

## 橋脚の卓越振動数に及ぼす付加質量の影響に関する一考察

鉄道総合技術研究所 正会員○渡邊 諭 正会員 佐溝 昌彦 正会員 太田 直之  
 国士舘大学 フェロー 岡田 勝也

## 1. 目的

流水中の橋脚の固有振動数の変化に及ぼす影響要因として、流体の抵抗力による見かけの質量増加（付加質量）が挙げられるが、その影響を定量的に把握しておくことは、衝撃振動試験等により基礎の健全性を評価する上で重要となる。本検討では、橋脚模型および橋りょうの実橋脚を付加質量を付加して2次元FEMによりモデル化し、水位や根入れ条件の変化に伴う固有振動数の変化について固有値解析により検討した。

## 2. 解析モデルおよび解析条件

後藤、土岐ら<sup>1)</sup>は、水中の円柱模型に作用する付加質量を下式で表わした。

$$\omega_{1s}^r = \pi r_0^2 \omega_0 F_{1s}^r \quad F_{1s}^r = \left(1 - \frac{1}{4} \frac{d}{H}\right) \left(1 - \frac{z}{H}\right)^{1/3} \quad : \quad \left(\frac{d}{H} \leq 2\right)$$

$r_0$  : 円柱の半径     $\omega_0$  : 水の単位体積重量     $F_{1s}^r$  : 水の付加質量係数     $H$  : 水深  
 $d$  : 円柱の直径     $\omega_{1s}^r$  : 付加質量     $z$  : 円柱下端からの距離

橋脚模型は図1に示す円柱モデルであり、高さ1.25m、直径0.25m、重量143.7kgのコンクリート製である。橋脚模型は4本の板バネにより連結されている。実橋脚は図2に示すA橋りょうの直接基礎形式の橋脚である。これらの各橋脚を図3および図4に示すように2次元モデル化した。表1に模型橋脚および実橋脚の代表諸元を示す。表中に示す固有振動数は各橋脚における微動計測により求めたものであり、実橋脚については衝撃振動試験を併せて実施している。付加質量は上述の方法により算出し、各モデル接点に質点として与えた。モデル化にあたり、模型橋脚では板ばねを等価な回転ばねに置き換えている。実橋脚では、桁に相当する質点をモデル天端に配し、躯体と地盤ばねとの境界部に地盤ばねとせん断ばねを配した。また、各ばねにはダッシュポットを並列に接続した。実橋脚の場合、地盤のばね定数が不明であったため、上述の固有振動数に合致するよう各ばね値を算出した。その際、鉛直ばね定数：水平ばね定数＝3：2とし、せん断ばね定数は鉛直・水平ばねのそれぞれ1/3とした。

表1中に、模型橋脚モデルおよび実橋脚モデルにおける解析条件を示す。模型橋脚については同様の条件で実施した実験結果との比較を行った。一方、実橋脚モデルでは仮想条件を設定し、固有振動数の変化の傾向を推定するとともに、付加質量を考慮した2次元解析モデルの妥当性を検討した。

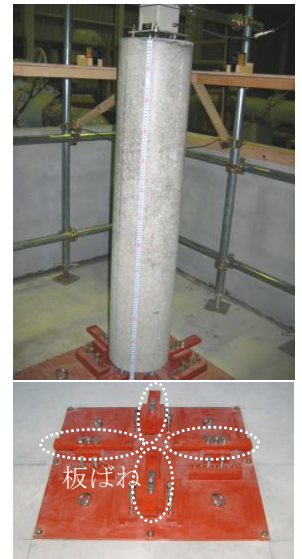


図1 模型橋脚



図2 実橋脚の外観

表1 模型橋脚および実橋脚の代表諸元と解析条件

| 表 1 橋脚橋脚のばね実橋脚のばね定数と解析条件 |                                            |                 |       |               |                                                            |                           |               |                 |      |
|--------------------------|--------------------------------------------|-----------------|-------|---------------|------------------------------------------------------------|---------------------------|---------------|-----------------|------|
| 模型橋脚                     |                                            |                 |       |               | 実橋脚                                                        |                           |               |                 |      |
| 代表諸元                     | ばね<br>種別                                   | ばね定数 (MN・m/rad) |       | 固有振動数<br>(Hz) | ばね<br>種別                                                   | ばね定数 (MN/m <sup>3</sup> ) |               | 固有振動数<br>(Hz)   |      |
|                          |                                            | 実物              | 解析モデル |               |                                                            | 実物                        | 解析モデル         |                 |      |
|                          | 弱                                          | 0.145           | 0.238 | 8.88          | 地盤                                                         | 一                         | 鉛直            | 420.57 (140.19) | 11.3 |
|                          | 中                                          | 0.28            | 0.714 | 15.24         |                                                            |                           | 水平            | 280.38 (93.46)  |      |
|                          | 強                                          | 0.456           | 0.962 | 17.61         |                                                            |                           | ※ ( ) 内はせん断ばね |                 |      |
| 解析条件                     | 水位6パターン<br>(0, 0.3, 0.6, 0.75, 0.9, 1.05m) |                 |       |               | 根入れ深さ3パターン (0, 2.22, 4.44m) ×<br>水位4パターン (0, 1, 2.7, 5.0m) |                           |               |                 |      |

## 4. 解析条件および解析結果

図5は、模型橋脚モデルにおける解析結果と実験結果を比較した一例である。ここでの固有振動数とは一次モード振動時の値であり、全ての解析条件においてモデル下端部中央を回転中心とした振動モードとなった。

キーワード 付加質量, 固有振動数, FEM

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 042-573-7263

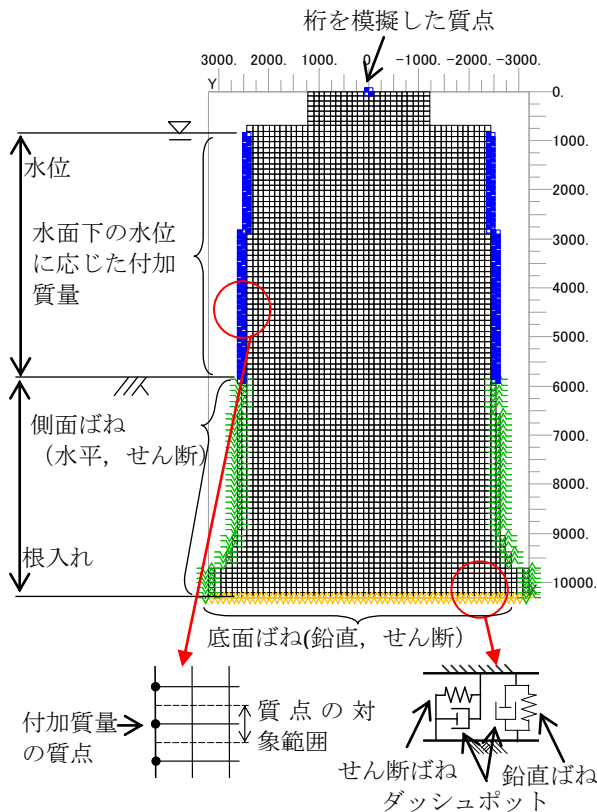


図3 実橋脚モデル化の一例

図から、解析による固有振動数は水位の上昇とともに低下し、その低下傾向は実験結果と良く一致していることが分かる。また、他のいずれの地盤ばねでも同様の傾向がみられた。

図6は実橋脚モデルにおける水位と固有振動数との関係を、図7は根入れ比と固有振動数との関係をそれぞれ示したものである。図6より、水位が5mとなった場合に約2%の固有振動数の低下が認められる。なお、実橋りょうでは水深5mの状態における橋脚の固有振動数は観測されていないが、水深2.7mの場合には概ね0.1~0.2Hz程度卓越振動数が低下したデータが観測されている。以上のことから、付加質量を想定したFEMモデルに十分妥当性があることが分かった。一方、図7からは根入れの低下が固有振動数の低下におよぼす感度が大きく、付加質量の増加(水位)による固有振動数の低下はほぼ無視できる程僅かであることが分かる。

## 5. まとめ

- 1) 橋脚模型を模擬し付加質量を考慮した2次元FEMモデルに対する固有値解析を実施したところ、水位の上昇に伴う固有振動数の低下傾向が実験結果と良く一致した。
- 2) 模型橋脚のモデルと同様に付加質量を考慮した実橋脚モデルにおける固有値解析の結果、根入れの低下が固有振動数の低下におよぼす感度が大きく、付加質量の影響(水位)による固有振動数の低下はほぼ無視できる程僅かであることが分かった。

### 【参考文献】

- 1) 後藤尚男・土岐憲三：水中橋脚の振動と耐震設計に関する基礎的研究，土木学会論文集，第100号，土木学会，1963。

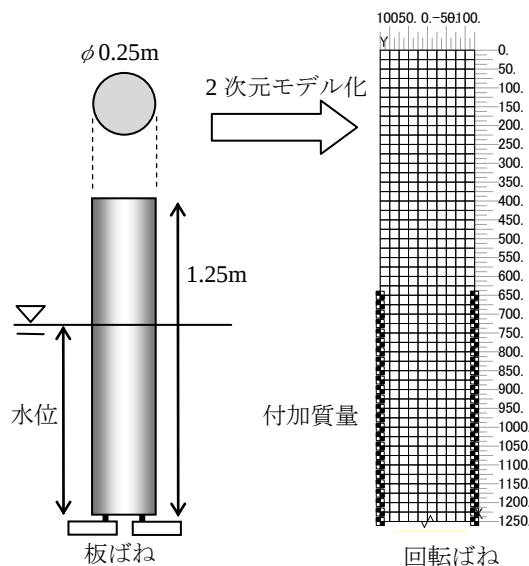


図4 模型橋脚のモデル化の一例

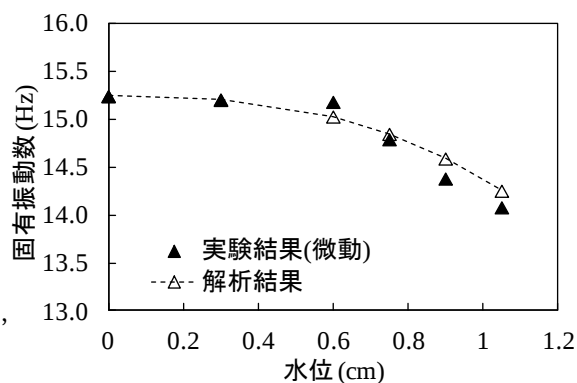
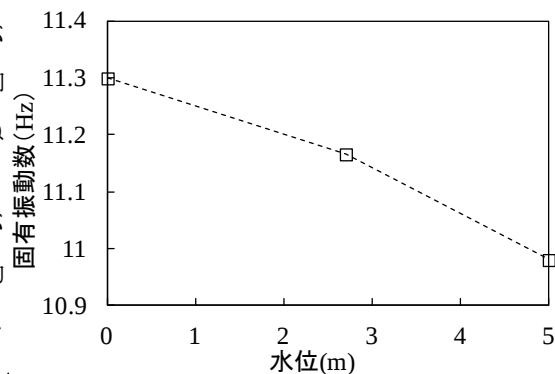
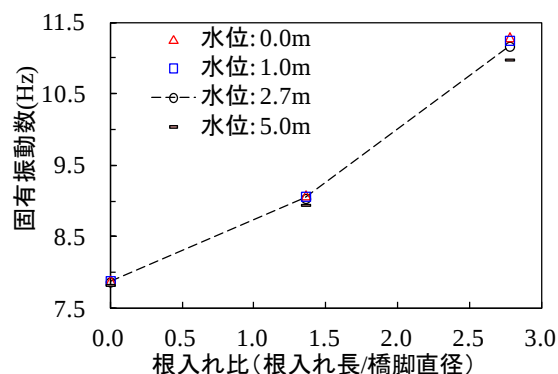
図5 水位と固有振動数との関係  
(模型橋脚モデル：ばね種別中)図6 水位と固有振動数との関係  
(実橋脚モデル：根入れ長4.44m)

図7 根入れ比と固有振動数との関係