

現地波浪の碎波諸量について

岐阜大学 学生会員 ○大宮雄一 正会員 安田孝志 学生会員 森 信人・川口浩二

【1. 緒言】

大水深域での現地波浪の碎波諸量については、様々な分野から数多くの研究がなされているが、確定された成果は得られていない。これは、非定常波の碎波機構の解明が進んでいない上に、現地波浪が開放系下の複雑現象であることにもよっている。ここでは、孤立波の碎波諸量についての検討結果を踏まえ、水槽内の一方向不規則波および現地波浪の碎波諸量の解明を試みる。

【2. リーフ上の孤立波の碎波諸量】

まず、BIMを用いて計算されたリーフ上の孤立波の崩れ波型 ($\beta_4 = 0.0398$) から巻き波型 ($\beta_4 = 0.4460$) までの碎波¹⁾より、碎波限界時の波高 H_b 、最大水平水粒子速度 u_{bmax} および最大下向き水粒子加速度 $(-a_y)_{bmax}$ の関係について調べる。図-1はその結果を示したものであり、碎波形式によって H_b/h_1 の値が大きく変化するが、 $u_{bmax}/\sqrt{gh_1}$ の変化は小さく、特に $(-a_y)_{bmax}$ はほとんど変化しない。碎波をジェットの放出に始まる現象と考えれば、碎波限界において $u_{bmax}/c = 1$ や $(-a_y)_{bmax} = g$ の関係が成立することは運動学的に理解でき、図-1の結果は、これを裏付けている。すなわち、 u_{bmax} の値は H_b の増大とともに波速に対応して微増し、 $(-a_y)_{bmax}$ は H_b の値に関係なくほぼ g となっている。このことから、碎波限界の推定を碎波形式に応じて変化する波高や波頂高によって行うことは不適切であり、 u_{bmax} や $(-a_y)_{bmax}$ に関して行うべきであることがわかる。ただし、 u_{bmax} は碎波形式の影響を受けないが、同時に非定常波の波速 c を知る必要がある点で厄介である。これに対して加速度の場合、 $(-a_y)_{bmax}$ のみを知ればよい点で簡単である。図-2は、リーフの相対天端高 R/h_1 を3通りに変化させ、崩れ波型から巻き波型までの碎波を発生させた場合の波頂前面の最大傾斜角 θ と $(-a_y)_{bmax}$ の関係を示したものである。 $\theta = 90^\circ$ において波頂前面が鉛直に突立ち、碎波限界となるが、このときの $(-a_y)_{bmax}$ の値はいずれも g となっており、 $(-a_y)_{bmax} = g$ によって碎波形式に影響されることなく碎波限界の判定が可能になることがわかる。

【3. 一方向不規則波列の碎波諸量】

対象とする波が不規則波であっても、各波峯ごとに $(-a_y)_{max}$ の値を知ることができれば、 $(-a_y)_{max} \geq g$ によって碎波判定が可能となる。しかしながら、 $(-a_y)_{max}$ を実際に計算することは困難であり、何らかのモデル化が必要となる。最も単純なモデル化は各波峯を線形波に置き換えることであり、これによれば、 $(-a_y)_{bmax} = g$ は次式のように書き換えられる。

$$(-a_y)_{bmax} = (H_b/2)(2\pi/T_b)^2 = g \Rightarrow H_b = (gT_b^2/2\pi^2) = 0.051gT_b^2 \quad (1)$$

これは、 $u_b/c = (\pi H_b/T_b)/(gT_b/2\pi) = 1$ と一致し、線形波では $(-a_y)_{bmax} = g$ と $u_b/c = 1$ とは同義となる。ただし、ストークス波では $(-a_y)_{max} = g/2$ において限界に達し、 $(H/L)_{max} = 0.142$ となることから、 $H_b = 0.027gT_b^2$ の関係が導かれる。これに対し、Ochi & Tsai²⁾ は不規則波の水理実験によって $H_b = 0.020gT_b^2$ の関係を得ており、また、Weissman^ら³⁾ は平均波高が4.4cmの微小な現地波浪の観測データより $H_b = 0.0052gT_b^2$ の関係を得ている。これらのいずれが正確に $(-a_y)_{bmax} = g$ に対応しているかは不明であるため、水槽内の一方向不規則波の実測波形データよりゼロダウン波高および周期を求め、 $k_p H$ と $k_p gT^2$ の関係を上述の各実験式と比較する。図-3はその結果であり、図中の碎波率は測点での波形のビデオ計測によって得られたものである。これから、碎波率が高くなるに従って H/gT^2 の値は増大する傾向にあるが、Ochi & Tsai の実験値 $H_b/gT_b^2 = 0.02$ を超えるものは皆無に近い。これに対し、Weissman らの $H_b/gT_b^2 = 0.0052$ は過小評価であるが、碎波率0%の不規則波に対してはほぼ上限に近い値を与える一方、碎波率が10%を超える不規則波に対してはほぼ平均値を与える点で $H_b = 0.0052gT_b^2$ は平均的な碎波指標になると考えてよい。これらに対して図中の実線で示す $H_b = 0.014gT_b^2$ は碎波を伴う不規則波のほぼ上限を与えることから、不規則波の各周期に対する波高の上限を推定する上で有効と考えられる。

【4. 現地波浪の碎波諸量】

ここでは、石川海岸沖合い約1,500m、水深15m地点で得られた冬期季節風下の波形データ⁴⁾に対してWavelet解析を行い、ゼロダウン波から碎波を検出してそれらの H_b と T_b の関係を調べる。図-4はこのようにして碎波と判定されたゼロダウン波についてその結果を示したものであり、図中のWeissmanらの実験式による点線は H_b/gT_b^2 に対して平均よりも若干大きい値を与えるが、上述の図-3の場合と同様、不規則波の平均的な碎波指標になると考えてよい。これに対し、著者らが不規則波の H/gT^2 の上限を与える式として導いた $H_b/gT_b^2 = 0.014$ による実験式は、この場合の上限よりも若干大きな値を与える。このことは、 $0.014gT_b^2$ を超える波高を持つ碎波は存在しないことを示しており、若干安全側であるが、この式を用いることによって所定の周期に対する波高の上限を知ることができることを示している。

図-5は、Wavelet解析によって逆に非砕波と判定されたゼロダウン波の波高と周期の関係を示したものである。この場合 $H = 0.014gT^2$ によって与えられる図中の実線を超える波高を持つ波は皆無に近く、 $0.014gT^2$ によって与えられる波高は、砕波・非砕波、実験室・現地を問わずゼロダウン波の波高の上限を与えると考えてよい。

【5. 結語】

現地波浪の砕波機構を解明するために、数値計算、水理実験データ、現地観測データの解析を行った。その結果、リーフ上の孤立波においては、砕波形式に影響されることなく、 $(-a_y)_{bmax} = g$ によって砕波限界の判定が可能であることが判明した。また、砕波・非砕波、実験室・現地を問わず、所定の周期に対する波高の上限を定式化することができた。

【参考文献】

- 1) Yasuda, Mutsuda and Mizutani : Kinematics of overturning solitary waves and their relations to breaker types, submitted to CE.
- 2) Ochi and Tsai : Prediction of occurrence of breaking waves in deep water, J. Phys. Oceano. 13, 1983, pp. 2008-2019.
- 3) Weissman et al. : Detection of breaking events in a wind-generated wave field, J. Phys. Oceano. 14, 1984, pp. 1608-1619.
- 4) 安田・森・加藤・佐藤 : 石川海岸沖合いの流況特性と砕波の影響について, 海岸工学論文集, 42, 1995, pp. 431-435.

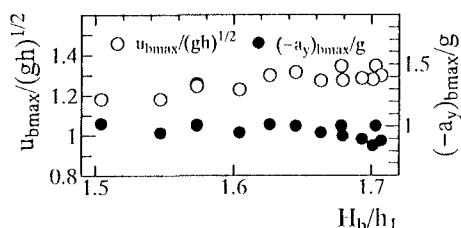


図-1 リーフ上の孤立波の砕波限界時の波高 H_b と最大水平水粒子速度 u_{bmax} および最大下水粒子加速度 $(-a_y)_{bmax}$ との比較

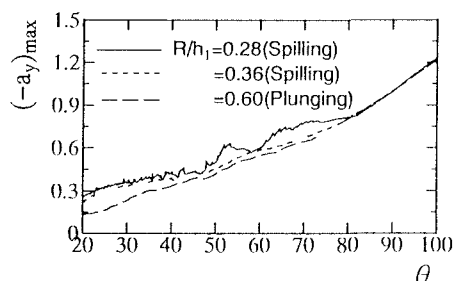


図-2 リーフ上の孤立波の砕波に至る過程での波頂前面傾斜角 θ と最大下水粒子加速度 $(-a_y)_{max}$ の変化

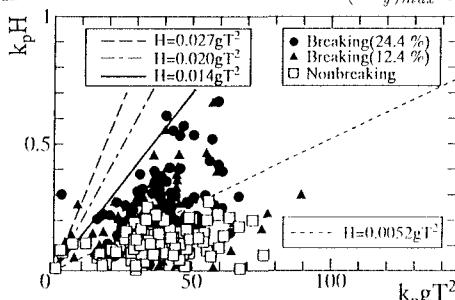


図-3 波浪水槽内の一方向不規則波のゼロダウン波高と周期の関係およびこれに及ぼす碎波率の影響

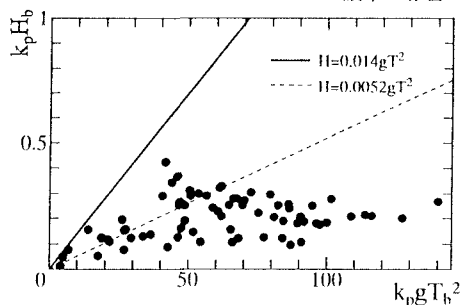


図-4 Wavelet解析によって砕波と判定された石川海岸沖合いのゼロダウン波の波高 H_b と周期 T_b の関係

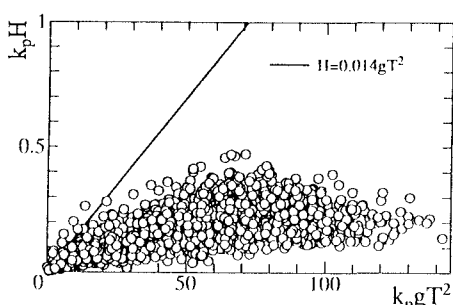


図-5 Wavelet解析によって非砕波と判定された石川海岸沖合いのゼロダウン波の波高 H と周期 T の関係