

|          |  |
|----------|--|
| 氏名 (本籍)  | 岩田 隆弘 (愛知県)  |
| 学位の種類    | 博士 (工学)  |
| 学位授与番号   | 甲第659号   |
| 学位授与日付   | 令和6年3月25日  |
| 専攻       | 工学専攻   |
| 学位論文題目   | Effect of scour on vibration characteristic of bridge system<br>(橋梁システムの振動特性に及ぼす洗掘の影響) |
| 学位論文審査委員 | (主査) 教授 内田 裕市<br>(副査) 教授 國枝 稔 准教授 木下 幸治<br>外部審査委員 Ricky W. K. Chan                     |

### 論文内容の要旨

橋脚の洗掘により橋梁本体に損傷が生じる事象が世界中で発生しており、橋梁の安全性に影響を与える。これまでに行われている洗掘に対するモニタリング技術は、特殊な装置の使用や、河川環境の影響を受けやすいため、モニタリングシステムの普及の足かせとなっている。これに対し、工学分野で広く使用されている加速度計などの慣性センサを活用し、洗掘による橋梁の振動特性の変化に焦点を当てた研究が進んでいる。ただし、これらの研究は主に下部構造の振動特性に焦点を当てており、上部構造の振動特性に着目した研究は限られている。本論文では、橋脚周辺の洗掘による橋梁システムの下部構造のみならず上部構造の振動特性の変化にも焦点を当て、模型実験、既設橋梁の計測および数値解析を通して検討している。

第1章では、本研究の背景を示した上で、洗掘の検出およびモニタリングにおける課題や近年の洗掘の被害の例を示し、本研究の目的について述べている。

第2章では、従来の洗掘の点検手法や、既往の研究でこれまでに提案されてきたモニタリング方法に関する文献調査により、提案されてきた洗掘の点検およびモニタリング方法の課題について述べ、橋梁の下部構造のみならず上部構造の振動計測に基づく洗掘のモニタリング方法の有効性を示している。加えて、橋梁の振動計測に関して解析的に評価する場合の橋梁のモデル化方法について既往の研究や指針を整理し、従来のモデル化方法の課題と、本研究で検討するモデル化の方針について示している。また、橋梁が耐震補強や補修などにより、上部構造の剛性と振動特性が変化する可能性について述べ、その一例として米国で研究が進められている鋼鉄桁橋の上部構造対傾構にダンパーを適用した耐震設計について示している。

第3章では、実橋梁を対象とするため、実橋梁システムの振動特性を正確に捉えることが可能な高精度で計算コストを抑えた解析手法を検討している。ここでは、震動台を用いた載荷実験やシェル要素でモデル化された高精度な解析モデルとの比較から各構造部材の剛性や振動特性を検証した上で、主に梁要素により構築した高精度な解析手法を提案している。加えて、耐震補強として対傾構にダンパーが適用された場合の振動特性への影響についても検討し、場合により固有振動数が数%程度変化する可能性があるため、ダンパー適用による振動特性の変化を事前に把握する必要があることを示している。

第4章では、4つの基礎形式を有する単柱試験体と、これに上部構造を模擬したモデルを加えた橋梁システム試験体を用いた振動実験とその数値解析により洗掘が橋梁の振動特性に及ぼす影響について検討している。その結果、下部構造の水平振動のみならず、上部構造のねじれ振動を計測することによっても、洗掘による橋梁システムの振動特性の変化を捉えることができることを明らかとしている。その上で、実験および解析の結果を基に、洗掘量とねじれ振動の固有振動数の変化を整理し、対策の検討が必要と考えられるねじれ振動の固有振動数の低下率を提示している。

第5章では、洗掘が確認された既設橋梁に対し、加速度計を用いて上部構造および下部構造の振動計測を行い、その計測結果と第3章で検討した上部構造のモデル化手法を基に構築した実橋梁の解析モデルを対象に、洗掘の進行に伴う振動特性の変化に関するシナリオ解析を行っている。解析の結果、対象とした杭基礎を有する実橋梁は、洗掘によって下部構造の振動特性が顕著に変化する一方で、上部構造のねじれ振動に関しても僅かに変化することが示されている。この結果は、同形式の橋梁シス

テムの模型実験の結果と類似しており、実橋梁の洗掘による振動特性の変化を予測することが可能であることを示唆している。

第6章では、各章で得られた研究結果をまとめ、今後の研究の展望について述べている。

### 論文審査結果の要旨

本論文では、橋脚周囲の洗掘による橋梁の振動特性の変化に焦点を当て、模型実験、既設橋梁の計測、およびそれらの数値解析により検討している。最初に、模型実験、並びに実橋梁システムの振動特性を捉えることが可能な高精度で、かつ計算コストを抑えた解析手法を検討している。具体的には、震動台を用いた載荷実験やシェル要素でモデル化された高精度な解析モデルとの比較から各構造部材の剛性や振動特性を検証した上で、主に梁要素により構築した高精度な解析手法を提案している。さらに、耐震補強等によって上部構造の剛性が変化する一例として、上部構造の対傾構にダンパーを適用した場案の実橋梁の振動特性への影響を確認した結果、ダンパーの適用により固有振動数が、場合により数%程度変化する可能性があるため、ダンパー適用による振動特性の変化を事前に把握する必要があることを示している。次に、4つの基礎形式を有する単柱試験体と、これに上部構造を模擬した模型を加えた橋梁システム試験体を用いた振動実験とその数値解析により洗掘が橋梁の振動特性に及ぼす影響について検討している。その結果、下部構造の水平振動のみならず、上部構造のねじれ振動を計測することによっても、洗掘による橋梁システムの振動特性の変化を捉えることができることを明らかとしている。その上で、計測した実橋梁を対象に、洗掘の進行に伴って生じ得る振動特性の変化を予測するシナリオ解析を行っている。解析の結果、対象とした杭基礎を有する実橋梁は、洗掘によって下部構造の振動特性が顕著に変化する一方で、上部構造のねじれ振動に関しても僅かに変化することが示されている。この結果は、同形式の橋梁システムの模型実験の結果と類似しており、実橋梁の洗掘による振動特性の変化を予測することが可能であることを示唆している。

以上より、本論文は橋梁システムの振動特性に及ぼす洗掘の影響評価およびその検出方法に関して、特に上部構造のねじれ振動として生じる僅かな変化を基にした新たな検出方法を提案し、模型実験と実橋梁を対象とした詳細な振動特性の分析により実証している点は、有用性に優れているといえる。したがって、学位審査委員会は審査の結果、この論文を学位論文に値するものと判定した。

### 最終試験結果の要旨

学位審査委員会は、提出された論文の主要部分である3章が、下記に示す既発表の2編の審査付き論文から構成されていることを確認するとともに、令和6年2月5日に開催された学位論文公聴会における質疑応答と口頭試問などに基づいて審査を行い、最終試験に合格と判定した。

---

発表論文（論文名、著者、掲載誌名、巻号、ページ）

1. 鋼上部構造へのダンパー・ブレースの適用性を検討可能な縮小試験体と解析手法の構築，木下幸治，岩田隆弘，井上一磨，土木学会論文集 A1（構造・地震工学），Vol. 74, No. 4, [特]地震工学論文集，Vol. 37, pp.I\_941-I-954, 2018.  
（第3章に記載）
2. 鋼上部構造対傾構へのせん断型ダンパー・ブレースの適用性の検討，岩田隆弘，木下幸治，土木学会論文集 A1（構造・地震工学），Vol. 76, No. 4, [特]地震工学論文集，Vol. 39, pp. I\_667-I\_677, 2020.  
（第3章に記載）