実験に基づく岩塊の衝撃作用のモデル化

日本大学	正会員	○中村	晋
防衛大学校	正会員	別府フ	「寿博
鉄道総合技術研究所	正会員	阿部	慶太

1. はじめに

近年,地震に起因した土砂また岩盤崩壊による社会基盤施設の損傷,例えば2016年熊本地震による阿蘇大橋の崩落などや人的被害が多数生じている.ロックシェッドなどの落石防護施設については,これまでの衝撃力やそれが施設に及ぼす影響などに関する研究を踏まえた設計法が落石便覧¹⁾や道路土工指針類に示されている.一方,土砂や落石による衝撃作用が一般構造物へ及ぼす影響の評価については土木学会,建築学会などが示した考え方を除き,Eurocode²⁾の様に指針類に反映されていない.原子力発電施設を含む重要な社会基盤施設の安全性評価には,動的な応答解析による方法³⁾は,衝撃作用の特性によらず活用でき,有用と考えられる.

ここでは, 落石や岩盤崩落に対する重要な社会基盤施設の衝撃作用に対する損傷リスクの評価手法の確立を 目的とし, 既往の岩塊模型の転動実験および自由落下実験の結果⁴⁾をふまえ, 構造部材の動的な応答解析に必 要な岩塊の衝撃力の時刻歴, つまり衝撃作用のモデル化を行う.

2. 実験概要

既往の実験概要として,まず,写真-1に示す転動実験に用い た大型斜面模型は,幅5.0m,長さ5.0mの43度斜面,長さ5.77mの 29度斜面および長さ7.5mの平坦部からなっている.写真-1には 衝撃荷重の計測に用いた反力体も示している.反力体前面には, 受け面0.5m×0.5m,衝突方向の荷重容量1.0MNの荷重計を1個設 置した.なお,荷重計の受け面には,荷重計を傷つけずに荷重計 測できるように21mm厚のベニア板を敷設した.岩塊模型は,球 形,塊状および板状に対し代表径20cm,40cmの大きさのものを, 繊維を混合した高強度グラウト材で製作した.写真-2に代表径 20cmの例を示す.また,模型に直径50mmの標点を複数点描写 し,高解像度・高速度カメラを複数台用いて,PIV法で衝突直前 の速度を求めた.岩塊模型は,大型斜面模型頂上から1.0mの高 さ(平坦部から7.17m)から手落としし自由落下させた.

次に,岩塊の自由落下実験に用いた実験模型を写真-3に示す. 岩塊の衝突する反力壁は,反力体と荷重計からなる.実験では, 荷重計受け面と岩塊の接触面の違いが荷重に与える影響を確認 するため,21mm厚のベニヤ板,60mm厚のコンクリート板を受 け面に敷設した.岩塊模型には,前述の実験と同じ材料で製作し た代表径20cm,40cmの球形,多面体模型,実岩塊(安山岩)を用 いた.写真-4に代表径20cmの模型例を示す.実験は写真-3に示 すように所定の高さからパワーショベルで自由落下させること で実施した.落下高さは0.5~5.0mとし,それらより衝突直前の 速度 V(m/s)を求めた.



写真-1 大型斜面模型



a)球体 b)塊状 c)板状 写真-2 岩塊模型(大型斜面模型:r=20cm)



写真・3 自由落下実験 実岩塊

写真-4岩塊模型(自由落下実験:r=20cm)

キーワード 岩塊, 衝撃作用, 運動量, 自由落下実験, 斜面模型実験 連絡先 〒963-8642 福島県郡山市田村町徳定字中河原1 日本大学工学部土木工学科 TEL024-956-8712



3. 衝撃作用のモデル化

まず岩塊の衝撃力の時刻歴形状のモデル化を行う.岩塊の形状,および荷重計の受け面材質に応じた衝撃力 の時刻歴を比較するため,自由落下実験(高さ5m)から得られた実岩塊と球塊の衝撃力の時刻歴の比較を図-1に 示す.さらに,球塊について,落下高さ,大きさが衝撃力の時刻歴に及ぼす影響の比較を図-2に示す.受け面 の材質,岩塊形状に応じて最大衝撃力や衝撃力の時刻歴が異なり,コンクリート版の場合,衝撃力の大きさは ベニアより大きく,立ち上がりが早く,最大値周辺で幾つかのピークを有する形状となっている.最大衝撃力 の大きな球塊では,大きな形状の衝撃力の時刻歴形状は三角形形状となっている.衝撃作用のモデルとして, Eurocodeなどでも示されている形状のうち,2つの指標のみで形状を表せる図-3に示す二等辺三角形を用いる.

すると、衝撃作用のモデルは最大衝撃力(Fm)とその時刻歴の面積である力積(IM)を指標として表すことが でき、2つの指標は岩塊の衝突を表す物理量と関連づけることにする.一般に衝撃力はHertzの衝突理論にもと づいて評価されているが、ここでは2つの指標を共通の物理量と関連づけることにする.岩塊の衝突を表す物 理量には衝突直前の速度、運動量および運動エネルギーがあり、図-4、5にコンクリート版を受け面とした場 合の球塊に対する衝突直前の速度、運動量と最大衝撃力、力積の関係を示す.これらの関係より、衝撃作用の モデルを表す2つの指標は物理的にも有意で、相関性の高い運動量と関連づけることができる.さらに、岩塊 形状が衝撃作用に及ぼす差異を考慮することが必要であり、実岩塊と球体の最大衝撃力の関係を図-6に示す.

以上を踏まえ,岩塊の衝撃作用のモデルは最大衝撃力,力積を指標とする2等辺三角形でモデル化し,それ ら指標は衝突直前の運動量を基本として,形状の不確実さに関する補正,球塊の大きさや衝突経路などの不確 実さの補正を行うことにより求めることとする.

参考文献: 1)(公財)日本道路協会,落石便覧,2018.12,2)Eurocode 1 Actions on Structures Part1-7 General actions, BS EN 1991-1-7, British Standard, 2006,3) 例えば,別府万寿博,高橋満,永田真,市野宏嘉,爆風圧および飛 散物衝突を受ける鉄筋コンクリート部材の性能設計およびフラジリティ評価法の一提案,構造工学論文集, Vol.63A, pp.1121-1131,2017.3,4)Keita ABE, Susumu NAKAMURA, Suggestion of evaluation methods of impact loads of rocks and soils based on a series of model experiments, *Proceedings of the 19th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Seoul*, 2017