

学位論文題名

緩傾斜堤の水理特性に関する基礎的研究

学位論文内容の要旨

従来、海岸侵食対策工法としては突堤や離岸堤工法等が採用されてきていたが、近年、親水性や景観面も配慮した工法として、緩傾斜堤が注目され築造されはじめている。この緩傾斜堤は、表層を形成するブロックの孔などによる堤表面の粗度及びブロック層下の捨石層・フィルター層の透水性が大きな特徴となっている。この緩傾斜堤を提案した豊島は緩傾斜堤の目的は、波の反射率を弱め、打ち上げ高さを低くし、戻り流れの流速と量をできるだけ小さくすることであると述べている。今後、親水性や景観面に配慮したこれらの海岸保全工法が多く採用されると思われる。しかし、緩傾斜堤が注目され始めて日が浅く、打ち上げ高さや反射率に及ぼすこれらの効果は、必ずしも解明されていない。また、粗度と透水性を有する斜面上の波の打ち上げ速度、戻り流れ、透水層内の流速等については、ほとんど検討されていない。宇多らの調査によると、調査対象とした緩傾斜堤の約 1/3 に被災がみられ、緩傾斜堤の被災の多くは太平洋や日本海などに直接面している海岸であることが報告されている。それにも関わらず、緩傾斜堤の有無や設置位置及び勾配の違いによる海浜地形変化や、被災過程の違い等についてはほとんど検討されていない。これらの問題点を解明することは、沿岸環境と国土の保全及び防災上有益であると考えられる。

本論文は、9章から成り立っている。第1章は序論、第9章は本論文のまとめとなっていて、第2章から第8章の内容は大きく次の3項目より成り立っている。

- 1) 波の打ち上げ高さ・反射率に関する固定床実験による成果
- 2) 波の打ち上げ高さ、遡上特性に関する固定床実験、現地観測、数値計算による成果
- 3) 海浜地形変化及び被災に関する移動床実験による成果

上記 1)については、波の打ち上げ高さ、反射率及び堤遡上時のエネルギー消費などについて、滑面、粗面、透水性斜面及び「粗面+透水層」と大別して系統的な実験を行い、その成果比較検討を行った。透水性斜面に対する実験からは、透水層厚が厚くなるにつれて、打ち上げ高さ、反射率は共に小さくなるが、特に反射率に効果的であること及び透水層厚がある程度大きくなると両者ともある一定値に漸近する傾向があることを明らかにした。さらに、透水層内の空隙率・透水層厚等を考慮して、波の打ち上

げ高さに関する実験式を提案した。滑面、粗面、「粗面+透水層」に対する実験からは、斜面の粗度・透水性が打ち上げ高さや反射率に及ぼす影響を分離し表層の違いによるそれらへの効果を明確にした。粗度・透水性の効果は、波形勾配が小さい領域で顕著であるが、波形勾配が 0.025~0.03 以上になるとその効果がほとんどなくなることを明らかにした。さらにこれら粗度・透水性の効果を加味した波の打ち上げ高さ、反射率の推定方法も提案した。また、既往の研究成果を補完するため、研究例の少ない 1/4 勾配の緩傾斜護岸を対象に、滑面緩傾斜堤と有孔被覆ブロック傾斜堤への波の打ち上げ高さの算定図を作成した。透水層内の流れの測定からは、汀線付近の透水層内には、定常的な戻り流れが認められること及び「有孔板+透水層」の打ち上げ水量は、滑面の打ち上げ水量よりも小さくなることを明らかにし、両傾斜堤の打ち上げ水量の割合と波形勾配 (H_o/L_o) の実験的關係式を求めた。

2)では、現地観測値に基づいて、波浪観測地点の波高出現確率及び波浪観測波数と波の遡上波数を検討し、波の打ち上げ高観測波数のほぼ 1/3 最大値に対応する実測平均波先端移動速度と、1/3 最大打ち上げ高さ ($R_{1/3}$) 及び有義波周期 ($T_{1/3}$) を用いて求めた波先端移動速度は、ほぼ同程度の値であることを示した。次に、波の打ち上げ高さへの堤脚水深の影響について検討し、かなりばらつく実測データも、 h_i/L_o (h_i 堤脚水深) をパラメータとした R/H_o と H_o/L_o の関係図は、よくまとまることを示した。さらに 1)で求めた有孔被覆ブロック堤への波の打ち上げ高さの実験値と比較検討を行って、現地の緩傾斜堤への波の打ち上げ高さ、遡上特性を把握した。斜面への波の遡上に関する数値計算では、浅水方程式を用いて波の打ち上げ高さを算定する手法を確立し、非碎波、碎波を含む広い条件に対する最大遡上高さ、遡上空間波形及び波先端軌跡等について実験結果と比較検討を行い、計算値は波の進行過程及び波の遡上、遡下の一連のパターンを定性的にはよく表現できるが、実験値と比較すると最大遡上高さ及び波先端軌跡は、碎波、非碎波に関わらず各周期とも入射波高が小さい場合はほぼ同程度の値となるものの、入射波高が大きくなるにつれて、また周期が長いほど実験値の方が大きくなる傾向が認められた。計算値と実験値には一定の関係が得られたことから、数値計算により最大打ち上げ高さの概略値を推定することが可能となった。

3)では、侵食型、堆積型の波を交互に作用させ、緩傾斜堤の有無による海浜地形変化を比較した実験と侵食型の波のみを長時間作用させて、緩傾斜堤設置位置及び法面勾配の影響を主に被災に関して調べた実験の2種類を行った。前者の実験では、自然海浜の汀線は、侵食型の波を作用させると一気に後退するが、緩傾斜堤設置海浜の汀線後退は比較的緩慢であること、引き続き侵食・中間・堆積型の波を交互に作用させると両者とも時間の経過と共に徐々に後退していく傾向を示すが、緩傾斜堤上に砂がある間は、緩傾斜堤は自然海浜に比べ汀線後退に対して有効に働き、汀線後退量は自然海浜の 4~6 割程度に低減できることなどが認められた。後者の実験では、緩傾斜堤の被災は、斜面勾配に関係なくほぼ同じパターンで発生すること及び緩傾斜堤を沖側へ設置するほど、また斜面勾配が急なほど被災に至るまでの波の作用時間が短いことを示した。緩傾斜堤の設置位置によっては、自然海浜より海浜地形変化、洗掘深が大きくなる状況が生じ

た。さらに堤前面の最大洗掘深、基礎工の被災を堤設置位置及び波作用時間の関数とする実験的關係を求め被災軽減の設計法を示すとともに、根入れ深さについては特に慎重な配慮が必要であることも指摘した。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 佐 伯 浩
副 査 教 授 板 倉 忠 興
副 査 教 授 藤 田 陸 博
副 査 助 教 授 山 下 俊 彦

学位論文題名

緩傾斜堤の水理特性に関する基礎的研究

従来、海岸侵食対策工法としては突堤や離岸堤工法等が採用されてきていたが、近年、親水性や景観面も配慮した工法として、緩傾斜堤が注目され築造されはじめている。この緩傾斜堤は、表層を形成するブロックの孔などによる堤表面の粗度及びブロック層下の捨石層・フィルター層の透水性が大きな特徴となっている。緩傾斜堤の目的は、波の反射率を弱め、打ち上げ高さを低くし、戻り流れの流速と量をできるだけ小さくすることにより、海岸を保全しようとするものである。今後、親水性や景観面に配慮したこれらの海岸保全工法が多く採用されると思われる。しかし、緩傾斜堤が注目され始めて日が浅く、打ち上げ高さや反射率に及ぼす効果は、必ずしも解明されていない。また、粗度と透水性を有する斜面上の波の打ち上げ速度、戻り流れ、透水層内の流速等については、ほとんど検討されていない。宇多らの調査によると、調査対象とした緩傾斜堤の約 1/3 に被災がみられ、緩傾斜堤の被災の多くは太平洋や日本海などに直接面している海岸であることが報告されている。それにも関わらず、緩傾斜堤の有無や設置位置及び勾配の違いによる海浜地形変化や、被災過程の違い等についてはほとんど検討されていない。これらの問題点を解明することは、沿岸環境と国土の保全及び防災上有益であると考えられる。

本論文は、9 章から成り立っている。第 1 章は序論、第 9 章は本論文のまとめとなっていて、第 2 章から第 8 章の内容は大きく次の 3 項目より成り立っている。

- 1) 波の打ち上げ高さ・反射率に関する固定床実験による成果
- 2) 波の打ち上げ高さ、遡上特性に関する固定床実験、現地観測、数値計算による成果
- 3) 海浜地形変化及び被災に関する移動床実験による成果

上記 1) については、波の打ち上げ高さ、反射率及び堤遡上時のエネルギー消費などについて、滑面、粗面、透水性斜面及び「粗面＋透水層」と大別して系統的な実験を行い、透水性斜面に対する実験からは、透水層厚が厚くなるにつれて、打ち上げ高さ、反射率は共に小さくなるが、特に反射率に効果的であること及び透水層厚がある程度大きくなると両者ともある一定値に漸近する傾向があることを明らかにした。さらに、透水層内の

空隙率・透水層厚等を考慮して、波の打ち上げ高さに関する実験式を提案した。滑面、粗面、「粗面+透水層」に対する実験からは、斜面の粗度・透水性が打ち上げ高さや反射率に及ぼす影響を分離し表層の違いによるそれらへの効果を明確にした。粗度・透水性の効果は、波形勾配が小さい領域で顕著であるが、波形勾配が0.025~0.03以上になるとその効果がほとんどなくなることを明らかにした。さらにこれら粗度・透水性の効果を加味した波の打ち上げ高さ、反射率の推定方法も提案した。透水層内の流れの測定からは、汀線付近の透水層内には、定常的な戻り流れが認められること及び「有孔板+透水層」の打ち上げ水量は、滑面の打ち上げ水量よりも小さくなることを明らかにし、両傾斜堤の打ち上げ水量の割合と波形勾配 (H_o/L_o) の関係式を初めて求めた。

2)では、現地観測値に基づいて、波の打ち上げ高観測波数のほぼ $1/3$ 最大値に対応する実測平均波先端移動速度と、 $1/3$ 最大打ち上げ高さ ($R_{1/3}$) 及び有義波周期 ($T_{1/3}$) を用いて求めた波先端移動速度は、ほぼ同程度の値であることを示した。次に、波の打ち上げ高さへの堤脚水深の影響については、 h_i/L_o (h_i 堤脚水深) をパラメータとすることにより R/H_o と H_o/L_o の関係図は、よくまとまることを示した。さらに 1)で求めた有孔被覆ブロック堤への波の打ち上げ高さの実験値と比較検討をない、実験結果の妥当性を検証した。斜面への波の遡上に関する数値計算では、浅水方程式を用いて波の打ち上げ高さを算定する手法を確立し、非碎波、碎波を含む広い条件に対する最大遡上高さ、遡上空間波形及び波先端軌跡等について実験結果と比較検討を行い、計算値は波の進行過程及び波の遡上、遡下の一連のパターンを定性的にはよく表現できるが、実験値と比較すると最大遡上高さ及び波先端軌跡は、碎波、非碎波に関わらず各周期とも入射波高が小さい場合はほぼ同程度の値となるものの、入射波高が大きくなるにつれて、また周期が長いほど実験値の方が大きくなる傾向が認められたが、計算値と実験値には一定の関係が得られたことから、数値計算により最大打ち上げ高さの概略値を推定することが可能となった。

3)では、侵食型、堆積型の波を交互に作用させ、緩傾斜堤の有無による海浜地形変化を比較した実験と侵食型の波のみを長時間作用させて、緩傾斜堤設置位置及び法面勾配の影響を主に被災に関して調べた実験の2種類を行った。前者の実験では、自然海浜の汀線は、侵食型の波を作用させると一気に後退するが、緩傾斜堤設置海浜の汀線後退は比較的緩慢であること、引き続き侵食・中間・堆積型の波を交互に作用させると両者とも時間の経過と共に徐々に後退していく傾向を示すが、緩傾斜堤上に砂がある間は、緩傾斜堤は自然海浜に比べ汀線後退に対して有効に働き、汀線後退量は自然海浜の4~6割程度に低減できることなどが認められた。後者の実験では、緩傾斜堤の被災は、斜面勾配に関係なくほぼ同じパターンで発生すること及び緩傾斜堤を沖側へ設置するほど、また斜面勾配が急なほど被災に至るまでの波の作用時間が短いことを示した。緩傾斜堤の設置位置によっては、自然海浜より海浜地形変化、洗掘深が大きくなる状況が生じた。さらに堤前面の最大洗掘深、基礎工の被災を堤設置位置及び波作用時間の関数とする実験的関係を求め被災軽域の設計法を示すとともに、根入れ深さについては特に慎重な配慮が必要であることも指摘した。

これを要するに、著者は今後の海岸保全施設として有望視されている。緩傾斜堤の反射率、透過・フィルター層内の流れといった水理特性を系統的な実験と数値計算により明らかにするとともに、緩傾斜堤近傍海浜の侵

食過程と大波浪による同施設の被災防止のための構造様式及び設置位置を明らかにしたもので海岸工学の発展に大きく貢献するものである、よって著者は、北海道大学博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。