

I - B 265

固有振動数を用いた橋脚基礎の根入れ深さの予測について

東日本旅客鉄道（株） 正会員 小野 桂寿
 東日本旅客鉄道（株） 正会員 東根 顕
 東日本旅客鉄道（株） 佐藤 吉次

1. はじめに

現在の橋りょう下部工検査において、橋脚基礎の健全度を判定するための最も重要なことは、橋脚基礎の根入れ深さの把握である。しかし河川増水時には橋脚基礎の根入れ深さの測定が困難である場合が多い。

橋脚の根入れ深さの変化と固有振動数の変化には相関関係があることは解っている。しかし固有振動数が変化した場合の橋脚における根入れ深さ等の状態の変化が定量的に把握されていないのが現状である。

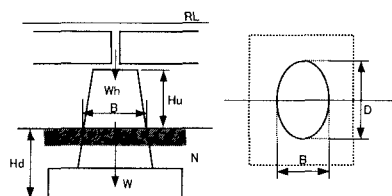
本研究の目的は橋脚の根入れ深さと固有振動数との定量的な関係の把握である。方法は固有振動数をはじめ橋脚の根入れ深さと相関関係があると考えられる要因を選定し、重回帰分析を行うことにより橋脚の根入れ深さを予測出来る関係式を導く。なお対象とする橋脚をコンクリート製で直接基礎形式の橋脚とした。

2. 固有振動数と橋脚基礎の関係

橋脚基礎の健全度判定の際に利用する固有振動数は衝撃振動試験によって得られる。一般に橋脚基礎周辺の洗掘、または地盤沈下による支持力低下等の変状による橋脚状態の変化は、橋脚の固有振動数の低下となって現れると考えられている。ここで橋脚の根入れ深さと固有振動数との関係を利用することによって、橋脚の根入れ深さが予測可能であれば、河川の増水等で河床調査が困難な状況において橋脚基礎の健全度判定に役立つものと考えられる。

3. 重回帰分析による橋脚の根入れ深さの予測式

橋脚基礎の根入れ深さを予測するために、まず根入れ深さの変化と関係があると考えられる要因（変数）を選定し、重回帰分析を行い回帰式を作成する。なお要因を選定した理由としては橋脚固有の値であり、かつ簡単に図面等から算出できることを条件として選定した。



- | | |
|--------------|--------------|
| 1. 橋脚高-根入れ深さ | Hu |
| 2. 固有振動数 | f |
| 3. 支持地盤N値 | N |
| 4. 上部桁重量 | Wb |
| 5. 橋脚躯体重量 | W |
| 6. 幅厚さ比 | D/B (幾何平均) |

図1. 橋脚の根入れ深さと固有振動数の変化に関係があると考えられる要因

重回帰分析を行うにあたって目的変数（Y）と説明変数（ $X_1, X_2, X_3, \dots$ ）を決定する必要がある。ここで「固有振動数、(f)」は「橋脚高-根入れ深さ、(Hu)」と相関関係が強いことが解っているため、本研究では「橋脚高-根入れ深さ、(Hu)」を目的変数（Y）とした。これなら間接的ではあるが橋脚の根入れ深さを算出することが可能である。また説明変数を「固有振動数、(f)」、「支持地盤N値、(N)」、「上部桁重量、(Wb)」、「橋脚躯体重量、(W)」、「幅厚さ比、(D/B)」とした。以下に重回帰分析の結果から得られた回帰式を示す。なお今回解析に用いた橋脚のデータ数は93基である。

$$Hu = -0.277 \cdot f + 0.016 \cdot N - 0.022 \cdot Wb + 0.022 \cdot W - 2.951 \cdot D/B + 8.983 \dots \dots \dots (1)$$

回帰統計より重相関係数は0.92となり、回帰式の有効性を評価する寄与率は0.84となった。

4. 予測式の検証

本解析で得られた回帰式（予測式）は統計手法を用いたため、予測値が実測値より大きい場合と小さい場合

キーワード：固有振動数 根入れ深さ 重回帰分析 補正值

連絡先：〒980-8580 仙台市 青葉区 五橋 1-1-1 TEL022-266-9636・FAX022-214-7512

が半数ずつ存在する。ここで予測値が実測値より小さい場合は橋脚の根入れ深さを危険側に評価している。つまり実際の根入れ深さより根入れ深さが多くあると評価してしまうことになる。

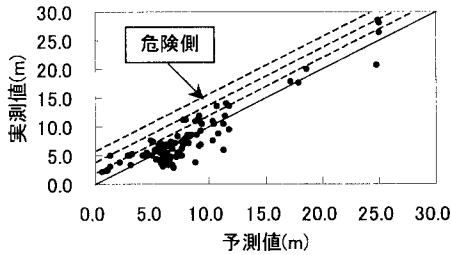


図2. Huの予測値と実測値の相関

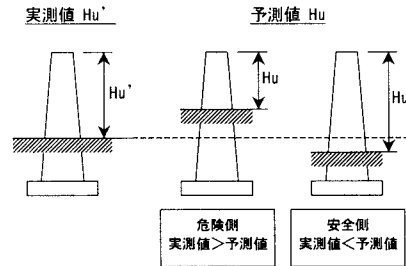


図3. 回帰式から得られるHuの予測値

ここで予測値と実測値のばらつきを減らす方法の一つとして、予測値を補正する補正值なるものを考えてみた。ここで補正值を使用する上での条件として、前回測定分の固有振動数と橋脚の根入れ深さのデータ（時系列データ）があることを前提とした。以下に補正值の求め方とその使用方法についてを説明する。

補正值の求め方

1. 回帰式から対象とする橋脚のHuの予測値（ y_i ）を算定する。
2. 測定していた橋脚のHuの実測値（ Y_i ）との差（ ε_i ）をとる。
3. 差の値を補正值とする。 $Y_i - y_i = \varepsilon_i$ ：補正值……………（2）

使用方法としては河川増水時に固有振動数の測定後、Huの予測値を算定し、それに補正值（ ε_i ）を加えることで「補正したHuの予測値（HUとする）」が出来上がる。このHUを用いることによって、より高精度な橋脚の根入れ深さの予測が出来る。以下に固有振動数の時系列データをもとに行った精度の検証例を示す。

表1. 補正したHuの予測値と実測値の検証

橋りょう名	橋脚	Huの予測値	補正值（ ε_i ）	補正したHuの予測値（HU）	Huの実測値	誤差（Hu-HU）cm
広瀬川橋りょう（下）	2P	4.52	0.71	5.23	5.45	+22
広瀬川橋りょう（上）	2P	6.01	-0.88	5.13	5.15	+2
叶津川橋りょう	12P	8.72	2.22	10.94	10.90	-4
叶津川橋りょう	13P	9.15	1.92	11.07	10.90	-17
叶津川橋りょう	14P	9.18	2.08	11.26	11.30	+4
田付川橋りょう	2P	1.08	1.47	2.55	2.40	-15

上記の表よりHuの実測値と補正したHuの予測値（HU）との誤差は、現在のところ±20cm程度と実用上問題ないと考えられる。補正值（ ε_i ）をそれぞれの橋脚について初期値として求めなくてはならないが、この補正值（ ε_i ）を用いることによって「橋脚高－根入れ深さ、（Hu）」の予測精度が飛躍的に向上することが解った。

5. まとめ

以上の解析の結果、「橋脚高－根入れ深さ、（Hu）」を目的変数とした回帰式（予測式）及び補正值（ ε_i ）が出来た。よって橋脚の根入れ深さを求める予測式は次のように表される。

$$\text{根入れ深さの予測値} = \text{橋脚高} - HU (\text{補正済み Hu}) \dots\dots\dots (3)$$

式（3）より「橋脚高」は図面等から読取れる。この根入れ深さの予測式を用いることによって、河川の流が急な場合や、河川増水等で直接河床を調査することが困難な状況においても、今回の重回帰分析で説明変数として採用した要因と、補正值を予測式に代入することによって橋脚基礎の根入れ深さの予測が可能である。つまり河川増水時において、運転規制の解除等の参考とすることが出来る。

参考文献

1. 小野桂寿、佐藤吉次、庄子勝彦：固有振動数と橋脚基礎の根入れ深さとの相関関係の評価、土木学会第53回年次学術講演会、I-B453、pp.906～907、1998.10
2. 西村昭彦、棚村史郎：既設橋梁橋脚の健全度判定法に関する研究、鉄道総研報告、Vol.3、No.8、1989.8