

堤防裏法被覆工の相対粗度間隔が越流のエネルギー減衰に及ぼす影響

埼玉大学 学生会員 ○狩野 匠
 埼玉大学 正会員 八木澤 順治

1. 目的

2011年の東北地方太平洋沖地震津波による海岸堤防の被害を受けて、想定を大きく超えた越流を伴う状況下においても内陸への越流量・流体力を最小限に抑えるために、越流に対して粘り強く効果を発揮する堤防を構築することが求められている。国土交通省国土技術政策総合研究所¹⁾は水理模型実験による構造検討を行い、越流時の堤体軟弱化に対して裏法尻・法肩保護工の設置、部材厚の確保といった対策を示した。こうした研究の一方、堤防の法面上でエネルギー減衰を促す研究はあまり例を見ない。射流条件下での底面粗度に関する研究としては高橋ら²⁾の階段粗度に関する研究があり、エネルギー減衰に効果があることが明らかとなっている。海岸堤防の裏法面には凹凸のある裏法被覆工を設置することが多いが、常流条件下で底面粗度を用いた研究では、相対粗度間隔が6~10で最も抵抗が大きくなることが知られている³⁾。上記を踏まえ、本研究では裏法被覆工の凹凸を粗度とみなし、水理模型実験により法面上粗度の相対粗度間隔の変化がエネルギー減衰に及ぼす影響を明らかにすることを目的とする。

2. 研究方法

(1) 粗度モデル・実験条件

実験モデルは実スケールの1/30を想定し、堤防モデルと固定床部分の長さ200cm、幅40cm、高さ50cmの水路において実施した。堤防モデルの裏法面に一辺の長さ3.0mmの正方形断面の粗度モデルを一定間隔で設置し、相対粗度間隔 s/k が0,4,6,8,10,12,14のとき、相対水深 h/H をそれぞれ0.1,0.15,0.2と変えながら計21ケースを実施した。

(2) 実験方法

裏法肩の相対水深が実験条件を満たし定常流となった状態で、ポイントゲージを用いて法肩から下流190cmまでの水面形を測定した。その際、ポイントゲージを落とした際の波の伝播から擾乱の開始点

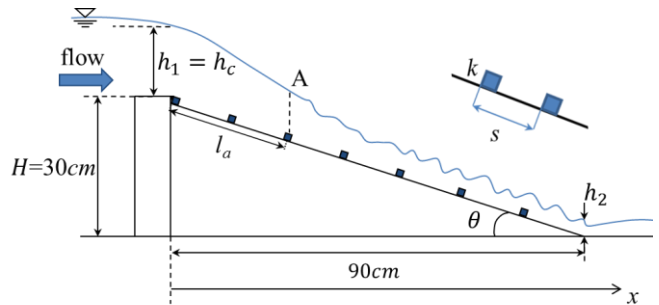


図-1 実験装置概要図

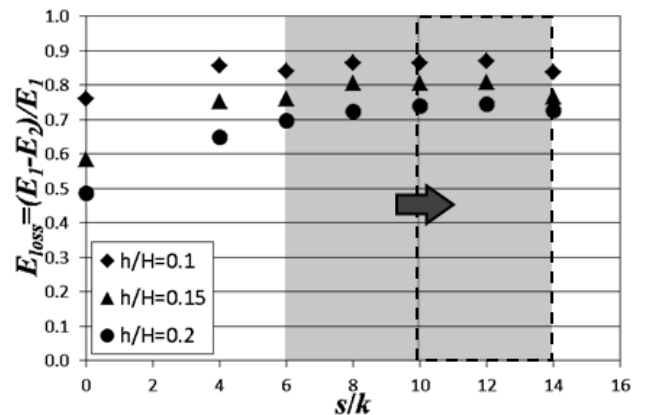


図-2 相対粗度間隔によるエネルギー減衰率の比較

Aを測定し、Aと最も近い水面形の測定点から法肩までの長さ l_a を測定した。

(3) 粗度モデルの減勢効果の評価方法

堤防頂部において限界流が生じる条件とベルヌーイの式、連続式より、裏法肩と裏法尻それぞれの水深を用いてエネルギー減衰率 E_{loss} を算出した。

$$E_{loss} = (E_1 - E_2)/E_1 \quad (1)$$

ここで、 E_1 は裏法肩のエネルギー水頭、 E_2 は裏法尻のエネルギー水頭である。

3. 結果と考察

(1) 相対粗度間隔がエネルギー減衰率に及ぼす影響

相対粗度間隔 s/k によるエネルギー減衰率の変化を表したグラフを図-2に示した。 h/H が0.1,0.15,0.2ともに、 s/k が増加するとエネルギー減衰率も増加していき、エネルギー減衰率が最大となる点、つまり最も減勢に効果的な s/k 、それぞれ12,12,12と

なったあとは、 s/k が増加するにつれてエネルギー減衰率は小さくなっていった。これにより、 s/k が小さすぎると粗度間の凹部が死水域となり抵抗が小さくなる一方、 s/k が大きすぎると単純に粗度要素の抵抗が小さくなる³⁾という常流条件での傾向が射流条件でも確認できた。また、射流条件ではエネルギー減衰率が大きくなる s/k の範囲が、常流条件よりも大きくなる方向にシフトした。この現象におけるエネルギー減衰の要因は、粗度の抗力と、粗度背後で生じる剥離流による運動量交換の二つである。エネルギー減衰率が大きくなる s/k の範囲が常流条件の場合と変化した理由として、射流となり常流条件よりも粗度上部の流速が大きくなったことで、粗度背後で生じる剥離流が再付着し十分に運動量交換を起こすのに必要な長さが伸びたためと考えられる。

(2) s/k がエネルギー勾配に及ぼす影響

s/k による l_a/l の変化を図-3に示した。擾乱開始位置がケースによって異なっているのがわかる。 h/H が0.1,0.15の場合は s/k が10から12で l_a/l は最も小さくなり、その後は s/k の増加とともに l_a/l は増加した。 h/H が0.2ではピークは見られず s/k の増加とともに l_a/l は減少した。 E_{loss} が最大となる s/k の範囲について、擾乱開始位置であるA点を境界とした1A間(上流側)とA2間(下流側)の平均エネルギー勾配の s/k と h/H による変化を表-1に示した。比較した全ケースで1A間よりA2間の方が、平均エネルギー勾配が大きいことがわかる。エネルギー減衰率が最大となる $s/k = 12$ の場合、1A間とA2間の平均エネルギー勾配の比は h/H が0.1,0.15,0.2のとき、それぞれ1.83,2.46,3.36となり、比較したケースの中で最も勾配の変化が大きかった。

2011年の東北地方太平洋沖地震津波以降、海岸堤防本体を可能な限り維持するため、裏法面上に裏法尻保護のために盛土する試みがある。裏法尻をできるだけ長く保護するという目的上余盛り高さはなるべく大きく取るべきだが、図-3で示すA点よりも上部に盛土した場合、エネルギー減衰が十分生じる前の高エネルギーの越流水によって大きく洗掘され、内陸への土砂流入量が増加する可能性がある。

4. 結論

本研究によって得られた結論を以下に示す。

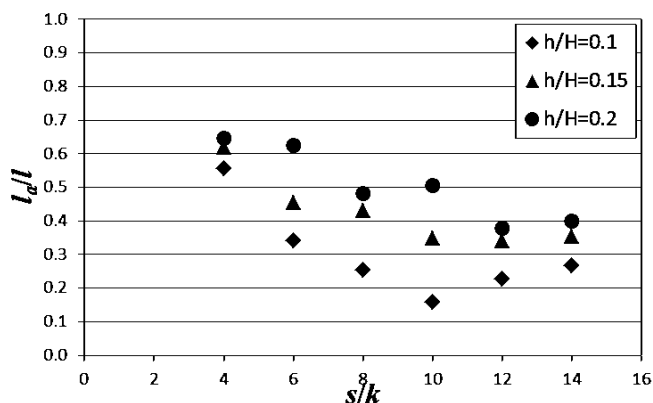


図-3 相対粗度間隔による l_a/l の比較

表-1 擾乱前後での平均エネルギー勾配の比較

s/k	10			12			14		
	0.1	0.15	0.2	0.1	0.15	0.2	0.1	0.15	0.2
1A間	0.25	0.18	0.22	0.30	0.26	0.22	0.24	0.23	0.23
A2間	0.35	0.41	0.43	0.55	0.64	0.74	0.35	0.37	0.38

- 1) 法面上の相対粗度間隔はエネルギー減衰に影響を及ぼすことがわかった。また、相対粗度間隔が10~14でエネルギー抵抗が最大となり、それは常流条件の場合よりも大きくなることがわかった。
- 2) 相対粗度間隔と相対水深が流れの擾乱開始位置に影響することがわかった。擾乱地点後では平均エネルギー減少勾配が大きく増加し、擾乱開始位置が上流側にあるほど大きくなることがわかった。

謝辞：本研究は2015年度前田記念工学振興財団研究助成(代表者 八木澤順治)の一部を使用して実施した。記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 国土交通省技術政策総合研究所河川研究部：粘り強く効果を発揮する海岸堤防の構造検討（第1報），国総研技術速報No.1，2012。
- 2) 高橋正行・大津岩夫：階段状水路の空気混入流特性に対する水路傾斜角度の影響，水工学論文集，第54巻，pp.1057-1062，2010。
- 3) 富永晃宏：栈粗度の相対粗度間隔が開水路の乱流構造に及ぼす影響，水工学論文集，第36巻，pp.163-168，1992。