

津波の波力特性に及ぼす海岸断面地形の影響

安田誠宏・高山知司・山本博紀*・中平順一**・桜井秀忠**

* テレビ大阪 (株)

** 八千代エンジニアリング (株)

要 旨

本研究では、前面海岸地形の特性による津波の砕波や遡上、あるいは波力の違いを明らかにすることを目的として、実験的検討を行った。その結果、ソリトン分裂波の発生および発達には波形勾配や水深が深く関係しており、ソリトン分裂波が発達したまま遡上して砕波し、衝撃砕波圧が作用するような条件が存在することが明らかになった。津波本体の作用波圧は、谷本式による算定結果と分布の傾向が似ており概ね適用可能だが、ソリトン分裂波が大きく発達して衝撃波圧が作用する場合には、新たな波力算定式を導く必要があることがわかった。

キーワード: 津波, ソリトン分裂, 海岸断面地形, 衝撃砕波圧, 波力算定式

1. はじめに

インド洋大津波によってインド洋沿岸諸国に甚大な被害が発生した。その被害の状況は、タイやマレーシアのアンダマン海沿岸とインドやスリランカのインド洋西側諸国沿岸とでは、大きな違いがみられた。アンダマン海はコーラルリーフが発達しているため、水深の浅い海域が広がっている。津波は浅海域に入ると非線形性とそれに伴う分散性が卓越して、ソリトン列としての挙動を呈するようになる。ソリトン分裂による短周期化に伴って津波の動的効果が強くなり、災害外力としてのポテンシャルは急速に高くなる。一方、インドおよびスリランカ沿岸は海底勾配が急なため、津波は汀線付近で突如砕波して、あまりエネルギーを失わずに遡上することによって、大きな波力が作用する。このような前面海岸の地形特性が津波の変形特性に大きな影響を与え、それによって海岸構造物や家屋に作用する波力に違いが現れ、被災状況が異なると推測される。

本研究では、前面海岸地形の特性による津波の砕波や遡上、あるいは波力の違いを明らかにすることを目的として、水理模型実験を行った。そして、リーフ地形において生じるソリトン分裂波の発生や発達、消滅の機構を明らかにするとともに、ソリトン分裂によって生じた短周期波の変形過程と波力との関連性を明らかにした。

2. 実験方法および条件

2.1 実験方法

Fig.1 に示すようなリーフ状地形を対象に、水深を変化させて模型実験を行った。実験水路は長さ 50m×幅 1.0m×深さ 1.5m のものを利用し、模型縮尺は 1/100 を想定した。水路長の制約上、リーフの長さは 20m で水深一定とし、勾配が 1/20 あるいは 1/50 の海浜をリーフに接続させた。防潮堤を模擬した高さ 10cm (実物で 10m) の堤体模型を、海浜上の汀線より 2cm (実物で 2m) 高い位置に設置した。この堤体模型前面に波圧計を、地表面からそれぞれ 1, 4, 7cm の位置に 3 台設置し、津波による波圧の鉛直分布を測定した。また、一部のケースについては、堤体模型を設置しない場合についても実験を行い、津波の遡上高を測定している。波高計の数に限りがあるため、側面からもビデオカメラで撮影を行い、津波の変形過程を調べた。

2.2 実験条件

実験条件を Table 1 に示す。リーフ上の水深を $h=3, 5, 10, 20, 30\text{cm}$ の 5 種類に変化させた。3cm と 5cm のケースは水深の浅いリーフが長く続く地形を想定しており、30cm のケースは水深が深く、急に陸上に接続する地形を想定している。そして、10cm と 20cm のケースは、ソリトン分裂による影響が顕著に出る、もしくはソリトン分裂が発生する水深の限界を調べるために設けた。

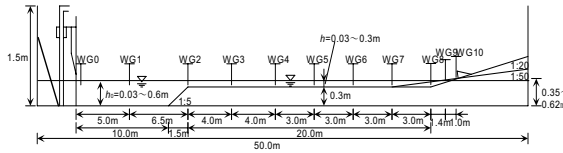
Case1~5: $h=3, 5, 10, 20, 30\text{cm}$ 

Fig. 1 Cross section of experimental model

Table 1 Experimental conditions

			周期					現地(S=1/100)
			1.7	3.3	5.0	7.5	10.0	
			10	20	30	45	60	実験
津波高	2.0	2.0	—	—	△	△	△	
	3.0	3.0	○	○	○	○	○	
	5.0	5.0	○	○	—	—	—	
m	cm							○: 全ケース実験を実施 △: 一部実施 —: 対象外
現地	S=1/100	実験						

津波高および周期をいくつか変化させた。実験条件を Table 1 に示す。ソリトン分裂が顕著に発生する条件を基準として、ソリトン分裂津波の発生および発達の違いを調べた。また、防潮堤に作用する波力の違いを比較し、ソリトン分裂津波の変形による影響を検討した。

3. 津波の変形特性

3.1 水深の違いによる影響

津波高と周期が同じ (振幅 $a_1=3\text{cm}$, 周期 $T=30\text{sec}$) で、水深が異なるケースについてのソリトン分裂津波の発生および発達形態の違いを検討する。また、堤体前面に作用する波圧特性の違いについても述べる。

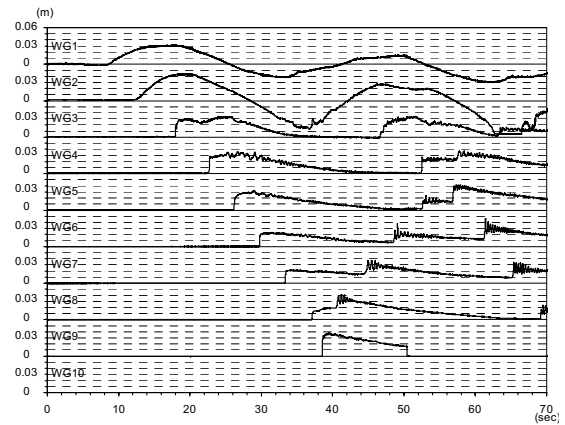
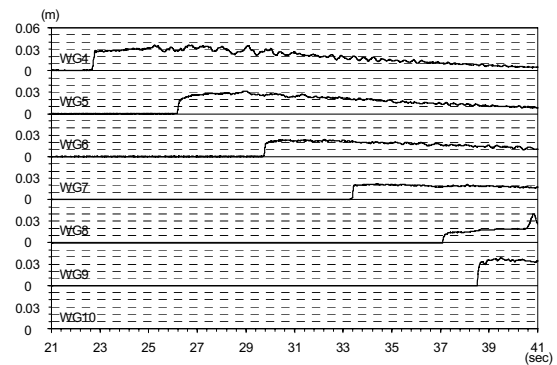
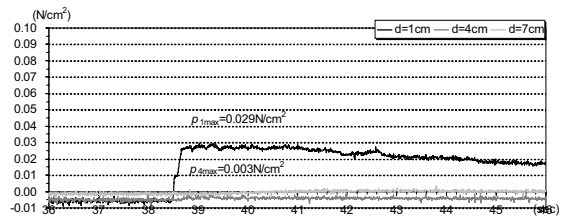
(1) 水深: $h=3\text{cm}$

WG1~WG9 までの津波伝播の時刻歴を Fig.2(a) に、WG4~WG9 までの詳細図を Fig.2(b) にそれぞれ示す。このケースは、リーフ地形を想定したものであるが、リーフ上の水深が浅すぎるために、津波の先端部でソリトン分裂が発生するかしないかのうちに砕波してしまった。リーフ上を伝播する途中で、津波の後部でもソリトン分裂が少し発生するが、すぐに砕波する。そして津波は、段波状になって陸上に遡上する。

堤体前面の波圧を Fig.3 に示す。海浜上 1cm の地点の波圧計での最大波圧は 0.029N/cm^2 しかなく、堤体前面に作用する波力は非常に小さい。波圧の波形は津波の波形に似ており、静水圧成分のみが作用していることがわかった。

(2) 水深: $h=5\text{cm}$

WG1~WG9 までの津波伝播の時刻歴を Fig.4(a) に、WG4~WG9 までの詳細図を Fig.4(b) にそれぞれ示す。このケースは、水深 $h=3\text{cm}$ のケースと同じように、リーフ地形を想定している。沖側の WG1 で振幅が 3cm であった津波は、リーフ上に進入して浅水変形で、WG2 での振幅は 4cm に増大する。さらに、WG3 付近でソリトン分裂が発生し始め、WG4 ではすでにソリトン分裂波の 1 波目が砕波し始めている。リーフ上を伝播する間に、ソリトン分裂波は 1 波目、次に 2 波目、3 波目の順に大きく発達するが、ある波高に達すると砕波するので、この順番で次から次へと砕波している。ソリトン分裂波の発達には津波本体のエネルギーが使われるために、この

Fig.2(a) Time series of tsunami propagation
($h=3\text{cm}$, $a_1=3\text{cm}$, $T=30\text{s}$)Fig.2(b) Time series of tsunami propagation (in detail)
($h=3\text{cm}$, $a_1=3\text{cm}$, $T=30\text{s}$)Fig.3 Time series of tsunami pressure against tide wall
($h=3\text{cm}$, $a_1=3\text{cm}$, $T=30\text{s}$)

ように砕波が続いて起こることによって津波本体の振幅も小さくなり、WG6 では振幅は 3cm に低下している。このようなリーフ上を伝播中にソリトン分裂波が完全に砕波してしまう条件では、津波本体のもつエネルギーも損失することがわかった。また、堤体から反射した津波が分裂しながら、沖方向に戻っているのがわかる。

堤体前面の波圧を Fig.5 に示す。リーフ上を伝播中にソリトン分裂波が完全に砕波してしまっているために、堤体前面には大きな波力は作用せず、静水圧成分のみが作用する。

(3) 水深: $h=10\text{cm}$

WG4~WG10 までの津波伝播の時刻歴を Fig.6 に示す。リーフ上を 11m 進んだ WG5 の手前からソリトン分裂が発生し始め、リーフ上でソリトン分裂波が発達していく。そして、WG9 では第 1 波目は 5cm 程度の波高まで発達していき、WG9 と

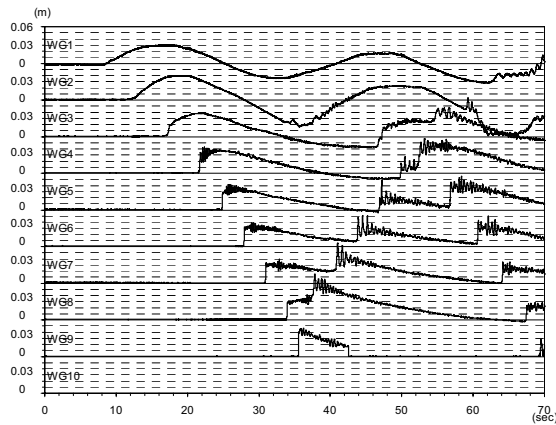


Fig.4(a) Time series of tsunami propagation
($h=5\text{cm}$, $a_f=3\text{cm}$, $T=30\text{s}$)

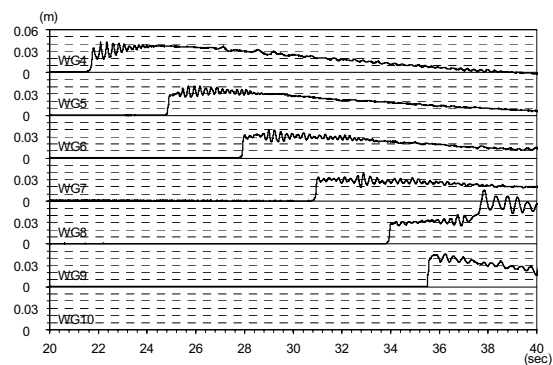


Fig.4(b) Time series of tsunami propagation (in detail)
($h=5\text{cm}$, $a_f=3\text{cm}$, $T=30\text{s}$)

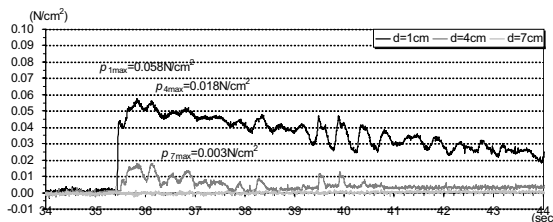


Fig.5 Time series of tsunami pressure against tide wall
($h=5\text{cm}$, $a_f=3\text{cm}$, $T=30\text{s}$)

WG10 の間の位置でソリトン分裂波の1波目が砕波しており、2波目も WG10 で砕波しかけているのがわかる。堤体直前でソリトン分裂波が十分に発達しているため、ソリトン分裂波は大きなエネルギーをもった状態で遡上している。

堤体前面の波圧をFig.7に示す。ソリトン分裂波の1波目は砕波しているため作用波圧は小さいが、ソリトン分裂波の2波目は堤体直前で砕波するため、衝撃波圧が作用しているのがわかる。2波目の波圧は、海浜上1cmの地点の波圧計では最大 0.091N/cm^2 となっているが、そのうち津波本体のものが 0.06N/cm^2 程度見込まれるために、ソリトン分裂波によるものは 0.03N/cm^2 程度である。また、海浜上4cmの地点の波圧計では、最大 0.077N/cm^2 となっており、津波本体の波圧が 0.02N/cm^2 であるから、2波目のソリトン分裂波による波圧は 0.057N/cm^2 となって、非常に大きな衝撃波圧が作用していることがわかる。

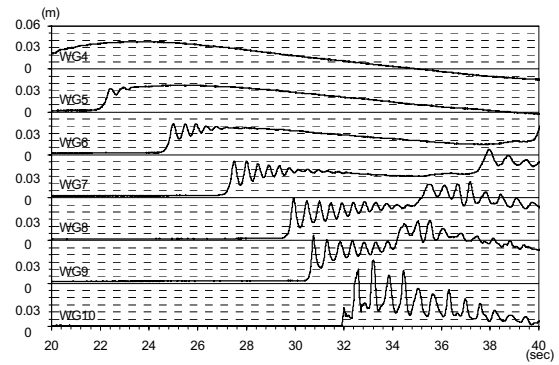


Fig.6 Time series of tsunami propagation
($h=10\text{cm}$, $a_f=3\text{cm}$, $T=30\text{s}$)

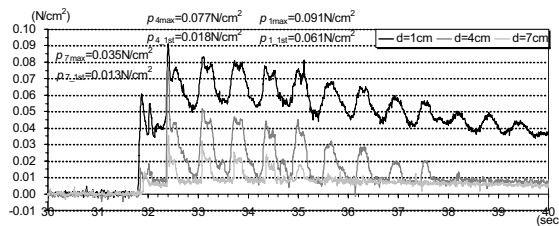


Fig.7 Time series of tsunami pressure against tide wall
($h=10\text{cm}$, $a_f=3\text{cm}$, $T=30\text{s}$)

海浜上7cmでの波圧計には、ソリトン分裂波による波圧だけで 0.035N/cm^2 とそれほど大きな波圧は作用していない。3波目から6波目までのソリトン分裂波による波圧は重複的な波形を示しており、衝撃的な力は作用していない。さらに、7波目以降はソリトン分裂波の波高が小さくなるために、微小振幅波のような波形を示しており波圧も小さい。

(4) 水深： $h=20\text{cm}$

WG4～WG10 までの津波伝播の時刻歴を Fig.8 に示す。この図から、津波の振幅に対する相対水深が深いために、ソリトン分裂波がほとんど発達しないうちに、津波が堤体まで到達しているのがわかる。本実験におけるリーフの長さは 20m であるが、このケースに関してはソリトン分裂波が十分に発達するにはリーフの長さが不十分であったといえる。

堤体前面の波圧を Fig.9 に示す。ソリトン分裂波がほとんど発達していないために、堤体前面の波形と同じ形状の波圧分布を示しており、津波本体のみの波圧が堤体に作用している静水圧波形となっていることが、この図よりわかる。

(5) 水深： $h=30\text{cm}$

WG4～WG10 までの津波伝播の時刻歴を Fig.10 に、堤体前面の波圧を Fig.11 にそれぞれ示す。このケースでも、水深 $h=20\text{cm}$ のケースと同様に、津波の振幅に対する相対水深が十分に深いために、ソリトン分裂波が全く発達しないうちに、津波が堤体まで到達する。さらに、ソリトン分裂波が発達していないために、津波本体のみの静水圧が堤体に作用する。

(6) 水深の違いによる影響

津波高と周期が同じで、水深が異なる場合の特性を以下にまとめる。

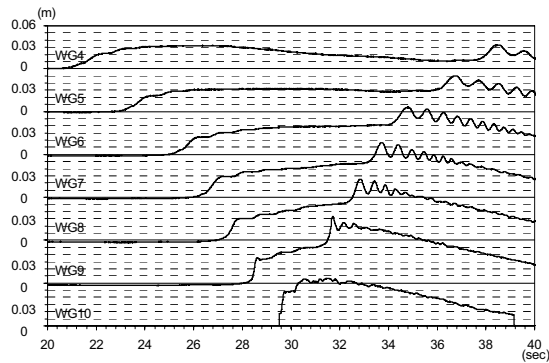


Fig.8 Time series of tsunami propagation
($h=20\text{cm}$, $a_f=3\text{cm}$, $T=30\text{s}$)

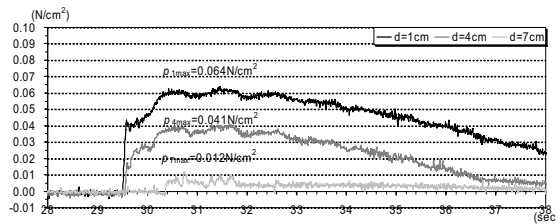


Fig.9 Time series of tsunami pressure against tide wall
($h=20\text{cm}$, $a_f=3\text{cm}$, $T=30\text{s}$)

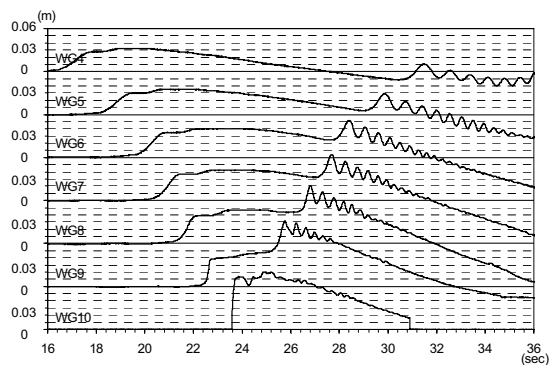


Fig.10 Time series of tsunami propagation
($h=30\text{cm}$, $a_f=3\text{cm}$, $T=30\text{s}$)

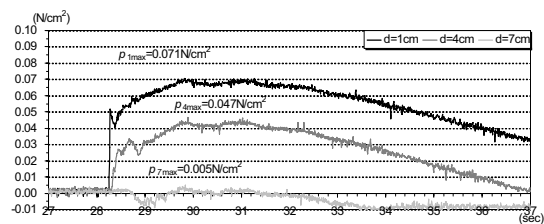


Fig.11 Time series of tsunami pressure against tide wall
($h=30\text{cm}$, $a_f=3\text{cm}$, $T=30\text{s}$)

- ・水深が浅いと、ソリトン分裂波は早く発達するが、リーフ上を伝播中に砕波してしまう。そのため、津波本体のもつエネルギーは大きく減衰する。
- ・ある相対水深では、リーフ上を伝播中のソリトン分裂波の発達が顕著で、大きなエネルギーをもった状態で遡上する。

堤体の直前でソリトン分裂波が砕波するため、陸上構造物には衝撃砕波圧が作用する。

- ・水深が深くなると、ソリトン分裂はほとんど発生しなくなり、陸上構造物には津波本体の静水圧のみが作用する。

3.2 周期の違いによる影響

水深と津波高が同じ（水深 $h=10\text{cm}$ 、振幅 $a_f=3\text{cm}$ ）で、周期が異なるケースについて、ソリトン分裂波の変形特性と堤体前面に作用する波圧特性の違いについて述べる。

(1) 周期： $T=30\text{sec}$

3.1の(3) (Fig.6, 7) ですでに述べたので省略する。

(2) 周期： $T=20\text{sec}$

WG4～WG10 までの津波伝播の時刻歴を Fig.12 に示す。WG3を越えた付近からソリトン分裂が発生し始め、リーフ上でソリトン分裂波が発達していく。そして、WG9では第1波目のソリトンは波高が6cm程度にもなって、堤体直前のWG9とWG10の間でソリトン分裂波の第1波目が砕波している。(1)の周期 $T=30\text{sec}$ の場合よりもソリトン分裂波は発達していて、より大きなエネルギーをもった状態で遡上している。

堤体前面の波圧をFig.13に示す。ソリトン分裂波の1波目は砕波しているため作用波圧は小さい。衝撃的な波圧波形を示している2波目は、海浜上1cmと4cmの波圧計に衝撃波圧が作用している。海浜上1cmの波圧計では、最大で 0.072N/cm^2 となっているが、津波本体の静水圧を差し引くと 0.04N/cm^2 程度となっており、それほど大きくはない。海浜上4cmの波圧計では、最大で 0.076N/cm^2 で、津波本体部分が 0.01N/cm^2 であるから、分裂波そのものによる値が 0.066N/cm^2 となって非常に大きい。3波目になると2波目の反射波と入射波が重なって重複波になるため、海浜上1cmと4cmの波圧は小さくなる。その後、5波目までは衝撃的な波圧波形がみられ、6～8波目では重複波的、それ以降は微小振幅波的な波圧波形となっている。

(3) 周期： $T=45\text{sec}$

WG4～WG10 までの津波伝播の時刻歴を Fig.14 に示す。WG6付近からソリトン分裂が発生し始め、(1)の周期 $T=30\text{sec}$ の時と比較するとゆっくりとしたスピードで発達していき、ソリトン分裂波があまり発達しないうちに、津波が堤体まで到達している。ソリトン分裂波はあまり発達していないため、堤体直前でソリトン分裂波のもつエネルギーは、それほど大きくない。

堤体前面の波圧をFig. 15に示す。ソリトン分裂波の1波目が堤体に当たる時に、海浜上1cmの波圧計には 0.038N/cm^2 の波圧が作用し、4cmの位置にある波圧計に 0.01N/cm^2 程度の小さな波圧が作用する。海浜上7cmの位置にある波圧計には波圧は全く作用しない。このように、大きな波力は作用せず、静水圧成分のみが作用している。

(4) 周期の違いによる影響

水深と津波高が同じで、周期が異なる場合の特性を以下にまとめる。

- ・周期が短いほど、リーフ上を伝播中の早い段階でソリトン分裂波が発達する。その分、砕波時期も早くなる。
- ・周期が長いとソリトン分裂波はゆっくり発達するため、十

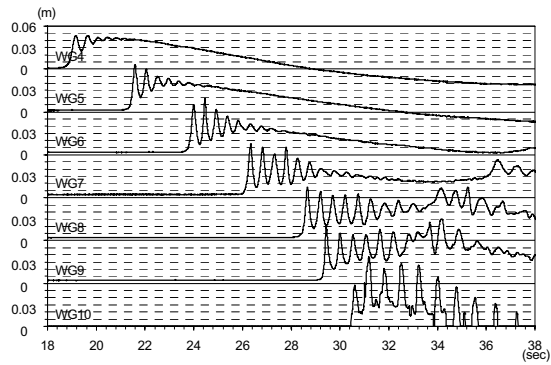


Fig.12 Time series of tsunami propagation
($h=10\text{cm}$, $a_f=3\text{cm}$, $T=20\text{s}$)

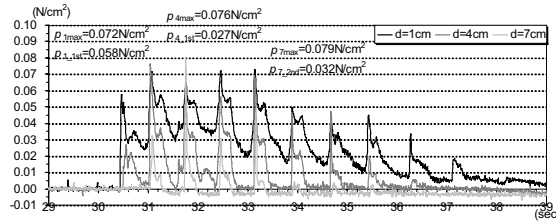


Fig.13 Time series of tsunami pressure against tide wall
($h=10\text{cm}$, $a_f=3\text{cm}$, $T=20\text{s}$)

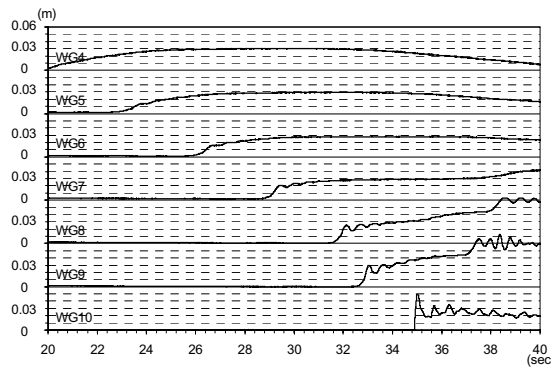


Fig.14 Time series of tsunami propagation
($h=10\text{cm}$, $a_f=3\text{cm}$, $T=45\text{s}$)

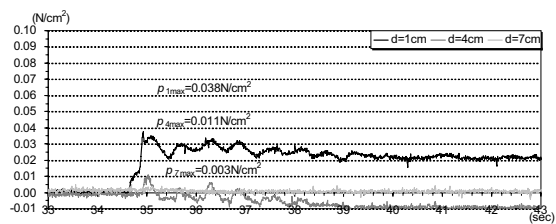


Fig.15 Time series of tsunami pressure against tide wall
($h=10\text{cm}$, $a_f=3\text{cm}$, $T=45\text{s}$)

分に発達するのに必要なリーフの長さは長くなる。

3.3 津波高の違いによる影響

水深と周期は同じ（水深 $h=20\text{cm}$ ，周期 $T=20\text{sec}$ ）で，津波の振幅が異なるケースについて，ソリトン分裂波の変形特性

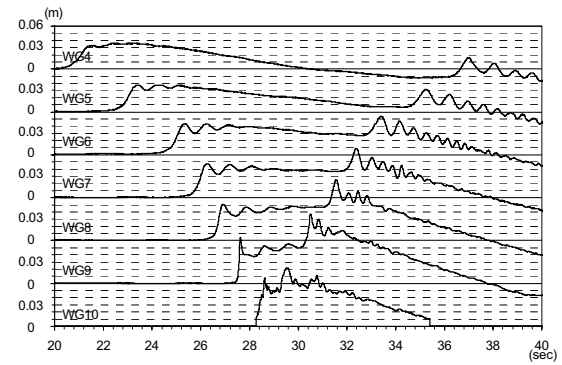


Fig.16 Time series of tsunami propagation
($h=20\text{cm}$, $a_f=3\text{cm}$, $T=20\text{s}$)

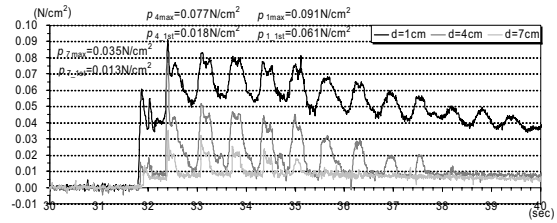


Fig.17 Time series of tsunami pressure against tide wall
($h=20\text{cm}$, $a_f=3\text{cm}$, $T=20\text{s}$)

と堤体前面に作用する波圧特性の違いについて述べる。

(1) 振幅： $a_f=3\text{cm}$

WG4～WG10 までの津波伝播の時刻歴を Fig.16 に示す。WG3～WG4 付近でソリトン分裂が発生し始め，WG9 と WG10 の間でソリトン分裂波の 1 波目が砕波している。発達するスピードはゆっくりで，ソリトン分裂波はあまり大きく発達していないが，津波が遡上していく過程で 1 波目が砕波している。

堤体前面の波圧を Fig. 17 に示す。ソリトン分裂波の 1 波目は砕波しているため作用波圧は小さい。また，2 波目は 1 波目反射波と重なって水位が高くなり，その分だけ波圧が大きくなっているが，静水圧的な波形を示している。

(2) 振幅： $a_f=5\text{cm}$

WG4～WG10 までの津波伝播の時刻歴を Fig.18 に示す。WG3 手前からソリトン分裂が発生し始め，分裂波は急激に発達し，WG8 と WG9 の間でソリトン分裂波の 1 波目が砕波している。(1)の振幅 $a_f=3\text{cm}$ のケースと比較すると，リーフ上での発達が非常に大きく，ソリトン分裂波はかなり大きなエネルギーをもった状態で堤体直前まで遡上している。

堤体前面の波圧を Fig. 19 に示す。海浜上 1cm の波圧計では， 0.14N/cm^2 と非常に大きな波圧になっている。ソリトン分裂波の 1 波目は完全に砕波して，流れとなっているため，海浜上 1cm の波圧計には動的な波圧が作用するが，4, 7cm の位置にある波圧計にはほとんど作用していない。一方，2 波目からは振幅が大きいのに比例して，全体的に大きな波圧が作用している。

(3) 津波高の違いによる影響

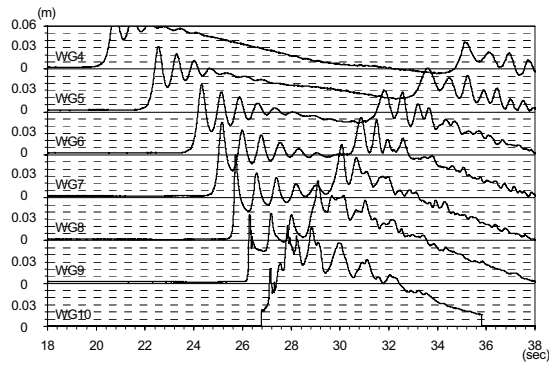


Fig.18 Time series of tsunami propagation
($h=20\text{cm}$, $a_f=5\text{cm}$, $T=20\text{s}$)

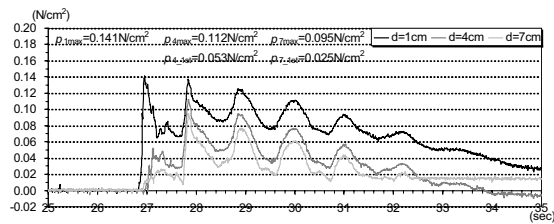


Fig.19 Time series of tsunami pressure against tide wall
($h=20\text{cm}$, $a_f=5\text{cm}$, $T=20\text{s}$)

水深と周期が同じで、津波高が異なる場合の特性を以下にまとめる。

- ・津波高が大きいと、ソリトン分裂波の高さも大きくなる。ソリトン分裂波の大きさに比例して作用波圧も大きくなるが、津波高の影響だけで衝撃的な波圧が発生することはない。

3.4 海浜勾配の違いによる影響

海浜勾配が $S=1/20$ と $1/50$ のケースについて比較した。WG7 まではいずれのケースとも海底は水平で、水深一定である。 $S=1/50$ では WG7 から水深が浅くなり、 $S=1/20$ では WG8 からである。

WG4～WG10 までの津波伝播の時刻歴を Fig.20 に示す。図中、黒色の線が海浜勾配 $S=1/20$ で灰色が $S=1/50$ のケースである。WG5 手前からソリトン分裂が発生し始め、リーフ上でソリトン分裂波が発達していく、WG8 では既にソリトン分裂波は完全に砕波して遡上しているのが読み取れる。海浜勾配 $S=1/20$ のケースと比較すると、ソリトン分裂波の発生や発達はいまほど同じであるが、 $S=1/50$ の場合は早い段階で完全に砕波してしまい、津波本体のもつエネルギーも損失していることがわかる。

堤体前面の波圧を Fig.21 に示す。Fig.5 に示した海浜勾配 $S=1/20$ のケースでは衝撃砕波圧が発生していたが、 $S=1/50$ では海浜を遡上している時にソリトン分裂波が完全に砕波してしまっているため、堤体前面には大きな波圧は作用していない。

海浜勾配の影響として、勾配が緩いとソリトン分裂の砕波

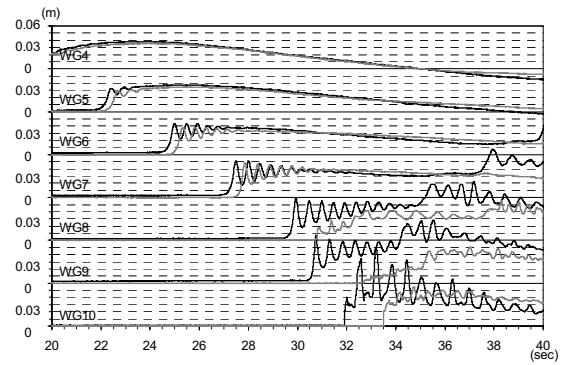


Fig.20 Time series of tsunami propagation
($h=10\text{cm}$, $a_f=3\text{cm}$, $T=30\text{s}$, $S=1/50$)

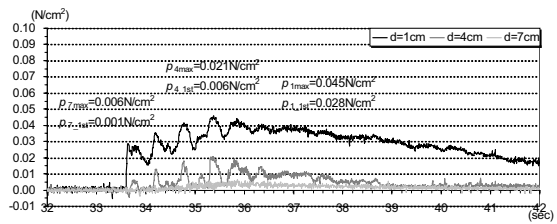


Fig.21 Time series of tsunami pressure against tide wall
($h=10\text{cm}$, $a_f=3\text{cm}$, $T=30\text{s}$, $S=1/50$)

時期が早まるため、津波本体のエネルギーは減衰し、大きな波圧は発生しないということがわかった。

4. ソリトン分裂津波の波力特性

4.1 波形勾配の影響による波力の特性

実験によって得られた結果から、それぞれ水深 $h=5, 10, 20, 30\text{cm}$ における波形勾配の影響による波力特性を比較したグラフを Fig.22 に示す。横軸は津波の波形勾配 a_f/L 、縦軸は最大波圧 $p_{\max}$ を単位体積重量 $w_0=\rho g$ と振幅 a_f で除して無次元化したものである。この図から、水深 $h=5, 10\text{cm}$ の場合は、波形勾配が 0.002 付近で波力最大になり、それよりも波形勾配が大きくなるにつれて波力は小さくなっている。また、水深 $h=20, 30\text{cm}$ の場合では、波形勾配が 0.005 付近で波力は最大になり、それよりも波形勾配が大きくなるにつれて波力は小さくなっていく傾向が読み取れる。以上のことから、今回の実験に関しては、津波の波長に対する波高がある決まった値までは、津波波力は大きくなるが、その値を超えてしまうと、ソリトン分裂津波がその形状を維持することができず砕波してしまうために、結果的に津波波力は小さくなるということがいえる。

4.2 従来の波力算定式との比較

谷本ら(1983)は、水中部分に存在する直立壁に働く津波力の算定には、静水面下 η^* の 0 から静水面での p_1 までは直線分布、静水面下 p_1 で一様と仮定し、 η^* , p_1 を簡単に次のように与えている。

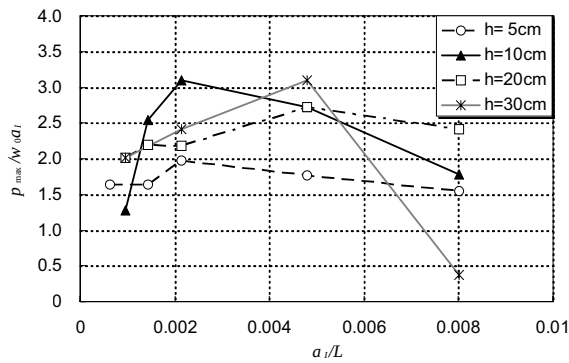


Fig.22 Normalized maximum tsunami pressure against tsunami steepness a_l/L

$$\eta^* = 3.0a_l \quad (1)$$

$$p_1 = 2.2w_0a_l \quad (2)$$

ここに、 a_l は入射津波の静水面上の高さ（振幅）である。この静水面は、段波津波の場合には段波来襲直前での水位である。

一方、池野ら(2005)は、津波波圧分布の算定式を以下のように提案している。まず、分裂砕波直後の場合は、津波本体重複波衝突時に静水面付近で最大波圧強度 p_1 が発生すると考えている。最大作用高さは、谷本らと同様に進行波段波振幅の3倍とし、 p_1 は静水面以下で一様分布としている。

$$p_l/(w_0a_l) = 2.0 \quad ; 0 \leq h/L \leq 0.001 \quad (3)$$

$$p_l/(w_0a_l) = 250(h/L) + 1.75 \quad ; 0.001 \leq h/L \leq 0.005 \quad (4)$$

$$p_l/(w_0a_l) = 3.0 \quad ; 0.005 \leq h/L \quad (5)$$

分裂砕波直前あるいは砕波点の場合は、分裂第1波の波面が、静水面上進行波段波振幅の2倍の高さに衝突し、最大波圧強度 p_2 が発生すると考えている。この時、進行波段波振幅の高さ以下では、波圧強度 p_3 になると考えている。 p_2 と p_3 は、実験値を整理した結果、以下のように算定している。

$$p_2 = 1.2p_1 \quad (6)$$

$$p_3 = 0.8p_1 \quad (7)$$

今回の実験における振幅 $a_l = 3\text{cm}$ 、周期 $T = 30\text{sec}$ 、水深 $h = 5, 10, 20\text{cm}$ のケースに関して、波圧の実験結果と谷本式(1983)を比較した。ただし、今回の実験は陸上部分に堤体を設置しているため、 a_l の値のとり方を検討する必要がある。 a_l は入射してくる津波の高さであるために、堤体を設置しない場合の実験から、堤体の直前面で完全に陸上部分にある波高計（ $h = 5\text{cm}$ のケースではWG9、 $h = 10, 20\text{cm}$ のケースではWG10）の位置での入射津波の高さを a_l とした。今回の実験では、陸上部に津波が近づくにつれてソリトン分裂を起こしているケースが存在するため、入射津波の高さを定めるのが困難である。そこで、ソリトン分裂波を移動平均して取り除いたものを、入射津波と考えることにした。そして、この移動平均した入射津波の

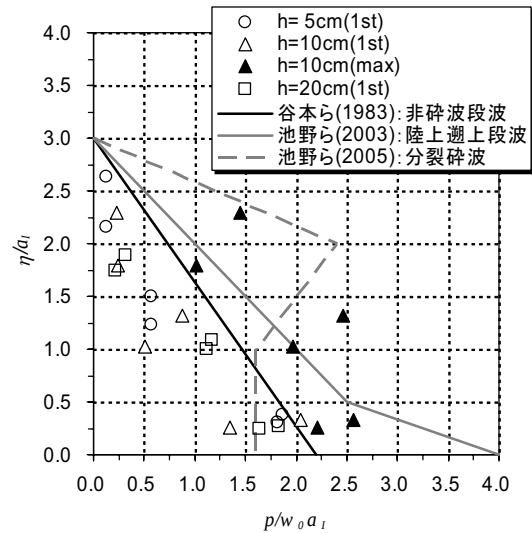


Fig.23 Vertical distribution of maximum tsunami force

最大の高さを読み取り a_l としている。

上記のことを考慮した上で、谷本式(1983)と、3つの波圧計から得た実験結果を比較すると Fig.23 のようになる。この図から、津波がソリトン分裂を起こす場合では、衝撃砕波圧が作用するケースを除けば、谷本式より小さい波力の値をとるが、傾きは一致しているのがわかる。概ね谷本式が適用できるといえるが、陸上における通過波高を防潮堤がない場合について調べるか、もしくは遡上高から推定する必要がある。

一方で、衝撃砕波が発生するケース（ $h = 10\text{cm}$ ）に関しては、谷本式と比較するとかなり大きい。また、池野ら(2005)によって提案されたソリトン分裂と砕波を伴う場合の津波による設計波力算定式と比較して、一致している結果もあるが、大きな波力の値をとっているものが多い。ソリトン分裂津波によって衝撃砕波圧が作用する場合については、新たな波力算定式を導く必要があるといえる。

5. おわりに

主要な結論をまとめると以下ようになる。

- 1) ソリトン分裂波の発生および発達には波形勾配や水深が深く関係しており、ソリトン分裂波が発達したまま遡上して砕波し、衝撃砕波圧が作用するような条件が存在することが明らかになった。
- 2) 津波本体の作用波圧は、谷本式による算定結果に比べてやや小さいが、分布の傾向は以ており、谷本式を概ね適用できることがわかった。
- 3) ソリトン分裂波が大きく発達して衝撃砕波圧が作用する場合には、池野らによって提案された式と傾向は一致せず、新たな波力算定式を導く必要がある。

参考文献

池野正明・松山昌史・榊山 勉・柳沢 賢 (2005) : ソリトン

分裂と碎波を伴う津波の防波堤に作用する波力評価に関する実験的研究, 海岸工学論文集, 第52巻, pp.751-755.
谷本勝利・高山知司・村上和男・村田 繁・鶴谷広一・高橋重雄・森川雅行・吉本靖俊・中野 晋・平石哲也 (1983) :

1983 年日本海中部地震津波の実態と二・三の考察, 港湾技研資料, No.470, 299p.

Effect of Cross-sectional Shape on Characteristics of Tsunami Deformation and Force

Tomohiro YASUDA, Tomotsuka TAKAYAMA, Hiroki YAMAMOTO*,
Junichi NAKAHIRA** and Hidetada SAKURAI**

* Television Osaka, Inc.

* Yachiyo Engineering, Co., Ltd.

Synopsis

The model experiments were conducted to investigate the characteristics of deformation, breaking, runup and pressure of tsunami by the difference of the coastal cross-sectional shape. The tsunami steepness and relative water depth on the reef are closely related to generation and development of dispersive solitons on the tsunami, and it has become clear that the impulsive wave force is induced by the breaking of individual soliton. Tanimoto's empirical formula can be applied to estimate the wave force of tsunami on coastal structures in the state of no dispersion of solitons or disappearance of dispersive solitons due to their breaking.

Keywords: tsunami, deformation, coastal cross-sectional shape, dispersion of soliton, impulsive breaking wave force