

(株)三菱総合研究所 正会員 高橋 弘
建設省土木研究所 正会員 古賀泰之
建設省土木研究所 正会員 谷口栄一

1. はじめに

落石現象は、わが国特有の自然条件により引き起こされ、道路災害としても発生頻度の高い現象である。この災害を未然に防止し、道路交通の安全性を確保することは重要な問題であり、今後、円滑かつ効果的な落石防災対策の推進が必要とされる。それゆえ、本研究ではひとつのアプローチとして、落石災害の発生現象をモデル化し、落石発生箇所における落石防災対策のあり方を検討するため、妥当投資額推定手法の基礎的検討を行うこととした。

2. 妥当投資額推定手法

一般に落石現象は、気象、水文あるいは地形、地質等の自然条件の異常変化により引き起こされ、その変化の程度と道路沿道に設置された落石防護工の種類、規模等さらには道路利用状況により落石災害の程度が異なる。

したがって、本研究においては、①落石現象と落石災害影響のモデル化、②落石災害発生状況の確率論的展開、③落石防護工の建設コストと被害程度、並びに④落石災害（事故）コストの算定方法を検討し、建設関連コスト（ C_1 ）と影響関連コスト（ C_2 ）からなる総費用（ $C_1 + C_2$ ）の最小値から妥当投資額を推定することとした（図-1参照）。

(1) 落石発生現象と落石災害影響のモデル化

落石発生現象については、未だ解明されていない点が多々あるが、本研究では、過去の落石発生データをファイルし、次の関係式を求め、さらに時間及び地域特性の影響を考慮した補正値を入力することによりモデル化を図った。

$$y = a e^{-bx} \quad (1)$$

ここで y : 落石発生件数 x : 落石位置エネルギー (t・m)

e : 自然対数の底 a : 年間落石発生確率の補正値

次に、落石防止施設への到達、路面落下等の落石到達モデルと、落石防止施設の設計に用いる位置エネルギーと被害実情の関係から、落石防止施設の損壊に関するモデル化を図り、落石事故発生に伴う落石災害影響等を表-1のように体系づけた。

(2) 落石災害発生状況の確率論的展開

落石発生から被害に至るまでの過程は、次に示す事象の確率を与えることによって展開される。

② 落石発生関連の確率（図-2参照）

P_1 : 落石位置エネルギー別発生確率

P_2 : 落石防止施設到達確率

P_3 : 落石防止施設内残存確率

P_4 : 路面到達確率

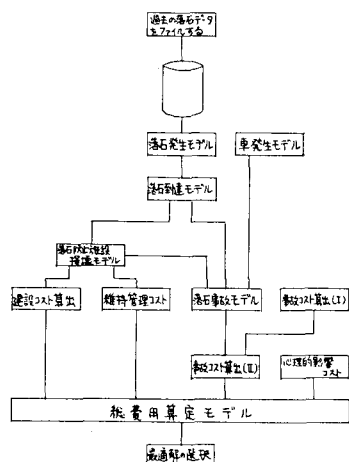


図-1 妥当投資額推定手順

表-1 落石災害による影響等

影響関連コスト (C ₂)	直接被害影響コスト (C ₂₁)	復旧等コスト (C ₂₂)	施設損壊 (C ₂₃)
			路面損壊 (C ₂₄)
			交通規制 (C ₂₅)
			車両損壊コスト (C ₂₆)
	間接被害影響コスト (C ₂₇)	走行時間コスト (C ₂₈)	
		走行（燃料）コスト (C ₂₉)	
		心理的影響コスト (C ₃₀)	
建設関連コスト (C ₁)	維持管理コスト (C ₁₀)	建設コスト (C ₁₁)	

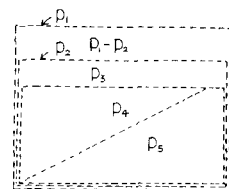


図-2 落石発生関連の確率と領域

P_5 : 道路下斜面到達確率

⑤ 車発生関連の確率 (図-3 参照)

P_6 : 車発生確率

⑥ 影響関連の確率 (図-4 参照) 図-3 車発生関連の確率と領域

P_a : 落石防止施設損壊確率

P_b : 路面損壊確率

P_c : 車輛損壊確率

この結果、影響関連は、図-5 のように示され次のようになる。

$$P_a = P_1 \times (P_4 + P_5), P_b = P_1 \times (P_4 + P_5) \times (1 - P_6) \quad (2), (3)$$

$$P_c = P_1 \times (P_4 + P_5) \times P_6 \quad (4)$$

(3) 落石防護工の建設コストと被害程度

図-5 各確率の関連と領域

対象とした落石防護工は、落石防止網、落石防止柵、落石防止壁であり、落石位置エネルギーと建設コストに
おいては、次の関係が成立する。

$$\text{落石防止網 (万円/m}^2\text{)} \quad C_{11}(E) = 0.426 e^{0.110E} \quad (5)$$

$$\text{落石防止柵 (万円/m)} \quad C_{11}(E) = 0.528 E + 1.747 \quad (6)$$

$$\text{落石防止壁 (万円/m)} \quad C_{11}(E) = 0.864 E + 6.537 \quad (7)$$

ここで、 C_{11} : 建設コスト

E : 落石位置エネルギー (t·m)

e : 自然対数の底

また、建設コストと被害程度は、これまでの事故例より、
落石防護工別に落石位置エネルギーとの関係で対応づけた。

(4) 落石災害コストの算定と妥当投資額の推定

落石災害による被害コストは、落石位置エネルギー別落石
事故の確率関数で与えられ、事故が発生した場合の総費用は
次式から求められる。また、妥当投資額はその最小値として
与えられる。

$$C \div C_1 + C_2 = C_{11} + C_{12} + C_{21} + C_{22} + C_e \quad (8)$$

ここで、 C : 総費用

C_1 : 建設関連コスト (= $C_{11} + C_{12}$)

C_2 : 影響関連コスト (= $C_{21} + C_{22} + C_e$)

C_{11} : 建設コスト

C_{12} : 維持管理コスト

C_{21} : 直接被害影響コスト (= $C_a + C_b + C_c + C_d$)

C_a : 施設損壊 (= $\pi_a \cdot Q_a$), C_b : 路面補修 (= $\pi_b \cdot Q_b$)

C_c : 交通規制 (= $\pi_{c3} \cdot Q_{c3}$), C_d : 車輛補償 (= $\pi_d \cdot Q_d$)

C_{22} : 間接被害影響コスト (= $C_{c1} + C_{c2}$)

C_{c1} : 時間費用 (= $\pi_{c1} \cdot Q_{c1}$), C_{c2} : 燃料費用 (= $\pi_{c2} \cdot Q_{c2}$)

C_e : 心理的影響コスト

さらに、上述の Q は、耐用年数(T)内の確率を示し、 P との間に、 $Q = 1 - e^{-P \cdot T}$ の関係が成立する。

これまでの検討結果を踏まえ、三種類の落石防止施設の概略試算を行うと図-6のように例示される。これは
設計水準ともいふべき落石位置エネルギーごとに、落石防止網については単位面積当りのコストで、また、落石
防止柵、落石防止壁については単位長さ当りのコストで示したものである。

3 おわりに

本研究は、フレイミナリな概略検討であるが、落石災害の確率論的展開による落石所失対策の妥当投資額の
推定においてひとつの見通しがつき、今後、多面的な研究を進めることにより手法の精緻化が可能となる。

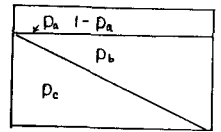
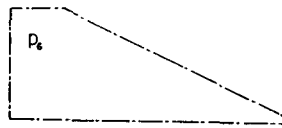


図-4 影響関連の確率と領域

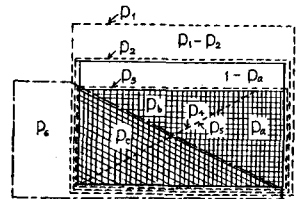


図-5 各確率の関連と領域

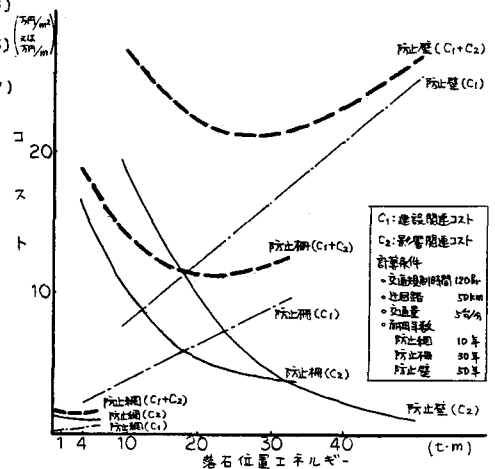


図-6 落石防止施設の費用曲線