

# 高爐スラグ微粉末を混入したコンクリートの 塩分浸透性に及ぼす荷重の影響

## Effect of loading on the chloride penetration of concrete mixed with granulated blast furnace slag

金 東勳\*<sup>1</sup> · 志村 和紀\*<sup>2</sup> · 堀口 敬\*<sup>3</sup>

Kim, Dong Hun\*<sup>1</sup> · Shimura KAZUNORI\*<sup>2</sup> · Takashi HORIGUCHI\*<sup>3</sup>

### Abstract

本研究は、比表面積 ( $\text{cm}^2/\text{g}$ ) がそれぞれ違う3種類の高炉スラグ微粉末 (以下BFSと示す) を混入したコンクリートの塩分浸透性に及ぼす荷重の影響を実験的に検討したものである。本研究の結果から、BFSを混入したコンクリートは、BFS無混入のコンクリートより拡散係数が小さいことが把握された。この傾向は、荷重が生じる環境下でも同様であることが明らかとなった。圧縮応力が生じる環境下では、BFSを50%以上混入した場合、応力強度比50%レベルでまでは、無応力状態の拡散係数と比較して若干低下する傾向が確認されたが、引張応力下では、応力の増加に伴い拡散係数も増加する傾向が確認された。そして、BFSは比表面積8000 ( $\text{cm}^2/\text{g}$ ) を混入した際、応力の有無に関係なく他の比表面積より拡散係数が小さいことが確認された。また、BFSは比表面積にかかわらず30%置換のより50%以上することにより拡散係数は低下され、塩分浸透抵抗性も向上することが明らかとなった。

キーワード：塩分浸透性, 擴散係數, 高爐スラグ微粉末 (BFS), 電氣泳動試験, 壓縮・引張応力

Keywords: Chloride Penetration, Diffusion Coefficient, Granulated Blast Furnace Slag, Non Steady State Migration Test Method, Compressive Stress · Tensile Stress

## 1. はじめに

最近、コンクリート構造物の耐久性を低下させる要因として中性化、塩害、凍結、疲労、アルカリシリカ反応、化学的腐食などが大きな社会問題として取り上げられている。その中でも最も深刻な早期劣化現象の1つで塩害に起因する鉄筋コンクリート構造物の鉄筋腐食が挙げられている。これはコンクリート構造物のライフサイクルにあって重大な影響を与える原因のひとつであり、効率的また経済的なコンクリート構造物の設計、補修を行う上でコンクリート中への塩分の浸透性状の把握は極めて重要である。

コンクリート中に存在する塩化物イオンは鉄筋コンクリート構造物の耐久性を低下させる本質的な原因のひとつである。その対策として塩化物イオンの浸透を抑制し、塩分抑制効果があるといわれているBFSの混入により塩分浸透抵抗性を向上することが注目されている。また、繊維を混入するこ

とによりコンクリートの耐久性を向上させ、塩分浸透抵抗性を高めることも注目されている。このように、コンクリートの塩分浸透性に関する研究は現在までも数多く行われているがそのほとんどが無荷重の状態で行ったものである。

しかし、実際のコンクリート構造物は無載荷状態ではなく荷重や自重を受けた状態である。また、実際のコンクリート構造物というのは荷重やプレストレス及び外力などに伴う圧縮、引張といった荷重が常に存在する状態である。このように、圧縮あるいは引張という荷重が部材に生じている環境下でコンクリートの塩分浸透性に関して実験的に検討した研究は非常に少ない。

近年、BFSを混入したコンクリートの塩分抑制効果<sup>(例えば5)</sup>や、圧縮あるいは引張荷重によりひび割れを導入したコンクリートの塩分浸透性を検討<sup>(例えば1,2)</sup>したのが報告されているが、これらの塩分浸透試験には外力が存在していない環境下で行った研究である。

本研究では、高炉スラグ微粉末の混入したコンクリートの塩分浸透性に及ぼす影響を把握するために、電氣泳動試験を行った。圧縮・引張応力が生じている環境下において比表面積 ( $\text{cm}^2/\text{g}$ ) がそれぞれ違う3種類の高炉スラグ微粉末をセメントの内割で置換することにより、比表面積および置換率の違いがコンクリートの塩分浸透性に及ぼす影響について把握

\*1 北海道大学大学院 工学研究科 環境創生工学専攻 博士課程 〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目

\*2 北海道大学大学院 工学研究科 環境創生工学専攻 助教 工博 〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目

\*3 北海道大学大学院 工学研究科 環境創生工学専攻 准教授 工博 〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目

表一 高炉スラグ微粉末を混入したコンクリートの配合および圧縮強度

	W/B (%)	s/a (%)	Unit weight(kg/m <sup>3</sup> )						Air (%)	Slump (cm)	Compressive Strength(N/mm <sup>2</sup> )	
			W	B'	S	G	AE'	SP'			28day	91day
Plain			175	350	919	881	0	2.45	4.5	17	35.37	39.11
BFS4000 30			175	350	925	886	0.014	3.15	4.1	19	31.56	34.56
BFS4000 50			175	350	922	883	0.014	3.15	3.5	21	29.82	33.70
BFS6000 30'	0.5	0.52	175	350	925	886	0.014	3.15	3.7	19	32.58	37.64
BFS6000 50'			175	350	922	883	0.014	3.15	2.8	21	33.08	41.61
BFS6000 70'			175	350	920	881	0.014	3.15	3.7	24	30.34	39.28
BFS8000 50			175	350	922	883	0.014	3.15	2.8	21	37.07	39.32

30\*,50\*,70\* : 高炉スラグ微粉末の置換率, B\* : C(245kg/m<sup>3</sup>)+ BFS(105kg/m<sup>3</sup>),  
 SP\* : 高性能AE減水剤(JIS A 6204の標準形1種), AE\* : AE剤1種, 0.14はセメント重量の0.04%

表二 高炉スラグ微粉末の物性

Kind	Quality	BFS4000	Test value
		JIS A 6206	
density*		2.80	2.91
specific surface area*		3000-5000	3,980
Kind	Quality	BFS6000	Test value
		JIS A 6206	
density*		2.80	2.89
specific surface area*		5000-7000	6,120
Kind	Quality	BFS8000	Test value
		JIS A 6206	
density*		2.80	2.90
specific surface area*		7000-10000	7,820

density\* : g/cm<sup>3</sup>, specific surface area\* : cm<sup>2</sup>/g

したものである。また、圧縮・引張応力という応力の違いあるいは強度に対する応力の割合（以下、応力強度比と示す）の違いが高炉スラグ微粉末を混入したコンクリートの塩分浸透性に及ぼす影響について検討を行ったものである。

## 2. 試験方法

### 2.1 使用材料および配合

セメントは普通ポルトランドセメント（密度：3.16），BFSは、比表面積3980cm<sup>2</sup>/g（密度：2.91，以下BFS4000と示す），6120cm<sup>2</sup>/g（密度：2.89，以下BFS6000と示す），7820cm<sup>2</sup>/g（密度：2.90，以下BFS8000と示す）の3種類のものを用いられている。細骨材は、鶴川産川砂（密度：2.67），粗骨材は、砕石（密度：2.77，最大粗骨材才法：15mm），煉混ぜ水は一般の水道水を使用した。

配合は、BFSという影響因子の比較のため、水セメント比（W/C=50%），単位水量（W=175/m<sup>3</sup>）および粗骨材率（s/a=0.52）を一定とした。そして、BFSは比表面積（cm<sup>2</sup>/g）の違いに関係なく各々セメント量の内割で置換する方法で30,50,70%までコンクリートに混入している。表1は、BFSを混入したコンクリートの配合および圧縮強度の結果を示し表2は、BFSの物性を示す。

### 2.2 圧縮および引張応力下における塩分浸透試験

#### (1) 圧縮応力の導入

本研究では、圧縮・引張という応力が生じる環境下で塩分浸透試験を検討したものである。圧縮および引張応力を供試体に導入するため、予備実験の段階で十分に剛性が確認されたスチールフレーム（Steel Frame）を作製した。図-1に圧縮応力用スチールフレームを示す。圧縮応力用スチールフレームは、フレーム軸の上下についてナットを締付けることにより、供試体に所定のレベルまで圧縮応力を導入する。供試体に導入する応力は、各供試体の圧縮強度に対する導入応力の割合（以下、圧縮応力強度比：Compressive Stress Strength Ratioと示す）である。

$$\text{Compressive Stress Strength Ratio} = \sigma'c / f'c \quad (1)$$

ここで、Compressive Stress Strength Ratio：圧縮応力強度比（%）， $\sigma'c$ ：導入応力（N/mm<sup>2</sup>）， $f'c$ ：各供試体における圧縮強度である。この圧縮応力強度比は、圧縮応力が生じる環境下で発生・進展するコンクリート中の微細ひび割れを考慮し、定めたものである式(1)の導入応力は、予備実験の段階で十分に計測した導入応力とスチールフレームのひずみの関係式で決定したものである。

#### (2) 引張応力の導入

図-2に引張応力用スチールフレームを示す。圧縮応力導入用スチールフレームとほぼ同様であるが、皿バネという特殊なスプリングを用いられているのが異なる点である。所定の材齢に達した供試体を2液性エポキシ接着剤によりスチールフレームに固定し、エポキシ接着剤が十分に硬化した後（通常、2-3日後），設定した引張応力を導入する。事前に計算された皿ばねのひずみ量を得るまで、スチールフレームの内側に取り付けたナットを開く方向へ締付けることにより、供試体に引張応力を導入する。

また、供試体に導入する引張応力は、各供試体の引張応力に対する導入応力の割合（以下、引張応力強度比：*Tensile Stress Strength Ratio*と示す）である。

$$\text{Tensile Stress Strength Ratio} = \sigma'c / f't \quad (2)$$

ここで、*Tensile Stress Strength Ratio*：引張応力強度比（%）， $\sigma'c$ ：導入応力（N/mm<sup>2</sup>）， $f't$ ：各供試体における引張強度である。この引張応力強度比は、前の圧縮応力の導入でも記述したように引張応力が生じる環境下で発生・進展するコンクリート中の微細ひび割れを考慮し、定めたものである。

本研究では、圧縮および引張応力を導入する試験中には均等な応力分布が得られるためフレームの剛性の設定を行い、また試験期間を通じて生じるコンクリートのクリープにより影響および供試体接着面の処理により接着強度の保持などの問題に関しては、予備実験の段階で十分確認している。そして、本研究で採用した電気泳動試験（非定常状態）は、他の塩分浸透試験より試験時間が比較的に短いことから、その影響は少ないと判断した。

### (3) Nordtest NT BUILD 492

最近では、様々な塩分浸透促進試験から自然環境下での浸透度を計算する試験方法が確立されている状態である。本研究では、供試体に圧縮・引張という応力が生じる環境下で塩分浸透促進試験が可能することまた、他の塩分浸透試験より試験時間が短く、より多くの供試体を試験することができることなどからNordtest NT BUILD 492 (Chloride Migration Coefficient from Non-Steady-State Migration Experiment) に準じた電気泳動試験（非定常状態）を採用した。試験中に負荷する電圧および負荷時間は、30Vの電圧を負荷した際に計測される初期電流により決める。また、塩分浸透深さ（Chloride penetration depths）は、供試体の両端から10mmを除く供試体の中央部でCl<sup>-</sup>が浸透した15点の測定を行い、その平均値を本試験で塩分浸透深さとして用いた。図-4に塩分浸透深さの測定領域を示す。

そして、本試験で用いている「拡散係数」は前述のように非定常状態での電気泳動促進試験により得られたものである。NT BUILD 492の試験では、塩分浸透深さの測定後、式(3)のより拡散係数を計算する。本試験でもNT BUILD 492に準じている式(3)のより非定常状態での「拡散係数」を計算した。

$$D_{nssm} = \frac{0.0239(273+T)L}{(U-2)t} \left[ xd - 0.0238 \sqrt{\frac{(273+T)L \times xd}{U-2}} \right] \quad (3)$$

ここで、 $D_{nssm}$ ：拡散係数（m<sup>2</sup>/s）， $T$ ：溶液温度（K）， $L$ ：供試体の厚さ（mm）， $U$ ：電圧（V）， $xd$ ：塩分浸透深さの平均値（mm）である。

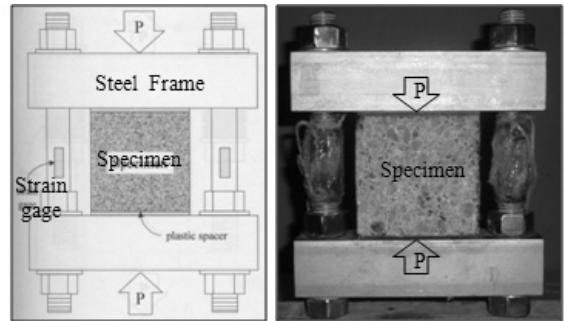


図 1 圧縮応力導入用スチールフレーム

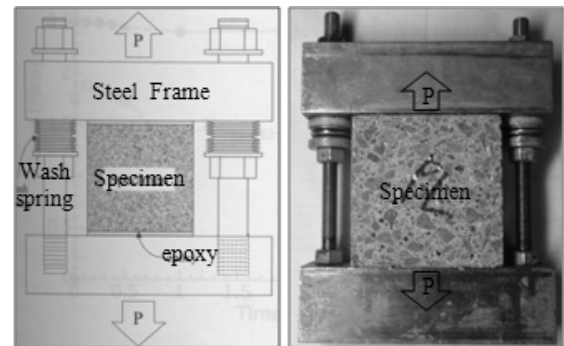


図 2 引張応力導入用スチールフレーム

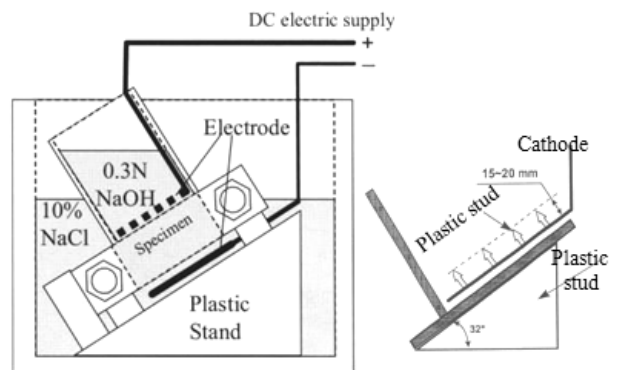


図 3 電気泳動促進試験(NT BUILD 492)

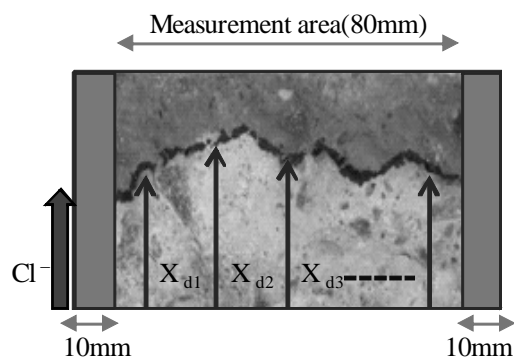


図 4 塩分浸透深さの測定

### 3. 実験結果および考察

#### 3.1 物性試験

本研究では、BFSの混入によりコンクリートの物性変化の検討するため、スランプおよび空気量、また圧縮試験(28, 91日)を行った。スランプ試験では、BFS混入したコンクリートがPlainのスランプより若干増加する傾向が確認された。この傾向は、BFSの比表面積にかかわらず混入率の増加に伴い、スランプも増加することが確認された。しかし、空気量はPlainおよびBFSを混入したコンクリートのほとんどが同様であることが確認された。

強度試験の結果では、BFSを混入したコンクリートのほとんどがPlainの強度より減少する傾向が把握された。特に、BFS4000を混入したコンクリートがPlain および他のBFSに比べて強度が低いことが28日の圧縮試験の結果から確認された。しかし、91日の強度試験結果では、BFS4000は28日の強度結果と同じようにPlainより強度が低いことが確認されたが、BFS6000および8000を混入したコンクリートは、Plainと同等以上の強度が確認された。本研究では、BFS6000およびBFS8000を50%混入した際、またBFS6000を70%混入したコンクリートの圧縮強度が他のよりも高い傾向を示した。

#### 3.2 圧縮荷重下における拡散係数

圧縮荷重が生じている環境下で行った塩分浸透試験の結果を図-5に示す。拡散係数に及ぼす圧縮応力の影響を確認するため、縦軸に拡散係数を横軸には応力強度比を示した。応力が生じていない状態(以下、無荷重状態です)での拡散係数は、plain > B6-30 > B4-30 > B6-50 > B4-50 > B8-50 > B6-70の順であることが把握された。また、無荷重の状態では、全体的にBFSを混入した供試体の拡散係数がplainより低いことが把握され、BFSをコンクリートに混入することにより塩分浸透を抑える効果があることが確認された。既往の研究の場合、BFSの比表面積( $\text{cm}^2/\text{g}$ )が8000のものを用いて行った研究がほとんどであるが本研究では、8000以外にもBFS4000及びBFS6000の3種類を用いて試験を行った結果、BFSは比表面積( $\text{cm}^2/\text{g}$ )および置換率にかかわらず塩分浸透抵抗性を向上させることが明らかとなった。

そして、応力が生じる環境下での状態では、応力レベル30および50%の段階でplain, B6-30, B4-30は、応力の増加に伴い拡散係数も若干増加する傾向が確認されたが、B4-50, B6-

50, B6-70, B8-50に関しては、応力レベル30および50%の段階で無応力状態での拡散係数より5-7割くらい低下する傾向が確認された。この傾向は、塩分浸透性に影響を及ぼすマイクロクラックや微細空隙が圧縮により閉塞され、コンクリート内部の構造が塩分浸透を抑える方向に動き、塩分浸透抵抗性が向上させると考えられる。

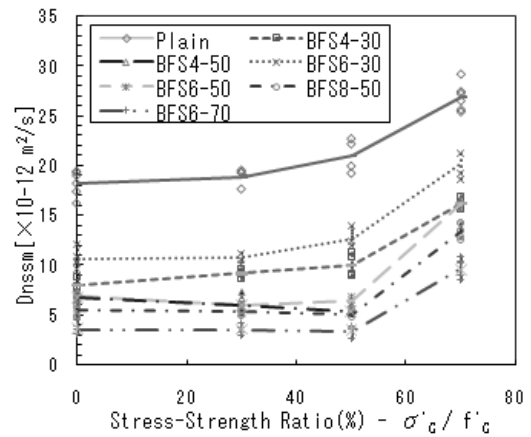


図 5 拡散係数に及ぼす圧縮応力の影響

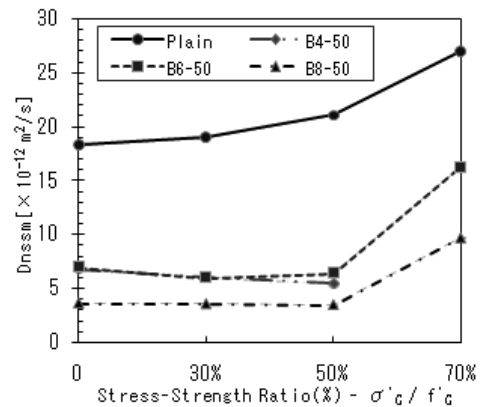


図 6 拡散係数に及ぼすBFSの比表面積

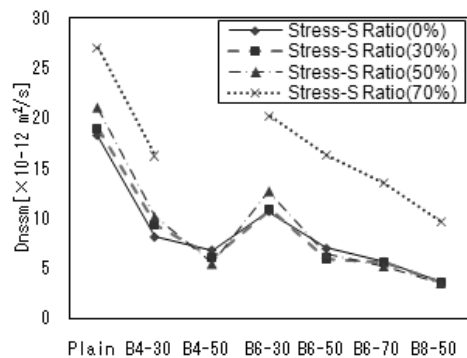


図 7 拡散係数に及ぼすBFSの置換率

しかし、応力強度レベル70%では、すべての供試体から拡散係数が急激に増加することが明らかとなった。既往の研究では、最大耐力の70%を超える荷重がかかるあたりからコンクリート内部のマイクロクラックが急激に増加する報告がある。本研究でも応力レベル70%で拡散係数が急激に増加したのは、コンクリートの塩分浸透性に大きく影響を及ぼすマイクロクラックが荷重に伴い急激に上昇したのが一因となっていると考えられる。

#### (1) BFSの比表面積が拡散係数に及ぼす影響

本研究では、比表面積 ( $\text{cm}^2/\text{g}$ ) がそれぞれ違う3種類のBFSをコンクリートに混入することにより圧縮および引張という応力が生じる環境下で電気泳動試験を行ったものである。BFSの比表面積 ( $\text{cm}^2/\text{g}$ ) あるいは置換率 (%) の違いがコンクリートの塩分浸透性に及ぼす影響を検討するため、BFS6000をセメントの内割で30, 50, 70%まで置換したものを基準とした。また、BFS4000は30, 50%までBFS8000は、50%を置換したものをを用いて試験を行った。圧縮応力下におけるBFSの比表面積の違いが拡散係数に及ぼす影響を図-6に示す。

試験の結果、応力の有無にかかわらずplainがBFSを混入したものより拡散係数が高い値を示した。そして、同じBFSでも比表面積の違いがコンクリートの塩分浸透性に及ぼす影響もそれぞれ違うことが明らかとなった。

#### (2) BFSの置換率が拡散係数に及ぼす影響

BFSの置換率の違いが拡散係数に及ぼす影響を図-7に示す。B6-30およびB4-30が無荷重および応力が生じる全段階で他のBFSのより拡散係数が増加することが把握された。この傾向は、比表面積の違いに関係なく同じ結果を示し、BFSは30%置換のより50%以上混入することにより塩分浸透抵抗性を向上することが明らかとなった。そして、本研究では、B6-70およびB8-50の拡散係数が全段階でplainや他のBFSのよりも拡散係数をもっとも低いことが確認された。このB6-70およびB8-50に関しては、他のより強度が高いことからコンクリート内部の構造が非常に緻密な状態になったと考えられる。つまり、荷重によりコンクリート内部が他のよりも密になったため、拡散係数の上昇の一因となっているマイクロクラックが圧縮あるいは軽減により他の拡散係数に比べて減少したと考えられる。

### 3.3 引張荷重下における拡散係数

引張応力が生じる環境下では、応力の増加に伴い拡散係数も同時に増加する傾向が確認された。応力レベル30%では、

plain およびB4-50, B6-50, B8-50, B6-70が無応力状態の拡散係数のより1.5倍程度増加する傾向が把握され、B6-30は約1.8倍程度、B4-30は2倍以上急激に拡散係数が増加することが把握された。B4-30および B6-30は、圧縮荷重下でも他のより拡散係数が増加したことからBFSは50%以上コンクリートに混入することにより塩分浸透抵抗性を高めることを示した。

#### (1) BFSの比表面積が拡散係数に及ぼす影響

引張応力が生じる環境下におけるBFSの比表面積が拡散係数に及ぼす影響を図-8に示す。応力の有無にかかわらずplainがBFSを混入したものより拡散係数が高い傾向を示している。応力レベル30, 60%の全段階でB4-50の拡散係数がB6-50より若干高い傾向を示したが、その差は少ないことが確認された。

#### (2) BFSの置換率が拡散係数に及ぼす影響

引張応力が生じる環境下におけるBFSの置換率が拡散係数に及ぼす影響を図-9に示す。引張応力が生じる環境での拡散係数は、plain > B4-30 > B6-30 > B4-50 > B6-50 > B8-50 > B6-70の順であることが把握された。そして、B4-30 およびB6-30 は応力レベル30%で拡散係数が急激に増加する傾向が確認されたが、BFSを50%以上置換したものは、応力の増加に伴い拡散係数が徐々に増加する傾向であることが確認された。この傾向は、圧縮応力が生じる環境での結果と同様であることから、BFSというものは比表面積の違いに関係なくセメントの内割で50%以上コンクリートに混入することにより塩分浸透を抑制する効果があることが明らかとなった。

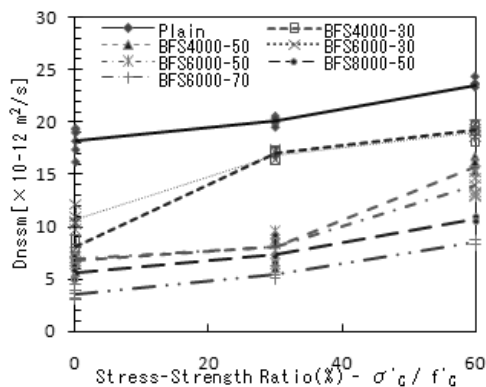


図8 引張応力下におけるBFSコンクリートの拡散係数

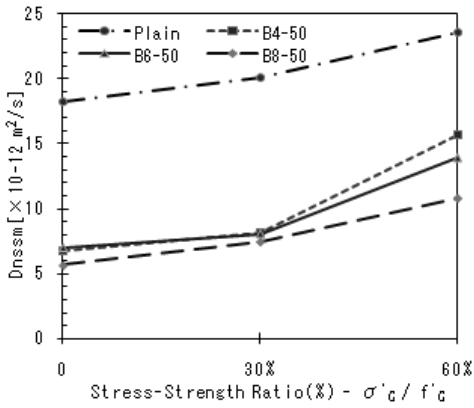


図 9 BFSの比表面積の違いによる拡散係数の変化

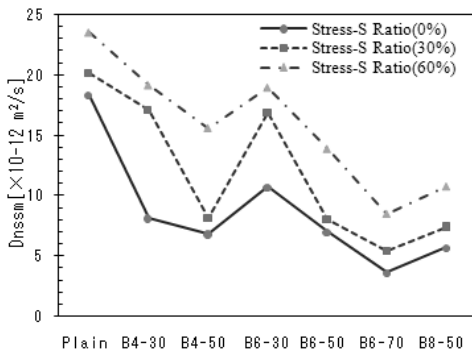


図 10 BFSの置換率の違いによる拡散係数の変化

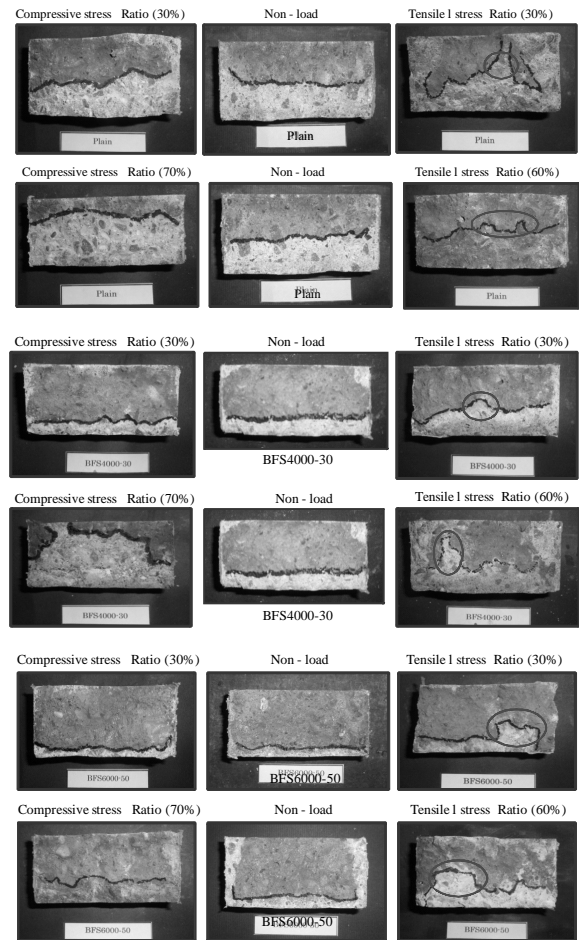
### 3.4 塩化物イオンの拡散に及ぼす荷重の影響

図-10の中央Non-loadは、無荷重状態での塩分拡散状態を示し、左は圧縮荷重（圧縮応力比30、70%）下での拡散状態をまた、右は引張荷重（引張応力比30、60%）下での塩分拡散状態である。本研究では、コンクリート内部に浸透した塩化物イオンの拡散状態から引張荷重により一部のところで突出した拡散状態が確認された。引張荷重が生じる環境下では、荷重が一部の方向に集中することが予想され、引張荷重の増加に伴い荷重が一部に集中する方向にひび割れが集中したと考えられる。つまり、引張荷重下が生じる環境下でのひび割れというのは、その幅や長さなどが無荷重および圧縮荷重下で発生するひび割れのより大きく長い状態と考えられる。

本研究でも、引張荷重下が生じる環境下での拡散係数が圧縮荷重下での拡散係数より増加したのは、引張応力の増加に伴い一部に集中したひび割れの影響により塩化物イオンが浸透しやすい状態になったと考えられる。

そして、無荷重および圧縮荷重下に関しては、ほぼ一様に平行方向に塩化物イオンが拡散している状態が確認された。つまり、ひび割れが荷重方向と平行に増加すると考えられる。また、前述のように、図-10のように圧縮応力比70%お

よび引張荷重比60%では、塩化物イオンが断面全体に拡散していることが確認できる。



## 4. まとめ

本研究では、比表面積 (cm<sup>2</sup>/g) がそれぞれ違う3種類のBFSを混入したコンクリートの塩分浸透性に及ぼす荷重の影響を実験的に検討し、以下の結果を得られた。

- 1) BFSを混入したコンクリートの拡散係数がBFS無混入のコンクリートより小さいことが確認された。この傾向は、応力が生じる環境下でもBFSを混入したコンクリートの拡散係数が無混入のより小さい結果と同様であることが確認された。
- 2) 圧縮応力が生じる環境下では、plainおよびBFSを30%置換したものは、応力の増加に伴い拡散係数も増加する傾向が把握された。しかし、BFSを50以上%置換した場合、応力レベル50%までは無応力状態での拡散係数より若干低下することが把握された。

- 3) 引張応力が生じる環境下では、BFSの混入にかかわらずすべてのものが応力の増加に伴い拡散係数も同時に増加することが把握された。
- 4) BFSは、比表面積8000 (cm<sup>2</sup>/g) を混入した際、応力の有無に関係なく他のBFSより小さいことが確認された。また、BFSは50%以上置換することにより塩分浸透抵抗性を向上させることが明らかとなった。
- 5) 本研究では、コンクリート内部に浸透した塩化物イオンの拡散状態から引張荷重により一部のところで突出した拡散状態が確認された。

#### 参 考 文 献

1. 田中良樹, 藤田学, 河野広隆, 渡辺博志: 高強度コンクリートの塩分浸透抵抗性, コンクリート工学年次論文集, Vol.23, No.2, pp.517-522, 2001
2. 杉山隆文, 辻 幸和, 橋本 親典: コンクリート中の塩分浸透性状の評価における電気泳的手法を用いた促進試験の適用性, コンクリート工学年次論文集, Vol.19, No.1, pp859-864, 1997
3. 迫井裕樹, 川北昌宏, 堀口 敬: フライアッシュおよび高炉スラグ微粉末を混入したコンクリートの塩分浸透性に及ぼす圧縮応力の影響, コンクリート工学論文集, Vol.18, No.3, pp.1-7, 2007.9
4. Nordtest NT BUILD 492, Chloride Migration Coefficient From Non-Steady State Migration Experiment, Nordtest, Finland, 1999
5. Parviz Soroushian and Mohamed Elzafraney :Damage effects on concrete performance and microstructure, Cement & Concrete Composites Vol.26, pp.853-859, 2004
6. C.C. Lin, N. Gowripalan and V. Sirivivatnanon : Microcracking and chloride permeability of concrete under uniaxial compression, Cement & Concrete Composites Vol.22, pp.353-360, 2000
7. Antoni, Horiguchi, T. and Saeki, N. : Performance of fiber reinforced Concrete Against Chloride Penetration under Loading, Concrete Research and Technology, Vol.26, pp.921-926, 2004

## 고로슬래그 미분말을 혼입한 콘크리트의 염분침투성(鹽分浸透性)에 미치는 영향

최근 콘크리트구조물의 내구성을 저하시키는 요인으로 중성화, 염해, 동해, 알카리 실리카 반응, 화학적 부식 등이 큰 사회 문제로 부각되고 있다. 그 중에서도 가장 심각한 조기열화현상의 하나로 염해에 기인하는 철근콘크리트 구조물의 철근부식이 대두되고 있다. 콘크리트중에 존재하는 염화물 이온은 철근콘크리트구조물의 내구성을 저하시키는 본질적인 원인의 하나이다. 이러한 염분침투와 관련한 대책으로 최근 염분억제효과 및 염화물 이온의 침투를 제어하는 재료로 알려져 있는 고로슬래그 미분말(이하, BFS)을 콘크리트에 혼입 함으로서 콘크리트의 염분침투저항성을 향상시키는 연구가 주목을 받고 있다. 또한, 콘크리트중의 미세균열을 구속하고 재하시에 발생하는 균열을 경감 및 분산 함으로서 염분의 침투를 제어할 수 있는 재료로서 단섬유 및 복합섬유를 혼입한 섬유보강콘크리트의 염분침투성과 관련한 연구도 최근 많은 관심을 모으고 있다. 이처럼 콘크리트의 염분침투성과 관련한 연구가 현재까지도 많은 부분 진행되고 있으나, 그 대부분이 하중이 존재하지 않는 즉, 무하중의 상태에서 진행되고 있다. 그러나, 실제의 콘크리트구조물은 무하중의 상태가 아니라, 하중 및 외력에 의한 압축 및 인장하중이 항상 존재하는 상태이다. 이러한 압축 및 인장이라 하는 하중이 부재에 존재하는 환경하에서 콘크리트의 염분침투성에 관하여 실험적으로 검토한 연구는 상당히 적다고 할 수 있다.

본 연구에서는 BFS를 혼입한 콘크리트의 염분침투성에 미치는 하중의 영향을 검토하기 위하여 전기영동실험을 실시하였다. 전기영동실험 후, 압축 및 인장응력이 존재하는 환경하에서 분말도가 각각 다른 3종류의 BFS를 콘크리트에 혼입하는 방법으로 BFS의 분말도 및 치환율의 차이가 콘크리트의 염분침투성에 미치는 영향에 대해서 실험적으로 검토하였다. 또한, 강도에 대한 응력의 비율 (이하, 응력강도비) 차이가 BFS를 혼입한 콘크리트의 염분침투성에 미치는 영향에 관해서도 검토하였다.

본 연구에서는 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) BFS를 혼입한 콘크리트의 확산계수가 BFS를 혼입하지 않은 즉 Plain 콘크리트 보다 작은 것이 확인되었다. 이러한 경향은 응력이 존재하는 환경하에서도 같은 결과가 확인되었다.
- (2) 압축응력이 존재하는 환경하에서는 Plain과 BFS를 30% 치환한 것은 응력의 증가에 따라 확산계수도 증가하는 경향을 나타내었다. 하지만, BFS를 50%이상 혼입한 콘크리트는 응력강도비 30,50%의 단계에서 무응력 상태에서의 확산계수보다 약간 저하하는 경향을 나타내었다. 그러나,

응력강도비70%를 초과하는 단계에서는 확산계수가 급격히 증가하는 것이 확인되었다.

- (3) 인장응력이 존재하는 환경하에서는 Plain 및 BFS를 혼입한 콘크리트가 모두가 응력의 증가에 따라 확산계수도 동시에 증가하는 것이 확인되었다. 특히, BFS를 30%혼입한 콘크리트는 응력강도비 30%에서 확산계수가 2배 이상 급격히 증가하는 것이 확인되었다. 또한, 인장응력이 존재하는 환경하에서는 하중이 일부에 집중되는 방향으로 미세균열 또한 집중 발생 함으로서 염분의 침투가 확산되는 것이 확인되었다.
- (4) BFS의 혼입에 따른 결과에서는 분말도 8000을 혼입한 콘크리트의 확산계수가 분말도가 다른 2종류에 비해 낮은 것이 확인되었고, 30% 치환에 비해 50%이상 치환한 콘크리트의 확산계수가 낮은 것으로 확인되었다.