

V-11

顔料添加コンクリートの凍結防止剤による影響

北海学園大学工学部 フェロー 久保 宏
 北海学園大学工学部 ○学生会員 宮下 成秀
 北野コンクリート(株) 北野 隆春

1 まえがき

現在、我が国にはコンクリート構造物であるトンネル、橋梁、道路付帯構造物である排水側溝や縁石、農業用の用排水路等が多く存在している。寒冷地においてこのようなコンクリート構造物は、厳しい気象作用や道路に散布される凍結防止剤等の影響によりコンクリートが劣化したり破壊するといった被害が生じている。特に直接、土や岩に接している農業用の用排水路や道路側溝等では、冬期にトラフ背面土の凍上現象のためコンクリート製トラフが破壊するなどの凍上被害が多く発生している。このため北海道の東部地域のような冬の寒さが厳しく、雪の少ない地域で雪による断熱効果が期待できないところではこのような被害が多く発生するためその対策が必要となる。

一方、最近では自然景観を考慮に入れた土木構造物が多く設計、施工され機能的のみではなく付加価値の高いものが望まれる。そのため、農村地域においても農村景観を考慮に入れたものが望まれている。

本研究では、コンクリート構造物の凍上抑制対策及びコンクリート構造物の気象作用や凍結防止剤によるコンクリートの劣化防止対策として酸化第二鉄を主成分とした顔料を普通コンクリートの練り混ぜ時に混入し、トラフ自体に冬期間の日中の太陽熱を吸収させ、トラフ背面土の温度上昇により凍上防止を計ろうとするものである。そのため、顔料添加したコンクリートと普通コンクリートとの強度の関係と凍結防止剤による影響について、室内における圧縮・引張強度試験と凍結防止剤による影響に関する凍結融解試験を行い比較検討を行った。

2. 供試体の作成

試験用のコンクリート供試体は、【JIS A 1132】「コンクリートの強度試験用の供試体の作り方」に従って作成した。顔料添加コンクリートは、着色顔料をそれぞれセメント質量の4%を材料の練り混ぜ時にセメントと同時に混入したものである。

表-1 コンクリートの配合

○試験に用いた材料及び顔料
 試験に用いた材料及び顔料は、表-1～表-3に示す通りである。

粗骨材の最大寸法 (mm)	スランパの範囲 (cm)	空気量の範囲 (%)	水セメント比 (%)	細骨材率 s/a (%)	単位量(kg/m ³)				
					セメント C	水 W	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤 AE剤
25	1.2±2.5	4.5±1.0	47.4	3.9	28.9	13.7	76.2	18.2	0.578

○圧縮強度・引張強度試験の供試体

試験に用いた供試体は、直径の2倍の高さを持つ円柱型(高さ20cm×直径10cm)のものを、打設後にコンクリートが硬化したのを確認してから型枠を脱着した。硬化した供試体は水温19℃の水中養生を行い、1)材令28日、練り混ぜ時間1.5分と3分、2)材令28日と14日における供試体を用い試験を行った。

表-2 コンクリートの材料

	産地・製造会社	種類・寸法	比重	その他
セメント	宇部興産	早強ポルトランドセメント	3.14	
細骨材	田浦	最大寸法 5mm	2.68	吸水率 1.8% 粗粒率 2.62
粗骨材	静内	最大寸法 25mm	2.67	吸水率 1.42% 粗粒率 6.91
混和剤	山崎化学	ビソル 80	1.038	

Experimental research on the effect of anti-freezing agents to annexed cement concrete with pigment, Seisyyuu Miyashita, Hiroshi Kubo and Takaharu Kitano.

1)練り混ぜ時間1.5分と3.0分の普通、

黒色、茶色コンクリートの6種類の供試体を計30本作成し、圧縮強度試験には3本ずつ計18本、引張強度試験には2本ずつ計12本の供試体を使用した。

2)養生期間28日と14日の普通、茶色コ

ンクリートの4種類の供試体を計48本作成し、圧縮強度試験には7本ずつ計28本、引張強度試験には5本ずつの計20本の供試体を使用した。

○凍結防止剤の影響に関する凍結融解試験の供試体

供試体は、高さ40cm、幅10cmの直方体のものを用いた。各供試体の硬化後に試験室で水温19℃の水中養生を行い、1)養生期間28日の供試体、凍結防止剤3種類、2)養生期間14日と28日の供試体、凍結防止剤3種類で試験を行った。

1)養生期間28日の普通、茶色コンクリート供試体をそれぞれ10本、8本の計18本の供試体を使用し、凍結防止剤には塩化ナトリウム、塩化カルシウム及びCMAを使用し凍結融解試験を行った。

2)養生期間14日の普通、茶色コンクリート供試体をそれぞれ8本ずつの計16本の供試体を使用し、凍結防止剤には塩化ナトリウム、塩化カルシウム及びCMAを使用し凍結融解試験を行った。

○供試体の作成場所並びに試験場所

圧縮強度・引張強度試験用の供試体の作成及び試験は、夕張郡栗山町の北野コンクリート株式会社にて行い、凍結防止剤による影響に関する凍結融解試験は、北海学園大学工学部低温実験室にて行った。なお、顔料添加コンクリートは景観を重視しているので茶色コンクリートを中心に試験を行った。

3 コンクリートの強度試験

○コンクリートの圧縮強度試験

本研究での圧縮強度試験は、【JIS A 1108】「コンクリートの圧縮強度試験方法」に定められた方法により、所定の養生終了後に行った。

○コンクリートの引張強度試験

本研究での引張強度試験は、【JIS A 1113】「コンクリートの引張強度試験方法」により、所定の養生終了後に行った。試験方法は、円柱体を横にして上下から加圧する割裂試験を行った。

3.1 圧縮強度・引張強度試験の結果及び考察

圧縮・引張強度試験の結果をまとめると、図-1～図-3のようになる。図-1と図-2は普通、着色コンクリートの練り混ぜ時間をそれぞれ1.5分と3分とした供試体の強度試験の結果である。図-1はコンクリートの圧縮強度をコンクリート別に示し、その強度率を表わしたものである。この図から、練り混ぜ時間1.5分、3分ともに顔料添加コンクリートの方が強度が大きいのがわかる。さらにこのデータを検定した結果、普通と着色コンクリートとの間には有意水準5%で有意差があった。このことから、圧縮強度に関しては、通常のコンクリートにくらべて、顔料添加したコンクリートの方が強度が大きい。さらに練り混ぜ時間に関しては、図でみると1.5分の方が

表-3 顔料の性状

	粒度(ミクロン)	Fe ₂ O ₃	SiO ₂ +Al ₂ O ₃	水溶性塩分(%)	比重
黒色	0.2	93~95	3	0.5	4.6
茶色	0.1~0.2	94~95	2~3	0.5	4.6

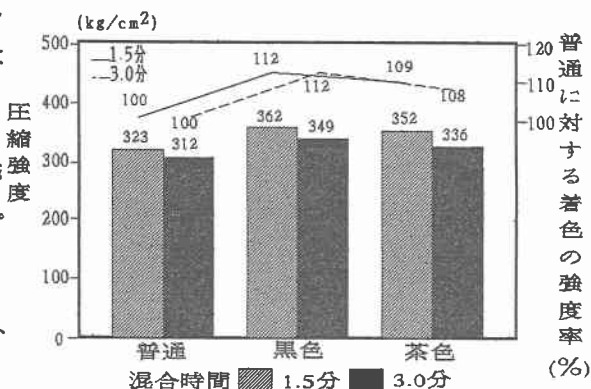


図-1 コンクリートの圧縮強度(1)

強度が大きくなっているが、検定を行った結果ではどの供試体も有意差はなく1.5分と3分との間には強度の差はみられない。

図-2は引張強度試験の結果である。引張強度でも圧縮強度と同じような傾向がみられ、通常のコンクリートにくらべて顔料添加コンクリートの方が強度が大きくなっている。

図-3は養生期間を14日と28日とした普通、茶色コンクリートのそれぞれの圧縮強度試験の結果である。この図も同様にコンクリート別に圧縮強度を示し、その強度率を表したものである。この図から養生期間14日も28日も茶色コンクリートの方が強度が大きくなっているのがわかる。またこの図から、養生28日の普通コンクリートは養生14日の茶色にくらべ強度が大きくなっているが、このデータを検定した結果、有意差がなかった。したがって、この図から得られるこの2つのコンクリートの強度の差は、ばらつきの範囲であり14日の茶色と28日の普通コンクリートの強度の差は認められなかった。

このように、顔料添加コンクリートが普通コンクリートに比べて強度が増加するのは、コンクリートに顔料を添加することでコンクリートの水密性が増し、その結果、強度が増加するものと考えられる。

4 凍結防止剤の影響に関する凍結融解試験

この試験は、凍結融解試験用の容器に3%濃度にした凍結防止剤の溶液をそれぞれ入れること以外は、すべて凍結融解試験と同じ方法で試験を行った。試験後、供試体を十分に乾燥させ吸水率を計算した。

4.1 試験結果と考察

この試験の結果は、図-4～9、表-4～5に示す通りである。図-4～5は、養生28日の普通、茶色コンクリートと3種類の凍結防止剤を用いた試験の結果である。図-4は、この試験に使用した供試体の吸水率と凍結防止剤の関係をコンクリート別に示したものである。この図から、茶色コンクリートの方が普通に対して吸水率が小さくなっているのがわかる。これを実験計画法に基づき検定をした結果、有意差があった。これは、顔料を添加することでコンクリートが緻密になっているため水の侵入を軽減しているためと考えられる。また、凍結防止剤別にみるとCMAの吸水率が小さくなっている。これは、CMA水溶液がコンクリートの表面を被膜するために、水の内部への侵入を防ぐといわれていることに符号する。

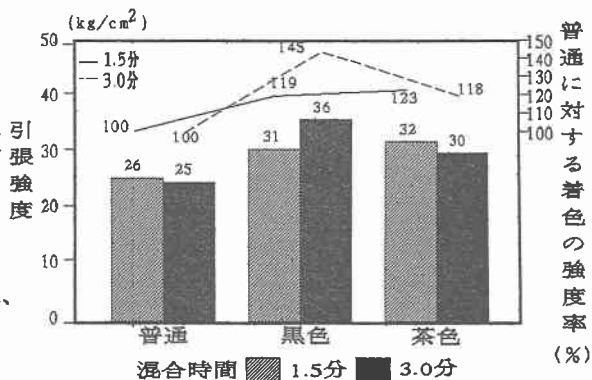


図-2 コンクリートの引張強度(1)

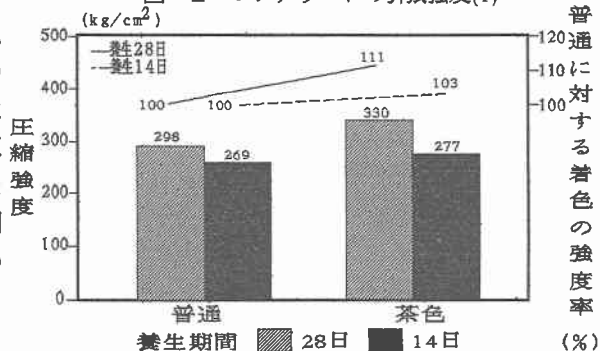


図-3 コンクリートの圧縮強度(2)

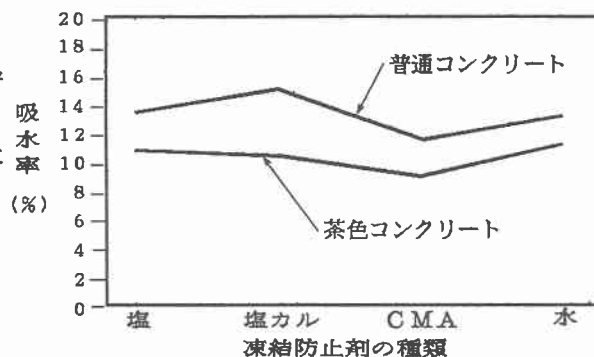


図-4 コンクリートの吸水率

表-4は、凍結融解作用での凍結防止剤の質量減少率への影響を166、230、300サイクルの3サイクルに分けて表にしたものである。この表をみると、水、CMA、塩化カルシウムの質量減少率は、この3つのサイクルにおいては緩やかに変化するのに対し、塩化ナトリウムは普通、茶色コンクリートにおいても他の凍結防止剤にくらべ質量減少の割合が大きく、コンクリートに与える影響が大きい。

図-5は、300サイクルにおけるコンクリート供試体の質量減少率と凍結防止剤の関係を示したものである。この図では、普通、茶色コンクリートの質量減少率の差はあまりみられない。これについて検定を行ったが、有意差はなかった。また、凍結防止剤別にみると溶液が塩化ナトリウムの場合、水の場合にくらべてコンクリートの質量減少率が約2倍になっている。これは塩化ナトリウムがコンクリートに対して、悪影響を与えているものと考えられる。

図-6～9、表5は養生期間14日の普通、茶色コンクリートと3種類の凍結防止剤を用いた試験の結果である。図-6は、各凍結防止剤における普通コンクリートの質量減少率を比較したものである。この図をみると、凍結防止剤を使用しなかった供試体に比べ凍結防止剤で行った供試体の質量減少率が大きくなっているのがわかる。この試験の300サイクルにおけるデータについて検定を行った結果、水と全ての凍結防止剤の質量減少率に有意差があった。また、凍結防止剤別にみると塩化ナトリウムの質量減少率が大きく、次いでCMA、塩化カルシウムの順になっている。このことから、普通コンクリートについては凍結防止剤を使用することでコンクリートに与える影響が大きく、特に塩化ナトリウムの影響が大きくなっているのがわかる。

表-4 凍結防止剤の種類の影響

	凍結融解作用での質量減少率 (%)					
	普通コンクリート			茶色コンクリート		
	166	230	300	166	230	300
水	2.1	2.5	2.9	1.2	2.1	2.8
塩	3.4	5.4	7.2	1.5	3.0	5.1
塩カル	1.5	1.9	2.3	1.9	2.5	3.0
CMA	1.7	2.9	4.0	2.5	3.8	5.1

注) 数値は供試体2個の平均値
ただし普通コンクリートの水については4個である。

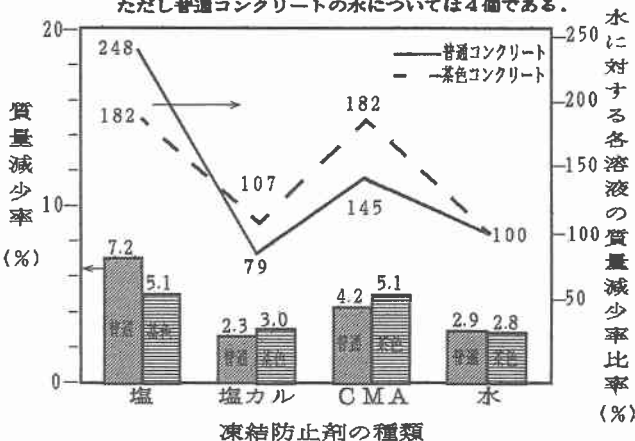


図-5 300サイクルにおけるコンクリートの質量減少率

図-6は、各凍結防止剤における普通コンクリートの質量減少率を比較したものである。この図をみると、凍結防止剤を使用しなかった供試体に比べ凍結防止剤で行った供試体の質量減少率が大きくなっているのがわかる。この試験の300サイクルにおけるデータについて検定を行った結果、水と全ての凍結防止剤の質量減少率に有意差があった。また、凍結防止剤別にみると塩化ナトリウムの質量減少率が大きく、次いでCMA、塩化カルシウムの順になっている。このことから、普通コンクリートについては凍結防止剤を使用することでコンクリートに与える影響が大きく、特に塩化ナトリウムの影響が大きくなっているのがわかる。

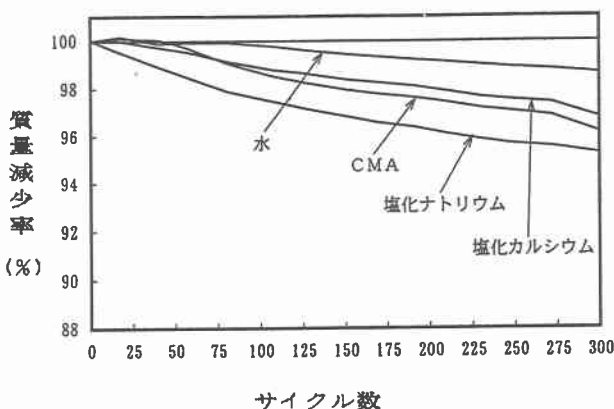


図-6 養生14日の普通コンクリートの質量減少率

図-7と図-8は、各凍結防止剤における茶色コンクリートの質量減少率の比較と300サイクルにおける水に対する各凍結防止剤のコンクリートの質量減少率の比率を示したものである。この2つの図をみると、普通コンクリートと同様に水の場合に比べ凍結防止剤である塩化ナトリウム、塩化カルシウム、CMAを用いた供試体の質量減少率がそれぞれ、約1.5倍から3.5倍となっている。この試験の300サイクルにおけるデータについて検定を行った結果、水と全ての凍結防止剤間に有意差があり凍結防止剤が茶色コンクリートに悪影響を与えることがわかる。また、この2つの図から普通コンクリートと同様に塩化ナトリウムの質量減少率が大きく、次いでCMA、塩化カルシウムの順となっている。このデータについて検定を行った結果、CMA、塩化カルシウムともに塩化ナトリウムの質量減少率と有意差があった。このことから、凍結防止剤である塩化ナトリウムは他の凍結防止剤に比べ茶色コンクリートに与える影響が大きいことがわかる。また、この2つの図から塩化ナトリウム以外は、普通と茶色コンクリートの300サイクルにおける質量減少率に有意差は認められなかった。

図-9は、養生14日の茶色コンクリートの相対動弾性係数と凍結防止剤の関係を示したものである。相対動弾性係数も質量減少率と同様の傾向を示している。しかし、300サイクルにおけるデータについて検定を行ったが、有意差はなく、塩化ナトリウム以外は、水及び全ての凍結防止剤間にはっきりとした差は相対動弾性係数からは得られなかった。

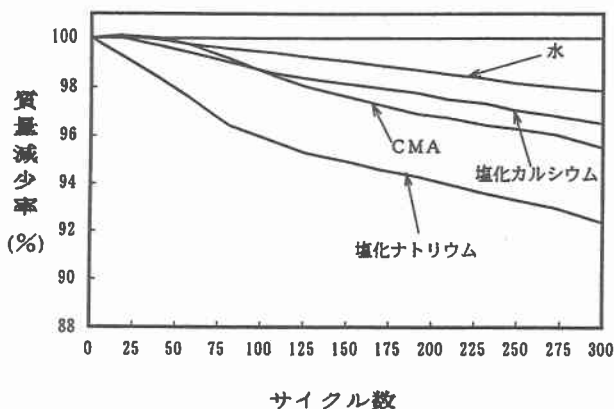


図-7 養生14日の茶色コンクリートの質量減少率

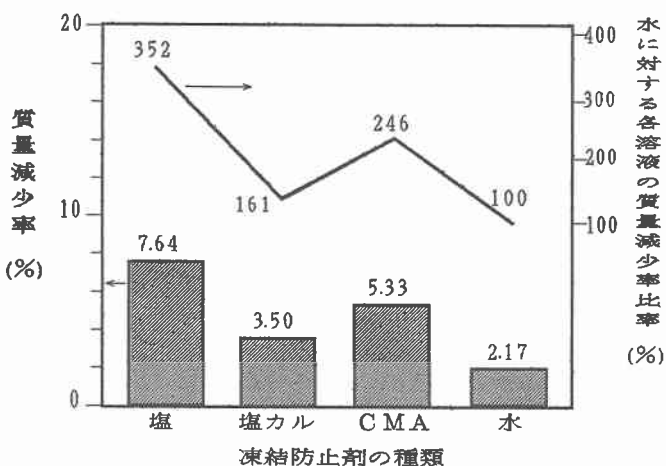


図-8 300サイクルにおける養生14日の茶色の質量減少率

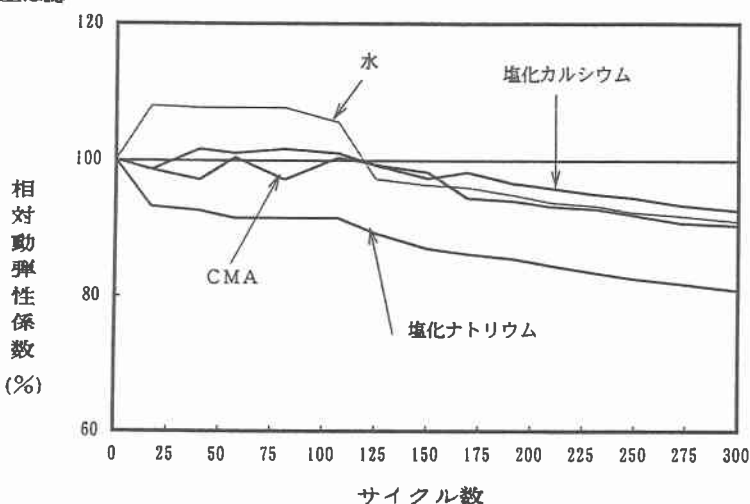


図-9 養生14日の茶色コンクリートの相対動弾性係数

表-5は各凍結防止剤における養生14日の茶色コンクリートと普通コンクリートの耐久性指数を示したものである。この表からも、普通、茶色コンクリートとも塩化ナトリウムの耐久性指数が水及び他の凍結防止剤に比べて小さくなっているのがわかる。このように凍結防止剤

表-5 コンクリートの耐久性指数

コンクリートの耐久性指数		
供試体の種類 溶液の種類	養生14日 茶色コンクリート	養生14日 普通コンクリート
NaCl	80.8	76.4
CaCl ₂	92.6	84.8
CMA	90.4	79.5
H ₂ O	91.0	80.2

である塩化ナトリウムがコンクリートに悪影響を与える原因として考えられることは、塩化ナトリウムには起寒剤の作用があり、氷が0℃近くで塩化ナトリウムにより融解し、この急激な温度降下に伴いできたNaCl溶液も温度が-10℃～-15℃になる。その結果、コンクリート中の毛細管水が凍り、コンクリートが劣化すると考えられる。

なお、この凍結防止剤による影響に関する試験において、溶液が塩化ナトリウムの場合の養生14日の茶色コンクリートの質量減少率が同じ養生14日の普通コンクリートに比べて大きくなっているが、この原因については明かではない。

5 結論

以上の試験結果から顔料を添加したコンクリートの強度及び耐久性、並びに凍結防止剤による影響をそれぞれの試験について検討した結果をまとめると以下に示す通りである。

- 1) 圧縮・引張強度試験では、顔料を添加した黒色、茶色コンクリートは普通コンクリートに対して強度が増加する。
- 2) 圧縮強度試験では、養生14日の茶色コンクリートで養生28日の普通コンクリートと同等の強度が得られる。
- 3) 凍結防止剤による影響に関する試験で得られた顔料添加コンクリートの吸水率は、普通コンクリートのそれより約1割程度小さくなる。
- 4) 凍結防止剤がコンクリートに与える影響は、凍結防止剤を使用しない場合に比べて大きい
- 5) 凍結防止剤である塩化ナトリウムがコンクリートに与える悪影響は大きい、塩化カルシウム、CMAの影響はそれほど大きくない。

<参考文献>

- 1) 鮎田 耕一・林 正道：コンクリート工学 耐久性・寒中コンクリート詳説 山海道 pp.47～74,1993
- 2) 長谷川 寿夫・藤原 忠司：コンクリート構造物の耐久性シリーズ 凍害 技報堂出版 pp.32～68,1988
- 3) 久保 宏・宮下 成秀・北野 隆春：顔料添加コンクリートの強度及び耐久性に関する研究、第52回土木学会北海道支部 年次技術研究発表会 講演論文集 pp.600～605,1996年2月