

橋桁に対する津波漂流物の作用に関する実験的検討

筑波大学大学院 学生会員 Liu Xiaojiao 筑波大学システム情報系 正会員 庄司 学 同 飯高 稔

1. はじめに：本研究では、橋桁への津波荷重評価^{(例えば^{1), 2)})を目的として、橋桁に対する津波漂流物の作用形態を明らかにするために、津波漂流物を断面のサイズと長さが異なる6種類の直方体角柱で模擬し、水理実験を行うことで、津波漂流物が桁下空間や橋面上を漂流あるいは滞留する現象の再現を試みる。漂流物の通過率 γ_p 、漂流物の体積及び長さの観点からの閉塞率 γ_{cv} 、 γ_{cl} 、及び、漂流物の橋面上の残留率 γ_l に関するパラメータを定義して、それらと津波流速、橋桁の前面波高 a_f 及び背面波高 a_r との関係を明らかにする。}

2. 実験方法：実験水路は図1に示す通りで、橋桁はゲートから2,500mmの位置に、かつ橋台上に設置した。漂流物の通過及び閉塞状況を観測するために、橋桁重心の真上と真下にビデオカメラ(上：CANON製DM-XV1, 下：NIKON製COOLPIX AW100)を設置し、ゲート開放から40秒間のビデオデータ撮影を行った。津波流速に関しては、図1の①の位置に電磁流速計(KENEK製VM-201HT)、水位に関しては②および③の位置に容量式波高計(KENEK製CH-601)を設置した。容量式波高計は橋桁模型の前面及び背面端部より200mmの位置で、かつ一方の橋台より40mmの位置に設置した。電磁流速計は前面の波高計より150mmの位置で、かつ一方の橋台より40mmの位置に設置した。橋桁模型は図2に示す通りで、典型的な単径間RC/PC桁を対象とし、コンクリート(単位体積比重 $\rho_g = 22.54 \text{ kN/m}^3$)で製作した。漂流物模型のサイズと長さ及び浸水1時間後の重量を表1に示す。文献2), 3)を参考として、漂流物模型は木材直方体角柱(気乾状態比重0.53)とした。全ての漂流物は混合して漂流物群としてゲートから300mm範囲内の静水部に配置した。実験条件を表2に示す。津波の流れ場では、漂流物相互が影響を及ぼし合い、波の形成において不確定性が大きいことから、漂流物有りのケースにおいては表2の条件で10回繰り返した。計測した物理量としては、津波流速のピーク値 v_{max} 、ピーク値以降の1秒間及び3秒間の準定常的な流速の時間平均 v_{ave}^1 、 v_{ave}^3 、橋桁の前面波高 a_f 及び背面波高 a_r 、波速 c である。

3. 漂流物の作用に関するパラメータ：漂流物の占有率 e 、及び先述したパラメータを以下のように定義した。

$$e = \frac{V_f}{V_w}, \gamma_p = \frac{V_p}{V_f}, \gamma_p = \gamma_{pn} + \gamma_{pl}, \gamma_{pn} = \frac{V_{pn}}{V_f}, \gamma_{pl} = \frac{V_{pl}}{V_f}, \gamma_{cv} = \frac{V_{cv}}{V_f}, \gamma_{cl} = \frac{L_f}{L_b}, \gamma_{cl} = \frac{L_f}{L_b}, \gamma_l = \frac{V_l}{V_f} \quad (1)$$

ここで、 V_w は一樣水深部における水の全体積、 V_f は漂流物の全体積、 V_p は桁下空間及び橋面上に流れた漂流物の体積である。 V_{pn} は橋桁に衝突せずに流れた漂流物の体積、 V_{pl} は橋桁に衝突して流れた漂流物の体積である。また、 V_{cv} は橋桁に衝突して、橋桁前面及び桁下空間に詰まった漂流物の全体積である。 L_b は桁長から橋台への桁かかり長を引いた長さであり、 L_f については漂流物が橋桁に衝突して部分的に桁下空間に詰まり、その長手方向の長さを橋軸方向に正射影した長さの中の最大値を採用する。 V_l は橋面上に残留した漂流物の体積である。

4. 考察：津波流速 v_{ave}^3 と通過率 γ_p の関係については(図3(a))、桁下高 hc が低い場合には $v_{ave}^3 = 14.30 \sim 24.8 \text{ cm/s}$ と大きくなるに従って $\gamma_p = 0.370 \sim 0.68$ まで大きくなる。津波流速 v_{ave}^3 と通過率 γ_{pn} 及び γ_{pl} の関係については(図3(b),(c))、橋桁に衝突せずに流れた漂流物の通過率 γ_{pn} が顕著な変化を示さないものの、橋桁に衝突した漂流物の通過率 γ_{pl} は v_{ave}^3 に従って $\gamma_{pl} = 0.419 \sim 0.482$ まで大きくなる、この特徴は v_{max} と v_{ave}^1 に比べて v_{ave}^3 の方がより顕著となる。桁下高 hc が高い場合には、 $v_{ave}^3 = 17.12 \sim 44.4 \text{ cm/s}$ と大きくなるに従って、 γ_p は横ばいとなり、およそ $\gamma_p = 0.78$ となる。前面波高 a_f と γ_p の関係については(図4(a))、桁下高 hc が低い場合には、 a_f が $a_f = 3.44 \sim 7.52 \text{ cm}$ と高くなるに従って γ_p が $\gamma_p = 0.273 \sim 0.780$ まで大きくなる。一方、桁下高 hc が高い場合には、 a_f が $a_f = 3.32 \sim 8.39 \text{ cm}$ と高くなるに従って、逆に $\gamma_p = 0.846 \sim 0.194$ まで小さくなる傾向を示す。 γ_{pn} に着目すると、桁下高 hc が最も低い場合には、 $a_f = 3.44 \sim 6.16 \text{ cm}$ と高くなるほど、橋桁に衝突せずに流れた漂流物の通過率は $\gamma_{pn} = 0 \sim 0.284$ まで高くなる。それより桁下高が高い場合には、漂流物が一定量となるため、 γ_{pn} が横ばいとなり、およそ $\gamma_{pn} = 0.38$ となる。漂流物の体積の観点からの閉塞率 γ_{cv} については、津波流速と前面波高に関わらず、 $\gamma_{cv} = 0, 0.146, 0.292$ に大別される。表1に示す漂流物6番が重量及び体積の観点から最も大きく、それらの漂流物の閉塞が桁下区間への閉塞率を支配する。漂流物の長さの観点からの閉塞率 γ_{cl} については、同様に、津波流速と前面波高に関わらず、40%以上の実験ケースにおいて $0.169 \leq \gamma_{cl} \leq 0.450$ となる。漂流物の橋面上の残留率 γ_l については、貯水部水位が $h = 120 \text{ mm}$ の場合に、漂流物が橋面上に残留し始め、桁下高が最も高い $hc = 30 \text{ mm}$ の場合には、 $v_{ave}^3 = 19.44 \sim 28.58 \text{ cm/s}$ 及び $a_f = 3.50 \sim 4.23 \text{ cm}$ の範囲で、重量及び体積の観点から小さい1番、2番、3番の漂流物がおおよそ1割合以上橋面上に残留する。

謝辞：水理実験及びビデオデータ処理においては、元筑波大学大学院システム情報工学研究科の原昌弘氏、水越湧太氏及び中嶋千穂子氏に多大なご協力を頂きました。ここに記して厚くお礼申し上げます。

キーワード 津波、橋桁、津波漂流物、漂流物の漂流と滞留、水理実験

連絡先 〒305-8573 茨城県つくば市天王台1-1-1 筑波大学大学院システム情報工学研究科 TEL029-853-7368

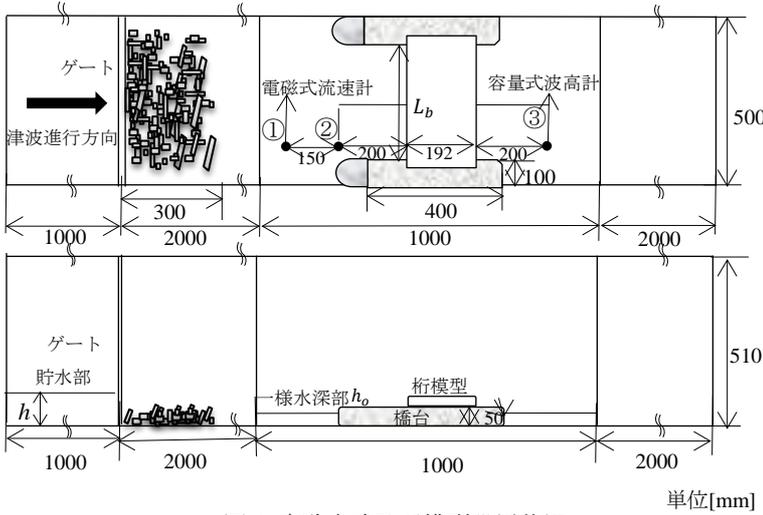


図1 実験水路及び模型設置状況

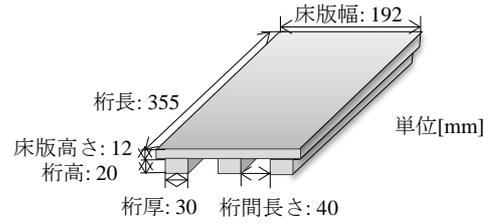


図2 橋桁模型

表2 実験条件

番号	静水深 h_0 [mm]	桁下高 hc [mm]	貯水部水位 h [mm]	記号
1	20	30	90	*
2	30	20	90	*
3	20	30	100	*
4	30	20	100	*
5	40	10	100	*
6	20	30	120	*
7	30	20	120	*
8	40	10	120	*
9	20	30	150	*
10	30	20	150	*
11	40	10	150	*

表1 漂流物模型のサイズ

番号	実物の長さ[mm]	長さ[mm]	幅[mm]	高さ[mm]	数量	重量(浸水1時間)[g]
1	1000	18.5	10	10	38	1.79
2	3000	55.5	10	10	17	5.1
3	5000	92.5	10	10	9	8.01
4	4850	90	20	12	12	21.2
5	8000	150	20	7	5	34.8
6	5400	100	60	27	3	95.67

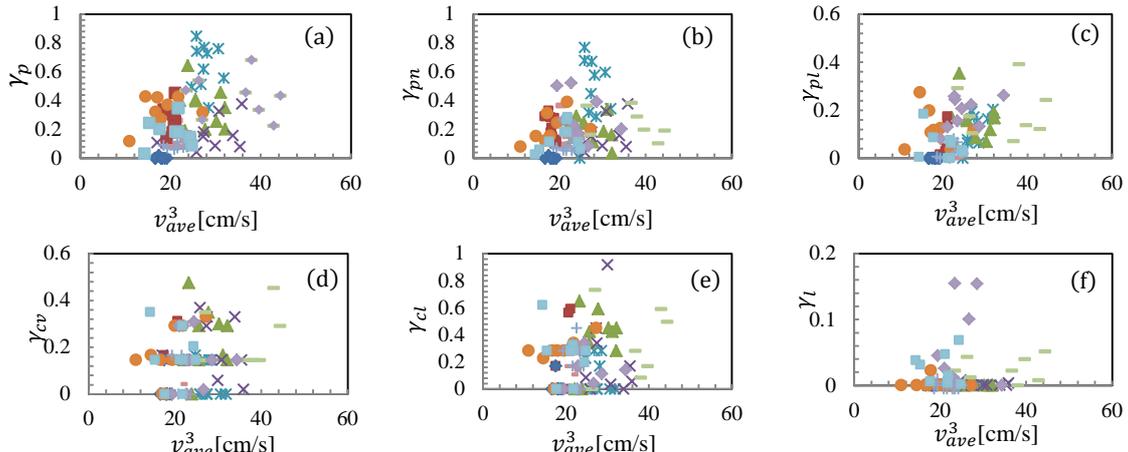


図3 流速3秒間の時間平均 v_{ave}^3 と漂流物の通過率, 閉塞率及び残留率の関係

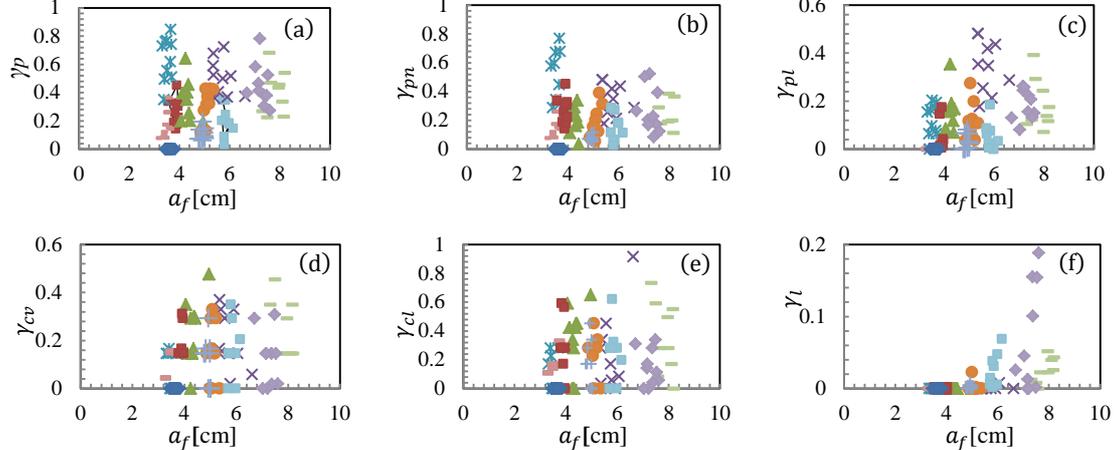


図4 前面波高 a_f と漂流物の通過率, 閉塞率及び残留率の関係

参考文献: 1) 庄司学, 森洋一郎: 桁橋の津波被害再現実験, 海岸工学論文集, 第53巻, 土木学会, pp.801-805, 2006. 2) 庄司学, 嶋原良典, 大伴行平: 橋桁に作用する津波波力のモデル化, 日本地震工学会論文集, 第16巻, 第8号, pp.88-109, 2016. 3) 松富英夫, 藤井碧, 山口健: 漂流物を伴う氾濫流の基礎実験とモデル化, 海岸工学論文集, 第54巻, 土木学会, pp.226-230, 2007. 4) 嶋原良典, 許松, 多田毅: 津波漂流物モデルの現地スケール問題への適用に関する考察, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol. 72, No.2, pp. I_427- I_432. 2016.