

A Static Analysis-Based Seismic Design Method for Upper-Deck Steel Arch Bridges against Level 2 Ground Motions

長崎大学大学院 生産科学研究科

Osman Tunc CETINKAYA

我が国の道路橋に対する耐震設計規準である道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編(以下、道示 V) は、兵庫県南部地震後に実施された各種の検討結果に基づき平成 14 年に改訂された。その際、性能照査型設計法の概念が導入され、2 種類の地震動、すなわち橋の供用期間中に発生する確率が高いレベル 1 地震動と橋の供用期間中に発生する確率は低いが大きな強度を持つレベル 2 地震動、に対して所要の耐震性能を満足することを照査することとなった。橋は、道路種別および橋の機能・構造に応じて「重要度が標準的な橋 (A 種の橋)」と「特に重要度が高い橋 (B 種の橋)」の二つに区分され、レベル 2 地震動に対して、B 種の橋では限定された損傷が、A 種の橋では致命的とならない損傷が許容された。また、地震時の挙動が複雑ではない橋以外は、原則として非線形動的解析により応答値を求め、それが塑性域での耐力および許容変形量以下になることを照査することが規定された。耐力および許容変形量は実験または適切な手法による解析に基づいて設定することとされている。こうした規定はより合理的な耐震設計を可能とするものであるが、その実施には多大な労力と時間を要する。

本研究の主たる目的は、上路式鋼アーチ橋を対象に、そうした問題点を解決したレベル 2 地震動に対する耐震設計法を確立することである。そのため、まず、応答値の推定に対して、動的解析を必要としない静的解析に基づく非線形最大応答の推定法を開発した。Pushover 解析と応答スペクトル法を組み合わせ非線形最大応答を推定するために、エネルギー一定則を用いた。また、推定精度向上のための補正係数を提案した。次に、許容変形量の設定に対しては、アーチリブ部材の限界ひずみ推定式を確立することにより、簡易化を図った。対象構造のアーチリブでは地震時に曲げモーメントのみならず軸力も大きく変動するため、円筒断面および補剛箱形断面それぞれに対して、軸力変動が鋼部材の曲げ挙動に及ぼす影響を調査し、その効果を考慮した限界ひずみ算定式を構築した。

本論文は一連の検討内容とその成果を取りまとめたものであり、7 章で構成されている。

第 1 章は序論であり、本研究の背景を述べるとともに、関連する領域における主な既往の研究を紹介し、本研究の目的を明確にした。また、本論文の構成を示した。

第 2 章では、現在のわが国における道路橋の耐震設計のコンセプトを、道示 V に基づき簡潔に記した。

第 3 章および第 4 章では、動的応答解析を必要としない非線形最大応答の推定法について述べた。

そのうち第 3 章は、面外方向加震時を対象にしている。アーチライズおよびアーチリブ間隔の異なる 6 種類の上路式鋼アーチ橋モデルについて Pushover 解析、線形および非線形解析を実施した。動的解析結果とエネルギー一定則による推定結果とを比較することにより、エネルギー一定則の適用性を検討した。その結果、エネルギー一定則は安全側の推定結果を与えるが、多くの場合その精度が悪いことが明らかになった。しかし、推定精度の向上を可能とする一定の傾向を見出し、補正係数を提案した。Pushover 解析、応答スペクトル法、エネルギー一定則を組み合わせ、提案した補正係数を適用することにより、動的解析を必要としない非線形最大面外応答推定法を確立した。

第 4 章は面内加震時を対象とするものであり、第 3 章に示した面外応答推定法と同様の手法が面内応答の推定にも適用可能か否かを検証している。まず、第 3 章とほぼ同じモデルを用い、Pushover 解析に用いるべき適切な载荷パターンについて検討した。次に、面内応答に対するエネルギー一定則の適用性、面外応答を対象に提案した補正係数の精度を調査した。それらの結果から、面内応答についても、Pushover 解析の方法のみを修正することで、第 3 章で述べた非線形最大応答の推定法が、精度向上のための補正係数も含めて適用可能であることが明らかとなった。

第 5 章および第 6 章では、アーチリブ部材の許容変形量について検討している。

第 5 章は円筒断面部材を対象に、軸力変動の影響を考慮した限界ひずみ算定式の構築を試みたものである。径厚比の異なる 9 種類の円筒断面短柱モデルの弾塑性有限変位解析を実施し、軸力変動の有無および大きさによる曲げ挙動の変化を調査した。その結果、最終軸力が同じであれば、軸力変動がある場合の方が一定軸力の場合に比べて、最大耐力以降の変形性能が著しく向上することがわかった。その効果を考慮するための限界ひずみ算定式を径厚比、初期軸力および軸力変動の大きさの関数として提案し、その妥当性、合理性を数値解析により示した。

同様の検討を補剛箱形断面部材に対して行ったのが第 6 章である。フランジ、ウェブそれぞれに 3 本の補剛材を有する正方形断面で、補剛材剛比および幅厚比パラメータの異なる 12 種類の短柱モデルを作成し、弾塑性有限変位解析を実施した。円筒断面の場合と同様、軸力変動がある場合における最大耐力以降の変形性能の向上を表現できる限界ひずみ算定式を提案し、その妥当性、合理性を数値解析により示した。

第 7 章は本論文の結論であり、第 3 章から第 6 章までの検討結果に基づく上路式鋼アーチ橋の耐震設計法を提案した。また、各章で得られた知見をまとめるとともに、今後の課題を指摘した。