

## 論 文

## [2118] ロックシェッドの崩壊機構

正会員 川上英男（福井大学工学部）

## 1 はしがき

1989年7月16日 午後3時半頃、福井県丹生郡越前町玉川地籍において崖崩れが発生、国道305号線のロックシェッド及びロックキーパーがそれぞれ約15mにわたって崩壊した。

この際進行中のマイクロバスが崩壊したロックシェッドの下敷になり、乗り合わせていた15人全員が死亡する事故となった。崖崩れは“トップリング”あるいは“岩石なだれ”と言われ（後述）、ロックシェッドに作用した荷重は設計において想定した単体落石とは異なっていると思われる。このような事故に対しロックシェッドの破壊状況を明かにし、その崩壊機構を解明しておくことは、ロックシェッドの安全対策上きわめて重要と考えられる。本報告はロックシェッド崩壊状況調査結果の概要を記すと共に、その崩壊機構に考察を加えたものである。

## 2 崖の崩壊状況

事故現場を図1に、ロックシェッドと崩壊後の崖面との位置関係を図2及び図3に示す。

正確な崩壊状況については、別途、福井県委託の岩石崩落災害調査委員会などの報告を待たねばならないが、崖崩壊の目撃者によればおおよそ次のようである。現場の南東よりの目撃では「岩壁は上部よりはがれ、びょうぶが倒れるように傾き、途中、上部1/3程度で〔く〕の字に折れた状態で倒れた」。西方よりの目撃では「倒れた岩壁はロックシェッドを直撃したように見えた」。ほぼ正面よりの目撃では「倒れてくる途中で岩壁全体が右の方に傾き、その後には一気に下方に滑り落ち、”なだれ”のごとくロックシェッドに押し寄せ、ロックシェッドはアッという間につぶれた」。写真1は新聞報道による事故発生後40分の状況である。

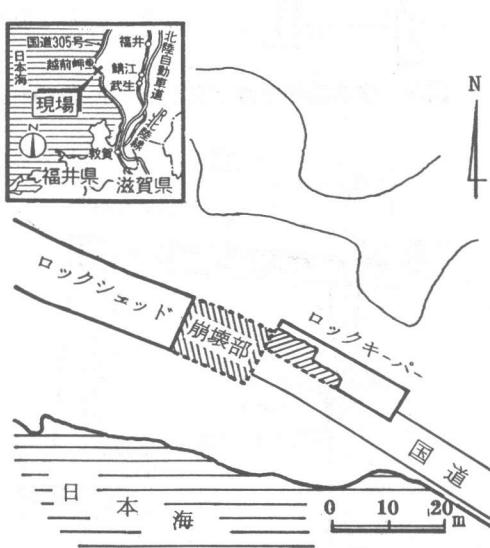


図1 事故現場の位置

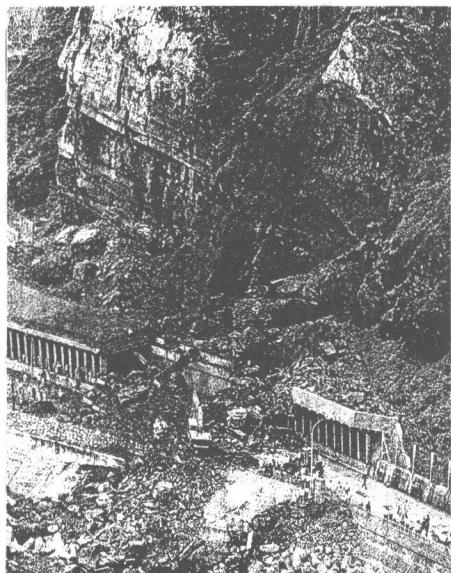


写真1 崩壊現場

### 3 ロックシェッドの構造と崩壊状況

当該道路灾害防除工事の工期は1985年9月9日-1986年7月12日である。

ロックシェッドの構造の概略を図3,4に示す。

ロックシェッド上には90cm厚のサンドクッションを載せてある。設計では桁(幅1.5m)一本当たりの落石荷重として60cm立方体に相当する岩石塊が高さ40mより桁スパン中央に鉛直に落下するものとし、地震慣性力は水平震度0.18を想定している。また柱頭と桁は剛接、柱脚メナーゼと山側桁支点はピン支点を仮定している。山側擁壁及び海側受け台は長さ7.5m(桁5本分)単位の現場施工、桁及び柱はプレストレストコンクリート工場製品である。柱脚はコの字形受け台にはめ込み、隣接柱との間にはコンクリートをあと打ちしてある。なお柱脚部は受け台支壁上端の位置でメナーゼヒンジとなっている。柱と桁はPC鋼棒10本で締め付け接合してある。桁の山側端は受け台との間に10mm厚のゴム板及び鉄板を挟み、D25-2本(定着長45cm)を桁と擁壁受け台に削孔した孔に通し、孔にはセメントグラウトを充填してある(図7、図11参照)。桁は6箇所のリブ部分で横締め(SBPR 80/95-17φ7本)が施されている。説明の都合上、桁、柱に南の端から1, 2, 3...番と番号を付けておく。

コンクリートの28日圧縮強度は、柱・桁のPC部材(設計強度750kgf/cm<sup>2</sup>)では810-841kgf/cm<sup>2</sup>、山側擁壁および海側受け台の現場打ち部分(設計強度210kgf/cm<sup>2</sup>)では264-291kgf/cm<sup>2</sup>と記録されている。

ロックシェッドの崩壊状況を図5と図6に示す。5番桁は山側端より約2mの部分で破壊されているものの桁は山側受け台に残り、柱は東側に約60度傾斜していた。9, 10番架構は桁と柱が接合されたまま落下し、柱は海側受け台外側の土中に突き刺さっていた。

その他は柱頭の接合部が破壊し、膝を折ったように倒れていた(図6参照)。

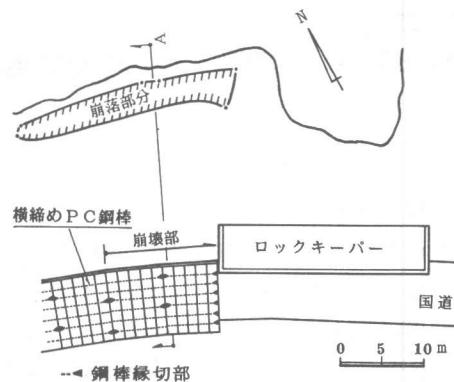


図2 崩落崖部とロックシェッド

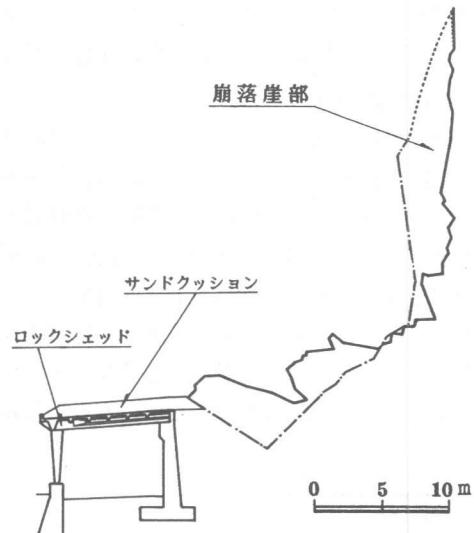


図3 崩落崖部とロックシェッド(A断面)

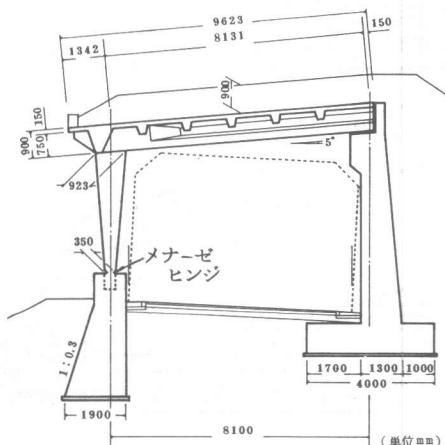


図4 ロックシェッド標準断面図

## 4 部材の損傷状況

### 4.1 山側擁壁

海側に約7-9度傾斜しており、道路側の面のひびわれは図7に示す通りである。このひびわれのパターンによると擁壁には複数回の荷重が作用したものと考えられる。7, 8番桁の位置では受台立ち上がり部が破壊しており岩石塊が直撃したものと考えられる。なお1-4番桁受け台上面にはアンカー鉄筋孔からほぼ45度方向にひびわれが生じており、アンカー部が海側に引っ張られたことを示している。この種のひびわれは6-10番桁受け台には認められず両擁壁はそれぞれ性格の異なる荷重を受けたことを示唆している。

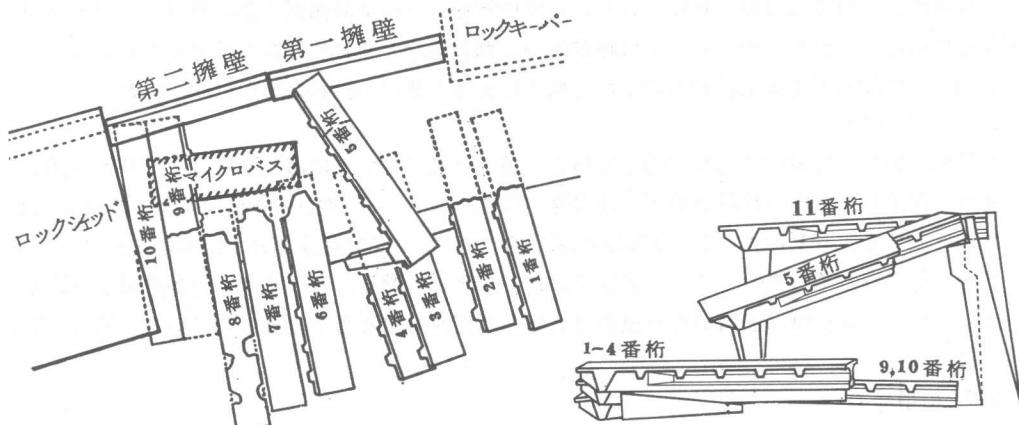


図5 崩壊後の柱・桁の位置

図6 崩壊状況

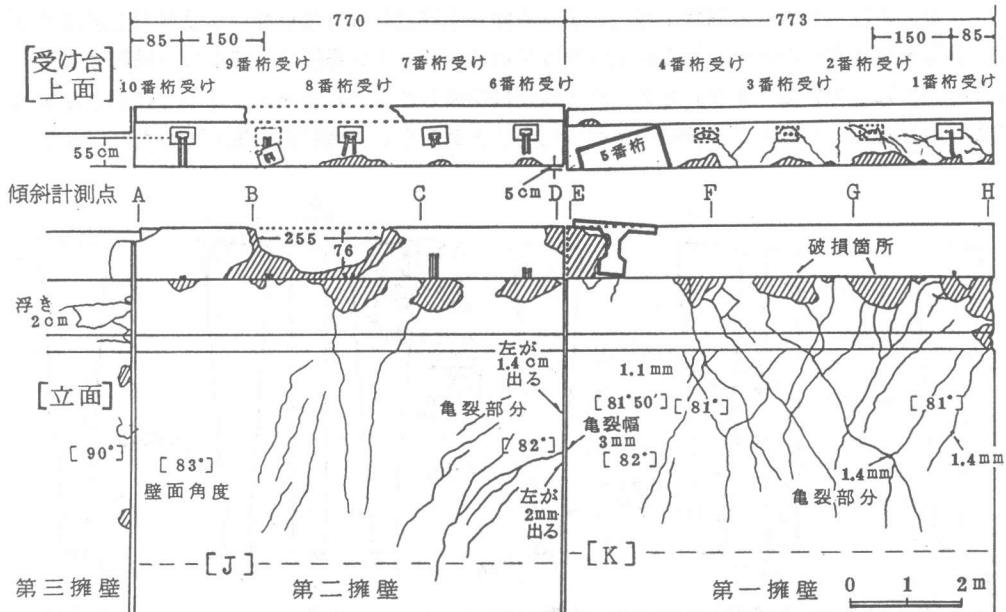


図7 山側擁壁の損傷状態

## 4.2 柄

救出作業時にコンクリートをブレーカーで破碎したり、鉄筋を溶断したり、バックホーで鋼線を引っかけ切断したりしている。破損部を調べた結果、これらの救出作業時の損傷を除くと、5番柄の他には部材耐力に影響するような破損はなかったものと判断される。

## 4.3 柱

目視調査の出来た各柱の破損状況を図8に示す。柱の海側面を主体とする曲げ応力性のひびわれは大きい曲げ応力が作用したことを示唆している。しかし折れたものはなかった。またメナーゼヒンジが柱脚に設けられていたがこの部分の破壊も認められなかった。6, 7番柱の下端では端面が欠けて受け台に残っていた。また柱脚埋め込み部海側面のかぶりコンクリートが剥落しているものがあった。これらは柱が海側に倒れ込むときに生じたものと考えられる。

なお、後になって崩落土砂岩石の中から取り片付けた柱にも折れたものはなかった。

## 4.4 海側受け台

全範囲にわたって海側支壁が折損していた。図10に示すように海側支壁は1-8番柱間では海側に倒壊し、縦方向鉄筋は曲がった状態で残存していた。すなわち柱が傾斜し支壁に主として曲げ破壊を生ぜしめたことが推測される。9, 10番柱間の中間部分では海側支壁コンクリートが一部残存していた。メナーゼヒンジはヒンジとして働くことなく、支壁が破壊したことを見ている。支壁は落石時の支点反力に対する曲げを対象として設計されていた(図10)。

## 5 接合部

### 5.1 柄横締め

横締め筋は10, 9番柱では救出作業時に溶断されていたがその他はすべて破断していた。柄が路上に落下したときに破断したのか、落下前に破断したのかは明かでないが、個々の鋼棒破断状況の照合から、8番柄と3番柄が隣接柄より海側に先行してズレたことが推定される。

### 5.2 柄と山側受け台の接合

1-4番柄ではアンカー鉄筋は1番柄の1本を除き受け台に残っていない。受け台上面にアンカー鉄筋を引きずったと思われる条痕が残っている。6-10番柄ではアンカー鉄筋はすべて受け台側に残っていた。すなわちアンカー鉄筋は切断したものは皆無で、落下した柄ではすべて抜け出したものである。付着破壊は削り孔内壁とグラウトの境界面に生じていた。なお、

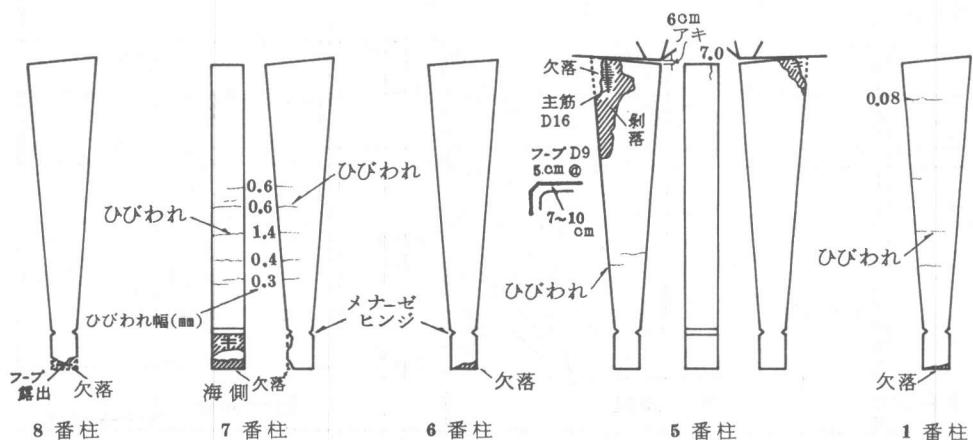


図8 柱の損傷例

孔をはつてフェノールフタレンを散布しアルカリ赤変反応を調べた結果コンクリートおよびグラウトの中性化は殆ど認められず、グラウトは十分充填されていたことが示された。

### 5.3 柄・柱の接合

柄と柱は図9に示すようにPC鋼棒(SBPR 95/110-23φ)10本で緊締してあったが、このうち1-4, 6-8番柄では5-8本、5番柄では1本が引張破断していた。海側に配置された鋼棒に破断しているものが多く、この接合部に大きい曲げが作用したことを示している。しかし柄と柱が分離したものではなく、すべて残存鋼棒で繋がっていた。

### 5.4 柱脚受け台

柱脚は単に受け台の溝に載っているだけであり、高さ調整のために鋼板が挟んである。

なお、柱脚受け台部分に柱脚底面部のコンクリートが剥がれて残っているものがあり、柱が傾斜した時に剥離破壊したことを示している。

## 6 考察

### 6.1 崩壊のメカニズム

ロックシェットの崩壊メカニズムの解明には岩石の落下状況の把握が先決である。しかし、岩石の落下状況については尚今後の検討を要する段階にある。そこで本調査によって現在までに判明したロックシェット破壊状況からその崩壊メカニズムを推定すると次の通りである。

擁壁面8位置(図7, A-H)において延べ80点の水平変位を計測したところ、上下方向においては曲がりは殆ど認められず、その傾斜(受け台面で最小60cmの横ズレ)は擁壁下部の曲げ降伏によるものと考えられるに至った。すなわち傾斜にもとづいて算定すると図7,

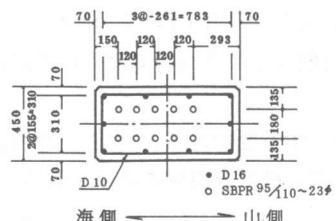


図9 柱頭接合部

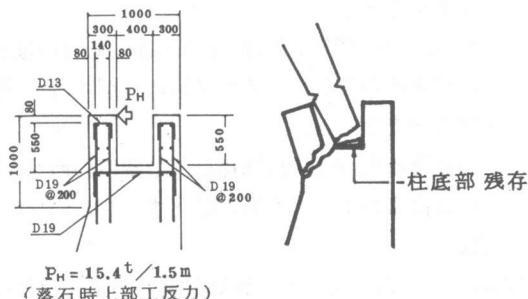


図10 受け台支壁の破壊

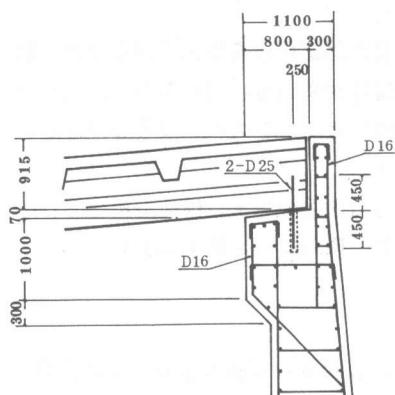


図11 山側受け台アンカー

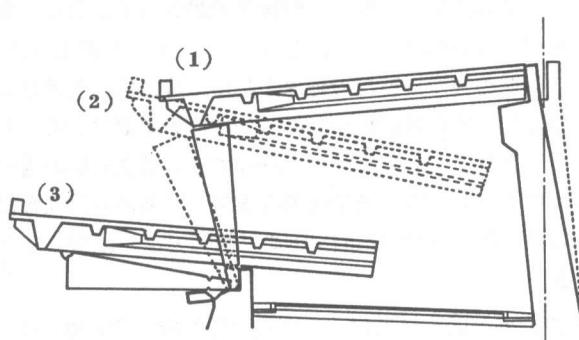


図12 崩壊メカニズム(1-4, 6-8番架構)

J, K付近の擁壁背面には水平方向ひびわれの存在が想定される。ここに擁壁は崖崩落による岩石塊の直接的衝撃あるいは”岩石なだれ”による荷重の水平方向成分によってその下部において曲げ降伏を生じ海側に傾斜した。

この擁壁頂部の水平変位により山側受け台のアンカー鉄筋は桁の浮き上がりやテコ作用により付着が破壊された（セメントグラウトの収縮を考えると削り孔内壁との付着は必ずしも確実とは言い難い）。また柱頭に大きい曲げモーメントが生じ桁柱接合部海側の緊締鋼棒が降伏あるいは破断した。これに伴う柱の傾斜は海側受け台の海側支壁を曲げ破壊せしめた（一部せん断破壊の可能性もある）。

岩石塊は8番桁付近の山側擁壁受け台背面の支壁を破壊し、8番桁の山側端を海側へ押し出し、1-4番桁では3番桁を主として1-4番桁全部に”岩石なだれ”的に水平方向の成分を持つ荷重が作用したことが推定される。そして柱は脚底部を支点として海側に倒れ桁もこれに追随したものと考えられる（図12参照）。

5番桁は、山側端より約2mの位置で破壊しているところからこの上面に岩石の直撃を受けたものと推定され、それが山側受け台に桁を押え込んだ結果、桁は落下を免れたものと考えられる。

## 6.2 設計上の問題点

本例のような崩壊落石の場合には次のような問題点があることが明かとなった。

- 1) 擁壁が傾斜すると山側受け台の桁アンカー鉄筋は付着破壊が先行し、ピン支持の仮定が成り立たなくなる場合が起こり得る。すなわちアンカー鉄筋のせん断耐力の検討だけでは不十分となる。
- 2) 柱脚メナーゼヒンジは柱の曲げ、あるいは軸力の増加により断面内圧縮応力が増大し、曲げ破壊が生じにくくなる可能性がある。柱脚受け台支壁はこの点も考慮に入れて設計する必要がある。
- 3) 山側擁壁受け台の桁端接合部は架構の崩落を防ぐ上で極めて重要である。たとえ他の部分に損傷が生じても桁が脱落することのないよう、この点を最重要視する必要がある。

## 7 結び

本報告の事故では、桁、柱は部分的損傷を受けながらもその形状を保ち部材としての力学的作用を全うしたが、他方、接合部は山側支点、柱頭および柱脚受け台支壁の3箇所で破壊し、山側桁端が受け台から脱落したというのが全般的特徴である。

構造物の設計には外力の的確な予想が基本となる。実荷重が想定荷重を超えた場合には破壊の危険性は免れない。しかしロックシェッドのように不確定要素の多い落石荷重に対しては構造部材の強度や韌性の確保と共に、特に桁が受け台よりはずれることのないような配慮が、生存空間の残存可能性を高める上で極めて重要と考えられる。

ロックシェッドの設計に当たっては、構造形態の選択、落石荷重の想定、構造解析における力学的条件の仮定、崩壊機構の想定、構造体の韌性確保など検討すべき事項が多い。本報告がその安全対策向上への一資料となれば幸いである。

## 謝辞

崖崩れに関しては福井大学三浦靜教授、荒井克彦助教授及び福井卓雄講師より種々ご意見をいただき、また事故現場の調査には福井大学脇敬一技官のご協力をいただいた。ここに感謝の意を表します。