■齋藤ほか (2011)「中越地震で発生した横渡地すべりにおける過剰間隙水圧の発生根拠としてのサンドダイクの発見」に対する討論

Discussion on “The latest sand dykes as the evidence for excess pore water pressure inducing Yokowatashi landslide during the 2004 Niigata-ken Chuetsu earthquake” by K. Saitoh et al., 2011

【文献：Article】

齋藤華苗・稲垣秀輝・小坂英輝・大八木規夫 (2011)：中越地震で発生した横渡地すべりにおける過剰間隙水圧の発生根拠としてのサンドダイクの発見，日本地すべり学会誌，Vol. 48，No. 4，pp. 21－28.

【質問：Comment】

永田秀尚^{a)*}

Hidehisa NAGATA

1. はじめに

標記の齋藤ほかは最近，2004年新潟県中越地震によって発生した横渡地すべり地において，地震動で発生した過剰間隙水圧によるサンドダイクを発見し，それに関連して地すべりの移動経路や移動速度を論じている。サンドダイクは筆者らの調査¹⁾では見落としていたもので，その慧眼に敬意を表する。その一方，当該論文には見過ごせない論理展開があり，加えてより詳細なデータ提示が求められると考えたので本討論を寄稿した次第である。

2. 齋藤ほかの論旨

まず齋藤ほかの論旨をまとめてみよう。その4, 6, 7, 8章に相当する部分である。

1)：横渡地すべり地（齋藤ほかのLS1）において基岩の凝灰質砂岩層から分岐する，パミスを含むサンドダイクを発見した。

2)：地すべり地の調査から，LS1の移動ブロックは地層の最大傾斜方向より北側にずれた分布をしている。

3)：すべり面の摩擦抵抗をゼロと仮定し，K-net小千谷観測点のデータを用いておこなった計算結果は2)のずれを説明する。したがって，LS1のすべり面には摩擦抵抗がほとんどなかったことが推定される。平均速度は約10m/s，最大速度は約20m/sとなった。

4)：同様の計算をLS2で実施すると，実際のずれは計算結果より小さいとの結果が得られ，LS2のすべり面では多少の摩擦抵抗が働いたことが示される。

5)：等価摩擦係数を求めて地すべりブロックの移動速度を計算した。平均速度が，LS1では10m/s，LS2では17m/sとなった。前者は3)の結果とほぼ一致し，また，中越地震で発生した他の地すべりで求められた速度値と類似する。

6)：凝灰質砂岩層からの地すべり発生が地震時に繰り返されることでケスタ地形が形成されてきた。

3. 討論

1)については，記載が十分とは言えないものの特に異論はない。問題は2)以降である。

2)：レーザー測距計とコンパスを利用した簡易測量である筆者らの調査結果¹⁾によっても，齋藤ほかの測定した左側崖の凸角部の移動方位は290°となり，平均的な層理面の傾斜方位283°より北側にずれている。これだけを見ると齋藤ほかの結果は正しいように見える。しかし，移動体全体としてはどうだろうか。移動前後の位置をもっとも明瞭に特定できる左側崖の凹角部を結ぶと286°，正確な対応位置を特定できないが，右側崖最上部に相当する移動ブロックの移動方位は276°となる。さらに，すべり面上で計測した線構造（移動体の軌跡に相当する）は278°から300°まで，22°のばらつきがある。筆者らが移動体全体の移動方位を280°としたのはこれら全体的な状況を考慮したものである。層理面自体も，その傾斜方位は271°から285°までの範囲にある。つまり，筆者らの測定結果を見る限り，層理面の傾斜方位と移動体の運動方位はばらつきの範囲内で一致し，北にずれているともいえないともいえない。齋藤ほかが「6.8m」という精度で北へのずれを主張するなら，相応の記載事実を示さなければならない。

3)：仮に2)の記載が正しいとしても，そのずれの値と計算値が一致したからといって，LS1のすべり面には摩擦抵抗がほとんどなかったと結論することはできない。まず，約4.4km離れたK-net小千谷観測点の地震動データをそのまま発生地に適用することに問題がある。亀谷ほか²⁾が用いている，地すべりからの距離約1.5kmの妙見堰でのデータを用いたらどのような結果になるだろうか。あるいは若井ほか³⁾が用いた旧山古志村竹沢地区での地震動データではどうか。また，尾根部において地震動が増幅されることは計測⁴⁾においても，現象⁵⁾においても多数の実例がある。これらを考慮すると，実際に横渡地すべり地での地震動がどれくらいのものかを見積もることはかなり難しいと思われる。地震動がより大きいものであると考えれば，LS1のすべり面にもある程度の摩擦抵抗を考慮する必要が出てくる。なお，齋藤ほかの用いた初速度1.36m/sは3成分合成の値であ

り⁶⁾、南北方向のものではない(北南成分は98cm/s、東西成分は129cm/s)。初動の速度については齋藤ほかも一応検討しているが、さらに方向を変えれば、結果はかなり変化するのではないだろうか。要するに与えた値すべてが仮定であるから、評価のしようがない。

4) : LS2において問題なのは、移動体の運動の複雑さである。齋藤ほかの図にも示されているが、尾根部に位置した(根拠がわからないが)大きなDブロックの上方にもう少し小さなブロックが多数存在する。ブロックの衝突や分解、時間差をともなった移動など複雑な過程が想像される箇所、LS1と同様な北へのずれを齋藤ほかは主張しているが、ここでも説得力のあるデータの提示がない。計算については3)と同様である。

5) : 等価摩擦係数についても検討すべき事項があると思われるが、3)の計算結果が仮定の多いものなので、これ以上の論議はできない。

6) : これも論拠を持たない。ケスタ地形は横渡地区のみならず、ここから南側にひろがっている。すべてを地震性の地すべりとするのは困難だろう。そもそも、ケスタ地形は地震時(に限らないが)流れ盤すべりの地形的素因になることはあっても、逆はありえない。すなわち、地震時流れ盤すべりがケスタ地形を形成することはない。地震などめったに起こらない安定大陸においてもケスタ地形が見られるのがその証拠である。ケスタ地形の形成史を明らかにするためには、流れ盤斜面ではなく、受け盤斜面がどのように形成されるかが示されなければならない、それはサンドダイクの発見や、横渡地すべりの機構解析から導かれるものではない。

4. まとめ

筆者がもっとも問題としたいのは上記2)と3)についてである。齋藤ほかは、K-net小千谷観測点で得られた地震動データの南北成分のみによって移動体が北に偏ったことを説明しようとした。仮定から出発する議論は全く意味がないと筆者も考えているわけではなく、一種の思考実験として許容されるだろう。しかし、それで説明されると齋藤ほかが主張する、移動体の偏りについての調査結果の提示が不十分であると筆者には思える。移動方向のばらつきの問題や、野外調査では避けられない誤差についての検討を含めた記載データが提供されることを期待する。

筆者らも、調査結果⁹⁾から、地震動の南北成分が移動体の分離に大きな役割を果たしたことは、破壊の開始点が側崖の凹角部であったことから確からしいと考えており、また結果として移動速度がある程度高速であったことは想像できるものの、現場から得られた証拠からそれを裏付けることはできなかった。より具体的なデータによってこれらの点が明らかにされるなら、地震時における地すべり移動体の挙動を検討する上で重要なものになるだろう。

5. おわりに

今回の論文はデータの提示や論理展開に問題があると思われるが、筆者は齋藤ほかの調査能力を高く評価している。このような討論を機に、今後も切磋琢磨できれば幸いである。

野崎技術士事務所の野崎保博士には、討論原稿の初稿を読んでいただき、ご意見を賜った。匿名の査読者の意見は原稿を改善する上で有益であった。記して感謝いたします。

引用文献

- 1) 永田秀尚・野崎 保(2007) : 2004年新潟県中越地震で発生した地すべりの崖に見られる破面模様と移動体の挙動、中山間地における地震斜面災害-2004年新潟県中越地震報告(I)-、日本地すべり学会、pp.160-172.
- 2) 亀谷裕志・デン ジャンリン・堤 千花・古関潤一(2008) : 新潟県中越地震で小千谷市横渡地区に生じた斜面崩壊に対する解析、生産研究、Vol.60, No.2, pp.107-110.
- 3) 若井明彦・鶴飼恵三・尾上篤生・樋口邦弘・黒田清一郎(2007) : 層理面のひずみ軟化挙動に起因する流れ盤斜面の地震時崩壊の有限要素シミュレーション、日本地すべり学会誌、Vol.44, No.3, pp.145-155.
- 4) 栗田哲史・安中 正・高橋 聡・嶋田昌義・末広俊夫(2005) : 山地形における地震動の増幅特性、日本地震工学会論文集、Vol.5, No.3, pp.1-11.
- 5) Nagata, H. (2008) : Eject induced by 2007 Mid-Mie Earthquake and topographical amplification of ground motion. Proceedings of the international conference on management of landslide hazard in the Asia-Pacific region, pp.273-281.
- 6) 独立行政法人防災科学技術研究所 : 2004年10月23日17時56分の新潟県中越地震の強震動速報、<http://www.k-net.bosai.go.jp/k-net/news/niigata041023/>(参照日2011年8月15日)。(原稿受付2011年8月26日、原稿受理2011年11月26日)

* 連絡著者 / corresponding author

a) 有限会社風水土
Fu Sui Do Co., Ltd.
〒474-0022 愛知県大府市若草町1-594
1-594, Wakakusa-cho, Obu, Aichi Prefecture, 474-0022, Japan

【回答 : Reply】

齋藤華苗^{b)}

Kanae SAITOH

稲垣秀輝^{b)*}

Hideki INAGAKI

小坂英輝^{b)}

Hideki KOSAKA

大八木規夫^{c)}

Norio OYAGI

1. はじめに

標記の齋藤ほかの論文に対してご討論いただき大変光栄に思っている。今回のご指摘事項に対して以下に回答したい。

2. 本論文の論旨

本論文の主要な論旨として次の3点があげられる。1) 横渡地すべり地において基岩のすべり面になった凝灰質

砂岩層から分岐する、パミスを含むサンドダイクを発見したという点にある。これは、一般に考えられている緩い沖積砂層で地震時に生じる液状化現象とは異なるタイプの噴砂現象であり、地震時の岩盤地すべりを考える上で画期的な発見である。固結した岩盤の凝灰質砂岩層(層と表現しているが、これも固結した岩盤の一部である)で地震時、実際に過剰間隙水圧が発生したことがわかった。論文では多くの室内実験の結果^{1)~4)}を引用させていただいたが、実験室で発生が予測された現象を現地で確認した意義は大きい。そのメカニズムについては、液状化や粒子破碎による負のダイランシーの発現などが考えられるが、筆者らは固結した岩盤の凝灰質砂岩層からのサンドダイクを発見し、パミス粒子の破碎による負のダイランシーの発現の考えに至っている。詳細は論文を再読していただきたい。

次に、2) 入念な地表踏査の結果、周辺基岩に凝灰質砂岩層が4層確認でき、それぞれでその凝灰質砂岩層をすべり面とした流れ盤の岩盤すべりが過去や今回発生したということである。それ以外の地層では岩盤すべりが発生していない。これも、大きな成果である。地すべり調査では、一般に地すべり粘土を探すことが大きな仕事になる。しかし、横渡地区の岩盤すべりでは、地すべり粘土を見つけることが出来なかった。すべり面境界層となったのは凝灰質砂岩層だけである。この層が風化すれば粘土化することは否定しないが、今回のような初生地すべりが地震時に発生するとき地すべり粘土がない場合もあるということを示している。その発見の意義も大きい。

さらに、3) 横渡地区でケスタ地形の骨格を作ってきたのは、地震時の岩盤すべりではないかということである。調査地の岩盤はシルト岩がほとんどである。厚さ十数cm~数十cm程度の挟層である凝灰質砂岩層が差別侵食を受けケスタ地形を作ったとは考えにくい。地すべり発生後の侵食作用は十分に考えても良いが、ケスタ地形の骨格を作ったのはあくまで岩盤すべりと考えている。筆者らは、この横渡地区の地すべりを含めて、わが国の多くの岩盤地すべりを見てきた。その結果、日本の地形形成要因はすべりによるものが多く、討論者が主張している安定大陸からなる地域での侵食をベースとした地形形成のプロセスとは異なると考えている。ケスタ地形の形成に関しては、次章以降でもう少し詳しく説明する。

3. 指摘事項に対する回答

討論者の指摘事項1)については、意義ある成果なので、評価していただきたい。

討論者の指摘事項2)については、論文ではレーザー測距計とコンパスを利用した測量で平面図を作成した上で、代表的なAブロックの最大傾斜からのずれは現地では巻尺等を用いて再度計測し、確認している。このため、落下ブロックの北へのずれは確実にある。討論者の調査⁵⁾によっても、それは確認されている。確かに、討論者が

指摘するように移動体全体として互いにぶつかり合ったため、それぞれのブロックでどの程度のバラツキを持って北にずれたかを検証することは難しい問題である。しかし、本論文の主旨はそこではなく、どうして北にずれたかに注目して研究を進めている。移動中のブロックの位置関係については詳細な割れ目観察を行った討論者に委ねたい。

討論者の指摘事項3)については、本論文ではブロックの北へのずれをK-net小千谷観測点の地震動データを用いて計算している。確かに、討論者の指摘する亀谷ほか¹⁾が用いている妙見堰でのデータや、若井ほか⁶⁾が用いた旧山古志村竹沢地区での地震動データを用いても良いが、地域周辺で最も代表的なデータとしてK-net小千谷観測点の値を使うことに問題はないと考えている。また、移動速度については、現場調査をした技術者・研究者なら緩速で滑動したとは思えない状況であったと思う。論文にも記述しているが、地すべりの滑動速度が明らかになれば、住民の地すべりに対する認識や避難の仕方も変わってくる。今回の滑動速度の試算では人の走る速度よりも速かったということが明らかになった。この事実は今後の防災・減災を考える上で重要な知見となる。また、等価摩擦係数を用いた移動速度の検証もこのために行っている。その点を理解していただきたい。

討論者の指摘事項4)についても、前述の3)と同様で、討論者が指摘する移動体の運動の複雑さは理解しているが、今回の計算結果をひとつの目安として見ていただければ結構である。ただし、LS2のDブロックの復元位置について以下に補足する。Dブロックは東側面から頭部にかけて植生を残しており、底面ではLS2のすべり面となったTuff-5凝灰質砂岩層(生物痕の状況からTuff-5と判断した)を確認している。したがって、Dブロックは小さなブロックに崩れることなく斜面下部まで滑り落ちたことが考えられる。また、地震前の地形図や地元住民の聞き取り調査より、LS2斜面頭部は凸型のやや特徴的な形態をしていたことがわかっている。Dブロックの形態と規模を、地震前後の地形図と比較することで、復元位置を確認している。

討論者の指摘事項5)については、先にも述べたように等価摩擦係数による移動速度は参考程度に理解していただきたい。

討論者の指摘事項6)および本文第2章で説明している2),3)については、重要な要件を含んでいるので以下のように説明したい。そもそもケスタ地形とは何であろうか。地学事典⁷⁾によると、「構造平野において、一方が急な崖で低地に落ち込み、他方は緩やかな斜面が傾き下がっている非対称な横断面形を示す丘陵。」とし、その成因として選択侵食をあげている。地形用語に成因を入れ込むのは混乱を招くことが多いので、成因は別に非対称山稜をケスタ地形と呼ぶ人も多い。筆者らはこの観点に基づいて、本論文を執筆した。本文2章の3)

に述べたように、横渡地区でケスタ地形の骨格を作ってきたのは、地すべりの岩盤地すべりが主たる原因ではないかと推察した。討論者が指摘したようにケスタ地形は横渡地区のみならず、ここから南側にも東側にも拡がっている。むしろ、これらの地形の多くは地すべり活動によって骨格が作られたと考えている。わが国では、地すべり以外の侵食だけでこれらの大地形を作ることは少ない。そして、本論文の第1章2)で述べたように、横渡地区の地すべりのすべり面には地震時に、粒子破碎を起こしやすい凝灰質砂岩層の存在が必ずといって良いほど認められた。つまり、初生岩盤すべりの多くの誘因は地震である可能性が高い。ただし、討論者の指摘したようにケスタ地形の形成史を明らかにするためには、地すべり活動をベースにして作られた流れ盤斜面だけでなく、下刻侵食と表層崩壊をベースにして作られたと考えている受け盤斜面とが、どのようなバランスで形成されていくのかを示す必要性は感じている。討論者の指摘は当を得たものであるが、著者らはわが国の地形の多くは地すべり活動によるものが多く、討論者の言われている安定大陸からなる地域での侵食をベースとした地形形成のプロセスとは異なると考えている。

鈴木⁸⁾によるとケスタ地形は「傾斜20°以下の緩傾斜な成層岩の分布地域に生じる顕著な非対称山稜」と定義している。本論文で対象としている斜面の傾斜は25°であるのでケスタ地形と呼んでも良いのかもしれない。ここで、わき道にそれるが、外来地形用語にリアス海岸がある。一般にリアス海岸は地殻が沈下（海水準との相対的な問題であるので、地殻変動の少ない海外では沈水という言葉で表現することがある）して出来たとされている。しかし、日本の典型的なリアス海岸は三陸海岸や紀伊半島の海岸線である。筆者らは最近の災害調査を含めこれらの海岸線を踏査したが、海岸沿いに複数の段丘面を認めている。つまり、いろいろと議論の余地はあるが、日本の典型的なリアス海岸は隆起の場でも作られる可能性がある。このような隆起の場にある海岸線がどうしてリアス海岸の形態をとるか。その理由の1つとして河川からの堆積物の多い少ないで決まるのではないかと考えている。つまり、大きな河川がなく、河川や沿岸からの堆積物が運ばれてこない海岸線には沖積平野が発達せず、見かけ上リアス海岸の形態をとることも考えられる。これと同様に、今回、ケスタ地形という外来地形用語をそのままわが国に適用すると、その成因に矛盾が生じることになる。そこで成因を伴わない地形用語が必要となる。本論文で用いたケスタ地形という用語を成因が伴わない用語として使用する場合には問題はないが、侵食作用（地すべりまで含むかなど定義をどうするかにもよるが）という成因を含めた用語で使う場合には問題があった。この場合には、本論文のケスタ地形という用語を非対称山稜（やや馴染みの少ない用語ではあるが、成因を含まない地形記載用語）と読み直して欲しい。

4. まとめ

筆者らが主張したいことは、1)：横渡地すべり地において基岩のすべり面になった凝灰質砂岩層から分岐する、パミスを含むサンドダイクを発見したということにある。次に重要なことは、2)：入念な地表踏査の結果、周辺基岩に凝灰質砂岩層が4層確認でき、それぞれでその凝灰質砂岩層をすべり面とした流れ盤の岩盤すべりが過去や今回発生したということである。最後に重要なことは3)：横渡地区でケスタ地形（非対称山稜）の骨格を作ってきたのは、地震時の岩盤すべりではないかということである。

5. おわりに

本論文に対する討論の機会を与えていただき大変感謝している。討論者の横渡地すべりでの詳細な地質データによる討論は筆者らにとって有意義なものであった。ケスタ地形など外来用語の使い方などの問題点、地形用語には成因を入れたものと入れないものの使い分けが必要であるという認識を新たにすることが出来た。今後、さらに多くのデータを集め、わが国の地形発達過程の営力が地すべり活動をベースにしていることが多い事実を検証していきたい。

引用文献

- 1) 亀谷裕志・デンジャンリン・堤千花・古関潤一 (2008)：新潟県中越地震で小千谷市横渡地区に生じた斜面崩壊に対する解析，生産研究，Vol. 60, No. 2, pp. 107-110.
 - 2) 佐々恭二・福岡浩・汪 発武・王 功輝 (2007)：平成16年新潟県中越地震により発生した再活動地すべり地における高速地すべり発生・運動機構，日本地すべり学会誌，Vol. 44, No. 2, pp. 71-78.
 - 3) 堤 千花・Deng Jianliang・亀谷裕志・古関潤一 (2008)：旧山古志村東竹沢地区の崩壊斜面に対する地震時安定性の検討，活褶曲における防災シンポジウム「2004年新潟県中越地震被害の教訓にもとづく今後の課題・対策への提言」講演論文集，pp. 27-35.
 - 4) 國生剛治・原 忠・石澤友浩 (2008)：中越地震斜面災害でわかったことー斜面崩壊の調査分析と流動量評価ー，活褶曲における防災シンポジウム「2004年新潟県中越地震被害の教訓にもとづく今後の課題・対策への提言」講演論文集，pp. 22-26.
 - 5) 永田秀尚・野崎 保 (2007)：2004年新潟県中越地震で発生した地すべりの崖に見られる破面模様と移動体の挙動，中山間地における地震斜面災害ー2004年新潟県中越地震報告 (I)ー，日本地すべり学会，pp. 160-172.
 - 6) 若井明彦・鶴飼恵三・尾上篤生・樋口邦弘・黒田清一郎 (2007)：層理面のひずみ軟化挙動に起因する流れ盤斜面の地震時崩壊の有限要素シミュレーション，日本地すべり学会誌，Vol. 44, No. 3, pp. 145-155.
 - 7) 地学団体研究会地学事典編集委員会 (1970)：地学事典，平凡社，p. 326.
 - 8) 鈴木隆介 (2000)：地学事典建設技術者のための地形図読図入門 第3巻 段丘・丘陵・山地，古今書院，p. 884.
- (原稿受付2012年1月18日，原稿受理2012年5月16日)

* 連絡著者／corresponding author

- b) (株)環境地質
Kankyo Chishitsu Co., Ltd.
〒210-0014 神奈川県川崎市貝塚1-4-15-203
1-4-15 Kaizuka, Kawasaki, Kanagawa, 210-0014, Japan
c) (財)深田地質研究所
Fukada Geological Institute