

新燃岳火山灰をポゾラン材として利用した鉄鋼スラグ水和固化体のアルカリ溶出性および力学特性

宮崎大学工学部 学生会員 ○金丸 寛生 宮崎大学大学院 学生会員 本田 寛樹
宮崎大学工学部 正会員 尾上 幸造 宮崎大学工学部 学生会員 松下 拓樹
宮崎大学工学部 学生会員 小川 雅

1. はじめに

鉄鋼スラグ水和固化体¹⁾ (Steel-making Slag Concrete ; 以下 SSC と称す) は、製鉄所から発生する副産物である製鋼スラグと高炉スラグを原料とし、必要に応じてフライアッシュ等のポゾラン材やアルカリ刺激材を添加して製造される環境負荷低減型の材料である。宮崎県では 2011 年 1 月に霧島連山新燃岳が噴火し、大量の火山灰が発生した。本研究では、新燃岳火山灰のポゾラン材としての利用に着目し、火山灰の添加率が SSC の海水中におけるアルカリ溶出性と力学特性に及ぼす影響について検討した。

2. 実験概要

2.1 使用材料および配合

高炉スラグ微粉末 4000 (比表面積: 4280 g/cm^2 , 密度: 2.89 g/cm^3), 製鋼スラグ細骨材 (5mm 以下, 表乾密度: 3.27 g/cm^3 , 吸水率: 8.70%), 製鋼スラグ粗骨材 (20~5mm, 表乾密度: 3.00 g/cm^3 , 吸水率: 5.09%), フライアッシュ (JIS II 種, 比表面積: 4020 g/cm^2 , 密度: 2.28 g/cm^3), 火山灰 (宮崎県都城市より採取, 1.2mm 以下, 粗粒率: 2.39, 表乾密度: 2.25 g/cm^3 , 吸水率: 9.70%), およびアルカリ刺激材として消石灰 (密度: 2.20 g/cm^3) を用いた。

一般的に SSC のポゾラン材にはフライアッシュが使用される。ポゾラン材は長期強度の増進および $\text{Ca}(\text{OH})_2$ の消費による固化体のアルカリ低減を目的として使用される。なお、火山灰の主な成分はシリカとアルミナであり、ポゾラン反応が期待できる²⁾。

表-1 に SSC の配合条件および単位量を示す。FA シリーズ (FA25, FA30, FA35)³⁾ および VA シリーズ (VA25, VA30, VA35) は、それぞれ高炉スラグ微粉末に対するフライアッシュまたは火山灰の質量比率を 25%, 30%, 35% と変化させたものである。比較のため、ポゾラン量を 0 kg/m^3 とした Normal も作製した。

2.2 実験方法

SSC はその特性から海洋構造物としての適用性が高いとされる。このとき海水へのアルカリ溶出が問題となる。そこで、海水中における SSC のアルカリ溶出試験を図-1 の手順で実施した。「気中曝露期間なし」の場合は、脱型直後に SSC 供試体をポリ容器に入れた海水 (宮崎市青島漁港より採取した天然海水を使用) 中へ浸漬 (供試体と海水の体積比 = 1 : 3.9) し、海水が蒸発しないよう密封した状態で静置した。海水浸漬から 48 時間後にガラス電極式 pH メータを用いて海水の pH を測定し、測定後海水を入れ替えた。このサイクルを 45 日間繰り返した。「気中曝露期間あり」は海水浸漬前に気中曝露することで表面を炭酸化させ、海水浸漬後の pH 上昇が抑制されるかどうかについて検討したもので、配合は FA35 と VA35 を用い、脱型後淡水中で 1 週間養生したのち気中曝露を行ったもの (供試体 WA) と、脱型直後から気中曝露を行ったもの (供試体 A) について検討した。気中曝露期間は、1 週間、2 週間、4 週間とし、その後は「気中曝露期間なし」の場合と同様の手順でアルカリ溶出試験を行った。なお、アルカリ溶出試験は室温 20°C 、相対湿度 60% の恒温室内で行った。また、材齢 28 日、91 日、182 日の時点における SSC の圧縮強度を JIS A 1108 に準じて測定した。

表-1 配合表 (FA, VA シリーズおよび Normal)

配合	FA/BF or VA/BF (mass%)	CH/BF (mass%)	強度 指数*	単位量 (kg/m^3)					
				水 W	高炉スラ グ微粉末 BF	消石 灰 CH	フライ アッシュ FA	火山 灰 VA	製鋼スラ グ細骨材 SS
Normal	0				458	92	0	0	794
FA25	25				427	85	107		745
FA30	30				421	84	126	0	735
FA35	35				416	83	146		726
VA25	25				427	85		107	746
VA30	30				421	84	0	126	737
VA35	35				416	83		146	727

*強度指数 = $(\text{BF} + \text{CH} + 0.35\text{FA}) / \text{W}$ または強度指数 = $(\text{BF} + \text{CH} + 0.35\text{VA}) / \text{W}$

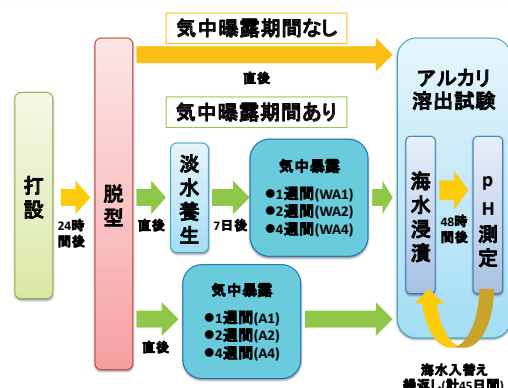


図-1 アルカリ溶出試験の流れ

3. 実験結果

図-2 にアルカリ溶出試験（気中曝露期間なし）の結果を示す。ポゾランを混和することで、SSC からのアルカリ溶出が抑制されていることがわかる。生物生育に適した pH 値はおよそ 7.8~8.4 とされている。上限値である pH=8.4 に到達するまでの日数は、FA30 および VA25 配合で最短となり、およそ 20 日であった。なお、火山灰を用いた SSC のアルカリ溶出性は、FA を用いた SSC のアルカリ溶出性とほぼ同等であった。

図-3 に圧縮強度試験（気中曝露期間なし）の結果を示す。FA および火山灰を用いた SSC の圧縮強度は、ほぼ同等であった。また、高炉スラグ微粉末に対する質量比率の影響は、本実験範囲において小さいといえる。

図-4 にアルカリ溶出試験（気中曝露期間あり）の結果を示す。気中曝露期間を設けた場合、SSC を浸漬した海水の pH 値はほとんど上昇しない。また、気中曝露期間が長くなるにつれ、海水 pH 値は低くなることわかる。このことから、海水浸漬前の気中曝露の有無が SSC のアルカリ溶出に及ぼす影響は大きく、固化体表面の炭酸化がその理由として挙げられる。

図-5 に圧縮強度試験（気中曝露期間あり）の結果を示す。FA シリーズ、VA シリーズともに 28 日強度は初期の気中曝露期間が長いほど低下する傾向にある。91 日強度および 182 日強度に関しては、FA シリーズと VA シリーズで傾向が異なっている。FA シリーズでは気中曝露期間 4 週の場合に長期強度の発現が阻害されるが、VA シリーズでは気中曝露期間によらず長期強度もほぼ同等となっている。火山灰の吸水率が高く保水効果があるためにこのような結果になったのではないかと考えている。この点に関しては、今後詳細に検討する必要がある。

4. まとめ

- (1) 火山灰をポゾラン材に利用した SSC の製造は十分可能である。
- (2) 海水浸漬前に気中曝露期間を設けることで、SSC のアルカリ溶出性を抑制可能である。
- (3) 火山灰を添加した SSC のアルカリ溶出および圧縮強度はフライアッシュを用いた SSC とほぼ同等である

が、初期材齢における気中曝露を施す場合には火山灰を使用した SSC の方が長期強度は高い傾向を示す。

謝辞：本研究の一部は平成 23 年度九州建設弘済会研究開発助成（研究代表者：宮崎大学・尾上幸造）を受けて実施されました。ここに付記し謝意を表します。

参考文献

- 1) 松永久宏，小菊史男，高木正人，谷敷多穂：鉄鋼スラグを利用した環境に優しい固化体の開発，コンクリート工学，Vol.41，No.4，pp.47-54，2003
- 2) 尾上幸造，坂井義彰，福田浩一，中澤隆雄：新燃岳火山灰を混入したセメントモルタルの強度特性，平成 23 年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集，2012，投稿中
- 3) 尾上幸造，本田寛樹，松藤恭平，中澤隆雄：鉄鋼スラグ水和固化体のアルカリ溶出性と力学特性に及ぼすポゾランの種類および配合条件の影響，コンクリート工学年次論文集，Vol.33，No.1，pp.1577-1582，2011

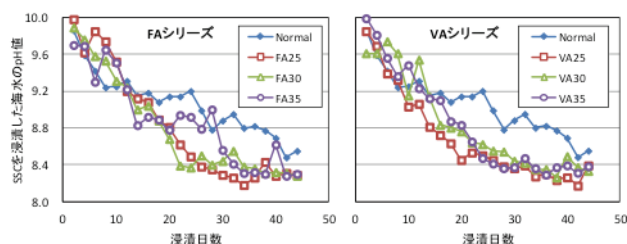


図-2 アルカリ溶出試験結果（気中曝露なし）

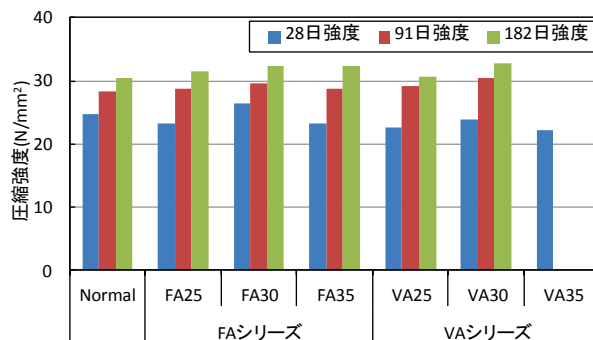


図-3 圧縮強度試験結果（気中曝露なし）

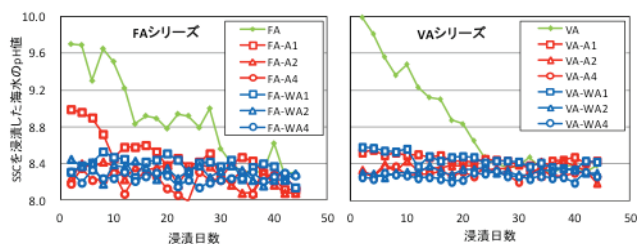


図-4 アルカリ溶出試験結果（気中曝露あり）

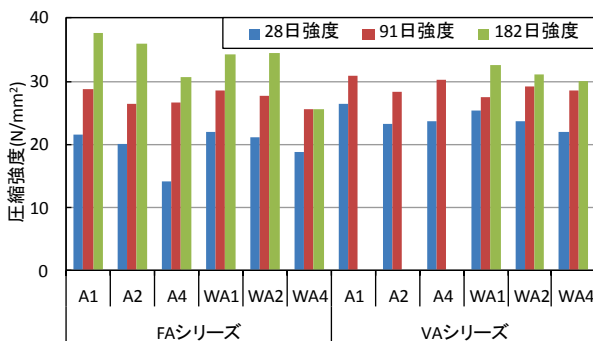


図-5 圧縮強度試験結果（気中曝露あり）