# 傾斜護岸への不規則波を用いた越波に関する数値計算

東北工業大学　学生員　○簾内　春汰
東北工業大学　正　員　　高橋　敏彦

## 1. はじめに

これまでに著者らは、傾斜護岸に対する越波や越波防止対策の数値計算を行い検討報告[1)~2)]してきた。しかしこれらの検討報告は、規則波による数値計算で行っていた。今回、不規則波を用いて傾斜護岸への越波に関しての数値計算を行うことで、より現実に近い越波対策等の有効な方法へと発展させることができると考えられる。そこで本研究は、数値波動水路(CADMAS-SURF)[3)]を用いて、不規則波による傾斜護岸への越波に関する数値計算を行い、既往の室内模型実験結果[4)]の越波率や越波量との比較検討を行い、不規則波による越波計算の確立を計る事を目的とした。

表-1　検討ケース

| | hi | hi/$H_0'$ | $H_{1/3}$(cm) | h(cm) | $T_{1/3}$(s) |
|---|---|---|---|---|---|
| CASE1 | 2.5 | 0.25 | 9.15 | 32.5 | 1.26 |
| CASE2 | 5.0 | 0.50 | | 35.0 | |
| CASE3 | 7.5 | 0.75 | | 37.5 | |
| CASE4 | 10.0 | 1.0 | | 40.0 | |

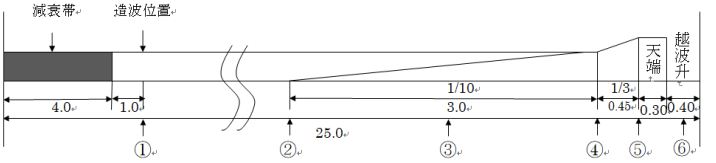



図-1　計算断面　　単位：m

## 2. 計算条件および計算方法

基本方程式には、2 次元非圧縮粘性流体を対象とした連続式および Navier-Stokes 方程式をポーラスモデルに基づいて拡張した式[3)]を用いた。なお、紙面の制約上式の記述は割愛する。計算水路は長さ 25.0m、高さ 1.0m、の計算造波水路を使用した。水路の一端には減衰帯、造波装置、他端には 1/10 海底勾配を作成し、その上に 1/3 勾配の傾斜護岸を作成した。天端高 0.45m の背後に越波升を設置した。計算条件は一様部水深 h＝32.5cm～40.0cm、有義波波高 $H_{1/3}$≒9.15cm、有義波周期 $T_{1/3}$≒1.26s とした。越波量、越波率は、堤脚水深・換算沖波波高比 $hi/H_0'$≒0.25～1.00 を越波後 10～110 波目の 100 波で計測を行った。ただし、水深が 40cm の場合、越波升が氾濫してしまうことを確認したため、10～60 波の 50 波で測定している。今回の越波計算は、差分スキームは DONOR-0.2、格子間隔は⊿X:⊿Z を 4:1 で各 4cm と 1cm に固定し、造波モデルは造波ソースとした。表-1 に 1/3 勾配での基本検討ケースを示す。なお、海底勾配は 1/10 としている。検討ケースは、堤脚水深 $h_i$ を 2.5cm～10.0cm まで 2.5cm 毎に水位を変えている。図-1 に計算断面を示し①～⑥は波高計位置を示す。なお、縮尺 S＝1/40 としている。

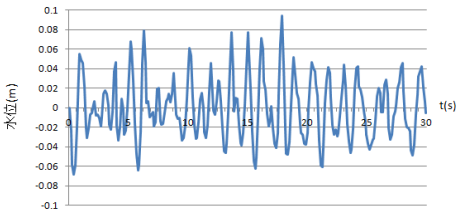



図-3(a)　時系列波形(造波位置)

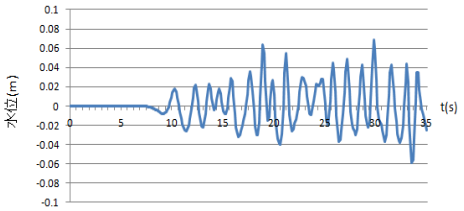



図-3(b)　時系列波形(海底法先②)

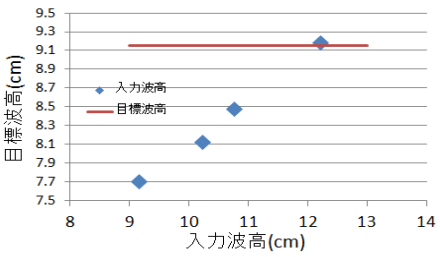



図-4　入力波高と目標波高の関係

## 3. 実験結果および考察

### 3-1 通過波の検討

図-3(a)は、計算条件 CASE2 での造波位置、(b)は、海底法先②での水位の時系列波形であり各起波後 0～30s のものである。(a)は造波位置で $H_{1/3}$≒9.15cm、 $T_{1/3}$≒1.26s を入力した値の不規則波水位の時系列波形を示している。(b)は、造波位置から不規則波が海底勾配法先②まで伝播してきた様子が見てとれる。図-4 は、造波位置①の入力波高と海底勾配法先②の位置における目標波高の関係を示したものである。目標波高は、同地点における $H_{1/3}$≒9.15cm である。図より、入力波高 9.15cm を入力して計算した場合、②での目標波高は 7.71cm

キーワード：数値波動水路，傾斜護岸，越波，不規則波
〒982-8577　仙台市太白区八木山香澄町 35-1　東北工業大学　工学部　都市マネジメント学科　TEL：022-305-3539　FAX：022-305-3501

となり目標波高に比べて小さい値となった。そこで、②の位置における目標波高が 9.15cm になる様に、数ケース入力波高を代えて計算を行った結果、12.2cm を入力する事により、目標波高 $H_{1/3}$≒9.15cm となることが分かった。また、有義波周期は $T_{1/3}$≒1.30s となっている。

図-5 は検討 CASE1～3、すなわち一様水深部 h=32.5 ～37.5cm(法先水深 $h_i$=2.5～7.5cm)の 2.5cm ごとに h をパラメータとして図示したもので、横軸に起波後の経過時間 t(s)、縦軸に越波升の累積越波流量Q ($m^3$/m)を示した。いずれのケースも t=15s 程度から越波升に越波流量が貯留し始めている。当然ながら h が増加すると共に、累積越波流量が増えていく様子が分かる。

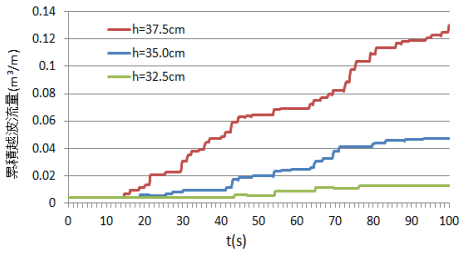
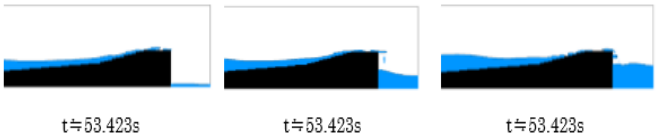


図-5　累積越波量と経過時間



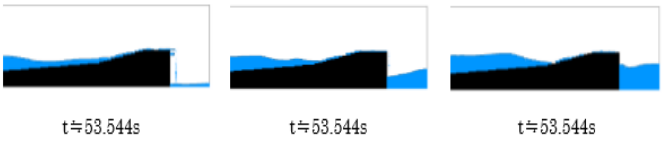



図-6(a)h=35.0cm　図-6(b)h=37.5cm　図-6(c)h=40.0cm

**3-2 波の越波状況**

図-6 は case2～4 の各水深の堤体周辺での波の作用、越波状況を示した例であり、(a)h＝35.0cm、(b) h＝37.5cm、(c) h＝40.0cm のケースを図示したものである。堤体の右側は越波升となっており、堤体を越波した波がこの中に貯留される。t は波作用経過時間を表している。図-6(a),(b),(c),とも同一時刻の描画を示している。図より各ケース共ほぼ同一に遡上しており、遡上から越波している状況が認められる。また、一様水深部 h が大きい(c),(b),(a)の順に越波升内の越波水量が多いことが認められる。

**3-3 越波率 ro の比較**

図-7 は、ro と堤脚水深・換算沖波波高 $hi/H_0'$ の関係を表したもので、法肩⑤、越波升⑥、比較のために斎藤らの実験値[4]をパラメータとして図示したものである。数値計算の越波の定義はそれぞれの位置へ越波したものとした。なお実験値は、越波升に少しでも越流した場合とした。図より、実験値と計算値⑥はほぼ同程度の値となっている。計算値の法肩⑤が他ケースよりも最大で 20%程度 $r_0$ が多い。$hi/H_0'$＝1.0 では、3 ケースとも約 90%で、高い数値を示している。

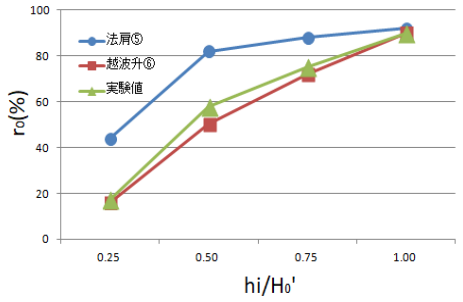


図-7　越波率の比較

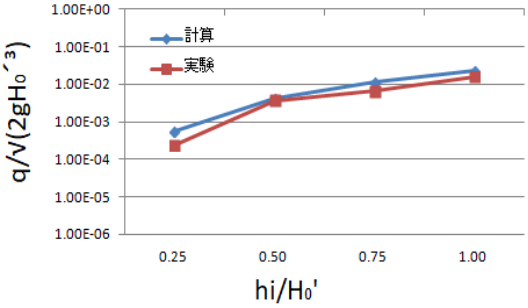


図-8　無次元越波流量の比較

**3-4 無次元越波流量 $q/\sqrt{(2gH_0'^3)}$の比較**

図-8 は、$q/\sqrt{(2gH_0'^3)}$と $hi/H_0'$ の関係について前報[4]の実験値、本計算値をパラメータとして図示したものである。図より、$hi/H_0'$ の値が大きくなるにつれて $q/\sqrt{(2gH_0'^3)}$の値が大きくなっていくことが確認できる。図より $hi/H_0'$=0.25、0.75 で幾分差が認められるが計算値と実験値はほぼ同程度の値となった。

**4.おわりに**

数値波動水路を用いて、不規則波による傾斜護岸への越波に関する数値計算を行った。その結果、越波率、越波流量ともに齋藤らの実験値と概ね一致する結果となった。これらの事より、不規則波における数値計算の確立がある程度計られたものと考える。

〈参考文献〉1)菊地亨、高橋敏彦：直立および傾斜護岸への越波に関する検討，平成 20 年度土木学会東北支部概要，Ⅱ-5, 2009.　2)鈴木颯、高橋敏彦：緩傾斜護岸への越波防止に関する数値計算，平成 28 年度土木学会東北支部概要，Ⅱ-84, 2017.　3)（財)沿岸開発技術研究センター：CADMAS-SURF 数値波動水路の研究・開発，沿岸開発技術ライブラリーNO.12，2001.　4)齋藤和哉、高橋敏彦：直立及び傾斜護岸への越波に関する検討，平成 21 年度土木学会東北支部概要，Ⅱ-85, 2014.