

焼成ホッキ貝殻粉末を用いた凍害防止の基礎的研究

Frozen damage prevention with clam surf shell powder

苫小牧工業高等専門学校 環境都市工学科
 苫小牧工業高等専門学校 環境都市工学科
 苫小牧工業高等専門学校 環境都市工学科

○学生員 榊原 侑樹 (Yuki Sakakibara)
 正会員 廣川 一巳 (Kazumi Hirokawa)
 正会員 渡辺 暁央 (Akio Watanabe)

1. 序論

積雪寒冷地における海洋コンクリート構造物はスケーリング、ポップアウト、粗骨材露出現象などがあり、本研究では、粗骨材露出現象に着目し、研究を実施している。この現象はコンクリート表層部で粗骨材の上部にある数 mm のモルタルが剥離する現象である。年数の経過とともに剥離面積は広がるが、剥離深さは進行せず、粗骨材自体が剥落することはない。このモルタルの剥離はコンクリート内部に影響を及ぼさないが、海洋コンクリート構造物の景観や信頼性を損ねるという問題がある。この現象は施工後一冬でも剥離することがある。対策として、湿潤養生 5~7 日後乾燥させることで、同水セメント比でも剥離が少なくなるといったことが、佐伯らの研究¹⁾、木村らの研究²⁾らの研究により明らかにされている。また、木村の研究³⁾により、ユニット型温湿度供給装置を用いた粗骨材露出現象の再現可能であることが確認されている。

これらの研究から、表面の炭酸화가粗骨材露出現象の抑制に関係しているのではないかと考えられた。水和初期のコンクリートを炭酸化させることで、コンクリート中の水酸化カルシウムは炭酸カルシウムとなる。その炭酸カルシウムの生成の過程の中で、粗骨材とモルタルとの境界面に炭酸カルシウムが入り込み、緻密化されることで剥離の抑制に繋がったのではないかと考えた。

そこで、本研究では藤澤の研究⁴⁾により焼成ホッキ貝殻粉末（以下、焼成 HP とする）の主成分が酸化カルシウムであることが解明されていることに着目した。

焼成 HP を配合することで、上記の一連の化学的作用を増幅させ、より一層表面を緻密化させる効果があるのではないかと考え、焼成 HP をコンクリート中に配合し実験を行った。

よって、本研究ではコンクリート中に焼成 HP を配合し、凍結融解試験をかけ、粗骨材剥離現象との関連性を探ることを目的とした。

2. 実験方法

2.1 使用材料及び供試体

粗骨材は静内産（密度=2.74g/cm³）、細骨材は浜厚真産（密度=2.69g/cm³）、セメントは普通ポルトランドセメント（密度 3.16g/cm³）を用い、混和剤は AE 減水剤（変形リグニンスルホン酸化合物）、AE 助剤を用いた。また今回、使用する焼成 HP は、ホッキ貝殻を天日干しで乾燥させた後、粉碎機にかけて 1000℃で一時間焼成する。焼成したもののうち 106μm ふるいを通過したものを焼

成 HP とし使用する。配合に関しては、石井の研究⁵⁾を参考とし、表-1 に示すとおりに打設を行った。

供試体は ASTM C 672⁶⁾に準拠し、図-1 に示される寸法の発泡スチロールの型枠を使用した。また、水セメント比は 55%の供試体を作製した。スランプは 5.0±1.0cm、空気量は 4.5±0.5%を目標に打設を行い、各種性状は、表-2 に示すとおりの結果となった。養生方法は、5 日間水中養生後材齢 9 日まで空气中乾燥したもの（以下、5w9d とする）、14 日間水中養生したもの（以下、14w とする）の 2 種類を二個ずつ打設した。

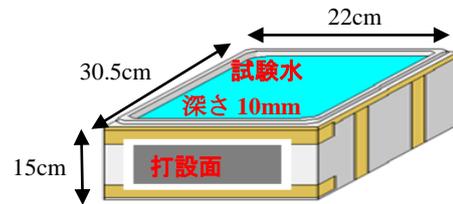


図-1 ASTM C 672 に準拠した供試体概略

表-1 水セメント比 55%の供試体と焼成 HP の配合表

| 水セメント比 (W/C) | 焼成HP配合割合 (%) | 単位量(kg/m ³) | | | | | | 焼成HP |
|--------------|--------------|-------------------------|-------|-----|------|-------|------|------|
| | | 水 | セメント | 細骨材 | 粗骨材 | AE減水剤 | AE助剤 | |
| W/C 55% | 内割1% | 140 | 252.5 | 811 | 1180 | 2.5 | 0.13 | 2.55 |
| | 内割3% | | 247.4 | | | | | 7.65 |
| | 外割3% | | 255 | | | | | 0.00 |
| | 配合無し | | | | | | | |

表-2 水セメント比 55%の練り上がり性状

| 焼成HP配合割合 | スランプ(cm) | 空気量 (%) | 練り上がり温度 (°C) |
|----------|----------|---------|--------------|
| 内割1% | 3.0 | 3.4 | 22.8 |
| 内割3% | 4.2 | 4.8 | 21.8 |
| 外割3% | 5.0 | 4.5 | 22.0 |
| 配合無し | 5.6 | 4.6 | 18.3 |

2.2 凍結融解試験

凍結融解試験に使用する試験水は、木村の研究³⁾より、海水を使用するよりも塩化ナトリウム水溶液を使用したほうが剥離することがわかっている。よって、本研究では塩化ナトリウム水溶液を使用する。試験水の濃度は、一般の海水の塩分濃度を考慮して、3%の塩化ナトリウム水溶液を使用する。

ユニット型温湿度供給装置を、プログラム運転により 8 時間の融解作用と 16 時間の凍結作用を与え、供試体の表面温度を-10℃から+5℃になるように制御し、この一連の流れを 1 サイクルとし、60 サイクルまで行った。

3.結果および考察

図-1、図-2、図-3 は水セメント比 55%の供試体に焼成 HP をそれぞれ内割 1%、内割 3%、外割 3%の割合で配合したものの剥離率を示したものである。剥離率は、供試体の露出面のモルタルが剥離し、粗骨材が露出している部分をトレースして囲い、プランイメーターを用いて、剥離面積を求め、この剥離面積を供試体の露出面積当たりの割合として算出したものである。

図-1、図-2 において、水中養生のみを行った供試体は剥離率に大きなバラつきが見られた。図-1 で、60 サイクル後の剥離率が、14w-1 は、2.3%程度に留まっているが、14w-2 は、42.8%となった。また、図-2 では、14w-1 は、5.5%となっているが、14w-2 は、24.9%となった。バラつきが生じた主な原因は、今のところ不明である。

図-4 より焼成 HP 無配合の 60 サイクル後の剥離率はとなっており、14w は 15.0%となっており、5w9d は 8%となった。

焼成 HP の配合の違いで結果を比較すると、水中養生のみを行った供試体は、大きく剥離したものは、内割 1%で 42.8%となり、内割 3%では 24.9%となり焼成 HP が多く配合したものが剥離をしない結果となった。

同配合で、内割と外割で比較すると、水中養生のみを行った供試体は、内割 3%よりも外割 3%の方が、いずれも大きく剥離する結果となった。水中養生後、空気乾燥を行った供試体では、いずれも内割 3%よりも外割 3%の方が、剥離が抑制された結果となった。これは、両者を粉体量で比較すると外割 3%の方が、炭酸カルシウムの生成量が多いことが原因と考えられる。

焼成 HP を配合し、水中養生後の空気乾燥を行うといずれの供試体も剥離率が 8%以下となり、焼成 HP の効果が現れたと考えられる。

しかし、焼成 HP を配合した供試体で水中養生のみ行ったものは、剥離率が 15.0%以上を大きく超えるものが多く見られたので、焼成 HP 配合したことが逆効果であった。

既往の研究^{1)、2)、3)}では水中養生のみを行うより水中養生後に気中乾燥を行うことで供試体の剥離は抑制されるということがわかっており、本研究でもその効果を確認することができた。

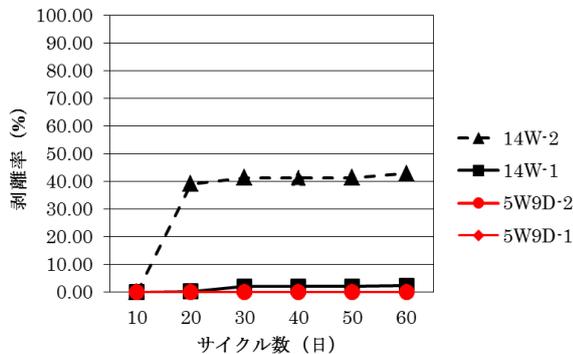


図-1 内割 1%での剥離率の変化

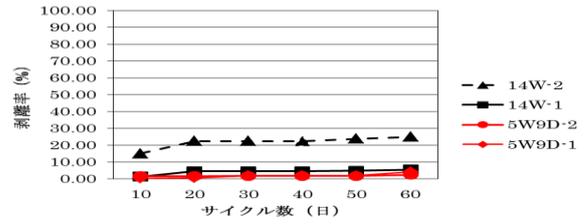


図-2 内割 3%での剥離率の変化

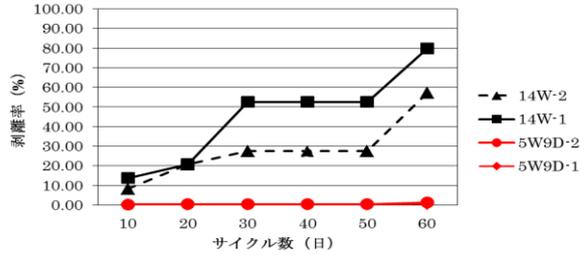


図-3 外割 3%での剥離率の変化

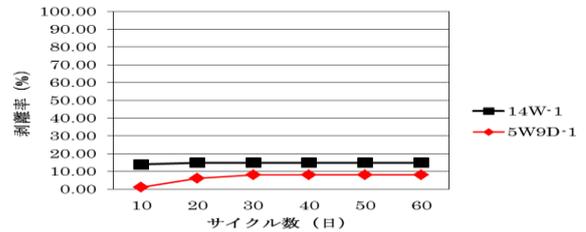


図-4 焼成 HP 無配合での剥離率の変化

4.結論

本研究では、供試体表面温度が-10℃から+5℃になるように凍結融解試験を行った結果を以下に記す。

- (1) 焼成 HP を配合したコンクリートで水中養生後、空気乾燥を行うと剥離を抑制する結果となった。
- (2) 焼成 HP を配合し、水中養生のみだと剥離を促進させる結果となった。

参考文献

- 1) 佐伯、鮎田、前川：北海道における海岸および港湾コンクリート構造物の凍害による表面剥離損傷、土木学会論文報告集 327号、pp151-162、1982。
- 2) 木村、安藤、鮎田、桜井、小笠原：寒冷地海洋環境下におけるコンクリートの劣化防止対策、土木学会北海道支部論文報告集、平成5年度、pp.1024、1994
- 3) 木村：凍害を受けた海洋コンクリートの塩分浸透に関する研究、土木学会論文報告集 71号、E-04、2013
- 4) 藤澤：産業廃棄物のホッキ貝殻を利用したコンクリートの基礎的研究、土木学会論文報告集号 65、E-19、2009
- 5) 石井：焼成ホッキ貝殻粉末および焼成ホタテ貝殻粉末混入モルタルの膨張特性の相違について、コンクリート工学年次論文集、Vol.35、No.1、pp1567~1572、2013
- 6) American Society for Testing and Materials：Standard test method for scaling resistance of concrete surfaces exposed to deicing chemicals, ASTM C 672, Annual Book of ASTM Standards part 14, pp. 402, 1993