

1 はじめに

高炉スラグを混和材として使用したコンクリートは、スラグ粉末度やスラグによるセメントの置換率をコンクリートに必要とされる性状に合わせて指定することが出来るため高炉スラグの有効利用法の一つとして検討されて来ている。本研究は、使用するスラグの粉末度、スラグによるセメントの置換率、養生条件等の要因が高炉スラグ混和コンクリートの耐久性に及ぼす影響を凍結融解試験により調査したものである。

2 使用材料

使用材料は、セメントとして普通ポルトランドセメントを、細骨材として川砂（比重2.56、吸水率2.48%）を、粗骨材として砕石（最大寸法25mm、比重2.86、吸水率0.76%）を使用した。高炉スラグは重量比で2%の石膏が添加された粉末度の異なる二種類を使用した。混和剤としてはAE剤を使用した。表-1に使用した高炉スラグの性状を示す。

3 供試体の種類

実験各シリーズ供試体の概要を表-2に示す。変化した要因は、スラグ粉末によるセメントの置換率（以後スラグ置換率と記す）、高炉スラグの粉末度（ $3200 \pm 150 \text{ cm}^2/\text{g}$ 、 $4400 \pm 150 \text{ cm}^2/\text{g}$ の2種類）及び養生条件（3種類の水中養生日数と2種類の養生温度）である。高炉スラグとセメントの置換は重量で行なった。

4 配合

水中養生日数の異なる3シリーズは同じバッチから打設された。実験各シリーズの配合は、水結合材比50%、細骨材率 $s/a=38\%$ 、単位水量 160 kg 、空気量4.0%と一定にした。混和剤量は、フレッシュコンクリートのスランプ値が $8.0 \pm 1.0 \text{ cm}$ 、また、空気量が4.0%となる様に調整した。

5 実験方法

実験各シリーズ毎に $10 \times 10 \times 40 \text{ cm}$ の角柱供試体を3本製作した。供試体は、打設後48時間で脱型し、その後、 $20 \pm 3^\circ\text{C}$ あるいは $10 \pm 3^\circ\text{C}$ の恒温水槽で所定の水中養生日数まで水中養生し、相対湿度50%で水中養生温度と同じ室温の恒温恒湿室で材令に達するまで気間養生をした後、凍結融解試験を行なった。試験はASTM C 666 (A)に規定されている水中急速凍結融解試験に準拠して行ない凍結融解繰り返し30サイクル毎に各供試体のたわみ一次振動数と重量を測定し、相対動弾性係数と重量変化率を求めた。測定は相対動弾性係数が60%以下になるか、300サイクルに達するまで行なった。

表-1 高炉スラグの性状

スラグ種類	比重	比表面積 ブレン値	平均粒径 (μm)	塩基度
B3G2	2.89	3290 cm^2/g	16.2	1.91
B4G2	2.89	4500 cm^2/g	10.0	1.96

表-2 実験各シリーズの供試体の概要

実験No	供試体No	養生温度 ($^\circ\text{C}$)	スラグ置換率 (%)	水中養生期間 (日)	試験材令 (日)	スラグ粉末度 (g/cm^2)
1-1	1-1-1	20	55	2	14	3200
	1-1-2	20	55	5	14	3200
	1-1-3	20	55	7	14	3200
1-2	1-2-1	20	35	2	14	3200
	1-2-2	20	35	5	14	3200
	1-2-3	20	35	7	14	3200
2-1	2-1-1	10	55	2	14	3200
	2-1-2	10	55	5	14	3200
	2-1-3	10	55	7	14	3200
2-2	2-2-1	10	35	2	14	3200
	2-2-2	10	35	5	14	3200
	2-2-3	10	35	7	14	3200
3-1	3-1-1	20	55	2	14	4400
	3-1-2	20	55	5	14	4400
	3-1-3	20	55	7	14	4400
3-2	3-2-1	20	35	2	14	4400
	3-2-2	20	35	5	14	4400
	3-2-3	20	35	7	14	4400
4-1	4-1-1	10	55	2	14	4400
	4-1-2	10	55	5	14	4400
	4-1-3	10	55	7	14	4400
5-1	5-1-1	20	0	2	14	-
	5-1-2	20	0	5	14	-
	5-1-3	20	0	7	14	-
6-1	6-1-1	10	0	2	14	-
	6-1-2	10	0	5	14	-
	6-1-3	10	0	7	14	-

6 実験結果及び考察

耐久性係数と水中養生日数の関係を図-1に、養生温度と耐久性係数の関係を図-2に示す。

図-1より、養生温度に関係なく水中養生日数5日以上のスラグ混和コンクリートは、スラグを混和しないコンクリートより高い耐久性を示した。特に養生温度20℃においては、スラグの粉末度に関係なくスラグ置換率の大きいスラグ混和コンクリートがより高い耐久性をした。この原因は、凍結融解試験中においても高炉スラグの水和反応は進行し、コンクリートが長期間に渡ってゆっくりと硬化し、コンクリートの耐久性が向上するためであると考えられる。スラグ置換率35%のスラグ混和コンクリートは、スラグ置換率55%のスラグ混和コンクリートと置換率0%のコンクリートの値の丁度中間の値を示した。これは、水和速度の早いセメントに比較して水和速度が遅いスラグの含有量が少ないため、長期に渡る耐久性の向上が減少し、スラグ置換率55%のスラグ混和コンクリートより低い耐久性を示す結果となったと考えられる。

図-2より、水中養生日数5日以上のスラグ混和コンクリートは、高い耐久性を示した。しかし、水中養生日数が2日のスラグ混和コンクリートでは、耐久性の低下が見られ、特に粉末度3200 cm^2/g のスラグを使用した置換率55%のスラグ混和コンクリートは養生温度の低下に伴う耐久性の低下が大きかった。これは、スラグ粉末度の減少（比表面積の減少）に伴うスラグの水和反応の遅れと低い温度での養生に伴うセメントの水和反応の遅れによるものと考えられる。養生温度の低下による耐久性の低下は、スラグの粉末度が低くなるほど、あるいは置換率が大きくなるほど増加する傾向が見られる。しかし、水中養生日数の変化に伴う影響と比較すれば小さいと考えられる。

本研究においては、水中養生日数がスラグ混和コンクリートの凍結融解抵抗性に最も大きな影響を与えた。

7 まとめ

高炉スラグ混和コンクリートは、5日以上の湿潤養生を行なえば10℃程度の養生温度でも十分高い凍結融解抵抗性を持たせることが出来ると考えられる。

本研究では、水中急速凍結融解試験を行なったために試験中でもスラグの水和が進行したものと考えられ、高い凍結融解抵抗性を示す結果となった。しかし、ASTM C 666 (B) に規定されている空中急速凍結水中融解試験方法では水分の供給は断続的であるため水和の発現は遅れ、本研究の結果と異なった結果が得る可能性があると考えられる。

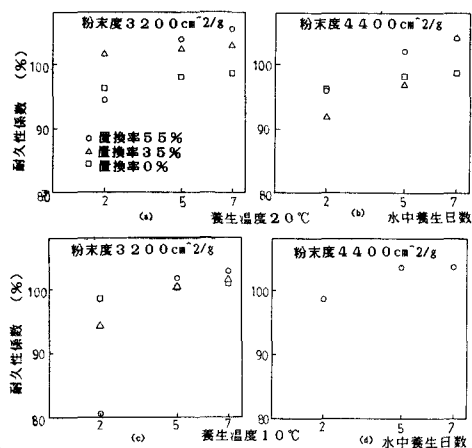


図-1 耐久性係数と水中養生日数の関係

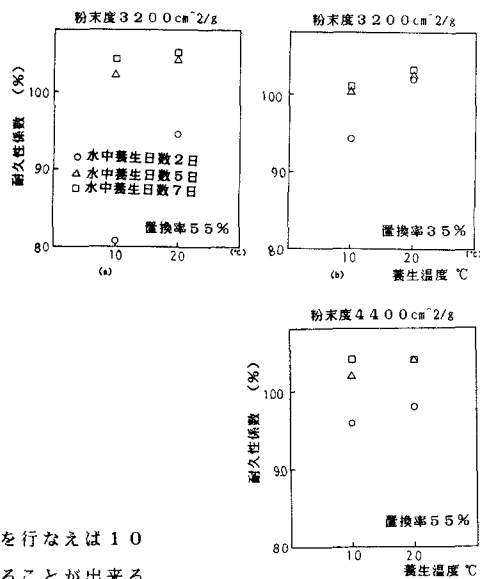


図-2 養生温度と耐久性係数の関係