

大型栈橋式構造物に作用する多方向不規則波 による揚圧力

UPLIFT PRESSURES ACTING ON LARGE PIER STRUCTURES BY MULTI-DIRECTIONAL RANDOM WAVES

高橋 俊彦¹・池谷 毅²・滝本邦彦³・宮本久士⁴

Toshihiko TAKAHASHI, Tsuyoshi IKEYA, Kunihiko TAKIMOTO and Hisashi MIYAMOTO

¹正会員 理修 鹿島建設株式会社 技術研究所 環境技術研究部 (〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1)

²正会員 工博 鹿島建設株式会社 技術研究所 環境技術研究部 (〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1)

³正会員 工修 鹿島建設株式会社 建設総事業本部 土木設計本部 (〒107-8502 東京都港区赤坂 6-5-30)

⁴正会員 工修 鹿島建設株式会社 建設総事業本部 土木設計本部 (〒107-8502 東京都港区赤坂 6-5-30)

Recently, plans of large pier structures, such as offshore airports and artificial islands, have been proposed. In order to design such structures safely and rationally, uplift pressures acting on them have to be precisely evaluated. The uplift pressures caused by regular waves have been studied and their behavior has been characterized by some researchers experimentally and theoretically.

In this paper, the uplift pressures caused by multi-directional random waves are investigated through hydraulic model tests. The effect of taking the multi-directional random waves into consideration on the maximum values of impulsive wave pressures is discussed.

Key Words : Uplift pressure, large pier structure, multi-directional random wave, impulsive wave pressure

1. はじめに

近年海上空港, 人工島等を対象として大型栈橋式構造物が提案されてきている。このような構造物の上部工に作用する揚圧力に関しては, 谷本ら¹⁾, 樫木・後野²⁾等数多くの研究が行われてきている。それらの多くは2次元規則波を用いた実験的研究に立脚しており, 理論的考察を加えて揚圧力の算定法を提案しているものもある。しかし外海に建造されるような構造物の設計においては, 波の多方向性がどのような影響を与えるかを検討する必要がある。

本研究では, その検討の第一歩として外海に建造される大型栈橋式構造物に作用する不規則波による揚圧力の特性を水理模型実験で調べることを目的とする。上部工に作用する多方向不規則波による波圧を計測することによって, 波の多方向性の影響を検討する。

2. 実験条件

(1) 相似則と模型縮尺

樫木・後野³⁾によれば, 揚圧力の実験における相似則としては, Wagner型の揚圧力が発生する場合にはフルード相似則を, Bagnold型の空気の圧縮性が

介在する場合にはバグノルド相似則を採用することが望ましいとされている。本実験では, 栈橋式構造物が外海に建造されることを想定しており, 波頂部が容易に構造物と接触することから, 縮尺1/40のフルード相似則を用いた。

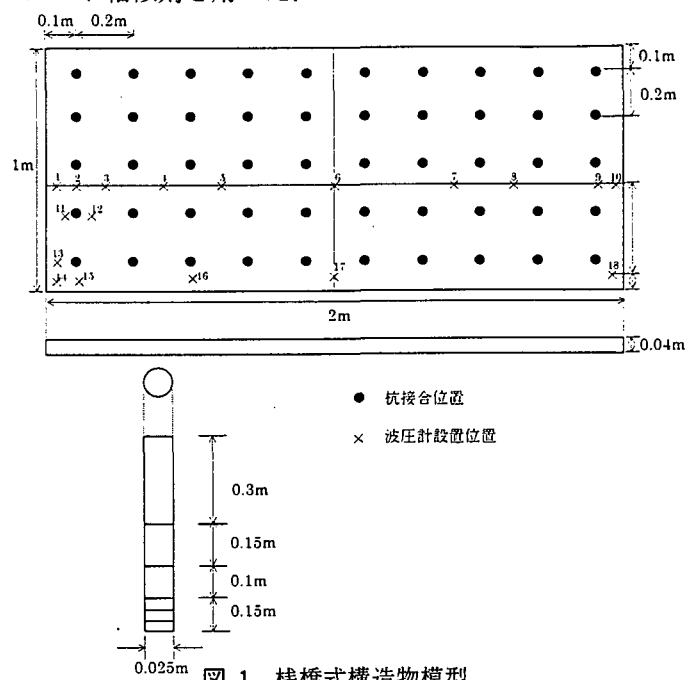


図-1 栈橋式構造物模型

(2) 栈橋式構造物

図-1は、対象とした栈橋式構造物の模型を示している。実際の大型栈橋式構造物は、2,000m×1,000m級と考えられるが、本実験では1ユニット相当に着目して2m×1mの模型を製作した。また、ここでは杭基礎構造物を想定して、上部工が50本の杭で支持される構造とした。図中で●、×は、それぞれ杭接合位置、波圧計設置位置に対応している。×の横の数字は、計測点番号を示している。杭は、設置水深に応じて長さを変えられるようになっている。

(3) 波浪条件

波浪条件は、建造されるサイトを想定して、有義波高は7.5cm, 9.0cm, 12.5cmの3種類、有義波周期は0.9s, 1.58sの2種類とした。実験では、規則波、一方向不規則波、多方向不規則波を用いた。不規則波のパワースペクトルにはBretschneider-光易型を、方向関数には光易型を用いた。方向集中度パラメータ S_{max} は、10, 25, 75の3種類とした。表-1は、実験に用いた波浪条件の一覧を示している。なお(有義)波周期0.9sに対しては、造波装置の性能上、有義波高は7.5cm, 9.0cmの2種類とした。

表-1 波浪条件一覧表

No.	波浪条件	S_{max}	$T_{1/3}$ (s)	$H_{1/3}$ (cm)
1	規則波		0.9	7.5
2			0.9	9.0
3			1.58	7.5
4			1.58	9.0
5			1.58	12.5
6	一方向不規則波	∞	0.9	7.5
7		∞	0.9	9.0
8		∞	1.58	7.5
9		∞	1.58	9.0
10		∞	1.58	12.5
11	多方向不規則波	10	0.9	7.5
12		10	0.9	9.0
13		25	0.9	7.5
14		25	0.9	9.0
15		75	0.9	7.5
16		75	0.9	9.0
17		10	1.58	7.5
18		10	1.58	9.0
19		10	1.58	12.5
20		25	1.58	7.5
21		25	1.58	9.0
22		25	1.58	12.5
23		75	1.58	7.5
24		75	1.58	9.0
25		75	1.58	12.5

3. 実験方法

(1) 実験装置

実験には、鹿島技術研究所海洋水理実験場大型平面水槽(幅20m, 長さ58m, 深さ1.6m)を用いた(図-2

参照)。造波には、平面水槽の一辺に設置されているリンク型ピストン式のパネルセグメント型造波装置を用いた。多方向不規則波の造波信号作成にあたっては、広い有効造波領域を確保できるように側壁からの反射波を考慮した方法⁴⁾を用いた。

栈橋式構造物の模型は、一定水深部とリーフ上に設置した。それぞれ一定水深部に設置した場合は水深50cm, 杭長55cm(上部工下面クリアランス5cm), リーフ上に設置した場合は、リーフ上水深21cm, 杭長25cm(上部工下面クリアランス4cm)とした(図-3参照)。

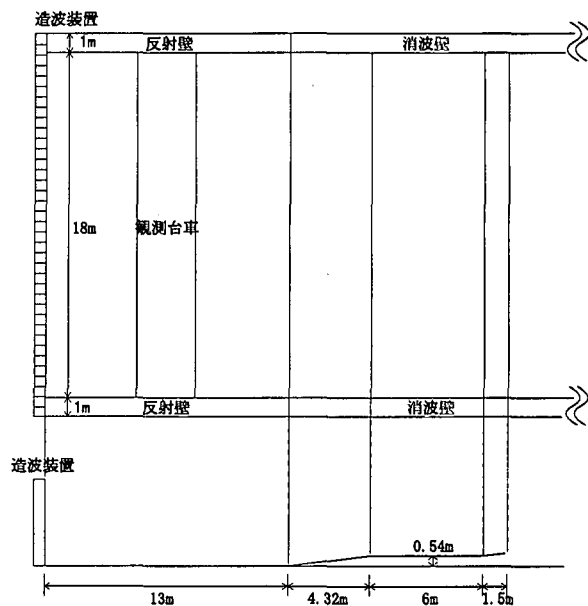


図-2 実験水槽

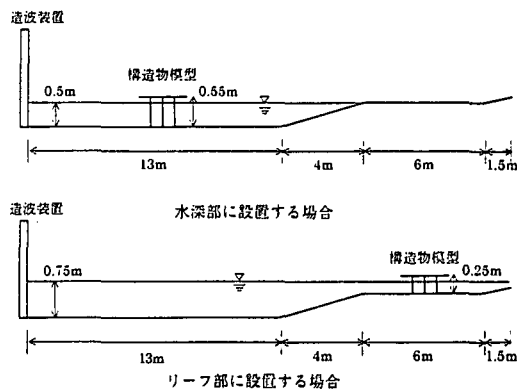


図-3 模型設置位置

(2) 計測装置

波高の計測には、容量式波高計を用いた。波圧の計測には、三計エンジニアリング社製完全防水型半導体式圧力計P310型を用いた。応答周波数は、カタログ性能で10kHzである。実験でのデータ収集周波数は、まず揚圧力の全体分布計測で20Hzにして、データ収集時間は規則波の場合3分間、不規則波の場合6分間とした。さらに衝撃圧のピーク値が発生する前後10秒間で、データ収集周波数を500Hzにして計測した。

4. 実験結果

(1) 入射波検定

栈橋式構造物模型を設置しない状態で、容量式波高計4台を観測台車に設置して、入射波検定を行った。模型設置位置における有義波高は、目標値と良く一致した。また有義波高の変動についても、5%以下であり、一様性は良好であった。

(2) 一定水深に設置した場合

波圧計に作用する衝撃圧のピーク値に着目して整理する。図-4～8は、各計測点における衝撃圧のピーク値 P_1 を $w_0H_{1/3}$ で除したものを示している。

有義波高が7.5cm, 9.0cmの場合、波面の乱れは大きいものの上部工に作用する衝撃圧に関しては、それほど鋭いピークは見られなかった。有義波高9.0cm, 有義波周期0.9sの場合、沖側端部の計測点番号1, 11で $2.0w_0H_{1/3}$ 前後を記録しているが、全体的には $w_0H_{1/3}$ 程度である。上部工中間部の計測点番号17で少し大きめの値を取る傾向があるが、斜面、側面からの反射の影響が出ているものと考えられる。

有義波高が12.5cm場合、波面の乱れは大きく、衝撃圧のピークも数多く見られる。有義波高が7.5cm, 9.0cmの場合に比して、全体的に P_1 の値が大きくなっている。沖側端部の計測点番号2, 11では、 $3.0w_0H_{1/3}$ 前後を記録している。岸側の計測点番号7で $1.8w_0H_{1/3}$ になっているが、これは斜面からの反射の影響によるものと考えられる。一方向不規則波に対する計測点番号1, 2, 11, 12での値を比較すると、杭による影響が少し出ていることもわかる。

本実験の範囲では、 P_1 の最大値は $3.0w_0H_{1/3}$ 程度で、ほとんどは $2.0w_0H_{1/3}$ 以下となっている。一般に用いられる関係 $H_{max} = (1.6 \sim 2.0)H_{1/3}$ を考慮すると、上限値は $2.0w_0H_{max}$ と考えられる。この傾向は、伊藤ら⁵⁾のデ・タッチドピアーに対する実験結果で得られた上限値及び規則波に対する谷本ら¹⁾の実験結果と良く一致している。

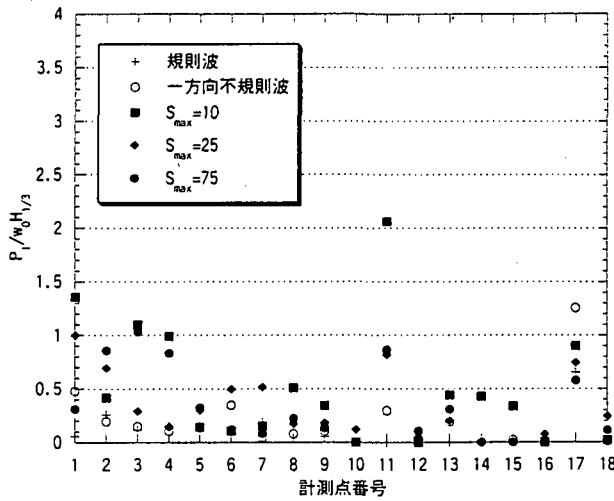


図-5 衝撃圧のピーク値($T_{1/3}=0.9s$, $H_{1/3}=9.0cm$)

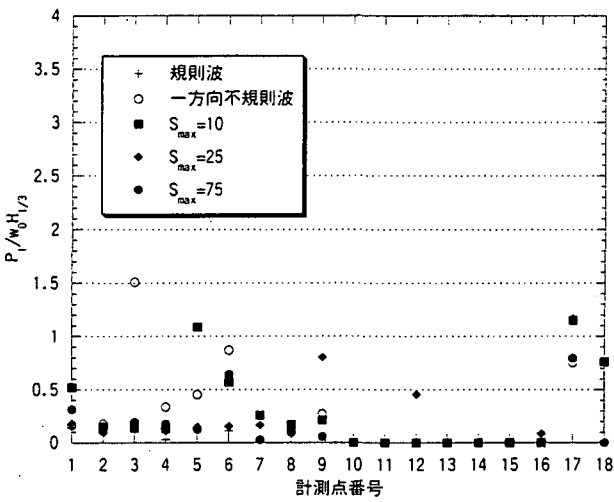


図-6 衝撃圧のピーク値($T_{1/3}=1.58s$, $H_{1/3}=7.5cm$)

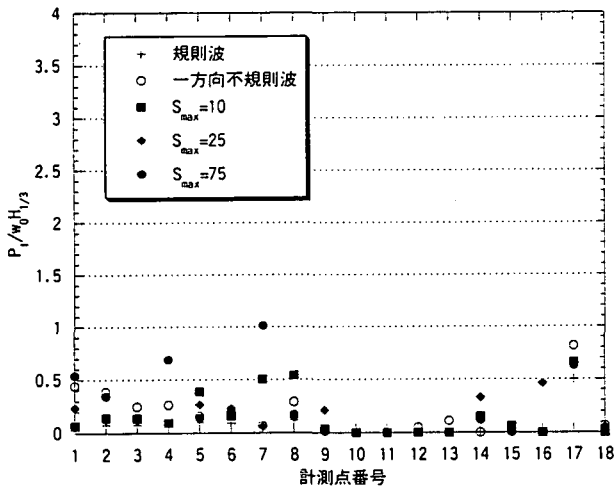


図-4 衝撃圧のピーク値($T_{1/3}=0.9s$, $H_{1/3}=7.5cm$)

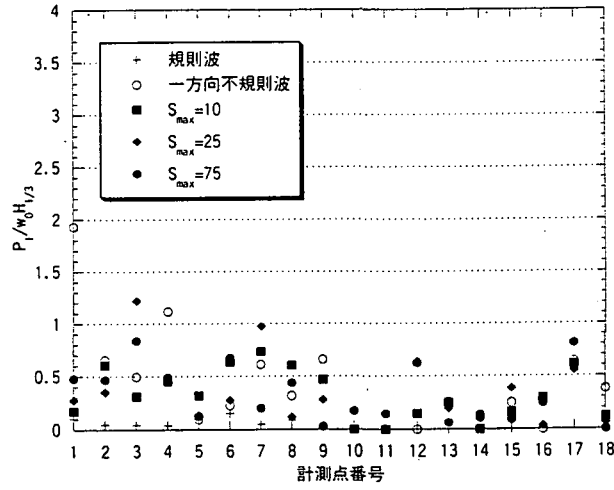


図-7 衝撃圧のピーク値($T_{1/3}=1.58s$, $H_{1/3}=9.0cm$)

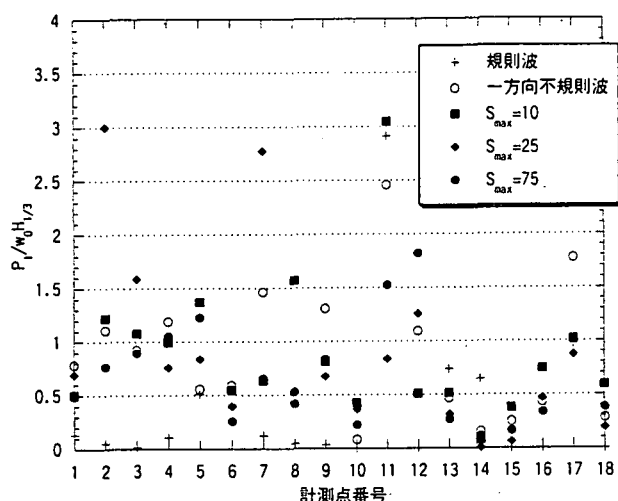


図-8 衝撃圧のピーク値($T_{1/3}=1.58\text{s}$, $H_{1/3}=12.5\text{cm}$)

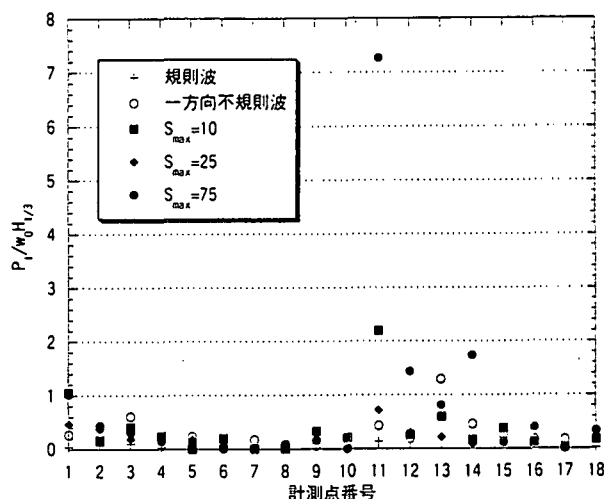


図-10 衝撃圧のピーク値($T_{1/3}=0.9\text{s}$, $H_{1/3}=9.0\text{cm}$)

(2) リーフ上に設置した場合

波圧計に作用する衝撃圧のピーク値に着目して整理する。図-9～13は、合田⁶⁾の碎波帯内における波高の略算式でリーフエッジ部の $H_{1/3}$ を求め、それを用いて衝撃圧のピーク値 P_I を $w_0 H_{1/3}$ で除したものを示している。

有義波周期が 0.9s の場合、沖側端部の計測点番号11で急激なピーク($7.0w_0 H_{1/3}$ 以上)を記録しているが、それ以外の点では、近くの沖側端部の数点を除いて $w_0 H_{1/3}$ 以下である。これは、最大値を記録した時は、沖側から進行してきた波が斜面上で碎波して上部工沖側端部の下面に激しく衝突し、その後は波高減衰していくためである。

有義波周期が 1.58s の場合、計測点番号11で大きい値をとるという傾向は変わらないが、有義波周期が 0.9s の場合ほど極端ではない。上部工岸側の点でも大きい値を記録しているが、これは、上部工の沖側端部で衝突しなかった波や斜め方向から進行してきた波がタイミング良く上部工下面に衝突した結果発生したものである。

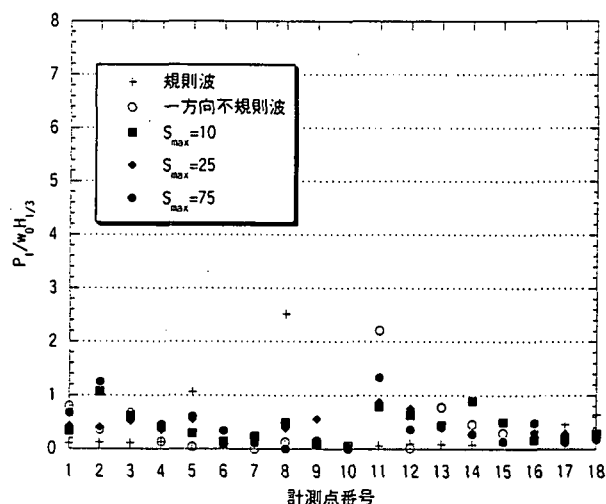


図-11 衝撃圧のピーク値($T_{1/3}=1.58\text{s}$, $H_{1/3}=7.5\text{cm}$)

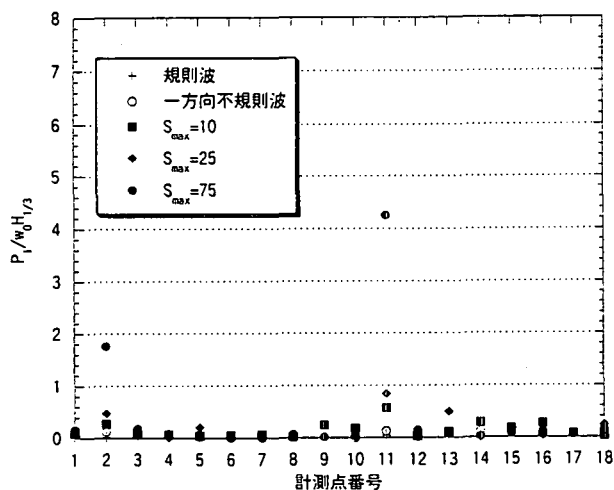


図-9 衝撃圧のピーク値($T_{1/3}=0.9\text{s}$, $H_{1/3}=7.5\text{cm}$)

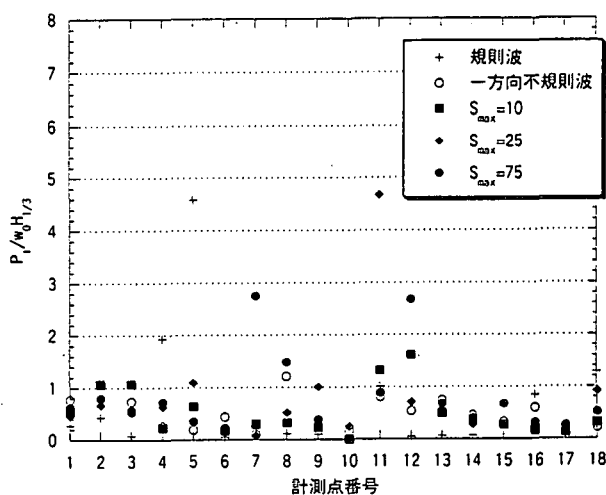


図-12 衝撃圧のピーク値($T_{1/3}=1.58\text{s}$, $H_{1/3}=9.0\text{cm}$)

6. おわりに

水理模型実験によって、大型栈橋式構造物に作用する不規則波による揚圧力特性を調べた。各計測点における衝撃圧のピーク値に着目して整理した結果、以下のことが判明した。

- 1) 構造物を一定水深部に設置した場合、衝撃圧のピーク値の最大値は $3.0w_0H_{1/3}$ 程度で、ほとんどは $2.0w_0H_{1/3}$ 以下となっている。
- 2) 構造物をリーフ上に設置した場合、不規則波による斜面上の砕波状況によっては、上部工沖側端部付近における衝撃圧のピーク値が過大($7.0w_0H_{1/3}$ 以上)になる。それ以外の衝撃圧のピーク値は、合田⁶⁾の砕波帯内における波高の略算式による $H_{1/3}$ を用いると、概ね $3.0\sim 4.0w_0H_{1/3}$ 程度である。
- 3) 不規則波に対して、波面と上部工の衝突角、上部工沖側端部から波峰点までの水平距離を水面変動時系列から読み取って、谷本ら¹⁾の算定式を適用し計測値と比較した結果、オーダー的には違いはないことがわかった。しかし不規則波の場合、波面と上部工の衝突角は非常に激しく変動しており、それによって算定値も大きく変わってくることに注意する必要がある。

参考文献

- 1) 谷本勝利，高橋重雄，和泉田芳和：水平版に働く揚圧力に関する研究，港湾技術研究所報告，第17巻，第2号，pp.3-47，1978。
- 2) 榎木 亨，後野正雄：栈橋床版に作用する揚圧力特性に及ぼす空気層の効果に関する研究，土木学会論文集，No.381/-7，pp.141-149，1987。
- 3) 榎木 亨，後野正雄：栈橋床版に作用する揚圧力の水理模型実験における相似則に関する一考察，第35回海岸工学講演会論文集，pp.677-681，1988。
- 4) 今井貫爾，池谷 毅，岩瀬浩二：パネルセグメント型造波装置の造波特性，鹿島技術研究所年報，第38号，pp.147-154，1990。
- 5) 伊藤喜行，竹田英章：栈橋に作用する波の揚圧力，港湾技術研究所報告，第6巻4号，pp.33-68，1967。
- 6) 合田良実：港湾構造物の耐波設計-波浪工学への序説-，鹿島出版会，p.67，1977。

(1999.4.19受付)

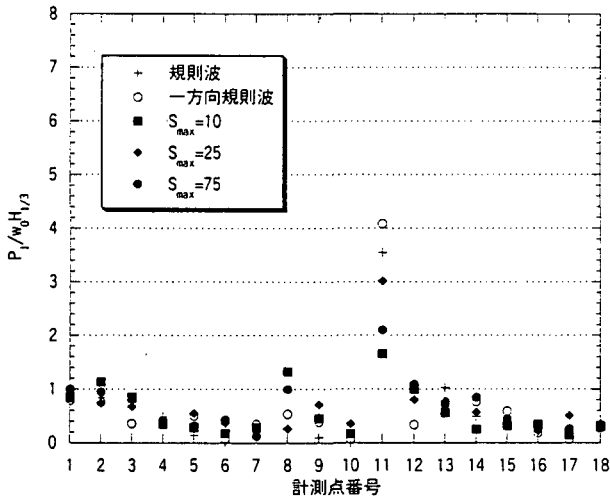


図-13 衝撃圧のピーク値($T_{1/3}=1.58s$, $H_{1/3}=12.5cm$)

5. 計測値と算定値の比較

衝撃圧のピーク値をとる時刻における波面と上部工の衝突角、上部工沖側端部から波峰点までの水平距離を入射波検定で得られた水面変動時系列から読み取って、谷本ら¹⁾の算定式を適用した。図-14は、模型を一定水深部に設置して、有義波高 $12.5cm$ 、有義波周期 $1.58s$ で造波した場合の計測点番号1~5における計測値と算定値の比を示している。多方向不規則波の場合、様々な成分波が組み合わさっているので、衝撃圧のピーク値で見ると比は 1.0 を大きく上回ることがある。一方向不規則波に着目すると、概ね 1.0 周辺に収まっている。しかし不規則波の場合、波面と上部工の衝突角は非常に激しく変動しており、それによって算定値も大きく変わってくることに注意する必要がある。

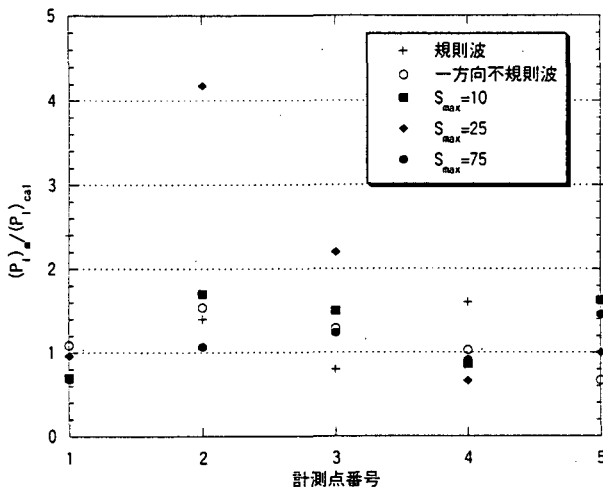


図-14 衝撃圧のピーク値に対する計測値と算定値の比