

## 落橋防止構造の動的解析を用いた最適設計に関する研究

結城, 洋一

<https://doi.org/10.15017/1807150>

---

出版情報：九州大学, 2016, 博士（工学）, 論文博士  
バージョン：  
権利関係：全文ファイル公表済

氏 名 : 結城 洋一

論 文 名 : 落橋防止構造の動的解析を用いた最適設計に関する研究

区 分 : 乙

## 論 文 内 容 の 要 旨

落橋防止構造の歴史は、昭和 39 年の新潟地震における被害を踏まえた調査研究によって、昭和 46 年に示された道路橋耐震設計指針において対策工法が規定されたことに始まる。その後、昭和 55 年改訂の道路橋示方書・V 耐震設計編では、設計荷重が死荷重反力に設計水平震度を乗じたものの 2 倍以上と規定されたが、平成 7 年の兵庫県南部地震では多数の橋梁で大きな被害が生じ、落橋防止対策がなされた橋梁においてもメガネタイプやプレートタイプの桁間連結装置などの破損が複数確認された。そのため、平成 8 年に改めて改定された耐震設計編では、従来の落橋対策工の各機能・位置付けを明確化した落橋防止システムの概念、設計荷重を死荷重反力の 1.5 倍とすること、さらに衝撃的な地震力を緩和するための緩衝材を設ける構造とすることなどが規定され、現在に至っている。

現在の耐震設計編（平成 24 年刊行）では、十分な桁かかり長を有する場合など一定の条件が満たされれば、落橋防止構造を設けないことも認められているが、依然、多径間鈹桁の耐震補強工事や各道路会社が管理する新設工事では落橋防止構造が設置されることが多く、落橋防止構造は、落橋という最悪の事態を防ぐ最終手段として、重要な役割を担い続けていると言える。しかし、橋梁の主要部材の設計は、動的応答解析で断面力や変位量が照査されるのに対し、落橋防止構造については、未だに上部構造の死荷重反力に割増係数を乗じた簡易な設計が行われており、割増係数についても明確な根拠は示されていない。また、構成部材の一つとして組み込むことが規定されている緩衝材に関しては、その性能が落橋防止構造全体の機能に大きく影響するにも関わらず、具体的な設計法は確立されておらず、設計者に委ねられているのが実状である。

本研究では、これらのことを背景に、ケーブル式の落橋防止構造を対象として、橋梁の現実の地震応答特性を考慮した信頼性の高い落橋防止構造の設計法に関する検討を試みたものである。

第 1 章では、落橋防止構造に関する既往の研究内容および現行の設計方法に関して紹介した上で、本研究の目的を示した。

第 2 章では、落橋防止構造が作動する状況を力学的に把握するために、3 径間鋼単純 I 桁橋を用いた動的解析を行い、作動遊間が桁かかり長の 0.75 倍（標準仕様）確保され、桁同士や桁と橋台の衝突が期待できる場合には、落橋防止構造が作動する可能性は小さいことを示した。さらに、レベル 2 地震動を上回る巨大地震時や橋脚基部が先行して破壊する場合には、落橋防止構造が作動する可能性が高いことも示した。

第 3 章では、緩衝材として使用されるゴムの衝突荷重に対する動的特性を把握するために、2 種類の落錘式衝撃実験を実施した。具体的には、矩形ゴム供試体を用いてゴム厚や硬度および拘束条件をパラメータとした衝撃実験を行い、各パラメータが衝撃緩衝効果に与える影響について定量的

に検討した。さらに実物大の落橋防止装置におけるゴムの緩衝効果についても実験的に検証し、簡易な1質点系のバネ-質量モデルで発生衝撃力を推定できることを示した。

第4章では、緩衝ゴムを有する落橋防止構造の地震応答解析を可能にするために、緩衝ゴムの有限要素モデルの検討を行った。すなわち、ゴムを超弾性体と仮定し、ひずみエネルギー密度関数に **Mooney-Rivlin** 式を採用した上で、落錘式衝撃実験の再現解析を行った。さらに、橋梁全体系の地震応答解析に簡易なバネモデルとして組み込むために、ゴム厚ごとに硬度と受圧面積を変数としたバネ定数の定式化を行った。

第5章では、膨大な数の落橋防止構造の諸元(緩衝ゴムとケーブル特性の組み合わせ)の中から、最適な部材の組み合わせを抽出する作業を自動的に行うために、地震応答解析と最適化手法を連成させた解析手法の検討を行った。本研究では、実務レベルで満足できる解を出来るだけ短時間で求めることを重視して遺伝的アルゴリズムを採用して、ケーブル式落橋防止構造の最適解の探索を試みた結果、設計者が設定した複数の要求を満足できる多目的な最適解が簡易に得られることを確認した。

第6章では、各章で得られた結論をまとめて述べるとともに、今後の展望と課題を示した。