

八木浩司* 千木良雅弘**

1 はじめに

最近の国内・国外の地震によって、直下型地震による被害が、地震動そのものによる構造物の破壊に加えて、構造物の載る地表の地すべり・崩壊現象によりさらに深刻なものとなることを我々は改めて認識するようになった（八木ほか、2004；2005）。すなわち、2004年新潟県中越地震、2005年パキスタン北部地震は、中間山地あるいは人口の多い低ヒマラ



図1 パキスタン・Jhelum（ジールム川）河谷及びその周辺の地形概観と活断層分布（赤実線が活断層の位置）
等高線間隔：250m、最低の等高線高度：海拔750m

* 山形大学地域教育文化学部教授

** 京都大学防災研究所教授

ヤ帯で震源断層直近・直上の山地・丘陵斜面に無数の斜面災害を引き起こした。本稿では、2005年パキスタン北部地震におけるその概要について紹介する。

2 2005年パキスタン北部地震に伴う地すべり・斜面災害

2004年10月8日北部パキスタン、アザド・ジャンムー・カシミール州の州都ムザッファラバード（Muzaffarabad）市北方10kmを震源としてマグニチュード7.6の地震が発生した。この地震により、パキスタン・インドにまたがるカシミールの山岳地域で無数の地すべり・崩壊が発生した。その結果、家屋の倒・崩壊や斜面災害により7万5千人弱の死者及び数万人の負傷者が発生したばかりか、今なお400万人余がテント生活を余儀なくされている。また、今回の地震で発生した崩落土砂や不安定化した斜面の雨季における二次的災害が懸念されている。

このため、地表地震断層が出現した北西辺境州バラコット（Balakot）からムザッファラバードおよびジールム（Jhelum）川上流のハッティアンバラ（Hattian Balla）にかけての河谷沿い斜面について、空中写真判読（1978年撮影1/30000）と現地調査を実施した。

ムザッファラバードからジールム川右岸に沿って



写真1 ムザッファラバード断層に沿った撓曲崖

南東30kmのダラン (Dhallan) を経てチックカル (Chikkar) にかけて震源地表断層が連続する (図1)。本断層は、河谷沿いに発達する段丘面と山地斜面の境界あるいは、高位の段丘面上に撓曲崖を形成している (写真1)。今回の地震が、地形景観的に最も大きなダメージをもたらしたものは、この断層線上盤側の山地斜面あるいは、撓曲崖である。それらの山地斜面は、全面的に浅層崩壊を起こしたり (写真2)、未崩壊部でも斜面上部にクラックが連続して発達する。地表地震断層直近の撓曲崖あるいは段丘面上には、河谷の走向に平行なテンションクラック、斜面構成層 (主にcolluvium) のトップリングに伴う逆向き小崖が無数に発達している (写真3)。家屋の倒壊も顕著である。しかし、断層下盤側や、断層上盤側でも断層線から1 km以上離れた場所での斜面崩落等は激減する印象が強い。

空中写真判読で地すべり地形と判断されたものは、ジールム川左岸側で本流に合流する支谷沿いの北西～北向きの斜面に多い (写真4)。それらは、おおむね北西方向に傾斜した斜面が層理面に斜交するよう楔状に北側に滑ったものである。さらに、そ

れらのうち移動域がジールム川左岸側へ拡大したものは、同川の蛇行によりその基部が攻撃斜面化して強い浸食を受けている (写真5)。

地震によって活動化した深層地すべりは、すべて旧地すべり地形として認定された箇所、再活動したものであることが明らかとなった。変位量から判断されるその活動度は、背後斜面の傾斜に依存している、すなわち、50度以上の急崖で地震による再活動が激しい。それらは、ジールム川本流の攻撃斜面となっている箇所とも一致し、道路下面にまですべり面が発達していることが、道路面の変状からも把握できた。さらに、地質構造的には、受け盤斜面でも岩盤クリープやトップリングから発達した深層すべりが認められた。それらについて今後降水時の監視と道路規制が必要と考えられた。その典型例としてバディハラ (Badihara) 地すべりがある。

バディハラ地すべり (写真6) は、受け盤斜面の岩盤クリープやトップリングから発達した地すべりである。ここは、本来は流れ盤で深層の地すべりが発生しにくい箇所と考えられる。しかし、空中写真判読から滑落崖とその下部のバルジングを伴った上



写真2 バンディ・タギアンにおける地震断層沿いの斜面崩壊



写真4 クローチ付近の流れ盤地すべり地形



写真3 ドパッタにおける撓曲崖上のクラックの発達と家屋の倒壊



写真5 ダニー東の攻撃斜面上部の深層地すべり

に凸型斜面が発達し、滑落崖直下の移動体上には斜面の最大傾斜方向に直交する引っ張り割れ目・クラックが多数認められる。そもそも70度以上の急斜面が河川の攻撃斜面としてその基部を浸食され不安定化しやすい場所であったが、道路開削によってさらに斜面全体がほとんど垂直崖化したものである。パキスタン地質調査所イスラマバード支所副所長のムガール氏によれば、道路拡幅工事の際、開削に発破が多用されたことで、受け盤斜面を構成する岩盤内に多数のオープンクラックが発達したらしい。空中写真判読から見れば、道路拡幅工事前からすでに滑落崖の形成が認められることから、拡幅工事の際の発破は、既に発達していた開口割れ目系の拡大や不安定化に寄与していたものと考えられる。そして今回の地震でその不安定化が進行したものと考えられる。

次に、ハッティアンバラ上流の巨大な崩壊性地すべりについて述べる。なお、八木ほか（2006）が、ハッティアンとした地すべりは、こちらではダンベ



写真6 バディハラにおける岩盤地すべり



写真7 ダンベ地すべりの全容

(Dandbeh) 地すべりと呼ばれている。ダンベ地すべりは、チックールから稜線沿い東側 2 km に位置する。尾根頂部直下の海拔1800m付近から谷底の海拔1200m付近にかけて斜面長 2 km が最大幅500m、深さ50mが楔状に抜け落ちたものである（写真7）。その移動体の規模は10⁷立方メートルクラスである。

本地すべり発生前の斜面の状況を把握するため空中写真判読を行った。その結果、以下のようなことが明らかとなった。

- 1 今回の大崩壊地の北に古い大規模深層すべりの残存物（北部ブロックとする）があり（図2）、それは今回動かなかった。
- 2 今回崩落した他の地域の斜面に比べ広い範囲で、比較的浅い（10m程度の深さはあるものと予想される）初期のすべりが全体的に発生していた。冠頂部の稜線トップには、クラック地形が多数認められた。
- 3 今回のすべりは、南にプランジした向斜軸上で発生している。この後者は西側が緩傾斜、東側が急傾斜の非対称で楔状である。

以上からこの地すべりの発達過程を考察すれば、以下のようなシナリオが考えられる。古い大規模地すべり地形を示す北部ブロックに接する南側の斜面

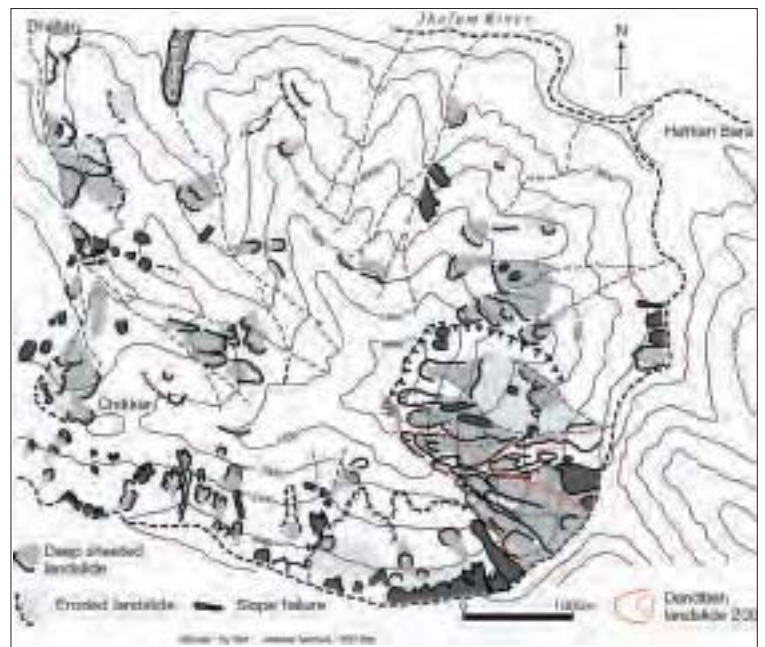


図2 2005年パキスタン北部地震で発生したダンベ地すべり（赤細実線）と地震発生前の地すべり斜面崩壊分布
地震に伴ったダンベ地すべりの位置は現地観察結果、地震発生前の地すべり・崩壊分布は空中写真判読による

が、すべり残りの存在して、その斜面上で浅いすべりが全面的に発生していた。それらが、斜面を構成する岩盤の風化を促進し、そこが今回地震断層の直近に位置していたことで向斜軸に沿ってより深部のすべり面で楔状に全面的に崩落した。

今後ダンベ地すべりは、主滑落崖縁辺部に沿ったクラック地形が高密度で発達することから（写真8）、主滑落崖周辺での崩落は継続するものと考えられる。地すべりダムの排水工事が実施されようとしているが、その排水路の位置によっては、主崩落物質の2次崩壊が懸念される（写真9）。さらに、地すべりダムより上流の左岸側には、colluviumからなる旧地すべり性堆積物が下部谷壁斜面直上に残されている。それらは、上に凸な縦断系を示すことからクリープ変形を起こしていると判断されることから（写真10）、今後雨季がおとずれ地すべりダムの水位が上昇するにつれ安定率が低下することが懸念される。

パキスタン政府石油資源省・地質調査所の所管する防災対策計画や具体的な対策設計に協力するた

め、日本地すべり学会では主要道路脇の岩盤地すべり対策や、ダンベ地すべりおよび地すべりダム対策検討のため、国際部及び研究調査部合同で、地すべり対策や地すべりダムの排水対策に関する専門家チームを派遣している。同チームの助言や技術サポートによって懸念される二次災害が防止されることが強く期待されている。

【引用文献】

- ・八木浩司・山崎孝成・守岩勉・山科真一（2004）：新潟県中越地震に伴う地滑り・崩壊分布－その特徴と詳細判読事例、http://japan.landslide-soc.org/2004-tyuuetu/member/yagi_team.pdf
- ・八木浩司・山崎孝成・守岩勉・渥美賢拓（2005）：2004年新潟県中越地震に伴う地すべり・崩壊分布－その特徴と詳細判読事例－、応用地質、46、3、145-152
- ・八木浩司・丸井英明・宮城豊彦・梅村順・内山庄一郎・藤原智・佐藤浩（2006）：国際部・研究調査部合同2005年パキスタン地震による斜面災害調査団報告、日本地すべり学会誌、42、57-59



写真8 ダンベ地すべり主滑落崖直近斜面上のクラック変形



写真9 地すべりダムをなす地すべり移動土塊



写真10 ダム湖に接する旧地すべり移動体