一様流中の橋桁に作用する流れ方向の流体力に関する一考察

(公財)鉄道総合技術研究所 正会員 ○河村 佳英,渡辺 健,大野 又稔,岡本 大 大成建設(株) 正会員 織田 幸伸

<u>1. 目的</u>

平成23年の東日本大震災において、多くの橋りょうが流出被害を受けた.津波により橋桁に作用する流体力は 津波波形の立ち上がり部分では水塊の衝突による衝撃的な力が生じ、その後は準定常的な力が生じると考えられ る.東日本大震災の被災橋りょうに関する報告において、橋桁に働く流れ方向の作用力は、その殆どが抗力係数 を用いて算定されている.しかし、抗力係数に関する研究は、一様空気流中に設置された物体のほか、非水没物 体や河床に設置された水没物体を対象としたものが多い¹⁾.本研究では、初期水深、流速、没水深、迎角をパラ メータとして、自由表面を有する一様流中の橋桁に作用する流体力の変化について検討した.

2. 実験方法

本研究では、一様流中の橋桁を模擬した試験体に作用する、流れ方向の流体力 F_x を計測した. 図-1 に試験体の概要を示す. 試験体は単線 T 形桁を対象として、縮尺は 1/30 とした. 試験体表面に作用する局部的な圧力(以下、 P_i)は、試験体に埋込んだ圧力計により計測し、試験体に作用する合力は、6 分力計を用いて計測した. なお分力計は、アルミ製の支柱を介して試験体と固定した. 表-1 に実験ケースを示す. 実験ケースは、初期水深を3 ケース、流速を 2~4 ケースとした. 実験ケースにおけるレイノルズ数は 4.05×10⁴~1.07×10⁵ であり、流れは乱流と考えられる. 図-2 に本研究で用いた水路を示す. 水路幅と試験体の水路直角方向の長さは、500mm とした. 初期水深を変化させるため下流側には越流堰を設けた. 試験体の迎角は、90°、45°とした. 計測のサンプリング周波数は 10Hz とし、計測結果から 2 分間の平均値として、抗力、圧力、水深、流速の各値を求めた. 水位の代表値は、試験体上流側 1000mmの位置で計測し、流速の代表値は同位置の 4 割水深とした.

<u>3. 検討結果</u>

はじめに没水深と迎角が水深と流速に与える影響について検討する. 図-3, 図-4に試験体の没水深 h_d '(上流 側水位から桁下端までの高さ)と初期水深 h_1 に対する試験体没水後の水深 h_i の比の関係,および h_d 'と初期流速 u_1 に対する試験体没水後の流速 u_i の比の関係を示す.ここで h_i は、 h_d 'の増加とともに上昇している.全ての実験 ケースにおいて、 h_d 'の増加に伴い h_i/h_1 が増加し、 u_i/u_1 が低下した.本実験では、各ケースで流量が一定である ため、 $u_i/u_1 と h_i/h_1$ は概ね反比例の関係となっている.また、Case8,9は、概ね同一曲線上にあることがわかる. Case8,9は下流側が射流状態であり、この場合、 h_i が h_d 'の増加に伴い上昇しても、流量に関係なく、没水深に対 して同一の曲線に乗ることがわかる.

次に、図-5、図-6に迎角 90° および 45° における $u_i^2 \ge F_x$ の関係を示す.図の(a)は、桁の一部が没水している状態を、図の(b)は全没水した状態の結果を示している.一般に一様流中に設置された水没物体に作用する流体力には、式(1)による抗力の式が用いられる²⁰.



 $C_D = \frac{2F}{\rho_0 A v^2} \cdot (1)$

キーワード 一様流,抗力係数,没水深,迎角

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 (公財)鉄道総合技術研究所 構造物技術研究部 コンクリート構造 TEL042-573-7281



ここに、 C_D : 抗力係数、F: 抗力、 ρ_0 : 水の密度、A: 流れ方向の物体の投影面積、v: 流速である.

これによれば、抗力は投影面積と流速の二乗に比例する. 全没水前は、h_d'の増加とともにh_iが増加してu_iは小 さくなるが、投影面積の増大の影響が大きく、抗力は大きくなっていると考えられる. 一方で全没水後は、投影 面積は変化しないにも関わらず、流速の低下とともに抗力が大きくなっている. また、流量が異なる(例えば Case1,2,3)と、抗力の値は同じ流速に対し大きく異なる. 初期水深の違い(例えば Case2,5)の影響も、全没水後 に大きく表れている. このことは、水深に対して桁高が比較的大きい今回の実験において、抗力係数が唯一に定 まらず、流量や初期水深の影響により抗力が定まることを示唆している. 常流状態の Case1~7 と、射流状態の Case8,9 を比較すると、その傾きが顕著に異なっている. 両者は、桁の上流側はともに常流状態であることから、 下流側の流れが常流か射流かにより抗力特性が異なると考えられる.

図-7 に h_d 'と F_x の関係を示す.図-3,4 と同様に、Case8,9 は同一線上にあることから、下流側が射流状態の場合は、上流側の h_d 'のみによって抗力が定まることが分かる.また、図-7 (a)(b)から、各 Case において、 h_d 'がある程度大きくなると、傾きが小さく一定値に近づく傾向が見られる.図-5,6 では h_d 'の増加にともない抗力は増加しているが、桁が十分に没水すると、抗力が一定すなわち抗力係数が一定の値に近づくことが分かる.この要因について、局部的圧力の計測結果から若干の考察を加える.

図-8 に Case1 における h_d ' と P_i の関係を示す. P_i は大気圧を 0 とした.赤のプロットは試験体の上流側,青の プロットは下流側の圧力を示している.上流側の圧力は h_d 'の小さい段階から,没水深に応じた圧力(傾き 9.8) が生じているが,下流側圧力は上に凸の曲線となっており,没水深に対する圧力の上昇が小さいことが分かる. また, Δ 印(P8)以外の青のプロットに着目すると,試験体が完全に没水する h_d '=0.14m では,殆ど圧力が生じ ておらず, h_d 'が概ね 0.2m を上回ってから,圧力が生じ始めることがわかる.図-7 の Case1 におけるプロットの 傾きは, h_d '=0.2m 付近から小さくなっていることから,下流側の面における局部的圧力の発生と合力のプロット の傾きの変化が対応していることがわかる.つまり, h_d '=0.14~0.2m において,下流側に没水深に応じた局部的 圧力が発生しないことが,図-7 における傾きを大きくしている要因の一つと考えられる.また,(a)(b)から,迎 角 45°と比べて 90°のほうが上記の傾向がより顕著であることが分かる.

<u>4.まとめ</u>

- (1) 迎角 90°では、試験体の没水に伴う u_i/u_1 の減少量は、概ね h_i/h_1 の上昇量に応じた値となる.
- (2)橋桁の高さが水深に対して比較的大きい今回の実験条件において,抗力係数は唯一に定まらない. 下流側が射流状態の場合は上流側の没水深,常流の場合は流量と初期水深の影響が,抗力に対して支配的となる.
- (3)局部的圧力について,試験体が一定程度没水するまでは、下流側の面において没水深に応じた局部的圧力が発生しない.また,迎角 45°と比べて 90°のほうが、上記の傾向がより顕著である.
- なお、本研究は国土交通省の鉄道技術開発費補助金を受けて実施した.
- <u>参考文献</u> 1) 重枝,秋山,野中,浅野:定常自由表面流中の水没物体に働く流体力,水工学論文集,第48巻, pp.877-822, 2004 2) 国土交通省港湾局監修:港湾の施設の技術上の基準・同解説,社団法人 日本港湾協会, 2007