

## 持続波力が橋桁に作用した際の鉛直力に関する傾向分析

(株)長大 正会員 佐藤 崇  
九州工業大学 名誉教授 正会員 幸左 賢二

### 1. 目的

2011年東北地方太平洋沖地震津波では、海岸線に位置する橋梁のみならず河川を遡上した津波により橋梁上部構造が多く流出した。一方、令和2年7月豪雨では熊本県の球磨川では洪水により橋梁上部構造が多く流出し、水流が橋桁に作用した場合の脆弱性が問題となっている。そこで、橋桁への作用メカニズムを明らかにすることを目的に本研究では津波と洪水の両外力に共通する持続波力に着目し、定常流実験を行った結果から橋桁に作用する鉛直力に及ぼす種々の影響について検討を行った。

### 2. 実験条件

図-1、図-2に本実験で用いた水路および水路断面の概要図を示す。水路脇に設置されている鋼管は、水路に直接つながっており、この鋼管を介して回流ポンプで水路内の水を流入・流出させて水路内に定常的な流れを発生させ、準定常的な持続波を模擬した。使用した桁模型はアクリル製で実橋の1/50スケールで作成し、桁形状は図-2に示す桁幅や桁高を変化させた7種類の模型を用いた。桁が完全に水没した場合を想定し、水面から-21cmの位置で水路内に固定し作用力を計測した。作用させた定常流の流速 $V_x$ は50cm/s、75cm/s、100cm/sの3ケースとした(実スケールでは3.5m/s~7.1m/s)。流速計は同図中のV1、V2、V3に水平方向の流速を測定できるプロペラ式流速計を使用し、V1とV3は模型への衝突による乱れのない流速の計測を行うために側壁の隣に設置した。V1流速計は桁と同位置の高さに設置し、V3流速計は定常流内の平均的な流速を捉えることを目的として静水深中央に設置した。

### 3. 鉛直力と浮力の関係

図-3は水面から下方21cmの位置に設置した標準桁に水平流速100cm/sの持続波を作用した際の、V1水平流速 $v_x$ と桁に作用する鉛直力 $F_z$ の時刻歴波形である。 $F_z$ は細かい揺れと大きな揺れが混在した波形であるが、ここでは $v_x$ ともに30秒間の平均値で評価することとした。図-4は水平流速 $v_x$ と浮力 $U$ に占める鉛直力 $F_z$ の比率の関係をプロットした図である。同図より、 $v_x$ が遅い場合は $U$ より大きい $F_z$ が作用するものの、100cm/s程度の速い流速作用下では $U$ 以上の $F_z$ は作用しない。

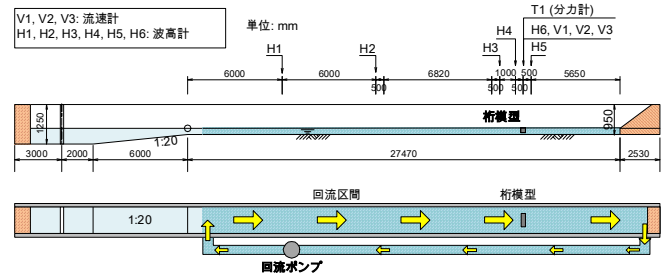


図-1 実験装置概要

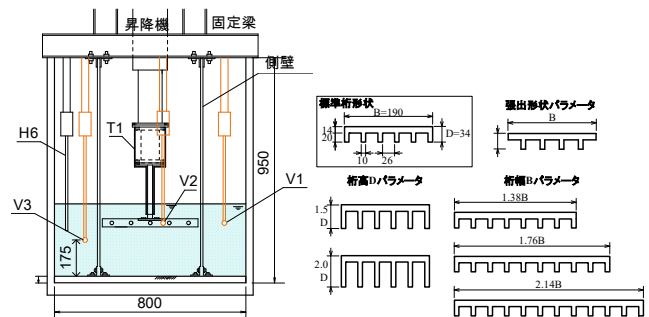


図-2 水路断面図と桁模型形状

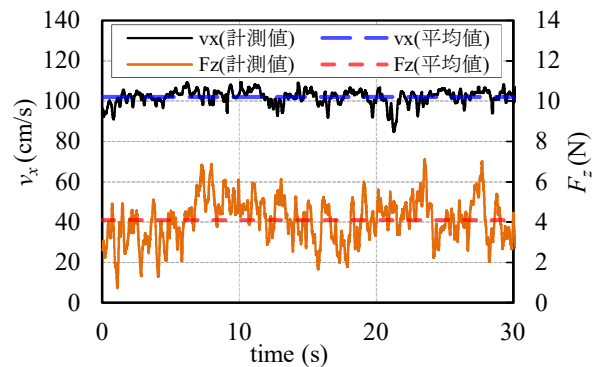


図-3 時刻歴波形 (標準桁, Z=-21cm,  $V_x=100$ cm/s)

キーワード 津波, 洪水, 桁作用力, 持続波力

連絡先 〒305-0812 茨城県つくば市東平塚730 株式会社長大 総合研究所 TEL 029-855-3113

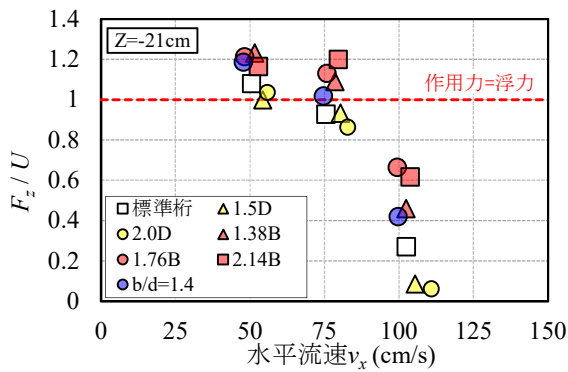


図-4 浮力と鉛直力の関係

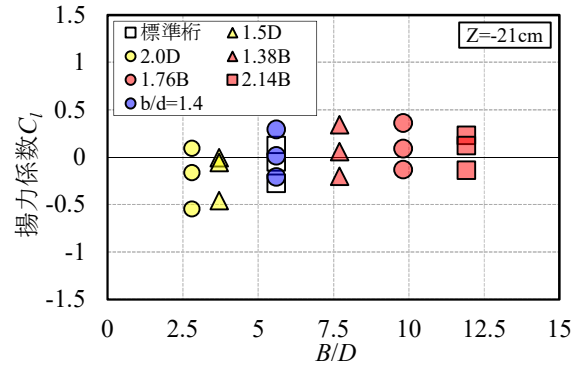


図-5 桁形状と揚力係数の関係

#### 4. 桁形状が鉛直力に及ぼす影響

図-5 は、横軸に桁高  $D$  に対する桁幅  $B$  の比率を、縦軸に揚力係数  $C_l$  とし桁形状の異なる 7 ケースの実験結果を比較した図である。  $C_l$  は  $F_z$  から  $U$  を差し引いた鉛直力  $F_z'$  に対して下記の式より求めた。

$$C_l = 2F_z' / (\rho \cdot v_x^2 \cdot A_v) \quad \text{式(1)}$$

ここで、 $\rho$  は密度、 $A_v$  は被圧面積として桁底面積を用いた。同図より  $B/D$  が小さくなるにつれ、桁側面に作用した流れが越流して桁上面に作用するダウンフォースがより大きくなるため上向きの  $C_l$  は小さくなる傾向（扁平な桁の方が揚力は生じやすい）が若干みられる。一方、図-4 に示すように流速に応じてダウンフォースの影響も変化するため、流速の二乗に比例する  $C_l$  を用いた評価は難しいと考えられる。

#### 5. 桁位置が鉛直力に及ぼす影響

図-6 に桁位置と  $F_z/U$  の関係について他機関<sup>1)~3)</sup>での実験結果を合わせて示す。同図より、他機関での実験結果は  $F_z/U$  が 1 よりも小さいため、 $U$  より大きい  $F_z$  は生じていないことがわかる。桁位置と  $F_z/U$  の関係はどの実験結果も水面付近では負の値であり、浮力が作用している状態においても下向きの  $F_z$  である。また、桁位置が水面から離れるにつれ  $F_z/U$  は 1 に漸近する傾向がみられる。著者らの一連の実験では、水深が深い位置に桁がある場合は  $F_z/U$  が 1 を上回る可能性があるが、水面付近では  $F_z/U$  はほぼ 1 以下であり  $U$  以上の  $F_z$  は発生しない。これは上述した図-7 に示すダウンフォースが大きいことが影響している。

#### 6. まとめ

実験結果より橋桁に津波や洪水等の持続波力が作用した場合、鉛直力のほとんどが浮力であるものの水面から深い位置に橋桁がある場合は、浮力以外に上向きの鉛直力が生じる可能性がある。ただし、河川と堤防との関係をふまえると何十 m も橋桁が水没することは考えにくいことから、橋桁に持続波力が作用することを想定する場合は、少なくとも浮力相当の鉛直力が橋桁に作用することを考慮すればよいと考えられる。

#### 参考文献

- 1) 有川ら：津波による橋梁の安全性に関する検討，土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol.69, No.2, pp.1\_911-I\_915, 2013.
- 2) 四條ら：津波入射波の形状が上部構造に作用する津波波力に及ぼす影響，土木学会論文集 A1(構造・地震工学), Vol.71, No.3, pp.277-294, 2015.
- 3) 佐藤ら：長周期波を用いた橋桁作用力特性の評価，土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol.71, No.2, pp.1\_979-I\_984, 2015.

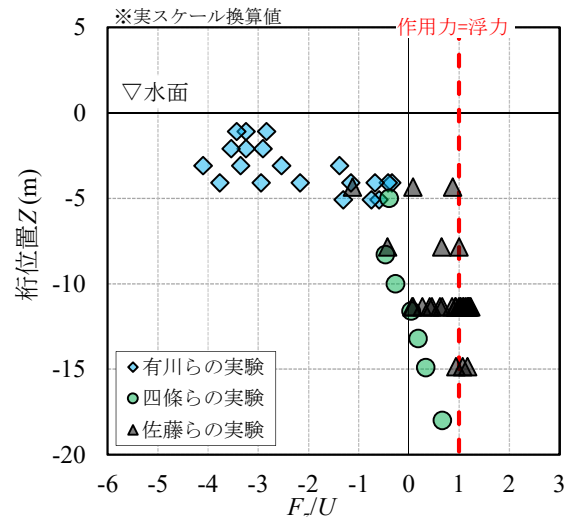


図-6 他機関の実験結果との比較

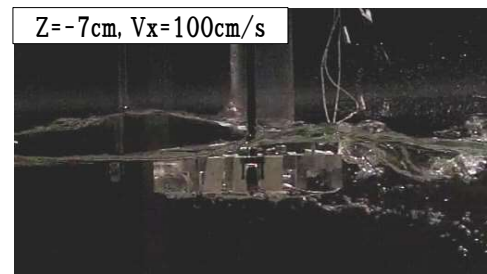


図-7 持続波の作用状況（標準桁）