

橋梁下部構造物等の固有値解析における地盤ばねに関する考察

ジェイアール東日本コンサルタンツ (株) 正会員 ○羽矢 洋
 ジェイアール東日本コンサルタンツ (株) 正会員 逸見研二
 ジェイアール東日本コンサルタンツ (株) 正会員 岩村里美

1. はじめに

鉄道では、橋梁下部構造物やラーメン高架橋の健全度を定量的に評価判定可能な試験法として衝撃振動試験が活用されている(図-1)。この試験法では、構造物の天端を重錘で強制的に打撃することで発生する自由減衰振動波形を収録し、この波形に対しフーリエスペクトル解析を実施することで得られる卓越振動数、減衰性、位相等により総合的に判断し、対象構造物の固有振動数を決定する。試験ではセンサを構造物の天端、中間、下端の3箇所に配置することで固有振動数だけでなく振動モードも把握している。また、構造物の健全度は、対象構造物の固有値解析モデル(ばね-質点系モデル)を作成し、このモデルに対し試験で得られた実測振動数、実測振動モードをシミュレートすることで求まる地盤ばねの値(基礎のばね定数)と部材の曲げ剛性EIから基礎の支持性状や部材の剛性低下の有無と程度を定量的に評価している。図-2に橋脚およびラーメン高架橋の固有値解析モデルの概念を示す。

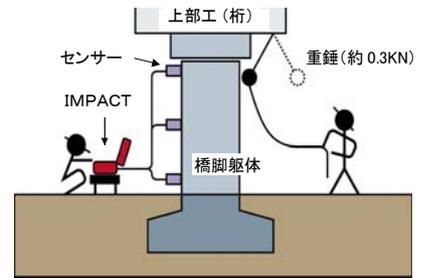


図-1 衝撃振動試験概要

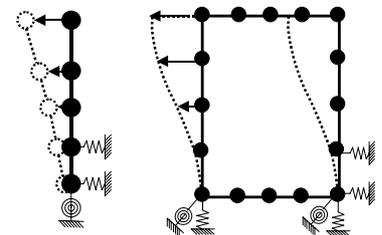


図-2 固有値解析モデル概念

最近では抗土圧構造物に対し、この衝撃振動試験の適用が試みられるようになった¹⁾。ここでは筆者等が海岸護岸を対象に実施した振動試験結果に基づく固有値解析結果と、これにより新しく得られた知見について述べることにする。なお、調査概要については本大会に投稿済みの「五能線海岸波止護岸の健全度調査(その1)~(その3)」に詳しいので、そちらを参照されたい。

2. 抗土圧構造物に対する振動試験結果の同定

起振機による振動試験風景および衝撃振動試験による試験風景を図-3, 4に示す。以下にこれらの試験結果に基づく固有値解析結果の概要を述べる。



図-3 起振機による加振実験風景



図-4 衝撃振動試験風景

(1) 固有値解析モデル概要

護岸躯体の部材剛性は、護岸が玉砂利を含む無筋コンクリートからなる構造物であることを考慮し、コンクリート強度 $f'_{ck} = 18\text{N/mm}^2$ 相当(ヤング係数 $E_c = 20.0\text{kN/mm}^2$)とした。また、モデルに設定する地盤ばねの算定は、基本的には基礎・抗土圧標準²⁾に準じ行った。解析モデルの初期地盤条件を表-1に、護岸の解析モデル概要を図-5に示す。

表-1 解析モデルの初期地盤条件

層番	層厚 (m)	土質区分	N 値	E_0 (kN/m ²)
1	3.70	砂質	3	7500
2	2.25	砂礫	35	87500
3	3.00	軟岩	50	125000

筆者らは、これまでも橋梁下部構造物の診断業務において数多くの橋脚の固有値解析を手掛けてきた。しかし、今回の調査対象が橋脚と異なり片側に土圧を背負う抗土圧構造物であることから、固有値解析モデルの構築においてその違いを考慮する必要があった。そこで「ばね-質点系モデル」では主働土圧を作用させる側の地盤ばねについて、次のとおり考えた。

起振機加振あるいは重錘打撃による護岸の天端変位量は小さく、その値は1/10mm以下と微小であることが分かっているが、このような微小変位領域では固有値解析モデルに設定する主働側の地盤ばね(以降、主働土圧ばねと称す。)が非線形領域(護岸が盛土から遠ざかる方向において主働土圧ばねが離れる状況)に達することはない。したがって、主働土圧ばねは線形ばねとして基礎・抗土圧標準どおり算定してよいと判断できる(図-6)。

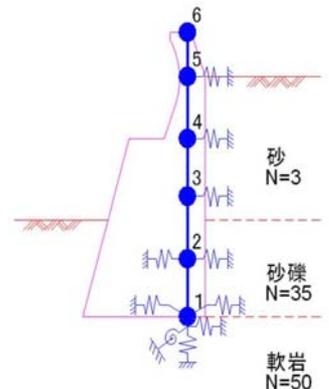


図-5 護岸の固有値解析モデル

一方、前・後面に地盤が存在する土被り範囲では、前・後面の両方に主働土圧ば

キーワード: 波止護岸, 起振機振動試験, 衝撃振動試験, 固有値解析, 固有振動数

連絡先〒171-0021 東京都豊島区西池袋 3-30-3 西池本田ビル ジェイアール東日本コンサルタンツメンテナンス事業部 TEL. 03-6846-1194

ねを考慮しなければならず、したがって設計標準で考慮する2倍（2個分と言うことが適当と考えられる）の水平ばねを設定することが必要と考えるべきであることがわかった。

これまでの業務経験により、橋脚を対象とした衝撃振動試験結果を固有値解析によりシミュレートする場合、解析モデルの基礎に設定する水平地盤ばねは、基礎・抗土圧標準に準じ算定される地盤ばね定数に、基礎種別に応じて2～5倍の値を乗じた大きめの値を設定する必要があることを説いてきたが³⁾、この理由として、衝撃振動試験時に重錘打撃によって基礎周辺地盤に発生する歪みは微小レベル範囲であるのに対し、設計で考慮している荷重（作用）により基礎周辺地盤に生じるひずみレベルは衝撃振動試験時のそれを大きく上回るため、前者、後者での地盤ばね値に大きく乖離が生じると説明してきた。

この考えは概ね妥当と考えられるが、今回の抗土圧構造物のばね-質点系のモデル化で考察したとおり、振動試験程度であれば主働土圧ばねが切れる変位レベルにないことから、前後共に土被りを有するフーチングや躯体部には基礎・抗土圧標準により算定される地盤ばねを2個分設置するのが正しく、一方、背面から主働土圧だけを受ける擁壁躯体には基礎・抗土圧標準で算定される地盤ばね1個分を設定すればよいことがわかった。したがって、この新たな知見に基づき、図-5に示すモデルの地盤ばねのうち、質点1番、2番には基礎側面地盤のN値に応じ算定される地盤ばね定数の2個分のばねを、また質点3番から5番には盛土のN値から算定されるばね定数の1個分を初期モデルに設定することとした。

(2) 固有値解析結果および評価

2箇所のブロックに対し実施した実測振動数および実測振動モード(図-7)をシミュレーションした結果を図-8に示す。また、シミュレーションする上で部材剛性および地盤N値に乘じたシミュレーション倍率を表-2に示す。

固有値解析によって決定されたシミュレーション倍率をみるとわかるとおり側方ばね、基礎底面ばね各々に考慮することとなったシミュレート倍率は依然大きく、3倍以上となった。

3. まとめ

シミュレーションの結果をみると、依然、設計標準に基づくばね値との乖離があるが、今回の検討により得られた新たな知見は、橋脚の固有値解析も含め、今後の解析業務においては考慮すべきことであることがわかった。

参考文献

- 1) 篠田昌弘, 羽矢洋, 阿部慶太, 大村寛和小型起振器を用いた土留め壁の健全度診断法の開発, 第43回地盤工学研究発表会, pp. 1379-1380, 2008.
- 2) 鉄道総研: 鉄道構造物等設計標準・解説(基礎構造物・抗土圧構造物編), 平成9年3月
- 3) 羽矢, 稲葉: 衝撃振動試験における新しい評価基準値, 鉄道総研報告, 第16巻第9号, 2002. 9

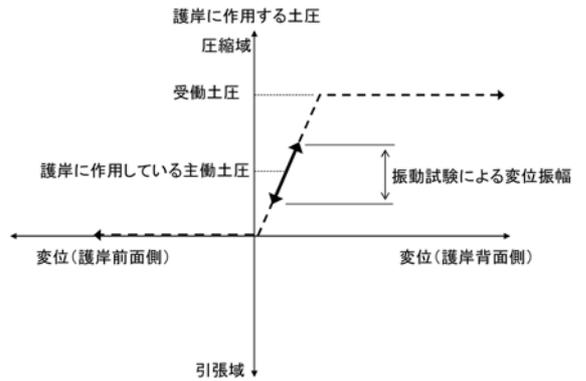


図-6 主働土圧ばねの履歴モデル

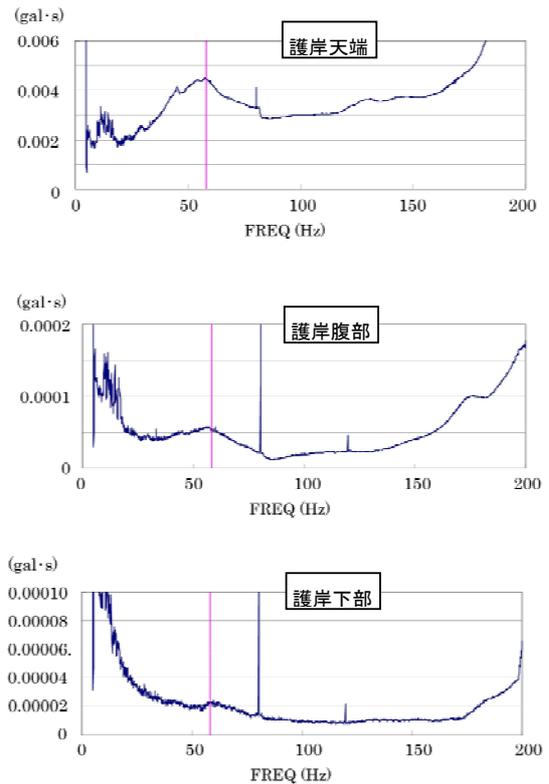


図-7 実測振動数および実測振動モード

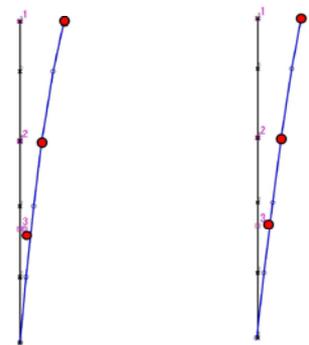


図-8 シミュレーション結果の例

表-2 シミュレーション倍率一覧

番号	振動数 (Hz)	シミュレート倍率			
		基礎底面	護岸側面		躯体剛性
			海側のGL以深	海側のGL上方	
No. 1	26.98	4.0	4.0	4.0	1.00
No. 2	23.44	3.0	3.0	3.0	1.00