

初期ひび割れを有する高炉スラグコンクリートの各種耐久性に関する研究

福岡大学大学院 学生会員 橋口 大輔
 福岡大学 正会員 添田 政司
 福岡大学 正会員 大和 竹史

1. はじめに

コンクリート表面に乾燥収縮や、温度応力によって発生する初期ひび割れにより、凍害、中性化、塩害による劣化が促進され、コンクリートの耐久性向上に対する要望が高まっている。高炉スラグ微粉末には耐凍害性、塩分遮へい性といった特性を有し、コンクリートの品質改善に効果があるとされている。そこで本研究では、高炉スラグ微粉末を使用したコンクリートについて凍害、中性化、塩害の促進試験を行いコンクリートの耐久性に及ぼす初期ひび割れの影響について検討した。

2. 実験概要

使用材料および配合：結合材として普通ポルトランドセメント（密度 3.16g/cm^3 ，略号C），混和材として高炉スラグ微粉末（密度 2.87g/cm^3 ，粉末度 $4000\text{cm}^3/\text{g}$ ，略号BS），細骨材として海砂（密度 2.58g/cm^3 ，略号S），粗骨材として砕石2005（密度 2.80g/cm^3 ，略号G）を使用した。混和剤としてAE減水剤，空気調整剤を使用した。高炉スラグ微粉末の置換率を質量比0%，30%，60%の割合でセメントと代替した。スランブ $8 \pm 2.5\text{cm}$ ，空気量 $4.5 \pm 1.5\%$ を目標とした。コンクリートの配合は表-1に示す。

表-1 コンクリートの配合表

スラグ 置換率	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m^3)					混和剤 (ml)		スランブ* (cm)	Air (%)
			W	C	BS	S	G	減水剤	AE剤		
0%	50	39	161	321	0	689	1193	803	963	8	4.5
30%			161	225	96	689	1193	1445	1124		
60%			161	128	193	689	1193	1605	1124		

試験方法：コンクリートの圧縮強度試験はJIS A 1108に準じて行った。凍結融解試験は土木学会基準に準拠したJSCE-G 501に従い，中性化促進試験は温度 40°C ，湿度40%， CO_2 濃度10%の条件で行った。塩水噴霧試験は3日間乾燥，3%NaCl水溶液を4日間噴霧の計7日間を1サイクルとする乾湿繰り返し実験を7サイクルまで行った。中性化深さは，炭酸化した供試体の初期ひび割れ部分を割裂し，直ちに割裂面に1%フェノールフタレイニカル溶液を吹き付け非変色面を中性化深さとして測定した。塩分浸透深さは，供試体の初期ひび割れの部分を割裂し，直ちに割裂面に0.1規定硝酸銀2%溶液を吹き付け，白色となった部分を塩分浸透部として測定した。圧縮強度試験に円柱供試体($\phi 10 \times 20\text{cm}$)を，他の促進試験に角柱供試体($10 \times 10 \times 40\text{cm}$)を用いた。供試体は，打設後24時間で脱型し，材齢91日まで水中養生を行った。中性化促進試験及び塩分浸透深さ試験に使用した模擬ひび割れは，コンクリート打設前にあらかじめステンレス板を角柱供試体に80mm間隔で配置，また，凍結融解試験用供試体も同様ステンレス板を角柱供試体に200mmの間隔で配置した。硬化後にそのステンレス板を除去し，ひび割れとした。ひび割れ幅は0mm，0.1mm，0.3mmの3種類で，ひび割れ深さは30mmとした。ひび割れ位置図を図-1に，及びひび割れの組み合わせを表-2に示す。

3. 実験結果および考察

図-2に圧縮強度の試験結果を示す。初期材齢においては，置換率の増加に伴い強度の発現が遅れるが，材齢28日の強度は無混和と同程度か上回るようになり，材齢91日においては，置換率が增加するほど強度は増加した。これは，高炉スラグ微粉末の潜在水硬性によるもので，既往の研究と同様の結果が得られた。

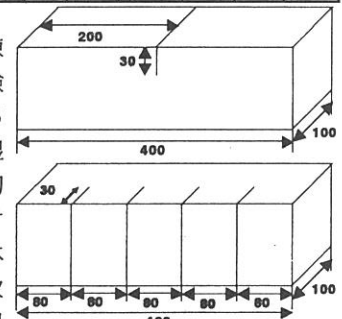


図-1 模擬ひび割れ位置図

表-2 ひび割れの組み合わせ

促進試験	ひび割れ深さ (mm)	ひび割れ幅 (mm)
凍結融解	30	0, 0.1, 0.3
中性化		
塩水噴霧		

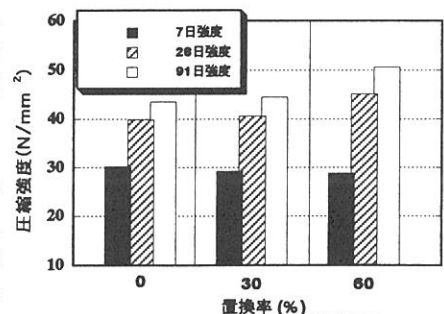


図-2 圧縮強度試験結果

図-3に養生期間における相対動弾性係数を測定した結果を示す。置換率の増加に伴い無混和のひび割れ幅0mmのコンクリートと比較して相対動弾性係数が高い値を示している。特にひび割れ幅0.1mmにおいては、無混和の相対動弾性係数の伸びに比べ置換率60%の伸びが大きくなっている。これは、置換率の増加に伴い圧縮強度が増加しているため相対動弾性係数が高くなったと考えられる。また、高炉スラグ微粉末を使用することで、無混和のコンクリートより初期に導入したひび割れ幅を抑制する効果があると考えられる。

図-4に、凍結融解試験で得られた各ひび割れごとの耐久性指数を示す。置換率の増加に伴い、各ひび割れ幅において無混和のコンクリートよりも耐久性指数は高い値を示している。ひび割れ幅0.1mmでは置換率が30%、60%ともに無混和のコンクリートと比較して、約10%耐久性指数が高くなっている。しかし、ひび割れ幅0.3mmでは、あまり改善が見られなかった。高炉スラグ微粉末を使用することで、ひび割れ幅0.1mm程度ならば耐凍害性を有すると考えられるが、ひび割れ幅が0.3mm程度になると十分な耐凍害性は期待できないものと考えられる。

図-5に、中性化促進期間40日での中性化深さ結果を示す。置換率の増加に伴い、中性化深さは大きくなっている。これは、高炉スラグ微粉末を使用することで、コンクリート中の $\text{Ca}(\text{OH})_2$ の消費が大きくなっているためと考えられる。中性化深さは、ひび割れ幅が0.1mm程度であるならば無混和のひび割れ幅0.1mmと同程度であるが、ひび割れ幅0.3mmになると若干大きくなっている。これより、ひび割れ幅の影響よりも、置換率の増加に伴い $\text{Ca}(\text{OH})_2$ の消費が増加するという影響の方が大きいと考えられる。

図-6に、塩水噴霧試験期間7サイクルでの塩分浸透深さ結果を示す。各ひび割れ幅において、置換率の増加に伴い、無混和のコンクリートと比較して塩分浸透深さが小さくなっており、図-3の結果から、高炉スラグ微粉末によるコンクリートの緻密化により、ひび割れの閉鎖効果があることが推察される。さらに、置換率60%でひび割れ幅0.1mmの浸透深さのものと無混和のひび割れ幅0mmとが同程度の深さとなっている。これらのことより、高炉スラグ微粉末による潜在水硬性によりコンクリートが緻密化され初期ひび割れ幅が閉鎖された効果と、既往の研究³⁾の塩分遮へい性を有することが考えられる。

4. まとめ

初期ひび割れを有する高炉スラグコンクリートについてまとめると以下のとおりである。

- 1) ひび割れ幅0.1mm間では、若干耐凍害性が期待できるが、0.3mm程度になると十分な耐凍害性は期待できない。
- 2) 中性化深さにおいて、ひび割れ幅の影響よりも置換率の増加に伴い $\text{Ca}(\text{OH})_2$ の消費が増加するという影響の方が大きい。
- 3) 高炉スラグ微粉末による潜在水硬性によりコンクリートが緻密化され、初期ひび割れ幅が閉鎖される効果によって塩分遮へい性を有する。

参考文献

- 1) コンクリートライブラリーN0.86：高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの施工指針
- 2) 長瀬重義，大賀宏行，荒井俊晴：高炉スラグ微粉末を混和したコンクリートの中性化，高炉スラグ微粉末のコンクリートへの適用に関するシンポジウム，pp143-150, 1987
- 3) 松下博通，川崎英司，前田悦孝，真角修一：高炉スラグ含有コンクリートの微細ひび割れの閉塞に関する研究，セメントコンクリート論文集，No.52, pp633-643, 1998

○	BS0% (0)	■	BS30% (0.3)
△	BS0% (0.1)	◆	BS60% (0)
□	BS0% (0.3)	◇	BS60% (0.1)
●	BS30% (0)	×	BS60% (0.3)
▲	BS30% (0.1)	()内はひび割れ幅 (mm)	

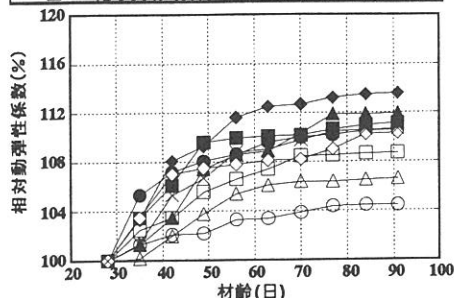


図-3 養生期間における相対動弾性係数

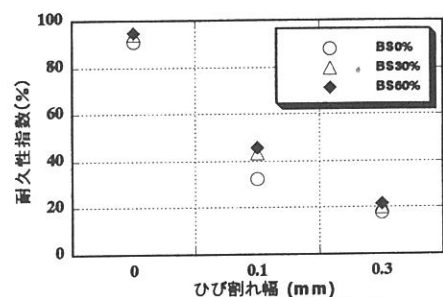


図-4 凍結融解試験結果

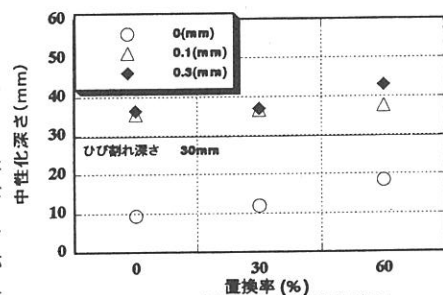


図-5 中性化促進試験結果

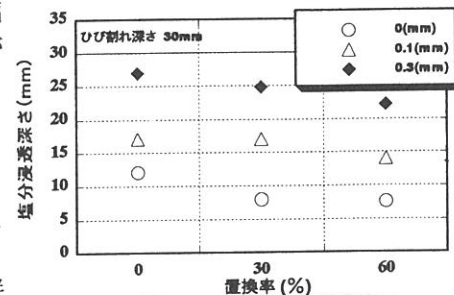


図-6 塩分浸透試験結果