

5. 2016年熊本地震に関する研究

倉橋奨・呉浩・石黒聡士

1. はじめに

2016年4月に熊本地方を震源とした熊本地震が発生した。この地震は、断層近傍である益城町で甚大な建物倒壊被害が発生しており、建物倒壊の原因（地震動または直接変位など）との関係が注目されている。また、地表地震断層は断層地形に概ね沿うように確認されているが、詳細にみると位置がずれている場所があるなど指摘されている。また、自動車関連の工場などは稼働停止などの措置がとられるなどの影響があったことが知られている。本プロジェクトでは、これらの状況から、以下の3つ項目について、調査・研究する実施する。

1. 建物被害と地震動との関係性の解明

現地調査や収集した資料から選定した、建物被害があった場所またはなかった場所の地震動を、本研究で構築する震源モデルと地下構造モデルから推定し、建物被害と地震動との関係性を解明する。

2. 本地震と布田川断層-日奈久断層との関連性の解明

本地震の地表地震断層は、地震前に指摘されていた活断層地形におおむね沿うように出現したものの、過去の累積的な変位地形とは位置がずれていたたり、地震前の地形からは推定できない場所にも出現したものもあった。活断層累積的な変位地形と今回出現した地震断層の位置形状や変位量とその分布傾向などを比較検討することにより、今回の地震が布田川-日奈久断層の固有地震であったのか、もしくは得意特異な活動によるものなのか等を検討できる。そのために、地表地震断層と活断層の正確な分布と変位量をマッピングする。

3. 東海地域および被災地域における企業への影響調査

本地震により、尾張三河の企業の稼働や従業員への影響や対応および、被災地域の企業における影響（被害状況、復旧復興、顧客、従業員対策）などを把握することで、来る南海トラフ地震時における東海地域の企業の影響や対策を考察する。

2. 建物被害と地震動との関係性の解明

はじめに、地震動の生成メカニズムの解明を行った。ここでは、熊本地震の観測記録を用いて、その地震動が断層面のどの場所で生成されたかを分析した。この地震動の生成場所は強震動生成域とよばれ、この強震動生成域の場所、大きさ等のパラメータのデータを蓄積することで、将来発生する地震に対してより精度よい地震動予測を行うことが可能となると考えられる。

本研究では、経験的グリーン関数法（Irikura, 1986）を用いて、強震動生成域をモデル化した。モデル化に際しては、ベースとなる震源破壊過程モデルが必要となる。多くの地表変位が各研究機関や研究者より報告されており、その地表地震断層に沿う複雑な断層モデルが提案されている。しかしながら、将来発生する地震の地震動予測に対しては、複雑な断層モデルを仮定することは難しい。また、仮定できたとしても、次に発生する地震が、その仮定した断層で発生するかは、誰も予測できない。したがって、予測問題を考えた場合には、実際とは大きく異なる程度の簡便なモデルが現実的である。このような考えから、本研究では、断層面1枚で構成された震源破壊過程モデルであるKubo et al. (2016)を採用した。

経験的グリーン関数法で必要な要素地震は、2016年4月15日0時50分（Mw4.4）の余震を採用した。この地震は、予備解析にて得られた強震動生成域付近に発生し、その大きさに適応した余震であることから、採用してい

る。紙面の都合上余震の諸元等は割愛するが、この結果はIrikura et al. (2017) と同じパラメータであるため、そちらを参照されたい。

図1に解析された最適震源モデルを、図2に観測波形と最適震源モデルから計算された計算波形の比較を示す。最適震源モデルは、破壊開始点からバイラテラルに破壊が進行し、北東および南西方向に破壊が進展した結果となった。このような結果となる要因として、破壊開始点の北東方向に位置するKMMH16（益城）と南東方向に位置するKMMH14（豊野）観測点における地震動が大きく、この再現のためには、地震動が大きくなる破壊の進行方向にならないと再現できないためと考えられる。図4の観測波形と合成波形との比較図を確認すると、KMMH16およびKMMH14は、明瞭に大きな波形が得られており、最適モデルによる計算波形は、この観測波形を再現できていることが確認できる。その他の観測点についても、観測波形をほぼ再現できていることがわかる。

最後にこの最適モデルと過去の被害地震との結果を比較する。図3に地震モーメントと強震動生成域の面積の比較図を示す。図中の赤丸で示した本地震の結果は、既往のスケーリング則の結果とほぼ一致している。これは、本地震は、震源メカニズムとしては、既往の地震と平均的なものであったことを意味している。

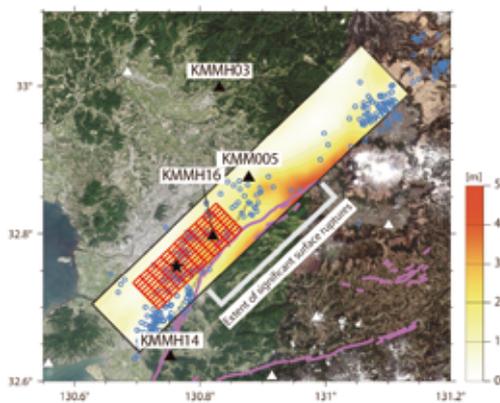


図1 解析された最適震源モデル。赤の矩形が強震動生成域を示す。背景は久保ほか (2016) を示す。

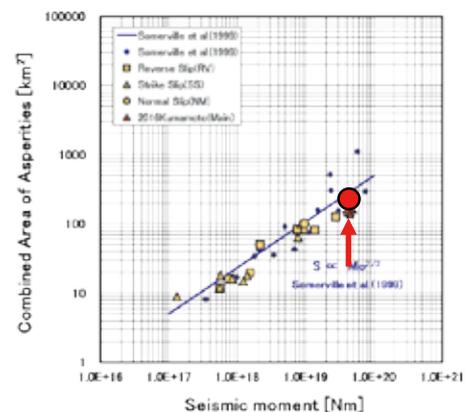


図2 本研究の強震動生成域と既往のスケーリング則との比較。Irikura et al. (2017) の地震モーメント対アスペリティ面積の図に加筆した。

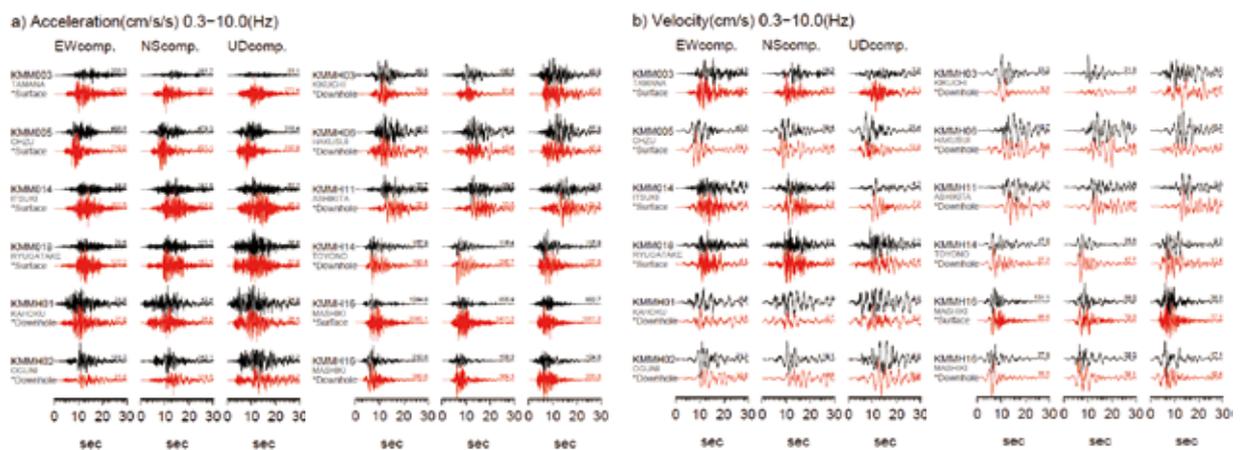


図3 観測波形（黒）と最適モデルから計算される波形（赤）との比較（a）加速度波形、（b）速度波形

次に、地盤構造の推定を行ったので報告する。2016年熊本地震の本震で広範囲で建物被害をもたらした。とりわけ、益城町の市街地に、数多くの建物が全壊に至った。このような被害を起こした地震動がどのような特徴があるか、どのぐらい大きいかは調べる必要がある。しかし、地震観測点の数が少なく、設置されていない場所で、本震地震動を推定しなければならない。地震動の推定に必要な不可欠な地盤増幅の評価のためには、地下の地盤構

造の構築が必要である。第一段階として、地震観測点で微動観測を行い、微動H/Vから地盤構造の同定や精度を検査する。今後、地盤構造を利用して、被災地の地震動を推定する予定である。

本震の震度階が6弱、6強、7と記録された5つの強震観測点及び5つの震度計の近傍で微動観測を行った。表1に各地点の観測期間をまとめた。図4に各観測点の空間分布を示した。

観測した微動記録に、タイムウインドウ（40.96秒）ごとに区切って、交通など近くの振動源により生じた大きなノイズと見られるタイムウインドウを取り除く。残りのタイムウインドウに、水平直交両方向（例えば南北と東西）と上下方向の平均パワースペクトルを求め、上下方向の平均パワースペクトルに対する水平方向（南北+東西）の平均パワースペクトルの比をとって、その平方根をH/Vとする。最後、H/Vに対数平滑化を行う。

図5に微動観測記録から求めたH/Vを示した。観測H/Vは黒線で、PS検層データを用いて拡散波動場に基づく全波動（FW: Full Waves）H/Vは点線で示した。菊池、益城、宇城市豊野の強震観測点でPS検層データを用いて算出した全波動H/Vは微動観測H/Vとほぼ合うものの、浅部構造の調整が要る。熊本KMM006、宇土KMM008と益城町KMMH16ではH/Vに1秒～3秒の卓越周期があるため、ほかの観測点と違って、深部構造の同定が必要である。図3に、益城町KMMH16で微動観測H/Vと合うように、地盤構造を同定したと示した。同定の詳細及び他の地点の結果は第2章No.8に参照されたい。また、いずれの地点でも、H/Vのピークは10より小さいことから、大きな速度コントラストにより、地盤の増幅は特に大きいと考えにくい。

表1 微動観測期間

観測点	本震震度階
菊池市迫間 KMMH03	6強
菊池市隈府震度計	6弱
益城町辻の城 KMMH16	7
嘉島町上島震度計	6強
宇城市豊野 KMMH14	6弱
宇城市豊野震度計	6強
宇城市小川町震度計	6強
宇土市 KMM008	6強
熊本市 KMM006	6強
熊本市大江震度計	6強

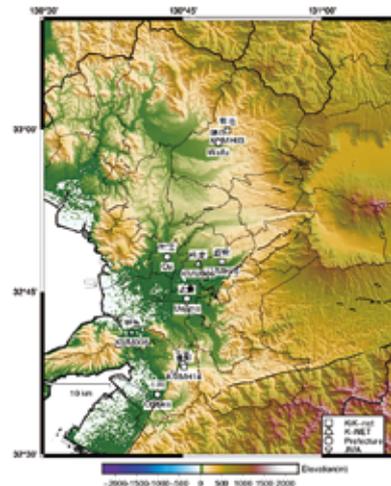


図4 微動観測点の空間分布

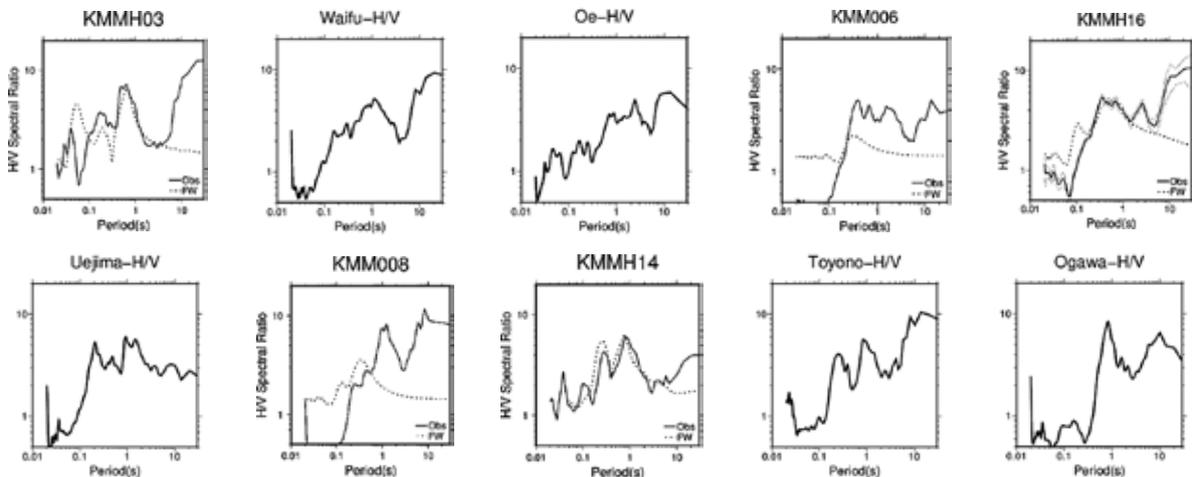


図5 微動観測H/V

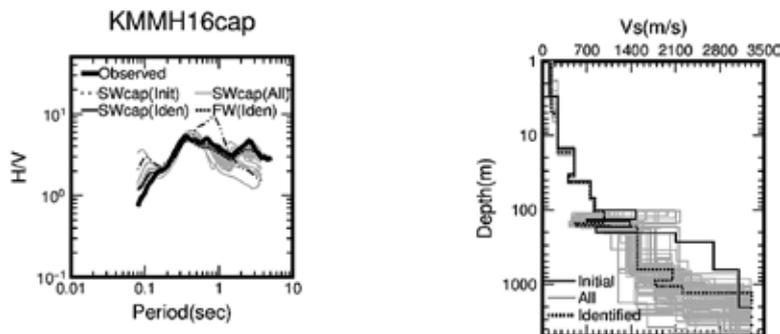


図6 益城町強震観測点で地盤構造の同定（実線は初期モデルを、破線は最適モデルを示した）

3. UAVを用いた地表地震断層の細密地形モデルの作成

平成28年熊本地震に伴い、南阿蘇村から御船町にかけてのおよそ31kmの区間で地表地震断層が確認された。地表地震断層は複雑な分布・形状をなしており、その形状や変位量を計測するために、高解像度の地形モデルを作成する必要がある。筆者らは今後の短期間に人為的な補修や風雨による侵食等により変形・消失してしまう可能性が高い地点において、細密な地形モデル作成を目的として、無人航空機（Unmanned aerial vehicle, UAV）を用いた低空からの空撮を行った。

空撮は立野地区において4月18日、堂園地区において5月8日に実施した。

立野地区においては3回のフライトを実施し、617枚の写真を撮影した。その結果の写真の例を図7に、これらの写真から作成された点群モデルの例を図8に示す。写真の解像度は場所により異なるが、数cm程度である。棚田状の畑の畔が複数の亀裂によって分断されていることが確認できる。また、道路白線のずれや、休耕田の中の亀裂も確認できる。

堂園地区においては固定翼機を使い、1回のフライトで1189枚の写真を得た。撮影された写真の例を図9に示す。この写真のうち、変位が鮮明な麦畑が写っている36枚を選び、点群を生成し、テクスチャーを貼ったシミュレーション画像を図10に示す。畑の中を横切る右横ずれの断層が鮮明に再現されていることがわかる。



図7 立野地区における空撮写真例



図8 立野地区における地表地震断層の地形モデル



図9 堂園地区における空撮写真の例

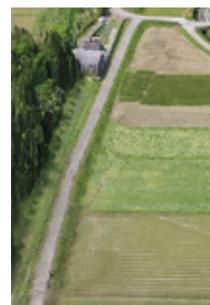


図10 堂園地区における地表地震断層の地形モデル(表紙)

4. 被災地域における企業への影響調査

最後に尾張三河の企業の稼働や従業員への影響や対応および、被災地域の企業における影響（被害状況、復旧復興、顧客、従業員対策）などを把握することを目的として、被災企業へのヒアリングを行った。

ヒアリング企業は①熊本南工業団地組合長（富田鉄工所）と②旭千代田工業被災状況である。

以下に、ヒアリング結果を箇条書きにてまとめる。

- ・地震自体がないという認識から、そもそも地震対策の意識はなかった。
- ・上記より、BCPの策定もしていない。県等からの指導もなかった。
- ・被災後、メールにて1時間程度で安否確認（従業員20名）できた。Line電話も使用可能であった。
- ・10km圏内の従業員6～7割の社員が出勤できた。
- ・余震がひどかったため、どこまで復旧しようか迷った。
- ・一週間程度は、昼まで会社の復旧、午後は各自の家の復旧という形で進めた。
- ・建物の状態および余震による被害拡大が心配であり、入り口付近から徐々に片付けを行った。
- ・1週間程度で取引先と連絡がついた。
- ・親会社から担当者が派遣され支援された。担当者は権限を持っていたので、話が早く進んだ。
- ・情報共有が大事。連絡網の確立。第1電話・第2メール・第3その他の方法など。
- ・普段の人脈が大事。水道管の修理、仮設トイレ、プレハブ貸借など、普段の仕事のつながりの企業が優先してやってくれた。

5. まとめ

2016年の熊本地震に関して、地震動による被害関係との分析、UAVを利用した本地震と布田川断層-日奈久断層との関連性の解明、被災地域における企業への影響調査を目的とした被災企業へのヒアリングを行った。

参考文献

- 1) Irikura, K.: Prediction of strong acceleration motion using empirical Green's function, Proc. 7th Japan Earthq. Eng. Symp., Tokyo, 151-156, 1986. PDF file 1.1MB
- 2) Kubo H, Suzuki W, Aoi S, Sekiguchi H (2016) Rupture process of the Mj7.3, April 16, mainshock of the 2016 Kumamoto earthquake obtained from strong-motion data.
http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/topics/Kumamoto_20160416/inversion_v2/index_en.html
- 3) Kojiro Irikura, Ken Miyakoshi, Katsuhiro Kamae, Kunikazu Yoshida, Kazuhiro Somei, Susumu Kurahashi and Hiroe Miyake: Applicability of source scaling relations for crustal earthquakes to estimation of the ground motions of the 2016 Kumamoto earthquake, Earth, Planets and Space (2017) 69:10 <http://link.springer.com/article/10.1186/s40623-016-0586-y>