

## I-B 429 高架橋と地下鉄の一体構造物の耐震解析法に関する考察

中央復建コンサルタンツ フェロー 山口直紀  
 大阪市交通局 正会員 太田 擴  
 京都大学工学部 フェロー 大西有三  
 京都大学工学部 フェロー 家村浩和  
 阪神高速道路公団 斉藤博行

## 1. まえがき

我が国の大都市では、高速道路や鉄道の高架橋基礎が地下鉄構造物に上載されたり、一体構造物として建設された構造形式が多く見受けられる。これらの構造物の設計においては、高架橋と地下鉄を分離したモデル化のうえで、常時設計および耐震設計等を行っている例が多い。

一方、昨年の「兵庫県南部地震」では、従来耐震性が高いとされていた地下構造物の一部が崩壊するという被災体験から、破壊メカニズムが研究されているほか、地下構造物の耐震検討法が課題となっている。

同規模の大地震に対して、崩壊等の壊滅的な被害を避けなければならない都市施設の耐震検討において、高架橋と地下鉄および表層地盤の動的相互作用に基づく地震応答特性を把握することが重要となる。

本報告は、代表的な複合一体構造物を選定し、FEM動的応答解析を適用した解析結果から、応答特性および高架橋と地下鉄の分離解析の有意性、さらにはそのモデル化について検証した事項を述べる。

## 2. 検討断面と解析条件

表-1 検討断面

高架橋と地下鉄の構造形式に着目し、2種類の代表断面を選定し、解析条件とともに表-1に示す。重要な入力条件となる地震動は、「兵庫県南部地震：ポートアイランド観測記録」をもとに大阪地盤特性を考慮して作成された暫定地震波形を用いた。表層地盤は地層構成を考慮した成層モデルとし、地盤のせん断ひずみ依存性（建設省土木研究所）による非線形性を考慮した（等価線形化法）。

## 3. 検討目的と検討方法

検討の主眼を次の3点において。

- ①高架橋と地下鉄の分離解析の有意性検証
- ②高架橋の非線形性（武田モデル）の影響
- ③地下構造物分離モデルへの橋脚反力の影響

そのために、表-2に示すケースの動的解析モデルの比較を行った。

一体解析および地下鉄単独解析はFEM(Flush)を用い、地下鉄には剛域を考慮した。

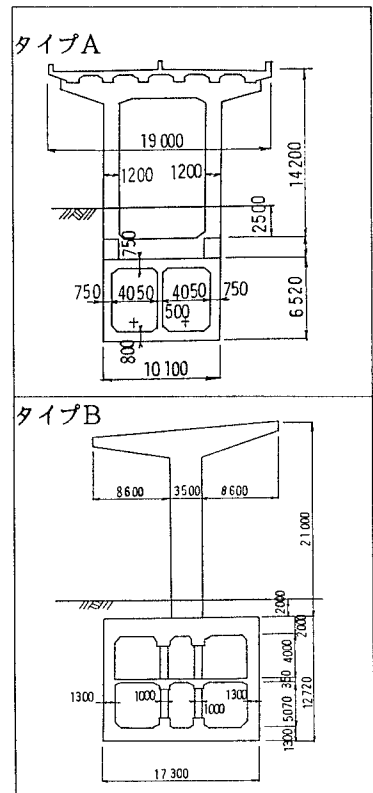
また、高架橋単独解析は橋脚下端を固定条件としている。

表-2 解析モデルと比較検討項目

| ケース    | モデル   | 橋脚剛性 | 地震波形   | < 比較検討項目 > |  |
|--------|-------|------|--------|------------|--|
| CASE-1 | 一体解析  | 等価線形 | 地震波(1) |            |  |
| CASE-2 | 高架橋単独 | 等価線形 | 地震波(2) |            |  |
| CASE-3 | 高架橋単独 | 非線形  | 地震波(2) |            |  |
| CASE-4 | 地下鉄単独 | 橋脚無視 | 地震波(1) |            |  |

地震波(1): 基盤入力地震波

地震波(2): CASE-1で得られた橋脚下端の応答加速度(計算値)



## 4. 解析結果

表-3 橋脚下端最大応答値

## (1) 高架橋分離解析の有意性

橋脚下端の最大応答値を表-3に示す。一体解析(CASE-1)と高架橋分離解析(CASE-2)を比較すると、両タイプの曲げモーメントは殆ど差がない(3%)が、せん断力と軸力は11~20%分離解析が

| タイプ<br>ケース | タイプA（ラーメン高架橋） |       |       |        | タイプB（1本柱橋脚） |       |        |
|------------|---------------|-------|-------|--------|-------------|-------|--------|
|            | M(tfm)        | S(tf) | N(tf) | T(sec) | M(tfm)      | S(tf) | T(sec) |
| CASE-1     | 1565          | 204   | 284   | T1=1.5 | 37559       | 1638  | T1=1.6 |
| CASE-2     | 1529          | 226   | 341   | T2=1.9 | 38776       | 1978  | T2=1.6 |
| CASE-3     | 1159          | 188   | 291   | T3=1.1 | 13636       | 758   | T3=1.4 |

大きくなり、橋脚の応答値に関しては実用上分離モデルの解析の有意性が確認できた。また、CASE-3をみると、タイプAでは15~24%、タイプBでは約1/3まで低下し、高架橋の復元力特性を考慮した非線形解析の効果が顕著にあらわれている。一方、両タイプとも表層地盤より高架橋の一次固有周期が大きく、いわゆる柔構造特性も見受けられる。

T1: 一体構造物の一次固有周期

T2: 高架橋の一次固有周期

T3: 表層地盤の一次固有周期

## (2) 地下鉄構造物の分離解析

地下鉄の中柱に生ずる最大応答断面力と変位量を表-4に示す。

表-4 地下鉄中柱の最大応答値 (単位延長当たり)

| タイプ<br>ケース | 最大<br>応答時刻 | タイプA (ラーメン高架橋) |        |       | タイプB (1本柱橋脚)  |        |       | 中柱の相対変位量( $\delta$ )                                                           |
|------------|------------|----------------|--------|-------|---------------|--------|-------|--------------------------------------------------------------------------------|
|            |            | $\delta$ (cm)  | M(tfm) | S(tf) | $\delta$ (cm) | M(tfm) | S(tf) |                                                                                |
| CASE-1     | 最大反力応答時    | -0.4           | 56     | 41    | -0.8          | 97     | 28    | $\delta = \delta 1 - \delta 2$<br>$\delta 1$ : 柱上端の変位量<br>$\delta 2$ : 柱下端の変位量 |
|            | 中柱最大応答時    | 1.1            | 120    | 82    | 0.5           | 111    | 30    |                                                                                |
| CASE-4     | 中柱最大応答時    | 1.5            | 106    | 83    | 2.9           | 94     | 24    |                                                                                |

地下鉄の中柱に着目すると、以下の知見が得られた。

- ①CASE-1では、中柱の最大応答値は橋脚反力の最大時刻におけるものよりタイプAで約2倍、タイプBで約1.1倍大きくなる。また、地下構造物は表層地盤の水平変位量が最大となる時刻に最大応答を示す。
- ②変形モードをみると、両タイプともに橋脚反力が最大となる時刻では、橋脚と表層地盤の加速度方向が逆方向となる柔構造としての特性を示している。

③橋脚の影響を無視した地下鉄単独解析(CASE-4)をみると、両タイプともにCASE-1の約80~101%の応答値を示し、CASE-4とCASE-1が近似することが判る。

④表-5に示す橋脚反力のなかで橋脚の非線形解析結果(CASE-3)では、両タイプともに地下鉄の最大応答時刻の橋脚反力は最大反力の84~88%であり、地下鉄分離解析に用いる橋脚反力として最大応答反力を採用することの有意性が判る。

## 5. 考察

一体モデルと分離モデルの動的解析を比較した結果、橋脚は慣性力の影響を、地下鉄は表層地盤の変位の影響を大きく受けることが判明したうえ、それぞれ分離して解析する実用上の有意性を確認できた。さらには、橋脚は下端固定条件の分離モデル、地下鉄分離モデルでは表層地盤の最大変位時および橋脚反力最大時の2ケースの検討が必要であることも判明した。

今後、他の高架橋構造形式の検討を進め、一体構造物の応答特性の把握をはじめとし、地下鉄分離モデルの簡便化を図る目的で応答変位法への適用性について研究を行う予定である。

表-5 高架橋反力

| タイプ<br>ケース | 時刻              | タイプA |    | タイプB |    |
|------------|-----------------|------|----|------|----|
|            |                 | M    | S  | M    | S  |
| CASE-1     | 反力最大時           | 157  | 20 | 1633 | 71 |
|            | 等価線形<br>中柱最大応答時 | 2    | 12 | 954  | 26 |
| CASE-3     | 反力最大時           | 116  | 19 | 593  | 33 |
|            | 非線形<br>中柱最大応答時  | 100  | 16 | 516  | 29 |