

## 衝撃振動試験による橋脚基礎地盤の推定と洗掘時の挙動に関わる考察

JR 東日本 正会員 ○平野 貴規 正会員 島津 優  
飯嶋 利夫 栗田 淳

### 1. はじめに

本稿では河川増水規制が頻発する久留里線の橋りょうに対して、衝撃振動試験と基礎底面の地盤調査結果をもとに基礎側方地盤の剛性を評価し、これによって規制値を改正した経緯と方法について述べる。また基礎地盤が洗掘された場合の振動特性に関して、定性的な考察を行う。

### 2. 橋りょうの概要

久留里線平山・上総松丘間に架かる第5小櫃川橋りょうは、1936年に建造された河川橋りょうである。図-1に示すとおり、上部構造は最大支間20mのデッキガーダー、下部は最大高さ17mのコンクリート構造であり、直接基礎を持つ。基礎底面は円形で、直径は4m程度と小さい。

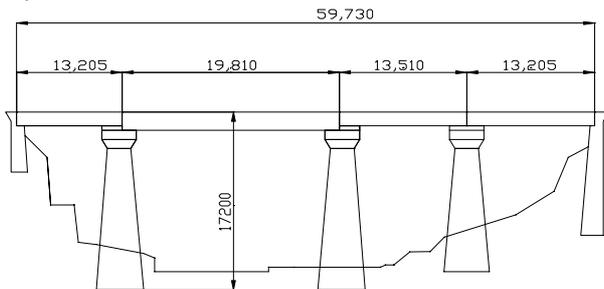


図-1 第5小櫃川橋りょう概要図

表-1は第5小櫃川橋りょうの規制水位と規制の発令回数である。なお規制値は橋脚の転倒安全率によって決定されている。

表-1 運転規制値と規制回数

運転規制値 (m) [桁下水位]	規制回数 (回)			
	平成14年度		平成15年度	
	速度規制	運転中止	速度規制	運転中止
12.5	9	1	8	4
10.5				

### 3. ケーソン基礎としての評価

「鉄道構造物設計標準・同解説 基礎構造物・抗土圧構造物」では、支持層への根入れが深い直接基礎の安定について、これをケーソン基礎として評価する際の条件が記されている。これによれば基礎幅に対する根入れ深さの比が0.5以上の場合に、ケーソン基礎としての取扱いが可能となる。

今回の検討対象である橋りょうは、基礎幅と地中への根入れ深さの比が0.51であり、したがって基礎側方の地

盤剛性を算定したうえで、安定に対して有利なケーソン基礎としての評価の可否について検討した。

### 4. 解析モデルの選定と固有値解析

基礎根入部の側方地盤の剛性を把握するため、平成15年7月に実施した基礎底面地盤のボーリング調査・室内試験結果と、同月に測定した衝撃振動試験の結果を参考に、橋軸直角方向の固有値解析を行った。

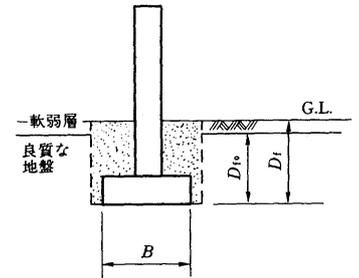


図-2 設計標準解説図

#### (1) 解析モデル

設計標準での地盤の評価方法に準拠し、固有値の算定を行った。解析モデルにおける基礎底面の回転バネ ( $K_{B\theta}$  [tonf・m/rad]) およびせん断バネ ( $K_{BS}$  [tonf/m]) は、地盤調査の結果を基に算出した鉛直地盤反力係数 ( $K_v$  [tonf/m<sup>2</sup>])、せん断地盤反力係数 ( $K_s$  [tonf/m<sup>2</sup>]) をもとに、基礎底面の半径を  $r$  [m]、鉛直軸まわりの角度を  $\theta$  [rad] とし、以下のように行った。

$$K_{B\theta} = K_v \cdot \int \int r^3 \sin^2 \theta \, dr \, d\theta$$

$$K_{BS} = K_s \cdot \pi \cdot r^2 \\ = K_v \cdot \pi \cdot r^2 / 3$$

この際、 $K_{B\theta}$ の算定では  $K_v$  が圧縮バネであることを考慮し、作用範囲を  $-\pi/2 \leq \theta \leq \pi/2$  としている。

一方、基礎側方の地盤剛性は鉛直距離0.3m間隔で根入部を一樣なバネ (以下  $K_H$  [tonf/m]) とし、予測される地盤剛性の範囲で1次固有振動数の実測値と解析結果が一致する値を追跡した。

図-3のモデル1により固有値解析を行った結果、1次固有振動数 ( $f$  [Hz]) の上限値 (地表面以下の節点を全て拘束した値) は2[Hz]程度となった。この値は衝撃振動試験による実測値3.30[Hz]と乖離しており、橋脚躯体の一般的なヤング係数の範囲では差が解消されない。

このため桁の弱軸方向の剛性をモデルに反映した図-4に示す振動単位によって解析した結果、 $f$ の上限値は3.8[Hz]程度となった。

キーワード：衝撃振動試験、直接基礎、固有値解析、側方地盤剛性

連絡先：〒260-0031 千葉県千葉市中央区新千葉1丁目3番24号 千葉土木技術センター tel (043)221-7582, fax (043)221-7582

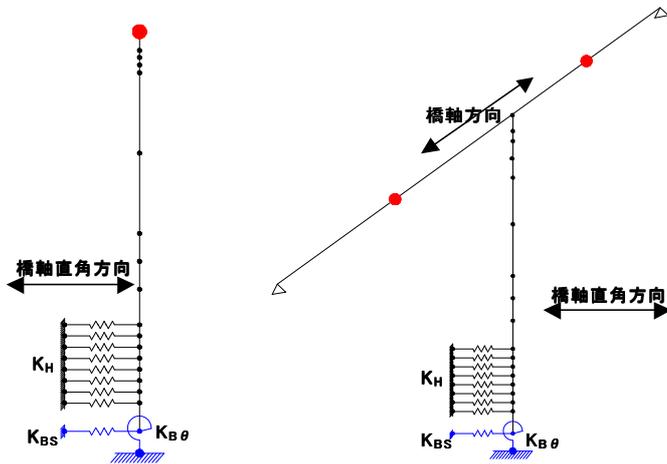


図-3 解析モデル1

図-4 解析モデル2

## (2) 解析結果

モデル2を用いた場合の $K_H$ と解析値 $f$ の関係を調査したところ、図-5のグラフを得た。また衝撃振動試験の実測値 $f=3.30$ [Hz]に対して、図-5から推定される $K_H$ の値近傍を詳細に解析した結果、 $K_H=1.60 \times 10^6$  [tonf/m]を得た。

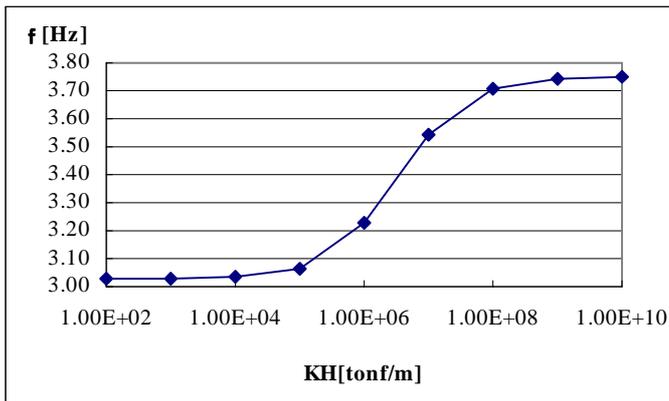


図-5 側方地盤剛性と1次固有振動数

## 5. 基礎側方地盤の評価

地盤調査の結果によれば、基礎底面は亀裂の比較的小さい軟岩であり、一軸圧縮試験の結果から算定した変形係数 $E_0$ の相当値は $2030$  [kgf/cm<sup>2</sup>]である。

これに対して、解析によって求めた側方地盤剛性 $K_H=1.60 \times 10^6$  [tonf/m]から算出した $E_0$ は $2574$  [kgf/cm<sup>2</sup>]となり、基礎底面と同等以上の値となった。

この結果は次のような現地の状況または想定とよく合致する。

- ① 現地の橋脚周辺では、河床・河道や自然斜面に露岩が多く見られ、河床堆積物が少ない。
- ② 上記①から、基礎側方の地盤が堅固ならば、施工時には側面に対して躯体を着岩させている可能性が高い。
- ③ 第5小櫃川橋りょうの橋柱基部には根巻きコンクリートが施工されている。

以上の結果から、当該橋りょうの基礎側方の地盤は十分な剛性・強度を有すると判定した。なおケーソン基礎として安定計算を行ったところ、規制水位の緩和量に対して、安全率は余裕のある結果となった。

## 6. 基礎地盤の洗掘に対する考察

規制値を緩和した後の管理においては、衝撃振動試験による継続的な測定を計画している。この際、当該橋りょうで発生する可能性は極めて低いと考えられるが、基礎が洗掘された場合の振動特性と傾向について考察した。

一般に、図-6のような非対称折線の復元力特性を持つ1質点系の1次固有振動周期は、質量 $m$ 、復元力の剛性 $k$ または $K$ 、振幅 $A$ 、変位の偏心量 $e_0$ とすると、次式となる。

$$T = 2\sqrt{\{m/(k+K)\} \cdot \cos^{-1}\left[\frac{k/(k+K)}{A/e_0 - K/(k+K)}\right]} + 2\sqrt{(m/k) \cdot [\pi/2 + \cot^{-1}\{(k+K)/k\} \cdot (A/e_0 - 1) \cdot \{A/e_0 + (k-K)/(k+K)\}^{1/2}]} \quad (A \geq e_0)$$

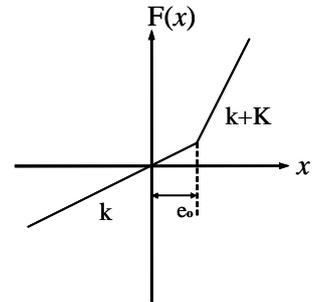


図-6 非対称復元力モデル

$e_0 = 0$  のとき

$$T = \pi \cdot \sqrt{\{m/(k+K)\} + \pi \cdot \sqrt{(m/k)}}$$

$k+K = k_1$ ,  $k = k_2$  とすると

$$T = \pi \cdot \{\sqrt{(m/k_1)} + \sqrt{(m/k_2)}\}$$

$k_1$ および $k_2$ の非対称剛性に対する1サイクル当たりの等価剛性 $K_e$ は、

$$K_e = 4 \cdot (k_1 \cdot k_2) / (k_1 + k_2)$$

上記の $k_1$ ,  $k_2$ ,  $K_e$ を用い、土被りのない直接基礎を持つ橋りょうモデルを設定し、上流側でフーチング下面の地盤が洗掘された場合の固有値解析を行った。その結果、洗掘の進行に対する固有振動数の変化は概して微小であることを確認した。

## 7. おわりに

衝撃振動試験の結果を用いて、橋りょう基礎の地盤の評価を行った。その過程において上部構造を一定の精度でモデル化でき、基礎周辺の状況がある程度把握できていれば、比較的確度の高い推定が可能であることを確認した。

また基礎底面地盤の洗掘の進行に関する考察では、1モデルのみの解析結果であるが、固有振動数の変化は小さいことがわかった。より正確な挙動を把握するうえでは、実測および解析において非対称な振幅を検出・分析するため、時刻歴波形や位相面軌道に着目する方法などが有効と考えられ、今後の課題である。

## 参考文献

- 1) 日本機械学会編：機械工学便覧，丸善，1999