

**残壁崩壊防止に係る技術検討委員会  
中間報告書**

平成19年3月31日

残壁崩壊防止に係る技術検討委員会

## はじめに

露天掘鉱山において、安定的な残壁を形成しつつ採掘を進めることは、鉱山労働者に対する危害の防止や景観保護等の観点から重要な課題となっている。しかしながら、全国的に過去から多くの残壁崩壊事例が報告されており、四国管内においても、平成16年4件、平成17年1件、平成18年2件の残壁崩壊事故が発生している。

このため、中国四国産業保安監督部四国支部では、平成17年度に中国四国地方鉱山保安協議会四国部会に専門委員会を設置し、当該専門委員会において、残壁崩壊が繰返し発生していた管内の一鉱山を対象に、今後の残壁崩壊を防止するための対策に資するために、当該鉱山における残壁崩壊の危険性等について検討を行った。

平成17年度の専門委員会では、地山の正確な物性（通常及び降雨時における地下水位状況、変形特性、強度特性及びこれらのバラツキの程度）が得られていないことから、確たる結論を策定するのは難しいものの、より安全に採掘するためのある程度の目安を導き出すことができた。

平成18年度は、引き続き中国四国地方鉱山保安協議会四国部会の専門委員会として「残壁崩壊防止に係る技術検討委員会」が設置され、平成17年度の個別事例の検討結果を踏まえ、管内の他の露天掘鉱山における残壁対策の一助となるよう、管内の露天掘鉱山における残壁の状況について取りまとめを行うとともに、これまでに発生した残壁崩壊事例の調査を行い、残壁崩壊を起こした原因等について整理・検討を行った。

本書は、この整理・検討結果を中間報告として取りまとめたものである。

## 残壁崩壊防止に係る技術検討委員会構成員名簿

委員長 吉田 秀典 (香川大学工学部(安全システム建設工学科)教授)

委員 大野 雅之 (太平洋セメント株式会社土佐工場土佐山鉱業所長)

委員 木下 尚樹 (愛媛大学工学部(環境建設工学科)助教)

(50音順敬称略)

## 残壁崩壊防止に係る技術検討委員会の審議経過

### 第1回技術検討委員会 (現地調査)

日時:平成18年7月7日(金)8時~18時

場所:奥ヶ谷鉱山(高知県香南市)

釣瓶鉱山(南国市)

議題: 委員会の目的等について

奥ヶ谷鉱山・釣瓶鉱山の概要について

現地調査

四国管内鉱山残壁崩壊事例、四国管内鉱山残壁一覧(資料配付)

### 第2回技術検討委員会

日時:平成18年9月21日(木)13時30分~15時

場所:四国経済産業局第一会議室(高松市)

議題: 現地調査結果に基づく検討について

管内鉱山の残壁の状況及び崩壊事例について

その他

### 第3回技術検討委員会

日時:平成19年3月16日(金)13時30分~15時

場所:中国四国産業保安監督部四国支部会議室(高松市)

議題: 残壁対策技術検討委員会中間報告書(案)について

残壁の安定解析に於ける降雨の影響について

今後の予定について

## ．四国管内鉱山残壁の状況

四国管内の稼行及び休止鉱山における主要な残壁の状況を表 1 にまとめた。

### 1．残壁規模

図 - 1 に残壁高さと同平均傾斜の状況を示す。このうち崩壊事例があるものが 14 箇所存在する。

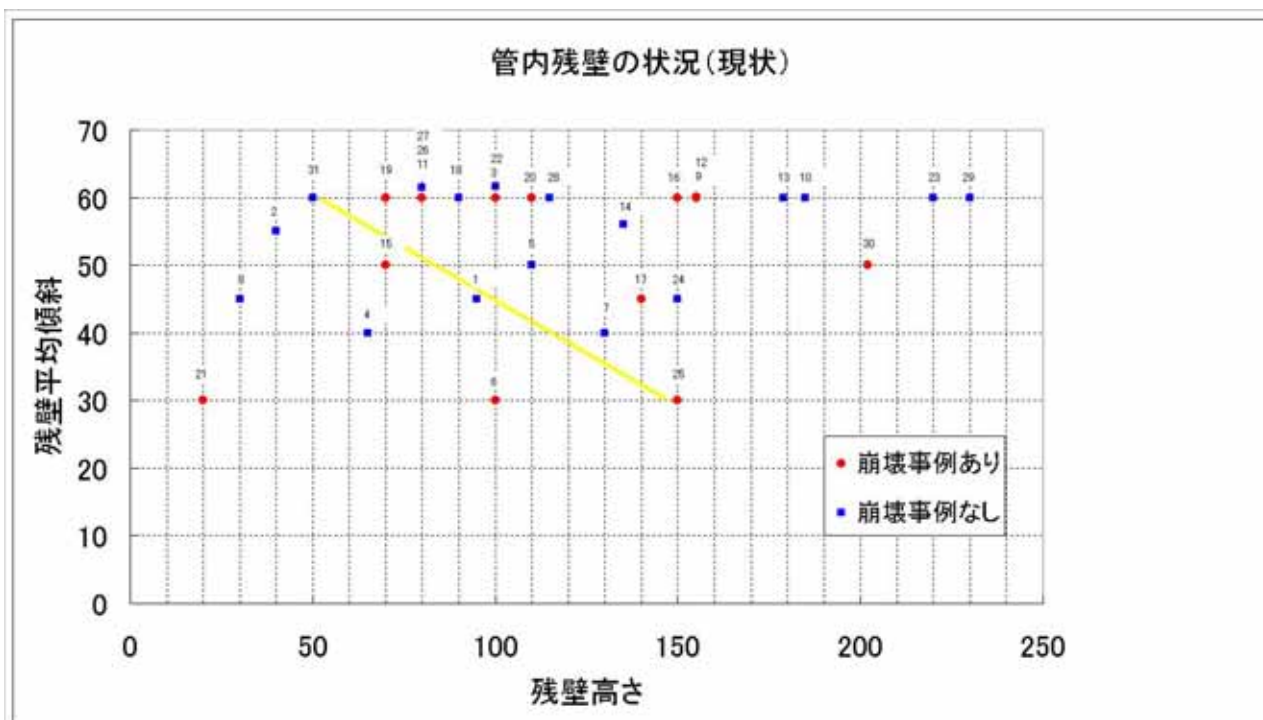


図 - 1 (図中の番号は表 - 1 中の残壁番号)

図中の黄線より右側の領域で残壁崩壊事例がある残壁が多くなっていると考えられる。

## ．四国管内鉱山残壁崩壊事例

### 1．概況

四国管内における残壁崩壊事例について、鉱山保安課内の監督検査報告書、鉱山の残壁崩壊報告書、鉱山による残壁崩壊解析書等から情報を得られる資料が残されているものについて調査を行い、表 - 2 に取りまとめた。

残壁崩壊事例における現状の残壁高さと同平均傾斜の関係を図 - 2 に示す。

図中の黄線より右の領域で崩壊事例が多くなっていると考えられる。

左の緑三角内の事例については、非常に脆弱な夾雑物の存在、すべり面の存在、盤際表土部分の崩壊のように、残壁高さと同角度といった単純な力学的な観点からの崩壊ではない別の要因を持った崩壊事例となっている。

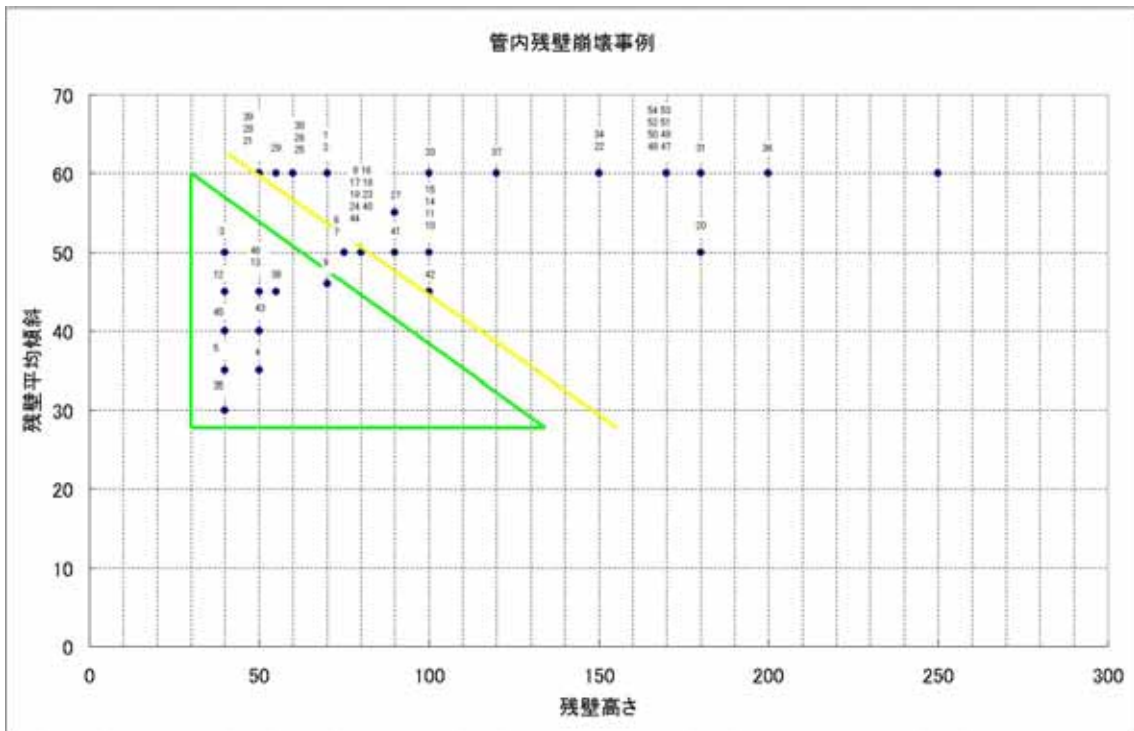


図 - 2

## 2. 崩壊の原因

主要な原因別に取りまとめると以下ようになる。

節理・断層	石目	すべり面	夾雑物・弱層	盤際	カバーロック
6	10	4	9	15	10

また、各事例はそれぞれ複数の原因を持っていると考えられるので、複数の原因をすべて取りまとめると以下ようになる。

原因	節理・断層	石目	すべり面	夾雑物・弱層	盤際	カバーロック	降雨
件数	15	13	9	10	24	14	31
割合(%)	28	24	17	19	44	26	57

割合 = 原因として上げられた件数 / 全事例数 ( 54 件 ) × 100

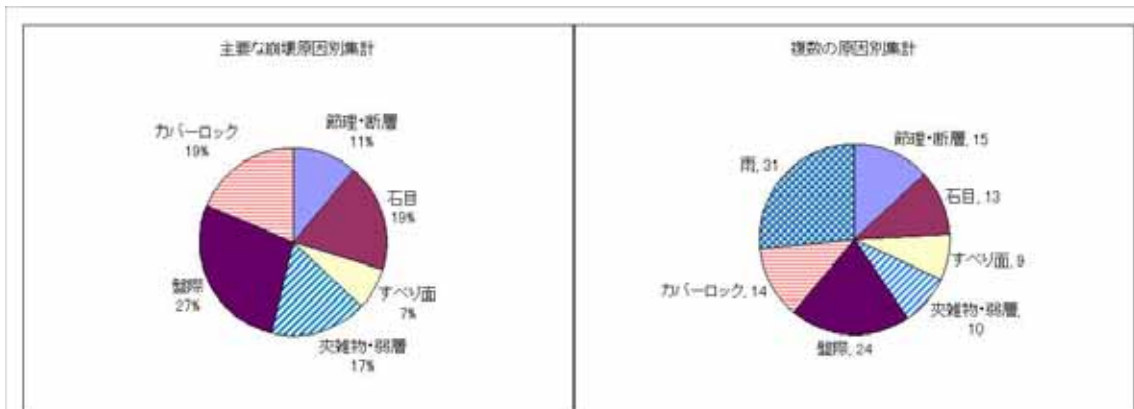


図 - 3

図 - 4

### 3. 安定解析による検討

<管内鉱山残壁崩壊事例と単純平面すべりによる安定解析の関係>

内部摩擦角を30度に固定した上で、粘着力を0.5、1、2、3、5、8、10、20 t f / m<sup>2</sup>と変化させて単純平面すべりの安定解析を行った。図-5は、残壁高さ、残壁平均傾斜ごとに安全率が1となる点をプロットし、さらに、残壁崩壊事例を重ね合わせたものである。(強度定数として内部摩擦角と粘着力の双方を変化させると図として煩雑となるため、内部摩擦角については、安全サイドの目安として岩盤としては下限値に当たると考えられる30度を採用し、固定とした。)

これを見ると、高さ50m以内において崩壊を起こした多くの事例が内部摩擦角30度、粘着力1~3 t f / m<sup>2</sup>の範囲にプロットされた。

粘着力が1 t f / m<sup>2</sup>以下の領域にプロットされる事例については、以下の通り脆弱な夾雑物の影響が考えられる事例等、単純な力学的な観点からの崩壊ではない別の要因を持った崩壊事例となっている。

- |                       |                     |
|-----------------------|---------------------|
| No 3 : 残壁上部のごく小規模な崩壊  | No 35 : 脆弱な頁岩の介在    |
| No 4 : 流れ目(流れ盤)状態での崩壊 | No 38 : 脆弱な粘板岩の介在   |
| No 5 : 脆弱な緑泥片岩の介在夾雑   | No 43 : 脆弱な輝緑凝灰岩の介在 |
| No 12 : 残壁上部の表土の崩壊    | No 45 : すべり面の存在     |
| No 13 : 残壁上部の表土の崩壊    |                     |

粘着力が3 t f / m<sup>2</sup>以上の領域にプロットされる事例については、崩壊高さが100m以上の比較的大規模な崩壊事例であった。

また、事例32、43について別途円弧すべりによる安定解析を実施したが、解析結果は事例32の場合、内部摩擦角30度、粘着力50 t f / m<sup>2</sup>で安全率1.039、事例43の場合内部摩擦角30度、粘着力0.5 t f / m<sup>2</sup>で安全率1.041と、ほぼ同様の結果となった。

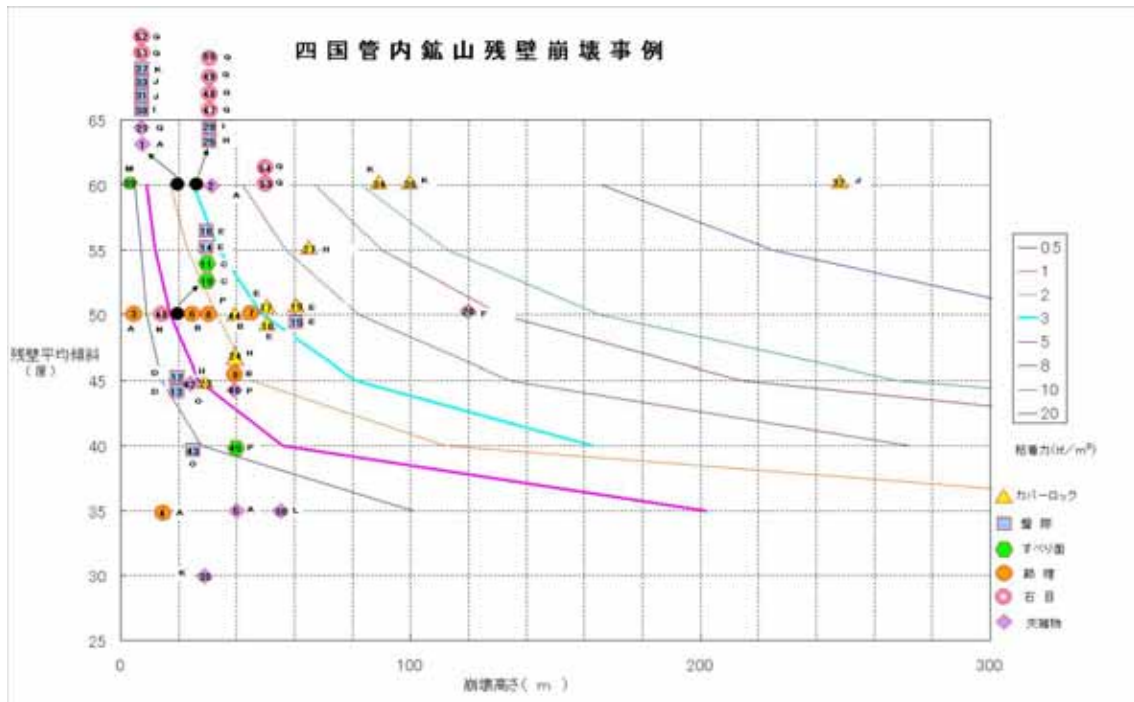


図-5

以上のことより、以下のような知見を得た。

- ・当管内において50 m以下の中規模崩壊が多く認められるが、それらの残壁崩壊事例について強度定数を推測すると、内部摩擦角30度、粘着力1～3 t f / m<sup>2</sup> 程度となっている事例が多い。
- ・脆弱な岩種を夾雑する崩壊においては、粘着力がほぼ0と評価される事例もある。
- ・100 m程度の規模の崩壊における強度定数は、内部摩擦角30度、粘着力は15 t f / m<sup>2</sup> 程度となっている。

#### 4．前兆現象

四国管内において残壁崩壊事例は多く発生しているが、幸い罹災者を伴うような崩壊は発生していない。残壁崩壊前には何らかの前兆現象が認められていることから、今後とも採掘時における残壁の変化には最大限の注意を払い、万が一崩壊が発生した場合も罹災者を生じないようにすることが重要であると考えられる。これまでの事例で生じた前兆現象には以下のようなものがある。

##### (亀裂の発生)

- ・崩壊前に多くの事例において残壁上部に亀裂が認められている。
- ・数ヶ月前から亀裂が発見されているケースもあるが、数日前に亀裂を発見したとの事例が多い。また、崩壊前には亀裂が急速に発達したとの事例(事例：20)もある。
- ・崩壊に至らなかった事例では、まず残壁上部に亀裂が発生し、それが発達し、次に残壁中段犬走りにせん断亀裂が発生している。(事例：34)

##### (転石)

- ・約一ヶ月前から小石が落下する現象が認められた。(事例：8)
- ・規模の大きい崩壊のケースでは、前日普段とは異なる落石が認められ、当日に至りその落石が多くなる。崩壊5～6時間前残壁下部及び中段部において2 m大の岩の剥離が起こる。崩壊1時間前多数の剥離とダンプトラック2台程度の落石が認められ、30分前にはその落石がさらに多くなる。最終的に最下段の犬走りが膨れ出し大崩壊を起こした。(事例：32)

##### (石灰岩の破壊)

- ・崩壊約5時間前地鳴りとともに石灰岩が破壊する現象が見られた。(事例：20)

##### (湧水の濁り)

- ・降雨時に出ていたすべり面からの浸透水が、崩壊前には濁っていた。(事例：11)

# 残壁崩壊防止対策等

## 1. 残壁傾斜

残壁を一体として評価し、単純平面すべりにより安定解析を実施した場合、内部摩擦角を30度、水位無し、粘着力を0.5、1、2、3、5、8、10、20  $\text{tf}/\text{m}^2$ として、残壁高さ50m、100m、200mにおける残壁平均傾斜ごとの安全率をプロットすると、図-6のようになる。

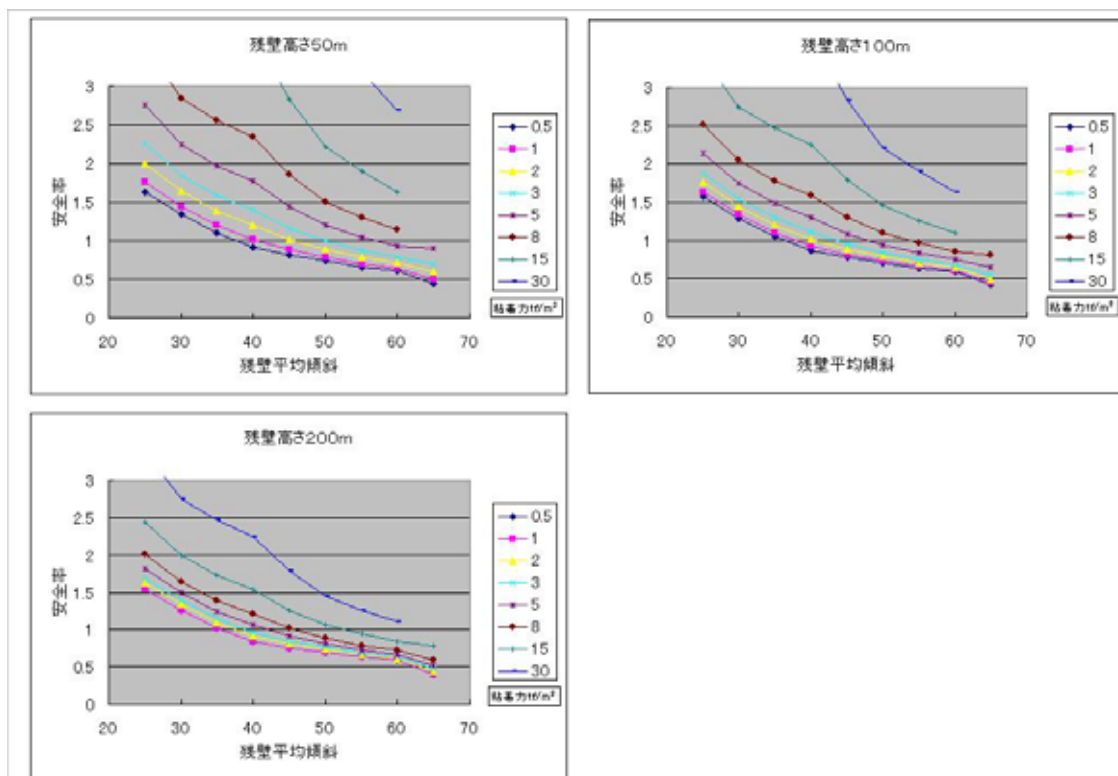


図 - 6

単純平面すべりによる解析であること、水位を考慮していないこと、土質状況にはバラツキがあること、地震を考慮していないこと等から考えて、崩壊要因に対して何の対策も行わない場合の安全率は2程度必要と仮定した。

管内で多く発生している残壁高さ50m程度の崩壊を想定すると、前述の解析から粘着力は1~3  $\text{tf}/\text{m}^2$ と評価されるので、様々な崩壊要因の存在する残壁の傾斜としては、30度以下の傾斜とすることが必要となると考えられる。

粘着力を15  $\text{tf}/\text{m}^2$ として残壁高さごとに安全率が確保される残壁傾斜を見ると、図-1及び図-2に付した黄線と良く一致している。粘着力15  $\text{tf}/\text{m}^2$ は実際の岩盤の状況からしておおよそ平均的な値と考えて良いと考えられることから、安定解析の面から考えても、図-1の黄線より右の領域にある残壁については、力学的観点から考えて崩壊の可能性が有るものとして、その他の崩壊要因の有無について検討する必要があると考えられる。

また、特に脆弱な粘着力1  $\text{tf}/\text{m}^2$ 以下の強度定数を有する岩種を夾雑する場合等については、残壁平均傾斜のみの対応では対策が困難であると考えられる。この場合には、降雨水対策、排水の強化対策、脆弱層の除去、脆弱部分の入れ替え等の対策を総合的に実施

する必要があると考えられる。

## 2. 走向・節理・断層

鉱床中の不連続面の走向と切羽形成が流れ目（流れ盤）の関係となっているものは、すべりによる崩壊の可能性が高いと考えられるので、採掘方向について十分検討する必要がある。特に不連続面の走向傾斜が緩い場合は、採掘に伴い根切り状態となり、その支持力が非常に低くなる傾向が認められるので（事例：5）、このような採掘切羽形成は避ける必要がある。

## 3. 石目

一般論的に考えると、亀裂の状況・成因等は様々であり、どの程度の亀裂でどの程度の崩壊危険性が増加するかの予測は困難であると考えられるが、これまでの事例から見ると崩壊を起こす残壁では同様な崩壊を繰り返していることが多いので、これらの事例を検討・解析し、より安全な残壁傾斜を設定する等の対策が有効であると考えられる。

## 4. すべり面

全く表面に現れていないすべり面の場合は、その予測が極めて難しい。

一部が表面に現れている場合には、何らかの方法による根固め、崩壊予測部分の除去等の対策が必要である。

この場合、事例10、11のように約19年後に同一すべり面の上部が崩壊した事例も存在するので、10年以上変化が無いとしてもリスクは存在していると考えられる必要がある。

## 5. 夾雑物・弱層

岩種としては、頁岩、輝緑凝灰岩、粘板岩、緑色岩等が挙げられるが、それぞれ場所によって風化の度合いも異なり、強度についても一律とは言えないと考えられる。

夾雑物の厚み、方向、強度等を総合的に判断した対策が必要である。

特にこれら岩種には風化が進みほとんど支持力の無いものが存在するので、このような場合には、残壁傾斜を緩くするのみでなく、夾雑物の除去、入れ替え、排水等の対策を施すことが必要である。

## 6. 盤際

鉱床の境界部分は、風化、降雨等の影響により岩石が脆弱化する事例が多く発生している。

多くの事例の場合、特に何の対策も取られていないケースが多いが、将来的に考えても風化等が進行する可能性は高いと考えられ、また盤際部は再び上部に上がったの対応が困難となるケースも存在するので、岩盤の状況を見て傾斜の考慮、植栽、コンクリート吹きつけ等による補強等を検討する必要がある。

また、盤際部分は特に降雨水による影響を受けやすい部分であるので、降雨による浸透水対策等排水対策が重要である。

## 7. カバーロック

カバーロックに関係する崩壊事例を検討すると、カバーロック自体の強度が弱いケース、鉱床の膨縮の影響により一部のカバーロックが薄くなったケース及び下盤の強度が弱いケースが考えられた。

カバーロックの厚さの確認は困難であると考えられるが、カバーロックの強度及び下盤

の状況は、採掘時にある程度把握できると考えられるので、それらを総合的に判断して適切な残壁傾斜を設計する必要がある。

特にカバーロック最上部より上に強度の低い下盤が存在するケースでは、カバーロックの支持力が不足する事例が多く認められるので、注意が必要である。

また、カバーロックと下盤との間に水道が発生するケースが認められた。事例では連鎖的に崩壊が発生することも考えられるので、崩壊の状況原因等を十分検討して対応する必要がある。防止対策としては、採掘において早い段階での上部（盤際）の保護が重要であると考えられる。

## 8. 降雨

これまでの崩壊事例を検討すると、降雨時に発生した事例が多い。降雨に対する対策は、それぞれの崩壊要因について記載した通りであり、降雨の前に十分な対策が必要である。

降雨時における対策としては、崩壊が起こった場合に人及び施設に対する被害を最小限に留める対応が必要である。

この場合、鉱山の崩壊事例における解析から、降雨強度及び総降雨量が残壁崩壊にもたらす影響が大きいことが確認されている。降雨強度が高くなった場合、及び総降雨量が多くなった場合は、崩壊要因をすでに内包している残壁においては崩壊の可能性が非常に高まると考えられるので、作業中止、待避等の対応が必要である。

## . むすび

本年度は、四国管内の露天掘鉱山における残壁の状況について取りまとめを行うとともに、管内で発生した残壁崩壊事例の調査・整理を行った。

これまで四国管内において発生した残壁崩壊については、様々な原因が複合して発生していると考えられるが、産業保安監督部に残されている資料を調査し、それぞれの原因について事例を整理することができた。また、現在存在する管内の残壁について調査を実施し、これら崩壊の原因となりうる要因の存在の有無についても、ある程度整理することができたものとする。

特に、残壁の単純な安定解析においては、土質の強度定数を推測することにより、残壁高さ・平均傾斜の目安を求めることができたものとする。また、降雨についても鉱山における事例を解析することにより、降雨強度及び総降雨量が残壁崩壊にもたらす影響が大きいことが確認された。

個々の鉱山における残壁については、その地質条件等が鉱山により様々であるため、統一的（又は算定式的）な基準の策定は極めて困難でありそれを示すまでには至らなかったが、今回の検討結果は、今後の残壁崩壊を防止するための対策を考える上で基礎的資料として活用できるものと確信している。

なお、残壁対策を議論していく中で、残壁崩壊に対するリスクについて、もう少し定量的に取りまとめることができないかとの意見が出され検討を行ったが、個々の崩壊要因については不確定な要素が多いため、今回は定量的な目安を導き出すには至らなかった。個々の崩壊要因のリスクの大きさについて判断するための目安を得ることは、今後の大きなテーマであり、全国規模での残壁崩壊事例の収集等を行い、本格的な検討・解析等が望まれる。