

探究成果報告書

・ 探究テーマ	ごみ溶融スラグを使用したコンクリートの凍結融解抵抗性を向上させる！
・ 所属学校	独立行政法人国立高等専門学校機構 豊田工業高等専門学校
・ 代表生徒氏名およびグループの名称	佐藤孝樹（豊田高専チーム）
・ 探究期間	令和6年4月1日から令和7年3月31日まで
・ 探究内容及び成果の詳細（探究の目的、計画、探究内容、成果等項目を記入下さい）	

1. 研究の目的

本研究は、近年減少しているコンクリートに使用している天然骨材の代用品として、ごみや産業廃棄物を焼却処理することにより生産できる、ごみ溶融スラグを細骨材として使用し、ごみ溶融スラグの有効利用の促進を目的とした。コンクリートの大部分は骨材が占めており、強度等の品質に大きく影響している。しかし、良質な骨材である川砂、川砂利などは、環境保護の目的で骨材採取が規制され、現在ではその不足分を山砂、山砂利、砕石、砕砂などで補っているのが現状であるが、これらの天然骨材についても年々減少している。ごみ溶融スラグを有効利用することにより、社会問題となっている廃棄物最終処分場不足に貢献できる。しかしごみ溶融スラグを多量に混入した場合、ウェザリング（凍結融解抵抗性）の低下等が報告¹⁾²⁾されている。そこで、本研究では、ごみ溶融スラグを混入させたコンクリートにフライアッシュを加えることで、ウェザリング（凍結融解抵抗性）の改善を試みた。なお、1990年に施行されたスパイクタイヤ粉じんの発生の防止に関する法律に伴い、寒冷地には融雪剤や凍結防止剤として塩化ナトリウム等が散布されている現状を鑑み、塩化物イオンの浸透についても検討を行った。

2. 使用材料およびコンクリートの基本配合

表-1にコンクリートの基本配合を示す。セメントは高炉セメントB種、粗骨材は静岡県天竜川産の川砂利(最大寸法25mm, 表乾密度2.61g/cm³)、細骨材は静岡県天竜川産川砂(表乾密度2.63g/cm³)、ごみ溶融スラグは豊田市渡刈クリーンセンターで製造されたごみ溶融スラグ(表乾密度2.85g/cm³)、フライアッシュは中部電力碧南火力発電所で製造されたフライアッシュII種(45 μ mふるい残分9%, 比表面積3570cm²/g)を使用した。混和剤には、AE減水剤(チューポールNV-G5)及びAE剤(フローリックSV10)とした。なお、混和剤はごみ溶融スラグを混入させたコンクリートにはAE減水剤、普通コンクリート(以下、NC)にはAE剤を用いた。ごみ溶融スラグおよびフライアッシュ共に無添加、ごみ溶融スラグを混入したコンクリート供試体は、セメントに対するフライアッシュ添加率0%(無添加)、1%、3%の3種類を3本ずつ製作した。

表-1 示方配合

供試体名	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)					
			W	G	S	G	混和剤	フライアッシュ
F0	37	44	127	340	829	1047	1.27	-
F1	37	44	127	340	829	1047	1.27	3.4
F3	37	44	127	340	829	1047	1.27	10.2
NC	55	47	180	327	810	920	1.8	-

3. 実験方法

(1) 凍結融解試験

本研究では1日1サイクル凍結融解を繰り返しい、50サイクル凍結融解を行った。試験温度は、凍結は約-20℃(16時間)、融解は約22℃(8時間)1サイクルとした。評価項目として、5サイクル毎にスケーリング量を計測した。

(2) 硝酸銀発色試験

食塩水を用いて50サイクルの凍結融解試験を終えた供試体に対して、硝酸銀発色試験を実施した。硝酸銀発色試験は、硝酸銀水溶液(0.1mol/L)を供試体へ噴霧し、塩化物イオンの浸透深さを計測した。

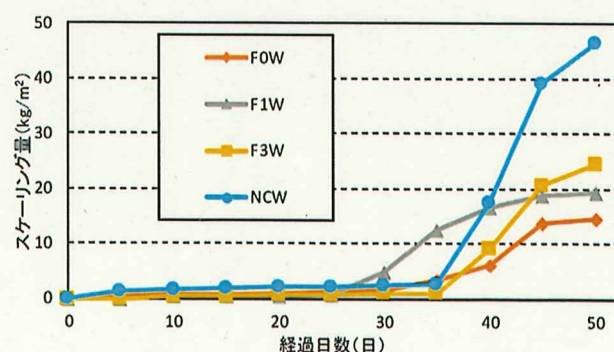


図-1 スケーリング量(水)の変化

4. 凍結融解試験結果及び考察

図-1, 図-2 にスケーリング量の計測結果を示す。水を使用した供試体では, 50 サイクル時に $15\sim 42\text{kg/m}^2$ のスケーリングを確認した。ごみ溶融スラグコンクリート供試体のフライアッシュ混入量とスケーリング量に, 明確な差が表れなかったのは, スケーリング量が微量であったためと考える。NC 供試体のスケーリング量が, ごみ溶融スラグコンクリート供試体のスケーリング量と比較して 2 倍のスケーリング量が生じたのは, 供試体の圧縮強度が NC(44.1N/mm^2)に対して, ごみ溶融スラグコンクリート (F0: 64.5N/mm^2 , F1: 65.0N/mm^2 , F3: 68.8N/mm^2)が大きいためであると推察する。食塩水を使用した供試体では, 50 サイクル時に $169\sim 1,528\text{kg/m}^2$ のスケーリングを確認した。ごみ溶融スラグコンクリート供試体では, フライアッシュ混入量が 3% の F3 供試体が最もスケーリング量が多くなり, フライアッシュ混入量が 1% の F1 供試体が最もスケーリング量が少ない結果となった。この結果は, 本研究で作成したごみ溶融スラグコンクリート供試体の空隙に対して, 3% のフライアッシュを添加した場合, 飽和状態であったため, 見掛け上のセメントペーストが増えてしまったことにより剥離量が増加したと考える。

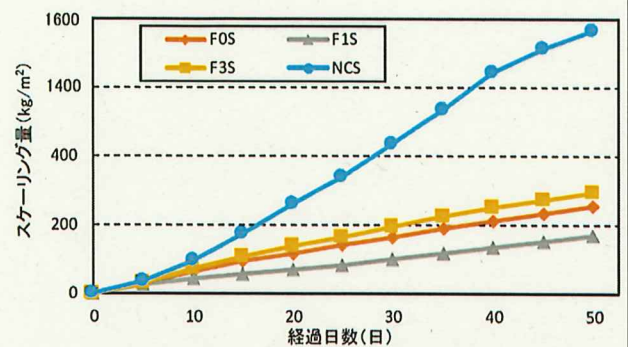


図-2 スケーリング量(食塩水)の変化

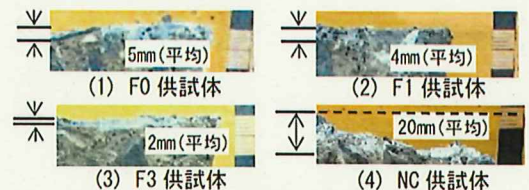


写真-1 硝酸銀発色試験

5. 硝酸銀発色試験及び考察

写真-1 に各供試体の硝酸銀発色試験供試体を示す。食塩水を用いた凍結融解試験により供試体内部に浸透した塩化物イオンに対して, 硝酸銀水溶液を用いて浸透深さを計測した。浸透深さは, フライアッシュ混入量に伴い, 塩化物イオンの浸透を抑制する効果があることを確認した。河野ら⁴⁾の研究により, フライアッシュを混入することによりブリージングを抑制することが確認されている。本研究においても, ごみ溶融スラグコンクリート供試体のブリージングが抑制されたことで細孔構造が緻密化したと推察できる。また, フライアッシュの添加によりポゾラン反応が進み, 水密性が向上したこともごみ溶融スラグコンクリート供試体に影響したと考えられる。

6. まとめ

本研究により, 得られた成果を以下に示す。

- ・フライアッシュを 1% 混入させることにより, ごみ溶融スラグコンクリートのスケーリング量を少なくすることが可能であり, 耐凍害性を向上させることができる。
- ・フライアッシュを 1% または 3%, 混入させることにより, ごみ溶融スラグコンクリートの塩化物イオンの浸透深さを抑制することが可能である。

参考文献

- 1) 柏崎健輔・佐藤重悦・城門義嗣・加賀谷誠: ごみ溶融スラグをリサイクル使用したコンクリートの凍結融解特性と品質改善に関する基礎的検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.27, No.1, pp.1435-1440, 2005.7
- 2) 佐々木肇・寺谷俊明・榊原純一・喜多達夫: 都市型廃棄物溶融スラグを細骨材に用いたコンクリートの特性, コンクリート工学年次論文集, Vol.23, No.1, pp.319-324, 2001.7
- 3) 鳥居和之・山戸博晃・野口陽輔・鍵本広之: 溶融炉スラグの物理・化学的性質とアルカリシリカ反応性, コンクリート工学年次論文集, Vol.25, No.1, pp.623-628, 2003.7
- 4) 河野伊知郎, 大畑卓也, 松井隆哉: ごみ溶融スラグおよび鉱物質微粉末を用いたコンクリートの基礎的性状, 土木学会全国大会第 72 回年次学術講演会, V-078, 2018.9

- ・構成メンバー (すべての参加生徒の氏名および学年。提案時からの変更可。最終的なメンバーを記載下さい。)

佐藤 孝樹 (3 年), 安部 寿悠 (3 年), 鈴木 悠剛 (3 年)
中辻 光太郎 (3 年), 鈴木 陽大 (3 年), 伴 虎弥太 (3 年)

指導者 河野 伊知郎 印

大畑 卓也 印