

41. 大水深域非越波型護岸を対象とした越波の数値シミュレーション

村上 邦宏

1. 目的

大水深域（20～30m）において曲面を有する断面により、波を冲向きに返し越波を防ぐ護岸として、**図-1**に示すような非越波型護岸が提案されている。将来的に、本護岸を現地へ適用するためには、入射波や護岸断面形状、天端高等の様々な条件に対する越波特性を定量的に把握しておく必要がある。近年、越波の検討においては、水理模型実験に加え VOF 法に基づく数値モデルが多用されており、直立護岸などの単純な形状の護岸においては、数値計算によって越波流量が精度良く再現できることが確認されている¹⁾。このような数値モデルを本護岸に対しても適用できれば、越波特性の検討が合理的に行える。

しかし、大きな曲面によって波を薄い膜状にして勢いよく沖にはね返す本護岸に対しての、VOF 法で得られる越波流量の妥当性は定かではない（**図-2**）。そこで本研究では、大水深域非越波型護岸の越波特性を検討するうえでの VOF 法による数値シミュレーションの妥当性について、水理模型実験との詳細な比較により検証した。

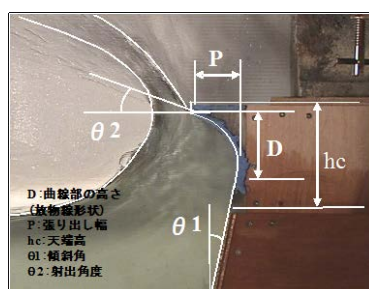


図-1 大水深域非越波型護岸 (水理模型実験)



図-2 数値シミュレーション

2. 内容

2.1 基本条件

検討対象の非越波型護岸は**図-3**に示す射出角 20° (Type-1) および 45° (Type-2) の断面形状であり、それぞれ天端高を $h_c=2.66\text{m}$, 3.74m , 4.82m の 3 通りとした。護岸前面の

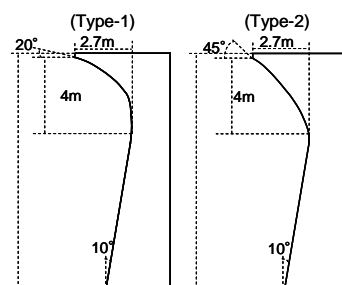


図-3 検討対象の断面形状

水深は一様に 15m とした。使用した数値モデルは、VOF 法に基づく数値波動水路 CADMAS-SURF¹⁾で、計算領域は**図-4**に示すとおりである。なお、セルの大きさについては、事前に複数の設定について検討し、計算時間と安定性を考慮して決定した。水理模

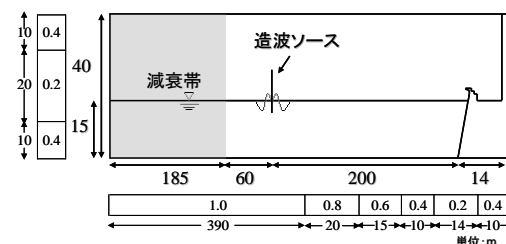


図-4 計算領域

型実験は、**図-5**に示す反射吸収式二次元造波水路に縮尺 1/45 の模型を作成し実施した。越波流量は計算、実験ともに、護岸背後の越波柵に流入した水量を計測して求めた。

2.2 入射波の設定

入射波は、有義波高 $H_{1/3}=4.5\text{m}$ 、有義周期 $T_{1/3}=8.7\text{s}$ の修正 Bretschneider-光易型スペクトルを有する不規則波とした。計算では目標のスペクトルから波形が異なる 11 波群（便宜上、1 ケースの入射波を 1 波群と呼ぶ）を作成し、それぞれ $120T_{1/3}$ 間の計算を行ない、最初の $20T_{1/3}$ を除いた $100T_{1/3}$ 間で越波流量を算定した。水理模型実験においては、計算と同様に同一のスペクトルから波形が異なる 6 波群を作成し、それぞれ 5 分間造波して最初の 1 分間を除いた 4 分間（実験波の有義周期 $T_{1/3}=1.3\text{s}$ で $185T_{1/3}$ ）で越波流量を計測した。したがって、計算と実験ともに、断面と天端高の 1 つの組み合わせについて、有義波で合計 1100 波程度の波を作用させたことになる。なお、計算、実験ともに、入射波スペクトルの

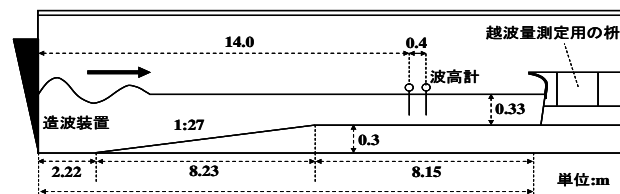


図-5 反射吸収式二次元造波水路

合わせ込みを行い、全てのケースで図-6 に示す程度の入射波スペクトルが得られていることを確認している。

2.3 越波流量の規模による計算結果の妥当性

図-7 に Type-1 の断面について、天端高 $h_c/H_{1/3}=0.59$ および $h_c/H_{1/3}=1.07$ の条件における無次元越波流量の計算結果と実験結果を示す。

計算結果は 11 波群による越波流量とそれらの平均値であり、実験結果は 6 波群による越波流量と平均値である。天端高 $h_c/H_{1/3}=0.59$ は無次元越波流量が 10^{-3} オーダーであり、波群による越波流量の変動は比較的小さい。また、平均値を比較すると計算と実験はよく一致しているといえる。一方、越波流量が少ない $h_c/H_{1/3}=1.07$ においては、波群による変動が大きく、平均値の差も大きくなっている。

図-8 は図-7 に示す平均無次元越波流量について、実験結果に対する計算結果の相対的誤差 $(|\bar{q}_{cal} - \bar{q}_{exp}| / \bar{q}_{exp})$ を示したものである。無次元越波流量が 10^{-3} オーダーの比較的越波流量が大きい場合は、実験と計算の相対的誤差は 10~30% となっており、計算結果は断面形状によらず実験結果によく一致している。一方、無次元越波流量が $10^{-4} \sim 10^{-5}$ と比較的越波流量の規模が小さい場合は、相対的誤差が 50~80% と増大している。ただし、曲面の曲率の小さい Type-2 の断面では計算と実験の結果の差が小さく、計算により精度よく越波流量を再現できているといえる。

2.4 非越波型護岸の越波特性

本研究で実施した検討の範囲で大水深域非越波型護岸の越波特性を調べた。図-9 に天端高と越波流量の関係を示す。図より、断面形状によらず天端高が高くなるにつれて指数関数的に越波流量が減少することが分かる。また断面形状による越波流量を比較すると、射出角が小さい Type-1 の断面形状の越波防止効果が高いことが分かる。

3. 結論

大きな曲面を有する非越波型護岸においても、越波流量の規模が大きい（無次元越波流量で 10^{-3} 以上）場合には、数値シミュレーションにより実験と同程度の結果が得られることを確認した。同時に、越波流量が小さい場合には、数値計算結果と実験結果の差が大きくなることも認められた。したがって、今後、大水深域非越波型護岸の越波特性を詳細に検討し、現地適用に資する基礎資料を整備するうえで、越波規模が大きい条件については、数値シミュレーションの利用が可能といえる。

<参考文献>

- 1)沿岸海洋開発センター(2001): 数値波動水路の研究・開発, 296p.
- 2)白尾國貴(2009):不規則波による越波流量の変動性と非越波型護岸の越波防止効果に関する数値実験, 九州大学修士論文
- 3)合田良實ら(2008): 耐波工学 138p

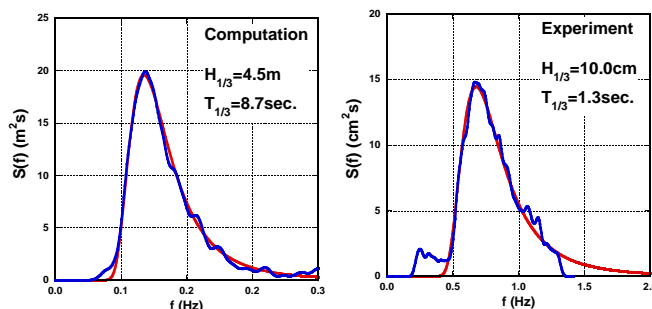


図-6 入射波スペクトル(左:計算 右:実験)

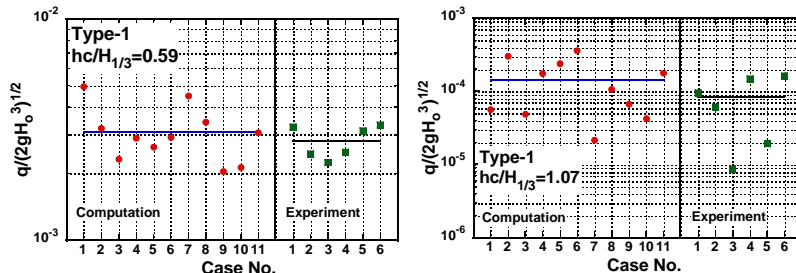


図-7 入射波群による越波流量の変動

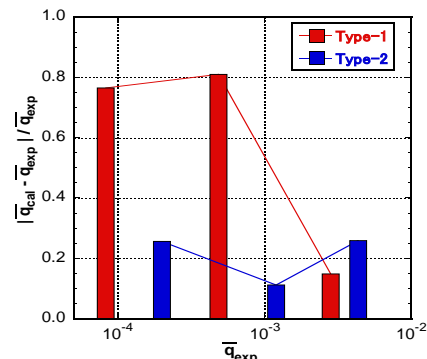


図-8 実験結果に対する計算結果の相対的誤差

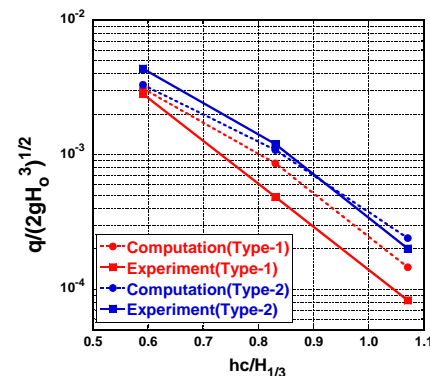


図-9 天端高と越波流量の関係