

# 岩礁上に立つ人の波浪による転倒特性に関する検討

Person's fall characteristics due to high waves on a shore reef

室蘭工業大学大学院建築社会基盤系専攻 ○学生員 菅 章悟(Shogo SUGA)  
 室蘭工業大学大学院教授 フェロー 木村克俊(Katsutoshi KIMURA)  
 (株)アルファ水工コンサルタンツ 正員 吉野真史(Masafumi YOSHINO)

## 1. はじめに

多くの海岸において、市民が海と親しむことのできる親水施設の整備が進められている。防波堤や護岸のような人工構造物を用いた親水施設の場合には、一般的な安全管理手法が確立している。これに対し岩礁のような自然地形を利用した親水施設では、直に海に親しめる反面、波による転倒などの事故が起こりやすい。吉野ら<sup>1)</sup>は留萌市黄金岬海岸の岩礁で発生した人身事故について分析しているが、岩礁における人の安全性に関する研究例は少なく、岩礁を用いた親水施設の安全管理については十分な知見が得られていないのが現状である。本研究では傾斜角の異なる岩礁地形を対象として水理模型実験と数値解析により、岩礁上に立つ人に働く波力と転倒特性について検討するとともに、波力の算出において重要なパラメータである抗力係数  $C_D$  の特性を明らかにすることを目的とする。

## 2. 実験方法

2次元造波水路(長さ24.0m, 幅0.6m, 深さ1.0m)に海底勾配  $i=1/30$  の水路床および岩礁模型(図-1)を設置した。岩礁傾斜角  $\theta$  は7種類変化させた。実験縮尺は1/11とし、実験パラメータは表-1のとおりとした。造波波浪は規則波とした。以上の条件にて、同一のケースを3回繰り返し、平均をそのケースの実験結果とした。実際の人の形状は複雑であるが、安全側を見込んで円柱に模した。

波力実験では、現地換算値で高さ1.54m, 直径0.39mの円柱を分力計の先端に固定し、これを岩礁上に設置して水平方向の波力成分を測定した。また、転倒実験では、円柱の比重を0.95, 1.10および1.30の3種類に変化させて、波による転倒の有無を調べた。

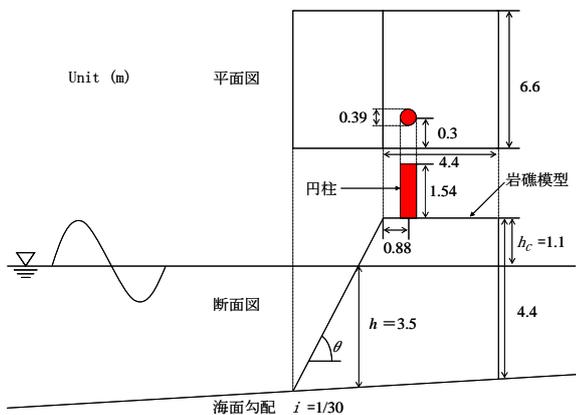


図-1 実験断面(現地換算値)

## 3. 越波特性

すべての条件に対して岩礁天端上における越波状況を画像解析した結果、越波パターンは「砕波型」、「越流型」、「打ち上げ型」の3つに分類することができた。図-2は、 $T=5.0s$ ,  $H_0'=1.4m$ における傾斜角度  $\theta=11^\circ$ ,  $27^\circ$ ,  $90^\circ$ の越波状況を例示している。 $\theta=11^\circ$ は砕波型で、傾斜面上で波のエネルギーが減衰するため岩礁上の波力は小さかった。 $\theta=27^\circ$ は越流型で、厚い水脈が岩礁上を通過した。 $\theta=90^\circ$ は打ち上げ型で、水塊が上方に打ち上げられた後に薄い水脈の流れが発生した。

砕波と斜面勾配の関係式として、式(1)に示す砕波帯相似パラメータ (surf similarity parameter) が一般的に用いられる。

$$\xi = \tan \theta / \sqrt{H_0' / L} \quad (1)$$

ここで、 $\theta$ は岩礁傾斜角、 $H_0'$ は波高、 $L$ は波長を示す。図-3はsurf similarity parameterと波力 $F$ の関係を周期ごとに示している。どの周期においても波高が高くなると波力は大きくなった。また、surf similarity parameterの値が小さくなるにつれ波力は増加していき、5.0から2.7付近でピークとなった後に減少していく傾向がみられた。

表-1 実験パラメータ(現地換算値)

波高 $H_0'$ (m)	1.0, 1.2, 1.4, 1.6, 1.8, 2.0
周期 $T$ (s)	5.0, 7.0, 9.0
水深 $h$ (m)	3.5
天端高 $h_c$ (m)	1.1
岩礁傾斜角 $\theta$ ( $^\circ$ )	90, 60, 45, 27, 18, 14, 11

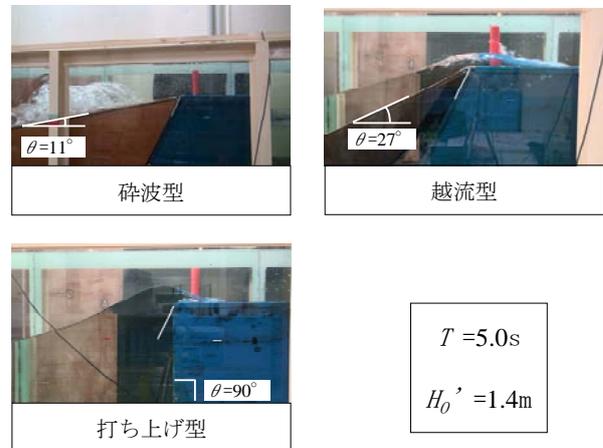


図-2 越波状況

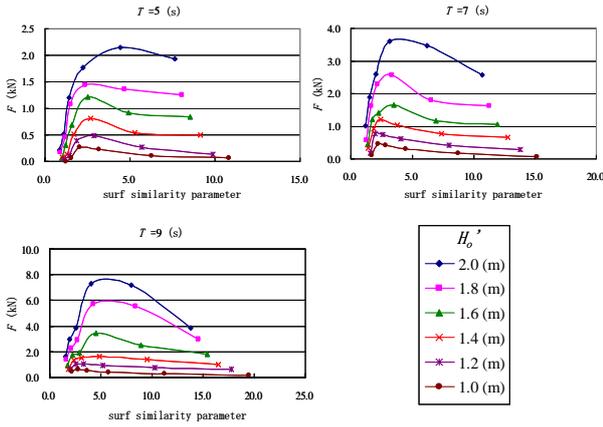


図-3 surf similarity parameter と波力の関係

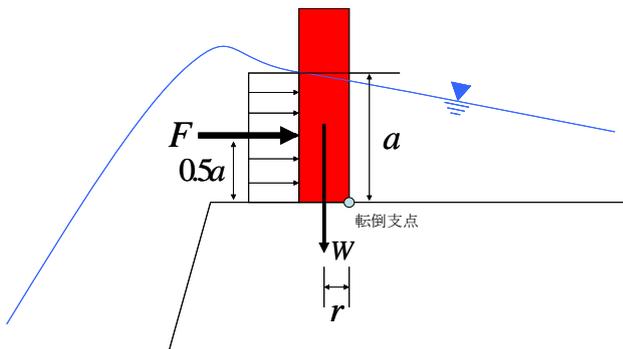


図-4 人体に作用する波圧分布

#### 4. 転倒特性

吉野ら<sup>2)</sup>の方法を用いて、円柱に作用する波圧分布を図-4のように仮定した。人の転倒寸前の状態は、足の一部を支点とした外力モーメントと自重による抵抗モーメントがつり合っていることから式(2)が得られる。

$$F \times 0.5a = W \times r \quad (2)$$

なお、 $W$  は人の水中重量、 $a$  は岩礁上を通過する水位、 $0.5a$  は波力の作用位置、 $r$  は重心位置と転倒支点との水平距離である。

図-5 は、円柱の比重と転倒限界時における波力の関係を示している。実線で示す計算値は、岩礁上の水位を用いて式(2)により求めた。転倒限界をプロットした実験値は計算値とほぼ一致していることから、図-4 で仮定した波圧分布の妥当性が確認された。

#### 5. CADMAS-SURF による検討

実験と同一の条件に対して、数値波動水路 CADMAS-SURF を用いた数値計算を行なった。ここでは計算結果を用いて、円柱の設置位置における水位と流速を求めた。円柱に作用する波力は式(3)から求めることができる。

$$F = \frac{1}{2} \rho V^2 S C_D \quad (3)$$

ここで、 $\rho$  は水の密度、 $V$  は流速、 $S$  は受圧面積、 $C_D$  は抗力係数を示す。受圧面積  $S$  は、円柱の直径に岩礁上の水位を乗じて求めたものである。

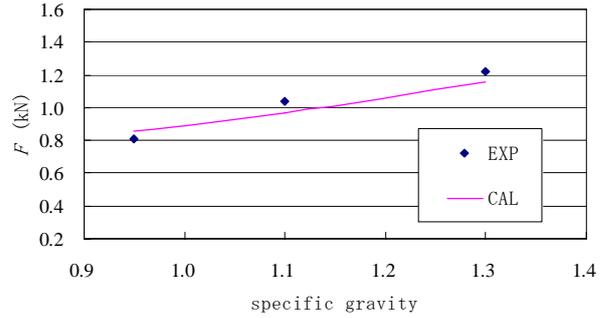


図-5 転倒限界時における波力と比重の関係

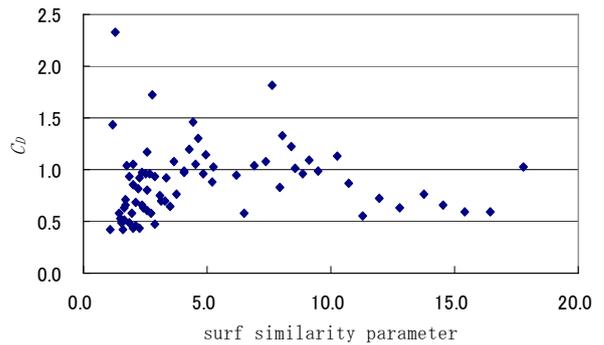


図-6 抗力係数

実験で得られた波力から式(3)を用いて抗力係数を逆算した。図-6 は surf similarity parameter と抗力係数  $C_D$  の関係を示したものである。抗力係数は surf similarity parameter の値が減少するにつれて増加し、5.0 付近で最大となり、その後また減少した。このことから、surf similarity parameter の値によって、抗力係数の値を変化させる必要があると考えられる。

#### 6. まとめ

本研究で得られたことは以下のとおりである。

- ① 越波パターンを3種類に分類するとともに、surf similarity parameter の値による波力の変化特性を明らかにした。
- ② 転倒実験結果に基づいて、仮定した波圧分布の妥当性を確認した。
- ③ CADMAS-SURF を用いた数値計算結果を用いて、surf similarity parameter と抗力係数の関係を示した。

#### 参考文献

- 1) 吉野真史・上久保勝美・木村克俊：岩礁上における高波による人の転落事故の原因分析とその対策に関する研究，海洋開発論文集，第25巻，pp.665-670，2009。
- 2) 吉野真史・丸山和英・木村克俊：汀線付近における常時波浪による人身事故について，土木学会論文集，B2(海岸工学)，Vol.67，No2，pp.I-1246-1250，2011。