

河川増水における橋梁上部構造流出に関する信頼性の検討

中央大学大学院 学生会員 ○光永 憲弘
中央大学 正会員 佐藤 尚次

1. はじめに

近年、全国各地で前線や台風などに起因する異常な集中豪雨により、河川の増水が発生している。気象庁のアメダス観測点の観測結果より近年の集中豪雨の発生回数は増加傾向にあることがわかっている。

我が国の河川は急勾配で短距離という特徴を持つため大雨が降ると洪水になりやすい。河川増水時には、河川に架かる橋梁の上部構造の流出、橋脚の洗掘・折損といった被害¹⁾が発生している。今後、河川増水時には上部構造流出等の橋梁被害が危惧される。

鉄道橋・道路橋への被害は交通機能に影響を及ぼし、多くの利用者の生活に支障をきたす。また、橋梁の上部構造流出による二次災害なども考えられる。このことから河川増水による橋梁への被害の評価や検討が必要となる。そこで本研究では、過去に発生した上部構造流出被害を評価し、橋梁の上部構造流出に関する信頼性を検討し、被害を軽減させるための合理的な橋梁設計を検討する。

2. 評価対象とする橋梁

本研究で評価する橋梁として過去に上部構造流出の被害が発生した5橋を対象とする。具体的には、2005年9月の宮崎豪雨によって被害を受けた耳川に架かる小原橋・小布所橋・尾佐渡橋の3橋と2011年7月の新潟・福島豪雨によって被害を受けた只見川に架かる田沢橋・西部橋の2橋である。各橋梁の詳細を表-1と表-2にそれぞれ示す。

3. 流体力・抵抗力式の設定

本研究での上部構造流出に関しての評価として以下の式を用いる。

(1) 河川増水時の上部構造に作用する流体力

本研究で評価する増水時の流体力 S は、橋桁の全面と背面での水位が同程度となるので、橋梁に作用する流体力 S は式(1)で表わされる²⁾。

$$S = \frac{1}{2} \rho_w C_d A v^2 \quad \text{式(1)}$$

ここに、 ρ_w :水の密度[kg/m³]、 v :流速[m/s]、 C_d :抵抗係数、 A :構造物を流れ方向に投影した面積[m²]。

流体力 S の橋桁部の抵抗係数 C_d の値は式(2)の条件から求められる³⁾。

$$C_d = 2.1 - 0.1(B/D) \quad 1 \leq B/D < 8 \quad \text{式(2)}$$

ここに、 B :桁の総幅員[m]、 D :桁の総高[m]。

(2) 橋桁の抵抗力

流体力 S が橋桁に作用することで生じる抵抗力 R は上部構造の重量と摩擦係数をかけた摩擦による抵

表-1 対象橋梁の形式・完工年・支承数

橋名	橋梁形式	完工年	支承数
小原橋	単純トラス橋	昭和40年(1965年)	4
小布所橋	単純トラス橋	昭和40年(1965年)	4
尾佐渡橋	合成桁橋	昭和50年代(1975年代)	6
田沢橋	単純トラス橋	1956年版の示方書を使用	4
西部橋	ランガー桁橋	昭和53年(1978年)	4

表-2 対象橋梁の寸法・総重量

橋名	桁長[m]	桁幅[m]	桁高[m]	1径間当たりの総重量[kN]
小原橋	75.8	5.2	2.2	3520.2
小布所橋	65.4	5.2	2.5	2896.3
尾佐渡橋	54.7	5.2	2.9	2533.8
田沢橋	75.7	4.0	1.6	3920.5
西部橋	120.4	5.2	2.6	4874.1

抗力と支承部に用いられているボルトのせん断耐力による抵抗力の和とし、式(3)で表わされる。

$$R = \mu(W - U) + 0.7\sigma a N_1 N_2 \quad \text{式(3)}$$

ここに、 μ :最大摩擦係数(0.6)、 W :上部構造重量[N]、 U :上部構造に生じる浮力[N]、 σ :ボルトの降伏耐力[N/mm²]、 a :ボルトの断面積[mm²]、 N_1 :1支承当たりのボルトの数、 N_2 :1径間当たりの支承の数。

摩擦係数 μ は一般的に 0.6 程度とみなして良いとされている。

4. 流体力・抵抗力の計算

本研究では橋桁にかかる流速と支承部の摩擦係数、降伏応力を確率密度関数として計算することで、流体力 S と抵抗力 R に変動性を与えた。流体力に関しては、確率密度関数を得る為の流速データが不十分であったため、洪水解析に用いられる貯留関数法により各橋梁地点での流量を計算し、それを流速へ変換することで補った。降雨量はアメダス観測点のデータを用い、貯留方程式は貯留量と流出量との間に一価の線形関係があるものと仮定して式(4)と式(5)で表わされる。

$$s = kq \quad \text{式(4)}$$

$$\frac{ds}{dt} = r_e - q \quad \text{式(5)}$$

ここに、 s :貯流量[m³]、 k :流出による貯留量のパラメータ、 q :流出量[m³/s]、 r_e :有効降雨量[m³/s]。

ここで、流出による貯流量のパラメータ k と有効降雨量 r_e はそれぞれ主河道長と流域面積との関係式である Hack の法則と山腹斜面の地表流を計算する

キーワード：橋梁上部構造流出、流体力、確率紙、確率密度関数、破壊確率

連絡先：〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 TEL：03-3817-1816

ための Kinematic Wave 法により式(6)と式(7)で表わされる。

$$k = 2.5 \left(\frac{n}{\sqrt{i}} \right)^{0.6} A^{0.24} \quad \text{式(6)}$$

$$r_e = \frac{1}{3.6} \left(\frac{n}{\sqrt{i}} \right)^{0.6} Ar \quad \text{式(7)}$$

ここに、n:等価粗度、i:斜面勾配、A:流域面積[km²]、r:降雨量[mm/h]。

確率密度関数を作成する為の流速データは年最大流速の35年間分をとることとした。

支承部の摩擦係数と降伏応力の確率密度関数は、各値の平均と標準偏差を定め正規分布として作成した。摩擦係数は Rabbat らの実験結果⁴⁾を参考に、降伏応力は SS400 材を想定し、平均と標準偏差を定めた。

5. 確率密度関数の作成

流体力の確率密度関数を作成するために求めた流速は、上部構造に水位が達していない場合でも、断面積を上部構造が水没する時と同じ条件にすることで、擬似的に達しているようにして求めている。

求めた流速より流体力を算出し、確率紙を用いて分布形の当てはめを行った。Gumbel 確率紙と対数正規確率紙にプロットしたところ、耳川と只見川に架かる橋では共に対数正規確率紙上でほぼ直線状に並んだ。よって、今回対象としている全ての橋梁における流体力は対数正規分布に従うといえる。以上より、各橋梁での流体力の確率密度関数を求めると図-1 のようになる。また、抵抗力の確率密度関数は図-2 のようになる。

6. 破壊確率の計算

破壊確率の計算は流体力 S と抵抗力 R の確率密度関数から信頼性指標を導き出し、1年間で水位が上部構造の位置まで到達した事を前提とした条件付破壊確率を求める。次に1年間で水位が上部構造まで到達する確率を求め、それをかけることによって破壊確率を計算した。1年間で水位が上部構造まで到達する確率は、Manning 式により水位一流量曲線を作成し、その値から求めた。各橋梁の破壊確率の計算結果を表-3に示す。

7. おわりに

橋梁の上部構造流出に関して、流体力 S と抵抗力 R の確率密度関数を用いて破壊確率の計算を行った。破壊確率の大小を見ると、橋の形状による破壊確率の変動が見られた。また、橋梁形式以外の要因として挙げられるのは、流体力の確率密度関数からも分かる通り、地域による降水量の違いにあるといえる。しかし、表-3からも分かる通り、1年間での破壊確率はかなり低い値となった。

今後の課題としては、河川の水位に関しての検討を深める事が挙げられる。また、今後の展望としては、この評価手法により国内において、今後集中豪雨が発生した際に流出の危険性のある橋梁を評価していくことが挙げられる。

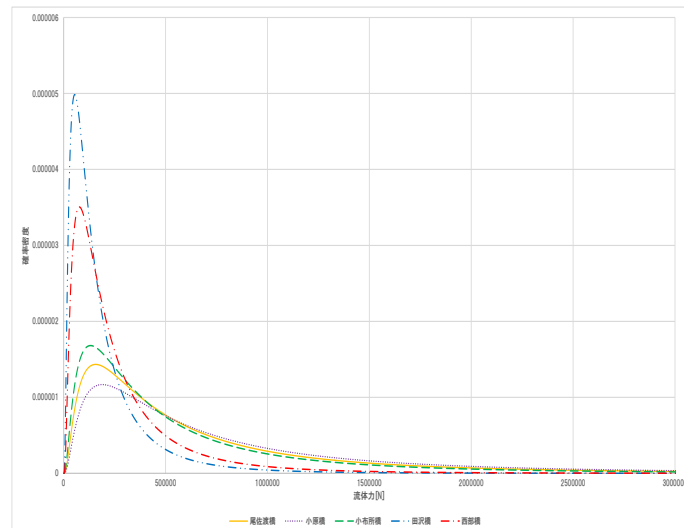


図-1 35年間分の年最大流速から求めた流体力の確率密度関数(1981-2015)

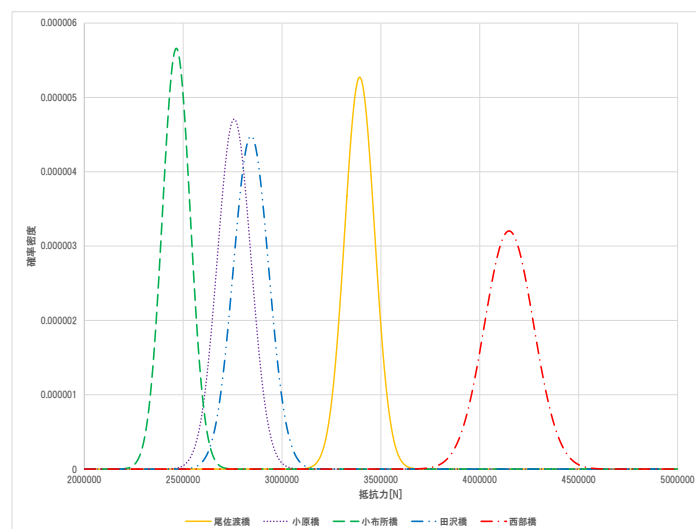


図-2 摩擦係数と降伏応力のばらつきから求めた抵抗力の確率密度関数

表-3 対象橋梁の破壊確率

橋名	小原橋	小布所橋	尾佐渡橋	田沢橋	西部橋
1年間の破壊確率 [%]	1.102	0.224	0.383	0.002	0.001
35年間の破壊確率 [%]	38.570	7.840	13.405	0.070	0.035

参考文献・出典

- 1) 玉井信行, 石野和男ら: 豪雨による河川橋梁災害—その原因と対策—, 技報堂出版, 2015年
- 2) 津波による橋梁構造物に及ぼす波力の評価に関する調査研究委員会報告書, 土木学会, 2013年
- 3) 道路橋示方書・同解説 共通編, 日本道路協会, 2002年
- 4) Rabbat, B.G. and Russell, H.G.: Friction coefficient of steel on concrete or grout, J. Struct. Eng., ASCE, Vol.111