

国道 186 号の落石とシミュレーション解析

(株) 荒谷建設コンサルタント 正会員 ○岡本 晋
 (株) 荒谷建設コンサルタント 多賀谷 宏
 (株) 荒谷建設コンサルタント 佐藤 義宏
 (株) 荒谷建設コンサルタント 熊本 隆司

1. はじめに

平成 18 年 6 月 26 日、広島県大竹市小方町で落石があり、落石は国道 186 号の弥栄 3 号トンネルと弥栄 4 号トンネルの間の道路面に落下した。大規模な落石にもかかわらず幸い人的被害はなかったが、通行車両があれば大惨事となるところであった。ここでは、落石の状況および発生原因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証し、対策工として洞門工の設計を実施したので報告する。

なお、本洞門工の設計は広島県からの委託業務である。

2. 落石の状況と発生原因

2.1 落石の状況

平成 18 年 6 月 26 日午後 6 時ごろ、広島県大竹市小方町の国道 186 号で落石があった(写真-1)。現場は弥栄ダムの上流約 4km の箇所であり、小瀬川左岸を国道 186 号が並行している箇所である。現場は弥栄 1 号トンネルから弥栄 5 号トンネルまでトンネルが 5 箇所連担している区間であり、落石は弥栄 3 号トンネルの 4 号トンネル側坑口部の東側斜面より発生し、国道 186 号を 33m ほど覆った(写真-2)。国道に達した落石の大きさは、最大級のもので直径 3m 程度、重量は 10t 程度であった。

2.2 発生原因の推定

大竹市のアメダスデータによると、落石発生当時は、25 日早朝から 26 日正午にかけて合計 147mm の降雨があり(図-1)、時間最大雨量は 18mm を記録した。また、6 月 12 日に発生した大分県西部地震(M6.2)により大竹市小方町において震度 4 を観測している。

落石発生源は、道路面より約 70m 上方にある傾斜約 70 度の露岩部分であった(写真-3)。発生源の斜面には 72m³ 程度の崩落跡が存在し、この部分の岩塊(全重量 200t 程度)が剥離し落下したものと推測される。なお、落石発生源から国道までの比高差(落石高さ)は約 70m であった。

落石は、直前の降雨および大分県西部地震を誘因として、雨水の浸透による岩盤の緩みと亀裂の進行、長年にわたる岩盤の風化等により発生したものと考えられる。



写真-1 落石状況 (広島県写真)



写真-2 道路面の落石状況 (広島県写真)

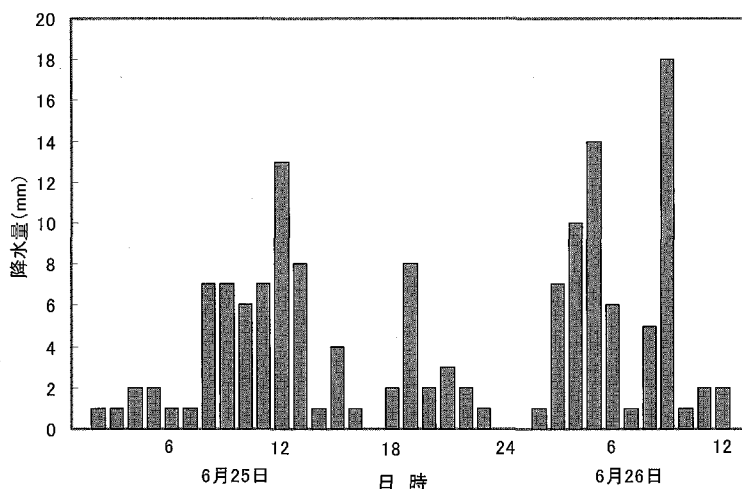


図-1 降雨状況 (大竹市アメダスデータ)

3. 落石シミュレーション解析

落石対策便覧によると落石による衝撃力は落石質量と落下高さにより決定されるが、落石の形状や状況を忠実に反映させることができない。したがって、より精度の高い衝撃力を算出するために落石シミュレーション解析を行った。解析方法は個別要素法（DEM）とし、解析ソフトは2D-Block（地層科学研究所）を使用した。なお、落石シミュレーションに使用する定数等は、現地状況と過去の実績を踏まえ、表-1のように設定した。

斜面上に残存する不安定な岩塊および浮石の中から現地対策を行うものを除き、洞門工にて負担する対象石を決定した。解析に使用した落石の形状は、2.0m×2.0mの四角形とした。なお本解析では、落石の落下軌跡、速度等を算出し、衝撃力に換算した。落石シミュレーション解析を用いて算出した衝撃力は、落石対策便覧により求めた衝撃力の約62%となった。

解析結果は図-2に示すとおりである。

4. 洞門工設計について

斜面上に残存する不安定な岩塊および浮石のうち、落石エネルギーが16,000kJ以上のものについては洞門工では対応不可能であり、落石エネルギーが16,000kJ以下のものについては洞門工で対応し、それ以上のものは根固工や岩接着工等の現地対策工で対応するものとした。

洞門工は、経済性、施工性、視認性を考慮し、PC構造の逆L型タイプとした（図-3）。また上部構造はPC合成床版構造とした。緩衝材はサンドクッションおよびEPS（t=2.5m）を設置し、上部構造に作用する衝撃力を約50%に低減させた。

洞門工設置範囲は、現地の地形および解析結果を基に落石範囲を想定し、弥栄3号トンネル坑口よりL=17mの区間とした。

5. まとめ

- 1) 本落石は、直前の降雨と地震を誘因として、岩盤の風化および降雨による岩盤の緩みと亀裂の進行により発生したと考えられる。斜面の安定度評価には、直前の降雨と地震動に留意する必要がある。
- 2) 個別要素法による落石シミュレーション解析により、落石の形状や状況を忠実に反映させることができ、より現実的な落石衝撃力を算出することができた。
- 3) 洞門工は、逆L型PCロックシェッドとし、緩衝材（EPS）を設置することにより衝撃力を低減した。
- 4) 今後は、解析データ数を増やしデータを蓄積することにより、解析定数を吟味しより精度の高い解析を実施したい。



写真-3 東側斜面の状況（広島県写真）

表-1 解析に使用した定数

落石のパラメータ		採用値
落石形状	落石の大きさ	2.0m×2.0m
	形状	四角
斜面地山と落石の地盤定数	落石高さ	62.0m
	石の比重 : γ	2.6
	角～辺の接触関係	
	法線剛性 : K_n	$1.0 \times 10^9 \text{ N/m}$
	せん断剛性 : K_s	$1.0 \times 10^9 \text{ N/m}$
	摩擦角 : ϕ	40°
	せん断強度 : C	0
	辺～辺の関係	
	法線剛性 : K_n	$1.0 \times 10^{10} \text{ N/m}$
	せん断剛性 : K_s	$1.0 \times 10^{10} \text{ N/m}$
計算時の設定	解析時時間ステップ	$5.0 \times 10^{-5} \text{ sec}$
	減衰 質量減衰比率係数 : α	0.00～0.10
	剛性減衰比率係数 : β	$1 \times 10^{-3} \sim 3 \times 10^{-2}$

落石形状	2.0×2.0 m
落石質量	208.0 kN
落石高さ	62.0 m
落石速度	23.5 m/sec
衝撃力	8,591 kN
落石対策便覧による衝撃力	13,767 kN

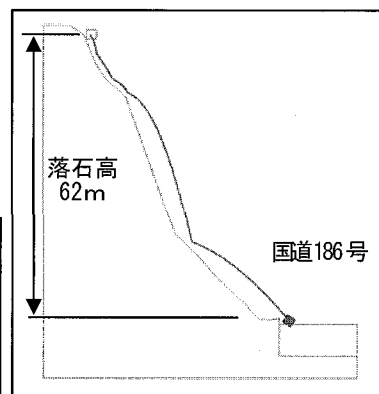


図-2 落石シミュレーション結果

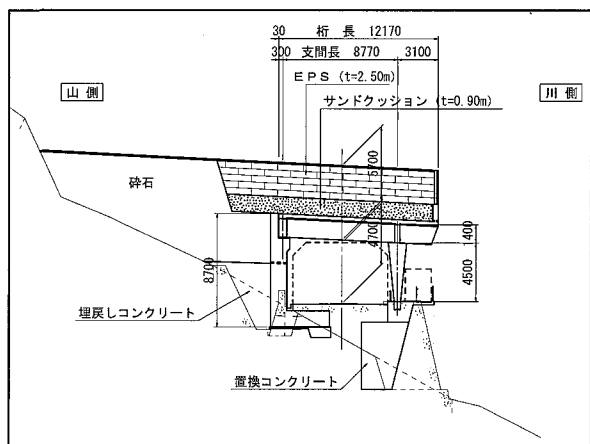


図-3 洞門工断面図