

鋼アーチ橋における箱形断面支柱の耐震性能および鉛直支持力の実験的検討

名古屋工業大学 学生会員 ○神谷 颯汰 正会員 野中 哲也, 海老澤 健正, 山田 忠信
東日本高速道路㈱ 正会員 塩畑 英俊

1. はじめに

上路式鋼アーチ橋に対して、橋軸方向にレベル2地震動を作用させると、支柱、特に補剛桁の支柱の接合部付近が大きく塑性することが多い。本研究では、その支柱接合部に着目した実験を実施して、支柱の耐震性能および地震後（損傷後）の鉛直支持力について検討した。

2. 鋼アーチ橋および地震時損傷状況

研究対象の鋼アーチ橋は、東北自動車道（小坂IC～碓ヶ関IC間）に位置する上路式鋼アーチ橋の津軽橋（形式：逆ローゼ、橋長：180.5m）である。昭和61年に建設された標準的な鋼アーチ橋（支持条件：アーチリブ基部および端支柱上下はヒンジ、補剛桁端部は可動）で、アーチリブ、補剛桁、支柱は箱形断面である。支柱と補剛桁の接合部は、支柱端部が絞込の構造（後述の図-3(a)参照）になり、箱形断面の支柱においてはよくある構造である。

本鋼アーチ橋を、文献1)を参考にしながら部材の塑性化が表現できるようにファイバーモデルでモデル化した。ただし、支柱接合部のモデル化については、文献1)で提示されている箱形断面同士の剛結合ではなく、絞込の構造をファイバーモデルの断面を変化させることにより近似的に表現した。このようにモデル化した鋼アーチ橋モデルに対して橋軸方向に道立標準波形²⁾を作用させた場合の地震応答解析（材料非線形性と幾何学的非線形性を考慮）の結果を図-1に示す。この図は、支柱が大きく塑性化した時点の変形応力コンター図であり、変形表示倍率が10倍で降伏している部分を赤色で表示させている。この図から、中間支柱が塑性化し、特に支柱上端部が大きく損傷しているのがわかる。この支柱の損傷は、大きな曲げモーメントと軸力によるものと考えられる。後述する実験のために、支柱上端から3m位置（図-1内A点：白丸）に着目し、その位置の応答変位を時刻歴グラフで図-2に示す。この図から、A点が橋軸方向に最大で約40mm変位しているのがわかる。

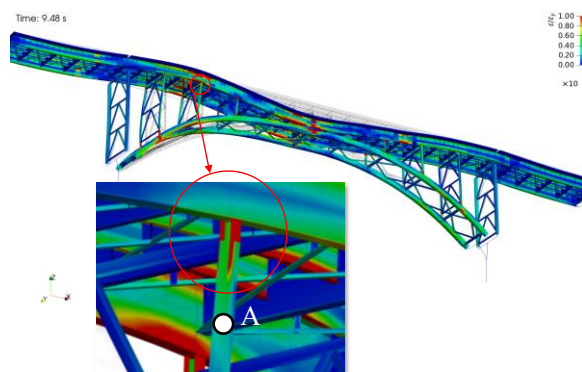


図-1 地震応答解析の結果

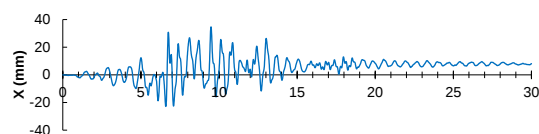


図-2 支柱の応答変位

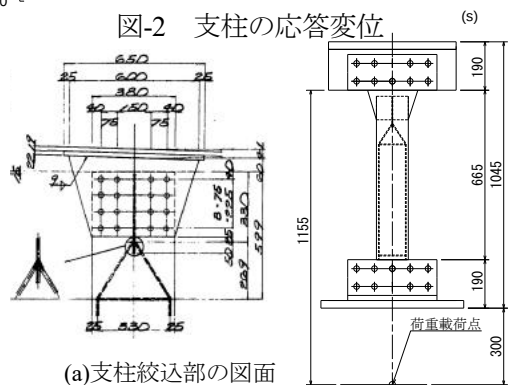
3. 支柱の実験供試体

本研究では、前述したように大きく損傷した中間支柱を対象として実験を行う。中間支柱と補剛桁の接合部において、補剛桁とガセットの接合位置から3mまでの部分（図-1参照）を取り出して、縮尺率1/3の実験供試体を製作した。対象橋梁の支柱上端部の接合部付近（ガセット、絞込部）の図面を図-3(a)に示す。これに対する供試体は、縮尺率の関係から高力ボルトが使えず、仕方なく溶接で支柱とガセットを接合した。供試体の寸法および荷重載荷位置を同図(b)に示している。

4. 繰り返し載荷実験

図-3の実験供試体に対して、次の条件で繰り返し載荷実験を実施した。まず、荷重載荷点に一定軸力44kNを作用させる。この軸力値は、前述した地震応答解析時において支柱上端部の最大曲げモーメント発生時の軸力に縮尺率1/3を考慮した値である。次に、その軸力が作用した状態から、 $1\delta y$ （解析上の降伏時3.3mm）を基本にして、水平（橋軸）方向に漸増繰り返し載荷（変位制御）を行った。

実験結果の載荷点水平変位と水平荷重の関係を図-4に示す。このグラフから、 $5\delta y$ で最大荷重を示して、その後緩やかに低下しているこ



(a)支柱絞込部の図面

(b)実験供試体と載荷位置

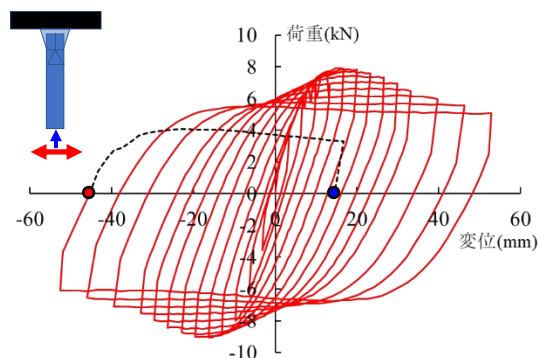
図-3 支柱接合部図面と実験供試

キーワード 鋼アーチ橋、耐震性能、支柱、鉛直支持力
連絡先 〒466-8555 愛知県名古屋市昭和区御器所町

とがわかる。10 δy までは1 δy ずつ増加させ、それ以降は2 δy で増加させて16 δy に相当する52.8mmまで载荷して実験を終了した。最終ステップの荷重でも降伏荷重以上であった。履歴ループの形は、鋼製橋脚のように紡錘型に近い安定した履歴ループを描いており、エネルギー吸収が期待できそうな荷重－変位曲線となっている。なお、前述した地震応答解析の最大応答変位は縮尺率を考慮すると約15mmになり、本繰り返し実験の最大荷重付近と対応している。以上から、支柱に対してある程度の塑性化が許容できる可能性があると思われる。

実験終了時の供試体の状態を写真-1に示す。この写真から、支柱絞込部の外側フランジが大きく局部座屈しているのがわかる。ただし、接合部付近（絞込部、絞り込んだ先のH形断面、箱形断面）のウェブには損傷が確認できなかった。このような損傷状態から、支柱と補剛桁の接合部が安定した塑性ヒンジ状態になっているともいえる。

図-4 荷重－変位曲線



5. 軸圧縮载荷実験

前述の繰り返し载荷実験終了後、接合部付近のウェブ面は損傷が確認できなかったところから、実験終了後の供試体がどれだけ鉛直支持力が残っているか、次のような方法で引き続き実験を行った。繰り返し载荷実験は、図-4のグラフ内の赤丸印（荷重ゼロ）で終了している。まず、その位置から再び荷重を载荷して最大荷重を示した5 δy の位置まで戻し、そこから荷重を抜いて残留変形が残った状態（図-4の青丸印で残留変位を15mm）にした。次に、この状態から、鉛直（拘束面に垂直）方向に圧縮力を作用させ、最大圧縮力が現れるまで荷重を漸増させた。その漸増した荷重と鉛直変位の関係を示したのが、図-5である。この図から、最大圧縮力が351kNに達しているのがわかる。参考として、図内には、①対象支柱の座屈耐力²⁾（有効座屈長：支柱長さ）、②H形断面部の降伏軸力、③箱形断面部の降伏軸力、④ガセット部の降伏軸力を示している。これらの荷重と比較して、最大圧縮力が①の設計当時の座屈耐力を大幅に上回り、さらに②③より大きいことが確認できた。



写真-1 载荷終了後の変形状態

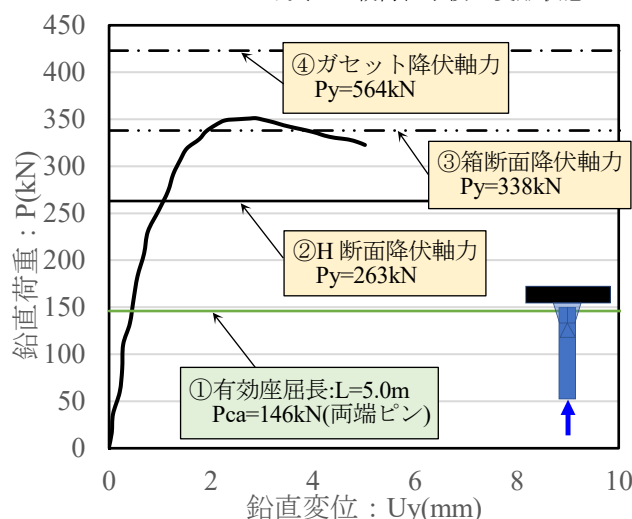


図-5 部材軸圧縮载荷実験の結果

以上から、最大荷重を過ぎて16 δy まで繰り返し塑性を受けながら（ただし、残留変形は最大荷重除荷時の値）、十分な鉛直支持力が残っていることが確認できた。ただし、本実験は、ガセットの接合がボルトではなく溶接であることから、実際にはこれほど鉛直支持力は残っていないと思われる。

6. まとめおよび今後の実験

橋軸方向の地震応答解析で大きく損傷する支柱に対して繰り返し载荷実験を実施した結果から、荷重－変位曲線において5 δy で最大荷重を示し、その後の荷重の低下が緩やかで、履歴ループの形が紡錘型になることがわかった。さらに、引き続き部材軸圧縮実験から、かなりの支持力が残っていることもわかった。これらから、支柱に対してある程度の塑性化を許容できる可能性がある。今回の実験供試体は、縮尺率から支柱とガセットを溶接で接合した。溶接接合とボルト接合では、損傷状態が変わることも考えられるため、現在、支柱とガセットがボルト接合（高力ボルトM12使用）できる縮尺1/2の実験供試体を製作中であり、同様な繰り返し载荷実験を行う予定である。

参考文献

- 1)土木学会：2018年制定 鋼・合成構造標準示方書 耐震設計編，丸善，2018。
- 2)日本道路協会：道路橋示方書・同解説 II.鋼橋・鋼部材編，V.耐震設計編，丸善，2017。