

ほくほく線信濃川桥梁の運転規制規準値設定に関する検討

ジェイアール東日本コンサルタンツ(株) 正会員 ○逸見 研二
同 上 正会員 羽矢 洋
北越急行(株) 正会員 二瓶 久夫

1. はじめに

国内河川においては、上流水源地帯におけるダムおよび砂防施設の建設による流出土砂のかん止が進み、これにより下流部への供給土砂が減少している。このため、継続的に河床低下が進む河川は少なくない。このような河床低下の進行現象は河川内にある橋梁下部工にとっては深刻な問題となっているが、このことは北越急行が管理するほくほく線信濃川橋梁に於いても例外ではない。こうした背景を踏まえ、ここでは北越急行が行った信濃川橋梁下部工の安定検討および出水時における運転規制値に関する検討結果を報告する。

2. 橋梁および河川概要

信濃川橋梁の下部工の基礎形式はケーソン基礎である。図1、図2に橋梁概要を示す。本検討では、河川の計画流量、河床の経年変化の状況および現地踏査・測量の結果を基に、橋脚が受けると想定される局所洗掘深の予測を行い、これにより基礎の安定検討に用いる地盤高を設定した後、流量、流速から決定される水圧、さらに風力を考慮し、橋脚の安定の照査を行った。検討対象橋脚としては、現在、みお筋の中心に位置する2P橋脚および構造形式が異なりケーソン長が短い4P橋脚の2橋脚を代表ケースとして選定した。

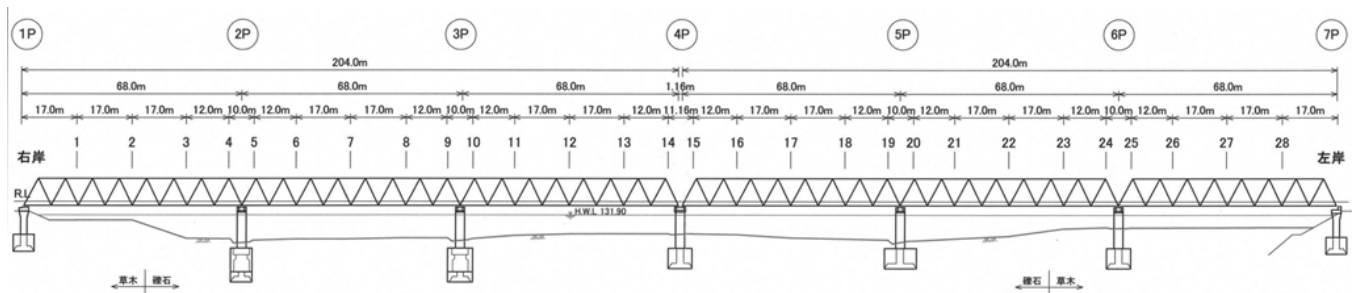


図1 信濃川橋梁概要図

検討に用いる水位、流速条件については、現況の河床横断面図、信濃川の流量データ（計画高水流量：9,500 m³/sec、計画河床勾配：1/252）等に基づいて等流計算を行い、流速等を設定した。なお、鉄道の設計標準¹⁾では、洪水時水深と橋脚幅をパラメータとする局所洗掘深の予測式(1)が示されており、これにより算定した当該橋脚の洗掘深さは4.06mとなった。また、平均流速および粗度係数は、マンニングの式(2)により算定した。

$$Z_s = 1.45 \times D \quad \text{-----} \quad (1)$$

Z_s ：局所洗掘深（m）、 D ：流水直角方向橋脚幅（2P、4Pとも2.8m）

$$V_m = \frac{1}{n} \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot I^{\frac{1}{2}} = \frac{1}{n} \cdot \left(\frac{A}{S} \right)^{\frac{2}{3}} \cdot I^{\frac{1}{2}} \quad \text{-----} \quad (2)$$

n ：粗度係数、 R ：径深（m）、 I ：河床勾配、 A ：断面積（m²）、 S ：潤辺（m）、 V_m ：断面平均流速（m/s）

設計高水位（HWL. 131.90m）、設計高水流量（9500m³/s）、河床勾配（1/252）は与えられており、現時点での河床横断面図より断面積と潤辺を求めれば、設計高水流量が流下するときの断面平均流速が定まる。したがって、この条件を満たす粗度係数を逆算的に求め、河川の状況から推定して妥当な値であるか否かを確認することとした。設計高水流量時の等流計算の結果、粗度係数 $n=0.0485$ が得られた。なお、建設省河川砂防技術基準（案）同解説によれば、自然河川の粗度係数 n の範囲が示されている。信濃川橋梁の地点における河川の状況は、「山地流路の玉石、大玉石」に該当し、 $n=0.040$ 以上となるが、算定結果と対比させると妥当な値であることがわかる。この粗度係数を用いた場合の水位と流速および流量の関係について算定した結果を表1に示す。

キーワード：洗掘、河床低下、ケーソン基礎、安定問題、運転規制

連絡先〒171-0021 豊島区西池袋 3-30-3 西池本田ビル 4F ジェイアール東日本コンサルタンツ株式会社施設保全部 03-6846-1194



図2 橋梁遠景

3. 基礎の安定計算条件および規制水位の検討方針

基礎の安定計算に用いる地盤条件は、建設当初実施したボーリング調査結果に基づき決定した。当該地点の地質は、表層から現河床堆積物、沖積堆積物、魚沼層からなり、ケーソンはN値 50 以上の魚沼層を支持層とし、基礎側方地盤はN値 30 程度である。

河川増水時の安定検討は、橋軸方向と橋軸直角方向の両方向において「常時＋一時」の想定荷重条件に対し、局所洗掘を考慮した地盤高で基礎の安全性が担保されているか否かを確認することとした。ここで、速度規制および運転中止については、構造物の安全性と各限界状態の考え方から以下のとおり設定した。

- ・速度規制水位：使用限界状態に至る水位
- ・運転中止水位：終局限界状態に至る水位

本検討では、初めに信濃川橋梁において起こり得る最高水位を想定し、左右岸の堤防高の低い方である右岸堤防高 133.730m を初期高水位に設定することとした。次に、この状況で安定性が担保されない場合は漸次、水位を低下させていき、安定性が担保し得る水位を算定、この水位を各限界状態における規制値とすることとした。

ケーソン基礎の安定計算は文献 1) に準じ、各限界状態に対する検討において以下の項目を満足することとした。

- ・鉛直支持の検討
- ・水平支持の検討
- ・変位量の検討

なお、流水圧の大きさは文献 2) に準じ算定し、変位量の照査は文献 1) に定めるケーソン基礎の変位制限値（表 2）によることとした。図 3 に静的解析モデルの概要を示す。

4. 検討結果

静的非線形解析の結果、堤防天端標高（EL. 133.730m）まで水位が到達したとしても、2P 橋脚、4P 橋脚共にいずれの限界状態にも達することがないという判定となった。変位量の算定結果は以下に示すとおりである。

表 2 変位量の制限値

限界状態	変位量の制限値（頂版天端）	
	水平変位量	傾斜角度
使用限界状態	L の 0.4% または 40mm のいずれか小さい値	$0.20 \times 10^{-2} \text{ rad}$
終局限界状態	L の 1.2% または 100mm のいずれか小さい値	$0.60 \times 10^{-2} \text{ rad}$

L：基礎前面の抵抗幅

- 2P（使用限界）： $6.5\text{m} \times 0.4\% = 26.0\text{mm} < 40\text{mm}$
- 2P（終局限界）： $6.5\text{m} \times 1.2\% = 78.0\text{mm} < 100\text{mm}$
- 4P（使用限界）： $7.5\text{m} \times 0.4\% = 30.0\text{mm} < 40\text{mm}$
- 4P（終局限界）： $7.5\text{m} \times 1.2\% = 90.0\text{mm} < 100\text{mm}$

表 3 に鉛直支持、水平支持の結果も併せ、各検討ケースの結果を示す。以上の結果から、本橋梁では堤防高さ、計画流量等河川管理者が定める河川諸元に変化がない限りは水位による運転規制の必要はないという結論に達した。

表 3 安定検討結果総括表（水位 EL. 133.730m 検討時）

解析ケース				鉛直支持		水平変位		傾斜角度	
橋脚	解析方向	限界状態	水位 (EL. m)	$\gamma_i \frac{V_{bd}}{R_{vd}}$	判定 (≤ 1.0)	$\gamma_i \frac{\delta_d}{\delta_L}$	判定 (≤ 1.0)	$\gamma_i \frac{\theta_d}{\theta_L}$	判定 (≤ 1.0)
2P	橋軸方向	使用限界	133.730	—	—	—	—	—	—
		終局限界	133.730	0.066	OK	0.011	OK	0.017	OK
	橋軸直角方向	使用限界	133.730	0.082	OK	0.062	OK	0.090	OK
		終局限界	133.730	0.119	OK	0.117	OK	0.170	OK
4P	橋軸方向	使用限界	133.730	—	—	—	—	—	—
		終局限界	133.730	0.076	OK	0.008	OK	0.022	OK
	橋軸直角方向	使用限界	133.730	0.110	OK	0.063	OK	0.170	OK
		終局限界	133.730	0.147	OK	0.054	OK	0.147	OK

参考文献

- 1) 鉄道総研、鉄道構造物等設計標準・同解説（基礎構造物・抗土圧構造物）、平成 12 年 6 月
- 2) 鉄道総研、鉄道構造物等設計標準・同解説（コンクリート構造物）、平成 16 年 4 月

表 1 水位毎の流量と流速の計算結果

水位 EL.m	流量 (m³/s)	流速 (m/s)	備考
133.73	14969	4.92	堤防天端(低い方)
133.23	13349	4.71	桁下面 -1.5m
132.73	11841	4.50	桁下面 -2.0m
131.90	9505	4.14	計画高水位
130.90	6975	3.67	
129.90	5003	3.32	
128.90	3181	2.78	
127.90	1795	2.29	
126.90	964	1.93	
125.90	328	1.39	
124.90	38	0.67	

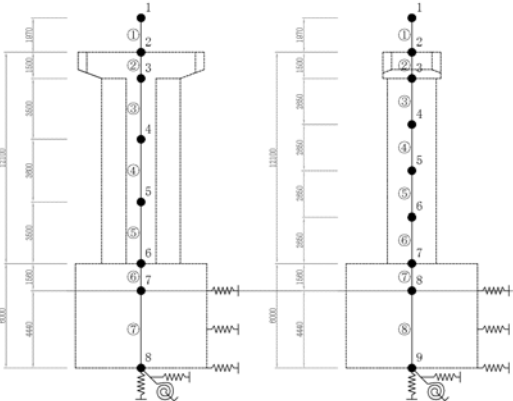


図 3 安定計算モデル概要（4P橋脚の例）