

論文 コンクリートに尿素を利用する効果と留意点に関する実験的検討

堀井 克章^{*1}

要旨：本研究では、水溶性が高く、吸熱反応を示し、非揮発性の尿素をコンクリートに使用する際に有益な情報を得ることを目的とし、様々な実験を行った。その結果、尿素のミキサ投入は、他の材料と一括で良いこと、尿素は、コンクリートの早期強度発現性やアンモニアガス発生などに問題を有するが、練混ぜ水を低減して乾燥を抑えるのでコンクリートの乾燥収縮を抑制でき、 -5°C の環境でも凍結せずに強度を発現することなどを確認した。また、砂岩系砕石砕砂を用いることで乾燥収縮が大きくなるコンクリートやモルタルは、尿素、石灰岩砕石、銅スラグ砂、フライアッシュなどの併用で、これを大幅に改善できることも確認した。

キーワード：尿素、乾燥収縮、砂岩系砕石砕砂、石灰岩砕石、銅スラグ砂、フライアッシュ

1. はじめに

コンクリートに生じるひび割れは、コンクリートの耐力、耐久性、防水性などの諸性状を低下させる主要な因子であり、建設投資の削減、自然災害の増加、構造物の老朽化などが進んでいる状況下で、その対策の重要度が年々増している。コンクリートのひび割れの原因には、材料、施工、使用環境、構造・外力などがあるが、これらに共通するものとして、水和熱による温度ひび割れや乾燥による収縮ひび割れがある。その対策として、材料面では、低熱型セメント、収縮低減剤などの使用がある。しかし、特殊な材料をコンクリートに複数使用することは、経費の上昇、工程の煩雑さなどの問題が生じる。

そこで、近年、水溶性が高く、水に溶けると吸熱反応や非揮発性を示し、保湿性や吸湿性を有する尿素をコンクリートに利用し、ひび割れを制御する研究が行われている^{1),2)}。尿素は、無色・無臭で、製造しやすい比較的安価な化合物であり、医薬品、樹脂や塗料、肥料などとして多方面で大量に利用されている。しかし、コンクリートにおける尿素の利用実績は非常に少なく、水和熱や乾燥収縮の抑制効果は報告されているが、尿素の利用法、利用の際の留意点などの報告はほとんどみられない。したがって、尿素をコンクリートに使用するには、様々なデータの蓄積が必要である。

本研究では、尿素を使用したコンクリートやモルタルの諸性状について、様々な実験を行い、尿素を利用することの有効性や留意点を検討することにした。

本研究で行った実験は、以下のとおりである。

実験 A：コンクリートにおける尿素混入法

実験 B：コンクリートの乾燥状況

実験 C：コンクリートのフレッシュ・強度・収縮特性

実験 D：モルタルの収縮・熱特性

実験 E：モルタルの低温養生強度特性

これらの実験を通し、尿素は、練混ぜ水に対する容積

置換使用を行った（容積置換率の基準；0, 15, 30%）。

実験 A では、ミキサへの尿素の投入時期や投入形態を変えてコンクリートを製造し、そのフレッシュ性状や強度特性を調査し、コンクリート製造時の最適な尿素投入法を検討した。

実験 B では、尿素を使用したコンクリートを乾燥下に置いて質量変化を調査し、尿素使用コンクリートの乾燥状況下における留意点を検討した。

実験 C では、乾燥収縮の大きなコンクリートの品質改善策として、尿素と低吸水性骨材（石灰岩砕石、銅スラグ砂など）を併用し、これらの効果について検討した。

実験 D では、尿素を使用したモルタルを製造し、乾燥収縮、乾燥時における析出物質の成分、加熱時の質量変化などを調査し、尿素を使用する際の留意点を検討した。

実験 E では、尿素を使用したモルタルに普通セメントや早強セメントを用い、氷点下の養生強度における強度発現性などを調査し、尿素の使用効果について検討した。

2. 実験の概要

2.1 使用材料と配合

本実験で製造したコンクリートの使用材料および配合を表-1 および表-2 に示す。

工業用、農業用などとして広く大量に使用されている尿素は、水溶性や吸熱性が極めて高い粉体のため、取り扱いの際、眼や口から体内に入ると有害性を示す。そこで、取扱い時に飛散し易い粉末状ではなく、肥料などとして一般的な顆粒状のものを本実験では使用した。

また、砂岩系砕石系砕砂を主な骨材として使用した。これは、和歌山県から愛媛県に至る中央構造線北側に広く分布する中生代白亜紀後期の和泉層群の採石場から産出されるもので、四国地方では主要骨材となっている。しかし、海底で砂や泥が交互に堆積したこの地層は、破砕帯を含み、固結性に劣るため、これを骨材としたコン

*1 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)

表-1 実験で使用した材料

名称	略号	諸元
水	W	密度1.00g/cm ³ , 上水道水
尿素	U	密度1.32g/cm ³ , 20℃溶解度108g/100ml, 工業用顆粒
普通セメント	Cn1	密度3.15g/cm ³ , 比表面積3260cm ² /g
	Cn2	密度3.16g/cm ³ , 比表面積3440cm ² /g
早強セメント	Ch	密度3.16g/cm ³ , 比表面積4470cm ² /g・・・実験E
フライアッシュ	F	密度2.20g/cm ³ , 比表面積1610cm ² /g, 4種, 愛媛県西条市産
川砂	Sri	表乾密度2.60g/cm ³ , 吸水率1.60%, 粗粒率2.90, 高知県安芸郡産
砂岩砕砂	Ssa	表乾密度2.57g/cm ³ , 吸水率1.60%, 粗粒率2.95, 徳島県板野郡産
海砂	Sse	表乾密度2.57g/cm ³ , 吸水率2.00%, 粗粒率2.00, 佐賀県唐津市産
銅スラグ砂	Scu	表乾密度3.51g/cm ³ , 吸水率0.61%, 粗粒率2.60, CUS2.5, 愛媛県西条市産
標準砂	Sst	表乾密度2.65g/cm ³ , 吸水率0.42%, 粗粒率2.00, セメント協会製
砂岩砕石2005	Gsa	表乾密度2.57g/cm ³ , 吸水率1.61%, 400t破砕値12%, 徳島県板野郡産
石灰岩砕石2005	Gli	表乾密度2.68g/cm ³ , 吸水率0.41%, 400t破砕値23%, 徳島県阿南市産
AE減水剤	Wr	標準型1種, 変性リグニンスルホン酸化合物・ポリカルボン酸系化合物
AE剤	Ae	AE剤1種, 樹脂酸塩

表-2 実験で使用した示方配合

実験	略号	U 置換率 (%)	Scu 置換率 (%)	Gli 置換率 (%)	F 置換率 (%)	目標ス ランブ (cm)	目標 空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)													
										W	U	C	F	Sri	Ssa	Sse	Scu	Sst	Gsa	Gli	Wr	Ae	
A	U15*	15	0	0	0	8	5	60	44	147	34	287 Cn2	0	785	0	0	0	0	987	0	0	2.23	
B	U00	0	0	0	0	-	2	60	44	177	0	295 Cn2	0	812	0	0	0	0	1021	0	0	0	
	U15	15								124	70												
	U30	30								166	0												
C	00-15-00	0	15	15	10	8	5	55	46	141	33	302 Cn1	70	0	501	126	151	0	962	0	3.3	4.7	
	00-15-50																		50	480			501
	00-15-100																		100	0			1002
	15-15-00	0								962	0												
	15-15-50	50								480	501												
	15-15-100	100								0	1002												
	30-15-00	0								962	0												
30-15-50	50	480	501																				
30-15-100	100	0	1002																				
D	00-F00	0	15	0	0	-	5	55	100	275	0	500 Cn1	0	0	955	239	245	0	0	0	0	0	
	15-F00	15								234	54												
	30-F00	30								192	109												
	00-F10	0			272					0													
	15-F10	15			231					53													
	30-F10	30			190					108													
E	00-Cn	0	0	0	0	-	5	50	100	244	0	488 Cn2	0	0	0	0	0	1463	0	0	0	0	
	15-Cn	15								207	48												
	30-Cn	30								171	97												
	00-Ch	0								244	0												
	15-Ch	15								207	48												
	30-Ch	30								171	97												

クリートは、1000μ を超える高い乾燥収縮を示すことが多く、その対策が求められている^{3),4),5)}。そこで本実験では、コンクリートやモルタルの乾燥収縮抑制策として、尿素とともに、四国地方で入手できる低吸水性の石灰岩砕石や銅スラグ砂、細骨材に一部置換できるフライアッシュなどを用い、その有効性も検討することとした^{6),7),8)}。

配合の略号は、主に尿素 (U) の練混ぜ水に対する容積置換率を示す。例えば、実験 C では尿素置換率-細骨材に対する銅スラグ砂容積置換率 (対砂岩砕砂+海砂)-粗骨材に対する石灰岩砕石容積置換率を表す。また、実験 D・E では、フライアッシュ (F) の細骨材容積置換率やセメントの種類 (Cn, Ch) も略号として使用した。

なお、砕砂を使用することによるコンクリートのワーカビリティ悪化の改善策として、海砂 (容積置換率 20%; 対砂岩砕砂+海砂), 銅スラグ砂 (容積置換率 15%; 対砂岩砕砂+海砂), フライアッシュ (容積置換率 10%; 対細骨材) などを混合使用した (実験 C・D)。

2.2 コンクリートの試験

コンクリートの練混ぜは、パン型強制練りミキサ (容量 50L) で行った。実験 A で採用した練混ぜ方法は、表-3 に示すように全材料一括投入法 (A1), 尿素遅れ投入法 (A2; ミキサ攪拌 60 秒後尿素投入), 尿素打設前投入法 (A3; 再攪拌時尿素投入), 練混ぜ直前尿素溶融法 (B1; 練混ぜ直前に練混ぜ水に尿素溶融) および前日尿素溶融法 (B2; 練混ぜ 1 日前に練混ぜ水に尿素溶融) の 5 種で (いずれも、粉粒体投入時 10 秒間の空練り後、混和剤を溶融した練混ぜ水投入), 練混ぜから 30 分間経過後に再攪拌し、硬化コンクリートの供試体作製を行った。コンクリートのフレッシュ性状は、練混ぜ直後と再攪拌直後に調査した。なお、実験 B・C では、全材料一括投入法を採用し、練混ぜ直後のフレッシュ性状を調査した後、硬化コンクリートの供試体作製を行った。

コンクリートは、練混ぜ後、温度の測定、スランブ試験 (JIS A 1101), 空気量試験 (JIS A 1128), 硬化コンク

表-3 練混ぜ方法(実験A)

略号	尿素の状態	練混ぜ(60s+30s)	試験	攪拌(30s)	試験
A1	顆粒	GCSWUAe	→ (30m) → 静置		
A2	顆粒	GCSWUAe +U			
A3	顆粒	GCSWUAe			+U
B1	直前溶融	GCSWUAe			
B2	前日溶融	GCSWUAe			

リート供試体作製(締固め;振動台)などを行った。

コンクリートの圧縮強度試験(JIS A 1108)は、プラスチック製軽量型枠(JIS A 5308 附属書 E)で作製した供試体(φ100×200mm 円柱, 各条件 3 本)を所定材齢まで 20℃水中養生した後, 万能試験機で行った(20℃恒温室内静置後材齢 1 日脱型, 材齢 7 日載荷面研磨仕上げ)。乾燥収縮試験は, 鋼製型枠で作製した供試体(□100×100×400mm 角柱, 各条件 2 本)を材齢 7 日まで 20℃水中養生後に接着したゲージプラグの間隔(基長 250mm)をダイヤルゲージで測定するコンタクトゲージ方法(JIS A 1129-2)で行った(20℃恒温室内)。乾燥収縮試験用供試体は, 材齢 7 日以降 40℃電気乾燥炉で保存し, 保存期間 1 週間ごとに長さ変化を測定した(測定前日に 40℃電気乾燥炉から 20℃恒温室内に移して 1 日保管後必ずみ計測)。この乾燥方法は, 供試体を温度 20±2℃, 湿度 60±5%で保存する JIS A 1129 に比べ, 最終的に収束するはずみがやや大きくなるものの, 乾燥保存期間を短縮できる迅速法と呼ばれるものである⁹⁾。

2.3 モルタルの試験

モルタルの練混ぜは, ホバート型ミキサ(容量 5L)を用い, 全材料一括投入法で行った。

モルタルは, 練混ぜ後直ちに温度を測定し, フロー試験, 空気量試験などを行った後, 硬化モルタル供試体の作製(締固め;突き棒)などを行った。

モルタルの圧縮強度試験は, プラスチック製軽量型枠で作製した供試体(φ50×100mm 円柱, 各条件 3 本)を所定材齢まで 20℃水中・気中養生(恒温室), -5℃水中養生(恒温恒湿槽;円筒形ポリ袋使用)などを行った後(20℃養生強度;材齢 1 日脱型・材齢 7 日載荷面研磨仕上げ, -5℃養生強度;材齢 7 日脱型・材齢 28 日研磨仕上げ), 万能試験機で行った。なお, -5℃養生材齢 7 日強度は, アンボンドキャッピング法(鋼製キャップ・ゴムパッド使用)で行った。乾燥収縮試験は, 鋼製 3 連型枠で製造した供試体(□40×40×160mm 角柱, 各条件 3 本)を用い, コンクリートと同様な手法で収縮ひずみを測定した(基長 150mm)。

2.4 その他の試験

尿素は, コンクリートやモルタルの練混ぜ水に尿素を 0~30%容積置換使用するため, 練混ぜ水の性質が変化することが予想された。そこで, 水に対する容積置換率 0~30%の尿素水(20℃)の表面張力を, ディヌイ表面計で測定した¹⁰⁾。なお, コンクリート中の水は, 練混ぜ直

後からアルカリ性が高くなるため, 水酸化カルシウムを飽和状態に溶解した尿素水の表面張力も測定した。また, フラスコを用いて尿素を溶融した水の密度も計測した。

実験 B では, 材齢 7 日以降 35 日まで乾燥させた□100×100×400mm 角柱供試体を 25℃の恒温恒湿槽に入れ, 湿度を段階的に上げながら質量変化を測定した。

実験 D では, モルタル円柱供試体を材齢 7 日以降 50℃で一定質量となるまで炉乾燥し, 供試体表面に析出した物質の化学分析(炭素窒素同時定量法)を行うとともに¹¹⁾, 供試体(供試体数 3 本×配合 6 種)を電気乾燥炉(炉内容積 160L)に入れて段階的に加熱し(60℃・2h→90℃・2h→120℃・2h→150℃・2h→180℃・2h), 昇温直前に炉内のアンモニアガス濃度(炉の排気口を利用し, アンモニアガス検知管で測定)と供試体の質量変化を調べた。

3. 実験の結果と考察

3.1 フレッシュ性状

本実験で得られたコンクリートやモルタルのフレッシュ性状を表-4, 表-5 および表-6 に各々示す。また, 尿素を溶融した水(尿素水)の表面張力を図-1 に示す。

表-4 フレッシュ性状(実験 A)

尿素混入法	練混ぜ後			打設前(再攪拌後)		
	温度(℃)	スランプ(cm)	空気量(%)	温度(℃)	スランプ(cm)	空気量(%)
A1	16.0	12.3	7.5	17.5	6.3	4.8
A2	15.5	13.0	7.1	16.8	6.5	4.9
A3	18.5	3.0	4.5	15.5	9.3	4.9
B1	15.5	14.8	7.8	16.8	7.3	5.0
B2	18.5	11.5	8.0	18.5	5.0	5.1

表-5 フレッシュ性状(実験 B・C)

実験	略号	練上がり温度(℃)	スランプ(cm)	空気量(%)
B	U00	18	5.0	1.2
	U15	16	5.8	1.6
	U30	14	9.0	1.9
C	00-15-00	16	6.5	7.1
	00-15-50	16	7.4	7.1
	00-15-100	16	9.6	8.1
	15-15-00	14	6.6	6.5
	15-15-50	14	7.8	7.1
	15-15-100	14	12.0	8.5
	30-15-00	12	10.4	8.9
	30-15-50	12	12.4	9.1
	30-15-100	12	14.8	9.3

表-6 フレッシュ性状(実験 D・E)

実験	略号	練上がり温度(℃)	フロー(mm)	空気量(%)
D	00-F00	18	196	2.1
	15-F00	13	226	2.9
	30-F00	9	235	3.6
	00-F10	17	175	2.9
	15-F10	13	202	3.2
	30-F10	9	194	3.6
E	00-Cn	19	174	4.4
	15-Cn	14	184	4.8
	30-Cn	14	204	5.3
	00-Ch	19	172	4.6
	15-Ch	12	182	5.2
	30-Ch	12	198	5.8

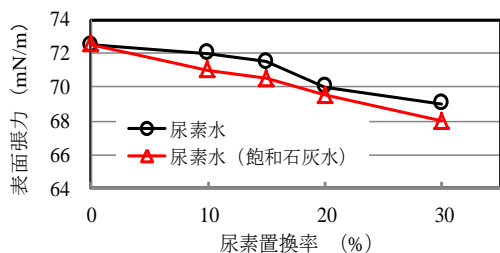


図-1 尿素水の表面張力

尿素投入法に関する実験 A では、練混ぜ時や再攪拌時に尿素を投入すると、尿素を前日溶解した B2 や尿素を投入せずに練混ぜを行った A3 の最初の練上がり温度 18.5℃ と比べ、練上がり温度の低下が確認できる。これは、尿素的吸熱反応によるものと思われる。また、尿素の使用により、スランプの増加もみられる。これらの傾向は、他の実験でも確認でき、尿素的置換率が高くなるほど、コンクリートやモルタルの温度が低下し、スランプやフローが増加する。

表面張力の結果からは、水酸化カルシウムの有無に関わらず、尿素的置換率の増加に伴う水溶液の表面張力抑制作用が認められる。また、水よりも密度の大きな尿素的置換使用により、水溶液の密度も大きくなる。実験では、20℃の水 5L に尿素を容積置換率 30% で溶解した直後の尿素水の温度は-5℃程度まで下がり、密度は 1.10g/cm³ まで上がった。これらも、尿素的置換使用によるスランプやフローの増加の原因といえる。なお、-5℃程度まで温度の下がった尿素水には凍結現象がみられず、尿素は、コンクリートの練上がり温度の抑制に加えて、耐凍害性の向上にも有用な材料となり得るものと期待できる。

実験 A では、実際の施工を想定し、練混ぜから打設まで 30 分間の時間を設けたが、尿素的投入直後はフレッシュ時の温度、スランプなどに差異がみられるものの、打設時 (2 回目の攪拌後) になるとそれら差異は小さくなり、尿素的の混入法による影響が薄れることが確認できる。

また、実験 C のフレッシュ性状からは、石灰岩碎石の置換率が高いほど、スランプが増加することがわかる。これらは、石灰岩碎石は、砂岩系碎石砕砂と比べ、密度が大きく、滑らかな表面性状をしていることなどの影響と思われる^{12),13)}。

実験 B では、尿素的の置換率が高いほど、練上がり温度が低下し、スランプや空気量が増加することがわかる。また、実験 A と同様に石灰岩碎石の置換率が高いほど、スランプが増加する傾向にある。尿素は、吸熱性や水溶性が高く、水溶液の密度が高くなり、表面張力を下げ、コンクリートの温度も低下するため、流動性や空気連行性が高まるものと思われる。

3.2 圧縮強度

実験 A, C および E で得られたコンクリートの圧縮強度を図-2、図-3 および図-4 に各々示す。

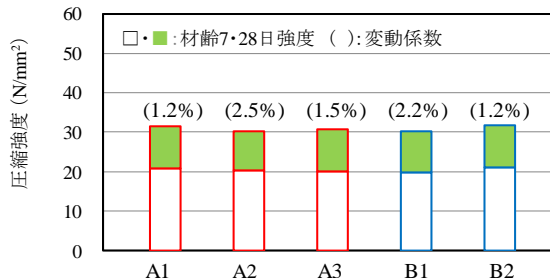


図-2 圧縮強度 (実験 A)

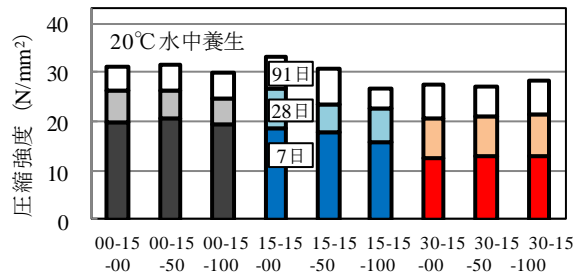


図-3 圧縮強度 (実験 C)

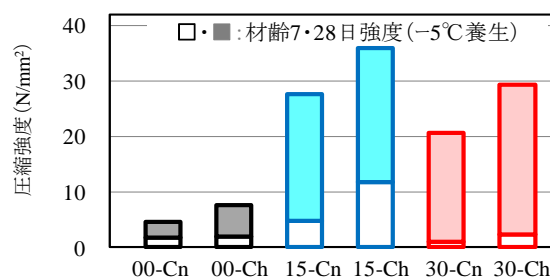


図-4 圧縮強度 (実験 E)

図-2 より、コンクリートの圧縮強度は、尿素的のミキサ投入法による差異がほとんどみられないことがわかる。したがって、フレッシュ性状も考慮すると、尿素は、コンクリートを製造する場所に応じた投入法を選定すれば良く、通常は全材料一括投入法で良いといえる。なお、本実験は、全材料一括投入法を基本として行っている。

図-3 では、コンクリートの圧縮強度が、尿素的置換率の高いほど早期材齢では低下するものの、材齢の進行とともにその割合が低下し、材齢 91 日では尿素的置換率による差異が小さくなることがわかる。また、圧縮強度に対する石灰岩碎石の置換使用の影響があまりないことも確認できる。尿素的置換率の増加に伴うコンクリートの早期強度低下については、尿素による凝結遅延が原因との報告があり¹⁾、本研究でも同様な傾向がみられた。このことは、尿素的置換率の増加に伴い、コンクリート内部における強度発現に寄与する水の減少や表面張力低下、温度の変動 (尿素的吸熱作用による温度低下と周囲環境や水和反応による温度上昇) などによると思われる。

なお、銅スラグ砂を用いたコンクリートの圧縮強度については、材齢 7 日まではやや小さな値を示すが、材齢 28 日では同程度、長期材齢では大きな値を示すという報告⁷⁾、材齢や置換率にもよるが、圧縮強度が 1~10% 程度低下するもののフライアッシュを用いることで材齢と

ともに強度増加がみられるという報告¹⁴⁾ などが有り、本研究におけるコンクリートの強度発現性には、これらの影響が加わっているものと考えられる。

図-4では、尿素の使用で、氷点下の温度でもコンクリートが硬化し、-5℃での強度発現性は、尿素置換率15%程度が高いこと、早強セメントの使用効果が良いことなどがわかる。-5℃での強度発現性については、尿素の使用で練混ぜ水が凍結しないことによると思われるが、尿素置換率30%の材齢7日における強度発現性の悪さは、前述したように尿素による凝結遅延の影響と思われる。

3.3 乾燥収縮

実験Bより得られたコンクリートの乾燥収縮ひずみを図-5に、実験Dで得られたモルタルの乾燥収縮ひずみを図-6に各々示す。

図-5より、砂岩系砕石砕砂コンクリートの乾燥収縮は、石灰岩砕石や尿素を使用しない場合、1000 μ を超えることがわかる。これは、前述したように、骨材として使用した砂岩系砕石砕砂の固結性に問題があり、骨材自体の乾燥収縮が大きいことによると思われる。また、このコンクリートの乾燥収縮は、石灰岩砕石の粗骨材置換使用や、尿素の練混ぜ水置換使用により、大幅に抑制されることがわかる。

本実験における乾燥収縮の最終ひずみは、砂岩系砕石砕砂コンクリートの約1150 μ に対し、石灰岩砕石置換率100%で尿素置換率30%のコンクリートでは約450 μ と大幅な抑制効果が得られ、石灰岩砕石と尿素の併用効果が認められる。これより、低吸水性骨材が乾燥収縮にくいこと^{14),15)}、尿素の使用でコンクリート中の水分が減少して表面張力が低下するとともに水分の蒸発量が低減することなどが相互に弊害なく作用するものといえる。

モルタルに関する実験Dの結果からも、尿素の練混ぜ水置換使用による乾燥収縮抑制効果が確認でき、フライアッシュの細骨材置換使用でも乾燥収縮抑制効果がみられる。砂岩系砕砂を主に用いたモルタルでは2000 μ 近い最終ひずみが、尿素とフライアッシュの併用で500 μ 程度にまで低減できる。

本研究では、乾燥収縮評価法として、40℃炉乾燥による迅速法を採用した。この方法では、20℃で行われる通常の方法よりも収縮ひずみが収束する乾燥期間を大幅に短縮でき、供試体保存室の湿度管理を必要としないため、簡便で有益な乾燥収縮評価法といえる。

3.4 その他の性状

実験Bで得られたコンクリートの質量変化率を図-7に示す。これは、60%RH(20℃)で乾燥させた供試体を恒温恒湿槽(25℃)に入れ、段階的に湿度を高めた場合(2~3日毎に相対湿度5%ずつ上昇)の質量変化である。

この結果より、尿素を含まないコンクリートは相対湿

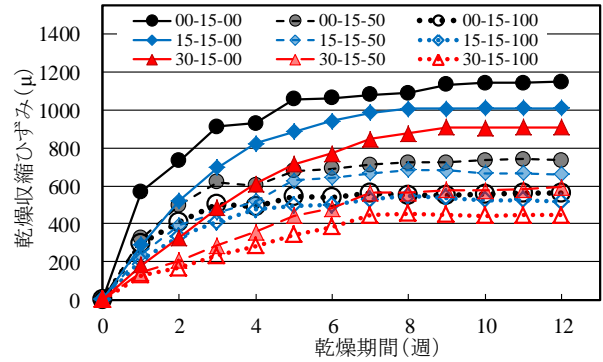


図-5 乾燥収縮(実験C)

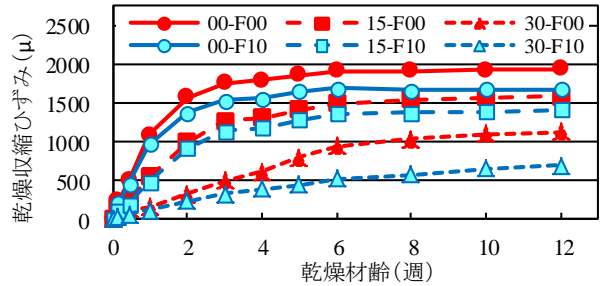


図-6 乾燥収縮(実験D)

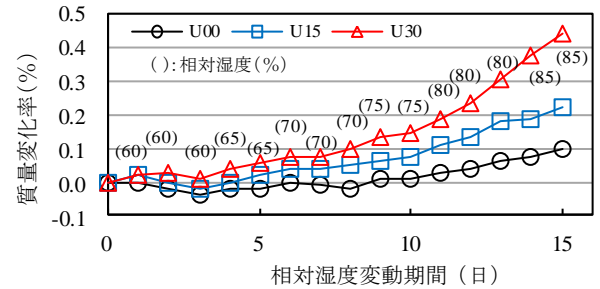


図-7 質量変化(実験B)

表-7 成分含有率(実験D)

試料	炭素(%)	窒素(%)
尿素	21	51
30-F00表面析出物	23	52
30-F10表面析出物	23	51

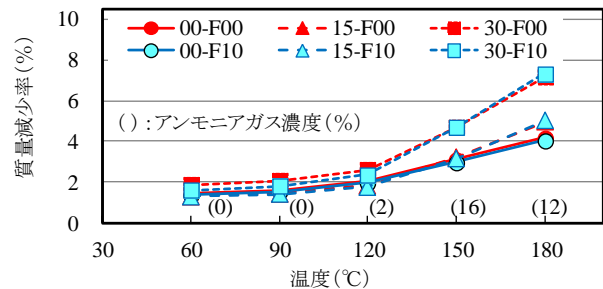


図-8 熱特性(実験D)

度が75%程度以上にならないと質量が増加しないが、尿素置換率15%では相対湿度70%程度、尿素置換率30%では65%程度以上で質量が増加しており、尿素を用いたコンクリートは空気中の湿気を吸って乾燥し難くなることがわかる。なお、尿素を用いたコンクリートは、乾燥により質量が減少すると、水分の蒸発とともにその表面に白い析出物が生じる。この析出物の炭素窒素含有率を調べると、表-7(尿素置換率30%のモルタル)に示す

ように、尿素単体での測定値とほぼ同値となり、尿素はコンクリート中の水とともに移動することがわかる。

尿素置換率を変化させたモルタルを加熱した場合の質量減少率やアンモニアガス濃度を示した図-8より、モルタルの質量減少率は90℃以上で高くなり、その割合は尿素置換率が高いほど大きく、アンモニアガスの発生も確認できる。アンモニアガスは、毒性、腐食性、可燃性などがあるため、加熱を受ける恐れのあるコンクリートに尿素を使用する場合、十分な注意が必要といえる。本実験では、炉内温度を段階的に上げ、アンモニアガス濃度を検知後、扉を開けて供試体質量を測定しており、ガス濃度は各温度2時間保持で発生する値である。

4. まとめ

本研究では、水溶性が高く、吸熱反応を示し、非揮発性の尿素をコンクリートに利用するための情報を得るため、様々な実験を行い、尿素を使用することの有効性や留意点を検討した。本研究で行った実験の範囲で得られた結果を以下に要約する。

- (1) コンクリートは、尿素投入直後に温度低下を示すが、投入の時期や方法による諸性状の差異は、投入後30分経過すれば薄れ、強度発現性も同程度となるため、尿素的投入法によるコンクリートの性状変化はあまりなく、他の材料と一括投入するのが良いといえる。
- (2) 石灰岩砕石、銅スラグ砂、尿素などの使用で、コンクリートの流動性は高まり、尿素置換率が高くなると材齢28日程度までの強度発現性は低くなるが、養生温度-5℃でも、凍結せず強度発現性を示す。
- (3) 低吸水率の石灰岩砕石や銅スラグ砂による砂岩系砕石砕砂の置換使用、水溶性や保水性の高い尿素的練混ぜ水置換使用、フライアッシュの細骨材置換使用などで、砂岩系砕石砕砂を用いるとコンクリートでは1000 μ 以上、モルタルでは2000 μ 程度になる乾燥収縮ひずみが500 μ 前後にまで抑制される。
- (4) 尿素を使用しないコンクリートは、相対湿度75%程度以上にならないと気中で吸湿しないが、尿素を使用すると、練混ぜ水置換率15%では相対湿度70%程度、置換率30%では相対湿度65%程度以上で吸湿して質量が増加する。
- (5) 尿素を使用したコンクリートは、乾燥すると尿素が表面に析出し、90℃以上で加熱すると有害なアンモニアガスを発生する。

謝辞

本実験にご協力いただいた阿南生コンクリート工業(株)諸氏ならびに本校卒研生諸氏に対し、謝意を表す。

参考文献

- 1) 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.
- 2) 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.
- 3) 橋本寿夫ほか: 徳島県西部地域の和泉層群と中央構造線関連の地質・地形-三野町地域-, 阿波学会紀要, Vol.49, pp.1-12, 2003.
- 4) 鈴木一雄, 辻本一志, 金井武明, 副田康英: 生コンクリートの乾燥収縮に関する全国調査, コンクリート工学, Vol.48, No.7, pp.9-14, 2010.
- 5) JCI 四国支部: 香川県の建設に関する物質フロー研究会及び四国の骨材に関する研究委員会合同報告書, 2011.
- 6) JCI: コンクリートの収縮問題検討委員会報告書, 2010.
- 7) 兵頭彦次, 谷村充, 井坂幸俊, 杉山真悟: コンクリートの乾燥収縮に及ぼす骨材物性の影響評価, セメント・コンクリート, No.777, pp.24-29, 2011.
- 8) 笹田宏紀, 橋本親典, 渡辺健, 香川浩司: 低吸水率細骨材の混合使用によるコンクリートの乾燥収縮抑制対策に関する一考察, コンクリート工学年次論文集, Vol.34, No.1, pp.406-411, 2012.
- 9) 井上裕貴, 橋本親典, 渡辺健, 石丸啓輔: 骨材の吸水率がコンクリートの乾燥収縮特性に与える影響に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.33, No.1, pp.473-478, 2011.
- 10) 長岡技術科学大学支援センター: 表面張力, <http://konomi.nagaokaut.ac.jp/Open/PR/kaki/dunui.pdf>
- 11) 熊本大学薬学部附属創薬研究センター機器分析施設: 元素分析装置, <http://iac.kuma-u.jp/equipment/details/pdf/03.pdf>
- 12) セメント協会: コンクリート専門委員会報告 F-46(石灰石骨材コンクリートに関する研究), 1992.
- 13) 土木学会コンクリート委員会: 銅スラグ細骨材を用いたコンクリートの施工指針, 1998.
- 14) 田中博一, 橋田浩: 骨材の種類がコンクリートの乾燥収縮に及ぼす影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.31, No.1, pp.553-558, 2009.
- 15) 井上真澄, 山崎新太郎, 猪狩平三郎, 岡田包儀: 各種粗骨材の品質がコンクリートの乾燥収縮特性に及ぼす影響, セメント・コンクリート論文集, Vol.65, pp.261-267, 2011.