

学位論文及び審査結果の要旨

横浜国立大学

氏名	Addisu Desalegne Bongor																				
学位の種類	博士（工学）																				
学位記番号	都市博甲第2234号																				
学位授与年月日	2022年9月16日																				
学位授与の根拠	学位規則（昭和28年4月1日文部省令第9号）第4条第1項及び横浜国立大学学位規則第5条第1項																				
学府・専攻名	都市イノベーション学府 都市イノベーション専攻																				
学位論文題目	Performance evaluation of countermeasures against rupture and protrusion of vertically prestressing steel bars in PC girders																				
論文審査委員	<table border="0"> <tr> <td>主査</td> <td>横浜国立大学</td> <td>教授</td> <td>細田 暁</td> </tr> <tr> <td></td> <td>横浜国立大学</td> <td>教授</td> <td>前川 宏一</td> </tr> <tr> <td></td> <td>横浜国立大学</td> <td>教授</td> <td>早野 公敏</td> </tr> <tr> <td></td> <td>横浜国立大学</td> <td>准教授</td> <td>藤山 知加子</td> </tr> <tr> <td></td> <td>カイロ大学</td> <td>教授</td> <td>Hamed M. M. SALEM</td> </tr> </table>	主査	横浜国立大学	教授	細田 暁		横浜国立大学	教授	前川 宏一		横浜国立大学	教授	早野 公敏		横浜国立大学	准教授	藤山 知加子		カイロ大学	教授	Hamed M. M. SALEM
主査	横浜国立大学	教授	細田 暁																		
	横浜国立大学	教授	前川 宏一																		
	横浜国立大学	教授	早野 公敏																		
	横浜国立大学	准教授	藤山 知加子																		
	カイロ大学	教授	Hamed M. M. SALEM																		

論文及び審査結果の要旨

令和4年8月1日（月）16時15分～17時15分に、環境情報棟1号棟515室およびオンラインにて公聴会を行い、その後、審査会は公聴会の後、17:15から同室で引き続き行われた。

本論文は、首都高速道路のプレストレストコンクリート橋のPC桁に使用されている鉛直締めPC鋼棒が腐食により破断し突出する事象による第三者被害を防止するための各種の対策について、応用要素法による数値シミュレーションにより性能の評価を行い、合理的で安全な対策の提案を行うためのものである。数値シミュレーションは実験による検証が行われ、数値解析における各種の重要なパラメータの同定を行い、精度の高いシミュレーションモデルが構築されている。アスファルト舗装の力学的特性の温度依存性・ひずみ速度の影響、ポリウレアの大きな変形能力、鋼繊維補強ポリマーセメントモルタルの曲げタフネスなどを考慮し、PC鋼棒の破断突出現象と各種対策による突出抑制効果を精度よくシミュレーションすることに成功している。構築したシミュレーションツールを活用して、首都高速道路の抱える20,000本以上の鉛直締めPC鋼棒の破断突出対策のシステムを構築する方法論を提示しており、工学的に有用な成果が多く得られている。

序論では、首都高速道路の管理するPC橋梁における鉛直締めPC鋼棒の統計データが整理され、本研究で検討する鉛直締めPC鋼棒の破断突出に対する対策の確立の重要性が示されている。また、筆者らが分析した実際のPC鋼棒の破断した事例の分析結果も述べられている。これらを踏まえ、研究の背景と目的がまとめられている。

2章では、本研究に関連する既往の研究がレビューされている。

3章では、破断突出対策がなされていない状況でのPC鋼棒の破断突出を模擬した実験の数値シミュレーションによる再現が検討されている。実験においては、4.5mのPC鋼棒を切断し、4,408Jのエネルギーで破断突出させたところ、15mmのかぶりが破壊され、4.5mのPC鋼棒が供試体から完全に突出した。数値解析では、供試体の各構成材料の適切なモデル化と、特にPC鋼棒とシースの接触時の剛性、コンクリートの破壊エネルギー、コンクリートの力学的特性へのひずみ速度の影響、数値解析の時間間隔、要素分割を適切に考慮することで、実験結果を適切に再現することが可能であった。

4章では、アスファルト舗装のPC鋼棒の破断突出の抑制効果が検討されている。0℃、28℃、50℃程度の外気温の環境で破断突出の実験が実施され、それぞれの条件について数値シミュレーションによる再現が検討されている。アスファルト小型試験体の曲げ試験の結果から材料特性のモデル化を行い、舗装とコンクリートの界面特性の適切なモデル化、アスファルト等の力学的特性へのひずみ速度の影響を考慮することにより、破壊形態を含めて実験結果を適切に再現することが可能であった。3種類の外気温すべてにおいて、4,408Jのエネルギーでの破断突出はアスファルト舗装により防止できることが分かった。なお、4,408Jのエネルギーを考慮することで、首都高速道路のPC鋼棒のほとんどをカバーすることが可能である。

5 章では、ポリウレアのシートによる PC 鋼棒の破断突出の抑制効果を重錘落下試験により検討した。コンクリート床版の下面に吹付けによりポリウレアのシートを形成し、重錘落下により 15mm のコンクリートを押し抜いて、ポリウレアのシートによるエネルギー吸収能力を検討した。破壊性状は高速度カメラによる映像により分析した。3mm, 5mm, 10mm の各厚さのポリウレアに対する重錘落下試験の結果を、応用要素法による数値シミュレーションで精度よく再現することができた。

6 章では、首都高のコンクリート床版の上面補修に用いられる鋼繊維補強ポリマーセメントモルタル (PCM) による PC 鋼棒の破断突出の抑制効果を重錘落下試験により検討した。PCM の圧縮強度、引張強度、曲げタフネス等の力学的特性を実験により検討し、数値シミュレーションの入力に用いた。既往の研究を参考にひずみ速度の影響を考慮し、重錘落下試験の結果を再現することができた。なお、重錘落下試験における床版試験体の支持条件が不適切であったことが高速度カメラの分析により判明し、支持条件の改善方法を数値シミュレーションも活用して検討し、改善した支持条件で重錘落下試験を再度行い、適切な実験を実施できた。

7 章では、本研究で構築した数値シミュレーション技術も活用して、首都高速道路の鉛直締め PC 鋼棒の破断突出対策を確立するための方法論を提示した。アスファルト舗装の経年劣化や温度の影響、アスファルトとコンクリートの界面特性等、現実の構造物の状況を適切に考慮して PC 鋼棒の破断突出のリスクを検討する手法を提案した。今後、本研究で提案した手法を活用して、首都高速道路の鉛直締め PC 鋼棒の破断突出対策が確立されることが期待される。

8 章では、本研究で得られた知見がまとめられ、今後の課題に言及している。

博士論文の内容は新規性に富み、工学上有用な知見を多く含んでおり、論文としての体裁も整っており、審査委員全員一致して合格と判定した。

さらに、提出された論文に対して、iThenticate により剽窃、盗用の不正行為を確認したが、専門用語や短い一般的な現象の定義表現を除き、剽窃や盗用に該当するものは無いことを確認した。

#### (試験の結果の要旨)

2022 年 8 月 1 日 16:15～17:15 に公聴会をハイブリッド方式（環境情報 1 号棟 515 室およびオンライン）で開催し、審査会は公聴会の後、17:15 から同室で引き続き行われた。

博士論文の内容に関する質疑応答は次のような項目について行われた。

- (1) 要素の分割方法や要素形状が数値解析の結果に及ぼす影響
- (2) 実構造物の舗装材料等の供用中の材料劣化の影響をどのように考慮すべきか
- (3) ひずみ速度が数値解析の結果に及ぼす影響

博士論文の内容に関する説明およびそれに対する質疑応答に基づき、研究内容の新規性、独創性、工学上の有用性および論文全体の完成度について審査した結果、本論文は博士学位論文として十分な内容を有していると判断された。

また、質疑応答の結果から、博士論文の研究内容のコンクリート構造、アスファルト材料、補強材料、数値解析手法、および関連する分野の科目について、博士（工学）の学位を得るにふさわしい学力を有すると判定された。

外国語としての英語については、本論文や投稿論文を英語で執筆し、また、国際学会で発表していることから、十分な能力があることが確認された。

修了に必要な単位は全て取得済みである。

以上の結果および学位に必要な条件を全て満たしていることを考慮し、審査委員全員一致して最終試験は合格と判定した。

主な対外発表および論文は以下の通りである。

1. Addisu Desalegne BONGER, Akira HOSODA, Hamed SALEM and Takahisa FUKAYA: Numerical simulation of rupture and protrusion of vertically tightened PC bars in PC girders with asphalt pavement using Applied Element Method, Journal of JSCE, Vol.10, 145-161, 2022.1
2. Addisu Desalegne BONGER, Akira HOSODA, Hamed SALEM, Kazuya KABA: Numerical simulation of rupture protrusion of vertically tightened PC steel bars using Applied Element Method, 12th International Symposium of the Society for Social Management Systems (SSMS 2019), Tokyo Japan, 2019.9

以上より、最終試験は合格であると認められた。