

円形曲面壁前面の Mach-Stem の発生に関する研究

佐藤 幸雄*・鰐目 淑範**

1. はじめに

護岸堤や防波堤など海岸構造物を設計・建設する場合には、構造物の壁体前面の波高分布が重要視されるが、壁体前面の波高分布においては沖波の波高・波長とならんで壁面の反射率が重要な因子となっている。

一般に反射率は入射波高 H_0 と反射波高 H_R との比 H_R/H_0 で表わされており、その最大値は 1.0 とされている。しかし、自然の海岸や港湾のように複雑に入り組んだ形状を有している壁面に対して波が入射した場合には、ある地点の波高 H はその地点における入射波と反射波の他に他の地点からの反射波とが合成されたものとなって、 H/H_0 は 2.0 以上の値を取る場合もある。

また、直立壁による反射においては壁面に対する波の入射角の違いによっても反射率にかなりの違いが出てくる。特に入射角が大きい場合には、単なる幾何学的反射と異なり、入射角より反射角が大きい Mach—反射の現象が生じ、壁体前面においては Mach-Stem が発生し、幾何学的な反射を考えた場合の波高分布とは様相を異にしている^{1)~4)}。

本論においては、直立壁の形状を円形に設置することによって、あらゆる地点の入射角が異なる場合を考え、その時の円形曲面壁前面の波高分布を測定するとともに波峰線の形成状況を観察し、波長の変化にも注目して、Mach-Stem の発生に関して考察をしてみた。

2. 実験装置と実験方法

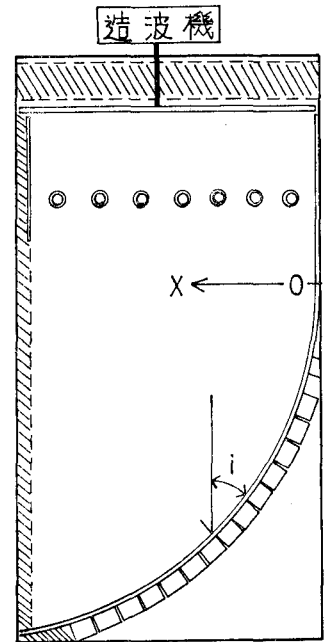
(1) 実験装置

実験に使用した水槽は幅 6.0 m、長さ 12.0 m、深さ 1.0 m の床表面はモルタル仕上げのものである。造波機はフラッター式のもので周期・波高はギアで調節することができる。円形曲面壁は長さ 2 m、高さ 50 cm のアクリライト板を連ねており、裏には支えを入れてある。また、アクリライト板の継ぎ目や直立壁と床との障間にはシリコンシーラントを用いて密閉し水の出入りをなくしている。円形曲面壁以外の部分から反射波が生じるの

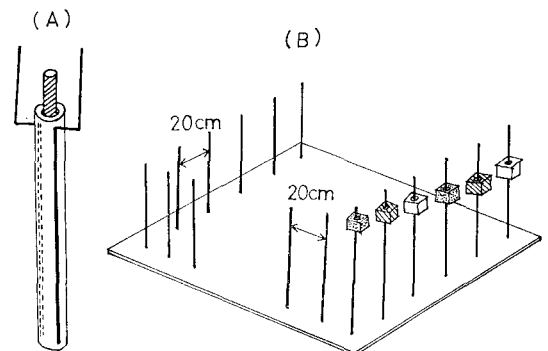
を防ぐために 図—1 の斜線分にブロック、砂利などを用いて消波帯を設けた。

波高の測定にあたっては、抵抗線式波高計を用い水位増幅器を通してビシグラフに記録させたものを読み取ったが、この際、どの方向からの波に対しても測定可能なように 図—2 の A のような径 0.6 cm の鋼棒にアクリライト管をかぶせ、その円管の側面に抵抗線を張りつけた抵抗線式波高計を作製し測定を行なった。

また波峰線の形成状況を調べるために 図—2 の B のようにアクリライト平板に 20 cm 間隔に丸鋼を直立させ、この丸鋼に自由に上下運動できるようにスタイロホームの浮子を付けたものを曲面壁前面に置き、波が侵入した際の各々の浮子の位置を 35 mm カメラで撮影し壁面付近の波峰線の形成状況をとらえた。波長の測定は、曲面壁



図—1 実験水槽



図—2

* 正会員 北見工業大学助教授 工学部土木工学科

** 正会員 北見工業大学助手 工学部土木工学科

に 5 cm 間隔でスケールを入れ、波形を 35 mm カメラで撮影し読み取った。

(2) 実験方法

実験水深は 30 cm の一定水深で行なった。

円形曲面壁は半径 R を 5.0 m, 6.0 m, 7.0 m の 3 種類に変え、それぞれの円形曲面壁について波長を 3 種類 (96.0~110.5 cm, 137.2 cm, 177.0 cm) の波を入射させてみた。

入射波の波高は 図-1 の ◎ 印の地点で、1 m 間隔で測定しその相加平均を入射波高 H_0 としたが 4.0~5.0 cm 位の波高を採用している。

曲面壁前面の波高分布の測定は、図-1 の 0 点から曲面に沿って 20 cm 間隔に、 X 方向にも 20 cm 間隔で測定した。なお測定する際には、図-1 の消波帯では完全に消波することができず反射波が生じるため各測定点に反射波の影響が及ばないように測定を行い、造波機を止め水面がほぼ静止した状態に戻ってから次の測定点に移るようにした。

3. 実験結果および考察

(1) 円形曲面壁前面の波高分布

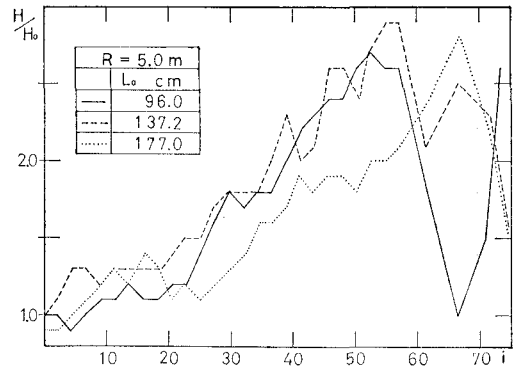
円形曲面壁沿いの波高分布を 図-3 (a)~(c) に示した。ここで H はその地点の波高、 H_0 は入射波高、 i は入射波の進行方向と測定点の壁面とがなす角度である。図-3 から、 H/H_0 は $i=20^\circ$ 付近までは初期の増加量のみで停滞気味であるが、その後は i の増加とともに多少振動しながらも増加していき、 H/H_0 が最大になった後、急激に小さくなることが分る。また、 H/H_0 が最大値となる i は、 R が小さいほど、また L_0 が大きいほど大きくなる。

(2) 波峰線の変化

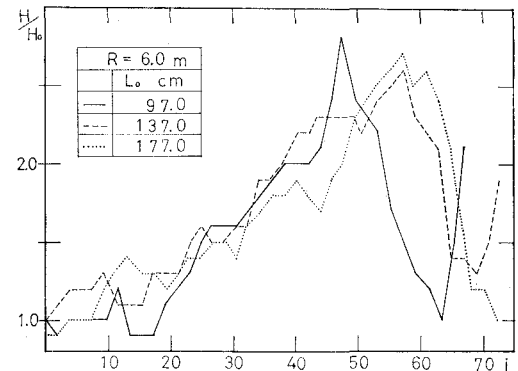
波が 0 点以前にあるときには波峰線は互いに平行な直線であるが、円曲面壁の部分に入ると壁に近い部分が先行して、波峰線は折れ曲がりくの字形の屈曲点が生じるが、屈曲点より壁側は壁面にほぼ垂直になり、壁面から離れるに従い入射波峰線がそのまま保たれている。その後、壁際部分はますます直線部分より先行していくが、 $i=30^\circ$ を過ぎると徐々に遅れ始め、 $i=50^\circ$ 付近で直線部分と並び、その後は遅れて行き直線部分と分断されると同時に 1 波後の波峰線と結び着く。この時に H/H_0 が最大値となる。

(3) 波長の変化

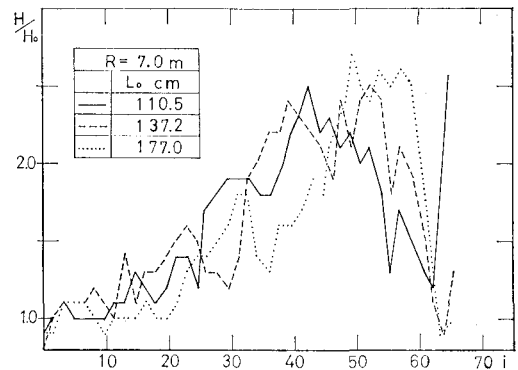
撮影したフィルムから波頂と次の波頂までの壁面の長さを読み取り、これを壁際波長 L として、波頂の位置 i との関係で示したのが 図-4 (a)~(c) である。壁際波長 L は直線壁から曲面壁に移動する際に急に伸び、その後 $i=30^\circ$ 位まで緩やかな増加であるが、それ以降は i の増加とともに増加していく。その傾向は H/H_0 と



(a)



(b)



(c)

図-3

よく似ている。

図-5 (a)~(c) は壁際波長 L の入射方向成分を考えて見たもので次式で与えられる。

$$L' = R(\sin i - \sin i')$$

ここで、 L' は L の入射方向成分、 i' は 1 波後の波頂の位置の曲面の接線と入射方向のなす角度である。

L' は i が小さい時には徐々に大きくなり $i=20^\circ$ 位で最大となりその後は小さくなっていき、 $i=30^\circ$ を過ぎると L_0 より小さくなってしまふ。この壁際波長の入射

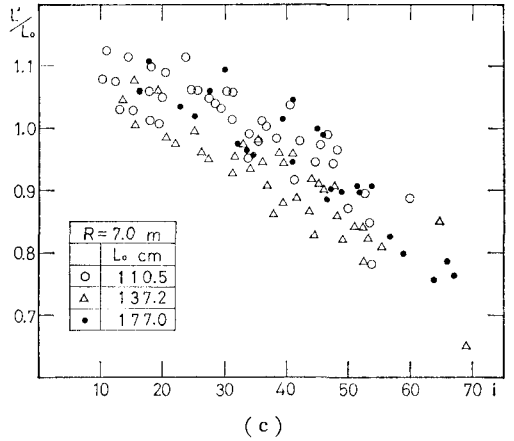
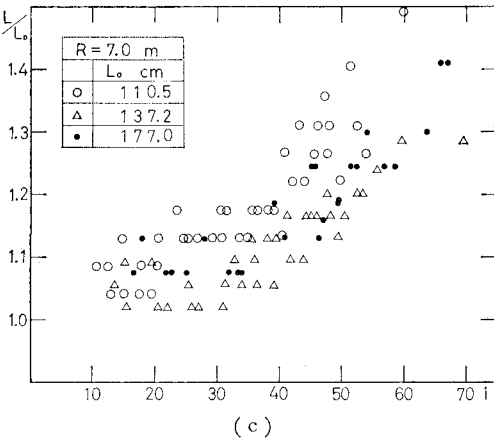
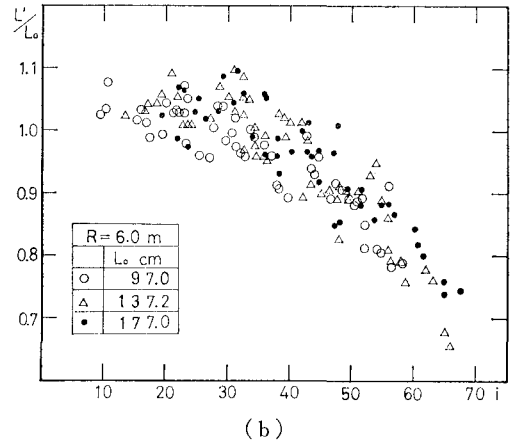
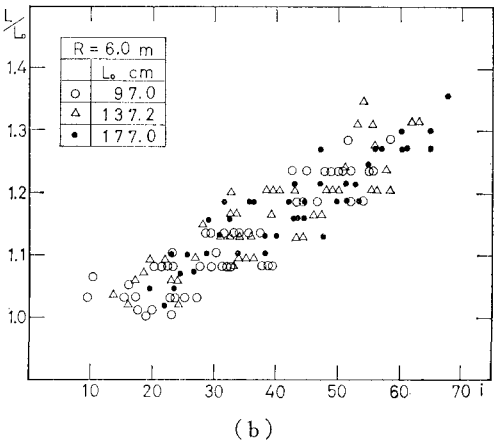
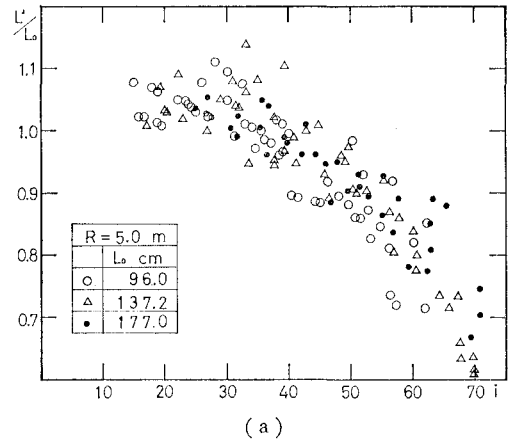
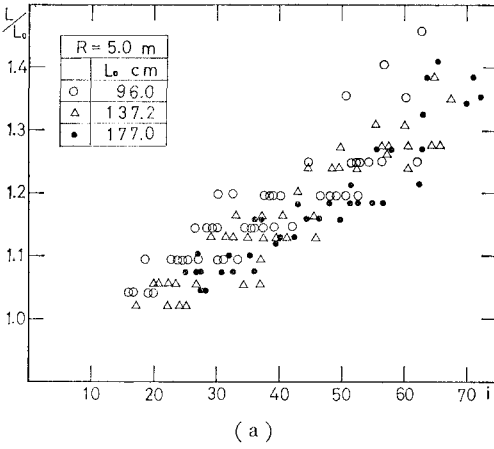


図-4

図-5

波方向成分の変化によって(2)で述べた波峰線の壁際部分の変化が生じて来ると考えられる。図-5から波峰線の壁際部分と直線部分が並ぶ点を推計してみると $i = 50^\circ$ 位である。

(4) Mach-Stem の発生

円形曲面壁に波が入射して来て、波峰線が曲がり、壁

際波長が入射方向にも伸びるのは、 i が小さい部分では Mach 反射が生じているためだと考えられる。また、波峰線の壁面にほぼ垂直になっている部分の壁面に極めて近いところでは峰がほぼ同じ高さを示す部分ができるが、Mach-Stem であると思われる。この部分は i が小さい時に出現し、 i が大きくなるにつれて大きくなるが、

$i=30^\circ$ までに最大値を示し、その後、 i が大きくなるにつれ短くなっていき、 $i=50^\circ$ を過ぎた所では認められなくなる。

Mach-Stem は Mach 反射によって生じると考えられるので、図-5 において、壁際波長の入射方向成分 L' が入射波長 L_0 より長いことが Mach-Stem の発生限界と思われる。そこで図-5 を見てみると、 $i=30^\circ$ が、Mach-Stem の発生限界と思われる。

また、波峰線の屈曲部分は Mach-Stem を一部分含んでいるので、壁面から波峰線の屈曲点までの垂直距離を測定してみたが、波峰線の形成状況を撮影するために使用した浮き子の間隔が大きいため、かなり精度が落ち、肉眼で観察して推定した Mach-Stem の数倍の長さになってしまった。

4. おわりに

円形曲面壁に波が入射した場合の、波高分布、波長の変化、波峰線の形成状況をとりえ、Mach-Stem の発生

に関してアプローチしてみたのであるが、結果として Mach-Stem の発生限界を約 $i=30^\circ$ であることを推定しただけで、その量的な関係を求めることが出来ずに終わった。そこで、今後の課題としては、この量的関係を求めるとともに、さらに入射角の大きいところのデータを得る必要があると思われる。そのためには、円形曲面壁を直線壁として、入射角の大きい状態で波を入射させてみることも必要と考えている。

参 考 文 献

- 1) 佐藤幸雄・鰐目淑範：円形曲面壁の波の反射について，土木学会北海道支部論文報告集 33 号，pp. 153-155, 1977.
- 2) 佐藤幸雄・鰐目淑範：円形曲面壁上の波高分布に関する研究，土木学会第 32 回年講演演概要集，pp. 47-48, 1977.
- 3) 土木学会編：水理公式集，505 p., 1974.
- 4) 三井 宏・村上仁士：海岸構造物不連続部の波高分布について，第 14 回海講講演集，pp. 53-59, 1967.