尿素を用いたひび割れ低減コンクリート『クラレスクリート』

清水建設株式会社

1 はじめに

コンクリート構造物にひび割れが発生した場合、構造物の耐久性や水密性等の性能が低下することが懸念される。近年、土木学会「2007年制定コンクリート標準示方書」や日本建築学会「建築工事標準仕様書・同解説 JASS 5　鉄筋コンクリート工事2009」では、コンクリートの収縮に関する考え方が見直されており、コンクリートのひび割れ制御に対する関心が高まっている。コンクリート構造物に発生するひび割れには、セメントの水和熱に起因する温度ひび割れやコンクリート内部の水分蒸発に起因する乾燥収縮ひび割れ等がある。

従来のひび割れ対策として、温度ひび割れ低減に対しては低熱ポルトランドセメントの使用等があり、乾燥収縮ひび割れ低減に対しては膨張材や収縮低減剤の使用等がある。しかし、これらの対策の中で温度ひび割れと乾燥収縮ひび割れの両方に単独で効果を発揮するものはないため、低熱ポルトランドセメントと膨張材の併用等の対策がなされてきたが、コストが高くなることや型枠の脱型時期が遅くなる等の課題があった。

そこで、高い水溶性、溶解時の吸熱反応および非揮発性を有する尿素（写真１）に着目し、吸熱反応およびセメントの水和反応抑制によるコンクリートの温度低減効果により温度ひび割れを低減すると同時に、コンクリート内部の水分蒸発を抑制することで乾燥収縮ひび割れを低減できるひび割れ低減コンクリート「クラレスクリート」を開発した[1)～5),7),8)]。

なお、クラレスクリートは、コンクリートのひび割れを低減することで、構造物の長期にわたる耐久性や安全性を確保するとともに、維持管理費を縮減できる等のメリットがあり、社会に大きく貢献できる技術であることを認められ、「尿素を用いたひび割れ低減コンクリートの開発」として平成22年度の土木学会技術開発賞を受賞した。また、平成24年４月現在、施工実績は５件（仮設構造物１件、本設構造物４件）と増えてきている。

本稿では、クラレスクリートの概要と実構造物に適用した事例（RC ラーメン高架橋）について報告する。

写真１　尿素の外観

2 クラレスクリートの概要[1)]

❶ 尿素の特徴

尿素の主な物理的性質を表１に示す。尿素は無色・無臭で、写真１に示すように直径１～２mmの粒状結晶（濃度99.0%以上）であり、水に溶けやすく、水と混ぜると吸熱反応し、非揮発性である等の特長がある。主な用途として、医薬品、工業用の尿素樹脂や塗料、農業用の肥料等がある。そ

表１　尿素の主な物理的性質

項　目	内　容
化学式	H_2NCONH_2
分子量	60.06g/mol
密　度	1.32g/cm^3
形　態	無色、透明、無臭の粒状結晶
用　途	化粧品（保湿クリーム）、医薬品、工業用品（尿素樹脂、塗料）、農業用品（肥料）
溶解度	108g/100ml（20℃）
溶解熱	−15.4kJ/mol
揮発度	Henry 定数：4.4×10^{-8}気圧 m^3/ml

の他、保湿クリーム等の化粧品にも広く用いられており、取り扱いが容易な材料である。

❷　温度ひび割れに対する効果

基本配合の単位水量165kg/m^{3}とした場合に尿素を水に溶かすと、尿素の吸熱反応により、水溶液の温度は尿素混入量20 kg/m^{3}の場合で約７℃、尿素混入量30kg/m^{3}の場合で約10℃低下する。このため、製造時のクラレスクリートの温度は、図１に示すように普通コンクリートと比較して尿素混入量20 kg/m^{3}の場合で約２℃、尿素混入量30kg/m^{3}の場合で約３℃低下する。

断熱温度上昇試験の結果を図２に示す。尿素を用いることで、特に初期材齢の温度上昇量が小さくなる傾向が認められる。終局断熱温度上昇量については、普通セメントを用いた場合（N）と比較して、尿素混入量30kg/m^3（N-U30）では同等であるが、尿素混入量50kg/m^3（N-U50）では約５℃、尿素混入量75kg/m^3（N-U75）では約15℃低下し、尿素混入量75kg/m^{3}の場合で、低熱ポルトランドセメント（L）を用いた場合と同等の断熱温度上昇量の低減効果が得られる。

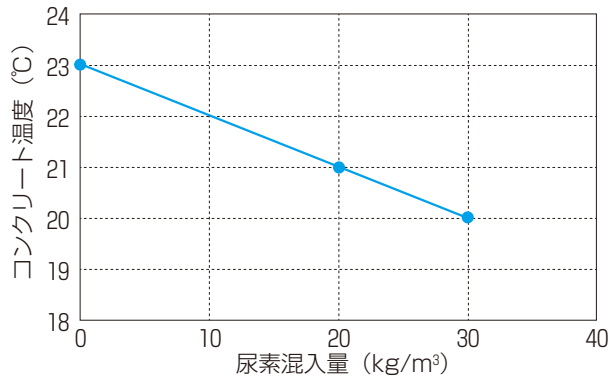

図１　尿素によるコンクリート温度低下

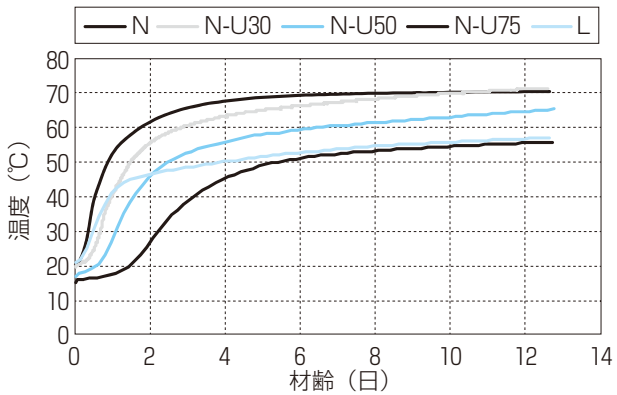

図２　コンクリートの断熱温度上昇量

以上のことから、尿素を用いることで製造時のコンクリート温度を低下させ、さらにセメントの水和熱による温度上昇を低減できるため、温度ひび割れ低減に効果が期待できる。

❸　乾燥収縮ひび割れに対する効果

尿素を用いた場合、コンクリート製造時の単位水量を低減でき、さらに尿素の非揮発性でコンクリート内部の水分の蒸発量を抑制することができるため、コンクリートの乾燥収縮ひずみを低減することが可能となる。乾燥収縮ひずみの測定結果を図３に示す。普通骨材を用いた場合（HS-HG）、尿素による乾燥収縮ひずみ低減効果は、尿素混入量30kg/m^3（HS-HG-U30）で約20％である。さらに、乾燥収縮ひずみが小さくなる石灰石骨材[6]（LS-LG）と組み合わせることによって、尿素と石灰石骨材の併用による乾燥収縮ひずみ低減効果は、普通骨材を用いた場合（HS-HG）と比較して、尿素混入量20kg/m^{3}の場合（LS-LG-U20）で約55％、尿素混入量30kg/m^{3}の場合（LS-LG-U30）で約65％と著しく高くなり、乾燥収縮ひずみを200 μ 程度ま

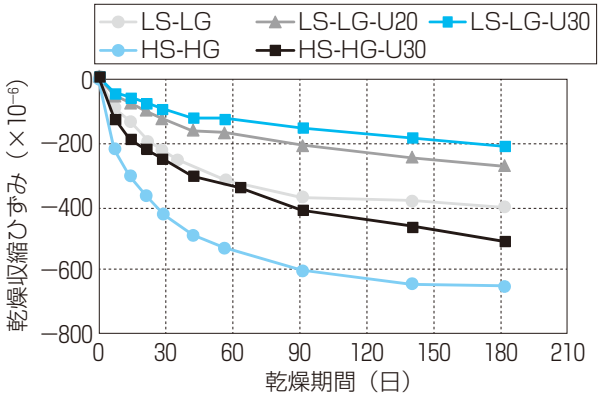

図３　乾燥収縮ひずみ測定結果[5]

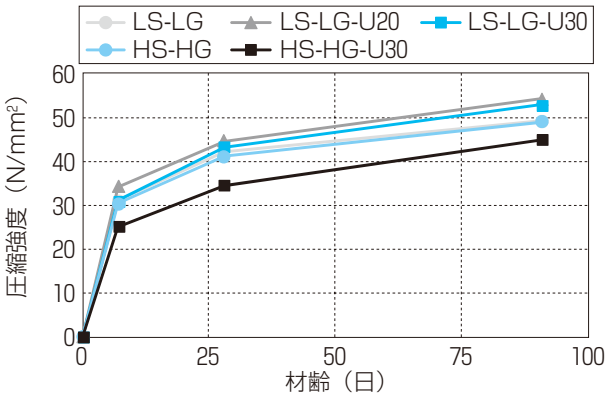

図 4　圧縮強度試験結果[5)]

で低減することが可能である。

以上のことから、尿素を用いることでコンクリートの乾燥収縮ひずみを低減することができ、さらに、石灰石骨材と併用することで高い乾燥収縮ひずみ低減効果が得られるため、乾燥収縮ひび割れ低減に効果が期待できる。

❹ 圧縮強度

圧縮強度試験結果を図 4 に示す。クラレスクリートの圧縮強度は、普通コンクリートと比較して材齢 7 日および28日においては低い場合がある。これは尿素による凝結硬化の遅延が原因であると考えられる。しかし材齢91日では同等の強度発現が認められ、尿素の添加による強度への影響はほとんど認められない。クラレスクリートは、尿素の容積分だけ単位水量を低減できるので、水セメント比は小さくなるが、水と尿素を合わせた液体の容積は普通コンクリートの水の容積と同等であるため、尿素が圧縮強度に与える影響は小さいものと考えられる。以上のことから、尿素を用いた場合でも普通コンクリートと同等の強度を有すると評価できる。

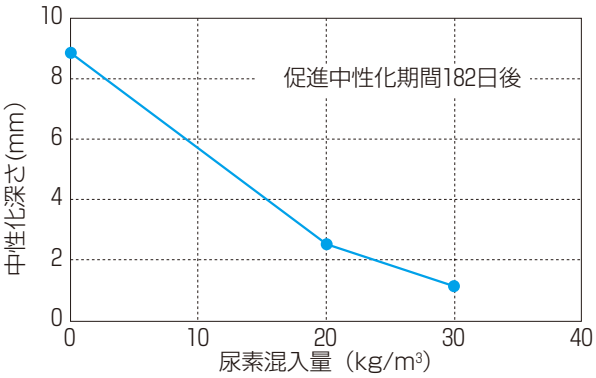

図 5　促進中性化試験結果[7)]

❺ 耐久性

温度20℃、相対湿度 RH60％、二酸化炭素濃度５％の環境下で182日間促進中性化試験を行った結果を図 5 に示す。クラレスクリートの中性化に対する抵抗性は、普通コンクリートと比較して著しく高くなり、普通コンクリートに対する中性化抑制効果は、尿素混入量20kg/m³の場合で約70％、尿素混入量30kg/m³の場合で約85％となる。なお、塩害および凍害に対する抵抗性についても普通コンクリートと同等以上であることを確認している。

3 実構造物におけるクラレスクリートのひび割れ低減効果の実証

RC ラーメン高架橋の梁およびスラブにクラレスクリートを適用した事例を紹介する。当該構造物は２段階施工の高架橋で１期施工は数年前に完了しており（普通コンクリートで施工）、今回の２期施工では１期施工の梁およびスラブに打継いで施工し、その一部にクラレスクリートを適用した。施工完了状況を写真 2 に示す。

普通コンクリートは、レディーミクストコンクリート30-12-20N に対する標準配合とした。クラレスクリートの配合は、事前に実施した配合試験で選定し、尿素混入量を20kg/m³とし、粗骨材に石灰石を用いた。配合選定試験時に実施した乾燥

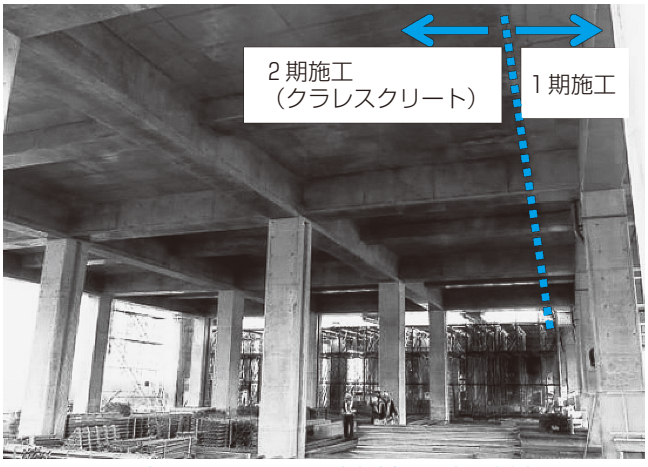

写真 2　RC ラーメン高架橋での適用事例

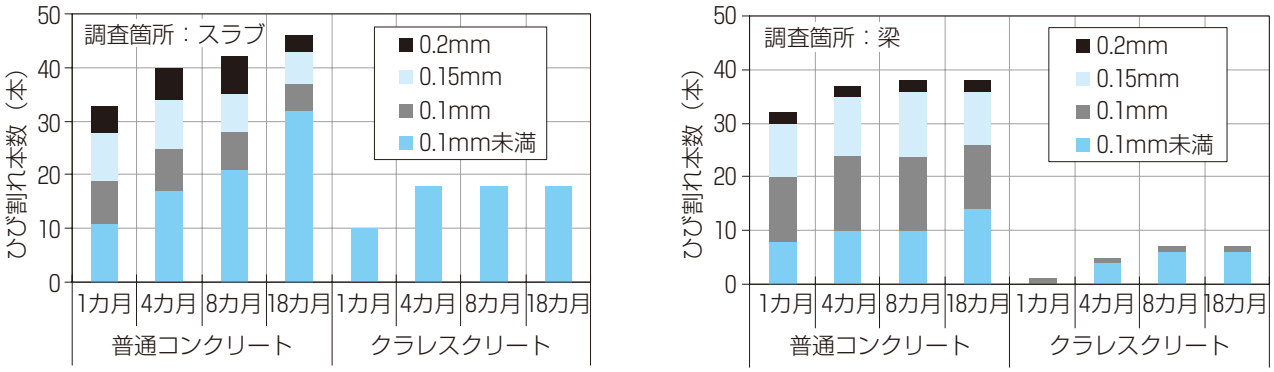

図6　ひび割れ調査結果[9)]

収縮試験の結果、乾燥期間182日後のクラレスクリートの乾燥収縮ひずみは500×10-6以下であり、普通コンクリート（普通骨材使用）と比較して約40%減少した。

施工1カ月後から18カ月後まで実施したひび割れ調査結果を図6に示す。スラブについては、普通コンクリートでは1期施工部との打継目付近に最大幅0.2mmの打継目に直行する方向のひび割れが発生したが、クラレスクリートでは幅0.1mm以上のひび割れは発生しなかった。これは、尿素と石灰石骨材による乾燥収縮低減効果によるものと考えられる。また、梁については、普通コンクリートでは主に幅0.1～0.15mmの梁を横断する方向のひび割れが発生したが、クラレスクリートではひび割れがほとんど発生しなかった。これは、尿素によるセメントの水和熱抑制効果によるものと考えられる。スラブと梁のひび割れ発生総本数は、普通コンクリートと比較してクラレスクリートでは施工1カ月後では約80%、施工18カ月後では約70%減少することが確認された。

4　おわりに

クラレスクリートは、温度ひび割れと乾燥収縮ひび割れ低減の両方に効果があることが最大の特長であり、実構造物においてもその有効性が確認された。また、普通コンクリートと同様に施工することができ、コスト面でも、膨張材や収縮低減剤等と同等以下の価格であるため汎用性が高い。今後、クラレスクリートがコンクリート構造物のひび割れ低減技術の一つとして広く普及することを期待している。

≪参考文献≫

1）田中博一、根本浩史、橋田　浩、河井　徹、綾野克紀：尿素を用いたひび割れ低減コンクリートの開発、セメント・コンクリート、No.775、pp.18～23、2011.09
2）綾野克紀、Mwaluwinga, S.、亀高誠治、阪田憲次：高流動コンクリートの水和熱低減に関する研究、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.17、No.1、pp.87～92、1995.6
3）Mwaluwinga, S., Ayano, T. and Sakata, K. :Influence of Urea in Concrete, Cement and Concrete Research, Vol.27, No.5 , pp.733～745, 1997. 5
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）Tanaka.H, Hashida.H, Kawai.T : Effect of limestone as aggregate and urea on reducing drying shrinkage of concrete, ConMat'09, 2009
6）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
7）清水建設（株）技術資料
8）河井徹、田中博一：尿素を用いたコンクリートのひび割れ低減に関する研究、平成22年度国土交通省近畿地方整備局研究発表会
9）田中博一、石本晴義、野田宏昭、綾野克紀：尿素を用いたコンクリートの RC ラーメン高架橋への適用、コンクリート工学 ,Vol.50、No.8、pp.689-694、2012.8