

河川氾濫による橋梁上部構造の流出危険性に関する基礎的考察

九州大学大学院

学生会員

○今吉 岳

九州大学大学院

正会員

玉井 宏樹

九州大学大学院

フェロー会員

園田 佳巨

1. 目的

近年、全国各地で停滞前線や台風等による豪雨被害が頻発している。2020年7月3日に発生した熊本県球磨川流域で発生した豪雨水害では、流域一帯に大規模な洪水被害が発生し、水系内の橋梁22橋が被災、10橋が流出した。本研究では、球磨川豪雨水害において発生した橋梁流出事例を対象に、橋梁上部構造の流出危険性を定量的に分析し、簡易的な被害予測を行うことを目的とした検討を試みた。

2. 橋梁上部構造の流出条件および作用力について

2.1 橋梁上部構造の流出条件

本研究では、橋梁上部構造の流出の可能性を桁に作用する流体力と上部工抵抗力の大きさを比較することで判断し、上部工抵抗には支承の抵抗力と支承破壊後を想定した上部工と橋台・橋脚天端面の摩擦抵抗力の2種類を考慮した。従って、上部構造の流出に対する抵抗度を以下のS1からS3の3段階に区分し、これら3区分すべてで破壊と判定された場合には上部構造の流出と判断した。

S1：支承構造による抵抗(降伏まで)

S2：支承構造による抵抗(終局まで)

S3：摩擦力による抵抗

2.2 流体力

流体力は幸左らによる文献¹⁾から式(1)とした。

$$F = \frac{1}{2} \rho_w C_d v^2 A_h \quad (1)$$

ここに、作用流体力 F [kN]、抗力係数 C_d 、水の密度 ρ_w 、被災時平均流速 v [m/s]、上部構造の有効鉛直投影面積 A_h [m²]である。抗力係数 C_d は以下の式(2)から求める。

$$C_d = \begin{cases} 2.1 - 0.1(B/D) & 1 \leq B/D < 8 \\ 1.3 & 8 \leq B/D \end{cases} \quad (2)$$

ここに、橋の総高 D [m]、橋の総幅 B [m]である。

2.3 支承抵抗力

支承抵抗力は、ピン支承およびピンローラー支承を対象とし力および死荷重作用時の降伏耐力・終局耐力を求めた。

2.4 摩擦抵抗力

摩擦力の基本式は、桁水没により発生する浮力の影響を考慮し以下の式(3)により求めた。

$$T = \mu_0 \cdot (W - U) \quad (3)$$

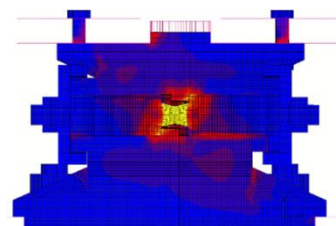


図1 ピン支承の終局状態における応力状態

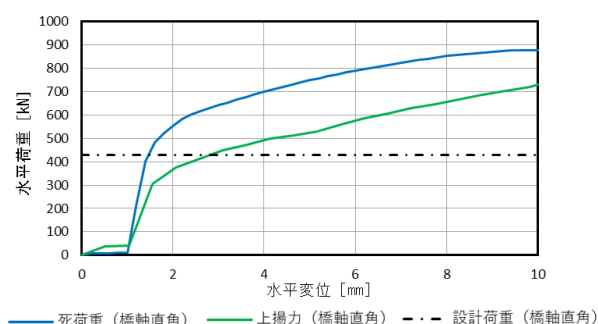


図2 ピン支承の橋軸直角方向水平耐力

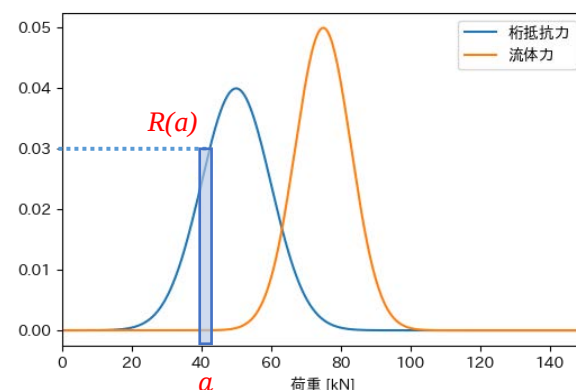


図3 破壊確率算出の模式図

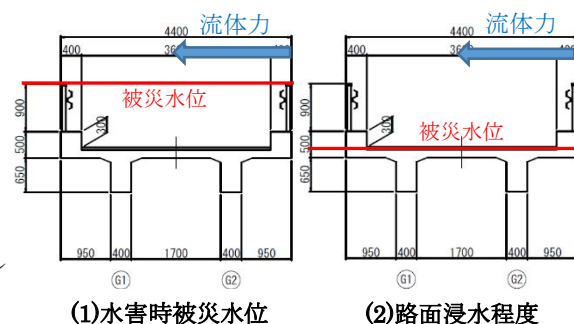


図4 被災水位の模式図

キーワード 橋梁流出, 橋梁, 水害, 橋梁上部工, 支承

連絡先 〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744 ウェスト 2 号館 1102 号室

TEL : 092-802-3370

ここに、摩擦抵抗力 T [kN]、摩擦係数 μ_0 、上部構造重量 W [kN]、浮力 U [kN]である。

3. 対象橋梁

本研究では、球磨川で被災した橋梁の内、ピン支承・ピンローラー支承を使用しており、流出状況も判明している A 橋・B 橋・C 橋・D 橋・E 橋の 5 橋を対象に検証を行った。

4. 破壊確率の算出

4.1 確率密度関数の作成

本研究では、流速および支承耐力・摩擦係数を、ガウス分布を仮定した確率密度関数とすることで外力に変動性を与えた。流速は平均値 5.0m/s 標準偏差 1.0、支承抵抗力は上揚力作用時から死荷重作用時の範囲の分布とし、摩擦係数は Rabbat らの実験²⁾から平均値 0.62 標準偏差 0.032 とした。

4.2 破壊確率の算出

確率密度関数から各段階における破壊確率 α を算出した。 α は流体力が上部工抵抗力を上回る確率とし、以下の式(4)により求めた。

$$\alpha = \int_0^\infty \left\{ F(a) \int_a^\infty R(x) dx \right\} da \quad (4)$$

ここで、破壊確率 α 、流体力の確率密度関数 $F(x)$ 、上部工抵抗力の確率密度関数 $R(x)$ である。

5. 結果と考察

表 1 に球磨川水害時の被災状況における各支承線において試算した破壊確率の平均値を示した。結果は全ての段階で 0.5 を超えており上部構造の流出を示している。対象とした 5 橋はともに水害時に流出しており、被災状況と類似する結果を得られた。次に、被災水位を路面浸水程度と想定した試算を行い、被災水位による影響を比較した。表 2 に路面浸水程度を想定した破壊確率の試算結果を示した。この場合、支承の降伏は発生するが破壊へは至らず、橋梁全体としては流出しないという結果を得られた。表 3 に示したように径間内に局所的に破壊が発生する場合には、該当箇所破壊後、連鎖的に同一径間内に破壊が生じ上部構造の流出へと至る危険性が高いことが予測された。

6. 結論

本研究では、球磨川水害において被災した 5 橋を対象に破壊確率を用いた流出評価を試みた。その結果、災害当時の被災規模を想定した場合、被災状況と類似する結果が得られた。また、想定水位を路面浸水程度と想定した場合には、支承の降伏は発生するが上部構造の流出には至らないことや、一部の支承線が局所的に破壊した場合には、同一径間内の他の支承線にも連鎖的な破壊が生じて桁が流出する危険性が高いことが予測された。今後は、河川の湾曲や狭窄に伴う局所的な流体力の増減による破壊確率の変化なども検討する必要があると考えている。

本研究を行うにあたり、国土交通省九州地方整備局八代復興事務所から旧橋の構造諸元や被災調査資料などの種々の情報提供をいただきました。ここに記し、感謝申し上げます。

参考文献

1) 佐々木達生, 幸左賢二, 鄭玉龍: 桁抵抗力津波作用力比に基づく橋梁の被害分析, 構造工学論文集 Vol.59A, 2013
2) Rabbat, B.G. and Russel, H.G. : Friction coefficient of steel on concrete or grout, J. Struct. Eng., ASCE, Vol. 111, No. 3, 1985

表 1 支承線あたりの破壊確率の平均値

橋梁名	α_{S1}	α_{S2}	α_{S3}
A橋	1.00	0.86	1.00
B橋	1.00	0.95	1.00
C橋	1.00	0.73	0.88
D橋	1.00	0.83	0.97
E橋	1.00	1.00	1.00

表 2 路面浸水時の破壊確率の平均値

橋梁名	α_{S1}	α_{S2}	α_{S3}
A橋	0.89	0.25	0.75
B橋	0.77	0.03	0.25
C橋	0.66	0.19	0.30
D橋	0.64	0.03	0.01
E橋	0.98	0.31	0.63

表 3 C 橋 A1-P1 径間の破壊確率の変化

状態	支承名称	α_{S1}	α_{S2}	α_{S3}
健全時	A1	0.99	0.24	0.90
	P1起点	1.00	0.87	0.90
P1起点 流出後	A1	1.00	0.98	0.90
	P1起点	-	-	-