

堤防を越流する流れに対する二線堤の陸側堤防天端上の樹林帯効果について

埼玉大学 学生会員 ○小野寺 祐乃

埼玉大学大学院理工学研究科・日本学術振興会特別研究員 DC 学生会員 五十嵐 善哉

埼玉大学大学院（兼）埼玉大学研究機構レジリエント社会研究センター 正会員 田中 規夫

1. 研究背景及び目的

東北地方太平洋沖地震津波以降、レベル2津波に対する海岸整備は、多重防御構造を用いた減災が検討されている。Tanaka and Igarashi¹⁾は、二線堤構造と樹林帯を組み合わせることで、高いエネルギー減衰効果が期待されることを明らかにした。しかし、模型スケールが1/200と小さく、樹林帯の条件は1ケースのみである。そこで本研究では、より大きなスケール(1/50)で、二線堤と樹林帯の効果を詳細に把握するため、水理模型実験を実施した。

2. 水理模型実験の概要

本研究では、津波が砕波せず海岸堤防に達する（同じ越流水深でも流速により結果が異なる）場合に注目する。現象の複雑性を考慮し、第一段階として定常流水路を用いて実験を行った。射流状態のまま越流する流れを作成するため、図1のように第1堤防天端の延長上に小さい堤防を設置し法面で加速させた（実験条件のため、実際にこのような構造物を想定しているわけではない）。第2堤防表法面勾配*i*は1割(*i*₁)と2割(*i*₂)、堤防法尻間隔 *L* は 20cm(*L*₂₀)と 60cm(*L*₆₀)とし、実験ケース名は Case *i*1*L*₂₀, *i*1*L*₆₀, *i*2*L*₂₀, *i*2*L*₆₀ とする。樹林帯の影響を見るため、樹林帯なし(0列)、2列、4列の実験を行った。比較のために第1堤防のみの実験も行った。各堤防の大きさ、法面勾配は図1の通りである。樹林帯模型は、直径4.0mmの円柱を用い、密度を2列:約0.13(本/cm²)、4列:約0.28(本/cm²)の千鳥配列で第2堤防天端上に設置した。スケールにより第1堤防天端上の越流水深 *h* を、容量式波高計により図1の G1, G2, G3 位置の水深を計測した。

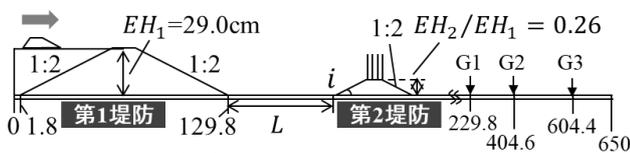


図1 堤防と樹林帯の配置 (G1-G3:水深計測位置)

3. 実験結果および考察

本実験は、Tanaka and Igarashi¹⁾と同様の流況の Type c, b, a1 が観察された (図2)。Type a2 が見られなかったのは、スケール効果の影響である。Type a1 と a2 の差は空気を巻き込むか否かであり、レイノルズ数の影響が無視できないと考えられる。

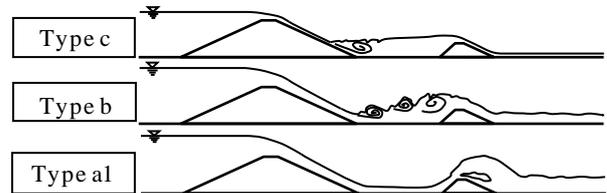


図2 二線堤越流時の流況

(1) 樹林帯がエネルギー減衰率 ΔE に及ぼした影響

図3にエネルギー減衰率 $\Delta E (=100 \times (E_1 - E_2) / E_1)$ と無次元越流水深 $h' (=h / EH_1)$ の関係を示す。ここで、 E_1, E_2 はそれぞれ、第1堤防天端と第2堤防背後(G1, G2, G3)での全水頭である。

図3(b)の $h' = 0.04 \sim 0.14$ をみると、流況は堤防間に水が貯留した Type c, b であり、その場合、樹林帯の設置による ΔE の変化はほとんど見られない。この理由を考察するため、樹林帯なしと4列に関して、第1堤防における無次元越流水深が同程度であるときの、貯留空間内水深を比較した (図4)。Type c, b では、樹林帯により水深がせき上げられると、第1堤防から水面までの落差が小さくなり、法面部での摩擦によるエネルギー減衰が小さくなることに加えて、流体が水面に流れ込んだ際の衝突によるエネルギー減衰も小さくなる。よって、樹林帯から抗力を受けるにも関わらず、 ΔE の変化がほとんどなかったと考えられる。

一方で、図3(d)の $h' = 0.16 \sim 0.26$ のように、Type a1 のような第2堤防越流時に斜方投射される流況では、樹林帯の設置により ΔE が大きくなった。これは、樹林帯の抗力の影響に加えて、図5のように樹林帯が2堤防越流時の投射角度を大きくすることにより、流体が背後の

キーワード レベル2津波, 射流, 多重防御, 海岸堤防

連絡先〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保 255 埼玉大学 TEL048-858-3564 E-mail: tanaka01@mail.saitama-u.ac.jp

底面に打ち付けられた時のエネルギー減衰が大きくなったためである。また、図3の(b)と(d)の比較より、 i_1 と比較して i_2 において樹林帯有無による ΔE の差が大きいことが分かる。 i_1 では、樹林帯なしでも投射角度が十分大きいため、樹林帯を設置してもあまり差が生じなかったと考えられる。図3の(c),(d)を比較すると、 $L20$ より $L60$ の樹林帯なしで ΔE が低い。 L が大きいほど斜方投射距離が短くなるため、 ΔE が低下した。しかし、樹林帯の設置により、 L によらず ΔE は向上した。

(2) 樹林帯が流況に及ぼす影響

流況がType c,b では ΔE が大きく、Type a1では、 ΔE が大きい場合と、第1堤防のみとほとんど変わらない場合がある。樹林帯列数が多いほど、Type a1が発生しにくくなった。これは、樹林帯列数が多い方が、流体が樹林帯から受ける抗力も大きいためである。この効果は、 L が大きいほど、また、 i が緩やかなほど大きい。

4. 結論

樹林帯設置によるエネルギー減衰効果は、流況によって傾向が大きく異なった。樹林帯無しでも堤防間で跳水が生じる流況では、樹林帯を設置しても水深せき上げ効果によってエネルギー減衰効果はほとんど変化がない。一方で、第2堤防を射流で越流し、斜方投射される流況では、樹林帯設置により投射角度を大きくする効果により、エネルギー減衰効果が向上する。また、樹林帯が投射角度に与える影響は、 i が緩勾配かつ L が大きいほど大きい。

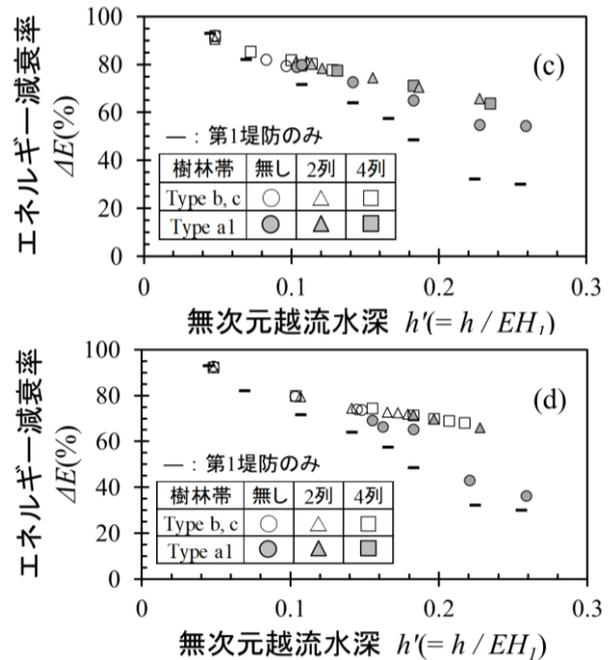


図3 無次元越流水深とエネルギー減衰率の関係 ((a) i_1L1 (b) i_1L2 (c) i_2L1 (d) i_2L2)

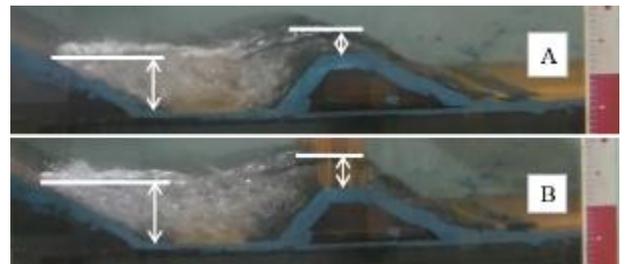


図4 水深せき上げ効果 ((A):Case i_1L1 , 樹林帯なし, $h'=0.072$, (B): Case i_1L1 , 樹林帯4列, $h'=0.079$)

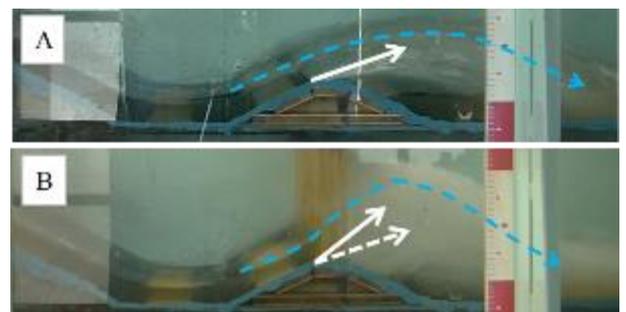
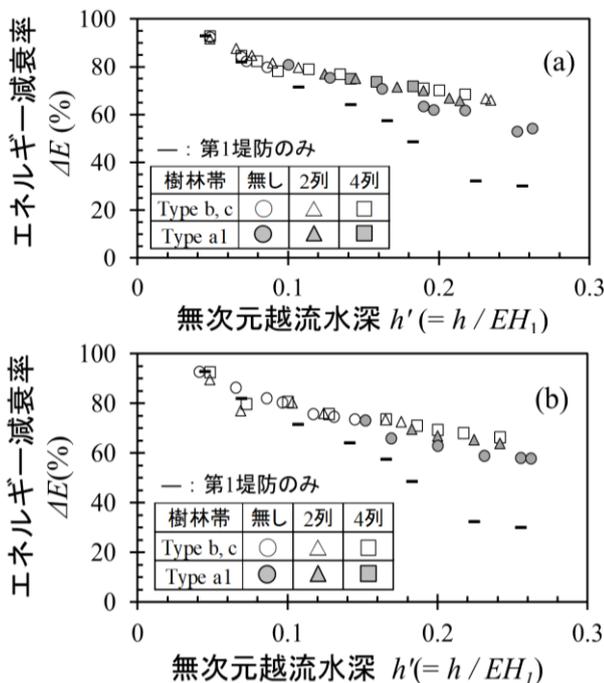


図5 斜方投射角度の変化 ((A):Case i_2L1 , 樹林帯なし, $h'=0.23$, (B): Case i_2L1 , 樹林帯4列, $h'=0.23$)



謝辞 本研究の一部に、科学研究費補助金特別研究員奨励費 (JSPS KAKENHI Grant Number JP18J11942, 代表：五十嵐善哉) を使用した。記して謝意を表します。

参考文献

1. Tanaka, N., Igarashi, Y., 2016. Multiple defense for tsunami inundation by two embankment system and prevention of oscillation by trees on embankment. In: Proc. Of 20th IAHR-APD, Colombo, Sri Lanka.