

流れを遡る波の変形に関する考察

名古屋大学大学院 学生会員 ○ 小松 克弘
 名古屋大学大学院 正 会 員 水谷 法美
 韓国慶尚大学校 正 会 員 許 東秀

1. はじめに：波・流れ共存場における波と流れの相互作用についての研究は、これまでもいくつか行われている^{1)~6)}が、そのほとんどの場合が流れによる波の変形を重点に検討を加えており、波による流れの変化についてはあまり検討されておらず、未解明な部分が多く残されている。本研究では、波と流れが共存する場における両者の相互作用を解明するため、単純な共存場である直線水路を流下する流れに規則波が入射し、流れを遡る場合の波、および流速場の変形を、水理模型実験を行って検討する。

2. 実験概要：水理模型実験を長さ 28m, 有効幅 8m, 深さ 0.8m の平面波浪水槽で行った。水槽内に全長 12.81m, 幅 0.35m, 深さ 0.46m の直線水路を設置した。水路の下流端, 上流端はともに開放されている。実験装置の概略を図-1 に示す。水槽内に 4 台の水中ポンプを設置し、パイプを経由して水路の上流端より水を送り込み、水路内に流れを発生させた。このとき、稼働させるポンプの台数を変化させ、水路内の流速を調整した。なお、河床は水平としている。水路内の流れは水路下流端から拡散する。したがって、平面水槽内に弱い循環流れが生成されることになるが、流速は水路内に比べて非常に小さいこと、また、水路内の波変形にのみ着目するため、その影響は無視することとした。実験は、規則波のみ発生させた場合 (CASE-1), 流れのみを発生させた場合

(CASE-2), および波と流れが共存する場合 (CASE-3) の 3 種類を行った。このとき、静水深 h を流れが存在しない状態で 30cm とした。波流れ共存場の実験では、ポンプにより水路内に流れを発生させ、定常になった状態で造波機により波を発生させた。さらに波が安定した状態で計測を行った。流れの条件を 2 種類 (断面平均流速 $U=40, 60\text{cm/s}$) 変化させ、入射波の周期を 3 種類 ($T=1.0, 1.4, 1.8\text{s}$), 入射波高 H_i を 3 種類 ($H_i=3.0, 5.0, 7.0\text{cm}$) 変化させた。全ての条件で水位変動を容量式水位計で、水粒子速度を超音波ドップラー流速計により計測した。

これらの計測は、水路の下流端から $1/8$ 波長 (流れがない場合の波長) 間隔で 3 波長分計測した。ただし、流速の計測については、それぞれの計測点で底面より 2.0~20.0cm の範囲内で 2.0cm 間隔で 10 点計測した。

3. 実験結果と考察：

図-2 に $x/L=0.0$ における時間平均流速の鉛直分布を示す。図には、CASE-1~CASE-3 とともに示してあり、条件は $U=40\text{cm/s}$, $T=1.0\text{s}$, $H_i=5.0\text{cm}$ の場合に対するものである。波のみの場合、底面付近で若干の平均流速が認められるが、全般的にはほぼ 0 であるとみなせる。流れのみの場合、鉛直分布に多少の変動が見られるが、ほぼ 40cm/s で一定の値となり、底面付近で減少する傾向があり、対数分布に近い状況になっていると考えられる。これらの波と流れが共存すると、流速分布は全般的に流れのみの場合に比べて減少し、流れが遡上する波により弱められていることが確認できる。同様の

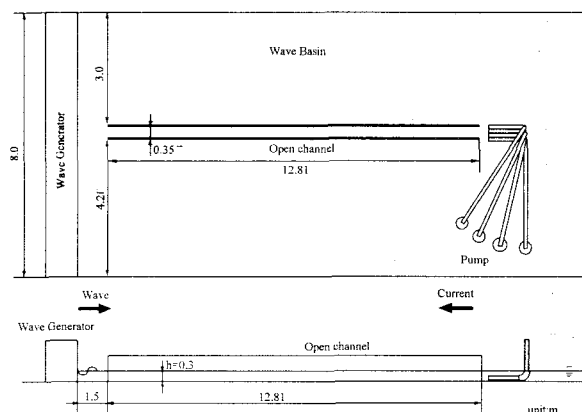


図-1 実験装置

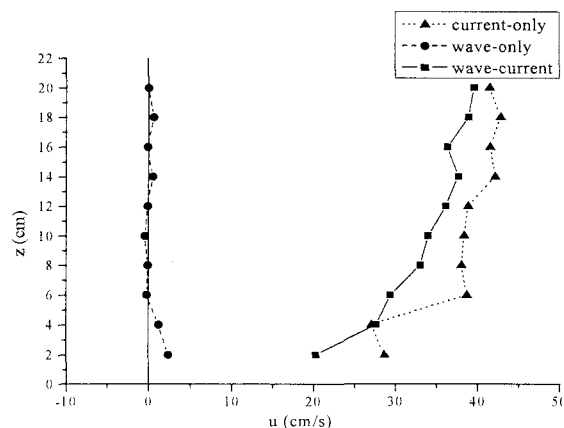


図-2 $x/L=0.0$ における平均流速分布の比較

傾向は他の条件でも認められており、波と流れが共存すると波は流れに対しても影響を及ぼし、流速を減少させるといえる。

図-3 に波流れ共存場における水路内の無次元波高 H/H_i の空間分布を図示する。波高の分布が変動しているのは部分重複波の影響と考えられる。図-3(a)と(b)はそれぞれ $U=40\text{cm/s}$ と 60cm/s に対して周期による波高分布の比較を示したものであるが、両図より周期の短い $T=1.0\text{s}$ の場合に明瞭な波高の減衰が確認できる。また、 $T=1.4\text{s}$ の場合、 $U=40\text{cm/s}$ ではあまり明瞭ではないが、 $U=60\text{cm/s}$ の場合には波高の減衰が認められる。波高の減衰は波と流れの相互作用によって生じると考えられるが、周期が小さいほど波速が遅く、単位距離を進行する時間が長くなり、流れの作用を受ける時間が長くなるため、相互作用の影響が顕著になると考えられる。流れの大きさも同様で、流れが速くなると波速が相対的に小さくなるため、周期と同様の影響が現れたと考えられる。 $U=60\text{cm/s}$ の場合の $T=1.0\text{s}$ の波は $x/L>1.0$ ではほぼ $0.2\sim 0.3$ 程度の一定値となっているが、 $x/L=1.0$ 付近で既に波はほとんど減衰し、それより上流では明確な波の存在を認めることができず、水面の振動による変動のみとなっているためである。 $T=1.0\text{s}$ の場合、微小振幅波理論では $C_g=92.9\text{cm/s}$ であるのに対し、流れの流速がその約 65% にもなり、波のエネルギーが上流に伝搬しにくい状況になっていることが起因すると考えられる。図-3(c)は波高分布に及ぼす入射波高の影響を示したものである。入射波高の小さい方が波高の減衰は顕著である。しかし、波高の絶対値の比較を行うとほぼ同じ割合で波高の減衰が生じている事が確認されている。実験による波高の減衰が顕著な範囲では波峰で spilling 型碎波が生じる場合の多いことが確認されているが、この機構については今後更に検討する必要がある。図-3(d)は、波高分布に及ぼす流れの影響を比較したものである。波のみの場合、ほぼ波高は入射波高に等しいが、流れがある場合、まず下流端で波高が増大している。図-4 は流れの有無による波一波長のエネルギーを比較した結果である。両者はほぼ同じ値となっており、したがって、これは流れの影響により、波速、群速度が小さくなるため、浅水変形と同様の機構で波高が増大したものであると考えられる。ただし、この比較は水路の下流端での比較であり、波が遡上するにしたがって、碎波や乱れなどによりエネルギーは減少し、波高が減衰する。その割合は流れの早いほうが強く、 $U=60\text{cm/s}$ の場合のほうが波高は急激に減少する。

5. おわりに：流れを遡る波の変形について、実験結果に基づいて検討した。その結果、波の伝搬とともに波高が減衰する傾向のあることが確認できた。今後、さらにその機構について考察する所存である。

<参考文献> 1)岩崎ら (1970) : 海工論文集, 第 17 巻, pp41-46. 2)岩崎ら (1971) : 海工論文集, 第 18 巻, pp55-59. 3)中村ら (1970) : 海工論文集, 第 17 巻, pp269-274. 4)岩垣ら (1980) : 海工論文集, 第 27 巻, pp30-34. 5)Michael et al. (1996) : Proc. 25th Int. Conf. Coastal Eng., ASCE, pp1219-1232. 6)水谷ら (2002) : 海工論文集, 第 49 巻, pp51-55.

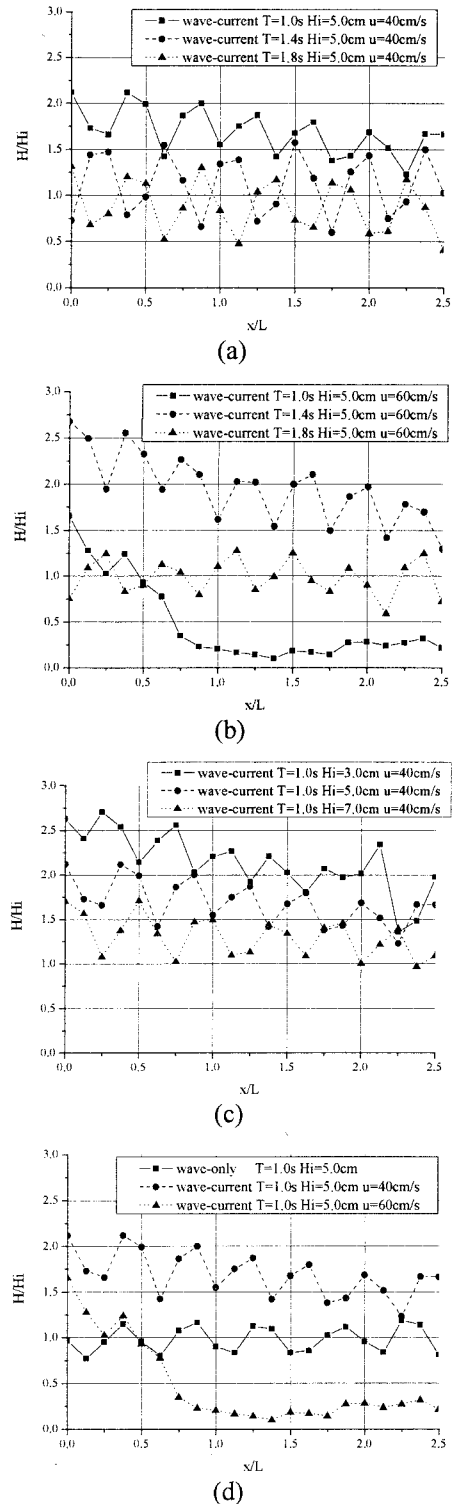


図-3 波高の空間分布の比較

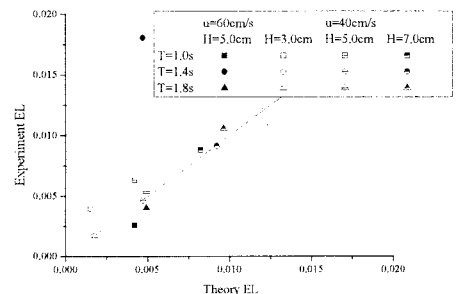


図-4 一波長のエネルギーの比較例