

海氷盤移動による石材の摩耗に関する実験的研究

Abrasion of Stones Due to a Movement of Sea Ice Sheet

花田真州*・大島香織**・氏平増之***・山下俊彦***・佐伯 浩***・福原功樹****

M. Hanada, K. Oshima, M. Ujihira, T. Yamashita, H. Saeki and Y. Fukuhara

The surface of concrete structures is subject to abrasion when they are constructed in sea water where ice movement is active. Abrasion occurs due to the friction force between ice sheets and the structure caused by the ice force working on the structure.

Over the past ten years we have been conducting experiments with many types of concrete and their possible coating materials to find their characteristics of abrasion due to movements of ice sheets. In this experiment we calculated the abrasion rates (average amount of abrasion per 1 km movement of ice sheets) of various kinds of stone needed to estimate the abrasion amount due to movements of ice sheets which contain sand particles or not, and we also clarified the mechanism of abrasion.

Keywords : abrasion, sea ice, offshore structure

1. はじめに

海氷は、海流や潮汐によって水平及び鉛直上下方向に移動する。したがって、オホーツク海、ボーフォート海、ベーリング海それにボスニア湾といった、冬期間結氷する海域や流水の襲来する海域に建設される海岸・海洋構造物の表面には、氷の移動にともなって摩擦力が生じ、構造物表面が摩耗する。近年、摩耗を防止するため河口部橋梁橋脚を石材で被覆する例がみられ、また景観を損なわないようにするためにもコンクリート製海岸・港湾構造物表面を石材で被覆することが考えられる。海氷の移動による石材の摩耗速度（氷盤が1km移動したときの摩耗量）は一昨年報告したが¹⁾、今回は、その後の研究成果のまとめと、氷盤中に砂が含まれている場合の各種石材の摩耗速度を実験的に調べ、過去に行われたコンクリートや合成材料の実験結果と比較する。

2. 実験方法

実験には、わが国でよく用いられる花崗岩、凝灰岩、砂岩、それに3種類の安山岩〔輝石安山岩、石英安山岩A、石英安山岩B〕の計6種類の石を使用した。これらの採石場からわけてもらった岩石を石材店で指定の大きさに成形してもらい、それを供試体として使用した。これらの石材は北欧や北米といった寒冷地諸国でもよく用いられているものである。使用した摩耗試験装置は写真1に示す滑動式摩耗試験装置である。これは、往復運動をしている氷盤の上に供試体を押しつけて摩耗状態を再現させるものである。氷温(T)は-10℃、氷盤と供試体との接触応力(σ)は10kgf/cm²、相対速度（氷盤の移動速度）は5cm/secとし、海氷の塩分の重量濃度は3%程度で行った。摩耗速度は石材のどういう性質によるものかを調べるため、摩耗石粉の粒度分析と岩石の一軸圧縮強度試験を行った。砂を混ぜた氷に用いた砂の中央粒径(d)は0.14mm、重量濃度(w)を0.4%とした。これは、オホーツク海に含まれた固形分の調査結果²⁾に基づいたものである。

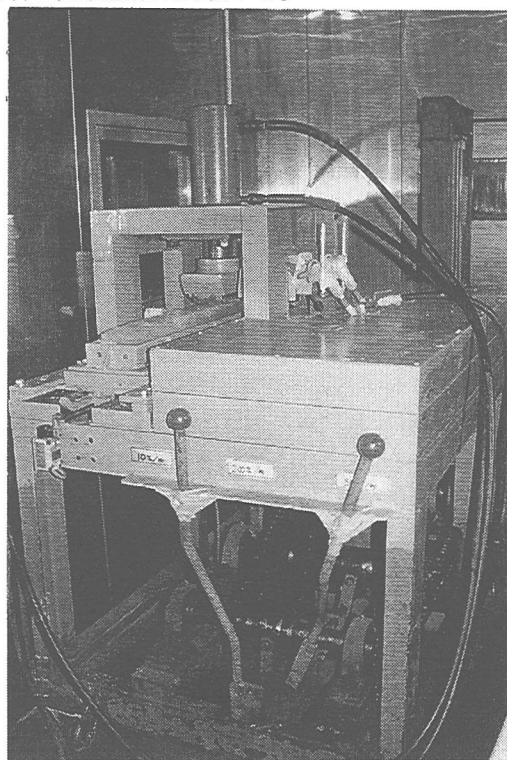


写真1 摩耗試験装置

* 正会員 鹿島建設(株)札幌支店土木部

** 学生会員 北海道大学大学院工学研究科

*** 正会員 北海道大学大学院工学研究科 (060 札幌市北区北13条西8丁目)

**** 正会員 (社)寒地港湾技術研究センター

表1 各種材料の摩耗速度

海水	摩耗速度S (mm/km)		$S_{(w=0.4)}/S_{(w=0)}$
材料	$\sigma_v=10\text{kgf/cm}^2, T=-10^\circ\text{C}$		
	w=0(%)	w=0.4(%) d=0.14mm	
砂岩	0.0050	0.0121	2.42
花崗岩	0.0216	0.0392	1.81
凝灰岩	0.0251	0.0527	2.10
輝石安山岩	0.0084	0.0090	1.07
石英安山岩A	0.0065	0.0299	4.60
石英安山岩B	0.0177	0.0540	3.05
コンクリート	0.0178	0.0320	1.80
鋼	0.0030	0.0137	4.57
LDPE	0.0022	0.0213	9.68
Zebron	0.0078	0.0156	2.00

σ_v : 接触圧力、T: 氷温、w: 砂の重量濃度、d: 砂の中央粒径

表2 石材の物性

材料	密度	σ_c	歪	ヤング率
	g/cm ³	kgf/cm ²	$\times 10^{-3}$	$\times 10^5$ kgf/cm ²
砂岩	2.59	-	-	-
花崗岩	2.65	725	10.3	1.21
凝灰岩	1.69	210	9.2	0.29
輝石安山岩	2.61	1340	8.9	1.82
石英安山岩A	2.70	1550	9.0	-
石英安山岩B	2.80	482	8.4	0.50

σ_c : 一軸圧縮強度

3. 実験結果と考察

まず、砂が含まれない海水による摩耗実験結果について述べる。このときの摩耗速度を表1に示したが、これは一昨年に発表済み¹⁾である。各石材の摩耗速度は大きく異なっているが、伊藤等³⁾によると、コンクリートの摩耗速度は一軸圧縮強度や骨材の違いには無関係である。各石材の摩耗速度の大小は岩石の生成の仕方や結晶構造、成分、強度等の違いによるものと考えられる。

そこで岩石の一軸圧縮強度試験を行った。ただし、砂岩は供試体をとることができなかった。供試体の大きさは、石英安山岩が直径40mm、その他が直径50mmの円柱形で、高さはそれぞれ直径の2倍である。変位速度は1mm/min。試験の結果（密度、圧縮強度、破壊時の歪、ヤング率）を表2に示す。

一軸圧縮強度と摩耗速度の関係を図1に示す。これを見ると、一軸圧縮強度が大きいほど摩耗速度は小さくなっている。したがって、石材の摩耗速度は、コンクリートの場合と異なり、強度に依存していると考えられる。また石材の密度は、凝灰岩以外それほど大きく異なることはなく、摩耗速度との相関は見られなかった。

次に、レーザー回折法を基本原理とする粒度分布測定器を使って、摩耗試験中に出てくる石材の削り屑の大きさとその分布を調べてみた。その結果を図2に示すが、棒グラフは粒径区間分布、曲線は粒径加積曲線を表す。また、中央粒径 (D_{50}) も示す。これを見ると、凝灰岩の粒径だけは明らかに大きく、他のものの粒度分布は比べてみてもあまり差はなかった。中央粒径を比べてみると、石英安山岩が一番小さく、輝石安山岩、花崗岩、砂岩、凝灰岩と大きくなっていることがわかった。中央粒径と摩耗速度の関係を調べてみても相関は見られなかった。

以上より、石材の摩耗速度は、粒径や密度ではなく岩石の圧縮強度に依存していると考えられる。

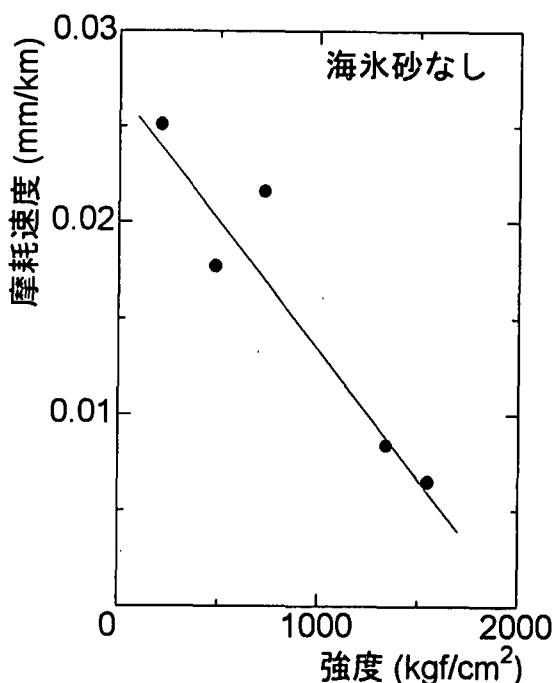


図1 砂の混じらない海水による石材の摩耗速度と岩石の一軸圧縮強度との関係

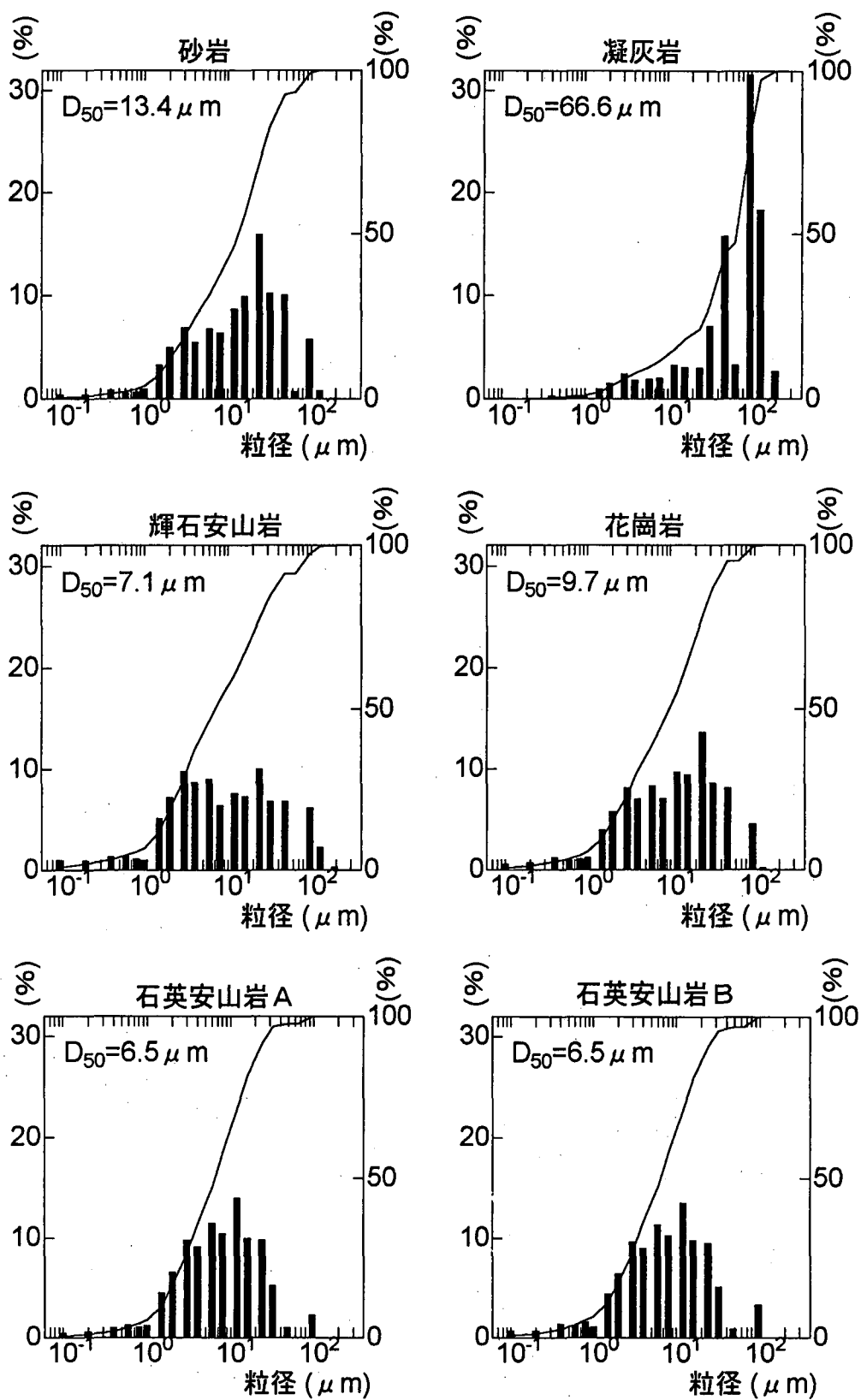


図2 削り屑の粒径分布と粒径加積曲線

次に、砂混じり氷による石材の摩耗実験を行った。鋼や合成材料で摩耗実験を行うと供試体表面にわずかに存在する凹凸のため、摩耗初期過程においては摩耗速度が大きくなることが報告されているが⁴⁾、石材には初期表面の凹凸がないことが明らかとなっているので¹⁾、摩耗距離は2~3kmとした。

砂混じり海水による各種石材の摩耗距離と摩耗量の関係を図3に示す。また、最小二乗法で近似した直線の傾きから摩耗速度を求め、砂を含まない場合のそれと併記したものが表1である。これを見ると、石英安山岩や凝灰岩、花崗岩の摩耗速度が大きく、同条件で実験をおこなったコンクリートのそれと似た値をとっている。一方、砂岩と輝石安山岩の摩耗速度は、砂を含まないときと同様に小さい。砂を含んだ氷による石材の摩耗速度と含まないときのそれとの比($S_{(w=0.4)}/S_{(w=0)}$)は、各石材によってばらつきはあるものの、平均すると2.5倍、最高で4.6倍であった。さらに、表1を見ると、砂を含んだ場合、砂岩や輝石安山岩は、鋼や合成材料と同等かそれ以上の耐摩耗性を有していることが明らかになった。これは、鋼や合成材料の摩耗速度は、氷に不純物が入っていなければ小さいが、砂を含むと一気に4~9倍の摩耗速度となってしまうためである⁵⁾。実際の氷のなかには不純物が含まれることなどを考えると、適当な石材を選べば、コンクリートはもちろんのこと鋼や合成材料と比べても遜色なく耐摩耗材として利用できることが明らかになった。

石材の一軸圧縮強度と砂混じり氷による摩耗速度の関係をみてみると(図4)、強度が強いほど摩耗速度が小さく、耐摩耗性に優れていることが明らかになった。これは、砂を含まない場合と同様な結果であった。

4. まとめ

1. 砂を含まない海水による摩耗速度と岩石の一軸圧縮強度との関係を調べた結果、一軸圧縮強度が大きいほど摩耗速度は小さくなることが明らかになった。これはコンクリートとは異なる結果である。砂を含んだ海水による摩耗速度と岩石の一軸圧縮強度の関係をみてみても同様な結論を得た。
2. 石材の密度や摩耗石粉の粒度分布と摩耗速度との相関はみられなかった。
3. 砂混じり海水による各種石材の摩耗距離と摩耗量の関係から摩耗速度を求め、砂を含まない場合と比較した。その結果、石英安山岩や凝灰岩、花崗岩の摩耗速度が大きく、同条件で実験をおこなったコンクリートのそれと似た値をとっていた。一方、砂岩と輝石安山岩の摩耗速度は格段に小さい。これは砂を含まないときの摩耗速度の傾向と同様であった。

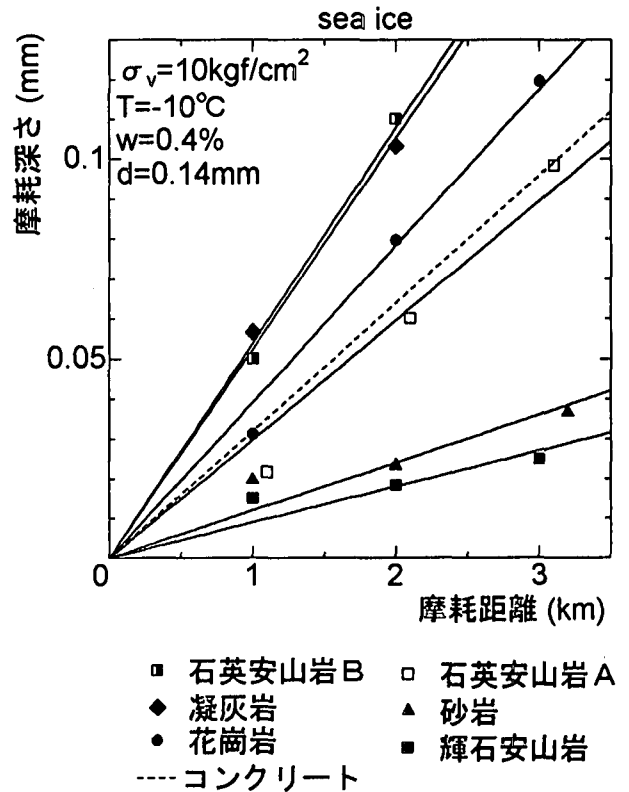


図3 砂混じり氷による石材の摩耗

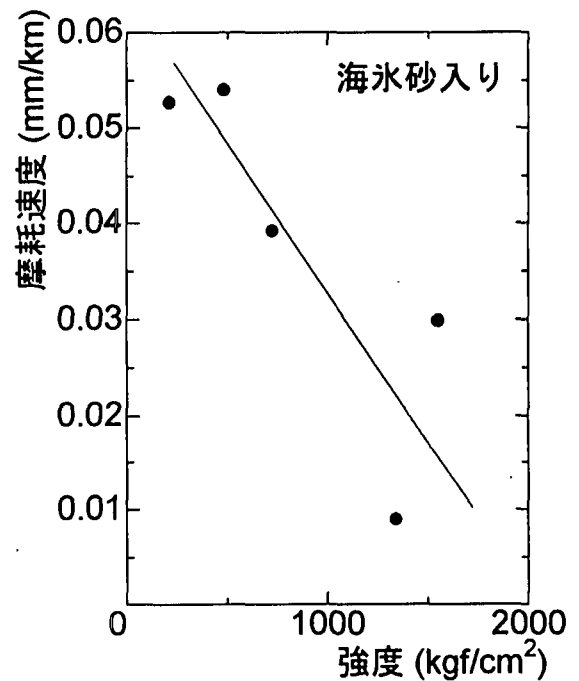


図4 砂混じり氷による石材の摩耗速度と岩石の一軸圧縮強度との関係

4. 砂を含んだ氷による石材の摩耗速度と含まないときのそれとの比($S_{(w=0.4)}/S_{(w=0)}$)は、各石材によってばらつきはあるものの、平均すると 2.5 倍、最高でも 4.6 倍であった。
5. 砂を含むか否かによらず、砂岩や輝石安山岩は、コンクリートよりも耐摩耗性に優れており、またこれらの石材は、砂を含んだ場合、鋼や合成材料と同等かそれ以上の耐摩耗性を有していることが明らかになった。したがって、適当な石材を選べば、コンクリートはもちろんのこと鋼や合成材料と比べても遜色なく耐摩耗材として利用できることが明らかになった。

参考文献

1. 花田真州他：海水盤の移動による自然石の摩耗に関する研究、海洋開発論文集、Vol.11、pp229-234、1995
2. 伊藤喜栄他：砂を含んだ海水の移動による種々の高強度コンクリートの摩耗に関する研究、海洋開発論文集、Vol. 5、pp113-117、1989
3. 伊藤喜栄他：海水による各種コンクリートの摩耗特性、海洋開発論文集、Vol. 3、pp155-159、1987
4. 浅井有一郎他：海水による各種コンクリートの摩耗に関する研究、海洋開発論文集、Vol. 2、pp85-89、1986
5. 伊藤喜栄他：砂を含んだ海水盤の移動による種々の建設材料の摩耗に関する研究、海洋開発論文集、Vol. 6、pp167-170、1990