

FEMに基づく破壊形態の異なる柱を有した高架橋全体系の破壊過程に関する一考察

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

1. はじめに

一般に, RC 構造物の設計では, 構成する 1 つの部材が破壊することで構造物全体系の崩壊とみなして安全性の照査を行う¹⁾. 一方, RC ラーメン高架橋のような不静定構造では, 一部材が破壊して剛性を喪失しても荷重の再分配により, さらに高い耐荷力を期待できる. 本稿では, 部材の破壊を材料の損傷程度で評価できる 3 次元有限要素解析(以下, FEM)を使用し, 剛性や破壊形態が異なる RC 柱で構成される既設 RC ラーメン高架橋の破壊過程を評価した.

2. 対象構造物および解析概要

図 1 に, 本検討で対象とした RC ラーメン高架橋を示す. 3 径間の RC ラーメン高架橋であり, 高架橋の幅が変化するバチ型の平面形状を有している.

図 2 に, 解析モデルを示す. 柱の大幅な剛性低下により水平力が大きく再分配するように, 各柱はせん断破壊形態としている. 一方, こうした剛性低下を抑制するために, 端部柱の四面にシェル要素を配置した. シェル要素は鋼板(6mm)の特性を有し, 曲げ耐力に寄与しないよう, 柱端部から 1 要素分は配置していない. また, インターフェイス要素を介して柱に一体化させた²⁾. 載荷では, 自重と地震による慣性力として, 0.01G ずつ橋軸直角方向(Y 方向)に漸増させた. 解析は, 全柱の破壊形態をせん断破壊形態とし, シェル要素の配置の有無で 2 ケース, 全柱の破壊形態を曲げ破壊形態とした 1 ケースの計 3 ケース実施した.

3. 解析結果

図 3 に, シェル要素が無いケースにおける荷重-水平変位関係および偏差ひずみ第 2 不偏量($\sqrt{J'_2}$)と正規化累加ひずみエネルギー ($\overline{W}_n$) について, R4, L4 柱に対する算定値の最大値の履歴を示す. 柱基部では, 曲げひび割れと斜めひび割れを示す $\sqrt{J'_2}$ が載荷直後から高い増加率を示し, 水平変位 40mm 付近で限界値($\sqrt{J'_2}=0.001$)に達したが, その後も水平震度は増加した. 一方, 柱中間部では, $\sqrt{J'_2}$ およびコンクリートの圧縮破壊を示す $\overline{W}_n$ が, 載荷開始直後は緩やかな増加傾向を示したが, 水平変位 60mm 付近で急激に上昇し, 限界値($\sqrt{J'_2}=0.001$, $\overline{W}_n=0.0015$)

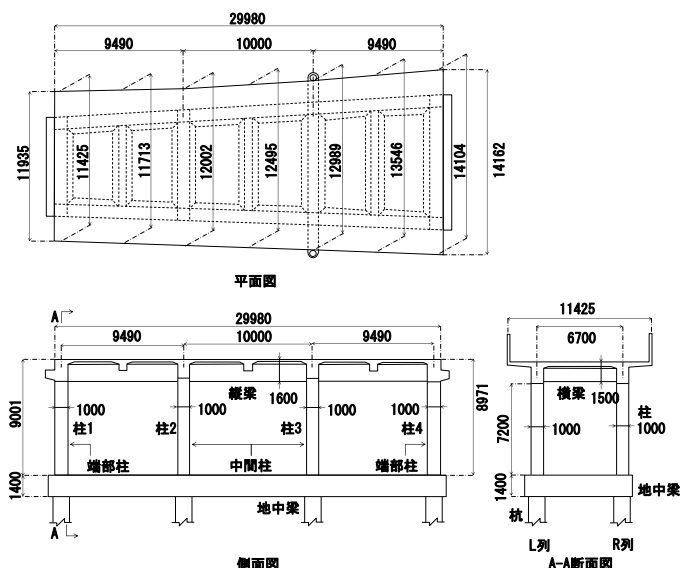


図 1 対象高架橋(単位 mm)

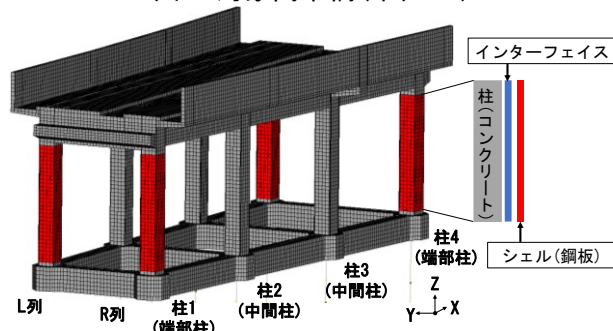


図 2 解析モデル RC ラーメン高架橋(シェル要素有り)

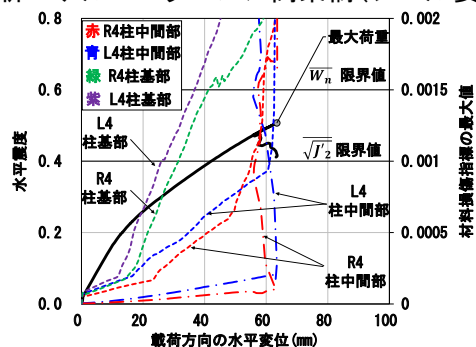


図 3 水平荷重・損傷指標-水平変位(シェル要素無し)

キーワード RC ラーメン高架橋, 非線形有限要素解析, 破壊過程, 損傷指標

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

に達するのとほぼ同時に水平震度は大きく低下した。なお、軸方向鉄筋の降伏は確認されていないことから、斜めひび割れが発生し耐力が低下するせん断破壊の様相を呈した。

図4に、各ケースの荷重－変位関係を示す。図中に、シェル要素を有するケースの各柱の部位ごとの $\sqrt{f'_2}$ および $\bar{W}_n$ が限界値に達した時点を示す。R1, R4, L1, L4 柱(以下、端部柱)にシェル要素を配置したことで水平震度の最大値は増加し、ポストピークにおけるじん性が向上した。材料損傷指標の発生イベントを見ると、水平変位 30mm にて、全柱で柱基部の $\sqrt{f'_2}$ が限界値に達している。水平変位 60mm 付近にて、R2, R3, L2, L3 柱(以下、中間柱)における柱中間部の $\sqrt{f'_2}$ が限界値に達した。その後、最大荷重は増加し、水平変位 90mm 付近にて、R1, R4, L1 柱の $\bar{W}_n$ が限界値に達するのとほぼ同時に荷重が一時的に低下した。これは、直前に生じた中間柱における柱中間部の斜めひび割れ。また、図5に示す圧縮損傷分布図から、R1, R4, L1 柱における柱基部での曲げひび割れによる圧縮損傷が原因である。最大荷重付近にて、中間柱における柱中間部の $\bar{W}_n$ が限界値に達したが、その都度での大きな荷重低下は確認されなかった。なお、帯鉄筋は降伏しており、図6に示す引張損傷分布図から、中間柱ではせん断破壊の様相を呈していた。

図7に、シェル要素を配置したケースにおける各柱頂部の鉛直変位を示す。図7(a)より、中間柱は、水平変位 90mm にて、柱中間部の斜めひび割れの発生により沈下、最大荷重付近でも、せん断破壊によって沈下した。端部柱では、載荷直後を除き、鉛直変位は増加する傾向を示した。また、図7(b)に示す水平変位 160mm 時の柱列での鉛直変位からも、端部柱に比べて中間柱が沈下している。これらより、せん断破壊した中間柱にかかる軸力をシェル要素を配置した端部柱が受け持ったと考えられる。

4. まとめ

破壊形態の異なる柱を有した既設 RC ラーメン高架橋を対象に FEM 解析を実施した結果、柱部材のせん断破壊により材料損傷指標が限界値に達するが、水平力の再分担等の現象により、構造物全体系での大きな荷重低下は生じない。また、せん断破壊した柱の軸力を剛性の高い柱が受け持つ軸力変動が生じていた。

参考文献

- 1) 鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計，丸善，2012
- 2) 鉄道総合技術研究所：既存鉄道コンクリート高架橋柱の耐震補強設計指針，丸善，

2020.12

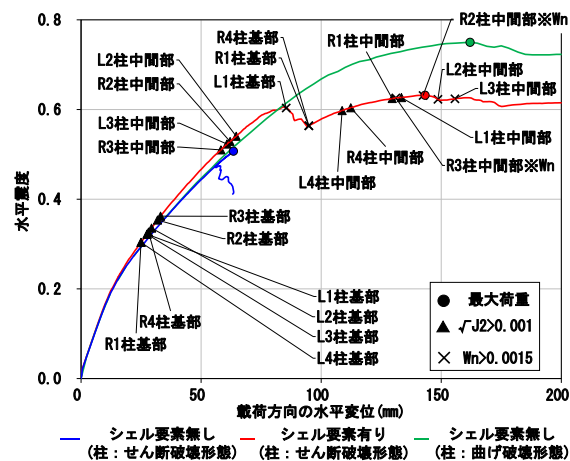


図4 水平震度・損傷指標－水平変位

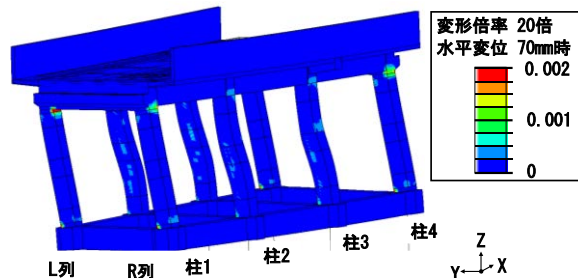


図5 圧縮損傷分布図(シェル要素有り)

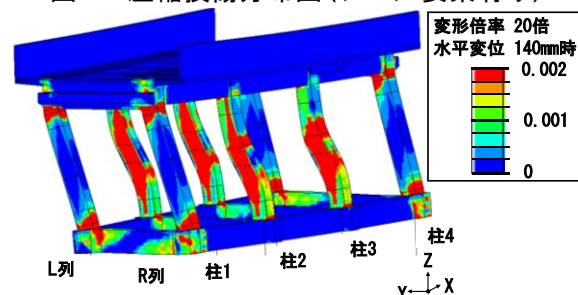
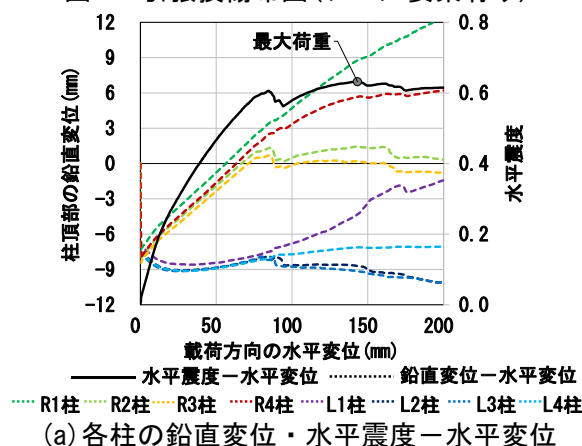
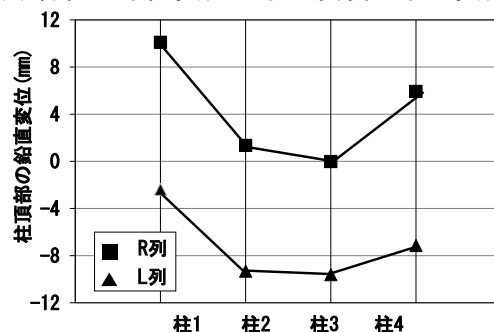


図6 引張損傷分布図(シェル要素有り)



(a) 各柱の鉛直変位・水平震度－水平変位



(b) 柱列での鉛直変位(水平変位 160mm 時)

図7 柱頂部鉛直変位(シェル要素有り)