

複合型砕波の水理実験による検証とその波高減衰特性

岐阜大学 学生会員 ○陸田秀実・水谷夏樹・大屋敦嗣, 正会員 安田孝志

【1. 緒言】

従来の離岸堤などの欠点を解消した浪制御手法として、砕波による波浪減殺特性を利用した人工リーフ工法が提案され、多用されるようになって来たが、砕波に対する知識の不十分さから、砕波が十分に活用されておらず、波浪制御機能になお問題を残している。

そこで本研究では、著者らが数値シミュレーションで発見した強大なジェットを伴う複合型砕波（図-1）を発生させれば、波浪減殺の最大要因である砕波現象を積極的に活用でき、抜本的波浪制御工法の確立が期待できるとの立場から、まず複合型砕波の実流体場での検証を行い、ついで、この砕波の波高減衰特性について水理実験により検討し、その有効性を明らかにする。

【2. 実験方法と条件】

西松建設(株)技術研究所所有の片面ガラス張り2次元波浪水槽を用い、表-1に示す条件（各パラメータの説明は、図-2の実験水槽概略図と共に示す。）で所定の孤立波をシングルリーフおよびダブルリーフに入射させた。なお、これらのケースの中でRun5は、数値シミュレーションにおいて典型的な複合型砕波（図-1）が発生したケースとほぼ同一条件のものである。表-2は、容量式波高計（12～16本）のリーフ法先からの位置を示したものであり、W01で入射波高を測定した。さらに、砕波前後の急激な波形変化を撮影するために高速度ビデオカメラ（200コマ/秒）を用いた。

【3. 水理実験による検証】

本研究では、まず実流体場において図-1に示すような数値シミュレーションで発見された複合型砕波が発生するか否かの検証を行った。図-3は、Run1の実験条件と同一条件下でBIMによる数値シミュレーションを行い、その時間波形を比較したものである。また図-4は、高速度ビデオカメラで撮影された画像を解析した結果と数値シミュレーション結果との空間波形を比較したものである。これらの図から、両者の波形は時間、空間波形いずれにおいても、砕波限界から（90°）ジェット放出過程（180°）に至るまで良く一致しており、数値シミュレーションによって発見された巨大なジェットを伴う複合型砕波が、実流体場においても起こり得ることが実証された。

【4. 複合型砕波の波高減衰特性】

ここでは波浪制御という立場から、複合型砕波の波高減衰特性に着目し、その実験的検討を試みた。

図-5は、Run5について時間波形の空間的变化を示したものである。なお、上述したように、このケースは典型的な複合型砕波の発生するケースである。また、 X_t/h_1 は1段目リーフ法先からの位置を示す。この図から、2段目リーフ法先のW04で最も波高が増大し、砕波点付近のW07において波高が低下し、砕波後（W07以降）はBore状となって急激に波高が減衰していくことがわかる。このことから、複合型砕波の砕波限界付近における波形変化は、砕波限界時に最大波高となる従来型の砕波とは様相が異なり、複合型砕波の大きな特徴の一つとなっている。

さらに、大規模ジェットを伴う複合型砕波の波高減衰特性を定量的に捉えるために、シングルリーフ上の従来の砕波（Transient Breaker：波高 $H_1/h_1 = 0.403$ 、天端高 $R_1/h_1 = 0.426$ ）によるものに加え、Horikawa & Kuoの理論式[1]（ $\beta = 5.0$, $C_f = 0.05$, slope 勾配 $S = 1/100, 1/1000$ ）との比較を行い、その結果を図-6に示した。縦軸は、波高が最も増大するW04の値 y_{max} で無次元化された波高であり、横軸は、天端高が最大となる法先（シングルリーフの時はW03、ダブルリーフの時はW04）からの位置を表す。この図から、複合型砕波の発生する全てのケース（ $X_1/h_1 = 0.0$ を除く）において、波高減衰はTransient BreakerおよびHorikawa & Kuoの減衰曲線を大きく下回り、特に、図-1に示すような典型的な複合型砕波の発生するケースRun5（●）は、ほぼ0.2まで低下し、さらに減衰する傾向にある。このことは、複合型砕波が期待通り著しい波高減衰特性を持つことを示し、波浪制御を行なう上でこの砕波が極めて有効であることを示すものと言える。また、Run5より波高の大きい危険側の入射波高となるケースRun9（○）は、さらに大きな減衰特性を示し、ダブルリーフによって入射波高を許容波高以下に制御できることがわかる。なお、適切な X_1/h_1 の値を把握することが重要となることがわかった。

【5. 結語】

数値シミュレーションによって、新たに発見された大規模ジェットを伴う複合型砕波が実流体の場においても存在し、それによる波高減衰は従来の砕波形式のそれを大きく下回るものであり、複合型砕波が波浪制御に対して極めて有効な砕波形態であることがわかった。

【参考文献】

[1] Horikawa and Kuo (1966) : A STUDY ON WAVE TRANSFORMATION INSIDE SURF ZONE. Coastal Eng., pp217-233.

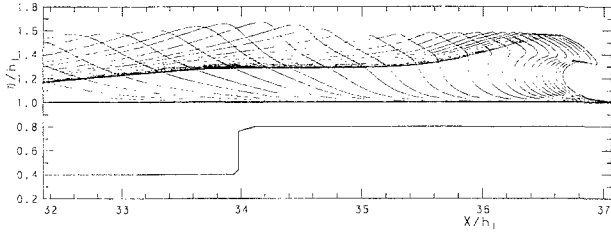
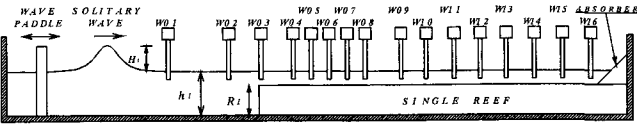
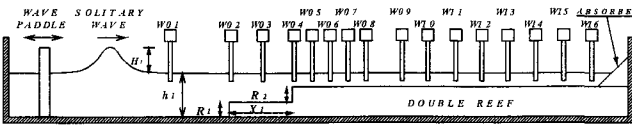


図-1 典型的な複合型碎波の波形変化



(a) Pattern A (シングルリーフ)



(b) Pattern B (ダブルリーフ)

図-2 実験水槽の概略および各パラメータの説明図

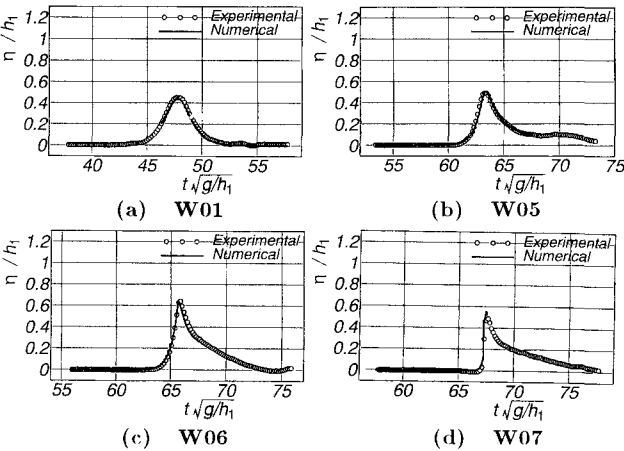


図-3 実験と数値計算の時間波形比較

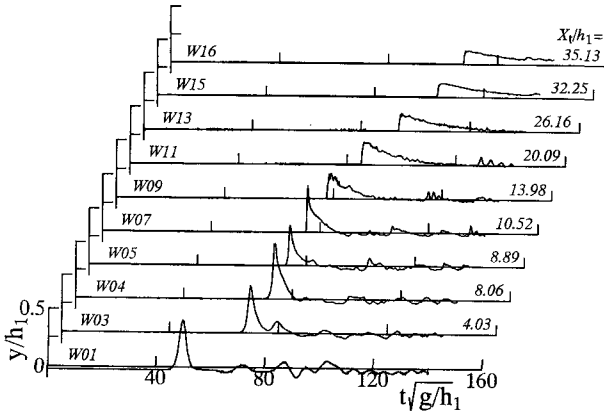


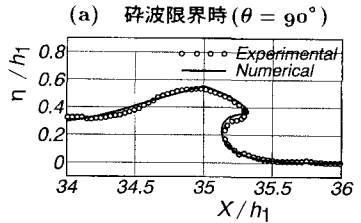
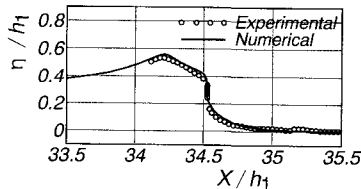
図-5 時間波形の空間的变化 (Run5)

表-1 実験条件

Case	Bottom	h_1 [cm]	H_1/h_1	R_1/h_1	R_2/h_1	X_1/h_1	Breaker Type
Run1	Double	14.98	0.445	0.414	0.421	8.08	Composite
Run2	Single	31.0	0.403	0.848	—	0.0	Plunging
Run3	Double	31.0	0.403	0.426	0.423	3.23	Composite
Run4	Double	31.0	0.403	0.426	0.423	6.45	Composite
Run5	Double	31.0	0.403	0.426	0.423	8.06	Composite
Run6	Single	31.0	0.525	0.848	—	0.0	Plunging
Run7	Double	31.0	0.525	0.426	0.423	3.23	Composite
Run8	Double	31.0	0.525	0.426	0.423	6.45	Composite
Run9	Double	31.0	0.525	0.426	0.423	8.06	Composite

表-2 各波高計の位置

Pattern	Case	W01	W02	W03	W04	W05	W06	W07	W08
A	Run1	—	0.0	1.72	3.47	5.24	8.08	10.31	12.73
	Run	16.04	19.19	22.00	25.30	—	—	—	—
	3,4,5,7,8,9	—	0.0	4.03	8.06	8.89	9.70	10.52	11.14
B	Run2.5	13.98	17.08	20.09	23.13	26.16	29.24	32.25	35.13
	Run	—	-2.24	0.0	0.81	1.66	2.45	3.29	3.95
	Run2.5	5.91	9.02	12.02	15.06	18.09	21.18	24.19	27.06



(a) 碎波限界時 ($\theta = 90^\circ$)
(b) ジェット放出過程時 ($\theta = 180^\circ$)
図-4 実験と数値計算の空間波形比較

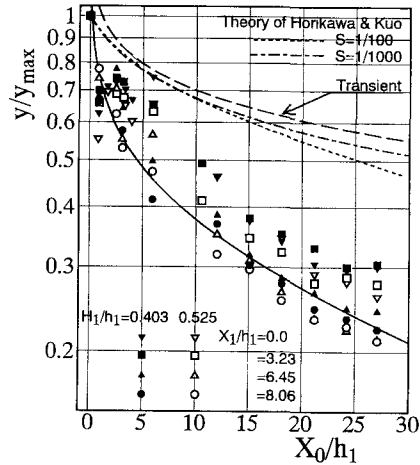


図-6 従来型碎波と複合型碎波の波高減衰の比較