

II-283

Mach stem と edge boreに関する実験的研究

建設省土木研究所 正会員 宇多高明

建設省土木研究所 正会員 小俣 篤

建設省土木研究所 正会員 横山揚久

1. まえがき

浅海での津波の挙動を明らかにすることは、津波災害を考える上で重要な課題である。海岸線が崖のような鉛直境界になっている場合、津波の進行方向と海岸線の成す角が小さいと海岸線に直角な波峰を持った波(Mach stem)が形成される場合がある。また、傾斜海岸においても津波が海岸線に平行に近い角度で進行すると、汀線際で波高が高くなるedge boreが形成される。水平床上的のMach stemやedge boreについては多くの研究が行われている^{1),2),3),4)}。本研究では境界が鉛直の時に生じるMach stemと傾斜させた時に生じるedge boreについて、1/100勾配斜面上の実験により調べた。

2. 実験方法

実験は、長さ29.85m、幅30m、床勾配1/100の水槽の中央部を幅15mに仕切って行った(図1)。水槽端には30m×3m×3mの空気室を持つニューマチック型の起潮装置がある。座標系はO点を原点とし、水路沖方向にX軸、横断方向にY軸を定めた。実験水位はX=0mを汀線として、起潮装置前面の水路端水深を29.85cmに設定した。起潮装置の造波信号にはパルス波を用いた。パルス波の圧力振幅 H_p 、周期 T_p および起潮装置前面波高 H_i を表1に示す。

Mach stemの実験では、X=19.85m地点から波の進行方向に対して θ の角度を有する鉛直壁を5ケース設置した(図2参照)。鉛直壁と平行に7測線、水路横断方向に5測線の各交点に測点を配置し、水位時間波形を測定した。

edge boreの実験では、波の進行方向に対して交差角が θ で、鉛直壁の代わりに水平となす角 β の斜面を設置した。 θ は $20^\circ, 30^\circ$ と2通り、 $\tan \beta$ は1/5, 1/10, 1/20, 1/30と4通り変えた。これらの模型にb、c(表1)の波を用いて14ケースの実験を行った(表2)。Mach stemの実験と同様に、1ケース当たり約100点の測点を格子状に配置し、水位時間波形を測定した。水位時間波形の測定には容量式波高計を用いた。また、ビデオによりMach stemおよびedge boreの発生状況を記録した。

3. 実験結果

Mach stemの形成状況を波高の横断分布($\theta=30^\circ$ 、波条件b)として図3に示す。図中のY'は境界壁をOとした横断方向距離である。X=10mから7.4mに進行するにしたがい壁面付近の波高が増し、さらに、X=6.4mでは砕波により壁面での波高が低下した。このように壁面付近のみ局的に波高の高い領域がMach stemの形成範囲である。各測点への波の到達時刻より求めた波峰線図を図4に示す。壁面と垂直な波峰を有するMach stemが形成され、壁面と直角な波峰線形状の区域が波の進行と共に壁面より離れる方向に広がった。Perroudの実験¹⁾によると、Mach stemは $\theta < 45^\circ$ で生じ、 $\theta \geq 45^\circ$ では通常の反射を生じた。また、 $\theta=20^\circ \sim 45^\circ$ ではMach stemと、そこから別れる反射波の波峰

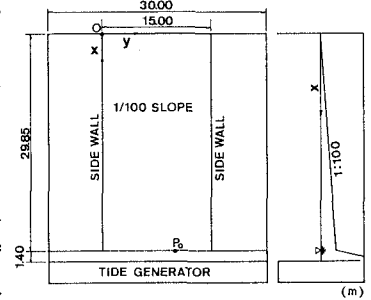


図1 実験水槽

表1 波条件

CASE	H_p (mmHg)	T_p (sec)	H_i (cm)
a	6 0 0	1 6	2.8
b	1 4 0 0	8	2.7
c	1 4 0 0	1 2	3.9
d	1 4 0 0	1 6	4.7

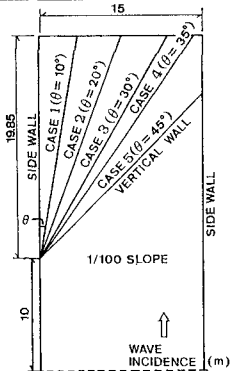


図2 模型条件

表2 edge bore実験ケース

θ	$\tan \beta$	wave	edge bore	eddy	ripple
20°	1/5	b	○	△	○
		c	○	○	○
		c	○	×	×
	1/10	b	○	△	×
		c	×		
		c	×		
30°	1/5	b	○	○	△
		c	○	○	△
		c	○	△	×
	1/10	b	×		
		c	×		
		c	×		
	1/20	b	×		
		c	×		
		c	×		
30°	1/30	b	×		
		c	×		
		c	×		

○:remarkable △:obscure ×:nil

が測定された。 $\theta < 20^\circ$ では反射波峰は測定されていない。本実験でも $\theta = 45^\circ$ のケースでは通常の反射が生じ、入射波峰と直角に交差し水路横断方向に進行する反射波峰が明瞭に見られた。 $\theta = 35^\circ$ のケースではMach stemの波峰から別れる入射波と反射波の波峰が見られた。 $\theta = 20^\circ$ と 30° のケースでは、Mach stemは形成されたが明瞭な反射波峰は見られなかった。本実験でのMach stemの形成は、斜面上を進行する孤立波の浅水変形およびソリトン分裂を伴うため、水路横断方向測線上で段波先端に分裂波を有する波形と分裂波のない波形が共存するなど、2次元的に複雑な変形を示した。

edge boreに関する実験では次の結果を得た。 $\theta = 30^\circ$ の場合edge boreは $\tan \beta = 1/5, 1/10$ の条件で発生し、 $1/20, 1/30$ の条件では発生しなかった。 $\theta = 30^\circ, \tan \beta = 1/5$ 、波条件cでの波形記録より求めた波先線図を図5に示す。 $x \leq 6\text{m}$ で汀線と鋭角に交わっていた波先線が、波の進行に伴い沖側の波先線とはほぼ平行になるように前進し、 $x = 4.5\text{m}$ 付近では汀線付近の波先線が沖のそれよりも突出した。 $\theta = 20^\circ, \tan \beta = 1/5$ 、波条件cでのedge bore先端部の模式図を図6に示す。他のケースでもedge boreの形成状況は類似していた。汀線より陸側の水位の増加により波速が増加したため、汀線付近の波先が突出した。edge bore上には遡上波先端に平行な幾筋ものrippleが見られた。さらに、このケースではChan⁴⁾が示したように斜面を下る下降流が生じ、回り込み流れ(渦)が発生した。 $\tan \beta = 1/20, 1/30$ では汀線上およびその沖の各測点の波形に反射による水位の上昇はあまり見られなかった。これらの緩勾配のケースでは、碎波および斜面遡上に伴うエネルギー減衰により反射が生じず、斜面上で通常の屈折、遡上が生じたと考えられる。特に $\tan \beta = 1/30$ の場合では、各測点の水位時間波形に反射による水位上昇はほとんど見られなかった。各ケースでのedge boreの発生状況を表2にまとめて記す。 $\theta = 20^\circ$ の場合も $\theta = 30^\circ$ と斜面上の波の変形はほとんど同じ傾向を示した。 $\theta = 30^\circ$ の場合では斜面への入射角が大きく、遡上高も大きくなるため、斜面上での波先の突出が著しくなり、 $\theta = 30^\circ$ の方が 20° より渦の発生が顕著であったと考えられる。一方、rippleは $\theta = 20^\circ$ の方が良く見られた。

参考文献

- 1) Perroud, P.H.: The Solitary Wave Reflection along a Straight Vertical Wall at Oblique Incidence, Ph.D. thesis, Univ. California, Berkley, 1957.
- 2) Chen, T.C.: Experimental study on the Solitary Wave Reflection along a Straight Sloped Wall at Oblique Angle of Incidence, B.E.B. Tech. Memo., No. 124, 1961.
- 3) Miles, J.W.: Obliquely Interacting Solitary Waves, Jour. Fluid Mech., Vol. 79, pp. 157-169, 1977.
- 4) Melville, W.K.: On the Mach Reflection of a Solitary Wave, Jour. Fluid Mech., Vol. 98, pp. 285-297, 1980.

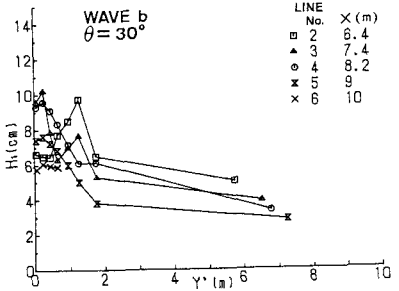


図3 波高横断分布(Mach stem)

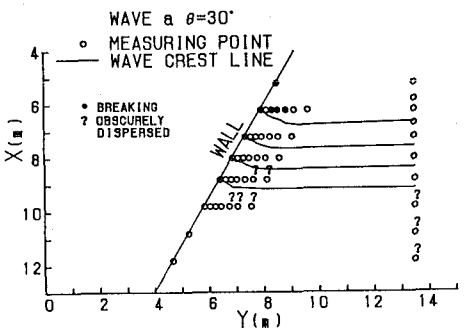


図4 波峰線図(Mach stem)

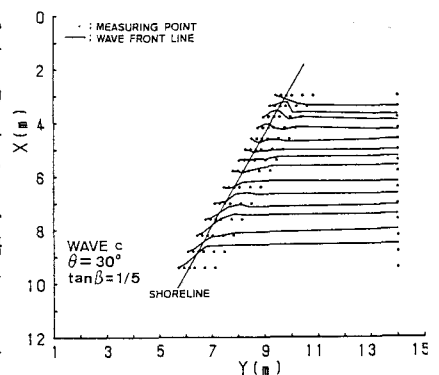


図5 波先線図(edge bore)

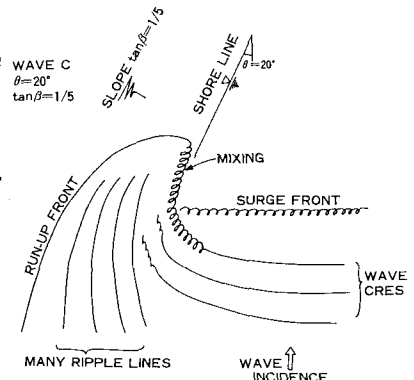


図6 edge bore先端部の模式図