橋梁上部構造のファイバー要素解析を用いた解析手法に関する検討

岐阜大学大学院　学生会員　○井上一磨
岐阜大学　正会員　木下幸治

1. はじめに

橋梁上部構造への地震エネルギー吸収部材であるダンパー・ブレースの適用により，橋梁構造物の高耐震性能化が実現できると考えられている[1]．しかし，上部構造を対象とした既往の解析技術は，応用が利かない簡易的な解析モデルや必要以上に高精度な解析モデルの提案に留まっている[2]．このため，今後，上部構造へのダンパー・ブレースの適用性を検討可能で，地震応答解析を行う上で汎用的でかつ精度の高い実用的な解析技術の開発が必要と考えられる．

本研究では，汎用的なファイバー要素を用いた橋梁上部構造の解析手法を開発することを目的とし，既往の上部構造の大型試験体を用いた載荷試験[1]を参考に，その実験と解析モデルとの比較を通じて解析法の提案を行った．さらに，ダンパー・ブレースの設計法に採用可能な力学モデルの検討も行った．

2. 既往の大型試験体

図-1 に既往の実験で使用された実大橋梁の 0.42 スケールの大型試験体を示す．この試験体は，典型的な橋梁上部構造の一部を再現したもので，コンクリート床版を有する鋼 I 型断面 3 主桁であり，各桁間にブレース材が設置されている．主桁とブレース材はガセットで結合されている．主桁下部にはゴム支承が用いられている．主桁上部とコンクリート床版の結合部には，ずれ止めとしてスタッドが用いられている．

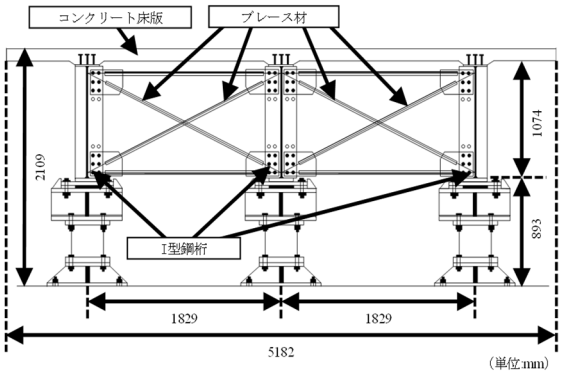


図-1　既往の実験で用いられた大型試験体

3. ファイバー要素を用いた解析モデルの検証

図-2 にファイバー要素を用いた解析モデルを示す．橋軸直角方向にファイバー要素を用いたモデルとし，鋼桁 I 型は補剛材を考慮した断面とした．各桁の下部はピン支点としてモデル化した．変位測定位置は中央の桁の上部とした．コンクリート床版は鉄筋を考慮したファイバー断面とし，圧縮強度の 10 分の 1 程度の引張強度を考慮可能なコンクリートの応力－ひずみ関係を用いた．さらに，図-3 (a) のようにブレース材端部では剛域の設定に関して 3 種類のモデル，図-3 (b) のようにブレース材とガセットの接合部の偏心量（ガセットとブレース材の断面

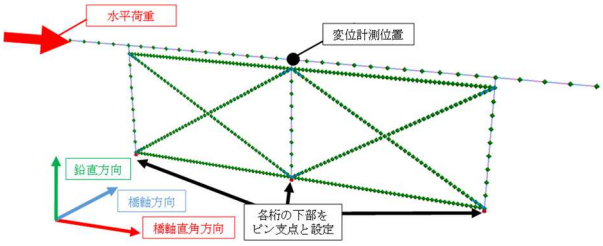
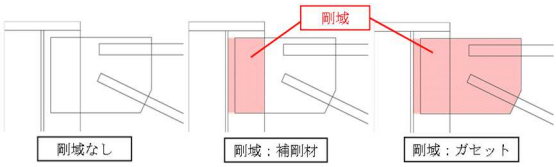
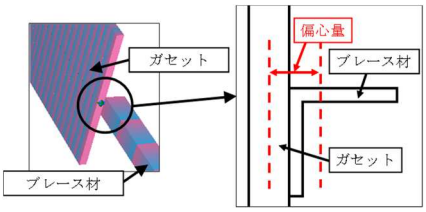


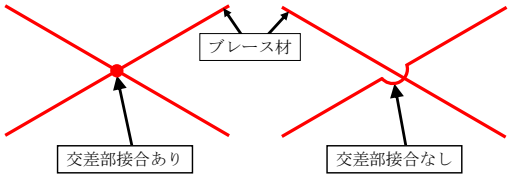
図-2　解析モデル



(a) ブレース材端部の剛域



(b) ブレース材とガセット接合部の偏心量



(c) ブレース材の交差部の接合部

図-3　各接合部のモデル化について

キーワード：　橋梁上部構造，ファイバー要素解析，ダンパー・ブレース
連絡先：〒501-1193 岐阜県岐阜市柳戸 1-1　岐阜大学大学院 社会基盤工学専攻　井上一磨　TEL：058-293-2424

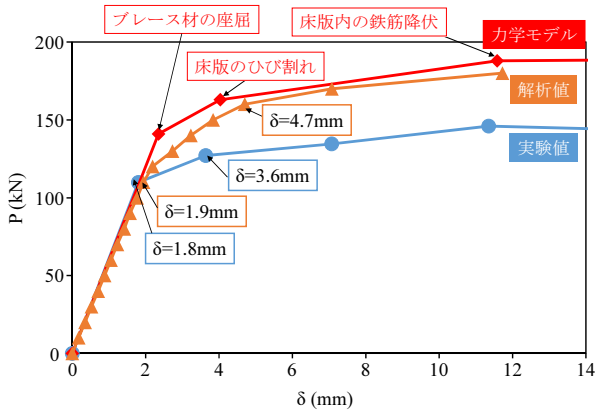


図-4　実験と解析と力学モデルとの比較

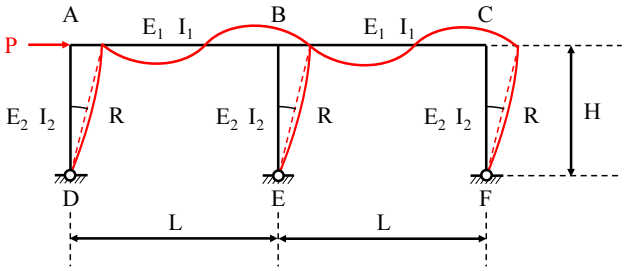


図-5 フレームの変形挙動

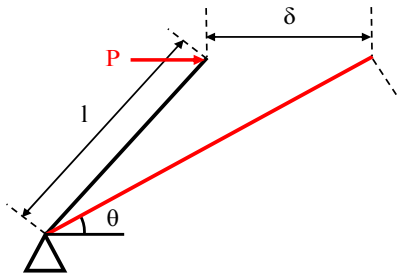


図-6　ブレース材の変形挙動

における図心軸からの距離）の考慮の有無，図-3(c)のようにブレース材交差部の接合の有無など，各種接合部のモデル化についてパラメトリックに検討した．ただし，本概要では各検討の詳細な結果は省略し，実験結果に最も近い解析結果を掲載する．

図-4 に大型試験体の水平荷重 P と水平変位 δ との関係における実験と解析結果との比較を示す．水平変位 δ は，実験において変位測定された中央の桁上部の変位である．図-4 より解析の初期剛性 57.0kN/mm は実験の初期剛性 61.2kN/mm と比べて 7%程度の差であった．また，δ≧4.7mm では，解析の剛性 4.2kN/mm が実験の剛性 2.2kN/mm と比較的近い値を示した．しかし，1.9mm≦δ≦4.7mm の間では，解析の方が実験よりも大きく，実験との明確な差が見られた．以上より，本解析では実験をより良く再現するために更なる改善が必要であることがわかる．ここで，再現性の悪い 1.9mm≦δ≦4.7mm に関しては，実験の損傷観察結果より実験におけるブレース材の座屈発生直後の剛性低下を解析が再現できていないことがわかり，ブレース材の座屈の再現性についてより高度化を進める必要がある．

4. 力学モデルの検証

図-5 と図-6 に力学モデルで仮定した上部構造のフレームとブレース材の変形挙動を示す．両力学モデルから得られた結果を重ね合わせることで上部構造の剛性を求めた．フレームの計算にはたわみ角法 [3] を用いた．床版は全断面を考慮した場合と引張側を無視した場合の 2 通りの剛性を計算した．ブレース材は軸力のみが作用する構造とした．試験体全体の剛性はフレームと 4 本のブレース材の和とした．ここで，既往の実験，並びに解析的検討より，ブレース材の座屈発生，コンクリート床版の引張側のひび割れ発生，床版内の鉄筋の降伏の順に剛性が大きく低下することが分かっている．そこで，各段階における水平荷重 P と水平変位 δ を力学モデルから算出することを試みた．ただし，各段階における剛性は一定と仮定した．

図-4 には，実験と力学モデルとの比較も示している．図-4 より力学モデルの初期剛性 55.5kN/mm（床版の全断面を考慮した場合）は実験の初期剛性 61.2kN/mm に対して 9.2%程度の差であり，実験を良く再現したことがわかる．さらに，上述の解析と実験の比較と同様に，実験のブレース材の座屈開始を良く再現できなかったが，床版の引張側のひび割れ発生以降の剛性は良く再現した．よって，ブレース材の座屈発生の再現性向上が，解析モデルの高度化に向けた今後の課題として挙げられる．

参考文献

1) Hamidreza Bahrami : Guidelines for the seismic design of ductile end cross frames in steel girder bridge superstructures, Center for Civil Engineering Earthquake Research, UNR, Report No. CCEER 09-04, July.2010.
2) 土木学会：鋼・合成構造標準示方書，古木守靖，pp.50-63，2008.
3) 崎元達郎：基礎土木工学シリーズ 2　構造力学［下］，森北肇，pp.184-213，1993.