



バックルプレート式鋼鉄道橋の長寿命化に関する研究

福本, 守

(Degree)

博士 (工学)

(Date of Degree)

2020-03-25

(Date of Publication)

2021-03-01

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

甲第7761号

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D1007761>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



(別紙様式 3)

(氏名： 福本 守 NO.1)

論文内容の要旨

氏 名 福本 守

専 攻 市民工学専攻

論文題目 (外国語の場合は、その和訳を併記すること。)

バックルプレート式鋼鉄道橋の長寿命化に関する研究

指導教員 橋本 国太郎

(注) 2, 000 字～4, 000 字でまとめること。

人口減少と少子高齢化の急速な進展が予想されるわが国において、膨大な社会資本を長寿命化、すなわち長期にわたり健全に維持していくことは社会的に重要な課題となっている。本研究の対象であるバックルプレート（以下、BP）式鋼鉄道橋は、その大半が 1930 年代以前に都市部の道路上空などに架設された高経年の閉床式橋梁で、BP の取付け部に沿ったき裂などの変状が発生しているものがある。その多くが狭隘かつ交通量の多い架設環境にあることを考慮すると、これらの措置として桁取替などの大規模な工事は、経済性や社会的影響などからその実施が困難な場合が多く、変状が発生した BP に対する補修工事により、可能な限り桁の長寿命化を図っていくことが現実的と考えられる。

BP の取付け部に沿ったき裂に対して従来から用いられている補修方法は、施工性や経済性、変状の視認性に課題があった。これらの課題がある中で、BP 式鋼鉄道橋の長寿命化を図るためには、従来の補修方法よりも合理的な対策を確立し、補修工事自体の施工性や経済性を向上させるとともに、補修後における定量的な検査、およびそれに基づく適切な維持管理が行える状態にする必要があった。

本論文は、BP の取付け部におけるき裂に対し、従来の補修方法よりも合理的な対策を確立し、それを軸とした、BP 式鋼鉄道橋のさらなる長寿命化を図るための維持管理方法を提案することを目的とした。具体的には、き裂の性状および原因の究明、き裂を有する BP の耐荷性状の把握、新たな補修方法の考案とその効果の検証、および BP 式鋼鉄道橋の維持管理方法の提案の 4 つの検討を行い、その研究成果をまとめたもので、全 8 章より構成されている。

第 1 章では、本研究の背景として、BP 式鋼鉄道橋の歴史と現状や、変状とこれまでの対策の課題、課題の解決方針と既往の研究について概括し、それに基づき、本研究の目的、および本論文の構成を示した。

第 2 章では、BP のき裂に対する従来の補修方法よりも合理的な対策の確立を見据え、その第一義的な課題である BP のき裂の発生性状と原因の究明、および BP の部位別でのき裂の発生しやすさの評価を行うことを目的に、検査記録に基づきき裂の発生傾向の把握、実橋での応力測定と変状調査、および実橋を模擬した有限要素解析（以下、FE 解析）を実施した。その結果、BP のき裂の発生原因は、局所的な面外曲げ応力による疲労だけではなく、防水機能の喪失による BP 上面の腐食の影響を大きく受けた、大気中と比べて腐食が疲労き裂の進展を促進させる現象である腐食疲労であることを示した。

第 3 章では、BP 式鋼鉄道橋を模擬した実大試験体を用いた室内載荷試験および FE 解析に基づき、き裂を有する BP の耐荷性状を明らかにした。その結果、下路形式の BP 桁では、最も事例の多い中央縦桁沿いの取付け部のき裂が進展し、同取付け辺の全長、かつ隣接する 1 辺全長までき裂が進展しても、設計活荷重に対して BP（製作当初から 50 % の板厚減少を想定）が床版として十分な耐荷性を有することを示した。また、そのように耐荷性を有するのは、き裂部付近を除いた全面で鋼材に支持された道床パラストがある程度の曲げ

(氏名： 福本 守 NO.2)

剛性を有することで、き裂の発生したBPの分担荷重の減少、および縦桁や中間支材などの周辺の骨組部材の分担荷重の増加が生じ、その結果、BPの応力やき裂箇所での目違い量が極端に増加しないためであることを示した。

第4章では、第2章および第3章の知見をもとに、BPのき裂に対する従来の補修方法よりも合理的な補修方法として、BPの下面からの補修方法(簡易下支え)と上面からの補修方法(上面補修)の2つを考案し、それぞれの設計思想や課題を述べた。

第5章では、第4章で考案した簡易下支えの効果を検証するために、第3章と同じ実大試験体、およびその一部を模擬した小型試験体を用いた室内載荷試験、ならびにFE解析を行った。あわせて、実橋のBPに簡易下支えを施工し、列車通過時の応力や変形性状から、簡易下支えの実橋における適用性を検証した。その結果、腐食疲労により取付け部の4辺全てが破断し、かつ板厚が製作時の50%に減肉したBPとして最悪の状態においても、第4章で提案した設計方法に基づく簡易下支えにより、設計活荷重に対してBPおよび簡易下支えの構成材料(H形鋼、CAモルタル)が耐荷性や耐疲労性を満足することを示した。また、簡易下支えは、従来の補修方法に比べ使用材料や所要作業量を大幅に縮減できること、および実橋においても室内載荷試験と同等の効果が発揮できることを示した。

第6章では、第4章で考案した上面補修の効果を検証するにあたり、まず上面補修の施工性上の課題を解決すべく、使用材料の検討、および第3章と同じ実大試験体を用いた施工性の検証を行った。また、上記により施工性が十分であることを確認した材料を用いて、実大試験体等を用いた室内載荷試験、およびFE解析を行い、上面補修の効果を検証した。その結果、上面補修の施工性は問題なく、また、打設後約2時間(練混ぜ水の注水後約3時間)程度の極めて若材齢であっても、補修材料は設計活荷重に対して十分な耐荷性を有し、また長期的に漏水防止機能を発揮できることを示した。さらに、上面補修を適用することで、BPの取付け部の応力低減効果は少なくとも30%程度見込み、防水機能による腐食抑制効果と合わせてBPのき裂の進展抑制に大きく寄与する可能性があることがわかった。

第7章では、第5章および第6章で効果を確認した新たな補修方法を軸とした、BP式鋼鉄道橋のさらなる長寿命化を図るための維持管理方法を提案した。具体的には、BPのき裂に対する健全度の判定基準、およびそれに応じたBP単位の補修方法の選定基準を提案するとともに、将来の桁取替や大規模改築を見据えた、BP単位の補修後の維持管理方法を提案した。

第8章では、各章で得られた結論を整理し、今後の課題と展望について示した。

氏名	福本 守		
論文題目	バックルプレート式鋼鉄道橋の長寿命化に関する研究		
審査委員	区分	職名	氏名
	主査	准教授	橋本 国太郎
	副査	教授	芥川 真一
	副査	教授	森川 英典
	副査		
要 旨			
<p>本論文では、バックルプレート(以下BP)式鋼鉄道橋を対象とし、BP取付け部に発生するき裂に対し、その原因究明を行い、従来の補修方法よりも合理的な補修方法を確立し、それを軸とした、BP式鋼鉄道橋のさらなる長寿命化を図るための維持管理方法を提案することを目的としている。具体的には、発生したき裂の原因の究明、き裂を有するBPの耐荷性状の把握、新たな補修方法の考案とその効果の検証、およびBP式鋼鉄道橋の維持管理方法の提案の4つの検討を行い、その研究成果をまとめたもので、全8章より構成される。</p> <p>第1章では、本研究の背景、目的、および本論文の構成を示した。</p> <p>第2章では、BPのき裂に対する従来の補修方法よりも合理的な対策の確立を見据え、BPのき裂の発生性状と原因の究明、およびBPの部位別でのき裂の発生しやすさの評価を行うことを目的に、検査記録に基づくき裂の発生傾向の把握、実橋での応力測定と変状調査、および実橋を模擬した有限要素解析(以下FE解析)を実施した。その結果、BPのき裂の原因は、局所的な面外曲げ応力による疲労だけではなく、防水機能の喪失によるBP上面の腐食の影響を大きく受けた腐食疲労であることを示した。</p> <p>第3章では、BP式鋼鉄道橋を模擬した実大試験体を用いた室内載荷試験およびFE解析に基づき、き裂を有するBPの耐荷性状を明らかにした。具体的には、下路形式のBP桁では、最も事例の多い中央縦桁沿いの取付け部のき裂が進展し、同取付け辺の全長、かつ隣接する1辺全長までき裂が進展しても、設計活荷重に対してBP(製作当初から50%の板厚減少を想定)が床版として十分な耐荷性を有することを示した。また、そのように耐荷性を有するのは、き裂部付近を除いた全面で鋼材に支持された道床バラストがある程度の曲げ剛性を有することで、き裂の発生したBPの分担荷重の減少、および縦桁や中間支材などの周辺の骨組部材の分担荷重の増加が生じ、その結果、BPの応力やき裂箇所での目違い量が極端に増加しないためと示した。</p> <p>第4章では、第2章および第3章の知見をもとに、BPのき裂に対する従来の補修方法よりも合理的な補修方法として、鋼骨組部材による下面からの補修方法(簡易下支え)と超高強度繊維補強コンクリート(以下UFC)を用いた上面からの補修方法(上面補修)の2つを考案し、それぞれの設計思想や課題を述べた。</p> <p>第5章では、第4章で考案した簡易下支えの効果を検証するために、第3章と同じ実大試験体、およびその一部を模擬した小型試験体を用いた室内載荷試験、ならびにFE解析を行った。あわせて、実橋のBPに簡易下支えを施工し、列車通過時の応力や変形性状から、簡易下支えの実橋における適用性を検証した。その結果、腐食疲労により取付け部の4辺とも破断し、かつ板厚が製作時の50%に減肉したBPとして最悪の状態においても、第4章で提案した設計方法に基づく簡易下支えにより、設計活荷重に対してBPおよび簡易下支えの構成材料(H形鋼、CAモルタル)が耐荷性や耐疲労性を満足することを示した。また、簡易下支えは、従来の補修方法に比べ使用材料や所要作業量を大幅に縮減できること、および実橋においても室内載荷試験と同等の効果が発揮できることを示した。</p> <p>第6章では、第4章で考案した上面補修の効果を検証するにあたり、まずUFCの施工性上の課題を解決すべく、使用材料の検討、および第3章と同じ実大試験体を用いた施工性の検証を行った。また、上記により施工性が十分であることを確認した材料を用いて、実大試験体等を用いた室内載荷試験、および解析モデルを用いたFE解析を行い、上面補修の効果を検証した。その結果、上面補修の施工性は問題なく、また、打設後約2時間(練り混ぜ水の注水後約3時間)程度の極めて若材齢であっても、補修材料は設計活荷重に対して十分な耐荷性を有し、また長期的に漏水防止機能を発揮できることを示した。さらに、上面補修を適用することで、BPの取付け部の応力低減効果は少なくとも30%程度見込み、防水機能による</p>			

氏名	福本 守
----	------

腐食抑制効果と合わせてBPのき裂の進展抑制に大きく寄与する可能性があることがわかった。第7章では、第5章および第6章で効果を確認した新たな補修方法を軸とした、BP式鋼鉄道橋の長寿命化を図るための具体的な維持管理方法を提案している。具体的には、BPのき裂に対する健全度の判定基準、およびそれに応じたBP単位の補修方法の選定基準を提案するとともに、将来の桁取替や大規模改築を見据えた、BP単位の補修後の維持管理方法を提案した。

最後に第8章では、各章で得られた結論を整理し、今後の課題と展望について示した。

以上より、本研究は、バックルプレート鋼鉄道橋の長寿命化に関して研究されたものであり、橋梁工学および維持管理工学において重要な知見を得ており、これらの分野において価値のある研究成果を挙げている。提出された論文は工学研究科学位論文評価基準を満たしており、学位申請者の福本守は博士（工学）の学位を得る資格があると認める。