

# 施工性を改善した鉄道 RC ラーメン高架橋の検討

八千代エンジニアリング(株) 正会員 ○吉川 修一

正会員 松浦 康博

(独) 鉄道建設・運輸施設整備支援機構 非会員 杉浦 忠治

正会員 西 恭彦

## 1. はじめに

鉄道 RC ビーム式ラーメン高架橋(図-1)は、経済的な鉄道高架橋として最も多く用いられている。ところが、柱、杭および縦・横地中梁が杭頭部で交差するため、各部材の鉄筋が輻輳し所定の配筋をすることが難しい。近年、大地震への対応のために鉄筋量が増加し、さらに施工性が悪化している。

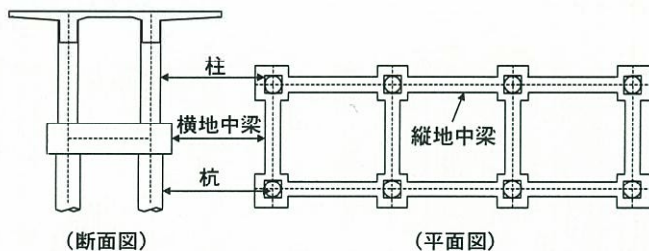


図-1 従来の RC ラーメン高架橋

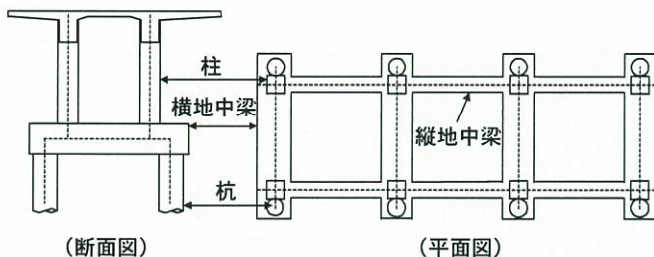


図-2 提案する RC ラーメン高架橋

本報告では、上記の問題点を改善した構造形式として、杭を柱の外側に配置し、鉄筋の輻輳を解消した構造形式(図-2)を提案し、その設計方法について報告する。杭の張出し量は、用地を広げないように、平面図上で杭径分とした。設計方法は簡便な二次元骨組解析で行うことを基本とした。そのため、立体骨組解析、立体 FEM 解析及び载荷試験を行い三次元特性を二次元設計に組み入れた。

## 2. 杭が張出すことにより生じる断面力の変化

図-1 と図-2 の構造形式について立体骨組解析

を行い、杭が張出すことによる断面力の変化について検討した。その結果、線路方向時については柱と杭の軸線がずれることにより、縦・横地中梁にねじりモーメント及び水平方向曲げモーメントが発生する。線路直角方向時については横地中梁の断面力分布が変化することが分かった。従って二次元骨組解析で設計するためには、これらをどのように設計に組込むかがポイントである。本報では横地中梁の設計方法に絞って報告する。

## 3. 横地中梁張出部の設計方法

### (1) 柱～横地中梁～杭への応力の流れ

立体 FEM 解析モデル(図-4)により柱～横地中梁～杭への応力の流れ(図-3)を解析したが、主応力の方向は立っており柱からスムーズに杭に応力が流れており、杭の張出し効果は小さいと言える。

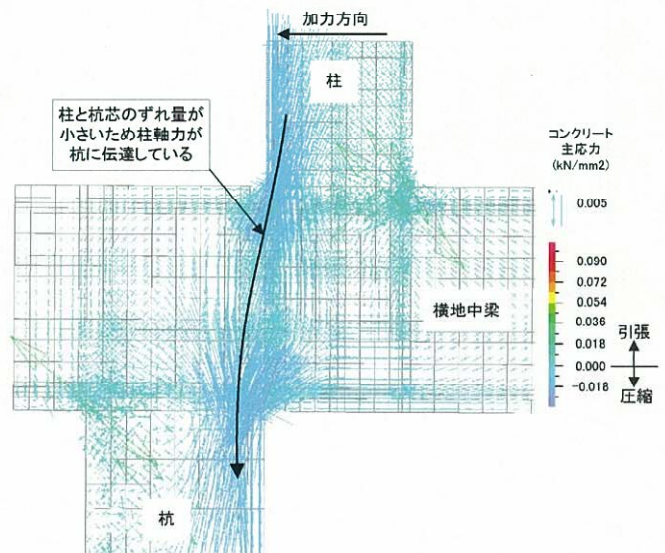


図-3 横地中梁中心面のコンクリート主応力図

骨組解析では杭の張出し効果が直接的に出てくるが、それをそのまま用いると危険側の設計となる恐れがある。従って、危険側となる上側引張

キーワード ラーメン高架橋、施工性改善、立体 FEM 解析、新工法、ねじりモーメント

連絡先 〒161-8575 東京都新宿区西落合 2-18-12 八千代エンジニアリング 構造部 TEL 03-5906-0859

りモーメントについては、張出し効果をキャンセルして照査を行うものとした。

(2) 横地中梁張出部のねじりモーメント

格点部を取り出した立体 FEM 解析 (図-4) を行い、線路方向時に張出部に生じるねじりモーメントを算定した。算定法は、杭軸面と柱杭接合面の回転変位差  $\delta 1 \sim 4$  を求め、(式-1) よりねじりモーメントを算出した。

(式-1) 
$$M_t = \frac{G \cdot I_t}{L} \cdot \theta$$

ここに、 $M_t$ : 杭軸面～柱杭接合面に生じるねじりモーメント、 $G \cdot I_t$ : ねじり剛性、 $L$ : 杭軸面～柱杭接合面の距離 (0.55m)、 $\theta$ : 回転変位 ( $\theta = (\delta 1 + \delta 2) / H$  又は  $\theta = (\delta 3 + \delta 4) / B$ ) の大きい方、 $B$ : 横地中梁幅 (1.6m)、 $H$ : 横地中梁高 (1.4m)

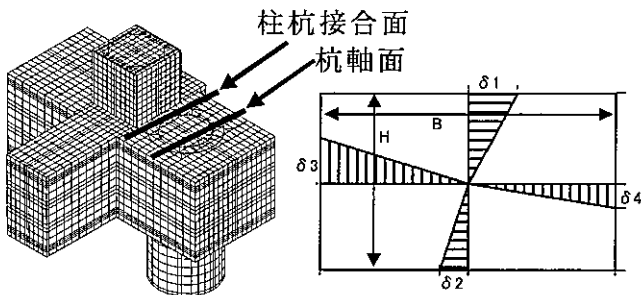


図-4 ねじりモーメントの算定

この結果、表-1 に示すように FEM 解析によるねじりモーメント  $M_t$  は立体骨組解析による杭頭モーメントの約 16～20%であることがわかった。

表-1 張出部におけるねじりモーメントの比較

|                             |                   | H=7m     |          | H=12m    |          |
|-----------------------------|-------------------|----------|----------|----------|----------|
|                             |                   | 端部       | 中間部      | 端部       | 中間部      |
| $(\delta 1 + \delta 2) / H$ | rad               | 0.000307 | 0.000521 | 0.000321 | 0.000357 |
| $(\delta 3 + \delta 4) / B$ | rad               | 0.000306 | 0.000525 | 0.000306 | 0.000319 |
| $G (\times 10^6)$           | kN/m <sup>2</sup> | 1.042    | 1.042    | 1.042    | 1.042    |
| $I_t$                       | M <sup>4</sup>    | 0.69619  | 0.69619  | 0.69619  | 0.69619  |
| $L$                         | M                 | 0.55     | 0.55     | 0.55     | 0.55     |
| $M_t$                       | kNm               | 404.9    | 692.5    | 423.4    | 470.9    |
| 杭頭モーメント                     | kNm               | 2552.0   | 3450.0   | 2376.0   | 2664.0   |
| $M_t$ /杭頭モーメント              |                   | 0.159    | 0.201    | 0.178    | 0.177    |

(2) 横地中梁張出部の鉛直せん断力

ねじりモーメントと同様に立体 FEM 解析により張出部に生じている鉛直せん断力を算定した。杭軸面と柱杭接合面のせん断による鉛直変位  $\delta s$  を求め、せん断ひずみ  $\gamma n = \delta s / L$  より張出部の鉛直せん断力を算出した。

ここに、 $\delta v$ : 2 点間の鉛直変位差、 $\delta r$ : 柱杭接合面の回転による鉛直変位、 $\delta m$ : 曲げによる鉛直変位、 $\delta s$ : せん断による鉛直変位、 $\theta c$ : 柱杭接合

面の回転角、 $\theta p$ : 杭軸中心位置の回転角を示す。

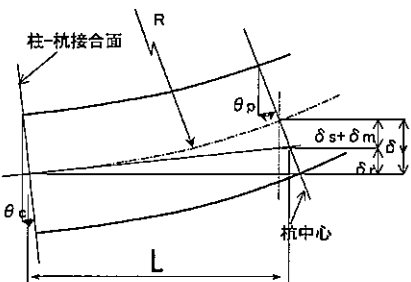


図-5 鉛直せん断力の低減の考え方

この結果、表-2 に示すように FEM 解析による鉛直せん断力  $V_d$  は立体骨組解析による張出部せん断力の約 8～16%であり、張出部では鉛直せん断力が低減されることがわかった。これは式-2 に示す鉛直せん断力の低減係数  $\lambda$  <sup>1)</sup> からは  $\lambda = 7.1$  (約 14%) が得られ、FEM 結果と同程度である。

(式-2) 
$$\lambda = 3 / (a / d) = 7.1$$

ここに、 $a$ : 支持部前面から荷重作用点までの距離 (=0.55)、 $d$ : 検討断面の有効高 (=1.3m)

表-2 張出部における鉛直せん断力

|                                             |                   | H=7m     |          | H=12m     |           |
|---------------------------------------------|-------------------|----------|----------|-----------|-----------|
|                                             |                   | 端部       | 中間部      | 端部        | 中間部       |
| $\delta v$                                  | mm                | 0.31     | 1.59     | 0.18      | 0.02      |
| $\theta c$                                  | rad               | 0.00023  | 0.00256  | -0.000029 | -0.000271 |
| $\theta p$                                  | rad               | 0.00041  | 0.00271  | 0.000129  | -0.000157 |
| $\theta - \theta p - \theta c$              | rad               | 0.00018  | 0.00017  | 0.000158  | 0.000114  |
| $R = L / \theta$                            | mm                | 3055556  | 3666667  | 3481013   | 4824561   |
| $\delta m = R (1 - \cos \theta)$            | mm                | 0.05     | 0.053    | 0.043     | 0.031     |
| $\delta r = L \cdot \sin (\theta c)$        | mm                | 0.165    | 1.452    | -0.016    | -0.149    |
| $\delta s = \delta v - \delta m - \delta r$ | mm                | 0.095    | 0.085    | 0.153     | 0.138     |
| せん断ひずみ $\gamma n$                           | -                 | 0.000173 | 0.000155 | 0.000278  | 0.000251  |
| $G (\times 10^6)$                           | kN/m <sup>2</sup> | 1.042    | 1.042    | 1.042     | 1.042     |
| $T n = G \cdot \gamma n$                    | kN/m <sup>2</sup> | 180.3    | 161.5    | 289.7     | 261.5     |
| $B$                                         | mm                | 1600     | 1600     | 1600      | 1600      |
| $D$                                         | mm                | 1300     | 1300     | 1300      | 1300      |
| $J$                                         | -                 | 0.875    | 0.875    | 0.875     | 0.875     |
| $V_d = \tau n \cdot B \cdot J \cdot D$      | kN                | 328.1    | 293.9    | 527.3     | 475.9     |
| 接合部せん断力 $V$                                 | kN                | 4076.0   | 2981.0   | 4827.0    | 2910.0    |
| 低減係数 $V_d / V$                              |                   | 0.08     | 0.10     | 0.11      | 0.16      |

※  $\gamma n = \delta s / L$

(3) 横地中梁張出部の設計方法

張出部には線路方向地震時において軸力、鉛直せん断・曲げ、水平せん断・曲げ、ねじりが同時に作用することから、軸方向筋は水平曲げ (せん断) と鉛直曲げ (せん断) の安全度を足し合わせて 1.0 以下、帯筋は水平と鉛直で照査位置が異なるため、各方向で 1.0 以下として照査するものとした。

4. まとめ

本構造形式のモデル試験体を載荷試験することにより、杭張出し部の安全性は確認できている。施工性改善以外に、杭間隔が広いため直角方向の安定性が高まることも本形式の利点である。

1) 鉄道総合技術研究所編「鉄道構造物等設計標準・同解説 (コンクリート構造) H11. 12, P85」