振動を利用した転石型落石に対する定量的な健全度判定方法の技術開発

JR 西日本
神戸大学

落石は様々な要因が複雑に絡み合って発生する事象であり，**予知・予測することが困難**である．そこで，落石注意箇所の検査を定期的に行うとともに，検査結果に応じた適切な措置を講じることで，落石災害の被害を最小限に抑えるよう努力している．しかし，**落石に対する健全度判定**は，これまで現場技術者が，**目視を主体**とする検査で，自身の技量に基づいて**経験的に判断**しているのが現状である．

そこで，**「振動を利用した落石発生の危険度」**と**「落石シミュレーション等による到達確率に基づく影響度」**の**2 つの定量的な指標**から落石に対する健全度を判定する方法を提案した．提案方法は，**測定・計算の方法，判定の原理が簡便**であり，現場技術者が内容を十分に理解して実施できるように工夫している．なお，JR 西日本における落石の発生形態を調査したところ，転石型落石の件数が多数を占めていることが判明したため，本方法は主として，**転石型落石を対象**としている．

JR 西日本における落石の健全度判定【現 状】

		発生源における落石危険度の評価区分				
		aa	a	b	c	s
線路への影響度の評価区分	1	AA	A	B	C	S
	2	A	B	B	C	S
	3	B	B	C	C	S

AA：直ちに措置，A：一定期間内に措置，B：監視，C,S：問題なし

評価区分	発生源における落石危険度
aa	非常に不安定な状態で，以下の事象がみられるもの ・節理が発達 ＋大きく開口 ＋ ・割れ目から湧水がみられる ・割れ目に樹木が繁茂している ・オーバーハングしている ・割れ目が新鮮なもの ・非常に不安定な状態で停止している転石
a	不安定な状態で，以下の事象がみられるもの ・節理が発達＋ ・オーバーハングしている ・大きく開口している ・割れ目から湧水がみられる ・不安定な状態で停止している転石
b	・節理はあるが，密着しており，現状では安定しているもの ・転石はあるが，現状では安定しているもの
c	・節理がほとんどなく，安定しているもの ・転石はあるが，落石の考えられないもの
s	・上記がみられないもの

評価区分	線路への影響度
1	・対策がなされておらず，線路への影響が大であるもの ・対策がなされていても，対策の効果が十分でなく，想定される規模の落石でも線路への影響が大であるもの
2	・対策はなされていないが，落石が発生しても線路から離れていて，線路への影響が小であるもの ・対策がなされており，想定される規模の落石に対して，対策の効果はあるが，想定される規模以上の落石が発生した場合には，線路への影響が大であるもの
3	・対策はなされていないが，線路よりかなり離れており，全く影響しないと判定されるもの ・対策がなされており，対策の効果が十分であって，線路への影響が小であるもの

定性的な評価区分

新しい転石型落石の健全度判定方法

		発生源における落石危険度		
		α	β	γ
線路への影響度	Ⅰ	AA	B	C
	Ⅱ	A	B	C
	Ⅲ	B	C	C

AA:直ちに措置，A:一定期間内に措置，B:監視，C：問題なし

定量的な判定基準

発生源における落石危険度
滑動または転倒に関する安定度が，
a: 1.2未満のもの
β: 1.2以上2.0未満のもの
γ: 2.0以上のもの
→ **パネル①へ**

線路への影響度
線路への到達確率が
Ⅰ: 15%以上である場合
Ⅱ: 5%以上15%未満である場合
Ⅲ: 5%未満である場合
→ **パネル②へ**

※全般検査は目視を主体とする現行の方法で，提案方法は詳細調査として個別・随時検査で活用．

パネル ①

① 振動計測に基づく落石危険度判定フロー

斜面における転石の外観調査（図①−1）
・転石露出部分の寸法測定
a ：斜面走向方向の幅 (m)
b ：斜面傾斜方向の長さ (m)
h_0：斜面直角方向の露出高さ (m)
θ ：転石周りの斜面の傾斜角 (度)

転石の振動計測（図①−2）
・加速度計の設置
・ハンマー打撃
X 方向：斜面走向方向
Y 方向：斜面傾斜方向
・振動計測
・FFT(高速フーリエ変換)による固有振動数の算定

転石の根入れ深さの推定（図①−3）
【推定の原理】
根入れのある転石 A の固有振動数 f_A と根入れをゼロとみなした転石 B の解析的に求められる固有振動数 f_B の差が，根入れの違いに起因するとした考え方

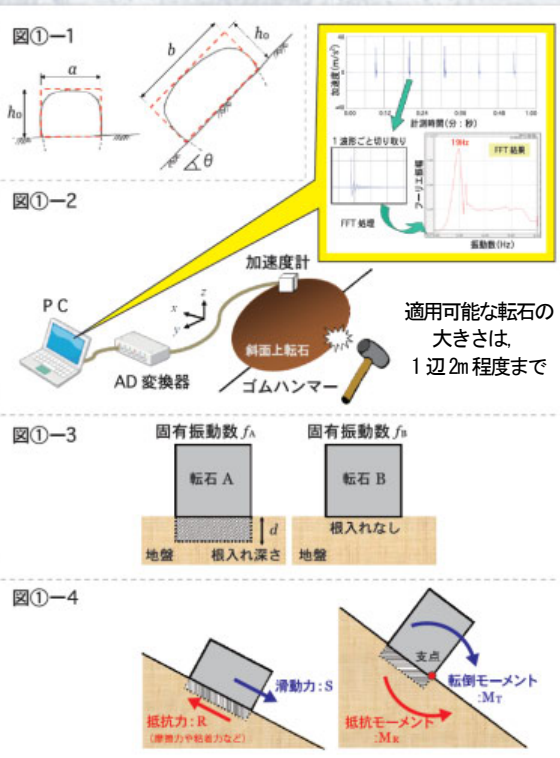
根入れ深さの推定式

$$d = 0.396\frac{f_A}{f_B} - 0.394$$

d：根入れ深さの推定長(m)
f_A：転石の実測固有振動数(Hz)
f_B：転石(露出部分)を根入れ深さゼロとみなした場合の固有振動数(Hz)

斜面における転石の安定計算（図①−4）
落石を，滑動タイプと転倒タイプにモデル化し，それぞれの斜面における力学的安定度を算定することにより，落石危険度を定量化
転石の安定度
＝R/S (滑動) または M_R/M_T (転倒)

振動計測に基づく落石危険度判定
滑動または転倒に対する安定度が
α：1.2 未満のもの
β：1.2 以上，2.0 未満のもの
γ：2.0 以上のもの



判定時間；約 10 分/1 転石あたり（機器取り付けから）

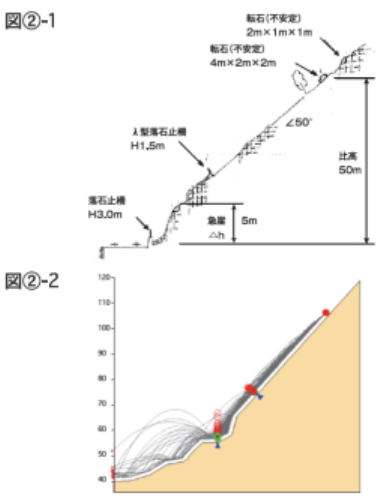
パネル ②

②到達確率に基づく線路への影響度評価フロー

斜面における転石の外観調査（図②−1）
・露出部分の寸法測定
a, b, h_0, d：パネル①と同様
・斜面調査
θ：平均斜面勾配
急崖の有無，斜面中の位置とその数

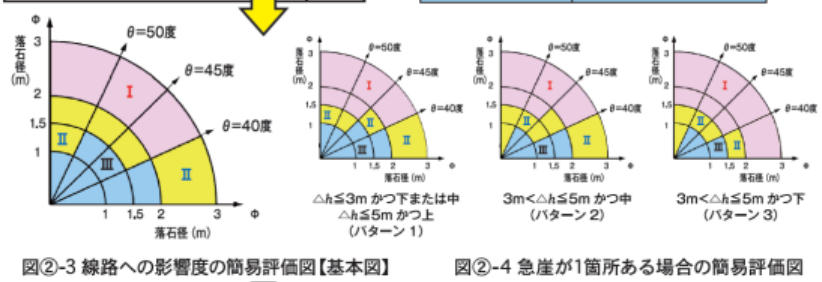
斜面のモデル化（図②−2）
・DEM(数値標高データ)の活用
・斜面パラメータの設定
・落石径(φ)の仮定

到達確率の算定（図②−2，表②−1）
・落石シミュレーションによる方法
・簡易評価図による方法
落石径と平均斜面勾配から影響度を算定(簡易評価図(基本図))（図②−3）
また斜面途中に急崖がある場合は，その急崖の高さ，数，位置に応じて3つのパターンの簡易評価図となる。（図②−4）



表②-1 線路への影響度の評価区分

線路の影響度	落石シミュレーションによる線路への到達確率
Ⅰ：(大いにある)	15%以上
Ⅱ：(ある)	5%以上,15%未満
Ⅲ：(ほとんどない)	5%未満



図②-3 線路への影響度の簡易評価図【基本図】　図②-4 急崖が1箇所ある場合の簡易評価図

到達確率に基づく線路への影響度評価
線路への到達確率が
Ⅰ：15% 以上である場合
Ⅱ：5% 以上，15% 未満である場合
Ⅲ：5% 未満である場合

例えば
落石径φ=2.5m，平均斜面勾配が 45 度，斜面中部に高さ 4m の急崖がある場合，簡易評価図のパターン 2 から線路への影響度Ⅰ(15% 以上，大いにある)となる．

参考論文
1) 深田隆弘，橋元洋典，澁谷　啓：転石を模擬した剛体の振動特性による根入れ深さの推定方法，土木学会論文集 A2(応用力学)，Vol.68，No.2，I_337-I_344，2012.
2) 深田隆弘，谷口達彦，澁谷　啓：振動計測に基づく斜面上転石の落石危険度評価方法の提案，土木学会論文集 C(地圏工学)，Vol.69，No.1，pp.140-151，2013..
3) 深田隆弘，森　泰樹，澁谷　啓：線路への影響評価に基づく落石リスクマップの作成手法，土木学会論文集 C(地圏工学)，Vol.68，No.1，pp.199-212，2012.