

## 係留式越波対策工に作用する最大張力の推定に関する実験的研究

九州大学大学院 学生会員 ○新免 和明, 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. 目的

地球温暖化による台風の強大化や海面上昇の影響により, 将来的に越波の発生頻度が高まり, これまでは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. このような越波被害の増大の対策としては, 護岸の高上げや消波工の設置などが考えられるが, 設置する空間や地形の制約, 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, これらの対策工を新設するのは困難な場合もある. 以上の観点から, 中谷ら<sup>1), 2)</sup>は, 既存の直立護岸に



図-1 係留式越波対策工

図-1 に示すような円柱状のもの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.

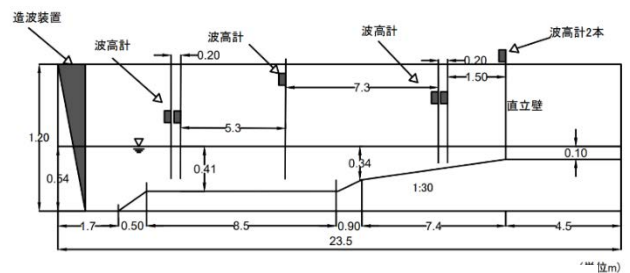


図-2 断面 2 次元造波水路

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	11.0
Case8	1.04	11.1	10.4
Case9	1.34	11.1	10.2

## 2. 内容

## 2.1. 係留式越波対策工の概略

係留式越波対策工は, 小規模な越波を対象としており, 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直立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.

## 2.2. 実験条件

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,

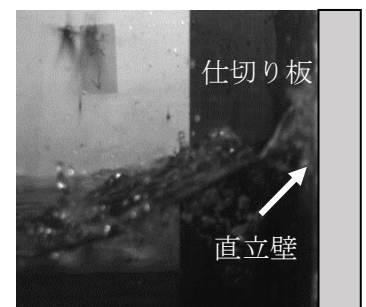


図-3 打上げの様子 (Case3)

キーワード 越波, 係留式越波対策工, 張力, 水理模型実験

連絡先 〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744 九州大学 伊都キャンパス TEL092-802-3415

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0.01s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。

### 2.3. 実験結果

図-3に打上げの状況(Case3)を示す。波が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護岸に波が到達してからの水位変化を示しており、波が壁面で打ち上がり水位が急激に変化することが分かる。図-4下図は、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。

### 2.4. 張力推定

実験時の観察によると、係留式越波対策工の係留索に作用する張力は、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以下の抗力の式をもとに張力を推定することを試みた。

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

抗力係数 $C_D$ は田古里ら<sup>4)</sup>を参考に0.74とした。

対策工に作用する張力の推定には図-5に示すように係留索の角度、浮力、重力を考慮した。浮力は対策工の下半分が水中に沈んでいると仮定して求めた。張力の推定式は以下の式(2)のようになる。

$$\text{張力推定値} = (\text{抗力値} D + \text{浮力} - \text{重力}) \div \cos \frac{\pi}{4} \cdots (2)$$

Case3の張力について、式(2)による推定値と坂本らの実験値の比較を図-6に示す。図は、入射波がほぼ定常となった第5波から10波を示している。全体的に推定値が小さいが、ある程度は表せているといえる。図-7は全ケースにおける5波から10波の平均張力を推定値と比較したものである。Case6など推定値が過大評価しているが、これは、直立壁で計測している波高計に飛沫が作用し、水位上昇速度が過大に算定されたためと思われる。それらのケースを除く改良をすれば、推定式は観測結果と同程度の張力を推定できるといえる。

### 3. 結論

本研究では、係留式越波対策工の実用化に向け、設計波に対して係留索にはたらく張力を推定する簡易な推定式について検討した。その結果、提案した推定式により、波の打ち上げの規模から、任意の寸法・重量を有する対策工を係留するのに必要なロープの耐力を推定できる可能性が示された。今後更に改良することで設計に利用可能な推定式が得られることが期待される。

#### 【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.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): 流体力学 p.170-174

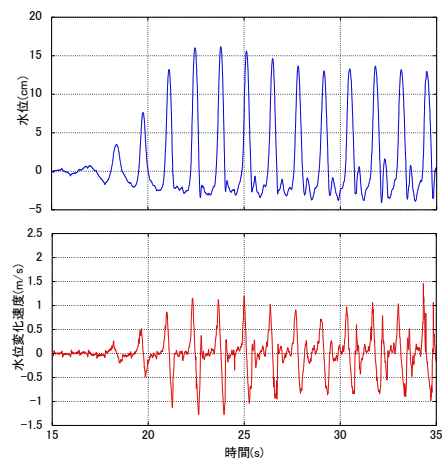


図-4 護岸前面の水位, 水位の変化速度時系列

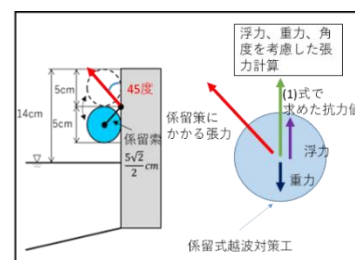


図-5 対策工に作用する力の概略図

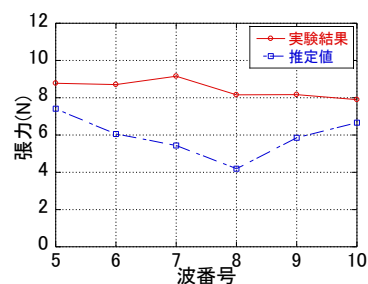


図-6 最大張力の推定値と実験値の比較(case3)

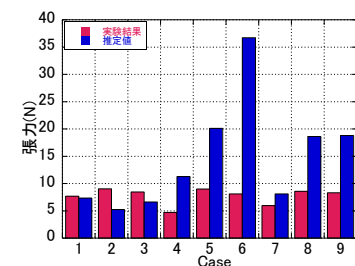


図-7 最大張力の推定値と実験値の比較