

波による小口径円柱周辺の洗掘地形の画像計測実験

金沢大学大学院 学生会員 ○松村翔平 NEXCO 東日本 山崎達夫
金沢大学 正会員 榎田真也 フェロー 石田 啓

1. はじめに

波や流れに曝される海岸構造物周辺では水流と共に底質が活発に運動し、基礎周辺の海底面が侵食される。侵食（洗掘）が深くなると、構造物自体の沈下や倒壊などの危険性がある。海岸構造物の被害原因の大部分は洗掘によるものであると言われている。そのため、構造物を設計する際は、波による基礎周辺の地形がどのように変化するかを正確に予測する技術が必要である。これに関して、主に実験的な研究が従来行われ、例えば水口¹⁾および小林ら²⁾は波動場における小口径円柱周辺の局所洗掘に関する実験を行っている。しかし、大部分の研究は、最大洗掘深や最大洗掘深の発生位置に関するもので、洗掘地形の発生条件および発達過程と底質移動状況の関係については未解明な点が多い。そこで本研究では、洗掘の発達過程や地形分類を詳細に捉えるのに有効なステレオ画像計測法を適用して、多数の実験条件から洗掘パターンを分類し、発生条件を整理した。さらに、底質の移動形態と洗掘パターンの関係およびシルズ数に対する洗掘深の変化を調べた。

2. 実験概要

実験は長さ 18m、幅 0.48m、深さ 0.65m の両面ガラス張り 2 次元造波水槽に、中央粒径 0.28mm の砂を敷き、水深 20~30cm とし、直径 $D=22\sim76\text{mm}$ の円柱を設置して行った。洗掘の発達過程を捉えるため、初期、25, 50, 100, 200, 400, 800, 1200 周期時において洗掘深や最大洗掘深発生位置等を計測し、底質移動や地形をカメラやビデオで撮影した。円柱径、波の周期、水深、波高の組み合わせを変え 150 ケースほど計測した。その中で典型的な洗掘パターンが現れた条件について、円柱周辺の底面地形を画像計測した。

その画像計測の原理は、2 枚以上の画像からそれぞれの画像の同一対応点を求めることにより 3 次元座標を算出するステレオ法による。手順は、図 1 に示すように、円柱を囲む範囲に基準のための標定点を設置し、4 方向から撮影を行い、写真(a)-(b), (b)-(c), (c)-(d), (d)-(a)の 4 組のステレオペアを作成する。各ステレオ画像に対し、その標定点を基準として撮影した画像の位置と傾きを求める処理を行い、カメラパラメータを求める。次に、オルソ画像に修正して、同一点を求めるために画像の相関解析を行い、さらに座標変換等を行うことで砂面地形の 3 次元座標を得た。表 1 は水中下にある物体の水平・鉛直距離を定規および画像解析で評価した結果を示す。画像解析による水平・鉛直距離の精度は絶対誤差で 1mm 未満であり、本実験で対象にする洗掘地形を計測するには十分な精度であることが確認できた。

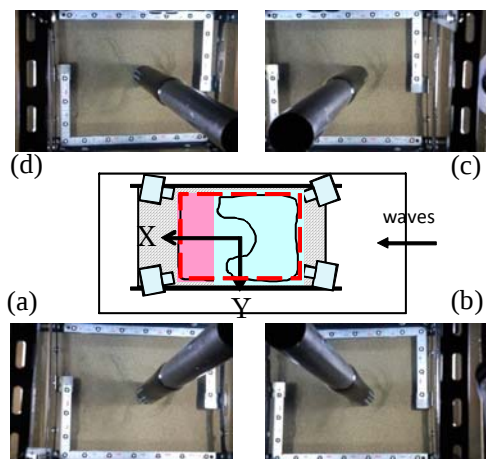


図 1 円柱周りの砂面地形のステレオ画像

表 1 ステレオ画像解析による座標計測の初期検証結果

	Estimation (A) mm	Measurement (B) mm	Absolute error (C= A-B) mm	Rate of error (D=100C/A) %
Horizontal dimensions Xa	53.7	54.0	0.3	0.6
	236.7	237.0	0.3	0.1
	295.9	296.0	0.1	0.0
	383.7	384.0	0.3	0.1
Vertical dimensions Za	24.8	25.2	0.5	1.9
	50.6	51.1	0.6	1.1
	75.8	75.0	0.7	1.0
	100.2	99.4	0.7	0.7

3. 実験結果および考察

本実験では 10 種類の洗掘形状があることが確認され、その発生条件を KC 数とシーلز数で整理したものを図 2 に示す。シーلز数がある一定の値を超えると砂漣が発生しやすくなり、そこを境に静的洗掘と動的洗掘に概ね分かれる。静的洗掘では逆円錐型、側面洗掘型や後流洗掘型など 5 種類 (I-1~I-5)、動的洗掘では砂漣を伴った逆円錐型洗掘や砂漣のみで洗掘孔が無いもの (III-1・III-2)、両者の遷移域では円柱表面から少し離れた位置で洗掘するもの (II-1) や洗掘地形に起因して砂漣が生じるもの (II-2・II-3) がある。

図 3 は円柱周辺の洗掘地形の発達過程をステレオ画像によって計測した一例であるが、円柱表面近傍まで洗掘地形が詳細に捉えられていることが分かる。高 KC 数域で発生する逆円錐洗掘の場合、岸向き位相で馬蹄渦および後流渦が発達し、円柱前面、側面や背後の砂を巻き上げながら、大きな洗掘孔が形成される。一方、非接触洗掘は移動限界シーلز数付近の低 KC 数域で発生する。円柱側面で砂が掃流移動し、次第に円柱表面より少し離れた地点で洗掘、その砂は円柱表面に沿って堆積し、その凹凸から徐々に砂漣が発達する。

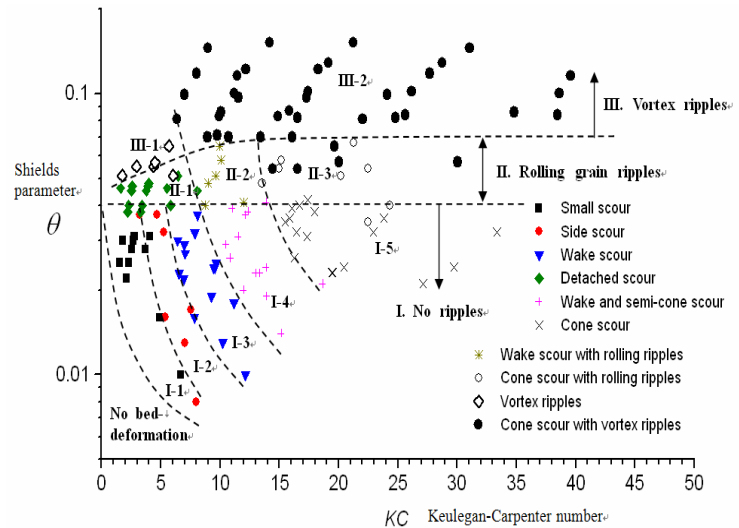
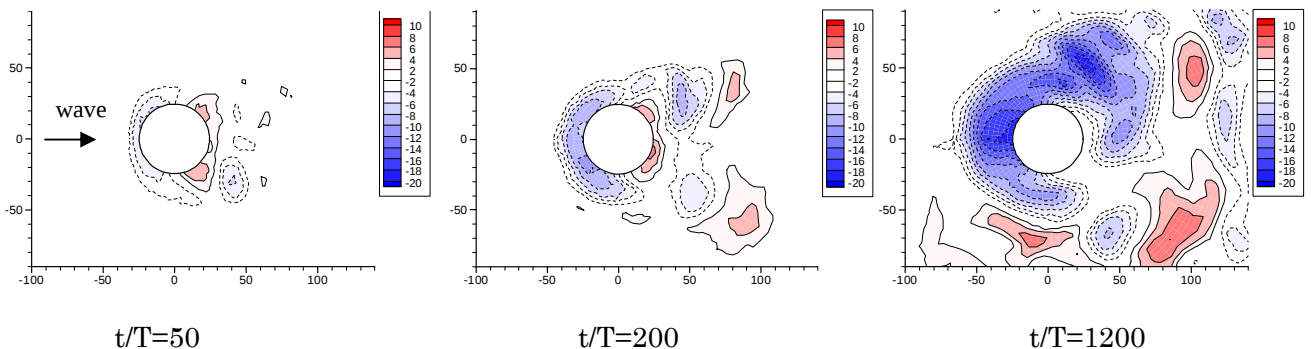


図 2 洗掘地形パターンの分類

(I-5)逆円錐洗掘 (Cone scour)



(II-1)非接触洗掘 (Detached scour)

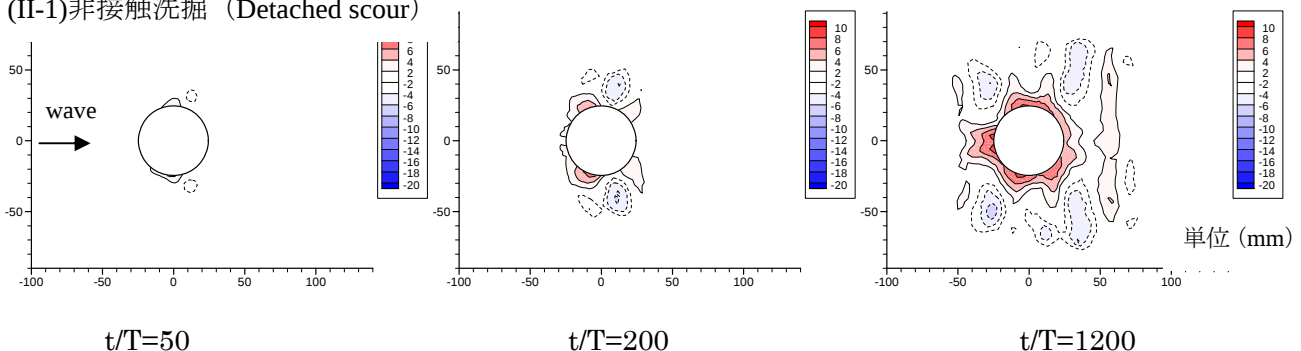


図 3 波による円柱周辺の洗掘地形の発達過程 (逆円錐洗掘と非接触洗掘の場合)

謝辞 本研究の一部は平成 20・21 年度土木学会中部支部リサーチグループ活動の一環として行われた。

参考文献

- 1) 水口優, 小島匡人, 小宮山正二, 佐藤忍: 波動による小口径円柱まわりの局所洗掘に関する実験的研究, 第 32 回海岸工学講演会論文集, pp.430-434, 1985
- 2) 小林智尚, 小田健次, 神崎正美, 橋本康弘: 円柱まわりの局所洗掘の発達過程に関する実験, 海岸工学論文集第 40 巻, pp.521-525, 1993