

V-20

顔料添加コンクリートの強度及び耐久性に関する研究

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

1. まえがき

現在、我が国には農業の用排水路、道路付帯構造物の1つである排水側溝等のコンクリート構造物が多く存在している。寒冷地においてこのような構造物は、厳しい気象作用や塩害等によってコンクリートが劣化するといった被害が生じている。さらに農業の用排水路や道路側溝等は、冬期に凍上現象のためコンクリート製トラフが破壊するといった凍上被害が多く発生している。このため特に北海道の東部地域のような冬の寒さが厳しく、雪の少ない地域では凍上被害が多く発生しているため凍上対策が必要となる。

農業の用排水路の凍上対策としては、凍上性の土を凍上を起こしにくい材料で置き換える「置換工法」が一般的であるが、最近では安価で良質な砂利や碎石等の材料の入手が困難になってきている。さらに、施工時の人手不足等の問題も挙げられている。

道路付帯構造物、特に道路縁石等は冬の寒さや凍結防止剤等の影響をまともに受けるのでコンクリートが凍害を受けることがある。現在、これらの対策としては、冬期に凍結防止剤として道路に散布されている塩化ナトリウムに代わってCMAや酢酸カルシウム等の酢酸系の薬剤が試験されている。また、寒さによるコンクリートの劣化に対してコンクリート内の空気量を5%前後まで増やす等の対策がとられている。

道路の縁石等コンクリート構造物は野外に建設されているため寒暖の差が大きい地域では、気象作用のための凍結融解が繰り返し作用する。さらに今日、問題になっている高速道路や主要幹線道路に冬期に散布されている塩化ナトリウム等によるコンクリートの劣化にも抵抗しなければならない。

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ている。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る。

本研究では、コンクリート構造物の凍上抑制対策及び道路縁石等の寒さや塩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について、圧縮強度試験と引張強度試験を行い検討した。さらに、コンクリート構造物は気象作用や塩害等にさらされながらも必要な強度と様々な作用に長期間抵抗するための耐久性を保持しなければならない。したがって、室内における凍結融解試験に凍結防止剤及び顔料添加コンクリートを用い普通コンクリートと比較して気象条件や塩害に対する抵抗性を検討した。

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、着色顔料をセメント質量に対してそれぞれの量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。

コンクリートの練り混ぜ時間は、普通、黒色、茶色コンクリートとも1.5分とした。

○試験に用い材料及び顔料

試験に用い材料及び顔料は、表-1～表-3 に示す通りである。

○供試体の作成日及び作成場所

平成7年8月1日(火) 気温22℃ 室温24℃ 湿度60%

場所：北野コンクリート(株)試験室 コンクリートの温度26℃

○圧縮・引張強度試験の供試体

供試体は、直径の2倍の高さをもつ円柱型(高さ20cm*直径10cm)のものを用いた。打設後、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℃の水中養生を行ない、材令28日におけるものを用いて強度試験を行なった。

供試体は、普通コンクリート、黒色コンクリート、茶色コンクリートを5本ずつの計15本を作成した。また、圧縮強度試験用には、それぞれ3本ずつ計18本、引張強度試験用にはそれぞれ2本ずつ計12本を使用した。

○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℃の水中養生を行ない、材令28日におけるものを用いて凍結融解試験を行なった。

試験に用いる供試体は、普通コンクリート10本、茶色コンクリート8本の計18本である。

なお、顔料添加コンクリートは周囲との景観を重視することを考えているので、この試験には茶色顔料を添加したコンクリートだけを用いた。

表-1 コンクリートの配合

粗骨材の最大寸法(mm)	スランブの範囲(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	12±2.5	4.5±1.0	47.4	39	289	137	762	1182	0.578

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	吸水量 1.8% 粗粒率 2.62
粗骨材	静内	最大寸法 25mm	2.67	吸水量 1.42% 粗粒率 6.91
混和剤	山宗化学	ピンソル 80	1.038	

表-3 コンクリートの顔料

	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

※表に示す黒色と茶色顔料はドイツのバイエル社製のものである。

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、所定の養生の終了直後に行なった。

○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、所定の養生の終了後に行なった。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なった。

○圧縮強度試験・引張強度試験の結果及び考察

圧縮強度・引張強度試験の結果をまとめると、図-1～図-2のようになる。図-1は顔料添加コンクリートの圧縮強度をコンクリート別に示し、さらに普通コンクリートの強度率を100%として、顔料添加コンクリートの普通コンクリートに対する強度率を表わした。この図から、普通コンクリートより黒色コンクリート、茶色コンクリートの方が強度がそれぞれ12%、9%と約1割程増加しているのが分かる。さらにデータを実験計画法にもとづき検定した結果、有意水準5%、さらに有為水準1%においても普通コンクリートと顔料添加コンクリートとの間に有為差があった。このことから、この試験での圧縮強度に関しては、顔料を添加したコンクリートは通常のコンクリートより強度が大きいことが分かる。また、検定の結果、茶色コンクリートと黒色コンクリートとの間には、強度の差はない。

図-2はコンクリートの引張強度をコンクリート別に示し、さらに普通コンクリートの強度率を100%として、顔料添加コンクリートの普通コンクリートに対する強度率を表わした。この図をみると、普通コンクリートに対し、黒色コンクリートは19%、茶色コンクリートは23%と顔料添加コンクリートは普通コンクリートに較べ強度が増加している。しかし、このデータを実験計画法により検定をしたが、黒色コンクリート、茶色コンクリートとも通常のコンクリートとの間に有為差はなかった。このことから、引張強度に関しては顔料を添加したコンクリートと通常のコンクリートとの間には変化は、はっきりと認められない。このことから、普通コンクリートに顔料を添加したときの強度は増加することが分かる。

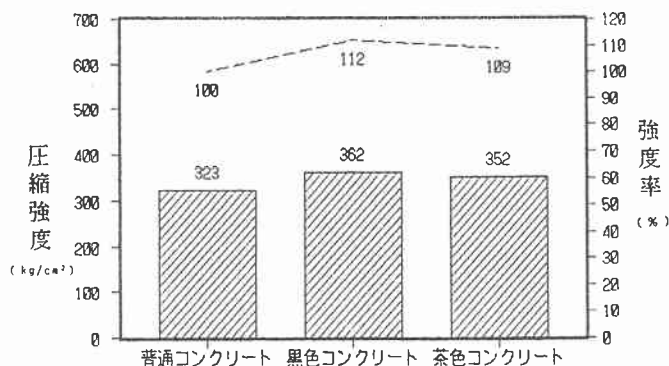


図-1 顔料添加コンクリートの圧縮強度試験

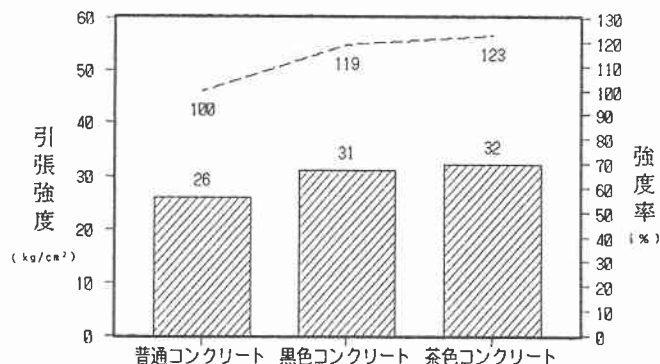


図-2 顔料添加コンクリートの引張強度試験

4. コンクリートの凍結融解試験

本研究での凍結融解試験は、土木学会規準「コンクリートの凍結融解試験方法」に定められた方法により所定の養生の終了後に行なった。

この試験方法は、作成した供試体を各々ゴム製の容器に入れて、それを凍結融解試験槽の中に入れ、その中に供試体が完全につかるまで水、または凍結防止剤（塩化ナトリウム、塩化カルシウム、CMAの3%溶液）を注入し、機械を作動する。凍結融解を1サイクルとして、適当なサイクル（20サイクル～30サイクル）毎に供試体の変化を表乾質量及び周波数可変発振器により一時共鳴振動数を測定し、質量減少率、動弾性係数、相対動弾性係数を算出し、さらに試験終了後に供試体を十分に乾燥させて、乾燥後の質量を測定し、含水率を算出した。

○凍結融解試験の結果及び考察

凍結融解試験の結果をまとめると、図-3～図-4、表-4のようになる。図-3は凍結融解試験に使用した供試体の含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。これを見ると、含水率は普通コンクリートより茶色顔料を添加したコンクリートの方が小さくなっている。これを実験計画法に基づき検定した結果、有為差があった。よって普通コンクリートと茶色コンクリートには明らかに差があるのが分かる。また、凍結防止剤別にみると、CMAの含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合している。

図-4は凍結融解試験300サイクルにおける質量減少率と凍結防止剤との関係を示したものである。これを見ると、普通コンクリートと顔料添加コンクリートとの間にあまり差はみられなく、実験計画法による検定でも差はあらわれず、この試験においては差は認められない。しかし、普通コンクリートとの比率をみて分かるように塩化ナトリウムに関しては、顔料添加コンクリートの方が若干、耐久性がある。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水のときの約2倍となっている。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

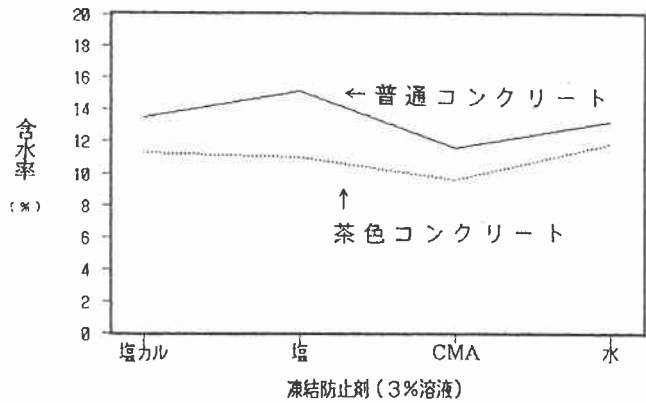


図-3 顔料添加コンクリートの含水率

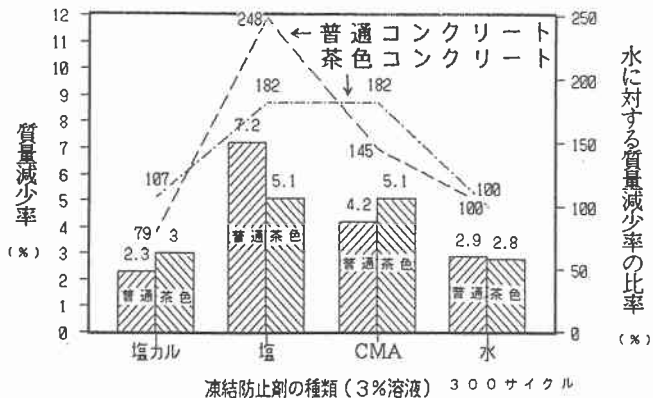


図-4 顔料添加コンクリートの質量減少率

与えていると考えられる。また、CMA、塩化カルシウム、水の間には有為水準5%において差はみられなかった。

表-4は凍結融解作用での凍結防止剤別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コンクリート、顔料を添加した茶色コンクリート

においても、他の凍結防止剤に較べ質量減少の割合が大きく、この表からも塩化ナトリウムがコンクリートに与える影響は、塩化カルシウム、CMAより大きいのが分かる。

なお、普通、茶色コンクリート及び凍結防止剤と相対動弾性係数の関係はバラツキが大きく、はっきりした傾向は認められなかった。

写真-1は凍結融解試験300サイクルにおける茶色顔料を添加したコンクリート供試体を凍結防止剤別に示したものである。

この写真をみると、凍結防止剤を塩化カルシウム、CMAで試験を行なった供試体は、通常の水で行なった供試体に較べそれほどコンクリートの劣化に差は認められない。しかし、塩化ナトリウムで試験を行なった供試体については、コンクリートの劣化が他の凍結防止剤を用いた供試体よりも大きいことがこの写真からも認められる。また、ここに写真は提示していないが普通コンクリートの劣化状態も、顔料添加コンクリートと大きな違いも認められなかった。このことから、塩化ナトリウムは、コンクリートに悪影響を与えている。

凍結融解試験での、茶色顔料を添加したコンクリートと通常のコンクリートとの含水率については、はっきりとした違いが認められたが、耐久性に対する差に変化は認められなかった。また、塩化カルシウム、CMAがコンクリートに与える悪影響はそれほど大きくない。

表-4 凍結融解作用に対する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。

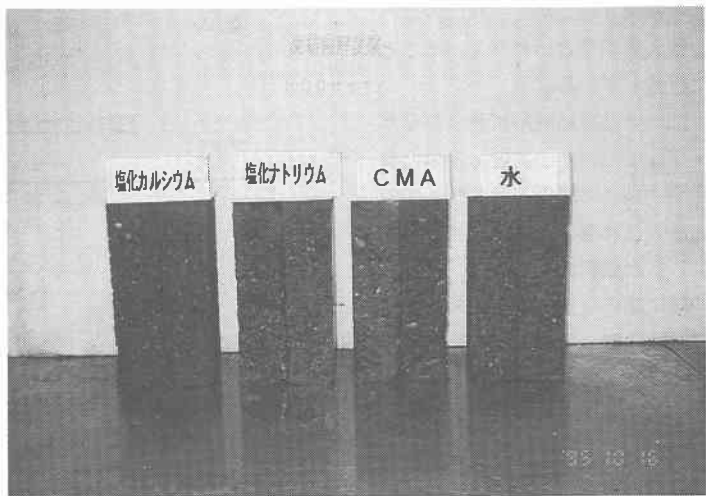


写真-1 凍結融解試験300サイクル

5. 結論

以上から顔料を添加したコンクリートの強度及び耐久性を強度試験並びに凍結融解試験について普通コンクリートとの比較を交えながら検討した結果をまとめたものは次の通りである。

- 1) 圧縮強度試験では、顔料添加した黒色、茶色コンクリートは普通コンクリートより強度が、それぞれ12%、9%増加する。
- 2) 引張強度試験では、顔料添加した黒色、茶色コンクリートと普通コンクリートの強度の間には大きな差はみられない。
- 3) 凍結融解試験において、顔料添加コンクリートの含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) 凍結防止剤である塩化ナトリウムは、標準としての水よりコンクリートに約2倍の悪影響を与えるが、塩化カルシウム、CMAの影響はそれほど大きくない。

6. 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 山海堂 pp.47～74, 1993
- 2) 土質工学会：土質基礎工学ライブラリー23 土の凍結—その制御と応用— 土質工学会編 pp.4～14 pp.91～122 pp.251～252, 1982
- 3) 土質工学会：土質基礎工学ライブラリー23 土の凍結—その理論と実際— 土質工学会編 改訂版 pp.171～203, 1994
- 4) 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
- 5) 朝香 鐵一：経営工学シリーズ 品質管理 日本規格協会 pp.75～107, 1980
- 6) 岡田 清：コンクリートの耐久性 朝倉書店 pp.25～28, 1986