

孤立波が作用する橋台に発生する津波波力の実験的検討

九州工業大学 学生会員 ○濱井 翔太郎 九州工業大学 正会員 幸左 賢二
(株)長大 正会員 佐藤 崇 大日本コンサルタント(株) 正会員 佐々木 達生

1. はじめに

橋梁構造物の耐津波設計において、上部構造に作用する津波波力に関する研究は、2004 年スマトラ沖地震津波を契機に多方面で行われているが、橋台に作用する津波波力に関する研究は著者の知る限りでは極めて少ない。

そこで本研究では、橋梁全体系を模擬した橋台間に津波が流入するような 3 次元水理模型実験を実施し、橋台に作用する波力および波圧に関する検討を行い、既往の直立構造物の実験結果との比較を行った上で孤立波の波高と橋台に発生する波圧の関係を明らかにした。

2. 実験概要

使用する長水路は、図-1 に示すように長さ 41m、幅 80cm、橋桁模型位置での水路深さ 95cm の片面ガラス張りの水路である。同図の左端の造波装置はスライド式造波装置であり、パソコン制御で、指令波高値と実験時の初期水深(水槽底から静水面までの高さ)を入力する。

模型は、図-2 に示すように河川堤防が存在せず、直接橋台が擁壁と連続している橋台として最も津波の影響を受けやすい状況を模擬しており、橋長 40cm、幅員 19cm、構造高 3.4cm (実橋換算で橋長 19.1m、幅員 10.2m、構造高 1.7m) の桁模型と、橋台高 232mm(実橋換算で 11.6m)の橋台模型からなる単純径間の橋梁を想定している。

実験パラメータは、表-1 に示す。橋台手前の時点の波高が橋台高よりも高く越流を生じる B2-1 から B2-6 と越流を生じない B2-7 から B2-9 の計 9 ケース実施した。本実験で対象とした津波は、段波を想定した碎波を生じない孤立波とした。

3. 橋台に作用する波力と波圧の関係

図-3 には、B2-3 ケースを代表例として分力計で計測した橋台の水平波力と、橋台の前背面に設置した波圧の積分値の時刻歴図を示す。同図によれば、最大水平波力は 45.0[N](14.105[sec])であるのに対し橋台の前背面に設置した波圧の積分値は 45.3[N](14.142[sec])と整合性が高い。また、最大水平作用力発生時の橋台前面と背面の波圧の積分値はそれぞれ 53.6[N]、9.8[N]と、水平波力は橋台の前面側に作用する波圧が支配的であることがわかる。

4. 橋台に作用する波圧分布

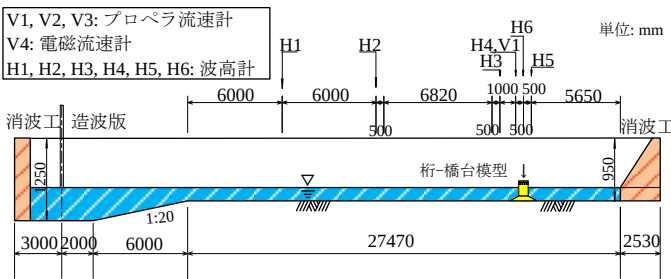


図-1 実験装置全体図

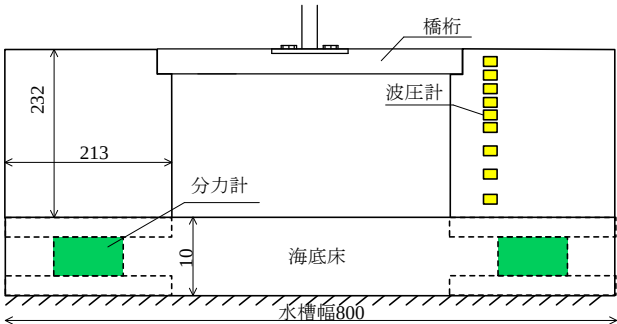
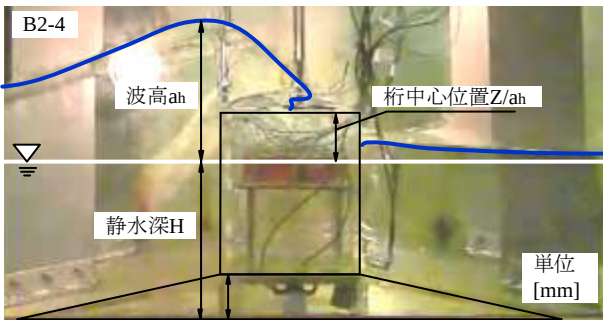


図-2 橋梁模型図

表-1 実験ケース

ケース名	B2-1	B2-2	B2-3	B2-4	B2-5	B2-6	B2-7	B2-8	B2-9
H[cm]	29	27.75	26	25.25	24	23.5	17	17	17
ah[cm]	5	7.5	10	12.5	15	16	5	7.5	10
Z/ah	0.5			1.4			1.26	1.15	

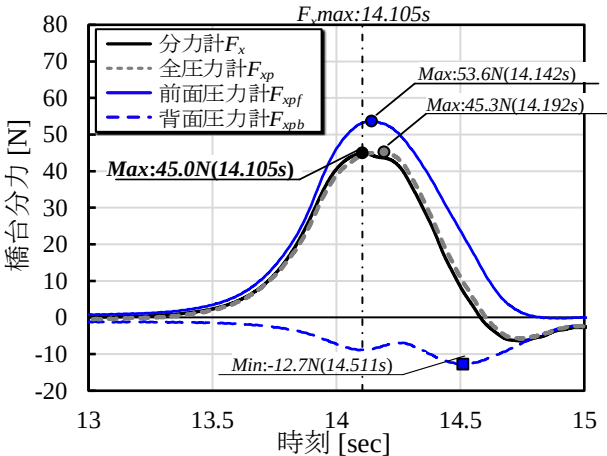


図-3 水平波力と波圧の整合性

図-4 に示すのは、橋台の前面に作用する波圧分布である。同図より、静水面以上の波圧分布の高さ方向に直線的に反比例する分布形状は全ケース同様である。また、全ケースにおいて静水面付近で最大波圧が発生しており、静水面以下の波圧分布は一定である。

図-5 は、橋台前面の波高 Z と入射波高 a_H の比である α (水深係数) と図-4 に示した橋台前面に生じる波圧を水の密度 ρ と重力加速度 g 、および入射波高 a_h で無次元化した β (波圧係数) の関係を示す。各ケースの α と β は 1.0~1.6 の範囲に分布し、波高の変化による大きな違いは見られない。ここで、 $\alpha = \beta$ と仮定して $\alpha \geq 0.0$ の傾きを 1 とすれば $\alpha = \beta = 1.5$ の関係が導かれる。この結果は合田式や朝倉式に用いられる $\alpha = 3$ に対して 1/2 程度であり、これは入射津波の進行に対する橋台と橋台の間の桁下に存在する開口部に波が流入する影響であると推測される。

5. 他機関との実験比較

前述の開口部の有無が水深係数 α に及ぼす影響を考察するために、本実験のように開口部のない構造物を対象とした合田らの実験結果との比較を行った。

合田らの実験では、同じ造波条件で大型と小型の模型を用いており、それぞれ越流無し、越流有りとなっている。まず、これらの越流有無の結果について、越流率 R ((静水深+入射波高)/(構造物高)) に対する水深係数 α を同義に評価するために、式(1)で表される水深係数比 r (越流無 α_2 / 越流有 α_1) を算出した。

$$r = \alpha_2 / \alpha_1 = 0.52R + 0.48 (R \geq 1) \quad \text{式(1)}$$

合田らの越流が生じるケースの近似直線は式(2)で表され、式(1)を導入すれば越流無しのケースの見かけ上の水深係数と越流率の関係を表す式(3)が得られる。

$$R = -0.61\alpha_1 + 2.29 (R \geq 1) \quad \text{式(2)}$$

$$\alpha_2 = -0.85R^2 + 1.17R + 1.80 (\alpha \geq 1, R \geq 1) \quad \text{式(3)}$$

図-6 に示すのは、本実験と合田らの実験の水深係数 α と越流率 R の関係である。同図によれば越流率の増加に伴って水深係数は減少する傾向にあることがわかり、例えば図中に示すように越流率 1.4 の場合、水深係数は越流有りの影響で 17% 減少する。さらに本実験と式(2)を比較すると、前述のように津波の進行を妨げない開口部がある場合、この開口の影響で水深係数は 37% 減少する。よって、本実験の水深係数が既往の実験式に対し 1/2 程度となるのは、開口による影響であるといえる。なお、開口による水深係数の低減率は越流率に関わらず概ね一定である。

以上のことから、橋台に対する波圧式は入射波高の 1.5

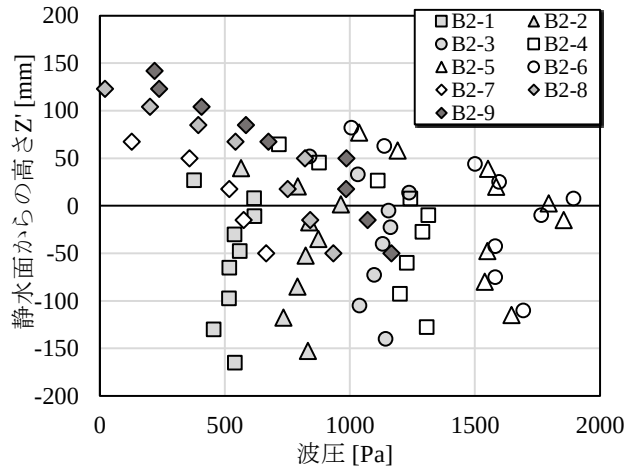


図-4 橋台前面の波圧分布

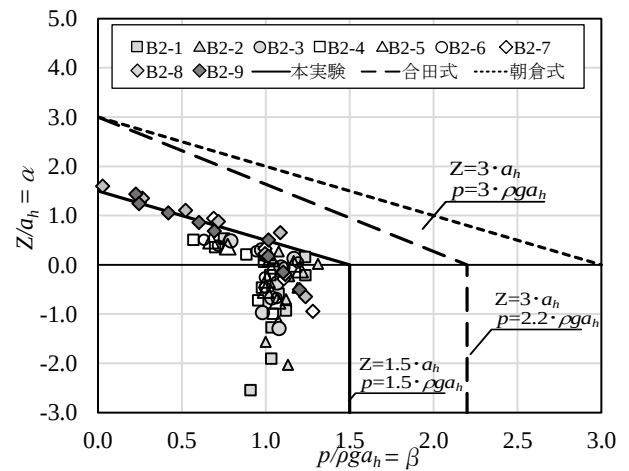


図-5 無次元化波圧分布

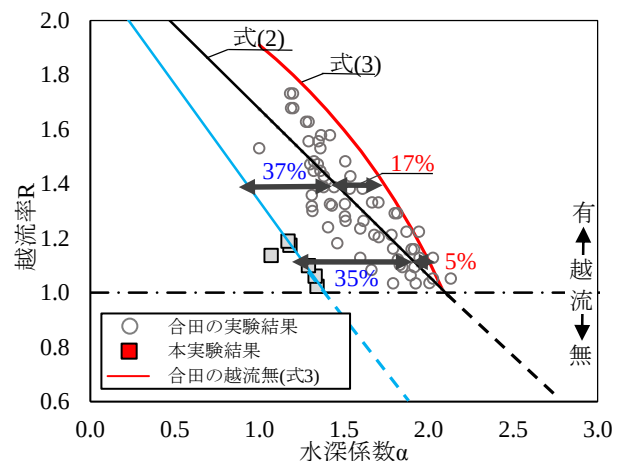


図-6 越流率と水深係数の関係

倍とすれば安全側に評価できると考えらえる。

6. まとめ

- (1) 孤立波が作用する橋台に発生する水平波力は、橋台の前面と背面のそれぞれに生じる圧力と面積の積分値であり、特に前面の波圧が支配的である。
- (2) 橋台に作用する波圧式は、開口部の影響で既往の直立構造物を模擬した実験式に対して 1/2 程度に減少し、水深係数 1.5 で全体を包括する。