

火山灰を混入した鉄鋼スラグ水和固化体のアルカリ溶出性および圧縮強度

○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
宮崎大学大学院 学生会員 金丸 寛生 同 小川 雅 同 松岡 史也

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の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。一方、宮崎県では 2011 年 1 月に霧島連山新燃岳の噴火により大量の火山灰が発生し、その処理が問題となっている。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、密実体とポーラス体の SSC を作製し、火山灰の添加率および気中曝露期間が SSC のアルカリ溶出性および圧縮強度に及ぼす影響について検討した。

表-1 配合表 (密実体)

配合	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	火山灰 VA	製鋼 スラグ 細骨材 SS	製鋼 スラグ 粗骨材 GS
Normal	0	20	2.2	250	458	92	0	797	859
VA25	25				427	85	107	746	803
VA30	30				421	84	126	737	793
VA35	35				416	83	146	727	783

強度指数=(BF+CH+0.35VA)/

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:4280cm²/g, 密度: 2.89g/cm³), 製鋼スラグ細骨材 (5mm 以下, 表乾密度: 3.27g/cm³, 吸水率: 8.70%), 製鋼スラグ粗骨材(密実体については 20~5mm, 表乾密度: 3.00g/cm³, 吸水率: 5.09%, ポーラス体については 10~5mm, 表乾密度: 3.10g/cm³, 吸水率: 5.87%), 新燃岳火山灰 (宮崎県都城市より採取, 1.2mm 以下, 粗粒率: 2.39, 表乾密度: 2.25g/cm³, 吸水率: 9.70%), およびアルカリ刺激材として消石灰 (密度: 2.20g/cm³) を用いた。なお、火山灰の主な成分は SiO₂ と Al₂O₃ であり、ポゾラン反応が期待できる。

表-2 配合表 (ポーラス体)

配合	目標全空隙率 (%)	水結合材比 W/B (%)	単位量(kg/m ³)					連続空隙率 (%)	全空隙率 (%)
			水 W	高炉スラグ微粉末 BF	消石灰 CH	火山灰 VA	製鋼スラグ粗骨材 GS		
Normal	25	25	120	300	60	0	1634	17.3	21.1
POVA15	15		128	320	64	128		11.7	16.4
POVA25	25		88	220	44	88		16.6	23.4
POVA35	35		48	120	24	48		30.5	36.4

表-1, 表-2 に SSC の配合条件と単位量を示す。密実体については、高炉スラグ微粉末に対する火山灰 (表乾状態) の質量比率を 25, 30, 35(%)と変化させた。ポーラス体については、骨材粒径 10~5 mm で水結合材比を 25%とし、目標空隙率を 15, 25, 35(%)と変化させた。比較のため、ポゾラン材無混入の Normal も作製した。

2.2 実験方法

アルカリ溶出試験の手順を図-1 に示す。供試体 (φ 75mm ×150mm) と海水の体積比は 1 : 3.9 とした。SSC を海域で使用する場合、大量の海水に希釈されるため、pH 上昇はほとんどない¹⁾。本研究では、生物付着性に影響を及ぼす固化体表面の pH を間接的に調べるため、固液比の小さい条件で実験を行った。気中曝露期間なしの場合は、脱型直後に海水 (宮崎市青島漁港より採取した天然海水) 中への浸漬を開始した。海水への浸漬から 48 時間後にガラス電極式 pH メータを用いて海水 pH を測定し、海水の入替えを行い、このサイクルを 60 日間繰り返した。気中曝露期間ありの場合については、配合 VA35 と POVA15 を採用し、アルカリ溶出低減を目的とした気中曝露を脱型直後から行った。気中曝露期間は 1 週, 2 週, 4 週 (それぞれ A1, A2, A4 と表記) 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。また、材齢 28 日, 91 日における圧縮強度を JIS A 1108 に準じて測定した。

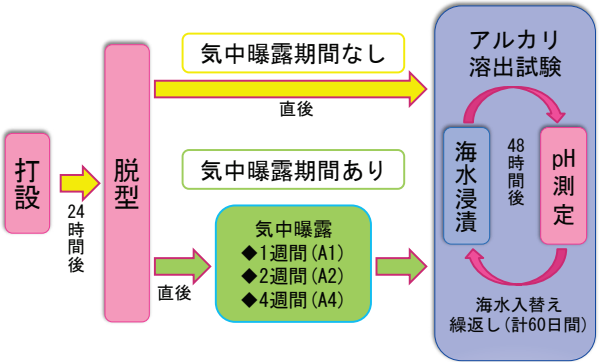


図-1 アルカリ溶出試験の手順

3. 実験結果

図-2 に密実体を浸漬した海水 pH の経時変化を示す。火山灰を添加することで、SSC のアルカリ溶出が抑制されることが分かる。ただし、火山灰の添加率の影響は小さいようである。また、海水浸漬前に気中曝露期間を設けることにより、初期のアルカリ溶出を大きく抑制でき、気中曝露を2週間以上行うことで、浸漬初期から生物が生育可能とされる $\text{pH}=8.4$ 以下となる。これは、気中曝露による固化体表面の炭酸化が影響しているものと考えられる。

図-3 にポーラス体を浸漬した海水 pH の経時変化を示す。密実体のケースと異なり、火山灰を添加することによるアルカリ溶出の低減効果は特に認められず、さらに海水 pH の低下も緩やかである。これは、製鋼スラグ骨材を被覆するペースト厚さが小さいためと考えられる。気中曝露による pH 低減の効果については密実体と同様である。

図-4 に密実体の圧縮強度の測定結果を示す。気中曝露期間なしの場合、火山灰を添加した配合については、Normal よりも28日強度はやや低いものの、91日強度への伸び率は同等かそれ以上となっており、長期的な強度の増進が期待できるといえる。また、気中曝露期間ありの場合、曝露なしの場合 (VA35) と同等以上の圧縮強度が得られた。この要因として、火山灰の高い保水性により、固化体内部の乾燥が抑制されたことが考えられる。

図-5 にポーラス体の圧縮強度の測定結果を示す。空隙率を変化させた配合で比較すると、一般的な傾向と同様に空隙率が大きくなるほど圧縮強度は低下することが分かる。気中曝露期間ありの場合、気中曝露1週、2週に関しては、28日強度、91日強度ともに曝露なしの場合 (POVA15) と同等以上の圧縮強度が得られることが明らかとなった。また、気中曝露を行った場合、28日から91日にかけての圧縮強度の伸び率が曝露なしの場合よりも大きくなることが分かった。

4. まとめ

天然ポゾランである火山灰を鉄鋼スラグ水和固化体の材料として用いることにより、海水中におけるアルカリ溶出性の低減および長期的な圧縮強度の増進が期待できることを明らかにした。

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

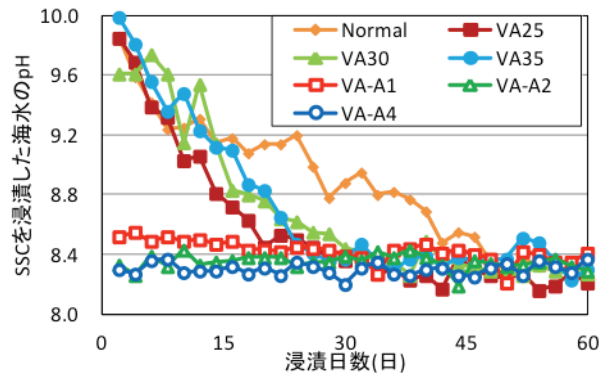


図-2 海水 pH の経時変化 (密実体)

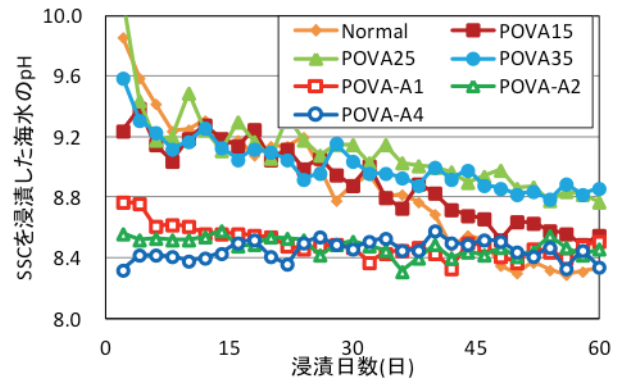


図-3 海水 pH の経時変化 (ポーラス体)

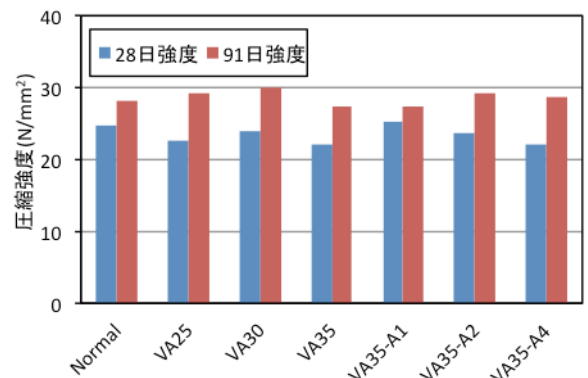


図-4 圧縮強度の測定結果 (密実体)

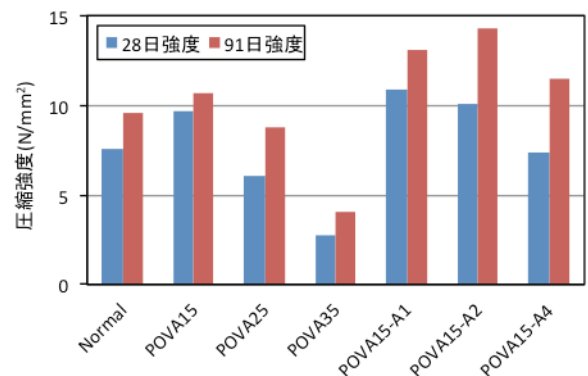


図-5 圧縮強度の測定結果 (ポーラス体)