

妙見・岩盤崩壊箇所における初動調査から復旧迄

All processes from survey of first action to restoration for Rock failure in the Myoken

山本一富・高峰正俊・中川登志彦・安井和也*
横山久平・田村憲孝・梅崎基考**
瀬戸康志・五十嵐敏幸***

キーワード：岩盤崩壊，地震，地下空洞，グラウンドアンカー，空洞充填

1. はじめに

平成16年10月23日（土）17時56分に発生した中越大震災は，新潟県川口町の深さ13kmを震源とするM6.8の内陸直下型地震である。この地震により，川口町で最大震度7，長岡市，小千谷市など中越地方の広範囲で震度6を記録して甚大な被害をもたらした。

本報告では，この地震により多発した斜面崩壊の内，象徴的な長岡市妙見町（一般県道小千谷長岡線）の大規模崩壊現場で実施した初動調査から復旧までを紹介する。

2. 崩壊地の概要

2. 1 被災状況

一般県道小千谷長岡線は国道17号の旧道で，バイパス開通後県に移管された延長約2.5kmの県道である。当時の日交通量は約8,000台で，旧山古志・小千谷市浦柄地域にとって生活上非常に重要な路線であった。

崩壊箇所では震度6強を記録し、JR上越線榎峠トンネルの南側坑口に近い斜面で崩壊が発生した。その規模は，幅（道路延長）約250m，長さ（奥行き）140m，厚さ（推定）30m，崩壊土量約50万 m^3 （推定），崩壊土砂は現況道路より最大で約100m信濃川方向へ到達した（写真-1，3，8）。この崩壊により車両4台が巻き込まれ，そのうち一台で母娘2名の尊い命が犠牲となったが，男児1名はレスキュー隊により救出され，中越大震災を象徴する場所となった。

2. 2 初動調査：地盤伸縮計

地震発生から2日後の10月25日には，崩壊規模や開口亀裂等の概況を把握するため周辺斜面へ立ち入った。余震の続く中10月30日には，救出活動時の安全確保のため崩壊背後の開口亀裂部に地盤伸縮計を設置し，万が一に備えての警報の発令態勢を整え，監視を続けた。



写真-1 中越大震災直後の崩壊地全景

警報発令は、もし地盤の変状が確認された場合に、各関連作業担当の携帯電話へ警報が転送されるシステムを用いた。幸いにも警報の発令は一度もなくして救出作業は終了した。その後も地盤伸縮計はそのまま残して冬期間を含む約1年の観測を行った(図1参照)。

その結果、背後の地山は度重なる余震の度に、0.2~1.0mmの変状が累積して認められ(表1および図1参照)、地震直後の大崩壊後も、背後に残存する地山は微小ながら、不安定化していることを把握した。以上の結果を踏まえ、対策工を設計した。



写真-2 地盤伸縮計S-1

表-1 中越地震以降の妙見の震度履歴

年度	年月日	マグニチュード M	最大震度	各観測点の震度 小千谷市域内	震源地
H16 (2004)	2004/10/23	17:56	6.8	7	6強
		17:59	5.3	5強	5強
		18:03	6.3	5強	5強
		18:07	5.7	5強	5強
		18:11	6.0	6強	5強
		18:34	6.5	6強	6弱
		18:36	5.1	5弱	5弱
		18:57	5.3	5強	5強
		19:36	5.3	5弱	5弱
		19:45	5.7	6弱	6弱
		19:48	4.4	5弱	5弱
	2004/10/24	14:21	5.0	5強	5強
	2004/10/25	0:28	5.3	5弱	5弱
		6:04	5.8	5強	5強
	2004/10/27	10:40	6.1	6弱	5強
	2004/11/4	8:57	5.2	5強	5弱
	2004/11/8	11:15	5.9	5強	4
	2004/11/10	3:43	5.3	5弱	4
	2004/12/20	17:28	3.1	2	2
	2004/12/28	18:30	5.0	5弱	3
H17 (2005)	2005/1/9	20:18	4.2	4	3
	2005/1/18	21:50	4.7	4	3
	2005/3/4	—	—	—	3
	2005/3/14	13:58	3.7	—	2
	2005/4/11	7:22	6.1	—	1
	2005/5/2	8:08	3.5	—	3
	2005/6/20	13:03	5.0	—	3
	2005/6/20	13:15	4.4	—	2
	2005/6/30	18:05	3.1	—	2
	2005/7/9	—	—	—	4
	2005/8/21	11:29	5.0	—	5弱
	2005/11/4	—	—	—	3
	2006/4/25	—	—	—	3
H18 (2006)	2007/1/8	—	—	—	4
H19 (2007)	2007/3/25	—	—	—	3
	2007/7/16	10:13	6.8	6強	5強
	2007/7/16	15:17	5.8	6弱	4
	2007/7/16	16:00	—	3	3
	2007/7/16	21:00	—	4	3
	2007/7/18	—	—	4	3
現在	2007/10/17	2:03	3.7	4	4

気象庁HP：地震・津波の資料のデータより作成<<http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/index.html>>

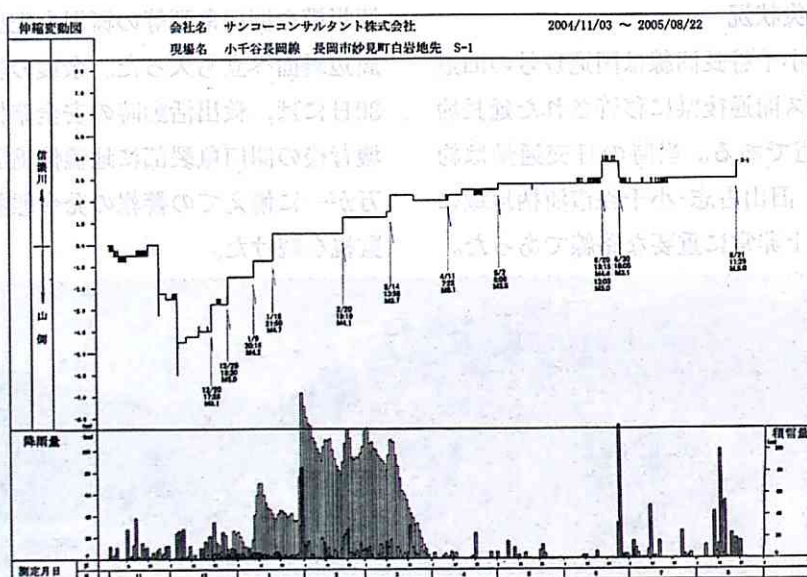


図-1 地盤伸縮計の変動状況(S-1)(観測期間：平成16年10月末～平成17年8月)



写真-3 中越地震直後の現地状況

①：崩壊直後、北側（長岡側）の道路面より崩壊地を望む。現地状況を把握するヘリコプターが飛んでいる。②：北側（長岡側）の道路面から望む崩壊地。③④⑤⑥：崩壊地背後には5×5m～10×10mの不安定な岩塊が残存し、幅1m以上の開口亀裂が認められる。⑦：斜面上部からの救出状況。⑧降雪後の崩壊地。最大153cm（観測点；長岡）の積雪を記録

2. 3 崩壊箇所の地質

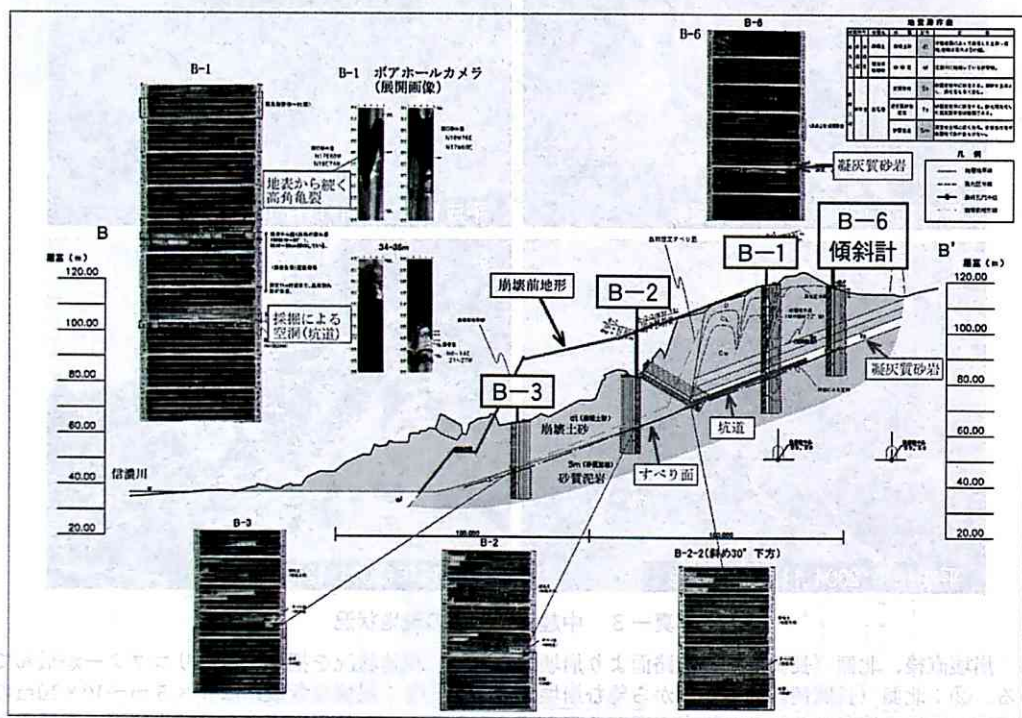
崩壊箇所の地質は、新第三紀鮮新世の白岩層（約300万年前）で、砂質泥岩、泥質砂岩、凝灰質砂岩／泥岩が層状（板状）に積み重なったものである。層理面の走向・傾斜は、概ねN10E・20Wで、信濃川に向かって傾斜し、流れ盤構造をなす。崩壊箇所には、主に砂質泥岩が分布し、新鮮部は塊状無層理で割れ目も少ない。その砂質泥岩中に時折挟まれる凝灰質砂岩は、透水性が高く、コアでは酸化褐色化して脆弱で、強度低下しやすい。当箇所ではこの凝灰質砂岩部がすべり面を形成したと判断した。さらにこの層は磨き砂として用いられていた。広範囲にわたって採掘されており、斜面内部には坑道・空洞が存在し、地震時に一部崩壊した。南方の小千谷市横渡にも同じように凝灰岩部分をすべり面とする崩壊が発生していたが、当崩壊箇所では、坑道や地

下空洞の存在が、異なる複雑な崩壊形態を呈する一因となった。

なお凝灰質砂岩層の直上には海成の貝殻化石を含むゾーンがあり、その層から海牛の一種の化石が工事中に偶然掘り出された（写真－7⑧参照）。化石から想定される体長は7m以上であり、当時の水深は数10mから100mほどであったと推定されている。



写真－4 B-2施工状況とその背後の滑落崖
(B-2孔はB-B'断面上のボーリング)



図－2 地質断面図 (B-B'断面)

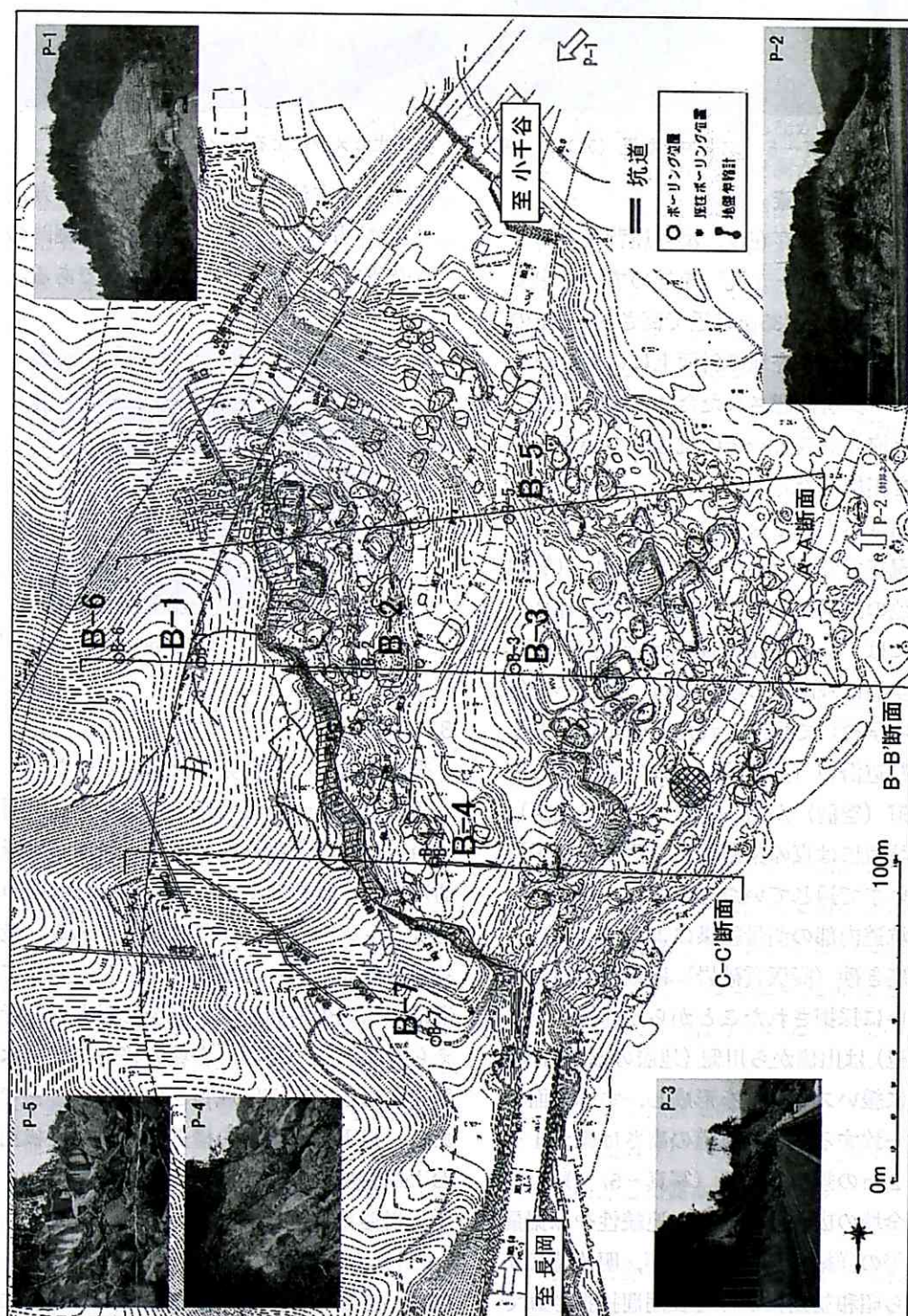


図-3 調査位置平面図

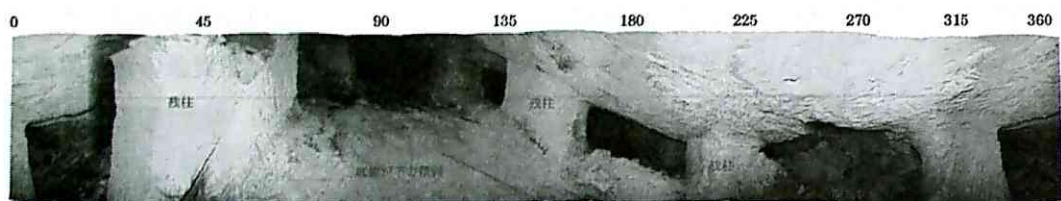


写真-5 坑道内部状況（アンカー施工時、挿入式カメラによる撮影：360°）

2. 4 坑道調査

坑道・空洞の存在は、滑落崖背後のボーリング調査（B-1孔）を進めていく中で確認された（深度35m付近で高さ約1.5mの空洞）。また、調査地の斜面上には坑道の入り口が7箇所確認されたため、地元住民への聞き取り調査と一部の坑道について内部測量を実施した。

(1) 聞き込みの結果では

- ・現在でも県道小千谷長岡線沿い（崩壊地の長岡側）の崖下周辺（信濃川沿い）には、8～9箇所の横穴が確認される。
- ・空洞は戦時中の学徒動員（旧制小千谷中学校）で掘削されたとの記録がある。
- ・県道沿い（道路擁壁の裏）に大きな坑道（空洞）があったらしい（未確認）。
- ・坑道には東の集落側から西の信濃川沿いまで通じていたものもあった。

(2) 坑道内部の測量結果によると

- ・磨き砂（凝灰質砂岩）は地層の傾斜沿いに採掘されたことから、採掘跡（坑道）は山側から川側（地層の傾斜方向）に緩いスロープを形成し、すべり面に一致する。また坑道の高さは概ね1～2mの規模である（写真-5、6）。
- ・全域の広がり、規模、連続性や採掘量等の詳細は不明であるが、明治時代から昭和初期にかけて長期間採掘されていることから、広範囲に採掘している可能性がある。

- ・採掘の方法は、ルーム＆ピラー方式（残柱方式）を採用しており、採掘跡の充填は行っていないようである。



写真-6 坑道内部状況

3. 崩壊機構

当崩壊箇所の災害発生は単純ではない。

複雑化の一つは災害形態にあり、層理面に沿った崩壊（流れ盤）と斜面崩壊（局所的）の両者が認められる（複合災害）。二つ目は、災害発生の時間差の問題である。最初に層理面に沿った崩壊が発生し、遅れて滑落崖周辺の斜面崩壊が発生したものと考えられる。三つ目は、岩塊の移動成分（水平・垂直方向）が区域ごとに異なることである。以下、崩壊地の構造規制、発生状況および岩塊の移動量について記す。

(1) 崩壊地の構造規制について

ほぼ南北方向に連なる滑落崖は、NS・80W、北端の側壁は、N85E・75Sの亀裂に規制されている。また、滑落崖近辺に分布している巨岩塊の分布配列は、EW・77Nの

亀裂に規制されている。

(2) 斜面崩壊発生状況

最初の変動は、層理面に沿った流れ盤すべりの発生である。変動は層理面のみならず、空洞（採掘坑道）の存在・分布にも影響されたと考えられる。2回目の変動は、滑落崖背面の岩盤が亀裂に規制され、1回目が発生した移動岩塊の上部に転倒・崩壊する形で発生したと考えられる。

(3) 岩塊の移動量について

最初に発生した層理面すべりに伴う移動岩塊は、全面にわたって信濃川に達している。しかし、その移動量は地点ごとに異なっている（表－2）。

表－2 各断面における岩塊移動量

断面線	水平変位量H (m)	水平変位量V (m)	比率 H/V
A－A' (南端)	45	15	3.0
B－B' (中央)	70	21	3.3
	76	21	3.6
C－C' (北端)	34	22	1.5
	20	22	0.9

A－A'（南端）周辺では、比較的単純に層理面に沿って移動し、ルーム&ピラーの採掘跡が全面的に分布していたとしても、その規模は大きくなかったと考えられる。B－B'（中央）周辺は、水平および垂直変位がともに大きく、移動岩塊が信濃川まで大きく張り出している。C－C'（北端）は、水平変位が比較的小さく垂直変位が卓越して他の断面と異なっている。

このような違いは残柱式の採掘部（坑道）だけの箇所では層理面に沿った崩壊の発生だけであるのに対し、大きな垂直変位を伴って陥没現象を呈している部分では規模の大きな空洞があったことを想定させる。

つまり、地下空洞の存否・大小が、崩壊

の形態を左右しているものと考えられる。当崩壊は、層理面と高角の亀裂系に規制された崩壊（層理面すべり）であり、隣接する横渡地区においても同様の崩壊（すべり）が発生している。しかしながら、当地においては採掘坑道や地下空洞が存在していたことで、異なる崩壊形態を呈したものと考えられる。

以上より、妙見地区の斜面崩壊のメカニズムは、下記のように考えられる。

- 当地は流れ盤をなし、かつ、高角の亀裂系が発達しており、層理面（脆弱な凝灰質砂岩層を挟在）に沿った崩壊が発生しやすい条件を有している地域であった。
- さらに当該地には、磨き砂の採掘跡や地下空洞があった。



- ① 層理面に沿った大崩壊の発生
- ② 地下空洞による複雑な垂直変位の発生
- ③ 落崖における2次崩壊（上部波及）の発生

4. 対策工について

4. 1 復旧ルート検討

災害復旧においては、現況復旧が基本的な方針となるが、対象箇所である妙見地内は、震災の記憶を無くさないために崩壊地をそのまま保存することの是非を含めたルート比較検討を行うものとなった。

- ・ 現況道路位置での道路復旧（一部線形改良あり）→現道ルート復旧案
- ・ 崩壊部を山側から回避する
→トンネル案
- ・ 崩壊部を川側から回避する→橋梁案

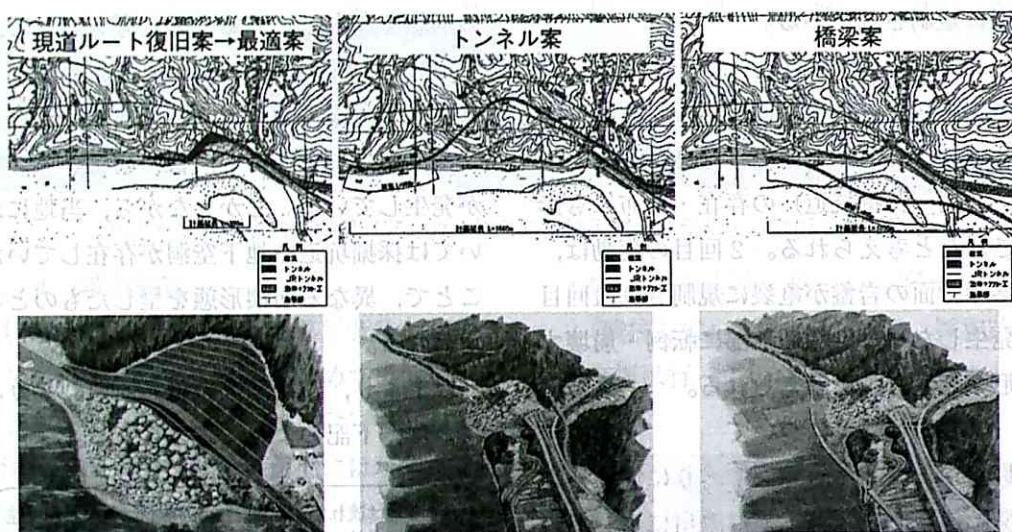


図-4 復旧ルート検討案

・現道ルート復旧案

(概算事業費32億円, 概算工事工程1.5年)
崩壊土塊の撤去(掘削)を行い, すべり面背後の潜在的なすべりに対してグラウンドアンカー工で抑止を行う案(L=300m)。

・トンネル案

(概算事業費61億円, 概算工事工程3年)
崩壊土塊の山側に回避し, 既設のJRトンネルとの離隔を確保できる新規トンネルで通過する案(L=1,690m)。

・橋梁案

(概算事業費67億円, 概算工事工程5年)
崩壊土塊を信濃川側に橋梁形式により回避する案(L=1,055m)。

復旧ルートは, 経済性に優れて工事工程が短いことから, 現道ルート復旧案を最適案とした。

4. 2 線形概要

現道ルート復旧案において, 現道位置での道路復旧を行うと崩壊土砂上に道路を構築することとなる。崩壊土砂は脆弱で, ス

レーキング性に富むことから, 転圧しても沈下することが懸念された。そのため, 岩盤上に道路を構築できるように平面線形, 縦断線形の計画を行うものとした。また, 切土計画においては, 崩壊頭部にある送電線, 遺跡(会水城跡)に掘削が影響しないように切土勾配を安定勾配(1割)よりも立てた6分勾配を採用した。

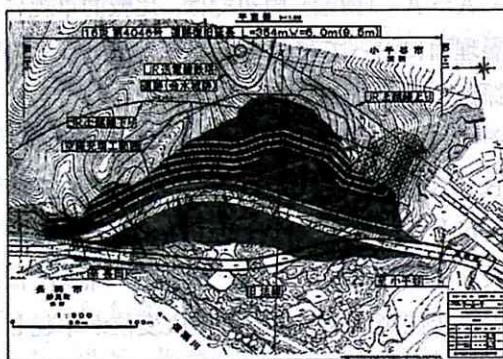


図-5 平面・横断図

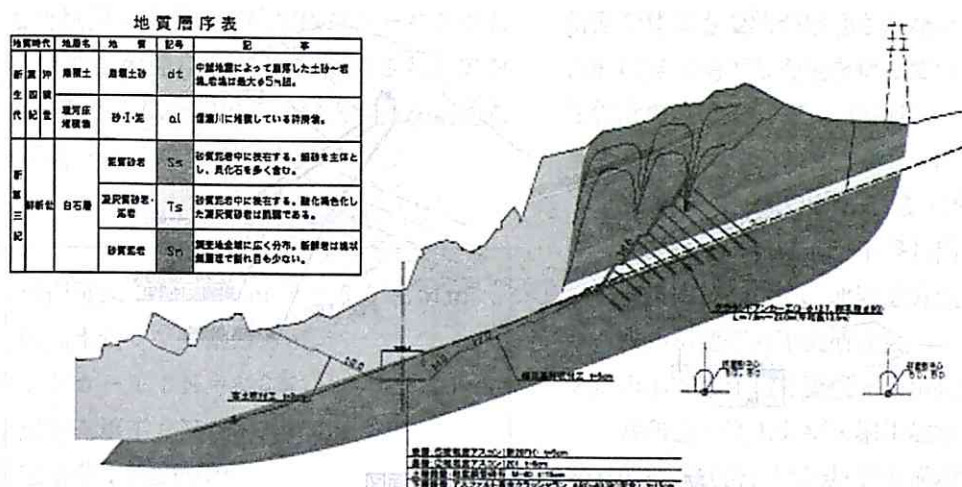


図-6 標準横断面図

4. 3 法面対策工

掘削後の背面地山の大部分は砂質泥岩から構成される。ただし、崩壊部のすべり面の延長線上には凝灰質砂岩の層があり、その層に沿って人為的な空洞が確認されている。道路復旧により掘削を行った後も凝灰質砂岩の層が潜在的なすべり面となるため、切土面とすべり線の間にできるくさび土塊をとめる抑止工としてグラウンドアンカー工が必要となる。

潜在的なすべり線（凝灰質砂岩）は切土法面の背後に伸びているが、対策工として過大とならないように、今後起こりうる崩壊の規模を次のように設定した。

斜面頂部では、地表踏査にて確認されている地表亀裂よりも山側とし、両サイドは地形的に沢筋までの範囲までとした。終点部（長岡側）はすべり線が道路面よりも随分深くなるため、沢筋までの範囲とした。必要抑止力の算定は、切土法面とすべり面との間のくさび土塊が滑動する際の安全率 $F_s=1.0$ とし、計画安全率 $F_s=1.15$ とした。なお、土質定数（ C 、 ϕ ）は掘削後の安全率 $F_s=1.0$ となるように、試験結果を

踏まえ一般的な標準値の範囲内で設定した。

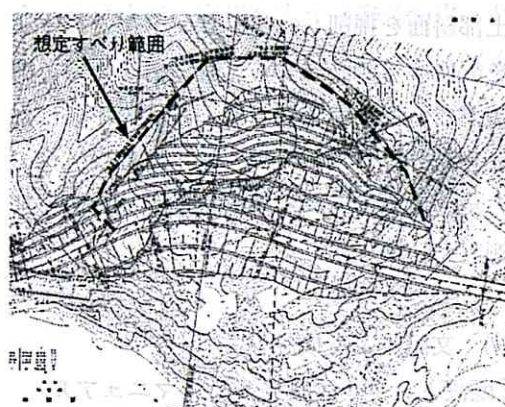
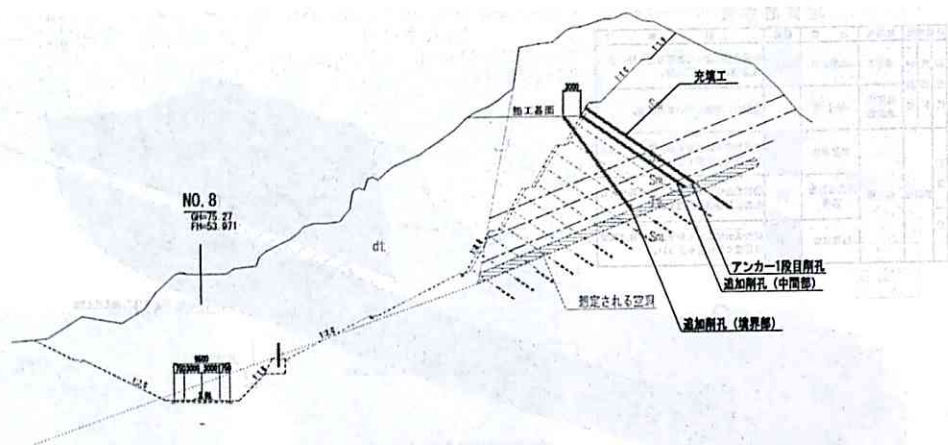


図-7 想定すべり範囲図

4. 4 坑道・空洞の充填

坑道・空洞の体積は約7,700 m^3 で、法面安定対策工として、グラウンドアンカー工を行ったが、アンカーの確実性を確保するため、ロータリーパーカッションによる削孔を行う際に、空洞を充填しておく必要があった。対策工の範囲としては、グラウンドアンカーの定着位置を考慮し決定した。

また、充填材としては、セメント系可塑状注入材を選定し、施工時にはアンカー孔を利用して観察カメラを挿入して坑道の位置や方向を確認してから充填した。



図－8 坑道・空洞対策工断面図

4. 5 既設JRトンネルへの影響検討

道路復旧計画により、既設JRトンネル上部斜面を掘削し、グラウンドアンカー工を配置することによる影響検討を行い、問題がないことを確認した。確認の手順は次のとおりである。また、施工時には、念のため、裏込注入の実施と施工中の挙動を観測した。

(1) 文献による検証

「既設トンネル近接施工対策マニュアル (財) 鉄道総合技術研究所」に基づく検証。

・トンネル上部の開削

残存土被り $h/H < 0.5$ であり、要注意範囲である。

・トンネル側部の掘削

側方土被りは $2D$ 以上あり、無条件範囲である。

・トンネル近傍のアンカー

アンカーとトンネルとの離隔は $1D$ 以上あり、無条件範囲である。

(2) FEM解析による検証

・変位

最大変位量 $0.47\text{mm} < 7\text{mm}$ (基準値)

基準値内でありOK

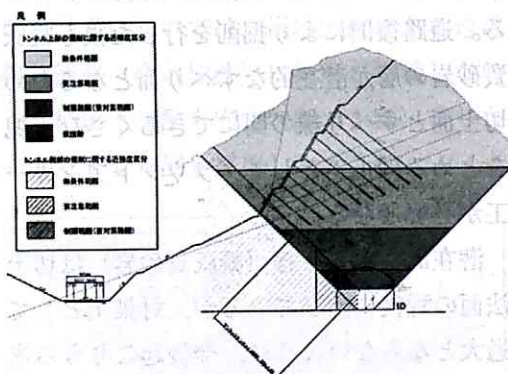
・応力

最大圧縮応力 $0.07\text{N/mm}^2 < 5\text{N/mm}^2$

基準値内でありOK

最大引張応力 $0.29\text{N/mm}^2 < 1\text{N/mm}^2$

基準値内でありOK



図－9 既設JRトンネルへの影響範囲図

5. おわりに

5. 1 復旧工事概要

復旧工事は、平成18年4月より着工され、関係各位の努力によって、平成19年3月24日に無事開通式を迎えた。表－3に施工実績を示す。当該工事は多量の掘削土と約11ヶ月の厳しい工期、坑道・空洞の充填で特徴づけられる。掘削では100t級のブルドーザや3.5m級の大型土工機械が活躍した。

また坑道・空洞の充填ではスレーキングし易い地山の開口亀裂にも充填され、アンカーとともに掘削のり面の安定度を高めた(写真-7 ⑥⑦参照)。

表-3 復旧工事実績

復旧延長：L=354m W=6.0(9.5)m
掘削土量：V=約27万 m^3
アンカー工：N=826本 L=約18,000m
空洞充填工：V=約7,700 m^3
工事費：約20億円

5. 2 中越沖地震後の状況

供用開始後、平成19年7月16日に中越沖地震(最大震度6強、M6.8)が発生した。当崩壊箇所では震度5弱を記録した。地震発生直後に、復旧した法面の背後に設置してある地中変位計(孔内傾斜計)で、地中変位量が0.1mm以下であることを確認し、

斜面全体にも変状が確認されないことから復旧は無事完了し安定を保っている(孔内傾斜計の位置：図-2, 3参照)。

参考文献

- 1) 高峰正俊・中川登志彦・安井和也(2006)：一般県道小千谷長岡線道路災害復旧について、北陸地方整備局 平成18年度管内事業研究会
- 2) 山本一富・高峰正俊・中川登志彦・安井和也・横山久平・堀川滋雄・森山哲朗他(2007)：妙見・岩盤崩壊箇所における調査及び対策工設計について、日本地すべり学会第35回シンポジウム
- 3) 高峰正俊・中川登志彦・安井和也・七澤正人(2007)：空洞の存在により複雑な崩壊を生じた長岡市妙見町の県道地震災害復旧、北陸地方建設事業推進協議会 平成19年度建設技術報告会

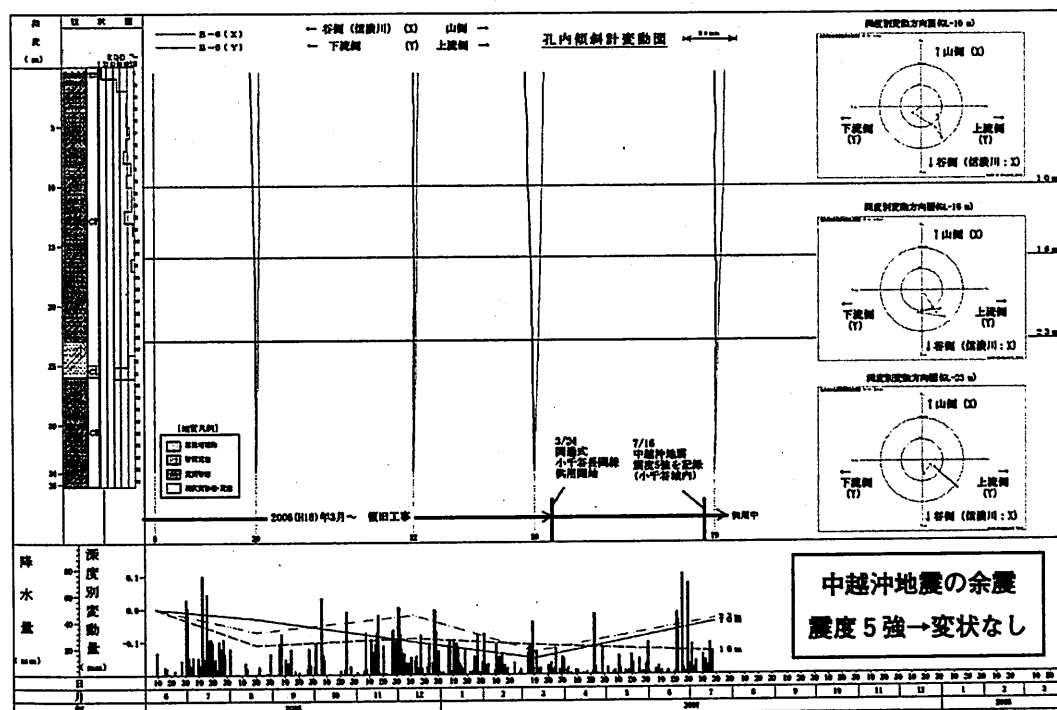


図-10 孔内傾斜計観測結果(B-6孔：復旧後法面背後)

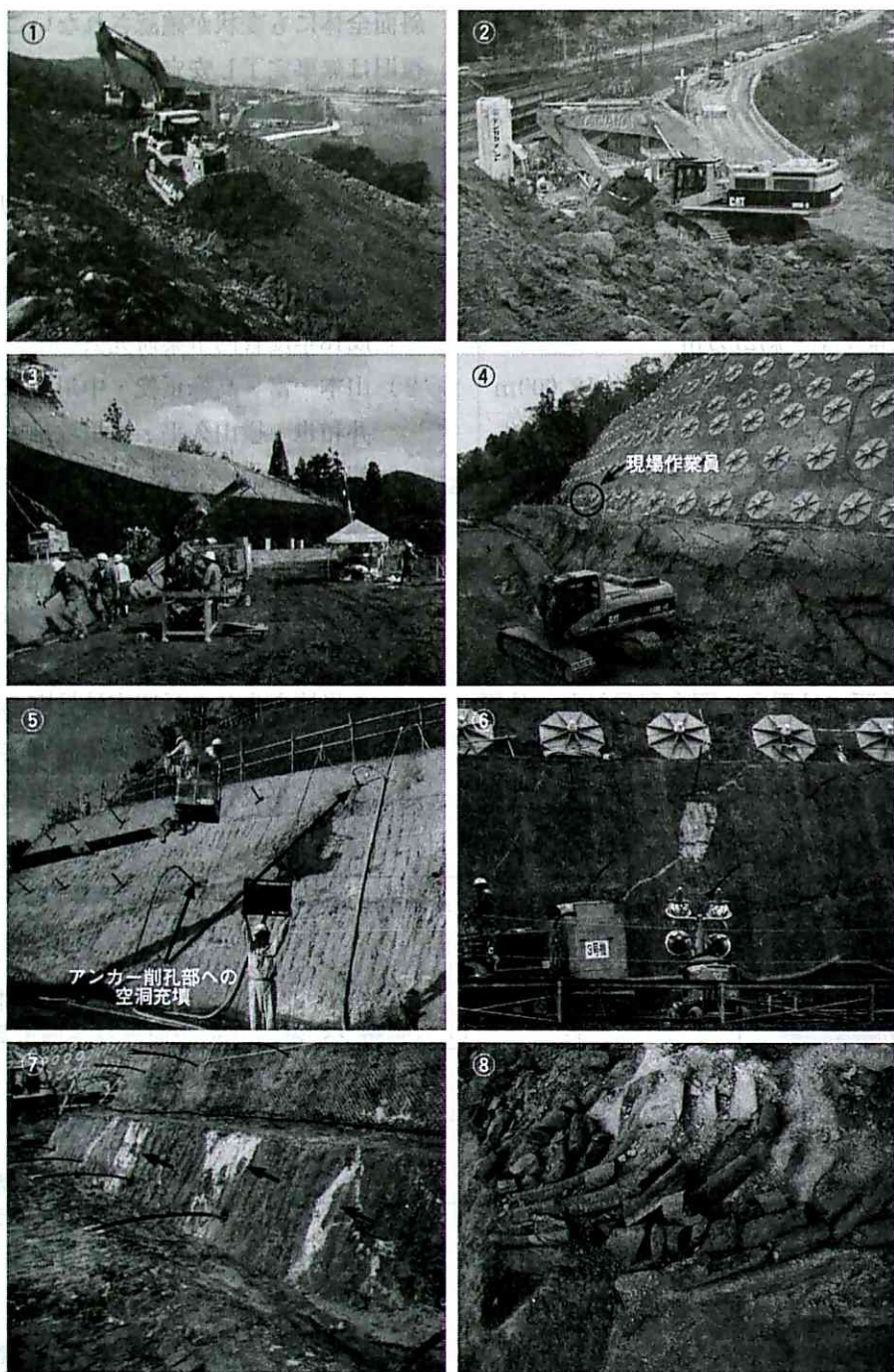


写真-7 法面施工時の現地状況 (写真は新潟県より提供)

①②：多量の掘削土塊を運搬する100 t級のブルドーザーや大型土工機械 ③：アンカー工削孔状況。計826本ものアンカーが施工された。④：アンカーの頭部には独立の受圧版を用い、工期の短縮が図られた。写真は植生基材吹付前。切土法面には多くの亀裂が見られた (写真下)。○印で現場作業員を示したが土工機械の大きいことが分かる。⑤：空洞に当たったアンカーでは充填作業を実施した。⑥⑦：空洞充填は地下空洞だけでなく、法面の開口亀裂にも充填され、地山を密着させる効果があった。⑧：施工時には海牛の化石が産出され、学術的に意義ある発見もあった。

平成16年(2004)10月下旬 撮影【被災直後】



平成18年(2006)11月25日 撮影【復旧工事施工中】



平成19年(2007)3月21日 撮影【施行後：3月24日供用開始】



写真一 8 被災直後から復旧までの被災地全景（航空写真は新潟県より提供）