

論文

中国・寧夏南部の黄土地すべりの特徴とすべり面の位置による分類

孫 保平*・宜保 清一**・佐々木慶三***・趙 廷寧*・中村 真也**

Classification on the Basis of Position of Slip Surface and Features of Loess Landslides in Southern Ningxia Hui Nationality Municipality, China

Baoping SUN*, Seiichi GIBO**, Keizo SASAKI***
Tingning ZHAO* and Shinya NAKAMURA**

Abstract

Principal types and influencing factors of loess landslides were examined. Three types of loess landslides were identified according to the position of slip surface: the slip surface of the first type was in the loess bed; second one was near the boundary of the loess beds and the bed rock body; and third one was in the bed rock. The following major features of loess landslide were pointed out, the well-developed joints and druses in the loess beds function as the groundwater passages, the secondary loess beds laying on the Tertiary beds is changed to the moving mass, and the gravitational creep contributes to forming the arced slide topography. Most loess landslides have ever been considered as the primary slide, but the reactivated slide topography was observed across the bank of the Miaowan landslide in this case study.

キーワード：黄土，地すべり，地質，すべり面，分類

Key words : loess, landslide, geology, slip surface, classification

1. まえがき

黄河流出土砂の90%は黄土高原から供給され、

そのうちの約半分が地すべり、崩壊などに由来すると言われている(蔣, 1979)。黄土地すべりは、一般に地震や降雨が誘因で引き起こされ、大規模

* 北京林業大学水土保持学院
Soil and Water Conservation College, Beijing Forestry University

** 琉球大学農学部
Faculty of Agriculture, University of the Ryukyus

*** 利根コンサルタント(株)
Tone Consultant Company Ltd.

本論文に対する討論は平成16年11月末日まで受け付ける。

で高速滑動する特徴がある。また、寧夏(Ningxia)南部の石碑原(Shibeiyuan)地すべり(張ら, 1995)などのように数十年前の地震で発生した地すべり地形が現在まで良く保存されているものもある。これは、その後の再滑動がないか、あっても地形を変えるまでの移動量がなかったことによる。このため黄土地すべりの多くは初生地すべりであると考えられている。

しかし、1983年3月の乾季に発生した甘肅(Gansu)省の洒勒山(Saleshan)地すべりの場合、冠頭部の亀裂が長期間に渡って拡大するなど前兆現象が明瞭であった。また、滑動前の地形が地すべり地形であったこと(甘肅省科学技術委員会(森協訳, 1984)から、再滑動地すべりの様相も備えていた。また、黄土地すべりには低速のものもあり、規模形態も多様で単純ではない(Zhao et al., 2000)。また、一過性の地すべりだけでなく、滑動・停止を繰り返す地すべりの存在も予想される。これらの特徴は、黄土層にすべり面に転化しうる弱面が存在するかどうか、黄土およびその基盤の地質と密接に関連すると考える。

黄土地すべりに限らず、地すべりの発生形態や運動機構は基本的にはすべり面を構成する物質とその強度に依存しているため、黄土地すべりのとりまとめや検討に当たっては、すべり面の位置を基準に地すべりを分類することが重要である。

本研究では、1998年6月および2000年7月に実施した寧夏南部の黄土地すべり現地調査と文献資料を基に、調査地域の地史、地震活動、地質、降雨などの地すべり影響要因について調査・分析した。すべり面の位置を基準にした地すべりの分類、発生形態および素因について報告する。

2. 寧夏南部の概況

2.1 位置

寧夏回族(Ningxiahui)自治区は、黄河の上流域に位置し、甘肅省、内蒙古自治区、陝西(Shaanxi)省と隣接している(Fig.1)。地理的には、東経104°17′~107°39′、北緯35°14′~39°23′の範囲にあり、面積が5.18万km²である(藍ら, 1993)。寧夏南部は、海拔1,200~2,900mに位置し、山地・丘陵地・盆地からなり、地震および地すべりの多発地帯である。人口密度は50~150人/km²である(藍ら, 1993)。平均年降水量は400~480mm、既往最大年降水量は990mmで、季節は乾季と雨季からなり、Table 1に示すように、7月~9月の降水量が年降水量の60%を占める(中国科学院・寧夏回族自治区固原県総合考察隊, 1988)。

2.2 地史的背景

寧夏回族自治区は、昆侖秦嶺(Kunlun-qinling)地向斜褶曲区と中朝(Zhongchao)準台地の交接地帯にあり、その地形は主に地質構造に支配される。北部地域では、それぞれ南北に長い、賀蘭山(Helanshan)、銀川(Yinchuan)盆地、靈塩(Lingyan)台地が西から東に向けて並ぶ。南部地域では、北西から南東方向に伸びる六盤山(Liupanshan)を主体とする三列の円弧形隆起山地が形成され、それを被覆して第四紀更新世黄土が広範囲に堆積している(周, 1985)。寧夏南部では、カンブリア紀以来の造構運動によって、北西~南東に伸び、北東方向に突き出るように湾曲した隆起山地と数多くの断層が形成された(張ら, 1989)。そのうち、特に第三紀のヒマラヤ造山運動によって、現在の中・低山および山間盆地からなる地形が形成された(国家地震局地質研究所・寧夏地震局, 1990)。

2.3 地震帯および地震活動

Table 1 Precipitation (mm) in Guyuan Xiji counties

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年合計(最大年)(最小年)
固原	2.6	3.4	9.3	25.8	45.9	50.7	104.9	109.1	79.7	34.0	11.1	1.6	478.2 (990.2) (132.7)
西吉	2.1	5.1	10.9	25.6	36.4	42.4	80.5	95.4	59.9	31.9	10.7	1.3	402.2 (611.1) (240.3)

寧夏北部の賀蘭山から始まり、秦嶺、甘肅省の文(Wen)県を越え、四川盆地の西部に沿って雲南省東部に至る南北2,000 kmは、中国最大の活発な地震帯である(楊ら, 1993)。寧夏回族自治区では、西暦143年から1990年にかけて、マグニチュードM=5以上の地震が42回発生した。42回のうち、M=6~7級が10回、M=7~8が4回、M=8以上が2回あった。

3. 寧夏南部の黄土の分布と特性

寧夏南部の黄土は、層厚が山地で数m~十数m、盆地や河岸段丘で200~300 mに達し(張ら, 1989)、鉛直節理が発達している(劉, 1985)。黄土は、第三紀の礫岩、砂岩および粘土岩を不整合に覆い、下位より更新世の午城(Wucheng)黄土、離石(Lishi)黄土、馬蘭(Malan)黄土および完新世黄土に区分される。細砂分が10~33%、シルト分が56~79%で、炭酸塩類を多く含み(CaCO₃含有率が3.6~20.9%)、土粒子同士が直接または細粒物質を介して接合し、高い構造強度を示す。しかし、可溶性のナトリウム塩類を多く含有するため、溶脱による粘着力の喪失がみられ、水浸後2時間以内に崩壊するいわゆる崩壊性土であるとされている(劉, 1985)。馬蘭黄土は、離石黄土や午城黄土に比べてシルト分が多く、その表層部は透水係数が 1.45×10^{-3} cm/sで(楊, 1992)、Table 2に示すように固結度が低い。離石黄土および午城黄土のせん断強度は馬蘭黄土のその2.09~2.54倍と高い(李, 1988)。

4. 黄土地すべりの事例

寧夏南部の黄土地すべりには、誘因別に地震性

地すべり、降雨性地すべり、および冬期に発生する誘因の不明瞭な地すべりの三種類がある。以下に、海原(Haiyuan)地震により誘発された石碑原および夏家大路(Xiajiadalu)地すべりと降雨で発生した二道岔(Erdaocha)および廟湾(Miaowan)地すべりの地形・地質特性を示す(Fig. 1)。

4.1 地震を誘因とした地すべり

(1) 海原地震地すべり群の概要

寧夏南部で記録に残っている地震は、1718年の甘肅省通渭(Gansu Tongwei)地震(M=7.8)、1920年の海原地震(M=8.5)、1970年の西吉(Xiji)地震(M=5.5)である(Table 3)。1920年12月16日に発生した海原地震は多くの地すべりを随伴し、死者234,117人(蘭州地震研究所・寧夏地震隊, 1980)の半数が地すべりによる被災者であった(吉松ら, 1992)。海原地震地すべり群は、主に震度VIII(改正メルカリ震度階)以上の区域に分布し、寧夏南部では次の三つの地すべり群に分けられる(Fig.2)。

震度XI~XIIの李俊堡(Lijunbao)県では大規模な蒿艾里(Haoaili)地すべりが発生した。長さおよび幅が共に800 m、滑落崖が数十mで、すべり面は黄土層下位の白堊紀下家河(Xiajiahe)層群の泥岩および泥灰岩中にある(王, 1987)。震度Xの地区に当たる固原県西北部には典型的な流動地すべりが発生した。そのうち、規模が最大で、流動現象が最も顕著であったのが石碑原地すべりである(単, 1992)。震度IX~Xの地区にあたる西吉県では、海原地震地すべり群の大型地すべり総数の99%に当たる650の地すべりが発

Table 2 Physical and mechanical properties of loess

種類	乾燥密度	自然含水比	土粒子の密度	間隙率	内部摩擦角	圧縮係数
	ρ_d (t/m ³)	w_n (%)	ρ_s (g/cm ³)	n (%)	ϕ (°)	a_v (cm ² /kg)
馬蘭黄土	1.51	11.2	2.72	51.7	27.5	0.074
離石黄土	1.89	15.5	2.74	33.8	25.2	0.009
午城黄土	2.20	21.9	2.73	54.4	34.0	0.007

注: 数値は李坤(1988)のデータを基にした平均値

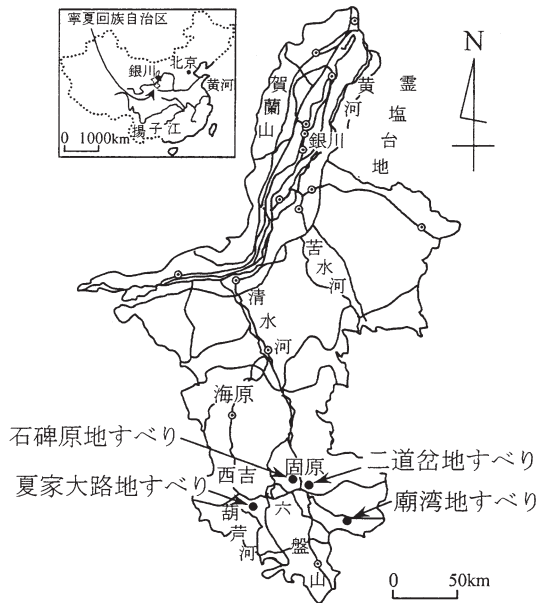


Fig. 1 Location map of landslides investigated in the southern part of Ningxia Hui Nationality Municipality, China

生し、すべり土塊による河川閉塞により 41 の堰止湖ができた。その代表事例として、夏家大路地すべり (吉松ら, 1992) がある。

(2) 石碑原地すべり

石碑原地すべりは、固原県市街地から西北約 15 km に位置し、清水河 (Qingshui He) とその支流冬至河 (Dongzhi He) によって形成された河岸段丘で発生した。この地すべりは互いに約 2 km 離れた二つの地すべりブロックからなる。一つは冬至河の支流王家后溝 (Wangjiahou Gou) の源頭部の高位の段丘崖で発生したもので、高さ 20~30 m、長さ約 1.5 km の滑落崖を有する地すべりである (Fig. 3)。この地すべりについては、張ら (1995) の詳細な報告がある。もう一つは、冬至河と王家后溝に挟まれた中位の段丘面で発生したもので、前述のブロックより大きい。この地すべりは段丘を二つに割るように流動化したため、滑落崖は形成されず、中央部で断続的な高まりの尾根状の地形となっている (Photo 1)。張ら (1995) が述べているように、黄土層の地震時の

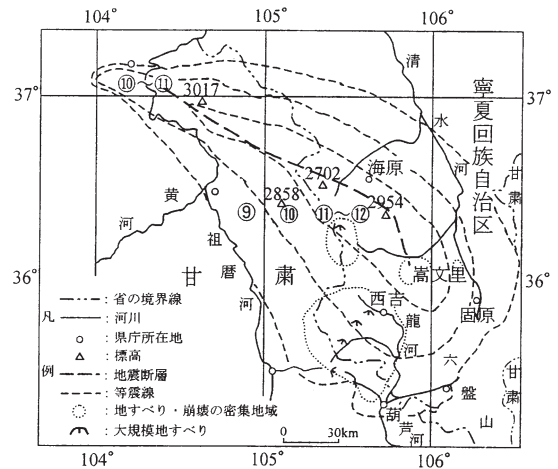


Fig. 2 Distribution of the landslides induced by Haiyuan Earthquake of 1920 (After Tan, 1992)

液状化が原因であろう。すべり面は完新世黄土層中にある。

(3) 夏家大路地すべり

夏家大路地すべりは、西吉県市街地より 15 km 離れた胡蘆河 (Hulu He) 支流沿いに位置する。周辺部は樹枝状水系で溪岸斜面から谷に向かう多くの地すべりと堰止湖があり、地すべり方向には規則性は見られない。基盤の地質は第三系の赤色シルト岩である。夏家大路堰止湖およびその下流の堰止湖は、比較的緩やかな右岸斜面からの地すべり土塊により閉塞され形成されたものである (Fig. 4, Photo 2)。左岸斜面では地すべりブロックの外に、山腹急斜面に崩壊ブロックが分布する (Fig. 4, Photo 3)。崩壊面には基盤の赤色シルト岩が露出している。このことから、周辺では第三系の分布高度が山腹に及んでいるものと推定され、夏家大路地すべり群のすべり面は黄土層と第三系の境界付近の可能性が高い。また、移動体の黄土は馬蘭黄土と推定されているが、この推定だと馬蘭黄土の層厚は丘陵の比高 140 m と同程度になり、既往の地質調査結果と矛盾する。周辺で第三系まで侵食を受けていれば、その上位に堆積した更新世黄土も剝削されるはずである。従って山腹に残留する黄土は、旧期の地すべりなどによって

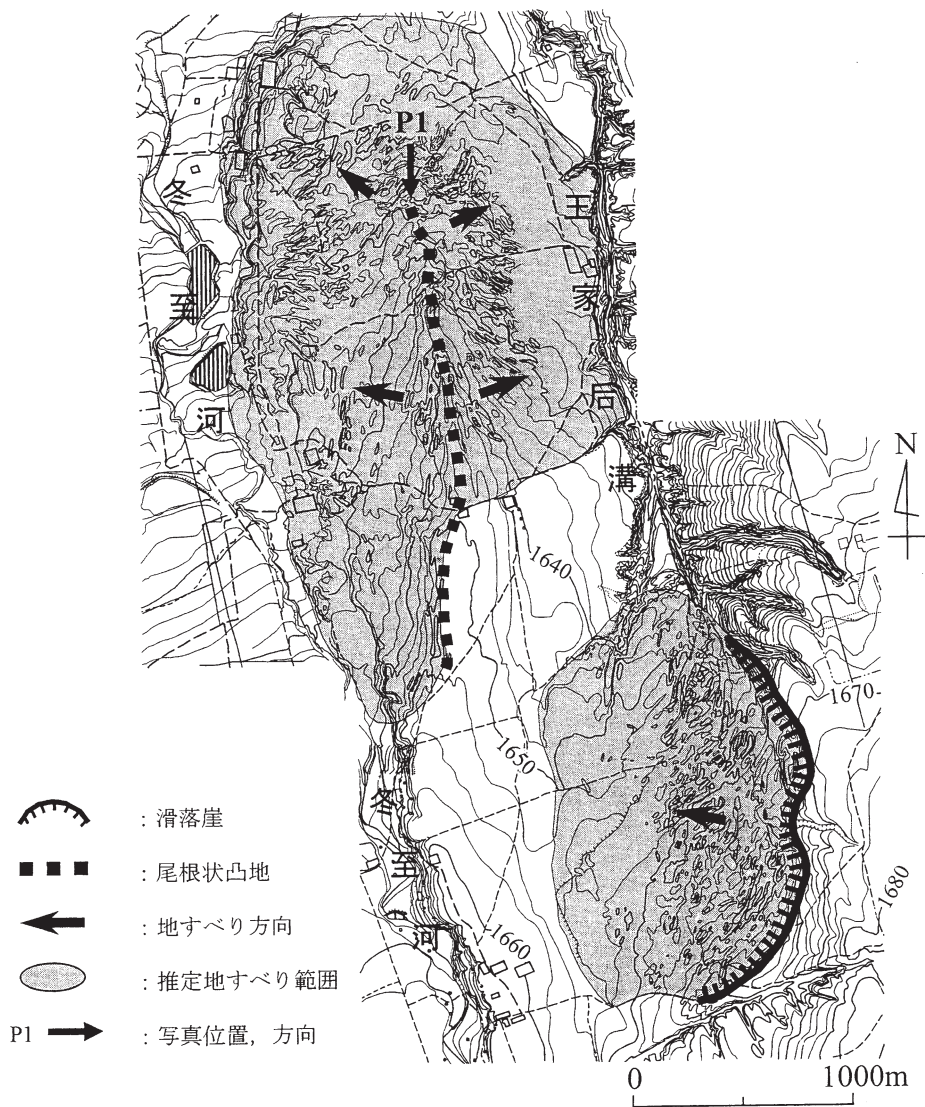


Fig. 3 Plan of the Shibeiyuan landslide

更新世の馬蘭黄土から供給され、再堆積した完新世の二次黄土と推定される。後述する廟湾地すべり付近で見られるような、過去の地すべりや崩壊によって形成された二次黄土が夏家大路地すべりの山腹にも分布していた可能性が高い。

4.2 降雨を誘因とした地すべり

(1) 二道岔地すべり

寧夏南部は降雨を誘因とする地すべりの多発地帯である。二道岔地すべり (Fig. 5, Photo 4) は、固原県東郊郷程兒山村秋家溝 (Guyuan Xian Dongjiao Xiang Chengershan Cun Qiujiia Gou) のガリー源頭部から左岸側に位置し、84.8 mm の先行降雨と 124.4 mm/day の連続降雨に伴って 1989 年 8 月 20 日に発生した。二道岔地すべりは、滑落崖の高さは 10 m~20 m で、平面形状は弧状

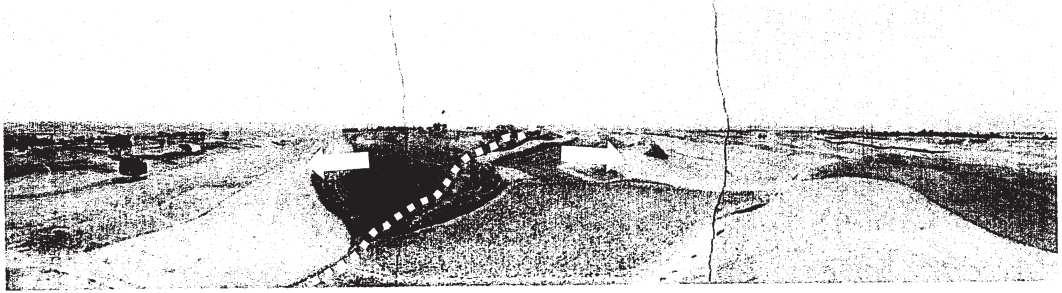


Photo 1 Shibeiyuan landslide (The loess flowed down from the discontinuous ridge to the both sides)

を呈し、地形的な制約を受けて、移動距離が短い。右岸側にも古い地すべりブロックが多く見られる。また、地下水の水みちとなっている土中トンネルの天盤が陥没して形成された黄土特有の直径1 m前後の落水洞 (Photo 5) とこれを地下数 m で連結する土中トンネル (Photo 6) が形成されていて、末端のガリー壁では湧水による崩壊や下方侵食が続発している。

地質構造的には、本地すべりは清水河東岸の北東-南西方向の軸を持つ背斜の東翼から向斜の位置にあり、基盤構造はおおむね流れ盤構造になっている。頭部滑落崖部には古第三系始新世寺口子 (Sikouzi) 層群に対比される赤色砂岩 (走向傾斜: N 60° E/40° SE) が黄土に覆われて分布する。末端のガリー底部には、移動体の黄土の下位に著しく破碎された暗灰色頁岩と鏡肌を伴う走向 N 40° ~60° E 傾斜 10° SE、厚さ 5 ~10 cm の淡灰色粘土層が狭在する (Photo 7)。粘土層は本地すべりのすべり面粘土と考える。尚、暗灰色頁岩は白亜系で赤色砂岩層とは平行不整合の関係にある。

(2) 廟湾地すべり

廟湾地すべり (宜保ら, 1998) は、彭陽県紅河郷黒牛溝村 (Zhangyang Xian Honghe Xiang Heiniugou Cun) に位置し、7月7日~7月26日の94.8 mmの先行降雨と134.4 mm (12時間)の集中豪雨に伴って1996年7月27日に発生した (Fig. 6 Aブロック)。地すべりの冠頭部背後には落水洞と土中トンネルが形成されており、ここから多量の地下水が頭部の引っ張り亀裂を通過してすべり面に供給されたと考えられる。地すべり

の範囲は幅×斜面長=500 m×400 mであった。滑落崖の高さは約50 mで、移動体は高速で滑動し、対岸に乗り上げ河川を閉塞して堰止湖が形成された (Fig. 6)。

①すべり面の位置

Fig. 6のa地点で、ガリー底部に沿って、黄土層と第三系の赤色シルト岩との不整合面が南西方向に10°~15°で傾斜している (Photo 8)。地層境界には乾期にも枯渇しない湧水があり、住民の生活用水になっている。位置的に見て、この第三系の赤色シルト岩との不整合面付近が本地すべりのすべり面になっている可能性が強い。

②周辺新旧地すべりとの関係

廟湾地すべり地内は耕地だったことから、斜面勾配は比較的緩やかだったと推定される。また、滑落崖にヤオトン (横穴住居) が残っている。ヤオトンは斜面の急な部分を利用して作られることから、廟湾地すべりの冠頭部の位置には急崖があったと推測される。これらから、廟湾地すべりは古い地すべり地内に位置していた可能性がある。Photo 9は、廟湾地すべり冠頭部から、地すべり末端と対岸の地すべりを撮影したものである。対岸にはB、Cブロックの新旧地すべりがある。Bブロックは比高約30 mの高い滑落崖を有し、廟湾地すべりの形態と良く似ている。Cブロックの滑落崖は開析が進んでいるが、上下斜面に対して明らかな急崖になっている。侵食によって形成された急崖ではないので、地すべり滑落崖と判断した。Bブロックの滑落崖はCブロックの滑落崖に対して高さが約1.5倍ある。新旧の滑落崖の高さ

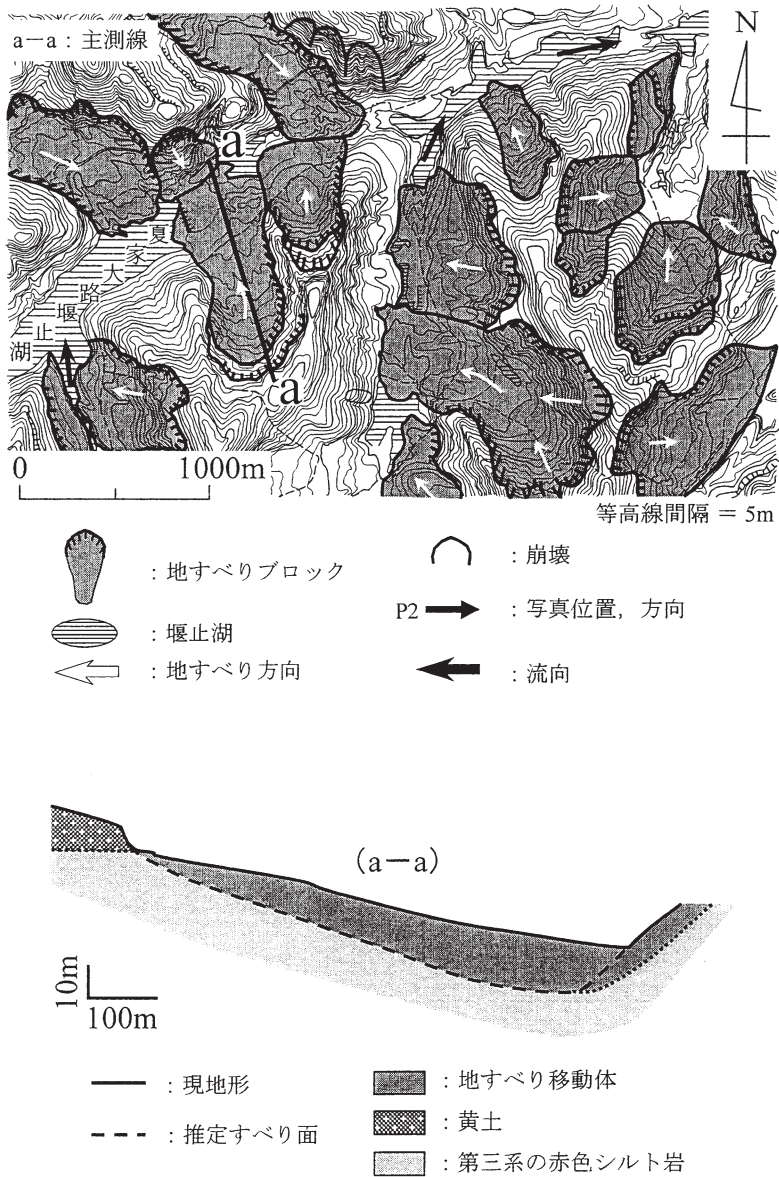


Fig. 4 Plan and a-a cross section through the Xiajiadalu landslide

が異なるのは、古い滑落崖が崩壊によって埋没し、高さを減じたか、新しい地すべりの滑落崖の発達が大きいかであろう。また、Bブロックの滑落崖の位置は、Cブロックのそれを切って背後に後退している。これらの現象により、Bブロックは、古いCブロックの左翼側半分の再滑動ブロックで

ある。

③地すべり前兆現象

Photo 9 の中の X 地点には、Bブロックの滑落崖からCブロック背後の丘陵頂部に向かう線状の凹地が畑の中に形成されている。この地形は毎年できる亀裂を耕作のために埋め戻して形成された

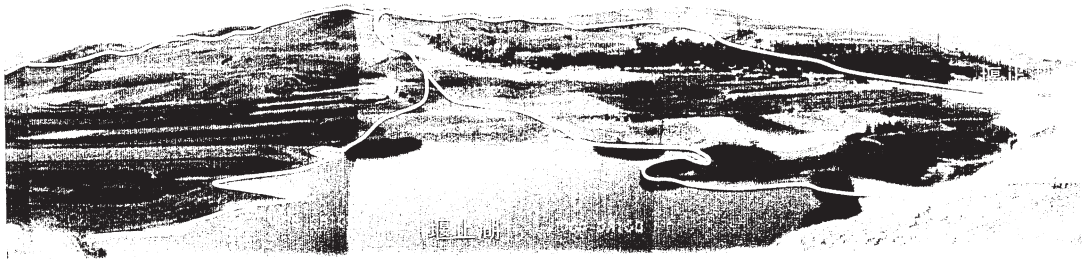


Photo 2 Xiajiadalu landslides (1) at the right side of a tributary of the Hulu River, Xiji county

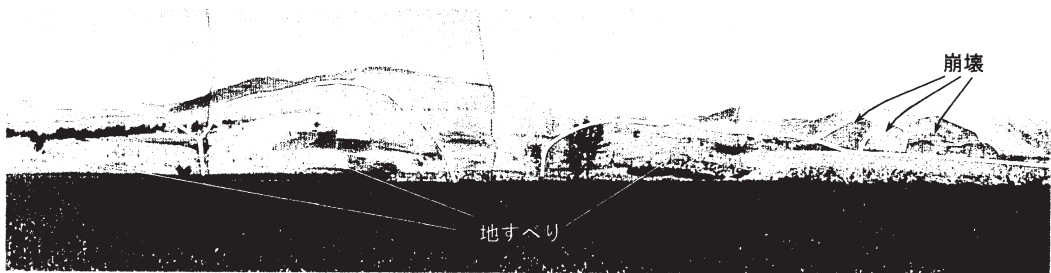


Photo 3 Xiajiadalu landslides (2) at the left side of a tributary of the Hulu River, Xiji county

ものである。この現象は、[Cブロックの発生→Cブロック左翼側半分でのBブロックの発生→Cブロック残りの右翼側半分での再滑動の前兆]の可能性がある。

④廟湾地区の地形の特徴と二次黄土の分布

廟湾地区には、廟湾地すべりと同様な明瞭な滑落崖を有する地すべりとしてA～Fの6ブロックがある (Fig. 6)。一方、黒牛溝下流側の山頂付近には弧状の古い急崖があり、斜面中腹には急崖の下に両側から回り込むようなガリーが形成され、全体として半円形を呈するG, I, J, Kの特異な地形ブロックがある (Fig. 6, Photo 10)。ガリーは斜面上部では移動体の黄土と基盤岩を侵食し、斜面下方部では直接基盤岩を侵食している。この地形は、上半部の黄土層の古い地すべり地形と、下半部の第三系中に形成されたガリーの侵食地形の複合したものである。ガリーは地盤の弱い部分を選択的に侵食して形成されるとすれば地盤が均一の場合は、ガリーの形状は斜面の最大傾斜方向に規制される。構造的な弱線がある場合は、斜面

の最大傾斜方向とは直接関係しない一定の規則性を持つ水系模様が形成される。当地区のように斜面上部で傾斜方向に直交し、斜面下部で傾斜方向となり、全体として左右対称の水系模様となるのは、斜面上部で引張力、斜面下部でせん断力が作用していることを反映したものであり、重力クリープ (Zichinsky, 1969; Cao, 1989) によるものと推定される。また、この場所では第三紀の赤色砂岩を覆って、馬蘭黄土に酷似した黄土が山腹に多量に分布していて、将来、地すべりの移動体になる可能性がある (Photo 11)。この黄土と赤色砂岩の境界部には淡灰色固結シルトが上位の黄土の中に岩片としても含まれている (Photo 12)。このことから、この黄土は古い崩壊や地すべりによって形成された、いわば地すべり崩土～崖錐堆積物に対応する二次黄土である。

5. 黄土地すべりの分類と発生素因

地すべり分類が何を基準に行われるかは、地すべり発生機構にも関係する本質的な問題の一つで

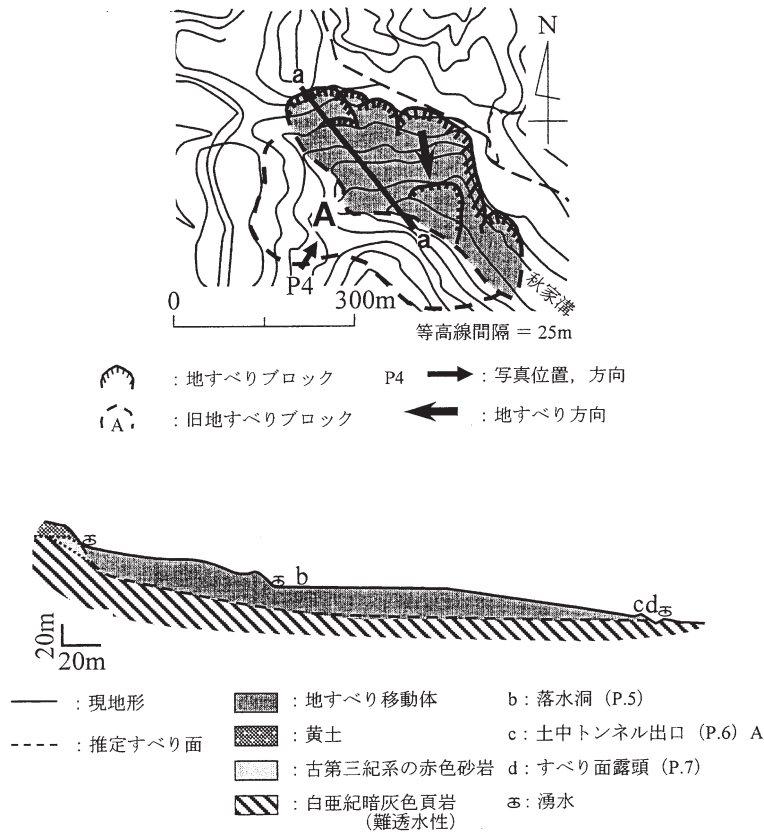


Fig. 5 Plan and a-a cross section through the Erdaocha landslide

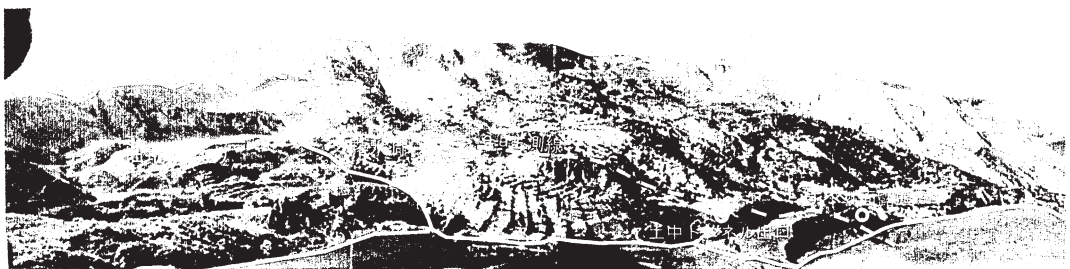


Photo 4 Erdaocha landslide in Dongjiao town, Guyuan county

ある。黄土地すべりでは、防災面を重視して誘因に基づいた「地震地すべり」、「降雨地すべり」、降雨の少ない冬期に発生する「誘因が不明な地すべり」の区分も有用である。しかし、黄土地すべりの場合、既に記したように、すべり面を構成する

物質の違いが発生形態に根本的な違いを与えていると推定されることから、黄土地すべりを素因に基づいて細分類する。すべり面の位置を基準にすると「すべり面が黄土層中にあるもの」(石碑原地すべりなど)、「すべり面が黄土層と基盤岩の境界



Photo 5 Druse of the underground pipes formed in loess



Photo 6 Exit of the underground pipe in the gully wall

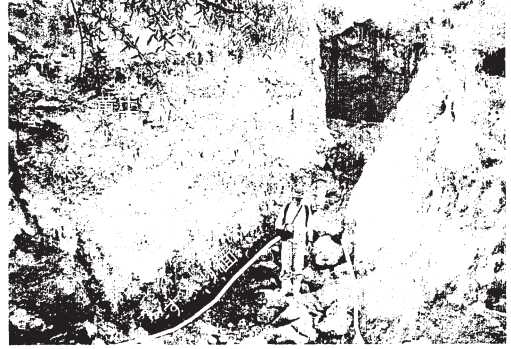


Photo 7 Shale and slip surface exposed by gully erosion



Photo 8 Boundary of Lishi loess and Tertiary red siltstone

部付近（主として不整合面）にあるもの」（夏家大路地すべり，廟湾地すべりなど），「すべり面が黄土層下位の基盤岩を切るもの」（二道岔地すべり，蒿艾里地すべりなど）に区分するのが妥当と考える。この分類を誘因との関係で見ると，地震地すべりはこの3区分すべてが含まれるのに対し，降雨すべりでは，すべり面が黄土層中にあるものの事例が極めて少ないか，あるいは欠如しているようである。このことは黄土地すべりの発生機構について示唆を与える。すべり面の位置が基盤岩中にあるもののすべり面強度が相対的に小さく，誘因別で地震が最も大きなせん断応力を発生させると推定される。この両者の関係が地すべり発生の有無を規制する。そして降雨地すべりだけでなく地震時においてもすべり面での地下水の存在は重

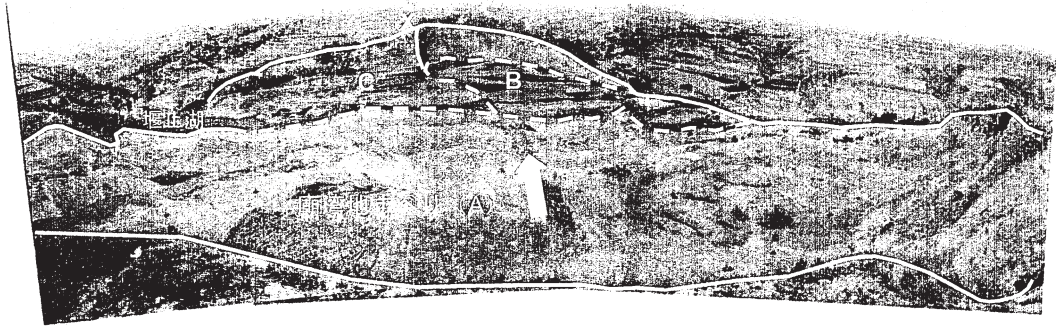
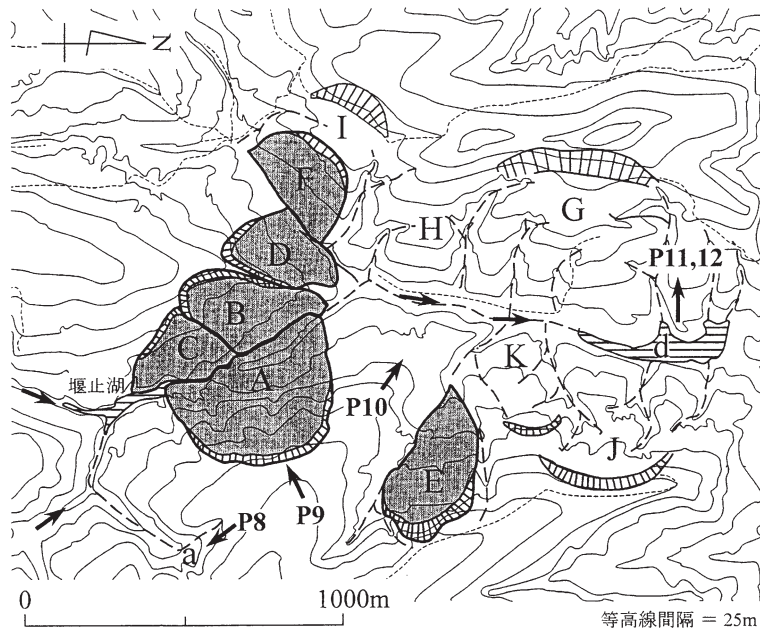


Photo 9 Panoramic view from the crown of the Miaowan landslide



- A~E : 地すべりブロック
- G~K : 上半部ガリ, 下半部ガリ侵食地形
- d : 黒牛溝水庫 (ダム)
- P10 → : 写真位置, 方向

Fig. 6 Distribution of slide blocks on the Miaowan landslide area

要である (張ら, 1996a, 1996b)。二道岔地すべりではすべり面付近に, 廟灣地すべりでは基盤岩

との境界部に湧水がある。

すべり面への地下水供給の経路として, 黄土層

中に発達している節理や落水洞が目目される。二道盆地すべりでは、未固結の黄土層上部で縦方向の節理や落水洞が発達し、土中トンネルが深さ数m~10mで横方向に広がり斜面末端にパイピング孔ができています。これらは浅層すべりへの地下水供給路となりうる。一方で、黄土の中に基盤岩まで達する構造的節理が存在するという調査報告もあり(Wang, 1989),このような節理が地すべりの前兆現象により開口すれば深層地すべりへの急激、かつ大量の地下水供給路が可能となる。廟湾地すべりの冠頭部背後の落水洞はこの事例と考える。

6. まとめ

中国、寧夏南部の黄土地すべりについて、調査

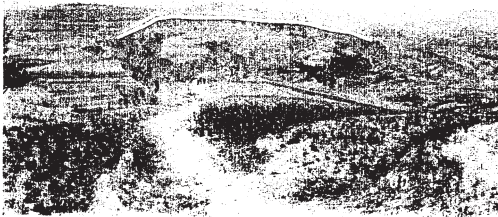


Photo 10 Old main scarp and gully of the arced landform

地域の地史、地震活動、地質、降雨などの影響要因について調査研究を実施し、すべり面の位置を基準にして地すべり分類を行った。

黄土地すべりを、①すべり面が黄土層中にあるもの、②黄土層と基盤岩の境界付近にあるもの、③基盤岩中にあるものに3分類し、事例を基にそ



- (T) 赤色砂岩
- (a-a) すべり面, 走向傾斜NS/24° E
- (Ss) 二次黄土
- (Si) すべり面に見られる淡灰色シルト

Photo 12 Magnified photograph showing the vicinity of A in photo 11



Photo 11 Secondary loess and slip surface in the cut slope

れぞれの地すべりの特徴を示した。地すべりの発生の素因的なものとして、黄土層には節理や落水洞及び土中トンネルが発達して地下水供給路となっていること、第三系を覆う黄土は更新世の午城～馬蘭黄土以外に古い崩壊や地すべりによって形成された二次黄土も含まれ、地すべりの移動塊となりうること、地すべり周辺の丘陵に見られる緩い円弧状地形や亀裂の形成に重力クリープが関与していることを見出した。さらに、黄土地すべりの多くは再活動しないと考えられているが、事例の廟湾地すべりの対岸で再滑動した地すべり地形が確認できた。黄土地すべりの発生機構の解明のためには、これらの知見に加えてすべり面を構成する物質の物理的・力学的特性の把握が必要であり、今後の課題とした。

最後に、本研究を進めるに当たって中国寧夏省科学委員会の王克制主任、固原地区プロジェクト事務局の李学明主任、中国科学院固原生態試験場の程續民主任、甘肅省三北防護林建設局の劉巫主任、甘肅省水土保持局の劉偉副研究員から多大な協力があつたことを付記し、謝意を表す。

参考文献

- Cao, B.: The Distribution and Prediction of Disastrous Large Scale Landslides within the Baxie River Basin in Northwest China, Proceedings of the Japan-China Symposium on Landslide and Debris Flows, pp.1-7, 1989.
- 甘肅省科学技術委員会(森脇寛記): 1983年中国甘肅省洒勒山地すべり, 地すべり, 20(4), p.31, 1984.
- 宜保清一, 孫 保平, 趙 廷寧, 佐々木慶三, 江頭和彦, 中村真也: 1996年7月発生した黄土高原固原地区廟湾地すべり, 第37回地すべり学会研究発表講演集, 地すべり学会, 新潟, pp.101-102, 1998.
- 国家地震局地質研究所・寧夏地震局: 海原活動断裂帯, 地震出版社, 北京, pp.18-20, 1990.(中国語)
- 蔣 德麒: 水土保持は根治黄河の基礎, 1979年黄河中遊地区水土保持科学研究工作座談会資料匯編, pp.35-46, 1979.(中国語)
- 藍 慧珠・汪 一鳴: 寧夏回族自治区, 中国大百科全書中国地理卷, 中国大百科全書中国地理卷編輯委員会, 中国大百科全書出版社, 北京, pp.357-361, 1993.(中国語)
- 蘭州地震研究所・寧夏地震隊: 1920年海原大地震, 北京, 地震出版社, p.15, 1980.(中国語)
- 李 坤: 黄土滑坡の形成及分布規律, 滑坡文集(蘭州滑坡會議論文選集), 甘肅省科学院地質自然災害研究協調中心・鉄道部科学研究院西北研究所編, 中国鉄道出版社, 北京, pp.66-72, 1988.(中国語)
- 劉 東昇: 黄土与環境, 科学出版社, 北京, p.192, p.287, 1985.(中国語)
- 单 鵬飛: 寧夏南部山区滑坡災害地貌的環境效应, 地理科学, 12(2), pp.161-168, 1992.
- Wang, J.: Landslides and Their Tectonic Foundation in Weihe River Basin, Proceedings of the Japan-China Symposium on Landslide and Debris Flows, pp.138-146, 1989.
- 王 增光: 寧夏震海類型, 分布特点及地質原因, 内陸地震, 1(4), pp.405-411, 1987.(中国語)
- 楊 建英: 黄土坡面径流泥沙模型的建立, 北京林業大学碩士論文, pp.10-15, 1992.(中国語)
- 楊 景春・聞 学沢: 中国的地震, 中国大百科全書中国地理卷, 中国大百科全書中国地理卷編輯委員会, 中国大百科全書出版社, 北京, p.633, 1993.(中国語)
- 吉松弘行・綱木亮介・近藤観慈・山田琢哉: 中国の地すべり一特に黄土地帯の地すべり一, 地すべり, 28(4), pp.37-44, 1992.
- 張 得煊・佐々恭二: レス地帯における地震時の地すべりの発生機構に関する研究, 砂防学会誌, 49(2), pp.4-13, 1996a.
- 張 得煊・佐々恭二: レスの非排水せん断時に發揮される破壊後の見かけの摩擦角に関する研究, 砂防学会誌, 49(3), pp.20-27, 1996b.
- 張 得煊・竹内篤雄・佐々恭二: 1920年海原地震の際に発生したレス地すべりの運動特性, 地すべり, 32(1), pp.12-17, 1995.
- 張 宗佑・張 之一・王 芸生: 中国黄土, 地質出版社, 北京, p.39, pp.34-37, pp.44-45, 1989.(中国語)
- 中国科学院・寧夏回族自治区固原県綜合考察隊: 黄土高原典型区寧夏固原県綜合農業区画与应用, 寧夏人民出版社, 銀川, pp.160-176, 1988.(中国語)
- 周 特先: 寧夏構造地貌格局及其形成与發展, 地理学報, 40(3), pp.215-220, 1985.(中国語)
- Zhao, T., Sun, B., Gibo, S., Wang, X. and Zhou, J.: Loess Landslide in China and its Mechanism, The Science Bulletin of the Faculty of Agriculture, University of the Ryukyus, 47,

pp.113-121, 2000.

Zichinsky, U. : On the deformation of high slopes,
Proceedings of the 1st Congress of the
International Society of Rock Mechanics,
Lisbon, 6 (11), pp. 179-185, 1969.

(投稿受理：平成15年3月31日
訂正稿受理：平成16年1月29日)