

水底の隆起にトラップされる浅水波ソリトンの実験

横 国 大 ・ 工 今 野 岳 (Gaku Konno)

渡 辺 慎 介 (Shinsuke Watanabe)

1) はじめに

水底の隆起にそって伝播する波が、その隆起した部分に補足され、二次元的に局在した波が生じると予想されている。この水底の隆起した部分にトラップされた浅水波ソリトンの特性を実験的に調べるのが本研究の目的である。

図1のように、水底が波の進行方向に対して垂直な方向に局部的に隆起している場合を考える。座標軸は波の進行方向を x 、それと垂直な方向を y 、鉛直方向を z とする。隆起の断面は矩形で、幅及び高さは水深と同じ程度のものとする。

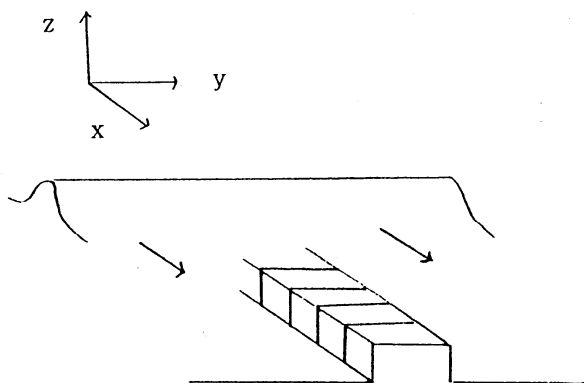


図1 隆起

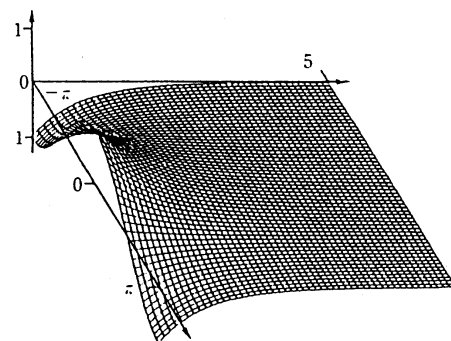


図2 線形補足波の3次元波形¹⁾

エッジ層の考えを導入し、線形化されたKP方程式に等価境界条件を課すと、図2のようにy方向には振幅が指数関数的に減少し、あたかも隆起に補足されたようにx方向にのみ伝播する波が生じると考えられている¹⁾。

この考えを下に我々は有限振幅の波に対し、同様に補足された波が伝播するかを調べるため実験を行ってきた。しかしまだ、上述のような完全に二次元的に局在した波を励起するには至っていない。その原因としては、やはり、波が有限振幅の孤立波のため、線形近似が成り立たない事が考えられる。また実際の水槽の大きさは有限なため、境界条件の違いによるものとも考えられる。

しかし、上述の形とは異なるが、ある意味で隆起に補足された波が観測された。この波は水底が隆起している部分で振幅が最大となり、我々が用いている水槽の範囲では、安定に伝播した。また隆起上で若干の波の遅れが認められた。この隆起上での振幅は、波の励起条件を適当に選ぶ事により最大で隆起上の水深の約2倍まで増加し、これは一様水深の波に比べ非常に大きな値を取っている。

本報告ではこの波に対して、水深及び隆起の幅を一定にし波の励起条件、隆起の高さをパラメータとして実験を行い、その際観測された隆起上での振幅の特性について報告する。

2) 実験装置と方法

図 3 に実験装置の概略を示す。

実験は長さ 2 m、幅 1 m、深さ 15 cm のアクリル性の水槽で行った。水底に隆起を設けるため、図 3 に示すようにアクリル性のトラップ板を取り付けた。このトラップ板の幅及び高さを変えて実験を行った。また、座標軸は波の進行方向に x 、水槽の幅方向に y 、鉛直方向に z とした。トラップ板を設置した部分の水深を h 、深い部分の水深を h_0 とし、トラップ板の幅は w とする。

造波器は貯水タンク、電磁弁、カウンター回路、ガスボンベからなっており、貯水タンクは水槽の一端に設置されている。この貯水タンクに一定の高さまで水を吸い込み、静止させた後、ガスボンベから電磁弁を通して貯水タンクに圧力をかけ、水を底面から押し出すことによって x 方向に一様な波を励起した。

励起する波の幅と振幅は、圧力及び圧力をかける時間を電

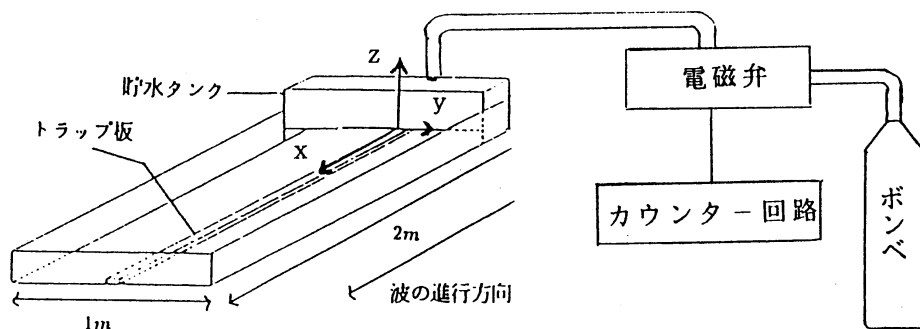


図 3 実験装置略図

磁弁で制御することによって調節した。

励起された波の測定には4つのプローブを用いた。プローブは2本のステンレス線からなり、水位が変化するとその間の電気抵抗が変化する。この電気抵抗の変化から波高の変動を測定した。

今回の報告では、トラップ板上での波の振幅の特性を調べるため、二つの実験を行なった。まず波の励起条件、水深、及びトラップ板の幅を固定し、トラップ板上の水深を変化させた場合について、次に水深、トラップ板の幅、及びトラップ板の高さを固定し、波の励起条件を変化させた場合について測定を行なった。表1に今回実験を行なった波の励起条件、トラップ板の幅、及びトラップ板上の水深等の実験パラメータについてまとめた。

同一条件の波に対して4本のプローブで4回測定を行う事

表1 実験パラメータ

	トラップ板上の 水深を変えた場合	波の励起条件を 変えた場合
電磁弁開放時間 $T[\text{msec}]$	210	130~600
トラップ板上の水深 $h[\text{cm}]$	0.5~2.5	0.5
圧力 $P[\text{kgf/cm}^2]$	9	9~13
水深 $h[\text{cm}]$	2.5	
トラップ板の幅 $w[\text{cm}]$	5.0	

によって、励起された波を16の異なる地点で観測した。

3) 結果

3-1) トラップ板上の水深を変化させた場合

図4に、得られたデータから構成した三次元波形を示す。

図は実験系の対称性を考慮にいれ、 $y > 0$ の片側の波形を示

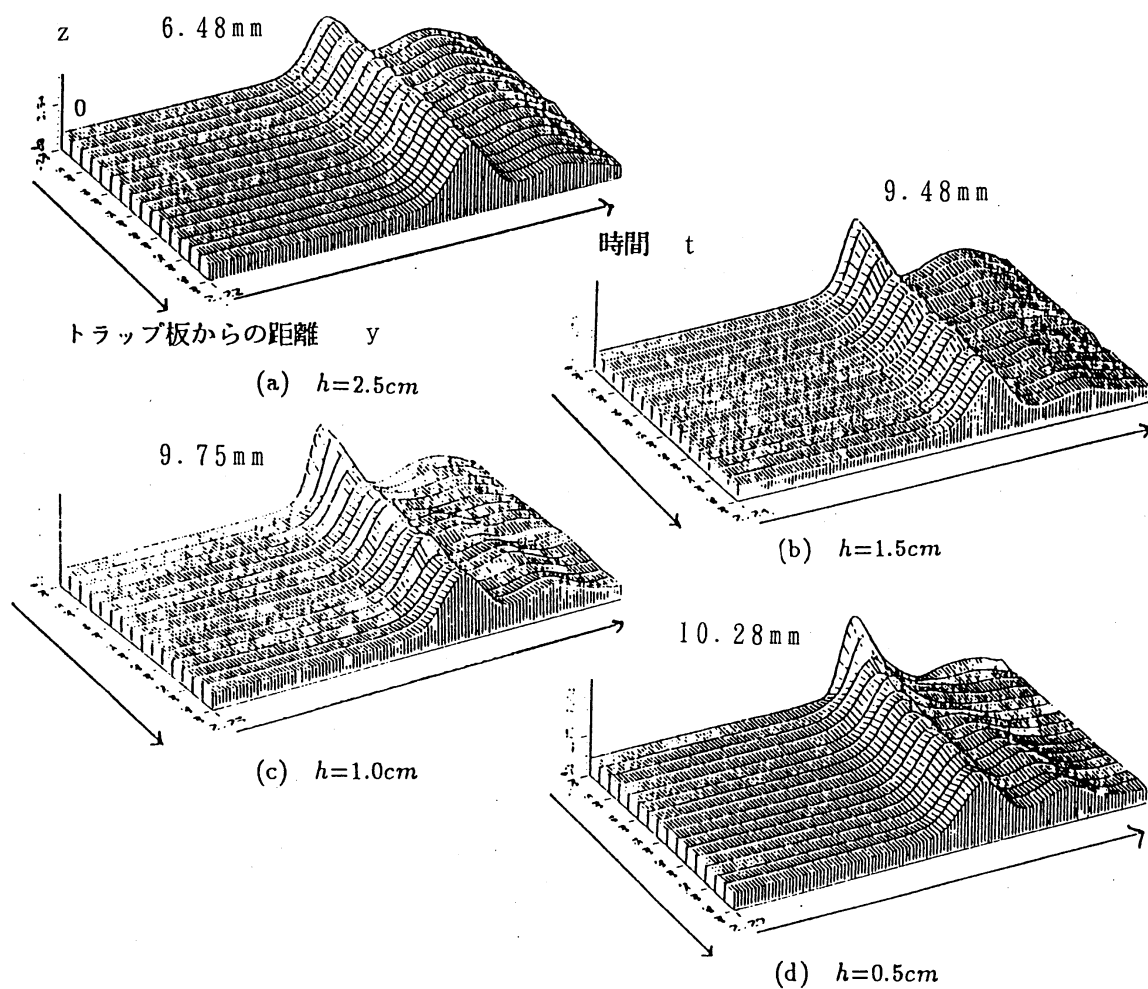


図4 伝播波形

している。また、 $y-z$ 平面に垂直な軸は時間軸 t である。

測定点は $x=130\text{cm}$ 、 y 方向に 0cm から 2cm 刻みに 30cm までの 16 地点である。

トラップ板の無い (a) の場合、 y 方向に一様に伝播するソリトンであることが、この図よりわかる。

一方、トラップ板のある (b)、(c)、(d) では、トラップ板上で振幅が最大となり、トラップ板から y 方向に離れるに従い振幅は減少している。しかしゼロまでは落ちず、 $y=15.0\text{cm}$ からほぼ一定の高さとなっている。また $y=15.0\text{cm}$ の所から波の分裂が起こっている。トラップ板上の水深が浅くなるほどトラップ板上での振幅が大きくなり、トラップ板の外では分裂が起こりやすくなる傾向にあるのが図 4 よりわかる。また、(b)、(c)、(d) では、トラップ板上

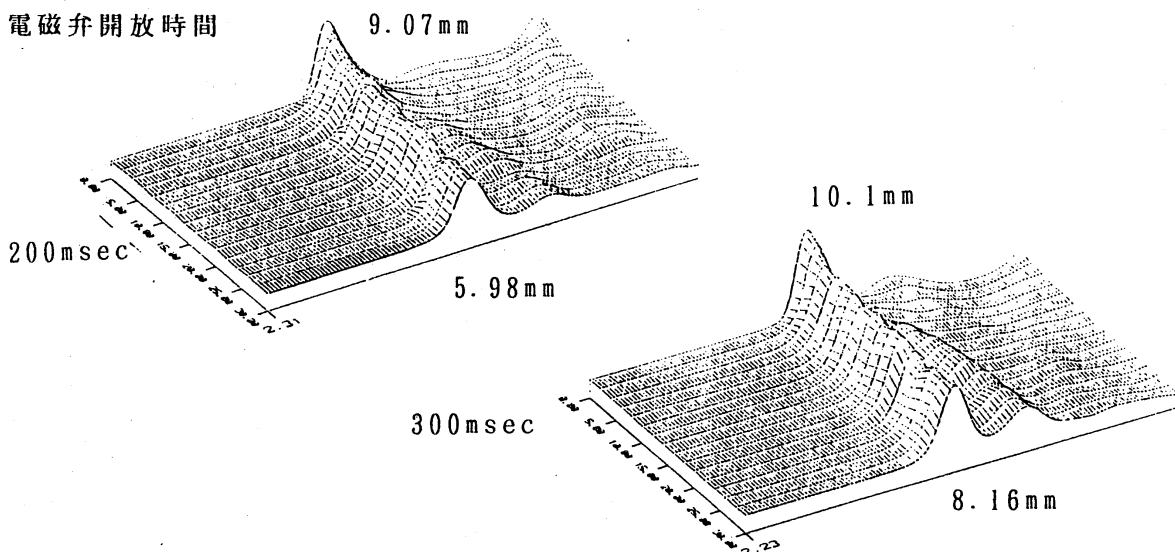


図 5 励起条件を変えた場合の伝播波形

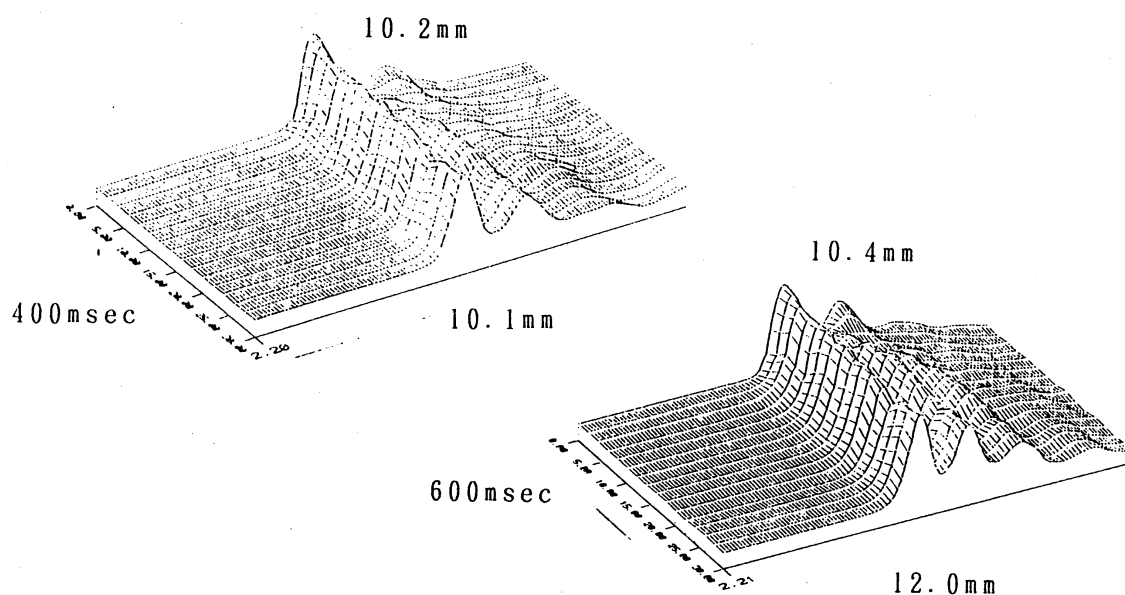


図5 励起条件を変えた場合の伝播波形

に波の遅れが生じ、若干の波面の集中が起こっているのが観測された。波の速度についてはこの図からはわからないが、トラップ板の外側の水深によって決まる事が観測されている。

3-2) 波の励起条件を変化させた場合

図5に励起条件を変化させた場合に得られた三次元波形を示す。トラップ板上の水深 h_0 は5.0mmに、かけた圧力は11 kg/cm²に固定してある。また座標軸及び測定点は図4と同じである。

図5から、電磁弁の開放時間が300msecより大きな値ではトラップ板上の振幅が10mmで頭打ちの状態になっているのがわかる。この値はトラップ板上の水深の約2倍で、これ以上の振幅の増加は見られなかった。しかし、トラップ板の外側

では、さらなる振幅の増大がみられ、電磁弁の開放時間が400msec の場合においては、波の振幅は y 方向に対してほぼ一様となっている。

また、電磁弁の開放時間を増やす事により、波の分裂の数が増加し、トラップ板の外側の分裂の数がトラップ板上の分裂の数に比べ常に多くなっている事が図5よりわかる。

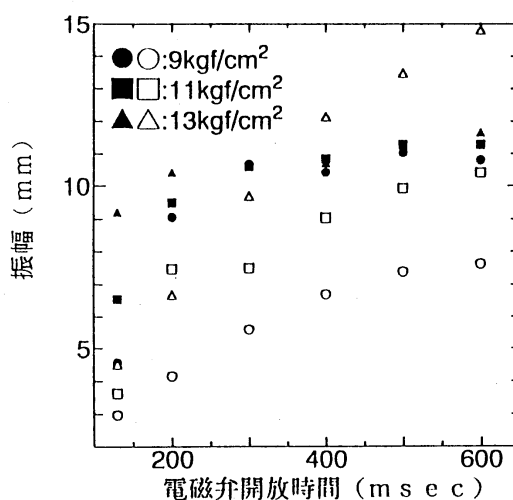


図6 電磁弁開放時間に対する振幅の関係

三種類の圧力における、電磁弁の開放時間に対する振幅の関係は図6のようになる。黒塗りはトラップ板上 ($y=0.0\text{cm}$)、白ぬきは y 方向に 30.0cm 離れた点での振幅である。トラップ板上においては、振幅の増加は約400msec で頭打ちとなり、水深の約2倍程度の値に落ちつくのが図6よりわかる。それに対し、 $y=30.0\text{cm}$ 、つまりトラップ板の外側では電磁弁開放時間が増える毎に振幅が増加し、特に圧力が 13kg/cm^2 では外側の振幅がトラップ板上の振幅よりも大きくなるという興味深い現象がみられた。

4) 考察

得られた結果をまとめると以下のようなになる。

- 波の振幅はトラップ板の中心で最大となり、トラップ板から垂直方向に離れるに従って、振幅は減少する。しかしゼロまでは落ちず、ある高さから一定となる。
- トラップ板上の振幅は最大で水深の約 2 倍まで増加し、それ以降はほぼ一定の値をとる。それに対し、トラップ板の外側の振幅は増加し続けた。
- 適当な条件により波は分裂するを起こすが、トラップ板の外側の分裂の数は常にトラップ板上のものより多い。

特に最大振幅については、水深が一様な場合の孤立波では実現できないほどの非常に大きな値を取っている。しかし、これ以上の増大は起こらず、これは何らかの不安定によるものと予想される。

また、この波は我々が用いた水槽においてはほぼ安定に伝播した。しかし、水槽の長さは波長の 8 倍程度であり、波の安定性についてはさらに大きな水槽で調べる必要がある。

トラップ板の幅に対する最大振幅の関係を今後調べる予定である。

5) 参考文献

1) 井上良紀、木谷勝編集：乱れと波の非線形現象

(朝倉書店、1993)、22-24