

# 豊浜トンネル古平側（西側）坑口斜面崩壊と岩石割れ目

Slope Collapse at the western entrance of Toyohama Tunnel and fractures in rocks

北海道大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻\*・北海道大学工学部資源開発工学科\*\*

渡辺暉夫\*・藤原嘉樹\*・氏平増之\*\*

\* Department of Earth and Planetary Sciences, Graduate School of Science, Hokkaido University,  
Kita 10, Nishi 8, Kita-ku, Sapporo, 060, Japan

\*\* Department of Mineral Resources Development Engineering, Faculty of Engineering, Hokkaido  
University  
Kita 13, Nishi 8, Kita-ku, Sapporo, 060, Japan

## Abstract

The slope collapse of the sea-cliff at the western entrance of Toyohama Tunnel on 10th of February, 1996, is considered to have occurred by firstly formation of a deep fracture, subsequently peeling-off of a huge rock mass of  $11,000\text{m}^3$  from the cliff and finally sliding onto the tunnel. The deep fracture was not a single joint and it has been produced by the extension and linkage of discontinuous and localized fractures. Supplied ground water accelerated weathering and peeling along the fractures. This report deals with occurrence of fractures still visible on the collapsed cliff-wall margin and cracks of hyaloclastite under the microscope. Unrecorded episode of falling rock(s) is estimated from development of fracture system. Impact load in vertical displacement by one of falling rocks of  $100\text{m}^3$  is also examined.

キーワード：斜面崩壊，sheeting joint，ハイアロクラスタイト，衝撃荷重

## 1. はじめに

豊浜トンネル古平側（西側）坑口斜面崩壊の海蝕崖には、岩盤崩落の時点ではトンネルの直上に、崖面にそう深い割れ目が発達した。崩壊のもっとも主要な誘因は、岩盤中の地下水圧が上昇し岩盤の剥離を促進したためであろう、と豊浜トンネル事故調査委員会（1996）は考察した。また、崩落に至るまでに、不連続な亀裂が伸長し、連結して一つの深い亀裂を形成した、と指摘した。この亀裂の伸長は崩落崖の観察からも支持される。崩落崖の詳細は箕浦ほか（1996）で報告したが、あらたに、渡辺・箕浦（1997a, 本報告集）でも触れている。ここではさらに個別に露頭および顕微鏡下での割れ目の記載を行う。なお、本報告では肉眼で観察されるものを割れ目、顕微鏡下で観察されるものを亀裂という用語を使用する。崩落崖の構造や地層名は上述の報告の他、本報告集の川村（1997）の報告を参照していただきたい。

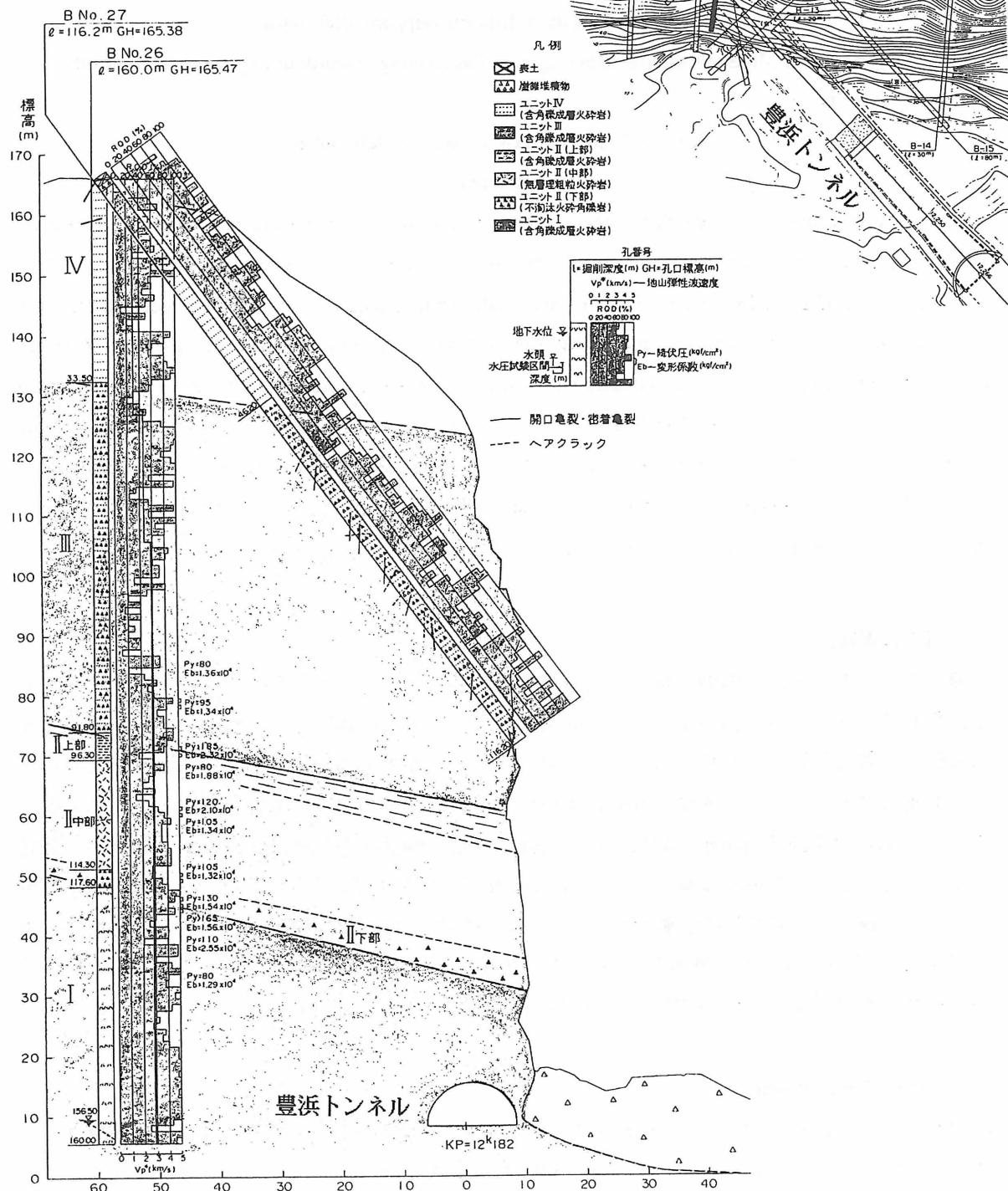
## 2. Sheeting Joint

Sheeting Jointは地表面にそって、荷重の減少にともなって形成される剥離面であって、地質学では伝統的に緩傾斜であると考えられてきた（新版地学事典, 1996, 平凡社）。急崖にそって形成さ

図1 (右) B26のボーリング・サイト (太線)  
崖壁面から尾根に向かって斜め上方に掘削された。

図2 (下) ポアホールカメラで観察された割れ目  
B26のコア柱状図に垂直に近い割れ目が示さ  
れている。

図1, 2はともに事故調査委員会報告書より



れる剥離面は地質学では最近はNeotectonic Jointと呼ばれる（参照：箕浦ほか，1996）。しかし、工学分野ではsheeting jointと呼ばれてきたようであるし（石島，personal comm.；菊地，1997），応用地質学分野でも同様の使い方をしていると思われる（山岸，1996）。このことを考慮し、本報告では急崖地表面に沿って形成される応力解放に伴うであろう剥離面をsheeting jointと呼ぶことにする。豊浜トンネル岩盤崩落事故調査委員会（1996）は微弱なsheeting jointの発達について貴重なデータを提供している。ボーリング・サイトB27（図1）のボア・ホール・カメラの観察結果は崖面に平行な割れ目（間隔は1~5m前後）の存在を明らかにした（図2）。急崖の剥離には凍結一融解によるものが知られているが、これは岩盤の凍結深度が関係するので、北海道では厚くても表層から1mを越えることはないと思われる（福田ほか，1996，参照）。図2の剥離面はこれよりも奥に、崖面に沿った垂直に近い割れ目として40mの深さにまで認められる。これは、崖面の応力解放によるsheeting jointと考えられる。この割れ目は連続性が悪く、隣のボーリング・コアでは面の走向方向に直接つながる面は認められない。ただし、割れ目がどの程度連続するのかを考察するには隣接するボーリング・サイトが離れてすぎている。しかし、割れ目の連続性は以下の観察から推測出来る。

一つは過去の落石跡からの推測である。渡辺・箕浦（1997b；印刷中）は大場が1966年に撮影した崩落現場の写真（渡辺・大場；1996）を解析し、すでに崩落岩塊の一部に明瞭な割れ目（あるいは崩落跡）があることを示した（図3）。これは1993年10月に撮影された斜め空中写真に見られる崩落跡に対応するものと目下のところ考えている（図4）。この崩落面は崖面に沿っている割れ目から剥離したものであろう。図3からは剥離面は比較的なめらかであると判断され、幅7m前後、高さは10mほどである。

割れ目の連続性についての他の推測は、直接崩落面を観察することである。崩落跡の壁面観察は渡辺・箕浦（1997a，本報告集）で触れるが、ここでは、昨年11月に行った観察例を示す。豊浜トンネルの応急復旧工事が進む中で、崩落面に金属性の梯子がかけられ、崩落壁面を間近で観察することが可能となった。



図3 耳タブ状岩盤（渡辺・大場，1996）の左上部に割れ目が見える（矢印）  
大場撮影の写真を画像処理したもの

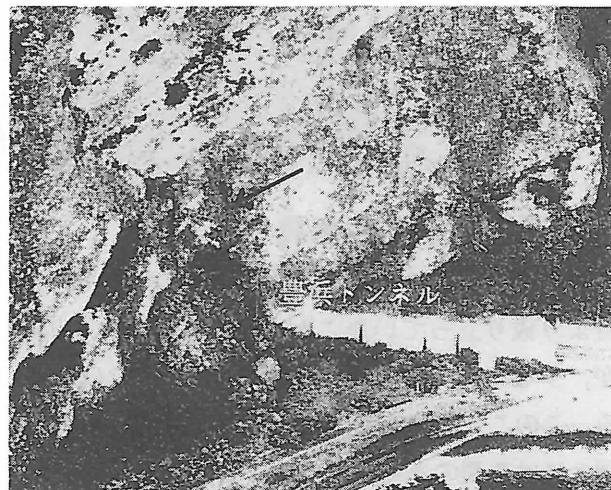


図4 1993年10月撮影の空中写真に見られる岩石の破断跡（矢印）  
事故調査委員会資料を画像処理

図5 a)には崖面左上部（古平側からの観察）の割れ目を金網越しに観察した写真を示す。写真中央から右にみられる割れ目は左側では肉眼的には認められない。また、図5 b)には崩落面でもっとも明瞭な割れ目（Fr - 7）を側面から観察したものであるが、途中から部分的に枝別れしている。また、Fr - 7の左（崩落面上では上に重なる）の割れ目も連続性の乏しいもの（1m以下）がある。



図5 崩落壁面に残る  
割れ目の産状

- (a) 左、割れ目が途中から見えなくなる。
- (b) 下、途中から枝分かれした割れ目は尖滅する

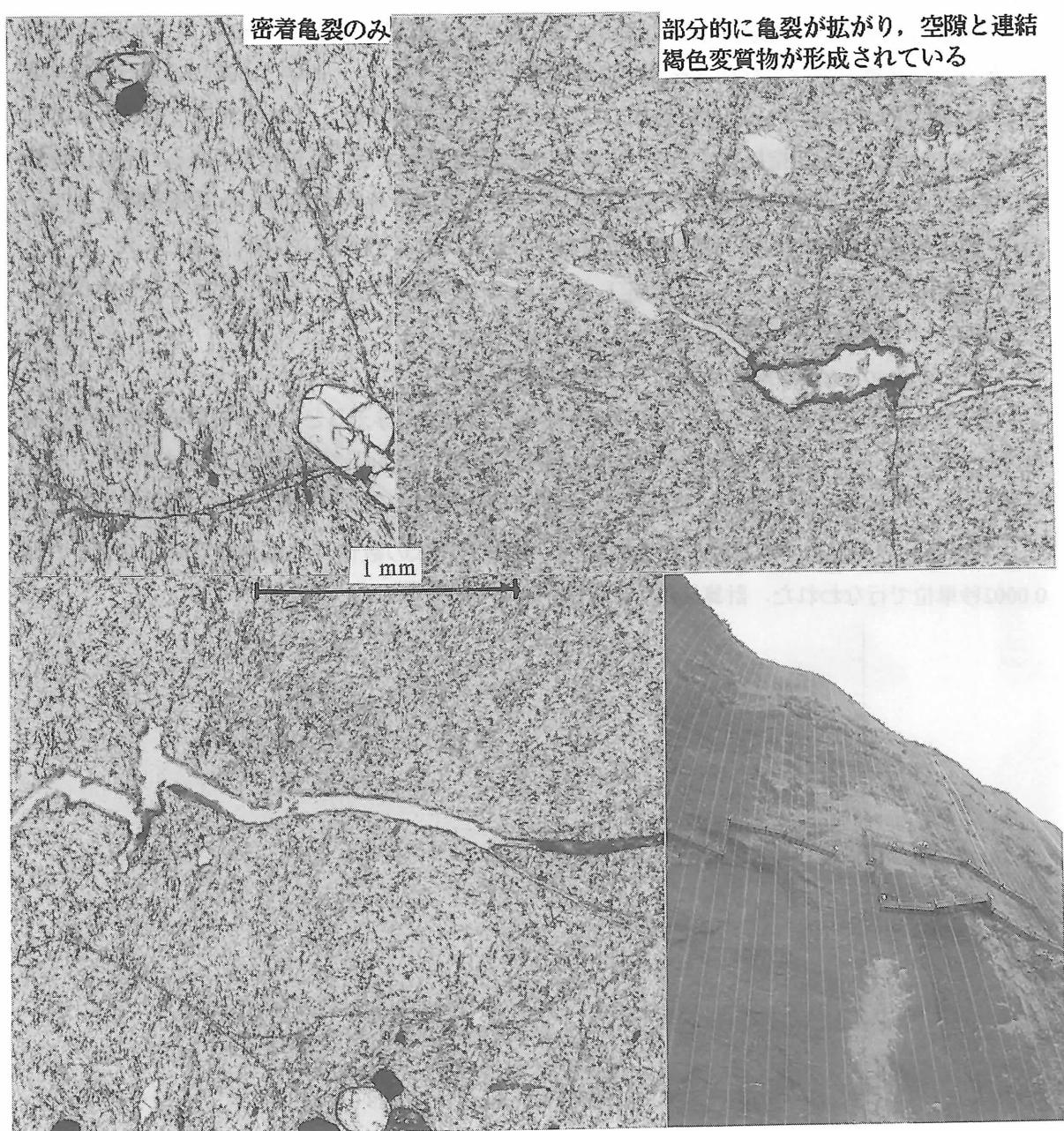


### 3. 顕微鏡下での亀裂

以上の実例と壁面観察（渡辺・箕浦，1997a：本報告集）は、崩落面がもともと不連続な割れ目群より成り立っていたことを示している。この不連続な割れ目の成因は多面的なものであろうが、少なくとも、ハイアロクラスタイト（水冷火碎岩）の岩質に由来する点があると考えられる。このことを顕微鏡観察から検討してみたい。

図5には亀裂のある岩石（ユニットIIIの最下部にて採集）の鏡下写真を示した。新鮮で均質とみられるデイサイト質火山岩塊（ここでは亀裂にのみ注目する）には密着した亀裂—冷却時の生成であろう—が発達している。また、気泡のぬけた空隙がある。この亀裂や空隙の部分は流水の影

響などで変質が進みやすい。わずかに開口し、粘土鉱物が生成されたり、褐色に変質している場合もある。さらに、空隙が亀裂につながっている場合や孤立している場合がある。密着した亀裂とわずかに開口した亀裂が交叉している例もある。図5は顕微鏡下で見られる亀裂の開口の程度の異なる例を示し、亀裂が幅が広くなって伸びてゆく様子が解るように配列してみた。これらの一連の顕微鏡写真はハイアロクラスタイト（水冷火碎岩）ではミクロン・オーダーの亀裂がいたるところに分布し、亀裂に沿って粘土鉱物や水酸化鉄などが形成されることを示している。亀裂の生成過程を詳しく検討することは重要であるが、ここでは密着亀裂から顕微鏡レベルでわずかに開口した亀裂があることを示し、このような微細な亀裂の存在がやがて肉眼的に顕在化する割れ目となりうることを示唆するに止める。



亀裂が伸び、拡がりが進む。枝分かれした細い亀裂が密着亀裂へと伸びている。亀裂中に変質物が充填される。

崩落面上部でのサンプリングの様子

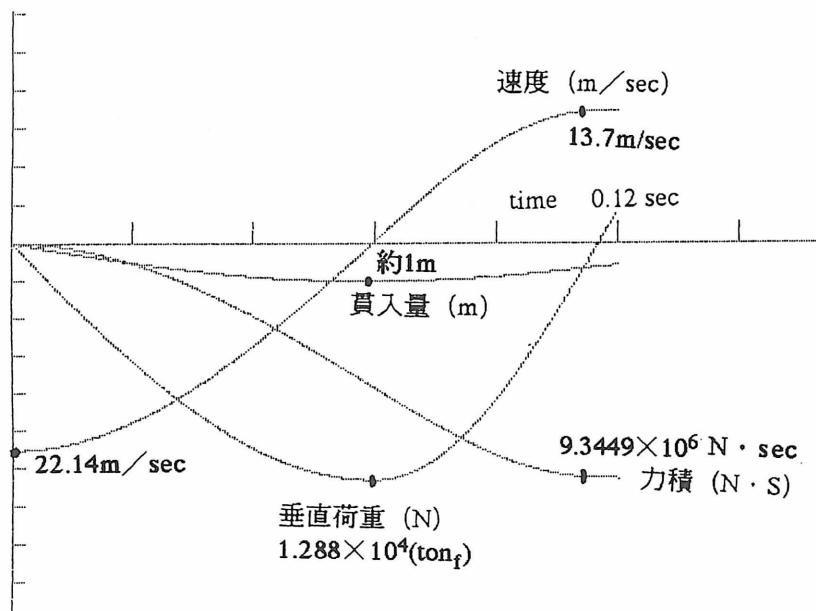
#### 4. 落石の衝撃

割れ目が発達して岩盤から剥離する落石は、豊浜トンネル巻出し部では今回の $11,000\text{m}^3$ の崩落以外には $100\text{m}^3$ オーダーといえども落石は直接的には発生していない。しかし、この規模の落石は、上述のように、割れ目のあったトンネルの海側近傍には発生していた（豊浜トンネル事故調査委員会報告書では「崩壊痕 比較的新しい時期」として記述された）。また、昨年2月10日の大規模岩盤崩落では、ほぼ $100\text{m}^3$ と見積もられた岩体Cが主要なA, B岩体とはやや離れて崩落している。岩体Cの落石は、過去の落石発生場所の直上であろう。岩体CはFr-7の左（東）側にある。岩体A, BはFr-7の右側から剥離したものであろう。岩体Cは岩体A, Bより先に崩落したとの予想もあり、この場合は衝撃の大きな自由落下が想定できる。しかし、岩体CがA, Bとともに崩落し、分裂して飛び散った岩体だとすれば衝撃は小さいであろう。笠原（1996）によれば20km離れた地点での地震計には岩盤崩落を示す振動は認められていない。笠原（1996）は土石流のエネルギーと地震のエネルギーの比を求め、エネルギーの変換効率は、少し大きめに見積もって、 $0.0001 \sim 0.00001$ にあると指摘している。岩体Cの落石が衝撃の大きい自由落下であるとすれば変換効率は大きいほうに変わる。ここでは岩体Cの崩落の機構や時間を検討する基礎資料として、 $100\text{m}^3$ 規模の落石がどの程度の衝撃荷重があるのかをとりあえず検討しておくこととした。

落石の体積は $100\text{m}^3$ とし、立方体を仮定した。一边の長さは $4.64\text{m}$ となる。比重をやや大きめにとって2.6とすると慣性モーメントは

$$I = 260 \times 10^3 (4.64^2 + 4.64^2) / 12 = 933 \times 10^3 \text{kg} \cdot \text{m}^2$$

立方体は高さ25mから自由落下し、その一端が着地し、衝撃を与えるとした。解析方法は氏平・高貝（1994）によった。個別要素モデルでは、接地にあたり、地面は道路面あるいはコンクリートを想定し、ややめり込むものとした（氏平・高貝、1994、の $k_y$ のみを考慮し、 $k_x$ は0とした。つまり、着地後の水平方向の移動は考えない）。運動方程式の数値計算における時間ステップは0.0002秒単位で行なわれた。計算結果を下に図示する（図6）。



岩石が接地した時の落下速度は22.14m/secと計算された。衝撃荷重の最大値は $1.288 \times 10^4$ (ton<sub>f</sub>)で、これは接地後0.07秒後に発生すると見積もられ、貫入量は約1mと予想された。この時発生する加速度は49.5Gと推定された。また、垂直荷重がゼロにもどる t=0.1162秒後の力積は $9.3449 \times 10^6$  N・secと推定された。この時、岩石の貫入量は66cmにもどっており、上方への垂直速度は13.7m/secである。岩石は接地後に上下運動を繰り返すが、計算は上方への垂直速度が最初に極大値を越えたところで中止した。

## 5. まとめ

豊浜岩盤崩落現場近傍の割れ目を肉眼および顕微鏡レベルで観察した結果を紹介し、割れ目の進展がどのようにして起るかを検討するための資料を提供した。規則的な節理が発達している岩盤とは岩盤剥離の過程が異なる。また、自由落下する落石の衝撃荷重と力積を計算で求めた。

## 文献

- 地学研究団体研究会編, 1996 新版 地学事典 平凡社
- 福田正己・播磨屋敏生・原田鉄一郎, 1996 岩石の凍結 - 融解による風化が基盤崩落に与える影響について 月刊 地球 18, 574 - 584.
- 笠原 稔, 1996 豊浜トンネル岩盤崩落にともなう地震動について。 北海道地区自然災害科学資料センター報告 11, 57 - 69.
- 川村信人 1997 (本報告集) 豊浜トンネル崩落事故の地質学的背景。 北海道地区自然災害科学資料センター報告, 12.
- 菊地宏吉, 1997 岩盤斜面の崩壊問題 -- 事例から見た斜面崩壊・地すべりの発生原因とメカニズム--。 北海道応用地学合同研究会論文集 No 8, 197 - 207.
- 箕浦名知男・藤原嘉樹・渡辺暉夫, 1996 : 豊浜トンネル崩壊に関する地質・地形的特徴について 北海道地区自然災害科学資料センター報告, 11, 31 - 47.
- 豊浜トンネル岩盤崩落事故調査委員会, 1996 豊浜トンネル崩落事故調査報告書
- 渡辺暉夫・大場与志男, 1996 豊浜トンネル崩落崖の30年の変化 北海道地区自然災害科学資料センター報告, 11, 49 - 52.
- 渡辺暉夫・箕浦名知男, 1997a (印刷中) 豊浜トンネル西側坑口岩盤崩落: 壁面観察と落石から何を学ぶか? 北海道地区自然災害科学資料センター報告, 12.
- 渡辺暉夫・箕浦名知男, 1997b (本報告集) 豊浜トンネル西側 (古平側) 坑口岩盤崩落 北海道地区自然災害科学資料センター報告, 12.
- 氏平増之・高貝暢浩, 1994 落石の衝撃荷重に関するシミュレーション 1994年資源・素材学会春季大会講演要旨集 87 - 88.
- 山岸宏光 1996 : ハイアロクラスタイトと岩盤崩落 北海道地区自然災害科学資料センター報告 11, 9 - 24.