鉄鋼スラグ水和固化体の耐凍害性の評価

○新日本製鐵　正会員　高野良広　新日本製鐵　正会員　中川雅夫
JFE スチール　正会員　高木正人　JFE スチール　正会員　小菊史男
港湾空港技術研究所 正会員　山路 徹

1. 目　的

石炭灰やスラグ等のリサイクル材を用いた固化体は，普通コンクリートに比べ使用材料や粉体材料の使用量が異なるため，一般に耐凍害性に劣るという報告が多い[1)]．ここでは，石炭灰や鉄鋼スラグを用い，セメントを全く使用しない鉄鋼スラグ水和固化体について，凍結融解試験をもとに耐凍害性の評価を行った結果を報告する．

2. 試験方法

2.1 使用材料

(1).高炉スラグ微粉末（以下，スラグ微粉末と略す）（BP）：JIS A 6206，比表面積 4000cm^2/g，密度 2.95g/cm^3
(2).製鋼スラグ（SS）：粒径範囲 0～25mm，絶乾密度 3.05g/cm^3
(3).水砕スラグ（BS）：JIS 5011-1，絶乾密度 2.69g/cm^3
(4).石炭灰（FA）：JIS A 6201（Ⅱ種相当），比表面積 3400 cm^2/g，密度 2.20g/cm^3
(5).アルカリ刺激材（CA）：消石灰（JIS R 9001），密度 2.24g/cm^3
(6).混和剤（AD）：リグニンスルホン酸系減水剤，変性アルキルカルボン酸系 AE 助剤

2.2 配合条件

表-1　配合条件・示方配合

CASE	粉体水比 (BP+CA+0.35FA)/W	スランプ（cm）	空気量（%）	示方配合（kg/m^3）							
				水 W	スラグ微粉末 BP	製鋼スラグ SS	水砕スラグ BS	石炭灰 FA	消石灰 CA	混和剤（AD）	
										減水剤	AE 剤
CASE-1	2.14	8±2.5	Non-AE	210	382	1690	99	82	38	1.0%	0A
CASE-2	2.14	8±2.5	3.0±1.5	207	376	1660	97	81	38	1.0%	30A
CASE-3	2.14	8±2.5	4.5±1.5	204	371	1651	96	80	37	1.0%	50A
CASE-4	2.14	8±2.5	7.0±1.5	200	364	1601	93	78	36	1.0%	100A

2.3 試験方法

(1).練混ぜは，容量 50 リットルの強制二軸ミキサを用いて行い，練混ぜ完了後，スランプと空気量を測定した．なお，空気量測定は圧力法で行い，製鋼スラグの骨材修正係数(本試験では 1.2%)を測定結果から差し引いた．
(2).供試体は JIS A 1132 に準じて作製し，圧縮強度は，JIS A 1108 に準じ，材齢 28 日，91 日で測定した．
(3).凍結融解試験は， JIS A 1148 の A 法(水中凍結融解試験方法)に準じて行った．また，内包の空気分析のため，ASTM C 457 に準じ，硬化後の空気量と気泡間隔係数を求めた．

3. 試験結果

3.1 フレッシュ時の物性および圧縮強度

表-2 にフレッシュ時の物性と圧縮強度を示す．これより，
(1).普通コンクリートと同様に，空気量の増大に伴い，圧縮強度が低下する傾向が伺われる．
(2).空気量 6.2%の CASE-4 は，圧縮強度が港湾用ブロック等で多用される強度（18N/mm^2）を材齢 28 日では下回っているが，材齢 91 日では強度が増進し，これを上回っている．

表-2　フレッシュ時の物性と圧縮強度

CASE	フレッシュ時の物性		圧縮強度	
	スランプ (cm)	空気量 (%)	28 日 (N/mm^2)	91 日 (N/mm^2)
CASE-1	8.0	0.7	30.6	33.9
CASE-2	6.5	4.2	26.3	29.7
CASE-3	9.0	4.9	20.1	23.1
CASE-4	7.0	6.2	16.9	21.0

キーワード：耐凍害性　凍結融解試験　コンクリート　製鋼スラグ　高炉スラグ微粉末　固化体
連絡先：〒293-8511 千葉県富津市新富 20-1　TEL 0439-80-2976　FAX 0439-80-2759

3.2　凍結融解試験結果

相対動弾性係数の変化を図-1 に，CASE-1，3，4 の試験終了時の供試体状況を図-2～4 に示す．これらより，

(1).Non-AE とした CASE-1，フレッシュ時の空気量 4.2%の CASE-2 は，300 サイクル以前に相対動弾性係数が 30%を下回り，耐凍害性に劣ることが確認された．

(2).フレッシュ時の空気量 4.9%の CASE-3 は，300 サイクルまで破壊しなかったが，試験後の相対動弾性係数は 54%と，十分な耐凍害性を有しているとはいえない．

(3).フレッシュ時の空気量 6.2%の CASE-4 は，300 サイクル後の相対動弾性係数が 85%以上であり，十分な耐凍害性を有していることが確認された．

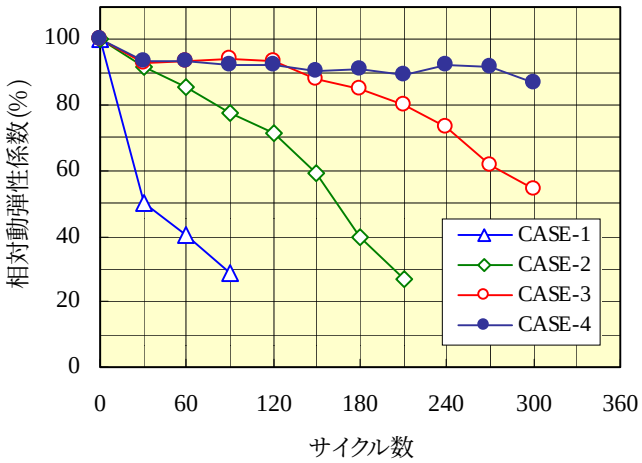

図-1　相対動弾性係数の変化

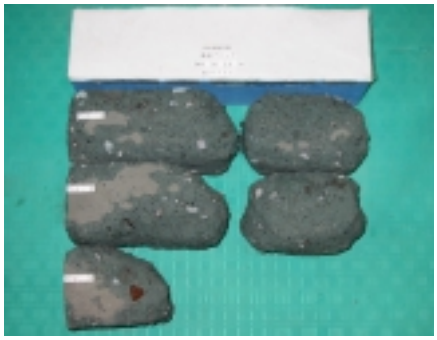

図-2　試験後の状況（CASE-1）

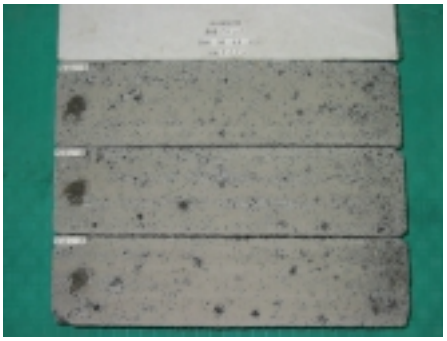

図-3　試験後の状況（CASE-3）

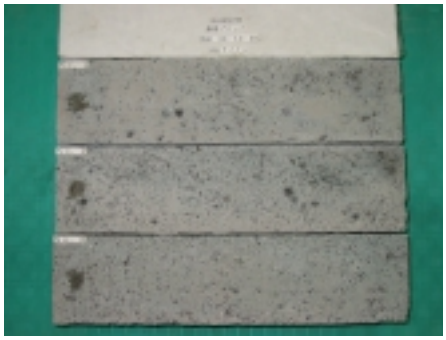

図-4　試験後の状況（CASE-4）

3.3　気泡間隔係数測定結果

表-3 に気泡間隔係数の測定結果を示す．これより，

(1).凍結融解抵抗性の高い CASE-4 は，一般に耐凍害性確保に必要とされる 200～250μm 以下の気泡間隔係数である．

(2).CASE-4 以外の気泡間隔係数は，250μm 以上と大きく，また連行空気量が少なくなる程大きくなっており，凍結融解作用に対する抵抗性が小さいことと関連している．

図-5 に気泡間隔係数と固化体の空気量の関係を示す．これより，気泡間隔係数を 200μm 以下とするには，固化体中の空気量を約 7%以上にする必要があることが分かる．一般の普通コンクリートでは，粗骨材最大寸法が 20～40mm の場合，この気泡間隔係数を得る空気量として 4～7%とすることが推奨されるが，本試験結果では，これより幾分多目の空気量が必要なことが判った．これは，鉄鋼スラグ水和固化体の配合が，普通コンクリートに比べ，ペースト成分（高炉スラグ微粉末，アルカリ刺激材，石炭灰等の粉体成分と水）の容積比が大きいため，これに応じて固化体中の空気量を多くしないと，気泡間隔係数を小さくできないことを示していると考える．

表-3　気泡間隔係数測定結果

CASE	空気量（%）		気泡間隔係数（μm）
	フレッシュ時	硬化後	
CASE-1	0.7	—	—
CASE-2	4.2	2.09	595
CASE-3	4.9	2.82	342
CASE-4	6.2	8.71	149

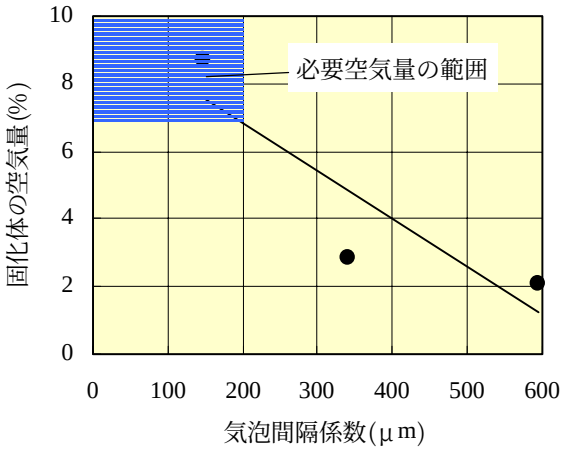

図-5　気泡間隔係数と空気量の関係

4.　ま と め

(1).固化体中に空気を連行し，気泡間隔係数を小さくすることで，鉄鋼スラグ水和固化体の耐凍害性を確保可能である．本試験の範囲では，目安として 7%以上の空気を固化体中に連行する必要があることが示唆された．

(2).空気量増大に伴い強度低下が生じるため，耐凍害性が必要な場合は，目標強度を割増すことが望ましい．

【参考文献】1)，FS コンクリート利用手引書（㈱沿岸環境開発資源利用センター），p.11