

論文 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

笹田 宏紀^{*1}・橋本 親典^{*2}・渡辺 健^{*3}・香川 浩司^{*4}

要旨: 本研究では、吸水率の比較的大きい安山岩系砕石、砂岩系砕砂を共通の骨材とし、吸水率の小さい石灰砕砂、および銅スラグ細骨材との併用によって、コンクリートの乾燥収縮ひずみの抑制効果について実験的に検討した。さらに、単位水量、収縮低減用混和剤および銅スラグ細骨材の一部置換によって、900 μ 以上の乾燥収縮ひずみを有するコンクリートの乾燥収縮ひずみの抑制限界について検討した。最終収縮ひずみには、著者らが提案している低温炉乾燥法による乾燥収縮を促進させる急速乾燥収縮試験法の値を採用した。その結果、銅スラグ細骨材は、石灰砕砂以上の乾燥収縮ひずみの抑制効果があることが明らかになった。

キーワード: 乾燥収縮, 吸水率, 炉乾燥, 石灰砕砂, 銅スラグ細骨材, 収縮低減用混和剤, 単位水量

1. はじめに

コンクリートの乾燥に伴い、骨材自体もある程度収縮し、しかも収縮値は骨材によって比較的大きく異なることが、古くから指摘されていた¹⁾。しかしながら、この指摘が取り上げられる機会はほとんどなく、これまで骨材はほぼ無収縮であると考えられ、コンクリートの乾燥収縮は、セメントペーストの影響にのみ重点が置かれ、骨材自体の収縮は看過されてきた感がある。骨材の岩種や骨材自体の乾燥収縮に関する研究^{2,3)}に対し、骨材の吸水率がコンクリートの乾燥収縮に与える影響に関する研究報告はあまり多くない⁴⁾。

コンクリートの乾燥収縮は、コンクリート中の自由水の逸散に関係していると考えられ、質量減少率と乾燥収縮ひずみには強い相関がある⁴⁾。単位水量が同一で、骨材自体の弾性係数やセメントモルタルの品質である単位水量や単位セメント量があまり変化しない場合は、一般に、吸水率の小さい骨材を用いたコンクリートの方が、自由水の逸散量が少なく、乾燥収縮ひずみが小さい。最近、コンクリートの乾燥収縮の抑制方法の1つとして、吸水率の小さい石灰砕石や石灰砕砂の混合使用が注目されている²⁾。

本研究では、吸水率の比較的大きい安山岩系砕石、砂岩系砕砂を共通の骨材とし、単位水量と水セメント比を一定にし、吸水率の小さい石灰砕砂や銅スラグ細骨材を砂岩系砕砂と混合使用することによって、コンクリートの乾燥収縮ひずみの抑制効果について実験的に検討した。

なお、本研究では、乾燥収縮の測定方法として、著者らが開発した40℃低温炉乾燥による迅速法^{5,6)}を採用した。通常は、「コンクリート用化学混和剤(JIS A

6204:2006)」で規定されている、「乾燥開始材齢を7日とし、20 \pm 3℃、RH60 \pm 5%の環境下で気乾養生とした乾燥期間6カ月の長さ変化率」であるが、182日という長い期間の計測を要する。本迅速法では、このJIS法よりも若干大きめの乾燥収縮ひずみになるが、概ね、JIS法とほぼ同程度の乾燥収縮ひずみを8週間で得ることができる。迅速法とJIS法の相関に関しては、参考文献⁵⁾で報告しているので、本論文では省略する。

2. 実験概要

2.1 実験構成

比較対象とするコンクリートは、砕石・砕砂コンクリートとし、同一産地のものを使った。コンクリートの配合の水セメント比は50%ですべて一定とした。

実験は2シリーズからなる。第1シリーズでは、土木学会コンクリート標準示方書施工編で規定されている単位水量の上限値である単位水量175kg/m³一定の条件で、水セメント比50%で一定とし、コンクリート中に占めるセメントペースト量の影響を同一として、砂岩系砕砂の一部を砂岩系砕砂より吸水率が小さい石灰砕砂⁶⁾あるいは銅スラグ細骨材で置換し、置換率がコンクリートの乾燥収縮抑制に及ぼす影響を検討した。

第2シリーズでは、単位水量、混和剤の種類および銅スラグ細骨材の置換率によって、砕石・砕砂コンクリートの乾燥収縮ひずみの低減化に着目した。すなわち、単位水量を第1シリーズの上限値175kg/m³より20kg/m³少ない単位水量155kg/m³とし、収縮低減用AE減水剤および収縮低減用高性能AE減水剤を用い、銅スラグ細骨材の置換率を80%まで変化させ、単位水量と置換率が乾燥

*1 徳島大学大学院 先端技術科学教育部知的力学システム工学専攻 博士前期課程 (学生会員)

*2 徳島大学大学院 ソシオテクノサイエンス研究部エコシステムデザイン部門教授 工博 (正会員)

*3 徳島大学大学院 ソシオテクノサイエンス研究部エコシステムデザイン部門准教授 博(工) (正会員)

*4 住友金属鉱山エンジニアリング(株) 新居浜営業所 建設管理部土木建築グループ 担当課長 工修 (正会員)

収縮に及ぼす影響を検討した。

フレッシュ性状に関しては、材料分離がないフレッシュな状態で、長さ変化試験用角柱供試体(100×100×400mm)を成形できる程度のスランプ 8~18cm、空気量 5%とし、AE 減水剤、高性能 AE 減水剤 (SP 剤) および AE 剤の添加量を決定した。そのため、同一シリーズにおけるフレッシュ性状は必ずしも一定ではない。なお、石灰砕砂の乾燥収縮実験は参考文献⁹⁾で報告されており、本研究では銅スラグ細骨材の比較用として取り扱った。

2.2 乾燥収縮ひずみの測定方法

長さ変化試験は、JIS A 1129-2「モルタル及びコンクリートの長さ変化測定方法：コンタクトゲージ法」に準じて行った。脱型後 1 週間水中養生したものを乾燥期間 0 日とし、計測を開始した。角柱供試体(100×100×400mm)を 2 本ずつ作製し、打設面の両側面の中央部分と左右 100mm の間隔でコンタクトチップを 3 枚ずつ貼り付け、測定のための標点とし、1 供試体につき各側面 2 か所ずつの合計 4 か所の 2 点間の長さ変化を測定した。最小目盛 1000 分の 1 まで読み取り、4 か所の乾燥収縮ひずみの平均を求めることで、精度向上を図った。

温度 40℃、湿度 15±5%で低温炉乾燥させ 56 日あるいは収束するまで測定を実施した。40℃炉乾燥から供試体を取り出し、24 時間 20℃の試験室に放置した後に、長さ変化を計測した。炉乾燥温度 40℃は、エトリングイ

トの結晶水が消失する温度以下ということから決定した。各供試体の収縮量の計測期間の終了時点は、前回の収縮ひずみと最終回の収縮ひずみの差が全体の収縮ひずみの 5%以下になった時点とした。

3. 低吸水性細骨材の混合使用による乾燥収縮抑制効果に関する実験 (第 1 シリーズ)

3.1 使用材料および示方配合

実験に使用した材料の物性値を表-1 に、コンクリートの配合を表-2 に示す。無混和 2 および無混和 3 は単位水量 175kg/m³、水セメント比 50%を同一とし、低吸水性細骨材の混合使用をしていない。これらは同配合であるが実験実施日が異なる。

実験に供した銅スラグ細骨材は、最大骨材寸法 2.5mm の細目の細骨材である。ブリーディングの発生を抑制するために細目を使用した。銅スラグは、銅鉱石から銅を連続製鋼炉、反射炉、自溶炉で精錬する際、銅成分を多く含むマットと熔融状態のスラグとを分離したもので、製品である粗銅の約 1.8 倍が副産される。本研究で用いた銅スラグ細骨材は新居浜の銅精錬工場で発生したものである。銅スラグ骨材の特徴としては、密度が大きく、吸水率が小さい点である。今回用いた新居浜の銅スラグ細骨材は、砕砂に比べ、密度が 3.44g/cm³ と非常に大きく、吸水率が 0.26% と非常に小さい。

表-1 第 1 シリーズの実験に使用した材料の物性値

使用材料	種類	岩種または最大粒径	産地	表乾密度* (g/cm ³)	吸水率 (%)	粗粒率	実積率 (%)
セメント	普通ポルトランドセメント			3.16			
細骨材S①	砕砂	砂岩	徳島県阿波市	2.57	1.77	2.63	
細骨材S②	石灰砕砂	石灰石	大分県津久見市	2.63	0.29	2.88	
細骨材S③	銅スラグ細骨材	2.5mm以下	愛媛県新居浜市	3.44	0.26	3.80	
粗骨材G①	碎石	安山岩	徳島県鳴門市	2.56	2.16	7.03	59.84
混和剤	AE減水剤	リグニンスルホン酸系化合物およびポリオールの複合体					
	AE剤	アルキルエーテル系					
	SP剤	ポリカルボン酸エーテル系化合物					

表乾密度*: セメントは単に密度を意味する。

表-2 第 1 シリーズの実験に供した配合

配合番号	粗骨材の最大寸法 (mm)	スランプ (cm)	空気量 (%)	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	置換率* (%)	単位量(kg/m ³)												
							W	C	S①	S②	S③	G①	AE減水剤**	AE剤***	SP剤****				
無混和1	20	8.0~18	5±1.5	50	45	0	175	350	768	0	936	4.2	0.007						
LiS20						20			615	157									
LiS40						40			461	314									
LiS50						50			387	396									
LiS60						60			307	472									
LiS75						75			193	594									
LiS100						100			0	792							940	0.7	0.007
無混和2						0			854	0							1.19	0.012	
無混和3						0			854	0							0.012	2.15	
CuS20						20			683	246							1.12	0.011	
CuS40	40	512	491	1.05	0.01														
CuS60	60	341	737	0.95	0.009														
CuS80	80	171	983	0	0.007														

置換率*: 石灰砕砂混合使用では質量置換率を、銅スラグ細骨材混合使用では容積置換率を意味する。

AE減水剤**, AE剤***およびSP剤****: 単位量は、ℓ/m³、またはkg/m³を意味し、原液の量である。

表-3 第1シリーズのフレッシュ性状の測定値

配合番号	スランプ (cm)	空気量 (%)
無混和1	8.0	2.2
LiS20	9.0	2.0
LiS40	17.0	5.5
LiS50	14.0	5.0
LiS60	21.0	4.5
LiS75	20.5	5.5
LiS100	23.5	5.5
無混和2	11.5	4.0
無混和3	7.5	3.5
CuS20	17.5	3.8
CuS40	22.0	3.0
CuS60	18.0	7.5
CuS80	8.0	5.0

吸水率の大きい砂岩系砕砂と石灰砕砂の混合使用では、砂岩系砕砂と石灰砕砂の表乾密度に差がないので、質量置換とし、20, 40, 50, 60, 75, 100%の6段階に変化させた。細骨材率は無混和の通常の砕石・砕砂骨材を用いたコンクリートと同じ45%とした。

銅スラグ細骨材の混合使用では、密度が大きいためブリーディングの発生量が、通常の砕石・砕砂骨材コンクリートよりも大きくなる。ブリーディングの発生を防ぐために、細骨材率を50%とした。そのため、比較用である銅スラグ細骨材を混和しない無混和のコンクリートの細骨材率も50%とした。なお、80%置換の銅スラグ細骨材コンクリートのブリーディング試験を実施したところ、ブリーディング量は $0.33\text{cm}^3/\text{cm}^2$ 、ブリーディング率1.0%であり、無混和の比較用の砕石砕砂コンクリートのブリーディング量とほぼ同じ程度であった。80%以外の置換率の場合でも同様であった。砂岩系砕砂と銅スラグ細骨材の表乾密度の差が $0.87\text{g}/\text{cm}^3$ もあるため、容積置換とし、20, 40, 60, 80%の4段階に変化させた。よって、銅スラグ細骨材の単位量が、同じ置換率の砂岩系砕砂の単位量と比較して相当の大きい。

表-3 にフレッシュ性状の測定結果を示す。本研究の目的は、コンクリートの乾燥収縮特性の抑制効果であるため、フレッシュ性状としては、材料分離しない程度で、角柱供試体の製作が可能な縮固め性能を有すればよい。石灰砕砂の混合使用では、ほぼ同量の混和剤の添加量では、石灰砕砂の置換率が大きいほど、スランプが大きくなる傾向がある。また、銅スラグ細骨材の混合使用では、銅スラグ細骨材の置換率が大きくなると、AE 減水剤を用いると材料分離するほどスランプが大きくなった。そのため、置換率80%では、AE 剤のみの使用でスランプ8cmになった。石灰砕砂、銅スラグ細骨材ともに単位水量を減らす効果があるが、石灰砕砂よりも銅スラグ細骨材の方が、単位水量を減らす効果が強い。

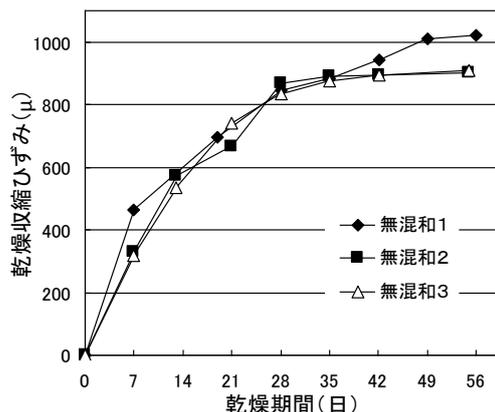


図-1 無混和の乾燥収縮試験結果

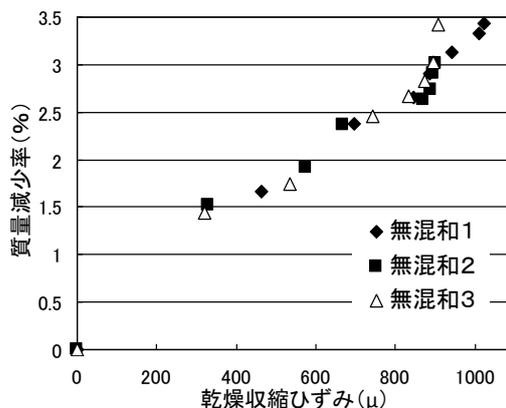


図-2 乾燥収縮ひずみと質量減少率の関係

3.2 無混和の乾燥収縮試験結果

図-1 に低吸水性細骨材無混和の乾燥収縮試験結果を示す。今回用いた安山岩系砕石と砂岩系砕砂を用いたコンクリートの乾燥収縮ひずみは、 900μ 以上であり、単位水量 $175\text{kg}/\text{m}^3$ 、 $W/C=50\%$ のセメントペーストのコンクリートとしては、乾燥収縮ひずみが大きくなる骨材である。

無混和1と無混和2,3は、細骨材率が5%異なる。細骨材率が大きい無混和1の方が、最終乾燥収縮ひずみが 100μ 程度大きい。一般に、細骨材より粗骨材の方が、乾燥収縮に与える影響が大きいと言われる。さらに、今回使用した砕石と砕砂の吸水率は、砕石の方が0.4%程度大きい。その影響が表れたと思われる。無混和2と無混和3は、使用した混和剤が異なるが、その影響は無視できる。再現性の確認という観点からは、急速乾燥収縮試験方法の再現性は良好であると判断できる。

図-2 に低吸水性細骨材無混和の乾燥収縮ひずみと質量減少率の関係を示す。細骨材率の異なる場合でも乾燥収縮ひずみと質量減少率はほぼ同一線上に存在する。セメントペースト量が一定の場合、コンクリートの自由水の逸散と乾燥収縮ひずみの関係に、細骨材率はあまり影響しないと考えられる。

3.3 低吸水性細骨材の混合使用の乾燥収縮試験結果

図-3 に石灰砕砂の置換率別の乾燥収縮試験結果を示

す。また、図-4 に銅スラグ細骨材の置換率別の乾燥収縮試験結果を示す。

石灰砕砂，銅スラグ細骨材の置換率が増加するに従って，乾燥収縮ひずみが小さくなる。石灰砕砂 100%置換すると，300 μ 程度まで収縮ひずみを抑制することができる。銅スラグ細骨材においても，置換率が80%になると300 μ 程度の収縮ひずみを抑制することができる。

図-5 に，それぞれの混合使用の置換率と無混和の砕石・砕砂骨材コンクリートの収縮ひずみからの抑制ひずみとの関係を示す。石灰砕砂は質量置換率であるが，砂岩砕砂の表乾密度とほぼ等しいので質量置換率と容積置換率はほぼ等しい。したがって石灰砕砂よりも銅スラグ細骨材の方が，同一容積置換率に対する抑制ひずみが大きいと言える。

すなわち，石灰砕砂よりも銅スラグ細骨材の方が，乾燥収縮ひずみの抑制効果が高いと考えられる。銅スラグ細骨材の吸水率の方が，石灰砕砂の吸水率よりも小さいことによるものと思われる。

これまで，銅スラグ細骨材の混合使用の場合，単位水量を減らす効果があることから，同一スランプにおいては，乾燥収縮ひずみが小さくなるということが一般的であった。しかしながら，本研究では，同一単位水量においても，銅スラグ細骨材を混合使用することによって，石灰砕砂と同様な乾燥収縮ひずみの抑制効果があることが明らかになった。

4. 乾燥収縮抑制の限界に関する実験（第2シリーズ）

4.1 使用材料および示方配合

単位水量を 155kg/m³，150kg/m³の2水準として，収縮低減用 AE 減水剤および収縮低減用高性能 AE 減水剤を使用して，本研究で用いた安山岩系砕石と砂岩系砕砂，銅スラグ細骨材によるコンクリートの乾燥収縮をどこまで低減することができるかということに着目した。

第2シリーズの実験に使用した材料の物性値を表-4に，コンクリートの配合を表-5に示す。

第1シリーズの単位水量 175kg/m³の銅スラグ細骨材置換に関する実験データは，第2シリーズにおいても比較

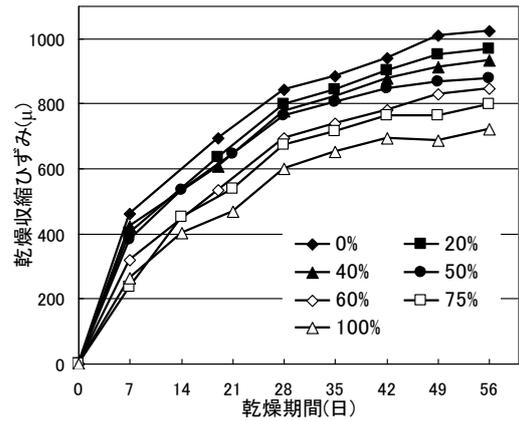


図-3 石灰砕砂の置換率別の乾燥収縮試験結果

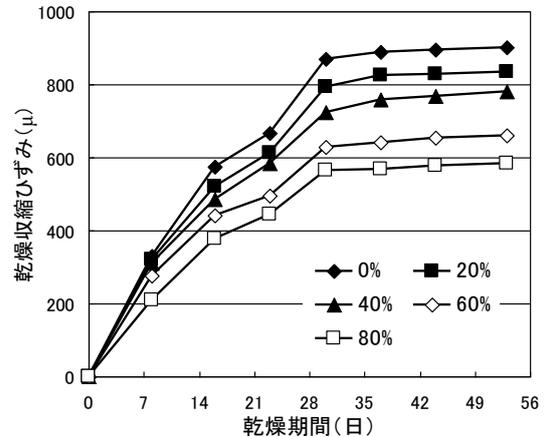


図-4 銅スラグ細骨材の置換率別の乾燥収縮試験結果

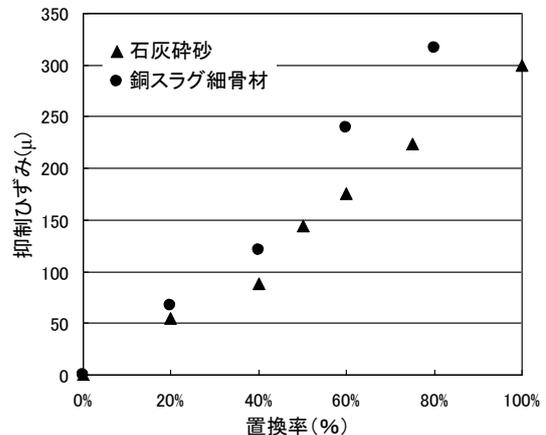


図-5 置換率と抑制ひずみの関係

表-4 第2シリーズの実験に用いた材料の物性値

使用材料	種類	岩種または最大粒径	産地	表乾密度* (g/cm ³)	吸水率 (%)	粗粒率	実積率 (%)	
セメント	普通ポルトランドセメント			3.16				
細骨材S①	砕砂	砂岩	徳島県阿波市	2.57	1.77	2.63		
細骨材S②	石灰砕砂	石灰石	大分県津久見市	2.63	0.29	2.88		
細骨材S③	銅スラグ細骨材	2.5mm以下	愛媛県新居浜市	3.44	0.26	3.80		
粗骨材G	砕石	安山岩	徳島県鳴門市	2.56	2.16	7.03	59.84	
混和剤	収縮低減用AE減水剤	変性リグニンスルホン酸化合物 ポリカルボン酸コポリマーとポリエーテル誘導体の複合物						
	AE剤	アルキルエーテル型陰イオン界面活性剤						
	収縮低減用SP剤	ポリカルボン酸コポリマーとポリエーテル誘導体の複合物						
	消泡剤	ポリオキシアルキレンアルケニルエーテル						

表乾密度*:セメントは単に密度を意味する。

表-5 第2シリーズの実験に供した配合

配合番号	粗骨材の最大寸法 (mm)	スランブ (cm)	空気量 (%)	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	置換率* (%)	単位量(kg/m ³)													
							W	C	S①	S②	G	収縮低減用 AE減水剤**	AE剤***	収縮低減用SP剤****	消泡剤*****					
無混和1	20	8.0~18	5±1.5	50	50	0	175	350	854	0	850	1.19	0.012	/	/					
CuS20						20			683	246		1.12	0.011							
CuS40						40			512	491		1.05	0.01							
CuS60						60			341	737		0.95	0.009							
CuS80						80			171	983		0	0.007							
無混和2						0			896	0		0	0.075			1.5	0.075			
CuS40						40			155	310		537	479			889	0	0.05	1.05	0.075
CuS80						80			179	959		0.465	0.025			0	0.075			
CuS80						80			150	300		181	970			0.45	0.05	0	0.05	

置換率*: 銅スラグ細骨材混合使用では容積置換率を意味する。

収縮低減用AE減水剤**, AE剤***, 収縮低減用SP剤****および消泡剤*****: 単位量は, l/m³, またはkg/m³を意味し, 原液の量である。

用として用いたため, 同一データを掲載した。よって, 単位水量 175kg/m³の5配合については, 第2シリーズとして, 再度供試体を作成してはいない。

銅スラグ細骨材を容積置換とし, 単位水量 155kg/m³では40%, 80%の2水準, 単位水量 150kg/m³では80%の1水準とした。この4配合は, 収縮低減用混和剤を用いた。細骨材率は, 銅スラグ細骨材コンクリートのブリーディング抑制のため, 第1シリーズと同様に50%で一定とした。

目標スランブは, 第1シリーズと同様に, ブリーディング等の材料分離をしない程度で, 角柱供試体の製作が可能な締固め性能を有するスランブとして8~18cmに設定した。

銅スラグ細骨材は, 骨材表面がガラス質のため, 保水能力が通常の砕砂よりも少ない。そのため, 同一スランブを得るための単位水量が少ない。その結果, 単位水量 155kg/m³の無混和2とCuS40は, 目標スランブを得るために, 高性能 AE 減水剤を用いた。これに対し, 単位水量 155kg/m³, 150kg/m³のCUS80は, 置換率が大きいため, 単位水量が少ないにも関わらず AE 減水剤を用いた。

表-6 にフレッシュ性状の測定結果を示す。本研究の目的は, コンクリートの乾燥収縮特性の抑制効果であるため, フレッシュ性状としては, 材料分離をしない程度で, 角柱供試体の製作が可能な締固め性能を有すればよい。スランブ 8cm 未満や 18cm を超える配合もあるが, 締固めができない場合や, 大量のブリーディングが発生することはなかった。しかしながら, 単位水量が 155kg/m³以下で, 銅スラグ細骨材を一部置換する場合は, 混和剤の使用量や種類には, 通常の砕石砕砂コンクリートと比較して, スランブの設定や空気量の設定が難しい。

4.2 乾燥収縮試験結果

図-6 に単位水量と銅スラグ細骨材の置換率を変化させた乾燥収縮試験結果を示す。塗潰しの凡例が単位水量 175kg/m³, 白色抜きの凡例が単位水量 155kg/m³以下, * 印の凡例が単位水量 150kg/m³の供試体を意味する。

表-6 第2シリーズのフレッシュ性状の測定値

配合番号	スランブ (cm)	空気量 (%)
無混和1	11.5	4.0
CuS20	17.5	3.8
CuS40	22.0	3.0
CuS60	18.0	7.5
CuS80*	8.0	5.0
無混和2	3.0	4.0
CuS40	6.0	4.5
CuS80**	7.5	4.1
CuS80***	3.5	5.7

CuS80*: 単位水量175kg/m³を意味する。

CuS80**: 単位水量155kg/m³を意味する。

CuS80***: 単位水量150kg/m³を意味する。

単位水量に関係がなく, 銅スラグ細骨材の置換率が増加するにしたがい乾燥収縮ひずみが小さくなる。

無混和1と2を比較すると, 単位水量を 20kg/m³低減することで, 乾燥収縮ひずみが 200μ程度小さくなる。これに対し, 単位水量 175kg/m³の場合でも, 銅スラグ細骨材を 80%置換すると, 無混和の乾燥収縮ひずみより 300μ程度収縮量を抑制することができ, 単位水量 20kg/m³低減以上の効果がある。

また, 単位水量 155kg/m³の場合, 銅スラグ細骨材を 80%置換すると, 200μ程度乾燥収縮ひずみを抑制することができる。さらに, 単位水量を 150 kg/m³まで減らし, 銅スラグ細骨材を 80%置換することで, 乾燥収縮ひずみ自体を 450μ程度まで小さくすることができる。

単位水量 175kg/m³の砕石砕砂コンクリートの乾燥収縮ひずみ 900μを, 単位水量 150kg/m³, 乾燥収縮低減用混和剤および銅スラグ細骨材 80%置換によって, 乾燥収縮ひずみを 450μ程度まで小さくすることができた。

図-7 に銅スラグ細骨材の混合使用による乾燥収縮ひずみと質量減少率の関係を示す。銅スラグ細骨材を混合使用した場合, 単位水量 175kg/m³の場合より 155kg/m³の場合の方が, 同一乾燥収縮ひずみに対して質量減少率が大きく, 異なる直線群分布を示す。今回の配合は同一 W/C で単位水量を変化させた。セメントペーストの細孔

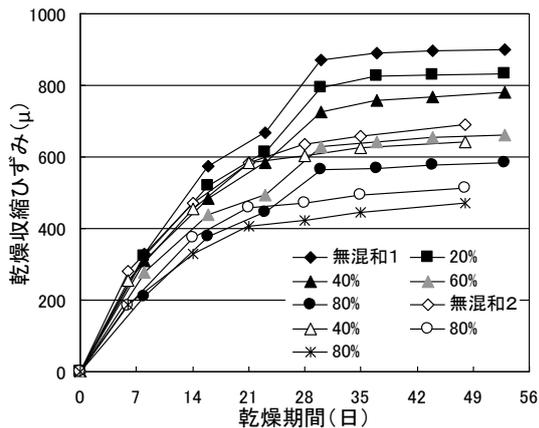


図-6 銅スラグ細骨材の乾燥収縮試験結果

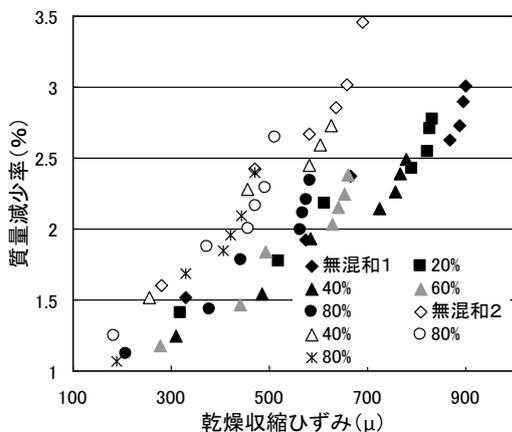


図-7 乾燥収縮ひずみと質量減少率の関係

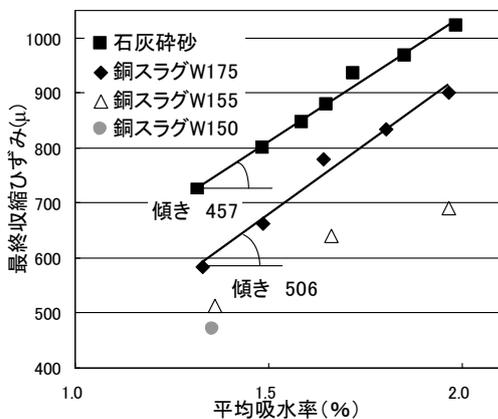


図-8 平均吸水率と最終乾燥収縮ひずみの関係

構造に着目した場合は、単位水量 175kg/m^3 よりも 155kg/m^3 のセメントペーストの方が、水和反応に必要な水量が少なく、より緻密な細孔構造であると考えられる。そのため、単位水量 155kg/m^3 の方が同一の乾燥収縮ひずみに達するまでの質量減少率が大きくなると考えられる。

単位水量 175kg/m^3 において、銅スラグ置換率が増加するにしたがい、乾燥収縮ひずみと質量減少率の直線の傾きが上昇する傾向にある。吸水率の小さい銅スラグ細骨材内部からの自由水の逸散が少なく、より緻密なセメントペーストが形成されたためと思われる。

図-8 に井上ら⁶⁾が定義した細骨材と粗骨材の容積を考慮した骨材全体の平均吸水率と最終収縮ひずみの関係を示す。石灰砕砂、銅スラグ細骨材に関係なく、単位水量、平均吸水率が小さくなるに従い、乾燥収縮ひずみが小さくなる。単位水量 175kg/m^3 の石灰砕砂と銅スラグ細骨材の平均吸水率に対する収縮ひずみの増加率（グラフ上の直線近似の傾き）を求めると、石灰砕砂 $457\mu/\%$ 、銅スラグ細骨材 $506\mu/\%$ となり、銅スラグ細骨材混合の方が、乾燥収縮ひずみの抑制効果大きい。

銅スラグ細骨材に関しては、単位水量 175kg/m^3 よりも単位水量 155kg/m^3 の方が、平均吸水率に対する収縮ひずみの増加率が小さく、単位水量を減らすとコンクリートの乾燥収縮ひずみ自体が小さくなり、銅スラグ細骨材混合による収縮抑制の効果が低減したと考えられる。単位水量が大きい方が、銅スラグ細骨材混合使用による収縮ひずみ低減対策の効果が大きい。

5. 結論

本研究の範囲で明らかになったことを以下に記す。

- 1) 吸水率の比較的大きい安山岩系砕砂、砂岩系砕砂を用いたコンクリートに対して、石灰砕砂と同様に銅スラグ細骨材の混合使用は、乾燥収縮ひずみを抑制する効果があり、吸水率が小さい銅スラグ細骨材の方が、乾燥収縮ひずみの抑制効果大きい。
- 2) 単位水量が大きい配合の方が、銅スラグ細骨材の混合使用の効果は顕著である。

参考文献

- 1) 土木学会コンクリート委員会編：2007年版コンクリート標準示方書 改訂資料編，2008.3
- 2) 日本建築学会編：鉄筋コンクリート造建築物の収縮ひび割れ制御設計・施工指針(案)・同解説，2006.2
- 3) 全国生コンクリート工業組合連合会技術委員会編：乾燥収縮に関する実態調査結果報告（平成21年度），2009.11
- 4) 西村昌生，川上潤一，井上悟，一宮桂一郎，橋本親典：単位水量と骨材の吸水率が乾燥収縮に及ぼす影響，生コン技術大会研究発表論文集，Vol.15，pp.199-204，2009.
- 5) 井上 裕貴，坂東 達也，橋本 親典，渡邊 健：低温炉乾燥による急速乾燥収縮試験法と長さ変化試験法（JIS A 1129）の比較，土木学会四国支部技術研究発表会講演概要集，Vol.16，pp.269-270，2010.5.
- 6) 井上 裕貴，橋本 親典，渡邊 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.