

平成30年7月豪雨で流失した単線上路プレートガーダー橋の構造安定計算

徳山工業高等専門学校 学生会員 ○藤永 りさ
 徳山工業高等専門学校 正会員 海田 辰将
 広島市 非会員 前田 唯

1. はじめに

平成30年7月豪雨では、西日本を中心に道路・鉄道網が寸断され、1府13県で甚大な社会的被害をもたらした。橋梁の被災件数は広島県が最も多く、広島市安佐北区の三篠川沿線では、河川の氾濫により多くの橋梁群が流失・損傷した¹⁾。

また、今回の豪雨災害によって実際に被災した橋梁本体およびその周辺に残された数々の痕跡から、崩壊を引き起こした力学的作用の種類や大きさ（作用力）を推定し、力学作用に対して橋梁が抵抗しうる限界（抵抗力）との大小関係を明らかにすることは、今後の長期的な対策を考える上で非常に重要と考えられる²⁾。

このことから、本研究では、今回の豪雨で甚大な被害を受けた第1三篠川橋梁（単線上路プレートガーダー橋：6連）を対象とした洪水時の構造安定性に関する力学的検証を行い、本橋に生じた力学作用の定量的評価に対する考え方と簡易計算の一例を示す。

2. 第1三篠川橋梁の安定計算

(1) 第1三篠川橋梁の概要と被災状況

第1三篠川橋梁は、橋長85mの単線上路プレートガーダー橋（6連）である。図-1に本橋の概略および流体抗力の作用イメージ図を示す。本橋のP2~P3径間（主桁③）はスパン19mとなっており、他の径間（12.5m）よりもスパンが長い。主桁③は、桁高も他の主桁より300mmほど高く（1,550mm）上路形式であるため、相対的に水面からの橋下高が低い。また、P1, P2橋脚は石積橋脚、P3~P5橋脚はコンクリート橋脚となっており、橋脚の構造形式が異なっている。

写真-1に、本橋の落橋・流失状況を示す。現場の状況から推察された本橋の崩壊過程としては、まず、増水にともなって水面が上昇し、橋下高の最も低い主桁③に到達したことで、流体抗力が急激に増大する。その後、P2橋脚が流体抗力によって大きくなったモーメントに耐え切れずに転倒し、これが原因となって、P1橋脚が下流側に転倒、その結果として主桁①~④が落橋・流失したと考えられる。

(2) 安定計算の考え方と計算上の主な仮定

本節では、現存する設計図面³⁾や財産台帳⁴⁾、現場に残さ

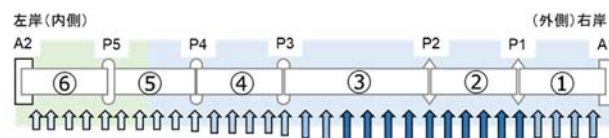


図-1 第1三篠川橋梁の概略図¹⁾



写真-1 旧橋の落橋・流失状況¹⁾

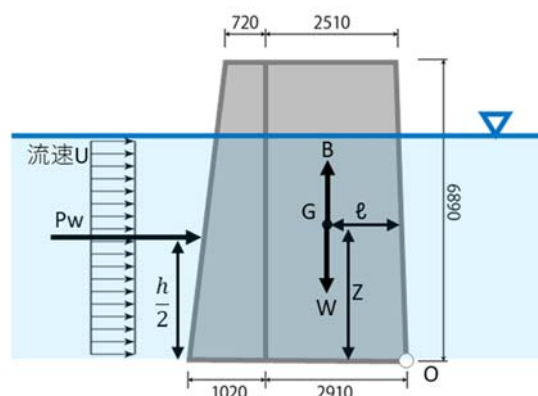


図-2 安定計算に考慮する力（側面図）[単位:mm]

れた痕跡、そしていくつかの仮定に基づいて本橋の構造安定計算を行った。本橋が単純形式であることを鑑み、安定計算の対象は最初に転倒したP2橋脚とそれに架かる主桁②③とする。P2橋脚に作用する転倒モーメント（ M ）と、それに対する抵抗モーメント（ M_0 ）の大きさを推定し、その大小関係から安定性を議論する。すなわち、水位 h と流速 U を未知数として変化させて両モーメントを計算し、 $M > M_0$ となる条件を明らかにする。

図-2に、P2橋脚に作用する転倒モーメントと抵抗モーメントの観点から、安定計算に考慮する外力のイメージ図を示す。流体抗力 P_w については、鉄道構造物ではパラボラ型が仮定されるが、本研究では簡易計算のため水深方向の流速分布には一様分布を仮定し、作用位置は $h/2$ とした。また

キーワード 豪雨、洪水、プレートガーダー、流体抗力、安定計算

連絡先 〒745-8585 周南市学園台 徳山工業高等専門学校 土木建築工学科 海田研究室 TEL 0834-29-6331

形状係数 C_D は、 Re 数や構造物の断面形状によって大きく異なるため、乱流状態において上流側に尖角を有する断面の形状係数を参照し、 $C_D=1.55$ （尖角 90° ）を採用した。橋脚には浮力（ B ）が作用するため、重心位置に作用する集中荷重として考慮する。これらの外力はいずれも転倒モーメントに寄与するものであり、モーメントの中心は、図中の O 点である。 W は橋脚自身の重量に設計図面から算出した主桁②③の死荷重による支点反力の合計を加えたものであり、抵抗モーメントに寄与する。なお、石積橋脚基部のせん断抵抗や根入れについては、本解析には考慮しない。これらの計算を行った結果、総重量 $W = 930.71$ [kN]、抵抗モーメント $M_0 = 1610.13$ [kN・m]と推定された。

また、洪水時の流速については、他の1級河川における過去の洪水時の流速に関する文献⁹⁾を参考に、3~4m/sを想定した。これらの調査結果を踏まえ、本研究では流速を0.5m/s~5m/sの間で変化させて解析を行った。

3. 解析結果および構造安定性に関する考察

流速 U を0.5~5m/sまで変化させ、水位ごとに計算した転倒モーメントの一覧を表-1に示す。表中の太線は橋脚の天端高さ（ $h=6.89$ m）を表しており、着色した値は $M_0 < M$ となり、転倒と判断された結果を表している。本解析結果から、 $U > 3$ m/sの場合には主桁高さ（1.55m）の6割程度まで水位が上がった場合に転倒することがわかる。さらに、 $U=4$ m/sでは主桁高さの3割近く冠水すると転倒し、 $U=5$ m/sでは水位が主桁に達した時点で転倒することが確認できる。

表-3の結果から、各流速ごとに水位－転倒モーメント関係を描くと図-3のようになる。図中には、石積橋脚と主桁③のイメージ図を併せて記載しており、赤い点線は、抵抗モーメント M_0 を示している。図から、 $h < 6.89$ m以下の場合にはいずれの流速であっても $M < M_0$ となり転倒しないと判断される。しかし、 U が大きくなると流体抗力が2乗に比例にて増大するため、水位が橋脚の天端に達し、主桁が冠水し始めると転倒モーメントが急激に増大し、その傾きは流速が早くなるほど著しいことが分かる。

本解析結果から推定される落橋時の水位は図-3の結果から6.89~7.9mと推定され、水位が主桁に達した直後から主桁高さの半分まで冠水するまでの間にP2橋脚が転倒し、落橋・流失したと推察される。同じ1級河川で過去に実測された洪水時の流速⁹⁾が3~4m/sであることを考えると、本解析結果の説明力は高いと考えられる。

4. おわりに

本研究では、平成30年7月豪雨で実際に落橋・流失した第1三篠川橋梁を対象とした洪水時の構造安定性の力学的検証を行い、本橋梁に生じた力学作用の定量的な推定方法に対する考え方と計算例を示した。

表-1 転倒モーメント M [kN・m]の解析結果

水位(m)	U=0.5m/s	U=1m/s	U=2m/s	U=3m/s	U=4m/s	U=5m/s
8.44	779.29	874.97	1257.71	1895.60	2788.65	3936.85
8.40	777.63	871.23	1245.67	1869.72	2743.40	3866.69
8.30	773.49	861.98	1215.92	1805.84	2631.72	3693.56
8.20	769.38	852.85	1186.70	1743.11	2522.10	3523.65
8.10	765.31	843.84	1157.98	1681.55	2414.54	3356.96
8.00	761.27	834.97	1129.79	1621.14	2309.04	3193.48
7.90	757.26	826.23	1102.10	1561.89	2205.60	3033.22
7.80	753.28	817.61	1074.93	1503.80	2104.22	2876.18
7.70	749.34	809.13	1048.28	1446.87	2004.90	2722.36
7.60	745.43	800.77	1022.14	1391.10	1907.63	2571.75
7.50	741.55	792.54	996.52	1336.48	1812.43	2424.37
7.40	737.70	784.44	971.41	1283.03	1719.29	2280.20
7.30	733.88	776.47	946.82	1230.73	1628.21	2139.25
7.20	730.10	768.63	922.74	1179.59	1539.19	2001.52
7.10	726.35	760.91	899.18	1129.61	1452.22	1867.01
7.00	722.63	753.33	876.13	1080.79	1367.32	1735.71
6.89	718.58	745.13	851.37	1028.42	1276.30	1595.00
6.00	647.36	667.95	750.29	887.54	1079.68	1326.71
5.00	559.31	573.96	632.53	730.16	866.84	1042.57
4.00	463.03	472.63	511.01	574.97	664.52	779.66

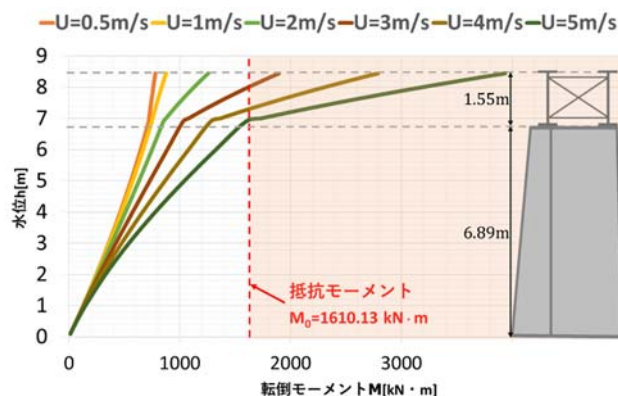


図-3 水位－転倒モーメント関係

落橋・流失した時点での水位は6.89~7.9mと推定され、転倒した石積橋脚に架かる主桁が冠水し、主桁高さの6割以下の水位で転倒する結果となった。また、その時の流速は3~5m/sと推定され、説明力の高い推定結果が得られた。

謝辞：本研究にあたり西日本旅客鉄道株式会社、広成建設株式会社、中国施設設計株式会社より現地視察のご協力および多くのご助言と設計図書等の貴重な資料の提供を賜りました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 公益社団法人 土木学会中国支部 緊急災害調査対応委員会, 2018年7月西日本豪雨災害調査報告書, 2018.12.
- 2) 有尾一郎, 横谷祐樹, 椿涼太, 濱優太, 渡邊学歩, 柴田俊文, 海田辰将, 河村進一: 洪水による鉄筋橋梁の崩壊事象からの流体力・流量の推定, 第71回土木学会中国支部研究発表会発表概要集, pp.582-585(VIII-25), 2019.6.
- 3) 日本国有鉄道: 第1三篠川橋りょう一般図, 年代不詳
- 4) 線路建造物保守台帳, 日本国有鉄道, 1945.
- 5) 国土交通省近畿地方整備局: 紀の川の洪水時の流速について, 第6回紀の川流域委員会資料, 2001.12.20
- 6) 岡田拓也, 川村嘉勝, 青木政一, 藤田一郎, 成田秋義: ビデオ画像解析による洪水時の流速流量計測, 水工学論文集, 第44巻, pp.1227-1231, 2000.2.