高炉スラグ含有コンクリートの各種劣化機構に及ぼす初期ひび割れの影響について

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

様々な環境条件下に存在する構造物は，乾燥収縮，温度応力等の要因により材齢初期においてコンクリート表面にひび割れが発生する。これにより，凍害，塩害，中性化等の各劣化機構が局部的に促進され早期劣化の一要因となっている。一方，高炉スラグ微粉末には健全なコンクリートでは，耐凍害性，塩分遮へい性等の品質改善効果があると報告[1)]されているが，ひび割れを有する場合では明確にされていない。また，標準示方書では，ひび割れを有する場合，中性化，凍害においては性能照査方法が明確にされていないのが現状である。そこで本研究では，高炉スラグ微粉末を混和したコンクリートに対して凍害，中性化，塩害の促進試験を行い初期ひび割れの影響について検討を行った。

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/cm³，略号C），混和材として高炉スラグ微粉末（密度2.87g/cm³，粉末度4000cm³/g，略号BS），細骨材として海砂（密度2.58g/cm³，略号S），粗骨材として砕石2005（密度2.80g/cm³，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で0%，30%，60%の割合でセメントと代替した。スランプ8±2.5cm，空気量4.5±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

ｽﾗｸﾞ置換率	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m³)					混和剤 (ml)	
			W	C	BS	S	G	減水剤	AE剤
0%	50	39	161	321	0	689	1193	803	963
30%			161	225	96	689	1193	1445	1124
60%			161	128	193	689	1193	1605	1124

試験方法：圧縮強度試験に円柱供試体(φ10×20cm)を，他の促進試験は角柱供試体(10×10×40cm)を用いた。塩分濃度測定は，促進試験期間3サイクル毎にドリル法により粉末を採取した。なお，試料はひび割れ深さ方向に10mm，20mm，および30mmの3箇所から試料を採取した。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後に表-2の試験を開始した。実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間隔で配置した。また，凍結融解試験用供試体はステンレス板を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，模擬ひび割れとした。ひび割れ位置図を図-1に，そのひび割れの組み合わせを表-3にそれぞれ示す。

表-2　試験項目及び試験方法

試験項目	試験方法
圧縮強度試験	JIS A 1108に準じて試験
凍結融解試験	JSCE-G-501:-18℃～5℃の温度条件下で試験
中性化促進試験	温度40℃、湿度40%、CO_2濃度10%の条件下で試験
中性化深さ測定	供試体の割裂面に、1%フェノールフタレイン溶液を噴霧し、変色域を測定
塩水噴霧試験	3%NaCl水溶液を4日間噴霧、3日間乾燥の条件下で試験を1ｻｲｸﾙとし7ｻｲｸﾙ
塩分浸透深さ測定	供試体の割裂面に、0.1規定の硝酸銀水溶液を噴霧し、変色域を測定
塩分濃度測定	JCI-SC4-1987に準じて硝酸銀滴定法により全塩分量を測定

表-3　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		

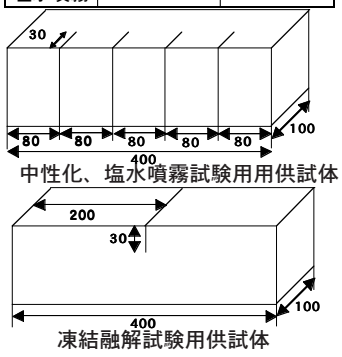


図-1　模擬ひび割れ位置図

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ものの，材齢28日以降の強度は無混和と同程度か上回るような結果となった。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[1)]と同様の結果が得られた。

図-3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。ひび割れ無しでは置換率にかかわら

キーワード：初期ひび割れ，高炉スラグ微粉末，中性化速度係数，見かけの拡散係数
連絡先：〒814-0180　福岡市城南区七隈8-19-1　福岡大学コンクリート実験室　TEL：092-871-6631（内線6466）　FAX：092-864-8901

ず高い耐久性指数が得られた。しかし，ひび割れ幅0.1，0.3mmでは，高炉スラグ微粉末を混和することで無混和のものに比べ若干高い値となっているものの，いずれも耐久性指数60%を下回り十分な耐凍害性の改善は見られなかった。この要因として，ひび割れ部に浸透した水が膨張し，その膨張圧により初期に導入したひび割れ幅が大きくなり，著しい劣化を示したものと考えられる。これより高炉スラグ微粉末を混和した場合，ひび割れ無しでは耐凍害性の改善は期待できるが，0.1mm以上のひび割れを有する場合は十分な耐凍害性の改善は期待できないと考えられる。

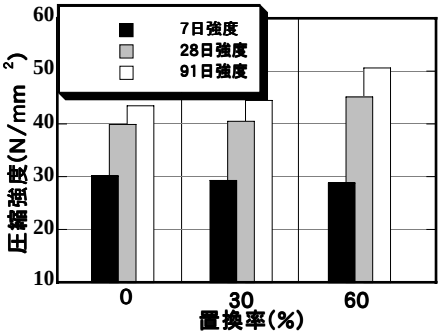
表−4は，中性化促進期間40日までの中性化深さを中性化速度係数で示したものである。無混和の場合，ひび割れ無しに対してひび割れを導入したものは中性化速度係数は小さくなる傾向にある。この要因として，コンクリートの中性化がある程度進むと，細孔構造が緻密化し，物質の移動・拡散が起こりにくくなったためと考えられる[2)]。一方，高炉スラグ微粉末を混和したものは，ひび割れ幅の影響にかかわらず，置換率の増加に伴い中性化速度係数は大きくなっている。これは，高炉スラグ微粉末を混和することで，コンクリート中の$Ca(OH)_2$の消費が大きくなっているため[3)]と考えられる。さらに，無混和のひび割れ幅0.3mmより置換率60%のひび割れ幅0.3mmの方が中性化速度係数が大きくなっている。このことより中性化では，ひび割れ幅の影響よりも，置換率の増加に伴い$Ca(OH)_2$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−5に，塩水噴霧試験結果を示す。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の速度が小さくなっている。置換率60％のひび割れ幅0.1mmの浸透深さと無混和のひび割れ無しとが同程度の浸透深さとなった。

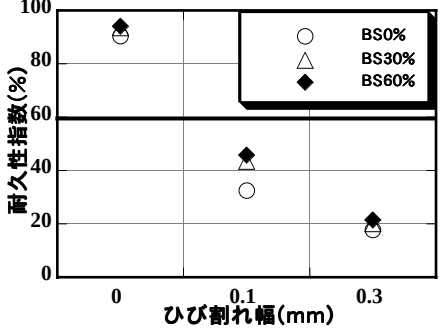
塩水噴霧促進期間３サイクルでの塩化物イオン濃度を測定した結果を図−6に，見かけの拡散係数とひび割れ幅の関係を表−5に示す。ひび割れ表面部では，ひび割れ幅が大きいほど塩化物イオン濃度は大きくなっている。しかし内部では，ひび割れ深さ30mm入れているのにもかかわらず，無混和と比較して置換率の増加に伴い塩化物イオン濃度は減少し，見かけの拡散係数が小さくなっている。これは，高炉スラグ微粉末を混和することで，ひび割れ無しでは，塩分遮へい性を有する[4)]ことが考えられる。また，ひび割れが有る場合では，内部における塩化物イオン濃度が小さいことより，ひび割れ部に水和生成物が充填するため，塩化物イオン量の抑制になったものと考えられる。

4.まとめ

高炉スラグ微粉末の混和により，凍害では，ひび割れが無い場合では耐凍害性の改善は期待できるが，0.1mm以上のひび割れを有する場合は十分な耐凍害性得られなかった。中性化では，ひび割れ幅の影響よりも，置換率の増加に伴う$Ca(OH)_2$の消費による影響の方が大きかった。塩化物イオン濃度は，表面部ではひび割れ幅の大きいほど濃度は大きくなり，内部では水和生成物の充填効果により塩化物イオン濃度は小さくなった。



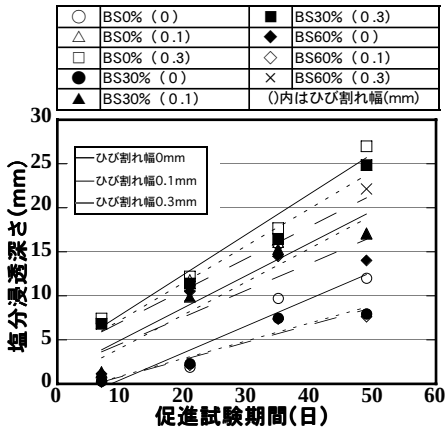
図−2　圧縮強度試験結果



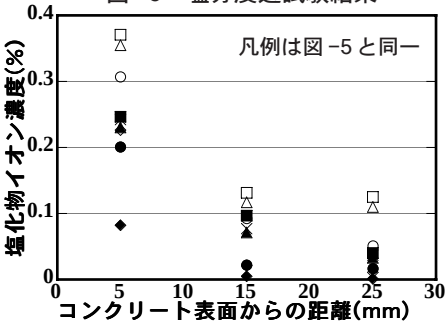
図−3　凍結融解試験結果

表−4　中性化速度係数（mm/√年）

ひび割れ幅 (mm)	置換率(%)		
	0	30	60
0	59.00	67.20	62.71
0.1	16.12	23.74	33.95
0.3	33.30	38.23	59.63



図−5　塩分浸透試験結果



図−6　塩化物イオン測定結果

表−5　見かけの拡散係数係
（× $10^{-7}cm^2/s$）

ひび割れ幅 (mm)	置換率(%)		
	0	30	60
0	9.74	9.34	8.22
0.1	12.1	9.34	8.50
0.3	12.6	9.49	9.49

参考文献
1)コンクリートライブラリーNo.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)伊代田岳史，矢島哲司，魚本健人：コンクリートのひび割れが中性化速度に及ぼす影響，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.20,No.2,pp979-984,1998
3)長瀧重義，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
4)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，No52,pp638-643.1998