

## 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、三原慎弘、吉田行、清野昌貴、  
横山博之、高玉波夫、市川清一、藤田裕司、  
高田尚人

### 【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（以下 PCa）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 26 年度は、(1)に関して、平成 25 年度に再生粗骨材を使用して作製、暴露した L 型擁壁の耐久性の調査、(2)に関しては、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と、東日本大震災のコンクリート塊から造られた宮城産と北海道石狩で生産された中品質基準外の再生粗骨材を使用して、PCa 製品への適用を念頭に置いた室内試験を実施した。

その結果、L 型擁壁設置 1 年後の(1)の調査では、コンクリートの劣化が進行していないことを確認した。(2)の試験では、最低気温約-5℃の範囲においては深さ約 10cm で雪中養生内部の温度が 0℃以上ではほぼ安定することを確認し、深さの浅い雪中の養生でも、十分な強度発現を可能とすることがわかった。また、室内試験から、中品質基準外の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満足することが確認できた。なお、圧縮強度は膨張材の使用で大きくなる傾向がみられた。なお、スケーリング試験では、中品質基準外再生粗骨材を使用した場合、天然骨材使用と比較して表面剥離が大きかったが、水結合材比の低減や、膨張材の適切な使用により剥離程度を小さく抑えることが可能であることがわかった。このことから、大規模災害で発生し品質が低いことが予想される再生粗骨材であっても、水結合材比や混和材使用などの工夫により PCa 製品へ適用可能であることが示唆された。

キーワード：再生粗骨材、プレキャストコンクリート、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、破砕処理を施して、主に道路の路盤用材料として利用されており、北海道においてもその利用法により再資源化率は高い水準を保っている（図-1）。しかしながら、高度経済成長期に大量に建設された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今後更に急激に増加し、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<sup>1)</sup>。また、全国的には砂利や碎石といった天然骨材の枯渇化も進んでおり、資源の循環利用の観点からも、再生粗骨材のコンクリート構造物への適用が求められている。

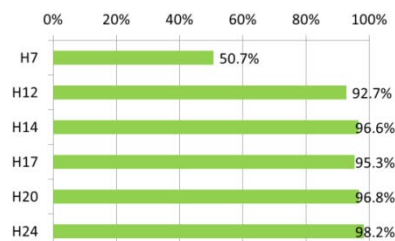


図-1 建設廃棄物の再資源化率<sup>2)</sup>（コンクリート塊）

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、品質の変動が大きく含水率の管理が困難なため、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、資源の循環活用の観点からは、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。

再生粗骨材 M の積雪寒冷地における大型 PCa 製品への利用については、平成 23 年度～平成 24 年度の室内試験において、膨張材の添加量と水結合材比を変えて PCa 製品への適用の可能性を検討している。その結果を踏まえ、平成 25 年度は、過年度の研究で求められた品質確保において最適な膨張材の添加量と水結合材比を用いた配合で、PCa 製品工場で大規模供試体（L 型擁壁）を製作し、北海道の増毛暴露試験場に設置した。平成

26年度は、供試体の長さ変化、超音波伝搬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。その有効利用の一つとして、コンクリートへの再利用が考えられる。しかし、このようなコンクリート殻は、様々な品質が混在している。この様なバラツキのある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難しいが、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求められている。

平成24～25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、温度を概ね0℃に保つことができるとされる雪中（雪による被覆）では、養生日数を長くすることでコンクリート強度を満足することが出来ることが確認された。平成26年度は、供試体の雪中埋設深さ（雪による被覆厚）と養生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、宮城産と北海道産の中品質基準外再生粗骨材を使用し、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、スケーリングの比較を行った。

## 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、凍結融解と塩分の作用による表面のスケーリング等の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、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スケー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年度は、暴露試験を行うため、(一社)全国コンクリート製品協会との共同研究によりPCa製品工場でL型擁壁（H=2.0m, W=1.5m,

L=2.0m 主鉄筋径D16, かぶり4.5cm）の大型供試体を製造した（図-2）。

平成26年度は、増毛町の海岸線に設置されたL型擁壁（図-3、写真-1）について、飛来塩分及び凍結融解環境下で約1年間経過後の供試体の乾燥収縮と劣化状況を評価する目的で、長さ超音波伝搬速度の現地測定を行った。その結果と考察についてここに報告する。

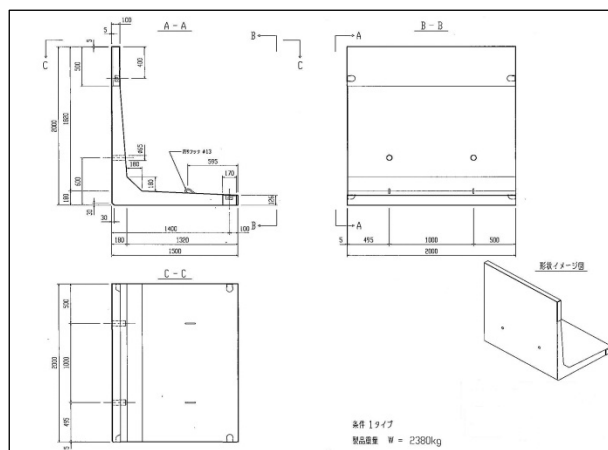


図-2 L型擁壁詳細図



図-3 L型擁壁設置箇所



写真-1 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<sup>34)</sup>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<sup>3</sup>, 比表面積 3,760cm<sup>2</sup>/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において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<sup>5)</sup>より $30\text{kg/m}^3$ 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堅めであり、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 製品工場にて試験練りを行い、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					
			水 ( $\text{kg/m}^3$ )	セメント ( $\text{kg/m}^3$ )	細骨材 ( $\text{kg/m}^3$ )	再生粗骨材 ( $\text{kg/m}^3$ )	膨張材 ( $\text{kg/m}^3$ )	減水剤 ( $\text{kg/m}^3$ )
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-4に示す擁壁上方2箇所にて乾燥収縮等の影響把握のため長さ測定を行った。測定面は海側に面している。長さ測定はコンタクトゲージを用いて、平成26年6月11日と平成26年11月19日に行った。なお、L型擁壁の設置は平成25年11月28日で、設置後約半年後（195日）、約1年後（356日）の測定となる。

#### (2) 超音波伝搬速度（透過法）

図-4に示す、L型擁壁上段、中段、下段各5箇所にて、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-2）。測定日は平成25年12月2日、平成26年6月11日、平成26年11月19日である。

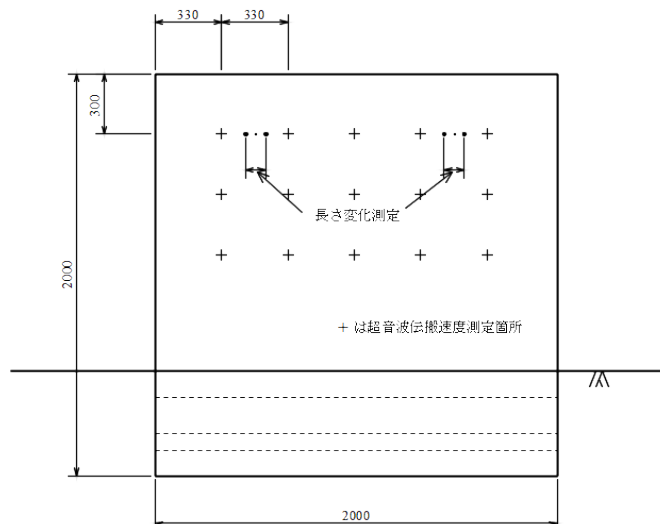


図-4 測定箇所



写真-2 超音波伝搬速度測定状況

### 2.1.5 試験結果と考察

#### (1) 長さ変化

図-5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、6月11日から11月19日の161日の間で若干収縮している。その変化値は膨張材使用の水結合材比40%で最大 $-200 \times 10^{-6}$ 程度と小さい。外観上も、設置時との変化は認められない。この結果から、変位は概ね収縮の傾向を示したが、夏から冬にかけての変位であり、乾燥だけでなく温度変化の影響も考えられることから、さらに継続的な調査が必要と考えている。

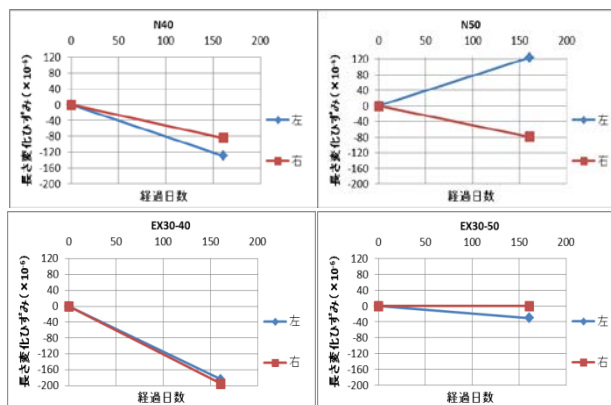


図-5 長さ変化（ひずみ）

## (2) 超音波伝搬速度

図-6に超音波伝搬速度の推移について示す。なお、グラフは各段測定5箇所ノ平均値を示している。W/Cの大きいN50が低い値を示している。どの配合も上昇傾向が見られるが、その差は最大でN50上段、下段の約0.25km/sであり、製造後もコンクリートの水和反応が進行した結果と推察される。

いずれにしても、この結果から、1年経過時点で、コンクリート中のひび割れなどの劣化の進行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。

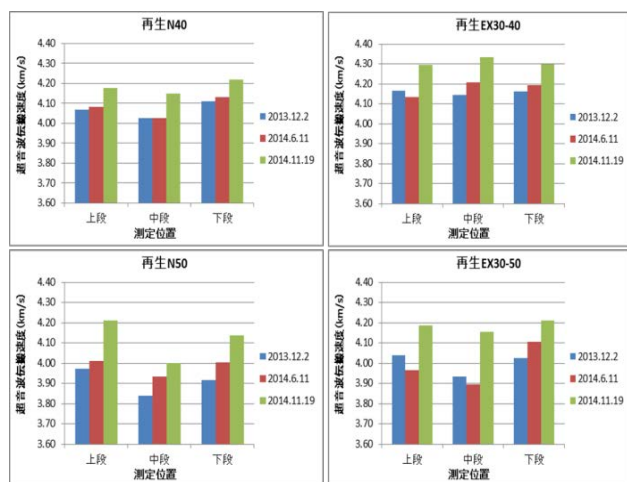


図-6 超音波伝搬速度

### 2.1.6 まとめ

積雪寒冷および海岸環境下に晒した約1年間経過後のL型擁壁の長さ変化と超音波伝搬速度の測定結果から、乾燥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1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、低温環境下での雪中での簡易な養生について検討を行い、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24~25年度は、再生粗骨材Mに耐寒剤を用いた配合で-5℃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℃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、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26年度は、雪中養生中の雪中深さごとの温度を測定し、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ので、ここに報告する。

#### 3.1.2 試験手法

圧縮強度測定用の円柱供試体(φ10×20cm)を作製し、打設後速やかに図-7、写真-3のように3個1組で雪中に埋設し、エポキシ樹脂により先端をコーティングした熱電対を設置して温度を測定した。なお、型枠はプラスチック製のものを使用した。測定箇所は、供試体上、供試体中、供試体横の3箇所とした。雪表面から供試体上面までの深さは、h=0, 10, 25, 50, 100cmとした。

h=0cmでは供試体上面が薄く雪に覆われた状態とした。また、比較用として、常温(20℃)室内における養生も行っている。供試体は現地施工のシート養生を意識し、型枠上面をラップフィルムで覆い封緘して埋設した。温度の測定期間は、通常の養生日数である28日間とした。また、参考までに測定28日目における圧縮強度試験を行った。なお、深さh=25cmと常温養生については、積算温度算定のため7日、42日の圧縮強度も測定した。

作製した供試体は、平成24~25年度からの研究の継続性を考慮して、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を用い、細骨材は苫小牧市樽前産を、セメントは、塩化物イオンの拡散抵抗性に優れ、アルカリシリカ反応に有利な高炉セメントB種を用いた。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4ℓとし、単位水量置換とした。水結合材比は50%とし、目標空気量と目標スランプは「耐

寒剤運用マニュアル (案)<sup>6</sup>を準用して、 $5.0 \pm 1.0\%$  と  $8.0 \pm 2.5\text{cm}$ とした。

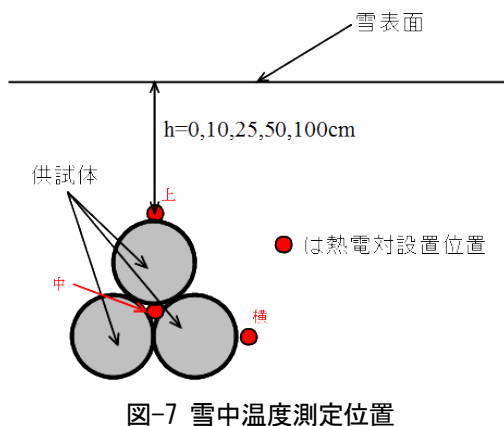


写真-3 雪中養生状況 (養生中は雪で覆う)

### 3.1.3 試験結果と考察

#### (1) 雪中温度

表-2は供試体埋設雪中深さごとと外気温、および $20^{\circ}\text{C}$ 養生供試体部高さにおける平均・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、外気温について、測定期間中の最低気温は約 $-5^{\circ}\text{C}$ 、最高気温は $11^{\circ}\text{C}$ であった。平均温度は雪中養生部において約 $1.1 \sim 1.4^{\circ}\text{C}$ となっている。 $h=0\text{cm}$ の標準偏差は他と比べ1.20と大きく外気温の影響を受けらつていると思われるが、それ以外は大きくても0.4程度であり、雪中温度は比較的安定していたと考えられる。

図-8は供試体埋設雪中深さ $h=0\text{cm}$ のH27.2.19 12:00～2.21 12:00までの各熱電対の温度変化を、図-9は同じく $h=10\text{cm}$ 、図-10は $h=25\text{cm}$ の同時刻の温度変化を例示したグラフである。 $h=0\text{cm}$ では、供試体上 (つまり雪上面となる) では、外気温の影響を受けたと思われる、外気温が下がると温度も下がっている。しかし、供試体中と供試体横では、 $0^{\circ}\text{C} \sim 2^{\circ}\text{C}$ で安定していた。

他方、 $h=10\text{cm}$ および $h=25\text{cm}$ では、供試体上中側面とも約 $0^{\circ}\text{C} \sim 2^{\circ}\text{C}$ で安定しており、 $h=0\text{cm}$ と比較して外

気温の影響を受けていないことが示唆される。この傾向は、 $h=50,100\text{cm}$ でも同じであり、本試験では、表面部以外の雪中温度は、おおむね $0^{\circ}\text{C}$ 以上で安定していた。

表-2 平均・最高・最低温度

雪面から供試体上面までの距離h (cm)	0	10	25	50	100	外気温	(参考) 室内養生
平均温度	1.33	1.14	1.22	1.12	1.41	2.22	20.03
最高温度	8.7	4.8	4.0	2.2	3.6	11.0	24.6
最低温度	-3.4	-0.1	-0.3	0.4	-1.0	-4.8	17.3
標準偏差	1.20	0.36	0.36	0.21	0.41	2.18	1.19

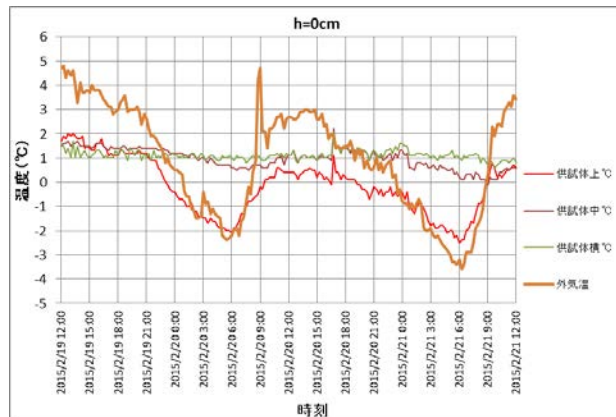


図-8 温度変化 ( $h=0\text{cm}$  2/19 12:00～2/21 12:00)

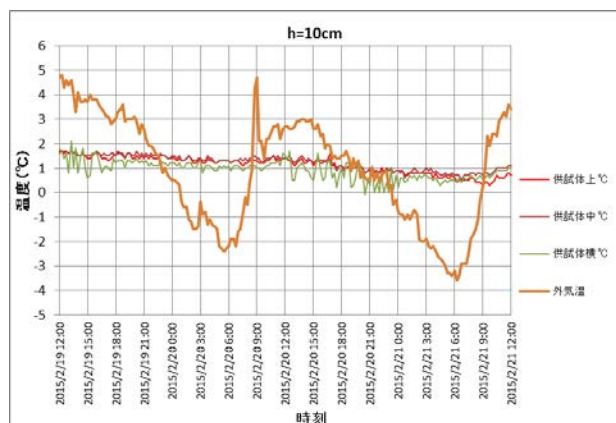


図-9 温度変化 ( $h=10\text{cm}$  2/19 12:00～2/21 12:00)

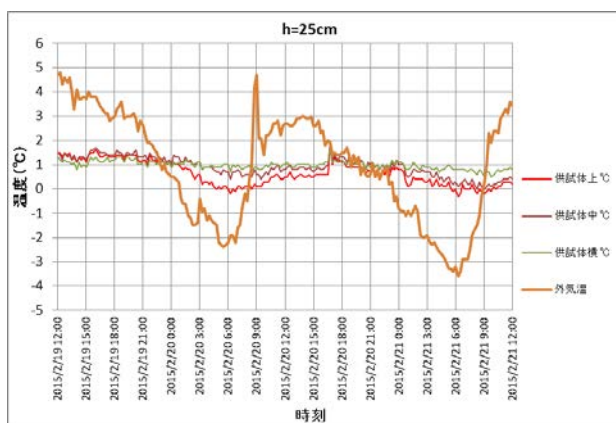


図-10 温度変化 ( $h=25\text{cm}$  2/19 12:00～2/21 12:00)

## (2) 圧縮強度

図-11に材齢28日の圧縮強度試験結果を示す。結果は各深さにおける3供試体の平均値である。図から雪表面からの深さ0cm~100cmでほとんど変わりはないことがわかる。また、20℃養生と比較すると、雪中養生の各圧縮強度は小さくなっている。しかし、一般的にプレキャスト製品の出荷時に必要とされる強度は24~35N/mm<sup>2</sup>程度であり、雪中養生深さ0cmでもこの強度は満足する結果となった。つまり、今回の試験では、供試体は全て雪中に埋まっている（深さ0cmは、雪面から供試体上面までの距離）ので、雪中にあれば必要強度が発現したといえる。

図-12は積算温度と圧縮強度の関係である。積算温度算出のための温度は供試体上、中、横の平均値を使用した。室内養生と雪中養生を比べると、積算温度に対する圧縮強度の増加割合（グラフの傾き）はh=25cmにおける雪中養生の方が若干大きい。積算温度あたりの強度は室内養生の方が大きかった。

この結果から、冬期間に製品工場が災害の影響を被り、養生施設が使用できなくなっても、雪中であれば、温度をほぼ0℃以上に保つことができ、養生期間を長く取れば、強度発現に至る<sup>7)</sup>可能性があることが示唆された。

ただし、前述したとおり、今回の外気温の最低は約-5℃であり、それ以下となる低温環境下での測定は行っていないため、留意が必要と考えている。

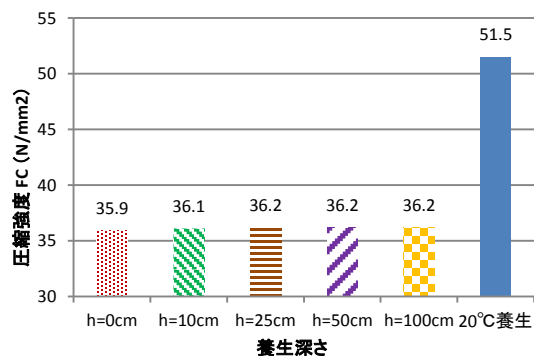


図-11 圧縮強度（材齢28日）

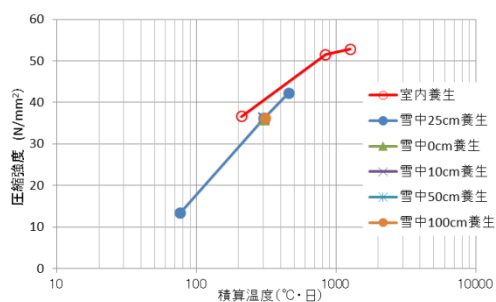


図-12 積算温度と圧縮強度の関係

## 3.1.4 まとめ

- (1) 外気温が-5℃~10℃の条件下において、h=10~100cmの雪中であれば、おおむね1℃程度の温度が保たれた。
- (2) 深さに関わらず、雪中にて養生されたコンクリートは、PCa製品の必要強度を満足した。
- (3) ただし、今回は厳しい低温環境での測定ではないため、そのような条件下においても検証を行う必要がある。

## 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。このため、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が、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する。

そこで、本研究は、産地が異なる中品質基準外再生粗骨材（以下、基準外再生粗骨材とする）を使用することで品質のバラツキを考慮し、水結合材比を変えた配合、また、再生粗骨材Mの室内試験から得られた知見よりその有効性が期待できる膨張材を使用した配合で圧縮強度や乾燥収縮、スケーリングについて比較し、基準外再生粗骨材を使用した場合の道路用PCa製品（縁石やU型側溝など）への適用性について検討した。

### 3.2.2 北海道における再生路盤材の品質

表-3は、平成22年度に調査した北海道内のコンクリート再生骨材製造プラントにおける再生路盤材（40-0）の代表的な品質を示したものである。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については、最小値が4.21%、最大値が9.28%、平均値は6.47%である。これは過去の全国での調査結果<sup>8)</sup>とほぼ同じであった。標準偏差は1.25であり、コンクリート製品に

使用することを考えると、吸水率のバラツキは大きいと考える。したがって、このような再生粗骨材をコンクリートに使用する場合は、骨材の品質のバラツキに留意する必要がある。

表-3 再生骨材（路盤用 40mm 級）の品質

製造場所	試験結果				
	表乾密度 (g/cm <sup>3</sup> )	絶乾密度 (g/cm <sup>3</sup> )	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規格（再生粗骨材 L(低品質) 外

### 3.2.3 試験概要

#### (1) 使用材料と配合

表-4に使用材料表を示す。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宮城産再生粗骨材と、北海道石狩で路盤用に生産された再生粗骨材の2種類を用いた。なお、比較検討用として、小樽市見晴産の天然砕石を用いた。細骨材は苫小牧市樽前産のものを使用した。コンクリートの品質への影響が懸念される吸水率は宮城産が5.67g/cm<sup>2</sup>、石狩産が5.43g/cm<sup>2</sup>であり、前表の平均値よりは低い値を示しているが、コンクリートの供試体用にふるい分けを

行った後の試験値であり、細粒分に多く含まれる吸水率が高い旧モルタル分が除去されていることを鑑みると、妥当な結果と考えられる。

表-5は、使用材料のバラツキの程度を把握するために、複数回行った入荷材料の骨材試験の結果である。吸水率では標準偏差は0.062、0.074であり、バラツキの程度は小さい。

セメントは、前述の通り再生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でも試験を行った。ほか、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。

コンクリートの配合を表-6に示す。PCa 製品への適用を目的としていることから、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」<sup>9)</sup>に準拠して 5.0±1.5% とし、AE剤の添加量にて調整した。目標スランプは 8.0±2.5cmとした。水結合材比は50%と40%に設定した。

表-4 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 <sup>3</sup> 、比表面積3.720cm <sup>2</sup> /g）
粗骨材	宮城産再生粗骨材（表乾密度2.44g/cm <sup>3</sup> 、吸水率5.67%、最大粒径20mm）
	石狩産再生粗骨材（表乾密度2.46g/cm <sup>3</sup> 、吸水率5.43%、最大粒径20mm）
	小樽市見晴産安山岩砕石（表乾密度2.67g/cm <sup>3</sup> 、吸水率1.80%）
細骨材	苫小牧市樽前産海砂（表乾密度2.69g/cm <sup>3</sup> 、吸水率1.18%、粗粒率2.80）
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
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 <sup>3</sup>

表-5 再生粗骨材の骨材試験

骨材試験 No.	宮城産			石狩産		
	表乾密度	絶乾密度	吸水率	表乾密度	絶乾密度	吸水率
1	2.43	2.30	5.70	2.46	2.34	5.55
2	2.44	2.30	5.75	2.46	2.34	5.35
3	2.43	2.30	5.67	2.46	2.34	5.36
4	2.44	2.31	5.67	2.46	2.33	5.46
5	2.44	2.31	5.56	2.45	2.32	5.45
平均	2.44	2.30	5.67	2.46	2.33	5.43
標準偏差	0.005	0.005	0.062	0.005	0.007	0.074

表-6 配合表

産地	配合名	水結合材比 (%)	細骨材率 s/a (%)	水		セメント	膨張材	細骨材		粗骨材	スランプ (実測値) (cm)	空気量 (実測値) (%)	
				W (kg/m <sup>3</sup> )	C (kg/m <sup>3</sup> )	S (kg/m <sup>3</sup> )		G (kg/m <sup>3</sup> )					
宮城産 (BL1)	再生粗骨材	50	45	141	282	—	868	994	8.9	6.4			
		40		144	360	—	833	954	7.4	6.0			
	再生粗骨材 + 膨張材 (EX)	50		141	252	30	868	994	8.0	6.0			
		40		144	330	30	833	954	7.3	6.1			
石狩産 (BL2)	再生粗骨材	50		141	282	—	868	967	8.0	5.6			
		40		144	360	—	833	927	7.6	5.5			
	再生粗骨材 + 膨張材 (EX)	50		141	252	30	868	967	7.6	6.0			
		40		144	330	30	833	927	6.6	5.8			
天然砕石 (小樽市産)	天然砕石	50	141	282	—	868	1,053	9.6	5.0				
		40	144	360	—	833	1,012	8.7	5.2				

## (2) 養生方法

供試体の養生方法はコンクリート製品工場で行われている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、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2時間15分で65℃になるまでボイラーで加温した。同時にスチームヒーターにより加湿し、室内の湿度が85%を下回らないように注意した。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。蒸気養生の概念を図-13に示す。

## (3) 圧縮強度試験

JIS A 1108 に準拠して圧縮強度試験を行った。前節と同様に供試体はφ10×20 cmの円柱供試体とした。ただし、蒸気養生のため、蒸気養生の翌日（材齢1日）には脱型し、その後恒温恒湿室（20℃、60%）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。

## (4) 乾燥収縮試験

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、恒温恒湿室に静置した。長さ変化率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。

## (5) スケーリング量測定

ASTM C 672<sup>10)</sup> 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の角柱供試体であり、蒸気養生の翌日に脱型し、材齢14日まで恒温恒湿室に静置した。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。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、35日目まで測定を行った。

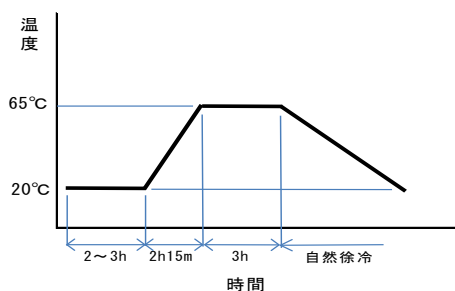


図-13 蒸気養生の概念

## 3.2.4 試験結果

### (1) 圧縮強度試験

再生粗骨材使用時における材齢1日の圧縮強度を図-14に、材齢14日における圧縮強度を図-15に示す。

どちらにおいても一般的な製品の必要強度（材齢1日 12N/mm<sup>2</sup>、材齢14日 24N/mm<sup>2</sup>）は満足している。また、同じ水結合材比で比較した場合、膨張材使用の方が、使用しない場合よりも強度は大きくなった。ただし、本試験では膨張材は30kg/m<sup>3</sup>の使用量のみ結果であり、使用量の増減によっては、強度が異なることもあるため留意が必要である。

産地による比較では、W/B=40%、W/B=50%で目立った差はないため、産地による違いは明確ではないと考える。また、天然砕石と再生骨材（膨張材なし）の比較についても、明確な差は認められない。

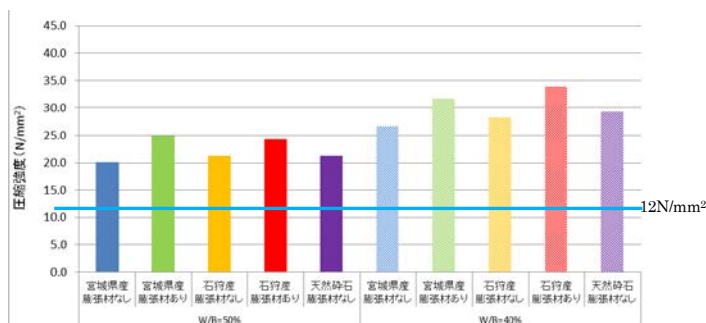


図-14 圧縮強度試験結果（材齢1日）

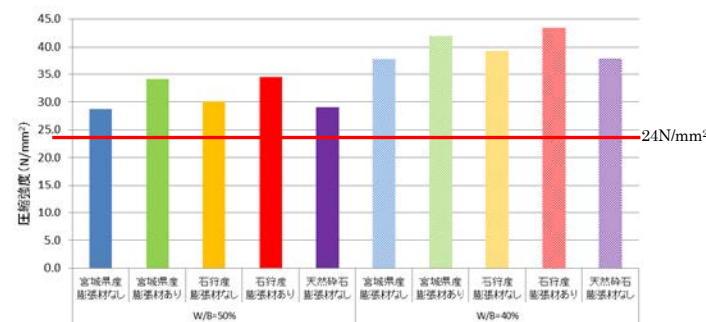


図-15 圧縮強度試験結果（材齢14日）

### (2) 乾燥収縮試験

水結合材比が50%の時の試験結果を図-16に、水結合材比が40%の時の試験結果を図-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、縦軸はそれぞれの変化割合を百分率で表している。

乾燥期間56日において比較した場合、どちらの水結合材比においても、再生粗骨材使用の供試体の方が天然砕石使用より大きくなった。天然砕石の吸水率は再生粗骨材の約1/3であり、吸水率の違いがこの結果に反映したと推測している。この結果から、再生粗骨材を



使用する場合は、乾燥収縮に影響を及ぼす可能性があるため、その影響が小さいPCa製品へ使用するなど、留意が必要と考える。膨張材有無の比較では、若干だが膨張材ありの方が長さ変化率は小さい結果となった。また、膨張材使用の場合、蒸気養生時に膨張現象が生じ、その影響により乾燥収縮を低減させることが示唆されており<sup>5)</sup>、そのことを鑑みても、膨張材使用効果が期待できると考えられる。

産地による比較では若干石狩産の方が大きい傾向だが、その差は大きくても0.003%程度（膨張材あり、なしそれぞれで比較）であり明確な差ではないと考えている。

ただし、本試験は180日を目標としているが、記載した結果は56日までのものであり、今後の経過を観察して判断する必要があると考えている。

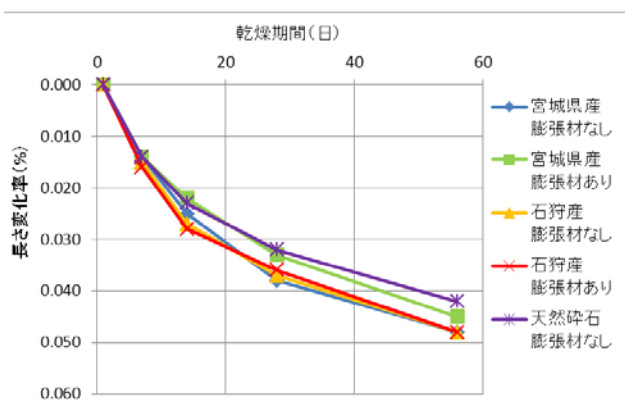


図-16 乾燥収縮試験結果（水結合材比50%）

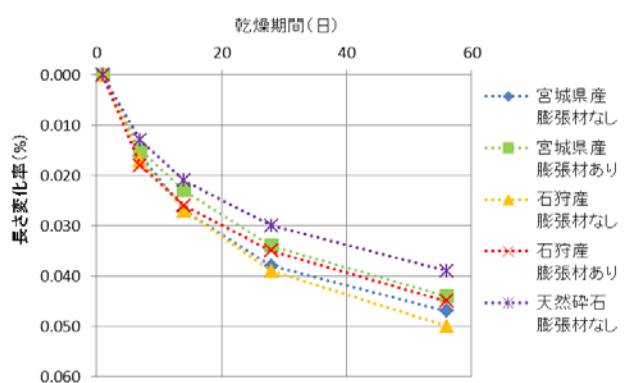


図-17 乾燥収縮試験結果（水結合材比40%）

### (3) スケーリング量測定

図-18に水結合材比50%のスケーリング量測定結果を示す。同じ産地で比較した場合、膨張材ありの方が膨張材なしの場合よりも、スケーリング量が小さいことがわかる。図-19に水結合材比40%の測定結果を示すが、上述の傾向は同じである。これは、膨張剤の使用と蒸気養生で初期硬化時に発生したプレストレスによるものと考えられる<sup>5)</sup>。

また、天然砕石と再生粗骨材の比較をした場合、膨張材の有無に関わらず、再生粗骨材使用の方がスケーリング量は大きい傾向となった。これは、再生粗骨材に付着している旧モルタル分が影響していると考えられる。また、図-18と図-19で水結合材比の比較をすると、50%の方が40%と比べスケーリング量が大きいことがわかる。天然砕石使用のW/B=50%の35日目におけるスケーリング量は約0.01g/cm<sup>2</sup>であり、同じW/B=50%の再生粗骨材使用のスケーリング量は、膨張材の有無に関わらず約0.03~0.11g/cm<sup>2</sup>と全てで天然砕石使用のもの倍以上大きくなっている。しかし、W/B=40%における再生粗骨材使用のスケーリング量は約0.003~0.02 g/cm<sup>2</sup>であり、W/B=50%天然砕石使用のスケーリング量に近い値となった。このことから、再生粗骨材を使用しても水結合材比を下げることにより、天然の骨材使用と同程度まで凍結融解と塩分が同時に作用する環境下における表面剥離を抑えられる。

産地の比較では、水結合材比50%の場合は石狩産の方が、40%の場合は、膨張材ありで石狩産がスケーリング量は大きくなった。若干ではあるが、石狩産の方が吸水率は小さく、一般的には吸水率が大きくなると、スケーリングも大きくなると考えられるが、再生粗骨材においてスケーリング量と吸水率の相関関係は既往の成果<sup>11)</sup>でも不明瞭であり、原因については今後検討していきたいと考えている。

以上の結果から、再生粗骨材を使用したコンクリートに関して、水結合材比を小さくするか、膨張材を使用することで、凍結融解と塩分が同時に作用する環境下における表面剥離に対する抵抗性を向上できる可能性があると考えられる。ただし、膨張剤を使用しても、天然砕石よりもスケーリング量が大きいことに留意する必要がある。

乾燥収縮と同様、測定サイクルがまだ35回であるため、測定を継続して長期的な視点での判断を行う。

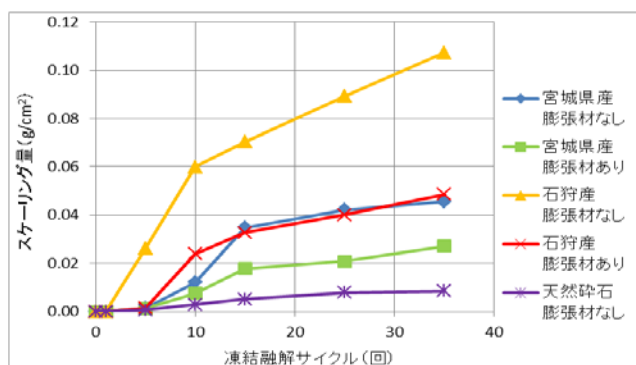


図-18 スケーリング試験結果  
(スケーリング量 W/B=50%)

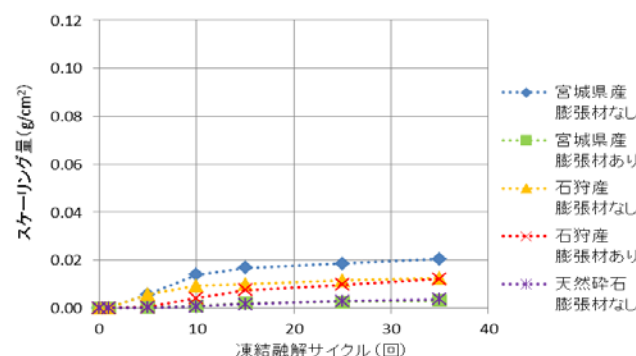


図-19 スケーリング試験結果  
(スケーリング量 W/B=40%)

### 3.2.5 まとめ

- (1) 再生粗骨材をコンクリート製品に使用する場合、再生粗骨材の品質のバラツキに留意する必要がある。
- (2) 再生粗骨材を使用した配合および膨張材を使用した配合のコンクリートは、製品の必要強度を満足した。
- (3) 再生粗骨材を使用した配合は、膨張材使用により、乾燥収縮の影響を抑えることが期待できるが、天然砕石使用時よりも長さ変化率が大きいいため、その影響に留意が必要である。
- (4) 再生粗骨材を使用した配合は、水結合材比を小さくするか、膨張材を併用することにより、凍結融解と塩分の作用による表面剥離を抑制できる可能性がある。しかし、再生粗骨材使用の配合は天然砕石使用時よりもスケーリング量が大きいいため、留意が必要である。

### 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、p6、2005
- 2) 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、国土交通省北海道開発局
- 3) 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
- 4) 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
- 5) 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リング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
- 6) 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
- 7) 島多昭典、田畑浩太郎、田口史雄、吉田行:積雪寒冷期のプレキャストコンクリート製品製造時の養生方法に関する研究—雪中養生の試行—、雪氷研究大会、2013.9
- 8) 片平博:再生骨材の品質がコンクリートの性能に与える影響、セメント・コンクリート No.654、2001.8
- 9) (社)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
- 10) 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
- 11) 清野昌貴、吉田行、島多昭典:吸水率が異なる再生粗骨材を使用したプレキャストコンクリート製品の積雪寒冷地での適用性、2015.1 土木学会北海道支部 論文報告集 第 71 号

## 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** : FY2011-2016

**Research Team** : Cold-Region Maintenance Engineering  
Research Group (Materials Research  
Team)

**Author** : SHIMATA Akinori, MIHARA Norihiro,  
YOSHIDA Susumu , SEINO Masaki,  
YOKOYAMA Hiroyuki, TAKADAMA Namio,  
ICHIKAWA Seiichi, FUJITA Yuuji and  
TAKADA Naoto

**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. 2014 fiscal year, it was conducted, with respect to (1), is made using the recycled coarse aggregate in the 2013 fiscal year, Investigation on the durability of the installed L-shaped retaining wall in Mashike exposure test site, with respect to (2), a study of temperature influence during the snow curing at the time assumed of the occurrence of a large-scale disaster in the snowy cold season, and laboratory test at a applicability to PCa product used with recycled coarse aggregate outside the mid-quality standards where the production area is different.

As a result, a study with respect to (1), the L-shaped retaining wall placed after one year, the deterioration of the concrete was suggested that not progressing. In the test for (2), it was confirmed that the temperature of the internal snow during curing at a depth of about 10cm is almost stable at 0 °C or more, also in the snow during the curing it is not so deep, it was suggested the possibility that the compressive strength is satisfied. In the laboratory test, compressive strength of concrete specimens using recycled coarse aggregate outside the medium quality was confirmed to satisfy the required strength of the PCa products. In addition, the compressive strength were also obtained tends to increase with the use of expansive admixture. In scaling tests, when recycled coarse aggregate outside medium quality was used, the surface delamination was larger as compared with natural aggregate used. However, it became small to use expansive admixture and to reduce the water binder ratio. From this fact, even when a low quality recycled coarse aggregate to occur in large-scale disasters was used, it was suggested that there is applicability to PCa product by devising such as water binder ratio and using admixture.

**Key words** : recycled coarse aggregate, precast concrete, curing, scaling