

# V-521 RC2層ラーメン構造物の応答変位に及ぼす各部材の損傷の影響

○建設省 正会員 砂金 伸治  
 NTT 正会員 石川 昌徳  
 東北大学 正会員 鈴木 基行  
 東北大学 正会員 藤原 稔

## 1. 目的

1978年の宮城県沖地震や1995年の兵庫県南部地震により、多数のRC2層ラーメン高架橋に被害を生じた。それらの被害より、構成部材の損傷や降伏後の挙動が構造系全体の挙動に与える影響が不明確であることが分かった。

そこで、本研究ではRC2層ラーメン高架橋の柱および中層ばりの軸方向主鉄筋量の増加およびせん断補強鉄筋量の増減が各部材の損傷に与える影響を動的解析を行って求めた。また、各部材の曲げ降伏とせん断降伏のどちらが先行するかを判定する安全性指標（以降、曲げ安全度と略）を算定し、さらに高架橋の応答変位に対する部材損傷の相関を求め、各部材の損傷が高架橋全体の応答にどのような影響を与えるかを検討した。

## 2. 解析方法

本研究では東北新幹線の標準橋脚設計図を基に、図-1に示した高さ12mのRC2層ラーメン高架橋（以降、標準高架橋と略）を解析の対象とした。標準高架橋の柱の軸方向鉄筋比は2.44%、中層ばりの圧縮・引張鉄筋比はともに0.80%であり、せん断補強鉄筋は柱・中層ばりともにD13鉄筋を15cmピッチで配置している。

この2層ラーメン高架橋を2質点系にモデル化し、マトリクス法にて時刻歴応答解析を行った。特に剛性マトリクスは、部材モデルにGibersonモデルを採用し、それを基に算定した。また外力は地震慣性力を各層毎に水平に作用させた。なお、入力強震波形は、兵庫県南部地震および地震時保有水平耐力照査用の波形を地盤種別毎に3波形ずつ、加えてホワイトノイズの計7種を使用した。ここでは、兵庫県南部地震のⅡ種地盤（JR鷹取）の波形を入力した場合の最大応答変位について示す。

また、部材の曲げ降伏とせん断降伏の先行を考えるにあたり、式(1)に示した曲げ安全度の値を算定した。

$$\alpha = \frac{V \cdot a}{M} \dots \dots (1)$$

ここに、 $\alpha$ ：曲げ安全度、 $V$ ：せん断耐力、 $a$ ：せん断スパン、 $M$ ：曲げ耐力

この $\alpha$ が1.0の場合がせん断降伏が先行するとされてきたが、石橋<sup>1)</sup>によると、RC柱においてはこの値を低減でき、0.9～1.0程度に設定が可能であるとしている。そこで2層ラーメン高架橋について、柱部材と中層ばり部材それぞれの $\alpha$ を算定し、応答解析の結果と比較した。

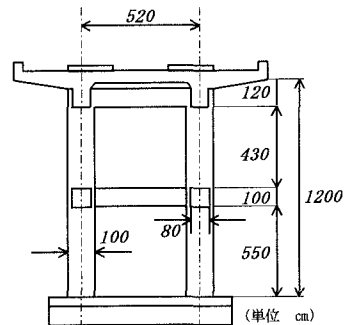


図-1 解析対象ラーメン高架橋

## 3. 高架橋に与える軸方向主鉄筋量の影響

軸方向主鉄筋量の増加は、標準高架橋を基準に、柱および中層ばりを10%ずつ、60%まで増加させ合計49の高架橋について行い、最大応答変位を算定した。中層ばりの軸方向主鉄筋量を増加させた場合の結果を図-2に示す。最大応答変位は軸方向主鉄筋量を20%増加させた場合は減少したが、40%以上の増加で逆に増大している。

次に、49の高架橋の部材降伏の順番が入力加速度の増加でどのように変化したかを表-1に示す。表-1の領域1は中層ばりの曲げ降伏、柱の曲げ降伏、中層ばりのせん断降伏の順に降伏が進み、以下、領域2：中層曲げ→中層せん断、領域3：柱曲げ→中層曲げ→中層せん断、領域5：柱曲げ→中層せん断、領域7：中層せん断、と入力加速度の増加につれて部材降伏が進行した。しかし、領域4や領域6は入力加速度により部材降伏の順番が異なっていることが認められた。図-2の応答結果から、40%増加の場合は領域3に、そして60%増加の場合は領域5に属していることが分かる。中層ばりの曲げ降伏が柱の曲げ降伏よりも先行し、中層ばりにおいては曲げ降伏がせん断降伏よりも先行すれば応答変位が小さくなる、すなわち、応答変位の点からは領域1の降伏の順番が望ましいということが言える。

また、それらの降伏の順番の分類結果に基づき、曲げ安全度を算定した。軸方向主鉄筋量の増加の解析において

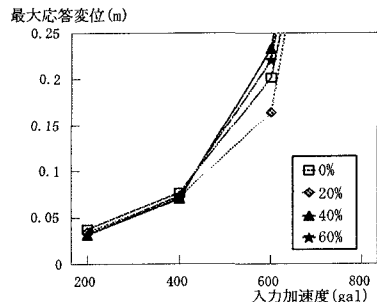


図-2 中層ばりの軸方向主鉄筋量増加の影響

表-1 部材降伏順序の領域

| 軸方向鉄筋増加率<br>↓中層ばり | 柱→ | 0% | 10% | 20% | 30~40% | 50~60% |
|-------------------|----|----|-----|-----|--------|--------|
| 0~30%             |    |    | 1   |     |        | 2      |
| 40%               |    | 3  |     |     | 4      |        |
| 50~60%            |    | 5  |     | 6   |        | 7      |

はせん断降伏の先行は中層ばりのみに見られた。それは表-1での領域5、6、および7の場合で、中層ばりについては $\alpha$ は1.13～1.19程度であった。

さらにどの部材の損傷が高架橋に影響を及ぼすかを把握するため、高架橋の最大応答変位を目的変数、各部材の塑性率を説明変数として重回帰分析を行い、偏相関係数を算出し、部材損傷の最大応答変位に対する影響を考えた。その結果を領域1、2、5および7について表-2に示す。これより中層ばりにおいて、領域1および2といった曲げ降伏がせん断降伏より先行する場合は中層ばりの曲げ損傷と中層ばりのせん断損傷が、また領域5および7といったせん断降伏が曲げ降伏より先行する場合は中層ばりのせん断損傷が相関が高いことが認められた。

表-2 最大応答変位に対する各塑性率の偏相関係数

| 領域 | 下柱    |       | 上柱    |      | 中層ばり  |      |
|----|-------|-------|-------|------|-------|------|
|    | 曲げ    | せん断   | 曲げ    | せん断  | 曲げ    | せん断  |
| 1  | -0.01 | -0.16 | -0.07 | 0.17 | 0.84  | 1.00 |
| 2  | -0.09 | -0.03 | 0.05  | 0.32 | 0.91  | 1.00 |
| 5  | -0.54 | 0.12  | 0.04  | 0    | -0.36 | 1.00 |
| 7  | 0.03  | 0.06  | -0.16 | 0.28 | -0.40 | 1.00 |

#### 4. 高架橋に対するせん断補強鉄筋量の影響

前章の解析では柱のせん断降伏がみられなかった。そこで、柱と中層ばりのせん断補強鉄筋量を標準高架橋を基に、それぞれ-50%、0%、100%、200%と変化させ、合計16の高架橋について解析を行った。

柱のせん断補強鉄筋量を一定とし、中層ばりのせん断補強鉄筋量を変化させた場合の高架橋の最大応答変位を図-3に示す。これよりせん断補強鉄筋量の増加時に応答の減少が見られるが、100%および200%の増量の場合の応答変位の差があまり表れないことが分かった。また、低加速度域では変位に差が生じないことも分かった。

同様に、降伏の発生する順番を考慮してみたが、標準高架橋の場合の順番とほぼ変化がなかった。また、柱のせん断補強鉄筋量を減少させたところ、柱のせん断降伏が発生し、その場合の曲げ安全度の値は0.43であった。しかし、その減少量を変化させて解析したところ、0.38の場合で柱はせん断降伏が先行しないことが確認されたため、柱の曲げ安全度は0.38～0.43であった。なお、中層ばりの曲げ安全度はせん断補強鉄筋量を変化させた解析でも満たされていた。

また、前章同様の手法で重回帰分析を行い、結果を表-3に記す。本章でもその場合と同様の結果が得られ、中層ばりの降伏の先行形態により最大応答変位に対する相関が異なることが分かった。また、柱にせん断降伏が発生したものを記したが、この場合は最大応答変位に対して影響を及ぼす損傷は異なることが分かった。

最大応答変位 (m)

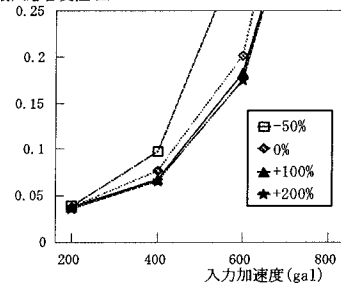


図-3 中層ばりのせん断補強鉄筋量増加の影響

表-3 最大応答変位に対する各塑性率の偏相関係数

| 領域   | 下柱    |      | 上柱    |       | 中層ばり  |      |
|------|-------|------|-------|-------|-------|------|
|      | 曲げ    | せん断  | 曲げ    | せん断   | 曲げ    | せん断  |
| 1    | -0.40 | 0.12 | -0.03 | -0.01 | 0.99  | 1.00 |
| 5, 7 | -0.90 | 0.80 | 0.10  | -0.51 | 0.98  | 1.00 |
| 柱せん断 | -0.21 | 0.99 | -0.16 | 0.99  | -0.65 | 0    |

#### 5. 高架橋応答の推定に関する考察

次に部材の損傷を変数とした高架橋の最大応答変位の推定式の構築を考えた。それを(2)式に示す。変数とする部材の塑性率は、表-2および表-3の偏相関係数の値と、それら算定する際にあわせてt検定を行った結果をふまえ、中層ばりの曲げ塑性率とせん断塑性率を変数とした。表-4に降伏形態が領域1における場合の軸方向主鉄筋およびせん断補強鉄筋の変化時における推定式の係数および重相関係数について示す。

$$\delta = \alpha + \beta D_M + \gamma D_S \cdots \cdots (2)$$

ここに、 $\delta$ ：最大応答変位(単位：cm)、 $D_M, D_S$ ：中層ばりの曲げ塑性率、せん断塑性率、 $\alpha, \beta, \gamma$ ：推定式の定数  
この結果、領域1にのみ適用できる式では重相関係数が0.86という相関の高い回帰式が得られた。許容される塑性率を与えれば2層ラーメン高架橋の変位推定が可能である。

表-4 変位推定式の定数・重相関係数

| 解析条件       | $\alpha$ | $\beta$ | $\gamma$ | 重相関係数 |
|------------|----------|---------|----------|-------|
| 軸方向鉄筋変化時   | 2.47     | 1.63    | 3.04     | 0.97  |
| せん断補強鉄筋変化時 | 2.01     | 2.55    | 0.84     | 0.73  |
| 合計         | 5.82     | 2.23    | 2.14     | 0.86  |

#### 6. まとめ

本研究から以下のような結果が得られた。

- ①断面諸元により各部材は固有の降伏の順番をとり、それぞれで応答変位と部材損傷の相関が異なることが認められた。
- ②せん断降伏の先行に対する曲げ降伏の先行の安全度は、柱は0.38～0.43、中層ばりは1.13～1.19程度であった。
- ③中層ばりの損傷に着目することで、応答変位の推定が可能であることが分かった。

#### 参考文献

- 1) 土木学会コンクリート委員会：阪神大震災とコンクリート構造物の耐震設計、土木学会全国大会研究討論会資料、1995. 9