

耐震補強された鋼方杖ラーメン橋の耐震性能について

新構造技術(株) 正会員 ○松岡義勝 正会員 原田健彦 山本尚己
熊本県八代地域振興局 小林孝二

1. まえがき 平成17年度より、「緊急輸送道路の橋梁耐震補強3箇年プログラム」による橋梁の耐震補強対策が実施されてきた。しかしながら、トラス橋やアーチ橋等の特殊な構造を有する橋梁は、複雑な地震応答特性を示し、かつ、その種の橋梁に対する耐震補強工法に関する事例が少ないため、対策が進んでいないのが現状である。そこで本論文では、上記特殊橋梁の内、鋼方杖ラーメン橋に対する耐震補強対策について検討し、耐震補強された同橋梁の耐震性能照査を行った。

2. 本橋の概要 本橋は、昭和46年に施工された橋長60mを有する鋼方杖ラーメン橋である(図-1)。主要諸元を取りまとめて表-1に示す。設計当時の適用基準は昭和39年の鋼道路橋設計示方書であり、大規模地震に対する安全性を確保できていない可能性がある。なお、架橋地点の地盤種別は、下部工が直接基礎形式であることからⅠ種地盤と仮定した。

3. 地震応答解析 本検討に使用した設計地震動は、レベル2-タイプⅡ地震動のうち加速度が最も大きい神戸海洋気象台周辺地盤上で記録されたN-S成分波¹⁾とし、橋軸方向および橋軸直角方向にそれぞれ入力した。解析には、「RESP-T(株構造計画研究所)」を使用し、図-2に示すような三次元骨組モデルを用いた。主構部材、一部の横構および脚部対傾構には材料非線形性を考慮した。特に、主構部材の復元力特性にはバイリニア型のM- ϕ モデルを採用し、その初降伏点ならびに二次勾配には軸力による変動を考慮した。解析は、Newmarkの β 法($\beta=1/4$)により行い、積分時間間隔は0.01秒として30秒間の時刻歴応答を求めた。

4. 現橋の耐震性能照査 (a)照査方法 現行基準¹⁾では、レベル2地震時の鋼上部工に対する具体的な記述がないため、文献2)による「ひずみ照査法」を参考にして表-2の通り許容ひずみを設定した。ただし、既述のように、本検討ではM- ϕ モデルを使用する。そのため、主構(曲げ)部材においては、軸力変動を考慮した上で、許容ひずみから許容曲率 ϕ_a を求め、最大応答曲率により照査を行った。

(b)照査結果 照査結果を取りまとめて図-3に示す。図中着色部分は照査を満足しない部材を示しており、赤色と青色はそれぞれ橋軸方向および橋軸直角方向に対する結果を示す。図に示すように、加震方向によって損傷部位が明確に分かれる結果となった。したがって、本橋の補強対策では、橋軸方向および橋軸直角方向に対してそれぞれ「主構脚部(隅角部)」および「脚部対傾構」の応答に着目すれば良いことがわかった。

5. 補強後の耐震性能照査 (a)検討方針 補強対策案としては、①部材の耐力を向上させる案および②ダンパー等による地震時エネルギー吸収案の2案が考えられたが、後者を採用案とした。理由は以下の通りである：前者は、損傷の可能性がある部材のみに補強を施すと、隣り合う部材で耐力のバランスが崩れ、結果的に補強量が膨大となる；また、下部工や支承に与える影響が大きく、大規模な補強工事が予想される。

(b)橋軸方向地震動 橋軸方向に対しては、桁一下部工連結タイプの粘性ダンパーを使用し、主構脚部および隅角部の塑性化ならびに桁端移動量の低減を図る。検討を行うにあたっては、減衰力100、200および300kNを有するダンパー装置(以下、100、200および300kNダンパーと略称)をそれぞれ設置した都合3ケースについて地震応答解析を行い、まず、桁端節点における加速度応答スペクトルをそれぞれ求めた。結果を図-4に示す。図より、減衰力が大きいほど現橋に対する付加減衰効果が大きく、200kNダンパー設置時には、現況に対して6割以上の高い付加減衰効果を得ることが確認された。また、同ダンパー設置時において、図-3に赤線で示した主構部材の応答が許容値以内に収まることも確認された。ただし、桁端の応答変位を桁遊間以内に抑えるには、300kNダンパーの設置が必要であり、これを採用案とした。

キーワード：鋼方杖ラーメン橋、非線形三次元骨組モデル、耐震補強、粘性ダンパー、座屈拘束ブレース
連絡先：〒812-0013 福岡市博多区博多駅東2-6-26 Tel.: 092-451-4281 Fax.: 092-451-5789

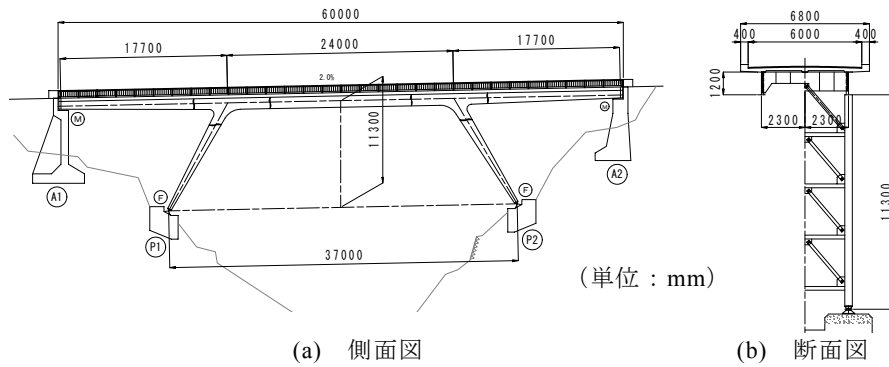


図-1 橋梁全体一般図

表-1 橋梁主要諸元

橋梁形式	鋼方杖ラーメン橋
竣工年度	昭和46年
橋長(支間長)	60.0m 17.7m+24.0m+17.7m
幅員	有効幅員=6.00m 全幅員=6.80m
斜角	90度(直橋)
重要度区分	B種の橋
地盤種別	I種地盤
地域別補正係数	$C_z = 0.85$
適用基準	昭和39年 鋼道路橋設計示方書

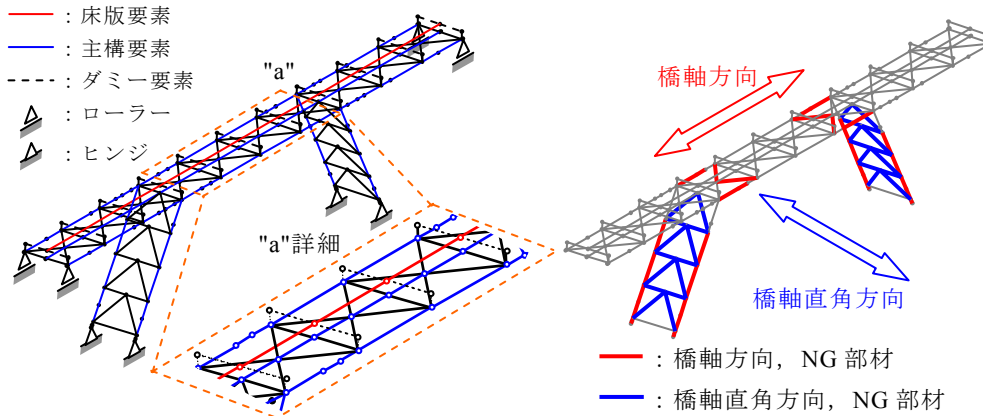


図-2 三次元骨組モデル

図-3 現橋の耐震性能照査結果

表-2 各部材の許容ひずみ

耐震性能	耐震性能3※
主要部材	部材健全度2 $\gamma \cdot \varepsilon_a)_{\max} \leq 2.0\varepsilon_y$
二次部材	部材健全度4 $\gamma \cdot \varepsilon_a)_{\max} \leq \varepsilon_u$ (圧縮ひずみ) $\gamma \cdot \varepsilon_a)_{\max} \leq 0.05$ (引張ひずみ)

ここに、 γ : 部分係数
 $\varepsilon_a)_{\max}$: 平均応答圧縮ひずみ
 ε_y : 降伏ひずみ
 ε_u : 終局ひずみ

※文献1)の「耐震性能2」と同等。

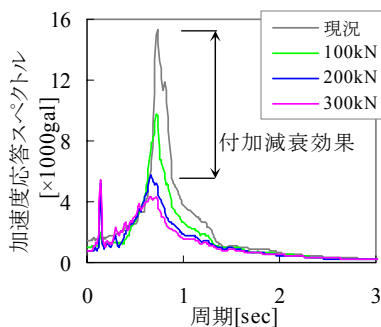
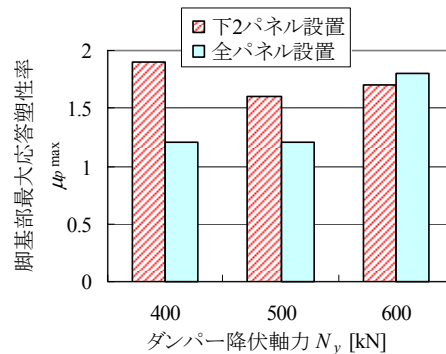
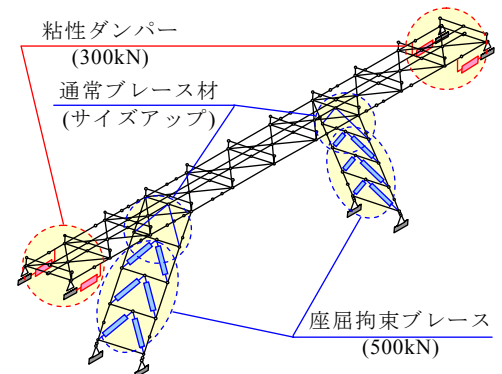
図-4 桁端節点における加速度
応答スペクトル図-5 脚基部の最大応答塑性率 μ_{pmax} の変化

図-6 本橋の耐震補強対策概念図

(c)橋軸直角方向地震動 橋軸直角方向に対しては、脚部対傾構を座屈拘束ブレース (BRB:Buckling-restrained Brace) へ交換することで、脚部の各部材における応答の低減を図る。検討を行うにあたっては、まず、対傾構 4 パネルのうち下部 2 パネルに BRB を設置した場合と全パネルに設置した場合の 2 パターンについて、それぞれ降伏軸力 N_y の異なる 3 種の BRB を使用し、脚基部の最大応答塑性率 μ_{pmax} の変化を調べた。結果を図-5 に示す。図中赤色で示す下部 2 パネル設置時には、 N_y の違いに依らず μ_{pmax} は 1.5 を超える結果となっており、BRB 本体よりも先に脚基部が塑性化している様子がわかる。一方、全パネル設置時には N_y が小さいほど μ_{pmax} も小さくなる傾向にあり、BRB が先行して塑性化し、有効に作用することがわかった。詳細検討の結果、 $N_y=500\text{kN}$ の BRB を下部 3 パネルに設置 (最上段はサイズアップのみ) することにより、各部材の応答が許容値以内に収まった。なお、最終的なダンパー装置の規格と配置は、図-6 に示す通りである。

6. むすび 本論文では、鋼方杖ラーメン橋に対する耐震補強対策を検討し、耐震補強された同橋梁の耐震性能照査を行った。その結果、桁端ダンパーと座屈拘束ブレースの設置により目標耐震性能を満足できた。

参考文献 1)(社)日本道路協会：道路橋示方書(V 耐震設計編)・同解説，丸善(株)，2002 年 4 月。

2)(社)日本鋼構造協会：鋼橋の耐震・制震設計ガイドライン，技報堂出版(株)，2006 年 9 月。