

## 津波外力による橋脚の局所洗掘に関する実験

パシフィックコンサルタンツ(株) 正会員 ○市山 誠  
 パシフィックコンサルタンツ(株) 正会員 江島 敬三  
 パシフィックコンサルタンツ(株) 正会員 藤堂 正樹

東日本大震災の現地調査等において、河川河口部に架かる橋梁は上部工の流失と共に橋脚周辺で局所洗掘が発生していた事例があった。本研究は、津波外力による橋脚の洗掘について実験的に検討したものである。

### 1. 目的

橋脚周辺の流れは、橋脚前面で左右に分かれる流れと前面で鉛直下方に橋脚に沿う下降流とに大別され、通常の洪水では橋脚前面での下降流は河床に衝突し、河床材料を巻き上げる縦渦となり、局所洗掘を生じさせる。津波の場合には、「押し波」や「引き波」が作用することにより橋脚の上下流で洗掘が生じる。本研究は、津波外力によって生じる橋脚の洗掘現象を把握するために、水路実験を実施したものである。

### 2. 実験装置の概要

実験には、幅 0.9m、長さ 20.0m、高さ 0.6m の二次元水路を用いた。洪水を想定した流れは、実験水路上流端からの給水によって等流状態で流下させた。津波の押し波を想定した実験は、実験水路上流部の転倒ゲートを閉めた状態で流水を湛水し、その後一気に転倒ゲートを倒伏させ津波を発生させた。さらに、津波の引き波は、水路下流端の下流調節ゲートによって水路内に湛水させ、一気に調節ゲートを倒伏させ引き波を発生させた。水路内に設置した橋脚模型は、幅 5cm、長さ 33.0cm の小判形状とした。橋脚模型周辺の移動床範囲は延長 4.85m とし、橋脚上流端から 1.0m 下流に固定床を設け、河床が低下しない形状とした。なお、押し波実験時は、水路上流が海側で、引き波実験時は水路上流が陸側である。

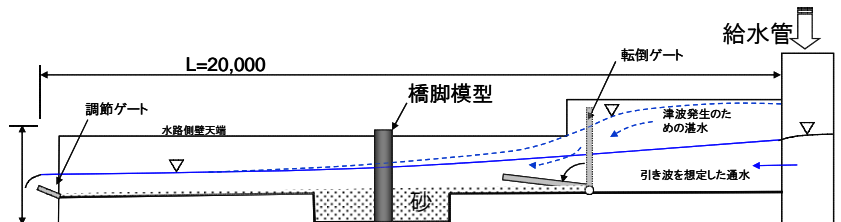


図-1 実験装置の概要

表-1 水理条件

を倒伏させ津波を発生させた。さらに、津波の引き波は、水路下流端の下流調節ゲートによって水路内に湛水させ、一気に調節ゲートを倒伏させ引き波を発生させた。水路内に設置した橋脚模型は、幅 5cm、長さ 33.0cm の小判形状とした。橋脚模型周辺の移動床範囲は延長 4.85m とし、橋脚上流端から 1.0m 下流に固定床を設け、河床が低下しない形状とした。なお、押し波実験時は、水路上流が海側で、引き波実験時は水路上流が陸側である。

条件	項目	単位	値
等流 (洪水)	水深	$h_0$ (cm)	13.0
	水面勾配	$I$ (1/i)	1,000
	流量	$Q$ ( $\frac{m^3}{s}$ )	48.0
	平均流速	$U$ (cm/s)	37.0
	フルード数	$Fr$	0.33
	無次元掃流力	$\tau^*$	0.20
	粗度係数	$n$	0.019
津波 (押し波) NO.1	最大津波高	$h_1$ (cm)	13.0
	最大流速	$U'$ (cm/s)	135.0ピーク後
	継続時間	$T$ (sec)	25.0
津波 (押し波) NO.2	最大津波高	$h_1$ (cm)	28.0
	最大流速	$U'$ (cm/s)	135.0ピーク後
	継続時間	$T$ (sec)	20.0
津波 (引き波)	初期湛水	$h'$ (cm)	25.0
	最大流速	$U'$ (cm/s)	0.85
	継続時間	$T$ (sec)	23.0
橋脚等条件	河床材料	$d$ (cm)	0.04
	橋脚幅	$D$ (cm)	5.0
	橋脚長	$L$ (cm)	33.0(小判型)
	水深橋脚幅比	$h_0/D$	2.6
	水深粒径比	$h_0/d$	325

### 3. 水理条件

実験実施にあたって、橋脚無し状態で実験水路での水理諸元等を設定した。始めに予備実験(CASE1-1)では津波高を「13.0cm」を設定し、その津波高を等流水深とした河口部の水面勾配 1/1,000 程度になる流量を設定した(表 1 参照)。押し波に対しては、実験水路の能力の最大となる 20cm (CASE1-2)、引き波に対しては、湛水可能な水深 25cm を目安に実験を実施した。

### 4. 実験ケース

実験は、津波の押し波と引き波および洪水を想定した等流流れに対して実施した。等流(洪水)条件は、津

キーワード 津波外力, 橋脚局所洗掘, 水理実験, 押し波, 引き波

連絡先 〒300-4204 茨城県つくば市作谷 642-1 パシフィックコンサルタンツつくば技術研究センター 029-869-1041

波実験で実施した津波高 13.0cm (等流水深) および通水時間 (津波継続) を合致させ洗堀深を比較できるように設定した。なお、CASE3-1 等流 (洪水) の継続時間 25sec は、CASE1-1 の津波高 13.0cm の継続時間 25sec と合わせ、洗堀深が比較できるように設定した。

5. 実験結果

(1) 津波による洗堀深

実験結果を表-3、通水後の河床縦断を

図-3、津波作用時の流況を写真-1 に示す。押し波 CASE1-1 の最大洗堀深は津波継続時間 25sec で  $Z=6.5\text{cm}$ 、押し波 CASE1-2 の最大洗堀深は津波継続時間 20sec で  $Z=7.0\text{cm}$ 、引き波 CASE2 の最大洗堀深は津波継続時間 23sec で  $Z=5.0\text{cm}$  であった。通常、洪水による局所洗堀の場合には橋脚前面部で洗堀された土砂が橋脚下流部に堆積するが、津波の場合には掃流力が大きいことで橋脚下流部に堆積せず更に下流に移動していた。

(2) 等流 (洪水時) の洗堀深 : CASE3

等流実験では、津波継続時間と等流通水時間を合致させた CASE3-1 および洗堀深の定常状態確認のため 8 分間通水した CASE3-2 を行った。等流状態の「通水時間と洗堀深」の関係を図-2 に示す。その結果、洗堀深の定常状態は 6 分で  $6.0\text{cm}$  となった。CASE3-1 の通水時間 25sec は、水路下流の調節ゲートを用いて、等流状態で通水時間 25sec になるように調整した。

6. 津波と等流 (洪水) の洗堀深の評価

津波 CASE1-1 と等流 CASE3-1 の継続時間が 25sec と等しい場合、等流の洗堀深  $3.8\text{cm}$  に対して津波による洗堀深は、 $6.5\text{cm}$  となり約 170% 助長される結果と成った。最大洗堀深は、CASE1-1 が  $6.5\text{cm}$ 、CASE1-2 が  $7.0\text{cm}$  であり、洗堀深はほぼ等しい。さらに、同一水深の CASE1-1 と CASE3-2 の場合ほぼ等しい洗堀深となった。なお、引き波の洗堀深は、 $5.0\text{cm}$  である。

7. まとめ

本研究では、等流 (洪水)、津波の押し波と引き波に対して実験を実施し、ある条件下 (津波高、継続時間、粒径等) の洗堀深を定量的に把握できた。しかしながら、津波の継続時間が長くなることで橋脚の局所洗堀深が増加することが考えられことから「津波の継続時間」を考慮した実験を行うことが必要である。

表-2 実験ケース一覧表

ケース	津波高 (cm)	継続時間 (sec)	備考	
津波遡上実験	CASE1-1	13.0	25.0	津波遡上の洗堀深の把握(等流との比較)
	CASE1-2	28.0	20.0	津波遡上の洗堀深の把握(最大津波高)
津波引波実験	CASE2	—	23.0	津波引波の洗堀深の把握(最大湛水位)
等流 (洪水)	CASE3-1	13.0	25.0	津波継続時間に合わせた洗堀深の把握
	CASE3-2	13.0	360.0(定常)	等流の定常状態の洗堀深の把握

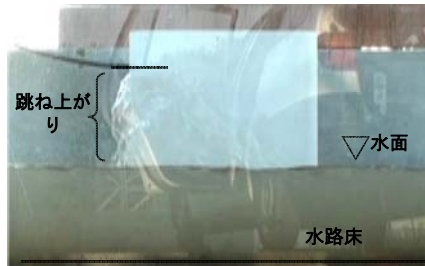


写真-1 押し波の作用状況

表-3 実験結果 (最大洗堀深)

ケース	最大洗堀深 (cm)	洗堀深 / 橋脚幅
CASE1-1	6.5	1.30
CASE1-2	7.0	1.40
CASE2	5.0	0.90
CASE3-1	4.0	0.8
CASE3-2	6.0	1.2

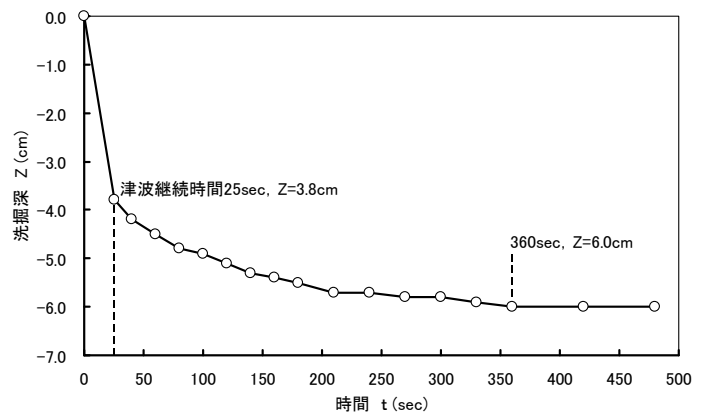


図-2 継続時間と洗堀深の関係

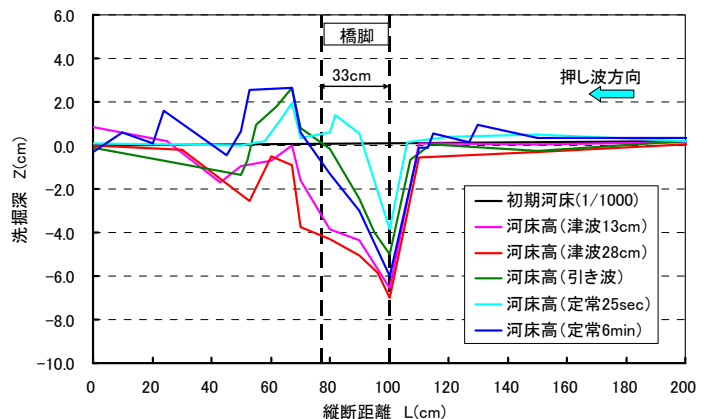


図-3 通水後の河床高縦断図 (水理中心沿い)