

生口橋（複合箱桁斜張橋）の耐震補強設計について

本四高速（株） 正会員 ○平山 靖之
 本四高速（株） 正会員 山口 和範
 本四高速（株） 正会員 溝上 善昭

1. はじめに

西瀬戸自動車道に含まれる生口橋は、今後 30 年間に震度 6 弱以上の揺れに見舞われる確率が 26%以上の地域にあるため、2021 年度までに耐震補強を完了させる予定である。本文は、生口橋の耐震補強設計において、橋軸方向の移動量を抑え、橋梁全体における補強規模を低減した技術的検討について報告するものである。

2. 対象橋梁

生口橋は因島と生口島の間に架かる橋長 790m の 3 径間連続複合箱桁斜張橋である。主桁は中央径間が鋼桁、側径間が PC 桁である。基礎形式は全て杭基礎である。本橋梁は、橋軸方向を耐震ストッパーで、橋軸直角方向を鋼角ストッパー及びラテラル脊で移動を制限する構造となっている。

3. 入力地震動と耐震性能照査結果

耐震性能照査で用いた地震動は、生口橋地点の地盤構造や近隣の断層等を考慮して、東南海・南海地震 1 波、芸予地震 2 波、伏在断層 4 波の計 7 波とし、各基礎に東南海・南海地震及び芸予地震は 3 方向同時に、伏在断層は水平方向 1 方向と鉛直方向の 2 方向同時に入力した。地震動の加速度応答スペクトル及び橋軸・橋軸直角方向の固有周期を図-1 に示す。耐震性能照査での損傷箇所と許容値に対する超過率を図-2 に示す。主塔及び主桁では一部塑性化が生じており、1P 及び 4P 橋脚では、耐震ストッパーの衝突による影響で大きな変形が生じ、せん断及び曲げ耐力で許容値を満足していなかった。P4 を除く基礎では、せん断耐力又はせん断及び曲げ耐力で許容値を満足していなかった。支承は全ての橋脚で許容値以上の移動量が生じており、1P、P2、P3 橋脚では耐力照査も許容値を超過していた。耐震ストッパーは移動量及び耐力が、鋼角ストッパーは移動量が許容値を超過する結果

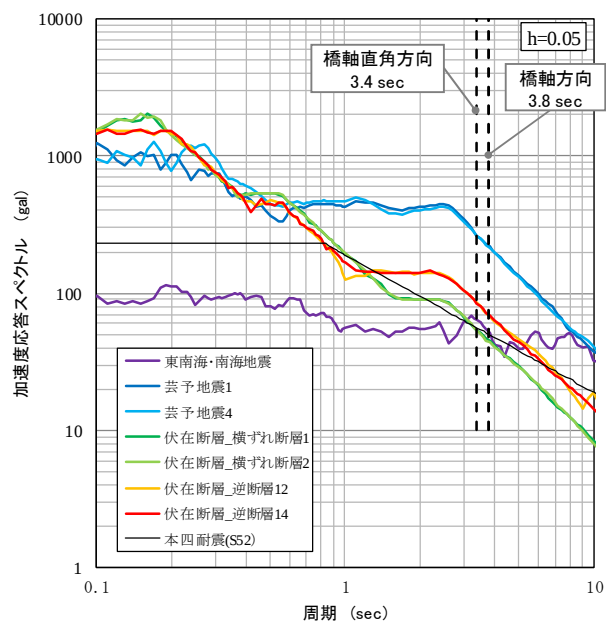
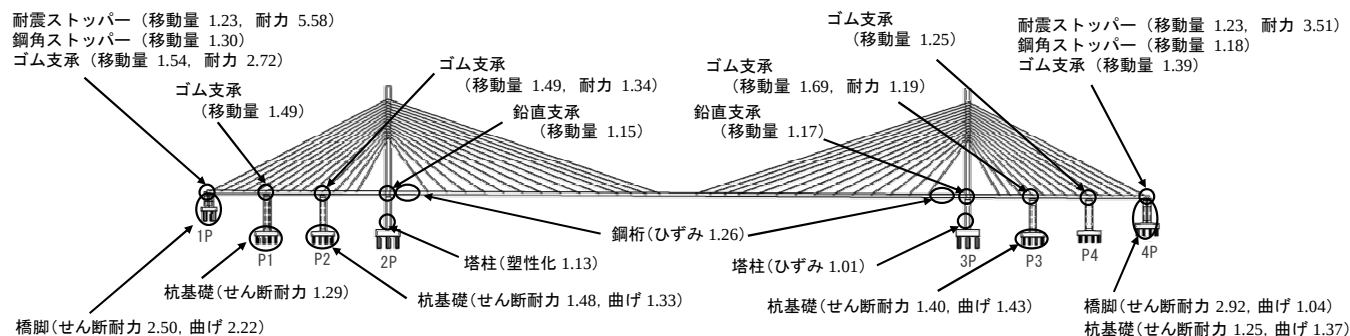


図-1 入力地震動の加速度応答スペクトル
(橋軸方向)



※図中の値は、許容値に対する応答値の比率である。

図-2 損傷想定箇所

キーワード 複合箱桁斜張橋, 耐震補強, FEM 解析, 本四連絡橋

連絡先 〒651-0088 兵庫県神戸市中央区小野柄通 4-1-22 TEL 078-291-1071 FAX 078-291-1087

となり、大規模地震に対して多くの部材が損傷する結果となった。

4. 耐震補強対策

耐震補強対策については、許容値を超過する部材全てに対して補強を行うと補強規模が膨大となることから制震ダンパーを用いて橋軸方向の移動量を抑え、主塔、主桁及び橋脚などに発生する応力を低減させることとした。制震ダンパーの設置箇所及び規格は、基礎を含めて耐力の余力から P1 及び P4 橋脚に 2,000kN を 3 基、1P 及び 4P 橋脚に 2,000kN を 2 基とした。また、耐震ストッパー及び鋼角ストッパーについても、橋軸方向の移動量を確保するために一部撤去あるいは改造することとした。

一方、主塔基部及び主桁では、上記の対策後も局所的に降伏する箇所が残ったため、詳細な照査により損傷規模を再評価し、補強の可否を判断することとした。

5. 主塔基部及び主桁の損傷規模の再評価

再評価にあたっては、まずファイバーモデルを用いた部材安定照査を実施した。照査では最大変位が最も大きい箇所に着目して荷重を漸増载荷した。一例として 2P 主塔での橋軸直角方向における解析結果を図-3 に示す。主塔基部及び主桁ともに、地震時に相当する荷重では弾性域にあり、十分な耐力を有していることを確認した。

次に、降伏する範囲を正確に把握するために、FEM モデルを用いて地震応答解析を実施した。一例として、主塔基部の解析結果を図-4 に示す。主塔基部では降伏応力に対して最大超過率が 5%，主桁では 0.6%と僅かであり、降伏する範囲も僅かであることを確認した。

最後に、当該箇所の耐力評価を行うために、主桁に比べて降伏応力に対する超過率が大きかった主塔基部を対象として、FEM モデルも用いたプッシュオーバー解析を実施した。解析は変位制御で行い、地震応答解析での最大変位を基準値として作用させた。2P 主塔基部における水平反力と橋軸直角方向の変位量との関係を図-5 に示す。地震時の最大水平反力の 6 倍以上の耐荷力を有しており、降伏後も急激な耐力低下は発生しないことを確認した。

以上より、主塔基部及び主桁では現況の耐震性能照査より一部降伏することが確認されたが、降伏する範囲は局所的であり、許容値に対する超過率も僅かであった。また、降伏後も橋梁全体では構造的に安定していることから、部材補強は不要と判断した。

6. おわりに

本橋梁の耐震補強対策は、本稿で報告した制震ダンパーの設置、耐震ストッパーの一部撤去、鋼角ストッパーの改造の他に、橋軸直角方向の耐震補強対策として 1P 橋脚の繊維巻立てである。生口橋の耐震補強工事は、2018 年度末より開始し、2020 年度末の完成を予定している。

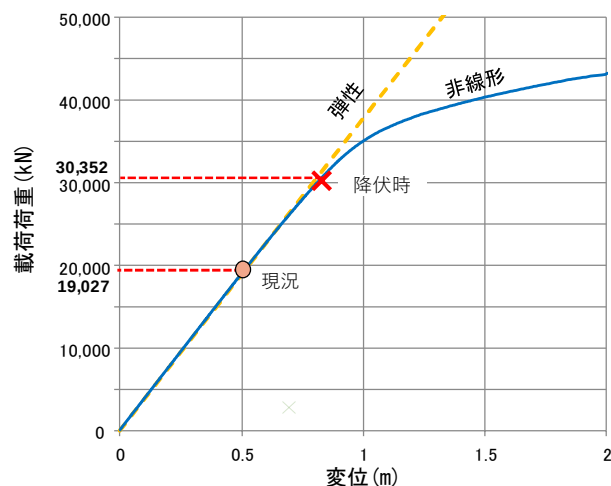


図-3 ファイバーモデルを用いたプッシュオーバー解析結果 (橋軸直角方向加振)

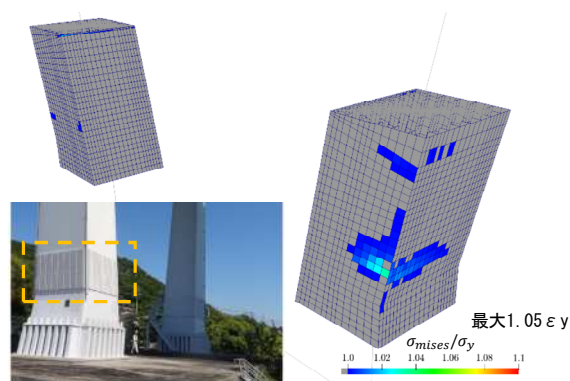


図-4 FEM モデルを用いた地震応答解析結果

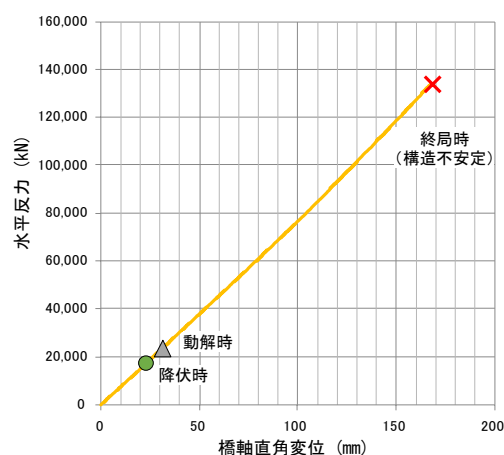


図-5 FEM モデルを用いたプッシュオーバー解析結果