

九州大学 正会員 ○園田 敏夫
 " " 烏野 清
 " " 小坪 清貞
 九州工業大学 " 高西 照彦

1. まえがき 博多湾箱崎埠頭に総延長800mの鋼管二重カーテン式防波堤が建設中である。この形式は我国では初めてと思われ、従来のケーソン式防波堤に比べ、地盤改良の必要がなく安価である、堤内の海水の透過性が良い等の長所がある。しかし、剛性がかなり小さいという短所もある。

波圧による応答を理論的に解析する場合、波圧の大きさ、振動数特性と共に、防波堤自体の振動特性(固有振動数、変位モード、減衰定数)も明らかにしなければならぬ。

現在、140mの区間が完成しており、この区間に対して起振機試験を行ない、振動特性を求めた。又、動水圧による付着水の影響を求め、模型実験により理論の検証を行った。

2. 起振機試験 防波堤の正面図、側面図を図-1

図-2に示す。外径81.3cmの鋼管を堤軸直角に4m間を開けて2本打込み、それを堤軸方向に2m間隔で打込んでいく。その後、10mづつコンクリート製頂版で一体にし、それをつなぎ図-3に示すような14ブロック(全長140m)の防波堤としたものである。カーテンはコンクリート製で図-1に示すようにスリットが開いている。これは堤内の海水の交換作用を促すためである。図-3は起振機設置位置と測定位置を示したものである。起振機設置位置を2箇所にしたのは、ブロック2からブロック15にかけて地盤が悪くなること、起振機の起振力が弱い場合(起振周波数が低い場合)に起振機近傍だけが振動し、他の部分があまり振動しない恐れがあることなどによる。図中のX印にサーボ加速度計(明石製作所製、V401A、容量3G)を設置した。ブロック9、12、14のカーテン上端に歪式加速度計(共知電業製、AS-2C、容量2G)を取り付け、防波堤本体とカーテンの動きの違いを測定したが、面者はほぼ一体として振動していた。防波堤の振動特性に及ぼす水位の影響を知るため、満潮時(水位4.1m)、干潮時(水位3.5m)の試験を行った。図-4は起振機をブロック9に設置した時の測点7の加速度共振曲線である。干潮時(○印)の防波堤の固有振動数が1次で2.20Hz、2次で5.20Hzに対して、満潮時(●印)の固有振動数が1次で1.85Hz、2次で4.80Hzである。明らかに1次、2次共、水位が高くなると動水圧による付着水の影響を大きく受け、固有振動数が低くなっている。図-5は満潮時の1次、2次の変位モードであ

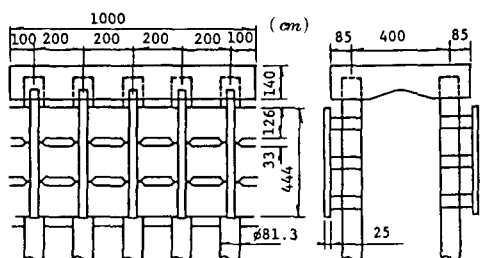


図-1 防波堤正面図

図-2 防波堤側面図

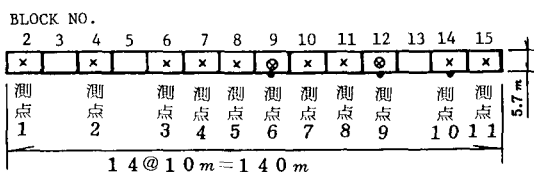


図-3 防波堤平面図及び測点図

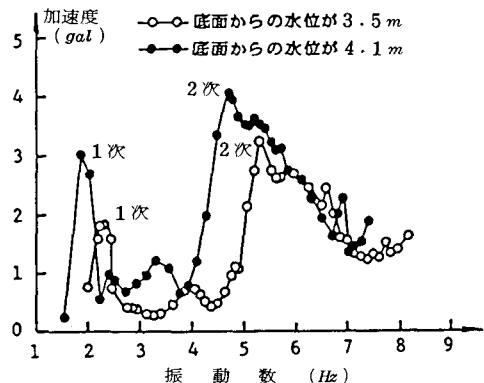


図-4 測点7の加速度共振曲線(起振力1tf一定)

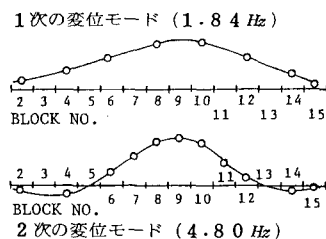


図-5 満潮時の変位モード

る。干潮時の変位モードも同様であり、起振機をブロック12に移した時の変位モードも、その点が大きく変位したのがほぼ同様であった。減衰定数は共振曲線より $1/\sqrt{2}$ 法で求めた。水位の高さ、振動次数にかかわらず、 $\lambda=0.07\sim0.09$ 程度であった。

3. 理論解析 図-6に示す二重カーテンが $\varphi(z)=\alpha(H-z)/H$ で変位する時の、動水圧による付着重量を2次元解析で求める。水を非圧縮性とし、カーテン外側領域の動水圧を σ_1 、内側領域の動水圧を σ_2 とし、(1)式の境界条件を適用すると(2)式のように求まる。

$$\left. \begin{aligned} \left(\frac{\partial \sigma_1}{\partial z}\right)_{z=H} &= \left(\frac{\partial \sigma_2}{\partial z}\right)_{z=H} = 0, \quad (\sigma_1)_{z=0} = (\sigma_2)_{z=0} = 0 \\ (\sigma_1)_{x \rightarrow \infty} &= 0, \quad (\sigma_2)_{x=-l} = 0 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

$$\sigma_1 = \sum_{n=1}^{\infty} C_n e^{-\lambda_n x} \sin \lambda_n z \cdot e^{i\omega t} \quad (2)$$

$$\left. \begin{aligned} \sigma_2 = \sum_{n=1}^{\infty} C'_n \{ \cosh \lambda_n l + \coth \lambda_n l \cdot \sinh \lambda_n x \} \sin \lambda_n z \cdot e^{i\omega t} \\ \lambda_n = (2n-1)\pi/2H, \quad n=1, 2, 3, \dots \end{aligned} \right\} \quad (2) \quad C_n, C'_n \text{は未定係数で(3)式の境界条件より求められる。}$$

$$\left. \begin{aligned} \left(\frac{\partial \sigma_1}{\partial x}\right)_{x=0} &= -\frac{W_0}{g} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = -\frac{W_0 \omega^2}{g} \alpha \frac{H-z}{H} \cos \omega t, \quad \left(\frac{\partial \sigma_2}{\partial x}\right)_{x=0} = -\frac{W_0}{g} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = -\frac{W_0 \omega^2}{g} \alpha \frac{H-z}{H} \cos \omega t \quad (0 \leq z \leq H_1) \\ (\sigma_1)_{x=0} &= (\sigma_2)_{x=0}, \quad \left(\frac{\partial \sigma_1}{\partial x}\right)_{x=0} = \left(\frac{\partial \sigma_2}{\partial x}\right)_{x=0} \quad (H_1 \leq z \leq H) \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

ただし、 W_0 は水の単位体積重量、 u は水分子の水平方向変位である。本解析では置点法を用い、カーテン部分 H_1 を N_1 等分、カーテンの無い部分 $(H-H_1)$ を N_2 等分し、未定係数を $C_1, C_2, C_3, \dots, C_N, C'_1, C'_2, C'_3, \dots, C'_N$ ($N=N_1+N_2$)として(3)式の境界条件より連立方程式を立て求めた。各係数が求められると、 j 点の動水圧 $\sigma_1(j)$ は(4)式で求まる。

$$\left. \begin{aligned} \sigma_1(j) &= \alpha W_0 H F_1(j), \quad \alpha = \omega^2 a / g \\ F_1(j) &= (2/\pi) \sum_{i=1}^N C_i \sin \{ (2i-1)\pi j / 2N \} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

$\sigma_2(j)$ も同様を求める。 $F_1(j)$ は付着重量係数である。

4. 模型実験 鋼管のかわりに外径6cmの塩ビパイプ、カーテンとして厚さ1cmのアクリル板、頂板として厚さ2.5cmの鉄板を用いて模型を製作した。カーテンには実物同様スリットをつけた。(図-7、図-8参照)これを水槽に固定し、頂板をたたき自由減衰振動をおこし、固有振動数を求めた。水位の影響を知るために、いろいろの水位について実験を行った。カーテンの深さ方向変位モードを表わしたものが図-9である。図-10は水位 $H=34.2$ cmの場合の付着重量係数の理論解である。図-10(a)はスリットを考慮しない場合、図-10(b)はスリットが水平方向に全部開いている場合である。スリットを考慮した付着重量は、しない場合のその約1/3であった。図-11は水位を変化させた時の固有振動数を表わした図で○印は実験値、実線・点線は理論値である。水位が高くなるにつれて動水圧による付着重量が大きくなり、固有振動数が小さくなっている。

スリットを考慮しない場合は動水圧の過大評価であり、スリットを考慮した場合は動水圧の過小評価である。実際はこの中間であると思われる。

スリットを考慮しない場合は動水圧の過大評価であり、スリットを考慮した場合は動水圧の過小評価である。実際はこの中間であると思われる。

〔参考文献〕小坪「不規則な地震動による動水圧」土木学会論文報告集第37号。(昭和32年8月)

園田・島野・小坪・高西「鋼管二重カーテン式防波堤の振動特性」昭和58年度土木学会西部支部研究発表会。

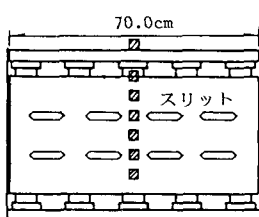
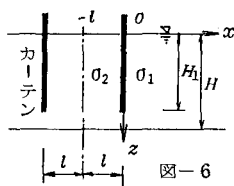


図-7 模型正面図

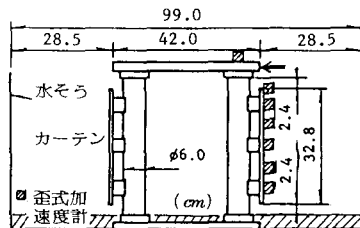


図-8 模型側面図

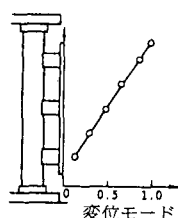


図-9
カーテンの深さ
方向変位モード

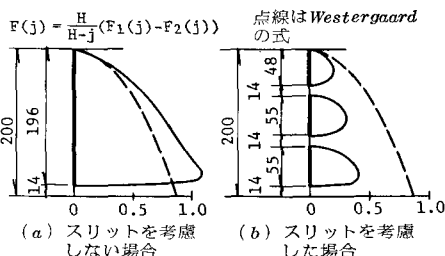


図-10 付着重量係数の分布

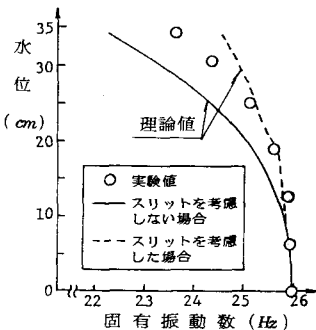


図-11 水位を変化させた時の
固有振動数の変化