

氏名（本籍）	羽 田 野 英 明（岐阜県）
学 位 の 種 類	博 士（工学）
学位授与番号	甲第 414 号
学位授与日付	平成 24 年 3 月 25 日
専 攻	生産開発システム工学専攻
学位論文題目	メンテナンスに関わる橋梁事故と低減対策としての空間吸収部材と後施工せん断補強 (Space-absorbing blocks and post-installed shear reinforcements as measures to decrease bridge accidents related to maintenance)
学位論文審査委員	(主査) 教授 内 田 裕 市 (副査) 准教授 村 上 茂 之      准教授 小 林 孝 一 教授 六 郷 恵 哲

### 論文内容の要旨

供用中の橋梁が落橋する原因としては、以下の項目が挙げられる。

- ① 建設当時の不十分な技術
- ② 材料の劣化や損傷
- ③ 設計・施工・維持管理におけるエラーやミスと見逃し
- ④ 想定を越える外力（地震、津波、土石流など）
- ⑤ 戦争・テロ・火災・犯罪・その他

このうち、①～③は事故として取り扱われ、メンテナンスに関わる事項であり、維持管理体制を整備・向上させることで回避することが可能であるが、供用中の橋梁に崩壊が起これば、人的被害が生じ交通体系への影響が長期にわたるだけでなく、構造物の維持管理体制の大幅な見直しを求められる。このような落橋のような重大事故を防ぐことは、構造物の維持管理における最も重要な目標の一つである。

一方、④および⑤は災害として取り扱われ、橋梁の計画・設計条件に関わる事項であり、回避することが困難な場合が多い。このうち、地震については、これまでの被害経験を踏まえて、被害を回避するために橋梁の耐震設計条件を変更し、全国的に耐震補強対策が進められており、2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震（マグニチュード9.0）でも、その効果が確認されている。しかし、その他の原因の回避対策については、橋梁の計画・設計条件のレベル設定などについて、納税者や利用者の合意形成を含め、国家的な政策に依存するものと考えられる。

本研究では、このうち①～③のメンテナンスに関わる落橋事故の低減対策を対象として研究を行い、その成果を、以下のように纏めている。

第1章では、研究の背景として道路橋のストックの現状と近年多発している橋梁事故の状況を述べると共に、今後の橋梁の維持管理において、幅広い適用が考えられる新材料として複数微細ひび割れ型繊維補強セメント複合材料（HPFRCC）の概要を述べている。この研究背景を踏まえ、研究の目的とその位置づけについて述べている。

第2章では、供用中の橋梁事故として、カナダのデラコンコルド跨道橋の崩落事故およびアメリカのミネアポリス I-35W 橋の崩落事故について、その事故報告書の要約を紹介し、今後の維持管理で学ぶべき事項を抽出整理している。また、日本における橋梁点検結果から、橋梁維持管理上の弱点となる部材や箇所などについて、整理している。最後に、これらの結果から、本研究におけるテーマを抽出している。

第3章では、HPFRCCによる空間吸収ブロックを用いた桁端構造の研究成果について取り纏めている。最初に、桁端部の桁遊間と騒音レベルとの関係、および橋梁支間と橋台胸壁耐力との関係を調査し、空間吸収ブロックの要求性能を明らかにしている。このブロックに関して、小型基本試験体6種類、実用レベルの大型試験体6種類の供試体を作成し、圧縮破壊試験を行うことで、ブロックの変形特性を明らかにしている。最後に、この空間吸収ブロックを実橋に適用する場合の設計の考え方と動的挙動への影響を示している。

第4章では、後施工型の鉄筋を用いたせん断補強の研究成果について取り纏めている。せん断支間比の異なる3種類の梁試験体に対し、削孔部充填材、打継ぎ材料、せん断補強方法および打継ぎ部応力状態を変化させて、曲げ破壊試験を行って、後施工型鉄筋によるせん断補強効果について取り纏めている。

第5章では、連続繊維ロープを用いた RC 部材のせん断補強の研究成果について取り纏めている。梁試験体に対して、連続繊維ロープの巻き付け間隔、コンクリート表面への固定方法、巻き付けたロープの被覆方法を変化させて、曲げ破壊試験を行い、連続繊維ロープによるせん断補強効果について取り纏めている。

第6章では、橋梁事故の調査体制に関する調査結果を取り纏め、日本における橋梁事故調査の体制構築について検討している。カナダのデラコンコルド跨道橋の崩落事故およびアメリカのミネアポリス I-35W 橋の崩落事故における調査体制の構築について述べ、日本国内の事例として事故調査の体制を中心として、朱鷺メッセ崩落事故、垂井高架橋の施工時損傷、島田橋落橋事故および新菅橋落橋事故の報告書を利用して事故調査の状況を整理し、最後に日本における橋梁事故調査の体制構築について、私案を述べている。

第7章では、第2章から第6章までの研究成果をまとめ、結論を述べている。

### 論文審査結果の要旨

この論文では、メンテナンスに関わる国内外の代表的な橋梁崩落事故を取り上げ、それらの事故報告書をもとに、学ぶべきことがらと橋梁事故調査の体制の在り方を提言している。免震支承で支持された橋梁の桁端部では、大きな桁遊間がとられるため、伸縮装置が損傷しやすい。この論文では、大きな地震時に桁が大変位する場合には、局所破壊して桁の変位を吸収できる変形吸収型部材を開発し、桁遊間部に組み込み桁遊間を小さくする新しい設計の考え方を提案している。壁や床版などの RC 面部材に対して、後施工型の鉄筋を用いた一方向からの施工で、せん断補強を行うとともに、新旧コンクリート打継面に沿った界面ひび割れを防止する施工方法を開発している。柱やはりなどの RC 棒部材に対して、後施工により連続繊維ロープを巻き付けてせん断補強を行うとともに、ロープに樹脂を後で含浸させて固定しさらに高靱性モルタル (HPFRCC) を被覆する方法を開発している。

この論文は、次に詳しく示すように重要な研究結果を含んでおり、新規性、有用性の点で優れている。したがって、審査の結果、この論文を学位論文に値するものと判定した。

#### (1) 橋梁崩落事故に関する研究

供用中の橋梁事故として、カナダのデラコンコルド跨道橋の崩落事故およびアメリカのミネアポリス I-35W 橋の崩落事故について、公開されている資料をもとに調査し、今後の維持管理で学ぶべき事項を抽出している。さらに、日本における橋梁点検結果から、橋梁維持管理上の弱点となる箇所を明らかにしている。

#### (2) 空間吸収ブロックを用いた合理的な桁端構造に関する研究

桁端部の桁遊間と騒音レベルとの関係、および橋梁支間と橋台胸壁耐力との関係を調査し、空間吸収ブロックの要求性能を明らかにしている。空間吸収ブロックとして、破壊性状が靱性的で、破壊後の変形回復率が高くなるように、発泡スチロールを空間充填材とし、HPFRCC を用いたプレキャスト製品を提案している。伸縮遊間を縮小する目安として、衝突回数に基づく方法を提案し、空間吸収ブロックを用いる場合の遊間確保の考え方と、胸壁設計で考慮するブロック衝突荷重の扱い方を示している。この空間吸収ブロックを実橋に適用する場合の設計の考え方と動的挙動への影響を明らかにしている。

#### (3) 後施工型の鉄筋を用いた RC 面部材のせん断補強に関する研究

せん断支間比の異なる3種類のはり試験体に対し、削孔部充填材、打継ぎ材料、せん断補強方法および打継ぎ部応力状態を変化させて、曲げ破壊試験を行い、後施工型鉄筋によるせん断補強効果について検討している。打継面の界面ひび割れを伴うせん断破壊を防止するため、ずれ止め鉄筋などの配置が必要であり、後施工型の鉄筋を用いたせん断補強は、このような打継面での界面ひび割れ発生の防止に有効なことを明らかにしている。

#### (4) 連続繊維ロープを用いた RC 棒部材のせん断補強に関する研究

はり試験体に対して、連続繊維ロープの巻き付け間隔、コンクリート表面への固定方法、巻き付けたロープの被覆方法を変化させて、曲げ破壊試験を行い、連続繊維ロープによるせん断補強効果について検討している。ロープを用いたせん断補強では、樹脂材を用いてロープをコンクリート表面に固定し、HPFRCC を用いて被覆することで、連続繊維ロープの有する耐力を十分に活用したせん断補強が可能なことを明らかにしている。

## (5) 橋梁事故の調査体制に関する研究

カナダのデラコンコルド跨道橋の崩落事故およびアメリカのミネアポリス I-35W 橋の崩落事故における調査体制の構築について述べ、日本国内の事例として事故調査の体制を中心として、朱鷺メッセ連絡デッキ崩落事故、垂井高架橋の施工時損傷事故、島田橋落橋事故および新菅橋落橋事故の報告書を利用して事故調査の状況を整理し、日本における橋梁事故調査の体制のあり方を提言している。

### 最終試験結果の要旨

#### (1) 公表論文

この論文の主要部分は、審査付き論文 5 編と国際会議論文 2 編として既に発表済みである。特許を 1 件出願している。この論文が学位論文として完成された内容を有することを確認した。

発表論文リスト (学位論文に直接関係する論文)

審査付き論文

- 1) 六郷恵哲, 羽田野英明, Nemkumar Banthia : カナダのデラコンコルド跨道橋の崩落事故に学ぶ, コンクリート工学, Vol.46, No.12, pp.35-41, 2008.12.
- 1) 羽田野英明, 六郷恵哲 : 橋梁崩落事故から求められる診断・補強技術—カナダのデラコンコルド跨道橋の崩落事故より学ぶ—, 建設機械, Vol.45, No.10, pp.55-60, 2009.10.
- 2) 羽田野英明, 村上茂之, 六郷恵哲, 依田照彦 : ミネアポリス I-35W 橋崩壊事故に関するNTSBの報告書の概要, 橋梁と基礎, Vol.44, No.7, pp.37-42, 2010.7.・
- 2) 羽田野英明, 六郷恵哲 : ミネアポリス I-35W 橋崩壊事故に学ぶ—設計・点検・改修工事の不備による橋梁崩壊—, 建設機械, Vol.46, No.10, pp.49-54, 2010.10.
- 3) 山上正遵, 羽田野英明, 阪口裕紀, 六郷恵哲 : 合理的な橋梁桁端構造のための衝撃吸収ブロックの提案, コンクリート工学年次論文集, Vol.32, No.2, pp.763-768, 2010.7.
- 3) K. Rokugo, H. Hatano, T. Nakashima, Y. Sakaguti, M. Yamakami, and K. Kobayashi: Shock-absorbing Blocks Made of HPFRCC for Better Girder-end Structures, Sixth International Workshop on High Performance Fiber Reinforced Cement Composites (HPFRCC6) Proceeding, pp.294-301, 2011.6.
- 4) 羽田野英明, 山上正遵, 阪口裕紀, 小林孝一, 六郷恵哲 : 大変形空間創成ブロックを用いた橋梁の地震時桁遊間の確保, 土木学会論文集E, Vol.66, No.4, pp.483-494, 2010.11.
- 4) H. Hatano, M. Yamakami, Y. Sakaguchi, K. Kobayashi, and K. Rokugo: Securing Bridge Girder-End Gap during Earthquake Using Large-deformation Blocks, Applied Mechanics and Materials, Vol. 82 (PROTECT2011 Proceeding), pp.551-558, 2011.
- 5) 羽田野英明, 中島隆, 原田祐一, 六郷恵哲 : 後施工型の鉄筋を用いたRC部材のせん断補強, コンクリート工学年次論文集, Vol.33, No.2, pp.1369-1374, 2011.7.

特許

発明の名称 : 緩衝ブロック

発明者 : 羽田野英明, 山上正遵, 阪口裕紀, 六郷恵哲

特許出願人 : 丸栄コンクリート工業株式会社, 国立大学法人岐阜大学

出願日 : 2010.7.20

出願番号 : 特願2010-162613

#### (2) 修得単位

指定された単位を修得していることを確認した。

#### (3) 公聴会

公聴会を開催して審査を行った。学位審査委員会で審議の結果、最終試験に合格と判定した。