

論文

[1149] メチルセルロース系増粘剤を用いたコンクリートの耐凍害性

須藤裕司*1・鮎田耕一*2・早川和良*3・山川 勉*4

1. 目的

増粘剤を用いることによって材料分離抵抗性を高めた高流動のコンクリートを作ることが可能であり、その有効利用が期待されている。

従来水中不分離性混和剤として用いられているメチルセルロース（以下、MCとする）系増粘剤を多量に添加したコンクリートは、一般に耐凍害性が小さいとされており、MC系増粘剤を用いた高流動コンクリートを寒冷地で使用するにはこの点を明らかにし、適切な配合設計をする必要がある。

著者らは、先に高炉スラグ微粉末の併用がMC系増粘剤添加コンクリートの耐凍害性改善に有効であることを示した[1]が、本研究ではMC系増粘剤の成分および添加量、高炉スラグ微粉末の比表面積および分量がMC系増粘剤添加コンクリートの耐凍害性に与える影響を急速凍結融解試験により検討した。さらに、MC系増粘剤添加コンクリートの実環境下での耐凍害性を確認するため、急速凍結融解試験で用いた供試体と同時に作製した供試体を寒冷地に3年間曝露した結果についても検討した。

表1 使用材料

普通ポルトランドセメント		比重:3.15
高炉スラグ微粉末	A	比重:2.90, 比表面積(ブレン方法):4560cm ² /g
	B	比重:2.91, 比表面積(ブレン方法):7800cm ² /g
細骨材		山砂, 比重:2.55, 吸水率2.78%, FM:2.88
粗骨材		碎石, 比重:2.61, 吸水率2.61%, FM:6.62, 最大寸法:20mm
増粘剤	MC ₁	主成分:メチルセルロース(有機極性化合物系消泡剤含有)
	MC ₂	主成分:メチルセルロース(リン酸系消泡剤含有)
AE減水剤		リク [®] ニンスルホン酸塩ポリオール複合体
高性能減水剤		高縮合トリアジン系化合物

2. 実験内容

2.1 供試体

使用材料を表1に、使用したMC系増粘剤の種類と添加量、高炉スラグ微粉末の種類と分量の組合せを表2に、コンクリートの配合とフレッシュコンクリートの性状を表3に示す。表2、表3のNo.5は、増粘剤、高炉スラグ微

表2 実験要因

供試体 No.	増 粘 剤		高炉スラグ微粉末	
	種 類	添加量 (kg/m ³)	種 類	分量 (%)
No.1	MC ₁	1.0	A	60
No.2	MC ₂	1.0	A	60
No.3	MC ₁	0.5	A	30
No.4	MC ₁	1.0	B	60
No.5	—	0	—	0

*1 北見工業大学大学院 工学研究科土木開発工学専攻(正会員)

*2 北見工業大学教授 工学部土木開発工学科、工博(正会員)

*3 信越化学工業㈱ 有機合成事業部事業部長室主席技術員、理修(正会員)

*4 信越化学工業㈱ 合成技術研究所第一部研究員(正会員)

表3 配合とフレッシュコンクリートの性状

供試体 No.	W/C (%)	s/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)						A E 減水剤 (C×%)	高性能 減水剤 (C×%)	空気量 (%)	スランプ [°] (cm)
			W	C	増粘剤	高炉 スラグ [*]	S	G				
No.1	52	43	177	136	1.0(MC ₁)	204(A)	723	981	0.2	1.0	5.4	19.5
No.2	52	43	177	136	1.0(MC ₂)	204(A)	723	981	0.2	1.0	5.1	21.5
No.3	52	43	177	238	0.5(MC ₁)	102(A)	726	986	0.2	1.0	5.2	20.0
No.4	52	43	177	136	1.0(MC ₁)	204(B)	724	982	0.2	1.0	4.9	18.5
No.5	54	43	184	340	—	—	733	994	0.2*1	—	5.2	15.0

*1: 補助AE剤を併用

粉末、高性能減水剤を使用していない比較用の基準コンクリートである。

コンクリートはセメント、増粘剤、細骨材、粗骨材を1分間空練りし、水、A E減水剤を加え本練りを2分間行い、さらに高性能減水剤を後添加して1分間練りまぜを行って製造した。

2.2 実験項目

実験項目とその内容は次の通りである。

(1) 圧縮強度試験

φ10×20cmの円柱供試体を用い、標準養生材令7日、28日、1年、3年の圧縮強度を測定した。

(2) 凍結融解試験

10×10×40cmの角柱供試体を20℃の水中で28日間養生後、材令28日から ASTM C 666 A 法に準拠して水中で急速凍結融解試験を300サイクルまで行い耐久性指数を求めた。

(3) 細孔構造試験

20℃の水中で28日間養生した供試体から採取した試料を用い、水銀圧入式ポロシメータで細孔構造を測定した。

(4) 曝露実験

10×10×40cmの角柱供試体とφ10×20cmの円柱供試体を20℃の水中で28日間養生後、北海道北見市で1989年10月から曝露した。毎年度春と秋に角柱供試体の相対動弾性係数、質量、長さを測定した。また、材令1年、3年に円柱供試体の圧縮強度を測定した。

2.3 曝露環境

(1) 曝露地の気象条件

曝露地の北見市は図1に示すように、北海道の

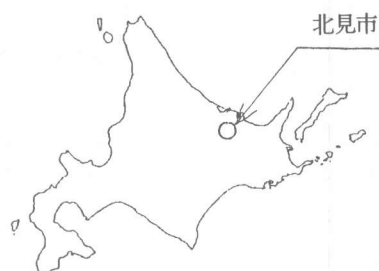


図1 北見市の位置

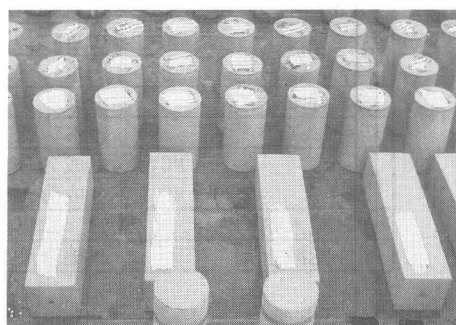


写真1 (雪が無い状態)

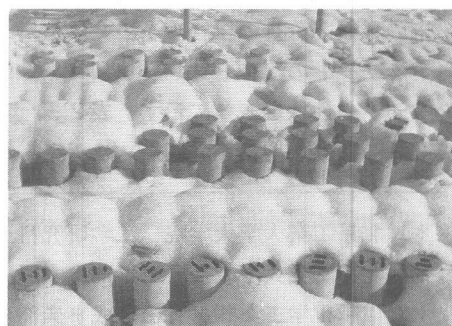


写真2 (雪がある状態)

東部に位置しオホーツク海沿岸から内陸に約50km入ったところにある。供試体は北見工業大学土木棟屋上に直接静置した。供試体の曝露状況を写真1（雪が無い状態）、写真2（雪がある状態）に示す。

曝露3年間の最低気温は -24.4°C であった。北見市は気温の日較差が大きく、凍結融解作用を受けやすい地域であり、耐凍害性を検討するための曝露実験には最適の地であるといえる。例として、図2に1991年11月から1992年3月までの北見工大屋上での日最高気温と日最低気温を示す。

(2) コンクリート温度と凍結融解回数
 $10 \times 10 \times 40\text{cm}$ の角柱供試体中心部分に熱電対を埋め込みコンクリート温度を測定した。例として、図3に1991年11月から1992年3月までの日最高温度と日最低温度を示す。12月下旬から1月下旬にかけてコンクリート温度が 0°C 程度で一定になっているのは、供試体が雪で覆われていたためである。

コンクリート温度が 0°C 以下となり再び 0°C 以上になったときを1サイクルとして、曝露3年間の供試体の年間凍結融解回数を計算した結果を表4に示す。

3. 実験結果と考察

3.1 急速凍結融解試験

急速凍結融解試験の結果を図4に、標準養生材令7日、28日の圧縮強度、耐久性指数および標準養生材令28日の総細孔容積を表5に、細孔径の分布を図5に示した。

(1) MC系増粘剤の種類と耐凍害性

消泡剤の成分の異なる2種類のMC系増粘剤MC₁とMC₂を用いて製造したコンクリートの耐凍害性について検討した。図4、表5の結果から明らかなように、MC₁と高炉スラグ微粉末を60%混合したコンク

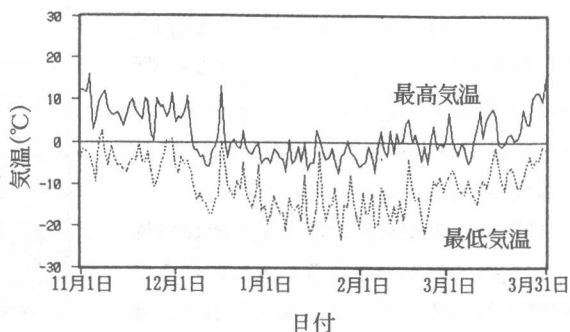


図2 北見市の最高気温と最低温度

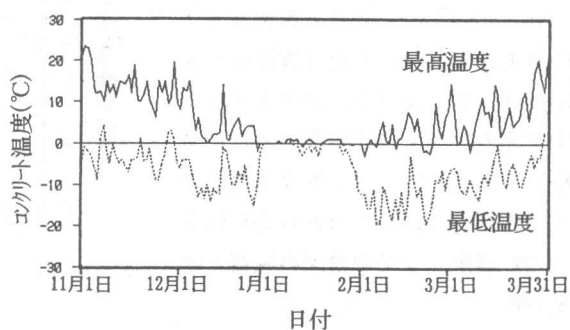


図3 コンクリートの最高温度と最低温度

表4 供試体の凍結融解回数

測定期間	1年目	2年目	3年目
凍結融解回数	137	137	140

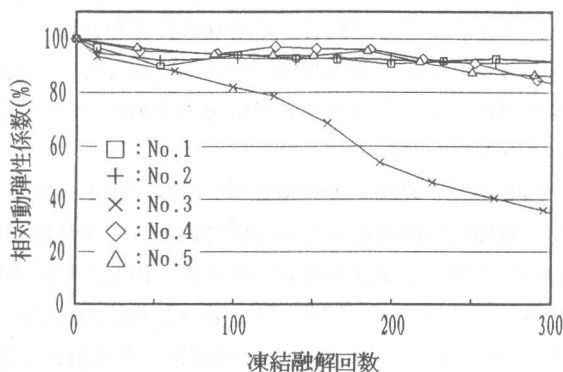


図4 急速凍結融解試験の結果

リート(No.1), MC₂と高炉スラグ微粉末を60%混合したコンクリート(No.2)のいずれも耐凍害性が大きく、MC系増粘剤(消泡剤)の種類が耐凍害性に及ぼす影響は、この実験の範囲では認められない。

(2) MC系増粘剤の添加量と耐凍害性

MC系増粘剤の添加量が少ないほうが耐凍害性が優れていると考えられている[2]が、図4、表5の結果では増粘剤添加量0.5kg/m³のNo.3(高炉スラグ微粉末分量30%)は、増粘剤添加量1.0kg/m³のNo.1, No.2 (いずれも高炉スラグ微粉末分量60%)より耐凍害性が小さかった。これは、(4)に示すように、増粘剤の添加量よりも高炉スラグ微粉末の分量のほうが、耐凍害性に大きい影響を与えるためと考えられる。

(3) 高炉スラグ微粉末の種類と耐凍害性

図4、表5の結果から、比表面積4560cm²/gの高炉スラグ微粉末を用いたMC系増粘剤添加コンクリート(No.1)、比表面積7800cm²/gの高炉スラグ微粉末を用いたMC系増粘剤添加コンクリート(No.4)とも耐凍害性は大きく、高炉スラグ微粉末の粉末度が耐凍害性に与える影響は、この実験の範囲では認められない。しかし、No.4の圧縮強度(表5)は、他に比べて材令7日で約70%、材令28日で約50%大きい。表5の総細孔容積の結果からも明かなように、比表面積7800cm²/gの高炉スラグ微粉末を用いたコンクリート(No.4)の細孔は少なく、組織が緻密化している。

(4) 高炉スラグ微粉末の分量と耐凍害性

図4、表5の結果から、MC系増粘剤を1.0kg/m³と高炉スラグ微粉末60%を混合したコンクリート(No.1, No.2, No.4)の耐凍害性は大きい、増粘剤を0.5kg/m³と高炉スラグ微粉末を30%混合したコンクリート(No.3)の耐凍害性は小さい。

これは、増粘剤を添加(添加量1.0kg/m³)しても高炉スラグ微粉末の分量が60%だと耐凍害性は確保できるが、高炉スラグ微粉末の分量が30%だと増粘剤添加量が0.5kg/m³でも耐凍害性が小さいことを示している。

図5から、増粘剤の添加量が0.5kg/m³で高炉スラグ微粉末の分量が30%のコンクリート(No.3)は、増粘剤の添加量が1.0kg/m³で高炉スラグ微粉末の分量が60%のコンクリート(No.1, No.2, No.4)と比べ、半径が数百～数千Åの細孔の量が多い。-20℃程度まで温度が下がるのに伴い凍結するコンクリート中の水分は、おおむねこの程度の大きさまでの細孔に含まれていると考えられている[3]ので、このことが、高炉スラグ微粉末分量30%のMC系増粘剤添加コンクリートの耐凍害性が小さい原因の1つであろう。

表5 実験結果

供試体 No.	圧縮強度 (kgf/cm ²)		凍融試験 耐久性 指数	総細孔容積 (mm ³ /g)
	7日	28日		
No.1	213	372	92	83.48
No.2	194	354	91	87.06
No.3	201	342	36	75.62
No.4	343	507	83	56.96
No.5	204	300	86	84.41

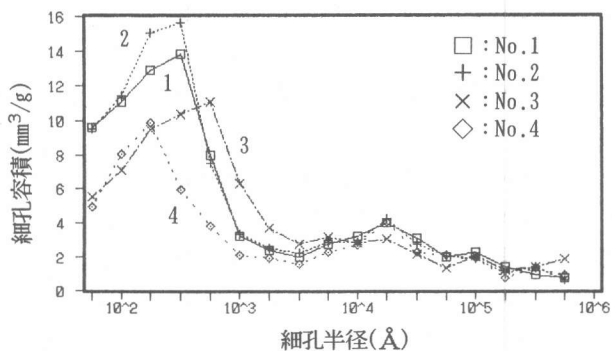


図5 細孔の大きさの分布

3. 2 曝露実験

標準養生および曝露した供試体の圧縮強度を表6に、曝露した各供試体の圧縮強度の発現性状を図6に、標準養生材令28日の圧縮強度を基準とした場合の材令1年と材令3年の曝露供試体の圧縮強度比を図7に示す。

この結果から、いずれの曝露供試体も材令1年までの強度増進は大きく、その後強度は漸増傾向にあり、水和は順調に進行しているといえる。

No.1とNo.2の比較から、MC系増粘剤の種類が曝露供試体の圧縮強度に及ぼす影響は認められない。

増粘剤と高炉スラグ微粉末の混合が圧縮強度に及ぼす影響を見ると、図6から基準コンクリート (No.5) と比べ高炉スラグ微粉末を混合したMC系増粘剤添加コンクリート (No.1, No.2, No.3, No.4) の強度は大きい。中でも、比表面積7800cm²/gの高炉スラグ微粉末を混合したコンクリート (No.4) の強度は大きく、粉末度の高い高炉スラグ微粉末使用コンクリートの特性があらわれている。しかし、図7から明らかなように、No.4は材令1年、3年強度の発現の割合は他と比べて小さい。

以上の強度試験の結果から明らかなように、融雪によって日中は湿潤になり、夜間は凍結する厳しい環境にあるにもかかわらず、各曝露供試体の強度発現は良好である。

曝露供試体の相対動弾性係数を表7に、質量減少率を表8に、長さ増加比を表9に示す。

3年経過した時点では、いずれの曝露供試体の相対動弾性係数、質量、長さもほとんど変化がみられず、MC系増粘剤と高炉スラグ微粉末の種類や量の影響はあらわれていない。

この結果から、増粘剤と高炉スラグ微粉末を併用したコンクリートは、高炉スラグ微粉末の分量が60%のコンクリート (No.1, No.2, No.4) はもとより30%のコンクリート (No.3) であっても、増粘剤を用いていない基準コンクリート (No.5) と同様に、凍害を受けているきざしはあらわれていない。

表6 圧縮強度

供試体 No.	圧縮強度 (kgf/cm ²)				
	標準養生			曝露	
	28日	1年	3年	1年	3年
No.1	372	570	625	501	494
No.2	354	555	618	485	494
No.3	342	505	527	447	452
No.4	507	638	642	574	604
No.5	300	397	416	369	372

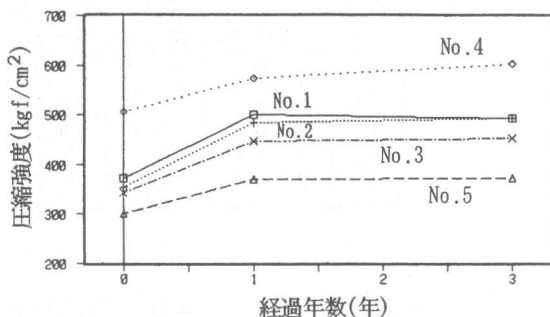


図6 圧縮強度の発現性状

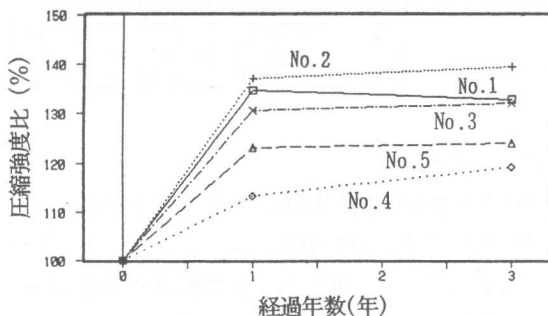


図7 標準養生材令28日圧縮強度を基準にした場合の曝露供試体の圧縮強度

表7 相対動弾性係数（曝露実験）

供試体 No.	相 対 動 弾 性 係 数 (%)						
	89年秋	90年春	90年秋	91年春	91年秋	92年春	92年秋
No.1	100	104	107	104	102	100	104
No.2	100	107	108	106	104	103	107
No.3	100	102	105	99	98	99	103
No.4	100	102	102	97	92	92	97
No.5	100	96	99	97	97	97	101

表8 質量減少率（曝露実験）

供試体 No.	質 量 減 少 率 (%)						
	89年秋	90年春	90年秋	91年春	91年秋	92年春	92年秋
No.1	0.0	-0.3	-0.4	-0.2	-0.2	-0.1	-0.2
No.2	0.0	0.0	-0.1	0.0	0.0	0.2	0.1
No.3	0.0	0.2	0.2	0.5	0.5	0.7	0.6
No.4	0.0	-0.3	-0.4	-0.2	-0.3	-0.1	-0.2
No.5	0.0	0.7	0.7	1.3	1.3	1.6	1.3

表9 長さ増加比（曝露実験）

供試体 No.	長 さ 増 加 比 ($\times 10^{-3}$)						
	89年秋	90年春	90年秋	91年春	91年秋	92年春	92年秋
No.1	0.00	-0.15	-0.06	-0.28	-0.20	-0.09	-0.14
No.2	0.00	-0.18	-0.07	-0.33	-0.22	-0.11	-0.13
No.3	0.00	-0.12	-0.07	-0.32	-0.23	-0.16	-0.16
No.4	0.00	-0.06	0.08	-0.17	-0.09	0.12	0.07
No.5	0.00	-0.13	-0.13	-0.41	-0.29	-0.21	-0.23

4. まとめ

今回の実験の範囲で以下のことが明らかになった。

(1) MC系増粘剤を添加したコンクリートを用いて急速凍結融解試験を行った結果、増粘剤の添加量が 1.0kg/m^3 、高炉スラグ微粉末の分量60%のコンクリートの耐凍害性は大きかった。

(2) 寒冷地における3年間の曝露実験の結果では、高炉スラグ微粉末の分量が30%であってもMC系増粘剤添加（添加量 0.5kg/m^3 ）コンクリートの耐凍害性は確保されている。

(3) MC系増粘剤に混入した消泡剤の成分、高炉スラグ微粉末の比表面積（ $4560, 7800\text{cm}^2/\text{g}$ ）が耐凍害性に及ぼす影響は急速凍結融解試験、曝露試験とも認められなかった。

<参考文献>

- 1) 須藤裕司・鮎田耕一：分離低減剤添加コンクリートの空隙構造と耐凍害性、土木学会第46回年次学術講演会概要集、第5部、pp.410-411、1991.9
- 2) 須藤裕司・鮎田耕一・佐原晴也、竹下治之：増粘剤を添加した高流動コンクリートの耐凍害性に関する基礎的研究、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.14、No.1、pp.1003-1008、1992.6
- 3) 鎌田英治：コンクリートの凍害と細孔構造、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.10、No.1、pp.51-60、1988.6