

不規則波による代表打ち上げ高さに関する検討

東北工業大学 学生員○嶋原卓介
東北工業大学 正員 菅原景一・高橋敏彦

1. まえがき

斎藤ら¹⁾は、不規則波による代表打ち上げ高さの関係について Longuet- Higgins²⁾ が示す代表波高間の関係式が波の打ち上げ高さにほぼ対応すると報告している。これらの検討条件としては、相対水深 h_i (堤脚水深)/ L_0 (沖波波長) = -0.02~0.05 と比較的 h_i/L_0 が小さい条件の結果となっている。また、鈴木ら³⁾は、 h_i/L_0 が比較的大きな緩傾斜護岸の 1/3 勾配においても実験的検討を行い、代表波高間の関係式が波の打ち上げ高さにほぼ対応している結果を報告している。そこで本研究は、波の打ち上げ高さの頻度分布や Longuet- Higgins²⁾ が示す代表波高間の関係式が波の打ち上げ高さに対応するのか検討をするため、比較的 h_i/L_0 が大きな $h_i/L_0 = 0.054 \sim 0.192$ と急傾斜護岸を対象に実験を行った。また急・緩傾斜護岸及び海底勾配の有無などの違いがあった場合でも、Longuet- Higgins²⁾ が示す代表波高間の関係式が打ち上げ高さに対応するのか検討した。

2. 実験条件及び実験方法

実験水路は、長さ 20.0cm、幅 0.6m、高さ 0.7m の両面ガラス張りの造波水路を使用した。水路の内部に、1/2 の模型堤体を設置した。実験は、一様部水深 $h = 15.0 \sim 30.0$ cm、有義波周期 $T_{1/3} = 1.34$ s、有義波高 $H_{1/3} = 2.0 \sim 10.0$ cm、相対水深 h_i (法先水深)/ L_0 (沖波波長) = 0.054、0.071、0.107、0.192 の 4 ケースである。入射波数は一様部水深に設置した波高計で測定した。波の打ち上げ高さは、波が遡上する様子をビデオカメラで撮影し、1 波ずつ詳細に読み取った。遡上波は、11 波~120 波以上を読み取り、100 波前後の値を用いて基本的解析を行った。その際、各遡上波のピーク値を読み取る(以降 crest-to-crest と呼ぶ)測定方法と、汀線を越えて打ち上がった波が汀線より沖側へ戻った遡上波の最高値を読み取る(以降 zero-up-cross と呼ぶ)測定方法を使用した。打ち上げ高さの測定は、同じ条件で実験を 3 回ずつ行い、その平均値を用いている。図-1 に模型堤体概略図を示す。

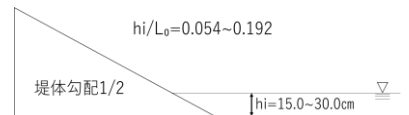


図 1 模型堤体概略図

3. 実験結果及び考察

3.1 波の打ち上げ高さの頻度分布

高橋ら⁴⁾は、現地観測値の波の打ち上げ高さに関して頻度分布特性を検討し、ほぼ Rayleigh 分布に従うことを示唆している。鈴木ら³⁾は水平床上に 1/3 勾配の傾斜護岸における実験結果で同様に検討し、ほぼ Rayleigh 分布に従うことを示している。本実験でも同様の検討を行った。ただし、水平床上に 1/2 の急傾斜護岸を設置した。図-2(a)、(b)は $h_i/L_0 = 0.107$ 、波高 4.0cm の実験ケースで crest-to-crest と zero-up-cross でそれぞれ測定したものであり、図-3(a)、(b)は $h_i/L_0 = 0.107$ 、波高 10.0cm のケースの crest-to-crest と zero-up-cross でそれぞれの打ち上げ高さを読み取り、その確率密度を棒グラフで示したものである。図中の実線は Rayleigh 分布曲線を示している。図中では、Rayleigh 分布曲線より大きい値や小さい値を示している箇所もあるが、概ね実験による打ち上げ高さの確率分布は Rayleigh 分布とほぼ同様の分布を示している。crest-to-crest と zero-up-cross のグラフは測定方法の違いによって幾分異なるが、全体的な打ち上

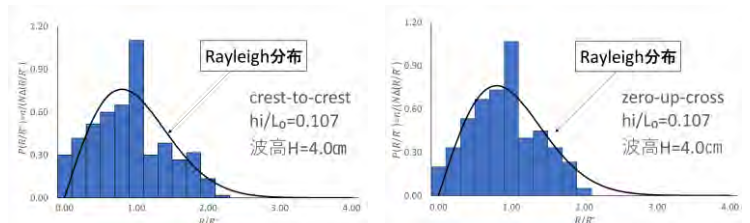


図-2(a) 打ち上げ高さの実験値と理論値 図-2(b) 打ち上げ高さの実験値と理論値

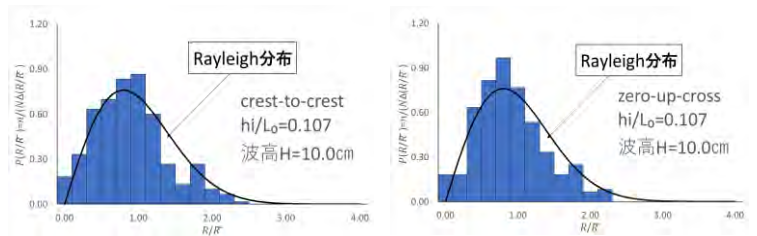


図-3(a) 打ち上げ高さの実験値と理論値 図-3(b) 打ち上げ高さの実験値と理論値

キーワード：相対水深、1/2 傾斜護岸、Rayleigh 分布

〒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

げ高さの確率分布は Rayleigh 分布と同様の傾向を示している。

3.2 代表打ち上げ高さの実験値と Longuet-Higgins が示した代表波高間の関係式を用いた打ち上げ高さの比較

Longuet-Higgins²⁾は不規則波の波高分布が Rayleigh 分布に従うとして N (波の波数)=100 とした場合、代表波高間 H_x (H_{max} : 最大波高, $H_{2\%}$: 2%超過確率波高, $H_{1/10}$: 1/10 最大平均波高, $H_{1/3}$: 1/3 最大平均波高, H_{mean} : 平均波高)間の関係式を示した(表-1)。斎藤ら⁵⁾は、波の代表打ち上げ高さ R_x (R_{max} : 最大打ち上げ高さ, $R_{2\%}$: 2%超過確率打ち上げ高さ, $R_{1/10}$: 1/10 平均打ち上げ高さ, $R_{1/3}$: 1/3 平均打ち上げ高さ, R_{mean} : 平均打ち上げ高さ)間においても上述の関係式にほぼ従うことを示している。

図-4(a), (b)は、比較的 h_i/L_0 が大きい $h_i/L_0=0.048\sim 0.192$ のケースにおける海底勾配を設置していない、それぞれ 1/3, 1/0.5, 1/2 勾配で鈴木ら³⁾(2019)、今野ら⁸⁾(2020)、本実験(2022) の $R_{1/10}/H_0$ と R_{mean}/H_0 、及び $R_{1/3}/H_0$ と R_{mean}/H_0 の実験値の関係を示したものである。図中の実線は Longuet-Higgins²⁾が示した代表波高間の関係式を代表打ち上げ高さに適用したものである。($R_{1/10}/H_0/R_{mean}/H_0=2.03$, $R_{1/3}/H_0/R_{mean}/H_0=1.60$)。両図とも、ほぼ実線上であり、各代表打ち上げ高さの関係においても各代表波高間の関係にほぼ対応すると思われる。

図-5(a), (b)は、比較的 h_i/L_0 が小さい $h_i/L_0=0.00\sim 0.04$ のケースにおける 1/3, 1/0.5, 1/2 の堤勾配に海底勾配 1/30 をそれぞれ設置した斎藤ら⁵⁾ (2017)、和野ら⁶⁾ (2018)、佐藤ら⁷⁾ (2021)、の $R_{1/10}/H_0$ と R_{mean}/H_0 、及び $R_{1/3}/H_0$ と R_{mean}/H_0 の実験値の関係を示したものである。図中の実線は Longuet-Higgins²⁾が示した代表波高間の関係式を代表打ち上げ高さに適用したものである。($R_{1/10}/H_0/R_{mean}/H_0=2.03$, $R_{1/3}/H_0/R_{mean}/H_0=1.60$)。両図とも、幾分ばらつきが見えるものの、各代表打ち上げ高さの関係においても各代表波高間の関係にほぼ対応すると思われる。

4. あとがき

実験データを用いて波の打ち上げ高さの確率密度分布を検討した結果、1/2 の急傾斜護岸の実験データの場合でも crest-to-crest と zero-up-cross の両測定方法とも Rayleigh 分布とほぼ同様の分布を示した。Longuet-Higgins が示した不規則波の代表波高間の関係式が、 h_i/L_0 の大きさによる違いや、海底勾配の有無による違いがあっても、波の打ち上げ高さの関係式とよく対応することが示された。

<参考文献>

- 1) 斎藤祐平・高橋敏彦・小林且幸・新井信一：傾斜護岸への法先水深を考慮した波の売上高さに関する一検討、土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol.71, No.2, pp.841-846, 2015.
- 2) Longuet-Higgins, M.S : On the statistical distribution of sea wave, Jour. Marine Res., Vol. XI, No.3, pp.245-266, 1952.
- 3) 鈴木優治・高橋敏彦：相対水深を考慮した緩傾斜堤への波の打ち上げ高さに関する実験, 2019, 土木学会東北支部
- 4) 高橋敏彦・沼田淳：緩傾斜護岸への波の打ち上げ高さ及び遡上特性に関する現地観測値の基礎的検討, 海洋開発論文集, 第 15 巻, pp.701-706, 1999.
- 5) 斎藤慎也・高橋敏彦：不規則波による入射波数と遡上波数を考慮した波の打ち上げ高さに関する実験, 2017, 土木学会東北支部.
- 6) 和野優大・高橋敏彦：相対水深を考慮した急傾斜護岸への波の打ち上げ高さに関する実験, 2018, 土木学会東北支部.
- 7) 佐藤翔太・高橋敏彦・菅原景一：1/2 傾斜護岸への波の打ち上げ高さに関する実験, 2021, 土木学会東北支部.
- 8) 今野充崇・高橋敏彦・菅原景一：入射波数と遡上波数を考慮した急傾斜護岸への波の打ち上げ高さに関する実験, 2020, 土木学会東北支部.

表 1 代表波高間の関係 (N=100)

	H_{mean}	$H_{1/3}$
H_{mean}	1.00	0.63
$H_{1/3}$	1.60	1.00
$H_{1/10}$	2.03	1.27
$H_{2\%}$	2.24	1.40
H_{max}	2.45	1.53

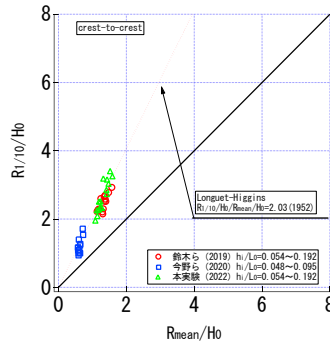


図-4(a) crest-to-crest の $R_{1/10}/H_0$ と

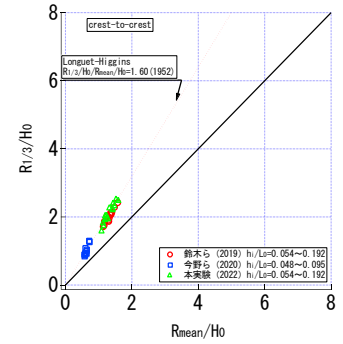


図-4(b) crest-to-crest の $R_{1/3}/H_0$ と

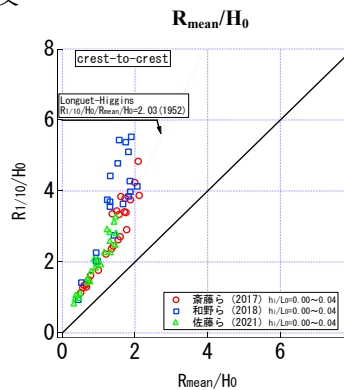


図-5(a) crest-to-crest の $R_{1/10}/H_0$ と

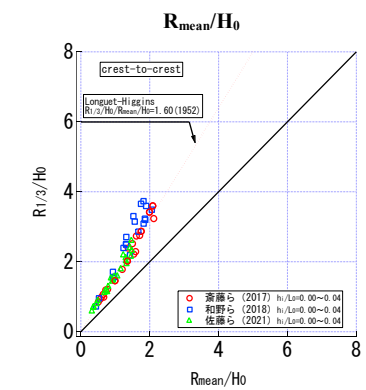


図-5(b) crest-to-crest の $R_{1/3}/H_0$ と