

2005パキスタン北部地震により発生した斜面災害

丸井英明¹・宮城豊彦²・八木浩司³・梅村 順⁴

Landslide Disasters Induced by the 2005 Northern Pakistan Earthquake

by

Hideaki MARUI, Toyohiko MIYAGI,
Hiroshi YAGI and Jyun UMEMURA

Abstract

The 2005 Northern Pakistan Earthquake triggered tremendous number of landslides in various types and dimensions. As a result not a few landslide dams were also formed. This article deals with overview information on various types of landslide disasters induced by this earthquake.

An earthquake of M7.6 struck the northern Pakistan on 8 October 2005 with its epicenter approximately 100km north-northeast of Islamabad, near Muzaffarabad, Azad Jammu Kashmir. Shocks by the earthquake were felt over a radius of some 300-400km in northern Pakistan, northwest India and Afghanistan. Geological Survey of Pakistan has reported that more than 83,000 local inhabitants were killed and over 3 millions were affected. It was also reported about 200,000 houses were completely destroyed and another 200,000 houses were partially damaged. Pakistani local authority estimated some millions people have been left homeless.

One of the most distinct characteristics of the 2005 Northern Pakistan Earthquake is the wide spread landslides all over the epicentral area. Most of landslides occurred along the two active faults, namely Muzaffarabad and Tanda faults, mapped by Nakata et al. Geographical Survey Institute has interpreted the distribution of landslides around Muzaffarabad induced by the 2005 Northern Pakistan Earthquake by comparing two IKONOS imageries, namely taken before and after the earthquake. It was reported that large-scale landslides occurred along the above mentioned two active faults, concentrating on the northeast uplift side of the faults. Active Fault Research Center of National Institute of Advanced Industrial Science and Technology has identified earthquake source faults along the concerning two active faults on the basis of the results of recent field reconnaissance.

An International Conference on 8 October 2005 Earthquake in Pakistan: "Its Implications and Hazard Mitigation" was held at Islamabad on January 18-19, 2006 under the sponsorship of the Geological Survey of Pakistan. Seismic experts from various countries have been called for a re-evaluation of seismic zoning and micro zonation studies to the conference. A delegation of the Japan Landslide Society including the authors was also invited as experts for landslide research to the conference. An opportunity to visit the heavily affected areas by the landslide disasters induced by the Northern Pakistan Earthquake was given to the authors by the arrangements of the Geological Survey of the Pakistan. Although our field survey was limited only during two days, the authors have been able to get an overview information on the landslide disasters induced by the Northern Pakistan Earthquake including the largest Hattian landslide area.

On the basis of this field survey, the authors have an idea that our research methods for evaluation of danger degree of successive landslide occurrences and practical knowledge to arrange emergency response for mitigation of successive hazard should be basically applicable and effective also to the mitigation of successive future hazards in heavily affected area by the Northern Pakistan Earthquake.

Keywords : Northern Pakistan earthquake, Active fault, Earthquake source fault,

Landslide disaster, Landslide dam, Hazard mitigation, Emergency response

キーワード : パキスタン北部地震, 活断層, 地震断層, 斜面災害, 地すべりダム,
災害軽減, 緊急対応

はじめに

2005年10月8日パキスタン北部カシミール地方でマグニチュード7.6の大地震が発生し、死者数83,000人以上とされる甚大な人的被害をもたらした。急峻な山岳地帯で強い内陸型地震が発生したことにより、極めて多数の地すべり・斜面崩壊が生じ、その結果地すべりダムも多数形成された。その状況は、およそ1年前に発生した中越地震による、地すべり・斜面崩壊の多発並びに地すべりダムの形成と似通っている。ただし、現象の規模はパキスタン地震によるものの方が遙かに大きい。規模はともかくとして、両者における斜面災害には本質的な共通性があり、比較して考察することは、山岳地域における今後の地震による斜面災害の軽減を図る上で、少なからぬ意義があるものと考えられる。本稿では、パキスタン北部地震によって発生した地すべり・斜面崩壊の概要について報告する。

2006年1月18、19日の両日、パキスタンの首都イスラマバードにおいて、パキスタン石油資源省地質調査所の主催により、「2005年10月8日パキスタン地震—その影響と災害軽減」と題する国際会議が開催された。同会議には主としてパキスタン並びに周辺諸国の地震防災関係者400名以上が参加した。また、日本を含む10カ国から、地震学、変動地形学、テクトニクス、測地学および地すべり学の専門家が出席し報告を行った。日本からは、パキスタン地質調査所の招請を受け、日本地すべり学会から5名が参加した他、活断層関連で産業総合研究所、広島工業大学、また測地学関連で国土地理院、さらに地盤工学関連で東京大学から参加者がおり、それぞれ重要な発表を行った。

会議の冒頭で、石油資源省地質調査所長による開会宣言に続き、石油資源省大臣からの挨拶があり、パキスタン地震に伴う甚大な被害や被災地のその後の困難な状況が述べられると共に、国際的な地震災害研究協力の必要性が求められた。会議に引き続き20、21日の両日、日本地すべり学会からの参加者5名、国土地理院からの参加者2名がパキスタン地質調

査所のアクター博士の案内で斜面災害の実態把握のため被災地域の現地調査を行う機会を得た。被災地は広範囲にわたっており、しかも交通事情が極めて悪いため2日間の日程では部分的な調査に留まらざるを得なかったが、今回発生した最大規模の地すべりであるハティアン地すべりを調査することができた。同地すべりを中心にパキスタン北部地震による斜面災害の概要を記述する。

パキスタン地震の概要

パキスタンは約80万km²と日本の2倍の国土面積を有し、約1億5千万人の人口を擁する。今回、地震の発生したパキスタン北部はヒマラヤ山脈西部の急峻な高山地帯に連なり、カラコルム・ヒンドゥークシュ両山脈で中国及びアフガニスタンと境を接する山岳地域である。この地域はパキスタンの領域内では最も降水量の多い地位であり、平均年間降水量は750mmを超えている。

パキスタン北部地震は2005年10月8日3時50分に首都イスラマバード北北東約100km、深さ26kmを震源として発生した地震で、マグニチュードは7.6と推定されている(GSP, 2005)。パキスタン地質調査所によれば、この地震による死者83,000人以上、300万人以上が被災し、住宅の全壊、半壊はそれぞれ20万戸に及ぶと報告されている。今回の地震発生域に活断層が分布していることは従前から指摘されていた(Nakata, et.al, 1991)。パキスタン北部地震は、インド亜大陸がユーラシア大陸に衝突することによる応力場で生成する断層によって引き起こされたとされる。プレートの衝突境界の西部に活断層が広く分布しており、特にハザラカシミール・シンタックス内のムザファラバード断層とタンダ断層の2本が今回の地震の発生に密接に関係していると推定された(中田他, 2005)。また、人工衛星による観測データの解析から、本地震によって上記2本の活断層沿い及びその南東方向延長部で、長さ約90kmにわたって1m以上の地殻変動が生じ、その最大変動は6mに及ぶことが報告されている(国土地理院, 2006)。これらの観測・解析から示唆されていた地震断層が、産業技術総合研究所活断層研究センターとパキスタン地質調査所の共同現地調査によって確認されている。その結果、地震断層の長さは約65km、最大変位量は上下成分で5.5m、水平成分を含め約9mに及び、地震断層の主要部は既存の活断層に沿って出現したとされる(産総研, 2006)。

地震による斜面崩壊の概要

パキスタン北部地震による被害が特に甚大であった地域は、上述の地震断層の直上あるいは近接した地域であることが指摘されている。都市部としてはアザド・カシミール特別州の州都であり、イスラマバードの北北東約85kmに位置し、震源に近いムザファラバードが最大の被災地であった(図-1)。国土地理院では米スペースイメージング社の地震前後の高解像度画像を解析し、ムザファラバード周辺地域における土砂災害の発生状況を判読している(佐藤他, 2005)。判読された斜面崩壊の分布は、中田他の指摘するムザファラバード断層及びタンダ断層の位置と重ねて図-2のように示されている。

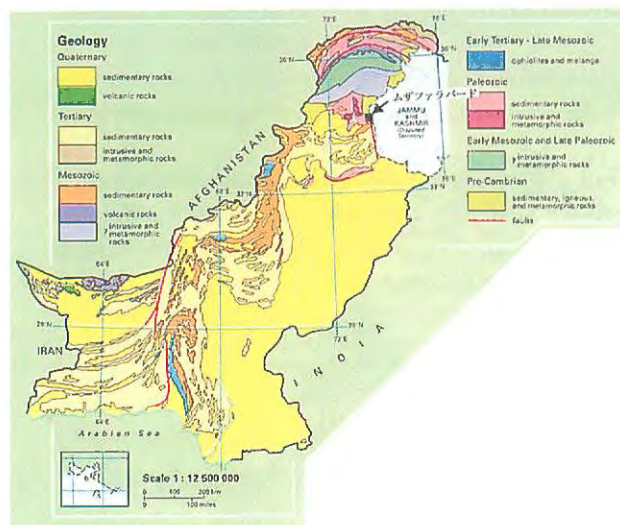


図-1 震源地に近いムザファラバードの位置とパキスタンの概略地質図
(The New Oxford Atlas for Pakistanによる)

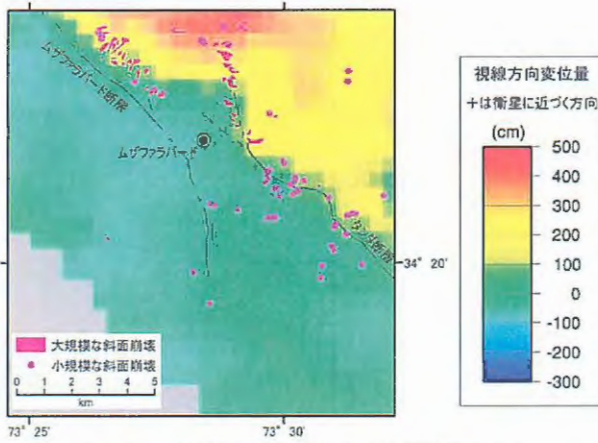


図-2 IKONOS画像で抽出した斜面崩壊の分布
(国土地理院ホームページによる)

また、判読された斜面崩壊は約100箇所にとどまり、斜面崩壊の多くは上記2つの断層の北東側に集中している。ただし、衛星画像によって判読されたものは比較的規模の大きい崩壊に留まり、小規模のものを含めれば遙かに多数の斜面崩壊が発生していると考えられる。

地震による斜面災害調査

筆者らは、地震後約3ヶ月を経過した2006年1月20、21日の両日、パキスタン地質調査所職員らと共に現地の土砂災害と被災地の状況について調査する機会を得た。調査の行程を図-3に示す(藤原, 2006)。僅か2日の日程のため、土砂災害が頻発している地域全体の約1/3程度を眺めたに留まるが、最大規模のハチアンの地すべり地を視察することができた。最初にイスラマバードから北西約50km、標高約2000mの峠の集落ムレーを越え、谷を下りジェラム川に沿って北進し、被災地域の中心地ムファザラバードに到達した。途中大規模な地すべり箇所を通過し、片側交互通行となる場所があり、約135kmの行程で約4時間を要した。地すべりによる道路の崩壊事例を写真-1に示す。調査地域であるアザド・カシミール州はインドと領有を巡って係争中の地域である。ムファザラバードに近づくにつれ被災民のテントが目立つようになった。市街地には倒壊した中層のビル(写真-2)や低層の民家が点在している、市街地北側の山地斜面は全面的に崩壊してハゲ山状になっている(写真-3, 4)。主要目的地は、ムファザラバードからジェラム川沿いに東40kmのインドとの停戦ラインに近いハチアン村に発生した山体の大規模崩壊性地すべりである。しかし、目的地の5km手前のチッカールでも道路が地すべりによって閉鎖された。そのため、やむを得ず初日は到達を断念した。ジェラム川左岸からチッカール村に至る車道は地震の震源断層直近の斜面を縫って延びていることから、著しい斜面変状が認められた(写真-5)。それらの中には地表地震断層が直接出現した可能性があるものも含まれている。

翌21日宿泊地のムレーからチッカールまで約100kmを引き返し、地すべりによる道路閉鎖箇所(写真-6)で車を降り、徒歩でハチアン地すべりに向かった。崩壊で寸断された林道を約2時間歩行し、最後に地すべりによる亀裂だらけの

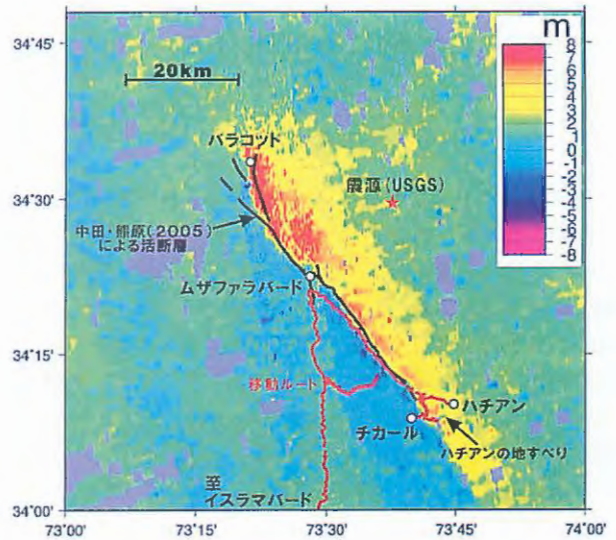


図-3 調査団移動ルート並びにハチアン地すべり位置
(国土地理院, 藤原作成図による)

段々畑を経て、滑落崖側部に到達した。林道沿いの崩壊状況を写真-7, 8に示す。写真-9にハチアン地すべり直上流の対岸斜面の状況を示す。長大な斜面上には幾つもの地すべり地形や崩壊箇所が見られるが、広範囲に段々畑が展開し、住居多数が立地している。

ハチアン地すべり地では、山体が北から南に向かって幅500m、斜面長2km、最深部では100m以上にわたって大規模に抜け落ちアブリス・アヴァランチ状に崩落している(写真-10, 11)。10⁷m³以上の崩落物質が二つの支谷の合流部を塞いだ結果、二つの地すべりダムが形成されている。シュナイダー博士の報告では、この山体崩壊性地すべりは初生すべりではなく、既存の地すべりが上方にも拡大して滑落したものであると推定されている(Schneider, 2006)。また、地すべり土塊は初期中新世のムレー層の赤色砂岩、シルト岩、泥岩から構成されている。移動体の横断面は、底辺を地表面とする直角三角形の楔状で、斜長辺がすべり面、短辺が滑落崖の東側側面となっている。この地すべりは、すべり面が岩盤の層理面に平行であることから、片側側面を制約された層すべりである。滑落崖側部にはそれに平行して何列ものクラックや段差地形が発達し、冠頂部直下にはすべり残った大きな移動体が認められた。地すべり地内を望見しつつ、地すべりダムの排水対策、すべり残りの移動体、およびハチアン村周辺の斜面変状に対する危険度評価に関する議論を行った。地すべりダムの排水問題に関しては、会議で提示された排水トンネル案よりも、埋塞土塊を掘削し開水路を設置する案の方が現実的ではないかと推測された。その理由は、活断層が走る山体は地質が脆弱でトンネル工法に適していないことと、6月からのモンスーンを控え工期的に間に合わないことが挙げられる。また、ハチアン村周辺ではこの大規模山体地すべりに近づくにつれ、斜面にクラック・段差地形が高密度で発達し、二次的な災害が予想されることから一部集落の移転までも考慮した対策が必要との判断が出された。こうした見解は、翌23日午前パキスタン地質調査所で開かれたカウサール支所長とのミーティングで伝えられた。さらに、ハチアン

ン地すべり以外にも震源断層沿いの斜面の危険度評価を行うために、日本地すべり学会との共同研究を進めることにつき合意を見た。

おわりに

2005年パキスタン北部地震に際しては、発生直後から日本においても頻繁に報道されたものの、多くはムザファラバード周辺の建物被害を中心とした被災状況と避難住民の生活状況に関する情報に限られており、被災地域における土砂災害に関する報告は極度に限定的なものに留まっていた。ところが、今回の極短時間の調査を通じて、地すべり、崩壊などの斜面災害が、震源地に近い既存の活断層に沿った震源断層域及びその近接域で極めて高密度で大規模に発生していることを具に見聞できた。また、比高1000mにも及ぶ長大な急斜面上に多くの住居が立地し、広範囲に段々畑を造成し農耕を営みつつ、住民が生活している状況には強い感銘を受けた。長年月にわたって、地すべりと共存しながら人々が暮らしている状況は、新潟県の旧山古志村の状況を彷彿させ、地すべり多発地域での生活における共通の課題として捉えられる。

なお、ハティアン地すべり地からの帰途、ジェラム川沿いの狭窄部で道路脇斜面が再崩壊し、ムザファラバード方面への通行が遮断されていた。当日午前中の通過に際して、当該斜面の現況は極めて不安定であり、何時再崩壊が生じてもおかしくない状況であると判断され、日本では到底通行が許可されないだろうと考えながら通過した地点であった。この時点の崩壊はかなり大規模で、日没間近でもあったことから開通は翌朝以降であろうと危惧された。実際には、山越えの代替道路を走行し、何とか夜半にイスラマバードに帰着できた。このように被災地では、災害復旧や援助物資輸送のための重要道さえ、今なお斜面災害の危険性にさらされている。モンスーン期を控えて被災地域における斜面災害危険度評価を進める必要があることを痛感した。今回の調査では日程の制約のため部分的な調査を行ったに過ぎない。モンスーン期を迎える前に再度現地調査を実施する予定である。改めて詳細な報告を行いたい。



写真1 地すべりによる道路崩落箇所

謝辞

何よりも、今回の調査の便宜を図って頂いたパキスタン地質調査所の方々に感謝を申し上げたい。本稿の取り纏めに際し、イスラマバードでの国際会議における出席者各位の発表内容を参考にさせていただいた。原出典を参考資料に記載させていただき謝意を表する次第である。

文献

- 藤原 智(2006):パキスタン地震による斜面災害派遣団行程図(未発表資料)
- Geological Survey of Pakistan (2005):October 8, 2005 Earthquake in Pakistan: "Its Implication and Hazard Mitigation", GSP News Letter, Vol. 14, Nos. 7-12
- 国土地理院(2006):人工衛星によるパキスタン北部地震の地殻変動の検出, 国土地理院ホームページ
http://vldb.gsi.go.jp/sokuchi/sar/pakistan/pakistan_happyo1111.html
- Nakata et al. (1991):Active Faults of Pakistan Map Sheets and Inventories, Research Center for Regional Geography, Hiroshima University
- 中田 高・熊腹康博(2005):パキスタン北部地震震源地域の活断層(予察), 日本地理学会「災害対応のページ」
http://www.fal.co.jp/geog_disaster/20051018_pakistan.html
- 産業技術総合研究所(2006):2005年パキスタン地震の地震断層を現地で確認, 産総研ホームページ
http://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2006/pr20060203/pr20060203.html
- 佐藤 浩・宇根 寛・小荒井 衛(2005):パキスタン北部地震に対するイコノス画像の判読と解釈, 国土地理院ホームページ
http://vldb.gsi.go.jp/sokuchi/sar/pakistan/pakistan_happyo1111.html
- Schneider, J. (2006):Earthquake Triggered Mass Movements in Northern Pakistan with Special Reference to the Hattian Slide, Extended Abstracts of the International Conference on 8 October 2005 Earthquake in Pakistan.
- 八木浩司他(2006):2005年パキスタン地震による斜面災害調査派遣団報告, 地すべり学会誌ニュース, 第43巻, 第6号(通巻第170号)(印刷中)



写真2 ムザファラバード市街地のビル倒壊状況

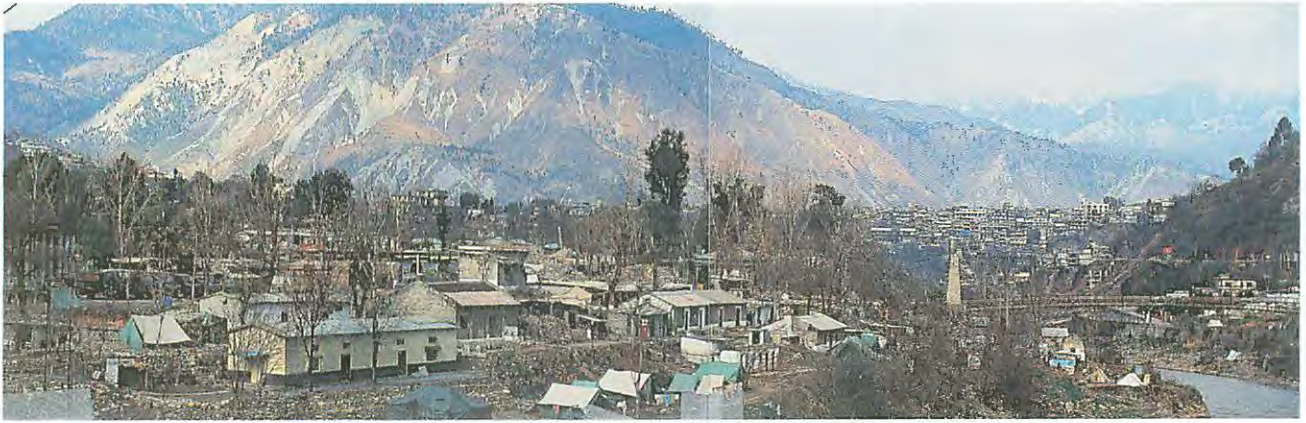


写真-3 ムザファラバード市街地北西部の大規模表層崩壊



写真-4 ムザファラバード市街地北東部の大規模表層崩壊



写真-5 ジェラム川右岸で連続する崩壊斜面
避難用テント多数が河床に設置されている。
(拡大崩壊が発生した場合、崩落土砂の到達範囲内
に設置されており危険である。)

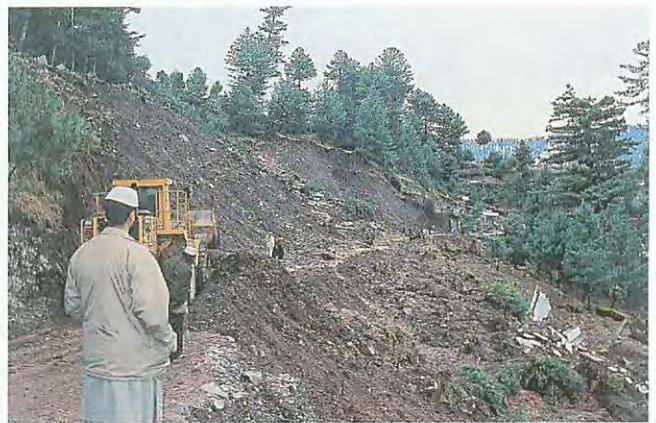


写真-6 チッカール村手前の地すべりによる道路損壊箇所
(応急復旧された道路が小規模崩壊により埋塞された状況。)



写真-7 チッカール村からハッティアン地すべりに向かう林道沿いの崩壊



写真-8 チッカール村からハッティアン地すべりに向かう林道沿いの崩壊



写真-9 ハッティアン地すべり直上流の対岸斜面
(長大な斜面は幾つかの溪流の侵食により区分される。斜面中・下部には地すべり地形、脚部には急な崩壊斜面が見られる。斜面上には段々畑が広範囲に展開し、多数の住居が立地している。左下に見える水面は、地すべりダムにより形成された湛水池である。)



写真-10 ハッティアン地すべり上流側の側壁から、地すべり地内を臨む。
(右手の斜面下部には大規模な地すべりダムによる河道閉塞状況が遠望される。)



写真-11 ハッティアン地すべり上流側の側壁から、地すべり地内を臨む。
(上部側壁から隣接斜面に掛けて多数のクラック及び段差が見られる。)