

福岡県西方沖地震における崩壊の地形地質的特徴

—2005年台風災害等の他災害との比較—

LANDSLIDE DISASTERS BY THE FUKUOKA EARTHQUAKE IN 2005

久保田 哲也¹, 大村 寛¹, 松本雅道², ハスナワ², 武石久佳², 茅島信行²
Tetsuya KUBOTA, Hiroshi OMURA, Masamichi MATSUMOTO, Hasnawir,
Hisayoshi TAKEISHI, Nobuyuki KAYASHIMA

¹九州大学大学院 農学研究院 森林資源科学部門森林保全学研究室 (〒812-8581 福岡市東区箱崎6-10-1)

E-mail: kubot@agr.kyushu-u.ac.jp

²九州大学大学院 生物資源環境科学府 (〒812-8581 福岡市東区箱崎6-10-1)

Key words: slope failure, landslide, earthquake, equivalent friction coefficient, Bayes estimates

1. はじめに

平成17年3月20日に発生した福岡県西方沖地震では、福岡市の震度6弱を始め福岡・佐賀両県で強い揺れが生じた。幸い降雨が少ない時期であり、本震に先立つ降雨はほとんどなかった。また、震源は玄界灘の海中で、玄界島(福岡市西区)の傾斜地に建てられた住宅を中心に大きな被害が発生した。この他、福岡市の島嶼部においては斜面の変状や崩壊現象が多く見受けられ、余震による斜面変状や崩壊拡大も認められている。その後、6-7月の梅雨及び9月の台風14号では降雨が九州東部に集中したため目立った崩壊の拡大などは見られない。

以下、本稿ではこの地震で生じた崩壊の特徴について報告する。

2. 地震の概要

本震は、2005年3月20日午前10時53分に発生し、震央は玄界灘の北緯33.9度、東経130.2度、深さ14kmとされ(図-1)、マグニチュード $M_{jma}=7.0$ 、モーメントマグニチュード $M_w=6.4\sim 6.6$ とされている。防災科学技術研究所の強震ネットの観測などで得られた最大加速度は「福岡市中央区の警固(ケゴ)断層上で489gal」、「福岡市東区名島で403gal」、「中央区天神5丁目で276gal」、「前原市前原(マエバル)で261gal」程度と発表されている。この地震によって福岡県を中心に、九州北部の広い範囲に強震動が生じ、特に、福岡市では震度6弱を記録した。福岡県・佐賀県・長崎県・山口県で死者1名、負傷者1015人(4月12日現在、うち福岡県で死者1名、負傷者998名)、公共施設および建物被害や倒壊・損壊家屋も多数に上る大きな被害をもたらした。



図-1 位置図



写真-1 宅地崩壊(久保田撮影, 以下, 明記無しは同じ)

この地震は、玄界灘海中に位置する横ズレ断層によるものと推定されている。この断層は活断層である「警固断層」に連続している可能性が高いとされ、余震分布は震源を中心として、断層延長上におおよそ北西～南東に分布し、分布南端は博多湾から福岡市東区の博多湾南岸地域にまで伸びている。また、最大余震は4月20日6時11分に発生し、その震源は福岡県西方沖北緯33.7度、東経130.3度で、深さは約10km、 $M_{jma}=5.7$ とされており、震央が東区志賀島近くと市街地に近かったため福岡市で震度5強を観測した。このため、福岡市内での負傷者や建物被害及び島嶼部での崩壊拡大など新たな被害が発生した。

3. 地震による崩壊など発生状況

本震では、玄界島南斜面の住宅地における石垣・擁壁・盛土の崩壊と家屋破損が甚大であった(写真-1)。玄界島北部斜面では大きな崩壊が見られたが(写真-2)、以前から存在する表層崩壊の拡大の他にも新たな崩壊が発生している。また、福岡市東区の志賀島でも東側斜面を中心に多くの崩壊が発生し、人家や集会所および県道などに被害が及んだ。以下に、主な調査箇所について述べる。

(1) 玄界島の斜面変動

上記のように福岡市西区玄界島では、南側急斜面に多くの住宅があり、斜面に階段状に建てられている民家の地盤は、その多くが切土と盛土によってつくられているものと思われ、今回の地震動によりその盛土部が沈下、崩落などを起こしていた。そのため、民家の盛土部が擁壁・石垣もろとも崩れ落ち、下の民家にまで及び、多くの被害を生じた(写真-1、勾配は約38度)。

これ以外の自然斜面について見ると、崩壊は中生界の花崗岩分布域内¹⁾で発生しているものが多いが、頂上付近標高180m～200m付近の玄武岩キャップロック周辺において等高線に沿うような方向に、亀裂・段差が多く発生している(写真-3、最長100m、亀裂幅最大40cm、深さ80cm程度)。亀裂の多くはほぼN40～70°W方向に走るものである。標高200m付近には、前述の亀裂とほぼ同じ方向に続く古い地すべり滑落崖の跡と思われる段差も認められた。今回発生した亀裂とこれらの関連は不明であるが、地すべり跡地の古いブロックが変状を起こした可能性もある。

北側斜面にも比較的大きな表層崩壊が複数見られるが、斜面下方を通る海岸沿いの周回道路には被害が報告されていない(写真-2)。

また、島の東部にある玄界小学校・中学校のグラウンド盛土部の変位が見られるが、地すべりのような現象とは考えにくい。玄界中学校の西の山側斜面には、2本の谷地形部が存在する。南側の谷地形部・小溪流の現地では、

マサ土の崩壊跡がその上縁部の一部を拡大させるような形態で土砂移動を起こしたと思われた。この溪岸崩壊(写真-4、表-1)は長さ24m、比高15.7m、勾配41度、等価摩擦係数²⁾ $M_f=0.87$ 程度で、このような崩壊が原因で溪流から土砂流出が発生する可能性も考え得る。

ちなみに、この溪流出口直上流の溪床勾配は約11～12度であるから、土石流の停止する勾配より大きい。



写真-2 玄界島北側斜面の崩壊：写真上方
(朝日航洋株 撮影・提供)



写真-3 玄界島頂部周辺の亀裂

この他の中学校山側斜面について空中写真を見れば、上部斜面から供給された玄武岩を主体とする崖錐堆積物が谷地形沿いに堆積したもののようと思われる。

上記の2本の谷地形部にはさまれたこの周辺一帯は、畑地や果樹園として利用されているが、概して植生は貧弱で、笹竹類が多い。また、この周辺の一部に整然と分布するスギ・ヒノキ人工林の中にも傾いた立木が見られ、一帯に亀裂が形成されている。大きな地すべり移動土塊があるとは考えにくい、小さな円弧状すべりの連続帯として不安定化した斜面が存在するように考えられる。その下流部に位置する中学校の校庭および周囲の階段や道路にも亀裂や段差が見られた。



写真-4 玄界中学校グラウンド裏斜面の溪岸崩壊



写真-5 志賀島東側の崩壊3

(2) 志賀島の崩壊など

島の周回道路沿いに海食崖にあたる急斜面が分布しているが、このうち東部の一部で剥離や崩落の形態での斜面崩壊が集中しているのが見られた。地形的にはやや凸部にあたる形態をした斜面であり、いずれも岩盤が地表近くまで張り出している。また、周辺の植生はすべてマテバシイなど広葉樹主体の自然林である。

この志賀島東側斜面の崩壊(写真-5、表-1、県道横、最大礫径は約2m、この斜面上方頂上周辺の表層土層厚は長谷川式貫入試験と地下レーダー探査により約0.7m程度、 $M_f=0.81\sim0.84$ 程度)の他、弘地区の県道斜面の

崩壊(写真-6、表-1、深さ数十cmオーダー、 $M_f=0.73$ 程度)、同地区の人家裏の南西斜面の崩壊(写真-7、表-1、深さ1.0~1.5m、 $M_f=0.81$ 程度)や勝馬地区の北向き斜面の崩壊(写真-8、公民館裏、深さ約1.0m、 $M_f=0.93$ 程度)など多くの崩壊が生じているが、地質は主として花崗閃緑岩-花崗岩であり、塩基性貫入岩の崩壊である東側斜面の岩盤崩壊以外は花崗岩類-マサ土の表層崩壊となっている。

表-1 玄界島・志賀島等の調査対象崩壊

名称	勾配(°)	斜長(m)	幅(m)	地質	斜面方位
玄界島溪岸	41	24	10	花崗岩	北東
志賀島東1	38	124	102	花崗岩質	東
同上 2	39	87	66	塩基性岩	東
同上 3	40	70	29	塩基性岩	東
志賀島弘1	44	24	21	花崗岩	西
同上 2	43	31	6	花崗岩	南西
志賀島勝馬	48	20	15	花崗岩	北

崩壊の勾配や崩壊深さは他の地域の過去の地震によるものと類似しており、急勾配で浅いものとなっている³⁾、⁴⁾、⁵⁾。すなわちマサ化した表層土の崩壊は、勾配が他地域の花崗岩地帯における地震時崩壊の最頻勾配30~45度⁶⁾、⁷⁾、⁸⁾と同程度かやや大きい。等価摩擦係数 M_f も比較的大きく、人家に達せず停止している。先行雨量により含水率が高ければ、到達距離がもっと伸び、危険度が増加した可能性が考えられる。

また、いずれの崩壊近くにも断層が確認されており⁹⁾、特に東側の塩基性岩崩壊は断層破砕帯が関与した可能性もある。

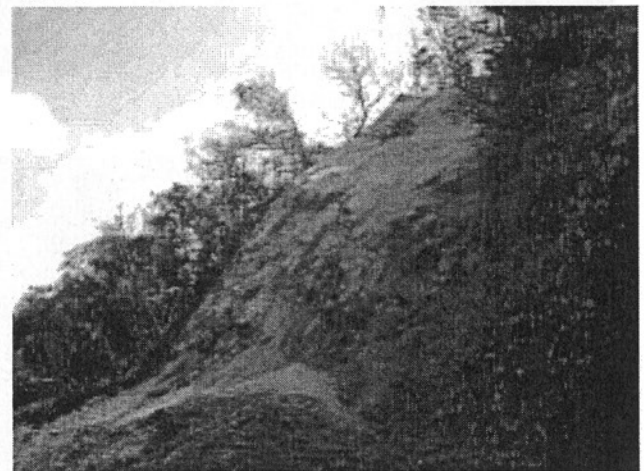


写真-6 志賀島西側に位置する弘地区の崩壊1

植生は概ねマテバシイ-ハクサンボク群落で、海岸部は海岸風衝部に特徴的なマサキトベラ群落となり、シロダモ、アカメガシワ、メダケなども生育しているが、東側塩基性岩盤崩壊箇所は植生が貧弱で、樹木根系の斜

面安定効果などは小さかったものと考えられる。現地での観察からは、他の崩壊箇所でも根系分布は浅かったものと推定される。

(3) 糸島半島福岡市西区西浦の斜面変動

ここでは、擁壁背後の南向き斜面が変位し、崩壊に至る寸前の状態であった(写真-9)。この場合も地質は花崗岩であるが、平均勾配は15度程度と緩やかであった。斜面下方に集落があるため避難勧告も出されていたが、4月にはすでに本格的な復旧工事が開始されていた。

(4) 余震による被害の拡大

震度3~4の余震が続いた上、17mm以上の降水もあった3月25日から27日にかけては、新たな斜面変状や崩壊の拡大が見られた(写真-10、写真-11)。特に4月20日6時11分に発生した最大余震では、低気圧の通過で24時間に11mm程度の先行雨量があったことも影響したためか、玄界島での住宅倒壊拡大の他、斜面関係では志賀島東部の県道法面崩壊の拡大などが発生した。



写真-9 福岡市西区糸島半島北側に位置する西浦地区の斜面変位(上: 下端の変位の様子: 大村 撮影, 下: 斜面全景: 久保田撮影)

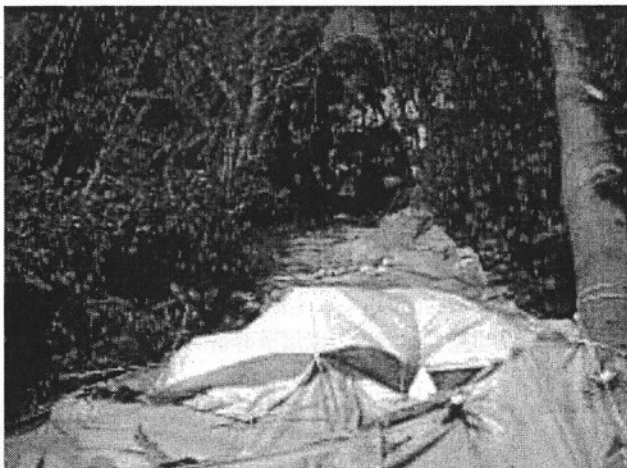


写真-7 志賀島西側弘地区の崩壊2



写真-8 志賀島中央北側に位置する勝馬地区の崩壊

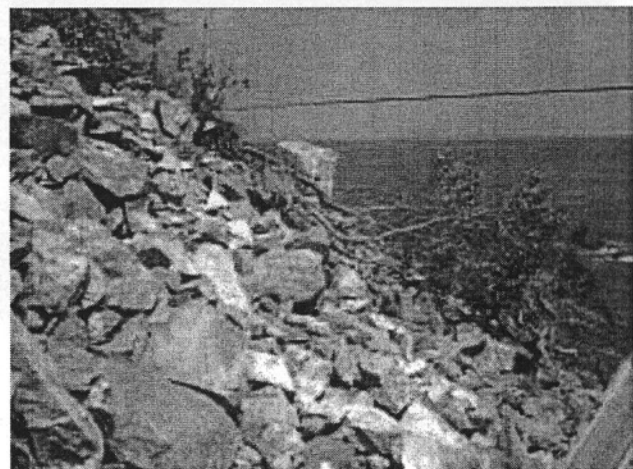


写真-10 志賀島東側崩壊の余震などによる拡大

4. 台風14号など他の土砂災害との比較

2003年の大宰府市における花崗岩斜面の土石流災害での M_f は0.217~0.357程度、2004年の台風23号に伴う九大福岡演習林での片岩斜面での崩壊では0.338程度、2005年9月6日の台風14号による大分・宮崎・鹿児島での災害では、0.200~0.667程度であった(図-2)。



写真-11 余震などで生じた玄界島南側農地の崩壊

この2005年台風14号による被害の詳細を見ると、阿蘇火砕流堆積物からなる大分県竹田市の崩壊では、0.231程度、同じ地質の宮崎県高千穂町の崩壊では0.606～0.538程度、日之影村では0.395～0.526、安山岩質の大分県湯布院町の土石流では0.296程度となる。地質がシラスの鹿児島県垂水市では、大きな被害のあったものは0.200から0.271であるが、崩壊のみの発生箇所では0.6程度のもが多く見られた(写真-12, 図-2, 図-3)。

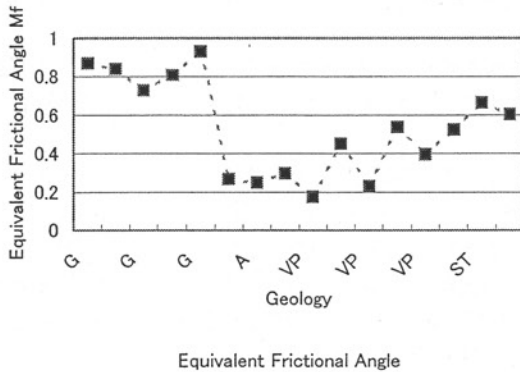


図-2 2003～2005年災害の等価摩擦係数の比較

(G:花崗岩類, A:安山岩類, VP:阿蘇火砕流堆積物, ST:古生層粘板岩・凝灰岩類, 左から5番目まで地震による)

2003年梅雨～2005年台風14号災害の降水で生じた崩壊(土石流化含む)のMfは図-3中の既往研究の大規模崩壊などより小さく、岩屑なだれ¹⁰⁾よりもやや小さい。つまり、相対的に流下到達距離が長いことが分る。一方、2005年福岡県西方沖地震による崩壊のMfは大きな値を示す。この差は、平均値の差の検定でも5%有意水準で有意となる。また、Mfと崩壊体積Vを説明変数に用いた、誘因の降水・地震別重判別解析でも、誤判別率0%, マハラビスの平方距離約102と極めて良好に判別されている(図-4)。これは地震発生時が3月で、それ以前に降雨が少

なく、地層が乾いた状態であったことから、崩土の流動化が起こらなかったためと思われる。また、大分県竹田市の崩壊や宮崎県山之口町の崩壊など火砕流堆積物VPの地域はMfが他の地質より相対的に小さく、流動性が大きくなる可能性が見られた(図-2)。

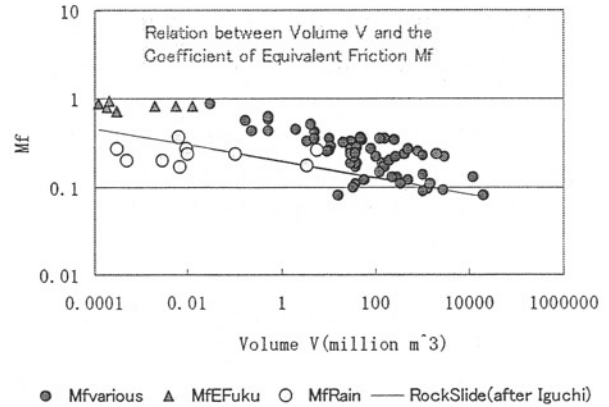


図-3 崩壊体積V(百万 m^3)とMfの関係

凡例:○降雨による崩壊, △2005福岡西方沖地震によるもの, ●既往研究の崩壊, 図中の直線は「岩屑なだれ(井口2006)」

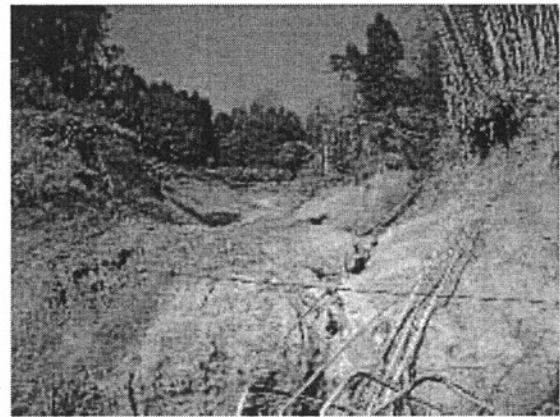


写真-12 2005年台風14号による竹田市の崩壊

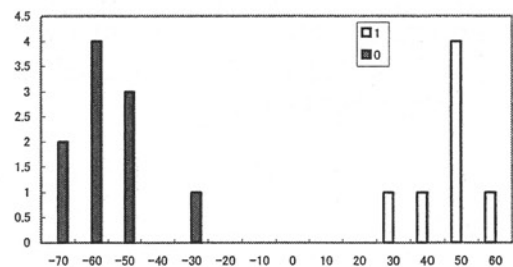


図-4 福岡西方沖地震と他の降雨による崩壊のMfと崩壊土砂量Vを用いた重判別スコア(図中の凡例は、それぞれ、0:地震による崩壊, 1:降雨によるものを意味する)

ちなみに、志賀島の花崗岩崩壊斜面で採取したすべり

面土層サンプルを用いた一面せん断試験では、飽和させた場合には、せん断強度が自然乾燥状態の半分程度になった。

5. ベイズ確率評価—他の地震災害との比較

震源が内陸山間部であったと考える仮定で、ある勾配 θ の崩壊発生割合を推定し、今回の崩壊発生勾配が持つ意味について考察を行った。

ベイズ理論によれば、先見的・経験的な確率と実際に調査した確率を下式の「ベイズの定理」に代入し、『先見的情報を加味した条件付き確率』を推定^{1), 2)}できる。

$$P(A/D) = P(D/A) \cdot P(A) / \{P(D/A) \cdot P(A) + P(D/B) \cdot P(B)\} \quad (1)$$

$P(X)$: X の場合の確率, X については A: 全崩壊のうち斜面勾配 θ で発生する場合 (先見的情報), D: 実際の内陸部地震時の崩壊調査の結果 θ で発生した場合, B: θ 以外の勾配で発生する場合 (先見的情報), $P(A)$: 先見的確率. $P(A/D)$, $P(D/A)$, $P(D/B)$ は、それぞれ条件 D, A, B の場合の A, D, D となる確率 (条件付き確率).

$$P(D/B) = 1 - P(D/A) \quad (2)$$

$P(A)$ としては、九州大学福岡演習林 (三郡変成岩片岩地帯) の表層崩壊サンプル調査で得られた値, 0.172 (5/29 箇所, $\theta = 40 \sim 45$ 度), 0.138 (4/29 箇所, $\theta = 35 \sim 40$ 度) を用い、 $P(D/A)$ には、地震規模がほぼ等しい 1997 年度鹿児島県北西部地震の調査結果 (地頭菌ら, 1998) を参考に、 $\theta = 40 \sim 45$ 度の堆積岩 0.121, 花崗岩 0.00603, $\theta = 35 \sim 40$ 度のそれぞれ 0.425, 0.0531 を与えた。その結果、 $P(A/D)$ は堆積岩の $\theta = 40 \sim 45$ 度で 0.0278, $\theta = 35 \sim 40$ 度で 0.106, 花崗岩に対しては、それぞれ 0.00126, 0.00890 となり、かなり小さいことが分かる。

今回の地震による崩壊はすべて $\theta = 38 \sim 48$ 度であるので、内陸部では発生個数の少ないかなりの急勾配斜面で崩壊が発生していることが分かる。すなわち、今回と同規模の地震が内陸部で発生した場合、発生率 $P(D/A)$ が、 θ のもっと小さな斜面勾配のものとなり、発生数が増加し、災害が増す可能性が考えられる。

6. まとめと謝辞

今回の地震で発生した崩壊の特徴は次のようになると思われる。1) 大規模な崩壊は少なかった。2) 台風 14 号など降水で生じた崩壊と比較して、到達距離は相対的に短かった。3) 既往の内陸部での地震では発生の少ない $38 \sim 48$ 度の急勾配斜面で崩壊が発生している。

2005 年は、幸いなことに、福岡周辺地域では濁水傾向で推移したが、2004 年には台風が多数来襲し、強風による樹木の振動で地盤が緩んだ斜面も多く、この地震でさらに緩んだ斜面が、今後の降雨に対してどのような挙動を示すかに注意を払う必要があると思われる。また、今回と同規模の地震が内陸部で発生した場合、比較的緩斜面での発生数が増し、災害も増加する可能性が考えられる。

この研究の一部は、(社) 砂防学会および日本地すべり学会の災害調査として遂行しました。学会および調査団員関係各位に記して感謝の意を表します。また、現地調査にご協力いただいた福岡県および福岡市の皆様にも記して感謝します。

引用文献

- 1) 日本の地質編集委員会 (1992), 日本の地質—九州地方, 共立出版, 86-87.
- 2) Voight, B., Janda, R. J., Glicken, H., Douglass, P. M. (1985): Discussion on "Nature and mechanics of the Mount St. Helens rockslide - avalanche of 18 May 1980, Geotechnique, 35(3), 357 - 368.
- 3) 遠藤治郎, 大木靖衛, 山本仁志, 丸井英明 (1993): Slope Failures caused by the 1990 Southern Niigata Earthquake, 新潟大学農学部演習林研究報告, NO. 26, 61-74.
- 4) 久保田哲也 (2002): 2000 年 10 月 6 日の鳥取県西部地震による斜面崩壊・地すべり, 地すべり学会誌, 38(4), 52-57.
- 5) 水山高久, 海堀正博, 松村和樹, 土屋智, 平松晋也, 恩田裕一, 寺田秀樹 (2001): 平成 13 年 3 月 24 日の芸予地震による土砂災害, 砂防学会誌, 54(1), 98-99.
- 6) 地頭菌隆, 下川悦郎, 松本舞恵, 寺本行芳 (1998): 1997 年度鹿児島県北西部地震による斜面崩壊の分布と地形特性, 砂防学会誌 51(1).
- 7) 中村浩之, 土屋 智, 井上公夫, 石川芳治編 (2000): 地震砂防, 古今書院, 91-98.
- 8) 内田太郎, 片岡正次郎, 岩男忠明, 松尾 修, 寺田秀樹, 中野泰雄, 杉浦信男, 小山内信智 (2004): 地震による斜面崩壊危険度評価手法に関する研究, 国土交通省国土技術政策総合研究所資料 第 204 号, 10-43.
- 9) 福岡県地学のガイド編集委員会 (2004): 福岡地区, 福岡県地学のガイド, コロナ社, 129-134.
- 10) 井口 隆 (2006): 日本の第四紀火山で生じた山体崩壊・岩屑なだれの特徴, 地すべり学会誌, 42(5), 29-40.
- 11) 繁樹算男 (1985): ベイズ統計入門, 東京大学出版会.
- 12) 渡辺 洋 (1999): ベイズ統計学入門, 福村出版.

(2006. 5. 19 受付)