

大阪市立大学大学院 学生員 〇内海 正浩
 大阪市立大学大学院 正会員 山口 隆司
 大阪市立大学大学院 正会員 松村 政秀

建設技術研究所 正会員 小林 茂
 建設技術研究所 正会員 美濃 智広
 建設技術研究所 正会員 光川 直宏

1. ECO-Bridge 開発背景

従来の橋梁は部材を供用途中で取替えることや、汎用性のあるものを流用するといった概念はなく、その橋梁固有のものとして最適化されてきた。そのため、性能が低下した場合の部材交換は、工事費も高価で、施工の難易度も高く、社会に与える影響も大きい。

そこで、環境負荷の低減が求められる近年、交換部材（モジュール）と永久構造部を有する ECO-Bridge という構造コンセプトが提案されている¹⁾。定められた期間でモジュールを交換することで常時点検を廃止し、工場での詳細な点検を行うとともに、汎用化された形状とすることにより、再利用かつ大量生産が可能になれば、価格の低下も期待できる。

2. 構造概要および研究目的

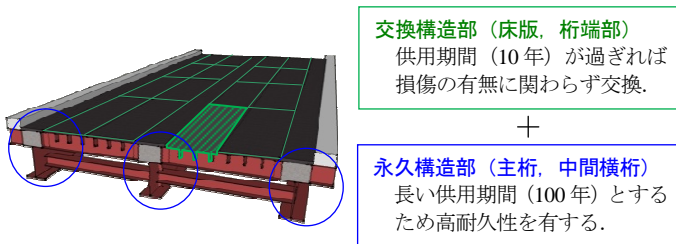


図-1 ECO-Bridge のイメージ

ECO-Bridge の構造イメージを図-1 に示す。交換構造部を有するため、新旧異なるモジュールが主桁構造を介して結合される場合がある。また、ECO-Bridge において、主桁構造は永久構造に位置づけられている。そのため、主桁構造には高い耐久性が求められる。主桁構造の問題点として、図-2 (a) に示すように主桁近傍に輪荷重が載荷される場合、主桁の首ふり挙動が発生し、デッキプレートの変形や、中間横桁が主桁を拘束することによる垂直補剛材への応力集中が懸念される。

そこで、主桁の剛性を高め、変形量を抑制するため、コンクリート充填構造を有する主桁構造を検討することとした。コンクリート充填には図-2 (b) に示すように、主桁を挟んで輪荷重が載荷される状態で負曲げ状態となりコンクリート上部への引張応力の発生が懸念され

る。そこで本研究では永久構造部のうち、主桁構造において、コンクリート充填構造の問題点の把握、効果の検証を行い、主桁構造最適化について検討する。

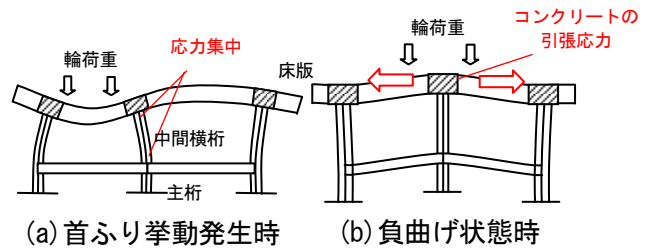


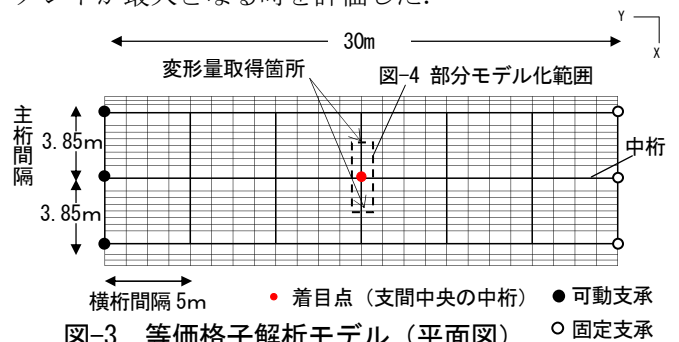
図-2 主桁構造の問題点

3. 検討方針

まず、橋全体を簡略化した等価格子解析を行い、首ふり挙動発生時および負曲げ状態時の中桁の支間中央の断面力、変形量を算出する。その後、主桁構造の詳細な部分モデルを作成し、等価格子解析により求めた変位と回転角を境界条件として与え、応力状態を再現した。そして、コンクリート充填の効果や問題点の把握を行い、耐久性を有する主桁構造について議論する。FEM 解析には、汎用コード Abaqus を用いる²⁾。

4. 主桁構造における断面力と変形量の算定

図-3 に ECO-Bridge の等価格子解析モデルを示す。断面力が大きくなる支間中央の中桁を着目点とし、そこに最も不利な輪荷重載荷位置を解析によって求めた。荷重条件は、死荷重に加え T 荷重³⁾を載荷させたときに首ふり挙動は着目点に作用するせん断力が最大となる時、コンクリートに作用する引張応力は負曲げモーメントが最大となる時を評価した。



5. FEM 解析による主桁構造の検討

主桁構造を検討する部分モデルとして図-4 に示す解析モデルを作成した。図-3 に示した等価格子解析結果にもとづき、負曲げ状態時の変位とたわみ角を境界条件として入力した。解析ケースの内訳を表-1 に示す。

また、表-2 に示すように、コンクリート充填の有無や鋼とコンクリート付着条件（ばね要素でモデル化）に着目した。付着を表すばね剛性は複合構造標準示方書⁴⁾より、ずれ止めのあるせん断耐力の3分の1までのせん断力とずれ変位の関係を線形近似し、その際の傾きをばね剛性とした。なおスタッドの引抜き方向のばね剛性は文献⁵⁾より引用した。PBL の孔あき鋼板表面、垂直方向のばね剛性は、孔を介して連続しているため剛とした。

表-1 解析ケースの内訳

Case	主桁形状	付着の再現
Case1	鋼 I 桁	
Case2-1	コンクリート充填構造鋼 I 桁	一体化（剛結）
Case2-2		スタッド（柔なばね）
Case2-3		スタッド（柔なばね）、PBL（剛なばね）

表-2 ずれ止めのばね剛性 (kN/mm)

ばねの方向	スタッド (柔なばね要素)	PBL (剛なばね要素)
	ばねの方向	
ずれ (x 軸) 方向	300	1.00×10^{12}
引き抜き (y 軸) 方向	100	1,520
ずれ (z 軸) 方向	300	1,520

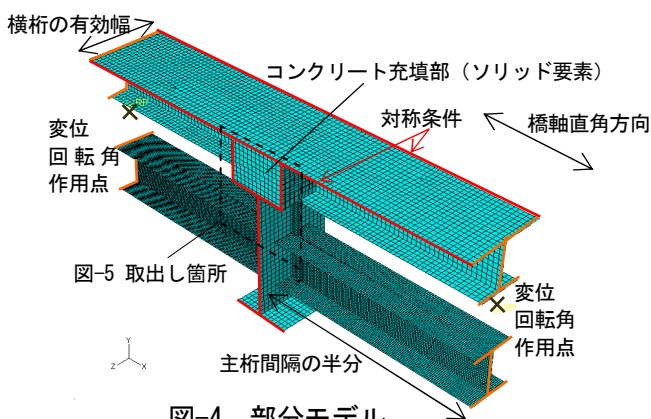


図-4 部分モデル

6. 解析結果と考察

主桁の首ふり挙動発生時の垂直補剛材端部の応力を図-5 に示す4つの着目箇所と比較した。最小主応力(圧縮部)、最大主応力(引張部)をともに図-6 に示す。

Case2-1 は Case1 と着目応力に差が見られない。ずれ止めにスタッドを用いた Case2-2 においては、全ての

着目箇所での応力の低減が確認できる。しかし PBL を用いた Case2-3 では、着目箇所 UR を除いて Case2-1 とほぼ同じ値となっている。また、負曲げ状態時におけるコンクリートの引張応力は、許容引張応力を超過しており、引張力を負担する補強筋の必要性を確認できた。

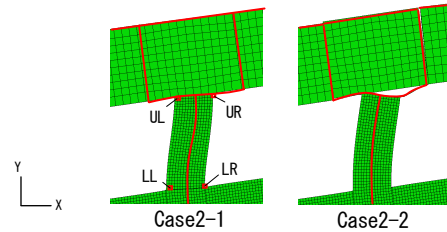


図-5 首ふり挙動発生時の主桁構造変形図 (200 倍)

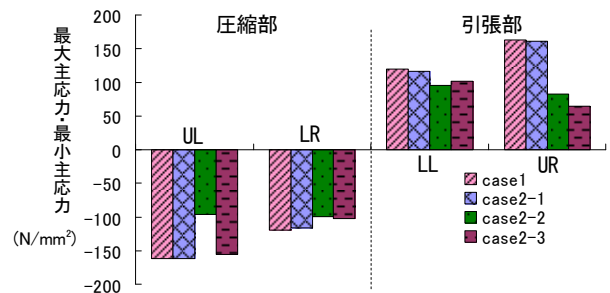


図-6 着目箇所における最大・最小主応力の比較

7. まとめ

ECO-Bridge の主桁構造部の応力状態を FEM 解析によって求め、主桁構造部の最適化について検討した。

- 1) 首ふり挙動発生時におけるコンクリート充填による応力低減は確認できなかった。原因として設計荷重に対して横リブの剛性が大きいためと考えられる。したがって、たわみ制限を満足する範囲で横リブ断面の一層の小型化が可能である。
- 2) コンクリート充填部にずれ止めを用いることにより、鋼とコンクリートに離間が生じ垂直補剛材端部の発生応力の低減が観察された。
- 3) 負曲げ状態時にコンクリート上部に生じる引張応力に対しては鉄筋等の補強材を断面内に適切に設置することが可能である。

謝辞

本研究を行うに当たり日本鉄鋼連盟に平成 23 年度、鋼構造研究・教育助成事業の一環として支援して頂きました。ここに深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 山口隆司, 阿倍雅人, 奥井義昭, 館石和雄, 山口栄輝 : 急速架設・再利用を考慮したモジュラー型橋梁システム「ECO-Bridge」の提案と性能保証技術の開発, 報告書, 2010
- 2) SIMULIA : Abaqus Analysis User's Manual, Vol. I-V, Ver.6.9.
- 3) 日本道路協会 : 道路橋示方書・同解説 I 共通編, II 鋼橋編, 2002
- 4) 土木学会 : 2009 年制定複合構造標準示方書, 第 1 版, 2010
- 5) 清水良平, 橘吉宏, 渡辺滉, 北川幸, 平城 弘 : 遅延合成スタッドジベルの引き抜き試験, 土木学会第 57 回年次学術講演会, pp. 715-716, 2002