

# 博士論文要旨

## H形鋼を用いた床版橋および門形ラーメン橋の 構造性能に関する研究

A study on structural performances of reinforced concrete slab bridge  
and rigid-frame bridge with H-shaped steel girders

金沢大学大学院自然科学研究科

環境デザイン学専攻

学 籍 番 号 1424052010

氏 名 中井 良彰

主任指導教員氏名 深田 宰史

## Abstract

In Japan, there are many short span bridges of about 5.0 to 25.0 m in the countryside where the financial situation remains difficult. Moreover, the number of aging bridges is increasing. Therefore, low-cost bridges are required to replace such aging bridges with new ones.

This study proposed a reinforced concrete slab bridge with H-shaped steels, which has high load-carrying capacity and cost advantages. A previous study of the author clarified that a hybrid section could be consisted of concrete and H-shaped steel without the use of stud dowels and could withstand loads until the plastic stage and that the static load was equally distributed to each H-shaped steel section in the elasticity stage. The bridge elicited high-fatigue capacity and load-carrying capacity performances under cyclic loads that were comparable to the statically (noncyclically) loaded performances. This study also proposed a reinforced concrete rigid-frame bridge with H-shaped steels to reduce the maintenance cost and to increase seismic performance. Especially, a new structural rigid connection is proposed for H-shaped steel girders and main reinforcing bars of the abutments at the corner of the rigid-frame structure. Then, the static loading test was carried out to grasp the structural integrity of the proposed rigid connection. Finally, the validity of the proposed rigid corner was confirmed, and the failure behavior was clarified.

## 第1章 序論

国内の橋梁の現状を把握し、財政事情の厳しい市町村に 5.0～25.0m 程度の短支間橋梁が多く、今後老朽化橋梁が増加していくことに触れた。そして、架替えの際に建設コストや維持管理コストなどで有利な H 形鋼を用いた床版橋を提案した。また、単純桁橋よりも門形ラーメン橋がより建設コストや維持管理コストの削減ができることを述べ、H 形鋼を用いた床版橋を上部構造とする、H 形鋼を用いた門形ラーメン橋を提案した。この門形ラーメン橋の隅角部構造について、これまでの研究を紹介し、さらに簡単で確実な構造を提案した。

## 第2章 H 形鋼を用いた床版橋および門形ラーメン橋の構造概要と施工事例

新しい構造である H 形鋼を用いた床版橋および門形ラーメン橋について、それぞれの構造概要と施工事例について写真を交えて説明した。

H 形鋼を用いた床版橋は、従来鉄道橋として多用されてきた H 鋼埋込み桁を改良し、耐久性と施工性、経済性を向上させた新しい床版橋である。適用支間長である 5.0m～20.0m 程度では、従来工法であるプレテンション方式 PC 床版橋と比較して低コストであること、施工が早いこと、桁高が低く都市部など低桁高が求められる場所に適していること、桁運搬や架設が容易であること、などメリットの多い床版橋である。

H 形鋼を用いた門形ラーメン橋は、上部構造（H 形鋼を用いた床版橋）と下部構造を剛結合し、上下部一体構造とした複合門形ラーメン橋である。この門形ラーメン橋では、H 形鋼と鉄筋による簡単で確実な隅角部構造を提案し採用している。適用支間長 5.0～25.0m 程度の短支間橋梁では、これまでは設計や施工の簡便さから、上部構造を下部構造に支承を介して支持する単純桁橋梁が多く用いられてきた。これに対し、H 形鋼を用いた門形ラーメン橋は、単純桁構造のプレテンション方式 PC 床版橋と比較して、初期コストや維持管理コストいずれも低コストであること、施工が早いこと、桁高が低く都市部など低桁高が求められる場所に適していること、特殊な技術は不要で施工が容易であること、などメリットの多い橋梁である。

## 第3章 H 形鋼を用いた床版橋の耐荷力性能と耐疲労性能

H 形鋼を用いた床版橋は、H 形鋼とコンクリートによる合成構造として設計しているが、実際に合成効果はどの程度期待できるのか、また横つなぎ鉄筋による橋軸直角方向への荷重分配が理論通り成されているか、さらに疲労に対する安全性は確保されているか、について明確ではなかった。そこで、試験体を作成して、静的載荷試験および荷重繰返し載荷試験を行った。また、静的載荷試験については、破壊に至るまでの試験も行い、それぞれ試験と解析による結果との比較を行った。それらを以下にまとめる。

- ・静的載荷試験により、H 形鋼とコンクリートとの合成効果が確認でき、合成構造として設計するのが妥当であることが確認できた。
- ・静的載荷試験により、横つなぎ鉄筋による橋軸直角方向への横分配が機能していることが確認できた。
- ・荷重繰返し載荷試験による疲労試験と疲労試験後の静的載荷試験により、本構造の耐疲労性能について問題ないことが確認できた。

H 鋼桁を用いた床版橋は、最大 20m 程度の短支間橋梁に対して、施工が非常に簡単で経済性にも優れた構造であるといえ、その標準化が期待される場所である。今後の課題として、経済性を追求するため、H 形鋼高さと主桁間隔の最適バランスを検討する必要があると考える。

#### 第 4 章 H 形鋼を用いた門形ラーメン橋の耐荷力性能

提案した隅角部構造の耐荷力性能を確認するため、隅角部モデルを使った静的載荷試験により、破壊までの挙動を把握し、耐荷力性能の検証を行った。その際、耐久性向上のための防食塗装として、熔融亜鉛メッキ処理を施した H 形鋼を使ったモデルによる試験も行い、熔融亜鉛メッキ処理の有無による耐荷力性能の差異を検証した。また、桁間に補強桁を追加したモデルによる試験も行い、補強桁の有無による耐荷力性能の差異を検証した。それらを以下にまとめる。

- ・静的載荷試験により、ラーメン橋隅角部構造のひび割れの発生状況と破壊モードの確認ができた。
- ・数値解析結果は試験から得られた結果とよく一致していた。これは、パラメトリック解析の基礎的な一歩であり、ラーメン橋隅角部構造の更なる検証や改善に役立つものである。
- ・H 形鋼の熔融亜鉛メッキ処理については、その有無の比較を行った結果、破壊挙動や終局荷重に大きな差はみられなかった。また、終局荷重の差が小さいため、亜鉛メッキ皮膜が付着強度に及ぼす影響や、コンクリートと H 形鋼との間の荷重伝達については、ここで検討したケースでは結論づけるのは困難であった。
- ・補強桁を使用しない場合、H 形鋼の上フランジは、堅壁主鉄筋が降伏した後に塑性化したが、補強桁を使用すると塑性化はみられなかった。したがって、H 鋼桁の桁間隔が広い場合には補強桁を用いることは効果的であるといえる。
- ・ネジ節異形棒鋼とナットを使った隅角部構造には問題は発生しなかった。
- ・パラメトリック解析の結果、H 形鋼の桁高増加（＝床版高さ増加）は、床版の剛性を高め、ひいてはモデルの耐荷力性能を向上させた。
- ・ラーメン橋全体モデルでの載荷試験結果から、破壊モードは支間中央部のコンクリート表面の圧縮破壊であることがわかった。また、隅角部付近では塑性化は発生せず、隅角部構造の破損も確認されなかった。したがって、今回のラーメン橋隅角部構造は、ラーメン橋全体モデルでもその有効性は確認された。

この隅角部構造は、最大 20m 程度の短支間橋梁に対して、施工が非常に簡単でコストにも優れた構造であるといえ、その標準化が期待される場所である。しかし、今回の結果は、実験室で行われた実験と数値解析に基づいて得られたものであり、実際に即した、まだ一層の検証が必要と考える。また、動的載荷試験等による耐久性の検証は必須事項であると考えている。

#### 第 5 章 結論

本研究で得られた知見をまとめた。また、今後の課題と展望について以下に示す。

##### (1) H 形鋼を用いた門形ラーメン橋隅角部の耐力照査式

今回の試験や解析を通して、今回提案した隅角部構造は、安全で確実な構造であることが確認できた。ただし、設計するにあたり、隅角部は剛であることを前提としているが、間違いなくそう言い切れるの

かを確認する必要があると考える。

土木学会の複合構造物の性能照査指針（案）によると、『接合部の耐力が接合部を剛体とみなして求めた断面力の2倍程度以上、あるいは接合部の部材角、せん断変形角が十分小さければ、一般に剛であると考えてよい』とされている。この文の前半部分にしたがって、今回提案の隅角部構造に発生する断面力が、隅角部の耐力の1/2以下となるように設計すれば、この隅角部構造は剛であるとみなすことができる。そのためには、隅角部の耐力を算定するための耐力算定式が必要であると考え。また、算定式を整備することにより、この隅角部構造のほかの構造物への転用も容易になると考える。

## (2) 部分係数設計法のための部分係数の提案

平成29年11月に道路橋示方書・同解説が改定され、道路橋の設計がこれまでの許容応力度設計法から部分係数設計法へ移行した。これにより、多様な構造や新材料に対応することが可能となった。

H形鋼を用いた床版橋および門形ラーメン橋の設計もこれに対応すべく、ソフトウェアの改修を行っているが、現在のところ「調査・解析係数」「部材・構造係数」「抵抗係数」は道路橋示方書に記載されている一般的な数値を用いている。そこで、より実際に則した設計ができるように、今回の試験や解析結果を用いることにより、H形鋼を用いた床版橋および門形ラーメン橋独自の部分係数の提案が可能であると考え。

## (3) 新材料の採用

わが国は現在少子高齢化・人口減少という問題を抱えており、建設業の担い手は減少の一途をたどっている。このような状況において、橋梁の架設現場ではいかにして省力化を図るかが課題となっている。

H形鋼を用いた床版橋および門形ラーメン橋では、桁間に落とし込む型枠や鉄筋加工形状など、できるだけ簡単に早く施工ができるように改良を重ねてきた。そこで、更なる省力化を図る手段として、H形鋼のCFRP（炭素繊維強化プラスチック）化を提案する。これにより、H形鋼の架設にはトラッククレーンが不要となり、より小さなユニッククレーンや人力で行えるようになり、省力化につながると考える。また、運搬が容易となり、より狭い場所での施工も可能となる。さらに、耐久性の面からは、腐食のための対策が不要となり、鉄筋などその他の鋼材もCFRP化すれば、海上や海岸線など環境の厳しい場所への対応も容易となる。ただし、建設コストの上昇が見込まれるため、これが課題となる。

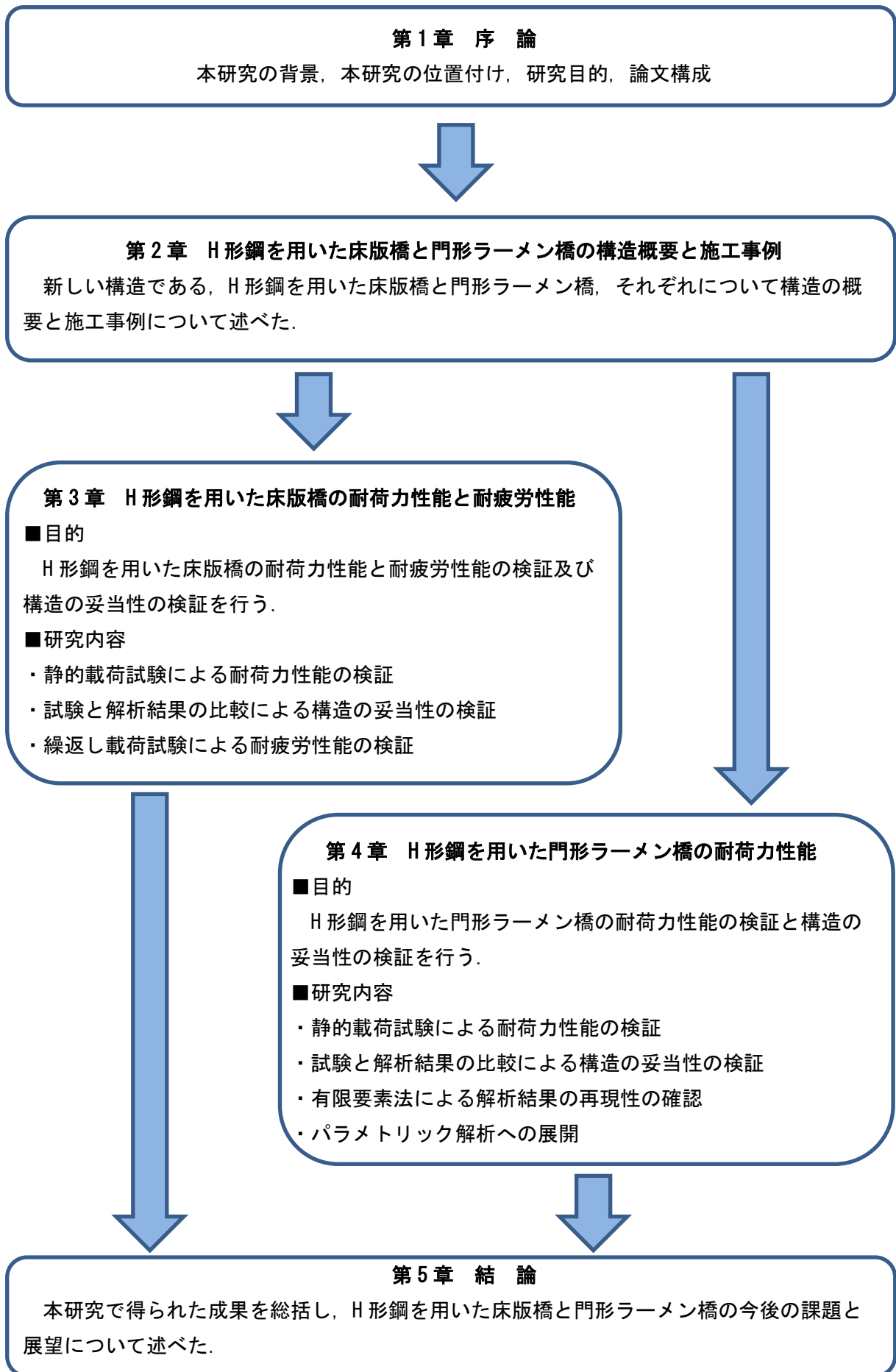


図 論文のフロー

## 学位論文審査報告書（甲）

## 1. 学位論文題目（外国語の場合は和訳を付けること。）

H形鋼を用いた床版橋および門形ラーメン橋の構造性能に関する研究

## 2. 論文提出者 (1) 所 属 環境デザイン学 専攻

(2) 氏 名 中井 良彰

## 3. 審査結果の要旨（600～650字）

本学位申請論文に対して、審査員全員による口頭試問を行うとともに、論文の内容について精査した。また、令和元年8月2日に開催した口頭発表および同日に開催した審査委員会において協議した結果、次のとおり判定した。本学位申請論文では、老朽化の一途をたどっている橋梁が年々増加する状況の中、財政事情の厳しい地方自治体のニーズに合った新しい橋梁形式として、支間長5.0～25.0m程度の短支間橋梁に最適なH形鋼を用いた床版橋とH形鋼を用いた門形ラーメン橋を開発した。H形鋼を用いた床版橋においては、実物大モデルによる静的載荷試験および数値解析から、合成効果や横方向分配効果、および耐荷力性能を確認するとともに、繰返し載荷試験により、十分な耐疲労性能を有していることを明らかにした。また、H形鋼を用いた門形ラーメン橋においては、実物大の隅角部モデルを用いた静的載荷試験および数値解析により、隅角部構造の耐荷力性能、安全性について明らかにした。このように本学位申請論文において明らかにしたH形鋼を用いた床版橋および門形ラーメン橋の構造性能は、これからの実務設計に大きく貢献するものであり、工学的に有用な知見を多く得ている。また、これらの知見は国内の査読付き論文に発表したことに加え、国際会議においても発表しており、コミュニケーション能力の確認もできた。以上より、本学位申請者（中井良彰氏）は博士（工学）に値するものと判定した。

## 4. 審査結果 (1) 判 定（いずれかに○印）合格・不合格

(2) 授与学位 博士（工学）

## 5. 学位論文及び参考論文に不適切な引用や剽窃が無いことの確認

確認済み（確認方法：審査員全員で学位論文および参考論文・副論文を精査し、iThenticateプログラムを用いた盗用および剽窃の確認を行った。）

未確認（理由：）