

論文 高性能 AE 減水剤を用いた RCCP 用コンクリートの基礎性状

藤田 仁*¹・加賀谷 誠*²・因幡 芳樹*³・徳田 弘*⁴

要旨：ポリカルボン酸系高性能AE減水剤をRCCP用コンクリートに用いたとき、空気を連行するには補助AE剤の添加が必要であり、その添加率を一定としたとき単位水量の増加に伴い空気量は増加し、コンシステンシーが改善されること、修正VC値を一定とした場合、通常のAE減水剤を用いたときと比較して、単位水量を11.4%低減でき、曲げ強度が増大すること、補助AE剤の添加により凍結融解抵抗性を改善できること、乾燥収縮ひずみを低減できることを明らかにした。

キーワード：修正VC値、空気量、曲げ強度、凍結融解抵抗性、乾燥収縮ひずみ

1. まえがき

近年、減水効果のより高い超高強度コンクリート用高性能AE減水剤が開発され、実用に供されている。しかし、超硬練りコンクリートであるRCCP用コンクリートにこれを用いた研究報告は極めて少ない。

本研究では、ポリカルボン酸系およびアミノスルホン酸系の高性能AE減水剤をRCCP用コンクリートに用い、コンクリートの配合およびコンシステンシー特性、曲げ強度、凍結融解抵抗性および乾燥収縮について通常のAE減水剤を用いた場合と比較し、その効果を明らかにした。

2. 実験概要

2.1 使用材料および配合

普通セメント、川砂および砕石を使用した。骨材の物理的性質を表-1に示す。混和剤として通常のAE減水剤A、ポリカルボン酸系およびアミノスルホン酸系の高性能AE減水剤BおよびC、および補助AE剤を用いた。これらの主成分と添加率を表-2に示す。表-3に本研究で使用したコンクリートの示方配合を示す。細骨材率を41.8%の一定とし、修正VC値が一定となるように単位水量を調整した。補助AE剤は1%水溶液として使用し、各混和剤とともに単位

表-1 骨材の物理的性質

骨材種別	比重	吸水率 (%)	粗粒率	単位容積質量 (kg/m ³)
川砂	2.56	2.60	2.71	1560
砕石	2.58	2.08	6.60	1530

表-2 混和剤の主成分および添加率

混和剤種別	主成分	添加率(×C,%)
A	リグニンスルホン酸塩	0.25
B	ポリカルボン酸系化合物	1.50
	リグニンスルホン酸塩	
C	アミノスルホン酸系化合物	1.50
	リグニンスルホン酸塩	
補助AE剤	変性アルキルカルボン酸化合物	0.01

- *1 秋田大学大学院 鉱山学研究科土木環境工学専攻 (正会員)
- *2 秋田大学助教授 鉱山学部土木環境工学科, 工博 (正会員)
- *3 日本製紙(株) コンクリート技術研究所 主任研究員 (正会員)
- *4 秋田大学長, 工博 (正会員)

表-3 コンクリートの示方配合

M.S. (mm)	VC (sec.)	Air (%)	W/C (%)	s/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)						混 和 剤 種 別
					W	C	S	G	A d	補 助 A E	
20	50 ± 5	4.7	38.1	41.8	105	275	815	1144	0.69	0.0275	A
		4.6	33.9		93	276	842	1161	4.14	0.0276	B
		4.3	34.6		96	276	825	1161	4.14	0.0276	C
		4.2	33.6		92	275	827	1163	4.13	0	B

水量の一部とした。コンクリートの練りませには、容量50ℓの強制練りミキサを使用し、全材料投入後90秒間練りませた。

2. 2 コンシステンシーおよび空気量試験

コンクリートのコンシステンシーをVC振動締固め試験方法を用いて測定し、同時にJIS A 1116「重量方法」に準じて空気量を求めた。また、ASTM C 457「修正ポイントカウント法」に準じて硬化コンクリートの空気量、比表面積および気泡間隔係数を求めた。フレッシュおよび硬化時のRCCP用コンクリートの空気量の測定については、超硬練りコンクリートの空気量測定方法[1]や球形および形状の不規則な気泡を区別して求める手法[2]があるが、本研究では、連行空気と空隙を区別しないでこれらの合計を空気量として求めた。

2. 3 曲げ強度試験および凍結融解試験方法

曲げ強度試験はJIS A 1106「コンクリートの曲げ強度試験方法」に準じてこれを行った。試験材齢を28日としてそれまで標準水中養生を行った。

凍結融解試験はJIS A 6204付属書2に準じて材齢15日でこれを開始した。これら試験に用いた供試体の寸法は10×10×40cmであって、供試体作製方法は文献[3]に準じた。

2. 4 乾燥収縮の測定方法

乾燥収縮ひずみを測定するため、前述と同じ供試体を製造し、JIS A 1129のコンタクトゲージ法に準じて測定を行った。なお、供試体を室温20℃、湿度60%R.H.の恒温恒湿室内に設置し、質量ならびにひずみの測定を材齢7日から行った。

3. 実験結果および考察

3. 1 配合およびコンシステンシー特性

図-1に一例として混和剤Bを用いた場合の補助AE剤の添加率と修正VC値および空気量の関係を示す。補助AE剤の添加率を0.01%まで増加させると修正VC値は15秒まで減少し、このときの空気量は6.2%まで増加するが、さらに添加率を増加しても両者に大きな変化が認められない。このような結果から、補助AE剤の添加率をセメント量に対して0.01%と定めた。

図-2に一例として混和剤Bを用いた場合の単位水量と修正VC値および空気量の関係を示す。目標修正VC値および空気量を図中に示すように50±5秒および5±1%とした。図より修正VC値は、単位水量の増加に伴って減少傾向を示し、単位水量が95kg/m³以上では、補助AE剤を添加した場合、これを添加しない場合より小さく、単位水量の増加に伴って両者の間の修正VC値の差が増加する傾向にある。

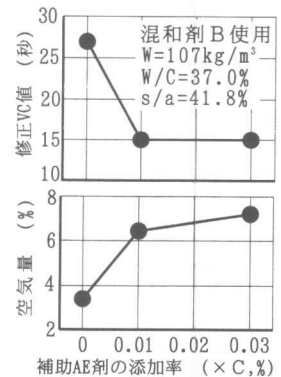


図-1 補助AE剤の添加率と修正VC値および空気量の関係

空気量は、補助AE剤を添加した場合、単位水量の増加に伴って増加するのに対し、これを添加しない場合減少傾向にある。これらの傾向は、混和剤Cを用いた場合にも認められた。補助AE剤の添加によってエントレインドエアの連行が可能となるが、単位水量をある程度増加することによって界面活性作用が容易に発揮され、これに伴ってコンシステンシーも改善されるものと思われる。補助AE剤を添加しない場合、単位水量の増加により空気量が減少したのは、単位セメント量が約 280kg/m^3 と少ないため、この種の高性能AE減水剤による安定した空気連行作用が発揮しにくいこと、修正VC値の低下に伴い空気の逸散が容易になることなどによると推察されるが、連行空気と空隙の量の差は明確でない。

図-3は、各種混和剤を用いたRCCP用コンクリートの配合を比較したものである。修正VC値を図-2の結果を用いて 50 ± 5 秒の範囲となるように単位水量の調整により定めた。空気量は、補助AE剤を添加して混和剤A、BおよびCをそれぞれ用いた場合、これを添加しないで混和剤Bを用いた場合より幾分大きくなっており、エントレインドエアの連行があると判断されるが大差は認められない。単位水量は、通常用いられるAE減水剤Aを基準とした場合、混和剤B、Cおよび補助AE剤を添加しないで混和剤Bをそれぞれ用いた場合において11.4、8.5および12.3%減水され、水セメント比を4.2、3.5および4.5%それぞれ低減できた。したがって、高性能AE減水剤のRCCP用コンクリートへの使用により減水効果が得られ、その効果は、ポリカルボン酸系の方がアミノスルホン酸系より高いと考えられるが、補助AE剤の一定量添加によるエントレインドエアの連行は少なくなるため、これを添加しない場合との単位水量の差が大きく生じなかったと考えられる。

3. 2 硬化コンクリートの特性

(1) 曲げ強度

図-4に各種混和剤を用いたコンクリートの曲げ強度を示す。同図は図-3に対応している。補助AE剤を添加した場合、混和剤Bを用いたときの曲げ強度が最も大きく、次にC、Aの順で大きくなった。これは、図-3に示した水セメント比の比較において混和剤Bを用いた場合が最も小さく、次にC、Aの順で小さくなったことと対応している。また、補助AE剤を添加しないで混和剤Bを用いた場合、曲げ強度が最も大きくなった。これは、混和剤Bを用いた場合、補助AE剤の添加の有

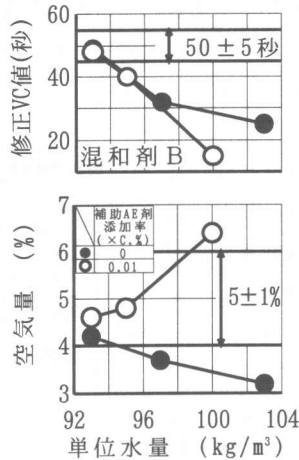


図-2 単位水量と修正VC値および空気量の関係

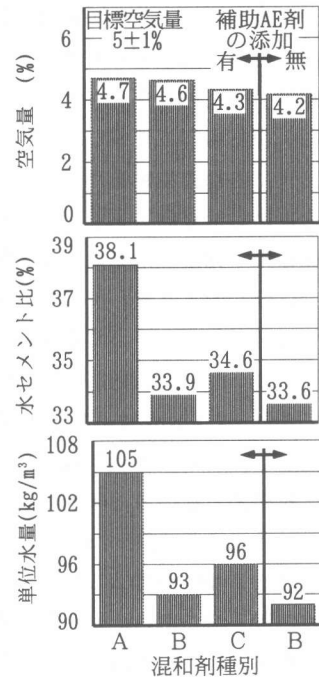


図-3 各種混和剤を用いたコンクリートの空気量、水セメント比および単位水量

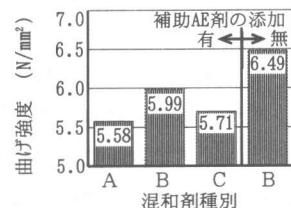


図-4 各種混和剤を用いたコンクリートの曲げ強度

無による水セメント比の違いがほとんど認められないことから、連行空気量のわずかな差が曲げ強度に影響を及ぼしたものと判断される。以上の結果より、ポリカルボン酸系高性能AE減水剤の使用は、強度的に有利になると判断される。

(2) 凍結融解抵抗性

図-5に各種混和剤を用いたコンクリートの凍結融解試験結果を示す。相対動弾性係数は、補助AE剤を添加して混和剤A、BおよびCをそれぞれ使用した場合、サイクル数の増加に伴って若干減少する傾向にあり、サイクル数200回終了時にそれぞれ92.3, 94.2および97.4%となり顕著な低下は認められなかった。補助AE剤を添加しないで混和剤Bを用いた場合、サイクル数132回で60%となり、以後さらに低下傾向が認められた。また、超音波伝播速度においてもこれらの減少傾向と対応した結果が得られた。質量減少率は、補助AE剤を添加して混和剤A、BおよびCをそれぞれ使用した場合、サイクル数の増加に伴って増加する傾向にあるが、その程度はサイクル数200回において最大0.5%程度であること、補助AE剤を添加しないで混和剤Bを用いた場合、減少傾向にあり、供試体質量の増加が認められる。

図-6に凍結融解試験に使用した各種混和剤を用いたコンクリート供試体の締固め率を示す。RCCP用コンクリートは、締固め率が96%以上のとき十分に締固めが行われたと判断できること[3]、締固めが十分に行われなかった場合、凍結融解抵抗性が極めて低下することが指摘されている[4,5]。図より、試験に用いた供試体の締固め率はすべて97.5%以上であって、十分に締固めが行われたと判断される。また、試験終了時における供試体の目視による外観観察では、いずれの供試体においても表面のセメントペースト分のはげ落ちはあるものの、ひび割れやスケールリングなどの著しい劣化現象は認められなかった。

図-7に気泡間隔係数と相対動弾性係数の関係を示す。補助AE剤を添加して混和剤A、BおよびCをそれぞれ使用した場合、気泡間隔係数は340から370 μm の範囲にあり、200サイクル終了時で相対動弾性係数が90%以上となった。補助AE剤を添加しないで混和剤Bを使用し

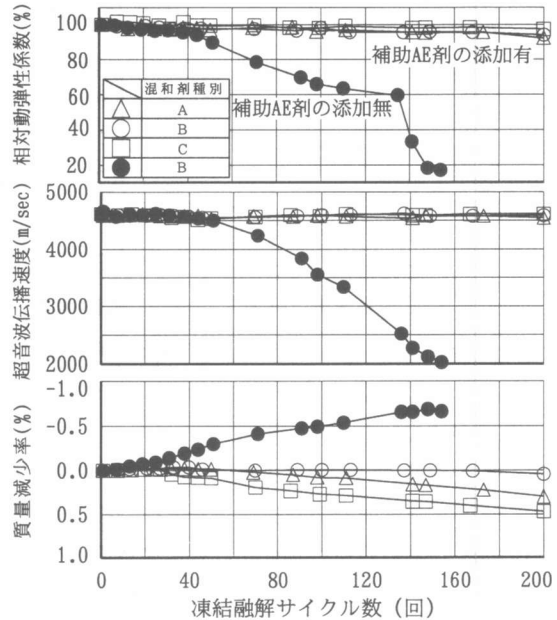


図-5 各種混和剤を用いたコンクリートの凍結融解試験結果

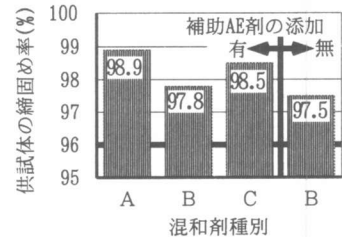


図-6 各種混和剤を用いたコンクリートの供試体の締固め率

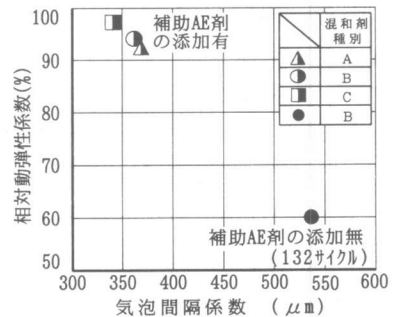


図-7 気泡間隔係数と相対動弾性係数の関係

た場合、気泡間隔係数が $540\mu\text{m}$ となり、132サイクルで相対動弾性係数が60%となった。表-4にコンクリートの空気量と気泡の比表面積を示す。いずれの混和剤を用いた場合もフレッシュコンクリートの空気量より硬化コンクリートのその方が小さいが、空気量に大差は認められない。

表-4 コンクリートの空気量と気泡の比表面積

混和剤種別	補助AE剤	フレッシュコンクリートの空気量(%)	硬化コンクリートの空気量(%)	比表面積(cm^2/cm^3)
A	有	4.7	3.9	127
B		4.6	4.1	119
C		4.3	4.1	119
B	無	4.2	3.7	87

しかし、補助AE剤を添加しない場合の気泡の比表面積は、これを添加した場合より小さく粗い気泡組織となっていることがわかる。普通コンクリートの凍結融解抵抗性を確保するのに必要とされている気泡間隔係数は、 $200\sim 250\mu\text{m}$ 以下とされている。RCCP用コンクリートにおいてこれより大きい値となったのは、単位水量や単位セメント量が少ないことにより空気が連行しにくくなったことなどによると考えられるが、補助AE剤の添加により少量の微細気泡を連行することにより凍結融解抵抗性の改善は可能であると考えられる。凍結融解抵抗性を改善できる空気量の値については、今後さらにデータを蓄積して検討する必要がある。

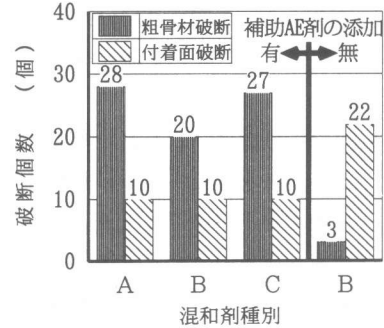


図-8 供試体破断面の観察結果

図-8に供試体破断面の観察結果を示す。これは凍結融解試験を終了した供試体の曲げ強度試験を行い、その破断面を観察し、粗骨材の破断および粗骨材とモルタルの付着面での破断の個数をそれぞれ測定した結果である。図より補助AE剤を添加した場合、各混和剤をそれぞれ用いた供試体の破断面において粗骨材の破断個数が付着面でのそれより極めて多いこと、一方、補助AE剤を添加しないで混和剤Bを用いた場合、逆の結果となっていることがわかる。補助AE剤を添加しない場合、破断面において供試体表面部から中心部方向 $3\sim 4\text{cm}$ にわたって水の浸透による湿潤部分が観察され、この部分において付着面での破断個数が多く観察されたのに対し、補助AE剤を添加した場合、このような水の浸透は観察されなかった。以上の結果より、補助AE剤を添加しないで混和剤Bを用いた場合、十分な曲げ強度および締固め度が得られ、凍結融解試験終了時の供試体外観に著しい劣化現象が認められなかったにもかかわらず相対動弾性係数と超音波伝播速度が低下したのは、微細空気泡が連行されなかったため、弱点部である粗骨材とモルタルの付着界面に凍結融解繰返し作用による微細ひび割れが進展したことによると考えられる。また、この微細ひび割れを通して表面から水が浸透し、供試体質量が増加したと考えられる。

(3) 乾燥収縮

図-9に測定日数と乾燥収縮ひずみおよび質量減少率の関係を示す。測定日数100日において補助AE剤を添加して混和剤Aを用いた場合を基準として長さ変化比を求めると、補助AE剤を添加して混和剤BおよびCをそれぞれ用いた場合53.7および74.1%、補助AE剤を添加しないで混和剤Bを用いた場合51.9%となった。また、質量減少率もこれにほぼ対応した変化傾向を示すことがわかる。図-3に示したようにポリカルボン酸系の高性能AE減水剤Bは、減水効果がより大きいので乾燥収縮ひずみも低減されたと考えられる。

4. 結論

ポリカルボン酸系およびアミノスルホン酸系の高性能AE減水剤BおよびCをそれぞれRCCP用コンクリートに用いて、配合およびコンシステンシー特性、曲げ強度、凍結融解抵抗性および乾燥収縮について通常のAE減水剤Aを用いた場合と比較検討し、次の結論が得られた。

- 1) 混和剤BおよびCを用いた場合、空気を連行するのに補助AE剤の添加が必要であり、添加率を一定としたとき単位水量の増加に伴って空気量は増加し、これに伴いコンシステンシーが改善された。
- 2) 修正VC値を一定として補助AE剤を一定量添加した場合、混和剤BおよびCを用いたときの単位水量は、Aを用いたときと比較して11.4および8.5%低減でき、水セメント比が低減できた。補助AE剤を添加しないで混和剤Bを用いたとき、これを添加した場合と減水率に大差は認められなかった。空気量は、補助AE剤の添加により若干大きくなった。
- 3) 補助AE剤を添加した場合、混和剤Bを用いたときの曲げ強度が最も大きく、次にC、Aの順で大きくなった。補助AE剤を添加しないで混和剤Bを用いたとき、曲げ強度が最も大きくなった。
- 4) 補助AE剤を添加した場合、混和剤A、BおよびCをそれぞれ用いたときの凍結融解抵抗性試験終了時(200サイクル)の相対動弾性係数は90%以上となったが、これを用いないで混和剤Bを用いたとき132サイクルで60%となった。
- 5) 4)で述べた凍結融解抵抗性の違いは空気量よりも気泡組織と関連があり、補助AE剤を添加しないで混和剤Bを用いた場合、粗骨材とモルタルの付着面での劣化が観察された。
- 6) 混和剤Bを用いたときの乾燥収縮ひずみが最も小さく、次にC、Aの順で小さくなった。

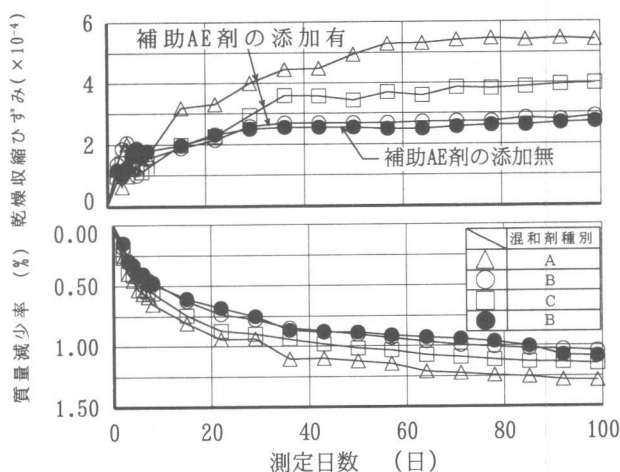


図-9 測定日数と乾燥収縮ひずみおよび質量減少率の関係

参考文献

- [1] (社) 全国コンクリートブロック協会: 土木用コンクリートブロック製造指針, pp.198-200, 1989.
- [2] Pigeon, M. and Marchand, J.: Frost Resistance of Roller-Compacted Concrete, Concrete International, No.7, pp.22-26, 1996.
- [3] (社) 日本道路協会: 転圧コンクリート舗装技術指針(案), 1990.
- [4] 小林 茂敏, 森濱 和正, 西川 正夫: 転圧コンクリートの強度特性, 耐凍結融解性に関する実験的検討, 土木技術資料, 33-7, pp.29-34, 1991.
- [5] 葛 拓造, 原 純二, 國府勝郎: 転圧コンクリートの凍結融解抵抗性に関する研究, コンクリート工学年次論文報告集, 12-1, pp.697-702, 1990.