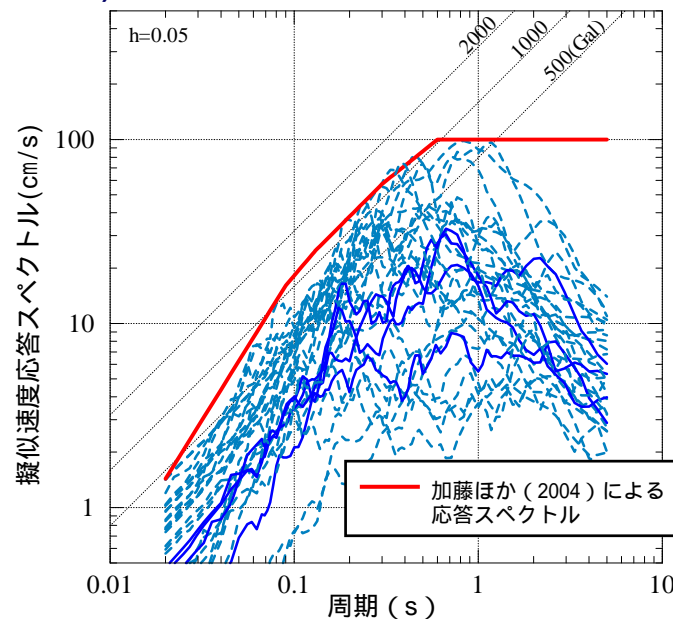
■ 地域性に関する検討

- 敷地が位置する領域における「震源を予め特定しにくい地震」の規模（地震調査研究推進本部による）
- 敷地が位置する領域における震源と活断層とを関連付けることが困難な地震の規模
- 地震発生層から推定される地震の規模

評価手法

加藤ほか(2004)は、内陸地殻内地震を対象として、詳細な地質学的調査によっても震源位置と地震規模を予め特定できない地震による震源近傍の硬質地盤上における強震記録に基づき、 $V_s 0.7 \text{ km/s}$ の解放基盤表面における水平方向の応答スペクトルを提案している。

鉛直方向は、加藤ほか(2004)による水平方向の応答スペクトルをNoda et al. (2002)に基づき変換することにより、地震動レベルを把握することが可能。



加藤ほか(2004)による震源を事前に特定できない地震による震源近傍の観測記録に基づく水平方向の応答スペクトル

〔実線は1997年鹿児島県北西部地震の鶴田ダムのスペクトル，破線はスケールリングの観点から考慮に入れたMj6.5(Mw6.2)以下の7地震のスペクトル〕

加藤ほか(2004)による1984年長野県西部地震(Mj6.8)の震源域における水平方向の地震動推定レベルと加藤ほか(2004)による応答スペクトルの比較

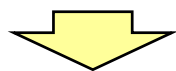
〔太実線と太破線は断層直上相当のレベル，細実線と細破線はさらに破壊伝播効果を考慮した断層走向直交方向のレベル〕

加藤ほか(2004)に加筆

地震調査研究推進本部「震源を予め特定しにくい地震」の規模

各領域における最大規模の設定方法

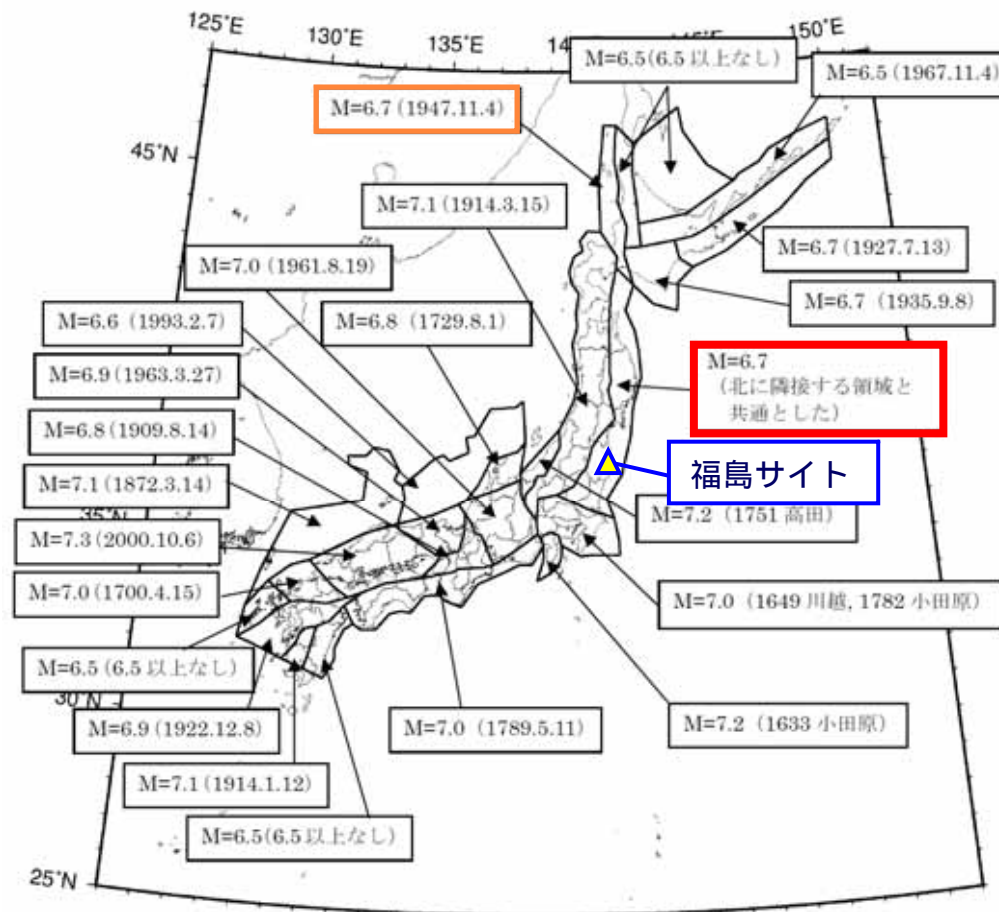
- 中地震カタログ：1940年以降のM5.0以上の地震
- 震源深さ：25km以浅
- 主要98断層帯の固有地震あるいは主要98断層帯以外の活断層で発生する地震に該当するものは除く
- 最大マグニチュードは、地域区分された領域それぞれについて、1600年以降に発生した地震のうち主要98断層帯あるいはそれ以外の活断層との対応が明確でない地震の最大規模を採用する（ただし、M6.5を下限値）



敷地が位置する「領域7」の最大規模は、北に隣接する「領域6」と共通のM6.7



「領域7」の最大規模について、さらに調査を実施（次頁）



陸域の震源断層を予め特定しにくい地震の最大マグニチュード

【地震調査研究推進本部(2006)に加筆】

震源と活断層とを関連付けることが困難な地震の規模

敷地が位置する「領域7」における震源と活断層とを関連付けることが困難な地震について整理する。

発震年月日	震央位置		M	震源深さ (km)	地名 (地震名)	選定の根拠
	北緯	東経				
1667. 8.22	40.6 °	141.6 °	6.2	-	八戸	震源深さ不明に付き、内陸地殻内地震とみなす。
1674. 4.15	40.6 °	141.6 °	6.0	-	八戸	震源深さ不明に付き、内陸地殻内地震とみなす。
1725. 5.29	36.25 °	139.7 °	6.0	-	日光	震源深さ不明に付き、内陸地殻内地震とみなす。
1769. 7.12	40.6 °	141.6 °	6 1/2	-	八戸	震源深さ不明に付き、内陸地殻内地震とみなす。
1832. 3.15	40.7 °	141.6 °	6 1/2	-	八戸	震源深さ不明に付き、内陸地殻内地震とみなす。
1854. 8.28	40.6 °	141.6 °	6.5	-	陸奥	震源深さ不明に付き、内陸地殻内地震とみなす。
1888. 4.29	36.6 °	140.0 °	6.0	vs	栃木県	「宇津カタログ(1982)」より、内陸地殻内地震と判断。
1931.11. 4	39 ° 28.88'	141 ° 50.36'	6.5	15.35	岩手県小国付近	地震調査研究推進本部(1999)において、陸域と記載。
1949.12.26	36 ° 43.11'	139 ° 46.99'	6.4	8	今市地方 (今市地震)	地震調査研究推進本部(1999)において、陸域と記載。
1956. 9.30	37 ° 58.74'	140 ° 36.62'	6.0	11.02	宮城県南部	地震調査研究推進本部(1999)において、陸域と記載。
1962. 4.30	38 ° 44.40'	141 ° 8.30'	6.5	19	宮城県北部 (宮城県北部地震)	地震調査研究推進本部(1999)において、陸域と記載。

地震の規模及び震央位置は、以下の文献に基づく。
 「最新版 日本被害地震総覧」(1922年以前)
 「気象庁地震カタログ」(1923年以降)

敷地が位置する「領域7」の最大規模は、
 1854年陸奥の地震等のM6.5

地震発生層から推定される地震の規模（断層傾斜角の想定）

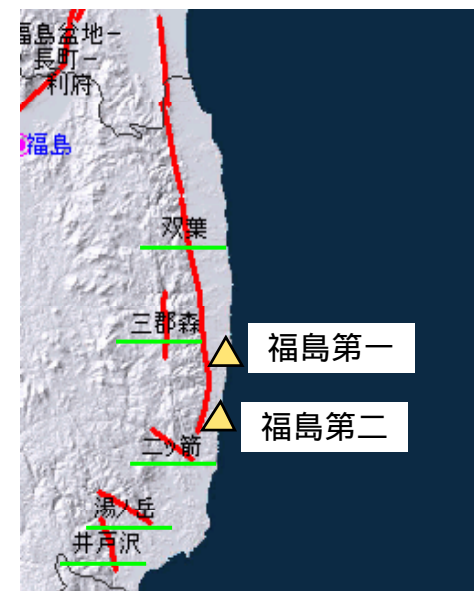
敷地周辺の断層は，日本海の形成時に伸張応力場で形成された古い地質構造に強く規制されており，正断層として形成されたものが，現在の東西圧縮のもと，逆断層として再活動している（インバージョンテクトニクス）と考えられ，伸張応力場で形成された正断層は一般に高角とされている。

敷地周辺に分布する断層の傾斜角 （産総研 活断層データベースによる）

断層名	断層型	一般傾斜
双葉断層 ¹	左横ずれ断層 逆断層	90° 80°西傾斜
井戸沢断層	右横ずれ断層	90°
三郡森断層（畑川断層） ²	左横ずれ断層	90°
二ッ箭断層 ²	正断層	60°南傾斜
湯ノ岳断層 ²	正断層	60°南傾斜

1：詳細な地質調査結果に基づき，島田～馬場間の断層長さ37kmを考慮。

2：詳細な地質調査結果に基づき，活動性を否定。



産総研 活断層データベースに加筆

敷地周辺に分布する断層は，横ずれ（90°）もしくは高角の縦ずれ（60°～80°）とされている。

地震発生層から推定される地震の規模を検討する際には，上記の地域性を考慮し，断層傾斜角60°～90°を想定する。

地震発生層から推定される地震の規模

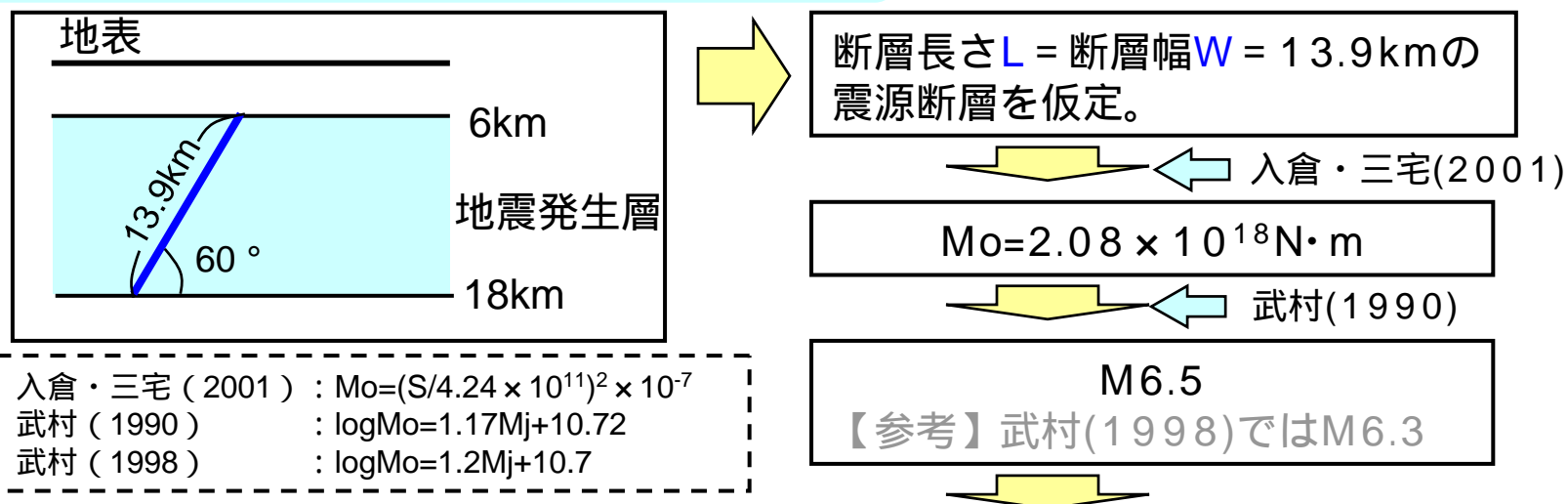
震源と活断層とを関連付けることが困難な地震の最大規模は，地震発生層を飽和する震源断層による地震と考え，地震発生層の上端から下端まで広がる断層幅，及びそれに等しい断層長さをもつ震源断層を仮定。

地震発生層の上端・下端深さは，前述のとおりそれぞれ6km，18km。

前頁にて示した断層傾斜角の地域性を考慮し，断層面積と地震モーメントの関係式及び地震モーメントとマグニチュードの関係式を用いて地震規模を算定すると，傾斜角90°ではM6.1～6.3程度，傾斜角60°ではM6.3～6.5程度となる。

なお，仮に傾斜角45°を想定した場合，M6.6～6.8程度となる。

地震規模算定フロー（傾斜角60°の場合）



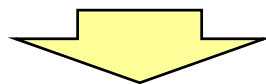
震源と活断層とを関連付けることが困難な地震の最大規模をM6.3～6.5程度と評価

震源を特定せず策定する地震動に関するまとめ

敷地が位置する領域における震源と活断層とを関連付けることが困難な地震の最大規模は、M6.5～6.7程度であると考えられる。

また、敷地周辺の地震発生層から推定される震源と活断層とを関連付けることが困難な地震の最大規模は、断層傾斜角の地域性を考慮し、傾斜角 60° とした場合M6.3～6.5程度であると考えられ、また、仮に傾斜角 45° を想定した場合においてもM6.6～6.8程度であると考えられる。

一方、加藤ほか(2004)においては、これと同程度の地震をスペクトル設定時の検討対象に加えていることから、加藤ほか(2004)による応答スペクトルは、福島サイト周辺における「震源を特定せず策定する地震動」のレベルとして、地域性を適切に考慮したものであると考えられる。



「震源を特定せず策定する地震動」による基準地震動 S_s は、加藤ほか(2004)に基づき設定。

4 . 基準地震動Ssの策定

基準地震動Ssの策定方針

福島第一・福島第二サイトの基準地震動として、以下に示す3波を策定。

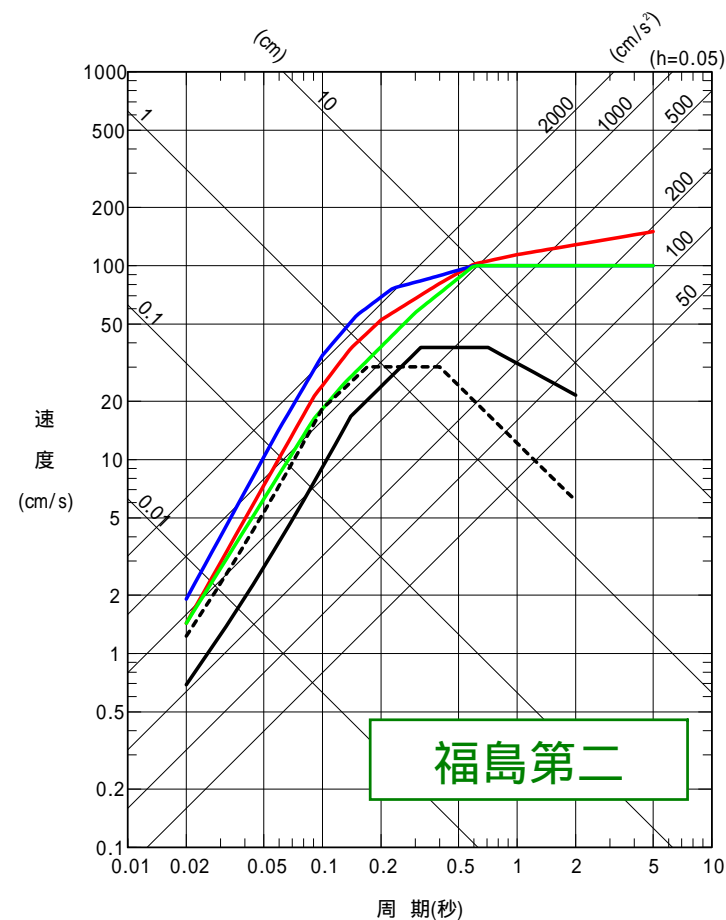
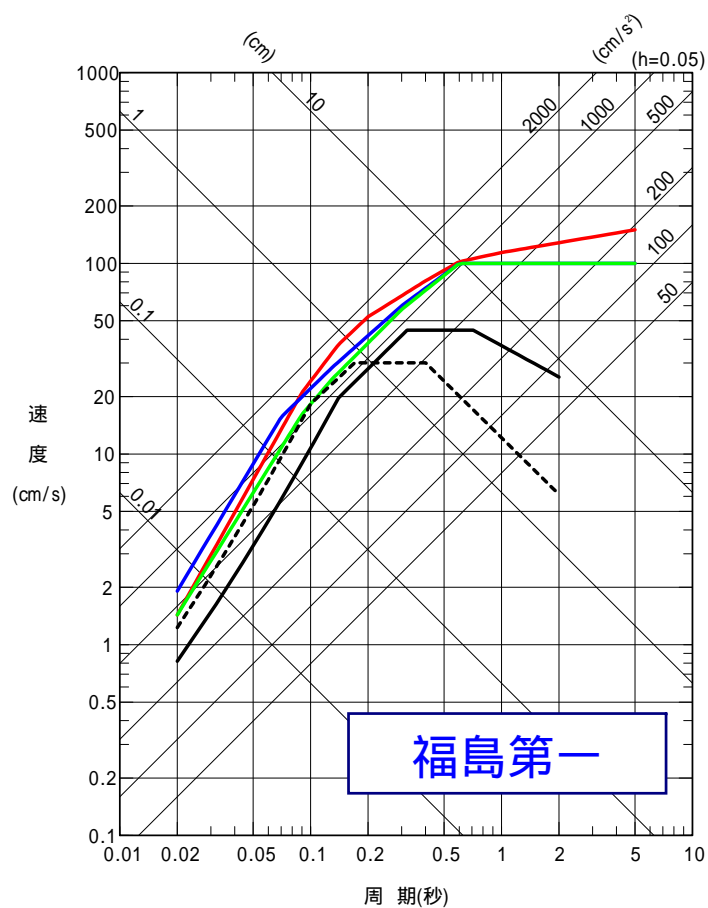
Ss-1 (1F/2F共通)	「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」のうち、内陸地殻内地震・プレート間地震の評価結果を包絡。 最大加速度振幅： 450Gal 検討用地震の評価結果が福島第一・福島第二で大差ないことから、両サイト共通の基準地震動として策定。
Ss-2 (1F/2F個別)	「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」のうち、海洋プレート内地震の評価結果を包絡。 最大加速度振幅： 600Gal 検討用地震の断層モデルによる評価結果が福島第一・福島第二で異なることから、各サイト個別の基準地震動として策定。
Ss-3 (1F/2F共通)	加藤ほか(2004)に基づく「震源を特定せず策定する地震動」。 最大加速度振幅： 450Gal 両サイト共通の基準地震動として策定。

Ss-1及びSs-2の鉛直方向の基準地震動は、水平方向の2/3とし、水平・鉛直とも検討用地震の評価結果を包絡する応答スペクトルを設定。

Ss-3の鉛直方向の基準地震動は、Noda et al.(2002)に基づき水平方向の応答スペクトルを変換することにより設定。

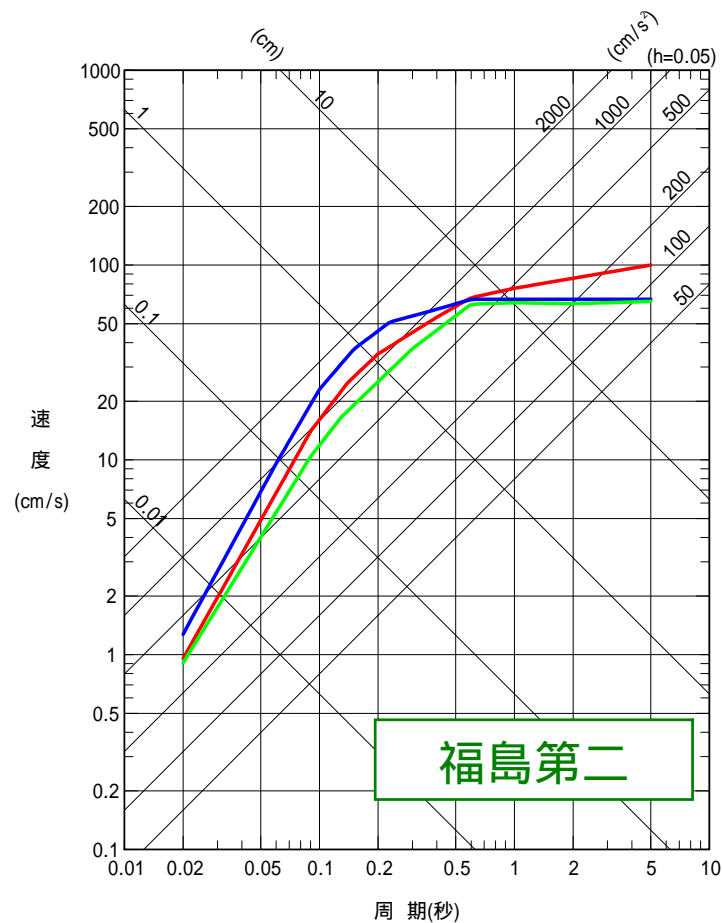
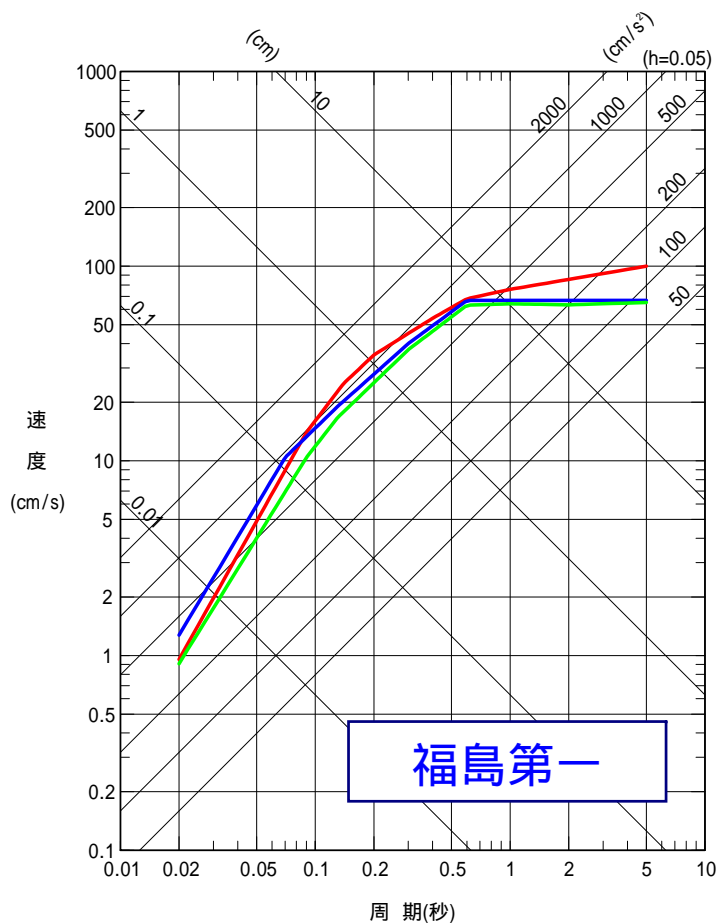
基準地震動Ssの応答スペクトル（水平方向）

- 基準地震動Ss - 1H
- 基準地震動Ss - 2H
- 基準地震動Ss - 3H
- 旧基準地震動S2
- - - 旧基準地震動S2（直下地震）



基準地震動Ssの応答スペクトル（鉛直方向）

- 基準地震動Ss - 1V
- 基準地震動Ss - 2V
- 基準地震動Ss - 3V



設計用模擬地震波における振幅包絡線の経時的变化

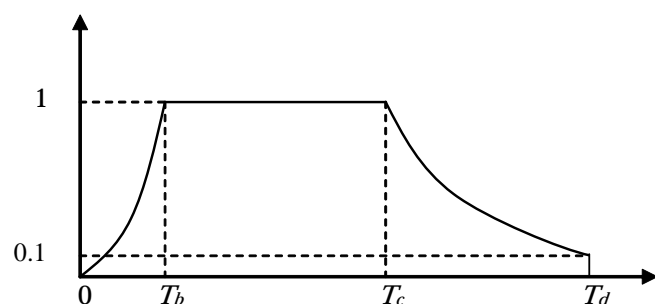
時刻歴波形は，地震動の振幅包絡線の経時的变化に基づく一様乱数の位相をもつ正弦波の重ね合わせにより作成。

敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

設計用模擬地震波	マグニチュード M	等価震源距離 X _{eq} (km)	振幅包絡線の経時的变化(秒)		
			T _b	T _c	T _d
Ss - 1H Ss - 1V	7.5	100	6.61	24.39	81.28
Ss - 2H Ss - 2V	7.1	80	4.17	17.66	60.78

震源を特定せず策定する地震動

設計用模擬地震波	マグニチュード M	等価震源距離 X _{eq} (km)	振幅包絡線の経時的变化(秒)		
			T _b	T _c	T _d
Ss - 3H Ss - 3V	6.8	10	2.95	13.92	26.39



$$T_b = 10^{0.5M - 2.93}$$

$$T_c - T_b = 10^{0.3M - 1.0}$$

$$T_d - T_c = 10^{0.17M + 0.54 \log X_{eq} - 0.6}$$

振幅包絡線の経時特性はNoda et al.(2002)を用い，規模と等価震源距離は以下に基づく。

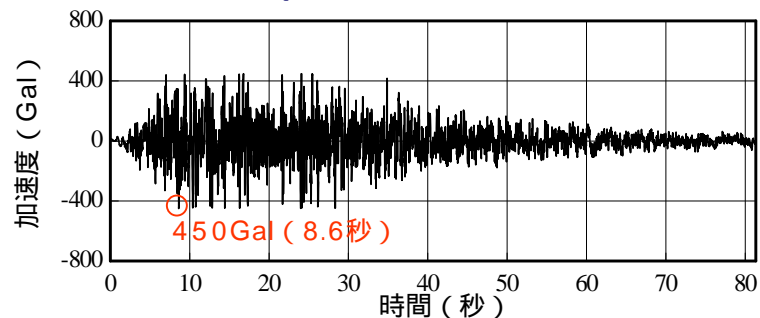
Ss-1：塩屋崎沖の地震
(1938年福島県東方沖地震本震)

Ss-2：想定敷地下方の地震

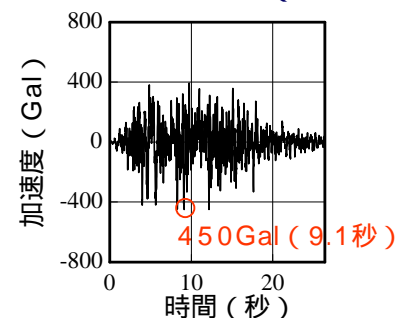
等価震源距離は，福島第一・福島第二サイトにおける等価震源距離の平均値を採用し，両サイト共通の値とした。

設計用模擬地震波の加速度時刻歴波形

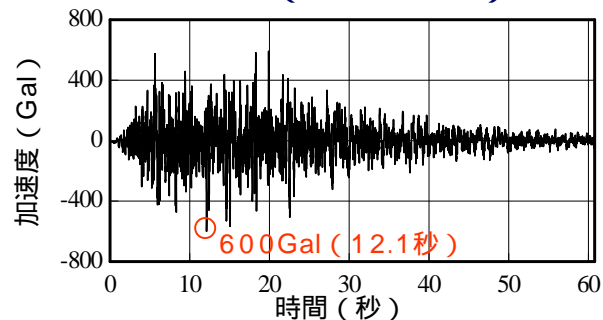
Ss - 1H (福島第一・福島第二共通)



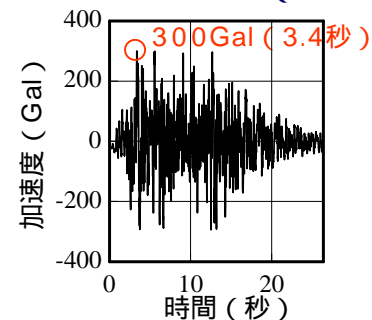
Ss - 3H (福島第一・福島第二共通)



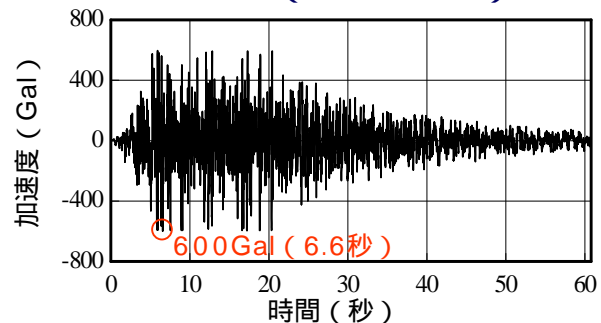
Ss - 2H (福島第一)



Ss - 3V (福島第一・福島第二共通)



Ss - 2H (福島第二)

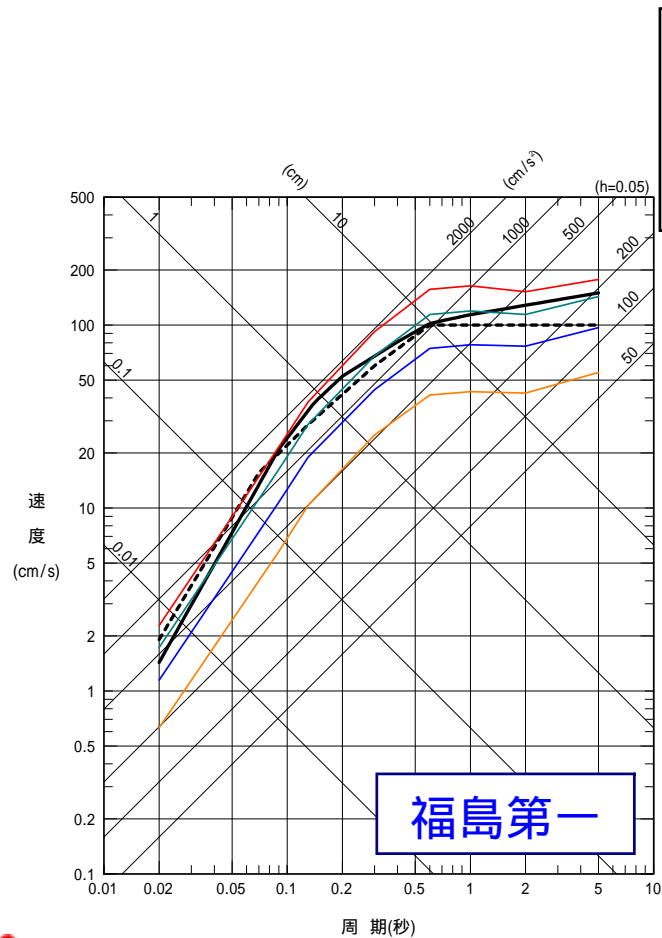


Ss-1V及びSs-2Vは、それぞれSs-1H及びSs-2Hの加速度振幅値を2/3倍した波形として設定。

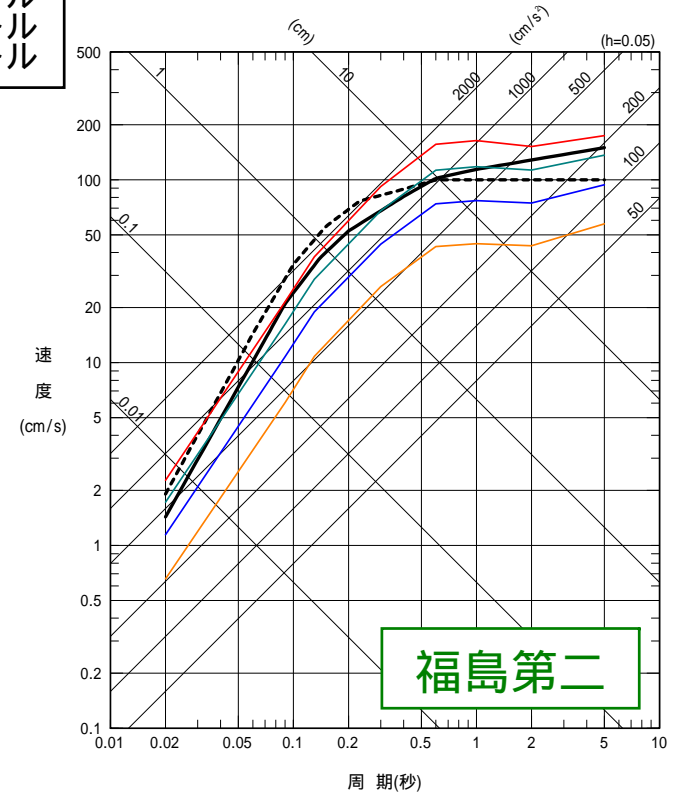
5 . 基準地震動Ssの超過確率参照

敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

日本原子力学会(2007)の方法に基づき試算した敷地における地震動の一樣ハザードスペクトルと比較した結果, 「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」の設計用応答スペクトルの年超過確率は $10^{-4} \sim 10^{-6}$ 程度。



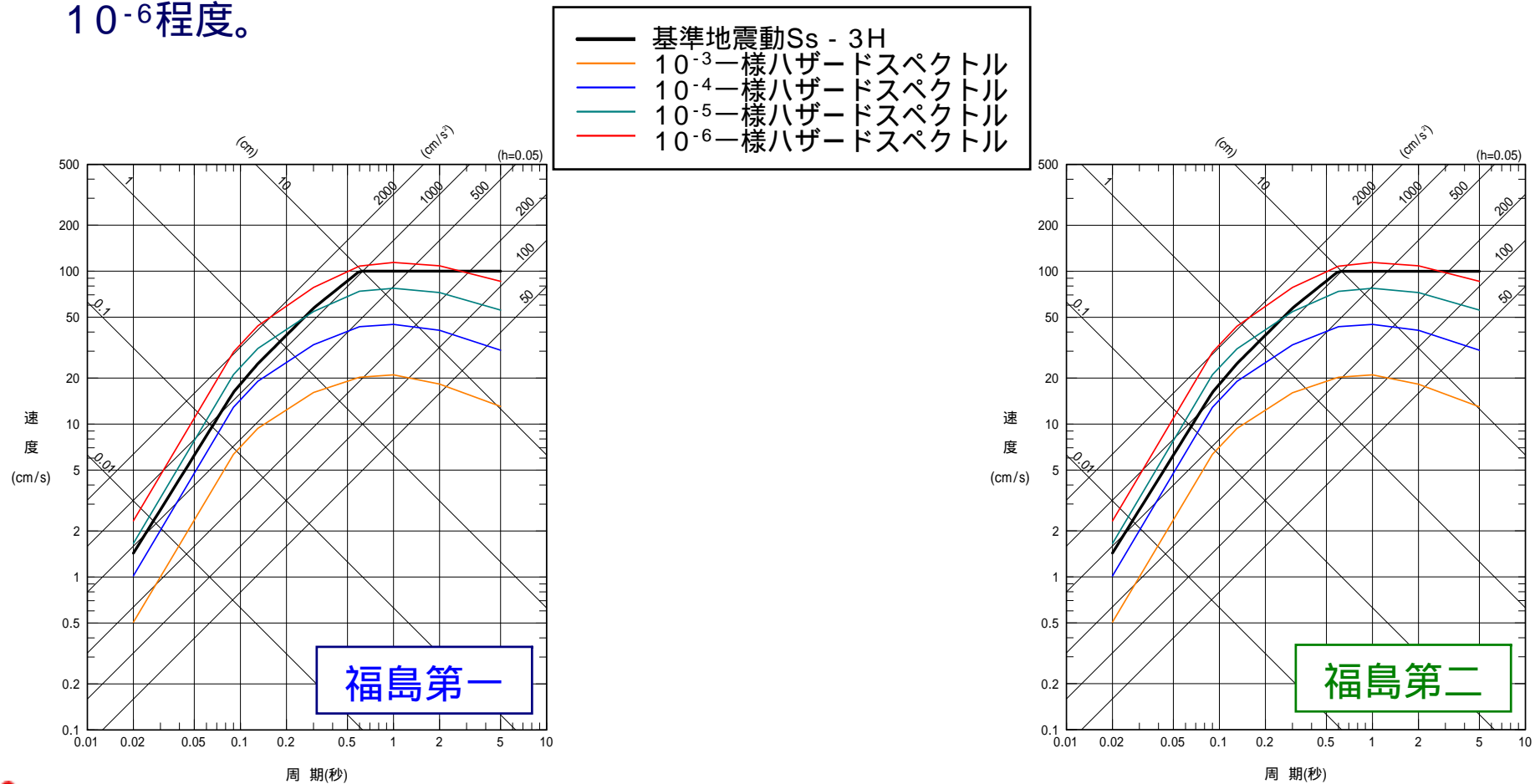
- 基準地震動Ss - 1H
- - - 基準地震動Ss - 2H
- 10^{-3} 一樣ハザードスペクトル
- 10^{-4} 一樣ハザードスペクトル
- 10^{-5} 一樣ハザードスペクトル
- 10^{-6} 一樣ハザードスペクトル



5 . 基準地震動Ssの超過確率参照

震源を特定せず策定する地震動

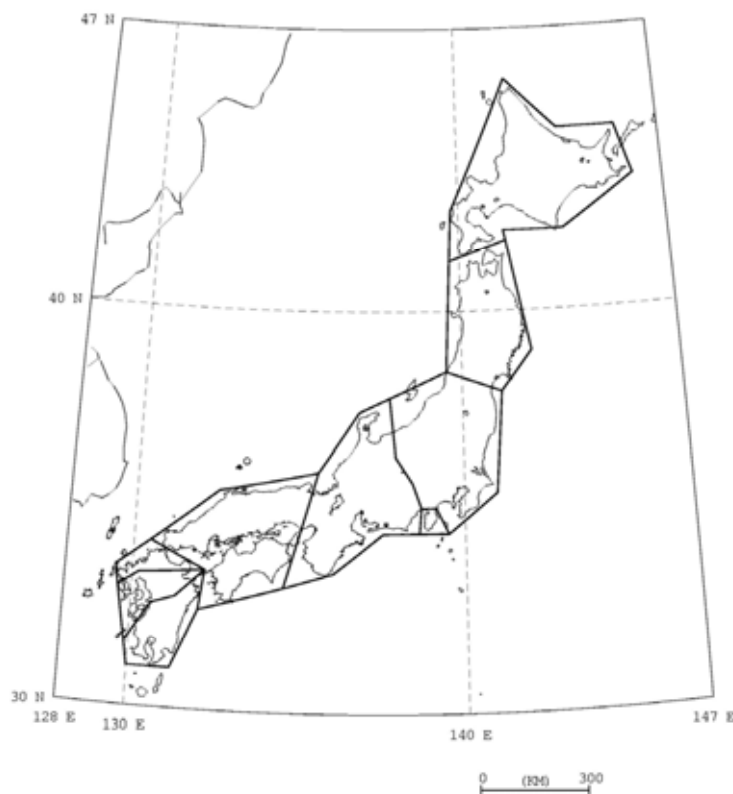
日本原子力学会(2007)の方法に基づき試算した敷地における内陸地殻内地震の領域震源モデルによる地震動の一樣ハザードスペクトルと比較した結果,「震源を特定せず策定する地震動」の設計用応答スペクトルの年超過確率は $10^{-4} \sim 10^{-6}$ 程度。



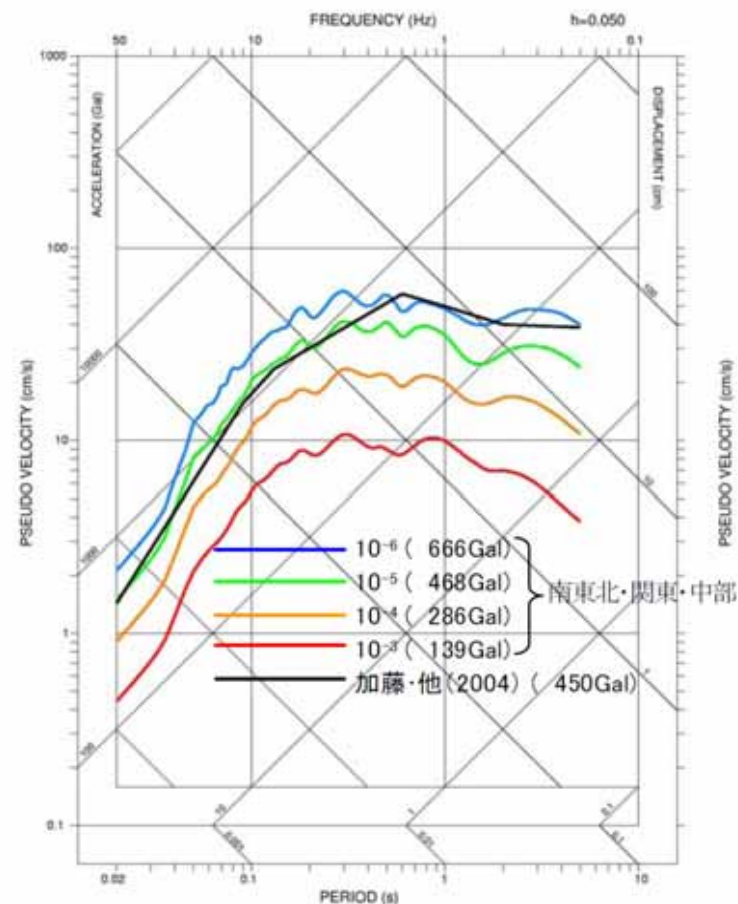
5 . 基準地震動Ssの超過確率参照

震源を特定せず策定する地震動

JNES(2005)による敷地が位置する領域（南東北・関東・中部地域）における震源を特定しにくい地震動の一様ハザードスペクトルと、地震基盤面相当における「震源を特定せず策定する地震動」の応答スペクトルを比較した結果、「震源を特定せず策定する地震動」の年超過確率は $10^{-4} \sim 10^{-6}$ 程度。



JNES(2005)による領域区分



【参考文献（地質関連）】

- 須貝貫二他6名(1957)：常磐炭田地質図(1/5万)及び同説明書．地質調査所
- 地質調査所(1958)：1/50万地質図「新潟」
- 岩生周一・松井 寛(1961)：5万分の1地質図幅「平及び川前(付井出)」及び同説明書．地質調査所
- 久保和也他4名(1990)：5万分の1地質図幅「原町及び大甕」及び同説明書．地質調査所
- 久保和也他3名(1994)：5万分の1地質図幅「浪江及び磐城富岡」及び同説明書．地質調査所
- 柳沢幸夫他6名(1996)：5万分の1地質図幅「相馬中村」及び同説明書．地質調査所
- 久保和也他6名(2002)：5万分の1地質図幅「川前及び井出」及び同説明書．産総研地質調査総合センター
- 地質調査所(1978)：日本活断層図(1/200万)
- 地質調査所(1984)：活構造図-新潟(1/50万)
- 地質調査所(1978)：日本海溝・千島海溝南部及びその周辺広域海底地質図(1/100万)
- 地質調査所(2001)：海洋地質図「塩屋埼沖海底地質図」(1/20万)及び同説明書
- 福島県(1955)：20万分の1福島県地質図
- 海上保安庁水路部(1981a)：海底地質構造図「塩屋埼沖」(1/20万)
- 活断層研究会編(1980)：日本の活断層-分布図と資料-．東京大学出版会
- 活断層研究会編(1991)：新編 日本の活断層-分布図と資料-．東京大学出版会
- 小池一之・町田洋編(2001)：日本の海成段丘アトラス．東京大学出版会
- 中田 高・今泉俊文編(2002)：活断層詳細デジタルマップ．東京大学出版会
- 池田安隆・今泉俊文・東郷正美・平川一臣・宮内崇裕・佐藤比呂志編(2002)：第四紀逆断層アトラス．東京大学出版会
- 地震調査研究推進本部地震調査委員会(2005a)：双葉断層の評価
- 地震調査研究推進本部地震調査委員会(2005b)：福島盆地西縁断層帯の評価
- 柳沢幸夫他7名(1989)：常磐炭田北部双葉地域に分布する第三系の生層序と地下地質．地質調査所月報,vol.40, p.405-467
- 石油公団(1987)：昭和61年度国内石油・天然ガス基礎調査．基礎物理探査「南三陸～鹿島沖」調査報告書
- 加藤 進・秋葉文雄・守屋成博(1996)：相馬沖海域における上部白亜系・新生界の層序と地質構造．地質学雑誌, vol.102, p.1039-1051
- 亀尾浩司・佐藤時幸(1999)：石灰質ナンノ化石層序の最近の知見とその応用 - とくに常磐海域坑井の第三系・第四系層序について - ．石油技術協会誌, vol.64, p.16-27
- 電力中央研究所(1997)：海域におけるS波の発震, 観測技術の検討(現場実験)報告書
- 天然ガス鉱業会・大陸棚石油開発協会編(1992)：改訂版日本の石油・天然ガス資源．天然ガス鉱業会・大陸棚石油開発協会
- 石油開発公団(1978)：昭和52年度大陸棚石油・天然ガス基礎調査, 基礎物理探査「下北～東海沖海域」調査報告書
- 徳山英一他13名(2001)：日本周辺海域の中新世最末期以降の地質構造発達史．海洋調査技術学会, vol.13, No.1, 別添CD-ROM
- 地質調査所編(2004)：日本重力CD-ROM．数値地質図P-2, 地質調査所
- 佐藤敏彦(1961)：相馬古生層(阿武隈高原)の層序と構造運動の概要．地質学雑誌, vol.67, p.406
- 佐藤敏彦(1973)：相馬古生層(福島県, 北東部阿武隈山地)の二畳系にみられる古生代末の地殻変動について．信州大学教養部紀要(自然科学), no.7, p.91-104

【参考文献（地質関連）】

- Yanagisawa,I. (1967) : Geology and Paleontology of the Takakurayama-Yaguki Area, Yotsukura-cho, Fukushima Pref. Sci. Rep., Tohoku Univ., 2nd ser. (Geol.), vol. 39, p.63-112
- O'hara,S.et 2 others(1976): Fusuline fossils from the Futaba Tectonic Line of the Abukuma Plateau. Jour. Coll. Art. Sci., Chiba. Univ. B(Nat. Sci.), no.9, p.69-75
- Masatani,K・Tamura,M.(1959): A Stratigraphic Study on the Jurassic Soma Group on the Eastern Foot of the Abukuma Mountains, Northeast Japan. Japan Jour. Geol. Geogr.,vol.30,p.245-257
- 湊 正雄(1978) : 北海道の古期火山噴出物.地団研専報,no.21,p.193-197
- 山元孝広他2名(1989) : 阿武隈山地東縁部の白亜紀前期火山岩類 - 福島県原町地域, 高倉層の岩相と噴出年代. 地質学雑誌, vol.95, p.701-710
- 渡辺岩井他4名(1955) : 阿武隈高原の火成活動 - 阿武隈高原の地質学的岩石学的研究(その9). 地球科学, no.24, p.1-11
- 河野義礼・植田良夫(1965) : 本邦産火成岩のK - Ar dating() - 阿武隈山地の花崗岩類. 岩鉱, vol.54, p.162-172
- 小畠郁生・鈴木直(1969) : 再び白亜系双葉層群の上限について. 地質学雑誌, vol.75, p.443-445
- 北村 信編(1986) : 新生代東北本州弧地質資料集. 第3巻, その9, No.30, 宝文堂
- 柳沢幸夫・鈴木祐一郎(1987) : 常磐炭田漸新統白坂層の珪藻及び珪質鞭毛藻化石. 地質調査所月報, vol.38,p.81-98.
- 鈴木敬治(1963) : 植物化石よりみた東北日本の第三系 - 中新統下部層と植物化石群. 化石, no.5, p.63-77
- 山元孝広(1996) : 東北日本, 霊山地域の中新世火山岩の層序と噴出様式, 地質学雑誌, vol.102,p.730-750
- 須貝貫二・松井寛(1953) : 常磐炭田湯本東部地区調査報告. 地質調査所報告, no.157, p.1-58
- 小泉 格(1981) : 珪藻群からみた日本における初 - 中期中新世の海洋古環境. 化石, no.30, p.87-100
- 小泉 格(1986) : 常磐炭田新第三系の珪藻年代層序 - 湯長谷・白土・高久層群 - . 北村信教授退官記念地質学論文集, p.175-191
- 竹谷陽二郎他8名(1990) : 常磐地域に分布する新第三系の地質時代と堆積環境. 福島県立博物館調査報告第20集 - 浜通り地方形成史の解明 -, 福島県立博物館, 99p.
- 竹谷陽二郎(1996) : 常磐炭田地域に分布する下部中新統湯長谷層群の放散虫化石. 国立科学博物館専報, 阿武隈山地を中心とする地域の自然史科学的総合研究(1), no.28, p.47-58
- Koizumi,I.et 2 others (1980) : Diatom correlation of Legs 56 and 57 with onshore sequences in Japan. Init, Rep. DSDP, no.56-57, pt.2, p.687-693
- 竹谷陽二郎他6名(1986) : 福島県双葉地域の多賀層群より産する微化石調査報告. 福島県立博物館調査報告第12集 - 微化石調査 -, 福島県教育委員会
- 柳沢幸夫(1990) : 仙台層群の地質年代 - 珪藻化石層序による再検討 -. 地質調査所月報, vol.41, p.1-25
- 斉藤登志雄他4名(1989) : 常磐地域の第三系. 日本地質学会第96年学術大会見学旅行案内書, p.87-103
- 早田勉・八木浩司(1991) : 東北地方の第四紀テフラ研究. 第四紀研究,vol.30, p.369-378
- 貝塚爽平他4名(2000) : 日本の地形4 関東・伊豆小笠原. 東京大学出版会, 349p.
- 中川久夫(1961) : 東北日本南部太平洋沿岸地方の段丘群. 地質学雑誌, vol.67, p.66-78
- 岡 重文他4名(1981) : 福島県東海岸地域の段丘変形. 地質調査所月報, vol.32, p.275-292
- 町田洋・新井房夫(2003) : 新編火山灰アトラス - 日本列島とその周辺 -. 東京大学出版会, 276p.
- 北村 信他2名(1955) : 松川浦周辺地域の地質及び構造. 東北大学理学部地質学古生物学教室研究邦文報告,no.45, p.84-96

【参考文献（地質関連）】

- 北村 信他 2名(1955)：松川浦周辺地域の地質及び構造．東北大学理学部地質学古生物学教室研究邦文報告,no.45, p.84-96
- 大槻憲四郎他 2名(1977)：東北地方南東部の第四紀地殻変動とブロックモデル．地球科学, vol.31, p.1-14
- 福島県(1997)：福島盆地西縁断層帯に関する調査・双葉断層に関する調査．平成7年度・平成8年度,地震調査研究交付金成果報告会予稿集,科学技術庁, p.204-209
- 福島県(1998a)：双葉断層に関する調査．第2回活断層調査成果報告会予稿集,科学技術庁, p.211-220
- 福島県(1999)：双葉断層に関する成果報告書(概要版)．福島県, 22p.
- Otsuki,K・Ehiro,M.(1978)：Major strike-slip faults and their bearing on spreading in the Japan Sea.Jour. Phys. Earth, vol.26, Suppl., S537-S555
- 恒石幸正(1966)：阿武隈山地広野地域の地質構造．地震研究所彙報, vol.44, p.749-764
- 鈴木毅彦・早田勉(1994)：奥会津沼沢火山から約5万年前に噴出した沼沢 - 金山テフラ．第四紀研究, vol.33, p.233-242
- 中村俊夫他 2名(1992)：東京軽石流堆積物中の炭化木片の加速器質量分析計による放射性炭素年代．地質学雑誌, vol.98, p.905-908
- 渡辺岩井他 2名(1953)：北部阿武隈高原東北地域の地質 - 阿武隈高原の地質学的岩石学的研究(其の4)．東京教育大学理学部地質学鉱物学教室研究報告, no.2, p.69-78
- 大野勝次他 3名(1953)：北部阿武隈高原東南地域の地質 - 阿武隈高原の地質学的岩石学的研究(其の5)．東京教育大学理学部地質学鉱物学教室研究報告, no.2, p.79-89
- 牛来正夫(1958)：阿武隈高原の変成作用と深成作用．鈴木醇教授還暦記念論文集, p.74-87
- 今泉俊文他 6名(2000)：1：25,000都市圏活断層図「白石」．国土地理院技術資料, D-1-No.375
- 福島県(1998b)：福島盆地西縁断層帯に関する調査．第2回活断層調査成果報告会予稿集,科学技術庁, p.69-72
- 福島県(1998c)：福島盆地西縁断層帯に関する調査成果報告書(概要版)．福島県, 68p
- 海上保安庁水路部(1980)：海底地形図「東北日本」(1/100万)
- 加藤 進他 2名(1996)：相馬沖海域における上部白亜系・新生界の層序と地質構造．地質学雑誌, vol.102, p.1039-1051
- 海上保安庁水路部(1981b)：常磐沖のNNE - SSW方向,長さ120kmの断層系．地震予知連絡会報, vol.26, p.40-43

【参考文献（基準地震動Ss関連）】

- 気象庁（1923～2008.7）：地震年報2007年版，地震・火山月報ほか
- 池田孝・加藤研一・植竹富一・敦賀隆史（2008）：1938年塩屋崎沖地震群の震源モデルの特性化と地震動評価，日本建築学会構造系論文集 第73巻第633号，1951 - 1958
- Noda, S., K.Yashiro, K.Takahashi, M.Takemura, S.Ohno, M.Tohdo and T.Watanabe（2002）：RESPONSE SPECTRA FOR DESIGN PURPOSE OF STIFF STRUCTURES ON ROCK SITES, OECD - NEA Workshop on the Relations between Seismological DATA and Seismic Engineering, Oct.16 - 18, Istanbul, 399 - 408
- 松田時彦（1975）：活断層から発生する地震の規模と周期について，地震 第2輯，第28巻，269 - 283
- 地震調査研究推進本部（2006）：「全国を概観した地震動予測地図」報告書2006年版
- 浅野公之・岩田知孝・入倉孝次郎（2004）：2003年5月26日に宮城県沖で発生したスラブ内地震の震源モデルと強震動シミュレーション，地震 第2輯，第57巻，171 - 185
- 地震調査研究推進本部（2002）：三陸沖から房総沖にかけての地震活動の長期評価について，地震調査委員会報告集 - 2002年1月～12月 -
- 大野晋・高橋克也・源栄正人（2001）：カリフォルニア強震記録に基づく水平動・上下動の距離減衰式と日本の内陸地震への適用，日本建築学会構造系論文集，第544号，39 - 46
- 内山泰生・翠川三郎（2006）：震源深さの影響を考慮した工学的基盤における応答スペクトルの距離減衰式，日本建築学会構造系論文集，第606号，81 - 88
- 片岡正次郎・佐藤智美・松本俊輔・日下部毅明（2006）：短周期レベルをパラメータとした地震動強さの距離減衰式，土木学会論文集 A, Vol.62, No.4, 740 - 757
- Kojiro Irikura（1986）：PREDICTION OF STRONG ACCELERATION MOTIONS USING EMPIRICAL GREEN'S FUNCTION, 第7回日本地震工学シンポジウム，151 - 156
- 三宅弘恵・岩田知孝・入倉孝次郎（1999）：経験的グリーン関数法を用いた1997年3月26日（M_{JMA} 6.5）及び5月13日（M_{JMA} 6.3）鹿児島県北西部地震の強震動シミュレーションと震源モデル，地震 第2輯，第51巻，431 - 442
- 入倉孝次郎・三宅弘恵・岩田知孝・釜江克宏・川辺秀憲（2002）：強震動予測のための修正レシピとその検証，第11回日本地震工学シンポジウム，567 - 571
- David M. Boore（1983）：STOCHASTIC SIMULATION OF HIGH - FREQUENCY GROUND MOTIONS BASED ON SEISMOLOGICAL MODELS OF THE RADIATED SPECTRA, Bull. Seism. Soc. Am., Vol.73, No.6, 1865 - 1894
- Pitarka, A., P. Somerville, Y. Fukushima, T. Uetake and K. Irikura（2000）：Simulation of Near - Fault Strong - Ground Motion Using Hybrid Green's Functions, Bull. Seism. Soc. Am., 90, 3, 566 - 586
- 永野正行・渡辺哲史（2007）：薄層法を用いた理論地震動の計算精度向上とその検証，日本建築学会技術報告集，第13巻，第26号，451 - 456
- （独）原子力安全基盤機構（2004）：地震記録データベースSANDELのデータ整備と地震発生上下限層深さの評価に関する報告書（平成15年度），JNES/SAE04 - 017，平成16年8月
- 三浦誠一・小平秀一・仲西理子・鶴哲郎・高橋成実・金田義行（2000）：エアガン - 海底地震計データによる日本海溝・福島沖前弧域の地震波速度構造，JAMSTEC深海研究，第16号，87 - 100

【参考文献（基準地震動Ss関連）】

- 小林喜久二・植竹富一・土方勝一郎（2005）：地震動の水平/上下スペクトル振幅比の逆解析による地下構造推定法の標準化に関する検討，日本建築学会大会学術講演梗概集，B-2，構造，185 - 186
- 福山英一・石田瑞穂・D. S. Dreger・川井啓廉（1998）：オンライン広帯域地震データを用いた完全自動メカニズム決定，地震 第2輯，第51巻，149 - 156
- 加藤研一・宮腰勝義・武村雅之・井上大榮・上田圭一・壇一男（2004）：震源を事前に特定できない内陸地殻内地震による地震動レベル - 地質学的調査による地震の分類と強震観測記録に基づく上限レベルの検討 - ，日本地震工学会論文集，第4巻，第4号，46 - 86
- 宇佐美龍夫（2003）：最新版 日本被害地震総覧 [416] - 2001，東京大学出版会
- 宇津徳治（1982）：日本付近のM6.0以上の地震および被害地震の表：1885年～1980年，東京大学地震研究所彙報，Vol.57
- 地震調査研究推進本部（1999）：日本の地震活動 - 被害地震から見た地域別の特徴 - ，追補版
産業技術総合研究所：活断層データベース
- 入倉孝次郎・三宅弘恵（2001）：シナリオ地震の強震動予測，地学雑誌，vol.110，No.6，849 - 875
- 武村雅之（1990）：日本列島およびその周辺地域に起こる浅発地震のマグニチュードと地震モーメントの関係，地震 第2輯，第43号，257 - 265
- 武村雅之（1998）：日本列島における地殻内地震のスケーリング則 - 地震断層の影響および地震被害との関連 - ，地震 第2輯，第51号，211 - 228
- （社）日本原子力学会（2007）：原子力発電所の地震を起因とした確率論的安全評価実施基準，日本原子力学会標準，AESJ - SC - P006
- （独）原子力安全基盤機構（2005）：震源を特定しにくい地震による地震動の検討に関する報告書（平成16年度），JNES/SAE05 - 004，平成17年6月