

(28) スイスにおける落石問題の現状について

○金沢大学 榎谷 浩

1. まえがき

スイスは、面積が4万1293km³で、九州とほぼ同じ面積の小さな国であるが、国土の60%は4000m級の峰が連なる山岳地帯であるため、雪崩や落石に関して非常に厳しい環境である。日本と異なり、チューリッヒ（人口60万人）などの都市を除けば、産業および人口（650万人）は国土全体に広く分散している。また、ヨーロッパにおける人気のある観光国の一つであるため、落石、崖崩れ、雪崩から観光道路であり生活道路でもある山岳道路を護ることは非常に重要であり、各種の防護対策がなされている。これらの防護工の設計の基準となる特別な示方書は特になく、スイス工業材料研究所から出されているレポート¹⁾とスイス運輸エネルギー省の道路局から出された落石対策に関するレポート²⁾があるだけで、実際は全て各設計者の判断に委ねられているのが現状である。本論文では、スイスにおける落石災害と対策の現状に関する調査結果と今後の動向についてその概略を述べる。

2. 災害および破壊例

図1は本研究で紹介した事例の位置を示したものである。ZürichからBernまでの比較的平坦な地域を除けばほとんど落石の可能性のある地域であるといえる。

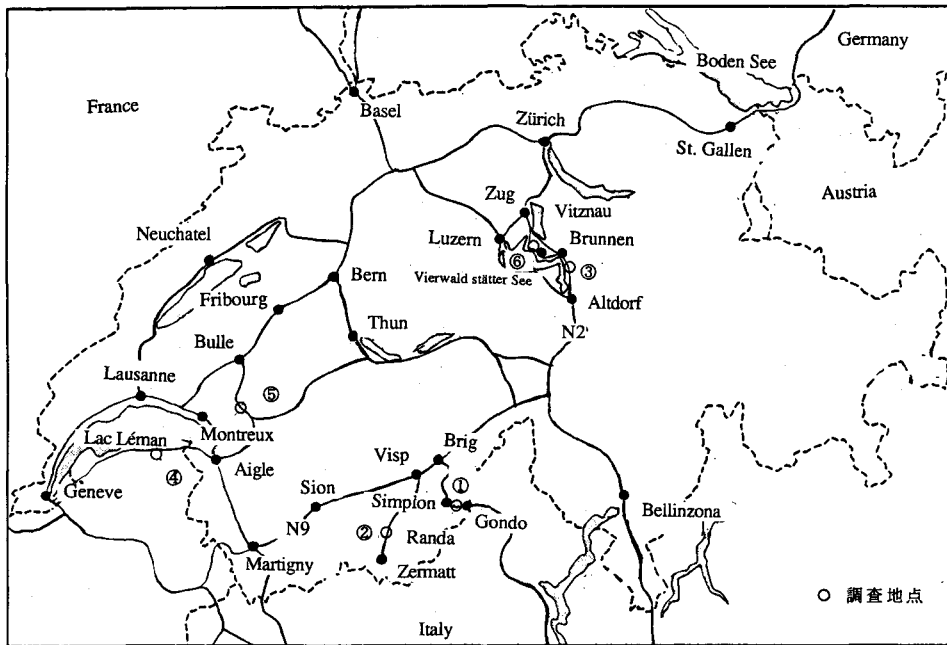


図1 スイスにおける調査地点

写真1は国道N9（LausanneからSion, Brigを通りイタリアの国境までの道路）におけるイタリア国境近く（simplon峠）のシェッドの示したものである。この地域には多くのシェッドがあるが、全て雪崩のために建設されたものである。実際には落石もよく発生し、このシェッド上への大きな落石による破壊をさけるため、岩斜面上の危険な部分の除去作業により生じた比較的小さな落石のために、10数箇所においてこのシェッド屋根部での貫通や貫入が認められた。写真2は落石がはりに上に落下したため、はりにも大きな損傷が生じ、木材によって補強したものである。現在、根本的な補強・補修方法を検討中である（図1の①）。

ZermattとBellizonaを結ぶ鉄道路線は氷河急行として知られているが、Zermatt近くのRandaの岩山崩壊を示したのが写真3である。この災害は1991年4月と5月の2度にわたって発生した³⁾。崩れた岩山（約25万m³）によりこの谷は埋まり、谷間の鉄道は2カ月間、道路は20日間不通となった。上流側はあたかもダム湖のようになりRandaの町に浸水の被害もでた。現在は崩れた岩の裾野部分を除去しそこに鉄道を建設し、道路は対岸の斜面上に建設された。しかし、依然としてこの地域近辺はどこにおいても落石に対して非常に危険な地帯であるといえる（図1の②）。

写真4は国道N2（Zürichから Zug, AltdorfそしてSt. Gottard峠を越えてイタリアにいたる道路）の四森州湖（Vierwaldstätter See）湖畔のBrunnen近くのAxenstrasse街道のロックシェッドの破壊を示したものである（図1の③）。これはこの2km程連続しているロックシェッドのBrunnen側の最初の30mの部分において、その上岩盤が非常に危険な状態にあるため、ダイナマイトにより岩盤を破壊し落下させたことにより破壊したものである。現在はその箇所は使用されずトンネルにより迂回して残りのロックシェッドがある道路と接続されている。

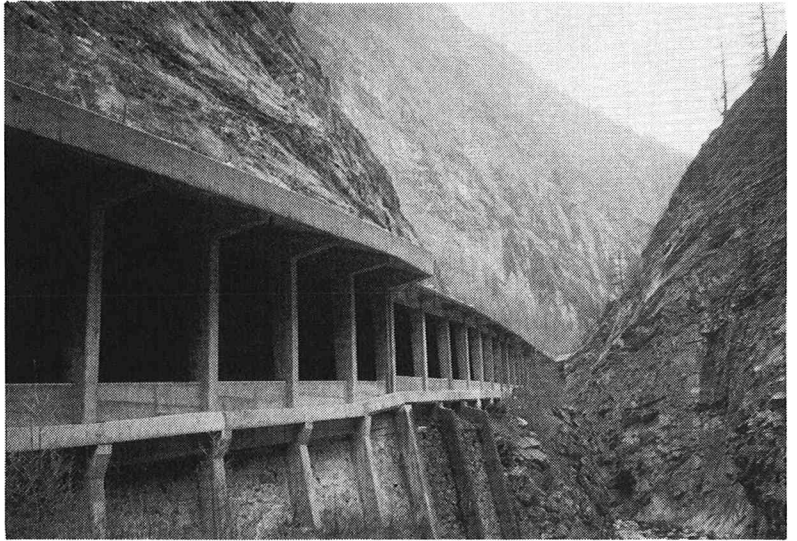


写真1 シンプロン峠のシェッド (Simplon-Gondo)

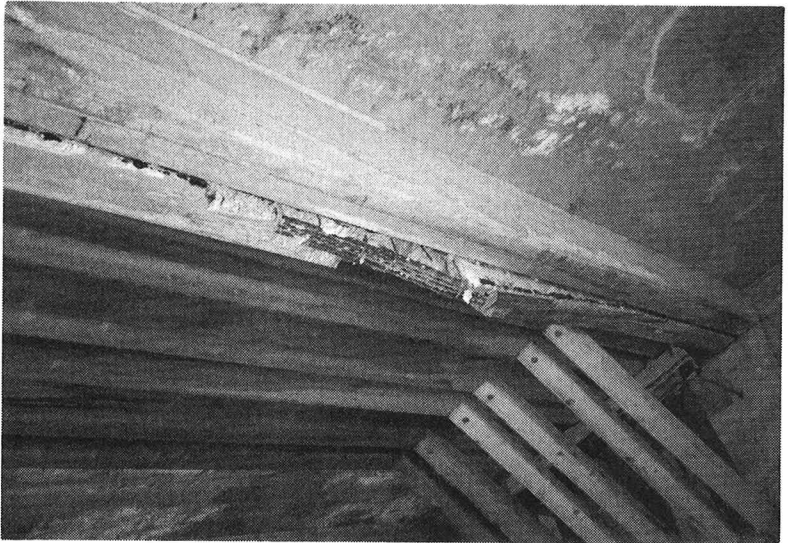


写真2 シェッドの破壊と補強 (Simplon-Gondo)

3. 落石防護対策工

落石防護対策としては、日本と同様に落石の実態をもとに主として経験的に防護対策が決定されている。防護柵、防護ネット

ト、防護壁などの斜面途中での防護対策工，斜面と道路の間に空間を設けて落石の道路への進入をさける防護ポケット工法などがある。しかし，スイスでは急な岩斜面が多くロックシェッドが必要な場合が多い。

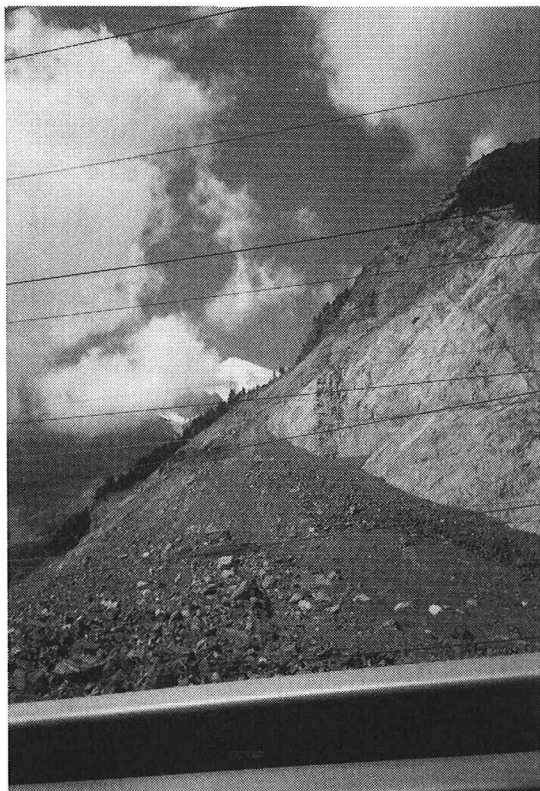


写真3 ツェルマット地方の大規模な崖崩れ (Gondo)

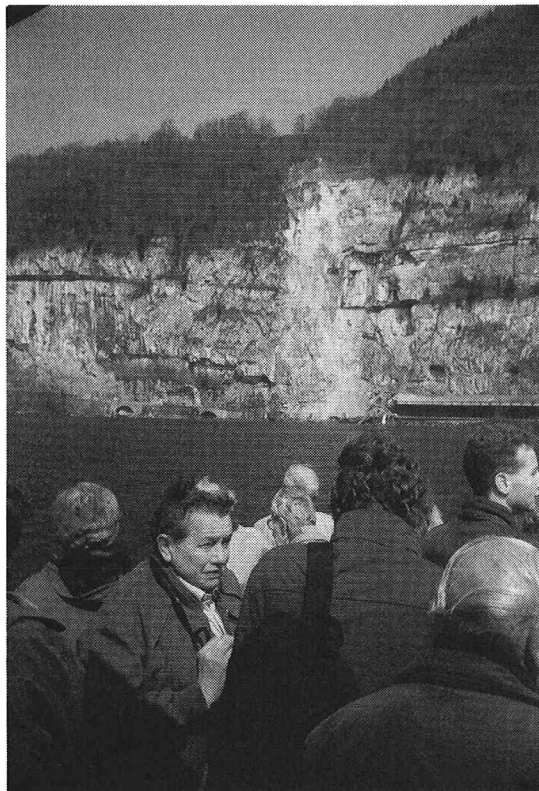


写真4 国道N2でのシェッドの破壊 (Brunnen-Altdolf)

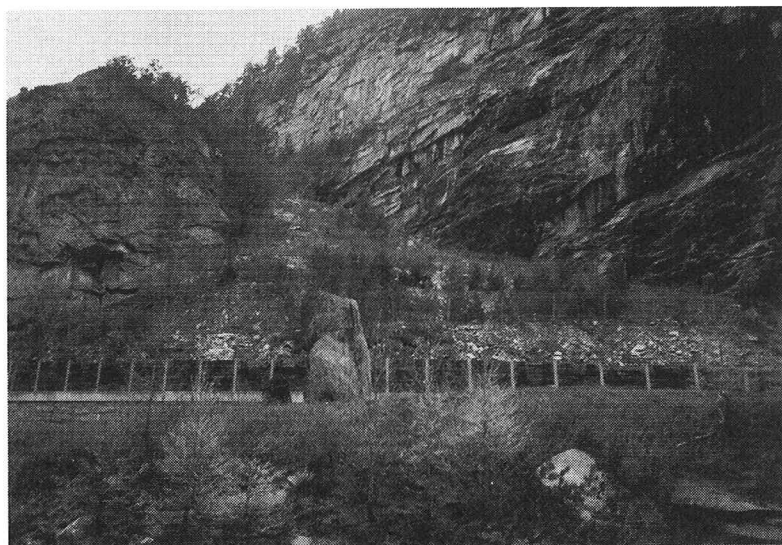


写真5 落石防護柵 (Simplon-Gondo)

写真5は、鉄製のネットを支柱で支えた防護柵と木製の防護柵を併用している例である。小さな石に対してはネットでまず防護し、さらに大きな石に対しては木製の防護柵で防護する。このような木製の防護柵は最も一般的で各所で見られる。また鉄製ネットの柵を用いる場合ネットの変形はワイヤーによりコントロールされる場合が多く、ある荷重以上になるとある摩擦力をもって変形だけが増大するようにすなわち吸収エネルギーを大きくするように工夫されている(図1の①)。



写真6 フランスの落石防護ポケット (Aigle-Evian)

写真6はフランス(レマン湖南岸, スイス国境近く国道RN5)の防護ポケット工法を示したものである(図1の④)。斜面と道路の間に空間を設け、さらに古タイヤと石材で土堤を建設し道路への落石の進入を防いでいる。



写真7 水路を兼ねたシェッド (Bulle-Montreux)

写真7と8はロックシェッドを示したものである。写真7は、降雨時には急な谷間から流出する水、土砂がその上を流れるように急勾配となっている。そのためクッション材は使用されていない(図1の⑤)。また、写真8は四森州湖の北岸のVitznau近くにあ

り、屋根は鉄筋コンクリート製であり柱は鋼管である(図1の⑥)。スイスにおけるシェッドはスノーシェッドも含め、一部プレストレストコンクリートはりを用いた非常に美しく、運転者に圧迫感を与えない片持ち形式のものが最近建設されているが、ほとんどが現場打ちの鉄筋コンクリート製である。これは、スイスは寒冷地のため凍結融解による橋梁およびシェッドの被害が多く、継ぎ目、接続部分はその弱点となるためである。

4. ロックシェッドの設計の実際と今後の動向

4. 1 落石規模の決定

まえがきでも述べたが、ロックシェッドに関する明確な示方書はなく、設計において各設計者の考えあるいは施主（スイス連邦道路局，州道路局，スイス国鉄，各町村）の考えに基づき設計されている。設計対象とする落石は，過去の落石と現在の斜面状況に関する資料がある場合それを利用して落石の重量，形状，数を調べ，頻度分布（確率分布）から落石の重量を決定する。その後斜面状況から落下高さ，あるいは落下シミュレーションを行いその落石のエネルギーを決定する^{4,5)}（図2）。詳細な資料がない場合でも大体の場合において道路管理者は経験的に落石の規模と発生位置を知っているのでそれから設計に用いる落石のエネルギーを特定する。また，ほとんど情報がない場合岩盤の専門家が斜面を調べることもある。

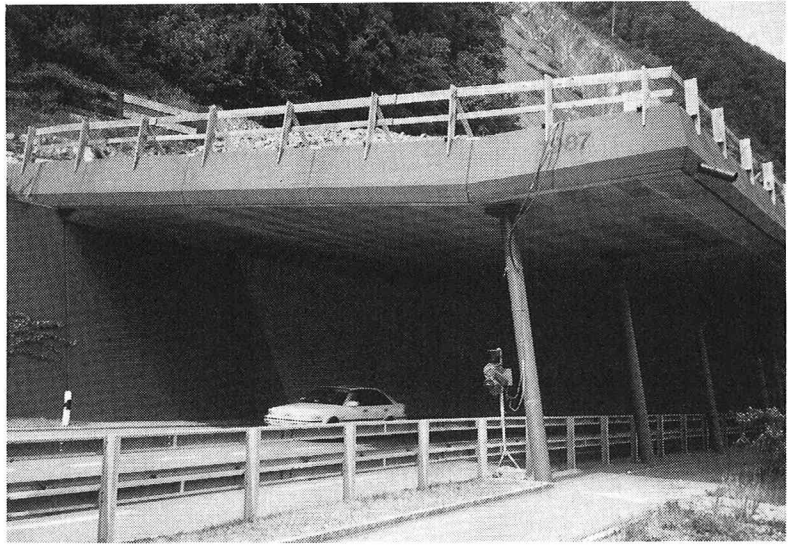


写真8 四森州湖のシェッド（Luzern-Bruppen）

4. 2 クッション材

特別な規定はないが，クッション材を用いる場合，通常ロックシェッド現場で掘削された砂，砂利，堆石（水河により運ばれた土砂）が用いられる。クッション厚は40cm程度から1m程度の厚さである。れきが含まれる場合，15cmから20cm程度以上のものはふるいにかけて除去される。土質力学的にみて一般に粒径がクッション材厚の1/10から1/5以下の場合，応力の分散性に劣り落石時のクッションの変形も局所的になると考えられている。

特別な規定がないため，クッション材が用いられない場合もあるが，20cm程度のれき性材料を用いる場合，タイヤを用いる場合，直径20cm程度の丸太を敷き並べる場合などいろいろあるようである。また，図3に示すように応力分散性を期待してジオテキスタイルを用いた3層構造も用いられている。

4. 3 落石による衝撃力の評価

ロックシェッドに作用する荷重には落石荷重以外に自重，緩衝材の自重，雪荷重，雪崩荷重，堆積土

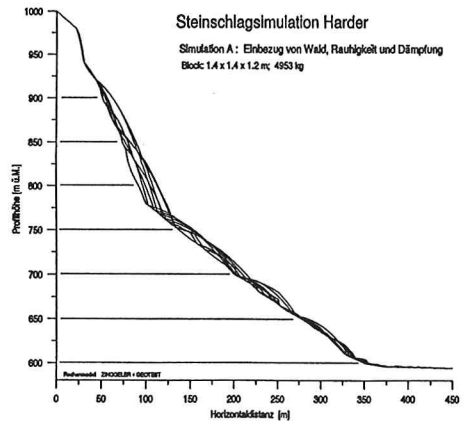


図2 落石落下シミュレーション例
（文献4より引用）

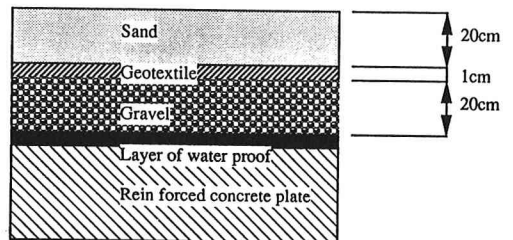


図3 3層構造のクッション

荷重、地震荷重、自動車の衝突荷重、側方からの土圧、水圧、上の凍上による圧力、基礎の変位による荷重などいろいろ考えられるが、ほとんどの荷重はスイスの工業規格160 (SIA160) ⁶⁾により荷重、荷重係数が決められている。しかし、落石による衝撃荷重に関する規定は存在しない。そのため落石荷重を極端な場合考慮しないこともあるようであるが、実際にはそれが無視できない場合がほとんどである。そのため、落石荷重としては最終的に落石の規模に合わせて屋根上に等分布荷重1~2 tonf/m²程度を考えるのが一般的である。これは文献1で行われた各種のクッション材 (アスファルト、木材など) を用いたコンクリートプレートの破壊実験を参考に、破壊は静的関係に従うといった基本的な仮定のもとにさらにいくつかの仮定を用いてエネルギー的観点から等価な等分布荷重が決定される。

しかし、表面上は設計の衝撃力評価においてクッション材の影響は全く現れず、また実際に用いられているクッション材との関係が不明であること、局所的に作用する荷重も具体的には不明であるといった問題がある。

こういった現状から、ロックシェッドとスノーシェッドの設計のためのハンドブック作成のためにスイス高速道路局を中心にワーキンググループ (Arbeitsgruppe 'Bemessung von Schutzgalerien auf Steinschlageinwirkungen') が1991年11月に設立された。その活動の一つとして衝撃力の評価に関する活動も現在行われている。

5. あとがき

本研究では、著者がスイス滞在中に調べたスイスの落石の現状と今後の動向についての概要について述べた。著者の知る限り、この落石問題について現在勢力的に取り組んでいるのは、日本とスイスであると考えている。両国においてこの分野の研究は独立して進められてきている。著者は今後さらに情報交換が続けられれば、合理的な衝撃力の評価を含んだ設計のための指針が両国において効率的に得られるのではないかと考えている。本報告がその端緒となれば幸いである。

謝辞

様々な情報を頂いた落石および雪崩防護対策に関するワーキンググループ (Arbeitsgruppe 'Bemessung von Schutzgalerien auf Steinschlageinwirkungen') の Prof. F. Descouedres, Mr. M. Donsel, Mr. C. Meuli, Dr. R. Frey, Mr. J. Jacquemoud, Mr. Cl.-A. Schmidhalter ならびに各員に深く感謝する。この研究は日本学術振興会の特定国派遣の機会によりスイス工科大学 (Lausanne) においてこの研究を行ったものであり、日本学術振興会ならびにお世話頂いたスイス工科大学の Prof. M. Hirt に深く感謝する。

参考文献

- 1) Strassenbauamt des Kantons Schwyz : Fallversuche an Elementen für Steinschlaggalerien, Eidgenössische Materialprüfungs- und Versuchsanstalt für Industrie, Bauwesen und Gewerbe, Auftrag Nr. 24040, 1966-12.
- 2) Heierli A., Merk A., Temperli A. : Schutz gegen Steinschlag (2. Auflage), Eidgenössisches Verkehrs- und Energiewirtschaftsdepartement Bundesamt für Strassenbau 1985-11.
- 3) Schmidhalter Cl.-A. : Remise en service progressive du système de transport dans la vallée de Zermatt après les éboulements à Randa, Travail de diplôme théorique de transport (Prof. Ph. Bovy), Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, 1991-8.
- 4) Geotest AG: Naturgefahren Steinschlag, Leaflet of Geotest AG, 1992.
- 5) Zimmermann Th., Rebora, B., Davalle E., Descouedres F. : A three-dimensional numerical simulation model for rockfalls, IREM Internal Report 89/1, 1989-1.
- 6) Société suisse des ingénieurs et des architectes : Actions sur les structures porteuses, SIA160, 1989.