

津波越流による防波堤基礎マウンドの洗掘と対策に関する研究

宮崎大学院工学研究科 学生会員 徳富裕貴 内村将吾
宮崎大学工学部 正会員 村上啓介 真木大介

1. はじめに

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震により多くの防波堤が破壊された。被災パターンは越流洗掘型、津波波力型、堤頭部洗掘型、引波水位差型の4パターンに分類される。本研究では、防波堤を越流した津波が背後の基礎マウンドを洗掘して崩壊する越流洗掘型について注目した。

護岸前面の洗掘に関する研究として、野口ら¹⁾の戻り流れに着目した研究例があり、洗掘深が津波落下後にできる定在渦直径の2.1倍であることを明らかにしている。ただし、豊浦標準砂を用いていることから、礫で形成される防波堤基礎マウンドへの適用性については不明である。

本研究では、津波越流による基礎マウンド洗掘に与える諸パラメータの影響について考察する。具体的には、野口らの提案式を参考に、基礎マウンドの粒径と防波堤背後の水深が洗掘深に与える影響を検討する。また、基礎マウンド洗掘防止対策を提案し、その効果について検証する。

2. 実験方法

本研究の実験では、津波が越流したときの防波堤背後の洗掘を再現した(図-1)。長さ1.2m、幅0.4m、高さ0.6mの2次元水槽を用い、縮尺は1/20としている。今回の実験では、洗掘深に与える影響を検討するために、基礎マウンドの粒径 d_{50} 、港内側の水深 h を変えて、様々なケースの実験をした(表-1)。ここで、越流水深0.092mは、防波堤天端を射流状態で越流水深約2mを超える津波に相当する。実験は同じ条件で3回を行い、再現性を確認しつつ行なった。洗掘後の海底地形はポイントゲージを用いて0.05m間隔で計測し、最も掘れたところを最大洗掘深とした。

本研究で提案する洗掘防止対策は、図-1のように基礎マウンドの上部に水平板を設け、基礎マウンドと水平板の間を魚礁効果が期待できる構造、つまり魚礁型保護工を想定している。この構造は、L2津波来襲時に洗掘防止の役割を果たす構造を想定し、それ以外では魚礁の役割を期待するものである。実験方法は粒径20mm、防波堤背後の水深は0.09m、水平板長は0.3、0.4、0.5m、越流水深は表-1に示す通りである。また、水平板に作用する波圧についても計測をおこなった。

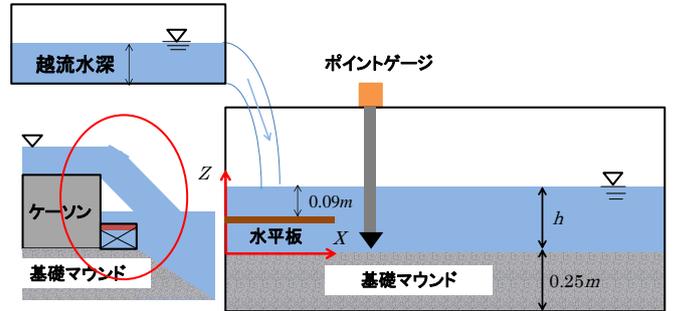


図-1 実験概要(洗掘対策)

表-1 実験ケース

水深 h (m)	粒径 d_{50} (mm)	越流水深(m)					
		0.021	0.043	0.058	0.064	0.072	0.092
0	10	0.021	0.043	0.058	0.064	-	-
	20	0.021	0.043	0.058	0.064	0.072	-
	40	0.043	0.058	0.064	0.072	0.080	0.092
0.1	10	0.021	0.043	0.058	0.064	-	-
	20	0.021	0.043	0.058	0.064	0.072	0.080
	40	0.043	0.058	0.064	0.072	0.080	0.092
0.18	10	0.021	0.043	0.058	0.064	-	-
	20	0.021	0.043	0.058	0.064	0.072	0.080
	40	0.043	0.058	0.064	0.072	0.080	0.092

3. 実験結果

3.1 マウンド粒径と防波堤背後水深の影響について

図-2は定在渦と最大洗掘深の関係を示している。各実験ケースとも両者は線形の関係にあることがわかる。そこで、回帰直線を求め、その傾き α と切片 β について考察した。図-3, 4は傾き α に対する各水深・粒径で整理している。傾き α は粒径が変化してもほぼ一定であり、水深が深くなるにつれて減少する傾向を示している。この結果から、洗掘深と定在渦の関係は、水深の影響が大きく、粒径の影響は小さいことが分かる。

切片 β について同様に整理すると、水深が深くなると切片 β は増加する傾向があり、粒径が大きくなると減少する傾向を示すことを確認した。

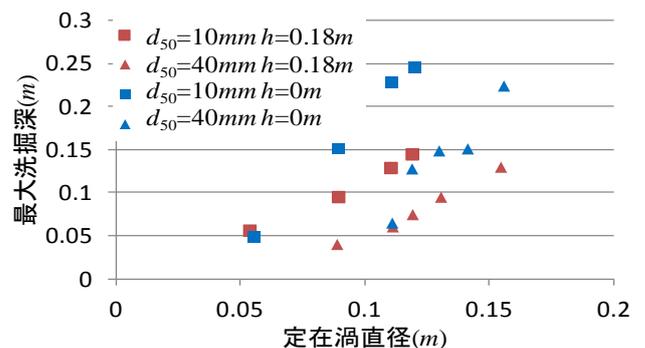


図-2 最大洗掘深と渦の関係

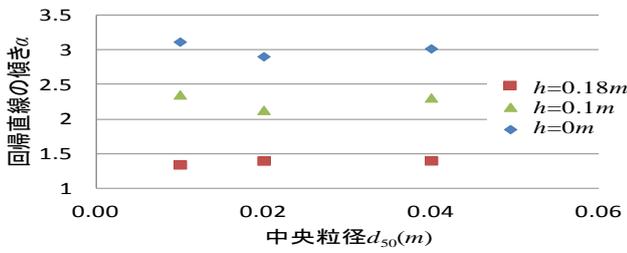


図-3 マウンド粒径による影響

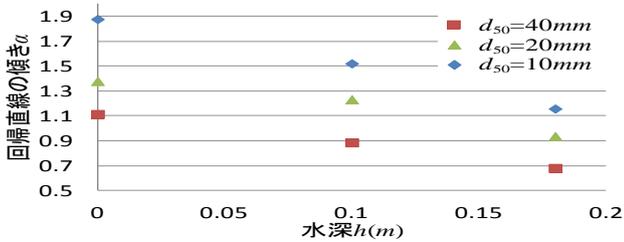


図-4 防波堤背後水深による影響

3.2 最大洗掘深の予測式

3.1の内容から、各項に対して重回帰回析を行った。その結果として最大洗掘深を算定する式(1)を提案する。

$$D = (-3.4h/zf + 3.1)R + (0.7h - 3.4d_{50} - 0.1) \quad (1)$$

ここで、 D は最大洗掘深(m)、 h は基礎マウンド内の水深(m)、 zf は背後水面から天端までの高さ(m)、 d_{50} は基礎マウンドの粒径(m)である。

図-5は実験から得られた D と、式(1)で算出した D の関係を示したものである。点線は20%の誤差の範囲を示している。越流水深が低いときには多少過小評価となるが、式(1)で求めた最大洗掘深は実験値と良好に一致していることが確認できる。

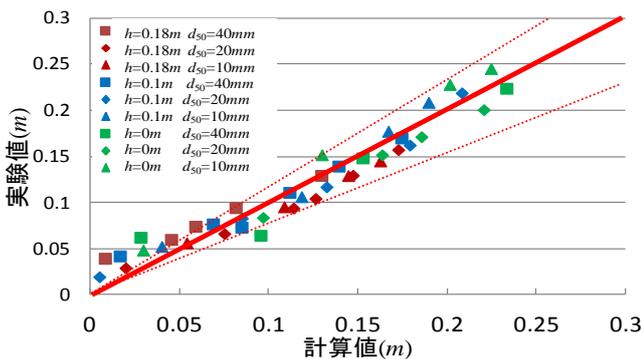


図-5 実験値と計算値の比較

3.3 最大洗掘の発生場所と洗掘幅の予測式

防波堤を越流する水塊の着水点、最大洗掘深の発生場所、洗掘幅を算定する式を式(2)~(4)に提案する。

$$x_1 = v\sqrt{2h/9.8} \quad (2)$$

$$x_2 = 1.6x_1 \quad (3)$$

$$B = 4.1D \quad (4)$$

ここで x_1 は着水点(m)、 v は越流時の流速(m/s)、 x_2 は最

大洗掘の発生場所(m)、 B は洗掘幅(m)を示している。本研究では、これらの予測式が実験と良好に一致していることを確認している。

4. 洗掘防止対策の効果検証について

図-6は越流水深0.072mの場合について水平板を設置したときの洗掘深を示している。水平板長が0.5mのときは対策効果が期待できるが、そのほかの長さは対策なしより洗掘深が大きくなった。この原因として、水平板長が0.4mでは板先端に水が当ることによる縮流が考えられる。一方、水平板長が0.5mでは、板上での水平方向の流れが十分発達することから、板先端から拡流となり、その結果として洗掘量が低下したものと考えられる。本研究では、各板の設置条件に応じて洗掘発生個所の流速を計測した。その結果、水平板がない場合に比べ、水平板長が0.4mの場合の流速が加速していることを確認した。一方、水平板長が0.5mでは、板上面付近での流速は加速するが、その先端部では拡流が生じ、その結果として基礎マウンド付近で流速はほぼ0となることを確認した。

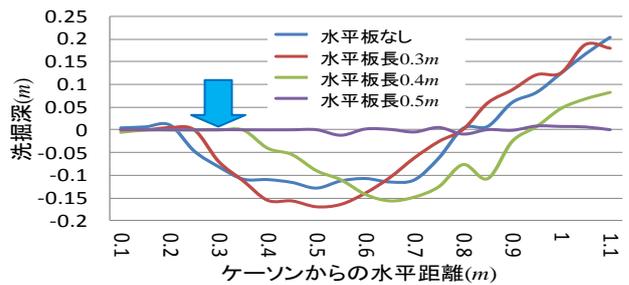


図-6 洗掘防止対策の効果

5. 結語

本研究では、津波越流による防波堤基礎マウンドの洗掘と対策について以下のことを明らかにした。

- 基礎マウンドの粒径と港内側水深が最大洗掘深に大きくかわる要因であり、それらを含んだ最大洗掘深の予測式を提案した。
- 最大洗掘深の発生場所と洗掘幅の予測式を提案した。
- 水平板が洗掘対策として効果があることを示した。ただし、水平板長によっては板先端部の縮流によって流れ場が加速し、洗掘量を助長する場合があることを示した。水平板の設置に関しては、板長を適切に選択することが重要である。

参考文献

- 1) 野口賢二・佐藤慎司・田中茂信：津波遡上による護岸越波および前面洗掘の大規模模型実験，海岸工学論文集，第44巻，pp296-300，1997。
- 2) 国土交通省港湾局：防波堤の耐津波設計ガイドライン，2013。