

不整形 RC ラーメン高架橋の水平載荷時の損傷に関する FEM と骨組解析の比較検討

(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 ○小西 亮太, 中田 裕喜, 渡辺 健

1. はじめに

RC ラーメン高架橋の設計では、一般に部材を線材でモデル化した構造解析(以下、骨組解析)が実施されている¹⁾。また、構造物中心に対して左右非対称な不整形構造物については 3 次元的な挙動を適切に考慮できるように 3 次元でモデル化されている。本稿は有限要素解析(FEM)と骨組解析を比較検討し、地震時損傷状況、破壊箇所を把握することを目的とした。

2. 対象構造物および解析概要

本検討で用いたモデルは、既存の不整形な鉄道ラーメン高架橋を参考とした。構造物の諸元を表 1 に、検討ケースを表 2 に示す。形状および材料物性値を図 1 に示す。解析モデルは、図 2 に示す通りである。FEM では非構造部材をモデル化することが可能である。本検討では非構造部材のうち、路盤鉄筋コンクリート(以下、路盤 RC)を対象とした。形状は高さ 500mm 幅 3200mm とし、路盤 RC とスラブの境界は剛結とした。

case1 では骨組解析と FEM の結果を比較した。case2 は上層梁の耐力に着目して、骨組解析と FEM の結果を比較した。上層梁に着目するため、柱は線形弾性として検討した。既存構造物の設計計算結果を確認すると、上層梁の地震時照査において、照査結果に余裕がある。そのため、地震時に骨組解析と FEM で結果に差が出にくいことが想定される。よって、上層梁の耐力を下げて検討した。具体的には、図 1 に示す上層縦梁と上層横梁の軸方向鉄筋径を一律 D16 に変更した。case3 は非構造部材の影響を確認した。

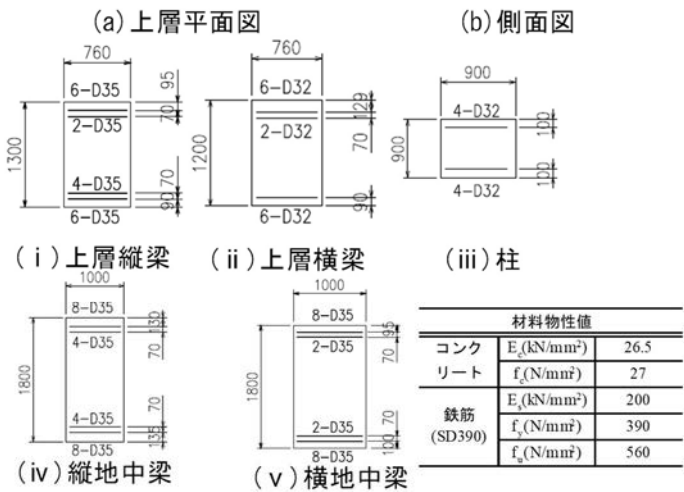
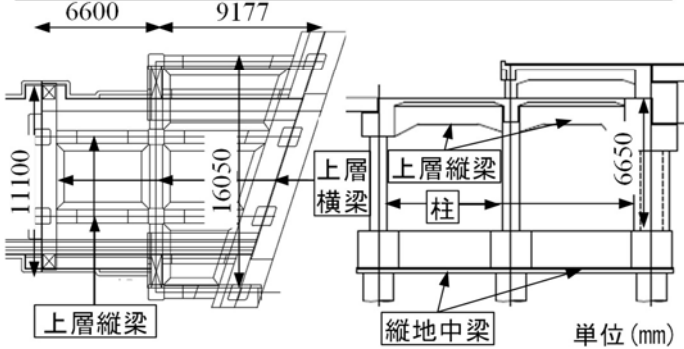
FEM は、汎用構造解析コード DIANA10.5 を用いた。コンクリートはソリッド要素を用いてモデル化した。応力-ひずみ関係は、Hordijk 曲線(引張特性)と、Parabolic 曲線(圧縮特性)を使用した。鉄筋は、埋込み鉄筋要素を用いてモデル化した。応力-ひずみ関係は、降伏強度に達するまでは弾性とし、降伏強度に達した後は剛性が初期剛性 E_s に対して 0.01 倍に変化するバイリニアモデルとした。杭は線材にて線形弾性でモデル化し、水平および鉛直方向に対して地盤バネを設定した。骨組解析における部材の非線形特性は、曲げモー

表1 対象構造物の諸元

項目	諸元
構造形式	RCビームスラブ式ラーメン高架橋
基礎形式	1柱1杭基礎(地中梁形式)
径間数	線路方向2径間 直角方向1径間～3径間
全長	15.77m～11.423m
幅	11.1m～16.05m
高さ	6.65m

表2 検討ケース

	柱	上層梁	非構造部材
case1	非線形	既存配筋	有
case2	線形弾性	D16	有
case3	線形弾性	D16	無



材料物性値		
コンクリート	E_c (kN/mm ²)	26.5
	f'_c (N/mm ²)	27
鉄筋 (SD390)	E_s (kN/mm ²)	200
	f'_s (N/mm ²)	390
	f_y (N/mm ²)	560

図1 対象構造部の形状および材料物性値

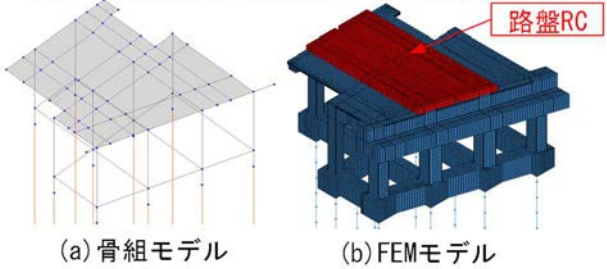


図2 解析モデル図

キーワード 不整形 RC ラーメン高架橋, 有限要素解析, 骨組解析,
連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 (公財) 鉄道総合技術研究所 コンクリート構造 TEL042-573-7281

メント分布が直線的に変化する柱, 上層横梁, 地中梁を $M-\theta$ 関係で表現し, 曲線的に変化する上層縦梁を $M-\varphi$ 関係で表現した. なお, ねじり剛性に関しては弾性とした. 解析は慣性力を与えたプッシュ・オーバー解析とし, 解析方向は, 線路方向, 線路直角方向で行う. 荷重については, 死荷重と死荷重慣性力を考慮した.

3. 解析結果および考察

図3に, case1における震度-変位関係を示す. FEMでの初期のひび割れは, 平均化偏差ひずみ第2不変量 $\sqrt{J_2}$ が 1000μ を超過したステップとした. 耐力は平均化正規化累加ひずみエネルギー $\bar{W}_n$ が 1500μ を最初に超過したステップとした. いずれの解析も柱先行破壊である. 線路方向, 線路直角方向ともにFEMが剛性, 最大震度ともに大きい結果となっている. 剛性や最大震度の違いについて, 骨組解析における部材の骨格曲線では, コンクリートの引張を無視し, 鉄筋は完全弾塑性にモデル化しているのに対し¹⁾, FEMではコンクリートの引張や鉄筋の二次勾配を考慮しているためと考えられる. 初期のひび割れが発生する震度は, FEMの方が高く, 最初に耐力が超過する点に関しては骨組解析の方が高い結果となった.

図4に, case1のコンクリートの最大主ひずみ分布と荷重方向, 荷重方向と直交する方向の変位履歴を示す. ひずみ分布図と変位履歴は $\bar{W}_n$ が 1500μ を最初に超過したステップとした. 線路方向, 線路直角方向ともに荷重方向と直交する変位に着目すると, 骨組解析と差が生じている. 不整形なラーメン高架橋では, いずれの解析でも三次元的な挙動が生じるが, 骨組解析ではねじり剛性を弾性としていることや, FEMでは骨組解析で考慮されていないスラブの鉄筋や桁受け, コンクリートの引張等を考慮していることにより, 三次元的な挙動に違いが生じている. すなわち, この違いにより地震時の応答や部材それぞれの損傷程度が異なる結果になる.

図5に case2, 3の結果を示す. case2, 3のFEMの結果を比較すると, 非構造部材の影響により, 剛性に差がある. 今回, 路盤RCとスラブの境界は剛結としたが, 境界部が先行破壊する可能性がある. 実際の境界部には剥離防止兼用すれ止め鉄筋のみが配置されている. したがって, 地震時においては, この一体性が確保されない可能性があるため, 本検討の知見は路盤RCの効果を最大限に見込んだ結果である. case2のFEMと骨組解析を比較すると, 既往論文²⁾と同様に, 骨組解析で考

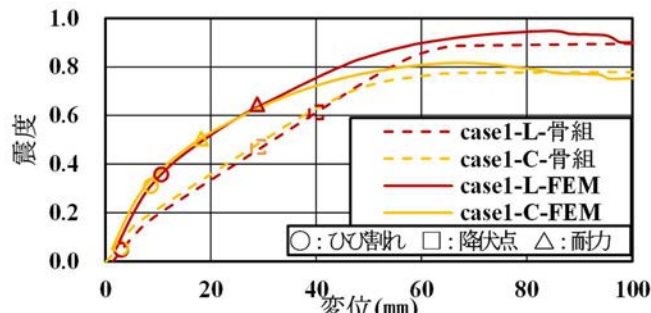


図3 case1における震度-変位関係の比較

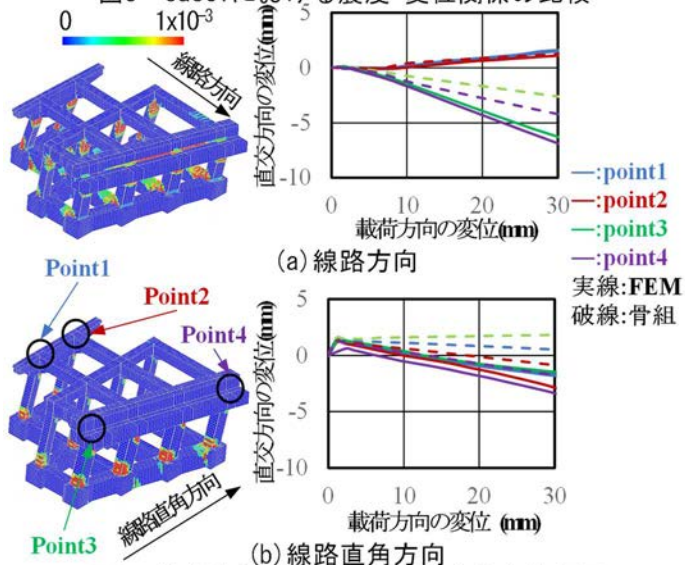


図4 荷重方向ごとのひずみ分布と変位履歴

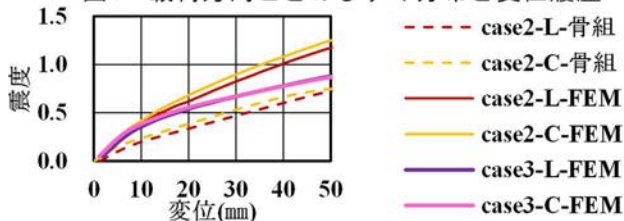


図5 case2, 3における震度-変位関係の比較

慮されていない中間スラブの橋軸直角方向の軸方向鉄筋が応力を負担したと考えられるため, 剛性と耐力に差が生じている.

4. まとめ

不整形なラーメン高架橋を対象に, FEMと骨組解析の比較により, 剛性や最大震度, ねじり挙動等の違いを示した. 骨組解析で梁降伏先行であっても, FEMでは梁の耐力や剛性が骨組解析より大きいことにより柱降伏先行となる等, 破壊箇所や破壊形態が異なる場合が考えられる. 非構造部材やスラブの鉄筋の貢献を含め, 骨組解析で考慮されない効果を考慮することで, 実現象に即した設計や診断が可能となる.

参考文献

- 1) (公財) 鉄道総合技術研究所: 鉄道構造物等設計標準・同解説 (コンクリート構造物), 丸善, 2023.1
- 2) 宮本祐輔, 渡辺健, 中田裕喜: FEMを用いたRCラーメン高架橋全体系の耐荷性能に関する検討, 土木学会全国大会第74回年次学術講演会, V-413, 2018