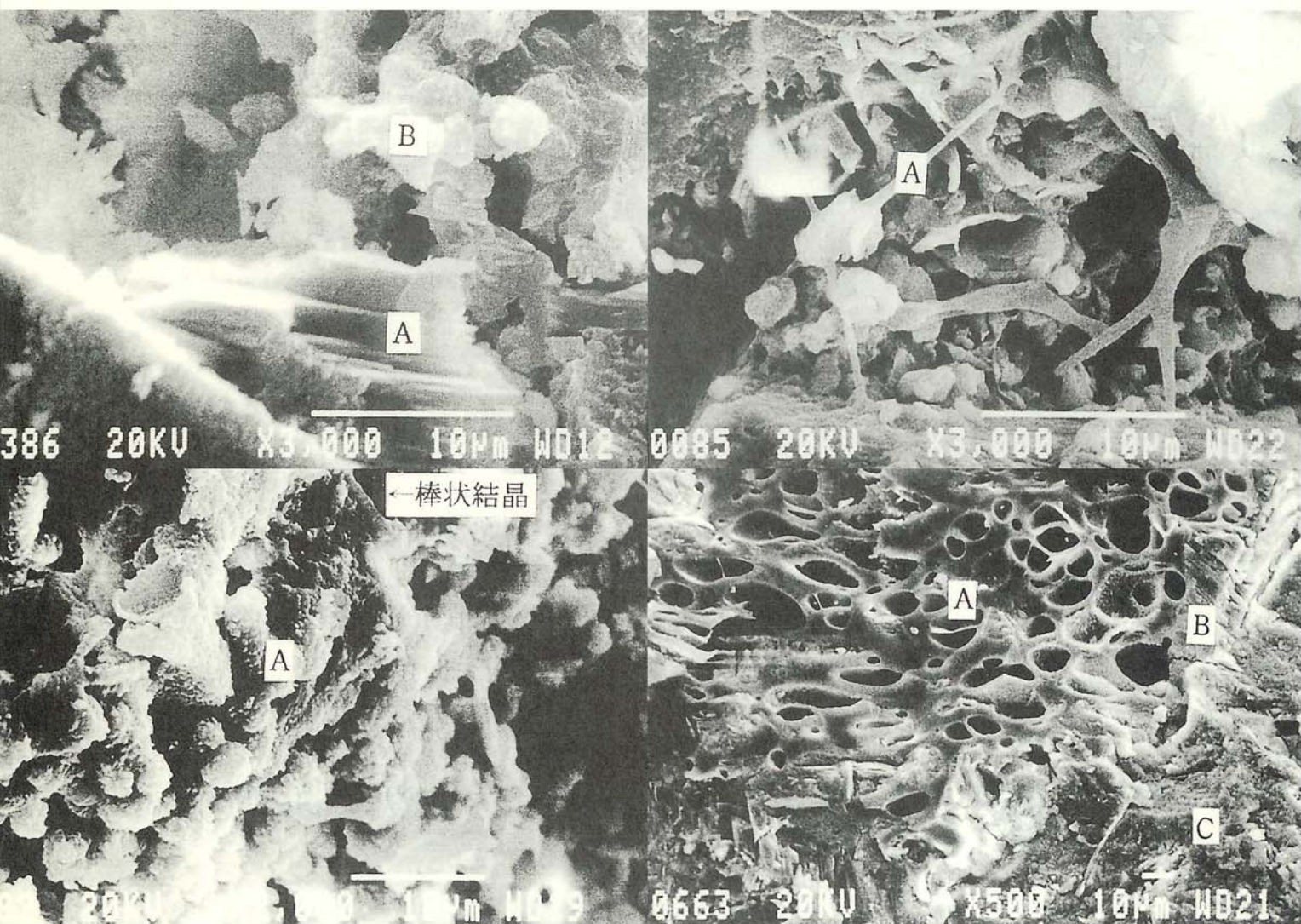


北見工業大学  
地域共同研究センター  
研究成果報告書  
第7号

MEMOIRS OF THE COOPERATIVE RESEARCH CENTER  
KITAMI INSTITUTE OF TECHNOLOGY

No.7  
2000



北見工業大学地域共同研究センター

**表紙写真の説明：**1996年に十勝川拡幅工事に伴い取り壊された十勝大橋の実験片の走査型電子顕微鏡写真。（本成果報告書1ページ参照）

## 目 次

### 客員教授論文

#### 十勝大橋コンクリートの特性

太田利隆（（財）北海道コンクリート技術センター）

．．． 1

### 共同研究

#### 区分 B

##### 海水の作用を受けるコンクリートの凍害機構と対策

鮎田耕一・太田利隆・王欣．．． 7

##### 極域の海水および氷河氷床の研究

榎本浩之・佐々木雅也・舘山一孝・五十嵐保．．． 13

##### 橋梁の健全度診断と総合評価に関する研究

大島俊之・三上修一・山崎智之・丹波郁恵・本間美樹治・伊藤治．．． 19

##### 網走湖の水質調査研究

佐渡公明・吉川泰弘・目黒春彦．．． 25

##### ホローカソード型プラズマジェットトーチの開発と応用

二俣正美・倉本宏．．． 29

#### 付録：平成 11 年度共同研究課題一覧

．．． 33

### ※備考

区分 A：民間機関等から研究者と研究経費を受け入れるとともに、大学も研究経費の一部を負担し、このため別途国から共同研究経費の配分を受けた研究。

区分 B：民間機関等から研究者と研究経費を受け入れるが、大学は研究経費を負担しないか、負担しても別途国から共同研究経費の配分を受けなかった研究。

区分 C：民間機関等から共同研究者のみを受け入れる研究。



# 十勝大橋コンクリートの特性

Properties of concrete in a 56-year-old Reinforced Concrete Bridge

客員教授 太田利隆 ((財)北海道コンクリート技術センター)

Toshitaka OHTA (Hokkaido Concrete Technical Center)

Key Words: *Durability, Compressive Strength, Carbonation, Reinforced Concrete Bridge*

## 1. まえがき

十勝大橋は橋長 390m(10.5+9×41.00+10.5)、幅員 18m(2×2.7+2×3.5+5.6)の鉄筋コンクリートゲルバー橋で 1941 年 9 月に完成した。半世紀経過して橋自体は極めて健全であったが、十勝川拡幅のため新橋が建設され 1996 年取り壊された。建設時に行った調査、設計、施工に関する詳細な論文が発表されているばかりでなく論文の基となった生データも整理保存されている貴重な橋である<sup>1)</sup>。解体を機会に、材料試験、非破壊試験、主桁コンクリートの長期暴露試験を行った。本文はコンクリート試験に関する報告である。

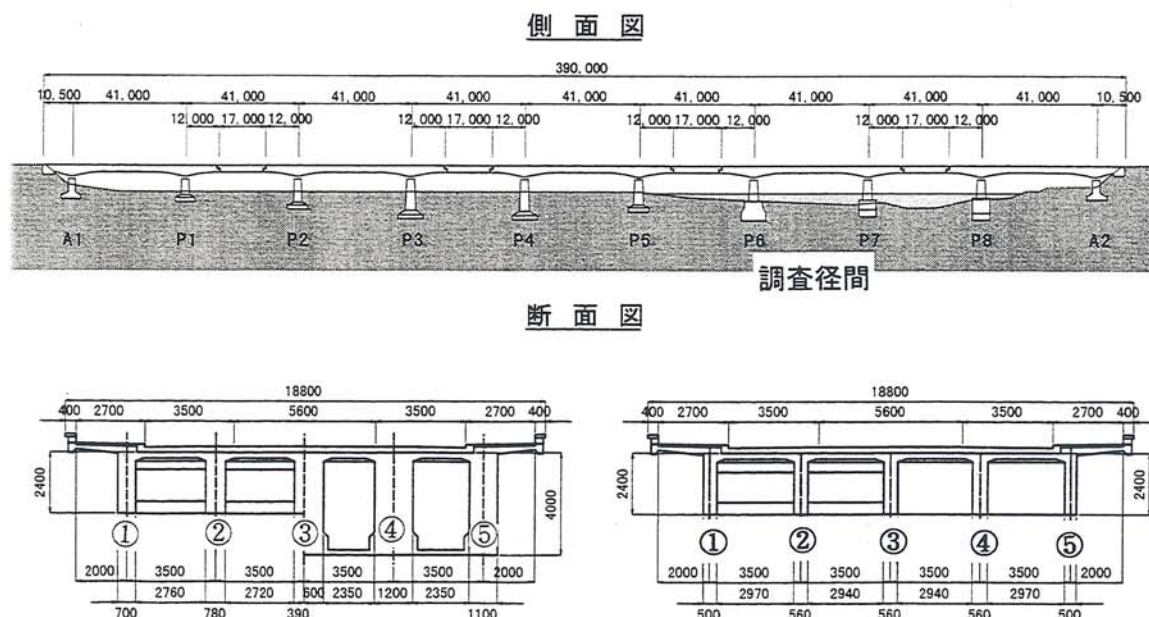


図1:十勝大橋

## 2. 圧縮強度

コンクリートの配合を表1に示す。当時の仕様書によれば配合は容積によりセメント1:砂2:砂利4で、コンクリート強度を 13.7N/mm<sup>2</sup>としている。橋脚、橋台はほぼ仕様書に準じている。一方、桁は許容応力度を 6.4N/mm<sup>2</sup>とし、材令28日の圧縮強度を3倍の 19.17N/mm<sup>2</sup>、更に現場作業上の悪条件を考慮して 15%増 22.0N/mm<sup>2</sup>としている。単位量は Abrams の W/C 理論に基づいて決定している。

表2はコンクリート強度である。橋脚と橋台は同じ配合にも拘わらず28日強度に大きな差が存在した。コア強度はそれぞれ 39.5N/mm<sup>2</sup>、48.2N/mm<sup>2</sup>と建設時強度の影響をそのまま引き継ぐ結果となった。供用期間中の強度の伸びは 1.79 倍である。一方、桁は橋脚、橋台より W/C で 5%程度低いにもかかわらず、28 日強度は同等又は低くなっている。原因としてセメント強度の変動がある。十勝大橋が建設されている当時、日本では粗悪炭の使用によりセメント品質の低下が発生し、橋脚、橋台が建設された 1937 年の強度を 100%とすれば、桁コンクリートが打設された 1939 年の強度は 70-80%に低下している。原因は C<sub>3</sub>S の減少、C<sub>3</sub>A の増加、粒度の粗大化といわれる<sup>2)</sup>。床版コアから採取したセメントペーストの化学分析によれば C<sub>3</sub>S 41%、C<sub>2</sub>S 36%、C<sub>3</sub>A 9%、C<sub>4</sub>AF 9%、CaSO<sub>4</sub> 3%と C<sub>2</sub>S 量が多いセメント（中庸熱セメントに近い）となっている。

平均コア強度は 46.10N/mm<sup>2</sup> と強度の伸びは2倍となり、橋脚、橋台より大きくなっている。外桁は中桁よりも強度が低い、品質のばらつき、供用期間中の暴露条件の違いによるかは不明である。

表1: 配合表

示方配合	設計基準強度 (N/mm <sup>2</sup> )	配合比(容積) C: S: G	W/C (%)	単位量 (Kg/m <sup>3</sup> ) C: S: G
桁・床版	22.0	S/G=0.3/0.7	52	330: 559: 1365
橋台	13.7	1: 1.92: 3.83	55-60	300
橋脚	13.7	1: 1.92: 3.83	55-60	300

表2: コンクリート圧縮強度

	① 28 日強度 (N/mm <sup>2</sup> )	② コア強度 (N/mm <sup>2</sup> )	弾性係数 ( $\times 10^4$ N/mm <sup>2</sup> )	②/①
橋脚(気中)		38.34		
(乾湿)		40.06		
(水中)		40.02		
(全体)	22.10 (3.81)	39.50 (5.76)		1.79
橋台(土中)	27.00 (3.30)	48.20 (5.75)		1.79
桁1(上流外桁)		42.7		
桁2		54.1		
桁3		50.3		
桁3(上下)		46.8		
(全体)	23.00 (3.60)	46.10 (8.65)	3.82 (0.746)	2.00

[ ]標準偏差

図2は既設コンクリート橋のコンクリート圧縮強度と標準偏差の関係である<sup>3)</sup>。内陸橋のコンクリートにはほとんど強度増進はないが、海岸橋は潮風の影響を受け、強度が大幅に増進するものが存在している。十勝大橋のコンクリートは W/C が約 5%低い、内陸にあるにもかかわらず、強度が高いこと、標準偏差が小さいことが特徴となっている。断面が大きく内部コンクリートが長い間湿潤に保たれたこと、施工が特に入念に行われたことなども一因と考えられる。

### 3. 耐凍害性

表3は凍結融解試験結果である。気泡間隔係数 432-899  $\mu$ m、硬化コンクリートの空気量 0.45-2.30%は耐凍害性を期待出来るものではない。主桁コンクリートの場合、凍結融解回数 30 回で完全に膠着



力を失っていた。同時代に建設された内陸にある鉄筋コンクリート橋の試験では凍結融解回数 25 以下－83回で崩壊している。十勝大橋は圧縮強度が異なるものの(図 2)同じような結果がえられた。橋脚、橋台など供用期間中に水に接する機会が多いコンクリートは凍結融解 200 回まで試験したが、耐久性指数 21%は凍結融解抵抗性をほとんど期待できないことを示している。

十勝大橋の設計施工にあたってはコンクリートの耐凍害抵抗性を全く期待せず、凍害を受けやすい地覆部笠石、縁石には吸水量 0.35%以下の十勝御影石を使用した。

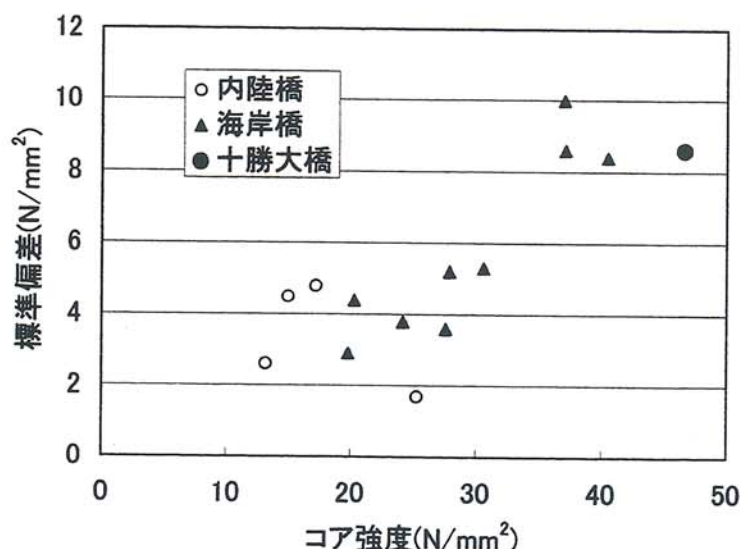


図2: 既設鉄筋コンクリート橋のコア強度と標準偏差(建設時期 1926-1937 年、材令 31-58 年)

表3: 凍結融解試験結果(深さ100mm)

	空気量 (%)	気泡間隔係数 ( $\mu$ m)	細孔容積(ml/g) 100nm-1 $\mu$ m	耐久性指数 (%)
主桁	0.72-1.62	555-806	0.0164	6 未満
橋脚(水中)	0.45	603	0.0094	21
橋脚(乾湿)	0.65	432	0.0109	21
橋脚(気中)	0.50	440	0.0204	6
橋台	2.30	604	0.0075	21

#### 4. 中性化

中性化試験結果を表4に示す。中性化深さは桁1が大きい、付着した雪の凍結融解により、コンクリートの組織が弛緩したためと考えられる。気中の桁や橋脚の中性化深さは 4.7-17.6mm であり、水分に接する機会が多い橋脚、橋台では、中性化深さは 0.7-10.0mm と明らかに差が生じている。

図3はX線回折によるコンクリート表面からの深さと生成物の相対ピーク強度である。バテライトは橋脚(乾湿)と桁1に生成しており、カルサイトの多いコンクリートに存在する。Stark らは低モル比の C-S-H やモノサルフェートの炭酸化により、バテライトは生成すると報告している。即ち、炭酸化はポルトランダイトにとどまらないことを示している<sup>4)</sup>。

ポルトランダイトの生成量は桁1、橋脚(気中、乾湿)において、深さ 50mm で極大となっている。内部からの  $\text{Ca}^{++}$  の移動と析出があったことを示唆している。

表4: 中性化試験結果

	中性化深さ(mm)			中性化速度係数 (mm/year <sup>1/2</sup> )	
	最小	最大	平均	最大	平均
床版	6	25	14.4	3.3	1.9
桁3	1	15	4.7	2.0	0.8
桁2	10	22	17.8	2.9	2.4
桁1	20	32	26.4	4.3	3.5
橋脚(気中)	1	20	7.1	2.7	1.2
橋脚(乾湿)	5	16	10.0	2.1	1.3
橋脚(水中)	3	20	8.9	2.7	0.9
橋台(土中)	0	3	0.7	0.4	0.1

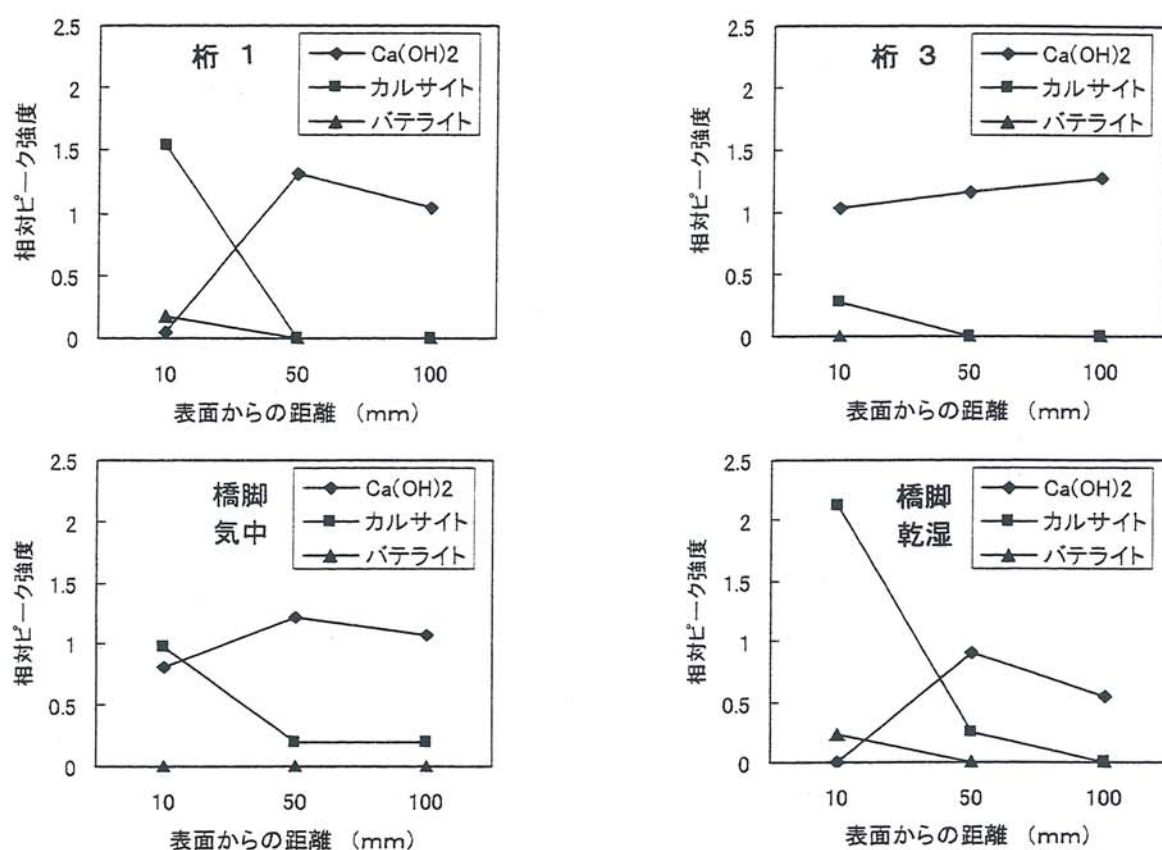


図3: 表面からの深さと生成物の相対ピーク強度(XRD)

## 5. 生成物

特徴的な SEM(走査型電子顕微鏡)像及び元素スペクトルを写真1-4に示す。深さ50mmでは、水酸化カルシウムは板状で積層構造を示し、C-S-HはTypeⅢの球状を呈している(写真1)。しかし、表層10mmでは、炭酸化に伴うC-S-Hの各段階における劣化を観察することが出来る(写真2-3)。これらの観察から、C-S-Hは炭酸化により、シリカとアルミナを主成分とする結晶に変化することが明らかとなった。コンクリートにはポーラスな火山灰が多数認められ、火山灰の周辺には水酸化カルシウムやポゾラン反応によるC-S-Hが生成され、緻密な組織が形成されている(写真4)。長期強度増進の一因となったものと考ええる。



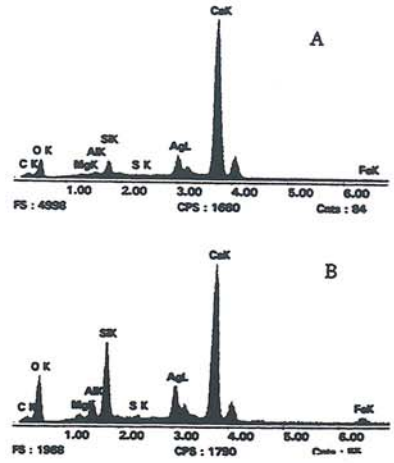
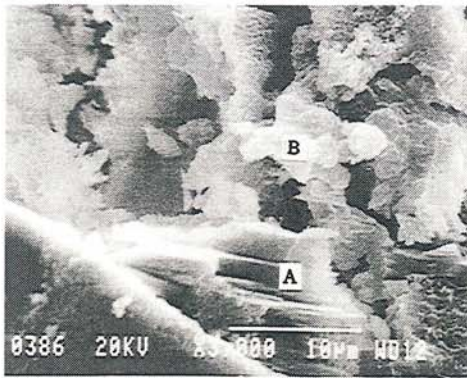


写真1: TypeⅢの C-S-H  
及び水酸化カルシウム

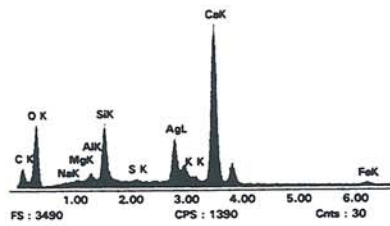


写真2: 棒状 C-S-H

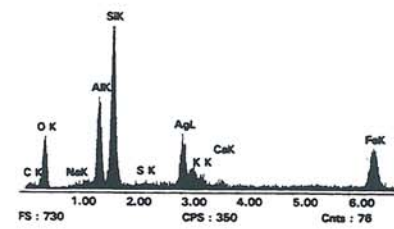
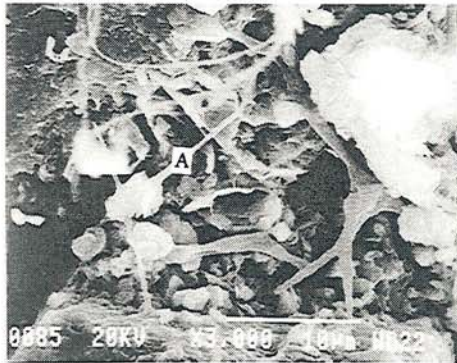


写真 3: シリカとアルミナ  
を主成分とする針状結晶

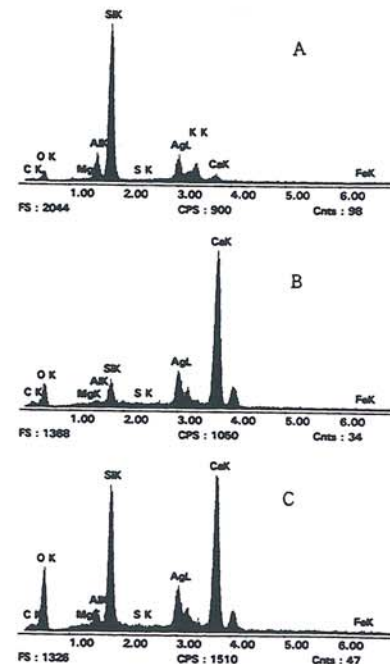
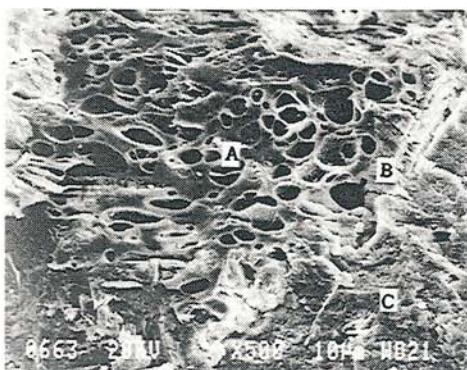


写真 4: 火山灰のポゾラン  
反応と生成物



また CMA(Computer aided Micro Analyzer)観察によれば、CaO/SiO<sub>2</sub>モル比は気中では、桁3で1.5-2.0、桁1、2及び橋脚(気中)で2.5を超える部分が目立っている。一方気中以外の構造物のモル比は極表層で2.5を超えているが、表面から2-5mmでは1.35以下となっており、C-S-Hの炭酸化和CaOの溶脱が生じたことを示している。水分は炭酸化に対して有利に作用するが、CaOを溶脱してコンクリート組織を劣化させる作用も有している。

## 6. 結論

1. 圧縮強度は56年間で、1.8-2.0倍になっていた。要因として次のことが考えられる。

- 1)セメントにビーライト(C<sub>2</sub>S)が多く含まれていた。
- 2)細骨材に混入していた火山灰がポゾラン反応を生じた。
- 3)セメントの粉末が粗であった。
- 4)部材断面が大きくコンクリート内部が長期間湿潤に保たれた。

2. 平均炭酸化深さは環境により湿潤0.7-10.0mm、気中4.7-26.4mmである。

- 1)炭酸化したコンクリートでは次の鉱物の生成が認められた。即ち炭酸化はポルトランドイトにとどまらずモノサルフェート、カルシウムシリケートハイドレート(C-S-H)にまで及んでいた。

Ca(OH)<sub>2</sub>:           カルサイト(CaCO<sub>3</sub>)

モノサルフェート:アルミナ(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), シリケートゲル(SiO<sub>2</sub>), 石膏(CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O),  
カルサイト(CaCO<sub>3</sub>), バテライト(CaCO<sub>3</sub>)

C-S-H:           カルサイト(CaCO<sub>3</sub>), バテライト(CaCO<sub>3</sub>), シリケートゲル(SiO<sub>2</sub>), アルミナ(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)

- 2)C-S-Hは炭酸化により、CaO/SiO<sub>2</sub>モル比が低下している。その程度は湿潤な環境で大きい。

## 謝辞

本文は十勝大橋技術委員会(委員長 北海道大学大学院 佐伯 昇教授)がコンクリート構造物の長期性状を把握するため行った試験結果の一部であります。調査にあたっては北海道開発局帯広開発建設部から全面的なご協力をいただき、また物理化学的試験及びその考察は日鐵セメント(株)研究開発部 星 俊彦研究員によるものであります。深甚なる感謝の意を表します。

## 参考文献

1)横道英雄:河西橋に関する報告及び研究

その1 河西橋工事概要、土木学会誌第28巻第7号、昭和17年7月、pp599-631

その2 鉄筋の鍛接継手に就いて、土木学会誌第28巻第8号、昭和17年8月、pp707-717

その3 橋体施工状況の概要と仮橋用木造構拱に就いて、土木学会誌第29巻第2号、昭和18年2月、pp141-150

その4 使用木材の強度、型枠並びに支保工に就いて、土木学会誌第29巻第7号、昭和18年7月、pp503-529

その5 アーチ式支保工に就いて、土木試験所報告第3号、昭和23年3月、pp1-19

その6 鉄筋工及び橋体コンクリート施工法に就いて、土木試験所報告第3号、昭和23年3月、pp20-44

その7 コンクリート・ロッカーに関する理論的並実験的研究、土木試験所報告第4号、昭和23年4月、pp1-48

2)永井彰一郎、福島弥六:建設材料の研究、第1集、セメント材料(その一)、丸善出版(株)、1948年

3)太田利隆:コンクリート橋の健全度に関する研究、開発土木研究所報告 第99号、平成5年3月

4)J. Stark und B. Wicht: Anorganische Bindmittel -Zement-Kalk-Spezielle Bindmittel-, Schriften der Bauhaus Universität Weimar Nr.109, 1998

# 海水の作用を受けるコンクリートの凍害機構と対策

## － 海水が作用したコンクリートの変動挙動 －

### Mechanism of Frost Damage of Concrete Affected by Sea Water and Its Countermeasure

#### － Deformation of Concrete Affected by Sea Water －

鮎田 耕一 (北見工業大学工学部土木開発工学科)  
太田 利隆 ((財)北海道コンクリート技術センター)  
王 欣 (北見工業大学大学院物質工学専攻)

Koichi AYUTA (Kitami Institute of Technology)  
Toshitaka OHTA (Hokkaido Concrete Engineering Center)  
Xin WANG (Kitami Institute of Technology)

Key words: Freezing and thawing action, Deformation, TMA, Sea water

## 1. 序論

寒冷地で海水の作用を受けるコンクリート構造物の実態調査の結果<sup>1)</sup>によれば、施工から1年経過後に調査対象構造物の約70%に剥離が発生し、1～9年経過後の海岸・港湾コンクリート構造物の凍害発生率は淡水の作用を受ける場合の約2倍である。凍害対策を図るために、使用材料の品質、養生方法、W/C、空気量などについて検討されてきた<sup>2)～6)</sup>が、凍害メカニズムに関しては、解明されていない点も少なくない。

著者らは既往の研究<sup>7)～9)</sup>で、海水の作用を受けるとセメントペーストマトリックスが多孔化し、凍結水量が増え、さらに凍結融解作用が加わると、この傾向が顕著になることを明らかにした。しかし、凍結融解の繰返し作用により細孔容積と凍結水量が増加する原因と劣化プロセスはまだ十分には明確にされていない。

そこで、本研究では、凍結融解の環境下で海水の作用を受けるコンクリートの劣化プロセスを明らかにすることを目的として、熱機械分析装置(TMA)を用いて凍結融解過程における変形の測定を行い、凍害との関連について検討した。

## 2. 実験方法

### 2.1 供試体

供試体は $\phi 1 \times 2$ cmの円柱モルタルとし、セメントは普通ポルトランドセメント、細骨材は標準砂を使用した。配合は表-1のようにW/C=35%・50%・75%で目標フローは $170 \pm 10$ mmとした。供試体は型詰め後約24時間、室温約20℃、湿度約90%の室内で養生し、型枠を取り外した後、28日間まで約20℃の海水あるいは淡水に浸した。

### 2.2 変形挙動の測定

表-1 配合

W/C (%)	Unit quantity (kg/m <sup>3</sup> )		
	Cement	Water	Fine Aggregate
35	800	280	1218
50	508	254	1527
75	354	266	1624



浸漬水から取り出した材齢 28 日の海水/淡水浸漬供試体を表乾状態にしてから TMA により凍結融解作用下におけるひずみを測定した。測定温度範囲は $-60^{\circ}\text{C} \sim +10^{\circ}\text{C}$ と $-30^{\circ}\text{C} \sim +10^{\circ}\text{C}$ である。昇温、降温速度は $0.5^{\circ}\text{C}/\text{min}$ とし、凍結最低温度で 15 分間保持した後融解した。

### 3. 実験結果及び考察

#### 3.1 凍結融解作用による変形挙動

TMA により求めた最低温度を $-60^{\circ}\text{C}$ まで下げた場合の淡水・海水浸漬供試体(W/C=75%)の初回の凍結融解作用に伴うひずみの変化を図-1 に示す。供試体の膨張はいくつかの段階を経て生じている。凍結過程では、過冷却が生じた後凍結点で急激な膨張を示している。その後の温度の低下に伴い、より小さい細孔中の水が遅れて凍結するためわずかな膨張が生じている。海水浸漬供試体の膨張量は、淡水浸漬供試体のそれより多い。これは、海水浸漬供試体では凍結水量が多いため高い凍結圧が生じた結果と考えられる。

最低温度を $-30^{\circ}\text{C}$ にした場合の淡水・海水浸漬供試体(W/C=75%)の初回の凍結融解作用に伴うひずみの変化を図-2 に示す。 $-30^{\circ}\text{C}$ までの凍結挙動は最低温度 $-60^{\circ}\text{C}$ の場合と同じ傾向を示しているが、融解過程では収縮を示しており、最低温度 $-60^{\circ}\text{C}$ の場合の融解過程に測定された膨張が現れていない。これは、 $-30^{\circ}\text{C}$ まででは凍結しなかった小さい細孔中の水が $-60^{\circ}\text{C}$ まで下げることによって凍結したことにより起因すると推測され、凍結過程で凍結していない水が凍結したと考えられる。また、図-1、2 ともに海水浸漬供試体の残留ひずみと最大ひずみは、淡水浸漬供試体のそれより大きく、1 サイクルの凍結融解作用であっても海水浸漬供試体では淡水浸漬供試体より組織が弛緩することを示している。

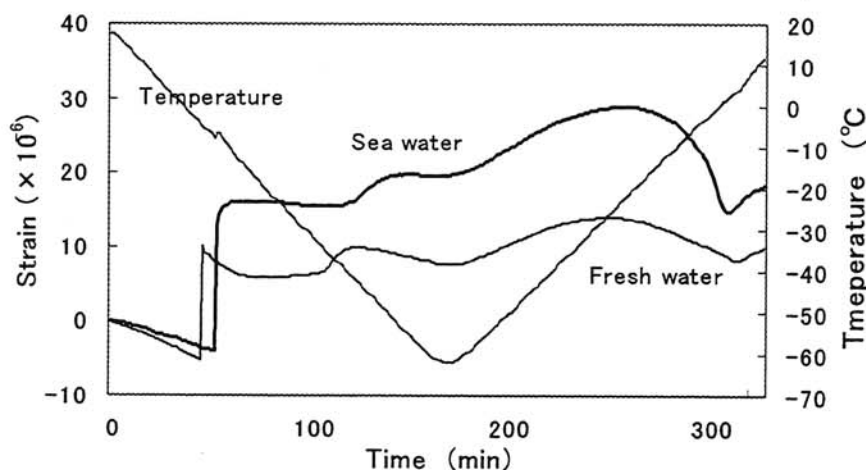


図-1 凍結融解最低凍結温度 $-60^{\circ}\text{C}$ に伴うひずみの変化

最低温度を $-60^{\circ}\text{C}$ まで下げた場合の淡水・海水浸漬供試体(W/C=75%)の初回の凍結融解作用に伴う温度とひずみの関係を図-3 に示す。この結果から、両者の関係は温度履歴に伴い次のようにに分けられる。

- 1)  $+10^{\circ}\text{C}$ から過冷却発生後の凍結点まで：海水・淡水浸漬供試体ともに凍結するまで収縮を生じた後、急激な膨張を示している。海水供試体は淡水供試体と比べて凍結点が高いのは、海水中の塩化物の存在で融点降下が生じたためであり、膨張量が多いのは凍結水量を多く含むためと考えられる。

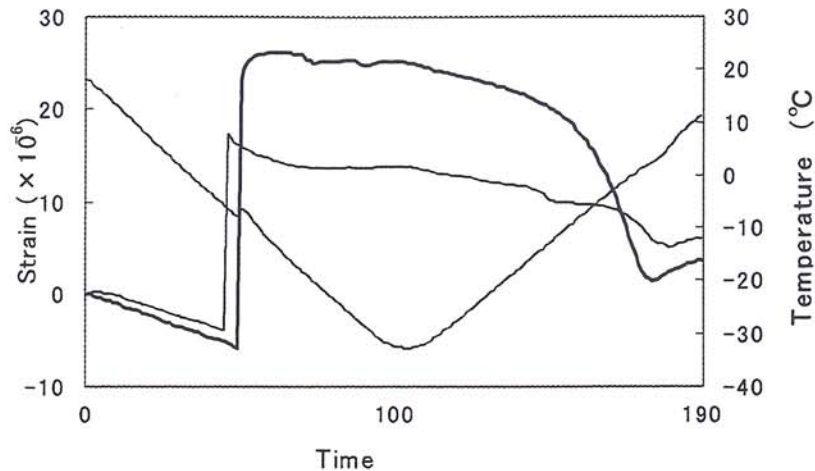


図-2 凍結融解最低凍結温度 $-30^{\circ}\text{C}$ に伴うひずみの変化

- 2) 凍結点から $-35^{\circ}\text{C}$ まで：淡水浸漬供試体では収縮挙動が観察されるが、海水浸漬供試体ではその傾向が認められない。これは、両者の凍結水量が異なるためと考えられる。すなわち、淡水供試体は毛細管空隙がまだ飽水状態でないため、温度降下に伴う収縮挙動を示している<sup>11)</sup>と考えられる。
- 3)  $-35^{\circ}\text{C}$ から $-60^{\circ}\text{C}$ まで：淡水浸漬供試体では膨張後再び収縮に転じている。一方、海水浸漬供試体では、 $-60^{\circ}\text{C}$ まで膨張し続け、まだ未凍結水が存在していることを示している。
- 4)  $-60^{\circ}\text{C}$ から $-25^{\circ}\text{C}$ まで：淡水・海水浸漬供試体ともに膨張し続けている。
- 5)  $-25^{\circ}\text{C}$ から $0^{\circ}\text{C}$ まで：淡水浸漬供試体では、緩やかに収縮しているのに対して、海水浸漬供試体では急激で大きな収縮を示している。これは海水浸漬供試体では細孔中に大量に生成された氷が融解し始めたためと考えられる。

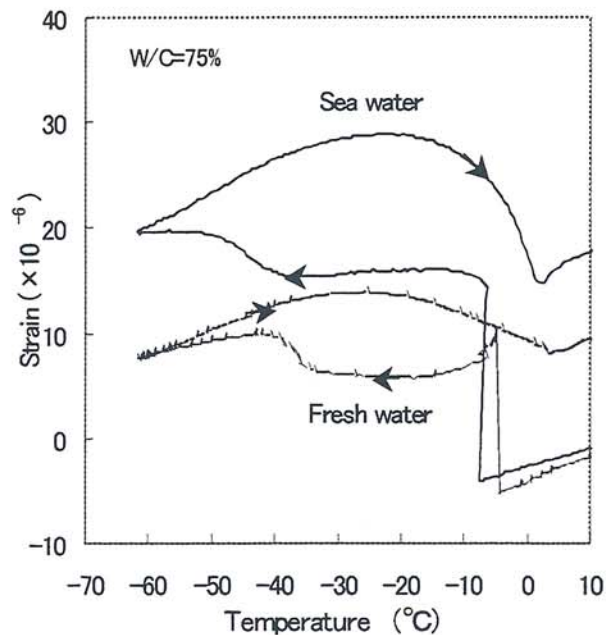


図-3 温度変化とひずみの関係

### 3.2 凍結融解の繰返し作用による変形挙動

図-4 に凍結融解の繰返しを5サイクルまで与えた場合の海水・淡水浸漬供試体(W/C=50%、最低温度 $-30^{\circ}\text{C}$ )のひずみの変化を示す。膨張量は凍結融解サイクルの増加につれて増加し、残留ひずみが大きくなっている。

凍結時の積算ひずみ量と積算残留ひずみを図-5 に示す。いずれのひずみもサイクル数の増加につれて増加している。サイクル数の増加につれて一定のペースで増加する凍結時の



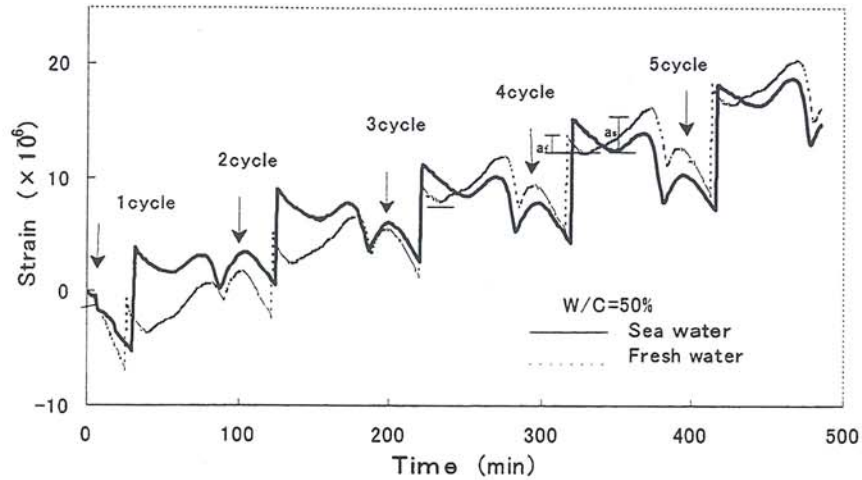


図-4 凍結融解の繰返しに伴うひずみの変化

膨張は残留ひずみに影響を及ぼし凍害を発生させる要因となっている<sup>12)</sup>と考えられる。

図-4、5に示すように凍結融解2サイクルまでは海水浸漬供試体の残留ひずみは、淡水浸漬供試体のそれより大きい、3サイクル目から淡水供試体のほうが大きくなっている。海水浸漬供試体では凍結融解作用の繰返しに伴い凍結水量が増加し、その結果凍結圧が大きくなり、細孔容積を増加させたためと考えられる。このため次の凍結融解サイクルで生じる水の凍結による膨張を吸収する空間が生じ凍結後に淡水浸漬供試体より大きく収縮し( $a_s > a_f$ )、結果的に海水浸漬供試体の積算残留ひずみは淡水浸漬供試体のそれより少なくなっていると考えられる。一般には、海水浸漬供試体の膨張量のほうが多くなると考えられるが、このような結果となったのは、本研究でのTMA測定は供試体を密封状態で行っているため、供試体には測定中外部から水が供給されないためであろう。通常の水中における凍結融解試験では、供試体に外部から水が供給されるので、海水中の凍結融解作用で増加した細孔により多くの海水を吸収し、凍結可能水量が多くなるため、次の凍結融解サイクルで海水浸漬供試体であっても大きい膨張を起こすと推測される。

3.3 W/Cの影響

最低温度を $-30^{\circ}\text{C}$ まで下げた場合の $W/C=35, 50, 75\%$ の海水・淡水浸漬供試体の初回の凍結融解作用に伴う温度とひずみの関係を図-6に示す。 $W/C$ が大きいほど、凍結点で急激な膨張が生じ、残留ひずみも大きくなっている。高い $W/C$ あるいは海水浸漬供試体では凍結融解作用を受けると、膨張が大きくなり凍害が発生しやすいことがわかる。

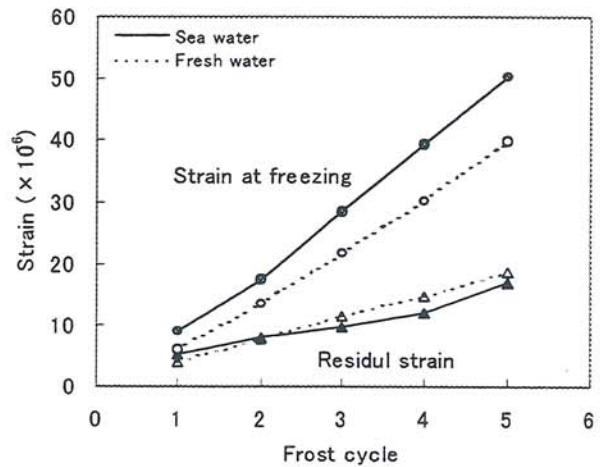


図-5 凍結時のひずみ、残量ひずみと凍結融解サイクルの関係

#### 4. 結論

海水の作用を受けるコンクリートの凍害劣化メカニズムを検討するために、モルタル供試体を用いて TMA を行った結果から、以下のことが明らかになった。

- 1) 凍結融解作用を受ける供試体の変形挙動はいくつかの段階を経て生じている。
- 2) 海水浸漬供試体で観察された過冷却後の凍結時に現れた急激な膨張、残留ひずみは淡水浸漬供試体のそれより大きい。
- 3) 凍結融解サイクルの増加につれて凍結時のひずみと残留ひずみは大きくなる。
- 4) 外部から水の供給がない状態で凍結融解の繰返し作用を受けた海水浸漬供試体では、サイクル数の増加につれて膨張量の増加が少なくなる。
- 5) W/C が大きいほど、過冷却後の凍結時に現れる急激な膨張と残留ひずみは大きくなる。

以上の結果から、海水の作用を受けるコンクリートでは凍結水量が多いため、凍結融解作用を受けると、膨張量が大きくなり凍害を生じやすくなると考えられる。

凍結変形の測定をしていただいた北海道立寒地住宅都市研究所 桂修科長に謝意を表します。

#### 《参考文献》

- 1) 今井益隆：コンクリート構造物の凍害調査、コンクリート工学 Vol. 14 No. 11、pp. 16-22、1976
- 2) 林正道：寒冷地におけるコンクリート構造物、土木学会論文報告集、第 402 号/V-10、pp. 1-13、1989
- 3) 山下英俊、堺孝司、熊谷政行、喜多達夫：北海道におけるコンクリート構造物の凍害劣化に関する研究、コンクリート工学年次論文報告集、Vol. 15, No. 1, pp. 893-898、1993
- 4) 鮎田耕一、林正道：寒冷地の海岸コンクリート構造物の表面剥離について、セメント技術年報 34、pp. 310-313、1980
- 5) 鮎田耕一、林正道：海水の作用を受けるコンクリートの凍結融解に対する耐久性、セメント技術年報 35、pp. 325-328、1981
- 6) 鮎田耕一、林正道：海水の作用を受けるコンクリートの耐久性確保のための適正空気量、

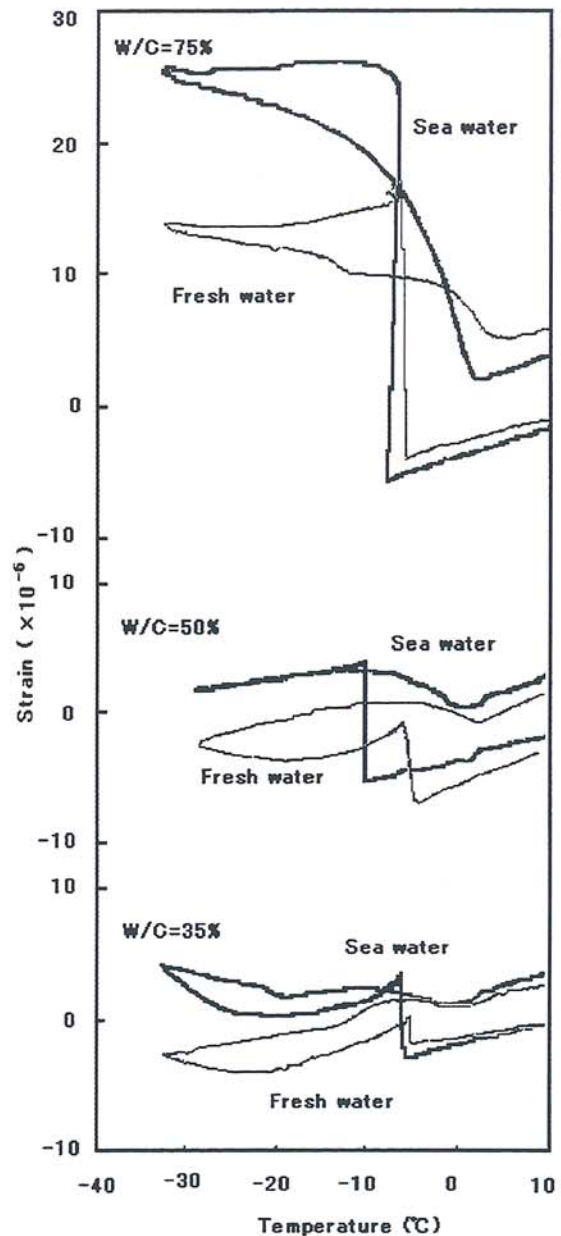


図-6 W/C=35, 50, 75%のひずみの変化



第8回コンクリート工学年次講演会論文集、pp. 93-96、1986

- 7) 王欣、鮎田耕一、沢田正剛：海水の作用を受けるコンクリートの凍結水量と細孔構造、セメント・コンクリート論文集 53、pp. 684-690、1998
- 8) Xin WANG and Koichi AYUTA: Effect of Sea Water on Frost Damage to Cement or Mortar, The 5th CANMET/ACI International Conference on Durability of Concrete, 2000
- 9) Xin WANG and Koichi AYUTA: Pore Structure and Frozen Water of Mortar Affected by Sea Water and Freezing-thawing Action, The proceeding of '99 Japan/Korea Joint Symposium on Structural Material Engineering, pp.138-143, 1999
- 10) M. J. SETZER: Basis of Testing the Freeze-thaw Resistance: Surface and Internal Deterioration, Proceedings of the International RILEM Workshop on Resistance of Concrete to Freezing and Thawing With or Without De-icing Chemicals, pp. 157-173, 1997
- 11) J. KAUFMANN and W. STUDER: Length Changes of Concrete Specimen during Frost Deicing Salt Resistance Test, Proceedings of the International RILEM Workshop on Resistance of Concrete to Freezing and Thawing With or Without De-icing Chemicals, pp. 213-221, 1997

# 極域の海氷および氷河氷床の研究

## Research of Sea Ice, Glacier and Ice Sheet in the Polar Region

榎本 浩之 (北見工業大学土木開発工学科)

佐々木雅也 (北見工業大学土木開発工学科)

館山 一孝 (北見工業大学土木開発工学科)

五十嵐 保 (宇宙開発事業団)

Hiroyuki ENOMOTO (Kitami Institute of Technology)

Masaya SASAKI (Kitami Institute of Technology)

Kazutaka TATEYAMA (Kitami Institute of Technology)

Tamotsu IGARASHI (National Space Development Agency of Japan)

Key words: remote sensing, satellite, snow, ice, sea ice, iceberg, Antarctic

### 1. はじめに

高緯度の環境変化に対する観測手法として、衛星観測は重要な役割を果たしている。南極圏の巨大氷山の流出がしばしば報告されているが (Doake and Vaughan, 1991, Gammie, 1995、山内・瀬古、1992)、氷山は南極大陸の棚氷や氷河の末端部の分離による。昭和基地の位置するリュツォホルム (Lutzow Holm) 湾は、湾内の定着氷が不安定でしばしば流出し、安定した棚氷を形成していない。また南極大陸でも最も流速の大きな氷河である白瀬氷河が流入している (Fujii, 1981, Nakawo et al., 1990, Nishio, 1990、西尾他、1991)。この白瀬氷河は数年に一度、氷河末端部の浮氷舌の分離を示している。この研究では ADEOS 衛星の高性能可視近赤外分光光度計 AVNIR を用いて、1997 年に始まったリュツォホルム湾の大規模な定着氷流出 (牛尾他、1998, 国立極地研究所、1999) の直前の海氷や氷床表面の状態を観察した。

### 2. 実施方法

可視近赤外分光光度計 ADEOS AVNIR を用いて、流出前である 1997 年の定着氷の状況を観測した。AVNIR では、高い空間分解能 (16m、または 8m) により、詳細な積雪域の観測が可能である。また昭和基地で受信された NOAA AVHRR データを北見工業大学地域共同研究センターの NOAA 受信解析装置で図化して比較した。

表 1 使用データ

衛星	センサー	観測日	バンド	観測地域
ADEOS	AVNIR	1997 年 1 月 31 日	Pa	東南極 リュツォホルム湾
ADEOS	AVNIR	1997 年 2 月 04 日	Mu	東南極 リュツォホルム湾
NOAA	AVHRR	1997 年 8 月 9 日	ch4	東南極



### 3. 結 果

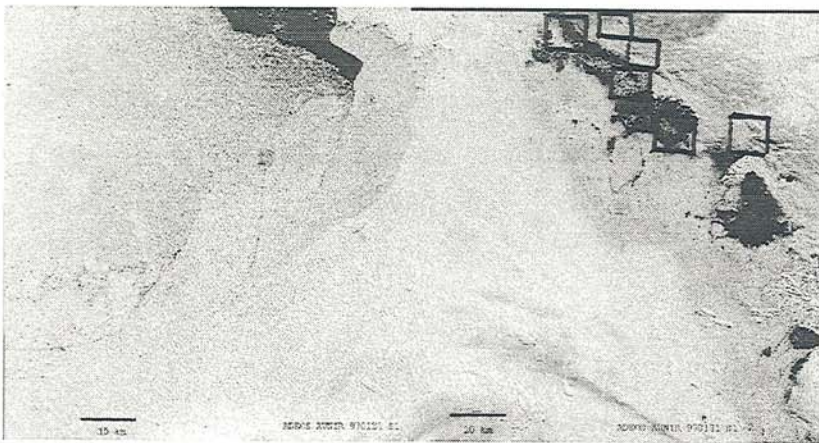
#### 3. 1 リュツオホルム湾定着氷の大規模流出

リュツオホルム湾の定着氷域の崩壊・流出が 1997 年より起こり、1998 年には大規模な流出が生じた。この流出は同地域の観測史上最大規模のものであった。第 1 図に NOAA AVHRR によるリュツオホルム湾の赤外画像(ch4)を示す。リュツオホルム湾の定着氷の崩壊・流出は 1997 年に始まり、1998 年まで続いた。



第 1 図 リュツオホルム湾の赤外画像(NOAA AVHRR ch4)。1997 年 8 月 9 日昭和基地で受信。リュツオホルム湾の定着氷の崩壊・流出は 1997 年に始まり、1998 年まで続いた。

ADEOS 衛星の AVNIR による観測は 1997 年 1 月 31 日および 2 月 4 日に行なわれており、流出前の状況を捉えている。このデータよりリュツオホルム湾の広域の海水状態を観察した。夏季の融解による海水消耗や力学的強度の低下が、崩壊・流出に影響していると予想されるが、この年は気温が高かったことが記録されており、融解が多かったものと推定される。第 2 図に ADEOS/AVNIR によるリュツオホルム湾の観測画像を示す。また特に注目した地域を図中に枠で示した。このときの衛星画像は海水面の融解の様子を捉えている。また、湾の周りの氷床斜面での融解を示すと思われるパターンも観測された。

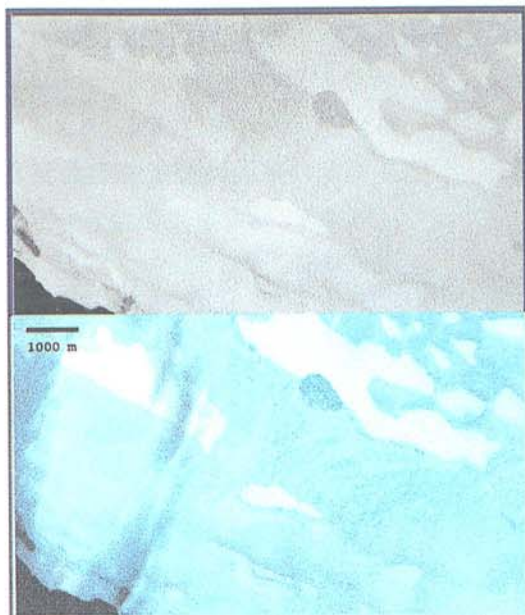


第 2 図 ADEOS/AVNIR によるリュツオホルム湾の観測画像 (1997 年 1 月 31 日)。注目した地域を図中に枠で示した。画像中右側に露岩、その付近の定着氷でアルベードの小さい部分はパドル。

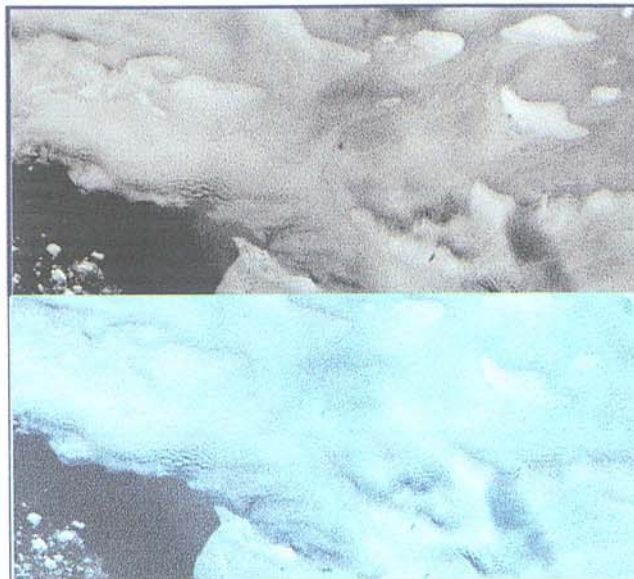
#### 3. 2 可視近赤外分光計による氷床・海水の融解パターン

観測された融解のパターンは、定着氷上の融解水面 (パドル) およびパドルが発生しやすいアルベードの低い裸氷域の分布 (第 2 図の画像中右側の露岩付近の定着氷でアルベードの小さい部分)、氷床上の裸氷面上の積雪 (snow patch) の最下部における帯水域 (第 3 図)、氷床上の裸氷境界部の流水と思われる表面パターン (第 4 図) や雪原における筋状パターン (第 5 図: 融水の流下によると思われる) などである。これらの様子は、積雪表面の氷粒子の粒径の増加と関係しており、近赤外データの利用により、強調して観測することができる。





第3図 氷床上の裸氷面上の積雪最下部における帯水域および流下する融水パターン。上：1997年1月31日、下：1997年2月4日（ADEOS/AVNIR）



第4図 近赤外強調画像（モノクロ）、及び可視光の合成画像（カラー）（1997年2月4日 ADEOS/AVNIR）  
氷床上の裸氷境界流水部表面パターン。



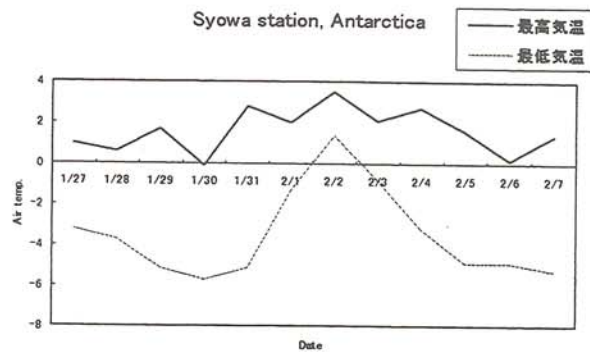
第5図 雪原における筋状パターン。融水の流下によると思われる。  
1997年2月4日（ADEOS/AVNIR）

1997年1月31日と2月4日のADEOS AVNIRの観測結果の比較から、氷床沿岸に接した海氷海氷域では急な海氷消耗が起きていたことがわかる。ただし、その沖の定着氷では変化が見られず、海氷消耗は氷床末端部に限って顕著であったようである。氷床斜面の近傍では、斜面を下るカタバ風のため積雪が少なく、海氷も融解しやすいが、1997

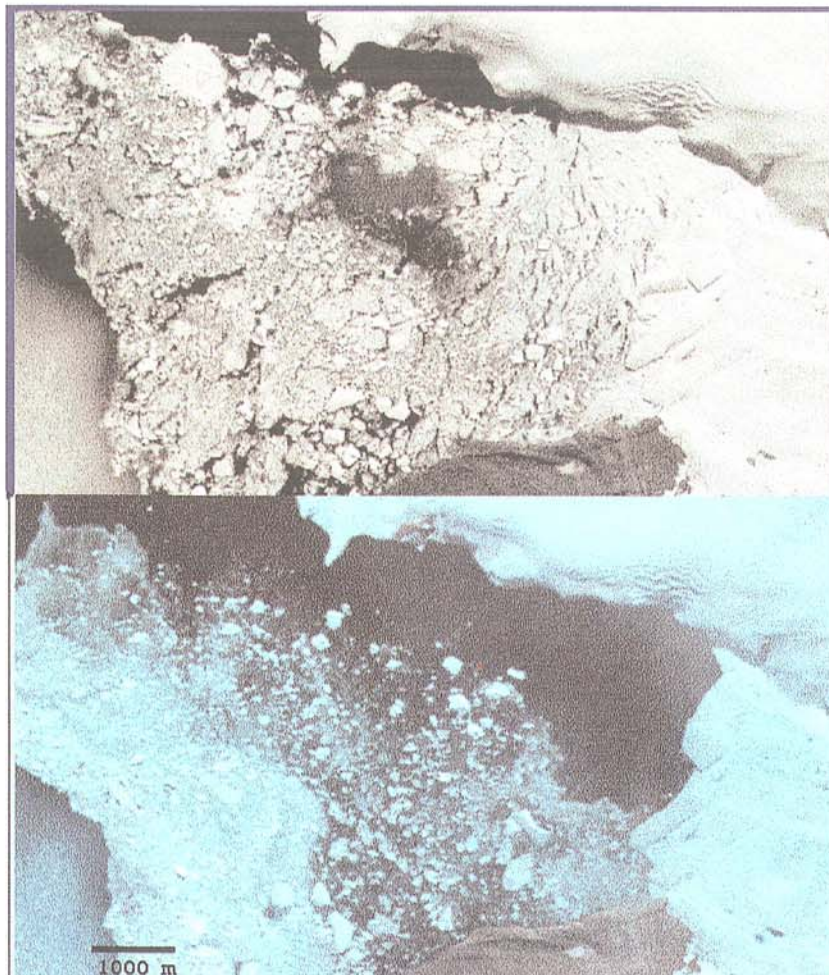
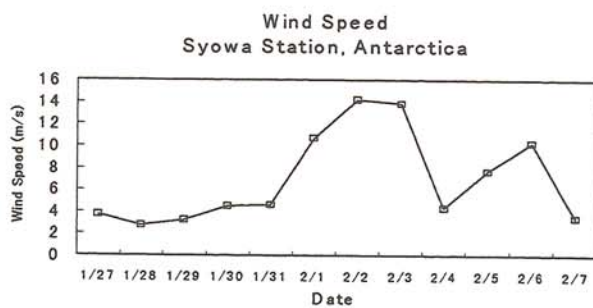
年1月31日から2月4日の4日間で海氷が急速に消耗したことが同期間に観測された画像の比較からわかった（第7、8、9図）。この4日間の気象資料（昭和基地気象データ）を第6図に示す。気温が上昇するとともに、強風が記録されている。氷床上や露岩域の積雪域に



はほとんど変化が見られなかったが、氷床斜面下の沿岸の海氷には急激な消耗が観測された。



第6図 1997年1月31日から2月4日の期間の前後の気象資料  
(気象庁:昭和基地観測データ)。  
上:気温、下:風速



第7図 ラングホブデ氷河  
末端付近の急速な海氷の消滅。上:1997年1月31日、下:  
2月4日の4日間で海氷が急速に消耗した。

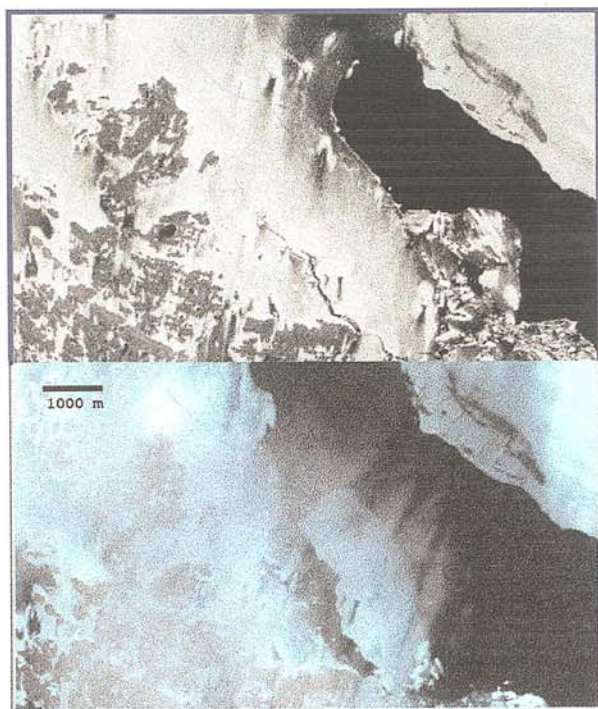


また、湾の東側の広域でパドルと思われる地域が広がっていたが、これらの地域は氷床斜面を吹き降りるカタバ風による積雪のふき払いの影響を受け、アルベードが低く、融解しやすいと考えられる。ラングホブデ付近の薄氷域は、アルベードも低く、またおそらく薄くなっていることから割れやすく、そのため短期間の間に消滅したと考えられる。

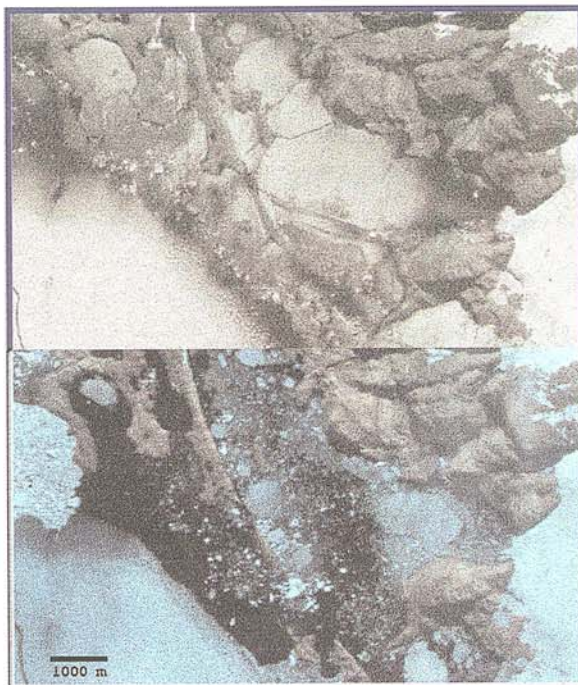
ラングホブデ氷河の末端近く（第7図）や昭和基地付近（第8図）、では氷山の分離や海氷の移動による水面の拡大が観察されるが、ハムナのようなほとんど閉じた入り江内でも海氷が消失したことから（第9図中央部）、海氷の移動でなく、海氷の破壊に続き、急速な融解が進んだと考えられる。これらの特徴は夏季の海氷の消耗過程を考える情報となる。

#### 4. おわりに

氷床変動のほとんどは縁辺部の崩壊、分離、融解で起きるが、その観測は困難であり、新たな観測方法が必要とされている。衛星観測によるモニターは有効な方法であり、これまでに実施されてきたが、主に氷山の分離の観測が中心であった。今回の解析で ADEOS AVNIR の高分解能センサーにより、氷床や海氷表面の融解の様子が観察できることがわかった。氷床縁辺部の観測には航空機観測なども有効であるが、詳細には調べられるものの広大な地域をカバーすることは難しく、衛星観測との組み合わせが望まれる。



第8図 昭和基地のあるオングル島付近の定着氷の分離。画像上部の曲線は南極観測船しらせの航跡。上：1997年1月31日、下：1997年2月4日（ADEOS/AVNIR）



第9図 ハムナ内での海氷の消失（画像中央）  
上：1997年1月31日、下：1997年2月4日  
（ADEOS/AVNIR）



## 5. 参考文献

- Doake, C. S. M and D. G. Vaughan (1991): Rapid disintegration of world ice shelf in response to atmospheric warming, *Nature*, Vol.350, 328-330.
- Enomoto, H., H. Warashina, T. Saito and T. Shiraiwa (1996): Interannual variabilities of sea ice conditions deduced from DMSP SSM/I data, *Proc. NIPR Polar Meteorol. Glaciol.*, 10, 119-126.
- Fujii, Y. (1981): Aerophotographic interpretation of surface feature and an estimation of ice discharge at the outlet of the Shirase drainage basin, Antarctica, *Nankyoku Shiryo (Antarctic Record)*, 72, 1-5.
- Gammie, F. (1995): Breaking away iceberg "due to warming", *Nature*, Vol.374, 108.
- 国立極地研究所(1999): 日本南極観測隊第39次隊越冬報告、国立極地研究所、326p.
- Nakawo, M., Y. Ageta, and A. Yoshimura (1990): Discharge of ice across Soya Coast, *Mem. Natl. Inst. Polar Res., Spec. Issue*, 7, 235-244.
- Nishio, F. (1990): Ice front fluctuations of Shirase Glacier, East Antarctica, *International Conference on the Polar Region in Global Change, held at Fairbanks, June 15-18, 1990*, 145
- 西尾文彦、長 幸平、石川貴之 (1991): 白瀬氷河の変動とリュツオホルム湾の海氷変動、氷コア解析による氷河・氷床の動力学特性と環境変動に関する総合的研究、昭和63年～平成2年度科学研究費補助金研究成果報告書(研究代表者: 若濱五郎)、245-257.
- 牛尾収輝、山内 恭、高橋 晃(1998): 1997-1998 リュツオホルム湾の海氷流出について、第21回極域気水圏シンポジウム講演要旨、73.
- 山内 恭、瀬古勝基(1992): リュツオホルム湾の海氷変化、NOAA衛星から見た南極、山内 恭、瀬古勝基編、国立極地研究所、39-48.

# 橋梁の健全度診断と総合評価に関する研究

## Study on Diagnosis and Total Evaluation of Bridge Integrity

大島 俊之 (北見工業大学工学部土木開発工学科)  
三上 修一 (北見工業大学工学部土木開発工学科)  
山崎 智之 (北見工業大学工学部土木開発工学科)  
丹波 郁恵 (北見工業大学工学部システム工学専攻)  
本間 美樹治 (㈱中神土木設計事務所)  
伊藤 治 (㈱ナオック)

Toshiyuki OSHIMA (Kitami Institute of Technology)

Shuichi MIKAMI (Kitami Institute of Technology)

Tomoyuki YAMAZAKI (Kitami Institute of Technology)

Ikue TAMBA (Kitami Institute of Technology)

Mikiji HONMA (NAKAGAMI Civil Design)

Osamu Ito (NAOC)

Key words : Bridge integrity, Bridge inspection

### 1. はじめに

日本の高度経済成長期以降、道路整備が進みそれに伴い道路構造物の一部として架設される橋梁数は増加傾向を示してきた。今では道路は経済的、社会的資本となり、ライフラインとして重要な構造物となっている。従って、橋梁の安全性を常に確保するため、その健全度を的確に評価し、迅速かつ合理的に維持管理する必要がある。既存橋梁の老朽化は、様々な外的要因により耐力・機能低下が懸念されることでその機構は極めて複雑となり、更に自然災害または経済的遷移による交通事情の変化等に対し橋梁の安全性、快適性を確保するための確実な維持管理は不可欠となる。著者らはこれまで橋梁全体の健全度に対し、数量化理論Ⅱ類を適用した定量的な総合健全度を評価する手法を提案してきた。本研究では前述のような橋梁に影響を及ぼす諸因子の分析、また耐震性を考慮した健全度評価法の開発で、より確実な健全度評価手法の確立を目的としている。更に釧路市を例とした耐震性健全度評価を行い、交通網及び住区への影響について検討した。

### 2. 数量化理論Ⅱ類による健全度評価手法

橋梁維持管理業務の一環とした点検業務に関しては建設省土木研究所の「橋梁点検要領(案)」<sup>1)</sup>によってほぼ統一した基準が確立された。実施された点検結果はデータとして蓄積され膨大な量となっており、各橋梁に対して健全度を評価し補修補強及び架け替え等の業務優先順位を決定するには技術者の技術能力、経験更に相当な労力が必要となる。そこで本論文ではエキスパートを対象としたアン



ケート調査により、熟練技術者の判定事例を多数収集して、数量化理論Ⅱ類を適用した定量的な判定基準を得た。これに基づき橋梁点検データを活用した健全度評価また総合的健全度ランキング表の作成し、現場での迅速かつスムーズな維持管理業務の優先順位決定に役立つものとなる。

(1) アイテム及び外的基準

建設省土木研究所の点検要領（案）では点検箇所は20項目に細分されており、更にそれらに対し材質を考慮した損傷種類が32項目選定されている。本研究では橋梁全体の健全度に関係する重要度を考え、表-1に示すような14項目を選定して橋梁点検データを再編した。また点検要領（案）では部材損傷度は判定基準をOK～Ⅰの5段階としているが、判定Ⅰに関しては早急な調査及び補修等の作業を要するため、實際上橋梁点検データではOK～Ⅱの4段階で判定区分されている。一方、橋梁全体の健全度の総合評価はOK～Ⅱの4段階を設定し表-2に示す。ここで数量化理論Ⅱ類による解析ではアイテムを表-1の部材項目、外的基準を表-2の総合評価としている。

(2) 重み係数値及び総合健全度ランキング

エキスパートに対するアンケート調査結果を数量化理論Ⅱ類により解析を行った。その結果算出された重み係数値のうち1軸のみに関して図-1に示す。重み係数は解析におけるアイテムレンジの割合で表され、健全度評価時のエキスパートの各部材に対する重視度を示す尺度となる。また図-1から分かるように部材材質の違いから各部材に対する重み係数は異なってくる。またこの解析結果を基準に橋梁点検データから総合健全度を評価する。点検橋梁はそれぞれのサンプルスコアが解析結果のどの評価領域に属するかにより判定され、

ここでは各群間の境界値を決定してそれに基づき判定を行っている。また具体的な点検橋梁の総合健全度評価法については図-3に示す。ここにサンプルスコアXの添え字は軸を表しており、軸毎のサンプルスコアと境界値の大小関係から点検橋梁が属する評価領域を決定でき、これから各橋梁全体の総合健全度を判定する。以上の結果から点検橋梁の総合健全度ランキング表を作成することができ、現場における業務優先順位を決定する際に活用できる。

表-1 点検部材項目

上部構造	主桁1[腐食・剥離]
	主桁2[亀裂・破断]
	主桁3[遊離石灰等]
	2次部材
	床版1[剥離・鉄筋露出]
	床版2[床版ひびわれ]
下部構造	床版3[遊離石灰等]
	躯体
その他	基礎
	支承
	高欄
	地覆
	舗装
	伸縮装置

表-2 総合評価

OK：現状維持
Ⅳ：軽い補修を要する
Ⅲ：大がかりな補修を要する
Ⅱ：補修より架け替えを勧める

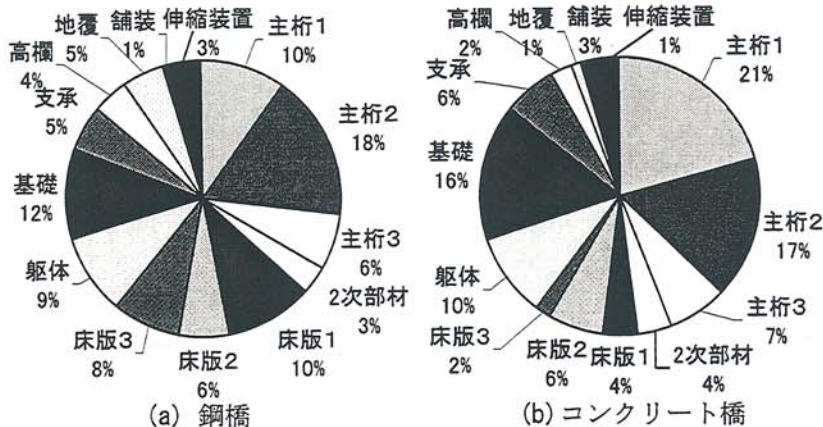


図-1 重み係数値（1軸）

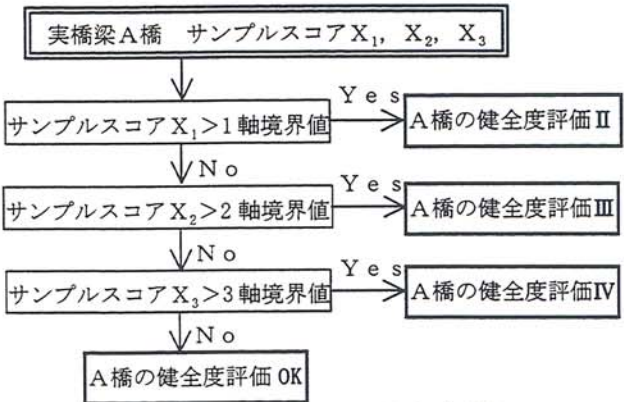


図-2 境界値による健全度診断



### 3. 影響因子の分析

前述のように橋梁の老朽化に関しては地域環境によって異なってくることは明らかであり、それに随時対応した健全度評価手法が必要である。そこでこれまでに収集した橋梁点検データより部材損傷状況及び補修状況を確認し、またそれらの損傷に影響すると考えられる因子（8項目）の選定を行い、部材損傷及び補修履歴との関連性について検討する。尚、ここで対象とした橋梁は北海道の国道橋全619橋（うち鋼

橋310橋、コンクリート橋309橋）で、昭和63年～平成10年度までに実施された定期点検のデータである。部材別の損傷評価Ⅱの橋梁数を図-3に示す。また支承においては評価Ⅱが相対的に大きくなっている。北海道全域にこのような傾向が見られることから、積雪寒冷地域であることによる凍結融解の影響が考えられる。ここで実際の支承周りの凍結融解状況写真を図-4に示す。以上のように点検結果には統計的な地域の自然環境や交通環境が反映されているものとなっている。

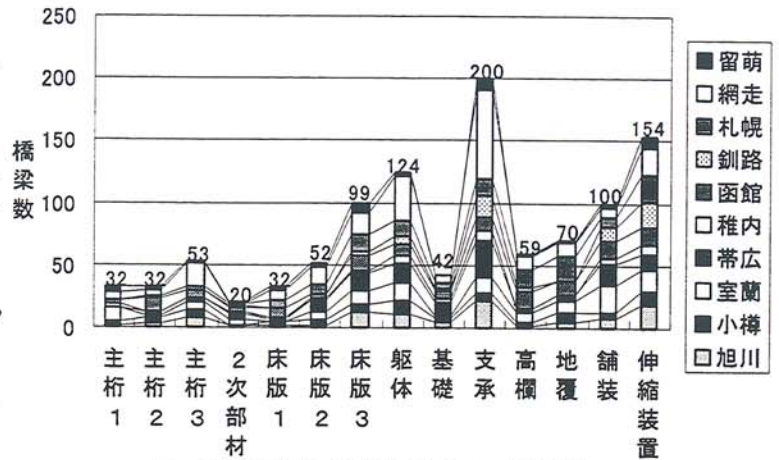


図-3 部材別の損傷評価Ⅱの橋梁数

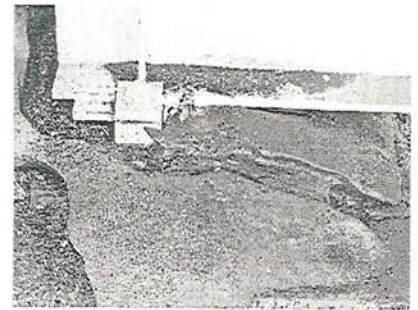


図-4 支承周りの凍結融解

表-3 影響する因子

交通環境	自然環境
12時間交通量(台/12h) <sup>3)</sup>	最低気温(℃) <sup>2)</sup>
貨物車交通量(台/12h) <sup>3)</sup>	最大積雪深(cm) <sup>2)</sup>
大型車混入率 <sup>3)</sup>	地震(期待値) <sup>2)</sup>
	塩分付着量(mg) <sup>2)</sup>
	工業延長(km) <sup>3)</sup>

#### (1) 橋梁に影響する因子選定

部材損傷に関与する因子として表-3に示すような8項目を選定し、各因子と部材損傷の相関性について検討した。交通環境に関する項目として3項目、更に北海道における自然環境を考え、最低気温、最大積雪深、地震等の5項目を選定した。

#### (2) 諸因子と部材損傷の関連性

##### (a) 自然環境による影響

各橋梁の架橋地点における諸因子の影響する程度を「影響大きい」、「ある程度影響する」、「影響が小さい」3段階に分類する。図-5(a)(b)にそれぞれ最低気温、最大積雪深に関して、部材毎に損傷がある橋割合(%)を影響大と影響小の地域の橋梁で比較している。最低気温が影響する地域の橋梁は支承において損傷が大きくなっており、前述のように水分の凍結融解による損傷と考えられる。最大

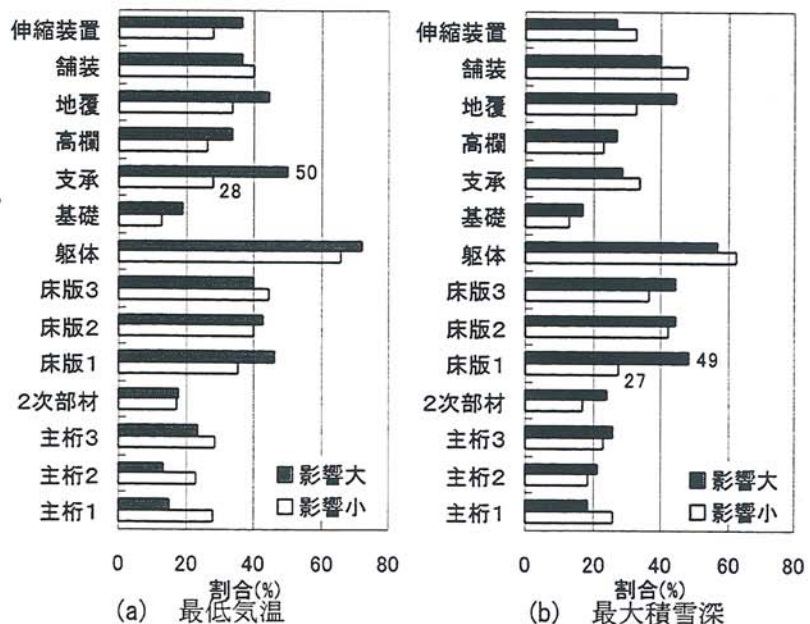


図-5 各部材の損傷割合



積雪深については床版 1（剥離）で損傷が多くなっている。これは最低気温と同様に水分の凍結融解、更に冬期に散布される融雪剤の影響も考えられる。ここで最大積雪深の影響が大きい橋梁に対して補修履歴を見ると、高欄において実施された補修補強が最も多く、これもまた凍結融解及び融雪剤の影響を受け、それに加え除雪作業時の衝突も考えられる。尚、ここで地震に関しては災害後の震災点検及び災害補修等が実施されているため、あまり明確な部材損傷が見られなかった。また工業延長及び塩分付着量については鋼材腐食が多く確認された。

#### (b) 交通環境による影響

大型車混入率と床版 1（剥離）の関係について図-6に示す。縦軸は橋数割合(%), 横軸は大型車混入率を示しており、実線は点検結果による橋数割合、破線はそれに補修履歴より床版補修が実施されている橋梁を含めた橋数割合を表している。ここから大型車混入率の床版剥離に対する影響が顕著に見られた。

#### (3) 諸因子と部材損傷の相関度

国道橋全 619 橋の点検結果を活用して、アイテムを従来のように各部材の損傷度、外的基準はそれぞれ個々の橋梁がどの地域に存在しているかによって各因子の影響程度として上述の影響大、影響する、影響小の 3 段階に分類し、数量化理論Ⅱ類により分析を行った。その結果の 1 軸の偏相関係数について自然環境は最低気温、交通環境では大型車混入率を例に図-7(a) (b)に示す。(a)より最低気温に最も影響される部材は支承で、(b)から大型車混入率については床版 1（剥離）というような相関の大きさを見ることができる。その他の因子全てにおいて、ほぼ妥当な相関度を得ることができた。

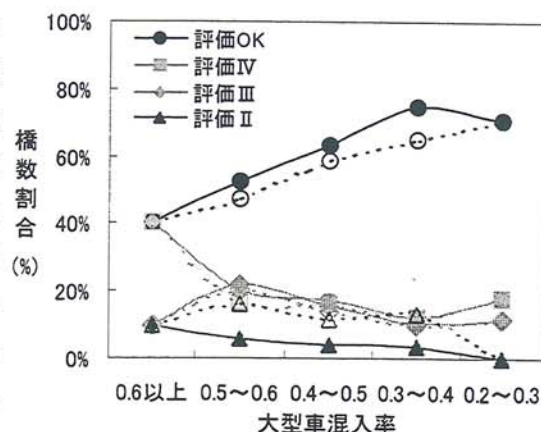
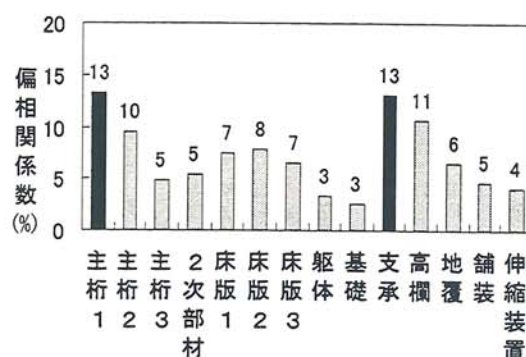
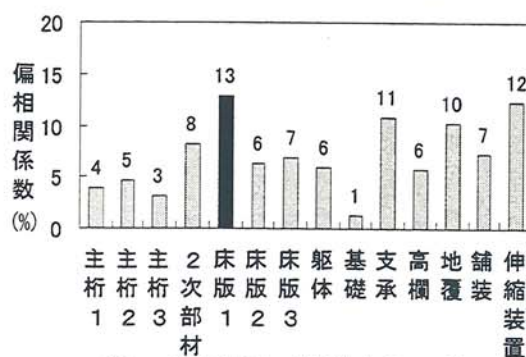


図-6 大型車混入率と床版剥離の関係



(a) 自然環境（最低気温）



(b) 交通環境（大型車混入率）

図-7 偏相関係数

## 4. 耐震性診断

近年では各地に地震発生に伴う大災害が増加しており、また北海道においても地震発生頻度の高さ及び地域の広がりがある地域的な特徴といえる。震災時において道路は避難路及び救援物資または復旧資材等の輸送路として確保する必要がある、その一部である橋梁は十分な耐震性を備えてなければならない。しかし、地震による橋梁の被害状況は多様な要因が複雑に関係しており、確かな被災予測が困難であり、更に被災が予想される橋梁全てに対する耐震補強の実施は経済的に困難である。そこでの確かつ合理的な耐震性を考慮した健全度評価及び維持管理計画による被災時の被害軽減と考えられる。本研究では物理的健全度評価を踏まえた上で、耐震性を

表-4 耐震性アイテム

	アイテム
物理的健全度	1) 上部構造
	2) 下部構造
	3) 支承
耐震構造	4) SE
	5) 落橋防止装置
	6) 適用示方書
地域的要素	7) 液状化
	8) 地盤種別
	9) 地域区分
	10) 重要度



考慮した健全度評価について検討する。

### (1) アイテム及び外的基準

橋梁の耐震性を考慮した健全度評価を行うにあたり、物理的健全度評価と更に防災総点検要領<sup>4)</sup>に基づく橋梁の耐震性に関連するアイテムを表-4に示すような10項目を選定した。また外的基準は表-5に示すような耐震性能の総合評価として4段階に分類する。アイテムは大きく分けて橋梁の物理的健全度、耐震構造に関する要素及び架橋地点の地域的要素の3要素で構成されている。

### (2) 解析結果

前節のアイテム及び外的基準を用いてエキスパートにアンケート調査を依頼した。アンケート調査はエキスパート（橋梁関係業務に10年以上従事）10名に300橋の耐震判定を依頼した。物理的健全度評価の場合と同様に数量化理論Ⅱ類により解析を行った。この結果、橋梁の耐震性能の評価における各アイテムに対する重み係数が得られた。これを図-8に示す。重み係数は橋梁自身に関連する物理的健全度並びに耐震構造に関する項目において合計81%と架橋地点の地域環境に関する項目に比べて非常に大きな重みを示している。また耐震構造に関する項目は全体の約半分を占め、更に落橋防止装置及び桁掛長については全体の約1/3を占めていることから、耐震構造に直接関係する項目が重要視されている。

表-5 耐震性総合評価

判定	耐震性能程度
A	耐震性あり
B	耐震性劣る
C	かなり危険
D	早急に要補強

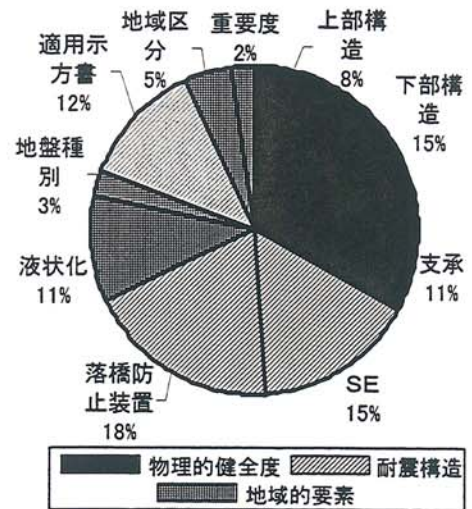


図-8 耐震性評価における重み係数

## 5. 釧路地域の解析例

北海道内でも地震の発生頻度が高いとされる釧路市を対象として、震災時の路線確保を考慮して重要道路網に架設されている橋梁に着目した耐震性健全度評価を行った。これから震災時の橋梁の被害予測、またそれらの橋梁が使用不能となった場合の交通網及び住区への影響を検討する。ここで評価対象橋梁は各住区から主要幹線道路への避難及び物資輸送路となる路線に架設されている橋梁（国道橋12橋、道道橋6橋、市道橋14橋の計32橋）である。国道橋については北海道開発局が管理している平成3年～平成10年度の定期点検結果であり、その他の道道橋及び市道は点検調査を実施した。

### (1) 点検結果

図-9に損傷度別の橋梁数割合(%)を部材毎に示す。ここから3章でも述べたように支承の損傷が評価Ⅱである橋梁割合が高くなっている。また橋脚躯体の損傷度が高く、地震の発生頻度に関係するものと考えられる。次に耐震性評価項目に対する評価毎の橋梁数割合を図-10に示す。地震の発生頻度が高いとされる地域としては落橋

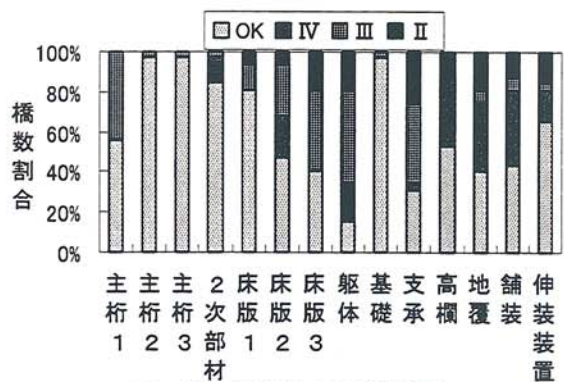


図-9 各部材の損傷状橋

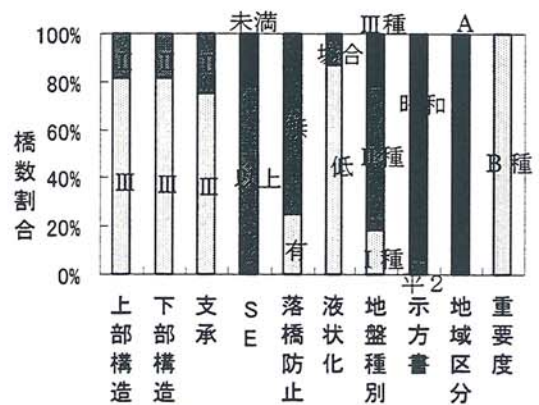


図-10 耐震性項目の評価



防止装置が未設置の橋梁が約 80%と非常に高くなっている。

## (2) 総合健全度評価

以上の結果から物理的健全度及び耐震性能に関する総合評価を行った。図-11 及び図-12 にそれぞれ物理的総合健全度及び耐震性に対する総合評価の橋数割合を示す。物理的評価は図-11 から補修等の何らかの処置が必要とされる総合評価Ⅱ及びⅢの橋梁が約半数を占めている。また、耐震性評価に関しては図-12 に示すように耐震性は不十分とされる C 及び D の橋梁が約半数を占めており、図-8 の重み係数値からも分かるように落橋防止装置が未設置であるか、更に下部工及び支承の損傷度が高い橋梁は総合評価 D となっている。

## (3) 交通網に与える影響

以上の結果から震災時の交通網に与える影響について図-13 に示す。耐震性評価により C 及び D と判定された橋梁が震災時、使用不能になると仮定して影響を受ける交通網及び街区について検討する。図中の○印はある程度の耐震性能を有しており、通行に支障がない橋梁で、また⊗は耐震性能が劣っており、使用不能となる橋梁を示している。この場合、点線で囲まれている街区付近から主要幹線道路への通行には迂回路が必要となる。この結果から避難及び復旧活動を考慮し、重要な道路網の選定、更にその道路網に架設されている橋梁に対して的確な耐震性評価を実施により、震前対策の優先順位を決定することができる。

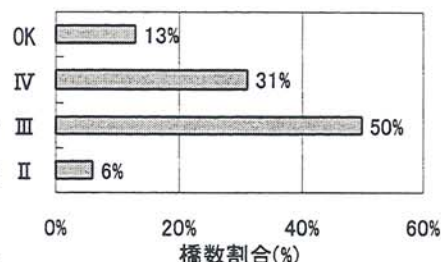


図-11 物理的健全度の総合評価

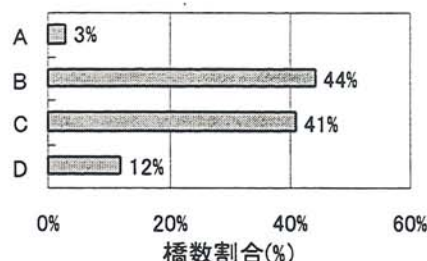


図-12 耐震性健全度の総合評価



図-13 交通網への影響

## 6. まとめ

本研究では的確な橋梁健全度評価のための影響因子分析及び耐震性健全度評価について検討した。

- (1) 因子分析の結果、老朽化に影響する諸因子と部材損傷の相関度を明確にすることができた。
- (2) 耐震性健全度評価の際の耐震性能に関連する各アイテムのほぼ妥当な重み係数が得られ、またある地域に限定した震災時の被害予測及び交通網に与える影響を把握することで、震前対策の優先順位を決定する際に有効活用できる。

謝辞：本研究を進める上で非常に多くの機関、方々にご協力をいただきました。ここにお名前を掲載させていただき感謝の意を表します。北海道開発局道路維持課、建設機械工作所、開発土木研究所、網走開発建設部、釧路開発建設部、網走土木現業所、釧路土木現業所、釧路市役所、北海道開発コンサルタント、太平洋総合コンサルタント、また太平洋総合コンサルタントの平成晴氏並びに北見工業大学土木開発工学専攻の森大悟さんのご協力をいただきました。

### [参考文献]

- 1) 建設省土木研究所：橋梁点検要領（案），土木研究所資料，第 2651 号，1988。
- 2) 北海道土木技術会鋼道路橋研究委員会：北海道における鋼道路橋の設計および施工指針，1995. 12。
- 3) 北海道開発局道路計画課：平成 6 年度全国道路交通情勢調査（道路交通センサス），1996. 1。
- 4) 建設省道路局：道路防災総点検要領，1996。

# 網走湖の水質調査研究

## A Study on Water Quality of the Lake Abashiri

佐渡 公明 (北見工業大学土木開発工学科)  
吉川 泰弘 (北見工業大学土木開発工学科)  
目黒 春彦 ((株)北開水工コンサルタント)

Kimiteru SADO (Kitami Institute of Technology)  
Yasuhiro YOSHIKAWA (Kitami Institute of Technology)  
Haruhiko MEGURO (Hokkaisuikou Consultant Co.,Ltd.)

Key words: the Lake Abashiri, NOAA data, flux of global solar radiation, spectral reflectance, chlorophyll-a concentration, Multi channel surface temperature

### 1. はじめに

網走湖は窒素・リンの塩水層からの拡散や底泥溶出などによる内部負荷と、市街地・農畜産地からの排水による外部負荷による富栄養化に悩まされ、植物プランクトンの異常発生であるアオコを引き起こし、漁業や環境に大きな影響を与えている。本研究は、本学で受信している NOAA データを用いて網走湖におけるアオコの発生状況を面的に捉えることを目的として、分光放射計を用いた現地観測を 1997、1998、1999 年に実施した。1997、1998 年に得られた現地観測のデータと NOAA データおよび全天日射量よりクロロフィル a 濃度を予測するための回帰直線式を導く。次に 1998 年の NOAA データと全天日射量を用いてクロロフィル a 濃度の同定誤差を検討する。また、本来海面温度の推定に利用されている MCSST (Multi Channel Sea Surface Temperature) アルゴリズムを用いて、アオコの発生に大きく影響する湖面水温の推定を行う。

### 2. 網走湖における現地観測の概要

1997 年 6 月 12 日～9 月 11 日までの期間中の 13 日間と 1998 年 5 月 28 日～10 月 29 日までの期間中の 9 日間および 1999 年 5 月 13 日～8 月 30 日までの期間中の 6 日間の合計 28 日間、網走湖において NOAA 衛星と同期して船上調査を行った。主な測定項目は水面における分光反射率と湖水中のクロロフィル a 濃度および水温である。

#### 2-1. 水面における分光反射率の測定

水面における分光反射率の測定には、多目的分光放射計 (㈱オプトリサーチ製 MSR-7000) を用いて行った。分光反射率  $R$  ( $\text{sr}^{-1}$ ) は、水面直上の上向分光放射輝度  $U$  ( $\text{wm}^{-2} \text{sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$ ) と水面下向分光照度  $H$  ( $\text{wm}^{-2} \mu\text{m}^{-1}$ ) より、

$$R=U/H \quad (1)$$

と表される。水面下向分光照度  $H$  は直接測定できないため、白色標準反射板の分光反射輝度  $W$  ( $\text{wm}^{-2} \text{sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$ ) を測定して、次式によって求めた。



$$H=\pi W/\rho \quad (2)$$

白色標準反射板は完全拡散面と仮定して反射率 $\rho$ を1と近似した。また湖心における水面直上の上向分光放射輝度 $U$ の観測はNOAA衛星と同期して行った。本解析では文献調査からクロロフィルaの吸収帯を660~680nm、蛍光放射帯を690~710nmと定めた。分光反射率 $R$ は、上記で定めた波長範囲における上向分光放射輝度 $U$ と白色板分光放射輝度 $W$ の積算値より算出した。

## 2-2. クロロフィルa濃度と水温の測定

クロロフィルa濃度および水温の測定は、クロロテック（アレック電子機製 ACL-1180-DK）を用いて行った。その他に本装置では、濁度・塩分濃度などを測定でき、水面から湖底まで10cmおきに測定し、水深方向の濃度変化の状況を把握した。水温センサーは白金測温抵抗体を用いた高性能なセンサーで、測定範囲は-5~40℃、測定精度は±0.05℃、分解能は0.01℃であるので、MCSSTの精度を検証するのに最適である。クロロテックを船上から吊り下げて水温測定を行うので、特に波が高い時には、湖面水温測定のための位置合わせが難しくなる。

## 3. NOAAデータを用いた網走湖におけるクロロフィルa濃度の推定

ここでは、NOAAデータを用いて網走湖のクロロフィルa濃度を予測するために、図-1のフローチャートに従って以下の6本の回帰直線式を導く。

### 3-1. 6本の回帰直線式によるクロロフィルa濃度の推定

(1)1997、1998年の現地観測において、NOAA衛星との同期観測に成功した5日間(1997年：7/24、8/21、8/28、1998年：5/28、9/10)のNOAAチャンネル1データ $L_{580\sim680nm}$ と同じ波長範囲の水面直上上向分光放射輝度 $U_{580\sim680nm}$ との相関図を図-2に示す。NOAAデータの分解能は1.1km×1.1kmで、図-2にプロットした15点に対応するピクセル内は全て水域である。図-2の回帰直線式は、次式となる。

$$U_{580\sim680} = 0.647 \times L_{580\sim680} - 9.48 \quad (3)$$

(2)分光反射率を計算するために、式(3)で得られる $U_{580\sim680nm}$ から $U_{660\sim680nm}$ と $U_{690\sim710nm}$ を求める。本解析では1997、1998年に測定した水面直上の上向分光放射輝度より、図-3、4に示すように回帰分析を行い次の回帰直線式を算出した。

$$U_{660\sim680} = 0.1487 \times U_{580\sim680} + 0.0185 \quad (4)$$

$$U_{690\sim710} = 0.1226 \times U_{580\sim680} + 0.1307 \quad (5)$$

(3)分光反射率の計算に必要な水面直上の下向分光日射輝度 $W_{660\sim680nm}$ と $W_{690\sim710nm}$ の算出には、本学の寒地気象観測露場（以下露場と呼ぶ）で測定している全天日射量 $S$ （300~2800nm）と、現地観測での白色標準反射板を用いた分光放射輝度 $W$ との1997、1998年の回帰分析（図-5、6）より、次の回帰直線式を算出した。

$$W_{660\sim680nm} = 91.90 \times S + 2.749 \quad (6)$$

$$W_{690\sim710nm} = 81.43 \times S + 1.629 \quad (7)$$

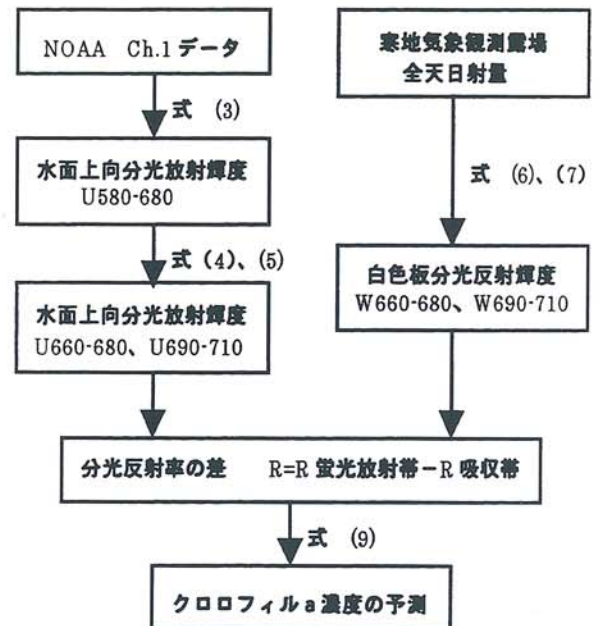


図-1 クロロフィルa濃度予測フローチャート

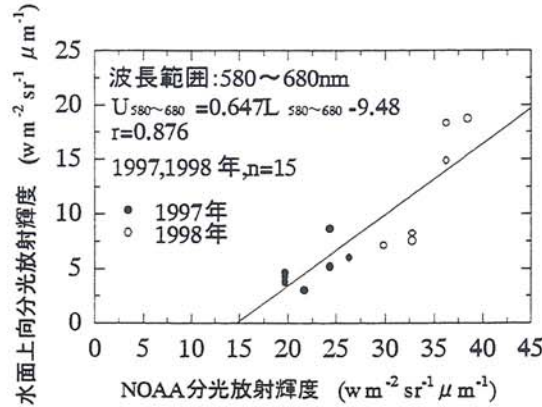


図-2 NOAA衛星輝度と水面上向分光放射輝度の相関図

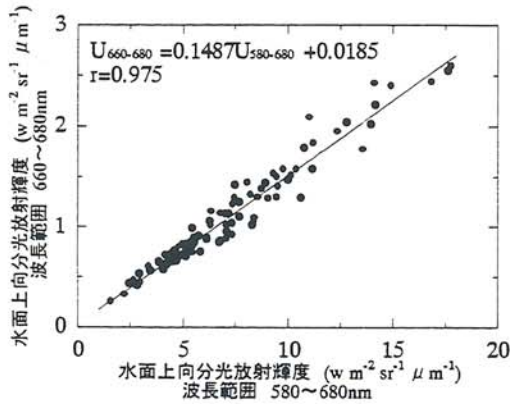


図-3 水面上向分光放射輝度の 580~680nm から 660~680nm への変換

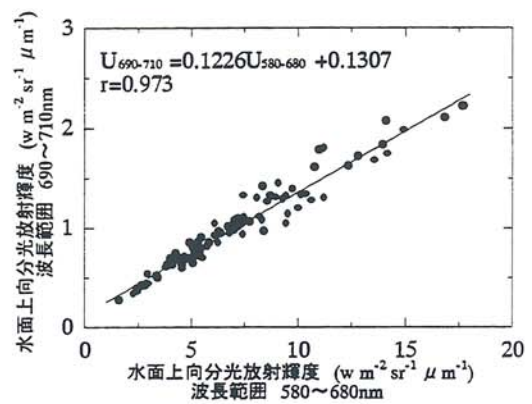


図-4 水面上向分光放射輝度の 580~680nm から 690~710nm への変換

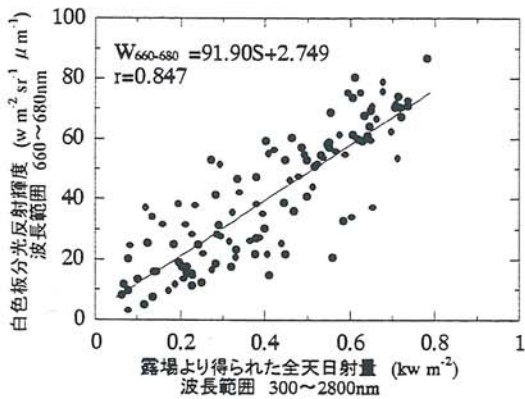


図-5 全天日射量 (300~2800nm) から水面下向分光日射輝度 (660~680nm) への変換

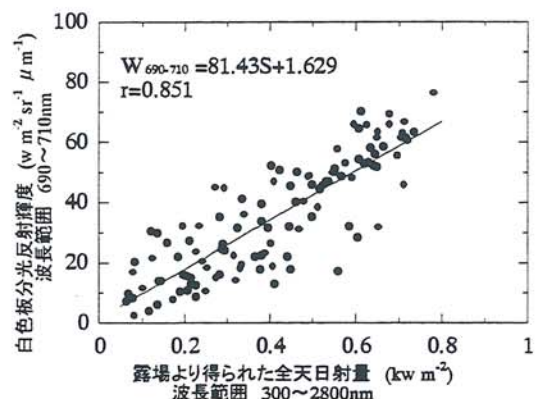


図-6 全天日射量 (300~2800nm) から水面下向分光日射輝度 (690~710nm) への変換

(4)クロロフィルa濃度を予測するために、クロロフィルaの分光特性である蛍光放射帯と吸収帯の分光反射率の差  $R$  を表す式 (8) を用いた。

$$R = R_{690 \sim 710} - R_{660 \sim 680} = \frac{U_{690 \sim 710}}{\pi \times W_{690 \sim 710}} - \frac{U_{660 \sim 680}}{\pi \times W_{660 \sim 680}} \quad (8)$$

クロロフィルa濃度の予測を行う場合、どの水深までの平均値を取るかが問題である。参考文献(1)では、 $R$ と0~2m平均クロロフィルa濃度の相関係数が最も良いことが示されている。分光反射率の差と0~2m平均クロロフィルa濃度との散布図を図-7に示す。回帰直線式は式(9)と得られる。

$$Chl.a = 6979 \times R + 10.24 \quad (9)$$



### 3-2. クロロフィル a 濃度の同定

上記の式(3)～(7)の回帰直線式を用いて、1998年5月28日、9月10日のNOAAデータ及び露場の全天日射量より分光反射率の差を推定し、式(9)の回帰直線式を用いてクロロフィル a 濃度の同定値を算出した。図-8は、5月28日と9月10日のクロロフィル a 濃度の同定値と実測値の関係を示したものである。誤差評価として、誤差の絶対値の平均値を用いた場合、 $3.64 \mu\text{g/l}$ 、root mean square を用いた場合  $4.04 \mu\text{g/l}$  の誤差である。これらの精度を低くする原因は、NOAA 衛星との光路長や天気の違いによる大気補正式

(3)への影響、および北見と網走湖の天気の違いによる式(6)、(7)への影響が考えられる。同定誤差が大きい9月10日におけるNOAA衛星の最大仰角は34度と低く、最大仰角が70度である5月28日は、同定誤差が小さいことが分かる。

### 4. MCSST による湖面水温の推定

アオコは夏の高温、高栄養塩類濃度の条件下で生じる。NOAA データに次式を適用して海面温度を求める MCSST を湖面水温の推定に用いる<sup>2)</sup>。

$$\text{SST} = 1.01734 \times \text{Ch.4} + 2.13959 \times (\text{Ch.4} - \text{Ch.5}) + 0.77971 \times (\text{Ch.4} - \text{Ch.5}) \times (\text{SEC}(\text{sza}) - 1) - 0.543 \quad (10)$$

Ch.4、Ch.5 : Ch.4、5の輝度温度

sza : NOAA 衛星の天頂角

1997、1998、1999年の現地観測において、NOAA 衛星との同期観測に9日間成功した。図-9は、MCSST による湖面水温とクロロテックによる湖面実測水温の関係を示したものである。誤差評価として、誤差の絶対値の平均値を用いた場合  $1.41^\circ\text{C}$ 、root mean square を用いた場合  $1.67^\circ\text{C}$  の誤差を示している。絶対誤差は、 $-1.95 \sim 3.55^\circ\text{C}$  の範囲である。

### 5. 結論

- 1) 網走湖における1997、1998年のNOAA衛星との同期観測データを用いて、NOAAデータと全天日射量よりクロロフィル a 濃度を推定する6本の回帰直線式を求めた。
- 2) MCSSTによって得られた網走湖の湖面水温の、root mean square 誤差は  $1.7^\circ\text{C}$  となった。

### 参考文献

- 1) 佐渡 公明、塩見 秀之：網走湖における分光反射率を用いたクロロフィル a 濃度の推定、土木学会北海道支部論文報告集、55号(B)、pp.88~91、1999。
- 2) SeaSpace Corp. : TeraScan 2.6 Reference Manual; Vol.1、pp.328~331、SeaSpace Corp. 1995。

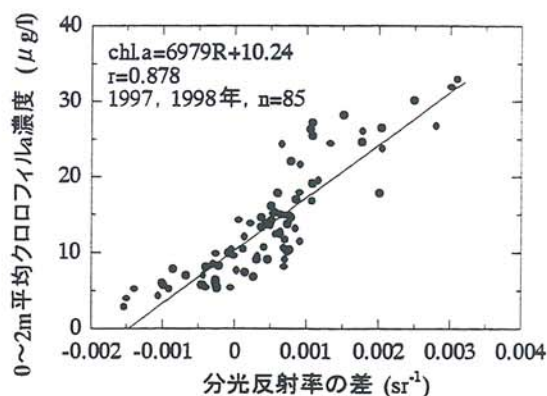


図-7 分光反射率の差とクロロフィル a 濃度の散布図

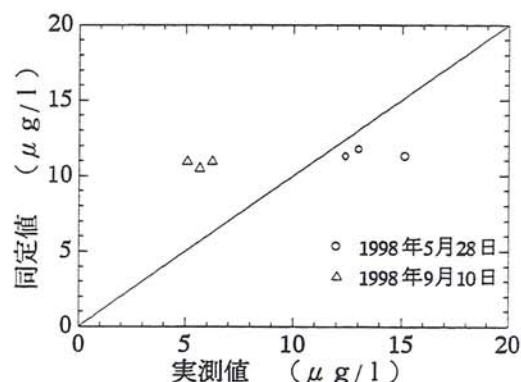


図-8 クロロフィル a 濃度の実測値と同定値

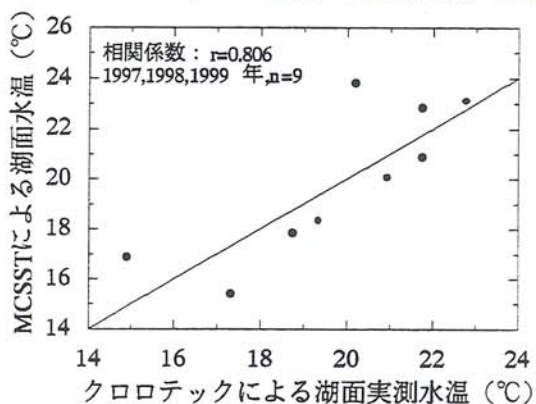


図-9 クロロテックデータと MCSST による湖面水温の相関図

# ホローカソード型プラズマジェットトーチの開発と応用

## Development and Application of Hollow Cathode Type Plasma Jet Torch

二俣 正美 (北見工業大学機械システム工学科)

倉本 宏 (株式会社倉本鉄工所)

Masami FUTAMATA (Kitami Institute of Technology)

Hiroshi KURAMOTO (Kuramoto Iron Works Co.,Ltd.)

**Key words:** New plasma-jet torch, Hollow cathode, Solution materials, Thermal spraying,

### 1. 緒言

表面改質法は、①被加工材（基板）の表面に所要の機能を有する他の物質を皮膜として被覆する方法、②被加工材の表面層にエネルギーを与え、所定の機能を有する表面層に変質する方法の2つに分けられる。皮膜被覆法の内、溶射はセラミックス、金属、プラスチックなどの粉末、ワイヤあるいは棒状の溶射材料をプラズマ、アーク、ガスフレームなどの熱源によって溶融または半溶融状態の粒子とし、基板の表面に衝突させ皮膜を形成する方法である。完全なドライプロセスで成膜速度が大きく、基板の材質・大きさ・形状の制限をほとんど受けず、大気中で施工できる特徴がある。一方、従来の溶射ではミクロンオーダー以下の薄膜の作製は極めて困難で、皮膜の表面が粗く、内部に気孔があるなどの問題点がある。

以上のような背景から、筆者らは液相溶射と命名した新しい薄膜作製法の開発に取り組んでいる<sup>1-3)</sup>。液相溶射は、粉末やワイヤを用いる従来の溶射とは異なり、イオンあるいはコロイド状態の金属を含む溶液を用いることを特徴とする新しい薄膜作製法である。本研究は、平成8年度から「民間等との共同研究」として継続し、また平成11, 12年度には中小企業創造基盤技術研究事業として中小企業総合事業団の助成を受けて実施している。これまでに、実験室レベルで使用可能な液相溶射用のプラズマジェットトーチを試作すると共に、同トーチを用いて酸化銅、酸化鉄、酸化チタンなどの薄膜の作製に成功している<sup>1-3)</sup>。ここでは、液相溶射を実用レベルに引き上げるに必要な装置の改良点とその方法について検討している。

### 2. 液相溶射用プラズマジェットトーチ

液相溶射では、皮膜形成物質として加熱した溶質を基板に衝突させ、溶媒については完全に蒸発除去することが必要である。本研究の初期の段階では通常の溶

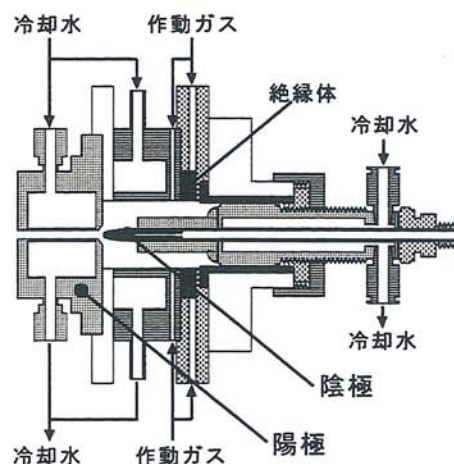


図1 プラズマジェットトーチ



射に用いるトーチと類似のものを使用していたが、従来型トーチでは溶媒を完全に蒸発除去することが困難な場合があった<sup>1-2)</sup>。溶媒の完全な除去には溶液をホローカソード（中空陰極）先端から最も高温なプラズマジェット中心部に供給することが望ましいとの観点から、その試作に着手した。以下、HC トーチと呼ぶ図1に示す試作第1号トーチでは、ホローカソードを用いた他に、陰極部を前後に移動して陰極－陽極間距離を調整できる機構とした。陰極－陽極間距離を変えた場合の電流－電圧特性、および薄膜作製への応用例については既に報告した<sup>1-2)</sup>。

現在設計段階にある第2号トーチは、液相溶射装置に対する数研究機関からの引き合いに応えるべく実用化を目標に小型・軽量化、陰極・陽極の長寿命化を主要な課題としている。

### 3. HCトーチの改良点

#### 3.1 重量の低減

第1号トーチは、溶射雰囲気制御用チャンバーの面板に取り付けて使用することを想定したために、総重量が約5kg となった。この重量は溶射専用ロボットに搭載可能な範囲ではあるが、手動操作の場合には重過ぎる。現在設計中の第2号トーチでは手動操作とロボット操作、また簡単な治具によってチャンバーに固定して使用できる構造とし、総重量2kg 前後を目標にする必要がある。重量低減のための主要な方法は、陰極ホルダーおよび陽極（銅製ノズル）のスリム化、冷却水・プラズマ作動ガス導入部のスリム化、および陰極・陽極・絶縁部分を除くトーチ構成部材をステンレス鋼からアルミニウム合金（またはチタン合金）、樹脂材料に変更するなどである。

#### 3.2 電極の長寿命化

##### (1) 陰極部

第1号トーチに用いた陰極は長さ40mm、直径6mm、内径1mm、先端角27° の2%ランタン入りタングステン製であり、銅製ホルダーに脱着が容易なようにはめ込みセットボルトで固定している。本トーチでは中空陰極を用い、陰極－陽極間距離を可変構造としたために水回りなど陰極部の構造が複雑となり、その結果、冷却が不十分であった。プラズマ溶射では極性を通常、正極性とするが、耐久時間は陰極側で200時間、陽極側で100時間程度とされる。耐久時間が一般に陽極側で短いのは、電子の衝突を受ける陽極側での発熱が陰極側よりも大きいことによる。

図2は、(a)使用前の陰極形状、(b)プラズマ5min 間発生、10min 間停止を6回繰返した後の陰極形状（プラズマ発生時間の合計は30min）、(c)プラズマ連続発生30min 後の陰極形状である。ただし、プラズマの発生条件は電流100A、プラズマ作動ガス（アルゴン）流量40 l/min（チャンバー内圧力は約1kgf/cm<sup>2</sup>一定）であり、トーチには15 l/min の冷却水を供給している。(b)では先端部の変化が著しいが、(c)ではほとんど変化していない。このようにプラズマを断続発生した場合の陰極の寿命は連続発生に比べて極度に短くなるが、同様の現象はプラズマアーク切断

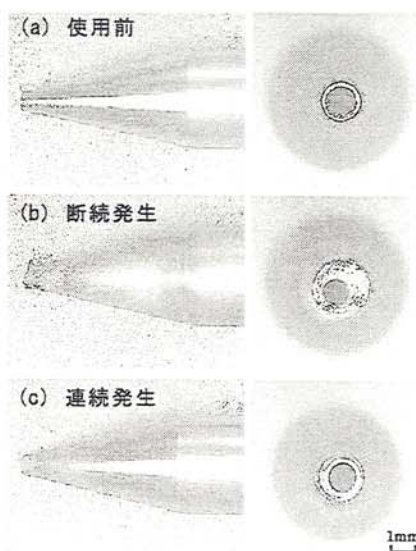


図2 陰極形状の変化

やTIGアーク溶接においても見られ、断続発生の場合に陰極の消耗が著しい。第1号HCトーチにおいて、一般のトーチとは逆に陰極での消耗が著しいのは、陰極ホルダーの構造上の問題から冷却が不十分なためと考えられる。そこで陰極先端部の温度測定を試みた。ただし、プラズマ発生中の測定は困難なことから、プラズマ停止直後にサーモビューアで測定し、その結果を図3に示す。陰極先端部の温度は、(a)作動ガス流量を変化させた場合、(b)電流を変化させた場合とで若干の違いはあるが、グラフの傾きから求めた冷却速度は約55℃/s とほぼ一定である。現在設計中の第2号トーチの製作に当たっては80℃/s 程度の冷却速度の確保を目安に、陰極を固定する銅製ホルダーの熱容量を大きくする、陰極の先端角を大きくすることなどを検討する。

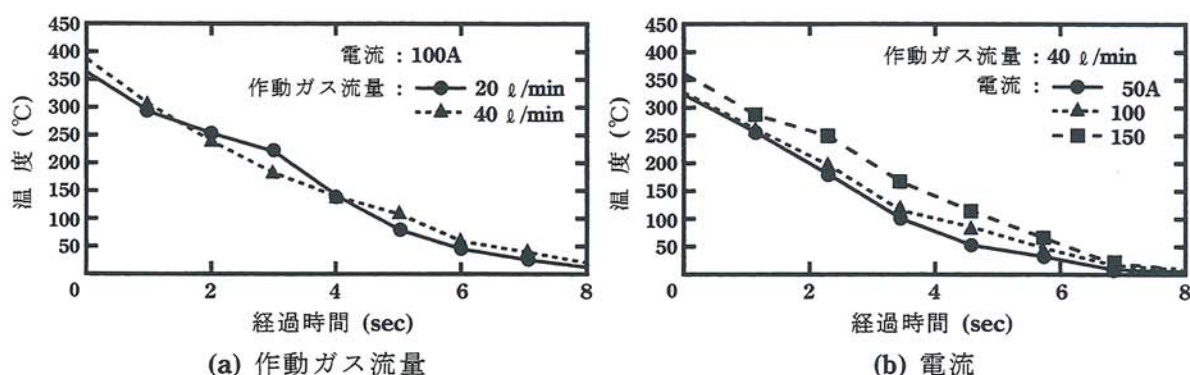


図3 陰極先端の温度変化

## (2) 陽極部

陽極(ノズルに相当)は銅製であり、第1号 HC トーチではプラズマジェットを収束するために従来型トーチの場合よりも平行部を長くしている。プラズマ発生に伴う陽極の消耗状況を(1)に述べた陰極の観察と同時に行ったが、変化はほとんど認められなかった。これは陽極部の冷却が構造上容易で、冷却が効果的に行われているためと考えられる。ただし、第2号機においては陽極部全体の小型軽量化が必要である。

## 4. 雰囲気制御チャンバー

液相溶射は大気中で作動できるが、目的によっては任意のガスおよび減圧中での施工が可能なように、トーチを雰囲気制御チャンバーに搭載できる構造としている。試作したチャンバーは直径300mm、長さ500mmのステンレス(SUS304)製であり、周囲には4本の冷却水循環パイプを設け冷却している。トーチはチャンバーの面板に固定し、チャンバー下部から上下一方向に移動可能な試料台に基板を取り付ける構造としている。

### 4.1 雰囲気制御チャンバーの改良点

現在使用中の雰囲気制御チャンバーは、試料台を一方方向にしか移動できず、作製可能な薄膜の面積は限られていた。そこで、2方向に試料台を移動できるよう改良することを検討してい

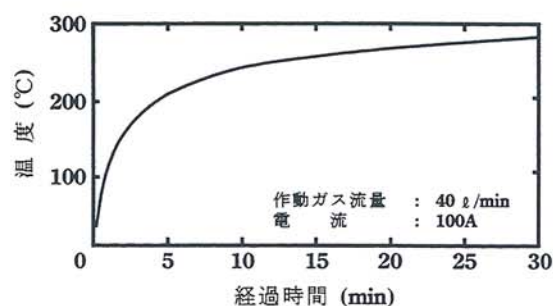


図4 チャンバー内温度



る。このためには駆動モーターを含む移動部をチャンバー内部に設置しなければならないことから、内部温度がどの程度になるかを試料台後方100mmのチャンバー中心部に設置した熱電対で測定した。図4に、電流100A、アルゴンガス流量40 l/min、チャンバー内圧1kgf/cm<sup>2</sup>のプラズマ発生条件の場合に測定した温度を示す。チャンバー内の温度は5min程度で200℃に上昇し、30min後には280℃程度になるが、それ以降はほぼ飽和する傾向がある。薄膜作製に要する時間は5min以下であり、100A程度の電流条件では駆動モーターなどの冷却をしなくてもよいが、高電流の場合には何らかの冷却が必要と考えられる。

#### 4.2 基板の温度

液相溶射装置の応用によって酸化銅、酸化鉄の他、光触媒作用の強いアナタース型結晶構造の酸化チタン皮膜の作製に成功している<sup>1-3)</sup>。アナタース型は915±15℃以上ではルチル型に転移するので、基板温度をそれ以下に設定する必要がある。そこで、ノズル-基板間距離100mm一定とし、試料台に固定した基板にプラズマを5min間連続

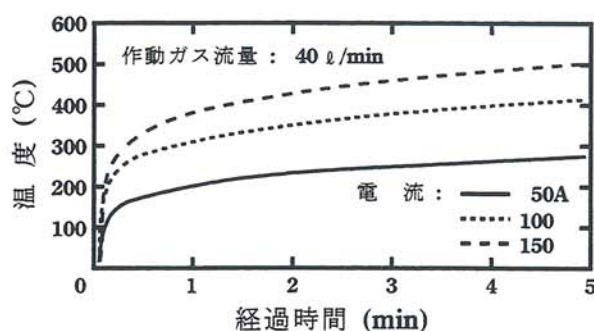


図5 基板表面温度

照射した際の基板の表面温度を熱電対で測定した結果を図5に示す。温度は電流によって異なるものの、150Aで5min間プラズマ照射を行った場合でも最大500℃程度である。したがって、アナタース型酸化チタン皮膜の作製に際しては基板の温度制御を行う必要はないといえる。

#### 5. 結論

本研究では、HC トーチと雰囲気制御チャンバーとで構成した試作第1号の液相溶射装置を対象に、実用装置を開発するに必要な課題と解決方法について検討した。現装置に必要な主要な改良点は、HC トーチについては小型軽量化と陰極の長寿命化、雰囲気制御チャンバーについては試料台を1方向から2方向に移動可能とすることである。現在、検討中の第2号機はここで得られた知見を基に設計製作する計画である。

#### 謝辞

液相溶射法の確立を目的とした本研究は、「液相材料を用いる新しい溶射装置の開発とその応用」として、平成11、12年度の中小企業総合事業団（中小企業創造基板技術研究事業）の助成を受け進行している。ここに記して関係各位に深甚の謝意を表する。

#### 参考文献

- 1) 二俣、倉本：多目的型プラズマジェットトーチの開発、北見工業大学地域共同研究センター研究成果報告書台4号(1997)、pp. 76-79.
- 2) 二俣、倉本：ホローカソード型プラズマジェットの応用、同上第5号(1998)、pp. 55-58.
- 3) 二俣、倉本：ホローカソード型プラズマジェット装置の開発、同上第6号(1999)、pp. 47-50.

付録：平成11年度共同研究課題一覧

区分	研 究 課 題	研 究 代 表 者	民 間 機 関 等
B	低温下における制震装置の構造特性に関する研究	大島俊之 教授 土木開発工学科	島田建設(株)
B	橋梁の健全度診断と総合評価に関する研究	大島俊之 教授 土木開発工学科	(株)中神土木設計 事務所
B	分散協調型ヘルプデスク方式の研究	藤原祥隆 教授 情報システム工学科	リコーシステム開発 (株)
B	下水汚泥及び放流水中の微量成分の定量に関する研究	増田 弦 教授 機能材料工学科	北見市企業局
B	下水汚泥及び放流水中の微量成分の定量に関する研究	増田 弦 教授 機能材料工学科	紋 別 市
B	下水汚泥及び放流水中の微量成分の定量に関する研究	増田 弦 教授 機能材料工学科	留 辺 藻 町
B	下水汚泥及び放流水中の微量成分の定量に関する研究	増田 弦 教授 機能材料工学科	美 幌 町
B	下水汚泥及び放流水中の微量成分の定量に関する研究	増田 弦 教授 機能材料工学科	津 別 町
B	下水汚泥及び放流水中の微量成分の定量に関する研究	増田 弦 教授 機能材料工学科	斜 里 町
B	バルーン化白土を利用した電磁波シールド材料の開発	二俣正美 教授 機械システム工学科	美瑛白土工業(株)
B	雪氷・汚泥等の付着防止機能複合材料の開発とその応用	二俣正美 教授 機械システム工学科	北辰土建(株)
B	ホローカソード型プラズマジェットの実用	二俣正美 教授 機械システム工学科	(株)倉本鉄工所
B	寒冷地における下水汚泥の有効利用に関する研究	海老江邦雄 教授 土木開発工学科	北見市企業局



B	寒冷地における下水汚泥の有効利用に関する研究	海老江邦雄 教授 土木開発工学科	美 幌 町
B	寒冷地における下水汚泥の有効利用に関する研究	海老江邦雄 教授 土木開発工学科	津 別 町
B	寒冷地における下水汚泥の有効利用に関する研究	海老江邦雄 教授 土木開発工学科	留 辺 蘂 町
B	寒冷地における水道水の高効率処理に関する研究	海老江邦雄 教授 土木開発工学科	北見市企業局
B	簡易型空気集熱・給湯システムの開発	馬場 弘 助教授 土木開発工学科	サンポット(株)
B	下水汚泥土壌中の肥効成分の定量に関する研究	海老江邦雄 教授 土木開発工学科	斜 里 町
B	北見市環境調査研究	伊藤純一 助教授 化学システム工学科	北 見 市
B	常呂川水系水質調査研究	伊藤純一 助教授 化学システム工学科	常呂川水系環境保全 対策協議会
B	一般廃棄物処理広域化計画における基礎研究	伊藤純一 助教授 化学システム工学科	北 見 市
C	ポリエチレン製肥料袋の耐寒性評価	宇都正幸 助教授 地域共同研究センター	ホクレン包材(株)
B	超機能性バイオポリフェノールの開発とその産業的利用に関する研究	山岸 喬 教授 留学生教育相談室	佐賀県 地域産業支援センター
B	I Z カルサイン溶射皮膜の作製とその特性に関する研究	二俣正美 教授 機械システム工学科	(社) 北見工業技術センター
B	寒冷地下水汚泥のコンポスト化による資源化に関する研究	海老江邦雄 教授 土木開発工学科	北見市企業局
B	氷海域海洋コンクリート構造物の耐久性に関する研究	鮎田耕一 教授 土木開発工学科	島田建設(株)

B	路面管理基準に関する研究	川村 彰 助教授 土木開発工学科	日本道路公団 試験研究所
B	凍上抑制杭の開発に関する研究	鈴木輝之 教授 土木開発工学科	(株)鴻池組 技術研究所
B	ギャロッピング現象誘発着氷導体の気流 と流速変化に関する研究	菅原宣義 助教授 電気電子工学科	(株)工学気象研究所
B	I S Oの建設業への適用システム構築 に関する研究	櫻井 宏 助教授 土木開発工学科	(株)つうけん
B	I S Oの寒冷地での建設業適用システ ムの実用化と品質向上のための評価に 関する研究	櫻井 宏 助教授 土木開発工学科	ドービー建設工業 (株)
B	I S Oの舗装工事への適用システムに 関する研究	櫻井 宏 助教授 土木開発工学科	北海舗道(株)
B	寒冷地における土木構造物の冬期施工 並びに維持管理に関する研究	鈴木輝之 教授 土木開発工学科	北見建設業協会
B	網走湖の水質調査研究	佐渡公明 教授 土木開発工学科	(株)北開水工 コンサルタント
B	ゼオライト混合コンクリートの品質評 価に関する研究	鮎田耕一 教授 土木開発工学科	(株)共成レンテム
C	凍結防止剤を用いた冬期土工法の開発	鈴木輝之 教授 土木開発工学科	北海道日本油脂(株)
B	北見市新廃棄物処理施設(ごみ処理施 設)稼働に伴うダイオキシン類事前調 査研究	伊藤純一 助教授 化学システム工学科	北 見 市
C	木酢液中の有害物質の除去に関する研 究	山岸 喬 教授 留学生教育相談室	佐藤林業(株)
B	絶縁油における低温下でのガス発生現 象に関する研究	吉田公策 教授 電気電子工学科	北海道電力(株) 北見電力所



B	北見市一般廃棄物処理基本計画の見直しに関する基礎研究	伊藤純一 助教授 化学システム工学科	北 見 市
B	海水の作用を受けるコンクリートの凍害機構と対策	鮎田耕一 教授 土木開発工学科	(株)北海道コンクリート 技術センター
B	寒冷地における冬季路面の安全確保に関する研究	森 訓保 教授 土木開発工学科	北海道電気暖房(株)
B	寒冷地の海洋コンクリート構造物の高品質施工のための解析、技術移転、対策の研究	櫻井 宏 助教授 土木開発工学科	(株)西村組
B	コンクリートポールの凍害に関する研究	鮎田耕一 教授 土木開発工学科	東日本電信電話(株)

(総研究課題数：45件)

**北見工業大学 地域共同研究センター**  
**研究成果報告書 第7号**

---

発行日 平成12年7月1日

編集 大島 俊之 (地域共同研究センター長(併)・土木開発工学科教授)  
青木 清 (地域共同研究センター兼任教官・機能材料工学科教授)  
金倉 忠之 (地域共同研究センター兼任教官・共通講座教授)  
小林 正義 (地域共同研究センター兼任教官・化学システム工学科教授)  
坂本 弘志 (地域共同研究センター兼任教官・機械システム工学科教授)  
鈴木 輝之 (地域共同研究センター兼任教官・土木開発工学科教授)  
藤原 祥隆 (地域共同研究センター兼任教官・情報システム工学科教授)  
増田 弦 (地域共同研究センター兼任教官・機能材料工学科教授)  
山城 迪 (地域共同研究センター兼任教官・電気電子工学科教授)  
宇都 正幸 (地域共同研究センター助教授)

発行者 北見工業大学地域共同研究センター  
〒090-0013 北海道北見市柏陽町603番地-2  
TEL 0157-26-4170 (センター長室)  
0157-26-4163 (専任教官室)  
0157-26-4161 (事務室)  
FAX 0157-26-4171  
E-mail center@crc.kitami-it.ac.jp  
URL <http://crcenter.crc.kitami-it.ac.jp/>

印刷 (株) 北 海 印 刷

---