

アーチ型水門に作用する波圧の実験的研究(第1報)

岩垣雄一・井上雅夫・吉川昌宏

EXPERIMENTAL STUDY OF WAVE PRESSURE ACTING ON AN ARCH GATE (FIRST REPORT)

By *Yuichi IWAGAKI, Masao INOUE and Masahiro YOSHIKAWA*

Synopsis

This paper is the first report of the experimental study of wave pressure on an arch gate, in which mainly horizontal and vertical distributions of the maximum wave pressure are discussed.

The main results obtained from the experiments are summarized as follows:

- 1) Horizontal distributions of the maximum wave pressure vary with the period of incident waves remarkably.
- 2) Saintflou formula can not be applied to the vertical distribution of the maximum wave pressure on an arch gate, as far as the height of incident waves is used in the formula.
- 3) In order to solve the problem on the wave pressure on the structure with a curved surface, the mechanism of water surface oscillation in front of the structure has to be made clear.

1. 緒 言

大阪府は防潮対策の一つとして、安治川、尻無川および木津川の河口付近にアーチ型の防潮水門を建設することになり、現在、その計画が着々と進められている。これまで、アーチ型の水門は、オランダのハーゲンスタインのレック川にその例を見るだけであり、しかも、大阪府が現在計画中のものは高潮とそれに伴う波浪の影響を考慮しなければならないという点では、初めての試みである。しかしながら、こうした構造物に作用する波圧については、最近の多方面にわたる波圧の研究にもかかわらず、まだ明らかにされていないのが現状であって、こうした問題が前述した実用的見地ばかりでなく、水理学的にも興味深い問題の一つであるといえよう。

このようなことから、著者らはアーチ型水門の単純化したものを対象として、それに作用する波圧についての研究をはじめた。

この論文は、こうした研究の第1報であり、ここでは、主として最大波圧の水平および鉛直方向の分布についての実験結果を検討するとともに、この研究の問題点について述べる。

2. 実験装置および実験方法

実験に用いた水槽は長さ 20m、幅 3m、深さ 0.7m の鉄筋コンクリート製のものであり、その一端には周期 0.4~2.4sec、最大波高 15cm まで起こせるプランジャー型造波機を設置し、造波機より 10m および

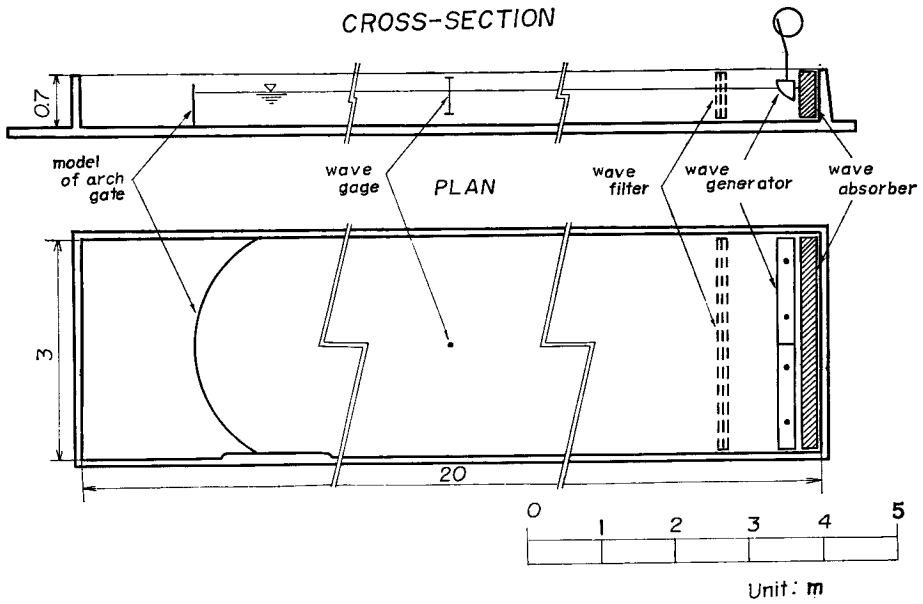


Fig. 1 Experimental wave tank.

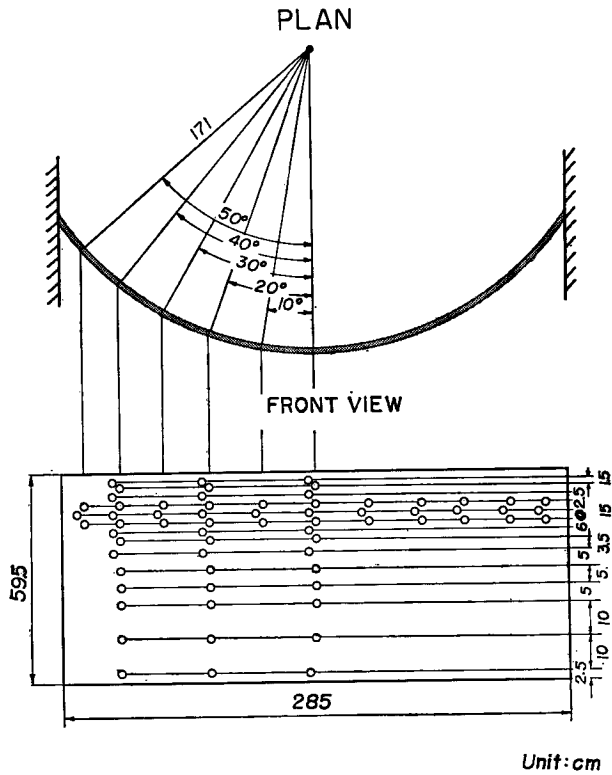


Fig. 2 Model of arch gate.

17.6 m の位置に、それぞれ波高計およびアーチ型水門の模型を設置した。Fig. 1 は実験水槽の概略図を示したものである。アーチ型水門の模型は半径 171 cm, 中心角 114° の円弧の一部であり、幅 285 cm, 高さ 59.5 cm, 厚さ 6 mm のアルミニウム板で製作したもので、水門中心から水平方向に 10° ごとに 50° までそれぞれ水深方向に 3 あるいは 14 点の波圧計が取り付けられるようにした。Fig. 2 はアーチ型水門の模型の概略図を示したものである。波圧の測定は東洋測器製の L. P. U. -0.3 型圧力計（最大測定圧力：300 gr/cm², 固有振動数：500 c/s, 受圧面：φ11 mm）を用い歪増幅器を通して直記式電磁オシログラフに記録させ、波高の測定は電気抵抗線式波高計を用い、自動平衡型の記録計に自記させた。

実験は、水深 40 cm, 45 cm および 50 cm とし、実験波の周期は 1.0 sec, 1.2 sec, 1.4 sec および 1.6 sec で、波高は 2~12 cm の範囲について行なった。なお、実験は規則波を対象としたので、造波機始動後の 4~5 波の記録は捨て、波高が比較的一様になる次の 3~4 波の波高を採用し、波圧についても、その波に対応した記録を実験値として用いた。また、水門前面の波の状況を詳細に知るために、16 mm カメラによって 1 sec 当たり 8 コマ、あるいは 16 コマの撮影を行なった。

3. 実験結果とその考察

(1) 圧力波形

実験結果を述べるまえに、圧力波形について述べよう。

Photo. 1 は波圧を測定した一例で、上のは水平方向に波圧を測定した場合のものであり、水門の端の方から波圧を感じ始め、徐々に水門の中央に移動していく時間のずれがよくわかる。また、Photo. 1 の下のは、鉛直方向に波圧を測定した場合のものであり、静水面上あるいは静水面近くの波圧計は、波の谷がきたときに大気中に現われるので、圧力波形は下方が切れたようになり、水中にいつもあるものは水面波形と同じような波形を描き、実験を行なった範囲では二倍周期波成分の影響はほとんどの場合現われなかった。

(2) 同時波圧の水平方向の分布

Fig. 3(a) および (b) は水深 h がそれぞれ 45 cm および 50 cm の場合のそれぞれ静水面上 1.0 cm における同時波圧の水平方向の分布を示したものである。縦軸に波圧 p を、横軸に水門中心からの角度 α をとり、水門中心 ($\alpha=0^\circ$) から最も離れた波圧計が波圧を感じた時刻から 0.1 sec ごとの波圧分布を示したもので、たとえば、図中 5 の直線は 0.5 sec 後の波圧分布である。なお、 T および H_0 はそれぞれ、入射波の周期および沖波波高である。これらの図によると、当然のことではあるが、入射波の周期が 1.0 sec および 1.2 sec の短い波については、 $\alpha=40^\circ$ の位置の波圧計が波圧を感じてから 0.4~0.7 sec 後に水門全体に波圧を感じ、0.5~0.7 sec 後に水門中心で最大波圧が生じているのに対し、入射波の周期が長い 1.4 sec および 1.6 sec の波は、すでに 0.2 sec 後に水門全体にわたって波圧を感じ、0.5 sec 後に水門中心で最大波圧を生じていることがわかる。Fig. 4 は、こうした水平方向の波圧の作用時間のずれを、水門中心と $\alpha=40^\circ$ の 2 点についてだけ考えたものである。この図の縦軸は、 $\alpha=40^\circ$ の点から水門中心までの波の到達時間 t (sec) であり、横軸は入射波の周期 T (sec) であって、図中には微小振幅波理論から計算して求めた曲線も併せて示した。この図によっても、周期が長い 1.6 sec の波が、微小振幅波理論によって求めた値よりも、他の周期の場合に比べてかなり小さい。このことは、周期が 1.6 sec の場合には

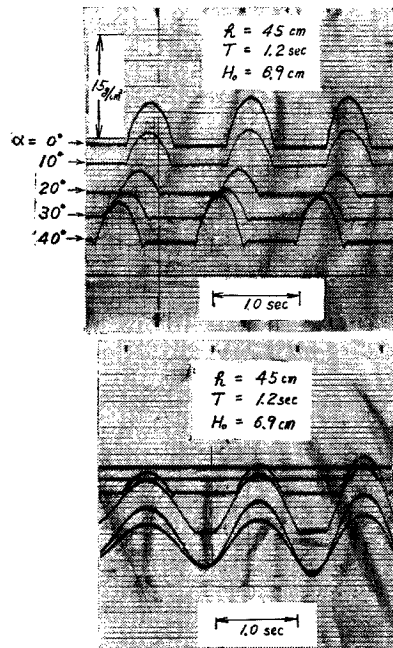


Photo. 1 Some examples of wave pressure records.

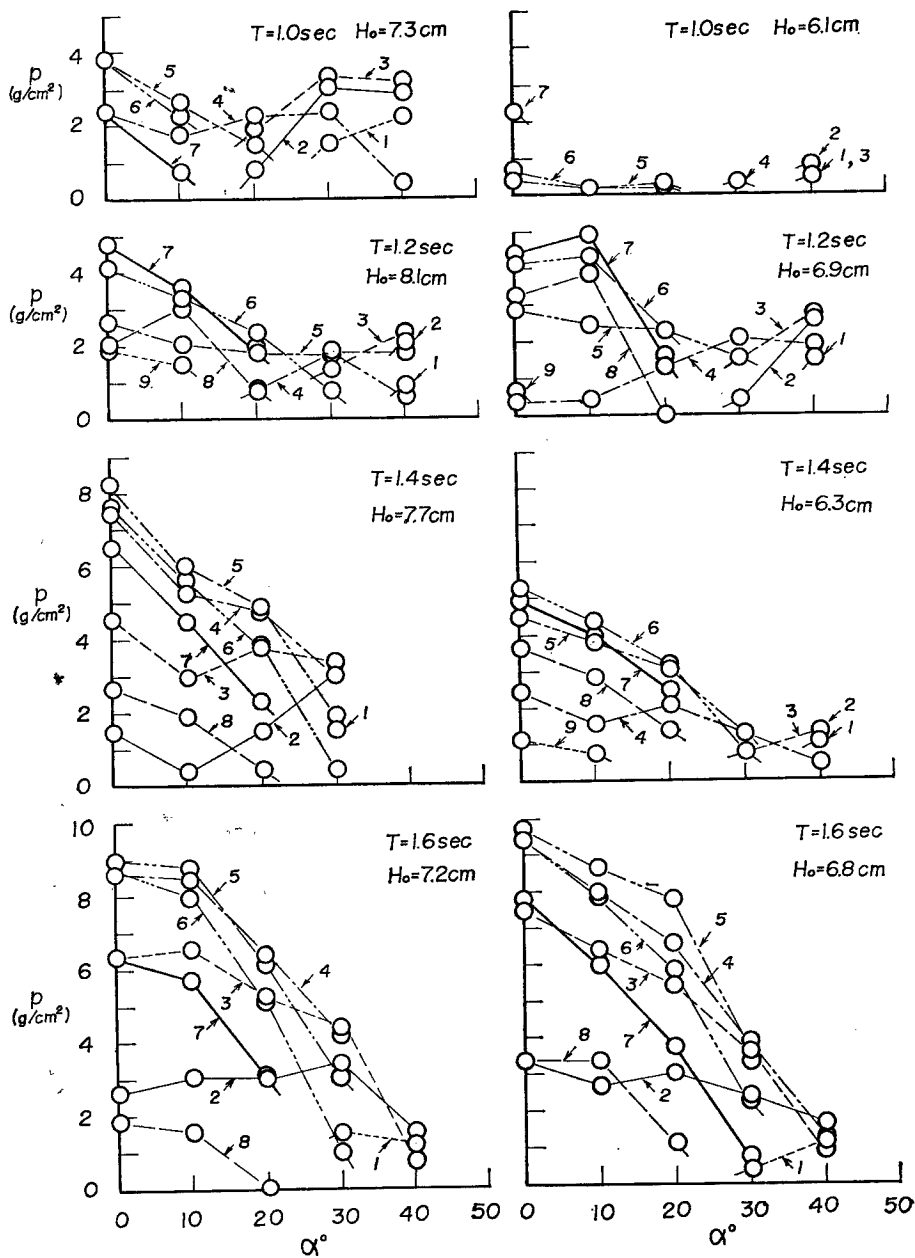


Fig. 3 Relations between p and α .

入射波よりも水門前面でおきる一種の副振動に似た現象が、他の周期の場合に比べてとくに卓越しているためと考えられる。また、実験を行なった水深の範囲では、 t に及ぼす水深の影響は、実験値が散乱して見出せない。

(3) 最大波圧の水平方向の分布

Fig. 5 (a) および (b) は、水深が 45 cm および 50 cm の場合について、静水面上 1.0 cm における最大波圧 p_{max} の水平方向の分布を沖波波高 H_0 をパラメータとして表示したものである。これらの図から、 p_{max} は一般に $\alpha=0^\circ$ 、すなわち水門中心で最も大きく、 α が増加するにつれて減少し、 α がある値をとったときに極小値をとり、ふたたび増加している。この p_{max} の値が極小値をとるとききの α の値は、入射波の周期に関係し、周期が 1.0 sec の場合には $15^\circ \sim 20^\circ$ 、1.2 sec では 20° 、1.4 sec では 30° 、1.6 sec では 40° であり、周期が長くなれば、この α の値も増加していることがわかる。また、波高が増加すれば p_{max} の値は当然増加するが、波圧分布の形状は波高によってあまり変化しないことがわかる。

このように最大波圧の水平分布が、周期、あるいは波長によって顕著に異なることは興味深く、こうしたことの原因として、前述したように水門前面での入射波の周期に対応した一種の副振動に似た現象が考えられる。すなわち、水門前面での水位変動が激しいところでは波圧が大きく、また、水位変動のあまりないところでは波圧が小さく、こうした曲面の波圧の問題を知るためには、曲面前面の水位変動の機構を明らかにしなければならない。

Fig. 6 は、水門の場所に関係なく、Fig. 5 の水平方向の最大波圧の中で最も小さい値と大きい値との比 r を縦軸に、沖波波形勾配 H_0/L_0 を横軸にとったものである。この図によると、実験値の散乱はかなり著しいが、沖波の波形勾配が大きくなると、 r の値は、水深にあまり関係なく、直線的に増加することがわかる。このことは、実際的な問題としてみると、波形勾配が大きい波は、水門全体にわたって比較的一様な波圧が作用するのに対して、波形勾配の小さな波は水門に局所的に大きな波圧が働き、実際の構造物の設計に不利なことがわかる。

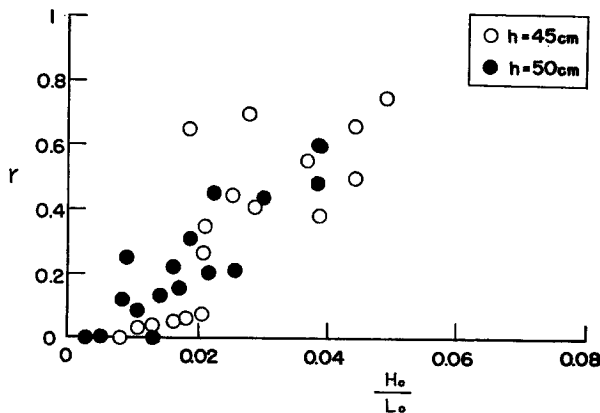


Fig. 6 Relations between ratio of minimum to maximum wave pressure and H_0/L_0 .

(4) 最大波圧の鉛直方向の分布

Fig. 7 (a), (b) および (c) は、水深が 45 cm の場合について、それぞれ $\alpha=0^\circ$ 、 $\alpha=20^\circ$ および

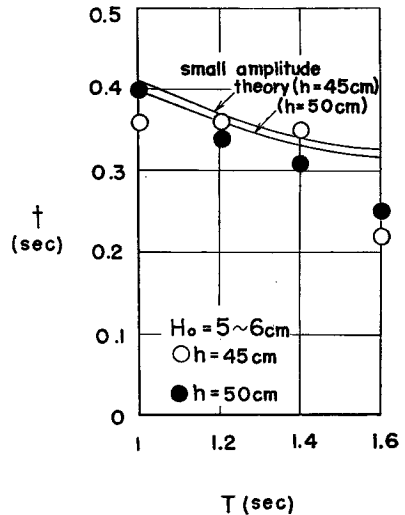


Fig. 4 Relations between t and T .

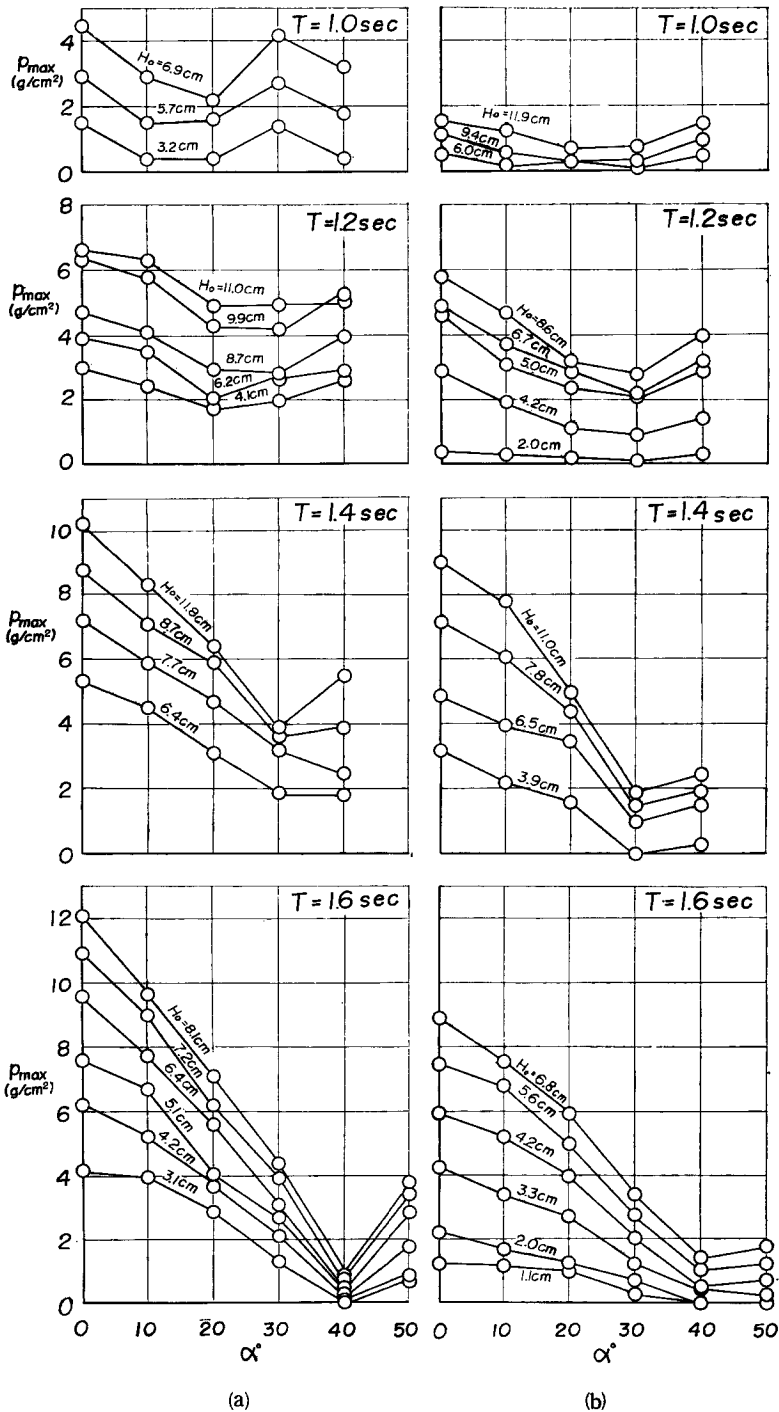


Fig. 5 Horizontal distributions of maximum wave pressure.

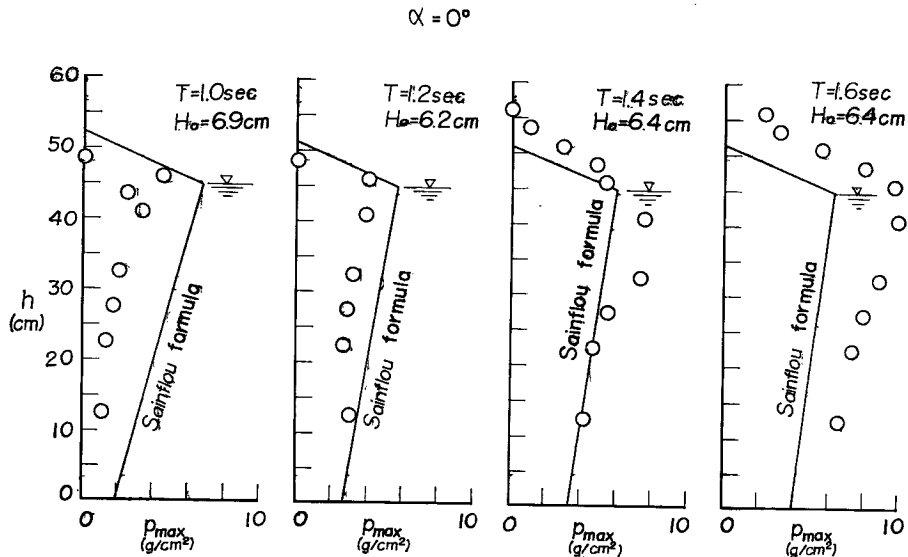


Fig. 7 (a) Vertical distributions of maximum wave pressure for the case $h=45$ cm and $\alpha=0^\circ$.

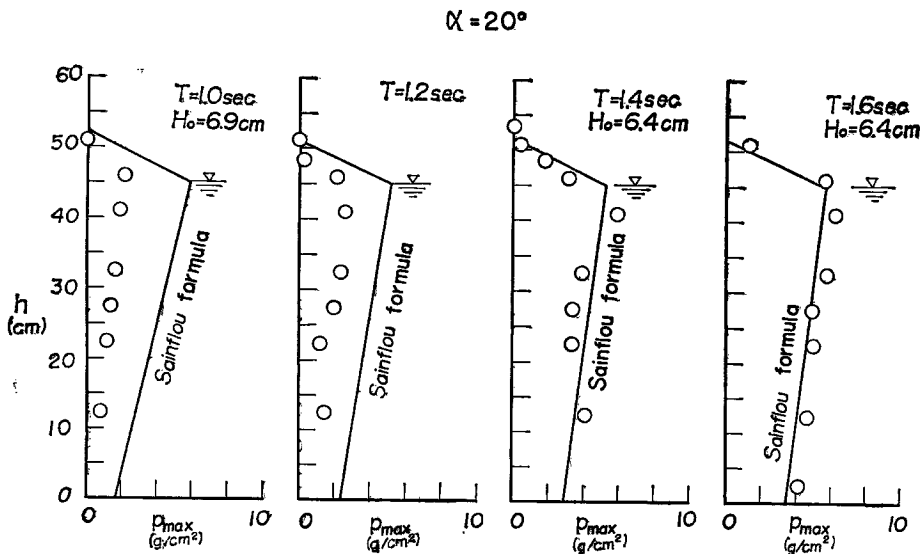


Fig. 7 (b) Vertical distributions of maximum wave pressure for the case $h=45$ cm and $\alpha=20^\circ$.

$\alpha=40^\circ$ の位置における最大波圧の鉛直方向の分布について示したものである。これらの図には、進行波の波高を用い、Sainflou の簡略公式²⁾ から求めた直線も併せて示した。Fig. 7 (a) の周期が 1.0 sec および 1.2 sec の場合には、計算値の方が実験値よりも 1.5~3 倍も大きいのに対して、1.4 sec の場合には逆に実験値の方が若干大きく、1.6 sec の場合には、実験値の方がさらに大きくなって、全般に両者はあまり一致しない。また、Fig. 7 (b) の $\alpha=20^\circ$ の場合については、 $\alpha=40^\circ$ の場合とともに、あまり意味はないが波が斜めに入射してきたものとして Sainflou 式を計算したが、こうして求めた値と実験値とは周期が 1.6 sec

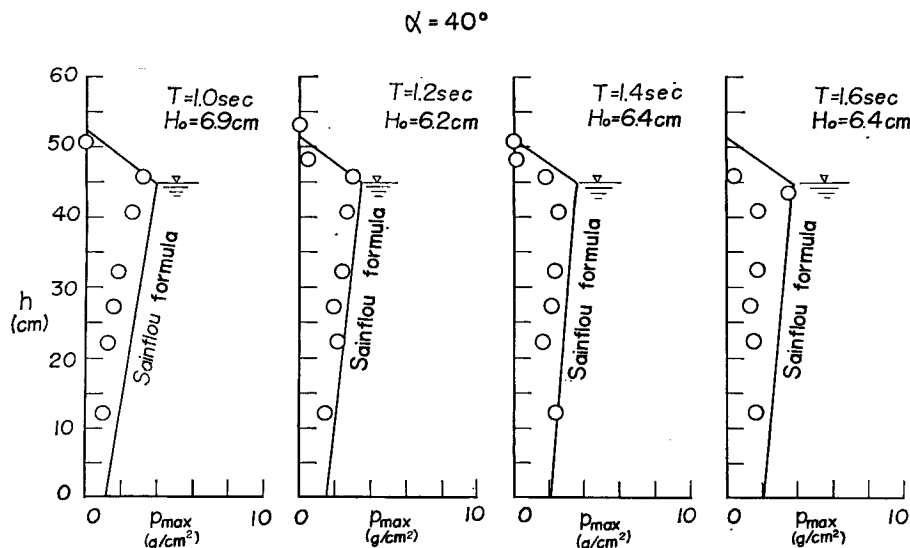


Fig. 7 (c) Vertical distributions of maximum wave pressure for the case $h=45\text{cm}$ and $\alpha=40^\circ$.

の場合以外は実験値の方がかなり小さく、Fig. 7 (c) の $\alpha=40^\circ$ の場合についても、実験値の方がいずれの周期についても小さく、結局、水門のどの位置についても両者はあまり一致しないことがわかる。

Fig. 8(a), (b) および (c) は、水深が 50cm の場合の同様な実験結果を示したものであり、結果はさきのもとまったく同じである。このように、アーチ型の水門に作用する最大波圧の鉛直分布は、進行波の波高を用い、さらに、水門中心以外のところでは、波を斜め入射として計算して求めた Sainflou 式とはほとんどの場合一致しない。このことは曲面での波圧を考える際、このような考え方で Sainflou 式を適用

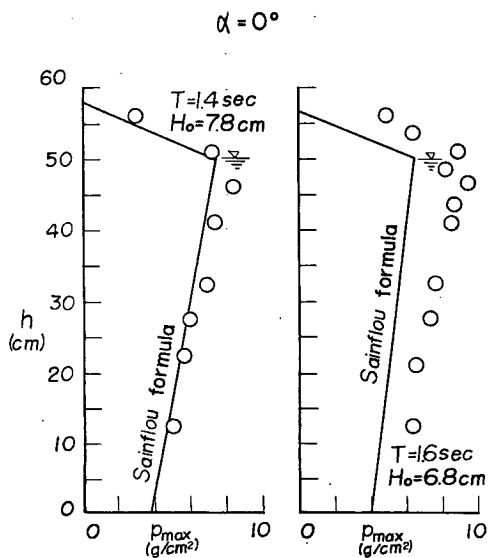


Fig. 8 (a) Vertical distributions of maximum wave pressure for the case $h=50\text{cm}$ and $\alpha=0^\circ$.

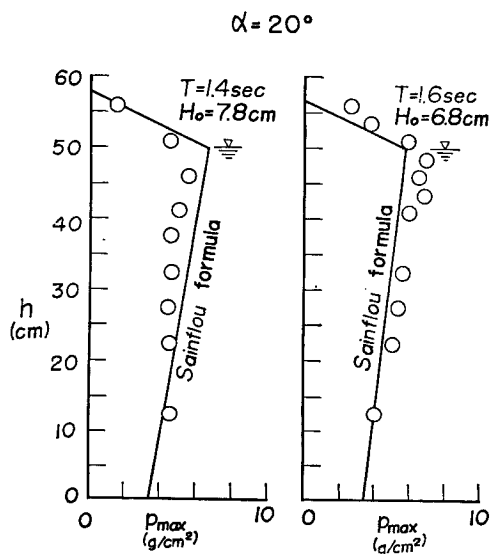


Fig. 8 (b) Vertical distributions of maximum wave pressure for the case $h=50\text{cm}$ and $\alpha=20^\circ$.

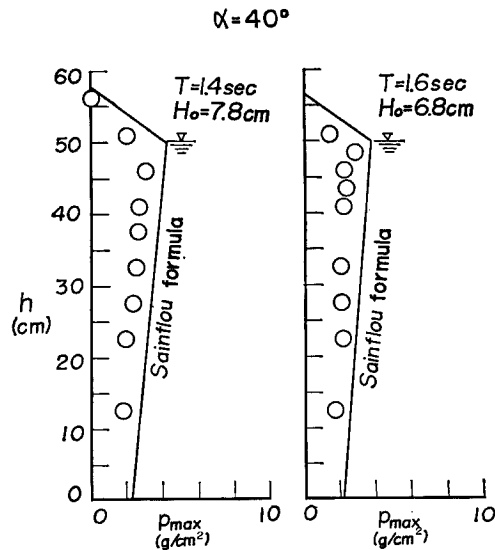


Fig. 8 (c) Vertical distributions of maximum wave pressure for the case $h = 50$ cm and $\alpha = 40^\circ$.

することは妥当でなく、前述したように、水門前面に入射波の周期に応じて発生する水位変動との関係から、こうした波圧分布を明らかにしていかなければならないことを示している。

4. 結 語

この論文は、アーチ型水門に作用する波圧の研究の第1報として、これまでに得られた実験結果を示し、主として最大波圧の水平および鉛直方向の分布について考察を行なった。その結果、最大波圧の水平方向の分布については、水門中心で最も大きく、水門中心から離れるにしたがい、いったん減少し、入射波の周期に応じて水門のあるところで極小値をとった後、ふたたび大きくなるような興味深い傾向を見出した。さらに、最大波圧の鉛直方向の分布については、平面の場合と同じような分布形状を示しているが、進行波の波高を用いて計算して求めた Saintflou 式とはほとんどの場合、一致しないことがわかった。

このようなことから、こうした曲面での波圧の問題を解明することは、当然、水門前面での水位変動の機構を明らかにする問題に帰着し、現在、水門前面の波の状況を 16 mm カメラによって撮影した結果を解析中であり、今後はこうした水門前面の波と波圧との関係について考察を進めたい。

最後に、この研究は大阪府の委託による研究の一部であることを明記するとともに、実験に大いに協力していただいた海岸災害研究室の平井正雄君に謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) 岩垣雄一, 中村重久, 陳 活雄: 大阪市内河川の高潮遡上に関する水理模型実験——防潮水門建設に伴う高潮の堰上高——京都大学防災研究所年報, 第10号B, 昭42.3, pp.207~222.
- 2) 土木学会編: 水理公式集, 昭和38年増補改訂版, 昭38.8, p.505.