

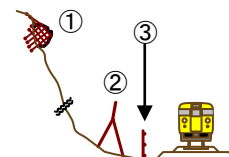
自然斜面上の転石に対する不安定性評価手法の検証

西日本旅客鉄道(株)	正会員	○小栗 太一
西日本旅客鉄道(株)	正会員	紙田 茂
西日本旅客鉄道(株)	正会員	深田 隆弘
(株)レールテック		秦 哲也

1. はじめに

山間部を走る鉄道や道路は、常に落石災害のリスクを有している。JR 西日本では、図-1のように、落石に対する防護設備(①、②)や落石を検知して列車を抑止させる設備(③)を整備している。このような対策を実施した区間に対しても、定期的な検査を行い、落石に対する不安定性の高いものから優先順位をつけてさらなる安全安定輸送確保のための措置を実施する必要があると考えている。これまで落石発生源対策の優先順位の決定は、目視を主とした落石の判定手法¹⁾(以下、目視検査という)が主流であった。

近年、固有振動数を測定して不安定性を評価する定量的な手法(振動計測に基づく転石の危険度判定方法)²⁾(以下、本手法という)が提案されている。本稿では自然斜面上の転石に本手法を適用し、その有効性について検証したうえで、本手法適用時の留意点について考察した。以下にその内容について述べる。



① 落石予防工
(発生源対策)

② 落石防護工

③ 落石検知線

図-1 防護設備等

2. 目視検査における課題

現行の目視検査では数項目の指標に基づき転石(2次的に斜面に留まっている岩塊)の不安定性評価を行っているが、定性的であるため数多く存在する転石の対策優先順位の決定が課題になっている。特に不安定性の評価に最も影響がある根入深さについては目視検査では判断することができないことから、根入に対する定量的な評価を行ったうえで対策優先順位を合理的に定める必要がある。

3. 振動計測に基づく転石危険度判定方法について

本手法は安定した転石は早く小刻みに揺れ、不安定な転石はゆっくり大きく揺れるという振動特性に着目している。具体的には、斜面上の転石に小型の加速度計を取付け、ゴムハンマーで斜面走向方向(x)、斜面傾斜方向(y)に衝撃をあたえ、計測された振動波形をフーリエ変換することで、転石の固有振動数を算定し、下記に示す式²⁾(1)、(2)から平均根入深さ $\bar{d}$ を算定する。本手法は根入深さの確認に掘削調査を必要としない点が特徴である。

$$d = 0.396 \frac{f}{f_0^*} - 0.394 \quad (1)$$

$$\bar{d} = \frac{d_x + d_y}{2} \quad (2)$$

d : 根入深さ算定長(m)

f_0^* : 転石を根入深さゼロとみなした場合の固有振動数(Hz)

f : 転石の実測固有振動数(Hz)

d_x : x方向打撃の固有振動数から算定される根入深さ(m)

$\bar{d}$: 平均根入深さ(m)

d_y : y方向打撃の固有振動数から算定される根入深さ(m)

4. 自然斜面における転石の振動計測調査

4.1 調査対象

本手法を適用するにあたり、斜面勾配が40度程度の斜面で行った目視検査による落石判定¹⁾で、不安定性aまたはbと判定した転石を調査対象とした。また算定される平均根入深さの精度を確認するため掘削調査が可能な転石も対象とすることとした。

連絡先 〒700-0024 岡山県岡山市駅元町 1-3 西日本旅客鉄道(株)岡山土木技術センター 小栗太一 TEL086-223-0180

4.2 調査結果

調査結果について以下に述べる.

(1) 振動計測による試験結果

本手法を実施した転石のうち目視検査において、不安定と判断した転石(写真-1)は、76cmの根入があると算定され、全体像から1/3程度地中に埋まっていることが推定される(箇所1). 他の箇所でも算定された平均根入深さから転石の全体像が推定でき、これに基づき優先順位を表-1のように判定した. このように目視検査に加えて本手法を用いることにより定量的な判断基準とできる可能性がある.

(2) 調査結果

算定された平均根入深さおよび優先順位の精度を確認するため、箇所1~2、5~9の掘削調査を行った. 掘削調査の結果を表-1に示す. また、掘削調査状況の一例を写真-2に示す. 今回の調査対象に限れば、算定値から2割程度差し引くことで実測値と概ね一致する(表-1). 箇所9については後述する.

箇所3、4では不安定な転石として調査を実施したが、大きな固有振動数が計測された. 岩塊の一部が露出している可能性がある. 目視検査の判定とは異なり、十分な根入があり安定していると推定できる. 根入深さを考慮することにより優先順位の見直しを行うことが可能となる.

箇所9では平均根入深さの算定値が53cmであったが、掘削調査の結果転石が重なっており実測値と大きな差が発生した(写真-3). 2つの転石を1つの転石として算定したものと推定される. 箇所10では計測される波形が安定しなかった. これは複数の転石や樹木等が絡み合っている場合は衝撃が一様に伝わらず、算定値が安定しなかったものと推定できる(写真-4).

箇所11では精度確認のため目視検査において根入がないと判定した転石で調査を実施したところ、平均根入深さが75cmと算定された. 転石の表面に風化が見られたため、風化部分を叩き落した後(写真5)に再測定した結果、平均根入深さは50cmとなった(箇所11'). このことから表面の風化が調査結果に影響を与えている可能性がある.

5. まとめ

今回の調査結果より、目視検査で不安定と判断された転石に対し、本手法により根入を定量的に評価することで定量的な判断基準に比べてより適切に優先順位をつけることが可能と考えられる. 一方で、本手法を適用する際の注意点は次のとおりである. ①掘削調査を必要とせず、平均根入深さを算定することが可能である. ②複数の転石や樹木等が絡み合っている転石および表面風化が進んでいる転石の場合は本手法の適用に十分な注意が必要である.

参考文献

1) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等維持管理標準・同解説(構造物編)土構造(盛土・切土)付属資料10「岩石斜面の安定性評価手法」, 2007. 1.
2) 深田隆弘, 谷口達彦, 澁谷 啓：振動計測に基づく斜面上の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. 68, No. 1, pp. 199-212, 2013. 3.

表-1 調査結果

箇 所	外形寸法(m)			固有振動数		目視 検査 (注3)	目視後 優先 順位	根入算定値	根入実測値	差	調査後 優先 順位	根入比
								(平均・m)	(平均・m)	(m)		
	高	幅	奥	fx	fy							
1	1.8	1.5	1.0	26.5	17.5	a	1	0.76	0.65	+0.21	2	85
2	1.5	0.7	1.1	32.5	19.5	a	2	0.68	0.50	+0.13	1	73
3	2.0	1.6	1.2	395.0	345.5	a	4	(注4)	-	-	8	-
4	2.2	2.0	0.6	273.5	326.5	a	3		-	-	7	-
5	0.4	0.8	0.5	15.5	16.5	b	10		0 (注1)	0.10	-0.10	(注5)
6	0.3	0.3	0.2	34.5	30.5	b	11	0 (注1)	0.05	-0.05	-	
7	0.7	0.8	0.6	32.5	48.0	b	8	0.86	0.80	+0.06	5	93
8	0.6	0.7	0.7	27.0	30.0	b	6	0.63	0.50	+0.13	4	79
9	0.8	0.8	0.6	30.0	28.5	b	7	0.53	0.20	+0.33	(注5)	37
10	1.0	0.8	1.2	32.0	50.5	b	9	1.44	-	-		6
11	0.2	0.3	0.6	20.5	25.0	b	-	0.75	-	-	-	-
11'	0.2	0.3	0.6	21.0	13.0	b	5	0.50	-	-	3	-

(注1) 根入深さがマイナスとなる場合は、根入深さを0とする
(注2) 転石の単位堆積重量は26kN/m³, セン断抵抗角は30°とする
(注3) 目視検査はc, b, aの順に不安定度が増すものとする
(注4) 箇所3, 4は固有振動数から安定(露岩)と考えられる
(注5) 調査後に転石の撤去を実施済



写真-1 不安定転石(箇所1)



写真-2 掘削調査(箇所7)



写真-3 調査困難(箇所9)



写真-4 調査困難(箇所10)



写真-5 叩き落し後
(箇所11)