

防災・減災の強化に向けた更なる耐震補強報告（その1） —幾何学的・材料的な初期不整が鋼部材の耐震性能に与える影響—

東日本高速道路(株) 正会員 ○吉田 敦, 正会員 樋本 智, 北浦美涼
(株)オリエンタルコンサルタンツ 正会員 熊坂徹也, 審良郁夫, 宮内 健
八千代エンジニアリング(株) 正会員 石川義樹, 正会員 浅野洋平, 内海卓也

1. はじめに

高速道路では、地震によって被災しても速やかな復旧により緊急輸送路として機能させることが求められている。このため、東日本高速道路株式会社では「更なる耐震補強」（平成28年熊本地震以降に実施する既設橋の耐震補強）に取り組むことで防災・減災に向けた耐震補強を実施している。本稿では、「更なる耐震補強」対象橋梁のうち、地震時の挙動が複雑であり、鋼部材の健全度の評価が困難な特殊橋梁型式の上部構造を対象に、初期たわみ、残留応力等の初期不整が鋼部材の耐震性能に与える影響について検討した結果を報告するものである。

2. 対象橋梁と解析方針

(1)対象橋梁：図-1 に示す特殊橋梁形式（鋼連続トラス橋、鋼方杖ラーメン橋）を対象とし、損傷程度が大きい一部材に対し初期不整の影響について検討した。

(2)解析方針：初期たわみや残留応力などの初期不整が鋼部材の耐荷性能に悪影響を及ぼす。このため、道路橋示方書においては、構造安全性の照査で限界値として用いる部材耐力の評価式には初期不整による耐力低下の影響が考慮されている。上部構造の耐震性能の照査においても、初期不整の影響を明らかにし、損傷後の座屈挙動や破壊挙動などを正確に把握する必要がある。そこで、初期不整が鋼部材の耐震性能に与える影響を検証するため、以下解析方法にて検証を行った。

- ① 解析には、ファイバー要素を用いた複合非線形静的解析（鋼部材の材料非線形、幾何学的非線形を考慮した弾塑性有限変位解析）を用いる。
- ② 鋼部材に対して、初期不整の影響として、初期たわみは圧縮材の曲がり許容誤差である $f=L/1000$ および残留応力は道示より既往の計測結果に基づく残留応力（箱断面 $0.25\sigma_y$ 、I断面 $0.30\sigma_y$ ）を考慮する。
- ③ 部材の端部に繰返し圧縮・引張力を与え、部材の応力とひずみ関係を把握する。得られた応力-ひずみ関係の結果より、弾性限界時の応力とひずみを算定・比較検証し、初期不整の影響評価を行う。

3. 解析モデル

(1)解析モデル：鋼部材のモデル化にはファイバー要素を使用した。断面方向および部材軸方向の分割数は、初期不整の影響を評価できるように図-2 に示す分割数とした。残留応力分布は、内部応力として入力し、断面内で釣り合うように入力した。

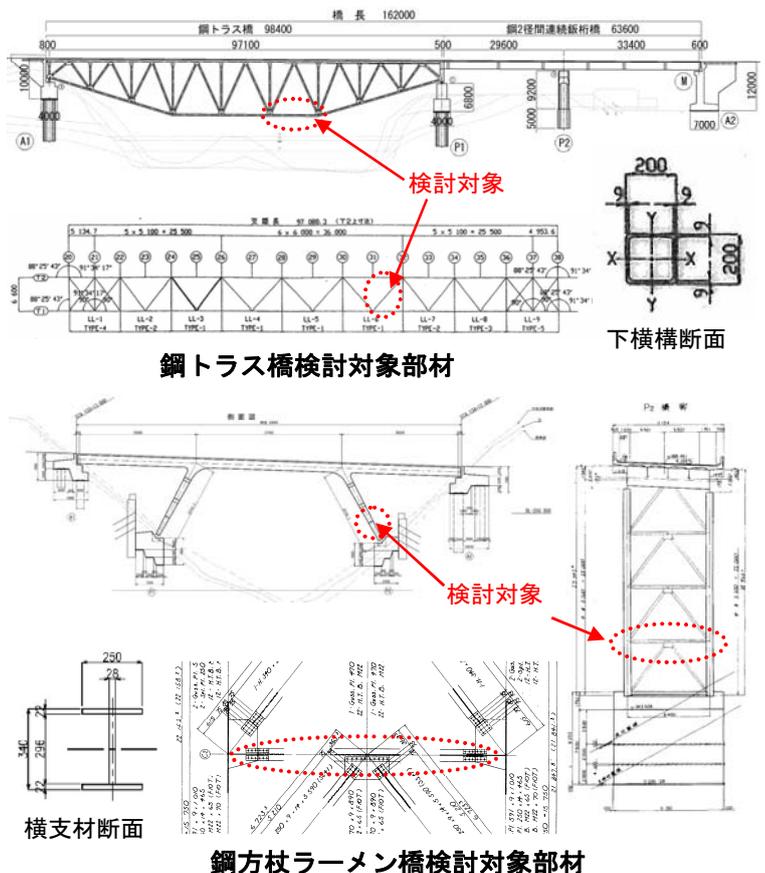


図-1 対象橋梁

キーワード 耐震性能照査, 初期不整, 複合非線形静的解析, 材料非線形, 幾何学的非線形
連絡先 〒980-0021 仙台市青葉区中央3丁目2-1 東日本高速道路株式会社東北支社 TEL022-217-1841

(2)荷重: 部材端部に強制変位を圧縮, 引張方向に繰り返し与え, 塑性域に達したあとの応力-ひずみ関係も検証できるように, 降伏変位の2倍となる範囲まで荷重した. 荷重パターンは $\pm 0.5 \varepsilon_y$, $\pm 1.0 \varepsilon_y$, $\pm 1.5 \varepsilon_y$, $\pm 2.0 \varepsilon_y$ とした.

(3)解析ケース: 道示の圧縮側降伏応力の低減を図ったモデルを Case-1 とし, 初期不整の影響を考慮した各モデル (Case-2~5: 降伏応力低減なし) にて検討した (表-1 参照).

4. 解析結果

(1)箱断面: 圧縮側荷重時においては, 図-6 に示すとおり, Case-1 が最初に降伏状態となり, Case-5 はほぼ同程度であるが上回る結果となった. 引張側荷重時においては, 全てのケースで同等の耐力を有す結果となった. 降伏後においては, 初期たわみを考慮した Case-3, Case-5 の耐力が低減していく結果となった. このことから, 降伏後の部材においては, 耐力や変形性能が期待できないことが確認された.

(2)I断面: 箱断面同様に, 圧縮側荷重時においては, 道示による降伏応力低減を実施した Case-1 が最初に降伏状態となった. 引張側荷重時においても同様に, 全てのケースで同程度の耐力となった. また, 降伏後の部材においては, 耐力が低減することが確認された.

5. まとめ

対象橋梁の耐震補強設計では, 全部材弾性内に収める設計を実施している. 解析の結果, 箱断面, I断面においても, 初期不整の影響を考慮したモデルよりも道示による圧縮側降伏応力の低減を図ったモデルが先に降伏する結果となった. これにより, 今回の耐震補強設計が安全側の設計であることが検証できたと考える. ただし, 初期不整を考慮した場合, 損傷後の部材では耐力や変形性能が期待できない結果となった.

このため, 損傷後の挙動を考慮しなければ構造物の正確な応答値を算定できないため, 耐震設計でやむを得ず主荷重を受け持たない二次部材の損傷を許容する設計を行う場合は, 初期不整を考慮したモデル化による耐震補強設計が必要と考える.

謝辞: 本耐震検討を進めるにあたり, 東北大学運上教授, 東北学院大学中澤工学部長からは多大な助言を賜りました. 厚く御礼を申し上げ, 感謝の意を表します.

【参考文献】1) 日本道路協会: 道路橋示方向書・同解説, V 耐震設計編, 平成24年3月

2) 土木学会: 鋼・合成構造標準示方書, 2018年5月

3) 土木学会: 座屈設計ガイドライン, 平成17年9月



図-2 モデル図

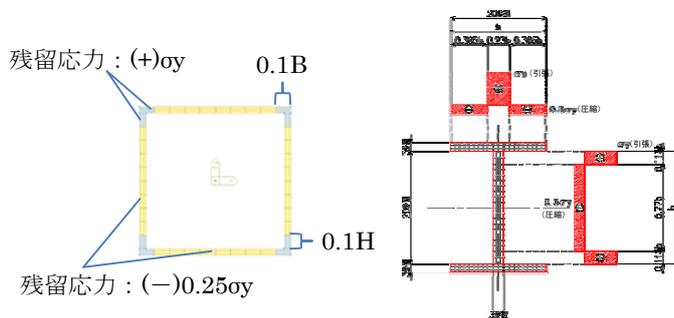


図-3 箱断面初期断面力

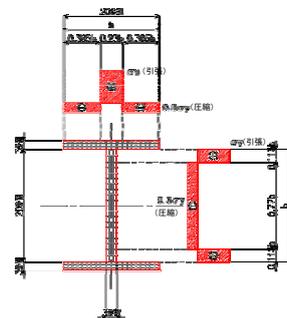


図-4 I断面初期断面力



図-5 荷重荷重方法

表-1 解析ケース

ケース	要素	初期たわみ	残留応力	降伏応力	備考
Case-1	ファイバー要素	考慮しない	考慮しない	低減する (道示)	補強設計で採用している条件
Case-2	ファイバー要素	考慮しない	考慮しない	低減しない	
Case-3	ファイバー要素	考慮する	考慮しない	低減しない	
Case-4	ファイバー要素	考慮しない	考慮する	低減しない	
Case-5	ファイバー要素	考慮する	考慮する	低減しない	

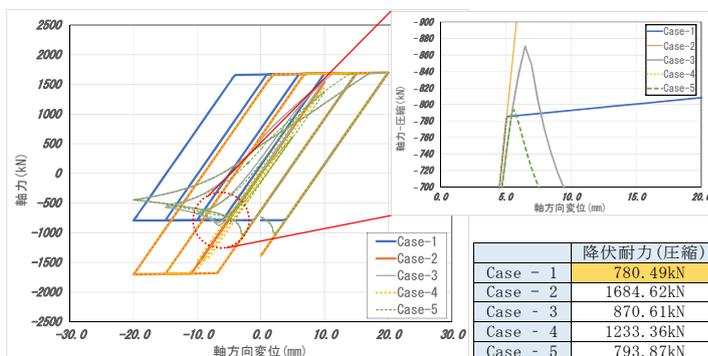


図-6 P-δ曲線 (箱断面)

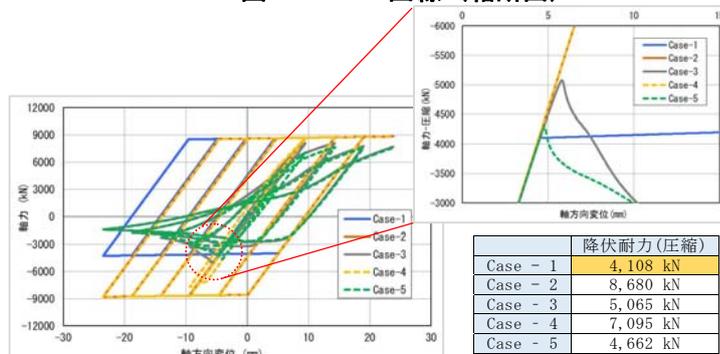


図-7 P-δ曲線 (I断面)