

令和元年5月10日現在

機関番号：13301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06462

研究課題名(和文) レベル2落石作用を考慮した落石防護工の強靱で安心な性能設計法の提案

研究課題名(英文) Proposal of robust and reliable performance design method for rock fall protection considering level 2 rock fall action

研究代表者

榎谷 浩 (MASUYA, Hiroshi)

金沢大学・環境デザイン学系・教授

研究者番号：20157217

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究ではロックシェッドに代表される落石防護構造物に日常的に生じる低速度衝突に関して、緩衝材を有する場合の構造物の耐衝撃性能・破壊機構の解明を行い、性能設計評価方法の具体的な提案を行った。長年鋭意研究を進めてきた実際の衝撃荷重を用いて、簡易な解析による衝撃荷重作用時の塑性変形の推定法を具体的に明らかにした。長年待ち望まれてきたレベル2落石荷重に対する防護構造物の性能設計法を提案した。これは明確な安全性が要求される防護構造物の設計法を飛躍的に合理的で信頼性の高いものにしたものである。

研究成果の学術的意義や社会的意義

レベル2落石荷重に対する防護構造物の性能設計法の具体的で信頼できる提案は、これからの安全な落石防護構造物の建設に役立つのみならず、現存の多くの防護構造物の安全性の照査にも大きく役立つものである。これは経済的な理由により最近多く建設されるようになってきた防護フェンスなどの柔な防護構造物の設計法にも大きく貢献する。研究成果は、明確な安全性が要求される防護構造物の設計法を飛躍的に合理的で信頼性の高いものにしたものである。この設計法の内容は、今後竜巻や噴石などの自然現象に対する防護構造設計にも大きく有用である。

研究成果の概要(英文)：In this research, with regard to low-speed collisions that occur routinely in rock fall protection structures typified by rock sheds, the impact resistance performance and failure mechanism of the structure with a buffer material are clarified, and the proposal of the performance design evaluation method has been concretely specified. Using the actual impact load, which has been extensively studied for many years, the method of estimating plastic deformation under impact loading have been clarified by a simple analysis. The performance design method of the protection structure against the level 2 falling rock load has been proposed, which has been awaited for many years. This is a dramatic rational and reliable design method of protective structures that require clear safety.

研究分野：構造工学 防災工学 構造設計学

キーワード：衝撃 落石 性能設計 防護工 補修 補強 荷重条件 性能評価

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

ロックシェッドに代表される落石防護構造物に日常的に生じる低速度衝突に関して、構造物の耐衝撃性能が十分明確でないため、安全度の高いと考えられてきた静的設計、一方では大胆な塑性設計も行われてきた。防護構造物の合理的な性能設計評価方法が長年求められてきた。

2. 研究の目的

本研究ではロックシェッドに代表される落石防護構造物に日常的に生じる低速度衝突に関して、緩衝材を有する場合の構造物の耐衝撃性能・破壊機構の解明を行い、性能設計評価方法の具体的な提案を行う。この問題の現状については、研究代表者が中心となって活動をおこなった委員会の成果として、防災・安全対策技術者のための衝撃作用を受ける土木構造物の性能設計 - 基準体系の指針 - として最新の現状と問題点を明らかにしている。長年鋭意研究を進めてきた実際の衝撃荷重を用いて、簡易な解析による衝撃荷重作用時の塑性変形の推定法を具体的に明らかにし、長年待ち望まれてきたレベル2 落石荷重に対する防護構造物の性能設計法を提案することを目的とし、明確な安全性が要求される防護構造物の設計法を飛躍的に合理的で信頼性の高いものにするものである。

3. 研究の方法

砂などの衝撃緩衝材の衝撃特性について実験的に解明する。

ハードな衝撃を受けるはりの衝撃挙動と各種限界状態を実験的に解明する。

砂などの衝撃緩衝材を介して衝撃を受ける防護構造物の衝撃挙動について明らかにする。なお、並行してこれらの衝撃現象の解析的な再現も行う。また、柔な個々の防護構造物の合理的な性能設計方法を示し、部材挙動を推定する上で重要な情報を与える衝撃荷重下の変形性能の評価方法を提案する。

4. 研究成果

(1) 種々の衝突条件に対する構造物の曲げ変形量に関し十分な推定結果を与える方法を得るに至っていないことも問題として挙げられおり、敷砂緩衝材に重錘落下実験を行い、その緩衝特性を明らかとし、そのあと同様の緩衝材を設置した H 鋼単純ばりへの重錘落下実験を行った(図1)。構造部材の最大変位について設計に応用可能で簡便な照査方法を示すことを目的として、これらの実験結果を用いていくつかの曲げ変形推定方法について検討した。構造物上ではなく剛基礎上の緩衝材の静的載荷試験と衝撃載荷試験結果より、緩衝材の緩衝能力と作用荷重の基本的モデルを構築した。砂緩衝材の高い緩衝能力とその限界について検討を行った。

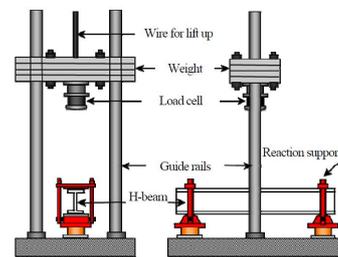


図1 衝撃試験装置

(2) また、性能設計を行う上で重要である落石の設計条件を正確に予想するための、数値解析による斜面における落石運動シミュレーション手法を発展させた。その結果斜面の木立などの植生を考慮できるようにし、落石予測の一般化を可能にした(図2)。

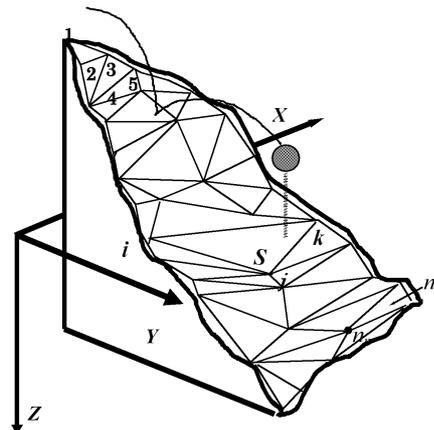


図2 斜面モデル

(3) 経年劣化や設計予想を超える衝撃荷重を受けた防護構造物の維持管理、補修・補強をいかに合理的かつ効率的に行うかは重要な問題である。そこで、炭素繊維ストランド(CFS)で強化された鉄筋コンクリートばりの一連の衝撃試験を実施して、そのような鉄筋コンクリートばりの実際の応答に対する効果を確認した(図3)。実験手順を詳細に説明するだけでなく、亀裂パターン、反力、最大変位などの動的挙動の主な特徴を分析し、合理的な比較を行っている。数値解析では、はりの構成モデルと接触条件の信頼できる仮定が適切に採用され、シミュレーションの結果は実験の結果をよく再現できることを示した。CFSで強化された鉄筋コンクリートばりは、静的および衝撃荷重下での曲げ能力を改善できることを確認した。

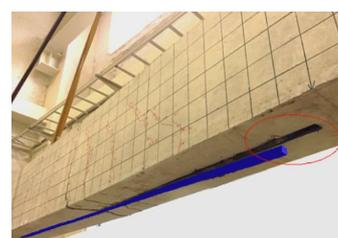


図3 CFSで補強されたRC梁

(4) 小規模な落石に対する落石対策工法は、従来型

の道路際に設置される落石防護柵や斜面設置型の防護柵に大別される。近年、落石防護構造は様々な構造形式のものが開発されており、多様性、経済性、施工性に関する研究が進められており、適応するエネルギーレンジに関しても細分化されてきている。50KJ というエネルギーレンジに対応した防護フェンスのついでに性能照査を行った(図4)。実験結果による性能確認に加え、FEM 解析による実験結果の再現を行いその精度を検証している。最終的にいろいろな条件での解析を行い性能設計解析的にも性能設計が可能であることを示した。

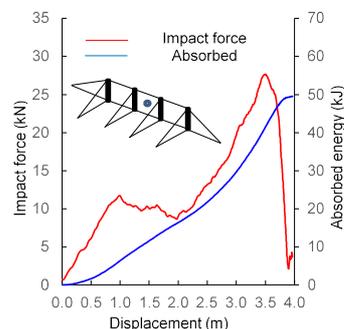


図4 フェンスの衝撃力とエネルギー吸収

(5) ロックシェッドなどの落石防護構造物は、作用時間の極めて短い衝撃的作用を局部的に受ける構造物である。その構造形式および使用材料はさまざまなものがあるが、一般に敷砂を用いた衝撃緩衝材を落石衝突が予想される面に設置していることが多い。しかしながら、設計は衝撃荷重を静的荷重に置き換えて行われることが多く、実際の対落石性能と大きく異なっていることが指摘されている。このような状況のなか、衝撃挙動について統一的な解釈を得ていないことも問題として挙げられる。本研究では上記の問題に対して、敷砂緩衝材に重錘落下実験を行い、その緩衝特性を明らかとし、そのあと同様の緩衝材を設置したH鋼単純ばりへの重錘落下実験を行っている。本研究は構造部材の最大変位について設計に応用可能で簡便な照査方法を検討し、いくつかの曲げ変形推定方法について示した(図5)。

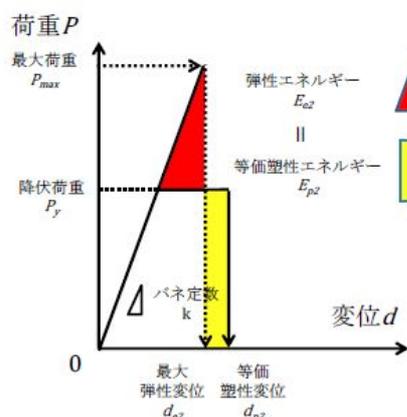


図5 最大変形の推定法概念図

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 5件)

S. Nakamura, H. Masuya: Study on estimation of bending deformation of protection structure for rock fall with sand cushion, Proceedings of 12th International Conference on Shock & Impact Loads on Structures, pp.349-358, 2017.

T. L. H. Tran, H. Masuya, Y. Nishita, T. Ishii: Study on performance verification of protection fence for rockfall with small energy, Proceedings of 12th International Conference on Shock & Impact Loads on Structures, pp.439-448, 2017.

Y. Nishikawa, H. Masuya, Y. Moriguchi: Proceedings of 6th Interdisciplinary Workshop on Rockfall Protection, pp.920-929, 2017

中村佐智夫, 榎谷浩: 敷砂緩衝材を有するはりの曲げ変形簡易推定法, 構造工学論文集 Vol.64A, pp.920-929, 2018.

T. L. H. Tran, H. Masuya, H. Yokoyama, A. Kobayashi, K. Ohshita: Study on performance of reinforced concrete beams strengthened with carbon fiber strands under impact, Journal of Structural Engineering, Vol.64A, pp.865-874, 2018.

[学会発表](計 2件)

Tran Le Hoang TRUNG, Hiroshi MASUYA, Akira KOBAYASHI, Hiroshi YOKOYAMA, Kazuki OHSHITA: STATIC AND IMPACT BEHAVIOR OF RC BEAM REINFORCED BY CARBON FIBER AND SIMULATION, 72th Annual Academic Conference of Japan Society of Civil Engineers, 2017.

Tran Le Hoang Trung, Kazuki Ohshita, Nguyen Thu Nga, Hiroshi Masuya, Akira Kobayashi, Hiroshi Yokoyama: EXPERIMENTAL STUDY ON STATIC BENDING STRENGTH OF RC BEAMS REINFORCED BY CARBON FIBER, Japan Society of Civil Engineers Chubu Branch, Research presentation, 2016.

6. 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名: 深田 宰史

ローマ字氏名: Fukada Saiji

所属研究機関名：金沢大学

部局名：理工研究域地球社会基盤学系

職名：教授

研究者番号（8桁）：10313686

(2)研究協力者

研究協力者氏名：中村佐智夫

ローマ字氏名：Nakamura Sachio

研究協力者氏名：横山広

ローマ字氏名：Yokoyama Hiroshi

研究協力者氏名：西田陽一

ローマ字氏名：Nishidta Youichi

研究協力者氏名：トラン ル ホン チュン

ローマ字氏名：Tran Le Hoang TRUNG

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。