

構造最適化技術を用いたプレキャスト高架橋縦梁部材形状に関する一検討

JR 東日本 正会員 ○伊東 佑香
 構造計画研究所 小態 信明
 構造計画研究所 正会員 金山 亨

1. プレキャスト高架橋部材の形状検討の背景

JR 東日本では、鉄道建設工事の生産性向上に向け高架橋のプレキャスト化検討を行っている。プレキャスト高架橋の施工は工場製作後、トレーラー運搬、大型クレーン架設で計画しているが、大型クレーンの規格は部材重量で決定されるため、部材軽量化が架設工事費のコストダウンにつながる。一方プレキャスト部材は工場製作であり、部材形状の自由度が現場打ちよりも高い。そこで、従来現場打ち部材で一般的であった矩形断面にとらわれない部材形状検討が可能である構造最適化技術を用い、プレキャスト部材の軽量化検討を行った。

2. 構造最適化技術を用いた部材形状の検討

検討手順は以下の通りとする。はじめに、検討対象とする高架橋および部材を選定し、制約条件および最適化条件を設定する。次に、荷重条件を整理し部材モデルを作成、構造最適化を実施し部材形状を選定する。最後に、構造最適化により得られた部材形状が現行設計規準¹⁾を満足しているか照査を行う。

(1) 対象高架橋および部材選定

対象高架橋を図-1に示す。線路直角方向は2柱式であり、支間長12.5mの複線3径間RCラーメン高架橋とした。対象部材はプレキャスト化を検討しているスラブ、縦梁、横梁および柱のうち、部材重量が最も大きい縦梁とした。諸元を図-2に示す。

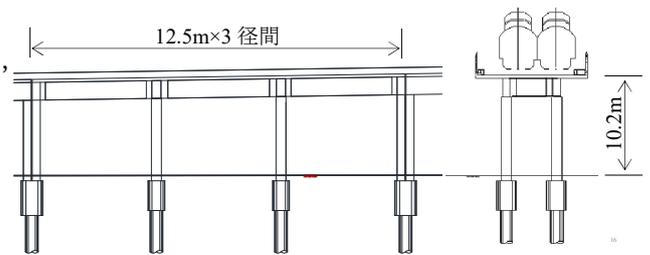
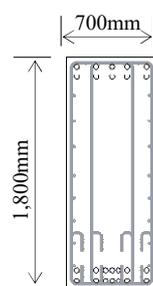


図-1 検討対象構造物(RC ラーメン高架橋)

(2) 最適化手法、最適化条件および制約条件の設定

本稿では、対象縦梁の既設計断面を最適化範囲とし、初期形状範囲内において外形形状を最適化する形状最適化により検討を行った。柱やスラブとの接合部の面積は変化させていない。梁架設時のクレーン規格を下げるため、縦梁の既設計重量31.5tを最大20.0t(体積比約63%)とする制約条件下において、縦梁部材の剛性が最大(縦梁中央の鉛直変位最小化)となる形状を求めた。



既設計縦梁の照査決定ケース

支点上側：損傷レベル1(地震時)

※スラブがあるため、ひび割れは照査対象外
 径間下側：疲労破壊(曲げ)

配筋	径	強度	本	段
上段	D38	SD390	5	2
下段	D38	SD390	5	2
帯筋	D19	SD345	2	125

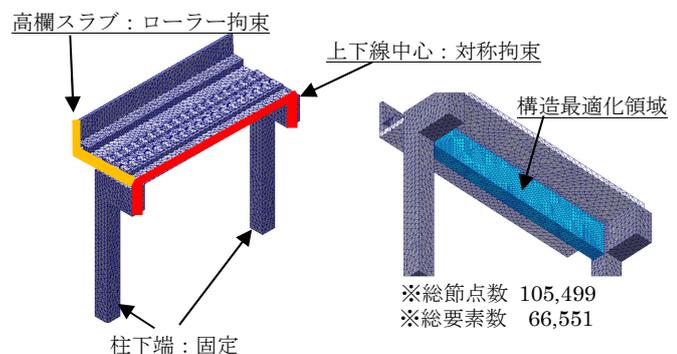
※帯鉄筋段数表記はピッチ

※帯鉄筋本数表記は組数

図-2 検討対象部材(縦梁)

(3) 荷重条件およびモデル化

荷重は、構造最適化手法を適用する場合の荷重として、鉛直荷重に着目し列車荷重及び構造物自重を作用させた。構造最適化要素は設計規準強度40N/mm²のコンクリート材料を想定し、ヤング率31kN/mm²、ポアソン比0.2、単位重量25.0kN/m³とした。解析ソフト上の制約から、塑性化を考慮しない弾性材料を仮定した。モデル化は図-3の通り3径間ラーメン高架橋の中央1スパンの縦梁を対象とした1径間とし、上下線中心線に対称拘束を仮定した。要素は四面体要素とし計算ソフトはHiramekiWorks ver1.2を用いた。



※総節点数 105,499
 ※総要素数 66,551

図-3 解析モデル

キーワード プレキャスト、構造最適化、高架橋

連絡先

〒151-8512 東京都渋谷区代々木2-2-6 東日本旅客鉄道株式会社 東京工事事務所 TEL 03-3379-4634

(4) 構造最適化結果

梁断面はI型から逆T型に徐々に変化するものとなった(図-4)。梁中央部の変位最小化を目的としたため、断面二次モーメントに有効な断面下部要素が多く残ったと考えられる。また発生モーメントに応じ、端部に向かって断面積が低減していく形状となった。

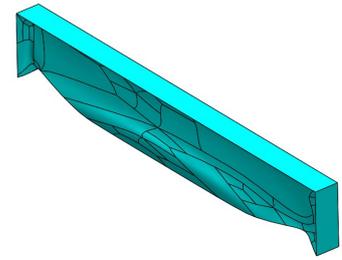


図-4 構造最適化部材(スミジング後)

(5) 現行規準での照査

既設計の決定ケースのうち、径間下面の疲労に対しては表-1の通り鉄筋量を増加して対応したため、地震時の損傷レベルの照査を行った。計算ソフトには自由断面を設定できないため、図-5の通り750mmピッチで、部材重量および剛性を構造最適化結果と整合させた断面積および断面二次モーメントの値がほぼ等価な逆T型断面に換算した。

表-1 構造最適部材の配筋条件

断面	下面鉄筋	上面鉄筋
A-A	D38×5 本×1 段	D38×4 本×2 段
B-B	D38×8 本×1 段	
C-C	D38×11 本×1 段	
D-D	D38×12 本×1 段	D38×5 本×2 段
~		
H-H		

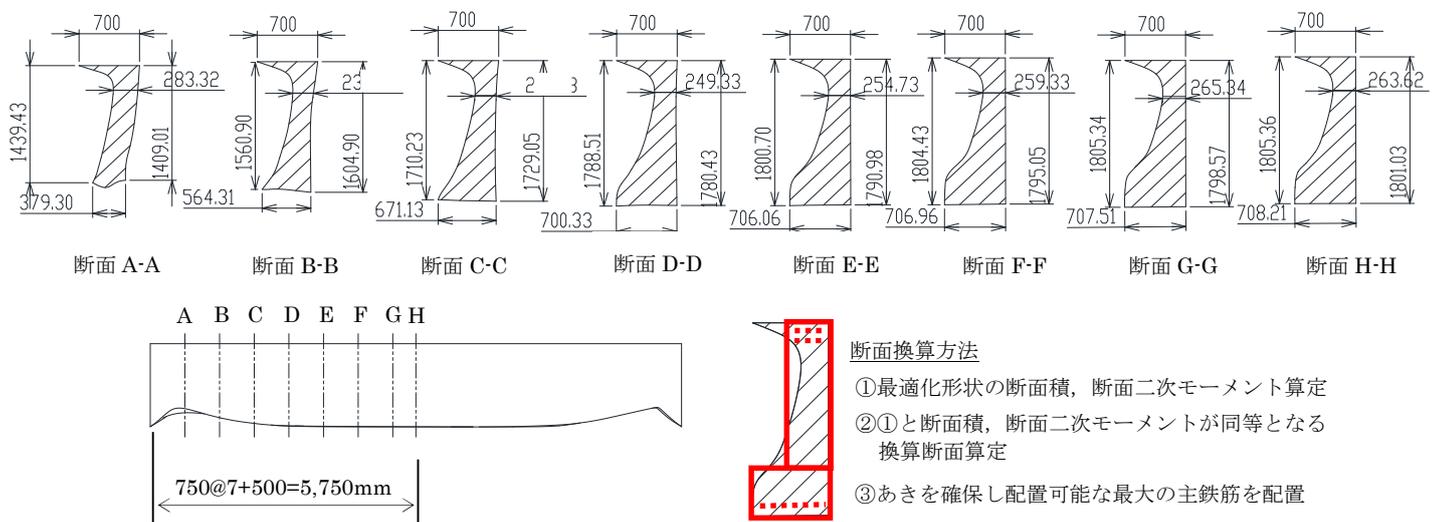


図-5 構造最適化部材の断面諸元

照査は JRSNAP ver.5.1 を使い、線路方向断面に対して3径間のうち中央径間を変更し静的非線形解析による地震時の検討を行った。全断面に最適化断面を適用した結果、梁端部の A-A 断面は全体系降伏前に損傷レベル2に達した。A-A 断面を B-B 断面に置き換えたところ、縦梁は全断面において損傷レベル1となることを確認した。このとき縦梁の重量は19.9tであり、当初の制約条件を満足した。

3. 構造最適化結果および今後の課題

プレキャスト部材の軽量化に向け、構造最適化技術を用い RC ラーメン高架橋縦梁の最適形状検討を行った。既設計では線路方向に一律な矩形断面であった縦梁を鉛直荷重の分布に応じて部材形状を最適化させた結果が既設計の決定ケースにおいて同等の性能を有することを確認した。本稿の条件では最適化により断面二次モーメントは既設計より小さくなるものの、鉄筋量を増やしたことで断面耐力は増加していたため照査を満足したと考えられる。また縦梁自重を小さくしたことにより、梁が細くなっても地震時の損傷レベルが変わらなかったものと考えられる。

構造最適化の採用にあたっては、適切な制約条件の選定、照査可能断面への換算方法、配筋量の決定方法等が課題となるが、矩形断面にとらわれない部材形状の選定や、断面寸法が複数ある場合に総当たり計算を行わずとも部材形状選定が可能であるなど、設計初期段階を中心として適用可能性があると考えられる。

参考文献

1)鉄道総合技術研究所編：平成16年4月 鉄道構造物等設計標準・同解説(コンクリート構造物)，2004.04.