

## 軟岩を対象とした衝突破砕実験に基づく斜面崩壊の衝撃力解析

電中研 正会員 ○栃木 均

## 1. はじめに

周辺斜面の崩壊を想定した影響評価の検討においては、岩塊の衝突に対して防護壁等による対処が考えられる。それらのコンクリート外壁に作用する岩塊の衝撃力を弾性球の衝突理論を用いて評価すると、安全側ではあるが、場合によっては極めて大きな衝撃力となることもあり、より実状に即した評価手法の検討が望まれる。斜面崩壊による岩塊の崩落時には、岩塊が破砕して次第に小さくなっていく挙動など衝突による破砕の影響が考えられ、それらは衝撃力や力積等の評価にも影響するものと思われる。このような観点から、本研究では軟岩を対象とした自由落下による衝突破砕実験を実施した。実験で把握した岩塊の破砕特性、衝撃力特性に基づき個別要素法による衝撃力解析を実施した例を報告する。

## 2. 岩塊の衝突破砕実験

(1) 実験の概要 岩塊の試験体を自由落下の衝突により破砕させる実験を行った。図-1、表-1 に実験の概要と試験体の諸元を示す。実験の目的は、岩塊が破砕する衝突速度や運動エネルギーを把握すること、および破砕を伴う衝撃力データを取得することである。最初に、コンクリート面に衝突させて破砕状況を観察した。次に、落下高さを 0.5～

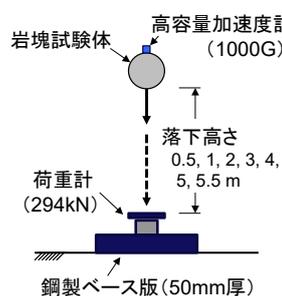


表-1 試験体の諸元

岩種	凝灰岩
採取地点	宇都宮市
形状	球形に整形
直径(cm)	10,15,20,25,30
密度(kg/m <sup>3</sup> )	1430
一軸圧縮強度(MPa)	7.61
変形係数 E <sub>50</sub> (GPa)	2.65
引張強度(MPa)	0.97

図-1 衝突破砕実験の概要

5.5m まで 7 段階に上げて衝撃力の計測を行った。試験体は球形に整形した岩塊（凝灰岩）であり、毎回新しい試験体を用いた。衝撃力の計測は、荷重計の他、試験体に固定した高容量加速度計でも行った。それらの計測データには図-2 に示すように整合性がみられ衝撃力が計測できている。また、実験状況は高速度カメラで撮影した。

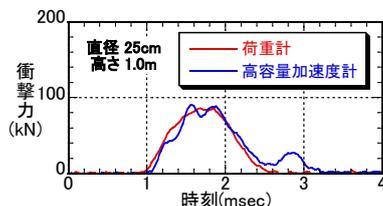


図-2 衝撃力の波形

(2) 実験結果 コンクリート面の衝突による岩塊の破砕状況の例を写真 1 に

示す。落下高さを大きくしていくとある高さから破砕が始まり、高さ 2.88m で同写真のように破砕した。衝突面としたコンクリートに損傷の様子はない。さらに落下高さを上げていくと、破砕が著しくなり破片の個数も増えていった。このような落下高さによる破砕の程度を表すため、最も大きな破片の質量  $M_0$  と試験体の全質量  $M_T$  の比をとり、落下高さとの



写真-1 破砕状況

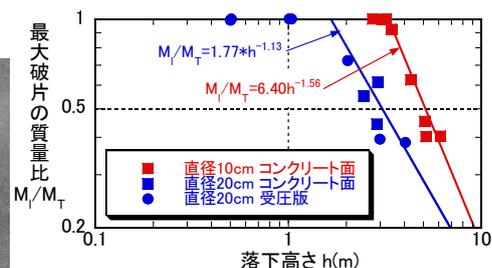


図-3 落下高さと最大破片の質量比の関係

関係を示したのが図-3 である。同図において、 $M_0/M_T=1.0$  の場合は非破砕であり、落下高さが増すにつれて最大破片の質量比が低下していく傾向が表れている。本研究では、既往の衝突実験<sup>1)</sup>を参考に、最大破片の質量比  $M_0/M_T$  が 0.5 となる落下高さの運動エネルギー（単位質量当たり）を岩塊の“衝突破砕エネルギー”とした。岩塊サイズが大きくなると衝突破砕エネルギーは小さくなる傾向にあり、その岩塊サイズ依存性を図-4 に整理し、DEM 解析における破砕の判定に用いた。

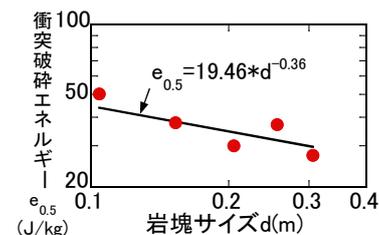


図-4 衝突破砕エネルギー

キーワード 斜面崩壊, 岩塊衝突, 衝撃力, 衝突実験, 個別要素法, 数値解析

連絡先 〒270-1194 千葉県我孫子市我孫子 1646 電力中央研究所 地震工学領域 TEL 04-7182-1181

### 3. 斜面崩壊を想定した衝撃力解析

(1)解析方法 前報<sup>2)</sup>の弾性球による衝撃力解析モデルを発展させ、上記の実験に基づく岩塊の衝突破砕モデルを開発した。本モデルは、衝突時の運動エネルギーが図-4に示した衝突破砕エネルギーを超えた際に破砕と判定する。破砕と判定された岩塊は図-5に示すように2個の小岩塊となり、次の衝突時に再び破砕を判定する。破砕した小岩塊がコンクリート外壁に衝突すると、実験結果をモデル化した図-6の衝撃力と変形量の関係により破砕時の衝撃力が再現される。図-7には本モデルの衝撃力波形を実験結果と共に示す。

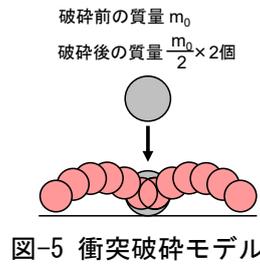


図-5 衝突破砕モデル

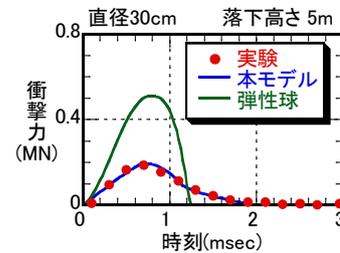


図-7 衝撃力波形

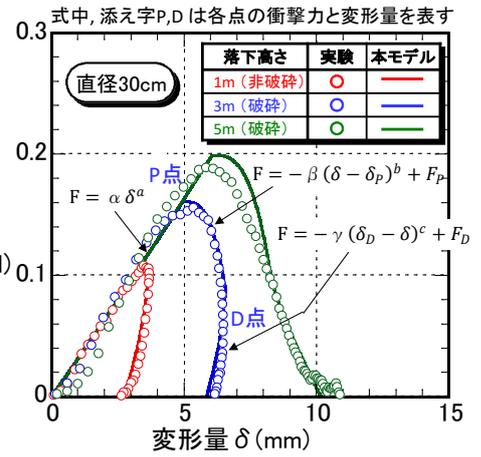


図-6 衝撃力と変形量の関係

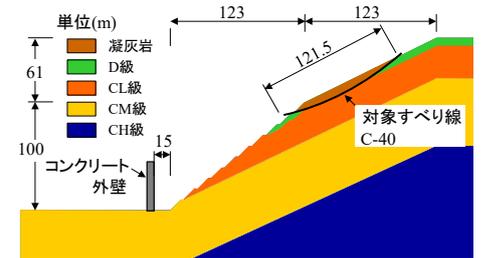


図-8 対象とした硬岩斜面モデル

斜面崩壊解析は、図-8に示す岩盤斜面の浅いすべり線を対象とし、すべり線内の岩塊を実験に用いた凝灰岩として解析した。表-2にDEMの物性を示す。岩塊は粒径1mとし、すべり線の強度を残留強度に下げて自重により崩落させ、コンクリート外壁の衝撃力を解析した。

(2)解析結果 衝突破砕を考慮した場合と非破壊の弾性球の理論による衝撃力解析の結果を図-9に示す。衝突破砕を考慮した場合には、崩落前に1mの岩塊が破砕し最小粒径0.25mまで小さくなっており、その状況を崩落状況の図に小さな粒子ほど濃い赤色で表している。壁面の衝撃力の時刻歴には、非破壊の場合に波形の最初にヒゲ状の大きなピークが表れている。これは崩落前に設定した1mの岩塊が単体で壁面に直撃したことによる衝撃力である。一方、衝突破砕を考慮した解析では、非破壊の場合よりも衝撃力の最大値がかなり小さくなっている。

これは、崩落の途中で破砕した小粒径の岩塊が壁面に衝突したこと、および、壁面に衝突した際にも岩塊が破砕し、その影響で衝撃力が低下したことによる。壁面の衝撃力分布は、衝突破壊を考慮した場合は、非破壊の場合よりも分布形状が大分なだからで衝撃力が小さくなっている。

### 4. まとめ

以上の衝突破砕実験に基づく岩塊の破砕特性と衝撃力特性を考慮した解析により、弾性球の衝突理論を用いて解析した衝撃力の安全裕度を把握できた。

参考文献 1) 荒川政彦, 保井みなみ: 特集「日本における衝突研究の軌跡」氷衝突実験の展開, 日本惑星科学会誌, Vol. 24, No. 3, pp. 167-180, 2015. 2) 栃木均, 中村秀樹: 原子力発電所周辺斜面の地震時崩壊を想定した岩塊衝撃力のDEM解析, 土木学会第74回年次学術講演会, CS14-07, 2019.

表-2 DEMの解析物性

接触分類		岩塊同士	岩塊とCL級斜面	岩塊とコンクリート面*
ばね定数	法線	150	450	520
	接線	140	390	460
反発係数		0.19	0.19	0.25
動摩擦係数		0.6	0.6	0.6

\*コンクリート面は、法先地盤および外壁を含む

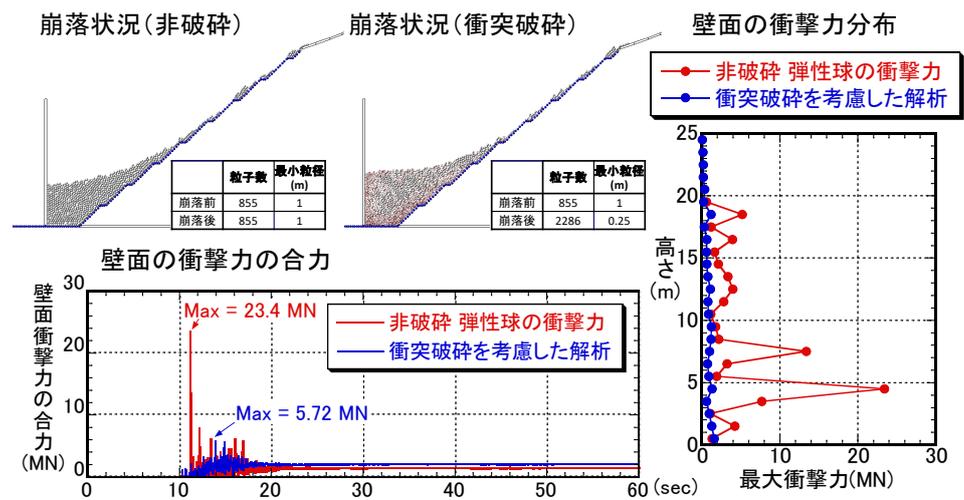


図-9 コンクリート外壁の衝撃力解析結果