

論文 尿素を使用したコンクリートの諸特性

三岩 敬孝*1・堀井 克章*2・横井 克則*3

要旨: 近年, コンクリートの乾燥収縮を低減することを目的として, コンクリート中に尿素を添加する研究が進められている。しかし, 尿素を混入したコンクリートに関するフレッシュ性状や硬化後の耐久性に関する研究は行われていない。そこで本研究では, 尿素を使用したコンクリートのブリーディングや凝結特性および硬化後の耐久性について検討した結果, ブリーディングや凝結時間は尿素的添加とともに遅延する。また, AE 剤を使用しなくても乾湿繰返しに対する抵抗性は有しているものの, 凍結融解に対する抵抗性は AE 剤により, ある程度空気量を確保しても普通コンクリートに比較して劣ることが明らかとなった。

キーワード: 尿素, 凝結, ブリーディング, 乾湿繰返し, 凍結融解

1. はじめに

コンクリートに生じるひび割れは, コンクリートの耐久性を低下させ, コンクリート構造物として耐力や防水性を低下させる原因であることから, ひび割れ対策に関する関心が高まっている。コンクリートに発生するひび割れの原因には, 使用材料や水和熱といった初期材齢における化学的要因や内部鉄筋の腐食など長期材齢における使用環境による要因, さらに, 外力による物理的な要因などさまざまな要因が考えられる。これらさまざまな要因の中で, 水和熱による温度ひび割れや乾燥による乾燥収縮ひび割れに対して, 低熱セメントの使用や混和剤として収縮低減剤の使用などの対策がされてきている。

一方, 尿素は, 無色無臭で水溶性があり水に溶けやすく, 水と混ぜると吸熱反応を示し, 保水性があることから農業用肥料として利用されてきた。このような尿素の特徴に着目し, 近年, 尿素を添加したコンクリートに関する研究が進められてきている。特に, 尿素のもつ吸熱反応により, コンクリート練混ぜ時の水和反応にともなう水和熱の低減効果が認められている^{1),2)}ことや, 水溶性であることから尿素が水に溶解することによる単位水量の減少にともなう乾燥収縮の低減効果などが明らかとなってきている^{3),4),5)}。しかし, このような尿素の特徴を生かしたコンクリートの品質改善に対する研究は行われているものの, 施工性や耐久性に関する研究は少ないのが現状である。

そこで本研究では, 尿素を配合したコンクリートに対して施工性に影響を及ぼすブリーディングや凝結特性といったフレッシュ性状および乾湿繰返しや凍結融解に対する抵抗性など硬化後の耐久性について検討することとした。

2. 実験概要

2.1 使用材料

結合材としてセメントは普通ポルトランドセメント(密度 3.15g/cm³)を使用した。尿素は工業用尿素(顆粒状, 密度 1.32g/cm³)とした(写真-1 参照)。骨材として細骨材は兵庫県赤穂産の砕砂(表乾密度 2.60g/cm³, 吸水率 1.29%, 実積率 55.5%, F.M.=2.82), 粗骨材は兵庫県赤穂産の碎石(表乾密度 2.62g/cm³, 吸水率 1.06%, 実積率 58.8%, 最大寸法 20mm)を使用した。また, 空気量を調整するために混和剤として変性ロジン酸化合物系の AE 剤を使用した。



写真-1 尿素の外観

2.2 配合

本実験に使用したコンクリートの配合は尿素的添加量の影響および AE 剤添加の影響について検討するための 2 種類とした。シリーズ I の配合は, 尿素的添加によるコンクリートの品質変化をより明確にするために, 単位水量に対して 0, 15 および 30vol%の尿素的添加し混和剤無添加とした。シリーズ II の配合は, 単位水量に対して 0~15vol%の尿素的添加し, さらに目標スランプ値は

*1 和歌山工業高等専門学校 環境都市工学科 教授 博士(工学)(正会員)

*2 阿南工業高等専門学校 創造技術工学科建設コース 教授 博士(工学)(正会員)

*3 高知工業高等専門学校 環境都市デザイン工学科 教授 博士(工学)(正会員)

表-1 コンクリートの配合

シリーズ	配合の種類	尿素有添加量(vol%)	水セメント比 (%)	単位量 (kg/m ³)								
				水	尿素	セメント	細骨材	粗骨材	AE 剤			
シリーズ I	U00	0	60	177	0	294	812	1041	0			
	U15	15	51	150	35							
	U30	30	42	124	70							
シリーズ II	U00-AE	0	60	177	0				294	812	1041	0.024
	U05-AE	5	57	168	11							
	U10-AE	10	54	159	21							
	U15-AE	15	51	150	30							

設定せず、目標空気量が 4.5±1.5%を満足する一定量の AE 剤を添加することによって、スランプ値の変化についても検討できるものとした。本実験で使用したコンクリートの配合を表-1 に示す。

2.3 供試体の作製

コンクリートの練混ぜには、パン型強制練りミキサ(容量 55 リットル)を使用し、練混ぜ水以外の材料をミキサに投入後、30 秒間空練りを行い、水を投入して 1 分 30 秒の計 2 分間練り混ぜた。ここで、尿素は事前に練混ぜ水に溶解させることなく顆粒状のままミキサに投入した。また、練り混ぜられたコンクリートを圧縮試験用供試体はφ100×200mm、耐久性試験用供試体は100×100×400mmの型枠に打設し、材齢 3 日まで恒温室(室温 20℃)に静置し、脱型後、所定の材齢まで水中養生(水温 20±3℃)を行った。

2.4 試験項目および方法

(1) 圧縮強度試験

圧縮強度試験はコンクリート打設後、材齢 28 日まで水中養生を行った後、JIS A 1108-2006「コンクリートの圧縮強度試験方法」に準拠して行った。

(2) ブリーディング試験

ブリーディング試験は、JIS A 1123-2011「コンクリートのブリーディング試験方法」に準拠して行った。なお、昨今の骨材事情からコンクリートに混和剤を使用することがほとんどであることを鑑みて、ブリーディング試験は AE 剤を添加したシリーズ II のみの配合で検討した。

(3) 凝結試験

凝結試験は、JIS A 1147-2007「コンクリートの凝結時間試験方法」に準拠して行った。また、凝結試験においてもブリーディング試験同様シリーズ II のみの配合で検討した。

(4) 乾湿繰返し試験

乾湿繰返し試験は、材齢 28 日まで水中養生した供試体に対し、20℃水中 72 時間、50℃気中 72 時間を 1 サイ

クルとして、1 サイクル毎に共鳴振動数の測定を行った。なお、AE 剤の添加が乾湿繰返し抵抗性に及ぼす影響はないものと考え、尿素有添加による影響についてのみ検討することとして乾湿繰返し試験はシリーズ I のみの配合で検討した。

(5) 凍結融解試験

凍結融解試験は、材齢 28 日まで水中養生した供試体に対し、JIS A 1148-2010「コンクリートの凍結融解試験方法」に準拠した水中凍結融解試験方法(A 法)とし、30 サイクル毎に共鳴振動数の測定を行った。なお、乾湿繰返し試験および凍結融解試験については、相対動弾性係数および質量減少率により劣化度を評価した。

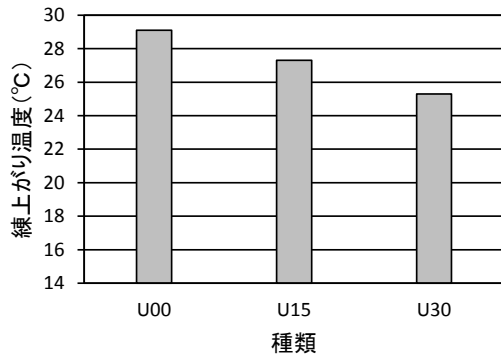
3. 実験結果および考察

3.1 フレッシュ性状

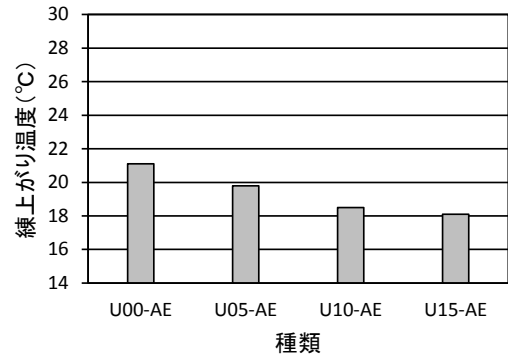
コンクリートのフレッシュ性状である練上がり温度、スランプおよび空気量について図-1、図-2 および図-3 にそれぞれ示す。

シリーズ I およびシリーズ II はそれぞれ練混ぜ時期が異なることから材料温度の違いにより練上がり温度に違いはあるものの、尿素有添加量が増加するほど練上がり温度が低下し 15vol%の添加によって 2~3℃低下している。これは既往の研究¹⁾²⁾でも明らかになっているように、練混ぜ直後における尿素と水の吸熱反応によるものと考えられ、これは、事前に尿素有水を溶解せず顆粒状のまま添加しても同様の効果が得られることが明らかとなった。

また、シリーズ I およびシリーズ II ともに尿素有添加量が増加することによってスランプおよび空気量が大きくなっている。尿素有配合するにあたり、尿素有体積分だけ溶液が増加することから、単位水量を一定とした場合、溶液の増加によりスランプが大きくなる。しかし、今回の配合では、単位水量を減量し、溶液の体積を一定としていることから、尿素有添加することによる吸熱反

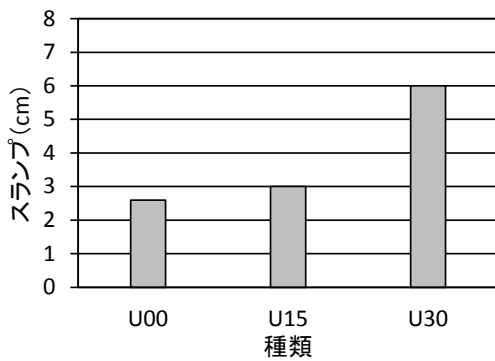


(a) シリーズ I

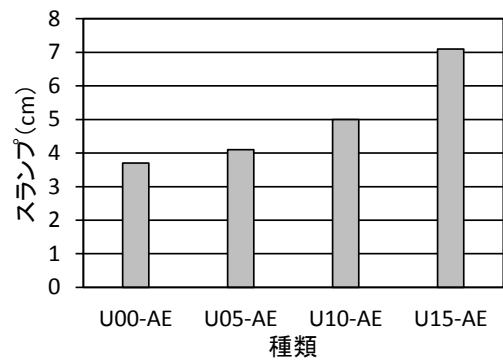


(b) シリーズ II

図-1 練上がり温度

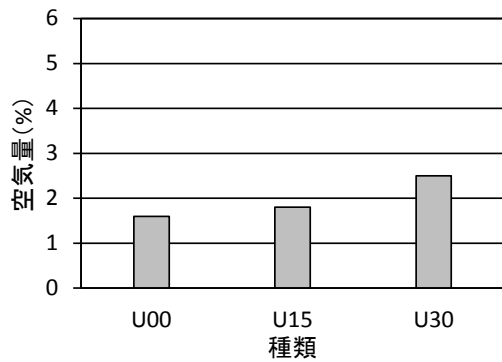


(a) シリーズ I

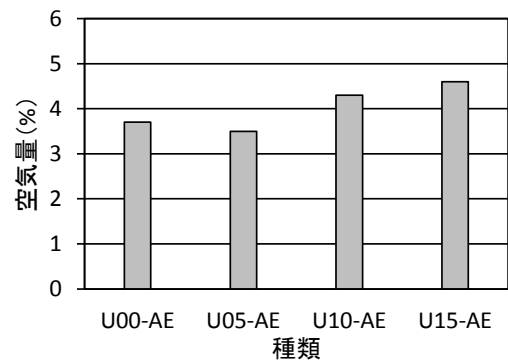


(b) シリーズ II

図-2 スランプ



(a) シリーズ I



(b) シリーズ II

図-3 空気量

応によってコンクリートの練上がり温度が低下したことが原因であると考えられる。さらに、空気量においても同様に練上がり温度の低下による混和剤の効果が向上したことが考えられる。

3.2 凝結

図-4 にシリーズ II の配合における凝結試験結果を示す。この図より、尿素を使用したコンクリートは使用していないコンクリートに比べ始発、終結ともに長くなる傾向があり、15vol%の尿素を添加した場合、普通コンクリートに比べて終結時間で約 100 分遅延した。これは、

尿素を添加することによるコンクリート温度の低下や単位水量の減少により水和反応の低下が原因であると考えられる。

3.3 ブリーディング

図-5 にシリーズ II の配合におけるブリーディング試験結果を示す。この図より、尿素を使用したコンクリートは使用していないコンクリートに比べ長時間にわたってブリーディングを生じ、その傾向は尿素使用量が多いほど長くなる。しかし、ブリーディング量にはあまり影響しないといえる。これは、図-4 に示すように、尿素の添

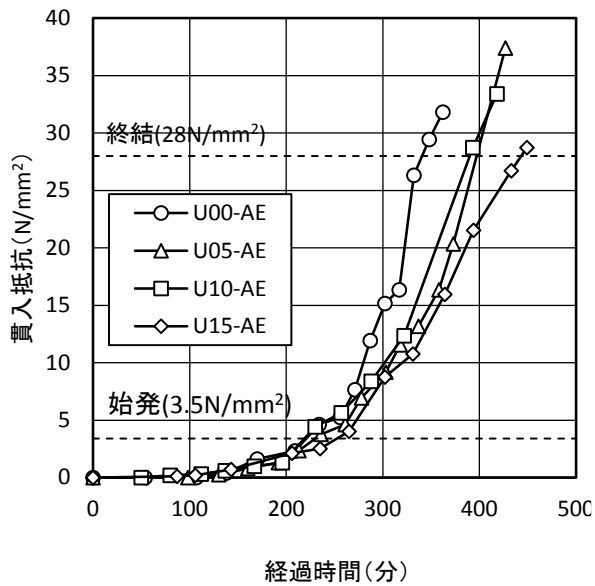


図-4 凝結

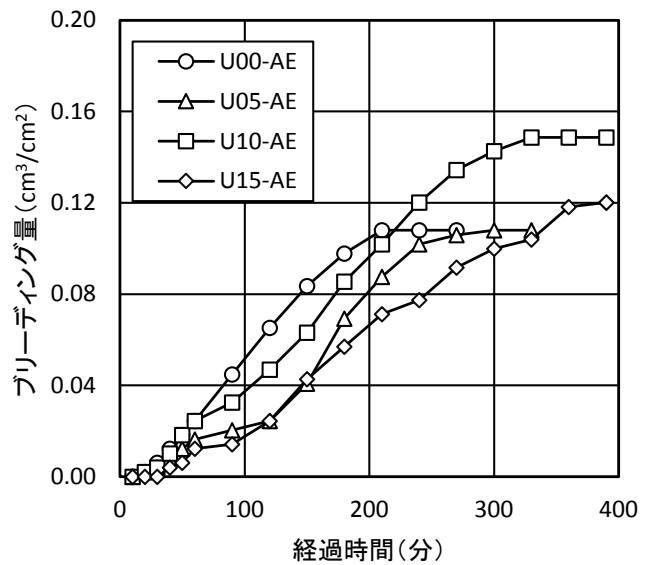


図-5 ブリーディング

加によりコンクリート温度の低下にともなう水和反応の遅延から凝結時間が長くなることや練混ぜ水の表面張力の低下などが原因であると考えられる。

本実験では最大 15vol%の尿素を添加しているが、15vol%の添加により、終結時間で約 100 分、ブリーディングも同様に 100 分から 150 分程度遅延していることから、尿素を多量に使用することにより施工性の低下が懸念され注意が必要である。

3.4 圧縮強度

図-6 にシリーズ I の配合における材齢 28 日での圧縮強度試験結果を示す。コンクリート中に尿素を添加した場合、図-4 に示すように凝結が遅延する。特に 30vol%の尿素を添加した場合、予備実験において翌日の脱型ができなかったことから、本実験では材齢 3 日での脱型を実施しており、水和反応の低下により材齢 28 日においても 15vol%以下に比べて若干の強度低下が見られる。このことから単位水量に対して 15vol%までの尿素の使用は強度に影響を及ぼさないが、30vol%と多量に使用すると強度低下を起こすことが分かる。

3.5 乾湿繰返し

図-7 にシリーズ I の配合でのコンクリートに対する乾湿繰返し試験による相対動弾性係数の経時変化および図-8 に質量減少率についてそれぞれ示す。これらの図より、尿素を 30vol%使用したコンクリートの圧縮強度は、他の配合に比べ若干小さくなっているものの、いずれの配合においても 35 サイクル経過後、相対動弾性係数および質量減少率ともに減少しておらず乾湿繰返しによる劣化は認められなかった。このことから 30vol%と比較的多

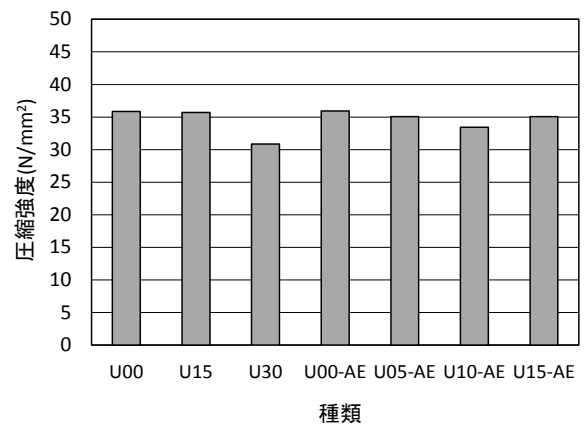


図-6 圧縮強度

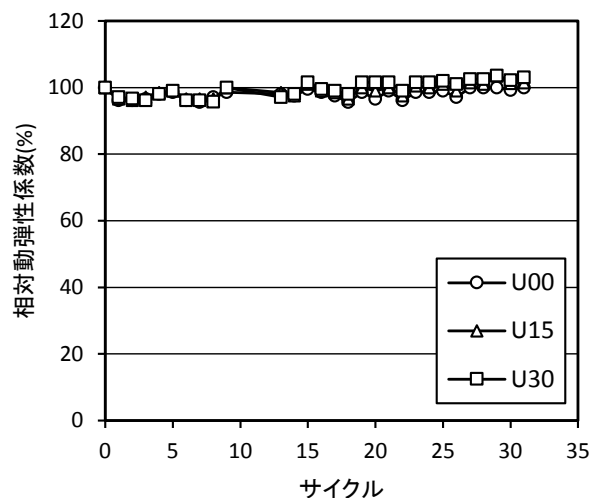


図-7 乾湿繰返しによる相対動弾性係数の経時変化

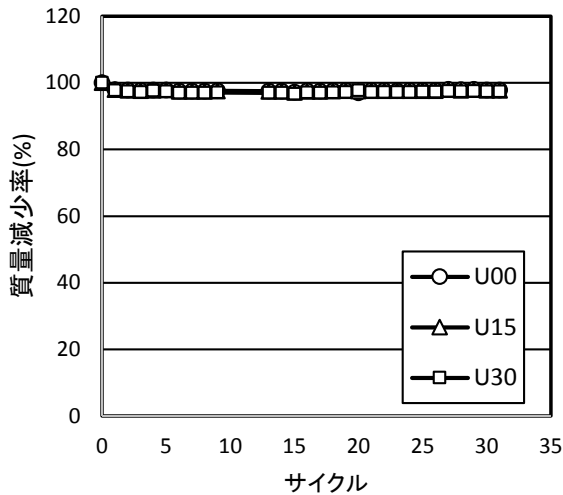


図-8 乾湿繰返しによる質量減少率の経時変化

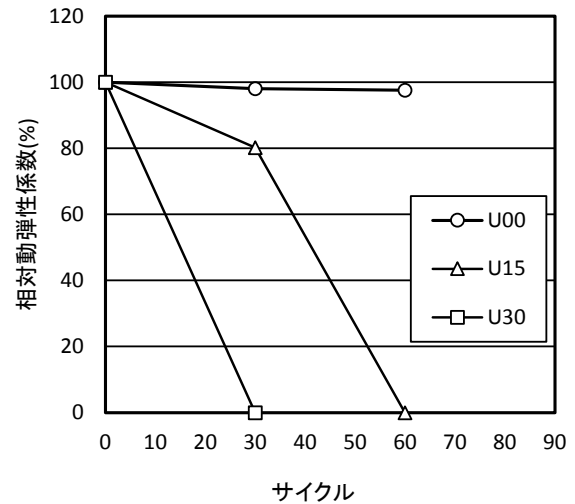


図-9 凍結融解による相対動弾性係数の経時変化 (シリーズ I)

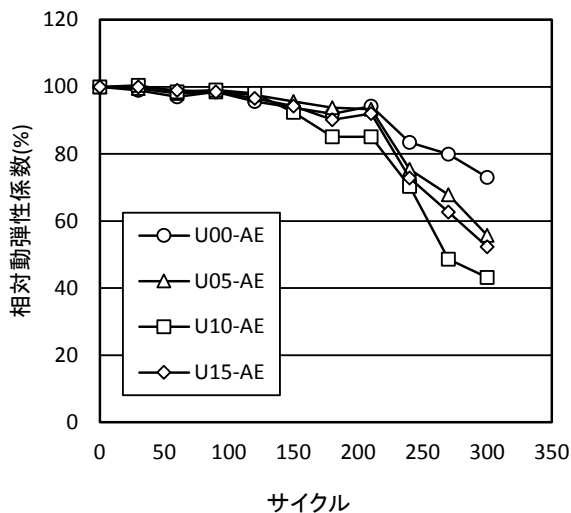


図-10 凍結融解による相対動弾性係数の経時変化 (シリーズ II)

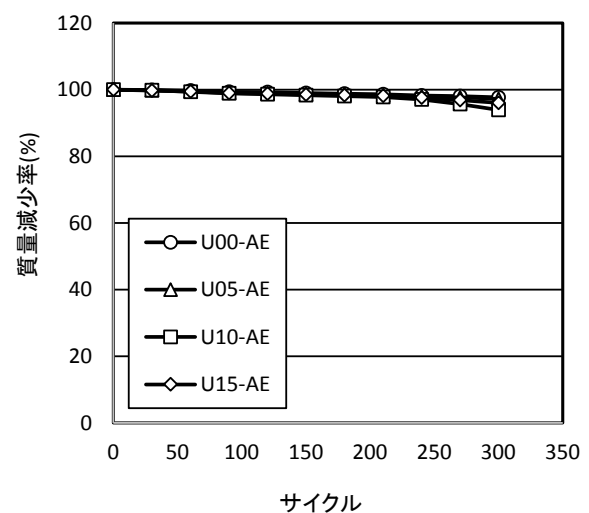


図-11 凍結融解による質量減少率の経時変化 (シリーズ II)

量に尿素を添加しても乾湿繰返しに対する抵抗性は良好であるといえる。

3.6 凍結融解

図-9 にシリーズ I の配合における凍結融解試験結果を示す。この配合は混和剤による空気量の調整を行っていないことから図-3 (a) に示すエントラップトエアのみが混入されているコンクリートであると考えられ、凍結融解に対する劣化が激しく、早期に測定することができなくなった。特に劣化の進行は普通コンクリートに比べて早く、尿素の混入による強度低下もその要因として考えられる。

また、図-10 および図-11 に AE 剤によりエントレインドエアを混入したシリーズ II の配合における相対動弾性

係数および質量減少率の経時変化をそれぞれ示す。

本実験では、単位水量中に尿素を溶解するため単位水量の基本量を大きくしていることにより、基本配合である普通コンクリート (U00) の水セメント比が 60% と大きくなっている。このため、所定の 300 サイクル経過後、普通コンクリートの相対動弾性係数においても若干低下が見られ、さらに、尿素を添加することによって相対動弾性係数の低下が認められる。特に、圧縮強度が他の配合に比べて若干小さい U10-AE が最も低下している。しかし、質量減少率はほとんど低下していないことからスケールリングはほとんど起こっていない。このことから、AE 剤の添加によって空気量のある程度確保しても、無添加に比べて改善はできるが普通コンクリートに比べて

耐凍害性に劣るといえる。

4. まとめ

保水性があることから農業用肥料として利用されてきた尿素をコンクリートに添加することで、尿素と水の吸熱反応から温度ひび割れの防止や、単位水量の低減による乾燥収縮の低減などの研究が進められているものの、フレッシュ性状や耐久性に関する研究はほとんど行われていない。そこで本研究では単位水量に対して最大15vol%の尿素を添加したコンクリートについて、施工性に影響するブリーディングや凝結といったフレッシュ性状および凍結融解といった耐久性、さらに30vol%の尿素を添加したコンクリートの乾湿繰返しについて検討を行った。

本研究で得られた結果を要約すると以下のようになる。

- (1)尿素的吸熱反応によりコンクリートの練上がり温度が低下することからスランプおよび空気量は大きくなる。
- (2)コンクリートの練上がり温度の低下にともない、水和反応が遅延することから、ブリーディング時間や凝結時間は尿素的添加とともに長くなる。
- (3)AE剤無混入のコンクリートに対して、尿素を30vol%添加しても乾湿繰返しに対する抵抗性は有している。

- (4)凍結融解に対する抵抗性は、AE剤によりある程度空気量を確保することによって改善できるが、普通コンクリートに比較して劣る。

参考文献

- 1)阪田憲次, 浜田俊彦, 岩城圭介: 尿素によるコンクリートの水和熱低減効果に関する研究, セメント技術年報, No.42, pp.403-406, 1988
- 2)阪田憲次, 巢元利博, 宮崎勝敏: 尿素混入コンクリートのひびわれ制御効果に関する研究, セメント技術年報, No.42, pp.407-410, 1988
- 3)田中博一, 綾野克紀: 尿素を用いたコンクリートのひび割れ低減技術, コンクリート工学, Vol.52, No.4, pp.303-308, 2014
- 4)河井 徹, 阪田憲次: 尿素を用いたコンクリートの諸特性, コンクリート工学年次論文集, Vol.29, No.1, pp.639-644, 2007
- 5)堀井克章, 酒井圭祐: 尿素および低吸水性骨材による砂岩碎石コンクリートの乾燥収縮抑制効果, 土木学会年次学術講演会講演概要, pp.1209-1210, 2013
- 6)堀井克章, 酒井圭祐, 脇山春菜: 尿素を用いたコンクリートおよびモルタルの諸性状, 土木学会年次学術講演会講演概要, pp.1079-1080, 2014