

Analysis of rock hazards

岩盤災害の解析

評価の段階：リスク分析，リスクアセスメント

キーワード：Rockfall hazard，Rockfall Hazard Rating system，Risk Analysis

概要

落石災害は，急峻な山幹部の高速道路や鉄道にとって主要な災害である．米国では，これらの災害に対する評価法として Rockfall Hazard Rating System が用いられている．ここでは，Rockfall Hazard Rating System と本法を用いたリスク評価方法の適用事例が紹介されている．

【Rockfall Hazard Rating System】

Rockfall Hazard Rating System(RHRS)は，米国，オレゴン州，高速道路で開発され，ワシントン州，ニューメキシコ州，アイダホ州で適用されるとともに，その修正バージョンがカリフォルニア州，コロラド州およびブリティッシュコロンビア州で使用されている．

この評価法は，斜面の目視観察と簡単な計算から評価点を算出し，どの斜面が危険であるか，どの斜面が対策や詳細調査を必要とするか，を識別するために使用するものである．

この評価法は，Table1 に示すように，9つの評価項目で斜面を評価する．

(1) Slope Height (斜面の鉛直高さ)

(2) Ditch Effectiveness (溝の有効性)

以下の点を考慮する．

- ・ 斜面の高さと角度，
- ・ 溝の幅，深さ，勾配，
- ・ 斜面の表面の起状状況（崩落岩塊が飛び跳ねないか？）

(3) Average Vehicle Risk (AVR，崩落が予想される斜面の延長の直下に車両が存在する確率)

例えば，斜面延長の直下に常に1台の割合で車両が存在する場合には，100%となる．

(4) Percent of Decision Sight Distance (回避可能な見通し距離に対する実際の見通し距離)

回避可能な見通し距離は，車両の速度に依存する．例えば，時速 40mile (64km/hr) の時の回避可能な見通し距離は 600ft (180m) である．これに対して，実際の見通し距離が 90m の場合には，Percent of Decision Sight Distance は， $90/180 \times 100 = 50\%$ となる．この値が小さいほど，危険になる．

(5) Roadway Width (舗装部の道路幅．車両が回避可能な道路幅を示す．)

(6) Geologic Character (地質状況)

斜面の状況によって，2種類に区別して評価する．Case1 は，亀裂性岩盤斜面，Case2 は，浸食やオーバーハングした斜面である．両方の特性を有する場合には，両方で評価し，より悪い(大きい)評価点を

採用する .Case1 では , 「Structural Condition」と「Rock Friction」について ,Case2 では , 「Structural Conditoin」と「Difference in Erosion Rate」について評価する .

(7)Block Size or Quantity of Rockfall Per Event (崩壊時のブロックサイズまたは崩落量)

(8)Climate and Presence of Water on Slope (気候と湧水の状況)

年間降水量 20 インチ (500 mm) 以下では , 「low precipitation area (降水量の少ない地域)」 , 年降水量 50 インチ (1,250mm) 以上では , 「high precipitation area (降水量の多い地域)」となる .

(9)Rockfall History (過去の崩落履歴)

Table1 落石危険度評価システム (Rockfall Hazard Rating System)

カテゴリー		スコア				
		3	9	27	81	
斜面の高さ		7.6m(25FT)	15.3m(50FT)	22.9m(75FT)	30.5m(100FT)	
防止溝の効果		高い有効性	適度に有効	多少効果あり	全く効果なし	
車の平均リスク / 時間		25%	50%	75%	100%	
視距の確保		適切な視距 100%確保	適切な視距 80%確保	適切な視距 60%確保	適切な視距 40%確保	
道路幅 (路肩を含む)		13.2m	11.0m	8.5m	6.1m	
地質的特徴	1	構造	不連続ジョイント 順方向	不連続ジョイント ランダム	不連続ジョイント 逆方向	連続ジョイント 逆方向
		起状	粗い , 乱石層	波状起状	平面	粘土狭在
	2	構造	浸食地形は数少ない	所々に浸食地形がある	浸食地形は多い	ほとんど全体が浸食地形
		浸食速度差	小さい	速度	大きい	極端な差
ブロックサイズ イベント当り落石数量		0.3m 3個	0.6m 6個	0.9m 9個	1.2m 12個	
気候と斜面の水の影響		適度に低い降雨 , 降雪 . 斜面に水はなく凍結もない .	適度な降雨 , 降雪 . 短期間の凍結斜面上の水は断続的	降雨と降雪は多い . 長期間にわたる凍結 . 斜面上の水は常時流れる .	降雨 , 降雪は多く長い期間にわたって凍結する . 斜面状の水は常時流れている .	
落石の履歴		わずか	時々	多い	頻繁	

【高速道路におけるリスク評価】

C.M.Bunce(1994)は、Rock Hazard Rating System を用いて、カナダの粘板岩から成る高速道路斜面の崩壊を研究している。崩壊箇所の RHRS の評価点は 394 点、斜面全体では、493 点であった。RHRS では、道路管理者の予算的な事情もあるため、評価点に対する対策案の基準を示していない。ただし、評価点 300 以下では注目に値しないが、500 以上では早急な対策が必要と思われる。

斜面崩壊に起因するリスクを評価する上で、Figure 1 に示すようなイベントツリーによる確率評価が有効である。図中の例では、年間 33% の確率で雨が降り、この間、5% の確率で斜面が崩壊し、さらに、2% の確率で車両の損傷を与え、50% の確率で少なくとも 1 人が死亡する。とすると、年間の死亡事故の確率は、 1.67×10^{-4} となる。

Initiating event (annual)	Rock fall	Vehicle beneath failure	Impact significant	Annual probability of occurrence	Potential number of fatalities	Annual probability of occurrence		
rain 50%	no 80%	—————			0.317	nil		
		yes 5%	no 98%	—————			1.63×10^{-2}	nil
	yes 2%			no 50%	—————			1.67×10^{-4}
			yes 50%	—————			1.67×10^{-4}	one 50%
							two 33%	5.56×10^{-5}
							3 or more 17%	2.78×10^{-5}
annual probability of a single fatality				$= (8.33 + 5.56 + 2.78) \times 10^{-5}$		$= 1.67 \times 10^{-4}$		
annual probability of two fatalities				$= (5.56 + 2.78) \times 10^{-5}$		$= 8.34 \times 10^{-5}$		
annual probability of three or more fatalities				$= 2.78 \times 10^{-5}$		$= 2.78 \times 10^{-5}$		

Figure 1 Event tree analysis of rockfalls in the Argillite Cut in British Columbia. (After Bunce 1994)

【許容リスクとの関係】

許容リスク基準については、Whitman(1984)が最初に提案した。今日では、許容リスクについての研究は、より進んでいる。

Figure 2 は、Neilsen, Hartford と MacDonald(1994)によって示されたものである。図中の「Proposed BC Hydro Societal Risk」は、ダム の破損に対して、1000 年に 1 人の割合の死亡を示すものである。

図中でもう一つ重要な点は、「Proposed BC Hydro Individual Risk」である。この発生確率は、 10^{-4} (10,000 年で 1 人) であり、この値は、最も健康な世代 (10~14 歳) の自然死の確率を上回るべきではないという思想に基づいている。また、この発生確率 10^{-4} は、「不慮の事故」と「必然的な事故」との境界値に相当するというコンセプトが形成されつつある。

また、図中には、BC Highway99 号線の粘板岩の斜面に対する年間死亡確率（施工時と非施工時）を示した。非施工時の年間死亡確率は、 10^{-3} よりも十分小さいが、施工時のそれは 10^{-3} 程度となっている。したがって、ドライバーの不評を買うかもしれないが、施工時には、道路を閉鎖するのが賢明であろう。

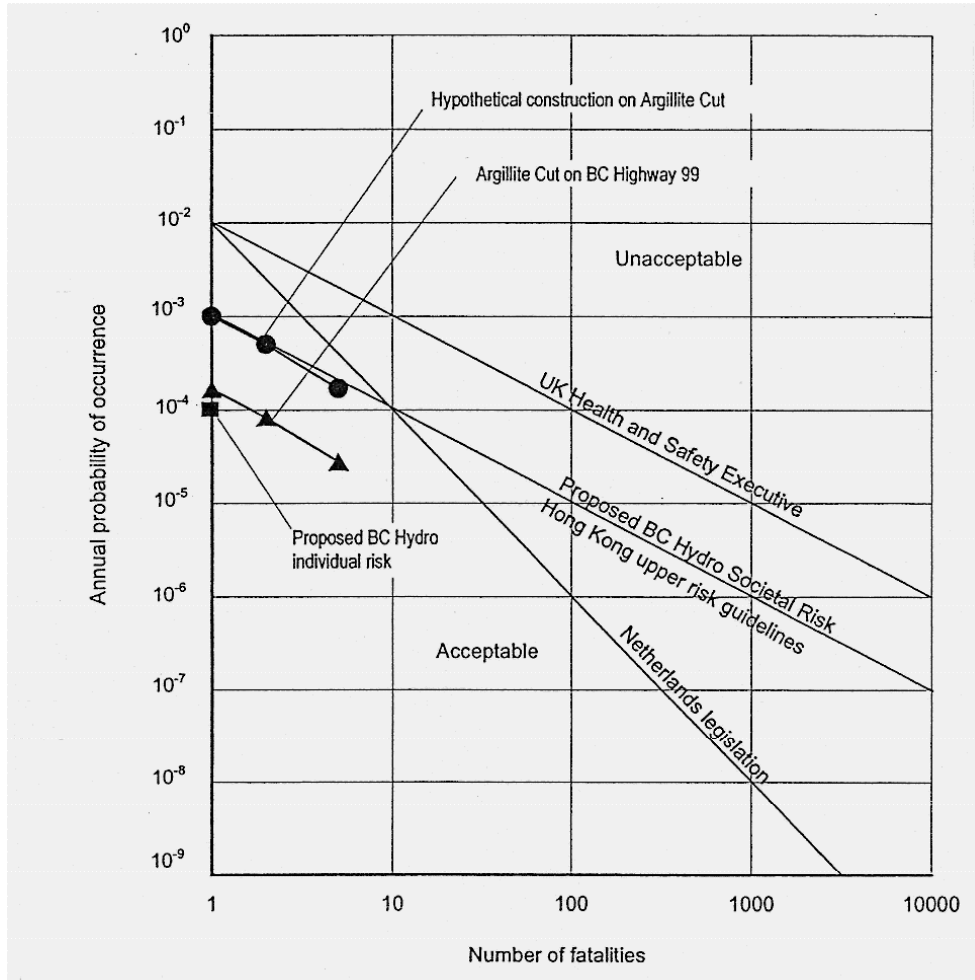


Figure 2 Comparison between risks of fatalities due to rockfalls with published and proposed acceptable risk criteria.

前述の Rockfall Hazard Rating System やイベントツリー評価法は、半ば定量的なもので、非常に未成熟な手法であるが、その評価結果は、合理的な評価を与えている。