

大阪大学大学院 学生員 三木秀樹

愛媛大学工学部 正員 中村孝幸

大阪大学工学部 正員 榎本亨

1. まえがき：円柱に働く波力は表面の相度による摩擦を無視すると，図1に示すように円柱表面上において法線方向に作用する波圧 $P(\theta)$ の波の進行方向成分 $F_T(\theta)$ と揚力方向成分 $F_L(\theta)$ をそれぞれ円柱のまわりに $0^\circ \leq \theta \leq 360^\circ$ について積分して得られる波力 F_{TP}, F_{LP} で表わされるため，現地での測定が比較的容易な波圧から波力を推定する波力測定法が考えられる。本研究では $P(\theta)$ と波の進行方向に働く波力と揚力を同時に測定し，それぞれの測定値 F_T, F_L と F_{TP}, F_{LP} を比較して，上記の波力測定法の妥当性を検討し，あわせて波動場における $P(\theta)$ の θ についての（円柱まわりの波圧の）分布特性を調べた。

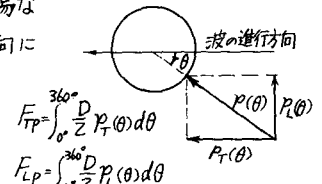


図1

2. 実験方法：用いた測定円柱は外径 $D=7.6\text{cm}$ の塩ビ， $D=2.5\text{cm}$ のアクリルパイプで，波圧・波力の測定位置は水底から各々 27.5cm ， 25.2cm ，水深は 35cm ，一定としている。波圧測定には差圧計を用い（静水時における圧力を0にして）動水圧と水面変動による圧力のみを 15° ずつ24点で測定したが，全点同時には測定できなかったため 120° おきの3点ずつ8ヶ所に分けて測定した。 $D=2.5\text{cm}$ の場合波圧測定用円柱を波峰線の方に，円柱中心間距離を4D以上，円柱中心と水槽側壁間の距離を2D以上にして波力の干渉効果が生じないように並べて設置したが， $D=7.6\text{cm}$ の場合では，水槽幅（70cm）が十分でなかったため，波圧測定用円柱を波力測定用円柱から2cm岸側に設置した。実験に用いた波は，周期 $1.0 \sim 1.8$ 秒，波高 $3 \sim 6\text{cm}$ の規則波である。波圧測定値 $P(\theta) [\text{g/cm}^2]$ は圧縮方向を正としている。

3. 波の進行方向に作用する波力について：図2～5は波の進行方向について， F_{TP} と F_T （の8ヶ所の平均値）と回折理論による波力 F_L の3つを無次元時間 t/T についてプロットしたもので

ある。理論値 F_L は波を調和解析し，各成分波に対する値を線形重ね合わせ

を行な，求めた。 F_{TP} と F_T とは，大きさは， $D=7.6\text{cm}$ ， 2.5cm とともにオーダー的に一致するが， $D=2.5\text{cm}$ の方がよく一致する。またその時間形状は一致していない。次に， F_T と F_L を比較すると，慣性力の卓越する場合である $D=7.6\text{cm}$ では， F_T と F_L は（特に図2）大きさ，時間形状とも大体一致しているが， $D=2.5\text{cm}$ の場合（ $K-C$ 数が大きく）抗力の影響が大きいため， F_T と F_L は一致しない。この場合は，慣性力が卓越しているとはいいがたく， F_T と F_L の差は抗力と考えられる。図2と図4には，円柱前面（ $-180^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$ ）で $P_L(\theta)$ を積分したもので，前面の動水圧と $sg(h+z)$ ，後面の $sg h$ の差による（サンプリング的な）波力 F_S も示している。 F_T と F_S の

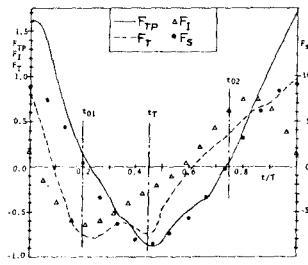


図2 $D=2.5\text{cm}$ $T=1.5\text{sec}$
 $H=6.2 \sim 6.6$ $K-C=9.4 \sim 10$

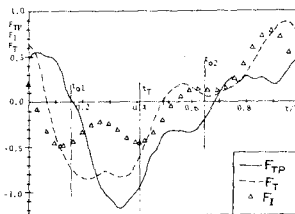


図3 $D=2.5\text{cm}$ $T=1.82\text{sec}$
 $H=6.2 \sim 6.4$ $K-C=11.6 \sim 11.9$

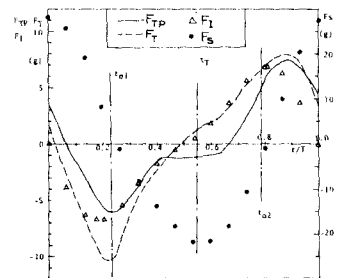


図4 $D=7.6\text{cm}$ $T=1.5\text{sec}$
 $H=6.0 \sim 6.4$ $K-C=3.1 \sim 3.3$

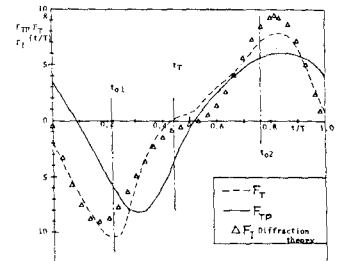


図5 $D=7.6\text{cm}$ $T=1.2\text{sec}$
 $H=6.2 \sim 6.4$ $K-C=2.5 \sim 2.6$

形状は一致しないが、それらの最大値は $D=2.5\text{cm}$ では $F_3 \approx 10F_T$ であるのに対し、 $D=7.6\text{cm}$ では $F_3 \approx 2F_T$ と徐々に減少しており、壁体構造物の波圧に近づいていく。

4. 揚力について： 図6は、揚力の測定値 F_L と $P_L(\theta)$ による F_{LP} を t/T についてプロットしたものの1例である。 F_L は不規則な変動を有しており、図中の F_L は8ケースのうちの2ケースを示しているが、8ケースとも異なる値であった。 F_L と F_{LP} は、形状、大きさとも全く異なっており、今回の測定法では揚力は、波圧から推定できない。

5. 円柱まわりの波圧分布について： 図7, 8は、波の峰時 t_c 、波峰から波谷の間の静水位時 t_{01} 、波の谷時 t_T 、波谷から波峰の間の静水位時 t_{02} の各時間における、円柱周囲の波圧の測定値 $P(\theta)$ とその理論値の分布を示している。理論値は、 F_E と同じく波の各成分波について、回折理論と複素ポテンシャル理論によってそれぞれ求めた値をそれぞれについて重ね合わせたものの、 t_c, t_{01}, t_T, t_{02} における値で、回折理論による波圧の波進行方向成分を $0 \leq \theta \leq 360^\circ$ で積分したものが F_E となる。図7においては、 t_{02} では、 $P(\theta)$ は回折理論とほぼ一致しており、図5の t_{02} で F_{TP} と F_E が、大体一致していることと対応している。この時のポテンシャル理論による波力は0で、 F_{TP} と一致せず、波圧分布も測定値と一致しない。図7 t_T では、

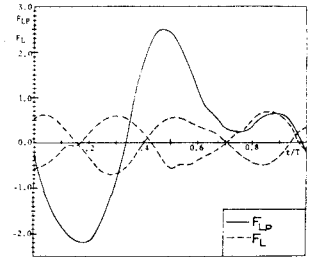


図6 $D=2.5$ $T=1.2$ $H=5.7 \sim 6.0$

2つの理論値は互いに一致し、測定値ともほぼ一致しており、図5の t_T における F_{TP} も F_E と一致しているが、図7 t_c と t_{01} では、両理論値とも一致せず、図5の t_c, t_{01} での F_{TP} と F_E とはかなりの差があり、ポテンシャル理論による波力は0で F_{TP} と一致しない。図8では、 t_{02} における波圧の測定値 $P(\theta)$ と両理論値は大体一致しており、図3の t_{02} における F_{TP} と F_E が一致するのに対応し、ポテンシャル理論による値も F_E と一致している。図8 t_c, t_{01} では、両理論値とも $P(\theta)$ に一致せず、図3の t_c, t_{01} での F_{TP} と F_E にはかなりの差がある。図8 t_T では、 $P(\theta)$ はポテンシャル理論による値と大体一致し、回折理論とは、絶対値は $P(\theta)$ の方が大きい、 θ についての形状は一致し、図3の t_T における F_{TP} と F_E も大体一致する。以上、図7, 8とも、 t_{02} における $P(\theta)$ は、両理論値ともほぼ一致している。他のケースの $P(\theta)$ と両理論値とを考慮あわせると、大口径の方が回折理論による値と比較的に一致するようであり、したがって大口径円柱においては、従来行なわれている回折理論によって算出された波力公式がよく一致するものと見られる。

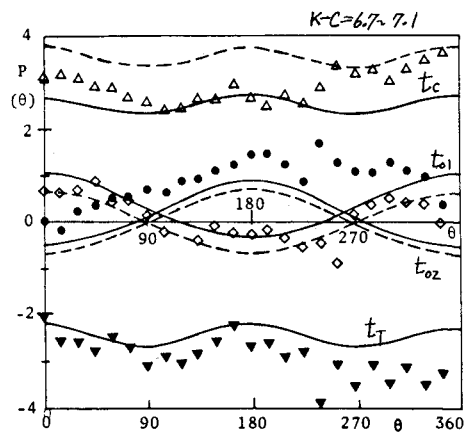


図7 $D=7.6$ $T=1.2$ $H=6.2 \sim 6.4$

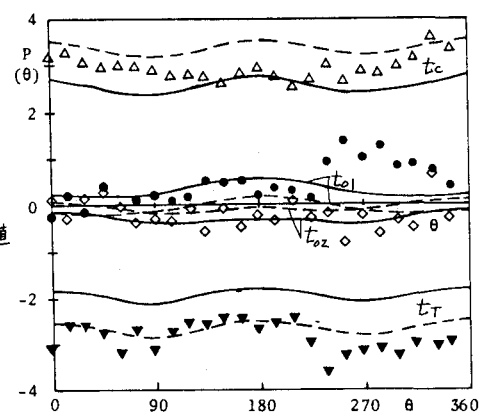


図8 $D=2.5$ $T=1.82$ $H=6.2 \sim 6.4$

註) 図2~図5で
 t_c は $t/T=0$ に
相当している。
 T は波の周期
 H は波の波高
 $K-C$ は $nm, 3$ 値
で局部 $K-C$ 数で
ある。

図7 図8の記号
 $P(\theta)$:
△ t_c の波圧測定値
● t_{01} "
◇ t_{02} "
▼ t_T "
— 回折理論
--- 複素ポテンシャル理論