

清水建設 正員 小林 浩
 鹿児島大学 佐藤 泰夫
 清水建設 正員 ○蔵田 忠廣

1. まえがき

海洋構造物が大型化するにしたがって設計段階において動力学的な考慮が大切になって来る。動水圧についても従来の基準を参照するだけでなくそのようすを詳しく調べる必要がある。地震時にダムの壁面に加わる動水圧に関する問題については、H. M. Westergaard による有名な研究があり、今日もお用いられている。しかし、壁面が複雑な形状の場合は必ずしも適用できないのでその不足を補うとともに動水圧のようすを詳しく知るため波動方程式の差分法による数値計算により動水圧を求める方法を研究した。

2. 基礎方程式と解法

問題設定として、図-1 に示すように、(1) 2次元問題とする。(水平方向に x 軸、鉛直上向きに z 軸をとる。)(2) 壁面は $x=0$ 、水面は $z=H$ 、底面は $z=0$ である。(3) 壁面の変位は $u=f(t)$ とし、海洋構造物および水底の面は剛とし、 x 方向は無限につづいていくとする。次に流体の基礎方程式は、 Δ を体積変化とすれば次式を得る。

$$\rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = K \frac{\partial \Delta}{\partial x} \quad \dots\dots(1)$$

$$\rho \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = K \frac{\partial \Delta}{\partial z} - \rho g \quad \dots\dots(2)$$

ここに、(u, w): 変位、 ρ : 水の密度、 g : 重力加速度、 $\Delta (= \partial u / \partial x + \partial w / \partial z)$: 体積変化、 K : 体積弾性率、 $C (= \sqrt{K/\rho})$: 水中音波の速度である。基礎方程式(1), (2)は、次の境界条件を満足する必要がある。

$$\begin{aligned} x=0 & \quad ; \quad u=f(t) \\ z=0 & \quad ; \quad w=0 \\ z=H & \quad ; \quad \Delta=0 \end{aligned} \quad \dots\dots(3)$$

したがって、基礎方程式より

$$x=0 \quad ; \quad \partial \Delta / \partial x = f''(t) / C^2 \quad \dots\dots(4)$$

$$z=0 \quad ; \quad \partial \Delta / \partial z = \rho g / K = g / C^2 \quad \dots\dots(5)$$

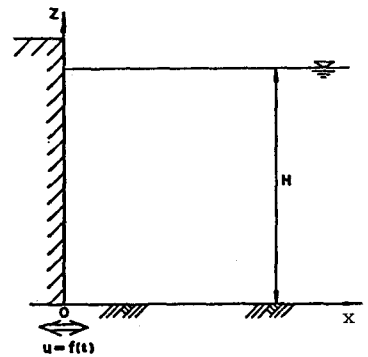


図-1 2次元問題の設定

上の方程式を差分方程式に変換して解いていく。点 x, z を添字 j, k で、 $t+\Delta t, t-\Delta t$ に対する体積変化を Δ^+, Δ^- によって表現すれば次式が得られる。

$$\begin{aligned} \Delta^+(j, k) &= 2\Delta(j, k) - \Delta^-(j, k) \\ &\quad + C^2 \Delta t^2 \{ \Delta(j+1, k) + \Delta(j-1, k) + \Delta(j, k+1) \\ &\quad + \Delta(j, k-1) - 4\Delta(j, k) \} / h^2 \end{aligned} \quad \dots\dots(6)$$

境界条件も同様な表現をすれば、

$$\begin{aligned} x=0 & \quad ; \quad \Delta(-h, z) = \Delta(h, z) - 2h f''(t) / C^2 \\ z=0 & \quad ; \quad \Delta(x, -h) = \Delta(x, h) - 2hg / C^2 \\ z=H & \quad ; \quad \Delta(x, H) = 0 \end{aligned} \quad \dots\dots(7)$$

ここに、 h : x および z 方向の格子間隔、 Δt : 時間間隔である。

(6)式を境界条件のもとに解くことによって、各時間間隔ごとの体積変化が求まり、この値に K を乗ずれば動

水圧を得ることになる。

3. 数値計算結果

実際の海洋構造物の場合と模型実験の場合を想定し、表－１に示した値を用いて計算した結果について述べる。図－２，３は海洋構造物の面に加わる時間ごとの圧力を示すもので静水圧はのぞいてある。１０本の

曲線は各水深に対する動水圧で、一番上が海面で（圧力は常に０）一番下が海底である。海洋構造物への入力変位は一周期のみであるが、圧力変化は振動的に続いている。これは、図－２に示すように圧力変化の振動として比較的周期は短く、かつ水深 66.7 m の所では見られず、66.7 m の所を境にして、短周期の変化は位相が逆である。たとえば、 $t = 0.42 \text{ sec}$ 付近では、66.7 m より深い所では上にふくらんでいるが、浅い所ではへこんでいる。その周期は 0.1 sec 弱であり、66.7 m の所にはもっと長い周期 0.3 sec 弱の変動が見られるが、この変動は他の深さの所にも同じ位相で入っている。これは、海面と海底との間の疎密波の往復振動によるものと考えられる。圧力変化の最大は約 2 気圧で水深がだいたい $1/2$ 以下はほぼ一定でごくゆるやかな極大を示している。しかし、図－３においては構造物の大きさが違うため Δt が小さくなっており、この場合は、各水深とも位相は同じである。

図－４は、 Δ の横方向の分布を各深さごとに表現したもので、圧力は $-K\Delta$ に等しいからこの図から圧力変化の分布と見てもよい。海洋構造物の壁に押されてできた波が x 方向に伝わって行くのを見ることができる。波の振幅が浅い方で小さくなっていることはこの図からも明らかである。ここでは、 $t = 0.495 \text{ sec}$ に固定してある。

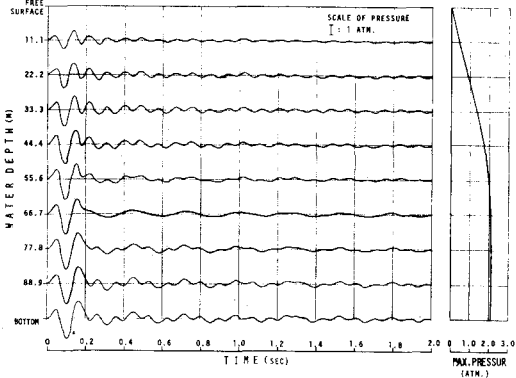
4. あとがき

従来すでに解析的な研究が試みられている問題に、差分法による数値解法を行った結果に対する報告である。圧力、変位等の時間、空間的分布がある程度明らかになり、また、入力変位、周波数によって構造物面に生ずる圧力の違い等も見出すことができたと思う。そして、壁面の形状の複雑な海洋構造物への適用も可能である。

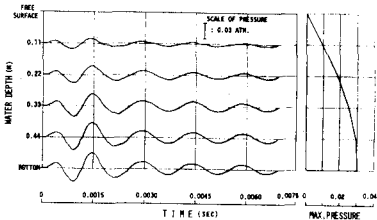
参考文献： H.M.WESTERGAAD, "WATER PRESSURE ON DAMS DURING EARTHQUAKES", TRANS. OF A.S.C.E., VOL98(1933)

表－１ 計算条件

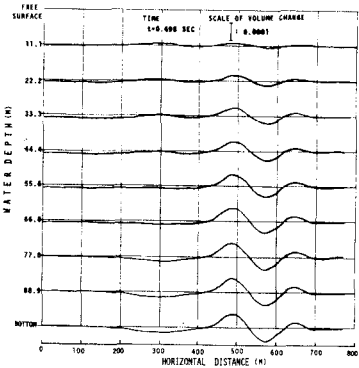
CASE	H(m)	h(m)	ΔT (sec)	CYCLE (sec)	$f(t)$ (m)
1	100	11.11	0.005	0.18	2.0×10^{-3}
2	0.55	0.11	5.0×10^{-5}	0.18	2.0×10^{-7}



図－２ 動水圧変化（実際の海洋構造物）



図－３ 動水圧変化（模型実験）



図－４ 体積変化の水平方向の伝播