# 論文 コンクリートの塩分浸透特性におよぼすひび割れ深さの影響に関す る実験的検討

齊藤 準平<sup>\*1</sup>·柳沼 善明<sup>\*2</sup>

要旨:本研究は,鉄筋まで到達していないひび割れを対象とした塩分浸透特性を明らかにするために,ひび 割れ深さ,ひび割れ幅,水セメント比等の条件を変化させたモルタルを用いた電気泳動実験を行い,実効拡 散係数等へのそれら条件の違いの影響を実験的に検討した。また,土木学会コンクリート標準示方書[設計編] の塩害に対する照査における鋼材位置における塩化物イオン濃度の算出方法へのひび割れ深さの考慮の可能 性について,実験結果を基に検討した。

キーワード: ひび割れ, ひび割れ深さ, 塩化物イオン, 実効拡散係数, ひび割れ幅の限界値

#### 1. はじめに

塩害に対するコンクリート構造物の効率的な維持補修 計画を実施するためには、コンクリートの塩分浸透性を 適切に評価する必要があり、ひび割れを有する場合は、 ひび割れが塩分の浸透を助長する恐れがあることから、 特にその塩分浸透性を適切に評価する必要がある。

現状では、土木学会コンクリート標準示方書[設計編] (2007年)で提示されている塩害に対する照査における 鋼材位置における塩化物イオン濃度の算出方法<sup>1)</sup>(以下 JSCE 算出方法と略す)によって、ひび割れからの塩化物 イオンの侵入を塩化物イオンに対する設計拡散係数を式 より算出して評価できるようになっている。コンクリー ト中の鋼材の腐食性評価と防食技術研究小委員会(338 委員会)報告書では、JSCE 算出方法については、ひび割 れ幅とひび割れ間隔を用いてひび割れ部分の影響とひび 割れを含まないコンクリート部分の影響を線形平均化し て拡散係数が算出されるため、簡便で、ある範囲では結 果の妥当性が保証されているので、照査用の算定式とし て優れるとしている<sup>2)</sup>。また、これまでの研究<sup>例えば 3)~5)</sup> によって、ひび割れを有する場合のコンクリートのひび 割れ幅と拡散係数の関係なども明らかにされてきている。

一方,JSCE 算出方法に対しては,コンクリートが緻密 である場合やかぶりが大きい場合には必ずしも適した方 法とは言えない<sup>6)</sup>,コンクリートの塩化物イオン拡散係 数を割り増すことで塩化物イオンがコンクリート中に浸 透しやすい状況を評価しているが実際の塩化物イオンの 移動メカニズムを考えると必ずしも妥当な方法であると は言い難い<sup>7)</sup>,ひび割れ間隔が曲げひび割れより格段に 広い温度や収縮ひび割れへの適用範囲の拡大が望まれる <sup>8)</sup>などの見解もあり,多様化するひび割れ条件に対して JSCE 算出方法がより適切に用いられるためには,さらな る検討が必要と考える。

本研究は、コンクリート表面にひび割れが発生するこ とが少なくない<sup>例えば 9),10)</sup>ことに着目し、ひび割れを有す るコンクリートの塩分浸透特性へのひび割れ深さの影響 について, ひび割れ深さ, ひび割れ幅等の条件を変化さ せたモルタルを用いた電気泳動実験を行い、実効拡散係 数等へのそれら条件の違いの影響および JSCE 算出方法 へのひび割れ深さの考慮の可能性を実験的に検討したも のである。ただし、電気泳動実験により求まる拡散係数 (実効拡散係数)と、JSCE 算出方法が対象とする拡散係 数(見掛けの拡散係数)とは本質的に意味合いが異なる ものである。本研究は、短期間に拡散係数を求められる こと、ひび割れ条件を与えた供試体の実験実施とその性 能評価が行い易いことなどの理由から電気泳動実験を用 いたが、JSCE 算出方法と JSCE 算出方法にその条件がな いひび割れ深さとの関係について検討することに重点を おいている。その点においては、貫通ひび割れと非貫通 ひび割れを有するコンクリートおよびひび割れのないコ ンクリートの, それぞれの実効拡散係数を用いて, JSCE 式にひび割れ深さの影響の考慮の可能性を検討すること は意義があるものと考えており、十分に可能と考える。

## 2. 実験概要

#### 2.1 電気泳動実験方法

本実験で使用する実験装置(図-1)は、実効拡散係 数試験方法(JSCE-G571)<sup>11)</sup>に準拠した。セル内溶液は陰 極側が 0.5mol/L の塩化ナトリウム溶液、陽極側が 0.3%mol/L の水酸化ナトリウム溶液である。電極は、陰 極、陽極ともにチタンメッシュである。電極間に印可す る直流定電圧は15Vとし、塩化物イオンの電気泳動が定 常状態になるまで連続して通電した。

主な測定項目は、電流、電位、陽極側と陰極側の塩化 物イオン濃度,pH および溶液温度で、実効拡散係数は、

\*1 日本大学 理工学部社会交通工学科助手 工修 (正会員)\*2 日本大学 理工学部社会交通工学科教授 工博 (正会員)

塩化物イオン濃度の経時変化が一定になった時の流束から,以下の式(1)<sup>11)</sup>によって計算した。

$$D_{e} = \frac{J_{Cl}RTL}{|Z_{Cl}|FC_{Cl}(\Delta E - \Delta E_{c})} \times 100$$
(1)

ここで、 $J_{c1}$ :塩化物イオンの定常状態の流速(mol/(cm<sup>2</sup>·年))、 D<sub>e</sub>:実効拡散係数(cm<sup>2</sup>/年)、R:気体定数(8.31J/(mol/K))、 T:絶対温度測定値(K)、 $Z_{c1}$ :塩化物イオンの電荷(=-1)、 F:ファラデー定数(96,500C/mol)、 $C_{c1}$ :陰極側の塩化物 イオン濃度の測定値(mol/1)、 $\Delta E - \Delta E_{c}$ :供試体表面間 の電位(V)、L:供試体厚さ(mm)である。

## 2.2 供試体の種類

本実験で使用する供試体は、図-2 に示すように、か ぶりを 40mm と設定しモデル化した立方体である。電気泳 動実験を適用することから鋼材は配置できない。そのた め、設定通りのひび割れを精度良く作製するため、ひび 割れの幅、長さ、深さと同じ大きさのシートを配置して モルタルを打設し、硬化後にシートを抜き取り作製した。 電気泳動実験への使用は、打設から 28 日経過後とした。 ただし、実際に生じるひび割れには、コンクリートの平 面および断面方向での屈曲や、ひび割れ幅が表面より内 部で小さい場合などがある。一方、本供試体のひび割れ は直線的でひび割れ幅も変化しない。したがって、実際 に生じるひび割れを同じひび割れ条件でも、本供試体の 拡散係数は幾分大きくなる傾向があると思われる。

表-1 に供試体の種類を示す。ひび割れ条件は、ひび 割れ幅、ひび割れ深さとした。ひび割れ幅の設定には、 JSCE 算出方法の計算におけるひび割れ幅の限界値を考 慮した。土木学会コンクリート標準示方書[設計編]<sup>1)</sup>の 鋼材の腐食に対するひび割れ幅の限界値に準じて、一般 の環境下の鉄筋と想定した式 0.005c(c:かぶり)より、 ひび割れ幅の限界値を0.005×40mm=0.2mmと設定し、ひ び割れ幅の限界値前後になるように、0.1、0.2、0.4mm の3種類とした。ひび割れ深さについては、貫通した場 合はかぶりと同じ 40mm とし、非貫通の場合はかぶりの 1/2 の深さの 20mm とし、これら2種類を基準に、ひび割 れ幅の限界値である 0.2mm の場合のみかぶりの 1/4

(10mm), 3/4 (30mm) の深さを追加した。比較のために ひび割れがないタイプNを同時に作製した。樹脂被膜実 験は, W/C55%の供試体を対象とした。この実験は,供試 体表面にエポキシ樹脂被膜処置を施し,塩分浸透をひび 割れ部に限定したもので,ひび割れを考慮した実効拡散 係数を直接求める実験である。

#### 2.3 使用材料と配合

供試体の配合(表-2)は水セメント比(W/C)55%を 標準とした。W/Cの影響を検討するために、一部のひび 割れ条件にW/C45%を追加した。細骨材のセメントに対す る容積比(S/C)を400vo1%とするモルタルを材料とした。



図-2 供試体形状(ひび割れ深さ40mm)

表-1 供試体の種類

タイプ	供試体名	ひび割れ 幅		, ひび割れ 深さ		水セメント」 (%)		Ł	樹脂被膜 実験	
		(mm)		(mm)		45	55			
S	S-20	0.1		20		_	0		0	
	S-40	0.1		40		0	0		0	
м	M-10			10		—	0		-	
	M-20	0.2		20		0	0		0	
	M-30			30	—		0		-	
	M-40			40		0	0		0	
L	L-20	0.4		20		—	0		0	
	L-40			40		0	0		0	
N	Ν	_		-		0	0		-	
表-2 供試体の配合										
W/C	S/C	単	衐	┟量(kg/r	)	空気量		70_		
(%)	(vol%)	W		С		S	(%)		<u>уп</u>	
45	400	221.4		492.1		1653	5.07		106	
55	400	257.9		469.0		1576	4.90		144	
 表-3 供試体の力学的性質										
W/C	V∕C 圧縮強度 引		張強度 曲げ強		ie 変		単位 容積質量			
(%)	(N/m	(N/mm²) (N		l/mm²)		(N/mm <sup>2</sup> )			$(t/m^3)$	
45	39.5	1	2.871			5.209		2.149		
55	55 35.61		2.811			4.887		2.117		

セメントは普通ポルトランドセメント,細骨材は山砂(表 乾密度 2.654g/cm<sup>3</sup>, 2.5mm ふるい通過)を用いた。供試 体の力学的性質を**表-3**に示す。強度試験は,打設 28 日 後に実施した。打設後から強度試験までは,封緘養生と した。

#### 実験結果および考察

## 3.1 陽極側塩化物イオン濃度の経時変化

図-3にW/C55%の場合の各ひび割れ幅の陽極側の塩化



図-3 陽極側の塩化物イオン濃度の経時変化(W/C55%)

物イオン濃度の経時変化を示す。ひび割れの有無の影響 の比較をするためひび割れがないタイプNを併せて示し ている。なお,貫通ひび割れを有するコンクリートの陽 極側の塩化物イオン濃度の経時変化においては,実験開 始後(水槽への溶液注入後)の数時間に急激な濃度増加と 頭打ち現象が生ずる。この現象は,陰極側水槽から陽極 側水槽へのひび割れを介した溶液密度の平衡状態への移 行と終了を示していると思われること,電気泳動による 濃度増加ではないことが確認実験<sup>12)</sup>によって明らかで あるため,得られた陽極側塩化物イオン濃度からこの濃 度増加分を減ずる補正処理を施している。

陽極側の塩化物イオン濃度の経時変化には、すべての タイプの供試体において、以下の傾向がみられた。ひび 割れのないタイプNは塩化物イオン濃度の増加開始から その増加割合はほぼ一定であった。ひび割れがある場合 は塩化物イオン濃度増加開始時からの通電時間の増加に 伴う塩化物イオン濃度増加が放物線状を顕著に示し、次 第に増加割合が一定となり最終的に線形に推移した。非 貫通ひび割れの場合は、ひび割れのない場合より早い時 間から塩化物イオン濃度の増加が始まった。貫通ひび割 れの場合は、通電開始直後から塩化物イオン濃度の増加 が始まった。これら結果から、放物線状の塩化物イオン 濃度の増加の推移はひび割れを有する供試体のみに見ら れたことから, ひび割れに起因する現象と捉え, ひび割 れによる非定常状態への影響を表しているものと考えら れる。一方、最終的な塩化物イオンの濃度増加が一定を 示す線形の推移は、全ての供試体に見られたが、ひび割 れのない場合とひび割れがある場合とでは傾きが異なる ことから、その直線の傾きから求めた拡散係数が定常状 態へのひび割れの影響を表しているものと考えられる。 陽極側の塩化物イオン濃度の経時変化へのひび割れ幅, ひび割れ深さの違いの影響は、図-3からみられるよう に、すべての供試体において、ひび割れがないタイプ N よりひび割れがある場合のほうが、塩分濃度増加開始時 間が早くなった。定常状態時の傾きも、ひび割れがある 場合はひび割れがない場合より大きくなった。そして,

この傾向はひび割れ深さの増加,ひび割れ幅の増加に従 い顕著となることが確認された。

#### 3.2 塩化物イオン濃度増加開始時間と実効拡散係数

#### (1) 塩化物イオン濃度増加開始時間

図-4 に陽極側塩化物イオン濃度増加開始時間を示す。 なお、図中の近似曲線は、各 W/C で、各ひび割れ幅の濃 度増加開始時間に、ひび割れがない場合の濃度増加開始 時間を含めて近似したものである。

陽極側塩化物イオン濃度増加開始時間へのひび割れ 幅の違いの影響は、貫通している場合はその違いの影響 はほとんど見られず、非貫通の場合において、ひび割れ 幅の増加に伴いその時間が早くなることが認められた。

ひび割れ深さと陽極側塩化物イオン濃度増加開始時 間の関係には、放物線状に近似される傾向が見られた。 その傾向は、ひび割れ幅が大きい場合は線形に近く近似 され、ひび割れ幅が小さくなるに従い、より曲率が大き くなる傾向を示した。これは、ひび割れ部分の塩化物イ オンの浸透の容易さに起因していると考えられ、これに よりひび割れ深さと塩化物イオン濃度の増加開始時間の 関係には、ひび割れ幅が影響することがわかった。

#### (2) 実効拡散係数の検討

図-5 に各ひび割れ条件の実効拡散係数とその近似線 を示す。近似線は、実効拡散係数とひび割れ幅の関係に



おいては、ひび割れ幅0,0.1,0.2,0.4mmのデータを持 つひび割れ深さの3条件、つまりW/C55%では貫通した場 合、非貫通(ひび割れ深さ20mm)の場合、W/C45%では貫 通した場合をそれぞれ母集団とした。実効拡散係数とひ び割れ深さの関係においては、ひび割れ深さ0,20,40mm のデータを持つひび割れ幅の4条件、つまりW/C55%では ひび割れ幅0.1mm,0.2mm,0.4mmの各場合、W/C45%では ひび割れ幅0.2mmの場合をそれぞれ母集団とした。非貫 通ひび割れの場合は貫通ひび割れの場合と違いひび割れ の先端と陽極側端部との間のモルタルの存在の影響を受 けるため、近似線はその影響を考慮し、放物線と線形の 相関を確認し、相関の良い方に決定した。

W/C の相違に関わらず,ひび割れ幅,ひび割れ深さの 増加に伴い実効拡散係数が増加する傾向が得られた。そ の傾向は,実効拡散係数とひび割れ幅の関係において, 貫通ひび割れはひび割れ幅の増加に伴う実効拡散係数の 増加が,W/Cの相違に関わらず線形に推移するのに対し, 非貫通ひび割れは放物線状に推移した。この傾向の違い は,ひび割れの非貫通部分にあるモルタルが塩分浸透速 度を低下させたことに起因するものと考えられる。

実効拡散係数とひび割れ深さの関係において、ひび割

れ深さの増加に伴う実効拡散係数の増加傾向は, W/C に 関わらず, ひび割れ幅の限界値を境に異なる傾向を示し た。ひび割れ幅の限界値以上の場合(ひび割れ幅 0.2, 0.4mm)は線形関係を示し,ひび割れ幅の限界値より小さ くなると,放物線を示した。これは,ひび割れへの塩化 物イオンの供給量とひび割れ幅の関係に起因するものと 考えられ,ひび割れ幅の限界値より小さい場合において, 非貫通ひび割れの拡散係数を求める際に,貫通した場合 の拡散係数からひび割れ深さに応じて比例減少させて拡 散係数を求めると危険側に評価されてしまう場合がある ことを示唆している。

さらに、実効拡散係数とひび割れ深さの関係において、 W/C55%のひび割れ幅が0.4mmでひび割れ深さ20mmの場合 がひび割れ幅0.2mmの貫通ひび割れの場合とほぼ同じ値 となること,ひび割れ幅0.2mmでひび割れ深さ30mmの場 合がひび割れ幅が0.1mmの貫通ひび割れの場合より大き くなること等が示すように、非貫通ひび割れが貫通ひび 割れより実効拡散係数が大きくなる場合があることを示 す結果となった。この結果は、鉄筋まで到達するひび割 れ以外でも、ひび割れの存在が塩分浸透性に無視できな いほどの影響を及ぼす場合があることを示唆している。



図-5 実効拡散係数とひび割れ幅およびひび割れ深さの関係



図-6 D<sub>e</sub>/D<sub>m</sub>とひび割れ幅およびひび割れ深さの関係

## 3.3 D<sub>e</sub>/D<sub>cm</sub>についての検討

JSCE 算出方法では、塩分浸透評価の対象ひび割れがひ び割れ幅と間隔を精度良く求めることが困難な場合でひ び割れ幅が限界値以下であれば、ひび割れがある場合の 拡散係数 D は、式(2)に示すように、コンクリートの拡散 係数 D<sub>o</sub>と初期ひび割れの影響を考慮した係数 β<sub>cl</sub> (=1.5) を用いてよいこととしている<sup>1)</sup>。

$$D = D_c \cdot \beta_{cl} \tag{2}$$

そこで、実験結果から計算上 $\beta_{c1}$ に相当する D/D<sub>c</sub>を算出 し、それに対するひび割れ条件の違いの影響を検討した。 さらに、 $\beta_{c1}$ との比較を行い、式(2)に対しひび割れが貫 通しない場合も適用可能か、ひび割れ深さの影響を考慮 できるかを検討した。なお、本研究結果は見掛けの拡散 係数と誤解のないように D を D<sub>c</sub>、D<sub>c</sub>を D<sub>cm</sub>と表記する。

図-6 に D<sub>a</sub>/D<sub>a</sub> とひび割れ幅およびひび割れ深さの関 係とその近似線を, 図-7 に D<sub>a</sub>/D<sub>cm</sub>を示す。近似線は図 -5 と同様に近似し、加えて切片が 1.0 を通過するよう にした。ここで、D。は各供試体の実効拡散係数、D。はひ び割れがない供試体の実効拡散係数である。実効拡散係 数とひび割れ幅およびひび割れ深さとの関係と同様の増 加傾向で,ひび割れ幅,ひび割れ深さの増加に伴い D\_/ D\_ が増加した。D<sub>e</sub>/D<sub>cm</sub>は、W/C55%の場合では、ひび割れ幅 の限界値以下では、非貫通ひび割れは1.29~1.58、貫通 ひび割れは1.50~1.86となった。ひび割れ幅の限界値よ り大きい場合では、非貫通ひび割れは1.73、貫通ひび割 れは2.40となった。W/C45%の場合では、ひび割れ幅の限 界値以下では、非貫通ひび割れは1.64、貫通ひび割れは ひび割れ幅 0.1mm の場合は 1.10, ひび割れ幅 0.2mm の場 合は2.40となった。ひび割れ幅の限界値より大きい場合 では、貫通ひび割れは3.95となった。

 $\beta_{c1} \ge D_{e}/D_{cm} \ge \varepsilon$ 比較すると、W/C55%の場合では、ひ び割れ幅の限界値以下では概ね $\beta_{c1}$ に近い値となり、ひ び割れ幅の限界値より大きくなると $\beta_{c1}$ より大きくなっ た。W/C45%の場合では、ひび割れ幅の限界値でも貫通ひ び割れは $\beta_{c1}$ より 2 倍近く大きくなり、ひび割れ幅が 0.4mm のなると $\beta_{c1}$ より 3 倍近くまで大きくなった。

以上より、W/C55%の場合では、ひび割れ幅の限界値を 超えると  $D_e/D_{cm}$ が顕著に増加するが、ひび割れ幅の限界 値以内では  $D_e/D_{cm}$ は概ね約 1.5 程度以下になり、JSCE 算出方法の係数  $\beta_{c1}$ の妥当性が確認された。そして、非 貫通ひび割れの場合、貫通した場合の $\beta_{c1}$ をひび割れ深 さを考慮して適切に設定することで、ひび割れ深さに応 じた塩分浸透評価ができる可能性が示された。ただし、 W/C45%の場合のように、コンクリートの拡散係数が小さ い場合では、 $\beta_{c1}$ を用いると、ひび割れ幅が限界値以内 であっても、ひび割れがあるコンクリートの拡散係数が 貫通、非貫通に関わらず実際より小さく計算され、危険



側に評価される場合があることも確認された。

## 3.4 ひび割れ部のみの拡散係数の検討

JSCE 算出方法では,塩分浸透評価の対象ひび割れがひ び割れ幅と間隔を精度良く求めることが可能な場合では, 式(3)に示すように,ひび割れがある場合の拡散係数 D の算出の概念を,コンクリートの拡散係数 D<sub>e</sub>と,ひび割 れの影響を考慮した拡散係数 D<sub>er</sub>の和としており,コン クリートの品質とひび割れの開口の影響を考慮して拡散 係数を評価することにより,鋼材位置における塩化物イ オン濃度を推定してよいこととしている<sup>1)</sup>。

D = D + D	(3)
$D - D_c + D_{cr}$	(0)

ここでは、塩分浸透評価に対するひび割れ深さの影響の JSCE 算出方法への考慮方法を検討することが目的であ る。ところが、D<sub>er</sub>は JSCE 算出方法では貫通ひび割れを 対象としている。そのため、まずは非貫通ひび割れを有 するコンクリートの式(3)への適用性の確認を行い、その 適用性が認められた後、塩分浸透評価に対するひび割れ 深さの影響の JSCE 算出方法への考慮方法を検討した。

図-8 にひび割れの影響を考慮した実効拡散係数の計 算値と樹脂被膜処置実験値の比較を示す。なお,式(2) と同様に,見掛けの拡散係数と誤解のないように  $D_{cr}$ を  $D_{crm}$ と表記する。計算値  $D_{crm}$ は,ひび割れがある場合の実 効拡散係数  $D_{o}$ からひび割れがない場合の実効拡散係数  $D_{cm}$ を減じたもので,樹脂被膜処置実験値は,塩分浸透を ひび割れ部に限定した電気泳動実験によって直接  $D_{crm}$ を 求めたものである。計算値と樹脂被膜処置実験値は,ひ び割れ幅の相違,ひび割れ幅の限界値の範囲内外の相違, ひび割れの貫通の有無の相違に関わらず,近い値を示し た。これにより,非貫通ひび割れにおいても,そのひび 割れがひび割れの影響を考慮した拡散係数のみに影響す ることが確認でき,式(3)に適用できることが確認された。

ひび割れの影響を考慮した実効拡散係数 D<sub>crm</sub>を用いて, ひび割れが貫通しない場合の塩分浸透評価へのひび割れ 深さの影響の考慮方法を検討した。ひび割れの影響を考 慮した実効拡散係数 D<sub>crm</sub> はひび割れ幅とひび割れ深さの 要因を含んだものであるため,式(4)<sup>5)</sup>にてひび割れ幅の 要因をそれから除外した拡散係数 D<sub>om</sub> とすることによっ て、ひび割れ深さの違いの影響を比較した。

$$D_{0m} = \frac{A(D_{crm} - D_{cm}) + A_{cr}D_{crm}}{A_{cr}}$$
(4)

ここで、 $D_{om}$ : 実効拡散係数から求めたひび割れ部分にお ける拡散係数( $cm^2/F$ ), A: コンクリートの断面積( $mm^2$ ),  $A_{cr}$ : ひび割れの断面積( $mm^2$ ),  $D_{crm}$ : ひび割れの影響を考 慮した実効拡散係数( $cm^2/F$ ),  $D_{cm}$ : コンクリートの実効 拡散係数( $cm^2/F$ )である。

図-9 に実効拡散係数から求めたひび割れ部分における拡散係数  $D_{0m}$  とひび割れ深さとの関係およびその近似線を示す。近似線は、ひび割れ深さ 10~40mm の範囲で複数の  $D_{0m}$  のデータを持つひび割れ幅の4条件について、原点を通る近似線をそれぞれ回帰した。

ひび割れ深さと  $D_{0m}$  との関係は,ひび割れ深さの減少 に伴い  $D_{0m}$  が低下する傾向が認められた。それら近似線 は、貫通した場合の  $D_{0m}$  が 200~400 (cm<sup>2</sup>/年)程度で,ひ び割れがない場合の  $D_{0m}$  が 0 (cm<sup>2</sup>/年)を示した。これは, ひび割れ深さに応じて  $D_{0m}$  を適切に考慮することによっ て,ひび割れ深さの影響を考慮した塩分浸透評価が行え る可能性を示すものと考えられる。一方で,ひび割れ条 件によっては  $D_{0m}$  にバラツキがある。実験結果の精度向 上が今後の検討課題の一つとしてあげられる。

## 4. まとめ

- (1)ひび割れ深さと陽極側塩化物イオン濃度増加開始時 間の関係は、放物線状に近似される傾向が見られた。
- (2)実効拡散係数とひび割れ深さの関係において、ひび割れ深さの増加に伴う実効拡散係数の増加傾向は、ひび割れ幅の限界値を境に異なる傾向を示した。
- (3) 非貫通ひび割れの場合,貫通した場合のβ<sub>el</sub>をひび割れ深さを考慮して適切に設定することで,ひび割れ深さに応じた塩分浸透評価ができる可能性が示された。ただし、コンクリートの拡散係数が小さい場合は、危険側に評価される場合がある。
- (4)非貫通ひび割れにおいても,貫通ひび割れと同様にそのひび割れがひび割れの影響を考慮した拡散係数のみに影響していることが確認できた。ひび割れ深さに応じて,ひび割れ部分における拡散係数を適切に考慮することによって,ひび割れ深さの影響を考慮した塩分浸透評価が行える可能性が示された。

## 参考文献

- 1) 土木学会: コンクリート標準示方書[設計編] (2007 年版), 2007
- 2)土木学会:コンクリート技術シリーズ No.86 コンクリート中の鋼材 の腐食性評価と防食技術研究小委員会(338 委員会)委員会報告 書, 2009
- 3)塚原絵万,加藤佳孝,魚本健人:ひび割れを有するコンクリート中



の塩化物イオン移動評価手法の提案,土木学会論文集, No.732/V-59, pp.109-120, 2003

- 4)前田聡,武若耕司,山口明伸,北畠裕之:ひび割れを有するコン クリート中への塩化物イオン拡散に関する基礎的研究,土木学会 第57回年次学術講演会,1343-1345,2002
- 5)A.Djerbi, S.Bonnet, A.Khelidj and V.Baroghel- bouny:Influence of traversing crack on chloride diffusion into concrete, Cement and Concrete Research, Vol.38, pp.877-883, 2008
- 6)田中和幸,矢田一也,石田剛朗,佐藤良一:ひび割れ部での塩水浸 透に関する実験的研究,コンクリート工学年次論文集, Vol.28, No.1, pp.941-946, 2006
- 7)岩波光保,横田弘, Nick R. Buenfeld:ひび割れを含むコンクリート 中の塩分移動に関する実験的検討,コンクリート工学年次論文集, Vol.28, No.1, pp.917-922, 2006.
- 8) 佐藤良一, 丸山一平: 収縮ひび割れの予測と制御のあるべき姿, コンクリート工学, pp.11-20, 2005.5
- 9)大野俊夫,魚本健人:コンクリートの収縮ひび割れ発生予測に関す る基礎的研究,土木学会論文集, No.662 pp.29-44, 2000
- 10)十河茂幸,河野広隆,和泉意登志,地頭薗博,牧保峯:コンクリート のひび割れがわかる本,セメントジャーナル社,2003
- 11) 土木学会:コンクリート標準示方書[規準編] (2007 年版),2007
- 12)斉藤準平, 柳沼善明:ひび割れを有するコンクリートへの電気泳 動による実効拡散係数試験方法の適用性, 平成 21 年度日本大 学理工学部学術講演会予稿集, pp.610-611, 2009