

トクハシ リョウジ

氏名	徳橋 亮治
学位の種類	博士（工学）
学位記番号	博第1254号
学位授与の日付	2022年3月31日
学位授与の条件	学位規則第4条第1項該当 課程博士
学位論文題目	超過作用に対する危機耐性能を備えた新たな橋システムに関する研究 (Study on new bridge system for damage control that is crisis resistant to unexpected actions)
論文審査委員	主査 教授 野中 哲也 教授 張 鋒 准教授 永田 和寿 教授 舘石 和雄 (名古屋大学)

## 論文内容の要旨

1995年に発生した兵庫県南部地震では高い耐震性を持つと信じられていた橋梁に甚大な被害が生じた。これをうけて、道路橋示方書をはじめとする設計基準類では設計地震動が大幅に引き上げられ、これに対応するため部材の塑性化によるエネルギー吸収を期待する考え方が導入された。また、塑性化を許容した耐震性能を的確に評価する必要性から性能照査型の設計体系もいち早く耐震設計に導入された。

耐震照査の枠組みが現在の性能照査型設計に大きく移行して以来、東北地方太平洋沖地震や熊本地震などの巨大地震が発生したが、これらの地震により、耐震性向上に対する取り組みが着実に成果を上げていることが示された反面、依然として「想定外」の被害が生じ、耐震設計にはいまだ多くの課題があることも明らかとなっている。インフラ施設の「想定外」の被害の発生はもはや社会的に許容されにくい状況にあり、現在の耐震設計の枠内で設計地震動をさらに引き上げるなどの対処療法的なやり方は、現在の我が国がおかれている状況からも実現性に乏しく、耐震設計の枠組みそのものを再考する時期に来ているのではないかと思われる。

このような背景から、平成29年11月に改定された道路橋示方書では、想定に限界がある事象に対しても、ソフトとハードの両面から対策を講じることの必要性が義務付けられた。しかし、設計地震動を超える作用（超過作用と称する）が生じた場合に対して、被害

をどのように軽減すればよいか、早期復旧・機能回復の観点からどのように致命的な損傷を回避すればよいかなどの具体策はほとんど示されていない。「超過作用に対して耐震設計法はどうあるべきか」という問題の重要性が強く認識される。

このような背景から、本研究は、超過作用に対してねばり強く抵抗できる橋、多段的に抵抗できる橋に関する研究を行い、新しい橋システムを提案するものである。

本論文は、「超過作用に対する危機耐性能を備えた新たな橋システムに関する研究」と題し、以下の6章により構成している。

第1章「序論」では、超過作用に対する危機耐性能を備えた橋システムに関する研究の背景を述べ、想定を超える作用を受けた際に、被災後の使用性や修復性の観点で望ましい設計のあり方とその設計法を提案するという本研究の取り組み目的を述べている。

第2章「道路橋の地震被害と耐震設計に関する既往の研究と課題」では、これまでに日本で発生した橋の地震被害の傾向を概観するとともに、設計を超える外力が作用した場合の危機耐性について既往の研究動向も踏まえ、橋の各部の耐力の階層と橋の損傷部位の関係を整理した。さらに、超過外力に対して望ましい部位に損傷を誘導するための耐力階層化設計の可能性に言及している。

第3章「上部構造及び上下部構造の危機耐性能に関する研究」では、地震被害との関連性に着目し、上部構造に対する耐震設計上の課題を確認するとともに、部材が全体の耐力にどのような影響を及ぼすかを橋梁全体を対象とした詳細モデルの動的解析を行うことで、明らかにし、レベル2地震のみならず、設計を超える作用に対する挙動も確認したうえで、部材の耐力の大小関係にも配慮して構造を決定することが、今後の設計における新たなアプローチとして有効であることを提起している。

第4章「下部構造の危機耐性能に関する研究」では、想定を超える状態に対しては、影響を低減する観点や機能回復のための復旧性に配慮した減災の観点を取り入れることが重要であり、橋脚が倒壊すると復旧に膨大な時間を要することから、支承を適切なタイミングで破壊させ、下部構造を確実に守ることを目的とし、鋼製橋脚の基部に損傷を制御する部材を設置する対策方法を考案し、1/8縮小模型供試体を用いた実験により、その実効性を検証している。この結果を踏まえ、設計に適用しやすいFEモデルを開発している。

第5章「損傷シナリオと新たな橋システムに関する研究」では、第3章と第4章で検討した構造部材を、実橋を模した橋全体モデルに取り入れ、時刻歴応答解析による損傷制御シミュレーションを実施している。一連の橋梁全体としての地震動の動的挙動に対して、意図した通りの損傷制御手法が数値解析で再現され、想像するシナリオが成立することを確認している。

第6章「結論」では、超過作用に対する危機耐性能を備えた新たな橋システムについて、本論文で得られた成果を総括している。

## 論文審査結果の要旨

1995年に発生した兵庫県南部地震を契機に、耐震照査の枠組みが現在の性能照査型設計に大きく移行して以降、東北地方太平洋沖地震や熊本地震などの巨大地震が発生により、耐震性向上に対する取り組みが着実に成果を上げていることが示された一方、依然として「想定外」の被害が生じ、耐震設計にはいまだ多くの課題があることも明らかとなっている。平成29年11月に改定された道路橋示方書では、想定に限界がある事象に対しても、ソフトとハードの両面から対策を講じることの必要性が義務付けられた。しかし、設計地震動を超える作用（超過作用と称する）が生じた場合に対して、被害をどのように軽減すればよいか、早期復旧・機能回復の観点からどのように致命的な損傷を回避すればよいかなどの具体策はほとんど示されていない。「超過作用に対して耐震設計法はどうあるべきか」という問題の重要性が強く認識される。本研究は、超過作用に対してねばり強く抵抗できる橋、多段的に抵抗できる橋に関する研究を行い、新しい橋システムを提案するものである。

本論文は、「超過作用に対する危機耐性能を備えた新たな橋システムに関する研究」と題し、以下の6章により構成している。

第1章では、超過作用に対する危機耐性能を備えた橋システムに関する研究の背景を述べ、想定を超える作用を受けた際に、被災後の使用性や修復性の観点で望ましい設計のあり方とその設計法を提案するという本研究の取り組み目的を述べている。

第2章では、これまでに日本で発生した橋の地震被害を概観するとともに、設計を超える外力が作用した場合の危機耐性について既往の研究動向も踏まえ、橋の各部の耐力の階層と損傷部位の関係を整理し、望ましい部位に損傷を誘導するための耐力階層化設計の可能性に言及している。

第3章では、地震被害との関連性に着目し、上部構造に対する耐震設計上の課題を確認するとともに、部材の耐荷力にどのような影響を及ぼすかを橋梁全体を対象とした動的解析を行うことで明らかにし、設計を超える作用に対する挙動も確認したうえで、部材の耐力の大小関係にも配慮して構造を決定することが、今後の設計における新たなアプローチとして有効であることを提起している。

第4章では、想定を超える状態に対しては、影響を低減する観点や機能回復のための復旧性に配慮した減災の観点を取り入れることが重要であり、橋脚が倒壊すると復旧に膨大な時間を要することから、支承を適切なタイミングで破壊させ、下部構造を確実に守ることを目的とし、鋼製橋脚の基部に損傷を制御する部材を設置する対策方法を考案し、1/8縮小模型供試体を用いた実験により、その実効性を検証している。この結果を踏まえ、設計に適用しやすいFEモデルを開発している。

第5章では、第3章と第4章で検討した構造部材を実橋を模した橋全体モデルに取り入れ、時刻歴応答解析による損傷制御シミュレーションを実施し、橋梁全体としての地震動の動的挙動に対して、意図した通りの損傷制御手法が数値解析で再現され、想像するシナリオが成立することを確認している。

第6章では、超過作用に対する危機耐性能を備えた新たな橋システムについて、本論文で得られた成果を総括している。