傾斜護岸への波圧に関する検討

東北工業大学　学生員　○佐藤　吉秀
東北工業大学　正　員　　高橋　敏彦

1. はじめに

著者らは 1/0.5,1/3,1/5 勾配の傾斜護岸に対する越波や越波防止対策の実験を行い、越波対策工として既存の傾斜護岸の天端に越波対策工を設置することにより、越波対策に大きな効果があることを報告[1~4]してきた。しかし、傾斜護岸の天端に設置した対策工にどの程度の波圧が作用するのかはあまり検討されていない。

そこで本研究は、基本的な検討として傾斜護岸の天端に直方体を越波対策工として設置し、既存の波圧式や数値計算により各地点や対策工に作用する波圧を検討した。

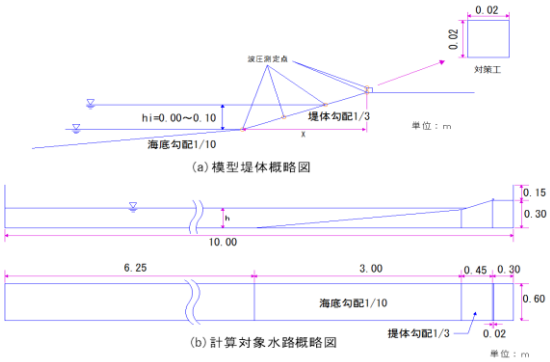


図-1 計算対象水路

2. 計算条件および計算方法

既存の波圧式としては富永・九津見の式、数値計算はCADMAS-SURF v5.1を使用した。

表-1 計算条件

勾配	計算名	対策工の種類	hi(m)	x(m)	T(s)	H(m)	hi/Lo	hi/Ho'
1/3	No.1	直方体	0.025	0.375	1.26	0.0915	0.01	0.25
	No.2		0.050	0.300			0.02	0.50
	No.3		0.075	0.225			0.03	0.75
	No.4		0.100	0.150			0.04	1.00

各計算条件は以下の通りである。計算水路は長さ 10.0m、幅 0.6m、高さ 0.7m の水路とした。(図-1(b))水路の一端には造波装置、他端には 1/10 勾配の海底地形を作成し、その上に 2.0cm×2.0cm の直方体の対策工を設けた 1/3 勾配傾斜護岸を設置した。模型堤体概略図および波圧計測地点を図-1 (a)に示す。なお、堤脚水深は 4 種類である。波浪条件として規則波を用い、一様部水深での周期 T≒1.26s、波高 H≒9.15cm、とした。なお、全ケース共 H_0'/L_0≒0.04 である。

3. 計算結果および考察

3-1 富永・九津見の実験式による計算

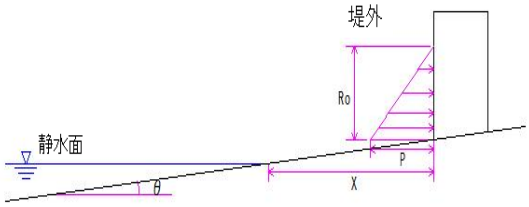
海中にある直立壁に作用する波圧は、合田式[5]を始め幾つかあるが、傾斜護岸の天端に設置した対策工に作用する波圧については海岸保全施設築造基準解説[6]等には示されておらず、波返し工の天端幅は原則として 50cm 以上にすることと記述されているのみである。

富永・九津見は直立壁が汀線の陸側にある場合の波圧式を次の通り提案[7]している。

$$P = 1.8\,W_o \tan\theta\,[(H_o' \cdot L_o)^{1/2} - X]$$

$$R_o = 1.7 \tan\theta\,[(H_o' \cdot L_o)^{1/2} - X]$$

ここに、P:波圧強度,Ro:波圧作用高さ,Ho'：換算沖波波高,Lo:沖波波長,Wo:海水の単位体積重量,海底勾配 θ を傾斜護岸の勾配、Xは汀線から直立壁までの距離であるが、ここでは汀線から対策工までの距離として考え、上記式を用いて波圧を計算した。



図－2 富永・九津見の式による波圧分布

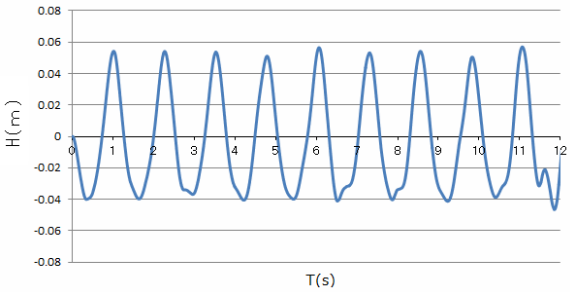


図-3　通過波の検討

3-2CADMAS-SURF による計算

CADMAS-SURF による数値波動水路の基礎方程式は、2 次元非圧縮性粘性流体を対象とした連続式及び Navier-Stokes 方程式をポーラスモデルに基づいて拡張した式[8]が採用されている。造波方法は造波境界、差分ス

キーワード：波圧、傾斜護岸、CADMAS-SURF、越波対策工　〒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 建設システム工学科 TEL：022-305-3539　FAX：022-305-3501

キームは DONOR-0.2 を用いている。格子間隔は⊿x=0.05～0.01m, ⊿z=0.005m を用いた。

図-3 は、計算 No.1 の一様部水深での通過波を表しており、この図より H≒9.15cm, T≒1.26s であることを確認している。他ケースも同様に通過波検定を行っている。図-4 は計算 No.4 における各地点の波圧を示したもので、図の横軸は波発生時からの経過時間、縦軸は波圧強度(Pa)を示している。上図より堤体勾配始点、堤体 1/3 地点、堤体 2/3 地点、対策工基部および対策工上部を示している。図より、堤体勾配始点、堤体 1/3 地点および堤体 2/3 地点の波作用前の水深は、それぞれ 0.1m, 0.05m, 汀線地点であり、当然ながら静水圧は理論値と対応しており、各地点の波圧曲線も波の遡上状況とも一致している。対策工基部および上部には最大約 2300Pa および 830Pa の衝撃圧力が作用していることが認められる。波の遡上状況より、対策工基部および上部に波が衝突していることを確認している。ただし、堤体 1/3 地点, 2/3 地点および対策工に波発生後 12s, 14s, 16s 付近に負のスパイクノイズと思われる値が表れている。

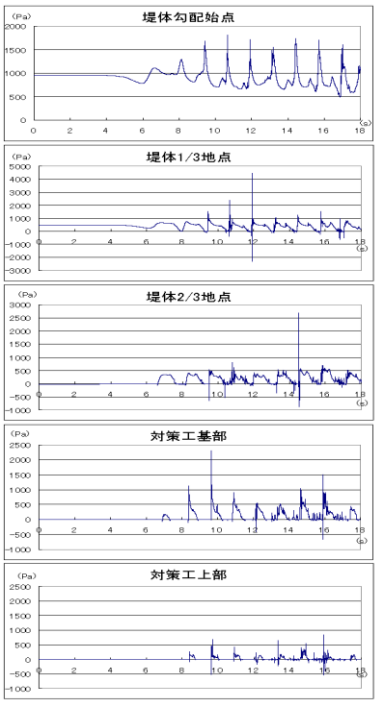


図-4 各地点の波圧強度(計算 No.4)

図-5 は、上図より計算 No.1～No.4 までの各ケースの対策工基部の波圧を表しており、横軸は波発生時からの経過時間、縦軸は波圧強度(Pa)を示している。図中の赤線は、富永・九津見の式より求めた対策工基部での波圧強度である。図より計算 No が 1～4 になるに従って堤脚水深が大きくなるため、当然ながら対策工基部に波が到達する毎に波圧が徐々に発生し、波圧強度が大きくなる傾向が認められる。計算 No.1 において富永・九津見らの計算では約 610Pa の波圧強度が作用するが、CADMAS-SURF による計算では対策工まで波が届いておらず、当然 0Pa となっている。計算 No.2 では、富永・九津見による計算では約 1070Pa であるが、CADMAS-SURF による計算では波発生後 9s 付近に約 610Pa の波圧強度が表れており、この計算時間内ではほぼこの 1 波のみが波返し工に届いているのみであった。計算 No.3, 4 の富永・九津見の式による計算値は、約 1520Pa, 1980Pa に対して CADMAS-SURF による波圧強度の最大値はそれぞれ 2220Pa, 2310Pa であり、計算 No.4 ではほぼ同じ値となっている。

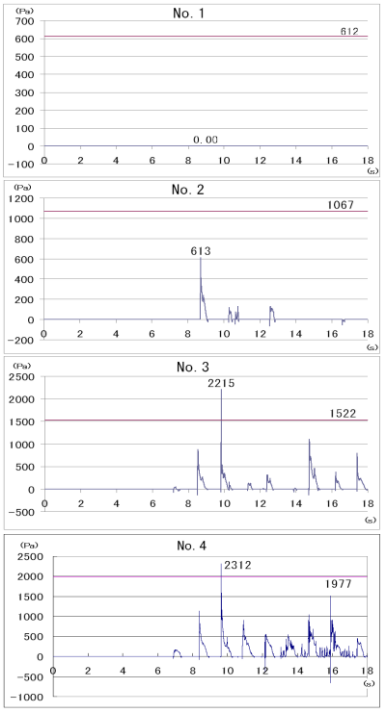


図-5 各実験ケースの波返し工基部に作用する波圧強度

4. おわりに

傾斜護岸の天端に越波対策工として直方体を設置し、既存の富永・九津見の実験式を用いた計算や CADMAS-SURF での数値計算による波圧強度を検討した。富永らの実験式は、海底勾配上の直立壁に作用する波圧式であるが、傾斜護岸の天端に設置した越波対策工への波圧計算にも応用可能であることを示唆した。また、CADMAS-SURF による各地点の波圧強度の計算もほぼ対応できているものと考える。

〈参考文献〉 1)鈴木ら:親水性護岸の越波防止に関する対策工の検討, 平成 18 年度土木学会東北支部概要集, 2007　2)工藤ら:親水性護岸の越波防止に関する不規則波実験, 平成 19 年度土木学会東北支部概要集, 2008　3)渡邊ら:急傾斜護岸の越波防止に関する不規則波実験, 平成 20 年度土木学会東北支部概要集, 2009　4)齊藤ら:直立およ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集, 2010　5)合田ら:防波堤の設計波圧に関する研究, 港湾技術研究所報告, 第 12 巻, 第 3 号, pp31～69, 1973　6)海岸保全施設築造基準連絡協議会編:海岸保全施設築造基準解説, pp269, 全国海岸協会, 1987　7)富永・九津見:海岸堤防に関する研究-波圧-, 土木研究所報告, 142 号 pp45～103, 1971　8)財団法人 沿岸開発技術研究センター:数値波動水路の研究・開発 数値波動水路の耐波設計への適用に関する研究会報告書, pp10～15, 2002