

2005 年パキスタン北部地震による地震・土砂災害

千木良雅弘

はじめに

2005 年 10 月 8 日午前 8 : 50 (現地時間 , 日本時間で午後 0 : 50) に , パキスタン北部のカシミール地方ムザファラバード付近 , イスラマバードの北北東 95km で大地震が発生した (図 1) 。震源の深さは 26km , マグニチュードは Mw7.6 (米国地質調査所) , M7.8 (気象庁) である。その結果 , 8 万 4 千人が死亡した。当日がラマダンの月にあたり , 多くの人が屋内にとどまっていたために , 被害はより大きくなった。また , 地震の揺れそのものによる建物の被害の他に , 斜面崩壊が膨大に発生し , 道路網が寸断された。また , 巨大崩壊が 1 箇所発生し , 河川をせき止め , 塞き止め湖を形成した。震源地帯のムザファラバードはヒマラヤの入り口にあり , すぐ北にはナンガパルパットや K2 といった山並みがそびえている。ここは , アザドカシミール州の州都であり , その人口は数十万人と大きな町である。

パキスタンでは , 地質調査所の環境・応用地質支所 (イスラマバード) がその調査と復興計画の責を追い , 調査を進めている。このたび , 防災研究所と防災研究フォーラムの支援を得て , 現地調査を行うことができたので , 概要を報告する。調査日程は , 2006 年 3 月 10 - 17 日である。すべてパキスタン地質調査所環境・応用地質支所のカウサール所長との共同調査である。

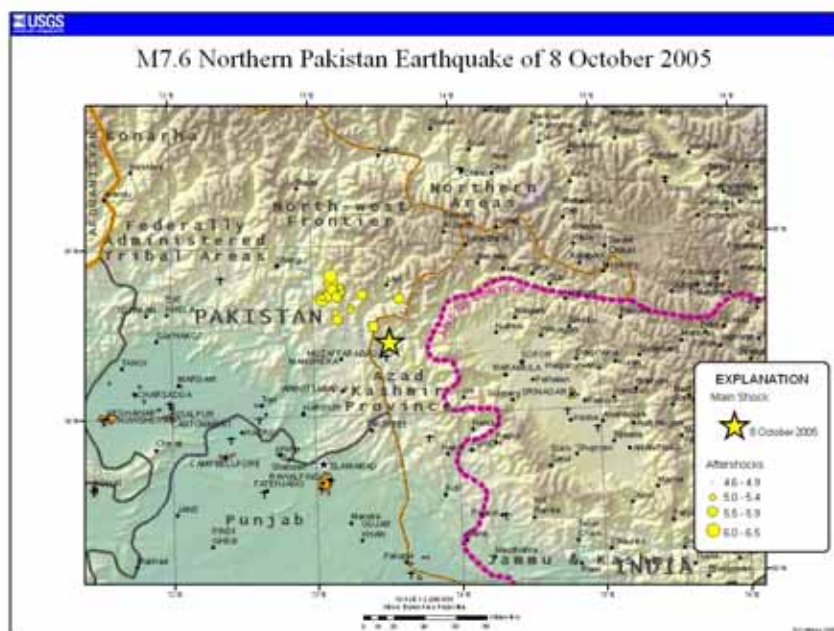


図 1 パキスタン北部地震の位置 (米国地質調査所ホームページから)

地質と地形の概要

ムザファラバードは、2つの大きな河川の合流する位置にある(図2)。つまり、南東からジェラム川が北西に向けて流下し、北から南に流れるキシャンガンガ川と合流する箇所の北東の丘陵にムザファラバードの市街地が広がっている。ジェラム川はムザファラバードで南に流下方向を変えている。ムザファラバードの西側は丘陵を隔てて、クンハ川が北から南に流れ、蛇行を繰り返した後に丘陵を横断して、ジェラム川にムザファラバードの南方で合流している。

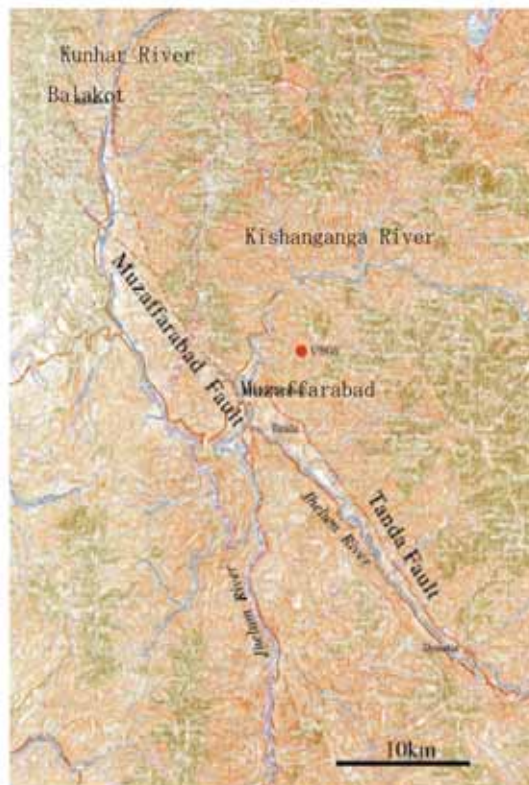
ムザファラバード付近は、ヒマラヤの衝突帯にあたり、その地質は、北西—南東方向の断層(図2のタンダ断層とムザファラバード断層)によって大きく分けられている。産業総合研究所では、両者の断層をあわせてバラコット - ガリ断層 (Balakot-Garhi fault) と仮称している。その北東側には、カンブリア紀と暁新世の石灰岩と苦灰岩が主に分布し、その南西側には、南東部では中新世のマリー累層 (Muree Formation) が分布し、北西部では、カンブリア紀のハザラ粘板岩 (Hazara slate) が分布している。マリー累層はパキスタンの北部のパンジャブ平原の北部に広大に分布している地層で、赤みがかった泥岩と灰色の砂岩とからなっており、特に泥岩は軟質で、いたるところで地すべり地形を呈していた。ハザラ粘板岩は、日本の一般的な粘板岩と同様にいたるところで重力性の変形をしている。

タンダ断層はジェラム川に沿っており、ムザファラバードの北方で向きを西に変え、キシャンガンガ川を横断し、さらにムザファラバード断層に沿っていく。ムザファラバード断層はクンハ川をバラコットの町で横断してさらに北西に伸びている。

ムザファラバードの市街地の載る丘陵や河川沿いの段丘を除くと、比較的急峻な山稜が広く分布しており、特に前述した石灰岩と苦灰岩、およびハザラ粘板岩の地域は急峻である。それに比較してマリー累層の分布域は相対的になだらかなのである。

図2 タンダ断層とムザファラバード断層の位置 (中田高・熊原康博, 2005.日本地理学会災害対応のページ

http://www.fal.co.jp/geog_disaster/20051018_pakistan.html から)



震源地域の活動断層想定図 (中田 高・熊原康博)
赤線: 活動断層 ケバは断層の低下側を示す。青線と矢印は河谷断面と傾ずれセンスを示す。

活断層と地震断層

今回の地震では、2つの平行な活断層に沿って地震断層が出現した。これらの活断層は広島大学（現在広島工業大学）の中田高氏が調査され、「パキスタンの活断層」の中に図示していたものであった（Nakata, et al., 1991）。これらの断層は、図2に示すように、北西—南東方向で、ムザファラバードで約2km北東—南東方向にずれて分布している。今回の地震断層は、右横ずれ成分を持つ逆断層で最大約7m北東側が隆起した。タンダ断層の北西端で産総研・京都大学・広島工業大学の合同現地調査チームによってトレンチ調査が実施された。ここは、断層変位が北西に向かって急速に減少する場所にあたっていたが、北東側が約2m隆起、左横ずれ0.7mの箇所である。トレンチの結果、見事な北傾斜の逆断層が確認された（図3）。その結果は論文にとりまとめられる予定である。



図3 タンダ断層北西端でのトレンチ位置(左)とその西側断面(右)。左の写真では、トレンチの手前に断層の末端の亀裂が見える。右の写真では右下から左上に上がっていく断層が見える。水系の間隔は1m。

地震による住居被害

我々は建築物の調査は行わなかったが、著しい被害であった。最も大きな原因は建築物自体ブロック積みのもので多く、耐震性の考慮がされていなかったと見られることである。住居が立て方向に潰れた状況はいたるところでみられた。ムザファラバードの中心は写真に見るように山中の段丘にあるが、その周囲の山地斜面に数多くの家屋があり、人々が生活していた。これらの斜面上の家屋には、斜面変形ではなく、震動のみによって破壊されたものが多いように見受けられた。わが国の山地の土地利用は、谷沿いを中心になされているが、当地では谷沿いよりも山稜の上部の丸みを帯びた部分が多く居住地に利用されている。このような地形的凸部では震動が増幅されることが明らかになっており、家屋の倒壊の集中はこのような現象によるものかも知れない。いずれにしても、家屋の倒壊被害は、後述する斜面崩壊の分布と同様に地震断層の上盤側に著しかったようである。ムザファラバード断層の北西端のバラコットでは、上盤側の丘陵の上にあった中心街がほぼ全滅した（図4）。



図 4 バラコットの地震断層直上の被災状況。左は前景で、中央の左に傾斜する丘の上にあった中心街は全滅した。その左裾を右奥から左手前に地震断層が通過している。右はこの丘陵を手前から見たところで、写真中央奥から左手前に地震断層が通過している。地震断層の出現に伴って手前の噴水盤は左に約 4 度傾斜した。

斜面崩壊

斜面の崩壊は見事に地震断層に沿って発生していた。これは、国土地理院の佐藤浩氏他が報告した SPOT5 の画像解析によくみてとれる。ムザファラバード市街地からその北西方にかけての地域では、ムザファラバード断層とタンダ断層との北東側の石灰岩斜面で多くの崩壊が発生した。最も著しいのは、ムザファラバード市街地の北から北東方である(図 5)。ここでは、高さ約 300m の河岸斜面が崩壊し、一時的にキシャンガンガ川をせきとめた。また、バラコットの南東では、劣化した古い岩盤すべりの移動体に崩壊が多く発生していた。

ムザファラバードの中心街の地盤を構成するのは、北部がマリー累層で南部はその上にある土石流堆積物である。一般的に南部の地盤は沢の側壁のごく表層が剥離した箇所はあるが、深い崩壊は発生していない。一方、マリー累層の特に泥岩は風化して軟質になっており、それが表層で崩壊したり亀裂を生じたりしている箇所があり、今後の降雨による地すべりや侵食が懸念される。また、市街地の上方は断層を境にして石灰岩の急崖となっており、その部分で発生した土石が沢に堆積しており、それらが今後流下することも懸念される。これらの沢には砂防堰堤のようなものはない。マリー累層には古い地すべりがいたるところに認められるが、それらが再活動したものは相対的に少ないようである。

ムザファラバードよりも南東側のジェラム川沿いにはマリー累層が広く分布しており、そこに地すべりや亀裂が生じている。特に、ムザファラバードから約 40km 南東のハティアンでは、大規模な地すべりが発生しており、ジェラム川をせき止めている(図 6)。発生前の衛星画像と発生後の状況との比較から、これは昔の地すべりの再移動であることがわかっている。この地すべりは、パキスタンの地質調査所の調査によれば、斜面下方にプランジする向斜構造に発生したもので、すべり面はほぼ地層の層理面にそっているようである。この周囲には数多くの地すべり地形が認められる。



図 5 ムザファラバードでの斜面崩壊状況。左は北部で，高さ約 300m の石灰岩崖が崩壊し，川を一時的にせき止めた。右はムザファラバードの北東側の崖で，その下を地震断層が通過している。



図 6 ムザファラバードから約 40km 南東のハティアンの大規模崩壊。写真の奥側に塞き止め湖が形成された。(八木浩司撮影)

おわりに

今回の地震被害は，逆断層の上盤側に集中して発生した。これは，主に震動の強さと性質によるものと思われる。また，表層崩壊や浅い亀裂が多く発生しており，今後のモンスーン期の降雨による崩壊や侵食，また，土砂流出による二次被害が強く懸念されるところである。地すべりダムของ安定性についての検討も重要な課題である。これらの問題も含めて，支援のための委員会が JICA に設置され，協力が進められている。中越地震では，起震断層は複数あり，複雑な形態をしていたが，今回の断層は非常に単純なようである。この地震によって発生した現象は，おそらくわが国の内陸活断層が今後活動した場合に発生する現象の重要な参考になると考えられる。