

高炉スラグ混和材を用いたコンクリートの耐寒害性に関する研究

東北大学 学生員○榎原 昇
東北大学 正 員 三浦 尚
東北大学 辻 孝広

1. まえがき

ポルトランドセメントの一部を高炉スラグで置換えたものとしては、高炉セメントが従来より用いられているが、近年これを使用する替わりに高炉スラグをコンクリート練り混ぜ時に混和材として用いる方法が研究され始めている。この方法によると、スラグによるセメントの置換率や使用するスラグの粉末度を使用者側が指定できる、などの利点がある。本研究はこの様なスラグ混和材使用のコンクリートが寒冷地で使用される場合を考慮し、その耐寒害性に対するいくつかの要因の影響を凍結融解試験によって調査したものである。

2. 使用材料

表1 使用した高炉スラグの性状

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

セメントは3社の普通ポルトランドセメントを等量混合して用いた。高炉スラグは粉末度の異なるもの二種を用いた。いずれも石こうが2%添加されている。このスラグの性状を表1に示す。細骨材として川砂(比重2.56, 吸水率2.48%),粗骨材として碎石(最大寸法25mm, 比重2.86, 吸水率0.76%)を用いた。混和剤はリグニンスルホン酸塩及びポリオール複合体を主成分とするAE減水剤を使用した。

3. 供試体の種類

表2 供試体各シリーズの種類

シリーズ	スラグ置換率(%)	スラグ粉末(%)	空気量(%)	養生方法
1 A	55	3200	4.0	水中14日
1 B	55	3200	4.0	水中28日
1 C	55	3200	4.0	気乾14日
2 A	55	4400	4.0	水中14日
2 B	55	4400	4.0	水中28日
2 C	55	4400	4.0	気乾14日
3 A	55	3200	5.5	水中14日
3 B	55	3200	5.5	水中28日
3 C	55	3200	5.5	気乾14日
4 A	55	4400	5.5	水中14日
4 B	55	4400	5.5	水中28日
5 A	0	—	4.0	水中14日
5 B	0	—	4.0	水中28日
5 C	0	—	4.0	気乾14日
6 A	35	4400	4.0	水中14日
6 B	35	4400	4.0	水中28日
6 C	35	4400	4.0	気乾14日
7 A	35	3200	4.0	水中14日
7 B	35	3200	4.0	水中28日
7 C	35	3200	4.0	気乾14日

供試体各シリーズの種類を表2に示す。変化させた要因は高炉スラグによってポルトランドセメントを重量で置換した率(0%, 35%, 55%の3種類),使用した高炉スラグの粉末度(3200 $\pm$ 150 μm と4400 $\pm$ 150 μm の2種類),コンクリートの空気量(4.0 $\pm$ 0.5%と5.5 $\pm$ 0.5%の2種類),及び養生条件(材令14日まで及び28日までの水中養生と材令14日までの気乾養生の3種類)であり、これらの変化を組み合わせて1A～7Cの20種類のシリーズとした。

4. 配合

原則として、養生条件のみが異なる3つのシリーズは同じバッチから打設された。各シリーズのコンクリートの配合は水結合材比 $W/(C+S)=0.50$, 細骨材率 $\gamma_a=0.38$, 単位水量 $W=160\text{kg}$ と一定にされた。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 $\pm$ 1.0cmとなる様に、又、空気量が所定の値となる様に加減された。

5. 実験方法

各シリーズにおいて、10 $\times$ 10 $\times$ 40cmの角柱供試体が3個ずつ作製された。供試体は打設翌々日脱型され、21 $\pm$ 3 $^{\circ}\text{C}$ の恒温水槽又は20 $^{\circ}\text{C}$ 湿度50%の恒温恒湿室で所定の材令まで水中養生又は気乾養生された後、(気乾の供試体は見掛けの湿潤状態を同一とするため2日間水中に浸漬された後)凍結融解試験が行われた。この試験はAST M C666に規定されている水中急速凍結融解試験方法に準じて行ない、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共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、供試体3個の平均を試験値と

いた。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。

6. 結果及び考察

各シリーズの凍結融解試験終了後、次式によって耐久性係数(DF)が計算された。

$$DF = R_0 \cdot N / 300 (\%)$$

ここで、N: 試験終了サイクル数

R_0 : Nサイクルにおける相対動弾性係数 (%)

各シリーズの試験終了サイクル数及び耐久性係数及び最終重量変化率試験結果を表3に示す。この結果より、変化させた要因と耐凍害性との関係を考察する。

図1に、空気量4%のシリーズにおける耐久性係数と養生条件との関係を示す。この図より、気乾養生のシリーズの内、スラグを用いないものは良好な耐凍害性を示したのに対し、スラグを混和したコンクリートの耐凍害性はかなり劣る事が明らかである。一方水中養生したものは、養生日数に係らずどのシリーズも耐凍害性は良好である。この傾向は重量変化率の点でも同様であり、気乾養生したシリーズの内、300サイクルまで相対動弾性係数が60%以下にならなかったものでも供試体を見ると表面は激しく剥落しており、この事からも、高炉スラグ混和材使用コンクリートにおいては、湿潤状態下養生する事の重要性が指摘される。

なお、この図からスラグの置換率と耐凍害性との関係についても次の事が言える。即ち、気乾養生したシリーズは置換率を大きくしたものと耐凍害性は明らかに劣ってくるのに対し、水中養生したシリーズでは置換率による影響はあまり明確ではないが置換率35%のものが最も耐凍害性が良く、55%のものもスラグを含まないコンクリートと同等、又はそれ以上の耐凍害性を示している。即ち、十分な養生を行なった場合には、高炉スラグ混和材を用いる事によって耐凍害性はむしろ向上する可能性があると言える。

図2にスラグ混和材を用いたシリーズにおける耐久性係数と使用したスラグの粉末度との関係を示す。この図より、少なくとも水中養生を行なったシリーズでは明らかに、粉末度がより細かいスラグを使用した方が耐凍害性が若干向上している。これは、粉末度が細かい、即ち比表面積が大きければそれだけ反応性が良くなるためと考えられる。

なお、この図からコンクリートの空気量と耐凍害性との関係についても考察すると、スラグ置換率一定の場合空気量が4%のものよりも5.5%のものの方がわずかに耐凍害性は良好であるが、その差は大きいものではない。

7. まとめ
高炉スラグ混和材使用コンクリートは、4%程度の空気量ともち、ある程度の期間湿潤状態での養生が行われるならば、耐凍害性が十分良好なコンクリートとする事ができる。

表3 各シリーズの試験結果

シリーズ	終了サイクル数	耐久性係数(%)	最終重量変化率(%)
1 A	300	94	-1.55
1 B	300	88	-1.54
1 C	90	17	-2.11
2 A	300	102	-2.32
2 B	300	97	-0.83
2 C	60	9	-0.04
3 A	300	99	-1.97
3 B	300	94	-3.45
3 C	300	65	-11.82
4 A	300	106	-1.22
4 B	300	98	-1.76
5 A	300	91	-1.44
5 B	300	91	-1.48
5 C	300	99	-0.81
6 A	300	103	-1.27
6 B	300	102	-0.97
6 C	300	88	-7.59
7 A	300	98	-3.65
7 B	300	100	-1.26
7 C	300	63	-5.99

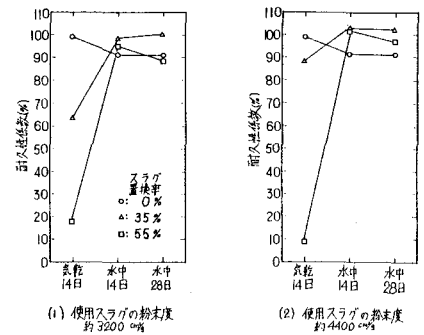


図1 耐久性係数と養生条件との関係

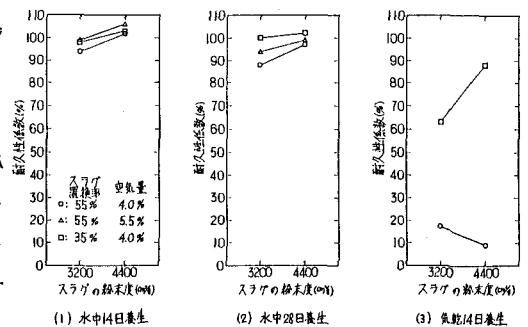


図2 耐久性係数とスラグの粉末度との関係