

## 係留式越波対策工に作用する最大張力の推定に関する水理模型実験

九州大学工学部 学生会員 ○新免和明  
 九州大学大学院 学生会員 坂本聡太  
 九州大学大学院 正 会 員 山城 賢  
 九州大学工学部 児玉充由  
 東亜建設工業株式会社 正 会 員 原 知聡, Ain Natasha Balqis,  
 倉原義之介, 武田将英

### 1. はじめに

地球温暖化による台風の強大化や海面上昇の影響に伴い、将来的に越波の発生頻度が高まり、過去に越波が生じていなかった護岸においても越波が発生するようになると考えられる。越波の対策としては、護岸の嵩上げや消波工の設置、防波柵の設置などが考えられるが、設置する空間や地形的制約、社会情勢の変化に伴う国や自治体の財政悪化などにより、これらの越波対策を行っていくのは困難な場合も想定される。以上の観点から、中谷ら<sup>1), 2)</sup>は、既存の護岸に図-1に示すような円柱状の物体を係留する低コストかつ簡易な越波対策工（以後、係留式越波対策工と呼ぶ）を提案し、不規則波を用いた水理模型実験により大きな越波低減効果が期待できることを示した。また、坂本ら<sup>3)</sup>は規則波を用いた水理模型実験により、係留索に作用する張力について検討した。将来的に本対策工を実用化するためには、係留策に作用する張力を把握することが必要であり、護岸で生じる波の打上げの状況から任意の寸法および重さの対策工について係留策に作用する張力を推定できる方法があれば設計上非常に有用である。そこで本研究では、坂本ら<sup>3)</sup>と同じ



図-1 係留式越波対策工の模型

入射波を直立壁に作用させて打上げ高や水位上昇速度を計測し、坂本らが計測した張力をもとに、打上げの状況から係留策に作用する張力を推定する手法について検討した。

### 2. 係留式越波対策工の概要

係留式越波対策工は、図-1に示すような円柱状の物体を2本の係留索で既存の護岸に吊り下げるもので、波に追従して上下に動く。この構造により、運搬や施工、交換、維持管理が容易に行え、陸側からの景観も妨げないといった利点がある。

### 3. 張力の推定に関する検討

#### 3.1 水理模型実験の概略

図-2に示す断面2次元造波水路（長さ23.5m × 高さ1.2m × 幅0.6m）にアクリル板で直立壁を設置した。直立壁を黒い板（1cm間隔で白色の格子線を有する）により水路幅の中央で仕切り、側面（ガラス面）から高

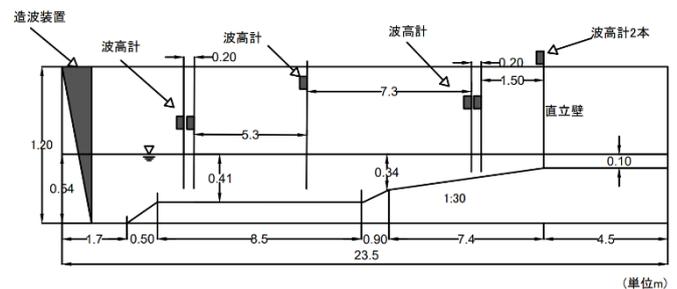


図-2 断面2次元造波水路

表-1 入射波条件

	T(s)	H <sub>0</sub> (cm)	H(cm)
Case1	0.745	6.67	6.59
Case2	1.04	6.67	6.21
Case3	1.34	6.67	6.11
Case4	0.745	8.89	8.79
Case5	1.04	8.89	8.28
Case6	1.34	8.89	8.16
Case7	0.745	11.1	10.98
Case8	1.04	11.1	10.36
Case9	1.34	11.1	10.22

速度カメラにより打上げの状況を撮影した。フレームレートは 400fps とした。板の逆側では直立壁の前面に 2 本の波高計を取り付け水位変化を計測した。また水路沖側，中央，直立壁の近くにも波高計を設置し合計 7 か所で水位変化を計測した。サンプリング間隔は 0.02s とした。入射波の条件を表-1 に示す。坂本ら<sup>3)</sup>と同じ 9 種類の規則波を用いた。H(cm)は造波装置前（水深 0.41m）での浅水変形を考慮した波高を示している。

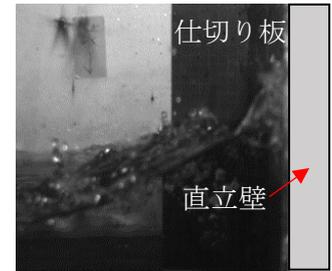


図-3 打上げの様子 (Case3)

3.2 実験結果

図-3 に打上げの状況 (Case3) を示す。波が壁面に作用すると大きく打ち上がる様子が分かる。図-4 上図は同じケースにおける直立壁前面での水位変化で，ほぼ定常となった第 5 波以降を示している。これらの図から分かるように波が壁面で打ち上がり水位が急激に変化する。図-4 中図は，水位変化の時系列から水位変化の速度を求めたもので，正が上昇，負が下降である。水位の変化に応じて，最高水位 (速度 0m/s) の前後で上昇から下降に急激に変化している。

3.3 最大張力の推定

実験時の観察によると，係留式越波対策工の係留策に作用する張力は，波によって対策工が可動範囲の上限まで持ち上げられたときに最大となることが多い。そこで流体中に置かれた円柱に作用する抗力をもとに以下の式(1)により張力を推定することを試みた。

$$D = C_D \frac{\rho}{2} U^2 A \cdot \cdot \cdot (1)$$

ここで  $C_D$  は抵抗係数で田古里ら<sup>4)</sup>を参照して  $C_D=0.74$  とした。  $\rho$  は水の密度 ( $1000\text{kg/m}^3$ )，  $U$  は流体と物体の相対速度 (m/s) で対策工は静止していると仮定して水位の上昇速度とした。  $A$  は基準面積 ( $\text{m}^2$ ) で，対策工模型の寸法 ( $d=0.05\text{m}$ ,  $l=0.30\text{m}$ ) から，  $A=0.015\text{m}^2$  である。水位変化速度から求めた張力の時系列を図-4 下図に示す。1 波作用する間に 2 度のピークが現れているが，2 度目のピークは水位が下降する際のもので，現実に作用している張力ではないため，1 度目のピークが検討対象となる。

図-5 は Case3 の第 5~10 波について，張力の推定値と坂本ら<sup>3)</sup>による実験値を比較したものである。全体的に推定値は実験値に比べて小さいが，本方法は簡易であるものの張力の推定に利用できる可能性がある。

4. おわりに

本研究では，係留式越波対策工の係留策に作用する張力について，流体中の円柱に作用する抗力を仮定し，波の打上げ速度から推定することを試みた。その結果，簡易な方法であるがある程度推定できることがわかった。今後は，対策工に作用する重力や浮力についても考慮し，簡易で精度のよい最大作用張力の推定方法の構築を目指す。

【参考文献】

- 1) 中谷ら (2019): 新たな越波対策工の提案とその効果に関する基礎的研究, 土木学会論文集 B3 (海洋開発), Vol.75, No.2, pp.I\_145-I\_150.
- 2) 中谷ら (2019): 簡易越波対策工の係留索に作用する張力に関する基礎的研究, 令和元年度土木学会全国大会年次学術講演会概要集 CD-ROM
- 3) 坂本ら (2021): 簡易越波対策工の越波低減効果と作用張力に関する基礎的研究, 令和三年度土木学会全国大会年次学術講演会概要集 CD-ROM
- 4) 田古里ら (1989): 流体工学 p. 170,171,172,173,174

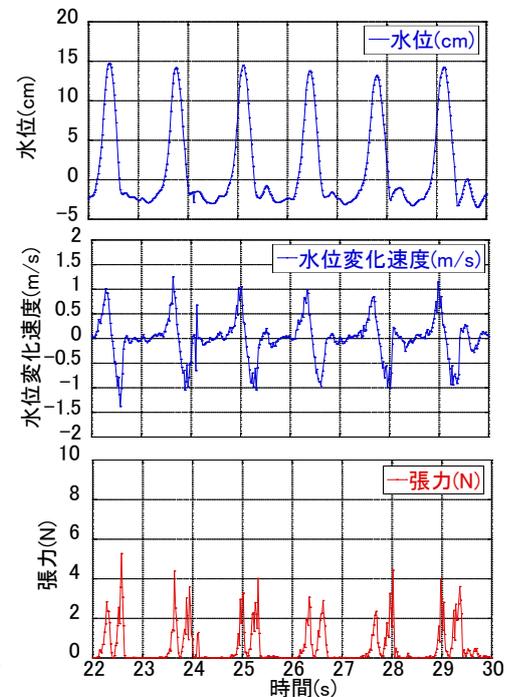


図-4 護岸前面の水位，水位の変化速度，張力の時系列

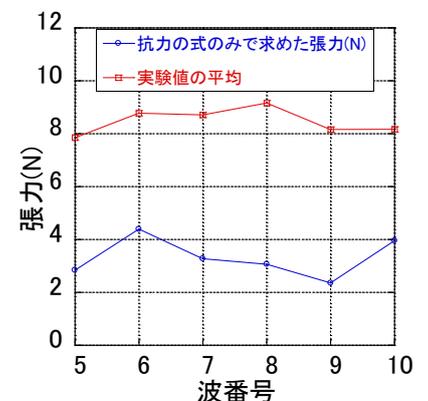


図-5 最大張力の推定値と実験値(Case3)