

123 鳥取県西部地震の落石崩壊の特徴

○(株) 荒谷建設コンサルタント 山下 祐一
 (株) 荒谷建設コンサルタント 岡山 恭知
 (株) 荒谷建設コンサルタント 多賀谷 宏

1. はじめに

平成12年10月6日午後1時30分頃、中国地方を中心に近畿、四国、九州地方等の広い範囲で地震が発生し、マグニチュードは7.3と推定された。この地震により多数の斜面崩壊が発生した。このうち落石について移動状況や到達距離等の実態を明らかにするとともに、シミュレーション解析により落石の特徴を検討し、さらに落石対策工の効果を検証することを目的とする。

2. 鳥取県日野郡溝口町中祖の落石

2.1 落石状況

落石は花崗岩の上にキャップロック状に分布している玄武岩が幅15m、長さ15mにわたって崩壊(勾配 67°)し、多数の岩塊が斜面をころがり落下した(写真-1参照)。斜面の形状は、崩壊部が 67° 位と急崖状を示し、玄武岩の下の花崗岩斜面は 43° と急な斜面が45m続き、さらにその下は 29° のゆるやかな斜面が50m、それから道路平坦面まで 45° の勾配で15mの斜面長があった。

玄武岩直下の花崗岩の斜面(43°)では、落石により表層が削り取られ、風化花崗岩が露出している。この斜面では、落石は全て下へ落下している。

その下の斜面(29°)になると、多数の岩塊は地形の影響で左右に分かれて落下した。その分散角度は 45° 前後と推定される。この斜面では表層は削られず、表層の上を岩塊が転がるとともに、倒れた樹木もここで止まり、岩塊の一部も停止している。この斜面では倒れた樹木がそれほど多くなく、樹木による岩塊への抵抗の影響は小さかったものと推定される。

崩壊した岩塊は大部分が最下部の斜面(45°)を転がり道路の停車帯から道路を横断するまで最大30mの間に岩塊が停止した。岩塊は角ばったものが多く、落下してきた岩塊は径2~3mのものが20個程度、径1~2mが30個程度、径1m以下が多数認められた。落石後の写真-2によると、斜面の下から約15mの間に多くの岩塊が停止しており、道路にはその痕跡がいたるところに確認された。

2.2 落石のシミュレーション解析

溝口町のような多数の岩塊が斜面を落下する経過を検証するために、シミュレーション解析を行った。解析方法はDEM(個別要素法)を用いて行った。DEM解析ソフトは、市販のソフトブレン社の2D-Blockを使用した。

落石のシミュレーションに使用する常数等は表-1のように設定した。

解析結果は図-1に示すとおりである。5つの岩塊を落下させた結果、1つが斜面(29°)で止まり、あと4つは道路まで落下し、およそ斜面から15m前後位までに停止した。この結果は、実際の落石停止結果とよく似た形状を示しており、実際の落石軌跡をシミュレーション解析によりある程度説明できる。

3. 鳥取県日野郡日野町小河内の落石

3.1 落石状況

崩壊は道路から33m高いオーバーハング地形を示すところの岩塊が、地震動により剥がれる様に発生した(写真-3参照)。斜面の形状は、急崖状を呈し、平均 45° 位の斜面勾配を示し、落石はそのまま道路の防護柵に衝突した。岩塊の形状は $2.5 \times 1.8 \times 1.6$ mである。

落石防止擁壁は幅1mのコンクリート水路の上に設置されていた。落石防止擁壁の長さは6mである。

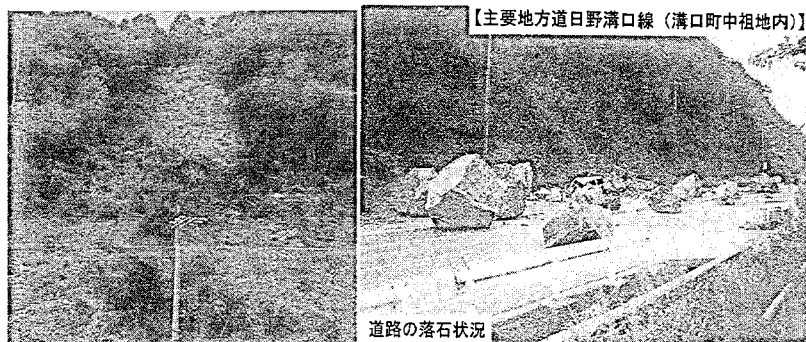


写真-1 溝口町中祖の落石発生・落下部全景

写真-2 落石の氾濫・到達範囲状況
 到達距離は斜面直下より最大30m、大部分は15m位までに停止する。(鳥取県写真)

表-1 落石解析常数表

	落石のパラメータ	採用値
落石形状	落石の大きさ	$2.5 \times 2.0^{\circ}$
	形状	四角
	落石高さ	83m
斜面地山・落石の地盤定数	比重: r	2.6
	角~辺の接触関係	
	法線剛性: Kn	1.0×10^9 N/m
	せん断剛性: Ks	1.0×10^9 N/m
	摩擦角: ϕ	40°
	せん断強度: C	0
	辺~辺の接触関係	
	法線剛性: JK n	1.0×10^{10} N/m ²
	せん断剛性: JK s	1.0×10^{10} N/m ²
	摩擦角: ϕ	40°
せん断強度: C	0	
の計算時	解析時時間ステップ	50×10^{-5} s
	減衰	
	質量減衰比率係数: α	0~0.10
剛性減衰比率係数: β	$3 \times 10^{-3} \sim 1 \times 10^{-2}$	

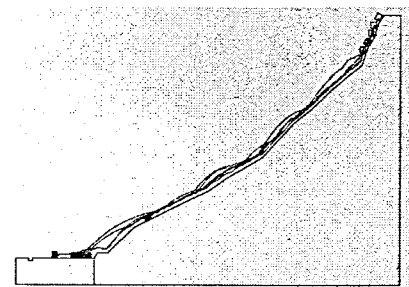


図-1 溝口町の落石軌跡図

岩塊はこの落石防止擁壁の中央0.1mのH鋼部に直接衝突し、H鋼を大きく曲げると共に、両端のH鋼もその衝撃により曲がり、さらに水路のコンクリートと落石防止擁壁側のコンクリートの境界で破断し、落石防止擁壁全体が道路側に倒れると共に、道路のカードレールを曲げて停止した。また、擁壁のコンクリートも2箇所破壊している(写真-4)。

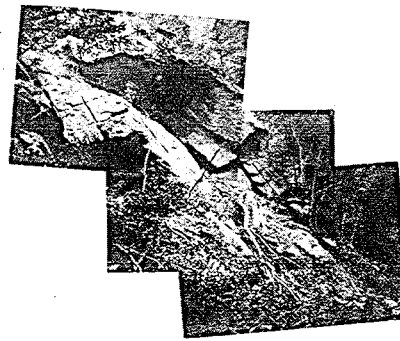


写真-3 日野町小河内の落石発生状況

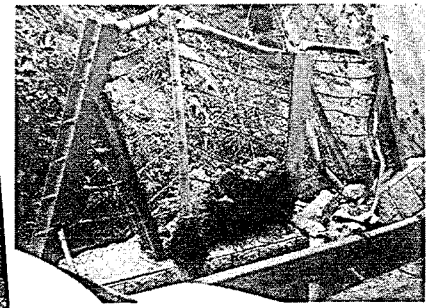


写真-4 落石防止擁壁の防護柵に直撃し、支柱の降伏、擁壁コンクリートの破壊、擁壁の転倒状況

この結果、2m以上の岩塊が落石防止擁壁に衝突しても、落石防止擁壁のH鋼の変形、コンクリートの破壊や底面のコンクリートの破断は生じたもののその程度で停止したということは、設計よりかなり衝撃力に対して抵抗力のあることが推定される。

以下、この結果を落石のシミュレーション解析等により検証する。

3.2 落石のシミュレーション解析

前述の溝口町で解析したものと同様、DEM(個別要素法)による解析を行った。落石は地震動により剥がれ落ちるように落下していることから、それを再現するよう落石を設定した。解析する上での地盤常数は、溝口町と同じものを採用した。落石形状は表-2のとおりである。

落石シミュレーションの結果は、図-3のとおりである。

この結果、道路防護擁壁への衝突速度は $V=12.85\text{m/s}$ となった。

3.3 落石防止擁壁の対策効果

3.3.1 落石の運動エネルギー

落石の全運動エネルギーは、線エネルギー(E_v)と回転エネルギー(E_r)の和で表される。

$$E = E_v (= 1/2 m V^2) + E_r (= 1/2 I \omega^2) \quad (1)$$

ここに、 E : 全運動エネルギー、 m : 質量、 I : 慣性モーメント、 ω : 落下の回転速度
既往の実験結果によると、 E_r は E_v の10%程度と見ることができ。

落下速度 $V=12.85\text{m/s}$ より、落石の運動エネルギー(E)は $E=1500\text{KJ}$ となる。

3.3.2 落石耐衝撃エネルギー

落石耐衝撃エネルギーは、1) 支柱の降伏エネルギー(E_1)、2) 擁壁の回転エネルギー(E_2)によって示されるが、その他に現地では3) コンクリート付着力破壊による吸収エネルギー(E_3)、4) コンクリート破壊による吸収エネルギーが考えられる。このうち、4)を除いて、1)~3)を算出すると次のような結果となった。

$$\begin{aligned} \text{支柱降伏エネルギー } (E_1) &= 110\text{KJ} & \text{擁壁の回転エネルギー } (E_2) &= 24\text{KJ} \\ \text{付着力破壊エネルギー } (E_3) &= 656\text{KJ} & \text{落石耐衝撃エネルギー } (E_A = E_1 + E_2 + E_3) &= 790\text{KJ} \end{aligned}$$

尚、3)のコンクリート付着力破壊による吸収エネルギーは、コンクリートの打継目の強度(コンクリートの引張強度を100%とした場合約45%の強度)として算定した。

3.3.3 落石防止擁壁の効果

落石の運動エネルギー(E)と落石防止擁壁の落石耐衝撃エネルギー(E_A)の関係は、次のようになる。

$$E = 1500\text{KJ} > E_A = 790\text{KJ}$$

落石耐衝撃エネルギーに対しては擁壁のコンクリート破壊のエネルギーが残りのエネルギーの大部分を占めていると思われるが、十分な評価を得るに至っていない。このようにコンクリートの破壊に伴う吸収エネルギーもかなり大きいことから、この事例も今後検証したいと考えている。

4. まとめ

- ①鳥取県西部地震の落石の発生、落下、到達状況等、落石の実態を整理することができた。
- ②落石の到達距離はある範囲に限定され、それはシミュレーション解析で説明できる。
- ③落石防止擁壁は設計以上の落石運動エネルギーを吸収できることがわかった。
- ④落石耐衝撃エネルギーに関しては、擁壁のコンクリートの破壊による吸収エネルギー等評価できなかったものもあり、今後事例等を検討し、検証していきたい。

参考文献

- 1) 日本道路協会: 落石対策便覧, 2000.3
- 2) 右城 猛: 急傾斜地擁壁の落石耐衝撃および耐震設計法, 1999
- 3) 土木学会論文集8号: 新旧コンクリートの打継目に関する研究

表-2 落石の形状

項目	パラメータ	採用値
落石形状	落石の大きさ	2.5m×1.8m
	形状	四角
	落石高さ	32m

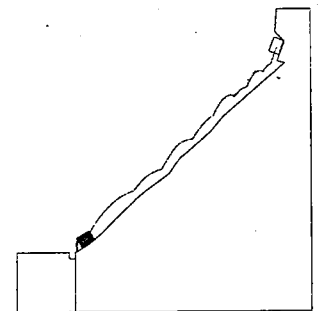


図-3 日野町の落石軌跡