

積雪寒冷地における再生粗骨材のプレキャストコンクリートの利用拡大に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 23～平 27

担当チーム：寒地保全技術研究グループ（耐寒材料）

研究担当者：田畑浩太郎、吉田行

【要旨】

再生粗骨材を用いたPCa（プレキャストコンクリート）製品の利用マニュアル(案)の提案に向けて、平成24年度は、凍・塩害環境下における中品質再生粗骨材の大型PCa製品への適用を目的とした(1)中品質再生粗骨材を使用したコンクリートの乾燥収縮特性及びスケーリング抵抗性の検証と、大規模災害で発生したコンクリート殻を原材料とする再生粗骨材の積雪寒冷地におけるPCa製品への適用を目的とした(2)コンクリート殻表面に付着した塩分の簡易で効率的な除去方法の検討(3)積雪寒冷期におけるPCa製品製造時の配合・養生方法についての検討(4)中品質基準外の再生粗骨材がコンクリート性能（スケーリング抵抗性等）に及ぼす影響の検証を行った。

(1)では、中品質再生粗骨材を使用したコンクリートに収縮低減混和材料を添加し、水セメント比を変えた配合で室内試験を行い、乾燥収縮特性とスケーリング抵抗性を検証した。その結果、収縮低減混和材料と水セメント比を適切に組み合わせた配合では、中品質再生粗骨材コンクリートに発生する乾燥収縮やスケーリングを改善出来ることを確認した。

(2)では、表面塩分除去作業の利用が想定される骨材工場の現場条件を考慮した作業方法の選定と、水温や吐出量等の作業条件を組み合わせた効果の検証を行った。その結果、表面塩分の除去に必要な総吐出量を確認した。また、作業方法や必要総吐出量についてとりまとめを行い、利用マニュアル(案)として提案した。

(3)では、被災の影響によりPCa製品製造時に蒸気養生が行えない場合を想定して、耐寒剤を使用した供試体を雪の中で養生し、圧縮強度試験にて強度の発現を確認した。その結果、雪の中で養生した供試体の強度は、通常養生と比べて小さいものの、強度の伸びは通常養生のように鈍化しないことが確認された。

(4)では、吸水率がJISの基準を満足しない再生粗骨材を使用したコンクリートについて、乾燥収縮特性とスケーリング抵抗性を確認した。その結果、吸水率が大きくなるほど圧縮強度は低下し、スケーリング量が増加することを確認した。また、乾燥収縮についてもほぼ同様の傾向を確認した。

キーワード：再生粗骨材、耐寒剤、プレキャストコンクリート、乾燥収縮、スケーリング

1. はじめに

「大規模災害で発生したコンクリート殻を原材料とする再生粗骨材の積雪寒冷地におけるPCa製品への適用に関する利用マニュアル(案)」の提案に関して、津波被災したコンクリート殻は表面に塩分が付着していることが想定されることから、再生粗骨材への再利用を図るためには表面塩分の除去について対策が求められる。また、積雪寒冷期の被災によりPCa製品工場で蒸気養生が出来なくなる場合を想定して、低温環境下の養生方法やPCa製品として必要な強度を得るための配合について検討する必要がある。さらに、発生殻から製造した再生粗骨材の塩化物量や吸水率などがJIS基準値を満足しない場合を想定して、そのような再生粗骨材をPCa製品に適用するための方法やPCa製品の種類について検証する必要がある。このため、平成24年度は、コンクリート殻表面の付着塩分除去方法の検討、低温環境下におけるPCa製品製造時の配合・養生方法についての検討、再生粗骨材の吸水率がJIS基準値を超え

たコンクリートの乾燥収縮特性やスケーリング抵抗性の検証を行った。**第2章**で研究結果について述べる。

また、「凍・塩害環境下における中品質再生粗骨材の大型PCa製品への適用に関する利用マニュアル(案)」の提案に関して、鉄筋拘束率が高い大型PCa製品に再生粗骨材Mを使用する場合は、乾燥収縮によるひび割れが耐久性に影響を及ぼすことが懸念される。さらに、再生粗骨材Mコンクリートを積雪寒冷地において適用する場合、凍・塩害によるスケーリングの影響を考慮する必要があるが、現段階では十分に検証されているとは言えない。このため、平成24年度は、再生粗骨材Mコンクリートに膨張材や乾燥収縮低減剤を添加して蒸気養生を行い、圧縮強度試験や乾燥収縮試験、スケーリング量測定等により、大型PCa製品として必要な耐久性を確保するための材料及び配合の検討を行った。**第3章**で研究結果について述べる。

2. 大規模災害で発生したコンクリート殻を原材料とする再生粗骨材の積雪寒冷地におけるPCa製品への適用に関する研究

2.1 コンクリート殻表面に付着した塩分の簡易で効率的な除去方法の検討

2.1.1 研究概要

津波により海水を被ったコンクリート殻は、表面に塩分が付着していることが想定されるため、これらを原材料とする再生粗骨材はJISの塩化物量基準値を満足出来ない可能性がある。コンクリート殻の早期処理及び再生粗骨材の有効活用を図るために、表面付着塩分の対策が求められる。

本研究では、被災地においても実行が可能な簡易な作業でコンクリート殻表面の塩分を除去する方法を確立することを目的として、水で洗い流す「散水」「洗浄」「高圧洗浄」、水に浸して溶解させる「浸水」、ヤードに放置して降雨などの自然作用で表面塩分の低下を図る「野積み」について現地の聞き取り調査を行い、各除去方法の実行可能性を検討した。その結果、実行可能な「散水」について、効率的・具体的な除去方法について提案を行った。

2.1.2 試験概要

大規模災害で発生したコンクリート殻は、被災地で仮置きされたあと、再生骨材を造る骨材工場などに運ばれる。このため本研究では、表面塩分の除去作業が骨材工場で行われることを前提として、骨材工場の既存の設備で実施可能な作業となるよう、野積み、浸水、散水、洗浄、高圧洗浄について、現地聞き取り調査を行った。

(1) 現地聞き取り調査

骨材工場への聞き取り調査の結果、粉塵対策や清掃を目的として多くの工場が散水設備を有していること、それら散水設備の多くは水量の調整は出来るが水圧の管理が出来ないことが判った。本研究では骨材工場において既存の設備で実行可能な作業の提案を目的としていることから、表面塩分の除去作業にこれら散水設備を活用することを考えた。その場合、水量は試験条件の対象となるが水圧は対象外とした。また、作業の時期による影響を検証するため、水温も試験条件の対象とした。

また、浸水作業を実施するためには、コンクリート殻を一定期間浸水させる施設と、その施設にコンクリート殻を搬入搬出するための装置が必要となる。聞き取り調査の結果、骨材工場の既存の施設では浸水作業の実施が難しいことが判った。このため表面塩分を水

に溶解させて除去することは物理的に可能と考えられるものの、本試験では浸水作業を対象外とした。

野積みに関する聞き取り調査では、現ヤードに野積みされているコンクリート殻の山は、大きさや形状がバラバラであり、また存置期間についても搬入や搬出の時期がバラバラであることから、表面塩分除去を目的として殻を区分した管理は難しいことが判った。また、野積みされているコンクリート殻の山には鉄筋などの異物が多く混入しており、これらが与える影響についての評価が難しいことや、野積みのための新しいヤードを造成することも困難であることが判った。既存の設備で実行可能な作業とはならないことから、本試験では野積みを対象外とした。

次に、表面塩分除去の作業対象に関する現地聞き取り調査では、骨材工場の散水設備は製造した再生粗骨材を対象として設置されたものが多く、原材料であるコンクリート殻に対する設備は少ないことが判った。このことから、骨材工場の既存設備を用いて表面塩分除去作業を行う場合、コンクリート殻ではなく再生粗骨材を対象にするほうが現実的と考えられる。

なお、本試験では、表面塩分除去作業後に残留塩分の測定を行うが、コンクリート殻の表面塩分を測定する方法は確立していない。同様の測定法としては鋼橋塗膜の付着塩分量測定に用いられる「ガーゼ拭き取り塩素イオン検知管法¹⁾」があるが、この測定法は塩分量の評価に表面積を必要としており、凹凸が多く表面形状が複雑なコンクリート殻には適していない。本試験前にこの測定法に準拠してコンクリート殻表面の塩分測定を行ってみたが、表面積の算出が困難であり、塩分量は測定出来なかった。

これらを考慮した結果、本試験における作業対象は、コンクリート殻ではなく再生粗骨材とし、除去方法は散水とした。

(2) 表面塩分付着作業

本試験は津波被災により海水を被ったコンクリート殻を想定しているため、再生粗骨材は試験前に海水に24時間浸し、その後一昼夜かけて風乾し、骨材の表面に塩分が付着するよう調整した。海水は人工海水を使用し、1500×1500×1000 mmの水槽にて塩分濃度に偏りが生じないよう十分に攪拌して製造した。写真-1に表面塩分付着作業状況を示す。

(3) 塩分量測定

表面に付着した塩分がどの程度除去出来たのかを確認するため、JIS A 5022「再生骨材Mを用いたコンクリート」に準じて、海水に浸水させる前と除去作業の後

に塩分量測定を行った。この測定では、再生粗骨材の表面に付着した塩分量と再生粗骨材内に含まれる塩分量を合わせて測定してしまうため、海水に浸水させる前の再生粗骨材の塩分量を除去作業後の塩分量から差し引いた値を残留塩分量として整理した。



写真-1 表面塩分付着作業状況

(4) 表面塩分除去作業

散水装置から吐出される水が散逸しないように三方を囲んだ試験設備の中に試料を配置して、正面から表面塩分除去作業を行った。散水にあたっては水が偏ることなく試料に掛かるようにした。試験設備の床は、水が溜まって塩分除去効果に影響を与えないように傾斜をつけて排水を促した。表面塩分除去作業の状況を写真-2に、試料の配置寸法を図-1に示す。



写真-2 表面塩分除去作業状況

表面塩分除去作業における試験条件を表-1に示す。水温については、積雪寒冷地における冬期間の水道の温度や、年間を通した水道の平均温度を考慮して、低温 (5℃)、常温 (15℃) とした。また、塩化物の溶解度は水温が高くなると上がることから、高温 (60℃) についても検証した。

水量は、散水設備の吐出量と散水時間の積で求められる。本試験では、複数の吐出量と散水時間を組み合わせて、表面塩分除去の効果との関係を検証した。

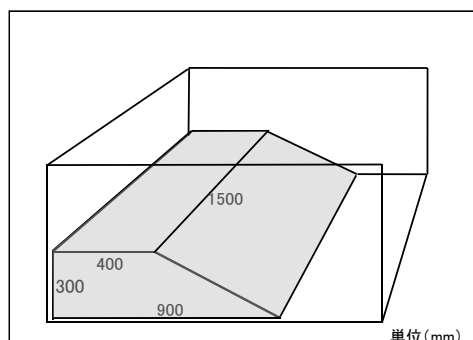


図-1 再生粗骨材の配置寸法

表-1 表面塩分除去作業における要素

水温	吐出量	散水時間
低温 (5℃)	4 (ℓ/min)	6 秒
常温 (15℃)	8 (ℓ/min)	18 秒
高温 (60℃)	12 (ℓ/min)	30 秒
		60 秒

2.1.3 試験結果

試験結果を図-2に示す。縦軸は除去作業後の残留塩分量を、横軸は吐出量と散水時間の積による水量で、試料の体積から割り戻して 1 m³当たりの水量として表示している。以後、この量を洗浄量とする。

全体の傾向として洗浄量が多くなるほど残存する塩分量の割合が小さくなった。洗浄量が10リットル以下の場合、残留塩分量が0になった試料の割合は3割程度しかないが、10リットル以上20リットル以下では、半数の試料において残留塩分量が0になり、洗浄量が20リットルを越えると、残留塩分量は概ね0になった。

次に、水温の違いによる表面塩分の除去効果を確認した。図-3は、各水温における残留塩分量を洗浄量10

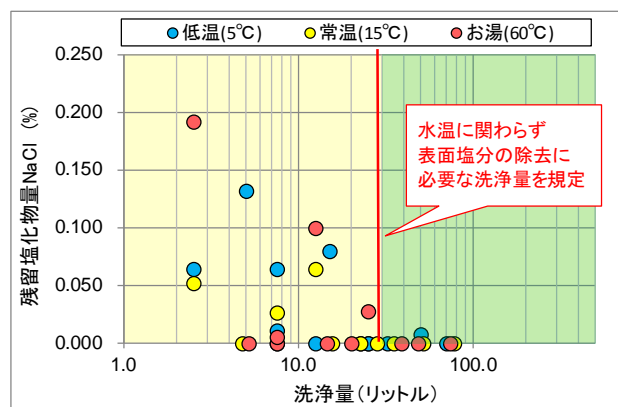


図-2 試験結果

リットル毎の平均で示している。図を見ると、水温5℃の場合、洗浄量が10リットル未満の時の平均残留塩分量は多めで、洗浄量が多くなるに従い残留塩分量は少なくなった。また、水温が60℃の場合は、洗浄量が10リットル以上20リットル未満まで平均残量塩分量はやや多めで推移し、20リットル以上で少なくなり、30リットル以上で0になった。水温15℃では、多少バラツキはあるが平均残留塩分量は全体的に少なかった。このように、水温と平均残留塩分量の間に明確な相関関係は確認できず、逆に、水温に関わらず、洗浄量が30リットル以上において、平均残留塩分量が概ね0になった。

これらのことから、水温に拘わらず表面塩分が除去出来るように洗浄量の基準値を定めることで、低温環境下において水温が低い場合であっても同一の効果が期待できることを確認し、洗浄量の基準値を1m³当たり30リットル以上とした。

2.1.4 まとめ

以上の結果から、表面塩分除去作業について、以下の提案を行う。

- ①コンクリート殻表面に付着した塩分を除去する方法として、野積み、浸水、散水、洗浄、高圧洗浄などが考えられるが、除去作業の実施が想定される骨材工場の聞き取り調査および既存設備を考慮した結果、野積みや浸水は実行が難しく、また高圧洗浄は圧力管理が必要なため、表面塩分除去作業は、散水設備を活用して行うこととした。
- ②コンクリート殻表面に付着した塩分の除去作業は、工場における散水設備の設置状況などを考慮して、製造後の再生粗骨材を対象とする。
- ③洗浄に用いる水の量は、水温に関わらず塩分の除去が出来る30（リットル/m³）以上とする。

なお、本作業は、表面に付着した塩分の除去を目的としているため、本作業後に再生粗骨材を適用するにあたっては、更に内部塩分の評価として、JISで定められた測定方法のほか、JCIで定めた方法や、試験紙法²⁾などを行う必要がある。

2.2 積雪寒冷期における PCa 製品製造時の配合・養生方法についての検討

2.2.1 研究概要

大規模災害の被災地にとって、復旧用の資材を確保することは、早期復旧を図るための重要な課題となる。しかし、復旧用資材を製造するPCa製品工場では、被災の影響などにより蒸気養生設備が使用出来ない状況も想定される。このような状況下においても復旧用資材を供給するために、被災の影響を考慮した養生方法や

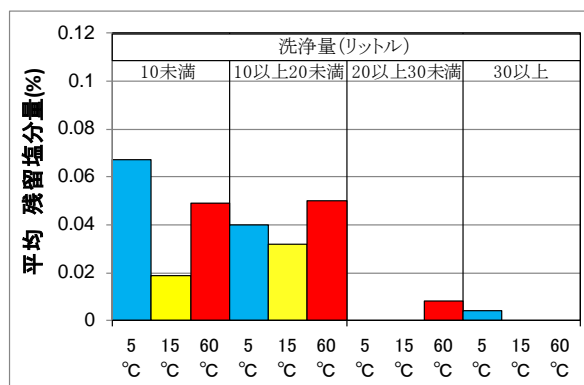


図-3 各水温における残留塩分量

コンクリート配合等について検討を行う必要がある。

本研究では、積雪寒冷期に大規模災害で工場が被災した場合を想定し、低温環境下における養生方法や再生粗骨材Mコンクリートに耐寒剤を用いた配合で、PCa製品への適用性の検証を行う。

平成24年度は、再生粗骨材Mコンクリートに耐寒剤を添加した配合で、低温環境を考慮した雪中養生を行い、圧縮強度を検証した。また、骨材の違いが圧縮強度に与える影響を確認するため、砕石を用いてブランク試験を行い、再生粗骨材Mを用いた場合と圧縮強度試験の結果を比較した。

2.2.2 使用材料及び配合

表-2に使用材料を示す。粗骨材は再生粗骨材Mを用いた。また比較用として小樽市見晴産の安山岩砕石も用いた。細骨材は苫小牧市樽前産の海砂を使用した。セメントは、耐寒剤を使用する場合普通ポルトランドセメントの使用が標準となっている³⁾が、本試験では再生粗骨材に含まれる塩化物イオンの拡散抵抗性に優れた高炉セメントB種⁴⁾を用いた。耐寒剤は、ポリカルボン酸エーテル系化合物と無機系窒素化合物の複合体を主成分とし、無アルカリ・無塩化タイプのものを用いた。使用量は、製品の推奨値を参考にして単位セメント量100Kg当たり40とし、単位水量置換とした。

コンクリートの配合を表-3に示す。「耐寒剤運用マニュアル(案)」³⁾を準用して、目標空気量は5.0±1.0%、水結合材比は50%とした。また、目標スランプは8.0±2.5cmとした。

2.2.3 試験概要

(1) 供試体作製および養生方法

供試体は、JIS A 1108「コンクリートの圧縮強度試験方法」に準拠して、φ10×20cmの円柱供試体とした。養生方法は、被災地における低温環境条件を考慮して、屋外の雪の中で養生する「雪中養生」を行った。供試体は、雪が直接供試体本体に触れることがないように、

現地施工のシート養生を意識して型枠上面をラップフィルムで覆い封緘し、雪の中に並べて上から50cmの厚さの雪で覆った。雪の熱伝導率は土の1/10程度であり、雪で覆うことにより外気温の影響を受けずに内部は0°C前後に保たれることが判っている⁵⁾。積算温度の算出にあたってはコンクリート温度を0°Cとした。雪中養生の状況を写真-3に示す。

また、養生温度の違いが圧縮強度に与える影響を検証するため、「標準養生」も行った。標準養生では、養生温度以外の条件を雪中養生と同じにするため、供試体は封緘状態で作成し、圧縮強度試験材齢まで20°Cに保たれた湿気養生槽で養生した。更に、初期養生期間だけ被災の影響を受け、その後電力設備が復旧した場合を想定して、雪中養生を3日間行い4日目以降は標準養生を行う「雪中・標準養生」も併せて行った。

各養生方法における試験材齢毎の積算温度を表-4に示す。

(2) 圧縮強度試験

耐寒剤と再生粗骨材を使用した配合において、養生温度の違いが圧縮強度に与える影響を確認するため、JIS A 1108に準拠して圧縮強度試験を行った。試験材齢は、標準養生では1, 3, 7, 14, 28日、雪中養生と雪中・標準養生では7, 14, 28日とした。次に骨材の違いが圧縮強度に与える影響を確認するために、採石を用いた配合で雪中養生と湿気養生を行い、再生粗骨材Mを用いた配合での試験結果と比較した。

2.2.4 試験結果

再生粗骨材Mを用いた配合で行った圧縮強度試験の結果を図-4に示す。青線は雪中養生を、赤線は標準養生を、緑線は雪中・標準養生を示す。

同じ材齢において雪中養生と標準養生を比較すると、雪中養生の圧縮強度は湿気養生よりも約10~20 N/mm² 低い値となった。雪中養生は標準養生よりも養生温度が低いことから、養生温度の違いが強度の発現に影響したものと考えられる。

次に雪中・標準養生と標準養生の圧縮強度を比較すると、材齢7日では標準養生のほうが約4 N/mm²大きかったが、材齢14日では逆転し、材齢28日では雪中・標準養生のほうが約8 N/mm²大きくなった。材齢7日から28日までの圧縮強度の増加傾向を見ると、標準養生では増加割合が鈍化しているのに対して雪中・標準養生では増加割合が伸びていた。また、雪中養生における増加割合も雪中・標準養生と同様の傾向で伸びていた。材齢7日~28日のグラフにおける線形近似曲線を表-5に示す。各養生方法の傾きをみると、雪中養生と雪

表-2 使用材料

種別	使用材量
セメント	高炉セメントB種 (密度3.05g/cm ³ 、比表面積3.75cm ² /g)
粗骨材	再生粗骨材M (絶乾密度2.39g/cm ³ 、吸水率4.62%、実績率59.97%)
	小樽市見晴産安山岩砕石 (表乾密度2.66g/cm ³ 、吸水率2.20%)
細骨材	苫小牧市樽前産海砂 (表乾密度2.67g/cm ³ 、吸水率0.87%、粗粒率2.85)
耐寒剤	主成分: ポリカルボン酸エーテル系化合物と無機系窒素化合物の複合体 単位水量置換

表-3 コンクリート配合表

配合 記号	配 合										配合結果	
	セメント 種類	粗骨材 種類	耐寒剤 (¹ /c100kg)	W/B (%)	目標(%)		単位量(kg/m ³)				スランプ (cm)	空気量 (%)
					Air	s/a	W	B	S	G		
NF-V	高炉 セメント B種	砕石	4.0	50	5.0	44	125	250	873	1107	8.0	5.2
NF-R		再生粗 骨材M					122	244	879	1049	5.7	6.3



写真-3 雪中養生の状況 (養生中は雪で覆う)

表-4 各養生方法における積算温度

	粗骨材	養生方法	コンクリート温度 T(°C)	積算温度 M (°C・日)				
				1日	3日	7日	14日	28日
NF-V	砕石	雪中養生	0	-	-	70	140	280
		標準養生	20	30	90	210	420	840
NF-R	再生粗骨材M	雪中養生	0	-	-	70	140	280
		標準養生	20	30	90	210	420	840
		雪中・標準養生	0, 20	-	-	150	360	780

中・標準養生では傾きがおおよそ1.0なのに対して、標準養生では半分程度の値しかなく、標準養生の圧縮強度の増加割合は明らかに減少していることが判る。一般にコンクリートは初期硬化時の養生温度を低く保持することで長期強度の伸びが大きくなる。耐寒剤と再生粗骨材Mを用いた本試験においても、材齢3日まで低温養生を行うことで、その後の圧縮強度の増加割合が鈍化することなく伸びているものと思われる。

次に、積算温度と圧縮強度の関係を図-5に示す。養生方法の違いに関わらず、積算温度と圧縮強度との関係はほぼ同じ傾向を示した。同じ圧縮強度を得るために必要な積算温度をみると、雪中養生と標準養生において約20~40 (°C・日) の差があるが、これは雪中養生を行った場合、積算温度差を考慮して養生日数を多くとることにより、標準養生と同等の圧縮強度を期待できるということであり、被災状況において雪中養生によりPCa製品の製造が可能であることを確認出来た。

次に、骨材の違いが圧縮強度に与える影響を確認するため、碎石を用いた配合で雪中養生と標準養生を行い、圧縮強度試験を実施した。試験結果を図-6に示す。再生粗骨材Mを用いた配合での試験結果も合わせてプロットした。白抜き三角が再生粗骨材M、黒丸が碎石の測定値を示す。また、青線が雪中養生、赤線が標準養生を示す。図をみると、碎石を用いた配合は再生粗骨材Mを用いた配合より圧縮強度がわずかに大きいものの、両者の線はほぼ重なっており、圧縮強度発現の傾向はほぼ同じであることが確認できた。このことから、碎石と再生粗骨材Mの違いが圧縮強度に与える影響は小さいと考えられる。

ただし、本試験におけるこれら傾向は、材齢28日までの結果であることから、長期強度に対する影響については今後確認する必要がある。

2.2.5 まとめ

(1) 雪中養生と標準養生の圧縮強度を同じ材齢で比較すると、雪中養生は標準養生より約10~20 N/mm²低い値となった。これは、養生温度の違いが初期強度の発現に影響したものと考えられる。また、積算温度と圧縮強度の関係は同じ傾向であることから、雪中養生を行った場合、養生期間を多くとることによって必要な強度を得ることが出来ることを確認した。

(2) 材齢7日から28日までの圧縮強度の増加傾向を見ると、標準養生では増加割合が鈍化した。雪中養生と雪中・標準養生は増加割合が伸びていた。このことから、初期養生温度を低く設定すると、その後の圧縮強度の増加割合は鈍化せず伸びることが確認出来た。

(3) 耐寒剤に再生粗骨材Mを用いた配合の圧縮強度は、碎石の場合と発現の傾向はほぼ同じであったことから、再生粗骨材Mと碎石の違いが圧縮強度に与える影響は小さいと考えられる。

(4) 本試験におけるこれら傾向は、材齢28日までの結果であることから、長期強度に対する影響については今後確認する必要がある。

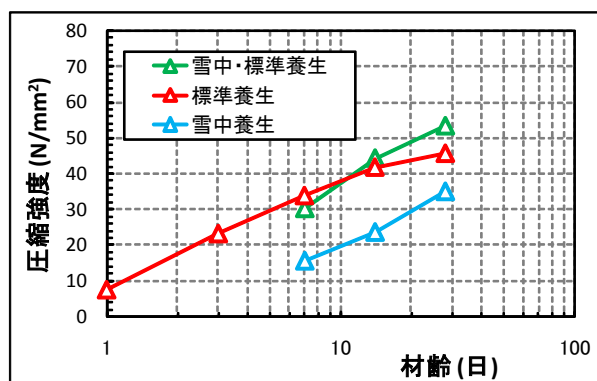


図-4 圧縮試験結果 (再生粗骨材)

表-5 各養生方法における積算温度

養生方法	線形近似曲線
雪中養生	$y = 0.9031x + 10.05$
標準養生	$y = 0.5255x + 31.95$
雪中・標準養生	$y = 1.0439x + 25.55$

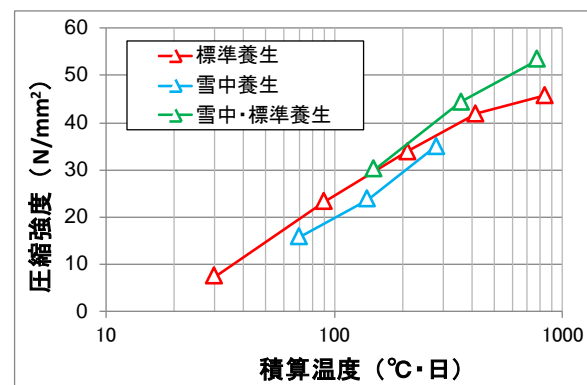


図-5 積算温度と圧縮強度の関係 (再生粗骨材M)

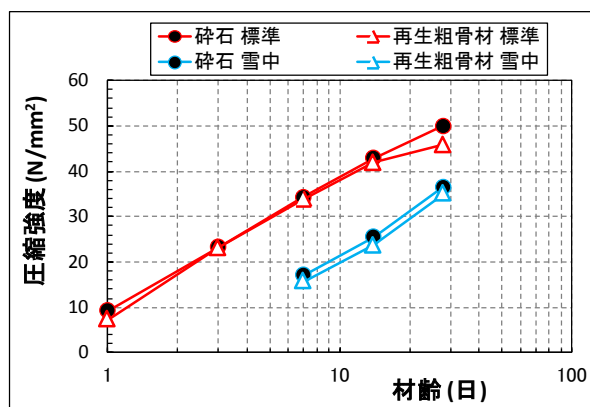


図-6 圧縮強度試験結果 (再生粗骨材M、碎石)

2.3 中品質基準外の再生粗骨材がコンクリート性能（スケーリング抵抗性等）に及ぼす影響の検証

2.3.1 研究概要

大規模災害で発生した大量のコンクリート殻は、被災地の早期復旧の妨げとなるため、出来るだけ早い処理が望まれている。しかし、管理された環境下で解体されたコンクリート殻とは異なり、災害で発生したコンクリート殻は様々な品質が混在することが想定されることから、これらコンクリート殻を原材料として製造した再生粗骨材が再生粗骨材Mの基準を満足出来ないことも考えられる。このような場合、再生粗骨材の適用は狭い範囲に限定されてしまうため、資源の有効活用における需要と供給のバランスを考慮して、基準を満足出来ない場合であっても、再生粗骨材を有効活用する方法を検討する必要がある。

本研究では、コンクリート性状に大きな影響を与える再生粗骨材の吸水率と塩化物量について、JISの基準を外れた場合を想定した再生粗骨材（以下、基準外再生粗骨材と記述）の活用方法をまとめた利用マニュアル（案）の提案を目的として、これらに係る検証を行っている。平成24年度は、吸水率が基準を外れている再生粗骨材Mを用いて、圧縮強度試験や乾燥収縮試験、スケーリング量測定を行い、基準を超えた吸水率がこれら試験の結果に及ぼす影響について検証した。

2.3.2 試験概要

(1) 吸水率の設定

再生粗骨材Mの吸水率は、JIS基準において5.0(%)以下と決められている。本試験では、吸水率が5.0(%)を超えた再生粗骨材について強度特性や耐久性を確認するため、吸水率以外は再生粗骨材MのJIS基準を満足する再生粗骨材で、吸水率を5.0、5.5、6.0、6.5、7.0(%)の5水準に設定して、試験を行った。なお、吸水率5.0(%)は基準内であるが、比較対象として試験を行った。

(2) 使用材料及び配合

表-6に使用材料表を、表-7に配合表を示す。セメントは塩化物イオンの拡散抵抗性に優れた高炉セメントB種を、細骨材は苫小牧市樽前産の海砂を使用した。粗骨材は再生粗骨材Mを用いて吸水率を5水準とした。混和剤にはAE減水剤（リグニンスルホン酸塩系）とAE剤（変性ロジン酸化合物系）を用いた。目標空気量は $5.0 \pm 1.0\%$ 、水結合材比は50%とした。また、目標スランプは $8.0 \pm 2.5\text{cm}$ とした。

(3) 養生方法

コンクリート製品工場の多くが蒸気養生を行っており、吸水率が基準外であること以外は実際のPCa製品

表-6 使用材料表

種別	使用材量
セメント	高炉セメントB種 (密度3.05g/cm ³ 、比表面積3.75cm ² /g)
粗骨材	再生粗骨材M
細骨材	苫小牧市樽前産海砂 (表乾密度2.67g/cm ³ 、吸水率0.87%、粗粒率2.85)
混和剤	AE減水剤 リグニンスルホン酸化合物
	AE剤 変性ロジン酸化合物系

表-7 配合表

配合 記号	セメント 種類	粗骨材 種類	配合				配合結果							
			目標(%)		吸水率 (%)	絶対密度 (g/cm ³)	W/B (%)	単位量(kg/m ³)						
			吸水率	空気量	s/a		W	B	S	G	スランプ (cm)	空気量 (%)		
A0	高炉 セメント B種	再生 粗骨材 M	5.0	5.0	44	4.6	2.5	50	140	280	843	1006	9.6	4.9
A1			5.5			5.2	2.5		140	280	843	999	8.5	5.0
A2			6.0			5.8	2.5		140	280	843	992	9.3	5.2
A3			6.5			6.4	2.4		140	280	843	984	7.7	4.8
A4			7.0			6.8	2.4		140	280	843	977	6.5	4.8

製造と同じ条件にするため、本試験においても供試体の養生方法として蒸気養生を採用した。

蒸気養生の方法は、コンクリート標準示方書に準拠した。前養生として20℃の室内で2~3時間静置した後、蒸気養生を開始し、養生室内の温度が65℃になるまでボイラーで加温した。この時、室内温度の上昇速度は20℃/hを目標とした。養生室内の温度が65℃に達したらボイラーを調整してそのまま3時間保持し、その後ボイラーを止め、養生室内温度が20℃になるまで自然徐冷した。写真-4に、蒸気養生室及び前養生を行っている供試体の様子を示す。



写真-4 蒸気養生室と前養生の様子

(1) 圧縮強度試験

過大な吸水率が圧縮強度に及ぼす影響を確認するため、JIS A 1108 に準拠して圧縮強度試験を行った。供試体はφ10×20 cmの円柱供試体とした。蒸気養生の翌日に脱型し、その後恒温恒湿室で気中養生を行った。圧縮強度は、材齢1、7、14、28日に測定した。

(2) 乾燥収縮試験

過大な吸水率が乾燥収縮特性に及ぼす影響を検証するため、JIS A 1129 に準拠して乾燥収縮試験を行った。供試体は、10×10×40 cmの角柱供試体とし、蒸気養生の翌日に脱型し、計測用ガラス板を接着して初期値を測定した。その後、恒温恒湿室（温度 20℃、湿度 60%）に静置した。乾燥収縮ひずみと供試体の質量変化は、最大6ヶ月（180日）測定することとした。乾燥収縮ひずみ測定の様子を写真-5に示す。

また、蒸気養生中の自己収縮ひずみ量の測定も併せて行った。供試体はφ12.5×25 cmの円柱供試体を使用し、中心部に低弾性（約 1.5 N/mm²）のコンクリート埋込み型のひずみゲージを設置した。図-7に供試体形状を示す。測定は、蒸気養生開始の1時間前から蒸気養生終了後までの24時間とした。測定のインターバルは5分間隔とした。



写真-5 乾燥収縮ひずみ測定の様子

図-7 自己収縮ひずみ測定用供試体形状

(3) スケーリング量測定

過大な吸水率がスケーリング抵抗性に及ぼす影響を確認するため、ASTM C 672 に準拠してスケーリング量の測定を行った。供試体は 22×22×10 cmの角柱供試体とし、蒸気養生の翌日に脱型し、所定の材齢まで恒温恒湿室に静置した。測定面は、工場製品における

暴露面を模して型枠底面とし、材齢7日目に水を湛水するための土手を取り付けた。測定面以外の5面には、供試体中の水分の逸散を防ぐ目的でエポキシ樹脂コーティングを行った。スケーリング量測定は、製品工場の出荷管理材齢である材齢14日を初期値とし、-18℃を16時間、23℃を8時間の24時間1サイクルで凍結融解作用を与え、所定のサイクル毎に測定を行った。測定は長期耐久性を考慮して、最大100サイクルまで行うこととした。

2.3.3 試験結果

(1) 圧縮強度試験

図-8に試験結果を示す。一般に骨材の吸水率が大きくなるほどコンクリートの強度特性は低下する。本試験においても、多少のバラツキはあるが、吸水率が高い再生粗骨材を使用した配合のほうが圧縮強度が低くなり、同様の傾向が確認された。なお、吸水率が一番高い配合においても材齢14日の圧縮強度は24 N/mm²を超えており、吸水率が基準値を超えることにより強度特性が大幅に低下するわけではないことが確認できた。

各配合における強度発現の増加割合（グラフの傾き）を比較すると、吸水率に関わらず、増加割合はほぼ同程度であった。このことから、吸水率が基準値を超えている場合であっても、吸水率と圧縮強度の関係は大きく変わらないことが確認された。

ただし、本試験における結果は、吸水率が7.0%までのものであるため、更に吸水率が大きい配合での強度特性については、今後確認する必要がある。また、本試験は材齢28日までの結果であるため、長期強度についても確認する必要がある。

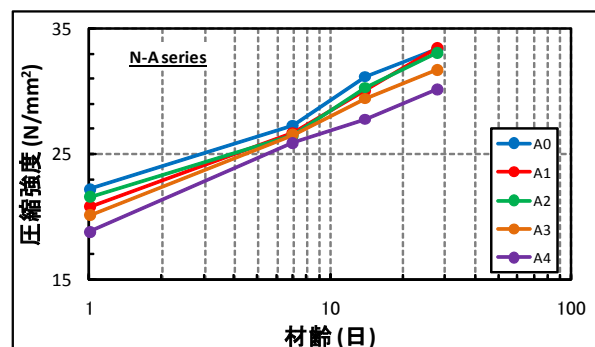


図-8 圧縮強度試験結果

(2) 乾燥収縮試験

乾燥収縮試験の結果を図-9に示す。横軸は脱型後の初期値測定日を0日とした経過期間を、縦軸はそれぞれの変化割合を百分率で表している。

一般に骨材の吸水率が大きくなるほどコンクリート

の乾燥収縮は大きくなる。本試験においても、吸水率が大きい骨材を用いたコンクリートのほうが測定結果が大きくなり、同様の傾向が確認できた。

次に、自己収縮により発生するひずみ量を考慮した長さ変化率を図-10に示す。縦軸は、0 (%) より下方の正の数は収縮ひずみ、上方の負の数は膨張による圧縮ひずみを表している。また、横軸が示す経過日数0日は蒸気養生終了時を表しており、0日にポイントされる長さ変化率は自己収縮による長さ変化率を意味している。

各配合における自己収縮ひずみを見ると、吸水率が小さいA0,A1では収縮ひずみを生じているのに対して、吸水率が大きいA2,A3,A4において膨張による圧縮ひずみを生じている。自己収縮は初期硬化時の水和反応による水分減少で生じることから、本試験においては水和反応で減少した水分を水分率が高い再生粗骨材に含まれた水が補償した結果、自己収縮量が減少したということも考えられる。

また、乾燥収縮全体を見ると、自己収縮で圧縮ひずみを生じた配合であっても、経過期間の増加に伴って長さ変化率は増加し、経過日数7日以降は収縮ひずみとなった。このことから吸水率が基準値を超えた再生粗骨材を使用する場合には、収縮低減混和材料などの対策をとるか、乾燥収縮の影響を受けることを前提とした利用方法を考える必要がある。

なお、乾燥収縮試験は180日を目標としているが、本試験においては未だ56日と途中であることから、今後経過を観察する必要がある。

(3) スケーリング量測定

図-11に凍結融解作用35サイクルまでのスケーリング量測定結果を示す。グラフを見ると、全ての配合において凍結融解サイクルの増加に伴ってスケーリング量が増加する傾向が確認された。写真-6は35サイクル時点のスケーリングの様子を表しているが、全ての配合においてスケーリングが進行していることが確認出来る。本試験が準拠しているASTM C 672 のスケーリング評価を参考にすると、粗骨材の露出状況から、スケーリングが顕著に認められる評価であると判断出来る。

一般に、骨材の吸水率が大きいほど骨材内部の水分が凍結融解作用を受けるため、耐凍害性能が低下するが、本試験において吸水率の大小と測定値の間には明確な相関関係は認められなかった。なお、スケーリング量測定は100サイクルを目標としているが、本試験においては未だ35サイクルと途中であることから、今後経過を観察する必要がある。

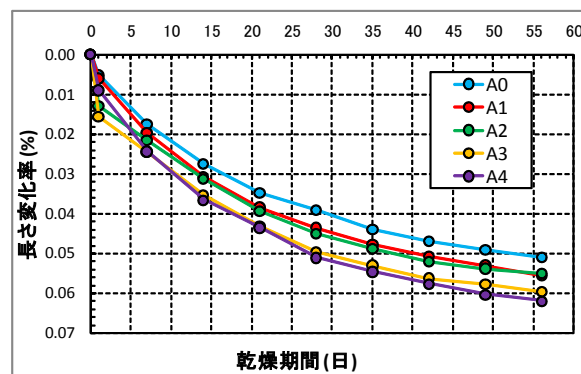


図-9 乾燥収縮試験結果

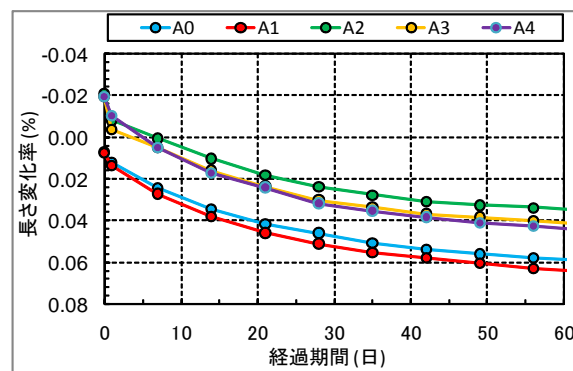


図-10 乾燥収縮試験 (自己収縮によるひずみ含む)

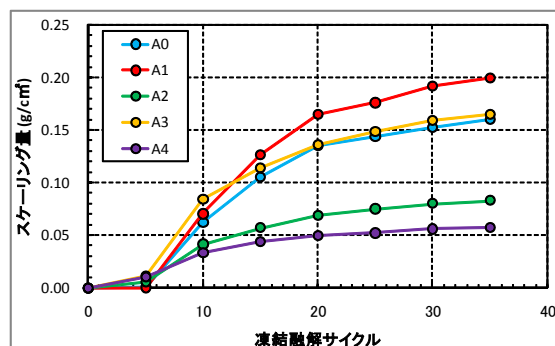


図-11 スケーリング量測定結果

2.3.4 まとめ

(1) 多少のバラツキはあるが、吸水率が高い再生粗骨材の配合において圧縮強度が低い結果となった。また、吸水率が一番高い配合においても材齢14日の圧縮強度は24 N/mm²を超えていた。このことから、吸水率が基準値を超えた場合であっても、強度を確保出来ることが確認できた。

(2) 蒸気養生終了時においては、自己収縮により吸水率が高い再生粗骨材の配合で圧縮ひずみを生じた。しかし経過日数の増加に伴い、乾燥収縮により全ての配合で収縮ひずみを生じた。このことから、吸水率が基準

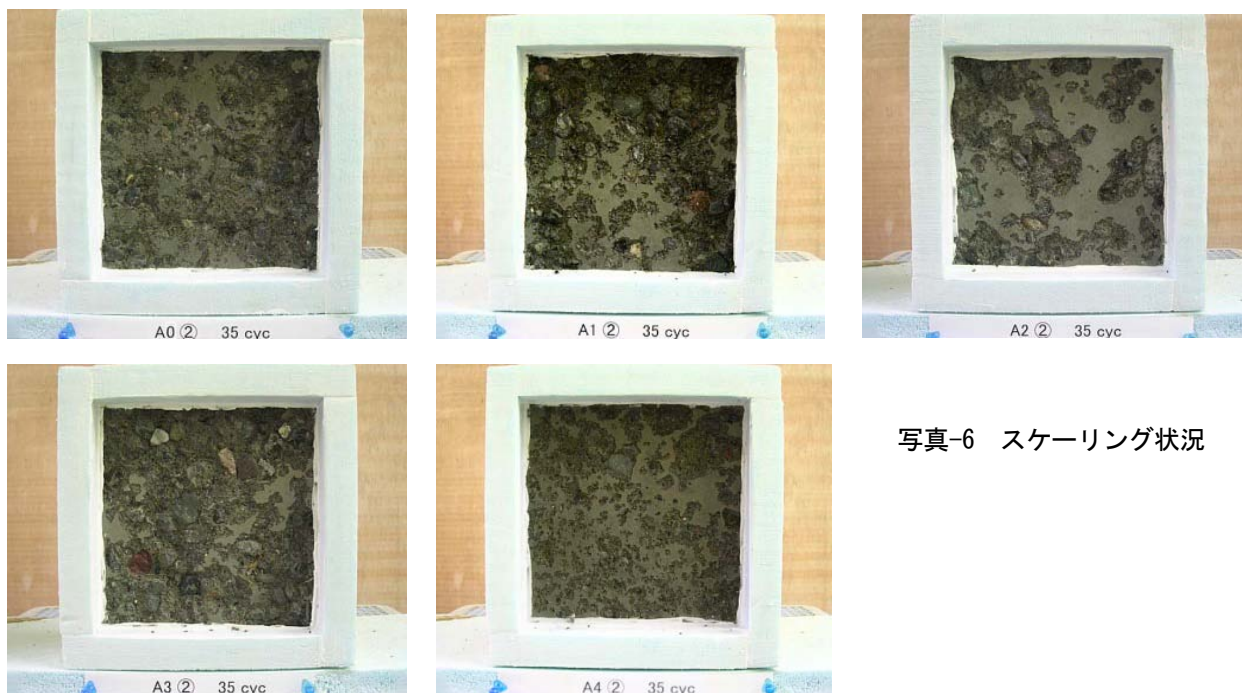


写真-6 スケーリング状況

値を超えた再生粗骨材を使用する場合は、対策をとるか、乾燥収縮の影響を受ける前提で利用方法を考える必要がある。

(3) 全ての配合において、スケーリングが顕著に認められた。このことから、吸水率が基準値を超えた再生粗骨材を使用する場合は、スケーリングの対策を講じるか、スケーリングの影響を受ける前提で利用方法を考える必要がある。

3. 凍・塩害環境下における中品質再生粗骨材の大型PCa製品の適用に関する研究

3.1 研究概要

鉄筋拘束率が高い大型PCa製品に中品質再生粗骨材である再生粗骨材Mを使用した場合、乾燥収縮により発生するひび割れが製品の耐久性に影響を及ぼすことが懸念される。また、積雪寒冷地において再生粗骨材Mコンクリートを用いる場合には、凍害と塩害の複合劣化であるスケーリングの影響を考慮する必要がある。

本研究は、膨張材や収縮低減剤などの収縮低減混和材料を使用することで再生粗骨材Mコンクリートの乾燥収縮量やスケーリング量の低減を図り、再生粗骨材Mを用いた大型PCa製品の適用拡大を目的としている。

平成23年度は、3種類の収縮低減混和材料と2水準の水結合材比(W/B)を組み合わせてコンクリート配合を設定し、乾燥収縮試験、スケーリング量測定、圧縮強度試験を行った。その結果、再生粗骨材Mと高炉セメントB種を用いた配合は、全ての試験において碎石や普通

ポルトランドセメントを用いた配合よりも悪い結果となったが、収縮低減混和材料を添加することと水セメント比を小さくすることで改善出来ることを確認した。平成24年度は、これらの結果を踏まえて、2種類の収縮低減混和材料と4水準の水結合材比を組合せてコンクリート配合を設定し、乾燥収縮試験、スケーリング量測定、圧縮強度試験、静弾性係数測定を行った。

3.2 使用材料

表-8に使用材料を示す。既往の研究⁴⁾において、高炉セメントB種は再生粗骨材中の塩化物イオンの拡散抵抗性に優れることが明らかになっている。再生粗骨

表-8 使用材料

種別	使用材量
セメント	高炉セメントB種 (密度3.05g/cm ³ 、比表面積3.75cm ² /g)
粗骨材	再生粗骨材M (絶乾密度2.39g/cm ³ 、吸水率4.62%、実績率59.97%)
細骨材	苫小牧市樽前産海砂 (表乾密度2.67g/cm ³ 、吸水率0.87%、粗粒率2.85)
混和剤	AE減水剤 リゲニンスルホン酸化合物 AE剤 変性ロジン酸化合物系
膨張材	主成分: 酸化カルシウム(膨張性CaO) セメント置換
収縮低減剤	主成分: 炭化水素系化合物とグリコールエーテル系誘導体 単位水量置換

表-9 再生粗骨材の品質

種別	粗骨材	JIS規格値
表乾密度	g/cm ³ 2.504	
絶乾密度	g/cm ³ 2.391	2.3以上
吸水率	% 4.622	5.0以下
単位容積質量	kg/m ³ 1.434	
実績率	% 59.97	55以上
粗粒率	% 6.827	
微粒分量	% 0.97	2.0以下

表-10 コンクリート配合表

配合 記号	セメント 種類	粗骨材 種類	膨張材 (Kg/m ³)	収縮 低減剤 (Kg/m ³)	W/B (%)	配 合				配合結果			
						目 標		単位量(kg/m ³)				スランブ (cm)	空気量 (%)
						Air(%)	s/a(%)	W	B	S	G		
BN-35	高炉 セメント B種	再生 粗骨材 M			35	5.0	44	152	434	771	920	5.9	5.2
BN-40					40			148	370	800	955	10.5	5.9
BN-45					45			144	320	823	983	9.3	5.6
BN-50					50			140	280	843	1006	9.6	4.9
EX30-35			30		35			152	404	771	921	6.5	5.1
EX30-40			30		40			148	340	800	956	10.5	5.8
EX30-45			30		45			144	290	824	983	9.6	5.2
EX30-50			30		50			140	250	844	1008	7.0	4.7
EX50-35			50		35			152	384	771	919	8.5	5.5
EX50-40			50		40			148	320	800	955	10.3	5.5
EX50-45			50		45			144	270	824	983	10.5	5.4
EX50-50			50		50			140	230	845	1009	8.0	4.7
SH-35					6			152	434	771	920	5.6	4.0
SH-40					6			148	370	800	955	7.5	4.9
SH-45					6			144	320	823	983	7.8	6.0
SH-50					6			140	280	843	1006	8.8	6.0

材を大型PCa製品に適用する場合、鉄筋腐食抑制を図る必要があることから、本試験で使用するセメントは高炉セメントB種とした。粗骨材は、中品質再生粗骨材である再生粗骨材Mを使用し、事前にJIS A 5022の規格値を満足することを確認した。再生粗骨材の品質を表-9に示す。細骨材は苫小牧市樽前産の海砂を使用した。混和剤にはAE減水剤(リグニンスルホン酸塩系)とAE剤(変性ロジン酸化合物系)を用いた。また、収縮低減混和材料として、膨張材と乾燥収縮低減剤を使用した。それぞれの使用量は、製品工場への聞き取りや製品の推奨値を参考にして、膨張材は30kg/m³および50kg/m³とし、セメント置換とした。乾燥収縮低減剤は6kg/m³とし、単位水量置換とした。

3.3 コンクリートの配合

水結合材比の違いが収縮低減混和材料の有効性に与える影響を確認するため、水結合材比は4水準(35%、40%、45%、50%)を設定した。目標空気量は、「再生粗骨材Mを用いたプレキャストコンクリート製品のガイドライン試案⁶⁾」に準拠して5.0±1.5%とし、AE剤の添加量にて調整した。目標スランブは8.0±2.5cmとした。表-10にコンクリート配合表を示す。配合の内容と記号は以下の通りとした。

- ① EX30: 収縮低減混和材料として膨張材を30kg/m³使用した配合。水結合材比毎に、EX30-35、EX30-40、EX30-45、EX30-50とする。
- ② EX50: 収縮低減混和材料として膨張材を50kg/m³使用した配合。水結合材比毎に、EX50-35、EX50-40、EX50-45、EX50-50とする。
- ③ SH: 収縮低減混和材料として収縮低減剤を使用した配合。水結合材比毎に、SH-35、SH-40、SH-45、SH-50とする。

④ BN: 有効性を確認するための比較用として、収縮低減混和材料を使用しない配合。水結合材比毎に、BN-35、BN-40、BN-45、BN-50とする。

3.4 養生方法

コンクリート製品工場の多くが蒸気養生を行っていることから、本試験においても供試体の養生方法として蒸気養生を採用した。

蒸気養生の方法は、コンクリート標準示方書⁷⁾に準拠した。前養生として20℃の室内で2~3時間静置した後、蒸気養生を開始し、養生室内の温度が65℃になるまでボイラーで加温した。この時、室内温度の上昇速度は20℃/hを目標とした。養生室内の温度が65℃に達したらボイラーを調整してそのまま3時間保持し、その後ボイラーを止め、養生室内温度が20℃になるまで自然徐冷した。

3.5 試験概要

(1) 乾燥収縮試験

収縮低減混和材料を用いた場合の乾燥収縮特性を確認するため、乾燥収縮試験を行った。乾燥収縮ひずみは、JIS A 1129に準拠してコンパレータ法により長さ変化を測定した。供試体は、10×10×40 cmの角柱供試体とし、蒸気養生の翌日(材齢1日)に脱型し、計測用ガラス板を接着して初期値を測定した。その後、恒温恒湿室(温度20℃、湿度60%)に静置して、乾燥収縮ひずみと供試体の質量変化を測定した。

また、蒸気養生中の自己収縮ひずみ量の測定も併せて行った。供試体はφ12.5×25 cmの円柱供試体を使用し、中心部に低弾性(約1.5N/mm²)のコンクリート埋込み型のひずみゲージを設置した。測定は、蒸気養生開始の1時間前から蒸気養生終了後までの24時間とした。測定のインターバルは5分間隔とした。

乾燥収縮ひずみは、最大6ヶ月(180日)測定する

こととした。

(2) 圧縮強度試験

収縮低減混和材料の使用が圧縮強度に及ぼす影響を確認するため、JIS A 1108 に準拠して圧縮強度試験を行った。供試体はφ10×20 cmの円柱供試体とし、蒸気養生の翌日に脱型し、材齢1日の圧縮強度を測定した。その後、恒温恒湿室で気中養生を行い、材齢7、14、28日で圧縮強度を測定した。

また、圧縮強度測定時に静弾性係数測定も行った。測定は JIS A 1149 に準拠し、コンプレッソメータを用いてひずみを測定し、弾性係数を算出した

(3) スケーリング量測定

収縮低減混和材料の使用がスケーリング抵抗性に及ぼす影響を確認するため、ASTM C 672 に準拠してスケーリング量の測定を行った。供試体は22×22×10 cmの角柱供試体とし、蒸気養生の翌日に脱型し、所定の材齢まで恒温恒湿室に静置した。測定面は、工場製品における暴露面を模して型枠底面とし、材齢7日目に水を湛水するための土手を取り付けた。測定面以外の5面には、供試体中の水分の逸散を防ぐ目的でエポキシ樹脂コーティングを行った。スケーリング量測定は、製品工場の出荷管理材齢である材齢14日を初期値とし、-18℃を16時間、23℃を8時間の24時間1サイクルで凍結融解作用を与え、所定のサイクル毎に測定を行った。測定は最大100サイクルまで行う。

3.6 試験結果

(1) 乾燥収縮試験

自己収縮ひずみ量の測定では、コンクリートの線膨張を考慮した補正が必要となる。本試験のように、急激に加熱される条件下でのひずみゲージの線膨張係数については既往の報告が少ないため、ひずみゲージ本体の収縮ひずみを測定して、線膨張係数を確認した。測定では、外力が影響しないようにひずみゲージ本体を水に浮かせ、蒸気養生室内に静置した。測定結果を図-12に示す。収縮ひずみと温度の関係を見ると、ピーク時までほぼ同じ挙動を示しているが、ピーク時以降は温度の低下に収縮ひずみが追従していない。平成23年度の測定結果でも同様の傾向が見られたが、これは、ひずみゲージに残留ひずみが生じたためと考えられる。このため、ピーク時までの収縮ひずみと温度の関係を基に、線膨張係数を求めた。図-13にひずみゲージの温度とひずみの関係を示す。近似曲線の傾きから、ひずみゲージの線膨張係数を $26 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ と仮定し、コンクリートの線膨張係数 $10 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ との差である $16 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ を自己収縮ひずみ量の補正值とした。

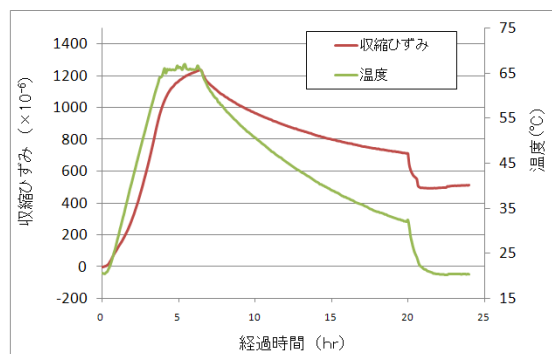


図-12 ひずみゲージ本体の自己収縮ひずみ

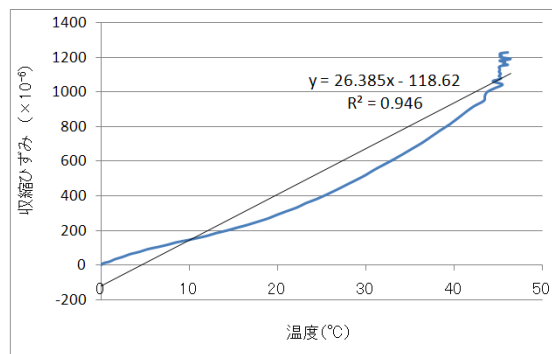


図-13 ひずみゲージ本体のひずみ量と温度の関係

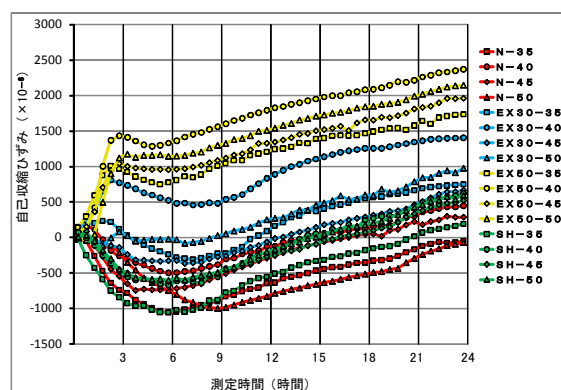


図-14 自己収縮ひずみ (ゲージ補正後)

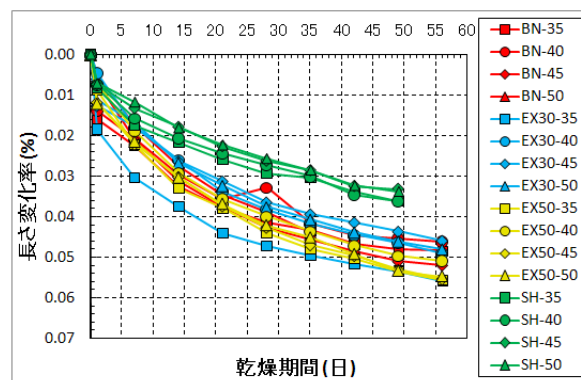


図-15 収縮低減混和材料と長さ変化率の関係

図-14 に、補正後の自己収縮ひずみ量と収縮低減混和材料の関係を示す。横軸は測定時間で、縦軸は自己

収縮におけるひずみ量を示す。0 点より下方の負の数値は乾燥収縮によるひずみを、上方の正の数値は膨張による圧縮ひずみを意味している。蒸気養生の過程で収縮ひずみが増加した配合もあるが、蒸気養生終了(24 時間経過)時には、収縮低減混和材料を添加した配合 (EX50、EX30、SH) の全ての水結合材比において、膨張量が収縮量を補償して、圧縮ひずみが生じたことを確認した。次に、気中養生時の乾燥収縮による長さ変化率のグラフを図-15 に、質量変化率のグラフを図-16 に示す。収縮低減剤を添加した配合は、長さ変化率・質量変化率ともに小さくなる傾向が見られた。また、長さ変化率においては水結合材比が大きいほうが、質量変化率においては水結合材比が小さいほうが、変化率が小さくなる傾向を示した。

これら蒸気養生中の自己収縮ひずみと気中養生中の乾燥収縮ひずみをひとつにまとめて、水結合材比毎に配合と長さ変化率との関係と比較したものを図-17 に示す。横軸は脱型後の初期値測定日を0日とした経過期間を、縦軸は長さ変化率を示す。長さ変化率は、0.00(%)より下方の正の数値は収縮ひずみ、上方の負の数値は膨張による圧縮ひずみを表している。グラフを見ると、全ての水結合材比において、収縮低減混和材料を添加した配合は添加しない配合よりも長さ変化率が小さくなることが確認された。これにより、水結合材比に関わらず収縮低減混和材料を添加することで乾燥収縮によるひずみの影響を低減出来ることを確認した。また、添加した収縮低減混和材料の種類や添加量で比較すると、全ての水結合材比において、膨張材を50 kg/m³添加した配合 (EX50) で長さ変化率が一番小さく、収縮低減剤を用いた配合 (SH) で長さ変化率が一番大きくなった。これは、図-14で示されたように、EX50では蒸気養生時の膨張 (圧縮ひずみ量) が大きく、乾燥収縮によるひずみ量を十分に補償できたためと考えられる。また、SHでは蒸気養生時の膨張 (圧縮ひずみ量) が小さかったためと考えられる。

次に、水結合材比と長さ変化率の関係を確認するため、全てのデータが揃う経過期間49日における各配合毎の長さ変化率を棒グラフで比較した。図-18に示す。いずれの配合においても、水結合材比と長さ変化率の間に相関関係は見られなかった。

なお、乾燥収縮試験は180日を目標としているが、本試験においては未だ56日と途中であることから、今後も経過を観察する必要がある。

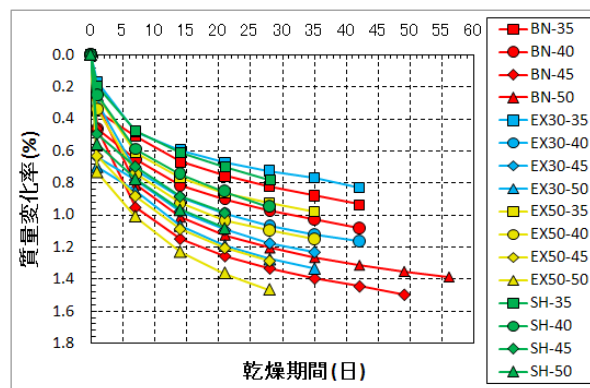


図-16 収縮低減混和材料と質量変化率の関係

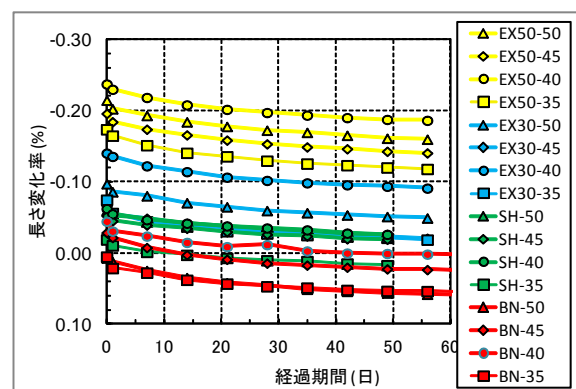


図-17 長さ変化率

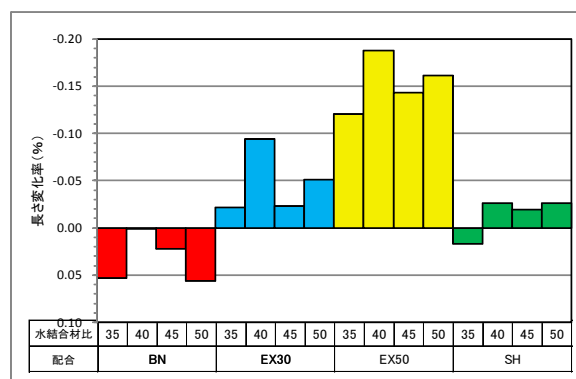


図-18 長さ変化率 (経過日数49日)

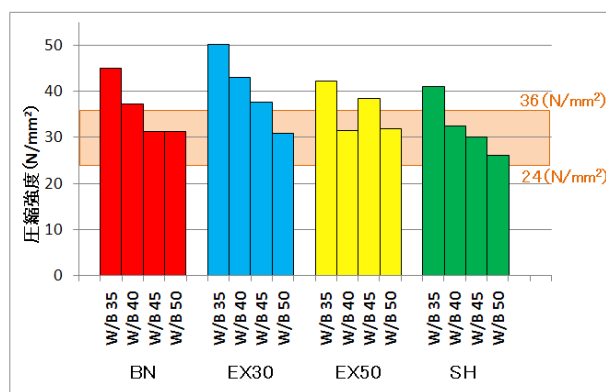


図-19 圧縮強度 (材齢14日)

(2) 圧縮強度試験

大型PCa製品として必要な圧縮強度は、製品によって異なるが、おおよそ24 N/mm²以上である。一方、再生粗骨材Mを用いたコンクリートの呼び強度は36N/mm²までの適用となっていることから、本試験結果について24～36 N/mm²の範囲で適用性を確認した。

製品工場の出荷管理材齢（材齢14日）における圧縮強度と収縮低減混和材料の関係を図-19に示す。まず、水結合材比と圧縮強度の関係をみると、EX50のW/B40でやや低い値があるものの、いずれの配合においても水結合材比と圧縮強度に負の相関関係が見られた。平成23年度の試験でも同様の傾向が示されていることから、再生粗骨材と高炉セメントB種を用いた配合で蒸気養生を行った場合においても、一般的な配合・養生条件と同様に、水結合材比を小さくすることが圧縮強度の増加に有効であることを確認した。

次に、収縮低減混和材料と圧縮強度の関係をみると、EX30、EX50、SHのいずれにおいても、全ての水結合材比で24 N/mm²以上の強度を示したが、36 N/mm²まで強度が確保出来たのは、EX30ではW/B45以下の配合、EX50ではW/B35とW/B45、SHではW/B35の配合となった。また、収縮低減混和材料を添加していないBNとの比較では、EX30のW/B35、40、45の配合と、EX50のW/B45、50の配合でBNの圧縮強度を上回ったが、それ以外の配合ではBNを下回る結果となった。

出荷管理材齢（材齢14日）における圧縮強度と静弾性係数の関係を図-20に示す。全体の分布傾向をみると、再生粗骨材を用いた配合においても、圧縮強度と静弾性係数の間に正の相関関係を確認した。また、普通コンクリートのヤング係数（赤実線）と比較すると、EX50の全ての配合と、EX30のW/B50、SHのW/B40、45、50の配合において静弾性係数が大きくなり、安全側に分布していることが確認出来た。

(3) スケーリング量測定

図-21に、凍結融解作用20サイクル時のスケーリング量と配合の関係を示す。当チームの既往の研究⁸⁾において、水結合材比が大きくなるほどスケーリング量が大きくなる傾向が示されているが、本試験において、再生粗骨材を用いた配合でも同様の傾向になることを確認した。これにより、再生粗骨材に収縮低減混和材料を添加した配合においても、水結合材比を小さくすることがスケーリング量の低減に有効であることが示された。次に、収縮低減混和材料の違いがスケーリングに与える影響を確認するため、収縮低減混和材料を添加しない配合（BN、赤線）とスケーリング量を比較し

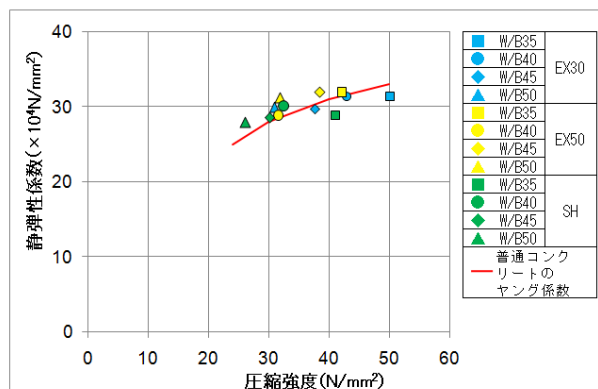


図-20 圧縮強度と静弾性係数の関係

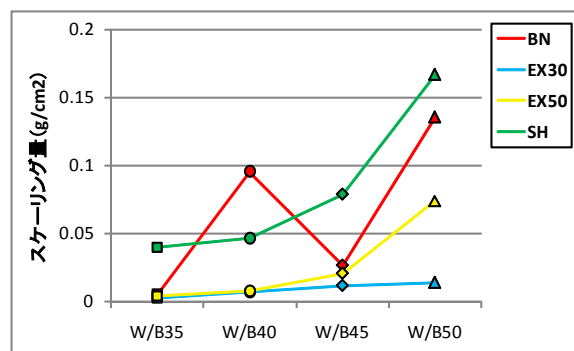


図-21 スケーリング量と配合の関係 (20cyc)

た。膨張材を添加した配合（EX30、青線、EX50、黄線）では、全ての水結合材比においてスケーリング量が小さくなる傾向を示したが、収縮低減剤を添加した配合（SH、緑線）ではスケーリング量が大きくなる傾向が確認された。膨張材を添加することでスケーリング量が改善された理由としては、硬化初期段階に生じた圧縮応力によりコンクリートが緻密化したことや、乾燥収縮ひずみの低減によりひび割れが抑えられたことなどが考えられる。なお、膨張材添加によるスケーリング量の減少や収縮低減剤添加によるスケーリング量の増加については、平成23年度の試験でも同様の傾向が確認されている。

写真-7に、水結合材比40%、凍結融解作用20サイクルにおける供試体表面のスケーリング状況を示す。BNと比較すると、EX30やEX50は明らかにスケーリング量が小さいことが判る。しかしSHは、表面の劣化が激しく、スケーリング量が大きいことが示された。

なお、スケーリング試験は100サイクルを目標としているが、本試験においては未だ20サイクルと途中であることから、今後も経過を観察する必要がある。

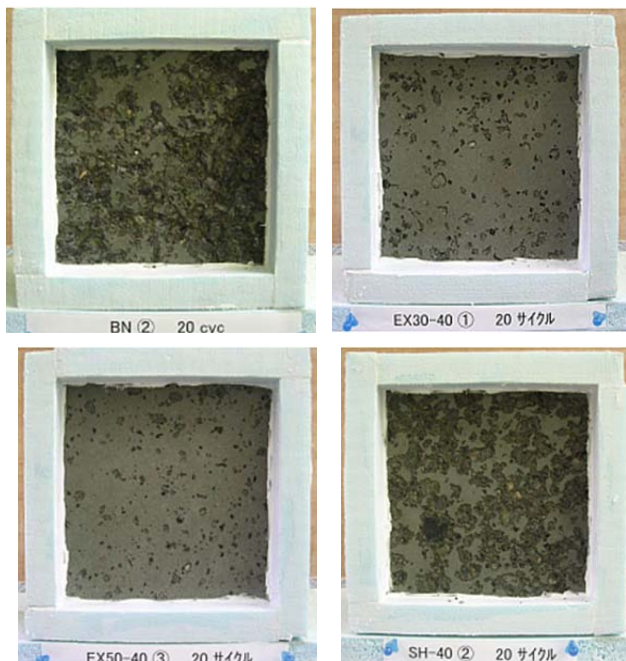


写真-7 スケーリング状況

表-11 現時点における各試験結果の傾向

試験 配合	乾燥収縮 試験	圧縮強度 試験	静弾性係数 測定	スケーリング量 測定
EX30-35	○	○		○
EX30-40	○	○		○
EX30-45	○	○		○
EX30-50	○	△	○	○
EX50-35	○	○	○	○
EX50-40	○	△	○	○
EX50-45	○	○	○	○
EX50-50	○	△	○	
SH-35		○		
SH-40	○	△	○	○
SH-45	○	△	○	
SH-50	○	△	○	

収縮低減混和材料が試験結果に与えた影響について整理するため、測定試験途中の現時点における各試験結果の傾向を表-11に示す。各項目の記号の意味は以下のとおりとする。

乾燥収縮試験では、自己収縮ひずみを考慮した乾燥収縮の長さ変化率について、現時点で乾燥収縮を生じていない配合を「○」とした。

圧縮強度試験では、出荷管理材齢の圧縮強度が36 N/mm²を満足出来る配合を「○」、36 N/mm²は満足しないが24 N/mm²を満足する配合を「△」とした。

静弾性係数測定では、圧縮強度と静弾性係数の関係において、普通コンクリートのヤング係数よりも静弾性が大きい配合を「○」とした。

スケーリング量測定では、スケーリング量が BN の測定値よりも小さくなった配合を「○」とした。

(4) まとめ

(1)再生粗骨材Mコンクリートの適用に当たっては乾燥収縮の影響を考慮する必要があるが、本試験において収縮低減混和材料を添加することにより、乾燥収縮の影響を改善出来ることを確認した。特に膨張材は、圧縮ひずみが収縮ひずみを補償するため効果が高いことが判った。

(2)圧縮強度に関しては、収縮低減混和材料を使用することで圧縮強度が減少するものもあったが、いずれの配合でも24 N/mm²は確保されていたことから、PCa製品の種類に合わせて収縮低減混和材料を選択することにより、効果的に活用出来ると考えられる。

(3)スケーリングについては、膨張材を使用することで、スケーリング量を改善出来ることを確認したが、収縮低減剤を用いると、スケーリング量が増加する傾向がみられた。

(4) これらを総合的に判断すると、再生粗骨材Mを大型PCa製品に適用する場合は、膨張材を適切に使用することで、乾燥収縮やスケーリング対策を行うことが出来ると考えられる。しかし、乾燥収縮試験については目標日数180日のうち56日、スケーリング試験については目標サイクル100のうち20サイクルと、未だ途中経過であることから、今後も測定を続ける必要がある。

参考文献

- 1) 社団法人日本道路協会：鋼道路橋塗装・防食便覧、平成 17 年 12 月
- 2) 下谷裕司, 吉田行, 田口史雄：再生粗骨材の塩化物濃度の簡易測定手法に関する検討, 北海道開発技術研究発表会, 2010
- 3) 通年施工推進協議会：耐寒剤運用マニュアル(案), 平成 17 年 3 月
- 4) 下谷裕司, 吉田行, 田口史雄：再生粗骨材中の塩化物イオンが鉄筋腐食に及ぼす影響と鉄筋腐食の抑制対策に関する検討, 土木学会, 2010
- 5) 社団法人日本道路協会：道路土工 排水工指針, 昭和 62 年 6 月
- 6) 日本コンクリート協会：プレキャストコンクリート製品の設計と利用研究委員会 報告書, 2009. 8
- 7) 土木学会：2007 年制定コンクリート標準示方書 [設計編], 2008. 6
- 8) 遠藤裕丈, 田口史雄, 名和豊春：スケーリング進行性評価に関する研究, コンクリート工学年次論文集 VOL31, 2009

A STUDY ON INCREASING THE USE OF RECYCLED COARSE AGGREGATE FOR PRE-CAST CONCRETE IN COLD SNOWY AREAS

Budget : Grants for operating expenses

General account

Research Period : FY2011-2015

Research Team : Cold-Region Maintenance

Engineering Research Group

(Materials Research Team)

Author : TABATA Kotaro, YOSHIDA Susumu

Abstract : For the purpose of developing an instruction manual (draft) for the precast concrete products using recycled coarse aggregate, research was conducted in FY2012 regarding the subjects mentioned below. This research focuses on the application of medium-quality recycled coarse aggregate to large precast products exposed to conditions that cause frost or salt damage. (1) Drying shrinkage of concrete produced with medium-quality recycled coarse aggregate. (2) Scaling resistance of concrete produced with medium-quality recycled coarse aggregate. (3) Simple and efficient methods for removing salt from the surface of concrete debris taken from disaster-stricken areas so that the debris can be used for recycled coarse aggregate for the production of precast concrete products in snowy cold regions. (4) Mix proportions and curing methods applicable to the production of precast concrete products in cold regions. (5) The effects of using non-standard mid-quality recycled coarse aggregate on scaling resistance and other performance of concrete.

For research subjects (1) and (2) above, a shrinkage-reducing agent was added to concrete produced with medium-quality recycled coarse aggregate, and laboratory tests were conducted at various water-cement ratios towards examining drying shrinkage and scaling resistance. It was determined that the drying shrinkage and scaling of concrete made using medium-quality recycled coarse aggregate could be reduced by adding the shrinkage-reducing agent at a proper water cement ratio.

Regarding subject (3), various work methods that would be suitable for aggregate plants where salt would be removed from the surface of concrete debris were attempted at different water temperatures and discharge rates toward determining the effectiveness of salt removal. It was confirmed that salt was removed from the concrete surface at a certain water discharge rate, irrespective of water temperature. The applicable work methods and the required discharge rate were summarized in an instruction manual (draft).

In research subject (4), on the assumption that steam curing would not be able to be used for precast concrete production due to damage to curing facilities after a disaster, specimens were cured under snow after an anti-freezing admixture was added to them. They were tested for compressive strength. The tests showed that snow-cured concrete differs from conventionally cured concrete in that the former is not as strong as the latter, but it was found that the rate of strength increase does not slow for the former but does slow for the latter.

In subject (5), drying shrinkage and scaling resistance were examined for recycled coarse aggregate that did not meet the JIS with respect to the water absorption. Compressive strength decreased and scaling increased with increases in the water absorption. Similarly, drying shrinkage increased with increases in water absorption.

Keywords : recycled coarse aggregate, anti-freezing admixture, precast concrete, drying shrinkage, scaling