

## 地震時動水圧の模型実験

正員 工学博士 畑 野 正\*

## THE MODEL TEST OF DYNAMIC-WATER-PRESSURE ON DAMS DURING EARTHQUAKE

(JSCE Nov. 1951)

Dr. Eng., Tadashi Hatano, C. E. Member

**Synopsis.** This paper gives an experimental verification of the writer's theoretical solution of dynamic water pressure on dams during earthquake. (See the paper, "Seismic force effect on gravity dams (II)", special issue 1947, 1948 J. C. E. S.) A vertical wall is placed in a water tank and is vibrated. The shape of surface wave and value of dynamic water pressure on the wall were ascertained as the results of the experiment. The gained results coincided with the writer's theoretical calculation.

**要旨** 本文は著者の提出した地震時動水圧の正解<sup>1)</sup>を実験的に確かめた結果をのべたものである。水槽の中に水を充たし側壁の近くに入れた鉛直壁を左右動させて生ずる表面波の形を観測し、且つ振動鉛直壁に附した微圧計によつて動水圧を記録し、著者の理論値と照合しよく一致する結果を得た。

## 1. 実験の目的

地震時動水圧の存在は実験的に未だ証明された事がない。この存在を確かめ、著者が嘗て発表した解を確かめる意味で模型的な実験を行つて見た。水の表面に生ずる波の形と、振動壁面に作用する動水圧を観測して理論と照合して見たのである。動水圧  $\sigma$  と波高  $\eta_0$  は次式で与えられる。

$$\sigma = \frac{4\alpha W_0}{j_0} \frac{\sinh k_0 h}{\sinh 2k_0 h + 2k_0 h} \cosh k_0 (y+h) \times \cos(\omega t - j_0 x) - \sum_{m=r+1}^{\infty} \frac{4\alpha W_0}{j_m'} \frac{\sin k_m' h}{\sin 2k_m' h + 2k_m' h} \times \cos k_m' (y+h) e^{-j_m' x} \sin \omega t$$

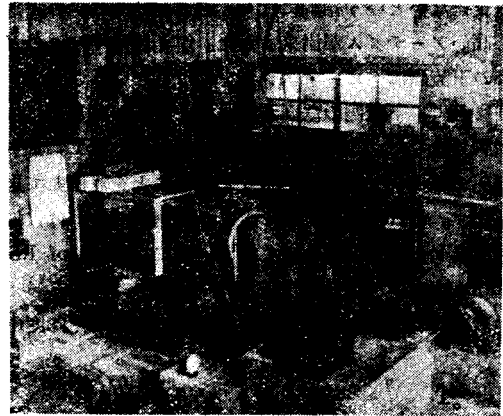
$$\eta_0 = \frac{4\alpha}{j_0} \frac{\sinh k_0 h \cosh k_0 h}{\sinh 2k_0 h + 2k_0 h} \cos(\omega t - j_0 x) - \sum_{m=r+1}^{\infty} \frac{4\alpha}{j_m'} \frac{\sin k_m' h \cos k_m' h}{\sin 2k_m' h + 2k_m' h} e^{-j_m' x} \times \sin \omega t$$

## 2. 実験の結果

表面波観測の要領は次の如くである。長さ 200 cm, 高さ 60 cm, 幅 30 cm の木製水槽の前面側壁をガラス

張にしこのガラス面に 5 cm 間隔に縦横に白い糸を張る。水槽の一方の側壁に近く鉛直の板を入れる (写真一)。この板の中央に水平シャフトを取付け、その他

写真一

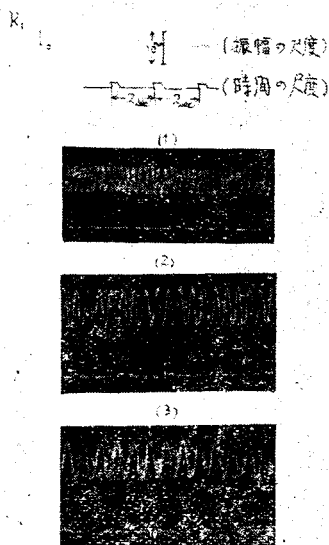


端を水槽側壁の孔から外に出し、直流モーターにつけたクランクの一端に直結する。モーターの回転によつてクランクが左右動をなし、これと同一の運動を鉛直板が行つて、水は水槽中に振動する。鉛直板と反対側の水槽側壁に近くすだれを 3 重にした鉛直の波殺しをおいたが、鉛直板との間隔は約 140 cm であつて、水深は静止面に於て常に 40 cm の深さを保つ様にした。鉛直板の運動は、これに附した金具に針尖のついた麦藁を附し、ドラムに記録させた。写真二がこれである。波の観測は鉛直壁を適当な時間振動させた後任意の時間にこれを撮影し、ガラス面に張つた糸によ

\* 東京電力株式会社, 建設部発電計画課

1) 土木学会誌昭和廿二, 三年度論文集

写真-2 記録R<sub>1</sub>



りその波長、波高を計算した。写真-3,4,5 がこれである。

図-1

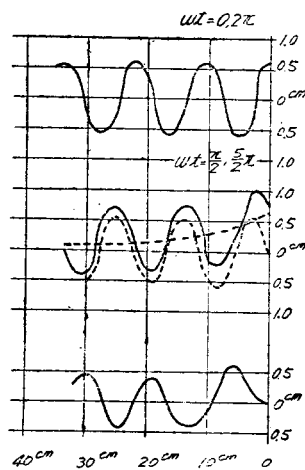


写真-3 記録 R<sub>2</sub>

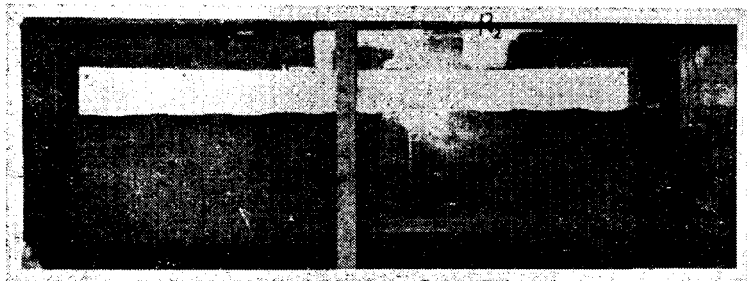


写真-4 記録 R<sub>3</sub>

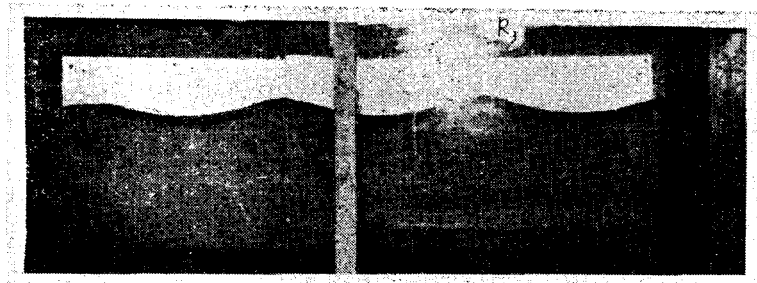
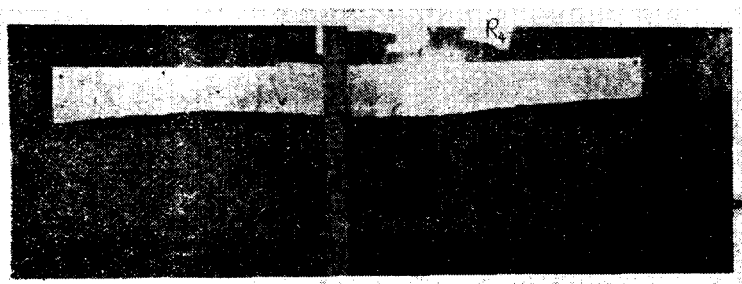


写真-5 記録 R<sub>4</sub>



表面波は鉛直壁より発生して伝播する波動と、standing wave との和からなるので、週期をもつてその形を刻々変化する。壁体の運動位置が、ある特定の場所にある瞬間に撮影したのでなく、適宜の時間にシャッターを切つた為、この波形が壁体の如何なる位置にあるときのものであるかを論ずることが出来ない。写真-3~5 の記録をそのまま拡大したものが図-1~図-3の最下端の波形である。写真-2 より振幅週期が表-1 の如く測定される。

表-1

区分	全振幅 (mm)	週期 (sec)
(1)	6	0.27
(2)	12	0.50
(3)	12	0.73

この値を用いて、波高と波長を計算すると次の様になる。

(1) に対し

$$\eta_0 = 0.60 \cos(\omega t - 0.55\pi)$$

図-2

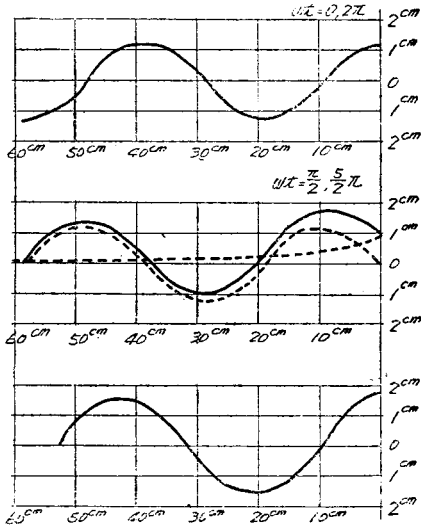
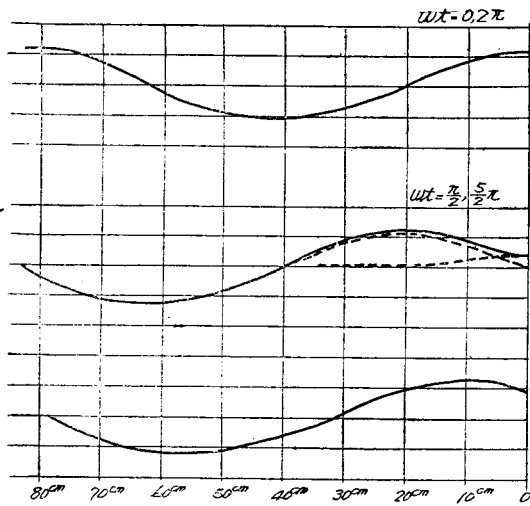


図-3



$$+ \sin \omega t (0.41 e^{-0.041x} + 0.13 e^{-0.124x} + 0.07 e^{-0.205x} + 0.05 e^{-0.287x} + \dots)$$

波長 = 11.4 cm

(2) に対し

$$\eta_0 = 1.20 \cos(\omega t - 0.16x) + \sin \omega t (0.70 e^{-0.046x} + 0.14 e^{-0.135x} + 0.05 e^{-0.219x} + 0.02 e^{-0.302x} + \dots)$$

波長 = 39.0 cm

(3) に対し

$$\eta_0 = 1.16 \cos(\omega t - 0.076x) + \sin \omega t (0.46 e^{-0.055x} + 0.05 e^{-0.146x} + 0.01 e^{-0.228x} + \dots)$$

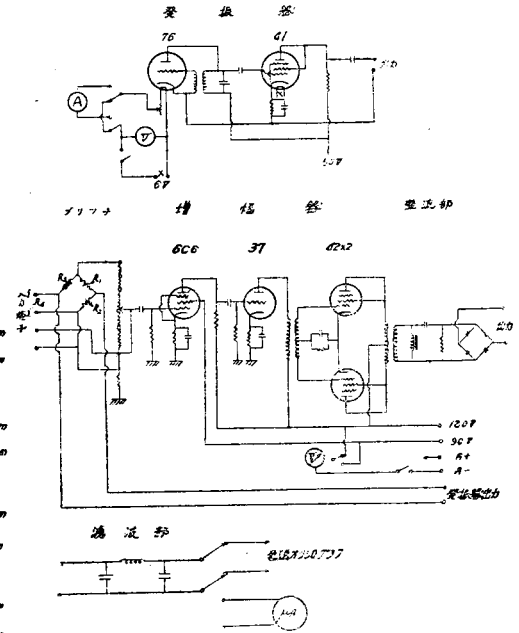
波長 = 82.7 cm

この計算式から波形を図に示すと、図-1, 2, 3の上

段及び中段の如くなる。

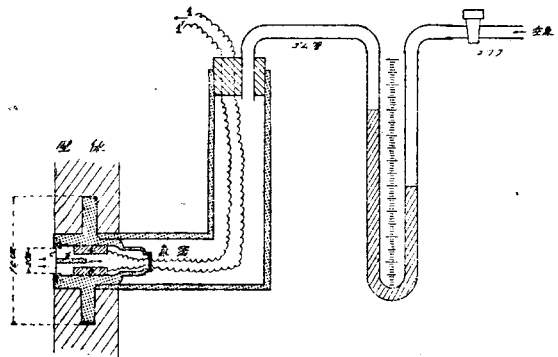
動水圧の測定は前述水槽の中の鉛直壁の中央で静止水面から下 30cm の位置に微圧計を附して行つた。全水深は前と同様 40cm である。振動発生及び壁体の運動の記録の要領は表面波の観測の場合と同じである。微圧計としてはインダクタンスの変化を利用したものを用いた。図-4 はその要領図でコイル内を軸方向に

図-4



鉄片が移動すれば、その変位に略々比例してコイルのインダクタンスが変化するので、これをブリッジの一要素としたのである。発振器の発振周波数は、1000 サイクルで、この電流をブリッジの両端に加える。写真-2, 3 は可変抵抗で之によりブリッジの平衡を得る。写真-5 は受圧部に相当する。図-5 の a はコイル、b は鉄片、c はゴム膜である。鉄片は糊でゴム膜の中央にはりつけた。c に圧力がかゝると d

図-5



がaの中に入る。先づ発振器から出る1000サイクルの高周波電流をブリッジに加える。R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>を動かしてブリッジに平衡を保たしめ、次に増幅、整流、濾波して電磁オッシログラフに連結する。振動子としてはD型(周期 1/150 sec, 感度 2×10<sup>-6</sup>A/mm)を用いた。圧力と電流とが直線関係を満足する範囲において実験をするために 図-5 に示す様に受圧部の内部を気密にし、この中に空気を入れて静水圧にバランスさせる様にし、この空気圧を変化させて電流を測定した。その値は表-2 の如くである。

表-2

水柱 (cm)	55	41.5	37	34	30	25.5	21.0	17.5	14.5
電流 (μA)	104	106	104	102	92	114	142	169	195
水柱 (cm)	11.0	9.0	5.0	2.0	0				
電流 (μA)	220	232	255	279	293				

即ち水柱 25cm から以下に於て直線関係が満足される。そこで本実験ではその中央値水柱 12.5 cm に相当する圧力を加えた状態で振動実験を行ったのである。

以上の要領で実験した記録が写真-6~11, である。この波形の振幅から圧力の大きさを計算するには、前述の様に 12.5cm の圧力を加えた状態にしておいて、水槽水位を静止水位 40 cm から 48 cm 及び 32 cm にしたときのオッシロの振れを記録し、この振れ ±22 mm を水柱 8 cm に相当するものとして計算したのである。写真-6 はこの ± 8 cm の水柱圧によるオッシロの振れを示したものである。写真-7~11 には夫々ドラムによる鉛直壁の運動を煤書にしたものと、オッシロの記録をのせてあるが、前者により振幅を、オッシロの波形と 1/100 sec の時間記録により週期を測定し、又波形の振水を T<sub>1</sub> によつて換算して表-3 を得た。

表-3

区分	週期 (sec)	全振幅 (mm)	震度	オッシロの全振れ (mm)	動水圧水柱 (cm)
(1)	0.24	2.0	0.070	10.0	1.82
(2)	0.27	2.5	0.069	10.0	1.82
(3)	0.41	18.5	0.220	32.0	5.80
(4)	0.44	15.5	0.161	22.0	4.00
(5)	0.50	12.5	0.101	14.5	2.63

次に前述の計算式から  $x=0, h=40 \text{ cm}, y=-30 \text{ cm}$  における動水圧  $\sigma$  の最大値を計算すると、表-4 の如

写真-6 記録 T<sub>1</sub>

T<sub>1</sub> 水柱8.0cmに対するオッシロの振れ

10<sup>-6</sup>A

写真-7 記録 T<sub>2</sub>

T<sub>2</sub>

10<sup>-6</sup>A

写真-8 記録 T<sub>3</sub>

T<sub>3</sub>

10<sup>-6</sup>A

写真-9 記録 T<sub>4</sub>

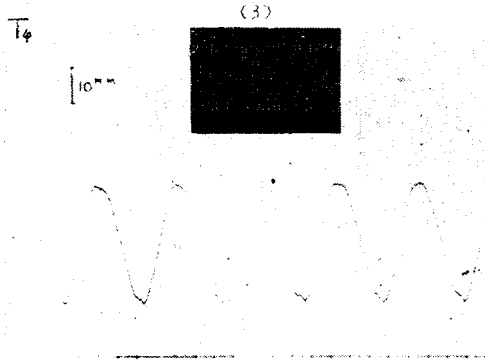


写真-10 記録 T<sub>5</sub>

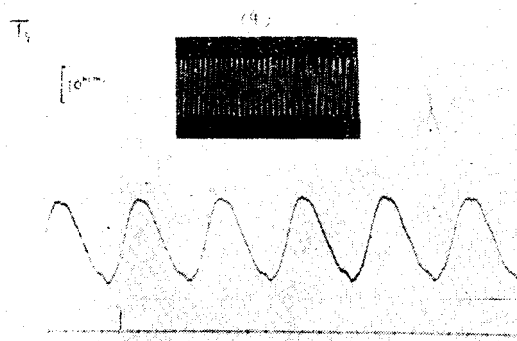
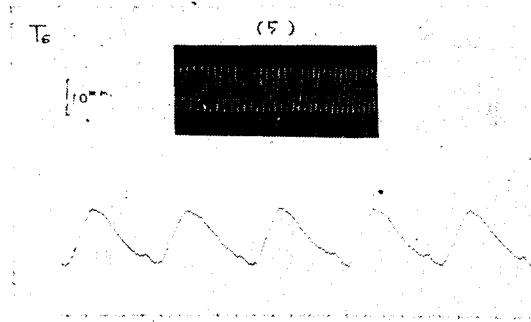


写真-11 記録 T<sub>6</sub>



くなる。

表-4

区 分	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
$\sigma$ (計算値)cm	1.91	1.88	5.70	4.01	2.38
$\sigma$ (測定値)cm	1.82	1.82	5.80	4.00	2.63

前出の  $\sigma$  の式に明らかな如く動水圧は位相の異なる2つの波の和で現わされるが第1項の大きさは第2項の大きさに比して省略出来る程小さい。第1項の大きさは  $h_0 h$  の大きさが小さい程大きいから、 $h_0 h$  の最小である(5)の場合についてこの値を示して見ると次の如くである。

$$\sigma = 0.009 \cos \omega t - 2.38 \sin \omega t$$

表-4 の計算値は以上の意味で第2項の最大値を示したものである。

### 3. 結 論

以上の結果から、著者の解による表面波形及び動水圧が実験的に証明されたと云う事が出来る。図-1, 2, 3 及び表-4 に明らかな如く著者の理論値と実験値とは殆どよく合致している。尚著者の解は微小振動を仮定したものであるが、本実験程度の場合にもよくこの解が成立することが明らかにされた訳である。

附記 本実験を実施した際、理学士高橋忠君の非常な協力を得た。ここに厚く謝意を表する次第である。  
(昭.26.7.20)