

斜面に働く水平氷圧力の模型実験

岩手大学 学生員 ○ 武田英和

学生員 小原一哉

正 員 平山健一

1. はじめに 流水が存在する海洋では、海洋構造物が氷板と接触した時に生ずる氷圧力の大きさが構造物の設計上、非常に重要な要因となる。氷圧力は氷の厚さ・強度・移動速度、また構造物の形状や材質などで変化するが、本実験では平板に作用する氷圧力が、その幅や傾斜角によりどう変化するのかを実験的に明らかにする目的で行った。

2. 実験装置 実験に用いた水槽は170×100×50 (cm) の木製で、それに取り付けられた台車は電動モーターで駆動し台車速度は0.8m/sとした。さらに台車には平板構造物が装着しており、それに作用する氷圧力の水平分力Hと鉛直分力Vはロードセルによりそれぞれ測定される。構造物の諸元は幅Bが10・20・40 (cm)、傾斜角 α が30°・45°・60°で氷との間の摩擦係数は、ほぼ $\mu=0$ となっている。また使用模型氷は濃度0.6%の尿素水で氷板の形成にあたり毎回の実験において氷を均一なものとするためにウェット・シーディング法を導入し、さらに相似則と合った曲げ強度と弾性係数を与えるために模型氷板の強度を落とすためのウォームアップ作業を行なった。以上の操作の後、平均氷厚 $t=2.95$ cm、平均曲げ強度 $\sigma_f=0.31$ kg/cm²、弾性係数 $E=150$ kg/cm²、特性長 約 $L_c=20$ cmの氷板に対して構造物を貫入させH及びVを測定した。

3. 実験結果及び考察 構造物に働く水平氷圧力Hは氷板の破壊に必要な Breaking Force(H1)と斜面上に滑り上がった氷片を押し上げるのに必要な Rideup Force (H2)からの合力、 $H=H_1+H_2$ として生ずる。平板構造物が氷板に接触すると左右の端から1～3本の半径方向クラックが放射状に伸びる。さらに構造物が前進すると半径方向クラックの末端を結ぶように楕円状の円周方向クラックが生じ、この時点で最大荷重が測定される。

実験はクラックの形状や破壊の形態を観察し H1だけを測定するため氷板破壊時に台車をストップし斜面への這い上がりを0とする場合と、実験装置の寸法が許す限り斜面上に氷片をとどめて、H1+H2を測定したもの2通りで行なわれた。

斜面上に氷板が作用する2次元的なケースでのBreaking Force の鉛直成分V1とHは次式で与えられる。(Croasdale, 1980)

$$V1 = 0.68 \sigma_f B \left(\frac{\rho_w g t^5}{E} \right)^{1/4} \quad (1)$$

$$H = 0.68 \sigma_f B \left(\frac{\rho_w g t^5}{E} \right)^{1/4} \left(\frac{\sin \alpha - \mu \cos \alpha}{\cos \alpha - \mu \sin \alpha} \right) + \frac{z t B \rho_w g}{\sin \alpha} \left(\frac{\sin \alpha - \mu \cos \alpha}{\cos \alpha - \mu \sin \alpha} \right) \quad (2)$$

ここで、 $\rho_w \cdot \rho_i$ は水及び氷の密度、 g は重力加速度である。(2)式において第1項、第2項はそれぞれH1、H2に対応する。また、H1とV1の比 ξ は次式で表わされる。

$$\xi = (\sin \alpha - \mu \cos \alpha) / (\cos \alpha - \mu \sin \alpha) \quad (3)$$

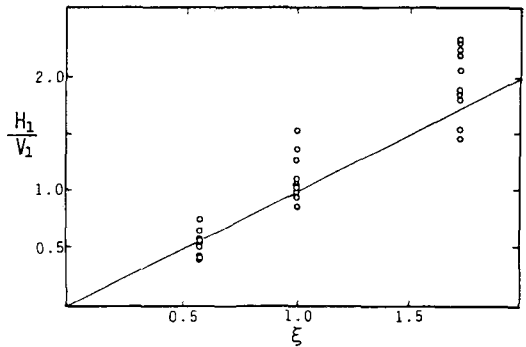


Fig-1

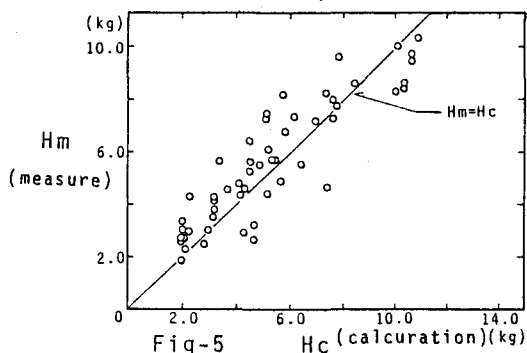
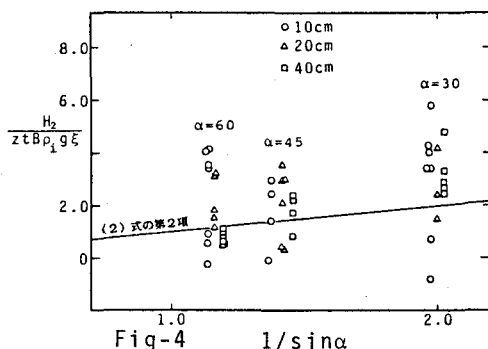
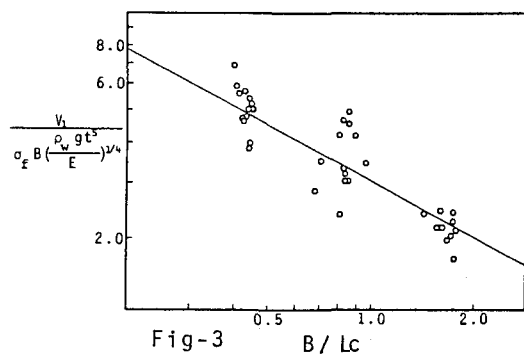
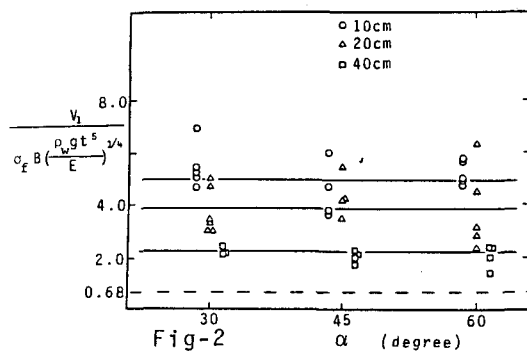


Fig-1は、実験値の $H1/V1$ と ξ の関係をプロットしたものであるが、グラフにより本実験結果についても、 $H1=V1 \cdot \xi$ の関係が成り立つ。 $V1$ の無次元値と α の関係がFig-2である。このグラフでは $V1$ の値はそれぞれの幅で傾斜角に関係なく一定の値に集中しているが、その絶対値は幅が大きいほど2次元斜面理論値との差が大きい事がわかる。これは氷板の破壊される箇所が構造物の幅よりも広い事と、構造物の幅が氷の特性長と比較して、ある程度以下になると氷板の破壊箇所の大きさは構造物の幅が多少変化してもそれほど変わらないためである。構造物の幅 B の効果はFig-3に示される。これから Breaking Force $V1$ に関する次の実験式が得られた。

$$V1 = 3.00 \left(\frac{B}{Lc} \right)^{-0.589} \sigma_f B \left(\frac{\rho_w g t^5}{E} \right)^{1/4} \quad (4)$$

ここで Lc は氷の特性長 $Lc = (Et / (12 \rho_w g))$ である。Fig-5は全水平力 H に関する実験結果から(4)式に ξ を乗じた値を差し引いて算出した Rideup Force $H2$ を(2)式にならって無次元表示したものであるが幅10cmの値にばらつきがあるものの20・40cmでは(2)式から得られる値とほぼ一致している。これは構造物の左右端から伸びる半径方向クラックにより構造物斜面上を滑り上がる氷片は構造物の幅に近いところで切断されるからで(2)式の第2項は、幅が比較的小さい構造物にも十分適用出来るものであることが明らかになった。以上のことにより全水平力として次式が与えられる。

$$H = 3.00 \left(\frac{B}{Lc} \right)^{-0.589} \sigma_f B \left(\frac{\rho_w g t^5}{E} \right)^{1/4} \xi + z t B \rho_i g \cdot \frac{\xi}{\sin \alpha} \quad (5)$$

測定された全水平方向荷重と(5)式より得られる値をプロットしたのがFig-5であり、この両者は良く一致していると判断される。