

熊本地震の分析について

平成29年4月26日
原子力規制庁技術基盤グループ

1. 目的

平成28年4月16日に熊本地震本震(Mj7.3)が発生した。この地震で重要な点は、兵庫県南部地震以降観測された国内最大規模の内陸地殻内地震であっただけではなく、地震調査研究推進本部（以下「地震本部」という。）による長期評価の対象となっている主要な活断層帯（布田川断層帯・日奈久断層帯）で生じ、地震後に地表に現れた断層長さが布田川区間を対象とした事前の長期評価に用いたものより長く、地震規模が想定を超えたことである（別紙1）。本地震に関連し、震源断層面積と地震モーメントとの関係を表す入倉・三宅(2001)式の適用性を含め、地震規模の予測手法について多くの議論がなされている。

本検討では、熊本地震本震の観測記録に基づく解析を行い、現行の断層モデルによる基準地震動策定手法への影響の有無について分析する。

2. 分析の内容

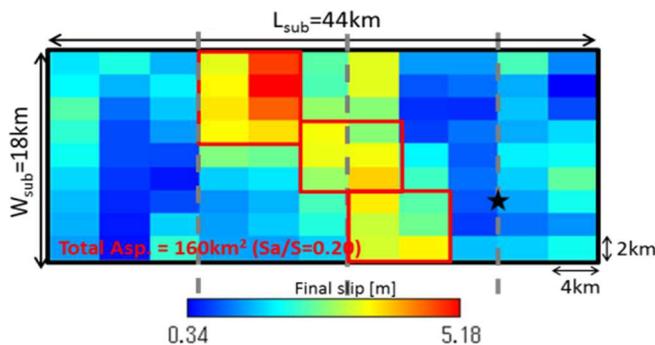
(1) 着眼点

現行の断層モデルによる基準地震動策定手法に与える影響の有無の観点から、震源過程解析を基に、本地震の震源断層面積と地震モーメントとの関係を整理し、入倉・三宅(2001)式との整合性について評価するとともに、地震動評価上の重要な要因として、強震動（周期1秒以下の短周期成分を主体とする地震動）の大きさに支配的な震源断層の応力降下量の評価を行う。

(2) 分析結果

a. 震源断層面積と地震モーメントとの関係

震源断層面積と地震モーメントとの関係を評価するために、まず、本地震の観測記録を用い震源過程の逆解析を実施し、震源域のすべり分布を求めた。次に得られたすべり分布から地震動への寄与度の低いすべり量が小さい領域を除いて最終的な震源断層モデルを得た（図1参照）。そこから震源断層面積及びすべり量に基づく地震モーメントを求めるとそれぞれ 792km^2 及び $4.8 \times 10^{19}\text{Nm}$ となった。



出典/Yoshida et al., 2016 地震学会 (原子力規制庁委託業務)

図1 震源断層モデル

この計算結果に加え、国内の4研究機関が実施した震源過程解析から得られた震源断層面積と地震モーメントの関係を入倉・三宅(2001)式と比較した。その結果、それぞれの震源断層面積と地震モーメントの関係は、入倉・三宅(2001)式とほぼ整合した(表1及び図2赤色三角参照)。さらに、F-net(防災科学技術研究所広帯域地震観測網)の観測地震波から算出した地震モーメント(4.42×10^{19} Nm)と前記5つの震源断層面積の平均値(903km^2)との関係も入倉・三宅(2001)式と整合していることを確認した(図2緑色三角参照)。

このことから、熊本地震の震源断層面積と地震モーメントとの関係は、入倉・三宅(2001)式と整合していると判断される。

表1 各機関の震源断層モデル

項目	Yoshida et al.*1 (2016地震学会)	浅野・岩田 (2016JpGU)	久保・他 (2016JpGU)	小林・他 (2016JpGU)	引間(2016地 震工学会)
地震モーメント M_0 [Nm]	4.8E+19	4.67E+19	5.3E+19	4.60E+19	4.65E+19
断層長さ L [km]	44	42	56	45	44
断層幅 W [km]	18	18	24	16.5	20
面積 S [km^2]	792	756	1344	742.5	880

注*1 原子力規制庁委託業務

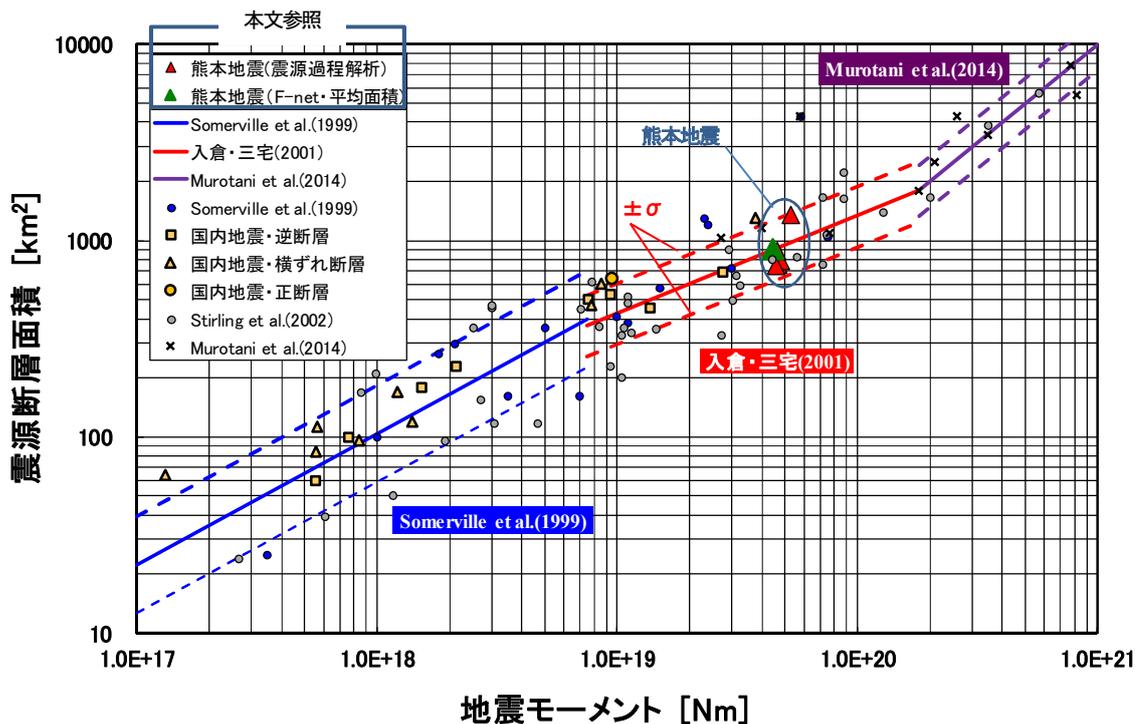


図2 地震モーメントと震源断層面積との関係

b. 応力降下量の評価

断層破壊により強震動が生じるが、震源断層の強震動生成領域(SMGA)の応力降下量が強震動の特性に大きく影響する。応力降下量を評価するにあたっては、通常、地震動の再現解析を行い、観測波形に対して再現性の良い合成波形となるSMGAの応力降下量を求める方法が用いられている。本検討では、震源過程解析から得られた最大すべり速度分布等を基に、前項に示す断層モデル(Yoshida et

al.)内の3か所にSMGAを設定した。その上で、再現解析として文献1)を参考にSMGAの面積や応力降下量等の震源断層パラメータを設定し、これらを変化させて観測波形との残差が小さくなる合成波形を求めた。再現解析用のSMGAモデル及び再現解析の結果得られたSMGAの震源断層パラメータ諸元を図3に、観測波形と再現解析で得られた合成波形との比較を図4に示す。

地震本部は、国内の主要な活断層を対象として強震動予測を行っており、「全国地震動予測地図(2009年)」における断層モデルの応力降下量は、12.8MPa~17.5MPaである。一方、本検討で得られたSMGAの応力降下量は13.4MPa及び13.6MPaであり、「全国地震動予測地図(2009年)」の断層モデルにおける応力降下量と同程度である。これより、現行の基準地震動策定手法において応力降下量の設定に関して新たに考慮すべき点は無いと言える。

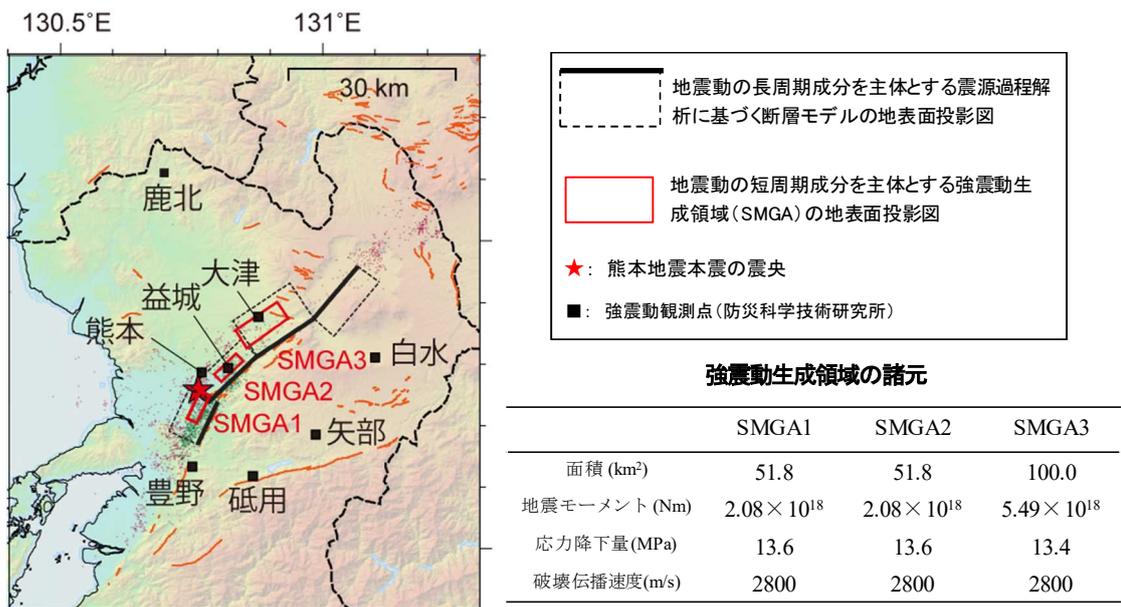


図3 再現解析用の強震動生成領域モデル

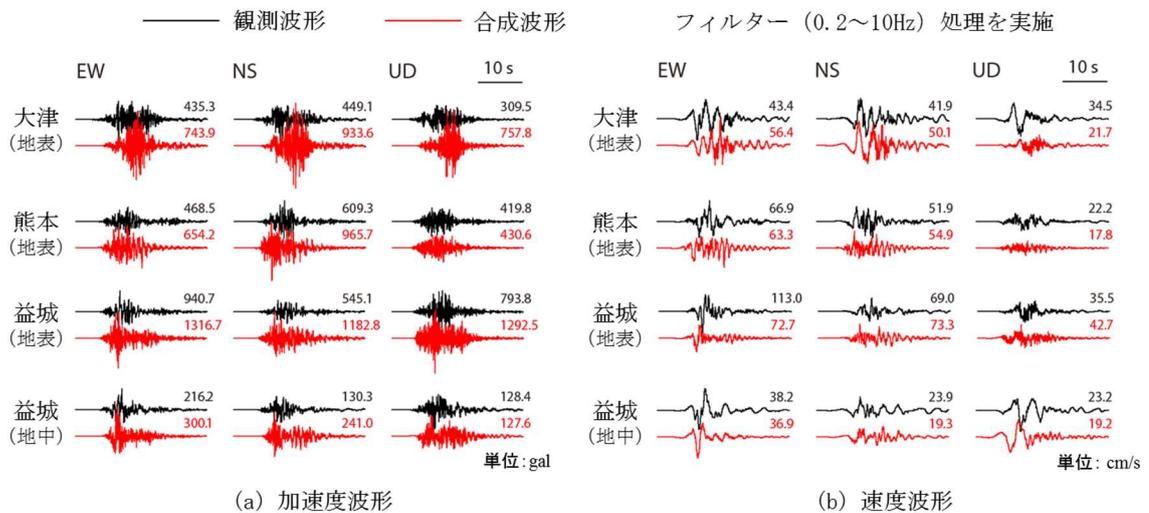


図4 観測波形と合成波形の比較(代表地点)

3. まとめ

熊本地震本震の分析の結果、震源断層面積と地震モーメントとの関係は、入倉・三宅(2001)式と整合しており、また、応力降下量は従来の断層モデルにおける応力降下量と同程度の値となった。これより、震源断層面積と地震モーメントとの関係及び応力降下量の観点からは現行の断層モデルによる基準地震動策定手法に影響する要因はないことを確認した。

4. 今後の研究

熊本地震の震源域において地球物理学的調査及び地質学的調査を実施し、地下構造情報を分析して、震源断層の大きさの事前評価に係る手法の高度化について検討する予定である。研究成果は、学術論文として公表していく。

参考 1: 「2016 年熊本地震（最大前震、本震）の情報」、技術基盤グループ安全技術管理官（地震・津波担当）付、平成 29 年 1 月 11 日

参考 2: 「大飯発電所の地震動に係る試算の過程等について」、第 23 回原子力規制委員会資料 1（抜粋）、平成 28 年 7 月 27 日

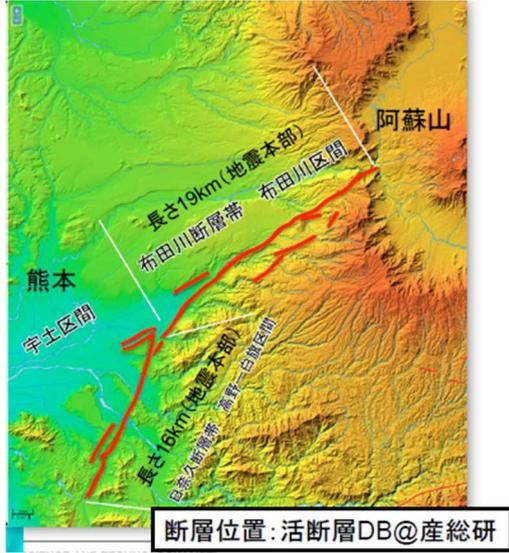
《文献》

- 1) Miyake et al., Source Characterization for Broadband Ground-Motion Simulation: Kinematic Heterogeneous Source Model and Strong Motion Generation Area, BSSA, 2003

熊本地震の概要

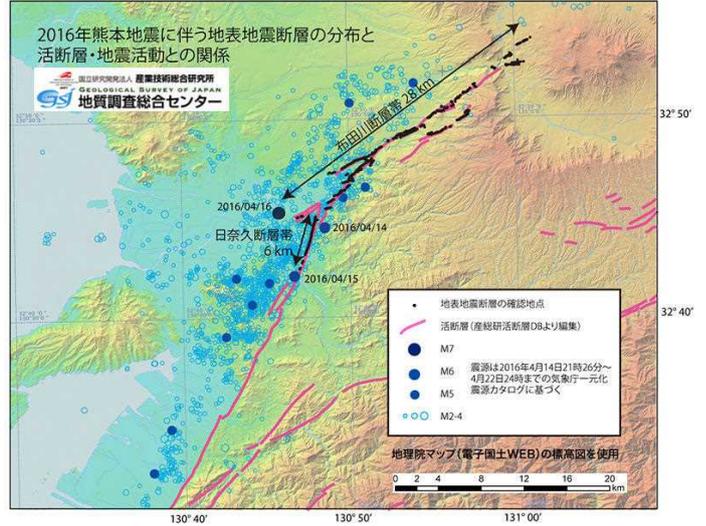
平成 28 年 4 月 16 日の熊本地震本震 (Mj7.3、Mw7.0) の発生前後の断層を図 A-1、KiK-net 益城観測点 (KMMH16) における観測記録を表 A-1 及び図 A-2 に示す。

長期評価における活断層



吉見 (2016 ; 土木学会 HP より)

地震後の地表地震断層



(産業技術総合研究所 HP より)

項目	断層長さ	規模 (Mj)
地震本部長期評価 (活断層)	19km (布田川断層帯布田川区間)	7
熊本地震 (地表地震断層)	28km (布田川断層帯) 6km (日奈久断層帯北部)	7.3
震源過程解析による 震源断層	42~56km	

<参考>川内発電所適合性審査：布田川断層帯と日奈久断層帯の連動を考慮し、長さ 92.7km の活断層 (Mj 8.1) として評価

図 A-1 長期評価における活断層と地震後の地表地震断層

表 A-1 益城地震観測記録

方向	NS	EW	UD
地表加速度(Gal)	653	1157	873
地中加速度(Gal)	159	243	196

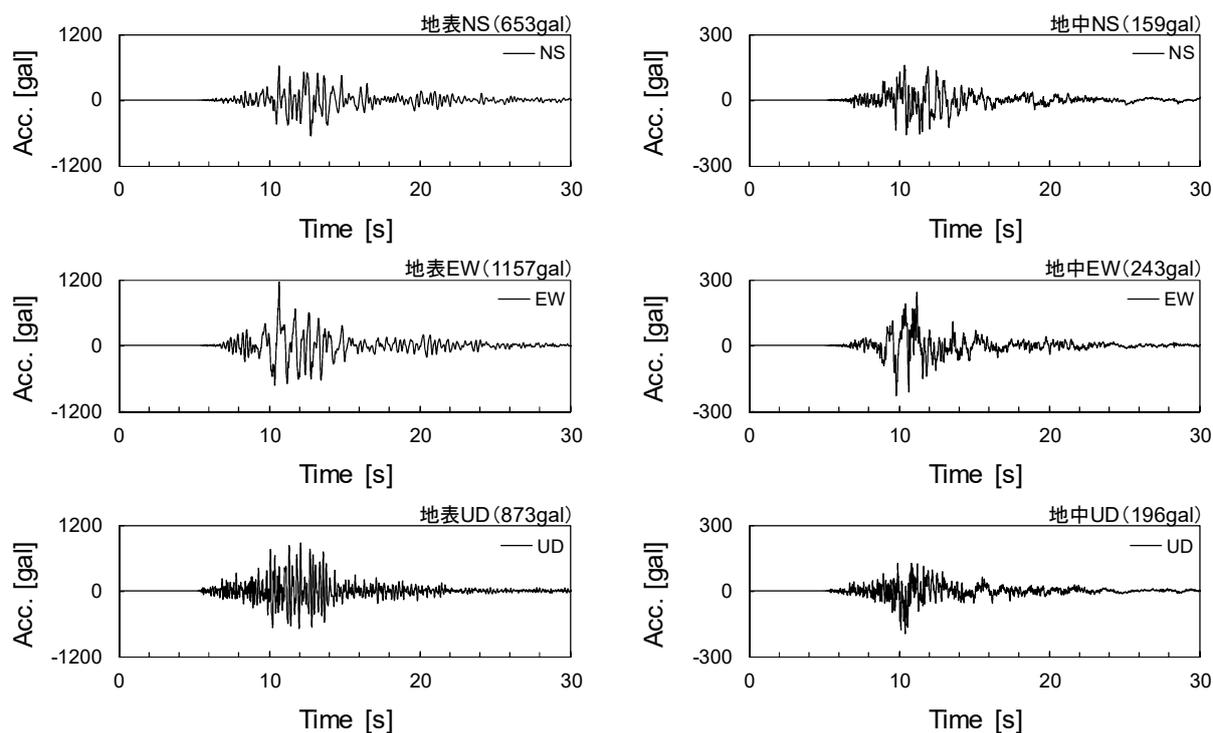


図 A-2 益城地震観測記録(地表面及び地中の加速度時刻歴波形)

2016年熊本地震(最大前震、本震)の情報

平成29年1月11日

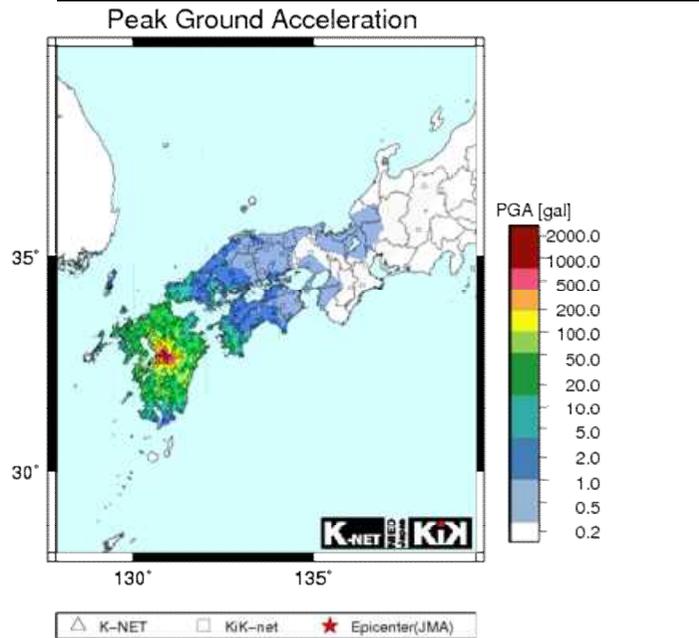
技術基盤グループ安全技術管理官(地震・津波担当)付

I. 熊本地震最大前震を対象とした地震動特性について

1. 最大前震 (M_w 6.1) の概要

表 I -1 KiK-net益城観測点最大加速度 (単位:Gal)

観測点 (KMMH16)	NS	EW	UD
地表	760	925	1399
地下(GL-252m; $V_s=2700\text{m/s}$)	237	178	127



2016/04/14-21:26 32.7N 130.8E 10km M6.4
(※防災科学技術研究所ホームページ資料より)

図 I -1 地表最大加速度分布

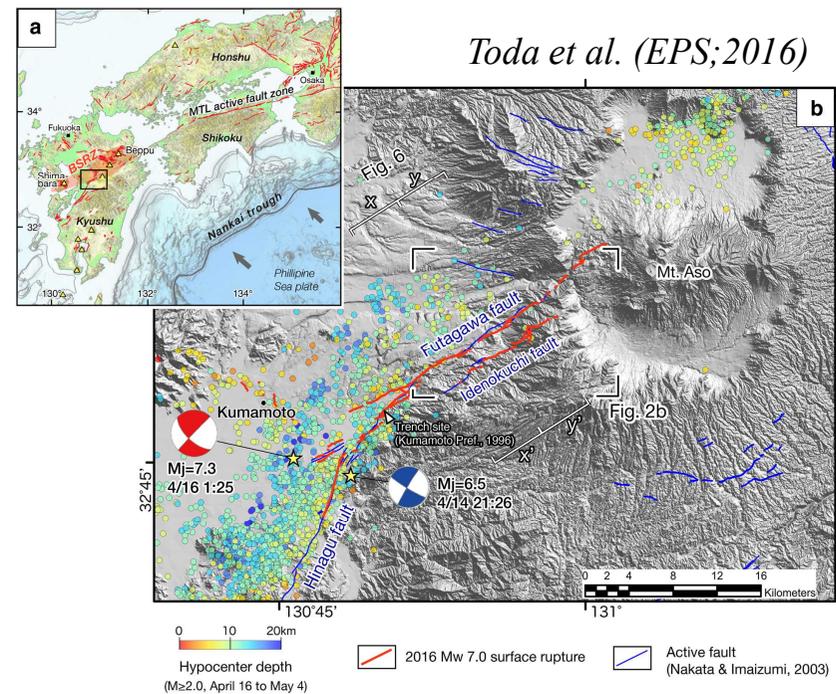


図 I -2 震源位置図(本震含む)

2. KiK-net益城観測記録【地表】

・時刻歴波と応答スペクトル

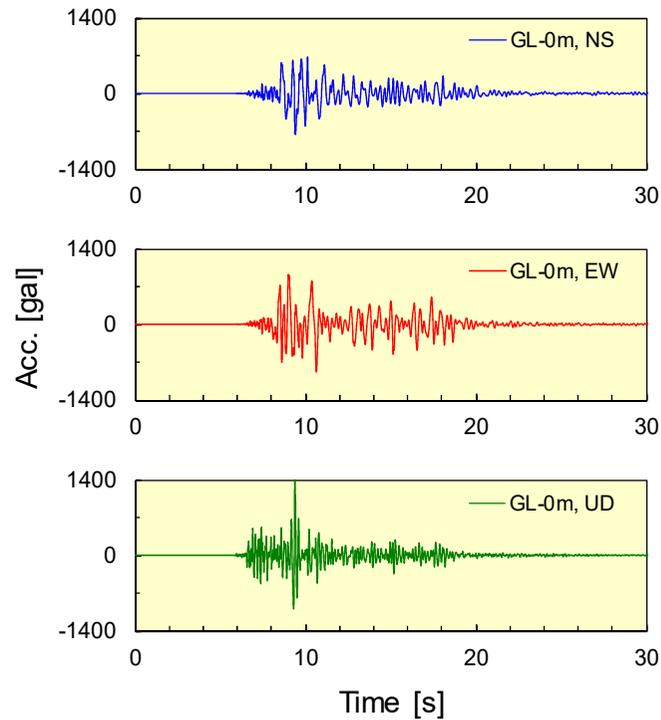


図 I -3 時刻歴波形 (GL-0m)

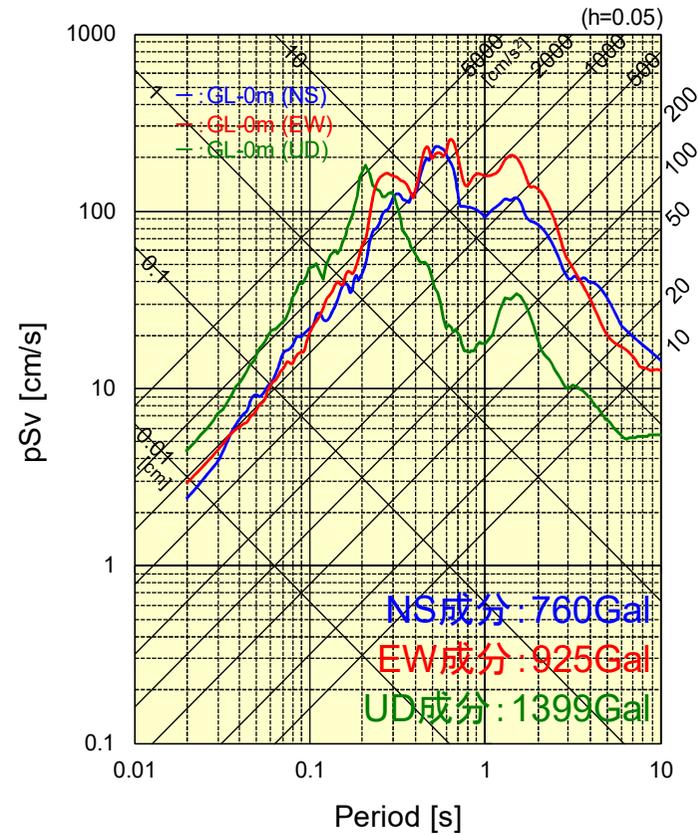


図 I -4 応答スペクトル (GL-0m)

3. KiK-net益城観測記録【地中】

・時刻歴波と応答スペクトル

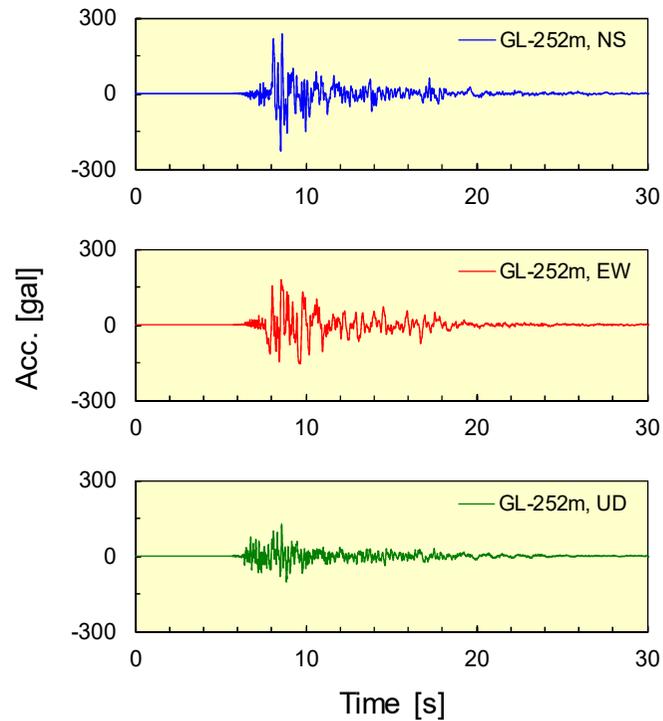


図 I -5 時刻歴波形 (GL-252m)

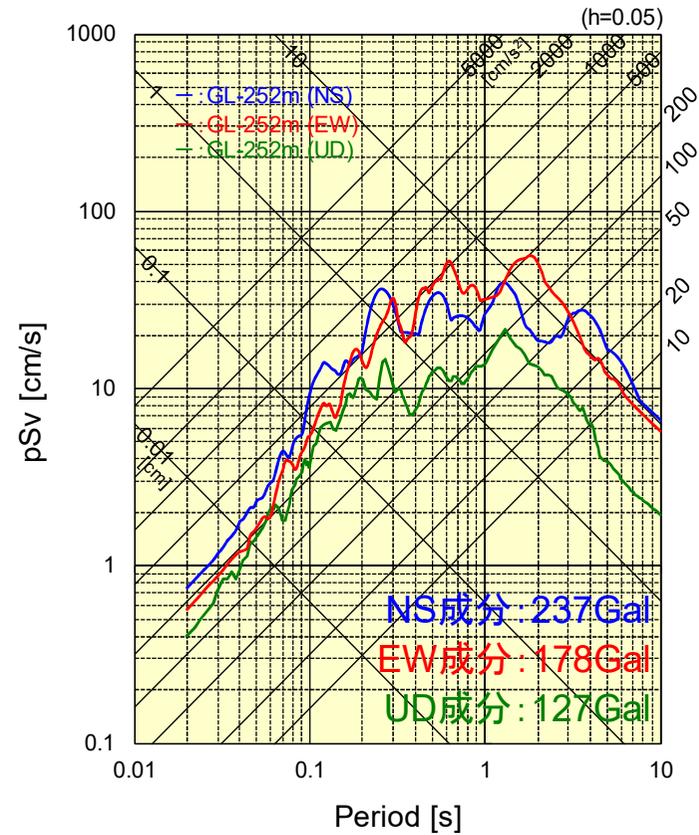


図 I -6 応答スペクトル (GL-252m)

4. 最大前震の震源過程解析

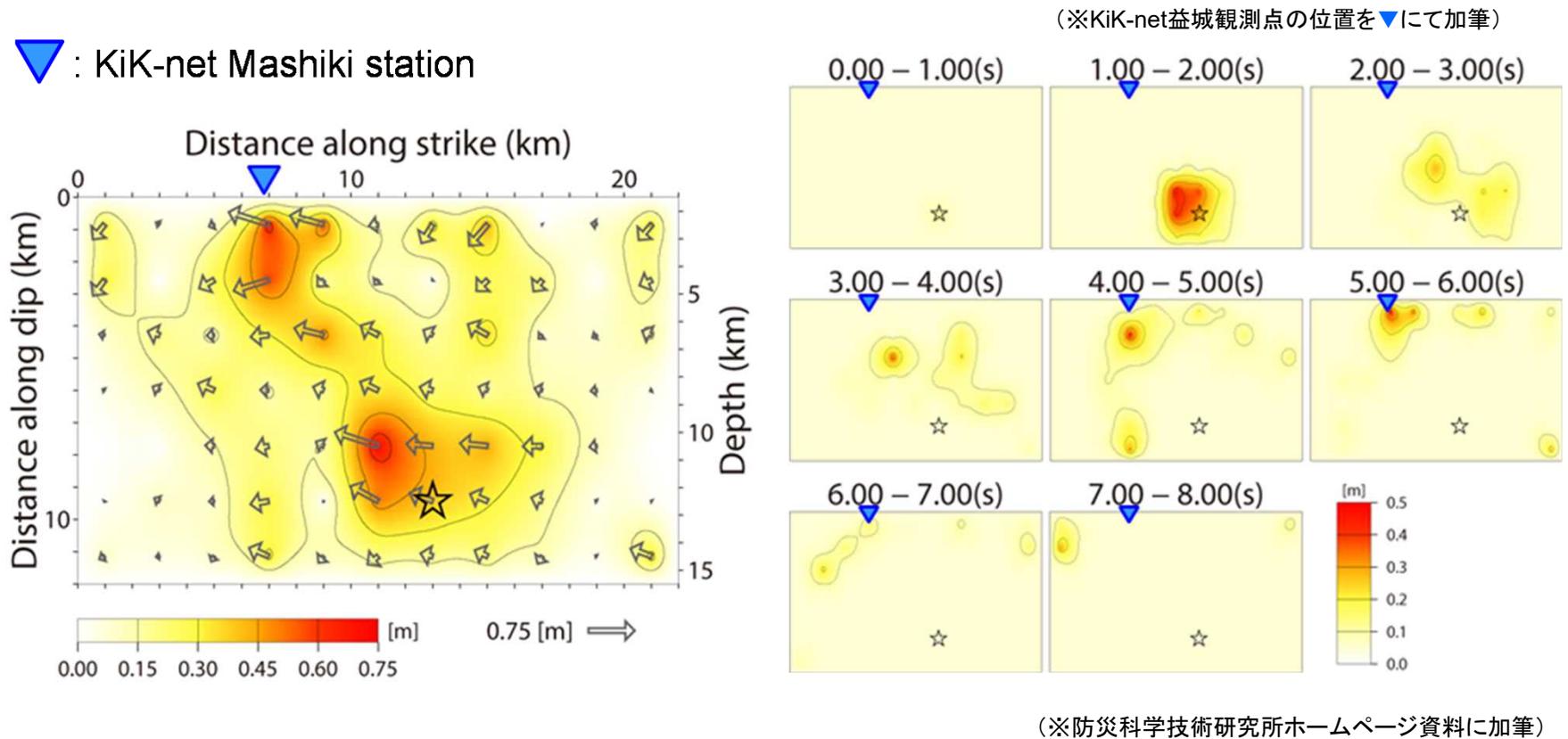


図 I -7 防災科学技術研究所(2016)による最大前震の強震波形記録を用いた震源過程解析結果

5. KiK-net益城観測点における大加速度振幅の要因

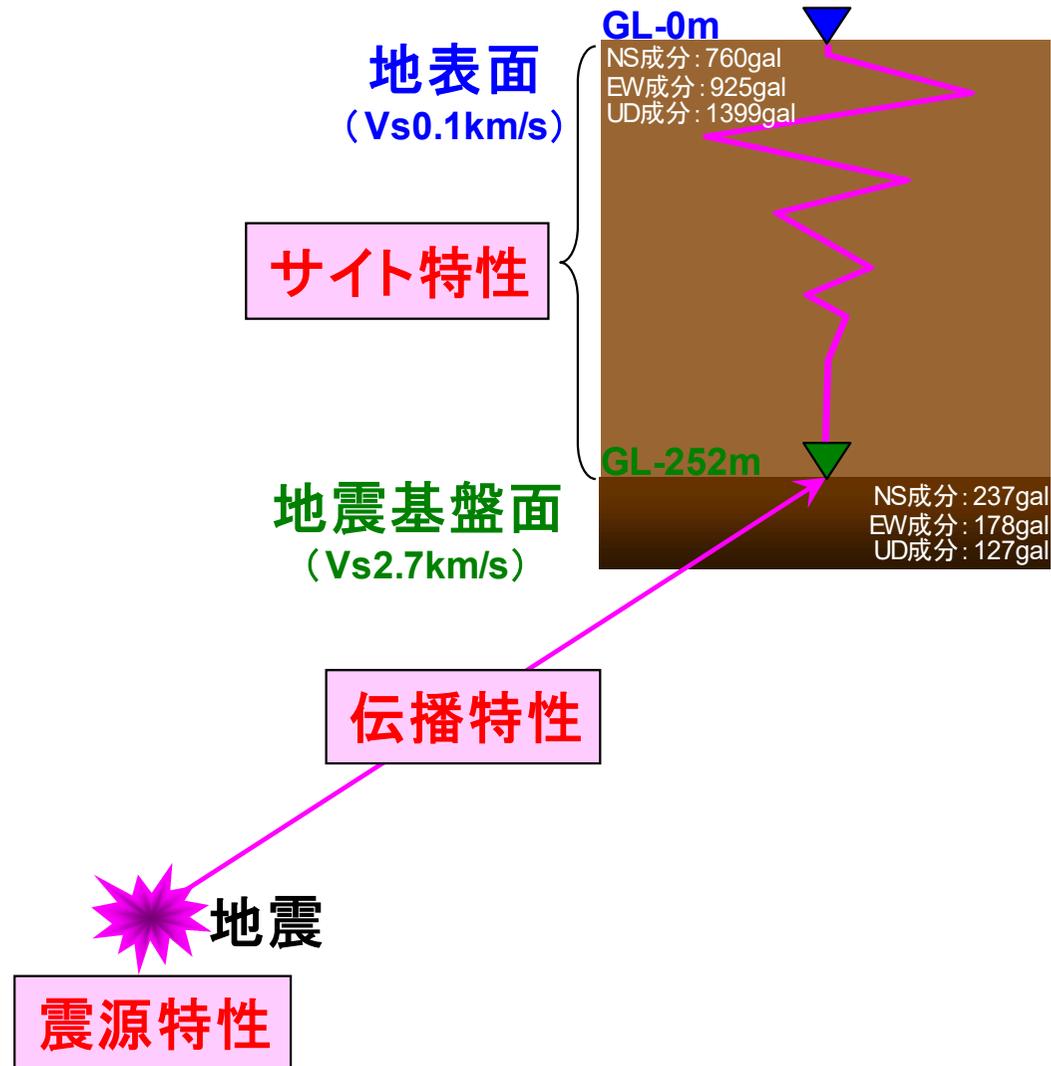


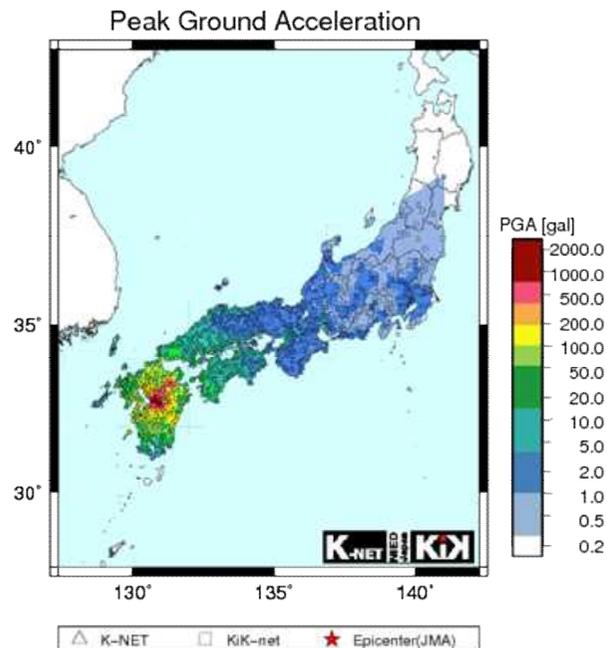
図 I -8 大加速度振幅の要因(概念図)

Ⅱ. 熊本地震本震を対象とした震源断層特性について

1. 本震(M_w 7.0)の概要

表Ⅱ-1 KiK-net益城観測点最大加速度 (単位:Gal)

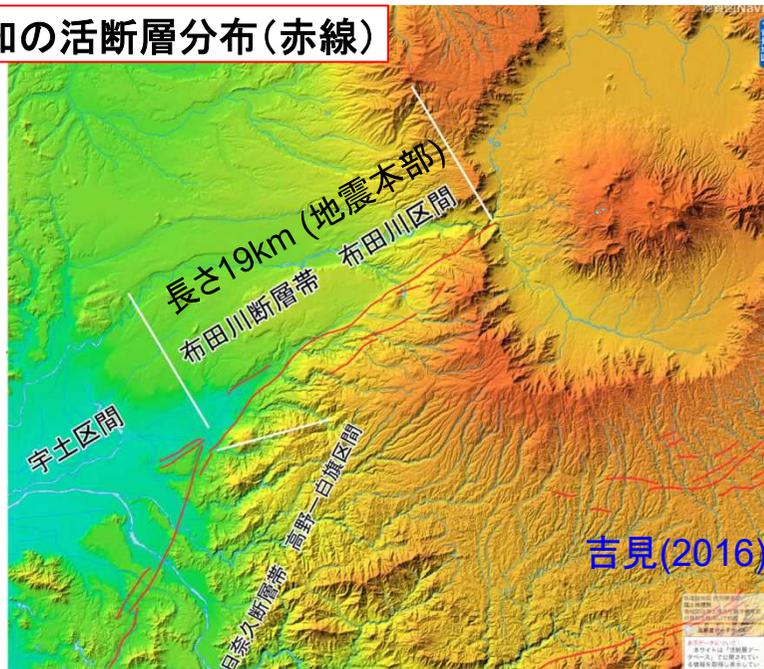
観測点(KMMH16)	NS	EW	UD
地表	653	1157	873
地下(GL-252m; $V_s=2700\text{m/s}$)	159	243	196



2016/04/16-01:25 32.8N 130.8E 10km M7.1 (※防災科学技術研究所ホームページ資料より)

図Ⅱ-1 地表最大加速度分布

既知の活断層分布(赤線)



地震断層の概略位置(青線)

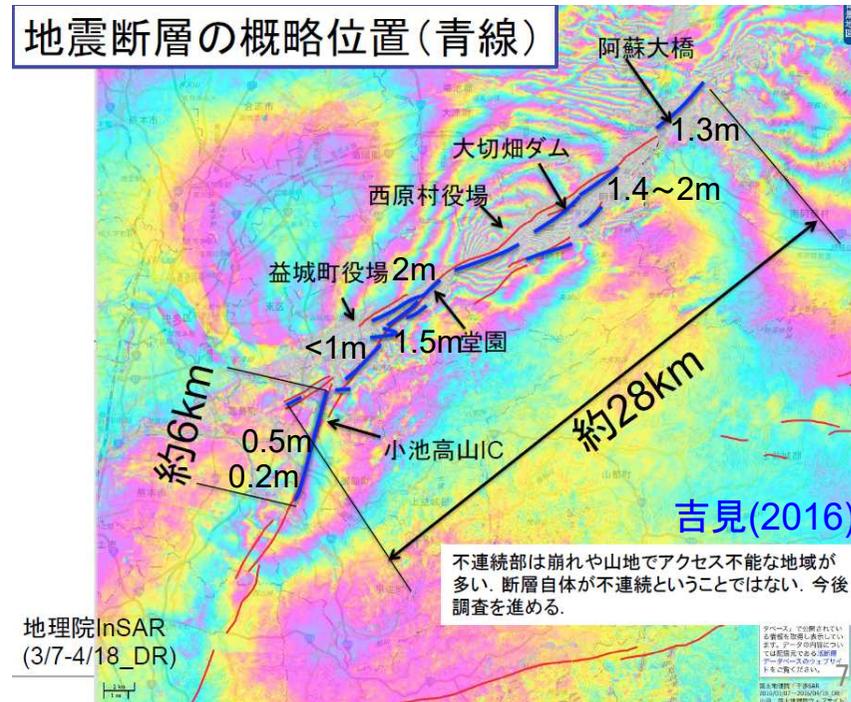
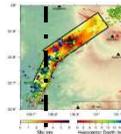


図 II -2 既知の活断層と地震後の地表地震断層

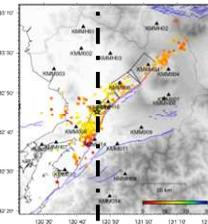
2. 地震モーメントスケーリング則について

震源過程解析による震源断層モデル

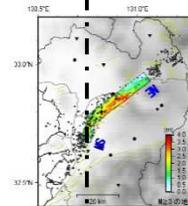
浅野・岩田(京大・防災研／2016JpGU)
 $Mo_{inv} = 4.67 \times 10^{19} \text{Nm}$



吉田・他(地盤研／2016地震学会)
 $Mo_{inv} = 4.8 \times 10^{19} \text{Nm}$



引間(東京電力／2016地震工学会)
 $Mo_{inv} = 4.65 \times 10^{19} \text{Nm}$



久保・他(防災科研／2016JpGU)
 $Mo_{inv} = 5.3 \times 10^{19} \text{Nm}$

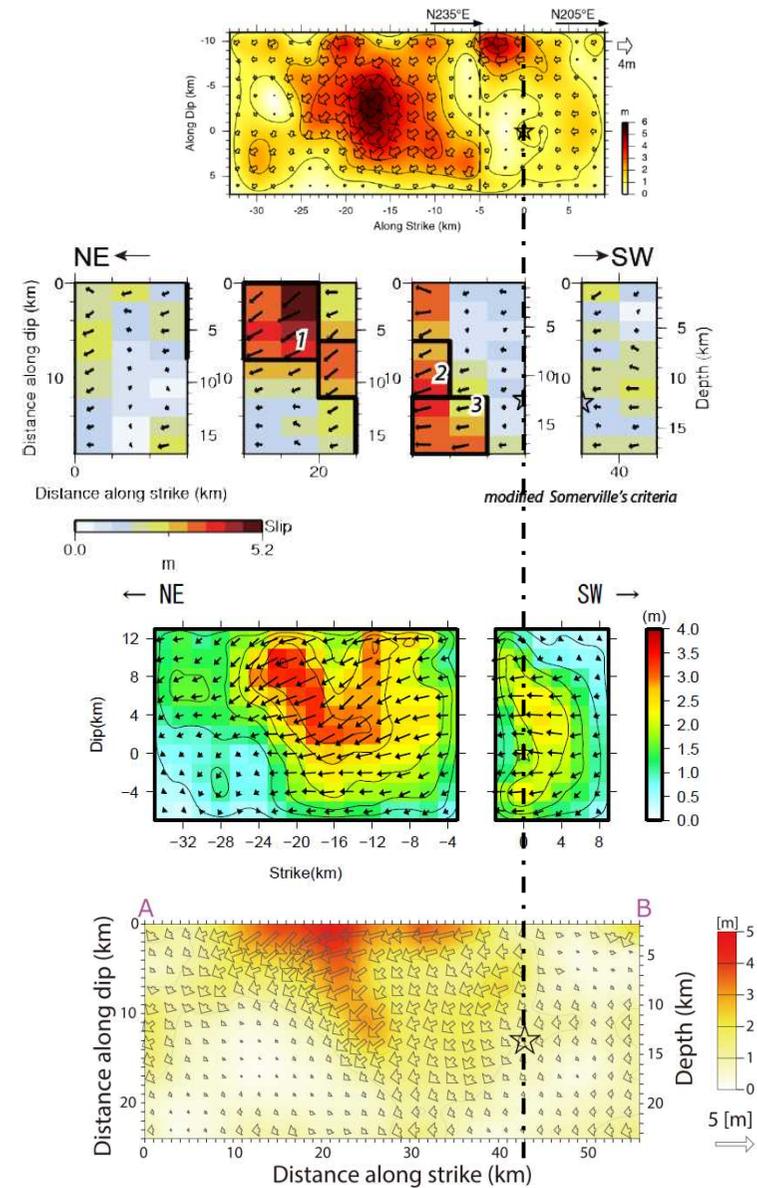
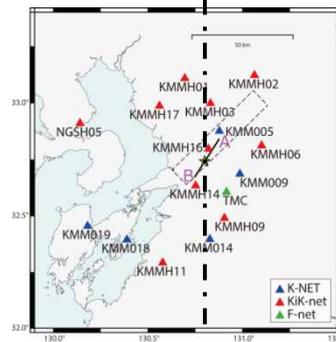


図 II-3 震源断層モデル

関西電力による地震動評価ケース

FO-A～FO-B～熊川断層の地震動評価ケース

考慮した不確かさ	短周期の地震動レベル	断層傾斜角	すべり角	破壊伝播速度 V_r	アスペリティ配置	破壊開始点
基本ケース	レスピ平均	90°	0°	$V_r=0.72\beta$	①断層ごとに敷地近傍に配置	9箇所
短周期の地震動レベル	レスピ平均 × 1.5倍	90°	0°	$V_r=0.72\beta$	①断層ごとに敷地近傍に配置	9箇所
断層傾斜角	レスピ平均	75°	0°	$V_r=0.72\beta$	①断層ごとに敷地近傍に配置	9箇所
すべり角	レスピ平均	90°	30°	$V_r=0.72\beta$	①断層ごとに敷地近傍に配置	9箇所
破壊伝播速度 V_r	レスピ平均	90°	0°	$V_r=0.87\beta$	①断層ごとに敷地近傍に配置	9箇所
アスペリティ配置	レスピ平均	90°	0°	$V_r=0.72\beta$	②敷地近傍に一塊(正方形)	5箇所
	レスピ平均	90°	0°	$V_r=0.72\beta$	③敷地近傍に一塊(長方形)	5箇所
短周期の地震動レベルおよび破壊伝播速度 V_r の不確かさの組合せを考慮	レスピ平均 × 1.25倍	90°	0°	$V_r=0.87\beta$	①断層ごとに敷地近傍に配置	9箇所

: 不確かさを独立して考慮するパラメータ
 : 不確かさを重畳して考慮するパラメータ