東野名地すべり*

—その2, 新旧地すべり面と応力解析—

Higashi-nomyo Landslide
—Part 2, Ancient and Present Slide Surfaces and Stress Analysis—

早川 嘉一¹⁾ 高浜 信行²⁾
Kaichi HAYAKAWA Nobuyuki TAKAHAMA
片桐 信二³⁾ 福本 安正⁴⁾
Shinji KATAGIRI Yasumasa FUKUMOTO

1. はじめに

前報(1)において、東野名地すべり地の地質的、地すべりの特徴を述べた。その中で地質時代に形成した大規模な亀裂と比較的新しい亀裂、そして最近の継続中の激しい地すべり移動について解析を行い、地すべり発生の有効な原因である地下水を隧道工によって集水した調査結果を報告した。

小論では、1783年(天明3年)の地すべり災害以降4回におよぶ災害を反復し、さらに慢性的な移動を継続してきた通称「白野」斜面(前報の東野名初生的地すべり下部ブロックに位置する)の古い数層の地すべり面と土質の累重の解明、移動土塊の挙動と防止杭に作用する応力の解析を行なった結果を報告する。

2. 白野斜面の地すべり災害の歴史

東野名地すべりのなかで有史以来最も激しい移動を継続してきたのは「白野」斜面である。白野斜面とは大沢と明後沢の間の幅200~350m、斜面長約700m、平均傾斜14°の斜面である(図-1)。

この斜面の地すべり災害は1783年6月1日(天明3年)に末端部を流れる破間川を堰とめるほどの大量の土砂を流出した。そして湛水は1km以上上流の入広瀬村にまで及び人家を水没させたと記されている。

その後1911年、1913年、1926年にも破間川を堰止める地すべり災害が3回発生している。1926年の地すべりはこの斜面の水田を剝ぎとって破間川を堰止め、東野名集落の主要な良田を失う深刻な災害となった。それ以降

大災害は発生していないが、地すべり災害によって形成した滑落崖には、現在もたびたび亀裂が発生し移動が継続している。

また大沢に沿った地区は白野斜面の中でも移動が激しく、そのため斜面長700mにわたる良田が地すべりと政府の減反政策により荒廃化してしまった。

3. 白野斜面の土質累重および新旧地すべり面

古くから地すべりを反復してきたこの斜面の土質累重

図-1 白野斜面平面図

* 平成3年度地すべり学会シンポジウム現地討論会資料

1) 新潟大学 農学部
2) 新潟大学 災害研究センター
3) 新潟県 治山課
4) ㈱新協地質

図-2 I 測線斜面土質, 旧地すべり面, 計測器, 歪鋼管杭, 杭打工縦断面

図-3 A 地質横断面

図-4 B 地質横断面

図-5 C 地質横断面

について図-1に示す大沢と明後沢に沿う2測線にボーリング調査を行なった。

その結果は次のごとくになった。

3.1 I 測線斜面の土質累重と地すべり面

図-1に示す位置に8孔のボーリング調査を行なった結果を縦断面図に表すと図-2のごとくなる。

また図-2に示すA, B, C地点の横断方向のボーリング調査結果による地すべり面と土質累重状態は図-3, 4, 5のごとくなる。

以上の図とボーリング調査資料から次の点を指摘, 考察することができる。

(1) 地すべり面は斜面上部から中腹部にかけて2段形成し, 上層の地すべり面は9.0~10.0mの深度で風化泥岩層中に形成しているが, ときには風化凝灰岩と接して鋭いせん断面をなしている。

(2) 上層の地すべり面には安山岩礫・樹幹根・草根などの有機物および褐色の旧表土を挟在している。

下層の地すべり面にはチャート・粘板岩・安山岩礫・褐色粘土・有機物を挟在している。これらチャート・粘板岩など古い堆積岩礫の由来は, 東野名地すべり地の上方の五輪峠付近に分布する中期更新統の土石流堆積物に求められる。この土石流堆積物は東野名初生的地すべりの発生前に広くこの地域を覆って分布していたものと推測できる。

(3) A, B, C地質横断面図はいずれも2層の地すべり面が存在し, 樹幹などの有機物と褐色粘土・チャート・安山岩を挟在している。

図-6 集水井(1975施工)中の旧地すべり面に挟圧する樹木(ナラ), アシと杭(1972年)の破壊状態

表-1 C¹⁴による地すべり面の年代測定(1)

ボーリング番号	深 度	標 高	Age in year B.P.
88 BV.1	10.10 m	230.75 m	250±100
88 BV.5	7.30 m	251.30 m	290± 80
89 BV.2	11.70 m	217.68 m	3,340±210
〃	20.65 m	208.73 m	4,270±110
〃	23.70 m	205.68 m	3,970±280

表-2 C¹⁴による地すべり面の年代測定(2)

ボーリング番号	深 度	標 高	Age in year B.P.
89 BV.6	17.05 m	249.01 m	3,270±100
89 BV.8	5.90 m	229.33 m	5,160±160

(4) この斜面の地すべり面に挟在する樹幹のC¹⁴年代測定した結果は表-1の通りである。

この結果によると、斜面上、中部の上層の地すべり面形成は250~290年(±100年)前である。しかし斜面下部の上層地すべり面(11.7m)は3340年前であって連続性を欠いている。したがって縄文時代中期の3340年前頃

図-7 II 湖線斜面土質断面と旧地すべり面縦断面図

の旧地すべり面はその後の地すべりによって斜面上、中部では剝剝されたものと推察できる。しかし斜面下部においては縄文時代中期頃の旧地すべり面が4層以上も保存されている。

斜面上、中部の上層地すべり面が比較的新しい時代のものであることは1975年施工の集水井掘削中7.5~8.0mと9.5~10.0mの深さに地すべり面が確認され(図-6参照)樹根、アシの根が挟在していた。しかも樹幹、根は新鮮であってナラの樹であることが判定されている。したがってこの地すべり面は上述の年代測定結果とあわせて考えると、1783年(天明3年)の大災害か、それ以降のものと推察することができる。

(5) この斜面の3孔のボーリング孔から採取した有機物に含有する花粉化石分析(山野井 徹 資料)によると、'88BV.1ボーリング深度10.8mではWeigela(タニウツギ)の花粉が異常に多産する。これは2次化石ではなく、この花が咲く春の季節に地すべりが発生し、付近に茂っていたタニウツギの花粉が多量に保存されたものと考えられる。

また、旧地すべり面の地表がどんな状態で経過したかを、よくものがたるFungi(菌類)の胞子の量は、'88BV.5ボーリング深度7.3mが53%、'88BV.3ボーリング深度19.2mが45%と多い。このことは幾層にも存在する旧地すべり面は短期間に次々に移動土塊によって埋没したものではないことになる。それと共に多くの量の花粉が保存されていることから、かなり長い期間菌類の分解にくい湿地状であった可能性が大きい。'88BV.3ボーリングでGramineae(イネ科)が多いのはイネ科植物の生育に適した湿地の存在をものがたる。この推察は地すべり面の形成の過程と時期を推測するうえできわめて重要であると共に、C¹⁴年代測定結果ともよく照合される。すなわち長期間湿地状態にあって、地すべりが継続的に発生し、さらに縄文時代以降江戸時代まで、かなりの期間比較的小康状態にあったものと推測することができる。

(6) 斜面下部における末端部の'91BV.2ボーリング孔では14.45mにおいて、風化泥岩と硬質緑色凝灰岩が地すべり面を挟んで接している。そしてこの緑色凝灰岩は基盤となっている。

(7) 図-6の鋼管杭の破壊状況を観察すると、深度8m付近と10m付近の2層の地すべり面は杭打工事後も移動を続け、そのために鋼管杭が2段で破壊している。杭の破壊点はいずれも地すべり面の下約70cm下に位置している。

3.2 II測線斜面の土質累重と地すべり面

II測線斜面はI測線斜面の東側の明後沢沿いに位置し、ここで図-1に示す9孔のボーリング調査を行なった。その結果を縦断図(図-7)に示した。この斜面の土質

累重と地すべり面の特徴点を以下に列挙する。

(1) この斜面もI測線斜面同様に地すべり面は、上部から中部にかけては地すべり面が2層となり、下部では3~5層確認できる。

地すべり面は風化凝灰岩中または風化泥岩と接して形成していることが多い。

(2) 地すべり面には有機物・泥炭・木片および安山岩礫を介在している。しかし、I測線斜面の地すべり面に見られた粘板岩・チャート礫などの介在は見られなかった。

しかし、この斜面末端部の標高220mおよび230m付近に粘板岩・チャート礫・花崗岩・安山岩等の礫層が露頭している。

(3) この斜面の地すべり面に挟在する木片のC¹⁴年代測定の結果は表2のとおりである。

表2に見るかぎり、いずれも縄文時代中期のもので、I測線斜面でみられた数100年という値はみられない。この斜面は1927年(大正15年)に大規模な地すべりがあり、この斜面土塊を剝離流出したため、I測線斜面と同時代に形成された比較的新しい地すべり面は剝剝された可能性がある。

(4) この斜面末端部の'91BV.1ボーリング孔では27.0mまでは凝灰岩起源の崩積土で、それ以深は次のようになっている。

27.00m~30.30m	押し出しの著しい膨張性風化凝灰岩
30.30m~33.30m	暗灰色硬質泥岩
33.30m~34.30m	白灰色の軟弱ソープ状(ペントナイト化)凝灰岩泥岩が乱模様に混入
34.30m~35.00m	暗灰色泥岩中に凝灰岩が乱模様に混入

深度33.30m以深の土質累重状態は凝灰岩と泥岩が入り乱れて混入し、異常な状態を呈している。これは地すべりによって形成されたものとみられる。この下限の確認と成因かどうかの解明は東野名地すべりの発生機構と防止工法を確立するうえで重要な課題である。

4. 地すべり反復斜面の防止対策工事進行にともなう挙動経過

I測線斜面が東野名地すべり地の中で最も激しい移動を継続し、古くから防止対策工事を試みたが失敗を重ねてきたこと、この斜面には縄文時代に発生した「地すべり面化石」とも言うべき旧地すべり面が数層埋没している状態を述べた。

1972年からこの斜面に鋼管杭による杭打工を開始すると共に、杭打工により移動土塊が安定する過程における土塊と杭の挙動について観測を行なった。

4.1 土質試験結果

土質試験試料は、長年慢性的地すべりが継続し、練り

表-3 土質試験結果

試料番号 No.		1	2	3	4	5	6	7	8	9
深 度 (m)		6.00 ~7.00	7.00 ~8.00	8.00 ~9.00	9.00 ~10.00	10.00 ~11.00	11.00 ~12.00	12.00 ~13.00	13.00 ~14.00	地すべり面 14.00~15.00
土粒子の比重 Gs		2.785	2.909	2.763	2.785	2.779	2.783	2.770	2.770	2.686
自然状態	含水比 Wn (%)	52.9	70.0	41.4	44.6	42.1	41.1	42.6	43.6	46.0
	湿潤密度 ρ_t (g/cm ³)	1.70	1.58	1.78	1.83	1.89	1.73	1.68	1.75	1.61
特性コンシ	液性限界 WL (%)	77.9	83.2	68.9	66.2	51.8	60.3	54.8	52.5	84.3
	塑性限界 Wp (%)	44.0	44.6	28.5	35.3	28.2	28.1	30.8	38.6	36.4
	塑性指数 Ip	33.9	38.6	40.0	30.9	23.6	32.2	24.0	13.9	47.9
一軸圧縮	一軸圧縮強度 q_u (kgf/cm ²)	1.030	0.830	0.660	0.890	0.298	0.746	0.371	0.517	0.312
	一軸圧縮強度 q_{ur} (kgf/cm ²)	0.701	0.378	0.274	0.465	0.245	0.460	0.278	0.414	1.180
	鋭敏比	1.47	2.20	2.41	1.91	1.22	1.62	1.33	1.25	0.25
一面セン断	試験の条件		UU	UU	UU	UU	UU	UU	UU	UU
	粘着力 C (kgf/cm ²)		0.31	0.24	0.22	0.26	0.43	0.40	0.68	0.19
	せん断抵抗角 ϕ (度)		26.9°	26.6°	21.8°	36.9°	30.9°	35.0°	38.9°	0°
三軸圧縮	試験の条件		UU	UU	UU			UU		UU
	粘着力 C (kgf/cm ²)		0.58	0.35	0.44			0.14		0.16
	せん断抵抗角 ϕ (度)		2.12°	3.6°	2.86°			26.6°		0°

返し状態にある地区の土で、ここに 1975 年集水井掘削中に 1 m 間隔で採取したものである(表-3 参照)。No. 9 試料は地すべり面上の土であって内部摩擦角が 0°, 粘着力 0.19 kgf/cm² で著しく小さい値を示し、鋭敏比は 0.25 となっている。

4.2 対策防止工事の施工経過

この斜面の地すべり対策工は主として堰堤工、水路工等の工法を行ってきたが、1971 年から鋼管杭の杭打工を開始し 1977 年までに 6 段(うち 2 段は杭頭剛結杭)施工した(図-2 参照)。

最初の 1971 年施工した杭は移動が激しいため破壊した(図-2.6 参照)。1973 年に 2 段の杭打を行なうと共に土塊の挙動観測と杭に作用する応力の挙動計測を開始し、1976 年まで移動が終息するまで観測を続けた。

4.3 歪計(角型鋼管)計測

移動が激しいため塩ビパイプ歪計は挿入後ただちに断線破損するので、1974 年 12 月に角型鋼管(5.0 cm×5.0 cm, $Z=4.68$ cm³)に歪計をとりつけ、図-2 に示す位置に 7 本配置した。紙面の制約もあるので No. 1~3 歪計の計測結果を図-8 で掲げた。

この角型鋼管歪計は塩ビパイプ歪計に比べ曲げこわさ

は 50 倍以上あるにもかかわらず、図に示されるごとく、わずか 4 か月で弾性領域を超え、地すべり面においては断線又は大きなヒズミが発生している。

歪計測による地すべり面の深さは No. 1 歪計では 7~10 m, No. 2 歪計では 9~11 m, No. 3 歪計では 10 m であってボーリングコアから判読される地すべり面と一致している。

4.4 孔内伸縮計計測

図-2 に示す位置に孔内伸縮計 No. 1~4 を設置し計測を 1973 年 11 月に行なった。その結果は図-9 のごとくになった。

この図に示されるごとく、1974 年、1975 年の融雪期に変位量の急増が認められるが、その後 1976 年の融雪期には変位の増加が全く認められなかった。これは 4 段の杭打の効果によるものと考えられる。

4.5 鋼管杭の応力挙動

4.5.1 歪鋼管杭のモーメント分布

図-2 の B 断面と A 断面に 1973 年度に 25 本の杭打を施工した。このうち 3 本の鋼管杭に歪計をとりつけ挿入した。積雪 5 m の豪雪となり挿入は 1974 年 3 月となった。No. 1~3 歪鋼管杭の計測結果をモーメント分

東野名地すべりーその2，新旧地すべり面と応力解析ー

No.1歪計

No.2歪計

No.3歪計

図-8 角鋼管歪計累積図 (No.1, 2, 3 歪計)

図-9 孔内伸縮計累積移動量

図-10 歪鋼管杭モーメント分布

布で表すと図-10のごとくなった。

この図に示されるごとく、挿入後各杭とも大きなモーメント分布に増大してゆくが、とくに No.3 歪鋼管杭は1か月後に 30 t·m 以上となり、この杭の弾性領域をはるかに超えすでに塑性領域にあるとみることができる。また、No.1 と No.2 歪鋼管杭のモーメント分布型が正反対となっている。これは No.1 歪鋼管杭の背面の地盤反力が働かない状態を表わしている。つまり背面土塊が塑性破壊して地すべり面から地表まで変位する状態であって、激しい移動中斜面にしばしばあらわれる分布型である。それと共に地すべり面の下にも移動が発生しているものと解析することができる。これに対して No.2 歪鋼管杭の地すべり土圧は地すべり面付近に作用し、杭背面の地盤反力が働くため、杭頭付近に拘束反力が作用している。

4.5.2 歪鋼管杭の杭頭剛結効果について

1974年7月、No.1、No.2 歪鋼管杭の下流側 2.68 m の位置に No.4,5 歪鋼管杭を挿入し、杭頭を歪計をとりつけたH鋼で剛結した(図-11 参照)。これらの歪計測によって杭頭剛結した場合の応力効果の解析を試みた。その結果は図-12のごとくなった。

計測結果から次のごとく考察することができる。

- (1) No.1 と No.2 歪鋼管杭のモーメント分布型は反対をなす。これは No.1 歪鋼管杭は、杭周囲の土の変位が著しく、そのため杭の背面の地盤反力が十分働かないことと、土塊移動が地すべり面から地表にまでおよんでいるときの杭のタワミを表している。これに対して No.2 歪鋼管杭では背面に地盤反力が働いている。また、地すべり面付近の変位が、地表付近の土塊に及んでいないために、杭頭に拘束反力が作用している場合のモーメント分

図-11 杭頭剛結

布型をなしている。

- (2) 歪鋼管杭は3本とも1974年3月からモーメントが急増し、1976年には著しく大きくなる。これに対し、伸縮計はいずれも1975年春の融雪後の6月からは増加はあらわれていない。これは杭打工の効果であって、杭は抵抗力を発揮し、そのため伸縮計がとらえ得る大きさの変位は発生していない。
- (3) No.1、No.2 歪鋼管杭の下流側に No.4、No.5 歪鋼管杭を挿入して No.1 と No.4、No.2 と No.5 の杭頭を剛結した。No.4、No.5 歪鋼管杭のモーメントの分布型は同じであって、地盤反力および拘束反力の働いている状態を示している。地すべり移動が阻止されてくると、杭背面の反力が有効に働くようになる状態を表しているものと推測される。
- (4) No.4、5 歪鋼管杭ともモーメントの増大は挿入10

図-12 杭頭剛結杭のモーメント分布

か月後であって、No.1, 2, 3 歪鋼管杭が挿入1か月後に弾性限界に達したことからみて、かなり地すべり推力が減少している状態を表している。

(5) 杭頭を剛結して門型杭としたのちの No.1, 2 歪鋼管杭のモーメントはさらに急増し、塑性・破壊領域に達している。そしてまた杭頭剛結によってモーメント分布に変化が認められない。したがって杭頭剛結による抵抗力の増加、補強効果は期待できないことを表している。

(6) No.1, No.2 杭頭剛結杭の地すべり土圧と杭の応力関係を模式的に表すと図-13 のごとくなる。

5. 結 言

当地すべり地には縄文時代からの幾層もの地すべり面が鮮明に保存されており、さらにそれ以前の地質時代の大規模な古期地すべりの痕跡が地形上に大きく刻まれております。この地すべり履歴とメカニズムを解明することは防止工事を科学的にすすめ、災害を未然に防止する上に大切なことであります。それと共に東野名地すべりから得られた貴重な資料は、新潟県の地すべりの発生源の探究にも生かされることでしょう。

激しく、複雑に移動する土塊の変位と杭に作用する応力の追求を試みました。鋼管杭の挙動は、地すべり斜面の運動条件と杭剛性の相対的關係により変化することを教訓的に学ぶことができました。このことはさらに探究すべき課題であると思います。

当地すべり地は64年前から防止工事を開始し、多くの先輩が地すべりと苦闘し、貴重な防止技術、調査技術を生み出してきた地すべり地であり、今も未詳課題を解明しながら、その結果を防止工事に生かす努力を続けております。

地すべり学会第31回シンポジウムを機にこれまで蓄

図-13 杭頭剛結杭の応力分布

積されたデータの一部を検討資料としてまとめてみましたので諸賢のご批判を心からお願いいたします。

とりまとめにあたり、山野井 徹 教授のご指導に感謝すると共に、多くの資料の提供とご協力頂いた国土防災技術 荒井五郎、小島謙一両氏に心からお礼を申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 新潟県治山課：地すべり反復性に関する調査，地すべり対策調査報告書 1990
- 2) 福本安正：地すべり防止杭打工法について，地すべり vol.11, No.2, PP.21~29, 1974
- 3) 福本安正：地すべり防止杭の挙動に関する実験的研究 (2)地すべり vol.12, No.2, PP.38~43, 1975
- 4) 福本安正：地すべり防止グイの挙動について，土質工学論文報告集 vol.16, No.2, PP.91~103, 1976
- 5) 新潟県治山課：杭頭剛結による効果と挙動，地すべり調査報告書 PP.18~28, 1977