

開口部のある二重円筒ケーソンに作用する 動水圧に関する模型振動実験

運輸省港湾技術研究所 正会員 上部達生
" " 長田 信

1. まえがき

沖合人工島等、今後建設が予定される港湾施設は大水深化の進むことが予想される。外洋に面した大水深域に有利な波浪制御構造物として開発されているものに二重円筒ケーソンがある。これは、これまでの矩形ケーソンと異なり、円筒形のケーソンであり、二重の円筒の外側に開口部を設けて波浪制御機能をもたせる構造となっている。こうした構造物の耐震性を検討する場合、大水深域に建設される構造物に作用する重要な地震外力である動水圧に関する検討が必要となっている。ところが、ここで対象としているような円筒壁に作用する動水圧の算定式は現行設計法には示されていない。さらに、開口部があり、海水が透過するような場合の二重円筒ケーソンに作用する動水圧については全く検討例がない。そこで、本研究では開口部のある二重円筒ケーソン壁に作用する動水圧を模型振動実験により検討した。

2. 模型

模型は二重円筒ケーソンとして通常考えられる構造断面を想定し、それを模型振動実験として適切な大きさに縮小して作成した。本実験は円筒壁に作用する動水圧の検討を主眼としており、二重円筒ケーソンの構造断面として、どのような形状が最適かといった点についての詳細な検討はしていない。模型はアクリル製で、図-1に示すように外側円筒の外径を50cm、内側円筒の外径を30cm、高さを50cmとした。開口部は模型の天端から20cmの範囲であり、開口率は面積比で0%、10%、25%、100%とした。ここでいう開口率0%というのは開口部がない場合で、開口率100%というのは外側円筒を取り去り、内側円筒だけとした場合である。さらに実験では、開口部のある外側円筒を半円部だけとし、もう片方の半円部分に開口部のない円筒を設けた場合も実施した。開口部を全周に設けた模型を透過型、半円部に開口部を設けない模型を消波型と呼ぶ。透過型の模型を4種類（開口率 0, 10, 25, 100%）、消波型の模型を3種類（開口率 10, 25, 100%）の合計7種類の模型について実験を実施した。

3. 振動実験の内容

振動実験の内容は大きく次の4種類に分けられる。

- i) 単一の円筒面に作用する動水圧の検討（開口部のない模型）
- ii) 円筒が並んだ円筒壁面に作用する動水圧の検討（開口部のない模型）
- iii) 開口部のある単一の円筒面に作用する動水圧の検討（開口率10、25、100%）
- iv) 開口部のある円筒壁面に作用する動水圧の検討（開口率10、25、100%）

開口部のある場合の実験では透過型と消波型の模型について検討を実施している。

図-1に示すように振動実験では振動箱（長さ3m、幅1.5m、高さ1.5m）を使用し、各開口率の単一の円筒の場合の実験をまず行い、次に、計測用模型の両側に2個のダミー模型を配し、円筒壁とした場合の実験を行った。

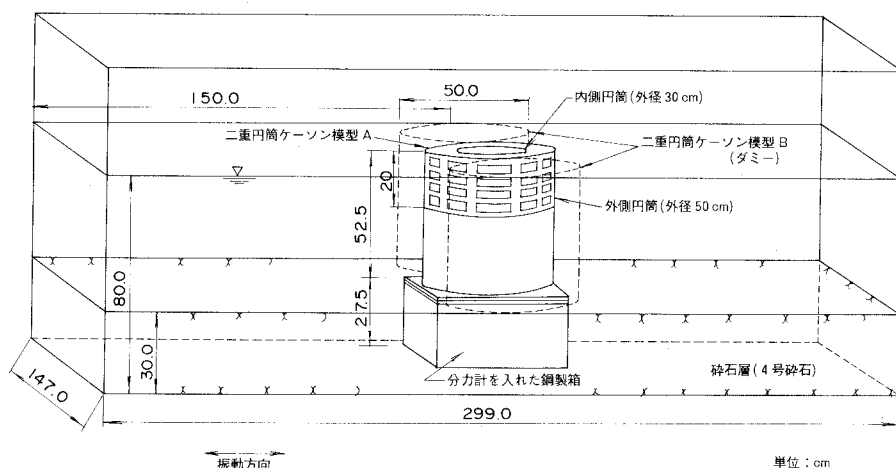


図-1 二重円筒ケーソン模型

実験では模型に作用する動水圧と、模型の応答加速度を計測した。開口部のない模型に作用する動水圧を測定することを目的とした実験では水圧計による計測を行ったが、開口部がある場合には水圧計による計測が難しいため、模型に作用する動水圧の合力を測定することとし、4個の分力計による計測を行った。図-1に示すように分力計収納箱の上に模型を設置し、分力計収納箱の両側は碎石を投入して二重円筒ケーソン模型の下端が水底となるようにした。また、碎石、分力計等の影響を排除した動水圧の測定を行うため、二重円筒ケーソン模型を直接振動箱の底面に固定した実験も行った。単一の円筒ケーソン模型の水圧計、加速度計、分力計の取り付け位置を図-2 aに示す。6個の水圧計を深さ方向に並べたものを3列配置した。それぞれの列の振動方向からの角度は0°、34°、67.5°である。開口部のある円筒ケーソン模型の計測器の取り付け位置は図-2 bに示す。入力波形は正弦波で波数は10波とし、振動数は5 Hzとした。なお入力加速度は50, 100, 200 Galである。表-1には以上述べた実験条件をまとめて示す。

4. 振動実験結果およびその解析

(1) 円筒ケーソン模型に作用する動水圧の分布

模型の応答加速度を重力加速度で除した値を震度 k とし、この k で動水圧の測定値 p を除した値を用いて以下の検討を行った。

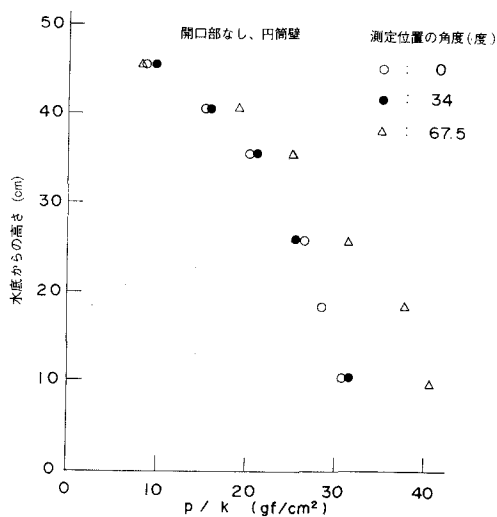
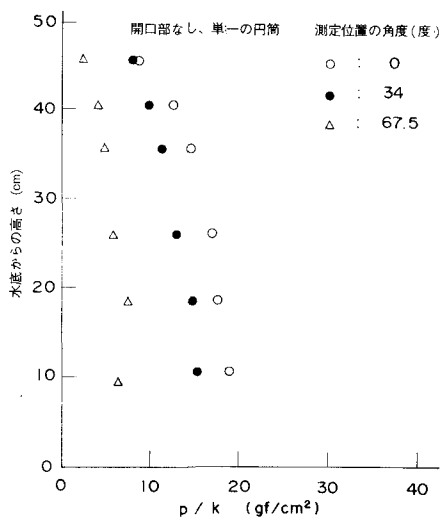


図-3 動水圧の深さ方向の分布

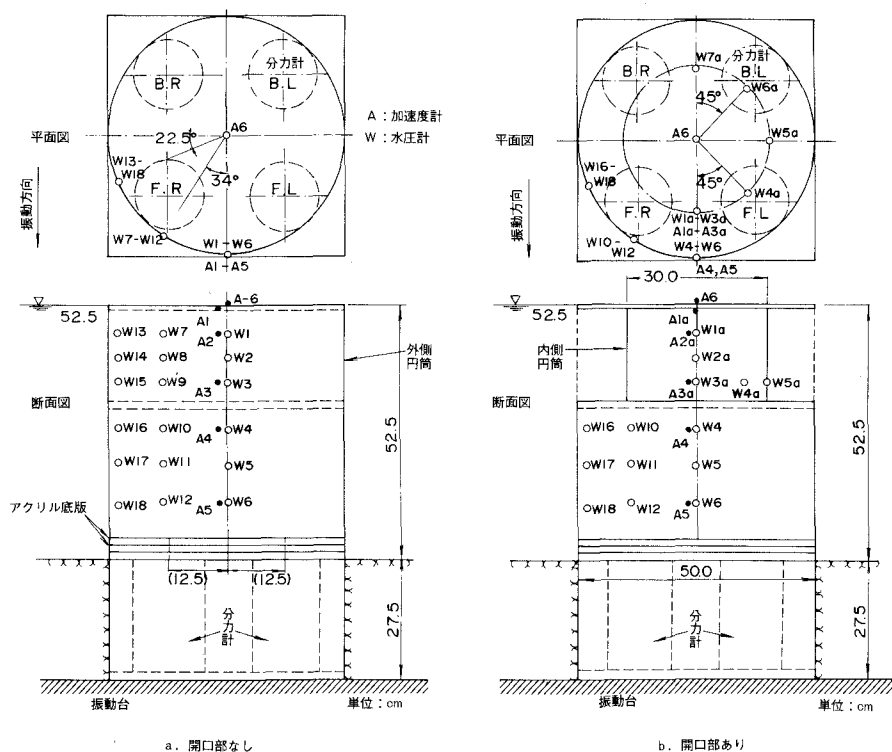


図-2 測定器の配置

表-1 実験条件

実験条件	
ケーソン模型の数	1個、円筒壁の場合は3個
開口率 (%)	0、10、25、100
ケーソン模型の型	透過型、消波型
計測項目	動水圧と加速度
動水圧の計測方法	水圧計のみ、水圧計と分力計
入力波形	5Hz正弦波 10波
入力最大加速度 (Gal)	50、100、200

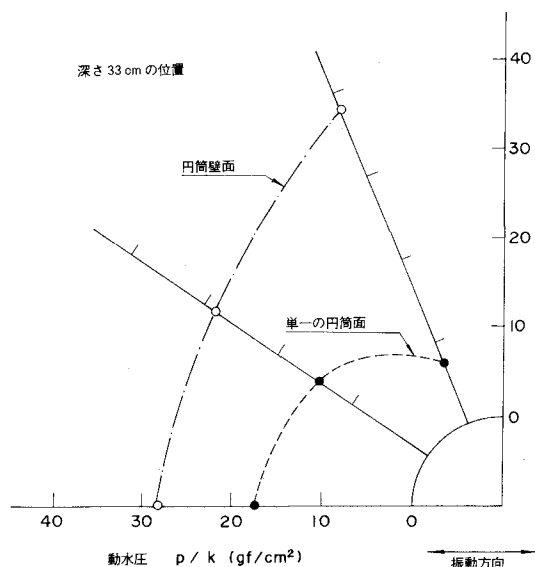


図-4 円周方向の動水圧の分布 (深さ33cm)

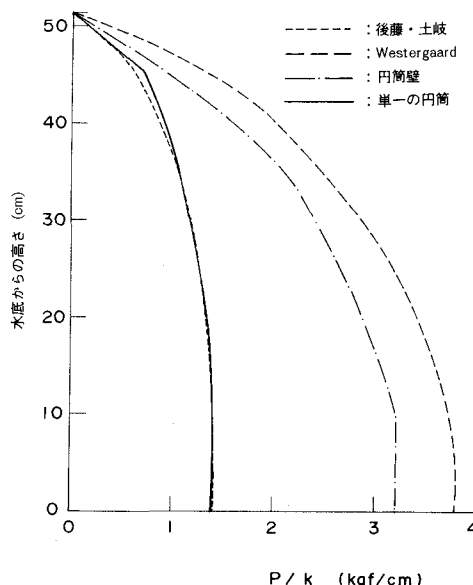


図-5 理論解との比較

1) 開口部のない場合

図-3は開口部のない単一の円筒及び円筒壁に作用する動水圧の測定値の深さ方向の分布状況を示している。円筒壁の場合、単一の円筒に比べかなり大きな動水圧となっているのが判る。また、単一の円筒では振動方向からの角度が増すに従って動水圧の値が低下しているのに対し、円筒壁では逆に増加の傾向がみられる。これを明確に示したのが図-4で、深さ33cm位置における動水圧の円周方向の分布を示している。

計測値より円周方向に作用する動水圧の合力を近似的に算定し、この値の鉛直方向の分布を示したのが図-5である。水中の単一の柱状構造物に作用する動水圧の理論解として後藤・土岐¹⁾の研究成果があるが、この理論解と本実験の測定値とが良好一致を示しているのが判る。また、Westergaard 式による動水圧分布も参考のために図中に示した。この値は幅50cmに作用する動水圧の合力を2倍したものである。Westergaard 式の値と円筒壁に作用する動水圧の分布とを比較すると、円筒壁の値が小さめにでている。

2) 開口部のある場合

次に、開口部がある場合の動水圧の深さ方向の分布について比較してみる。ここで示す水深20cmまでの動水圧は内側円筒に取り付けた水圧計による測定値である。図-6に単一の円筒で振動方向から0°の位置の列の水圧計の測定結果を開口率が10, 25, 100%の場合について示す。開口率が大きくなるに従い内側円筒の水圧計W1a~W3aの値は増加するのに対し、内側円筒より下の部分の外側円筒に設置された水圧計W4~W6の値は小さくなっている。さらに水圧計W4~W6の測定値の開口率の増加による減少程度は開口部との境に近い位置程大きくなる傾向が認め

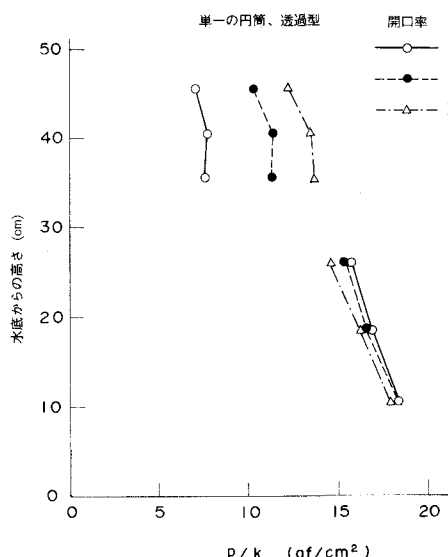


図-6 各開口率の動水圧の深さ方向の分布

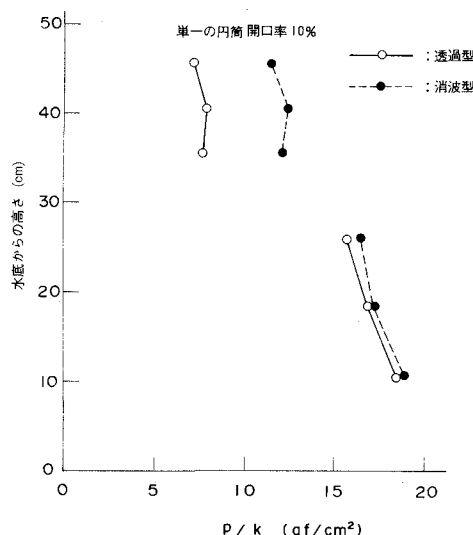


図-7 透過型と消波型の動水圧の分布の比較

られる。こうした結果は、消波型の場合についても同様の傾向であった。

開口率が10%の場合について消波型と透過型の動水圧の深さ方向の分布を比較すると図-7のようになる。この図でも振動方向から0°位置の列の水圧計の測定値を示している。消波型の方が水圧計の値は大きめであるが、W4~W6についてはその差は僅かである。またW1a~W3aの動水圧の値は開口率が大きくなるに従って透過型と消波型の差が小さくなっていた。以上の単一の円筒に作用する動水圧の傾向は円筒壁の場合についても同様

であった。図-8aは単一の円筒の場合の深さ16cm位置における内側円筒に作用する動水圧の円周方向の分布形状を示す。透過型の場合には90°を中心にほぼ対称形をなしているのが判る。また、開口率の増加に従ってその絶対値が大きくなっている。これに対し消波型の場合には0°位置では開口率が100%が最も大きな値を示し、45°を上回る角度の位置では逆に開口率の小さな場合が大きな動水圧を示している。円筒壁でも図-8bに示すように単一の円筒の場合と同様の傾向がみられた。

(2) 円筒ケーソン模型に作用する動水圧の合力

分力計の測定値から開口率の変化に伴う動水圧合力の違いを検討する。振動実験ではまず水がない状態で加振し、続いて水を入れて加振した。この両測定値の差からケーソン内部の水の質量による慣性力をひいて円筒ケーソンに作用する動水圧合力とした。図-9は単一の円筒あるいは円筒壁の場合の開口率の増加による動水圧合力の変化を示す。図の縦軸は、各開口率の動水圧合力の側定値を開口部のない場合の値で除した比率であり、百分率で示している。単一の円筒の透過型の場合、開口率10%で動水圧合力は約72%に低下し、同100%では約64%と漸減している。次に、円筒壁で透過型の場合では開口率10%で動水圧合力は約79%に低下し、同100%では約67%と漸減している。消波型の場合は開口率の増加による減少の程度は小さく、各開口率の動水圧合力は開口部のない場合の9割以上の値となっている。

5. 結論

二重円筒ケーソンの外側円筒に開口部を設けた場合、作用する動水圧がどう変化するかを検討した。透過型（全周に開口部あり）の円筒壁に作用する動水圧合力は開口部のないそれより小さく、開口率10%で約8割、25%で約7割に減少した。消波型（半円部に開口部なし）の場合には開口率の増加による動水圧合力の減少程度は小さく、各開口率の動水圧合力は開口部のないそれの約9割の値であった。

参考文献

- 1) 後藤尚男、土岐憲三：水中橋脚の振動と耐震設計に関する基礎的研究、土木学会論文報告集、No.100号、1963年12月、pp.1~8

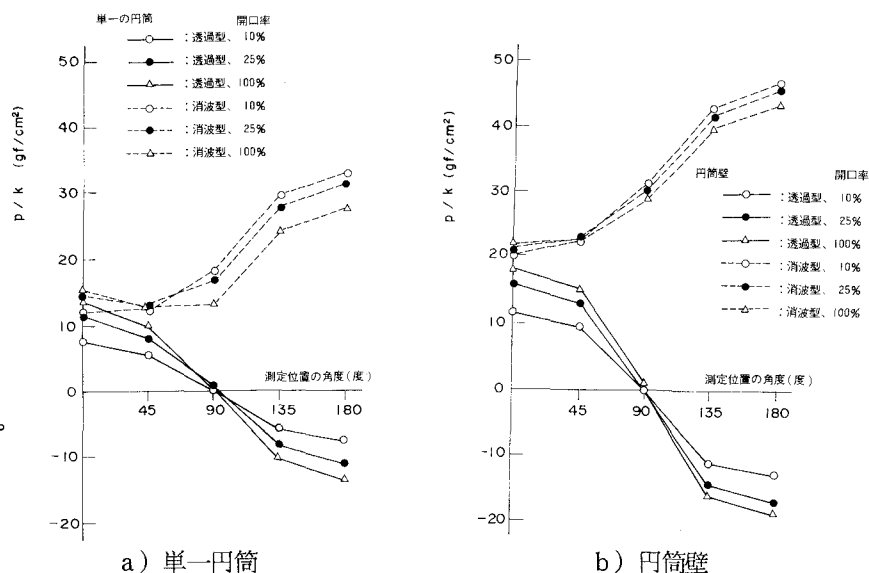


図-8 内側円筒に作用する動水圧の円周方向の分布（深さ16cm）

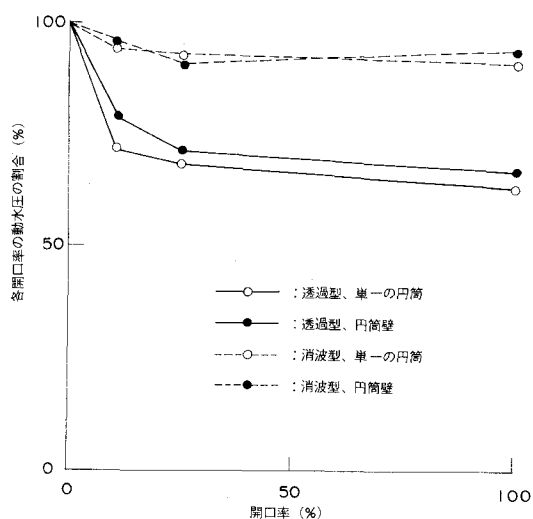


図-9 開口率の増加による動水圧合力の変化