

II-70 氷圧縮強度試験結果の比較研究

岩手大学

○学生員 前田智春

学生員 伊藤正博

正員 平山健一

《 緒言 》

アラスカ大陸棚における石油、ガス資源の探査、生産、輸送やオホーツク海沿岸の漁場の保全、北海道の結氷河川の氷理構造物の耐氷対策など、人間生活の広域化によって氷の影響を考慮すべき問題が身近になってきている。耐氷構造物の設計において、もっとも支配的な要因の一つである氷の力学的性質は、氷の結晶構造、気泡量、塩分量、氷温等の氷の成長過程に関連した要因や、歪み速度、供試体寸法、断面積、載荷方向など、試験方法によるパラメーターに依存することが知られている。本研究では、北半球の結氷水域で実施されたこれまでの氷の圧縮強度試験の結果を同一の基準でまとめることにより、氷強度の特性を明らかにする事を目的とするものである。

《 調査結果及び考察 》

まず、過去に行われた圧縮試験結果を表1に示す。圧縮強度は実験場所、氷質、試験条件によって異なるため、この表には各研究者によって測定された強度の範囲を示してある。次に各パラメーターのある値を基準とした場合の、パラメーターと強度比の関係を示したものが図1から図5である。これらより導かれる各パラメーターが圧縮強度に与える効果については次のようにまとめられる。

(1) 歪み速度 (図1)

歪み速度がだいたい $1.0 \times 10^{-3} \sim 4 \times 10^{-3}$ の範囲の時に最大となり、これより小さい範囲では延性破壊 (DUKTILE FAILURE) が、大きい範囲では脆性破壊 (BRITTLE FAILURE) が卓越する。Maetaの結果だけ大きく外れているが、これは結晶径が $4 \sim 7\text{cm}$ と他のよりもかなり大きいことから、強度が最大となる時の歪み速度は氷質により変化すると考えられる。また、歪み速度が大きくなると強度は一定となる傾向が見られる。よって脆性破壊の範囲で強度を測定するのが氷強度の比較上望ましいと考えられる。

(2) 氷温 (図2) ($T = -10^\circ\text{C}$)

一般に氷温が低下すると強度は増加傾向にある事が分かる。

測定者 (発表年)	パラメーター	氷質	実験場所	強度 (kg/cm ²)
Butkovich (1959)	T, 載荷方向	海水	野外 Thule	21.0 ~ 120.1
Peyton (1963)	$\dot{\sigma}$	海水	野外 Barrow	7 ~ 35
Peyton (1966)	$\dot{\sigma}, \nu_v$, 載荷方向	海水	野外 Cook Inlet	10 ~ 23
Weeks Assur (1967)	ν_v	海水	野外	
Schwarz (1970)	$\dot{\epsilon}$, 載荷方向	海水	野外 Baltic-Sea	10 ~ 95
Vandrey (1977)	ν_v , 載荷方向	海水	野外	30 ~ 180
Moruti Tabata (1977)	T, $\dot{\epsilon}$, S, 載荷方向	海水	野外 サロマ湖	10 ~ 50
Sacki (1978)	l/d, $\dot{\epsilon}$, $\dot{\sigma}$, ρ , T	海水	野外 サロマ湖	10 ~ 80
Haynes (1979)	T	雪氷	実験室	50 ~ 400
Vilman (1938) Shandrikov	T	淡水氷	野外	10 ~ 55
Butkovich (1955)	d, T	淡水氷	野外	40 ~ 90
Korzhevskiy (1962)	ϵ	淡水氷	野外	10 ~ 80
Korzhevskiy (1966) Ptukhin	$\dot{\sigma}$	淡水氷	野外	32 ~ 80
Butlagin (1966)	d, 載荷方向	淡水氷	野外	15 ~ 85
Carter Michel (1971)	載荷方向	淡水氷 S2 氷	実験室	30 ~ 200
Carter (1972)	T	淡水氷	実験室	10 ~ 50
Hawkes Mellor (1972)	$\dot{\sigma}$, 形状	雪氷	実験室	25 ~ 90
Michel (1976) Toussaint	$\dot{\epsilon}$	淡水氷 S2 氷	実験室	25 ~ 70
Lavrov (1969)	l/d, d/d ₀ , friction, 載荷方向	淡水氷	実験室	11 ~ 86
	A, 載荷方向	淡水氷	野外 Neva 河	17 ~ 61
Wu (1974)	T, d/d ₀ , 載荷方向	海水 雪氷	実験室	30 ~ 87 35 ~ 130
Maeta (1988)	T; l/d, $\dot{\epsilon}$, 載荷方向	淡水氷	野外 岩洞湖	

表1 各測定者による圧縮強度試験結果

T : 氷温
l/d : 供試体の長さとの比
 $\dot{\epsilon}$: 歪み速度
 $\dot{\sigma}$: 応力速度

S : 塩分濃度
 ν_v : フライング体積
 ρ : 密度
A : 断面積

(3) 供試体高さと直径の比 (l/d) (図3) ($l/d = 2$)

l/d の増加とともに強度は減少しているが、それ以上になるとほぼ一定の値に近づく事が分かる。氷と比較するためにコンクリートの場合を示したがほぼ同様の結果を示している。この高さと直径の比の増加による強度の減少は、供試体両端部における氷とクロスヘッドの間の摩擦、供試体内部に含まれる材料的欠陥の確率的増加のためと思われる。よって 2.0 ~ 3.0 の範囲を用いることが望ましいと考えられる。

(4) 結晶径に対する供試体寸法の比 (図4) ($d/d_{cr} = 30$)

圧縮強度は供試体寸法だけではなくむしろ結晶径と供試体寸法の比に依存することが知られている。供試体中に含まれる結晶数が多いほど結晶粒界に沿ってクラックが伝達し、逆に結晶数が限界値以下のときはクラックは結晶内部で形成されるため大きな応力が必要とされる。よって図より d/d_{cr} が 25 より大きくなると強度の減少は見られなくなるから、供試体寸法には無関係となると考えられる。Butiagin の結果は氷温が d/d_{cr} による強度の減少率に影響を与える事を示している。

(5) ブライン体積 v_b (図5) ($\sqrt{v_b} = 0$)

淡水氷にはない海水特有のものにブラインといわれるものがある。ブラインは塩水が濃縮されて海水に取り残されたもので温度、塩分濃度、冷却速度によりその大きさは変化することが分かっている。図はブライン体積が増加すると強度は減少する事を示している。

(6) 載荷方向の強度比 (表2) ($\sigma_H = 1$)

Schwarz の結果だけ σ_H の方が大きくなっている。これは海水結晶構造に違いがあると考えられる。 σ_H と σ_V の比はほぼ 1 : 1.1 ~ 3.0 の範囲にある。

(7) 形状による強度比 (表3) (円柱供試体 = 1)

Maeta の測定結果しかないが、円柱対角柱の比は 1 : 0.92 であり、コンクリートの場合はこの比は 1 : 0.93 となりほぼ同じ結果を示している。これは供試体形状の変化により、供試体内部の応力分布が異なり、角柱のほうが応力が集中し易い事が推定される。

《 結論 》

本研究により各パラメーターの基準化を行った結果、圧縮強度は各パラメーターの関数として表示され、また異なった試験条件で行われた氷強度試験結果の比較が可能となった。

	円柱 : 角柱
Maeta	1 : 0.93

表3 供試体形状による強度比

表2 載荷方向による強度比

σ_V : 氷板面に対し垂直方向に載荷
 σ_H : 氷板面に対し水平方向に載荷

測定者	$\sigma_V : \sigma_H$
Butkovich	3 : 1
Peyton	3 : 1
Hirayama	1.2 : 1
Vandrey	2 : 1
Schwarz	0.8 : 1
Noguti, Tabata	2 : 1
Carter, Michel	2 : 1
Lavrov	1.24 : 1
Maeta	1.28 : 1

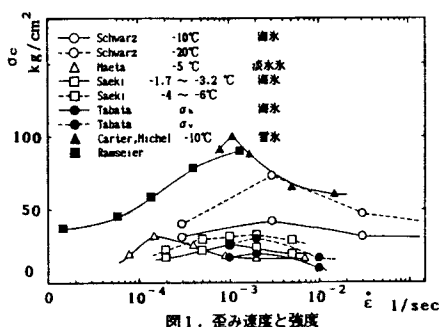


図1. 歪み速度と強度

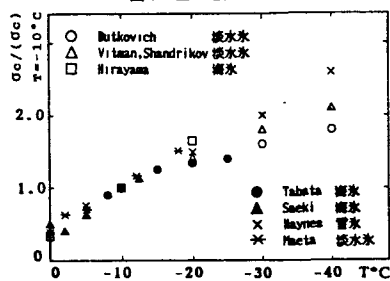


図2. 氷温と強度比

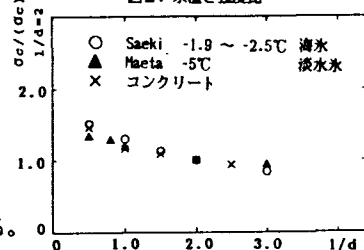


図3. l/d と強度比

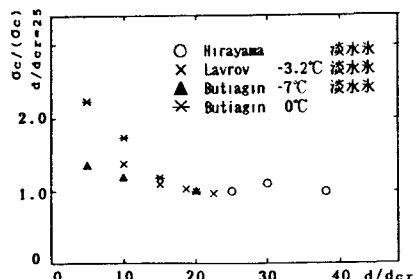


図4. d/d_{cr} と強度比

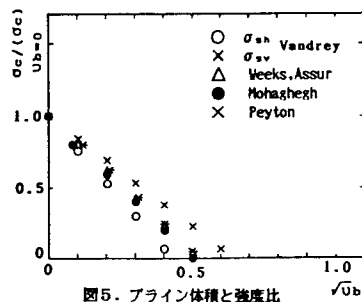


図5. ブライン体積と強度比