阿蘇大橋地区の斜面崩壊における緊急砂防対策について４
落石解析による崩壊斜面内の緊急対策方針の検討

基礎地盤コンサルタンツ株式会社　正会員　○佐々木　一好
国土交通省　九州地方整備局　河川部　非会員　島本　卓三
国土交通省　九州地方整備局　河川部　非会員　与那嶺　淳
基礎地盤コンサルタンツ株式会社　正会員　渡辺　慎太郎
基礎地盤コンサルタンツ株式会社　正会員　三木　茂

1. はじめに

平成 28 年の熊本地震により、熊本県阿蘇郡南阿蘇村の国道 57 号、国道 325 号(阿蘇大橋)並びに JR 豊肥本線を巻き込んだ大規模な斜面崩壊が発生した。崩壊斜面の滑落崖には、黒ボクや岩屑堆積物がオーバーハングした状態にあり、落石及び滑落崖周辺に残る不安定土砂崩壊の危険性が指摘されていた。そのため崩壊斜面内では、二次災害防止の観点から立入り規制が継続され、有人による復旧工事着手のための環境整備が喫緊の課題であった。

本稿はこの有人施工着手に向けた環境整備の一環として、落石によるリスク評価と、落石対策のための基礎データを得るために実施した落石解析に関する報告である。なお、解析には、落石の落下軌跡及び速度等を定量的・合理的に予測するため、任意形状の弾性体多角形ブロック(要素)の集合体について解析することが可能な、非質点系解析手法である不連続変形解析(Discontinuous Deformation Analysis: DDA)を用いた。

2. 現況崩壊斜面における落石解析

初めに崩壊斜面内での国道及び JR の復旧工事における二次災害のリスク評価を目的とし、現況の崩壊斜面において崩壊斜面頭部から単体の岩塊を落下させるシミュレーションを 200 回実施した。解析条件は**表-1** に示す通りである。なお、落下させる岩塊は、崩壊斜面周辺に最大で 1m の転石が確認されることから 1 辺 1m の四辺形ブロックとした(**写真-1** 参照)。

表-1　解析条件（現況崩壊斜面）

落石形状		1 辺 1m の四辺形ブロック
ブロック(要素)数		1 個
試行解析回数		200 回
変動パラメータ		線速度エネルギー比
斜面のパラメータ	すべり摩擦角	岩盤:30°，崖錐:35°
	粘着力	0.0 N/m^2
	線速度ｴﾈﾙｷﾞｰ比*1	岩盤:0.0～0.6，崖錐:0.0～0.4
	粘性係数	植生がないため 0.0

*1 モンテカルロシミュレーション変動パラメータとして設定

図-1 に試行した落石の軌跡図を、**図-2** に落石の停止位置を示す。大半の落石は斜面中腹の遷緩点付近(340m 付近)で停止するものの、幾つかの落石は斜面末端の JR、及び国道 57 号の復旧位置(660m 付近)まで到達する結果となり、本解析により落石による二次災害のリスクが示された。

写真-1　崩壊地周辺の転石の状況

3. 落石防護工の選定と有効性の検証

現況崩壊斜面における落石解析にて得られた落石運動(落石エネルギー)に対し、「平成 12 年 落石対策便覧(公益社団法人 日本道路協会)」では、落石防護柵/網(高エネルギー吸収タイプ)、土留盛土工、ロックシェッドが落石防護工の適用範囲として選定される。この中で当崩壊斜面における落石対策として、無人化による施工、及び国道や JR 復旧工事の早期着手の実現性を考慮し、落石防護土堤を選定した(以降、土留盛土工と称する)。

キーワード　平成 28 年熊本地震、阿蘇大橋、災害関連緊急事業、落石解析、不連続変形解析
連絡先　〒814-0022　福岡市早良区原 2-16-7　基礎地盤コンサルタンツ株式会社九州支社　TEL092-831-2511

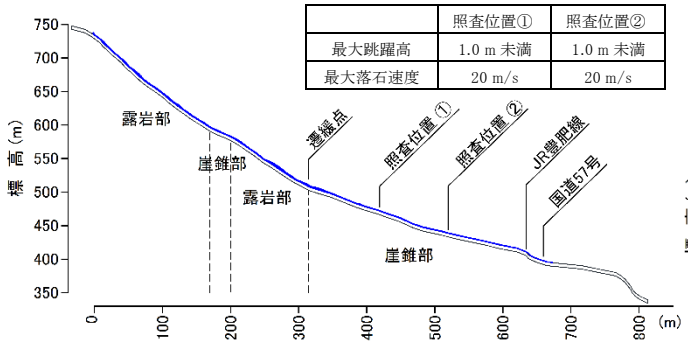

図-1　落石の軌跡図(現況崩壊斜面)

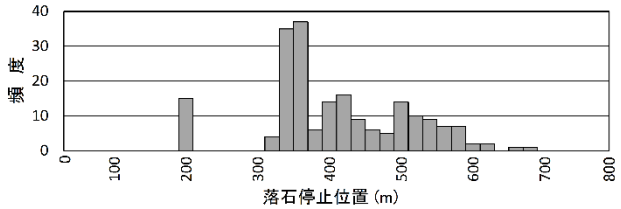

図-2　落石の停止位置(現況崩壊斜面)

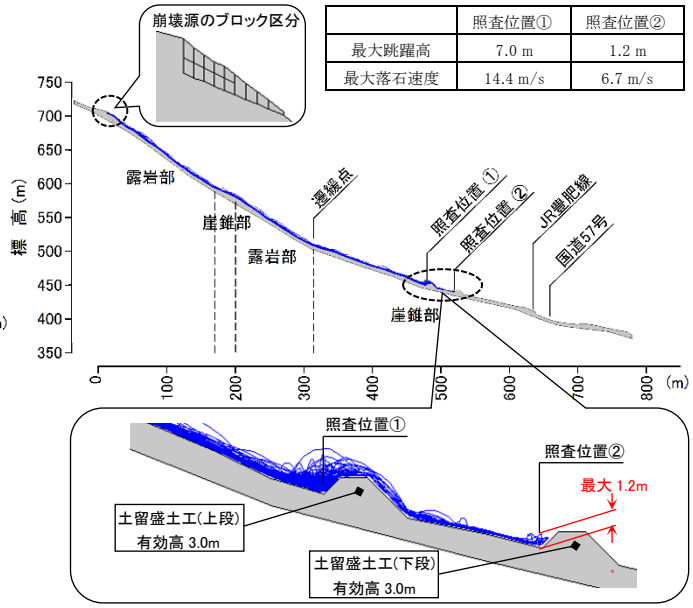

図-3　落石の軌跡図(土留盛土工モデル)

次に、選定した土留盛土工の落石に対する有効性を検証するため、**図-3** に示す照査位置①、及び照査位置②にそれぞれ有効高 3.0m の土留盛土工を配置し落石解析を実施した。ただし、滑落崖周辺には風化が進み割れ目の発達する脆弱な基盤岩が確認され(**写真-2** 参照)、崩壊斜面頭部における排土(ラウンディング)等の施工時において、これら脆弱な基盤岩が崩壊し落石群となって落下する危険性があったことから、解析は、岩塊(約 1m^2 の四辺形ブロック)を複数同時に落下させることで行った。解析条件は**表-2** に示す通りである。なお、解析は斜面のパラメータである線速度エネルギーを変え 20 ケース試行した。

写真-2　滑落崖周辺の基盤岩の状況

図-3 に試行した落石の軌跡図を示す。この解析においては、落石同士が衝突し、単体で岩塊を落下させるときに比べて落石の跳躍高が高くなる傾向が見られた。しかし、各ケースともほとんどの落石が上段の土留盛土工で止まり、幾つかの落石は下段の土留盛土工まで到達するものの、下段の土留盛土工を越えるものは確認されなかった。また、下段の土留盛土工の直前(照査位置②)での落石の最大跳躍高は 1.2m であった。この解析結果により、有効高 3.0m の土留盛土工とその背後に有効高 2.0m 以上の土留盛土工を配置することによって、崩壊斜面頭部の排土(ラウンディング)等の施工時における落石群のリスクに対しても、斜面下部の安全が確保されることが示された。

表-2　解析条件（土留盛土工モデル）

落石形状		約 1m^2 の四辺形ブロック
ブロック(要素)数		14 個
試行解析回数		20 回
変動パラメータ		線速度エネルギー比
斜面のパラメータ	すべり摩擦角	岩盤:30°，崖錐:35°
	粘着力	0.0 N/m^2
	線速度ｴﾈﾙｷﾞｰ比*1	岩盤:0.01～0.6，崖錐:0.01～0.6
	粘性係数	0.0

*1 解析ケースとして設定

4. おわりに

土留盛土工の完成後、崩壊斜面頭部では緊急対策として滑落崖周辺に残る不安定土砂の排土(ラウンディング)が行われた。この排土(ラウンディング)により、約 1 万 m^3 の土砂と岩塊が高所法面掘削機によって崩壊斜面内へ削り落とされたが、この間、落石が土留盛土工まで到達するものはなかった。このことから、本件は、検討会の指導・意見、施工者との連携のもと、不連続変形解析(DDA)を活用した落石リスクの合理的な予測により、有人による国道及び JR 復旧工事の早期着手への足掛かりをつくることが出来たと考える。