

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：島多昭典、菊田悦二、嶋田久俊、吉田行、
清野昌貴、檜木俊一、川村浩二、中村直久、
高玉波夫、市川清一

【要旨】

本研究は、(1)中品質再生粗骨材の積雪寒冷地での大型プレキャストコンクリート製品（以下 PCa 製品）への適用性 (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 製品への適用性 について検討を行い、資源の有効活用に資することを目的とする。(1)に関しては、再生粗骨材を使用したコンクリート供試体による室内試験を行い、PCa 製品へ適用可能な配合を検討し、その結果を基に再生粗骨材を使用して製作した L 型擁壁を暴露試験場に設置し、耐久性を調査した。(2)に関しては、①積雪寒冷期における大規模災害の発生を想定した雪中養生による品質への温度影響の検討 ②粗砕処理程度の再生粗骨材を使用して(1)と同様に室内試験を行って適用性の高い配合を検討し、有効な配合で製造方法の異なる 2ヶ所の PCa 製品生産工場 で打込み・養生を行った製品・供試体を用いた室内試験を実施、製作した PCa 製品を暴露試験場に設置した。

その結果、(1)では、再生粗骨材を使用した供試体による室内試験において、水結合材比を小さくすること、膨張剤を使用することで PCa 製品への再生粗骨材使用の可能性を確認できた。これを考慮した配合で L 型擁壁を製作し暴露試験場に設置し、耐久性の調査を 2 年にわたり行った結果、コンクリートの劣化は生産されたときから進行していないことを確認した。

(2)では、1 月～2 月の気温約-12～6℃の範囲においては深さ約 0～50cm では外気温の影響で雪中の温度が上下して安定せず平均温度もマイナスとなったが、深さ 100cm（地面部）では 0℃前後で安定することを確認した。また、室内試験から(1)と同様、水結合材比を小さくすること、膨張剤を使用することの効果を確認した。これを考慮した配合で PCa 製品として作製した供試体による室内試験では、2 個所の生産工場とも再生粗骨材を用いても圧縮強度は PCa 製品としての必要強度をほぼ満足することが確認できた。また、凍結融解や塩分の作用への抵抗性は、振動締固め・蒸気養生では、良好な結果が得られたが、振動加圧締固め・気中養生では前述製造方法より低い値が出たため、製造方法に工夫が必要となる結果となった。

また、これまでの試験・調査から得られた知見をもとに、「積雪寒冷地におけるプレキャスト製品への再生粗骨材使用の留意点（案）」を作成した。

キーワード：再生粗骨材、プレキャストコンクリート、振動締固め、蒸気養生、スケーリング

1. はじめに

現在、構造物を解体したコンクリート塊は、破碎処理され、主に道路の路盤用材料として利用されており、その再資源化率は高い水準を保っている（図-1）が、近い将来、コンクリート構造物の老朽化により、コンクリート解体材の発生量が更に急激に増加し、解体材から製造される再生粗骨材が余剰状態になることが懸念される¹⁾ため、再生粗骨材のコンクリート構造物への有効利用が求められている。しかし、コンクリート塊から造られる再生粗骨材は、解体前の構造物の種類（土木か建築か）、構造物の竣工年、立地地域、さらには取り壊し部位によっても、品質が様々であり、その使用には課題がある。

コンクリート構造物用の再生粗骨材は、日本工業規格（以下 JIS と記す）において、H（高品質）・M（中

品質）・L（低品質）の3品質に分類される。このうち再生粗骨材 H は、レディーミクストコンクリートに利用できるが、摩砕処理を複数回行う必要があり、製造コストが高いことや回収率が少ないことが課題となっている。また、再生粗骨材 L は品質の変動が大きいいため、耐久性を要求されないコンクリートなどが対象であり適用範囲が狭い。このため、その中間にあたる再生粗骨材 M の利用促進が期待されている。

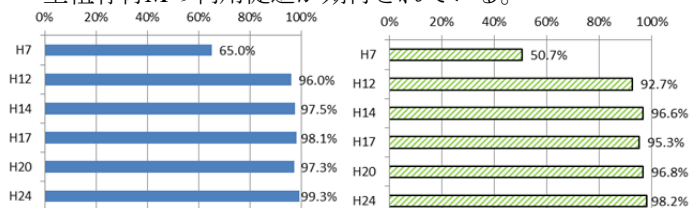


図-1 建設廃棄物の再資源化率（コンクリート塊）
（左：全国²⁾ 右：北海道³⁾）

再生粗骨材Mは、JIS A 5022において、乾燥収縮が少ない部材・部位のコンクリートへ適用可能とされているが、その影響が懸念される比較的大型の鉄筋コンクリートへは適用外である。そこで本研究は、再生粗骨材の有効利用範囲拡大のため、再生粗骨材Mの大型PCa製品への適用を目指し検討を進めており、平成23年度～平成24年度において、膨張材使用と水結合材比を変えた配合で室内試験を行い、その有効性を確認した。その結果を踏まえ、平成25年度に、過年度の研究で求められた最適な膨張材の添加量と水結合材比を用いた配合で、PCa製品工場で大型供試体（L型擁壁）を製作し、増毛暴露試験場に設置した。平成27年度は、平成26年度に続き、供試体の長さ変化、超音波伝播速度について追跡調査を行った。

また、大規模災害等により発生した大量のコンクリート殻は、早期復旧の妨げになるため早い処理が望まれるが、これもまた、コンクリートへの再利用がその解決策の一つとなる。しかし、このコンクリート殻も様々な品質が混在しており、コンクリートに利用可能な再生粗骨材としての品質基準を満足させることは困難である。

そこで、大災害で発生するコンクリート殻もPCa製品への適用可能性を求め、研究を進めている。平成24～26年度は、被災地における不十分な設備環境の中での復興用資材としてのPCa製品の製造を想定し、低温環境下で耐寒剤を用いた配合での養生の影響を検証した。その結果、外気温が-5°C程度までの雪中では、温度を概ね0°Cに保つことができ、コンクリート強度を満足出来ることが確認された。平成27年度は、平成26年度の結果を踏まえ、厳冬期における雪中埋設深さと温度の関係について比較検証を行ったので、その結果について報告する

また、平成27年度は、大災害時の再生粗骨材の製造に鑑み、粗砕程度の再生粗骨材を使用したコンクリートにおいて、製造方法の異なる2ヶ所のPCa製品工場で小型のPCa製品や室内試験用供試体を作製し、水結合材比を変えた配合や、膨張材を使用した配合で、圧縮強度や乾燥収縮、凍結融解試験、凍結融解と塩分作用による表面剥離の抵抗性について試験を行った。

2. 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研究

2.1 暴露試験等による中品質再生粗骨材を使用した大型PCa製品の製造・施工時の課題と対策に関する検討

2.1.1 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、凍結融解と塩分的作用による劣化の影響を考慮する必要がある。

本研究では、平成24年度までの研究成果において、乾燥収縮量の低減を目的として膨張材を添加した配合での圧縮強度や凍結融解と塩分作用による影響（スケールリング）について検証し、再生粗骨材Mを大型PCa製品に適用拡大するための最適な膨張材の添加量と水結合材比を明らかにした。平成25年度には、共同研究先である（一社）全国コンクリート製品協会の協力の下、PCa製品工場で暴露試験用のL型擁壁大型供試体（H=2.0m, W=1.5m, L=2.0m 主鉄筋径D16, かぶり4.5cm）を製造（図-2）し、増毛町にある暴露試験場に設置した（写真-1、2）。

平成26、27年度は、設置したL型擁壁について、飛来塩分及び凍結融解環境下での供試体の長さ変化と劣化状況を評価する目的で、長さ測定と超音波伝播速度測定を現地で行った。その結果と考察についてここに報告する。

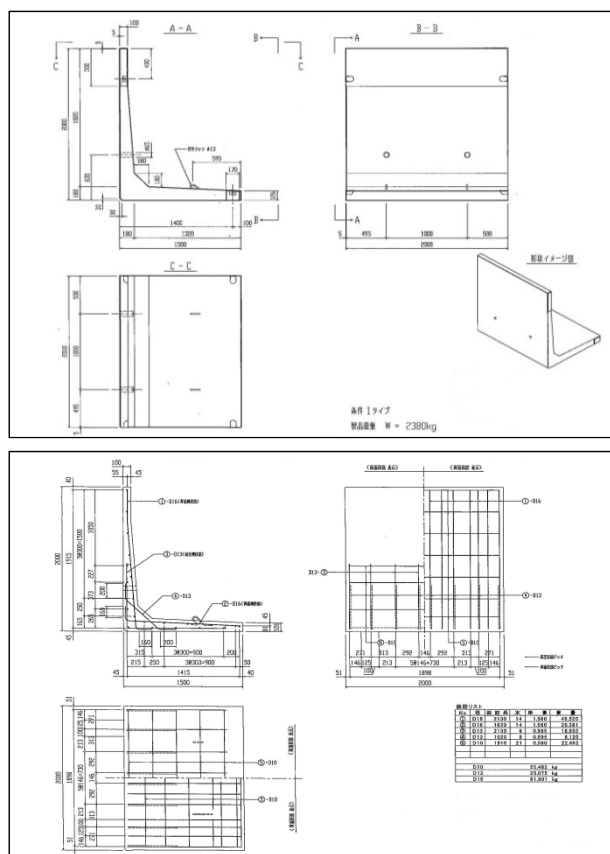


図-2 L型擁壁（上：構造図 下：配筋図）



写真-1 増毛暴露試験場



写真-2 L型擁壁設置状況

2.1.2 使用材料

使用したセメントは、既往の研究⁴⁵⁾により再生粗骨材に含まれる可能性がある塩化物イオンの拡散抵抗性に優れ、アルカリンシリカ反応に対しても有利な高炉セメントB種（密度 3.05g/cm^3 ，比表面積 $3,760\text{cm}^2/\text{g}$ ）を使用した。また、細骨材は苫小牧市錦多峰産の陸砂（表乾密度 2.69，吸水率 1.55%，粗粒率 2.74）とした。粗骨材は、東日本大震災で発生したコンクリート殻をリサイクルして造られた再生粗骨材M（表乾密度 2.52，絶乾密度 2.42，吸水率 4.27%）を使用した。膨張材は既往の研究から効果の大きかった石灰系のものを用い、混和剤は、減水剤とAE剤を用いた。

2.1.3 コンクリートの配合

膨張材の添加量は既往の研究結果より 30kg/m^3 のセメント置換とした。なお、乾燥収縮によるひび割れなどの特性を把握するために、膨張材を添加した配合としない配合の2区分とした。水結合材比は、40%と50%の2水準とし、それぞれを組み合わせて4種類の大型供試体を製造した。目標空気量は $5.0\pm 1.5\%$ とし、AE剤の添加量にて調整した。目標スランプは、室内試験時は $8.0\pm 2.5\text{cm}$ としていたが、製品工場においてPCa製品

の製造を想定すると固めであり、流動性が懸念された。このため、ワーカビリティの確保を目的として目標スランプは $15.0\pm 2.5\text{cm}$ とし、減水剤の添加量と細骨材率の増減により調整した。

配合は、PCa 製品工場で試験練りを行い、表-1 のように決定した。なお、表中試験体名の記号 N は再生粗骨材のみ使用の供試体を、EX30 は膨張材使用、後方の数値（40or50）は、水結合材比を示している。

表-1 コンクリート配合

試験体名	W/B (%)	細骨材率 (%)	単 位 量					膨張材 (kg/m^3)	減水剤 (kg/m^3)
			水 (kg/m^3)	セメント (kg/m^3)	細骨材 (kg/m^3)	再生粗骨材 (kg/m^3)			
N40	40.0	47.0	154	385	847	895	0	3.27	
EX30-40	40.0	47.0	154	355	847	895	30	3.27	
N50	50.0	50.0	150	300	944	885	0	3.00	
EX30-50	50.0	50.0	150	270	944	882	30	3.00	

2.1.4 試験方法

(1)長さ変化

図-3に示すL型擁壁上方2箇所乾燥収縮等の影響把握のため長さ測定を行った。測定面は海側である。長さ測定はコンタクトゲージを用いて、平成26年および平成27年の6月と11月に行った。なお、L型擁壁の設置は平成25年11月28日であり、約半年ごとの測定となる。

(2)超音波伝播速度（透過法）

図-3に示す、L型擁壁上段、中段、下段各5箇所にて、コンクリートにおける劣化進行度合いを計るため、透過法による超音波伝搬速度を測定した（写真-3）。測定は平成25年12月から約半年おき、2年間の測定である。

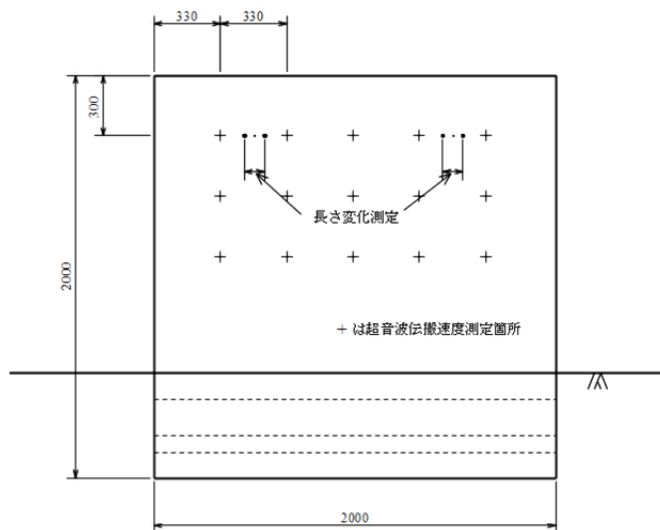


図-3 測定箇所



写真-3 超音波伝播速度測定状況

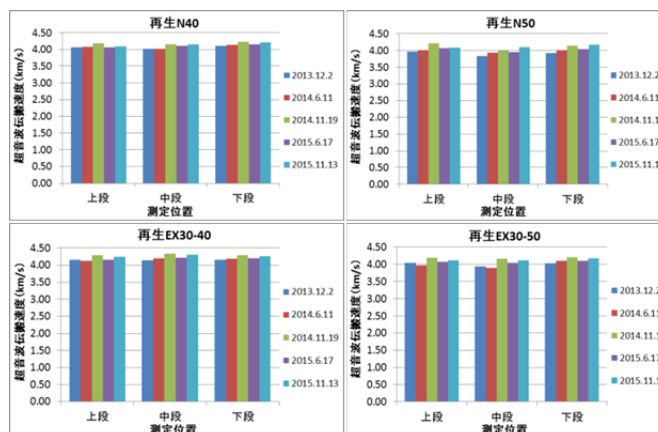


図-5 超音波伝播速度

2.1.5 試験結果と考察

(1)長さ変化

図-4に長さ変化(ひずみ)について示す。水セメント比50%の膨張材なしの配合(N50)の左側を除き、平成26年6月から平成27年11月の約1年半(520日)で値は低下しているが、その差は膨張剤使用の水結合材比40%で最大の -300×10^{-6} 程度と小さく、今のところは収縮の影響は少ないと考えている。また、そのほとんどで6月(経過日数0日と371日)の測定値が11月(経過日数161日と520日)の測定値よりも大きいのは、夏と冬の外気温差によるもので、暖かい時期には膨張し、寒い時期に収縮した影響と考えている。

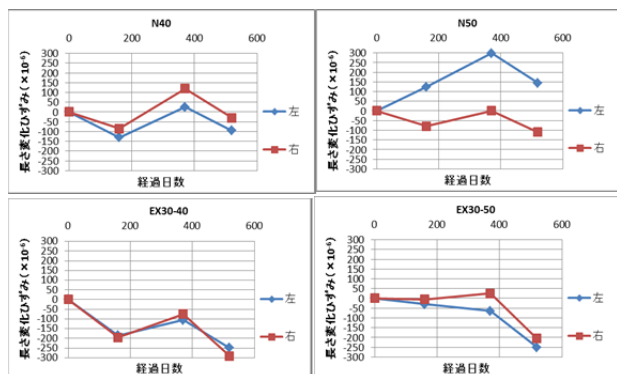


図-4 長さ変化(ひずみ)

(2)超音波伝播速度

図-5に超音波伝播速度の推移について示す。なお、グラフは各段測定5箇所(平均値)を示している。どの配合も低下傾向は見受けられず、2年経過時点ではコンクリート内部のひび割れ等の変状はないと判断することが出来る。

また、外観上もひび割れや表面劣化の傾向は認められなかった。

2.1.6 まとめ

積雪寒冷および海岸環境下に晒した約2年経過後のL型擁壁の長さ変化と超音波伝播速度の測定結果から、収縮の影響やひび割れなどの劣化進行はないと推察される。しかし、まだ2年経過での測定結果であることから、今後も経過観察を行い、再生粗骨材を使用して作製した大型PCa製品の積雪寒冷地での耐久性について評価していく予定である。

3. 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

3.1 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

3.1.1 研究概要

大規模災害の被災地では、生コンクリートや骨材などが不足し、早期復旧に影響することがある。また、PCa製品工場が被災して復旧用資材の製造に支障をきたす場合も考えられる。本研究は、早期復旧・復興に寄与することを目的として、積雪寒冷期の大規模災害によりPCa製品工場で通常行われる蒸気養生が出来なくなった場合を想定し、低温環境下での養生について検討を行い、簡易な養生で発生したコンクリート殻を原材料とした再生粗骨材を利用したPCa製品を復旧用資材として供給することを目指した。

平成24~26年度は、再生粗骨材Mに耐寒剤を用いた配合で -5°C 養生、雪中養生及び標準養生を行い、積算温度と圧縮強度の関係を比較検証した。その結果、 -5°C の環境下での養生ではPCa製品としての必要強度は得られないものの、外気温が約 $-5 \sim -10^{\circ}\text{C}$ において雪中養生を行った供試体では、養生期間を長くすることで必要強度を得ることが出来ることを確認した。

平成27年度は、厳冬期（1月・2月）の雪中深さごとの温度を測定し、外気温が最低で-12℃と比較的低い場合の雪中における深さと温度との相関関係を把握することで、雪中養生時における適切な埋設深さの検討を行った。

3.1.2 測定手法

測定深さは、図-6のように雪表面からh=0, 10, 25, 50, 100cmとし、各深さにエポキシ樹脂により先端をコーティングした熱電対を1本、同じく先端をハンダでコーティングした熱電対を1本設置した。これは、先端処理によるデータのバラツキの程度を観察するためである。なお、h=0cmでは供試体上面が薄く雪に覆われた状態とした。h=100cmでは地温の影響も考慮し、地面に設置させることとした。

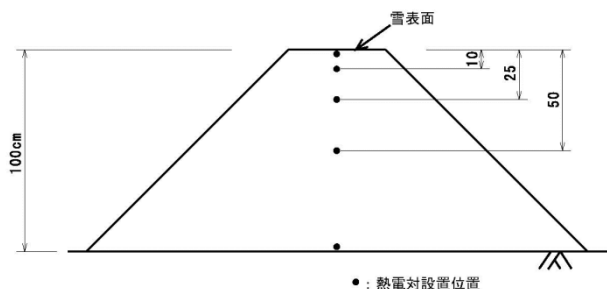


図-6 雪中温度測定位置

3.1.3 測定結果と考察

表-2は、供試体埋設雪中深さごとと外気温の平均・最高・最低温度である。雪中部の温度は供試体上面で測定したものである。なお、平成27年に測定した温度も記載した。平成27年の測定期間中（2/16～3/16）の最低気温は約-5℃、最高気温は11℃であったのに対し、平成28年（1/16～2/12）は、最低気温が約-12℃、最高気温は6℃であり、平成28年の測定時期の方が平均的に気温は低かった。平均温度は、平成27年では深さ10～100cmで約1.1～1.4℃で標準偏差が大きくても0.4とバラツキが少なく雪中温度は安定していたが、平成28年では深さ10cmで-3.0℃・標準偏差1.32、25cmで-2.3℃・標準偏差1.23、50cmで-1.6℃・標準偏差0.92、100cmで0.67℃・標準偏差0.48と平成27年と比較して、温度はマイナスで低く、不安定な結果となった。また、深くなるほど平均温度は高く、標準偏差が小さくなり、安定した温度になっている。これは、平成27年より28年の方が外気温が低かったほか、雪山について、平成28年は、計測位置から側方斜面部までの距離が平成27年より小さかったことも影響していると考えられる。このことから、コンクリートの雪中養生を行う場合は、雪

中温度が外気温に影響されず約0℃で安定するように深さや、側方部への雪厚さに留意が必要になると考えられる。

また、平成27年と28年の深さ100cmで比較すると、どちらも同等の値を示している。平成27年における温度の計測位置は地面に近かったが接地はしていない。外気温も平成27年と28年で違い、両者の温度は0度付近で安定していたが、今回の測定ではそれが地熱によるものか判断できなかった。

また、熱電対の先端処理の違いによる測定温度のバラツキは今回の試験では確認できなかった。

表-2 平均・最高・最低温度と平均温度の標準偏差

測定年	測定項目	雪表面から熱電対設置位置までの距離 h (cm)					外気温
		0	10	25	50	100	
平成27年 2/16～3/16	平均温度	1.33	1.14	1.22	1.12	1.41	2.22
	最高温度	8.7	4.8	4.0	2.2	3.6	11.0
	最低温度	-3.4	-0.1	-0.3	0.4	-1.0	-4.8
	平均温度の標準偏差	1.20	0.36	0.36	0.21	0.41	2.18
平成28年 1/16～2/12	平均温度	-3.40	-2.99	-2.25	-1.39	0.67	-3.21
	最高温度	0.3	0.7	1.6	1.6	2.4	6.0
	最低温度	-10.3	-6.9	-5.0	-3.7	-0.9	-12.1
	平均温度の標準偏差	1.70	1.32	1.23	0.92	0.48	2.93

3.2 中品質基準外の再生粗骨材を積雪寒冷地コンクリートに適用するための対策および適用PCa製品の検討

3.2.1 研究概要

前述の通り、大規模災害等で発生したコンクリート殻は早期復旧の妨げになり、早急な処理が必要である。コンクリートへの再利用は、有効活用の一つと考えられるが、このようなコンクリート殻は、様々な品質が混在するため、被災コンクリート殻から作製される再生粗骨材は、コンクリートに使用可能な再生粗骨材としての品質基準を満足させることは困難である。しかし、これらのコンクリート殻を可能な限り有効活用することが被災地での早期復旧に寄与できると考えられる。そして、その有効活用先として、有望なのが、復旧復興に必要な不可欠となる道路資材である。

被災コンクリートでなくても、中間処理施設に運び込まれるコンクリート殻は、ビル廃材や土木廃材など様々な構造物から生成されるため、それから作製される再生粗骨材も様々な品質が存在し、低品質骨材の混在も懸念される。

再生骨材は、解体材のコンクリート塊をジョークラッシャー、インパクトクラッシャー等で粗砕処理されたものが主に再生路盤材として使用されているが、

コンクリートに使用されているものはごくわずかである。その理由は上述の通りである。

そこで、本研究は、一般的な再生路盤材に利用される粗砕程度の再生粗骨材を、復旧・復興時の需要も大きいI型縁石やU型側溝に使用するため、共同研究先である(一社)全国コンクリート製品協会の協力の下、それぞれの製品工場で試作した。また、同製法により水結合材比を変えた配合、および、再生粗骨材Mの室内試験からその有効性が期待できる膨張材を使用した配合にて供試体を作製し、圧縮強度や乾燥収縮、凍結融解、凍結融解と塩分の複合作用による影響について比較し、実際の工場における小型PCa製品製作の課題等について検討を行った。

3.2.2 I型縁石の製造・試験

(1) 製造方法

I型縁石の製造は、通称バイコンと呼ばれる振動加圧締固め、即日脱型、気中養生(約20°Cの室内で14日間保存)によって実施した。本方法は、コンクリート中の骨材容積が多くなるように骨材の粒度を調整し、超固練りコンクリートを頑丈な型枠に投入して、強力な振動を与えながら加圧圧縮成形する製法であり、1個の型枠で多くの製品が製作可能である。写真-4に振動加圧締固め機械の一部を示す。

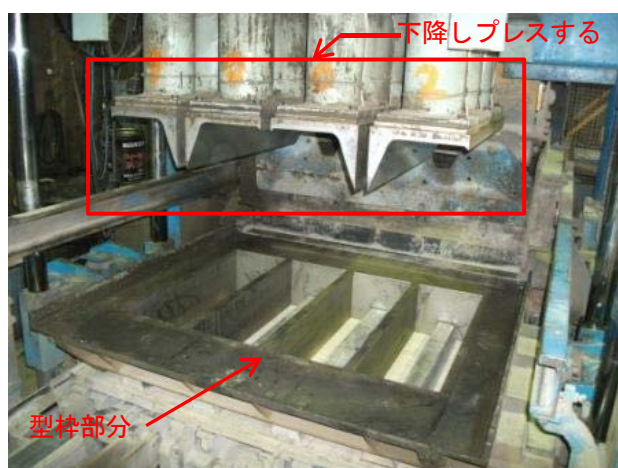


写真-4 振動加圧締固め機械 (バイコン)

(2) 使用材料と配合

表-3は、北海道石狩市の中間処理場から今回の研究用に納入した路盤用再生骨材(40-0mm)のふるい分け後の粒度別の密度・吸水率である。コンクリート用骨材の区分では細骨材に該当する5-0mmでは、コンクリートの品質に影響を及ぼすとされる吸水率は、8.81%と高いが、それより大きな粗骨材相当の粒径では、4.56

~4.87%と比較的低く、粒径が大きくなるほど吸水率は低くなる。路盤用再生骨材は過去の調査⁹⁾で吸水率の平均は約6.5%であり、これはJIS規格値によるとコンクリート用として使用する場合は、再生粗骨材L相当となり、高い強度・耐久性が要求されない部材にしか使用できない(表-4参照)。しかし、PCa製品用に使用される粗骨材は、一般的に20-5mmであり、本結果から、路盤用の再生骨材を分級することにより、吸水率の高い細粒分が除去されて、PCa製品の使用部分となる粗骨材は吸水率が低くなり、JIS規格の上でも使用可能となる可能性があると考えている。

表-5に使用材料表を示す。粗骨材は、比較検討用として、本PCa製品工場で通常使用している北海道白老産の普通砕石を用いた。細骨材は、再生粗骨材の配合・普通砕石の配合とも工場で使用している北海道登別産の陸砂を使用した。

セメントは、前述の通り、再生骨材の使用を考慮して高炉セメントB種を使用した。また、過年度研究結果から凍結融解と塩分作用に対する表面剥離抑制や乾燥収縮抑制効果が期待できる石灰系膨張材を加えた配合でも試験を行った。このほか、混和剤には減水剤(ナフタレンスルホン酸系化合物)とAE剤(樹脂酸塩系)を用いた。

コンクリートの配合を表-6に示す。フレッシュコンクリートの性状は、通常スランプと空気量で確認するが、今回は、バイコン製作用のコンクリートで水結合材比が小さく、比較的固練りのコンクリートとなるため、コンシステンシー試験と空気量の性状試験により確認した。

コンシステンシー試験とは、練り上がったコンクリートを試験容器に投入・転圧し、振動を30秒間与えた後に、振動前から振動後の表面の沈下量を計測することにより、練ったコンクリートの流動性を確認するものである(写真-5参照)。

それぞれの目標値は、コンシステンシー試験がPCa製品工場の経験から 8 ± 3 cm、空気量は北海道開発局の縁石の品質管理規定値を参照し、 $2.5 \pm 1.0\%$ とした。なお、再生粗骨材は、旧モルタル分の影響(写真-6)で、前述の通り天然骨材よりも吸水率が高い、つまり空隙が多く、その影響によりフレッシュコンクリートの空気量の計測値が実際より大きくなることが懸念されたため、再生粗骨材の骨材修正係数を測定(結果1.2%)し、計測した空気量からこれを減じた値を用いることとした。

表-3 再生骨材（路盤用）の粒度別品質

粒 径	表乾密度 (g/cm ³)	絶乾密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)
20-40mm	2.39	2.29	4.56
15-20mm	2.42	2.31	4.76
5-15mm	2.43	2.31	4.87
0-5mm	2.37	2.17	8.81

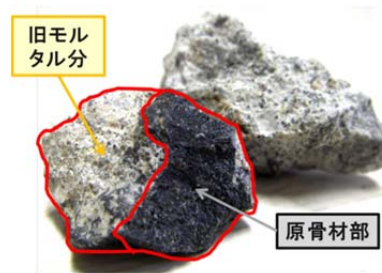


写真-6 再生粗骨材

表-4 再生粗骨材の吸水率（JIS規格）

再生粗骨材種類	JIS規格番号	品質基準	吸水率の規格値	備 考
再生粗骨材H	JIS A 5021	高品質	3.0%以下	全ての生コンクリートに使用可
再生粗骨材M	JIS A 5022	中品質	5.0%以下	乾燥収縮を受けにくい部材に使用可
再生粗骨材L	JIS A 5023	低品質	7.0%以下	高い強度・耐久性が要求されない部材に使用可

表-5 使用材料表

種 別	使 用 材 料
セメント	高炉セメントB種（密度3.05g/cm ³ 、比表面積3,760cm ² /g）
粗骨材	石狩産再生粗骨材（表乾密度2.43g/cm ³ 、吸水率4.87%、最大粒径15mm）
	白老敷生川産砕石（表乾密度2.64g/cm ³ 、吸水率1.36%、最大粒径15mm）
細骨材	登別産陸砂（表乾密度2.66g/cm ³ 、吸水率1.36%、粗粒率2.65）
混和剤	減水剤 ナフタレンスルホン酸系化合物
	AE剤 樹脂酸塩系
膨張材	主成分：酸化カルシウム（膨張性CaO） セメント置換 30kg/m ³

表-6 配合表

産 地	配合名	水結合材比 (%)	細骨材率 s/a (%)	水 W (kg/m ³)	セメント C (kg/m ³)	膨張材 (kg/m ³)	細骨材 S (kg/m ³)	粗骨材 G (kg/m ³)	コンスタンシー (実測値) (cm)	空気量 (実測値) (%)
再生粗骨材 (石狩産)	再生粗骨材	40	50.0	120	300	—	1008	919	10.0	2.2
		30	47.0	120	400	—	904	933	8.6	3.0
	再生粗骨材 膨張材あり	40	50.0	120	270	30	1005	919	9.5	2.2
		30	47.0	120	370	30	904	933	9.9	2.5
普通砕石 (白老産)	普通砕石	40	47.0	112	280	—	963	1,080	10.1	1.7
		30	45.0	112	373	—	886	1,077	10.2	1.8



写真-5 コンシステンシー試験
(円柱容器が台とともに振動する)

(3) 試験方法

1) 圧縮強度試験

JIS A 1108 に準拠して圧縮強度試験を行った。試験は、製作した I 型縁石からコアカッターによりコア抜きし、φ10×20cm に整形した円柱供試体を用いて実施した。試験は、気中養生（7 日）後、コア抜きに 3 日間を要し、その後 3 日間気中保管し、その翌日の材齢 14 日目と材齢 28 日に測定した。

2) 曲げ強度試験

JIS A 5371 附属書 2 に準拠して I 型縁石の曲げ試験を行った。曲げ強度荷重を I 型縁石の上面中央にかけ、スパンは 520mm とした。試験は材齢 14 日で実施した。試験状況を写真-7 に示す。

3) 乾燥収縮試験

JIS A 1129-1（コンパレータ法）に準拠して乾燥収縮試験を行った。供試体は、図-7 のように圧縮試験同様に製作した I 型縁石から切り出した 10×10×40cm の角柱供試体とし、計測用ガラス板を接着して長さを測定した。試験は圧縮試験と同様、気中養生（7 日）後、切り出し、気中保管を経て、材齢 14 日目から開始して最大約 6 ヶ月（180 日）測定することとした。写真-8 に測定状況を示す。

4) 凍結融解試験

JIS A 1148 に準拠して水中凍結融解試験（A 法）を行った。供試体は、乾燥収縮試験同様、製作した I 型縁石を切り出した 10×10×40cm の角柱を使用した。凍結融解の 1 サイクルは、5℃から-18℃に下がり、また、-18℃から 5℃に上がるものとし、1 サイクルに要する時間は 3～4 時間とした。これを 300 サイクル繰り返し、相対動弾性係数を測定して凍結融解に対する抵抗性を確認した。試験は、他試験同様、気中養生（7 日）、切り出し、気中保管を経て材齢 14 日目から開始した。

5) スケーリング試験

ASTM C 672⁷⁾ に準拠し、凍結融解と塩分作用による影響を確認するため、スケーリング試験を行った。

供試体は I 型縁石を切り出した供試体（高さ中心で L・W=22cm、上面 L=22cm・W=20cm、h=10cm）とした（図-8 参照）。測定面は、縁石上面（モルタルでコーティングしている）とし、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。また、測定面には塩水を張るための土手を取り付けた。その後、供試体の表面に塩水（NaCl 濃度 3%）を張り、凍結融解試験室で-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ながら、100 日目まで測定を行った。測定項目はスケーリング量とスケーリング深さである。スケーリング量は、測定時に試験面を洗い流した表面剥離片の質量である。また、スケーリング深さは、試験面における表面からの最大深さである。試験の開始は、他試験と同様に材齢 14 日目からとした。



写真-7 曲げ強度試験状況

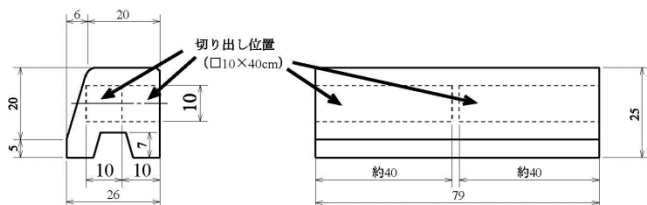


図-7 乾燥収縮・凍結融解試験用供試体作製

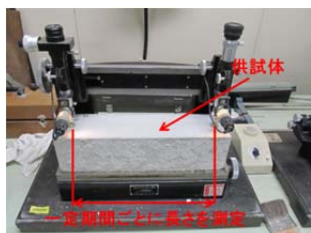


写真-8 乾燥収縮試験状況
(長さ測定)

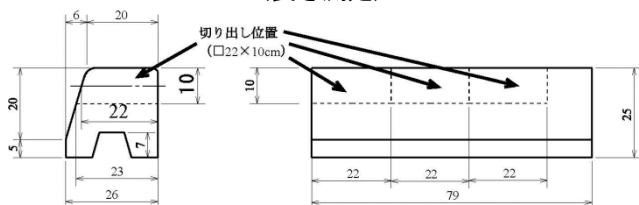


図-8 スケーリング試験用供試体作製

(4) 室内試験結果

1) 圧縮強度試験

圧縮強度の試験結果を図-9に示す。

JIS A 5371「プレキャスト無筋コンクリート製品」附属書 2 において、境界ブロックの圧縮強度は 24N/mm² 以上である。一般的な出荷材齢である 14 日において、水結合材比 30%の配合は、全てにおいてこれを大きく上回ったものの、40%の配合はこれを若干下回った。本工場では、実際の普通砕石使用における I 型縁石製作時の水結合材比は 30 数%とのことであり、今回の 40%配合は通常より厳しい条件で試験していたこと、また、今回の配合では高炉 B 種セメントを用いたが、通常は初期強度がこれよりも大きくなる普通ポルトランドセメントを使用していることに留意する必要がある。

普通砕石と再生粗骨材の配合を比較すると、水結合材比 40%の配合では、再生粗骨材のみおよび再生粗骨材に膨張材を加えた配合の方が材齢 14 日、28 日とも若干大きくなった。水結合材比 30%では、普通砕石より再生粗骨材のみの配合が小さく、再生粗骨材+膨張材の配合は普通砕石より大きくなった。また、膨張材有りの方が再生粗骨材のみよりもどちらの水結合材比でも大きくなる傾向であった。なお、過年度の研究結果から添加量を多くすると圧縮強度が小さくなることも確認されているため、添加量の決定には留意が必要である。

これらの結果から、再生粗骨材を用いて振動加圧締固めと気中養生により製作した I 型縁石では、ASR や塩分作用への抵抗性を考慮して高炉 B 種セメントを用いる場合は、水結合材比が 40%では規定強度に達していない場合もあり、再生粗骨材を使用する場合は、水結合材比や添加量に注意しながら膨張材を使用するなどの工夫が必要であることが示唆された。

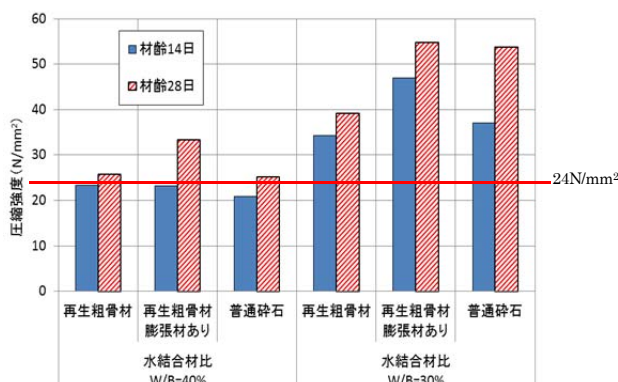


図-9 圧縮強度試験結果 (バイコン)

2) 曲げ強度試験

図-10に曲げ試験の結果を示す。試験は、同日に同製法で作成したI型縁石1個を用いて行ったが、北海道開発局「道路・河川工事仕様書」の合格値、破壊してはならない曲げ強度荷重45kNを満足したのは、配合に関わらず水結合材比30%の場合のみであった。圧縮強度の章で述べたとおり、実際の普通砕石使用におけるI型縁石製作時の水結合材比は30数%であり、40%の配合は通常より厳しい条件であることや高炉B種セメントの使用が原因と考えられる。また、再生粗骨材のみが他配合より小さく、膨張材使用の配合は普通骨材使用配合と同程度であるため、膨張材使用の効果があると判断できる。

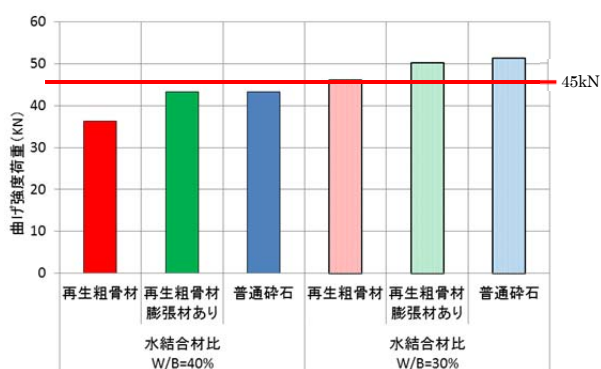


図-10 曲げ強度試験結果 (材齢14日)

3) 乾燥収縮試験

図-11に147日までの乾燥収縮試験(長さ変化率)の結果を示す。同配合において、水結合材比は小さい方が収縮が小さい。また、膨張材あり水結合材比30%以外の再生粗骨材使用配合は、普通砕石使用よりも大きい結果となった。膨張材ありでは、再生粗骨材のみの配合よりも小さくなっている。このことから、今回の試験においても、既往研究⁸⁾と同様、水結合材比を下げ、膨張材を使用することで、乾燥収縮の影響を抑制できることが示唆された。

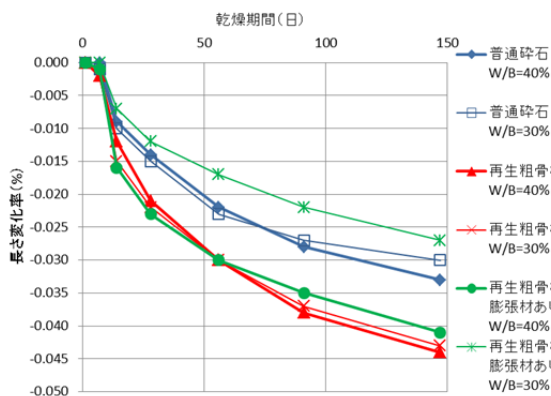


図-11 乾燥収縮試験結果 (長さ変化率)

4) 凍結融解試験

図-12に凍結融解試験における相対動弾性係数の測定結果を示す。水結合材比が小さい方が、相対動弾性係数の低下は小さくなったが、300サイクル時の相対動弾性係数は、コンクリート標準示方書⁹⁾に記述されている凍結融解がしばしば繰り返される場合の閾値70%に着目すると、普通砕石の水結合材比30%の配合で閾値に近かったほかは、この閾値を大きく下回った。これは、普通ポルトランドセメントより初期強度が出にくい高炉B種セメントを用いたこと、供試体を切り出しにより作製したことや、後述するように、制作したI型縁石は空隙が高かったことに起因すると推察される。

凍結融解用およびスケーリング用の供試体は、コンクリートカッターで切断する際に切断をスムーズに行うために水を使用していたが、切り出した供試体を乾燥するために保管していた際、表面が乾いた時点で底面を観察すると、底面部分は湿ったままだった。そこで、底面部分を乾燥するため、供試体を裏返して保管したところ、今度は底面となっていたこれまで乾燥していた面が濡れるという事象が起こった。つまり、供試体中の水が容易に供試体内を移動していたということになり、このことから、供試体にはかなりの空隙が存在することが覗えた。凍結融解試験時には、この空隙に水が浸透し、供試体内部で凍結融解による空隙部の膨張・収縮が繰り返されて、早期に劣化が進行したと推察される。

このことから、再生粗骨材を用いて振動加圧締め、即脱気中養生を行う場合は、凍結融解には十分注意する必要がある、凍害が懸念される地域で本製法により製作したI型縁石を使用する場合は、空隙を少なくし密実差を確保するためにコンクリートの投入量を増やすなどの製造方法の見直しや、養生方法の工夫、最適な水結合材比を調査するなど、再検討する必要があると考えられる。

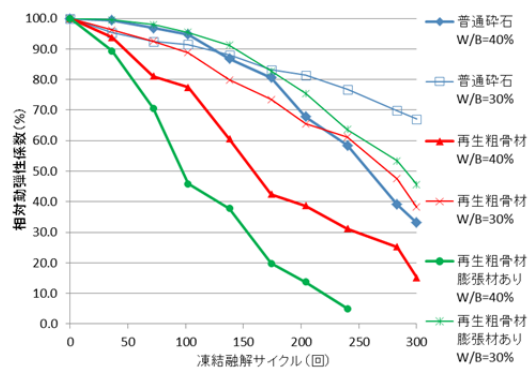


図-12 凍結融解試験結果 (相対動弾性係数)

5) スケーリング試験

図-13に100サイクルまでのスケーリング量測定結果を示す。再生粗骨材のみの配合以外では、水結合材比が小さい方のスケーリング量が大きくなり、想定していた結果と逆となった。また、膨張材ありなしも、水結合材比の大小で結果が逆となった。また、普通砕石と再生粗骨材との比較でも明確な相関がない。しかし、100サイクルから125サイクルまでの間に、水結合材比40%の膨張材あり再生粗骨材の配合で2個、125サイクルから150サイクルの間に水結合材比40%の再生粗骨材のみ配合で2個、同結合材比膨張材ありの配合で1個、試験面以外で亀裂・損傷が発生した(写真-9参照)

そこで、試験内容について精査することとした。今回の試験は、I型縁石を切り出して供試体を作製し、乾燥状態から試験を開始した。その後、塩水を湛水したが、何サイクルか後に表面の水が少なくなっていた。このとき、試験面以外からの漏水はなかった。このため、塩水を継ぎ足して試験を続行したところ、この状態が続いていたが、あるサイクルを境に、湛水が減少しなくなった。しかし、数サイクル後には再び表面の湛水が減少しはじめたため、はじめと同様に塩水を継ぎ足しながら試験を続行した。これらは、どの配合も多少の時間差はあるものの、同じような傾向を示した。そして、前述した配合において亀裂・損傷が生じたため、この供試体の試験は中止した。

4) 凍結融解試験の項で記述したとおり、本供試体は高い空隙率であったと推察される。試験開始後に湛水した塩水は、この空隙に浸透したと考えられる。そして、塩水を継ぎ足して試験を継続したが、あるサイクルで供試体内部の水が飽和し、表面水が減少しなくなったが、凍結融解サイクルを進めるうちに、供試体の応力上における弱点部の凍結融解作用により、エポキシによりコーティングした5面のいずれからか微細なひびが入り、そこから漏水していたため、表面水が再び減少したと推察される。その部分の凍結融解が進行し、凍結膨張現象が顕れ大きな亀裂・損傷となって表面化したのが、水結合材比40%における再生粗骨材の配合であったと考えている。また、この現象と図-12の凍結融解試験結果の水結合材比40%における再生粗骨材のみ・膨張材ありの試験結果(相対動弾性係数が極めて低い)と一致すると考えられる。

これらの結果および考察から、今回のスケーリング試験の結果を、凍結融解と塩分の複合作用による表面剥離への抵抗性と結びつけるのは難しい。しかし、逆に考えると、空隙が多いことにより、融解時の水の逃

げ道が作られるとも考えられ、今回のように空隙の多いであろう供試体において、本試験を行う場合に、水分の逸散を防ぐためのコーティングが必要かどうかなど、試験手法を工夫して評価する必要があると考えている。

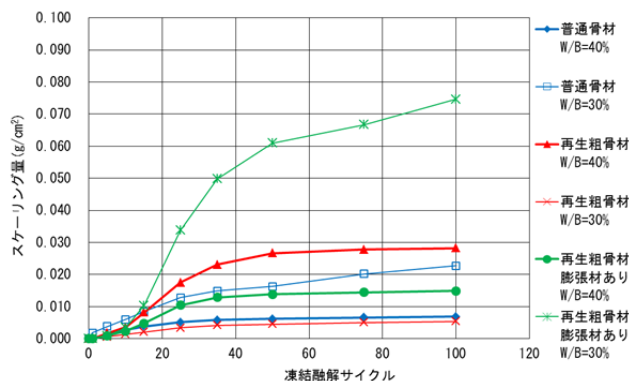


図-13 スケーリング試験結果
(スケーリング量)

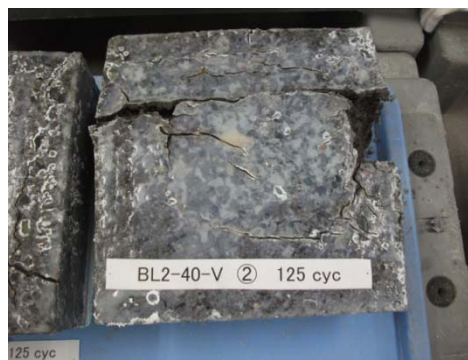


写真-9 スケーリング供試体損傷状況
(水結合材比40%、再生粗骨材のみ)
(底面を撮影)

(5) 暴露試験

実際の長期耐久性を評価するために、今回の6配合により制作したI型縁石を2章で記述した増毛暴露試験場に設置した。今後は外観観察、長さ変化、超音波伝搬速度を継続的に測定して、耐久性の評価を行っていきたいと考えている。

(6) まとめ

振動加圧締固め、即日脱型、気中養生によるI型縁石を製造した場合の室内試験結果のまとめを記す。

1) 高炉B種セメントを使用し、水結合材比を40%とした配合では、材齢14日で普通砕石、再生粗骨材使用に関わらず必要強度にわずかに満たないが、材齢28日の全ての配合および水結合材比30%の材齢14日では必要強度を満たした。

- 2) 普通砕石、再生粗骨材使用のI型縁石の曲げ強度は、水結合材比30%の配合のみ合格規定を満足した。
- 3) 再生粗骨材を使用した配合は、普通砕石の配合より乾燥収縮が大きいが、水結合材比を下げ膨張材を使用することにより普通砕石と同等程度まで乾燥収縮の影響を抑制できる可能性がある。
- 4) 普通砕石の水結合材比30%以外の配合では、凍結融解による影響が大きかった。これは、高炉B種セメント使用の影響や、供試体作製を切り出しにて行った影響、供試体内部の空隙が多かったことが影響していると考えられる。したがって、凍害が懸念される個所に再生粗骨材を使用して本製法により製作したI型縁石を使用する場合は、供試体も含めた製法を再検討する必要がある。
- 5) 今回のスケーリング試験結果からは、凍結融解と塩分の複合作用による表面剥離抵抗性を評価できなかった。

3.2.3 U型側溝 (U-300 B型) の製造・試験

(1) 製造方法

U型側溝の製造は、通称流し込みと呼ばれる振動締め固めとPCa製品工場で一般的な蒸気養生にて実施した。製造はL=60cmの標準型とL=200cmの長尺型の2種類実施した。蒸気養生は、コンクリート標準示方書¹⁰⁾に準拠し、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、室内温度の上昇目標を20℃/hとして養生室内の温度が約65℃になるまで加温・加湿した。養生室内が目標温度に達したら約3時間保持し、その後自然徐冷した。コンクリートの打込み後約1日で脱型し、出荷材齢である材齢14日まで気中で保管した。U型側溝の振動締め固め機を写真-10に、蒸気養生の状況を写真-11に示す。

(2) 使用材料と配合

表-7に使用材料表を示す。再生粗骨材は、I型縁石の製造に使用したものと同様、北海道石狩市の中間処理場から今回の研究用に納入した路盤用再生骨材(40-0mm)をふるい分けしたものを使用した。ただし、I型縁石と異なり、U型側溝の製造の最大粒径は20mmとした。粗骨材は、比較検討用として、本PCa製品工場で通常使用している北海道深川産の普通砕石を用いた。細骨材は、再生粗骨材の配合・普通砕石の配合とも工場で使用している北海道沙流川産の川砂を使用した。

セメントは、再生骨材の使用を考慮して高炉セメントB種を使用した。また、スケーリングや乾燥収縮に効果が期待できる石灰系膨張材を加えた配合の試験も

行った。ほか、混和剤には減水剤(ポリカルボン酸系化合物)と、I型縁石の製造と同じAE剤(樹脂酸塩系)を用いた。

コンクリートの配合を表-8に示す。目標スランプはPCa製品工場の経験から $18 \pm 2.5\text{cm}$ 、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」¹¹⁾を参照して $5.0 \pm 1.5\%$ とした。なお、I型縁石同様、再生粗骨材の空気量の計測値が実際より大きくなるのが懸念されたため、再生粗骨材の骨材修正係数を測定(結果1.0%)し、計測した空気量からこれを減じた値を用いることとした。



写真-10 振動締め固め機
(型枠が台ごと振動する)



写真-11 蒸気養生室
(右は覆って蒸気養生中、左は蒸気養生開始前)

表-7 使用材料表

種別	使用材料
セメント	高炉セメントB種 (密度 $3.05\text{g}/\text{cm}^3$ 、比表面積 $3,760\text{cm}^2/\text{g}$)
粗骨材	石狩産再生粗骨材 (表乾密度 $2.43\text{g}/\text{cm}^3$ 、吸水率 4.82% 、最大粒径 20mm)
	深川音江産砕石 (表乾密度 $2.70\text{g}/\text{cm}^3$ 、吸水率 1.98% 、最大粒径 20mm)
細骨材	沙流川産川砂 (表乾密度 $2.71\text{g}/\text{cm}^3$ 、吸水率 1.60% 、粗粒率 2.80)
混和剤	減水剤 ポリカルボン酸系化合物
	AE剤 樹脂酸塩系
膨張材	主成分:酸化カルシウム(膨張性CaO) セメント置換 $30\text{kg}/\text{m}^3$

表-8 配合表

産地	配合名	水結合材比 (%)	細骨材率	水	セメント	膨張材	細骨材	粗骨材	スラブ (実測値) (cm)	空気量 (実測値) (%)
			s/a (%)	W (kg/m ³)	C (kg/m ³)	(kg/m ³)	S (kg/m ³)	G (kg/m ³)		
再生粗骨材 (石狩生産)	再生粗骨材	50	45.0	160	320	—	835	916	20.0	5.0
		40	43.0	160	400	—	768	913	15.5	4.8
	再生粗骨材 膨張材あり	50	45.0	160	290	30	835	916	17.0	5.5
		40	43.0	160	370	30	768	913	18.5	5.5
普通砕石 (深川産)	普通砕石	50	45.0	160	320	—	835	1,017	20.0	5.5
		40	43.0	160	400	—	768	1,014	20.5	5.5

(3) 試験方法

室内試験は、I型縁石と同様に、圧縮強度試験、曲げ強度試験、乾燥収縮試験、凍結融解試験、スケーリング試験を行った。曲げ強度試験はU型側溝製品を使用し、JIS A 5372「プレキャスト鉄筋コンクリート製品」附属書5および北海道開発局の仕様書に準拠して行った。それ以外の試験用供試体は、製品製作時に混合したコンクリートをそれぞれの試験用型枠に打込み・振動を与えて作製した。供試体寸法は、圧縮強度試験用がφ10×20cmの円柱、乾燥収縮試験および凍結融解試験が10×10×40cmの角柱でI型縁石と同様だが、スケーリング試験では、ASTM C 672⁷⁾に準拠して□22×10cmとした(図-14参照)。

圧縮強度試験は、材齢1、7、14、28日で実施、曲げ強度試験は出荷材齢の14日で実施、乾燥収縮試験は材齢14日から試験を開始し、約180日間まで測定を行うこととした。凍結融解試験は、材齢14日から試験開始、300サイクルまで実施し、スケーリング試験も凍結融解試験と同様とすることとした。なお、試験方法詳細については、3.2.2(3)を参照されたい。

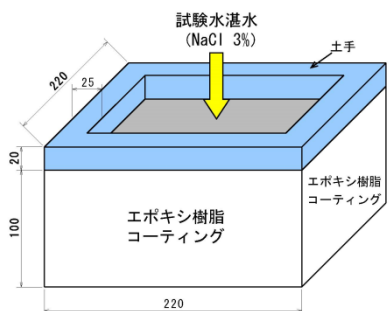


図-14 スケーリング試験の供試体形状

(4) 室内試験結果

1) 圧縮強度試験

圧縮強度の試験結果を図-15に示す。

JIS A 5372附属書5において、U形側溝の圧縮強度は24N/mm²以上である。出荷材齢である14日では、水結合材比50%、普通砕石の配合ではこの値を若干下回ったが、それ以外はこの規格を満足する結果となった。なお、3.2.2(4)で述べたとおり、今回の配合では高炉B

種セメントを用いたが、通常は初期強度がこれよりも大きくなる普通ポルトランドセメントを使用していることや、流し込み製品の一般的な水結合材比は40数%であることに留意する必要がある。

また、水結合材比が小さい方が圧縮強度は大きくなったが、過年度の研究から再生粗骨材を使用した場合にその効果が期待される膨張材を混入した場合としない場合の比較では、今回の試験では明確な差は認められなかった。普通砕石と再生粗骨材との比較でも明確な差は認められない。

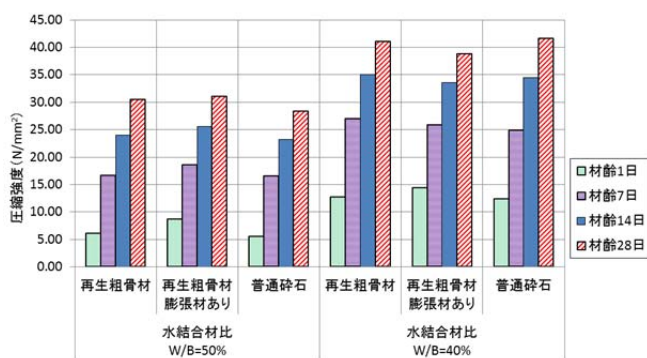


図-15 圧縮強度試験結果 (流し込み)

2) 曲げ強度試験

試験は、同日に同製法で制作したU型側溝を用いて材齢14日で行った。L=60cm標準型では、規定の曲げ強度荷重17kNを加えたときに、JIS A 5372附属書5の合格規定である「幅0.05mmを超えるひび割れが発生してはならない」という条件は全ての配合でクリアした。しかし、L=200cm長尺型では、規定の曲げ強度荷重57kNを加える前に、普通骨材の水結合材比50%

(56.5kN)、再生粗骨材のみの水結合材比50%(56.6kN)の2配合でひび割れが発生した。前述の通り、今回の試験では高炉セメントB種を用いたこと、一般的な流し込み製品に用いる水結合材比より大きな配合により試験を行っていたことが原因と考えられる。

3) 乾燥収縮試験

図-16に147日までの乾燥収縮試験(長さ変化率)の試験結果を示す。同配合において、水結合材比は小さい方が収縮量も小さい。普通砕石と再生粗骨材との比較では、再生粗骨材のみの配合では普通砕石より収縮が大きい、再生粗骨材の膨張材ありと普通砕石とを比べると同等の値を示した。また、再生粗骨材の膨張材あり、なしの比較では、膨張材ありの方が収縮量は小さい。このことから、今回の試験においても、既往研究⁸⁾と同様、水結合材比を下げ、膨張材を使用する

ことで、乾燥収縮の影響を抑制できることが確認された。

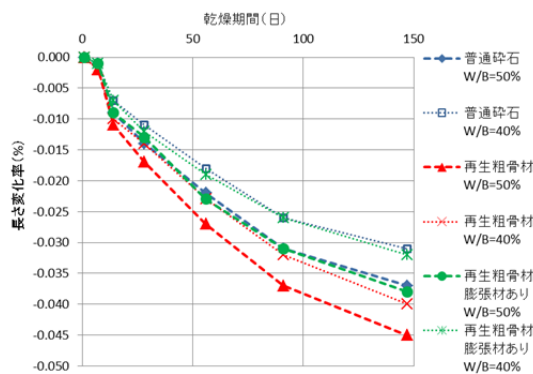


図-16 乾燥収縮試験結果（長さ変化率）

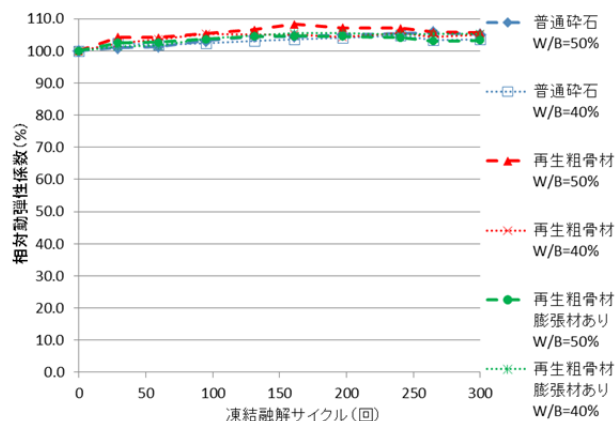


図-17 凍結融解試験結果（相対動弾性係数）

4) 凍結融解試験

図-17に凍結融解試験における相対動弾性係数の測定結果を示す。U型側溝300-B型における部材厚は5cm程度であるが、300サイクル時の相対動弾性係数は、コンクリート標準示方書⁹⁾に記述されている凍結融解がしばしば繰り返される場合（断面が薄い場合）の閾値85%を全ての配合で満足する結果となった。なお、全ての配合で、試験開始の2回目測定（29サイクル）の時点ですでに100%を超えているが、これは、凍結融解を繰り返している間の融解時にコンクリートの水和反応が進行し、凍結融解で劣化するよりも、コンクリートがより密実になった結果と考えている。

5) スケーリング試験

図-18に100サイクルまでのスケーリング量測定結果を示す。再生粗骨材膨張材ありの配合では、水結合材比40%と50%で同等であったが、膨張材なしでは水結合材比が小さい方がスケーリング量も小さくなった。普通砕石と再生粗骨材との比較では、明確な差は生じていない。また、再生粗骨材で膨張材ありとなしとの比較では、水結合材比50%で膨張材ありの方が小さかったが、水結合材比40%では若干ではあるが、膨張材がない配合の方がスケーリング量は小さく、今回の試験では、膨張材の効果が顕れない結果となった。

写真-12は100サイクルの再生粗骨材のみ・水結合材比50%の試験面の代表写真である。本試験が準拠しているASTM C 672による目視でのスケーリング評価に照らすと「粗骨材の露出なし」（6段階の評価のうち低い方から2番目）と判断でき、今回の試験においてスケーリング量が大きい再生粗骨材のみ・水結合材比50%の配合でもほとんど表面剥離が起きていないことが確認できる。

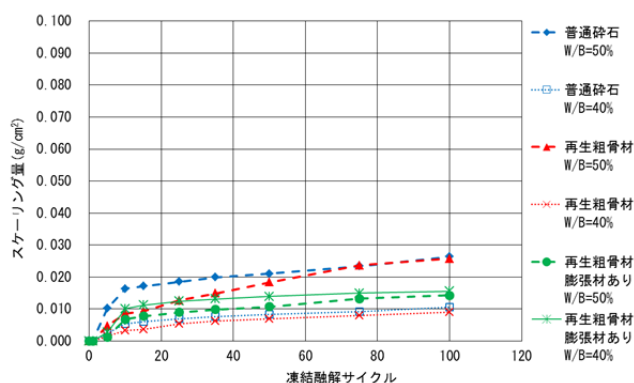


図-18 スケーリング試験結果（スケーリング量）



写真-12 スケーリング状況（100サイクル）
（再生粗骨材のみ、水結合材比50%）

(5) 暴露試験

実際の長期耐久性を評価するために、今回の6配合により制作したU型側溝300B型を苫小牧にある美々暴露試験場に設置した（写真-13参照）。なお、長さ0.6m（標準）をそれぞれ1個、長さ2m（長尺）をそれぞれ1個設置した。今後はI型縁石同様、外観観察、長さ変化、超音波伝播速度を継続的に測定して、耐久性の評価を行っていききたい。



写真-13 U型側溝300B型 設置状況

(6) まとめ

振動打込み、蒸気養生によるU型側溝を製造した場合の室内試験結果のまとめを記す。

- 1) 高炉B種セメントを使用し、水結合材比を50%とした配合では、普通砕石使用の材齢14日で必要強度にわずかに満たないが、その他の配合では必要強度を満たした。
- 2) 普通砕石、再生粗骨材使用の材齢14日における曲げ強度は、L=200cm長尺型の水結合材比50%の普通砕石・再生粗骨材のみの配合で規定値をわずかに満足しなかった。
- 3) 乾燥収縮試験では既往の研究結果同様、水結合材比を下げ、膨張材を使用することで、乾燥収縮の影響を抑制できることが確認された。
- 4) 凍結融解試験では、普通砕石、再生粗骨材、どちらを使用しても断面が薄い場合の閾値85%を満足する結果となった。
- 5) スケーリング試験では、水結合材比が小さい方がほぼスケーリング量が小さくなったが、膨張剤の効果は確認できなかった。しかし、スケーリング量は表面の観察から小さく、今回の配合・製法では再生粗骨材のみでも凍結融解と塩分の作用による表面剥離の抑制が出来ると示唆された。

4. 「積雪寒冷地における再生粗骨材を使用したPCa製品製作の留意点(案)」の作成

4.1 はじめに

冒頭に記したとおり、本研究は(1)中品質再生粗骨材の積雪寒冷地での大型PCa製品(プレキャストコンクリート製品)への適用性(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製品への適用性について検討を行い、資

源の有効活用に資することを目的とする。平成23年度から5年間に渡り、中品質再生粗骨材の大型PCa製品への適用範囲拡大の検討および低品質の混在が予想される災害コンクリート殻のPCa製品への有効活用について、室内試験等を重ね数々の知見を得ることが出来た。本章では、これまでの研究で得られた結果をもとに、増大が懸念されるコンクリート殻というリサイクル資源および大規模災害で大量発生が予想されるコンクリート殻を実際に有効活用していくために、「積雪寒冷地における再生粗骨材を使用したプレキャスト製品製作の留意点(案)」(以下、留意点(案)、図-19)を作成したので、その概要について説明する。

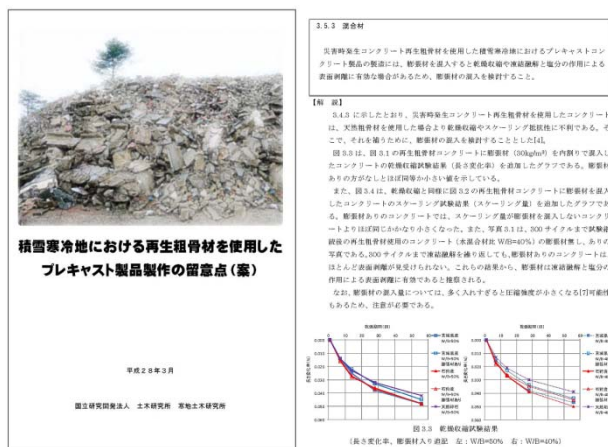


図-19 「積雪寒冷地における再生粗骨材を使用したプレキャスト製品製作の留意点(案)」

4.2 1章 総則

1章では、留意点(案)の適用範囲を示すとともに、留意点(案)の作成背景について解説している。解説では、再生粗骨材を使用したコンクリートにおけるJIS規格の変遷やJIS規格における再生粗骨材コンクリートの適用範囲、および東日本大震災のような大規模災害発生時のコンクリート殻の発生状況などを記述し、再生粗骨材の有効利用の必要性を示している。

4.3 2章 再生粗骨材Mを積雪寒冷地における大型プレキャストコンクリート製品に使用する場合の留意点

2章では、1節で適用範囲を、2節では中品質再生粗骨材(以下、再生粗骨材M)を用いた大型PCa製品の種類とコンクリートの品質を、3節では使用する再生粗骨材Mの品質を、4節では配(調)合における留意点を、5節では製造における留意点を示している。

3節では、大型PCa製品に使用する再生粗骨材MはJIS A 5022附属書Aの規格を満足するものを使用すること

としている。解説には路盤用に製造された再生骨材（40-0mm級）は、再生コンクリートの品質に影響を及ぼすとされる吸水率のバラツキが大きいこと（表-9）を示すことで、再生粗骨材の品質は様々であることを認識し、試験成績書と実際に製造製品に使用する再生粗骨材Mが同品質になる（例えば、同じ解体構造物から生産した再生粗骨材で試験、その解体材を実際の製造製品のコンクリートに使用するなど）ように留意することを謳っている。

表-9 再生骨材（40-0mm級 路盤用）の品質

製造場所	試 験 結 果				
	表乾密度 (g/cm ³)	絶乾密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)	安定性 試験 (%)	凍上試験 (%)
A	2.44	2.28	7.21	38.1	9.9
B	2.40	2.24	6.96	32.7	13.2
C	2.46	2.31	6.21	38.5	7.8
D	2.46	2.30	6.71	37.4	13.5
E	2.47	2.33	6.21	18.8	10.1
F	2.47	2.35	5.24	27.8	17.1
G	2.45	2.294	6.86	33.20	11.7
H	2.48	2.380	4.21	19.5	16.8
I	2.43	2.30	5.89	26.80	17.4
J	2.491	2.317	7.38	13.10	12.0
K	2.39	2.19	9.28	21.6	15.5
L	2.48	2.34	6.03	22.1	17.7
M	2.40	2.21	8.68	36.8	11.3
N	2.435	2.319	5.08	17.1	15.5
O	2.383	2.244	6.19	16.1	13.7
P	—	—	—	27.41	13.33
Q	2.390	2.235	6.924	19.46	15.00
R	2.492	2.375	4.942	28.90	17.0
平均値	2.44	2.29	6.47	26.4	13.8
最大値	2.49	2.38	9.28	38.5	17.7
最小値	2.38	2.19	4.21	13.1	7.80
標準偏差	0.04	0.05	1.25	8.07	2.84

※（参考）赤字はJIS A 5023（再生粗骨材L）の規格外

4節では、試験練りの実施を原則とすること、また、水結合材比は研究成果から40%にすることが望ましいことを示した。さらに、前述したように再生粗骨材には旧モルタル分に多量の空気が含まれていることから、空気量は骨材修正係数を考慮することとした。

5節では、製造方法はJIS A 5364「プレキャストコンクリート製品—材料及び製造方法の通則」に準じることとし、セメントの種類は研究成果から高炉セメントB種など、塩化物イオン拡散抵抗性およびアルカリシリカ反応抵抗性に優れたものの使用を原則とすること、また、研究結果から乾燥収縮および凍結融解と塩分作用による表面剥離抑制の有効性が期待される石灰系膨張材の使用を検討することを示した。

4.4 3章 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を積雪寒冷地におけるプレキャストコンクリート製品に使用する際の留意点

3章の構成は、2章と同様である。

2節中の災害時発生コンクリートから製造した再生粗骨材を用いたPCa製品の種類は、再生粗骨材の品質や復旧復興への使用性などを鑑み、道路部材のように、設置した製品に不具合があっても対応可能なように比較的小型で取り替えが容易な製品とした。

3節の再生粗骨材の品質は、可能な限りJIS A 5023附属書A「コンクリート用再生骨材L」の規格を満足するものとしたが、復旧復興は迅速性が重要となることも鑑み、やむを得ない場合は、表-3のように分級した場合に粗骨材における吸水率が低下することから、分級処理した再生粗骨材を使用する場合には本JIS規格内か不明なものでも使用を妨げるものではないとした。

4節は、2章4節とほぼ同様であるが、前節同様に復旧復興の迅速性を鑑み、やむを得ない場合は分級処理を行った場合に限り、試験練りを行うことについて、この限りではないと追記した。また、塩化物イオン量は、JIS A 5023に則り0.30kg/m³以下を原則としたが、津波被害のように海水に浸かったコンクリート塊から生産した再生粗骨材の使用可能性に鑑み、津波被害後に雨水などで確実に塩化物が流れ落ちていると判断できない場合に、過年度の研究において作成した「コンクリート殻表面に付着している塩分の簡易で効率的な除去方法」を巻末に付し、これを参考として付着塩分を取り除くとよいとした。

5節も2章とほぼ同様の内容であるが、製造方法について、本報告書3.2.2(4)4)5)に示したとおり、振動加圧締固め、即時脱型、気中養生における凍結融解抵抗性には懸念があり、製造には工夫の余地があると考えられるため、現段階では振動締固め・蒸気養生を原則とすることとした。

参考文献

- 1) (社)日本コンクリート工学協会北海道支部：再生骨材コンクリートの実用化への課題と展望 リサイクル研究委員会報告書、p.6、2005.5
- 2) 国土交通省：平成24年度建設副産物実態調査結果参考資料
- 3) 国土交通省北海道開発局：平成24年度建設副産物実態調査結果（北海道地方版）参考資料
- 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、土木学会第 65 回年次学術講演会講演概要集、2010

- 5) 清水 和博、杉山 彰徳、酒井 賢太、佐藤 良恵：再生骨材コンクリートのアルカリシリカ反応性の評価に関する研究、コンクリート工学年次論文集、2007
- 6) 清野 昌貴、吉田 行、島多 昭典：低品質再生粗骨材を使用したプレキャストコンクリート製品における積雪寒冷地での適用性、寒地土木研究所月報、2016.4
- 7) American Society for Testing and Materials, Designation : C 672/C 672M-98、Standard Test Method for Scaling Resistance of Concrete Surfaces Exposed to Deicing

Chemicals

- 8) 田畑浩太郎、田口史雄、吉田行：再生骨材 M コンクリートの乾燥収縮特性とスケール抵抗性に関する研究、第 56 回北海道開発技術研究発表会、2012.2
- 9) 土木学会：コンクリート標準示方書（設計編）、p.157、2012.12
- 10) 土木学会：コンクリート標準示方書（施工編）、p.355、2012.12
- 11) 日本コンクリート工学協会：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

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 : SHIMATA Akinori, KIKUTA Etsuji,
SHIMADA Hisatoshi, YOSHIDA Susumu ,
SEINO Masaki, KASHIKI Syunichi,
KAWAMURA Kouji, NAKAMURA Naohisa,
TAKADAMA Namio, ICHIKAWA Seiichi

Abstract : This study, (1) applicability to large precast (following PCa) concrete products with medium quality recycled coarse aggregate in cold, snowy regions (2) applicability to PCa products of recycled coarse aggregate made concrete rubble that occurred in the large-scale disaster and raw materials in cold, snowy regions, it has been implemented to contribute to the effective use of resources. With respect to (1), the laboratory test by concrete specimen using recycled coarse aggregate, it was examined applicable mix proportions to PCa product. Based on the results, we have established an L-shaped retaining wall that was fabricated using recycled coarse aggregate exposure test site, to investigate the durability. With respect to (2), ① consideration of temperature effects on the quality by curing in snow assuming the occurrence of a large-scale disaster in the Snowy season, ② Use the granulated processing order of recycled coarse aggregate was examined high blend of applicability conduct laboratory tests in the same manner as in (1). As a result, it was conducted laboratory tests using the products and specimens were implanted and curing in PCa product production plants of two different places of production method in an effective mix proportions. PCa products produced were placed in the exposure test site.

As a result, in the (1), In the laboratory test by the specimen using recycled coarse aggregate, it was able to confirm the possibility of recycled coarse aggregate used to PCa product by using the thing as the expansive admixture, by reducing the water binder ratio. In addition, as a result of the durability study of the effective formulation was placed in exposure test site in the L-shaped retaining wall over a period of two years, the deterioration of the concrete was confirmed that there is no progress from the time that has been produced.

In the (2), in the range of January and February temperatures about $-12 \sim 6$ °C, at a depth of about 0 ~ 50cm, the average temperature in the snow was negative not stable up and down under the influence of the outside air temperature. However, the depth of 100cm (ground level), temperature in the snow was confirmed to be stable at around 0 °C. Also, from laboratory tests, similarly to (1), it was confirmed the effect of reducing the water-binder ratio, the effect of using the expansive admixture. In the laboratory test by the specimens were produced as PCa product, also compressive strength by using the recycled coarse aggregate with two places of production plants it was confirmed that almost satisfy the required strength as a PCa product. Furthermore, resistance to the action of freeze-thaw or salt, in the vibration compaction, steam curing, good results were obtained, but, the vibration pressure clamping compaction, air curing, since leaving a lower value than the above-described manufacturing method, has resulted in the devised production method is required.

And, based on the knowledge obtained from the study and research of the past, we have created the "Notes of recycled coarse aggregate used to precast products in the Snowy Areas (draft)."

Key words : recycled coarse aggregate, precast concrete, vibration pressure clamping compaction ,steam curing, scaling