

学 位 論 文 要 旨 (Summary of the Doctoral Dissertation)	
学位論文題目 (Dissertation Title)	道路橋の床版更新工事を合理化するための要素技術の開発 (Development of Constituent Technologies to Rationalize Bridge Deck Replacement)
氏 名(Name)	山根 隆志
<p>現在，日本の高速道路網の総延長約 9000km のうち，供用から 30 年以上経過した道路が約 4 割（約 3700km）に達している．この区間の道路構造物のうち，橋梁床版は冬期の凍結防止剤散布による塩害劣化や大型車両の増加に伴う疲労劣化が顕著となっていることから，管理者である各高速道路株式会社は高速道路の包括的な大規模更新・修繕事業に着手し，その中で延べ延長 230km の橋梁において床版の取替えを推進している．</p> <p>橋梁の床版取替えは国内で施工実績が少ないため，品質や耐久性の確保に関する知見が少ないうえ，高速道路橋の工事では大規模な交通規制を伴うことから工期短縮が事業命題のひとつとなっている．加えて，現在国内では建設業従事者の減少が顕著になっており，従来よりも少ない労務工数で工事の目的を達成することも重要課題のひとつである．このような状況下，床版取替工事において工期短縮と労務工数削減を目的とする生産性向上技術の開発に取り組んだ．</p> <p>本研究では，まず，日本よりも早くから高速道路網の整備が始まり橋梁の老朽化が問題になっていた米国において，新しいプレキャスト P C 床版構造を開発した．この研究成果を踏まえ，2015 年頃から日本国内で本格化した高速道路橋床版取替工事において，多くの労働力と施工時間を要する「鋼合成桁橋の既設 RC 床版撤去」と「プレキャスト版接合」の生産性向上技術の開発および社会実装（実工事への適用）に取り組み成果を得た．以下に本論文を概説する．</p> <p><b>第 1 章「序論」</b>では，研究の対象となる老朽化した橋梁の建設当時の社会的背景，材料，設計規準，施工法，供用後の事象などに着眼し，日本における橋梁建設の歴史，日米の橋梁構造の比較，橋梁の維持管理の歴史と現状について述べた．その後，近年問題となっている道路橋床版の損傷とメンテナンス技術の現状を概説し，本研究のテーマである床版更新の生産性向上技術に関する研究の背景と目的について詳述した．</p> <p><b>第 2 章「既往の研究レビュー」</b>では，本研究の対象部材である道路橋床版の設計基準や構造について調査しそれらの変遷についてまとめた．次いで，RC 床版の劣化の原因や現象に関する情報を整理したうえで，補修・補強技術について調査した．最後に本研究に直接関係する道路橋床版の更新技術に関する工事報告，研究開発，および実績を調査し，生産性向上技術に関する最新知見をとりまとめた．</p> <p><b>第 3 章</b>では，米国において取り組んだ，新しい道路橋床版の企画，解析，載荷試験，施工試験の包括的研究プログラムについてまとめた．新しい床版構造は，新設橋梁あるいは劣化した橋梁床版の更新工事を迅速化するとともに，床版を軽量化して橋桁への負担を軽減し，かつ床版部材を高品質化，高耐久化することを目的として開発した．床版更新工事の急速施工は，渋滞の軽減や交通規制期間の短縮に大きな効果があり，従来の RC 床版に比べて耐荷性，耐久性に優れているうえ，RC 床版よりも厚さを 10%，重量を 20%削減することに成功した．</p>	

**第 4 章**では，日本国内で本格化している鋼橋の床版取換工事において，生産性の改善余地が高い工種のひとつである，鋼合成桁橋の RC 床版撤去の合理化技術について記載した．本研究では，大型の円盤型コンクリート切断機（ウォールソー）を使って床版に 45 度の角度で切れ込みを入れて床版内のスタッドジベルを切断し，コンクリートを破砕せずに床版をジャッキアップ・撤去する技術を考案した．本技術は第 3 章のプレキャスト PC 床版の開発過程で試行したヘッドレススタッドジベルにからヒントを得て着想したものである．考案した技術は，まず要素実験で有効性を確認した後，橋梁床版部を実物サイズでモデル化した供試体で施工実験を実施し，既設床版コンクリートを破砕せず，形状を保持したままブロック毎に撤去できることを確認した．本技術は高速道路橋の鋼合成桁橋の床版取替工事で試行し，実用上問題なく施工も完了したうえ，労務工数 4%，施工期間 5%の削減が可能となることを確認した．

**第 5 章**では，床版取替え工事の中でも多大な労務作業と日数を要するプレキャスト版接合工を合理化する目的で半剛接合構造を採用し，実橋に適用可能であることを実験的研究によって確認した．その後，同技術を鋼非合成桁橋の新設工事に採用し，同橋梁において施工試験による省力化・施工時間短縮を確認し，実橋載荷試験を実施して床版の力学挙動を確認した．本技術は，すでに高速道路橋の床版取替工事において施工し，1 年後の追跡調査でも変状は報告されていない．工場および現場での施工調査の結果，本技術を使用した場合，従来の施工法に比べて労務工数 9%，施工期間 7%の削減が可能となることを確認した．

**第 6 章**では，本研究を通して得られた成果と知見をまとめ，今後の課題と展望について述べた．

学 位 論 文 要 旨 (Summary of the Doctoral Dissertation)	
学位論文題目 (Dissertation Title)	道路橋の床版更新工事を合理化するための要素技術の開発 (Development of Constituent Technologies to Rationalize Bridge Deck Replacement)
氏 名(Name)	YAMANE Takashi
<p>Currently, out of Japan's total expressway network of approximately 9,000 km, about 40% (around 3,700 km) has been in use for over 30 years. Among the road structures in this section, bridges have been significantly affected by salt damage due to the application of anti-icing agents in winter and fatigue deterioration caused by the increasing number of heavy vehicles. Therefore, the expressway operating companies, as the managing entities, have initiated a comprehensive large-scale renewal and repair project for expressways. As part of this initiative, they are promoting deck replacement for bridges with a total length of 230 km.</p> <p>Since bridge deck replacement has limited construction experience in Japan, there is little knowledge regarding quality and durability assurance. Additionally, as expressway bridge construction involves large-scale traffic restrictions, shortening the construction period has become a key challenge. In addition, the significant decline in the number of construction workers in Japan has made it increasingly important to accomplish construction objectives with fewer labor resources than in the past. Under these circumstances, this study focuses on optimizing the precast deck structure and streamlining the construction process for bridge deck replacement projects. First, in the United States, where expressway development began earlier than in Japan and bridge deterioration had already become a significant issue, a rationalized precast PC deck structure was developed. Subsequently, to streamline the labor-intensive and time-consuming processes in Japan's deck replacement projects—specifically, the removal of existing RC decks on steel composite girder bridges and the joining of precast deck panels—experimental studies were conducted.</p> <p>In Chapter 1, 'Introduction,' the study examines the historical context of aging bridges at the time of their construction, focusing on social background, materials, design standards, construction methods, and post-service events. It provides an overview of the history of bridge construction in Japan, a comparison of bridge structures between Japan and the United States, and the history and current state of bridge maintenance. Furthermore, it discusses the recent issues of damage to road bridge decks and the current state of maintenance technologies. Finally, it details the background and objectives of this study, which focuses on rationalization technologies for deck replacement.</p> <p>In Chapter 2, 'Review of Previous Studies,' the design standards and structures of road bridge decks at the time of their construction were investigated. Subsequently, the causes and mechanisms of RC deck deterioration were analyzed, followed by a review of repair and reinforcement technologies. Finally, research and development efforts, as well as practical applications related to</p>	

bridge deck replacement technologies directly relevant to this study, were examined and summarized.

Chapter 3 summarizes a comprehensive research program conducted in the United States, which included the planning, analysis, load testing, and construction testing of a new road bridge deck system. This new deck structure was designed to accelerate the construction of new bridges and the replacement of deteriorated bridge decks while reducing deck weight to lessen the load on girders. Additionally, it aims to enhance the quality and durability of deck components. Compared to conventional reinforced concrete decks (RC decks), the newly developed deck demonstrates superior load-bearing capacity and durability. Furthermore, it achieves a 10% reduction in thickness and a 20% reduction in weight compared to RC decks.

Chapter 4 discusses the rationalization technology for removing RC decks from steel composite girder bridges. In this study, a technique was developed using a large-diameter disc concrete cutting machine (wall saw) to make 45-degree cuts into the deck, severing the embedded stud connectors without breaking the concrete. This allowed the deck to be lifted and removed intact using jacks. The proposed technology was first validated through element testing, followed by full-scale construction experiments using bridge deck mock-ups. These tests confirmed that the existing deck concrete could be removed in blocks while maintaining its shape, without crushing. This technology was applied on a trial basis to the replacement of bridge decks on composite steel girder bridges on expressways, where the construction was completed successfully without practical issues. The trial confirmed that labor input could be reduced by 4% and the construction period by 5%.

Chapter 5 focuses on the rationalization of precast deck panel connection technology. In this study, experimental research confirmed that a semi-rigid connection structure could be applied to actual bridges. Subsequently, this technology was adopted in the construction of a new steel non-composite girder bridge, where construction trials demonstrated labor savings and reduced construction time. A full-scale load test was also conducted on the bridge to verify the mechanical behavior of the deck.

This technology has already been implemented in bridge deck replacement work on expressway bridges, with no defects reported even in a follow-up survey conducted one year after completion. Surveys conducted at the precast plant and on-site confirmed that, compared to conventional methods, the technology can reduce labor input by 9% and shorten the construction period by 7%.

Chapter 6 summarizes the findings and insights gained through this study and discusses the challenges and prospect.

## 学位論文審査の結果及び試験、試問の結果報告書

山口大学大学院創成科学研究科

氏 名	山根・隆志
審 査 委 員	主 査：吉武 勇
	副 査：中村 秀明
	副 査：麻生 稔彦
	副 査：渡邊 学歩
	副 査：山田 悠二
	副 査：蓮池 里菜
論 文 題 目	道路橋の床版更新工事を合理化するための要素技術の開発 (Development of Constituent Technologies to Rationalize Bridge Deck Replacement)
<p>【論文審査の結果及び試験、試問の結果】</p> <p>現在、日本の高速道路網の総延長約 9000km のうち、供用から 30 年以上経過した道路が約 4 割（約 3700km）に達している。このうち橋梁床版では、冬期の凍結防止剤散布による塩害劣化や大型車両の増加に伴い疲労劣化が顕著となっている。そのため高速道路の包括的な大規模更新・修繕事業が進められ、その中で延べ延長 230km の橋梁において床版更新（取替え）が推進されている。高速道路橋の床版更新工事では大規模な交通規制を伴うことから工期短縮が事業命題となっている。さらに、現在国内では建設業従事者の減少が顕著になっており、従来よりも少ない労務工数で工事を完遂しなければならない。そこで本研究では、床版更新工事において工期短縮と労務工数削減を目的とした生産性向上の技術開発に取り組んでいる。本論文は、これらの研究をまとめたものであり、全 6 章から構成されている。各章の要旨を以下に示す。</p> <p>第 1 章では、老朽化した橋梁の建設当時の社会的背景、材料、設計規準、施工法、供用後の事象などに着眼し、日本における橋梁建設、橋梁構造や維持管理技術の歴史と現状についてまとめている。さらに、道路橋床版の劣化損傷と維持管理技術を概説し、床版更新の生産性向上に関する研究背景を示しながら、本研究の目的を明らかにしている。</p> <p>第 2 章では、道路橋床版の設計規準や構造について調査し、それらの変遷について詳しくまとめている。また RC 床版の劣化の原因・現象を示しながら、補修・補強技術について整理している。さらに道路橋床版の更新技術に関する工事報告、研究開発および実績を調査し、生産性向上技術に関する既往の研究をレビューしている。</p> <p>第 3 章では、道路橋床版の企画、解析、載荷試験、施工試験の包括的研究プログラムについてまとめている。新設橋梁あるいは劣化した橋梁床版の更新工事を迅速化するとともに、</p>	

床版を軽量化して橋桁への負担を軽減でき、高品質化・高耐久化を図る PC 床版構造の開発を行っている。開発した PC 床版は従来の RC 床版に比べて耐荷性・耐久性に優れ、RC 床版よりも厚さを 10%、重量を 20%削減することに成功している。

第 4 章では、鋼合成桁橋の RC 床版撤去の合理化技術についてまとめている。大型の円盤型コンクリート切断機（ウォールソー）を使って床版に 45 度の角度で切れ込みを入れて床版内のスタッドジベルを切断し、コンクリートを破碎せずに床版をジャッキアップ・撤去する技術を開発している。本研究では、橋梁床版部を実物サイズでモデル化した供試体で施工実験を実施し、既設の実橋梁においてコンクリート床版を破碎せずブロック化して撤去することに成功した。本技術により高速道路の鋼合成桁橋の床版更新工事で試行し、労務工数 4%、施工期間 5%を削減できたことを報告している。

第 5 章では、プレキャスト PC 床版の接合工を合理化するため、半剛接合構造の適用性について検討している。本技術を鋼非合成桁橋の新設工事に採用し、施工試験による省力化・施工時間短縮を確認した上で、実橋載荷試験を行い床版の力学挙動を調べている。さらに本技術は、高速道路橋の床版取替工事において施工し、追跡調査を行っている。本技術により従来の施工法に比べて労務工数 9%、施工期間 7%を削減できたことを報告している。

第 6 章では、本研究で得られた成果と知見をまとめ、今後の課題と展望を述べている。

公聴会には、学内外から 64 名（対面式 47 名、オンライン 17 名）の聴講者があった。公聴会における主な質問内容は、①開発技術のコスト削減効果、②間詰め材料の耐用年数、③開発技術の国際展開、④床版撤去・更新のさらなる合理化技術について、などであった。いずれの質問に対しても発表者からの的確な回答がなされた。

以上より本研究は独創性、信頼性、有効性、実用性ともに優れ、博士（工学）の論文に十分値するものと判断した。

試験および試問として、3 名の副査から以下の内容の課題が課された。

1. 床版撤去・更新における施工費用と工期短縮・省力化について
2. 床版撤去・更新に関する歴史的変遷について
3. 許容応力度法／限界状態設計法／部分係数法／性能照査法の橋梁設計法について

これらの試問に対し、丁寧なレポート形式での解答がなされ、また口頭試問に対しても満足のいく回答がなされた。さらに、語学については著者単名の英文論文が発表されており、その内容から判断して、十分な外国語能力を有するものと判断された。また、論文内容および審査会、公聴会での試問応答など総合的に判断して、最終試験は合格とした。

なお、主要な関連論文の発表状況は下記のとおりである。（関連論文 計 6 編、参考論文 3 編）

- 1) Takashi Yamane, Maher K. Tadros, and P. Arumugasaamy: Short to Medium Span Precast Prestressed Concrete Bridges in Japan, PCI Journal, Vol.39, No.2, pp.74-100, 1994.3.
- 2) Takashi Yamane, Maher K. Tadros, Sameh S. Badie, Mantu C. Baishya: Full Depth Precast, Prestressed Concrete Bridge Deck System, PCI Journal, Vol.43, No.3, pp.50-66, 1998.5.
- 3) 山根隆志, 佐藤久文, 吉武 勇: 鋼合成桁橋の RC 床版撤去の合理化技術, 土木学会論文集, Vol.81, No.1, 24-00059, 2025.1.