

正員 倉田克彦

静水面上の天端高さが来襲波高に比して低いケーソンに波浪が作用する場合、越波の影響によって壁面に働く力は天端が高い場合に比して小さくなる。また越波水塊のケーソン天端面への落下によりケーソンには鉛直下向きの力が働き、ケーソンの安定性に寄与することになる。さらに越波水塊の流入によりケーソン背面の水位が上昇し、これにより静水圧の変化はケーソンの安定性に影響を及ぼすものと考えられる。本研究は以上のような現象が考えられる天端が低いケーソンの波浪に対する安定性について調べるための第一段階として、ケーソンの前・後壁と天端・底面に作用する波圧を同時計測してその特性を把握することを目的に行ったものである。本報告では天端が低いケーソンの一例として、天端面が静水面と一致している場合について述べる。

表-1 波浪条件

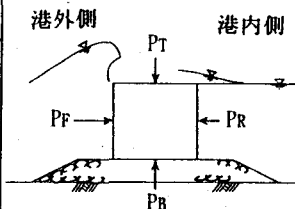
実験は東洋建設(株)鳴尾研究所にある2次元造波水路(長さ60m、幅1m)を用いて行った。ケーソンの設置水深は現地で20mを想定し、海底勾配は1/50とした。作用させる波は規則波で、周期は現地で7~14sの範囲で3種類、波高は周期により異なるが4~14mの範囲とした。実験縮尺は1/50とし、フルードの相似則に従った。本実験の波浪条件を表-1に模型値で示す。

周期 T(s)	堤前波高 H(cm)
0.99	8, 12
1.27	9, 14, 19, 22
1.98	10, 16, 22, 26

模型ケーソンには波圧計を各壁面に 3 個ずつ受圧面が壁面と一致するように設置した。またケーソンの前面および背面の水位を波高計より測定した。模型ケーソンの断面図および計測器の設置位置を図-1 に示す。測定は各計測器からの出力をデータレコーダに記録し、AD 変換して電算機で処理し、再反射波の影響が入らない有効測定時間内の連続 3~5 波の平均値を実験値とした。

表-2 波圧合力の記号の定義

波圧合力	マ-ク	略称
前面	△	PF
底面	▲	PB
背面	▽	PR
天端面	▼	PT
鉛直 (PB-PT)		FV
水平 (PF-PR)		FH



3. 波力特性

各々の壁面への波力はケーソンの安定性に関与し、互いにある位相差を持って時々刻々と変化する。前面波圧合力 (Pf) が最大となる時刻 (t_F とする) に対する各壁面に作用する最大波圧合力の位相差と波形勾配 H/L の関係を図-2に示す。ここで位相差は各壁面の波力が最大となる時刻 t_F と t_F の差を波の周期 T で除した無次元量として表した。なお、壁面に作用する波圧合力を表-2のように定義した。全ての H/L に対して壁面に作用する波力は、位相差には大小はあるが、底面(▲)→前面(△)→天端面(▼)→背面(▽)の順に作用している。 P_t (▼)および P_r (▽)の最大値は H/L が大きくなるに伴って t_F から遅れて作用している。

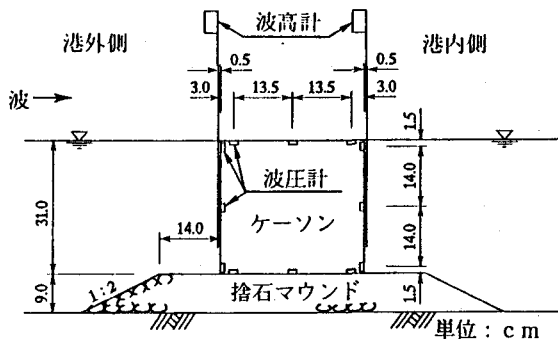


図-1 実験断面およびセンサー設置位置

図-3に各壁面に作用する波圧および波圧合力の1周期分の経時変化を H/L が大きい場合と小さい場合について例を示す。ここで、 t は経過時間であり、 η_F 、 η_R はそれぞれ堤前水位、堤背水位である。また図中の直線は P_F が最大となる時刻を示している。また波浪の作用状況を計測結果とともに目視による観察結果も併せて、 H/L の大小による特徴を以下に示す。

(1) H/L が大きい場合 (周期 $T=1.27s$ 、波高 $H=22cm$)

この場合、波はケーソン前面に砕波的に作用し、鉛直上方向へ跳ね上がり、その後、天端面上へ落下する。

波浪が来襲するとまずケーソン底面から波圧合力 (P_B) が最大となり、少し遅れて P_F が最大となる。 P_F が最大るとき η_F はまだピークに達しておらず、天端面への打ち込みも見られず、背面への流下も見られない。しかし結果では η_R は上昇しつつあるが、これは1波前の波浪による越波水が港外側へ逆流しているためである。これにより天端面および背面には波圧が作用しており、 P_T は P_B に対して 10% 以下、 P_R は P_F に対して 10% 程度作用している。このことより結果的に F_H および F_V は P_F および P_B より小さくなっている。

η_F がピークに達した頃、越波水塊の天端面への打ち込みが生じ、 P_T は t_F から $0.2 \cdot T$ 程度経過して最大となる。その越波水が港内方向へ流れ、 η_R が上昇するとともに P_R が作用し始める。この P_R が最大になる時刻は t_F から $0.3 \cdot T$ 程度である。

(2) H/L が小さい場合 (周期 $T=1.98s$ 、波高 $H=10cm$)

この場合、波はケーソン前面に重複波的に作用し、前面の水位がそれに伴って上昇し、越波水は天端面上を流れるように港内側へ流下する。

波浪が来襲すると H/L が大きい場合と同様、まずケーソン底面から波圧合力 (P_B) が最大となり、少し遅れて P_F が最大となる。しかしながら、 P_F が最大るとき η_F も最大となっており、また天端面にも波圧が作用している。このとき P_T は P_B に対して 80% 程度作用している。また P_T が最大となる時刻は t_F から $0.1 \cdot T$ 程度である。 η_R は若干上昇しているが、これは H/L が大きい場合と同様な理由であり、これにより P_R は P_F に対して数%作用している。 t_F から $0.15 \cdot T$ 遅れて越波水が堤背水域に到達し、 η_R が上昇すると、それに伴い P_R も大きくなる。これらのことより F_H および F_V は P_H および P_R に比べ小さくなり、特に F_V はかなり小さくなっている。

4. おわりに

ケーソンの波浪に対する安定性に対して打ち込み圧および背面の水位上昇による静水圧は、波が重複波的に作用する場合と砕波的に作用する場合とでは影響の度合いが違くと推測される。今後は天端高を変えて検討していく。

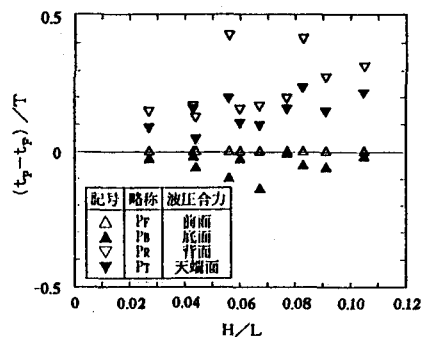
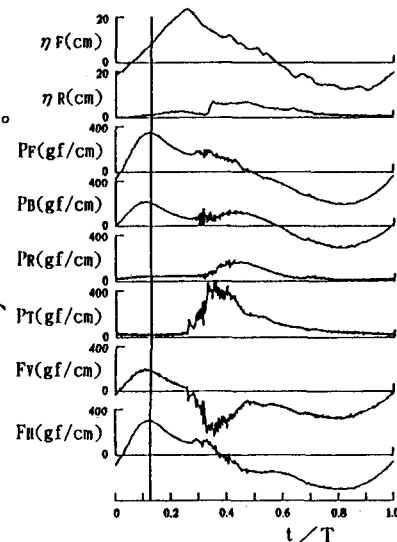
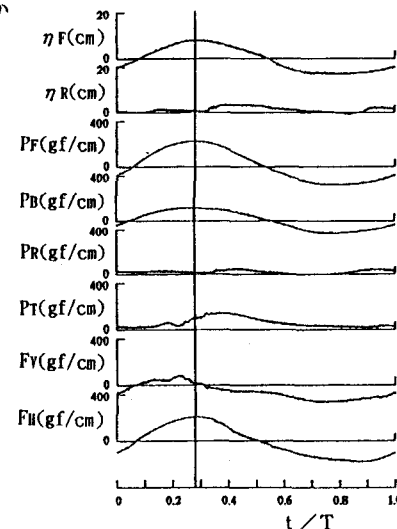


図-2 位相差と波形勾配の関係



(a) H/L が大きい場合 ($T=1.27s$, $H=22cm$)



(b) H/L が小さい場合 ($T=1.98s$, $H=10cm$)

図-3 波圧合力の経時変化