

北大工 学生員 ○酒井 雅史
大成建設 正員 傅 暁
北大工 正員 佐伯 浩

§ 1 前書 寒冷地の湖水において、杭構造物等に氷が凍着する現象

がみられるが、この状態で水位の変化があると、構造物には軸方向に非常に大きな氷力が生じる。この力により、国内ではダムの取水塔が破壊されたり、また外国でも、杭構造物が持ち上げられたり、動かされたり、座屈破壊を起こしたなどの被害例が報告されている。本研究は、淡水氷と土木材料間の凍着強度を、実験で明らかにすることを目的としている。

§ 2 実験方法 実験材料は長さ 4 m、幅 1 m 程度の水槽を作り、ひとつの水槽に 20 数個の試験杭を糸で吊り下げ、数日間結氷させる。適当な氷厚になったら切り出し、押し抜き試験を行なう。押し抜き試験については、佐伯等の報告(1)を参照していただきたい。

凍着強度は次式により計算した。 $\tau_B = P / (\pi \cdot \phi \cdot h)$

τ_B : 凍着強度 (kg/cm²), P : 押し抜き荷重 (kg), ϕ : 杭径 (cm), h : 氷厚 (cm)

使用杭径は $\phi = 3, 5, 10, 15$ cm で、材料は鋼、コンクリートの新・旧

木、錆びた鋼、さらに水理構造物等に最近使用されて凍着に対して強い

INERTER160 で塗装した鋼を用いた。以下に凍着強度と杭径、氷厚、

水温、材質との関係についての実験結果を報告する。

§ 3 凍着強度と杭径との関係 図 1 のように横軸に杭径 ϕ を氷の結晶の平均径 D_{gr} で割った値をとった。淡水氷の平均径は $D_{gr} \div 2.3$ cm である。これより、鋼、塗装した鋼、コンクリートとも、 $(\pi \phi / D_{gr})$ の増加とともに凍着強度が減少し、変化の割合が小さくなり、一定値に近づく。また、塗装した鋼は他の材料より小さな $(\pi \phi / D_{gr})$ から一定値になっている。FrederKing の木杭を用いた引抜き試験においても同様の結果が得られている。このような結果になるのは、杭径が大きいと杭周の結晶の数が多くなり、結晶間では弱い部分も増え、結晶界面で破壊が起こるためである。このことから、凍着強度は杭径と氷の結晶の数・径との相対的關係で変化すると考えられる。

§ 4 凍着強度と氷厚との関係 データがばらついたが、図 2、図 3 のように氷厚が大きくなると凍着強度も若干増加しているようだが、氷厚による影響は無視できると考えられる。また、FrederKing は、 $\tau_B \propto h^{0.44}$ h : 氷厚 という式で τ_B と h との関係を示しているが、今回の結果ではほとんど一致せず、定数が小さいように思える。

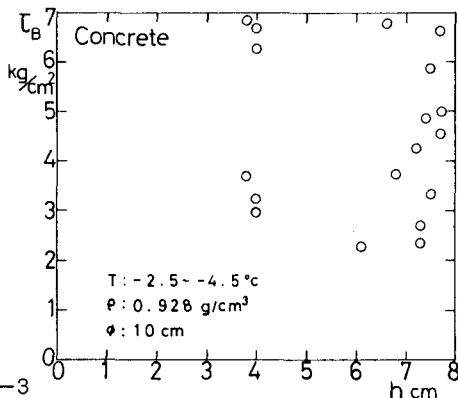
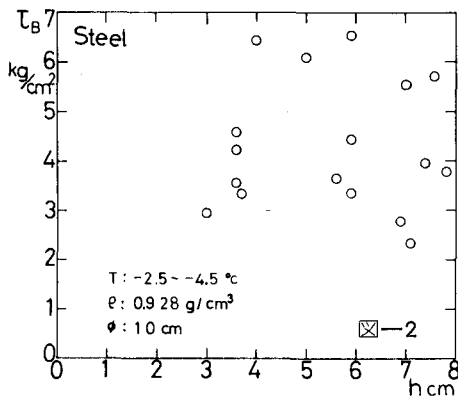
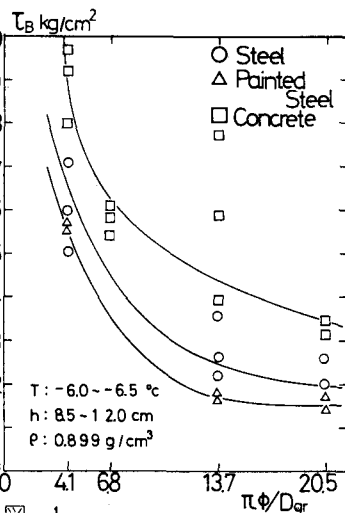
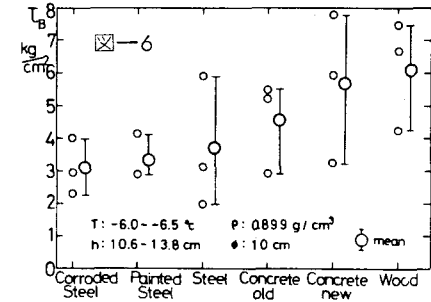
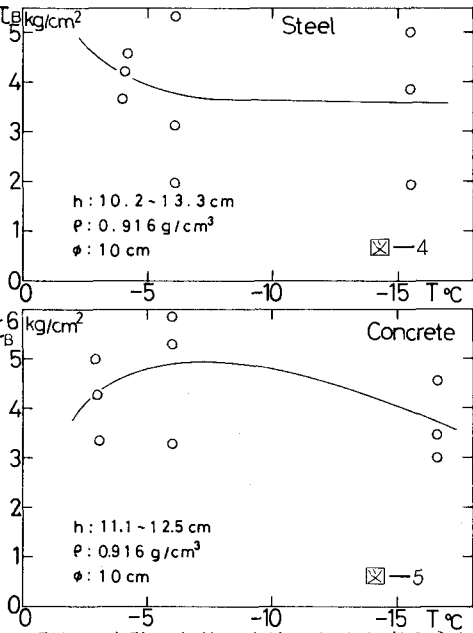


図-3

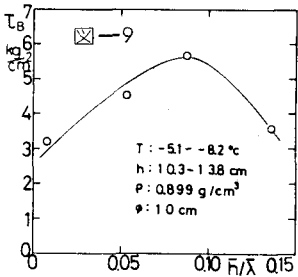
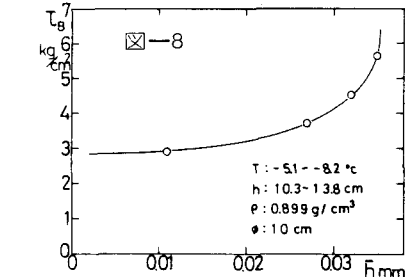
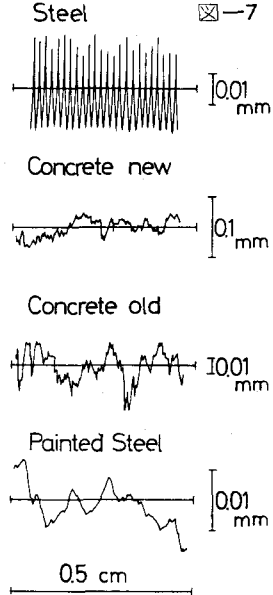
§ 5 凍着強度と水温との関係 FrederKing は水の温度分布について調べているが、筆者等は水温が低下したときの凍着強度を求めてみた。図 4、図 5 から水温が低下すると凍着強度が一定もしくは減少するが、図 5 では水温が高いときは低下により凍着強度が増加する傾向にあり、 -20°C 付近で著しく減少している。これは実験の際の温度変化に原因があったのではないと思われる。すなわち、低温であったものが、実験までに急に温度が上昇し、氷が膨張するため、杭との凍着力が減少すると考えられる。したがって、常に低温を保つには、低温室に実験装置を持ち込んで実験を行なうことが望ましい。また、水温が低下すると、凍着強度が大きすぎて、押し抜き荷重に対して氷が曲げモーメントを受け、先にせん断破壊を起こす場合があったことを付け加えておく。

§ 6 凍着強度と材質との関係 凍着強度の大きい順に材料を分類してみると、図 6 のようになった。ここで注目すべきは、海水では最も凍着強度の大きい錆びた鋼が、最も小さい凍着強度を示していることである。しかしこれは、氷の結晶の影響、実験の条件や方法のためと考えられる。また、凍着強度は杭表面の粗さに依存していることがわかっているの、杭表面の粗さを粗度計で測定し、凍着強度との関係について調べてみた。その結果を図 7 と表 1 に示す。 $\bar{h}$ は平均波高、 $\bar{\lambda}$ は平均波長、 $\bar{h}/\bar{\lambda}$ は平均波形勾配である。そして図 8、図 9 に示すように、粗さの平均波高、平均波形勾配の増加とともに、凍着強度が増加することがわかる。また、もし杭径、水温、氷厚が同じであったならば、凍着強度は杭の材質に関係なく、表面の粗さのみで決めることができるのである。

§ 7 まとめ 本研究は、淡水水の凍着強度に注目したわけだが、海水と比較した場合、大きな値が出ている。これは、淡水水の結晶のほとんどが純水であり、杭に対する接触面積が大きいためである。また、凍着強度は荷重速度に依存しないことを付け加えておく。



Material	$\bar{h}$ mm	$\bar{\lambda}$ mm	$\bar{h}/\bar{\lambda}$
Steel	0.027	0.2	0.135
Concrete new	0.035	0.4	0.0875
Concrete old	0.032	0.6	0.0533
Painted Steel	0.011	1.3	0.0085



参考文献：(1)佐伯，小野，尾崎 “Mechanical Properties of Adhesion Strength to Pile Structures”IAHR