

# 橋台の共振試験に対する背面盛土の拘束の影響を考慮した固有値解析

鉄道総合技術研究所 正 猿渡 隆史 正 真井 哲生 正 佐名川 太亮  
正 西岡 英俊 正 篠田 昌弘

## 1. はじめに

鉄道事業者では橋脚のような橋梁下部工やラーメン高架橋の健全度診断手法として、重錘打撃により構造物に自由振動を励起させる衝撃振動試験<sup>1)</sup>が普及している。しかし橋台については、背面盛土による拘束により、重錘打撃では自由振動を十分に励起させることが困難であるため、衝撃振動試験が適用できず、振動特性に基づく定量的な健全度診断手法は未確立である。

筆者らは、架け替えにより使用廃止となった鉄道橋の橋台に対し、背面盛土の撤去前と撤去後(図1)で、現地において共振試験を実施し、その振動特性の変化を確認した<sup>2)</sup>。本稿ではその共振試験の結果に基づき固有値解析を行い、橋台の背面盛土による拘束効果を定量的に評価した結果を報告する。

なお対象としたのは、単線の鉄道橋りょうの橋台で、レンガ積みで構成されている。地盤面から桁座までの高さは2.52m、根入れ長は2.63mであり、橋軸方向の幅は1.83m、橋軸直角方向の幅は3.05mである。

## 2. 現地での共振試験の概要<sup>2)</sup>

現地で行った共振試験は、最大加速度1g(9.8m/s<sup>2</sup>)の起振能力(最大起振力490N)をもつ起振器を橋台の桁座付近に設置し、橋台を強制振動させ、その応答を測定し周波数解析をすることにより、橋台の応答振幅と固有振動数を求めるものである。試験は橋台背面盛土(および隣接する石積み擁壁)の撤去前後で行い、橋台を橋軸方向と橋軸直角方向にそれぞれ起振した。

表1に共振試験の試験ケースと、周波数解析により求めた固有振動数を、図2、図3に伝達関数(振幅)、伝達関数(位相)を示す。結果として、橋軸方向、橋軸直角方向ともに背面盛土を撤去することで固有振動数が低下した。また、橋軸方向では応答振動の振幅が増加した。

## 3. 固有値解析

2の現地試験結果における、橋台背面盛土による拘束効果を定量的に把握するため、固有値解析を行った。

### 3-1 背面盛土撤去後(Case3, Case4)の固有値解析(図4)

まず背面盛土撤去後のCase3, Case4について実際の寸法に従いそれぞれモデル化した。その中で橋台前面の地盤面以下(以下、便宜的に基礎地盤と表す)については、平成9年版基礎標準<sup>3)</sup>における直接基礎の地盤ばねを設定した。また、現地付近のボーリングデータより、N値は基礎底面付近で5、基礎側面付近で2であったため、この比率を変えずにシミュレーションを行うこととした。

このモデルに対し、共振試験で得られた橋台の固有振動数を与条件と

キーワード 橋台, 共振試験, 固有振動数

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 構造物技術研究部 基礎・土構造



図1 対象橋台全景(背面盛土撤去後)

表1 共振試験の試験ケースと結果

Case	背面盛土の有無	起振方向	最大起振力	固有振動数
1	あり	橋軸直角	490N	15.9Hz
2		橋軸		18.5Hz
3	なし	橋軸直角		10.2Hz
4		橋軸		7.9Hz

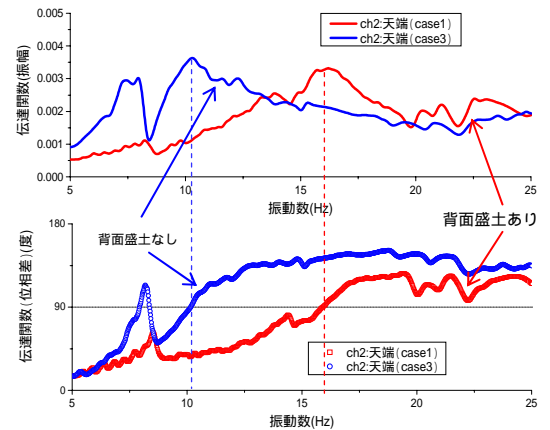


図2 共振試験の伝達関数(Case1, Case3)

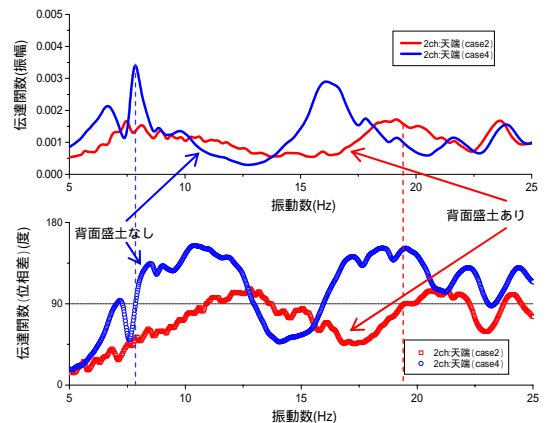


図3 共振試験の伝達関数(Case2, Case4)

して基礎地盤の変形係数を逆解析で求めた結果, Case3 では基礎底面で  $52.0\text{MN/m}^2$ , 側面で  $20.8\text{MN/m}^2$ , Case4 では底面で  $44.4\text{MN/m}^2$ , 側面で  $17.8\text{MN/m}^2$  と両ケースでほぼ同程度となった。このときの地盤ばねの設計値に対するシミュレート倍率は, 3.5~4.2 の間であった。

3 - 2 背面盛土撤去前 (Case1, Case2) の固有値解析結果 (図5)

橋台背面盛土撤去前の Case1 と Case2 については, Case3 と Case4 のモデルに背面盛土の地盤ばねを加えてモデル化した。具体的には Case2 では橋台背面に直接基礎の水平ばねを, Case1 では橋台背面に, 直接基礎の底面のせん断ばねの考え方を参考に, Case2 で設定した水平ばねの 1/3 の地盤ばねを加えた。

このモデルに対し, 前節で求めた基礎地盤の変形係数を与条件として基礎の地盤ばねを算定し, 共振試験で得られた橋台の固有振動数も条件に加えて, 背面地盤の変形係数を逆解析で求めた。その結果, Case1 で  $41.3\text{MN/m}^2$ , Case2 で  $26.5\text{MN/m}^2$  となった。

5 . 固有値解析の考察

今回の対象橋台においては, 橋台と隣接する石積み擁壁が完全に一体化されていないことから, 橋軸方向の拘束には石積み擁壁はさほど寄与していないことが考えられる。一方で橋軸直角方向の拘束力は, 背面盛土のせん断抵抗と石積み擁壁が起因していると考えられる。これらにより, 共振試験では背面盛土の撤去前の固有振動数が橋軸方向, 橋軸直角方向とも撤去後のものより大きくなったと考えられる。固有値解析で得られた橋台背面地盤の変形係数のうち, Case1 については, 石積み擁壁による拘束を含んだ値と考えられ, Case2 については背面盛土の土圧が地盤の拘束力の大部分を占めると考えられる。つまり2つのケースの変形係数の差の大部分が, 石積み擁壁によるものであるといえる。

石積み擁壁の影響がそれほどないと考えられる Case2 の背面盛土の変形係数については, N 値に換算した場合, 基礎底面の N 値の 0.6 倍程度となった。これは現地付近のボーリングデータが実際の基礎地盤のものと同ーと仮定すると, 背面盛土の N 値が 3 程度であることを意味する。この値は, 新設の鉄道盛土の施工管理値に比べると若干低い, 対象の橋台が戦前に建設されたものであることを考慮すると, 大きく乖離しない値であると考えられる。

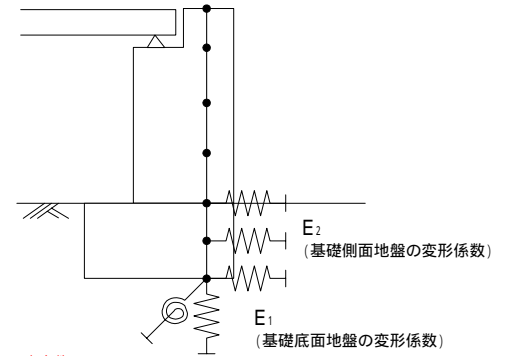
6 . おわりに

今回, 橋台の共振試験に基づいた固有値解析を実施したことにより, 橋台背面地盤の橋軸方向, 橋軸直角方向の地盤ばねの推定をすることができた。そしてこれらは一般的な鉄道橋台の背面盛土であればおよそ推定が可能であることがわかった。このことにより, 橋台の基礎地盤のデータが既知であれば, 今回と同様の手法で橋台の地盤ばねの状態を把握することが可能であると考えられる。今後はさらに事例の蓄積を行い, 振動特性に基づいた橋台の健全度診断手法の確立を目指したい。

なお, 現地での共振試験にあたっては, 東日本旅客鉄道株式会社本社設備部ならびに同水戸支社に現場の提供等, 多大なご支援を頂いた。ここに記して感謝の意を表す。

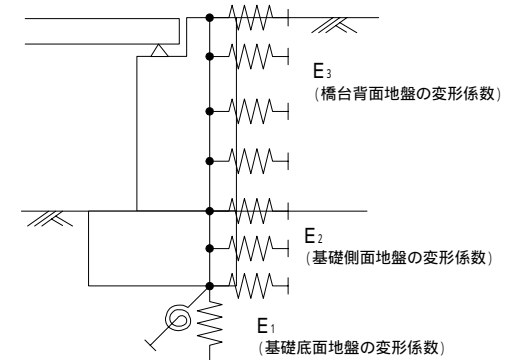
参考文献

- 1) 鉄道総合技術研究所編: 鉄道構造物等維持管理標準・同解説 (構造物編) 基礎構造物・抗土圧構造物, 2007.
- 2) 猿渡ら: 橋台の背面盛土撤去前後での振動特性の比較, 第 47 回地盤工学研究発表会 (投稿中), 2012.
- 3) 鉄道総合技術研究所編: 鉄道構造物等設計標準・同解説 基礎構造物・抗土圧構造物, 1997.



Case	固有振動数 【実測】(Hz)	固有振動数 【解析】(Hz)	逆算した E <sub>1</sub> (MN/m <sup>2</sup> )	逆算した E <sub>2</sub> (MN/m <sup>2</sup> )
3 (橋軸直角)	10.2	10.2	52.0	20.8
4 (橋軸)	7.9	7.9	44.4	17.8

図4 固有値解析結果 (Case3, Case4)



Case	固有振動数 【実測】(Hz)	Case3,4で 逆算した E <sub>1</sub> (MN/m <sup>2</sup> )	Case3,4で 逆算した E <sub>2</sub> (MN/m <sup>2</sup> )	固有振動数 【解析】(Hz)	逆算した E <sub>3</sub> (MN/m <sup>2</sup> )
1 (橋軸直角)	15.9	52.0	20.8	15.9	41.3
2 (橋軸)	18.5	44.4	17.8	18.5	26.5

図5 固有値解析結果 (Case1, Case2)