

非接触法による円錐浅瀬上の段波の計測*

秋田大学 瀨本 藍 松富英夫

1. はじめに

1983年日本海中部地震津波の際、秋田県北部海岸でエッジ・ボアが形成され、大きな話題となった。エッジ・ボアは時として海岸構造物などに強力な波力を及ぼすのではないかと考えられており、その性質などを検討する必要がある。

エッジ・ボアは汀線に沿って伝播する段波で、一般的な波と異なり、伝播方向に対して直角方向のエネルギー輸送などにより、沖側へ伝播しようとする性質をもっていることを既報¹⁾の研究で指摘した。

本実験では、段波先端の到達時間を水面に触れずに正確に測るためにタッチセンサ (SUNX製) を導入し、波高を水面に接触せずに測るために容量線式波高計から超音波式波高計 (KEYENCE社製) へ変更した。

2. 実験方法

2. 1 実験器具

実験装置の概略を図-1(a)~(c)に示す。

図-1(a), (b)に示すように、実験に用いた平面水槽(1 cm厚の塩化ビニール樹脂製)は長さ350 cm, 幅100 cm, 高さ10 cmである。平面水槽の端から100 cmのところにはゲート(0.2 cm厚の真鍮製)が設置してある。図-1(c)に示すように、静水深 h_0 は水平床部分で2 cm, 円錐頂部の静水深は0.8 cmである。円錐浅瀬模型は、ゲートから150 cmの位置に円錐頂部がくるように設置し、タッチセンサはその頂部から前後40 cm, 超音波式波高計はタッチセンサと同じ位置に設置できないためそれぞれタッチセンサから下流側に4 cmずらして前36 cm, 後44 cmに設置した(既報の研究では図-1中A~Eの位置に設置していた)。

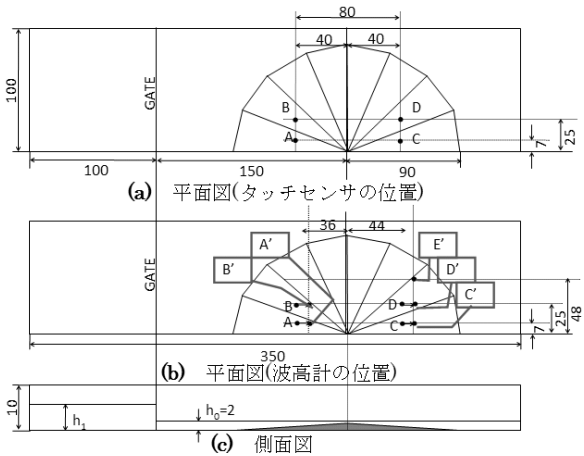


図-1 実験装置の概略図 (単位: cm)

各測点A~D点にはそれぞれタッチセンサが一組ずつ, 各測点A'~E'には超音波式波高計が1台ずつ設置してある。円錐浅瀬は正十六角錐を半分にした状態のもので(4 mm厚の塩化ビニール樹脂製), 斜面勾配は1/100に設定してある。また, 水路床と円錐浅瀬模型法先は1/

* Measurements of Bore Propagation over Conical Shoal by Non-contact Method

25 の勾配でシリコンによって滑らかに接続されている。

2. 2 実験手順

段波の挙動を水面に接触せずに計測する。

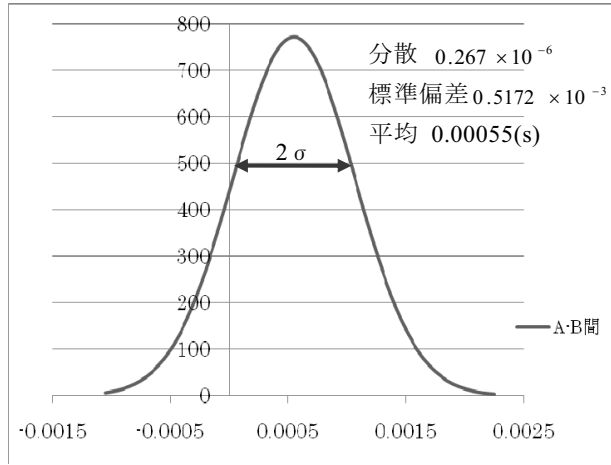
80 cm 離れている計測地点 A-C 間と B-D 間を段波先端が伝播するのに要する時間から、両者の時間差を求めることができる。段波は 0.2 cm の真鍮製のゲートを急速に抜くことによって発生させる。このゲートは滑車とワイヤーを使用し、ゲートが真上に抜けるよう両隅と中心を 3 点で吊ってある。また AD 波形集録ユーティリティーを使用し、

Excel データとして保存した。タッチセンサは光を遮ればその瞬間が検知される光センサを、波高計は超音波式波高計を使用したので水面に触れずに計測できる。

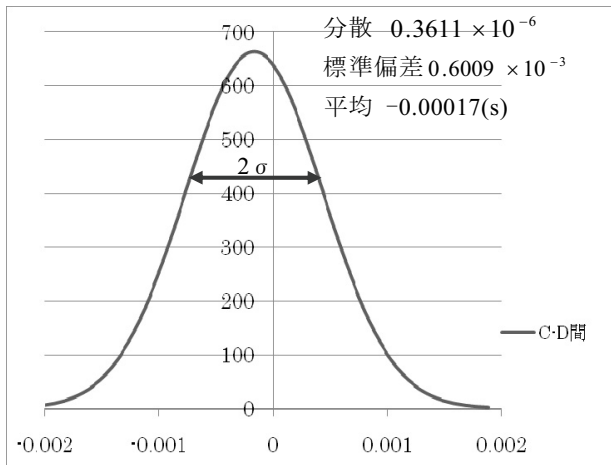
タッチセンサの光線を感知する孔の大きさは測点 A, B, C では直径 1.5 mm, 測点 D では直径 2.0 mm である。タッチセンサは予備実験として水路の両脇にレールを張り、そこに台車を落として測点 A-B 間、測点 C-D 間の時間差ができるだけ小さくなるように設置した。台車は長形できており、両脇に付けたレール

の傾きは同じであるため測点 A-B 間、測点 C-D 間が一直線上に設置してあれば時間差は 0.000 s = 無しになるはずであるため、それを利用してタッチセンサの反応時間差ができるだけ小さくなるように設置した。レールはステンレスの甲丸レールを鉄製のアングルにたわまないように固定し、台車は 4 角に丸型戸車をつけ脱輪しないようにした。図-2 は測点 A-B 間、測点 C-D 間のタッチセンサの反応時間差を示し、反応時間差が 1/500 s 以下であることが判る。

図-2 のグラフは



(a) 測点 A-B 間



(b) 測点 C-D 間

図-2 反応時間差

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left(-\frac{(x-x_m)^2}{2\sigma^2}\right) \dots (1)$$

を用いて作成した。ここで、 σ^2 は分散、 x は x 軸上の任意の値、 x_m は反応時間差の平均を示す。

3. 実験結果

3. 1 タッチセンサでの到達時間の計測

表-1 に実験条件^{1),2)}や測点 A-B 間, 測点 C-D 間, 測点 A-C 間, 測点 B-D 間それぞれの段波先端の到達時間差, 測点 A-C 間と測点 B-D 間を伝播するのに要する時間差を示す。表中の記号は、 h_1 は貯留水深である。 Δt は時間差, 添え字 A, B, C, D は測点を表しており, S は斜面勾配である。表-1 中の $\Delta t(AC-BD)$ の値が負であれば測点 A-C 間の伝播時間が測点 B-D 間のそれより短いことを示す。つまり浅い方 (A 点からの入射) の段波先端が深い方 (B 点からの入射) のそれより速く伝播した場合が負で示されている。

表-1 実験条件と実験結果 (タッチセンサ)

水位 (cm)		S	時間差 Δt (s)					段波伝播速度 (cm/s)	
h_1	h_0		$\Delta t(t_A-t_B)$	$\Delta t(t_C-t_D)$	$\Delta t(t_C-t_A)$	$\Delta t(t_D-t_B)$	$\Delta t(AC-BD)$	A-C 間	B-D 間
7	2	0.01	0.016	0.011	1.087	1.092	-0.005	73.6	73.3
8			0.014	0.008	0.991	0.997	-0.006	80.7	80.2
9			0.017	0.006	0.912	0.923	-0.010	87.7	86.7

表-1 より測点 A-C 間の伝播時間が測点 B-D 間のそれより短いことがわかる。水深の浅いところほど伝播速度が大きいことが確認できた。この結果は既報の実験データと同じ傾向を示している。また、タッチセンサの精度 (図-2 参照) からこの値は 1/500 s 以上の差があるので信用できるといえる。

3. 2 超音波式波高計での水位の計測

表-2 に、波高が立ち上がりから落ち着くまでの凡その時間を示す。この時間は図-3 のように測った時間であり、全てのグラフを見て平均した時間である。

表-2 立ち上がり基準から水位が落ち着くまでの時間

水位 (cm)		S	t (s)				
h_1	h_0		A'	B'	C'	D'	E'
7	2	0.01	0.900	0.900	0.700	0.700	0.700
8			0.800	0.800	0.600	0.600	0.600
9			0.700	0.700	0.600	0.600	0.600

表-3 に、各測点での波高を示す。測点 A', B' では3通りとも $\Delta H_{A'}$ の方が $\Delta H_{B'}$ より波高が大きく既報の傾向と逆の傾向を示している。測点 C', D', E' では、 $\Delta H_{C'}$ が最小となり、 $\Delta H_{D'}$ が $\Delta H_{E'}$ より大きくなった。既報の結果では $\Delta H_{C'}$ が最大となり $\Delta H_{D'}$ が次に大きく $\Delta H_{E'}$ が最小だったため、測点 C' を除いて既報と同じ傾向を示した。

更に、図-4 は各立ち上がり基準時から落ち着くまで時間を足してから 0.1 s 間平均した波高から、平均水深を引いた波高である。殆どが既報の結果と逆の傾向を示していることがわかる。

また、全体的に既報の実験結果より波高が小さくなっている。7 cm ではおおよそ 0.5~0.6 cm, 8 cm ではおおよそ 0.6~0.7 cm, 9 cm ではおおよそ 0.7~0.8 cm 小さくなっている。4 cm 下流側にずらしたことがどれほど影響しているかわからないし、何故小さくなったのかもわかっていない。

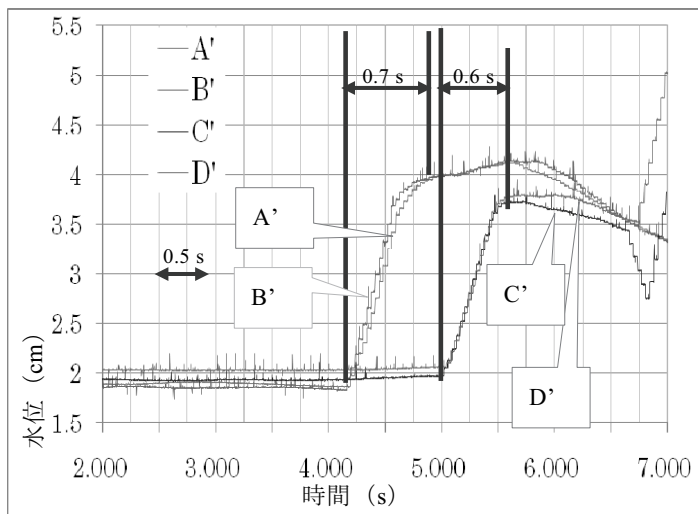


図-3 各測点での水位の経時変化の例 ($h_1=9\text{cm}$)

表-3 各測点での波高

水位(cm)		S	波高 $\Delta H(\text{cm})$				
h_1	h_0		$\Delta H_{A'}$	$\Delta H_{B'}$	$\Delta H_{C'}$	$\Delta H_{D'}$	$\Delta H_{E'}$
7	2	0.01	1.509	1.560	1.286	1.382	1.364
8			1.768	1.789	1.372	1.505	1.401
9			1.996	2.060	1.721	1.735	1.780

4. 考察

4. 1 タッチセンサでの計測

タッチセンサを導入したことによって、段波到達時間を水面に接触することなく測ることができた。3. 1にも記述したように、多くの実験データが既報と同じ傾向を示した。しかし前述したようにタッチセンサは光が遮られた瞬間を検知する。水という無色透明なもの进行测试しているため、段波が来た瞬間でなく、段波ではない水の揺れで光を遮っている可能性もある。今回は一番初めにタッチセンサが反応した瞬間のデータを使って統一したが、読み取り誤差があると考えられる。そのためタッチセンサのデータの読み取りに関しては改善が必要であると考えられる。光が遮られるだけで反応するのではなく、反応する水位を決められるタッチセンサ

があれば、それに変更することによって大きく改善できると考えられる。

また、孔の大きさについては測点 A, B, C では直径 1.5 mm, 測点 D では直径 2.0 mm であった。測点 D では、シリコンが光を通ることを邪魔していたため計測範囲が他より大きくなってしまった。次回からは円錐模型の設置の際、測点がある位置にシリコンが付着せず、実験水路の亚克力板が汚れていない状態にし、光がよく通るようにし、もう少し孔を縮めて計測範囲を小さくしたい。

これより今後の課題として、読み取り誤差を小さくすること、計測範囲の縮小があげられる。

4. 2 超音波式波高計での計測

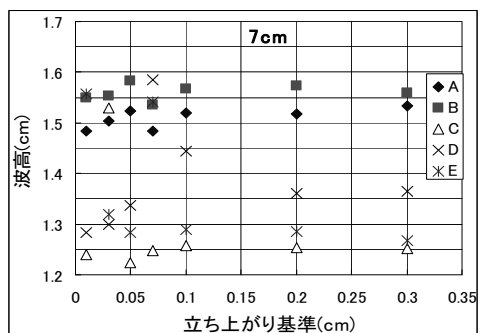
3. 2にも記述したように、多くが既報と逆の傾向を示した。

測点 C', D', E'に関しては、測点 C'のみ逆の傾向だった。これについては波高計の不具合が考えられる。測点 C'の波形は、立ち上がってからすぐに落ちているものが多かった。そのため測点 D', E'よりも使用できるデータ数が少なかった。

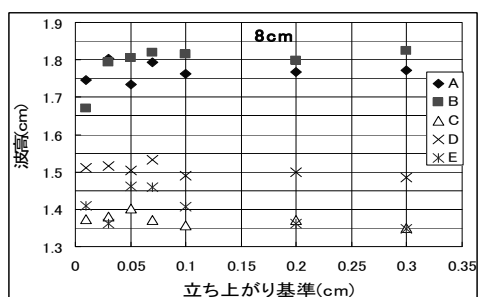
測点 A', B'について考えられる原因としては、読み取り誤差があげられる。例えば、立ち上がり基準に初めに達する点が 0.1 cm で、次に 0.01 cm だった場合も同じように落ち着くまでの時間を足し 0.1 s 間平均した。この場合、0.1 cm が先で 0.01 cm が後になり、波高もばらついてしまう。つまり小さい立ち上がり基準より先に大きい立ち上がり基準に達するということである。これに関しては AD 波形集録ユーティリティを 1000 Hz で使っているためノイズが発生しているためと考えられる(図-5 参照)。

また、計測位置が既報より下流側に 4 cm 程度ずれている。それがどれくらい影響を及ぼしたのかもわかっていない。

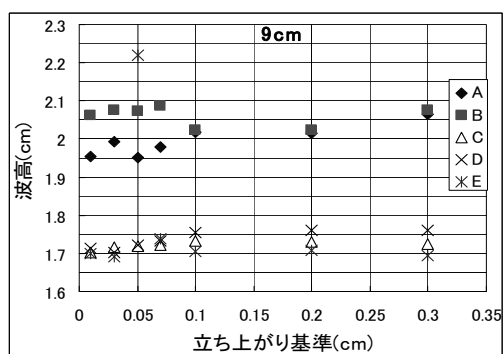
これより、今後の課題としては設置位置を設置場所がずれたことがどのくらい影響するのか明らかにすること、波高データが既報と逆の傾向になった原因を明らかにすること、ノイズを失くすことがあげられる。



(a) 7cm



(b) 8cm



(c) 9cm

図-4 各立ち上がり基準での波高

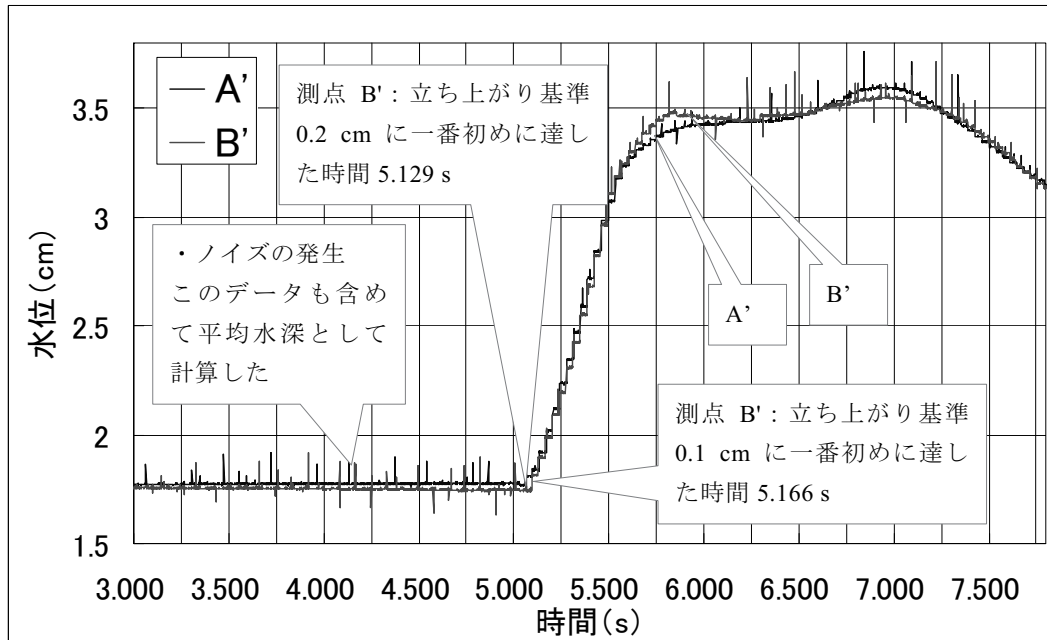


図-5 測点 A', B'での水位の経時変化の例 ($h_1=7$ cm)

5. おわりに

本実験では、波高に関しては既報の傾向と逆になったが、段波到達速度に関しては同じ傾向を示した。これより、円錐浅瀬上における段波は水深の浅いところほど伝播速度が大きい傾向を持っており、浅い方から深い方へと伝播する傾向が、本実験から再確認された。

謝辞： 今回の実験を行うにあたり、惜しめない御協力をいただいた本学大学院生の相馬崇志さん、朝倉壘さん、卒業研究生の渡邊麻衣さん、田地秀光さん、安田晃照さんには深く感謝いたします。特に、渡邊麻衣さんには、実験データ取得のために貴重な時間を割いて頂きました。併せて深く感謝いたします。

参考文献

- 1) Matsutomi, H.: Two-dimensional Behavior of a Strong Bore over a Sloping Beach, J. Hydraulic, Coastal and Environ. Eng., JSCE, No.740/II-64, pp.197-208, 2003.
- 2) 松富英夫・神 昭平：斜め入射する砕波段波の斜面からの反射，海岸工学論文集，第 51 巻，pp.256-260, 2004.