

## ラーメン高架橋全体系の入力損失効果に関する研究

(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 ○寶地 雄大 正会員 室野 剛隆  
 埼玉大学 正会員 齊藤 正人  
 (公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 和田 一範

### 1. はじめに

基礎を有する構造物では、基礎が存在することによって地震動による地盤の動きが拘束され、自由地盤に比べ構造物に入射される地震動が低減される「入力損失」が生じることが知られている。入力損失に関する研究は、これまで橋軸直角方向の2次元断面において群杭基礎などの大型基礎を対象に多数行われ、その効果が明らかとなっている<sup>1)</sup>など。しかし、ラーメン高架橋のように橋軸方向にも各構造部材が一体となった構造では、地震時において構造物全体が周辺地盤の挙動を拘束することでより大きな入力損失を発現する可能性がある。

そこで、本研究では1柱1杭形式のラーメン高架橋を対象に2次元、3次元モデルによる動的解析を行い両者の結果を比較することで、構造全体系から生じる入力損失効果について定量的に評価した。

### 2. 構造物全体系における有効入力動

ラーメン高架橋のような構造物では、例えば橋軸直角方向の挙動を考えた場合、各地点で構造物に入射される地震動が一様な場合には、橋軸方向の梁などの部材剛性はラーメン高架橋全体の挙動に影響を及ぼすことはない。よって、図1に示すようなSRモデルでその挙動を概ね表現できる。一方、入力に位相差がある場合には、橋軸方向の各部材の剛性が図2のようなラーメン高架橋全体系の挙動に影響を及ぼす。しかし、図1のようなモデル化方法では、橋軸(面外)方向を考慮していないため、その効果を取り入れることはできない。そのため、構造全体系の幾何学的相互作用を考える場合、橋軸方向の部材剛性による地動を拘束、鈍化させる働きは、いわゆる、有効入力動として入力で評価する必要がある。

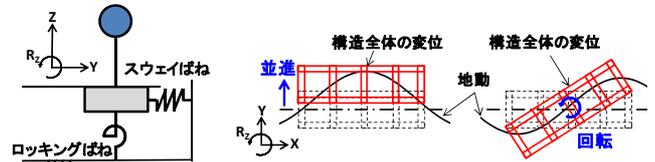
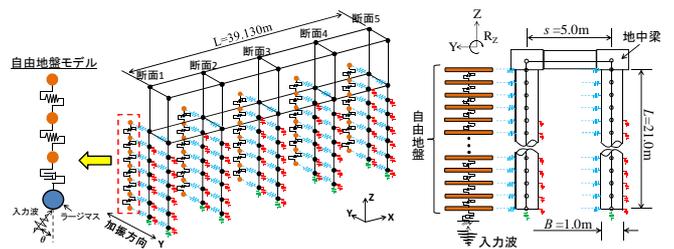


図1 SRモデル

図2 高架橋全体の挙動



(a) 3次元モデル

(b) 2次元モデル

図3 検討に用いた解析モデル

### 3. 解析モデルおよび解析条件

本検討では、図3(a)に示す3次元の質点系モデルを作成した。モデル化は、一般的なラーメン高架橋を対象とし、構造物全体系の相互作用を評価するために、柱、上層梁の上部構造物についてもモデル化した。また、相互作用のうち Kinematic な作用を抽出するために、構造物は無質量としている。また、比較対象として図3(b)に示す、杭、地中梁からなる2次元モデルを同条件で作成した。次に、自由地盤は、表層地盤を均一な砂質土層とし、初期せん断弾性波速度  $V_{s0}$  を 100m/s とした。さらに、土柱モデルは地震波の斜め入射を可能とするために、基盤位置にラージマスを設けた。

解析条件は、入力地震波としてホワイトノイズをラージマスに入力した動的線形解析を行う。入力地震波は、表1に示す基盤位置 ( $V_s=400\text{m/s}$ ) において  $30^\circ$  の斜め入射を想定した。以上の解析モデル・条件を用いて行う検討ケースを表2に示す。

表1 入射角  $\theta$  と位相の関係

| 項目            | $\theta = 30^\circ$ |       |        |        |        |
|---------------|---------------------|-------|--------|--------|--------|
|               | 断面1                 | 断面2   | 断面3    | 断面4    | 断面5    |
| 断面座標 $L$ (m)  | 0.000               | 9.565 | 19.565 | 29.565 | 39.130 |
| 時間差 $t$ (sec) | 0.000               | 0.012 | 0.024  | 0.037  | 0.049  |

表2 検討ケース

| case  | 解析モデル | 入射角 $\theta$ (deg) | 備考          |
|-------|-------|--------------------|-------------|
| case1 | 2次元   | 30                 |             |
| case2 | 3次元   | 30                 |             |
| case3 | 3次元   | 30                 | 上層・地中の縦・横梁剛 |

キーワード 入力損失, 有効入力動, ラーメン高架橋, 構造物全体系, 幾何学的相互作用

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 地震応答制御 TEL 042-573-7336

4. 解析結果

解析結果から得られた case1~case3 の加速度波形の比較を図4に示す。同図から明らかなように、自由地盤地表面位置の加速度波形に比べ全ケースで杭頭位置の加速度振幅が小さくなっており入力損失が生じている。ここで、case1 は橋軸方向の縦梁を考慮しない2次元モデルであるため、杭基礎の曲げ剛性に起因して入力損失が生じていると言える。また、各ケースの断面3に着目すると、case1, case2, case3 の順で加速度振幅が小さくなっている。case2, case3 では、各地点における地動が異なる(位相がある)ため縦梁の剛性の影響により、地動を拘束しようとする効果が生じており、縦梁の剛性が大きい case3 ではその効果が大きい。また、図4のうち case3 の回転角加速度に着目すると、回転角加速度が0になる時刻で1~5断面の加速度波形が交わっており、また、断面3の加速度波形は各断面の波形を平均した波形となっている。このことから、断面3が構造物全体の回転中心となっていることが分かる。つまり、図5のような運動をしており、断面3の挙動が並進運動を代表し、それ以外の断面の運動には回転運動の影響が重なっていると言える。一方で、case2 の杭頭位置での加速度波形では各断面の波形が交わる時刻が無くなり、case1 の加速度波形に近づいている。これは、梁の柔性の影響により構造物全体系での挙動による地動を拘束、鈍化する働きが小さくなったと考えられる。

次に、入力損失効果について比較を行う。入力損失効果は、自由地盤の地震応答に対する基礎の地震応答の比である「有効入力係数(ここでは、 $\eta$ を用いる)」を用いて評価を行った。図6に各ケースの断面1, 3の結果を示す。なお、断面1と断面5、断面2と断面4の結果は同一であった。初めに、断面の違いによる比較を行う。図6では、有効入力係数 $\eta$ はラーメン高架橋中心位置の断面3に近いほど低減が大きい。これは、前述のとおり、断面3は回転中心であることから並進成分のみを有した挙動となり、他の断面では回転中心から当該断面までの距離に応じて回転に伴う挙動が大きくなるためである。これは、図4のうち case3 の杭頭位置の加速度波形からも分かる。最後に、2次元, 3次元モデルの比較を行う。図6からラーメン高架橋全体の挙動を考慮した case2, case3 の方が case1 に比べ大局的には有効入力係数 $\eta$ の低減が大きく、より大きな入力損失効果が生じている。ただし、case2, case3 のうち断面1では case1 の結果に比べ有効入力係数 $\eta$ が僅かに大きく入力損失効果が小さい。これは、ラーメン高架橋端部では回転中心からの距離が大きく回転挙動に伴い水平挙動が大きくなることに起因している。また、case2 の結果は case3 に比べ case1 に近い結果となっている。これは、縦梁の柔性の影響により構造物全体で地動を拘束する効果が case3 に比べ小さいことに起因していると考えられる。

5. おわりに

本研究では、ラーメン高架橋を対象に構造物全体系の入力損失効果の検討を行った。その結果、構造全体系の挙動に伴う入力損失は、杭の曲げ剛性及び構造物全体系が有する橋軸直角方向の水平剛性により生じることが明らかとなった。また、これにより杭の曲げ剛性のみから発現される入力損失効果に比べより大きな効果が生じることが明らかとなった。今後は、構造物全体系の入力損失効果の評価する手法を検討する予定である。

参考文献: 1) 齊藤正人 ほか: 曲げ柔性の影響を考慮した大型基礎の入力損失効果に関する理論的評価, 土木学会論文集, 2003.

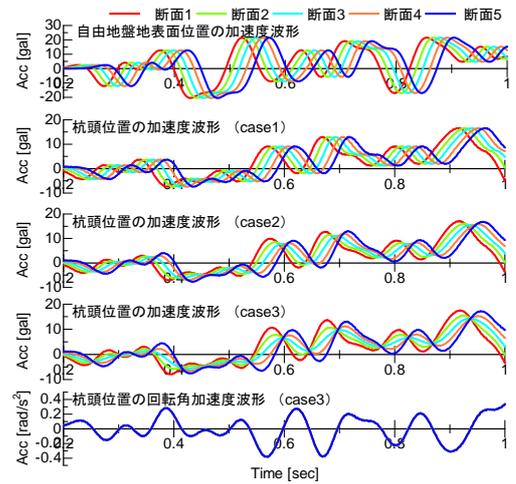


図4 0.2秒~1秒の加速度波形の比較

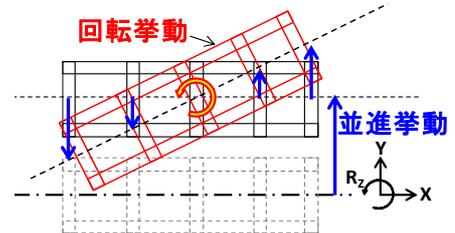


図5 高架橋全体の並進, 回転挙動

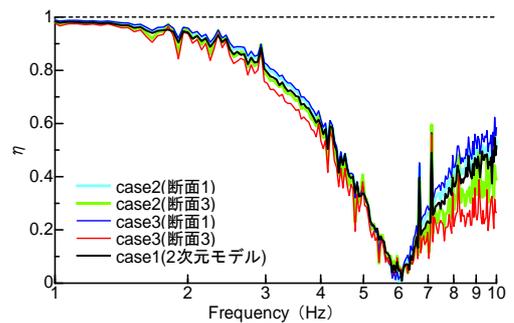


図6 有効入力係数の比較