

論文 高流動コンクリートの水和熱低減に関する研究

綾野 克紀^{*1}・マウリナー ジュマ シヤハン^{*2}・亀高 誠治^{*3}・阪田 憲次^{*4}

要旨：本研究は、高い流動性とマスコンクリートにも適用可能な低発熱性の両方の性質をもつコンクリートの開発を目的とし、水に容易に溶解し、吸熱反応するユリア（尿素）のコンクリート用混和材としての適用性を検討したものである。セメントの種類およびその使用量とユリアの使用量が、コンクリートの温度上昇および強度に及ぼす影響を調べた。その結果、コンクリートの温度上昇は、セメントの使用量が多くコンクリートの強度が高い場合には、セメントの種類に及ぼす影響が大きく、セメントの使用量が少なく強度が低い場合には、ユリアの及ぼす影響が大きいことが分かった。

キーワード：高流動コンクリート、温度上昇量、ユリア、低発熱型セメント、強度特性

1. はじめに

各研究機関により、様々な高流動コンクリートが提案されている。また、その中には、実際に現場に適用されたものもあり、今後とも広い範囲の現場で、実状にあった高流動コンクリートが開発され、適用されることが予想される。

本研究は、高流動コンクリートの高い施工性をマスコンクリートに適用することを目的と低発熱型の高流動コンクリートを開発することを目的とするものである。混和材には、発熱の少ない石灰石微粉末と、溶解度が高く水と吸熱反応を生じるユリア（尿素）[1][2]を用いる。本論文では、ユリアと水との吸熱反応が練混ぜ直後のコンクリート温度を低下させるだけでなくユリアがセメントの水和を遅延することによって、コンクリートの温度上昇量を低下させるを明らかにする。また、コンクリートの凝結時間、スランプフローの経時変化および強度特性に及ぼすユリアの影響を調べ、高流動コンクリート用混和材としてのユリアの適用性を検討する。

本研究に用いた高流動コンクリートは、セメントの種類および配合に関係なく、スランプ25cm以上であり、スランプフローは65±5cmである。また、スランプ試験時において、コンクリートの中央に粗骨材が残ったり、コンクリートの先端に水の分離が生じてはいない。

2. 実験概要

実験には、早強ポルトランドセメント（比重3.14）、普通ポルトランドセメント（比重3.1）、中庸熱ポルトランドセメント（比重3.22）およびビーライトセメント（比重3.24）を用いる。粗骨材には碎石（比重：2.74，吸水率：1.11，F.M.：6.34）を、細骨材には川砂（比重2.62，吸水率：1.68，F.M.：2.43）を使用した。また、本実験に用いた石灰石微粉末の比重は2.73で、粉末度は、ブレン値で約2,800g/cm²である。

*1 岡山大学講師 環境理工学部環境デザイン工学科、工博（正会員）

*2 岡山大学大学院自然科学研究科、工修（正会員）

*3 岡山大学大学院工学研究科

*4 岡山大学教授 環境理工学部環境デザイン工学科、工博（正会員）

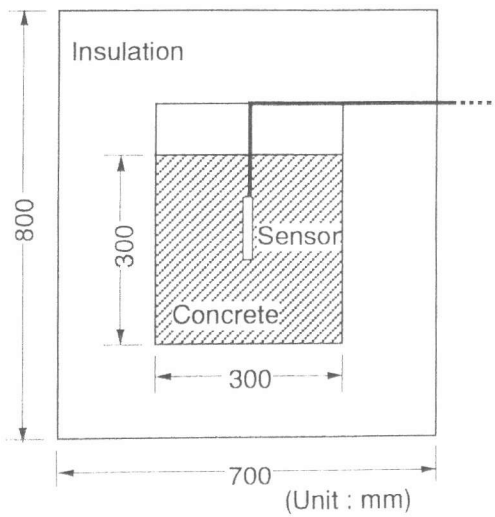


図-1 コンクリート温度測定装置

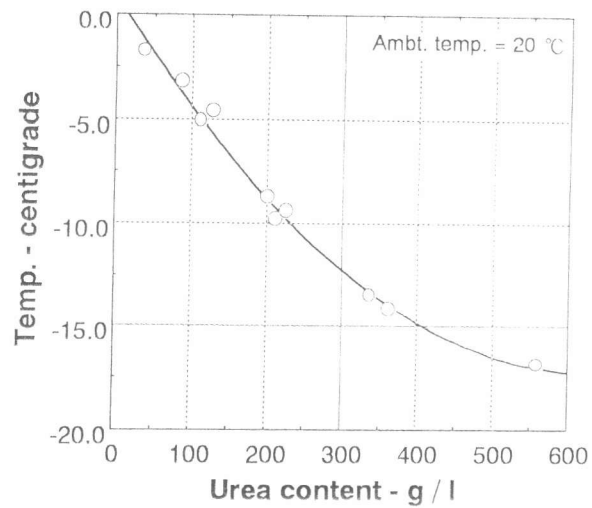


図-2 ユリアの吸熱特性

表-1 高流動コンクリートの配合表

水セメント比 (%)	細骨材率 s/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)							
		水 W	ユリア U	セメント C	石粉 Lf	細骨材 S	粗骨材 G	高性能減水剤	分離低減剤
40	42.5	155	0	388	179	706	1,006	9.12	1.5
		131	53		175	690	983		
		107	107		171	674	960		
60	42.5	180	0	300	187	706	1,006	7.05	7.0
		150	53		184	696	992		
		120	107		182	686	977		
80	42.5	200	0	250	176	706	1,006	5.88	10.0
		164	53		175	702	1,000		
		128	107		174	698	995		

実験に用いた高流動コンクリートの内、普通セメント用いた配合を表-1に示す。早強セメント、中庸熱セメントおよびビーライトセメントを用いた高流動コンクリートの配合は、セメント比重に応じて単位セメント量が異なるのみでその他の材料の使用量は、表-1に示す量と同一である。高性能減水剤にはナフタリン系のものを、分離低減剤にはアクリル系のものを用いた。図-1にコンクリート温度を測定する際に用いた試験装置の概略を示す。マスコンクリートの条件に近い条件となるよう、コンクリートの回りを発泡スチロールで取り囲み(最小厚さ: a)、コンクリートの熱が外部に逃げることを防ぎコンクリートの温度上昇量を測定した。図-2は、水1リットルに溶かしたユリアの量と水の温度低下量との関係を示したものである。図からも明らかのように、ユリア100g当たり、水の温度を約4℃下げることが可能である。よって、本実験に用いたユリアの比重は、1.335である。

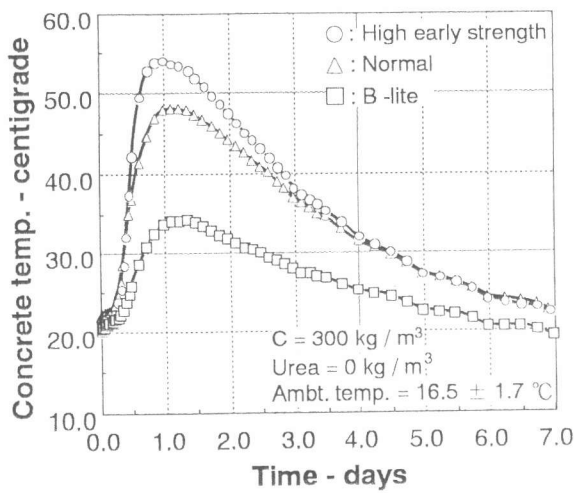


図-3 セメントの種類の影響

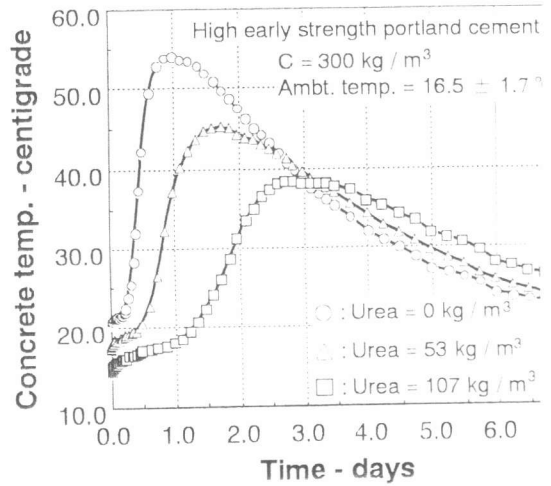


図-4 ユリアの使用量の影響

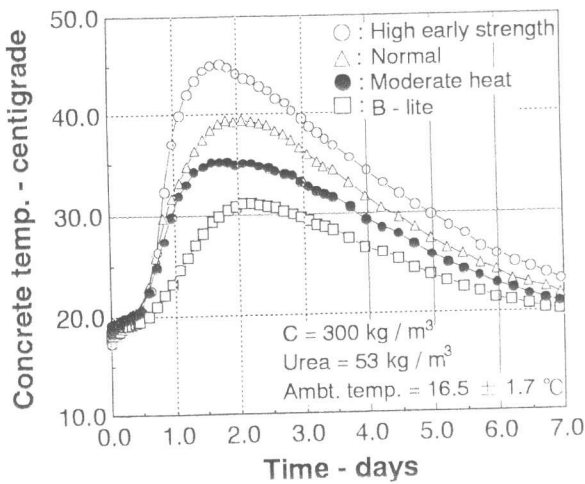


図-5 セメントの種類がユリアの効果へ及ぼす影響

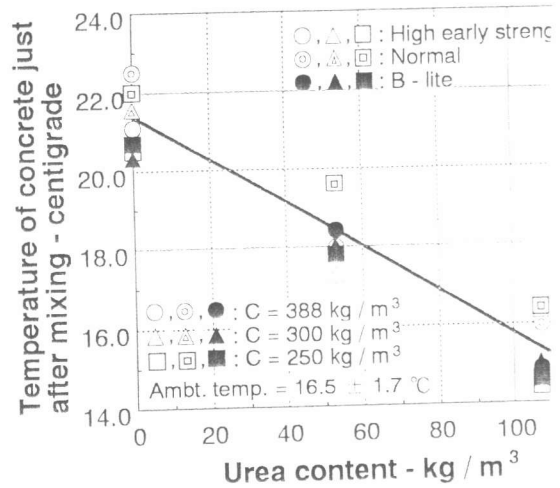


図-6 練混ぜ直後のコンクリート温度とユリアの関係

3. 実験結果および考察

3.1 コンクリート温度

図-3は、種々のセメントを用いたコンクリートの温度を、図-1に示した試験装置を用いて測定した結果である。また、図-4は、ユリアの使用量が早強セメントを用いたコンクリートの温度に及ぼす影響を調べた結果である。図-3および図-4の結果を得るために用いたコンクリートの単位セメント量は、いずれも 300kg/m^3 である。図-3から明らかなように、セメントの種類によってコンクリートの最高温度は異なるが、練混ぜ直後の温度および最高温度に到達までの時間には差がないことが分かる。一方、図-4に示されるように、ユリアを使用すれば、ユリアの使用量が多くなるにつれ最高温度および練混ぜ直後の温度がともに下がり、最高温度に到達する時間も遅くなる事が分かる。

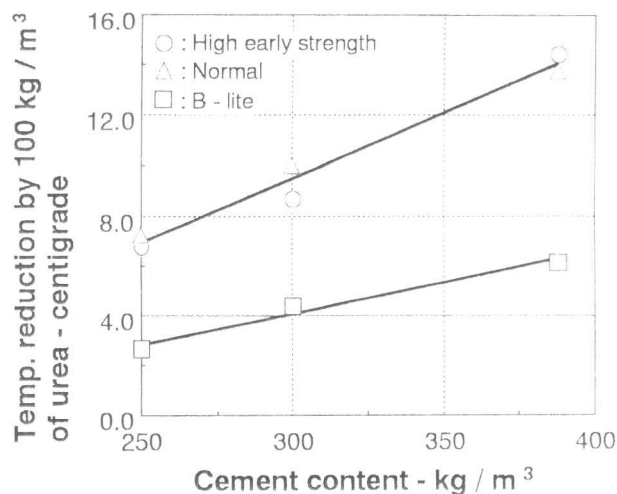
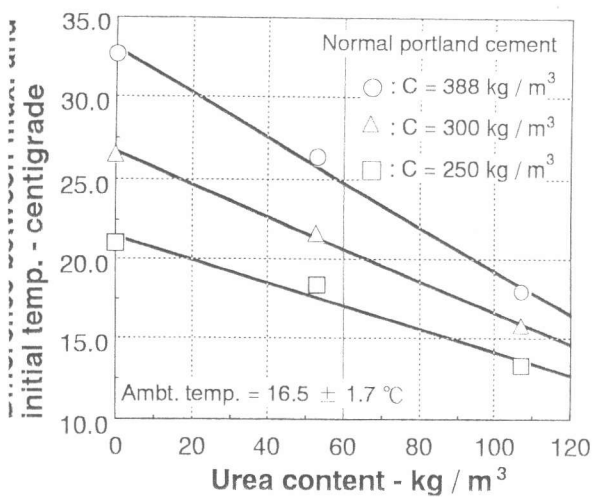


図-7 コンクリートの温度上昇量とユリアの関係 図-8 単位セメント量とユリアの水和熱低減効果の関係

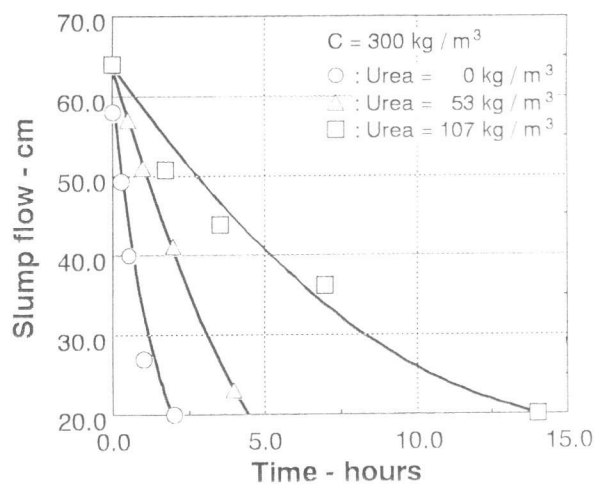
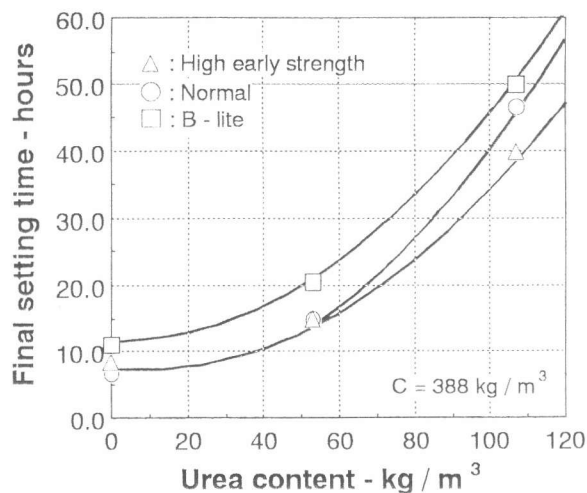


図-9 凝結の終結時間とユリアの関係 図-10 スランプフローの経時変化とユリアの関係

図-5は、種々のセメントを用い、ユリアを 53kg/m^3 使用したコンクリートの温度を測定した結果である。図-3と比較すれば、早強セメントの場合には、ユリアを用いることによって、最高温度が約 10°C 低下し、ビーライトセメントを用いた場合には、約 3°C 低下することが分かる。すなわち、発熱量の高いセメントほど、ユリアによって効果的に最高温度を低下できることが分かる。また、用いるユリアの量が同じ場合には、いずれのセメントを用いても、最高温度に到達する時間および練混ぜ直後の温度は、ほぼ同じであることが分かる。

図-6は、ユリアの使用量と練混ぜ直後のコンクリート温度との関係を示したものである。練混ぜ直後のコンクリート温度は、セメントの種類および単位セメント量に関係なく、ユリアの使用量に比例して低くなることが分かる。また、図-7は、練混ぜ時のコンクリート温度と最高温度の差、すなわち、温度上昇量とユリアの使用量との関係を示したものである。ただし、図-7

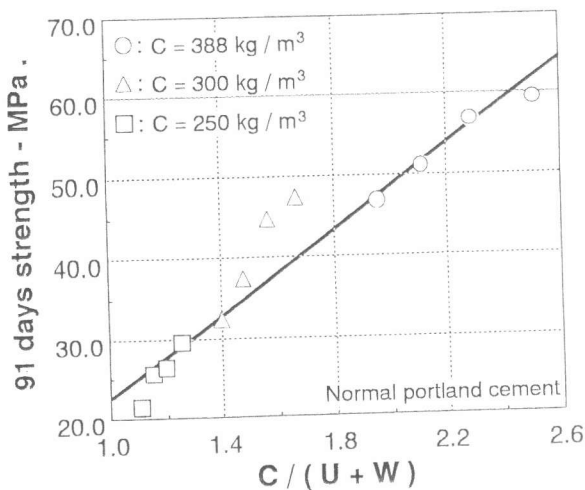


図-11 91日強度と $C/(U+W)$ の関係

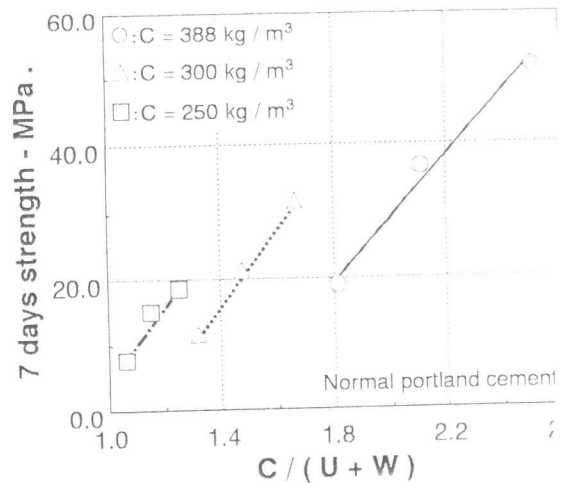


図-12 7日強度と $C/(U+W)$ の関係

は、普通セメントを用いたコンクリートより得られた結果である。コンクリートの温度上昇量は、ユリアの使用量に比例して低くなることが分かる。図-8は、ユリアをコンクリート 1 m^3 当たり 100 kg 使用することによって低下する最高温度と単位セメント量の関係を示したものである。この図より明らかに、単位セメント量の多いものほど、また、発熱量の高いセメントを用いたものほど、ユリアが水和熱を低減する効果が高いことが分かる。

3.2 凝結時間とスランプフローの経時変化

図-9は、コンクリートの凝結終結時間とユリアの使用量との関係を示したものである。ユリアの使用量が増えるにつれ、コンクリートの凝結終結時間は、遅くなることが分かる。また、発熱量の低いセメントを用いたコンクリートの凝結終結時間に及ぼすユリアの影響が大きくなることが分かる。図-10は、普通セメントを用いたコンクリートのスランプフローの経時変化にユリアの使用量が及ぼす影響を調査した結果である。スランプフローに関して、ユリアの使用量が増えるにつれ、その低下する時

遅くなることが分かる。

3.3 コンクリートの強度

図-11は、普通セメントを用いたコンクリートの91日強度とセメント/(水+ユリア)の関係を示したものである。この図より、コンクリートの91日強度は、セメント/(水+ユリア)比と比例関係にあり、ユリアの使用によって、水を増加させたのと同じ影響が表れるといえる。図-12は、コンクリートの7日強度とセメント/(水+ユリア)比の関係を示し

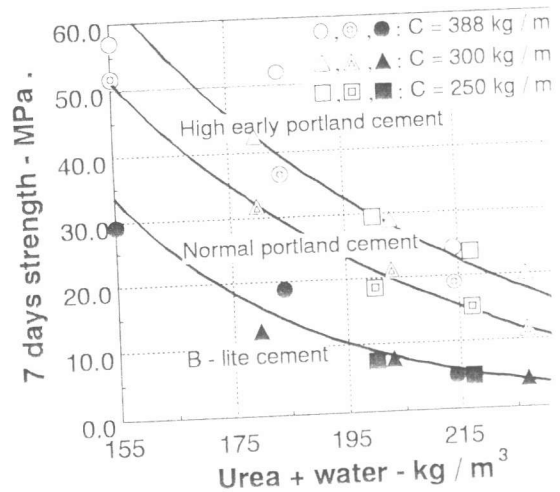


図-13 7日強度と $U+W$ の関係

ある。この図より、コンクリートの7日強度は、91日強度のように、セメント/（+ユリア）比と比例関係にないことが分かる。一方、図-13は、コンクリートの7日強度と（単位水量+単位ユリア量）の関係を示したものである。いずれのセメントを用いたコンクリートも、セメント量に関係なく、7日強度は、単位水量と単位ユリア使用量の間に密接な関係があることが分かる。

4. 28日強度と最高上昇温度の関係
 図-14は、種々のセメントを用いたコンクリートの28日強度と最高温度との関係を示したものである。図中には、○、◎、●等シンボルが、それぞれ3点ずつあるが、これは、強度の高いものから順に、ユリアを

107kg/m³、53kg/m³および107kg/m³用いたコンクリートである。単位セメント量が多く、強度が高い場合には、セメントの種類によって最高温度に顕著な差が表れるが、単位セメント量が少く、強度が下がるにつれセメントの種類による影響が小さくなることが分かる。また、ユリアを用いず、ビーライトセメントを300kg/m³用いた高流動コンクリートの28日強度は約25MPa、最高温度は約34℃である。早強セメントを用いた場合、これと同じ強度で同じ最高温度の高流動コンクリートの単位セメント量は250kg/m³で、ユリアの使用量は107kg/m³である。すなわち、同じ強度で、同じ最高温度の高流動コンクリートをつくる場合、ビーライトセメントに対して早強セメントの場合には、ユリアの使用量は増え、単位セメント量は減少することが分かる。

5. まとめ

高流動コンクリートにユリアを用いた場合、水とユリアの吸熱反応による練混ぜ直後の温度低下効果と硬化時におけるセメントとの反応による温度上昇低減効果との両方によって、コンクリートの最高温度を低下させることが可能であることが分かった。また、単位セメント量が多い場合および発熱量の高いセメントを用いた場合に、その効果は、より高いことが分かった。

6. 参考文献

- 阪田憲次・浜田利彦・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、42巻、pp.403-406、1988
- 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、42巻、pp.407-410、1988

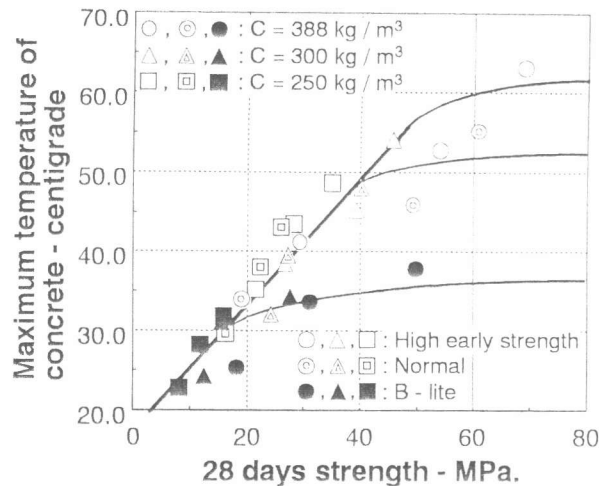


図-14 最高温度と28日強度の関係