

論文 窒素化合物の水溶液を含浸させたセメントモルタルの乾燥収縮

池尾 陽作*1・高柳 菜穂*2

要旨: 本研究では、窒素化合物の水溶液の含浸による乾燥収縮低減の検討を行った。窒素化合物の水溶液に浸漬したセメントモルタルの乾燥収縮を測定した結果、窒素化合物水溶液の濃度、浸漬時間が乾燥収縮に影響をおよぼし、濃度が高く、浸漬時間が長いほど乾燥収縮が小さくなることが明らかになった。また、窒素化合物の含浸は圧縮強さの増加につながることを確認した。さらに、窒素化合物の種類により水溶液の蒸発現象が異なり、窒素化合物には蒸発抑制の性質を有していることが認められたことから、その性質が乾燥収縮の低減に関係していることが推測された。

キーワード: 乾燥収縮, 窒素化合物, 含浸, 圧縮強さ, 質量減少, 水溶液

1. はじめに

コンクリートのひび割れを抑制するためには乾燥収縮を低減することが有効であり、乾燥収縮の低減を目的として収縮低減剤や膨張材が使用されている。現在使用されている収縮低減剤の収縮低減機構については表面張力を低下させるという毛細管張力説を始め、様々な説が提案されている¹⁾。新たに保水性を有する収縮低減剤も開発されている²⁾。また、尿素を添加または塗布することによって乾燥収縮が低減するという報告もあり^{3),4)}、セメントコンクリートの乾燥収縮を低減させるために様々な検討がなされてきている。筆者らはこれまでに、尿素と類似した性質を持つペタイン系やアミン系の窒素化合物を添加したセメント硬化体は、表面張力の低下とは異なる働きにより乾燥収縮を抑制する傾向があり、その傾向は窒素化合物の水溶液の性質と関係があること^{5),6)}、また、窒素化合物の水溶液を含浸させたモルタルの乾燥収縮が抑制されることを示した⁷⁾。本研究では、窒素化合物の水溶液を含浸させたセメントモルタルの乾燥収縮に関して、化合物の種類や水溶液の濃度の影響を検討することを目的として、水溶液に浸漬したモルタル硬化体の乾燥収縮を調べた。また、窒素化合物の水溶液を含浸させたセメントペーストを用いた分析、窒素化合物の水溶液の性質に関する実験を行い、乾燥収縮低減の原因について検討を行った。

2. 窒素化合物の水溶液を含浸させたセメントモルタルの乾燥収縮および圧縮強さ

2.1 実験概要

(1) モルタルの使用材料および調合と練混ぜ手順

モルタルには、普通ポルトランドセメント (C, 密度 3.16g/cm³) と君津産山砂 (S, 表乾密度 2.61g/cm³, 絶乾

密度 2.57g/cm³, 吸水率 1.59%) を使用した。モルタルの調合は W/C = 50%, S/C = 2.5 とした。セメントと砂を空練りし、水を加えて 2 分 30 秒練混ぜ、40mm×40mm×160mm の型枠に成型した。

(2) 窒素化合物の水溶液および含浸方法

モルタルに含浸させた水溶液の種類を表-1 に示す。各窒素化合物の水溶液濃度は 20wt% および 40wt% とした。モルタルを材齢 1 日で脱型後、温度 20±2℃, 湿度 60±5% の環境に材齢 3 日まで保管し、窒素化合物の水溶液または水に 1 時間および 2 時間浸漬した。

(3) 測定項目

(a) 乾燥収縮測定

乾燥収縮測定は JIS A 1129-3 に準じて行った。40mm×40mm×160mm の試験体を材齢 1 日で脱型後、温度 20±2℃, 湿度 60±5% の環境において長さ変化および質量変化を測定した。材齢 3 日 (乾燥期間 2 日) まで測定を行い、表-1 に示す窒素化合物の水溶液または水に 1 時間および 2 時間浸漬した後、温度 20±2℃, 湿度 60±5% の環境に戻した。その後、乾燥期間 52 週まで長さ変化および質量変化を測定した。

(b) 圧縮強さ試験

JIS R5201 の強さ試験に準じて行った。乾燥収縮測定の試験体と同様の処理および同一の環境で保管した 40mm×40mm×160mm の試験体を使用した。強さ試験は窒素

表-1 含浸させた水溶液の種類と含浸方法

記号	水溶液の種類		含浸方法 浸漬
	種類	濃度	
W	水	-	1時間 および 2時間
UR	尿素	20wt% および 40wt%	
BT	ペタイン系化合物		
AM	アミン系化合物		
UR2	尿素系化合物		

*1 (株) 竹中工務店 技術研究所 (正会員)

*2 (株) 竹中工務店 東京本店

化合物の水溶液または水への浸漬時間 1 時間の試験体についてのみ実施した。試験材齢は水溶液を含浸させなかった試験体は 1 日、3 日、28 日とし、水または水溶液に浸漬した試験体は 28 日とした。

2.2 実験結果および考察

(1) 浸漬時のモルタルの吸水率

図-1 に含浸させたモルタルの吸水率を示す。浸漬前のモルタル質量に対する浸漬後の質量増加率を吸水率とした。いずれの水溶液も 1 時間浸漬より 2 時間浸漬の方が吸水率は高かった。1 時間浸漬ではいずれの窒素化合物水溶液も水より吸収されにくい傾向であったが、2 時間浸漬すると尿素は水より吸収した。水溶液の濃度による吸水率の影響については明確な傾向はみられなかった。

(2) 長さ変化

図-2 に乾燥収縮に伴う長さ変化（乾燥収縮ひずみ）を示す。窒素化合物水溶液の含浸により乾燥収縮の低減が認められた。また、乾燥収縮の程度は水溶液の濃度、浸漬時間によって違いがあり、いずれの水溶液も 20wt% よりも 40wt%の方が乾燥収縮は小さく、1 時間浸漬よりも 2 時間浸漬の方が収縮は小さくなった。窒素化合物水溶液の種類では、40wt%水溶液で 52 週の乾燥収縮ひずみを比較すると、浸漬時間 1 時間では UR2<AM<BT<UR の順で大きく、浸漬時間 2 時間では BT<AM<UR<UR2 の順となり、浸漬時間により傾向が異なった。ただし、浸漬時間 2 時間では窒素化合物の種類による差は小さく、浸漬時間 1 時間でも UR 以外の差は小さかった。また、各乾燥期間での収縮ひずみをみると、水溶液を含浸した場合は含浸なしや水に比べて乾燥期間 1 週目での乾燥収縮ひずみが特に小さくなっており、他の期間の乾燥収縮ひずみについては 1 週目に比べると差は小さかった。

図-3 に浸漬時の吸水量（浸漬時の質量増加）に各水溶液の濃度をかけて求めた 40mm×40mm×160mm 試験体を含浸した窒素化合物の量を示す。含浸した化合物量は濃度 20wt%よりも 40wt%、浸漬時間 1 時間よりも 2 時間の方が多くなった。溶液濃度、浸漬時間による化合物量の増加の程度は、濃度 20wt%に比べ 40wt%が 1.5 倍～2.1 倍、浸漬時間 1 時間に比べ 2 時間は 1.2～1.6 倍であり、濃度、浸漬時間を 2 倍にしても含浸量は 2 倍にならない場合が多かった。また、含浸量は化合物により異なり、濃度や浸漬時間と含浸量の関係も化合物で差がみられた。窒素化合物水溶液 40wt%において UR では浸漬時間 1 時間と 2 時間で大きな差があり、一方 UR2 では差が小さく、傾向が異なっている。この点が図-2 の乾燥収縮ひずみと関係していると考えられる。

図-4 に浸漬時間 1 時間の場合について長さ変化の初期 7 日間を示す。すべての水溶液で吸水後に一旦収縮ひずみが小さくなり、その後再度収縮が始まった。しか

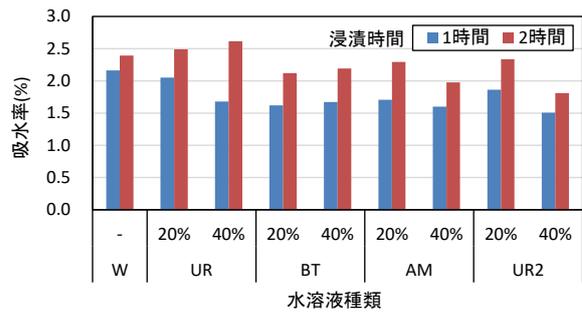
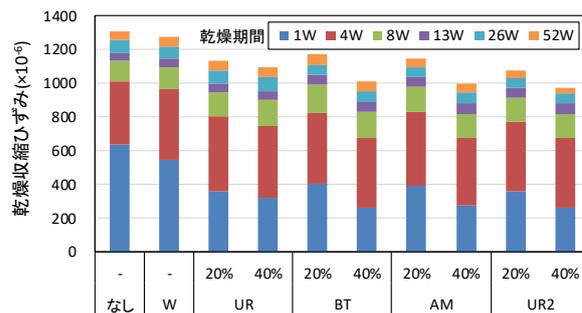
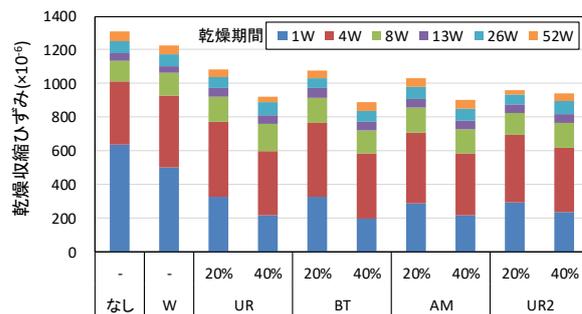


図-1 浸漬時の吸水率



a) 浸漬時間 1 時間



b) 浸漬時間 2 時間

図-2 長さ変化（全期間）

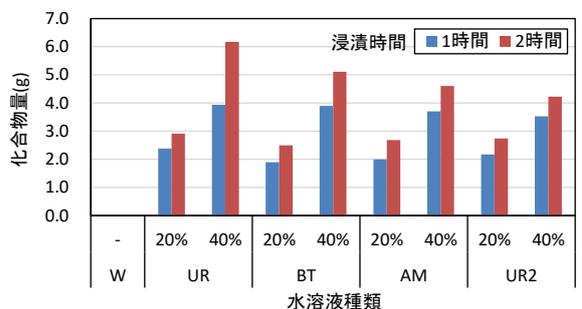


図-3 含浸した化合物量

し、溶液の種類、浸漬時間、濃度により吸水後の長さ変化に違いがみられた。水（W）では吸水翌日から大きく収縮しているのに対して、窒素化合物水溶液を含浸した場合は収縮が小さく、特に 40wt%水溶液に浸漬した試験体では吸水後 1 日間は収縮がほとんど認められなかった。

浸漬時間 2 時間でも同様の傾向が認められ、全体的に水溶液の濃度が高く、浸漬時間が長い方が吸水後に乾燥収縮ひずみが小さくなる傾向が認められた。乾燥期間 7 日までの収縮ひずみの差の傾向は乾燥期間 52 週の収縮ひずみとほぼ同様の傾向となっており、水溶液の吸水後の数日の作用が乾燥収縮に大きく影響をおよぼしたと考えられる。図-5 に乾燥期間 52 週の乾燥収縮ひずみと含浸した化合物量の関係を示す。含浸した化合物量は図-3 に示した値である。含浸した化合物量が多いほど乾燥収縮が小さくなる傾向が認められた。ばらつきはあるものの化合物種類によって含浸量と乾燥収縮の傾向がやや異なり、UR は他の化合物に比べ含浸量に対して乾燥収縮ひずみが大きい傾向がみられた。水 (W) の場合に、浸漬時間によっても乾燥収縮ひずみが異なり、浸漬 1 時間に比べて 2 時間の方が乾燥収縮は小さくなった。化合物の含浸以外に水を多く吸水することで乾燥収縮が小さくなっており、吸水により水和反応が進行したことが影響したと考えられる。

(3) 質量変化

図-6 に質量変化 (乾燥開始からの質量減少率) を示す。乾燥期間とともに初期は質量が減少していったが、浸漬しない試験体では 13 週以降に、水に浸漬した場合は 26 週以降に質量が増加に転じた。窒素化合物の水溶液に浸漬した試験体においても 52 週においてほとんどの試験体で質量増加が認められた。乾燥期間中の中性化による影響と考えられる。それぞれの質量減少率を比較すると、窒素化合物水溶液の含浸により質量減少率が小さくなる傾向が認められた。また、質量減少率は水溶液の濃度や浸漬時間によって違いがあり、水溶液の濃度が 20wt% よりも 40wt% の方が質量減少率は小さく、いずれの水溶液も 1 時間浸漬よりも 2 時間浸漬の方が小さくなった。窒素化合物水溶液 40wt% での水溶液種類の比較では、浸漬時間にかかわらず、UR、BT、AM に大きな差はなく、UR2 はやや質量減少率が大きかった。

図-7 に浸漬時間 1 時間の場合について質量変化の初期 7 日間を示す。すべての水溶液で吸水後に一旦質量が増加し、その後に再度質量減少が始まった。しかし、溶液の種類、浸漬時間、濃度により吸水後の質量変化に違いがみられた。乾燥 2 日までの試験体ごとの質量変化にばらつきはあるが、水 (W) では吸水翌日から大きく質量減少しているのに対して、窒素化合物水溶液を含浸した場合は水に比べ質量減少は小さく、窒素化合物の影響は明確であった。溶液濃度が 20wt% よりも 40wt% の場合に質量減少率は小さくなった。長さ変化では吸水翌日に収縮が認められない場合があったが、質量変化では減少率の大きさに差はみられるがすべての水溶液で質量減少が確認された。浸漬時間 2 時間でも同様の傾向であった。

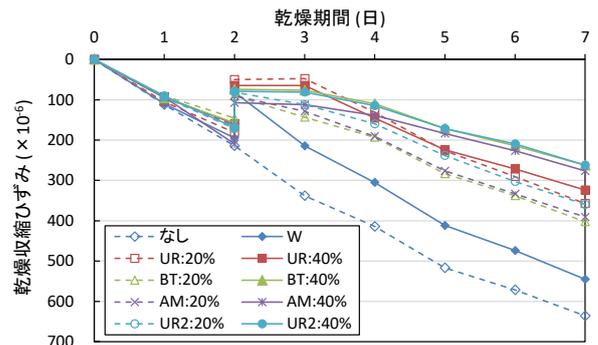


図-4 長さ変化 (浸漬時間 1 時間 : 初期 7 日間)

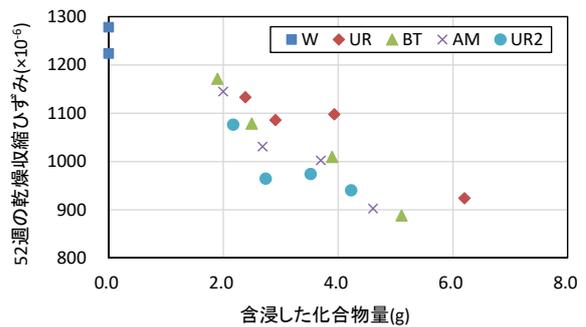
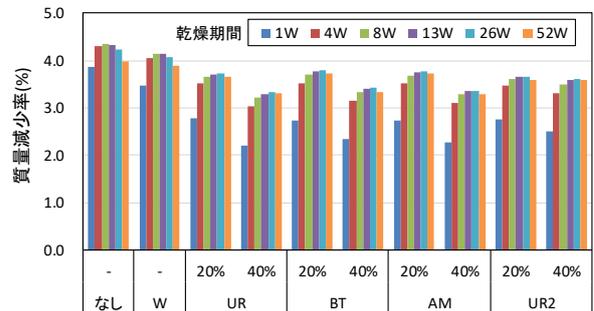
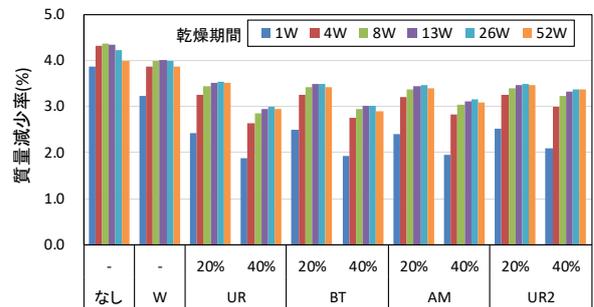


図-5 乾燥収縮ひずみと含浸した化合物量の関係



a) 浸漬時間 1 時間



b) 浸漬時間 2 時間

図-6 質量変化 (全期間)

(4) 圧縮強さ

図-8 に圧縮強さを示す。水溶液を含浸しなかった試験体は材齢が進むにつれて圧縮強さが高くなっており、温度 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 、湿度 $60 \pm 5\%$ の環境においても反応が進行したことが確認された。水および窒素化合物の水溶液に

浸漬した試験体の材齢 28 日の圧縮強さは含浸させなかった試験体と比べて高くなる傾向が認められた。これは水および水溶液に浸漬したことによって吸収した水分が水和反応に寄与したためと考えられる。さらに、水よりも窒素化合物の水溶液に浸漬した試験体の方が圧縮強さは高く、水溶液の濃度が高いほど圧縮強さは高くなる傾向がみられた。材齢 28 日の圧縮強さと乾燥期間 28 日(材齢 29 日)の質量減少率の関係を図-9 に示す。質量減少率が小さいほど圧縮強さが高い傾向がみられた。このことから窒素化合物の水溶液を含浸した試験体では吸収した水分が保持されて水和反応が進行したか、あるいは毛細管空隙への窒素化合物の充填により緻密化することで圧縮強さが増加したと考えられる。

3. 窒素化合物の水溶液の性質評価および水溶液を含浸させたセメントペーストの分析

3.1 実験概要

(1) 水溶液の性質評価試験

窒素化合物の水溶液は表-1 に示す濃度 40wt%のものを用いた。水溶液の表面張力を液面から金属製のリングを引き上げる輪環法によって測定した。また、水溶液の蒸発特性の評価を目的として、シャーレに水または水溶液を入れ、温度 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 、湿度 $60 \pm 5\%$ の環境下に置き、蒸発量の測定を行った。水が完全に蒸発または質量変化がなくなり平衡状態に至るまで測定を続けた。同様に試験管に水または水溶液を入れ、温度 30°C の乾燥器に 3 か月保管した後、温度 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 、湿度 $60 \pm 5\%$ の環境下に 12 か月保管して質量測定および状況を観察した。

(2) ペースト試験体の作製および分析

ペーストには、普通ポルトランドセメント(密度 $3.16\text{g}/\text{cm}^3$) 使用し、 $W/C = 50\%$ とした。ブリーディングが少なくなるまで繰り返した後、 $20\text{mm} \times 20\text{mm} \times 80\text{mm}$ の試験体を採取した。細孔径分布測定のために、ペーストを材齢 1 日で脱型後、温度 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 、湿度 $60 \pm 5\%$ の環境に材齢 3 日まで保管し、水または 40wt% の窒素化合物の水溶液に 1 時間浸漬した試験体を用いた。浸漬後、温度 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 、湿度 $60 \pm 5\%$ の環境に材齢 28 日まで保管し、試験体全体を $2.5\text{mm} \sim 5.0\text{mm}$ に粉碎した。D-dry 乾燥を行った試料を水銀圧入法で測定した。

水溶液の含浸深さを確認するためにラマン分析を行った。細孔径分布測定と同様の方法で材齢 3 日に水溶液に浸漬したが、浸漬時間を 10 分とし、水溶液は BT, AM, UR2 の 3 種類の 40wt% 水溶液とした。浸漬後、温度 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 、湿度 $60 \pm 5\%$ の環境に材齢 28 日まで保管し、それぞれの窒素化合物のラマンスペクトルについて分析を行った。図-10 に示すようにペースト試験体を折り、その断面($20\text{mm} \times 20\text{mm}$) の試験体外側から約 1mm 入った点か

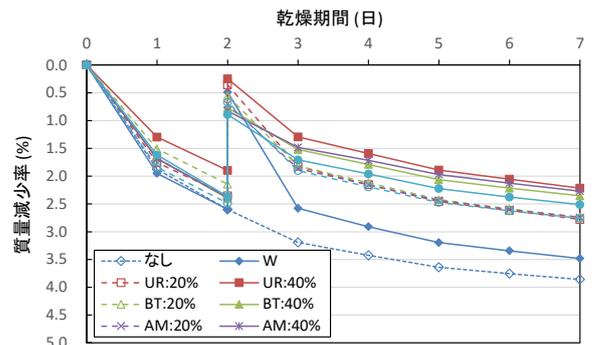


図-7 質量変化(浸漬時間1時間:初期7日間)

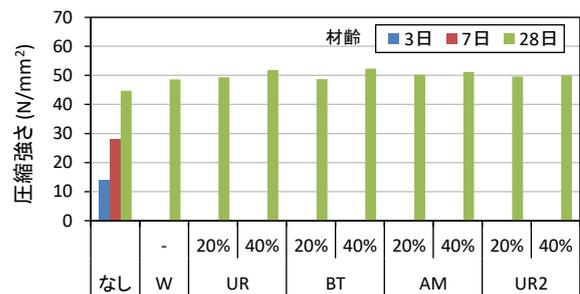


図-8 圧縮強さ(浸漬時間1時間)

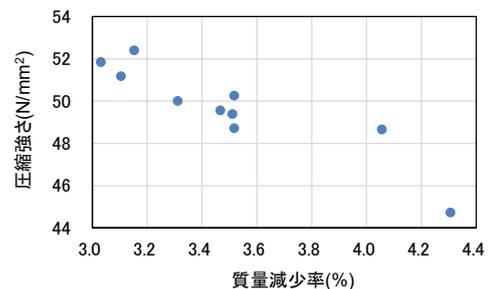


図-9 圧縮強さと質量減少率の関係

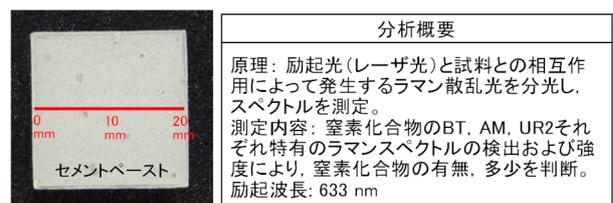


図-10 ラマン分析箇所(赤線部分)および分析概要

ら $38\mu\text{m}$ または $36\mu\text{m}$ ピッチで測定する線分析を行った。

3.2 実験結果および考察

(1) 水溶液の性質

表-2 に水および水溶液の表面張力を示す。UR 水溶液の表面張力は水(W)と比べて大きな違いはみられなかった。その他の水溶液の表面張力は水より $10 \times 10^{-3}\text{N}/\text{m}$ 程度小さいものもあったが、同様の方法で測定した表面張力を下げる働きを有する収縮低減剤は約 $38 \times 10^{-3}\text{N}/\text{m}$ であり、収縮低減剤に比べると表面張力はかなり大きかった。

図-11 にシャーレを使用した実験における水および水溶液の質量減少率を示す。水溶液中の水に対する質量減少率も同時に示した。窒素化合物の種類により異なる傾向が認められた。窒素化合物の水溶液は 40wt%水溶液であるため、完全に水が蒸発した場合の質量減少率は 60%になる。溶液質量を同じにしたため水 (W) の場合が最も水量は多かったが、最も早く蒸発した。UR 水溶液は 5 日目に結晶が析出し始め、最終的には水分はすべて蒸発し結晶のみが残った。一方、BT 水溶液は結晶が析出することなく水分が残ったまま平衡状態になった。AM 水溶液は 4 日目、UR2 水溶液は 11 日目に液面に結晶が析出し始め、水分が完全に蒸発せずに平衡状態になった。これは液面を覆うように広がった結晶が蓋をする役割となり、蒸発を抑制したと考えられる。

試験管を使用した場合の温度 30℃乾燥器での保管後および温度 20℃、湿度 60%での保管後の各水溶液中の水に対する質量減少率を図-12 に示す。30℃乾燥器での 3 か月間で W と UR 水溶液では水分はすべて蒸発したのに対して、BT、AM、UR2 水溶液は水分が残った状態であった。その後の 20℃、湿度 60%の 12 か月間では AM と UR2 水溶液の質量変化は小さかったが、BT 水溶液は質量が増加した。BT 水溶液は水分を吸収して、20℃、湿度 60%の環境での平衡状態になったと考えられる。最終的な試験管中の窒素化合物水溶液の状況を図-13 に示す。UR は水分がすべて蒸発して結晶が析出し、BT は結晶が析出することなく水溶液のままであった。AM と UR2 は液面を覆うように広がった結晶が蓋をするような状態で水溶液が残り、AM では多くの水溶液が残った。図-12 の温度 20℃、湿度 60%の環境下での水の質量減少率は、AM 水溶液を除き図-11 のシャーレでの結果とほぼ同様であった。AM 水溶液の水の質量減少率が試験管の方が小さくなったのは、AM の結晶の析出の過程においてはシャーレに比べて試験管の方が液面の面積が小さく、結晶が蓋をするような状態が形成されやすかったためと思われる。

(2) 水溶液を含浸させたセメントペーストの分析

図-14 に細孔径分布を示す。窒素化合物の水溶液を含浸させた場合、含浸なしや W (水) と比べて全細孔容積が少なく、特に 100nm~1000nm の範囲の細孔が少なくなる傾向が認められた。含浸により窒素化合物が充填されたこと、および窒素化合物の水溶液を含浸した試験体では吸収した水分が保持されて水和反応が進行したことから細孔容積が少なくなったと推測される。図-8 に示したように窒素化合物水溶液の含浸によりモルタルの圧縮強さが増加したのは、細孔径分布の変化が一因と考えられるが、圧縮強さの増加程度と細孔径分布の変化の関係は明確ではなく今後の検討課題である。

表-2 表面張力

水溶液種類	W	UR	BT	AM	UR2
表面張力 ($\times 10^{-3} \text{N/m}$)	72.2	70.6	62.8	66.3	58.0

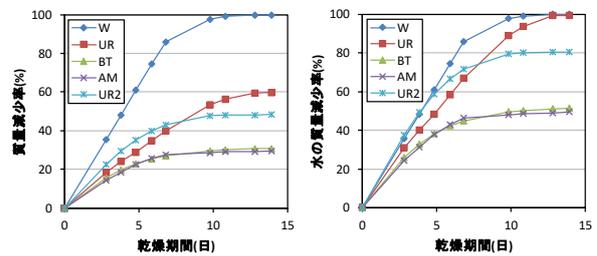


図-11 質量減少率

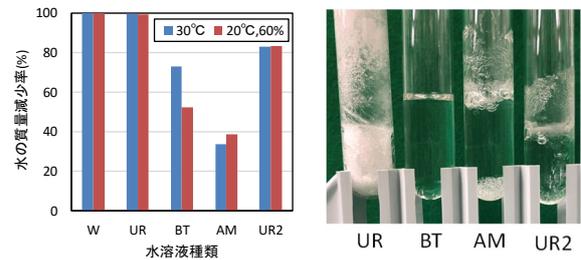


図-12 試験管中の水溶液の質量減少率

図-13 試験管中の水溶液の状況

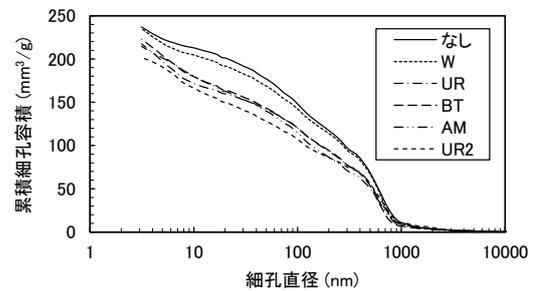


図-14 細孔径分布

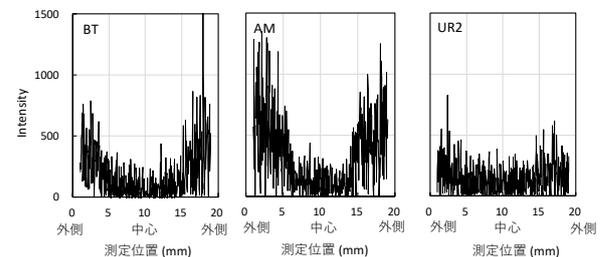


図-15 ラマン分析結果 (ラマンバンドの積分強度)

図-15 にラマン分析の結果を示す。BT、AM は試験体外側ほど化合物由来のラマンスペクトルのバンドの検出が明確で強度が高かった。外側ほど化合物が多いためと考えられる。UR2 は BT、AM に比べると明確ではなかった。化合物種類によるが、含浸した化合物の検出がラマン分析で可能であり、BT や AM を含浸させた試験体で

は 10 分間の浸漬で 5mm 以上の深さまで化合物が検出されていることから、水溶液中の化合物はセメント硬化体内部にまで浸透することが確認された。

(3) 収縮におよぼす窒素化合物水溶液の作用の推測

収縮低減剤の作用については毛細管張力機構における気液界面の表面張力の低下のみでなく、別の作用機構が収縮低減に寄与しているとの報告がある^{8) 9)}。そのため表面張力が収縮低減剤ほど小さくなかった窒素化合物水溶液においても表面張力の低下以外の作用により収縮が低減した可能性がある。また、4 種類の窒素化合物の水溶液の性質は同じではないため化合物により乾燥収縮におよぼす作用機構も異なると推測される。図-16 に浸漬時間 1 時間の乾燥収縮測定試験体の写真を示す。UR を含浸した試験体表面には結晶が析出したのに対して、他の化合物を含浸させた試験体では結晶の析出は確認されなかった。また、AM では濡れ色が認められた。UR 水溶液の含浸による乾燥収縮低減の原因については、尿素有結晶が析出する際の膨張圧によると報告されている⁴⁾。窒素化合物水溶液の蒸発実験において、窒素化合物水溶液は水よりも蒸発が遅く、BT、AM、UR2 は水溶液が残存した。そのため窒素化合物は水分蒸発抑制作用を有し、特に BT、AM、UR2 は現象が異なるが高い水分蒸発抑制作用を有していた。そのため、乾燥収縮に大きな影響をおよぼす細孔からの水分蒸発が抑えられたことが収縮の低減につながったと考えられる。これらのことから、UR では結晶の膨張圧が、BT、AM、UR2 では蒸発抑制が主要因となり乾燥収縮が低減したと推測される。

4. まとめ

本研究では、窒素化合物の水溶液の含浸がセメントモルタルの乾燥収縮におよぼす影響を調べた。また、窒素化合物の水溶液の性質に関する実験、窒素化合物の水溶液を含浸させたセメントペーストを用いた分析を行い、乾燥収縮低減の原因について検討を行った。その結果、以下の結論が得られた。

- (1) 窒素化合物水溶液を含浸することでモルタルの乾燥収縮は低減し、特に乾燥期間初期の乾燥収縮が大きく低減した。
- (2) 窒素化合物水溶液の濃度が高く、浸漬時間が長いほど乾燥収縮が小さくなる傾向があることから、含浸した窒素化合物の量が乾燥収縮に影響をおよぼしていると考えられた。
- (3) 窒素化合物の水溶液を含浸させた試験体の圧縮強さは含浸させない試験体に比べ高く、水溶液の濃度が高いほど高くなる傾向がみられた。
- (4) 実験で使用した窒素化合物水溶液の蒸発特性はそれぞれ異なることから収縮低減作用も化合物によって違い

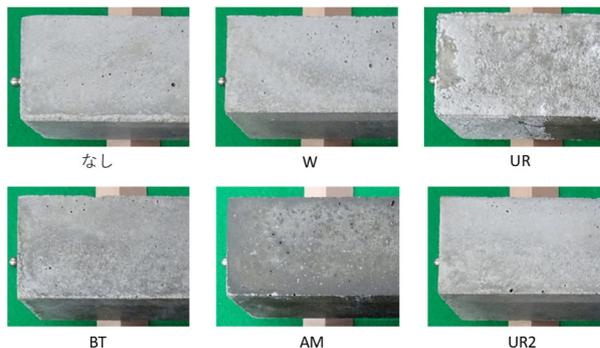


図-16 乾燥収縮試験体の表面状況（乾燥期間 1 週）

があると考えられ、UR は再結晶による膨張圧が、BT、AM、UR2 は水分蒸発抑制が主要因となり乾燥収縮が低減したと推測された。

参考文献

- 1) 日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説 JASS5 鉄筋コンクリート工事，pp.230，2018
- 2) 黒岩秀介，正長眞理，名和豊春：保水性を有する新収縮低減剤を混和したコンクリートに関する実験的研究，日本建築学会構造系論文集，第 78 巻，第 686 号，pp.639-646，2013
- 3) 河井徹，阪田憲次：尿素有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
- 4) 劉玲玲，藤原浩巳，丸岡正和：尿素有塗布による新しいコンクリートの乾燥収縮低減工法の開発，コンクリート工学年次論文集，Vol.39，No.1，pp.415-420，2017
- 5) 佐々木菜穂，池尾陽作：窒素化合物を添加したセメント硬化体の乾燥収縮に関する研究（その 1～2），日本建築学会大会学術講演梗概集（九州），pp.187-190，2016
- 6) 高柳菜穂，池尾陽作：窒素化合物を添加したセメント硬化体の乾燥収縮に関する研究（その 3），日本建築学会大会学術講演梗概集（中国），pp.231-232，2017
- 7) 池尾陽作，高柳菜穂：窒素化合物の水溶液を含浸させたセメント硬化体の乾燥収縮に関する研究（その 1～2），日本建築学会大会学術講演梗概集（東北），pp.827-830，2018
- 8) 栗原諒，丸山一平：収縮低減剤の添加濃度と収縮ひずみの関係に関する実験的検討，Cement Science and Concrete Technology，Vol.69，pp.118-123，2015
- 9) I. Maruyama, K. Beppu, R. Kurihara and A. Furuta : Action mechanisms of shrinkage reducing admixture in hardened cement paste, Journal of Advanced Concrete Technology, 14, pp.311-323, 2016