論文 PRCはり下縁におけるプレストレスと荷重作用による応力付与の 繰り返しがコンクリートの塩分浸透特性に及ぼす影響

齊藤 準平*1

要旨:プレストレスによって付与される圧縮応力と荷重によって発生する引張応力の繰り返しが,PRC はり下 縁からの塩分浸透に及ぼす影響を検討した。PRC はり下縁領域をモデル化した供試体に圧縮応力を繰り返し付 与した後,浸せき試験または電気泳動試験を実施した。その結果,プレストレスによる応力付与の直角方向か ら浸透する塩化物イオンの実効拡散係数や塩分量は,標準的なプレストレスが作用した場合は作用しない場 合より小さく(少なく)なり,プレストレスが小さい場合はより小さく(少なく)なることがわかった。 キーワード:PRC はり,プレストレス,塩分浸透特性,電気泳動試験,浸せき試験

1. はじめに

PRC 構造は、プレストレストコンクリートの利点を経 済的に得られることから、多くの橋梁構造に適用されて いる。構造機能の持続には鋼材腐食の原因である部材内 の塩分濃度の評価が極めて重要である。著者は継続研究 によって、PRC はり下縁領域におけるひび割れの影響な らびにプレストレスと荷重作用による応力付与の繰り返 しの影響が塩分浸透にどのような挙動を及ぼすかを定量 的に明らかにし、適切に塩分浸透特性を評価できる式の 構築を目指している。

PRC 構造は、鋼材腐食を助長するひび割れ幅の拡大を プレストレスによって制限できるため、ひび割れからの 塩分浸透への抵抗性を高められることができるという 研究結果が得られている^{1),2)}。また, PRC はり下縁領域 におけるプレストレスの作用によって、コンクリートに 付与される圧縮応力と荷重による作用によって発生する 引張応力の繰り返し付与がコンクリート材料自体の塩分 浸透特性に及ぼす影響についても、次の結果 3)~6)が得ら れている。コンクリートに応力付与を施した際の塩分浸 透特性は,付与方法(静的,動的),付与応力の大きさ, および繰り返し付与回数などの応力付与条件によって変 化すること, 塩分浸透方向と応力付与方向との関係は同 一方向か直角方向かによって浸透特性が異なること,な どである。しかし、PRC はりの塩分浸透に関するひび割 れの影響ならびに応力付与の影響のいずれにおいても, 未だに十分に明らかとされておらず、さらに多条件で且 つ定量的な検討が必要と考えられる。

本稿は、プレストレスと荷重作用による繰り返し応力 付与が塩分浸透特性にどのような影響を及ぼすのかにつ いて明確にするために、いくつかの応力付与条件におけ る塩水浸せき試験ならびに電気泳動試験を行い、そこで 得られた定性的あるいは定量的な知見を示すものである。

2. 既往研究

Saito ら³⁾は、コンクリートに付与応力ならびに付与回 数を変化させた繰り返し圧縮応力付与後の供試体に対し て、急速塩化物イオン透過性試験法(AASHTO T-277)を 用いて電気量で応力付与方向の塩分浸透特性を検討した。 その結果、繰り返し応力付与によって残留ひずみが大き くなると塩分浸透量が多くなる傾向があることを報告し ている。迫井ら 4は、コンクリートに静的圧縮応力を継 続付与した状態の応力付与直角方向の塩分浸透特性を電 気泳動法(非定常)(NT BUILD492)で検討した。その結 果、付与応力の大きさによって塩分浸透特性は優位に働 く場合(圧縮強度比(f'。比)=30%)と不利に働く場合(f'。 比=50%, 80%)の両方の影響が現れる傾向があることを 報告している。著者 5).6)は,繰り返し応力付与(付与応力: f'c比=30,50%(各f'c比のn=1万回,10万回,100万回)) 後のモルタルの塩分浸透特性を塩水浸せき試験によって 塩化物イオン(Cl)濃度から検討した。その結果,(1) いずれのf'c比においても,付与方向は塩分浸透が早まり 付与直角方向では遅くなる傾向があること、(2)残留ひ ずみの増加に伴い浸透は早まる傾向があること、(3) 圧縮 応力による材料の緻密化の影響と損傷の影響が混在する と考えられることを報告した。加えて,試験条件として繰 り返し回数を多回数(n=100万回)にすると、傾向がより 顕著に示されることを得ている。

3. 試験概要

3.1 本試験が対象とする PRC はりの状態と対象箇所

図-1は、PRC はりに活荷重が作用するときの下縁付 近のコンクリートの応力状態とひび割れ開閉の概念を示 している。本研究が対象とする状態は、(3)重ね合わせ の状態で、活荷重の作用時にひび割れ周辺のコンクリー トにプレストレスによる圧縮応力がほとんど無くなり、 ひび割れ幅は拡大するもののその幅は一定幅に制限され

る状態である。この状態は、PRC はりの供用状態におい て、飛来塩分がひび割れからコンクリートにもっとも浸 透しやすく, 交通量が著しく多い場合に連続的に繰り返 される状態である。一方、ひび割れ付近のコンクリート は、プレストレスの作用と活荷重に伴う引張応力による プレストレスの一時的損失が繰り返し起こることで,疲 労損傷による塩分浸透の助長やあるいはプレストレスの 大きさ次第では内部の潜在的クラックや空隙の閉塞によ って塩分浸透が改善されるなど、その挙動は十分に解明 されていない状態である。本試験ではこのひび割れ付近 のコンクリートを検討対象箇所とし,挙動の解明を行う。

3.2 試験条件

検討対象箇所のコンクリートをモデル化した供試体を 用いて、モデル供試体への繰り返し応力付与後に塩水浸 せき試験ならびに電気泳動試験から塩分浸透特性を多角 的に検討する。

試験条件の設定は、構築を目指す浸透特性評価式への 本結果の展開を見据えることならびに既往研究の実験条 件とその結果(2.既往研究参照)を考慮して、(1)プレ ストレスと荷重の繰り返し作用は、1回や1万回程度の 少ない回数ではなく可能な範囲で多回数を与えること,

(2) 通常の PRC はりに使用される標準的なプレストレ スによる応力の大きさにすること、(3) 拡散係数による 定量的な検討を行うことを踏まえつつ、(4) PRC はり下 縁からの材料自体の塩分浸透特性を明確にする目的から 応力付与直角方向の塩分浸透を中心に検討することが必 要であることを考慮した。

各試験条件一覧を表-1,表-2に示す。試験Aは,多 くの供試体を同時に浸せきすることによって、多くの塩 分濃度データが取得でき且つその傾向を整理することが できることから、塩水浸せき試験を用いる。試験 B は、 短期間で拡散性状に関する定量的な検討が行えることか ら, 電気泳動試験を用いる。

(1) 繰り返し応力付与回数

可能な範囲で現実的な多回数の繰り返し応力を与え ることや、より傾向が顕著になるという既往研究のから 判断し、繰り返し応力付与回数は100万回とする。

(2) 繰り返し付与応力

試験A, Bの共通条件として、上限荷重のf。比は、通 常の PRC はりのプレストレスに使用されるレベルの応 力付与とするため, プレストレスの標準的な大きさとし て、コンクリートの圧縮強度に対する許容応力度の目安 とされる f'c比=30%と、プレストレスの影響の有無を比 較するためにf'c比=0% (タイプN)とする。さらに、各 試験の目的に応じて条件を追加設定した。試験 A は,プ レストレスの大きさの違いの影響を検討するために標準 的な大きさ内でf'。比=20%を条件に追加した。試験 B は,





表-1 塩水浸せき試験(試験 A)の条件

試験名	供試体	繰り返し応力付与		浸せき期間			塩分浸透方向	
		付与応力 (fc比)	繰り返し 回数	30日	60日	91日	応力付与 直角方向	応力付与 方向
A	塩分濃度基準供試体 (タイプN)	0%	-	0	0	0	0	-
	PRCモデル供試体 (タイプPRC)	20%	100万回	0	0	0	0	-
		30%		0	0	0	0	-

表-2 電気泳動試験(試験B)の条件

		繰り返し	応力付与	塩分浸透方向		
試験名	供試体	付与応力 (f°c比)	繰り返し 回数	応力付与 直角方向	応力付与 方向	
в	塩分濃度基準供試体 (タイプN)	0%	-	0	0	
	PRCモデル供試体	30%	100-5-6	0	0	
	(タイプPRC)	50%	100万回	0	0	

200 万回疲労強度の目安とされる f'。比=50%を条件に加 えた。f'。比=50%を条件に加えたのは、プレストレスによ る応力付与の方向に対する塩分浸透方向の違いを拡散係 数で検討することが継続研究において初めてであり、ま た既往研究においてもほとんど確認されていないことか ら、標準的なプレストレスよりも大きい条件での試験デ ータとしての価値を見込んだためである。

(3) 塩分浸透方向

試験A,BともにPRCはり下縁からの材料自体の塩分 浸透特性を明確にする目的から応力付与直角方向の塩分 浸透に着目するが,試験Bは先の理由により,応力付与 方向からの塩分浸透についても試験条件とする。

3.3 試験方法

(1) 供試体

図-2 に試験方法の概要を示す。供試体は、研究対象 とした PRC はり下縁部のひび割れに近接するコンクリ ートをモデル化する。試験Aは、塩水浸せき期間の違い を得るために複数断面で応力付与直角方向からの塩水浸 せき試験ができる供試体(1辺約33mm)を応力付与後に 切り出せるようにした。塩水浸せき試験用供試体への切 断加工を容易にし、塩水浸せき用供試体として十分な寸 法が確保できるように、1辺は 100mm の正方形断面と し,長さは 200mm とした。試験 B は,断面 40mm×40mm の正方形で長さ 160mm とした。電気泳動試験には中央 部から左右 40mm となる立方体を切り出して使用する。 供試体の打設において、試験Aは曲げ強度試験に用いる

供試体製造用型枠を用い,試験 B はセメントの強さ試験 に用いるモルタル供試体成形用型を用い,十分に振動締 め固めを行った。打設面は試験 A,B とも応力付与直角方 向の1面に相当する。

供試体の配合と力学的性質を表-3 に示す。水セメン ト比(W/C)を55%とし、細骨材のセメントに対する容 積比(S/C)を400Vol%とするモルタルを材料とした。こ れは、塩分浸透への骨材の影響を少なくするためである。 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/cm³,2.5mm ふるい通過)を用いた。打設 後から28日まで封緘養生とした。

(2) 繰り返し圧縮応力付与

試験 A, B ともに, 繰り返し応力付与は油圧サーボ式 疲労試験機を用いて行った。繰り返し応力付与は荷重制 御(正弦波)とした。供試体と試験機の接触面での端面 摩擦による影響を除去するために減摩パッド(テフロン シート)を挟んで実施した。圧縮応力付与は, 応力付与 を施す供試体と同一寸法の供試体の圧縮強度を基準に上 限荷重を設定し, 上限荷重の10%の大きさを下限荷重と した。応力付与の速度は, 予備試験によって試験機の荷 重制御可能な周波数を検討し, 安定した荷重制御ができ る 0.8Hz (100 万回の応力付与期間は約14.5 日)とした。 塩分浸透特性と応力付与によるひずみの関係を検討する ために, 応力付与時には塩分浸透用供試体として後に切 り出しされる当該範囲(応力付与方向に垂直となる4面 (図-2参照))にひずみゲージを貼り,応力付与終了後 の残留ひずみを取得した。ひずみは応力付与方向で,動 ひずみ計を介し周波数 50Hz でデータを取得した。

(3) 塩水浸せき試験と電気泳動試験

塩水浸せき試験(試験 A)には、応力付与後の供試体と 基準供試体(f'。比=0%)の当該断面における応力付与直角 方向((a),(b),(c),(d)方向)からの塩分浸透のため、 塩水浸せき試験用供試体4体(供試体 Sa, Sb, Sc, Sd)を 切り出して用いる。試験はJSCEG 572⁷)に準じ、濃度10% の塩化ナトリウム水溶液中に塩水浸せき試験用供試体を 各条件期間(A断面=30日,B断面=60日,C断面=91日) に応じて浸せきした。塩水浸せき試験用供試体は、タイ プPRCおよびタイプNそれぞれ1体あたり12体で、全 モデル供試体3体の合計は36体となる。塩分浸透面は1 面とし、それ以外の5面にはエポキシ樹脂を塗布し塩分 浸透を遮断した。なお、塩分浸透面は応力付与直角方向 の全面となるので、打設面、側面、底面のいずれの面も 相当することになる。Cl-濃度の分析は、JISA 1154⁸)に準

表-3 供試体の配合と力学的性質

	S/C				試	験A	試験B	
W/C		単位量(kg/m ³)		圧縮 強度	単位 容積質量	圧縮 単位 強度 容積質量 容積質量		
(%)	(Vol%)	水	セメント	細骨材	(N/mm^2)	(kg/m³)	(N/mm^2)	(kg/m ³)
55	400	257.9	469.0	1576	30.12	2020	30.59	2003



図-2 試験方法の概要

じて行い,塩水浸せき試験用供試体1体全てを用いて微 粉末化,全CI・の硝酸による煮沸抽出,ろ過および分析(電 位差滴定法)の工程で行った。

試験 B で使用する電気泳動試験装置は,実効拡散係数 試験方法(JSCE-G571)⁹⁾を参考に,矩形断面に適用でき るように独自の加工を施して製作したものである。なお, 本試験装置の結果の妥当性は著者の既往研究^{例えば2)}で証 明済みである。試験は同試験方法に準じて行い,CIの電 気泳動が定常状態になるまで連続して通電した。応力付 与直角方向の塩分浸透面は,打設時に底面となる面を用 い,応力付与方向の塩分浸透面は,端部側の切断面を用 いた。供試体内への吸水は真空デシケーターを用いて十 分に行った。主な測定項目は,電流,電位差,陽極側と 陰極側の CI-濃度, pH および溶液温度とした。測定結果 を用いて,式(1),(2) から,CIの実効拡散係数が算出 される。

4. 試験結果および考察

4.1 塩水浸せき試験(試験A)による検討

図-3 に、プレストレスの付与の有無ならびに大きさ の違いの影響を検討するために、浸せき期間別に CI-濃度 とf'c比の関係を示す。まず, Cl濃度と浸せき期間の関係 を見ると、浸せき期間の増加に伴い、Cl濃度が増加する 傾向が概ね確認された。これによって、塩分供給環境に 長期間置かれると、浸透塩分量が多くなることが示され た。次に、プレストレスの有無の影響について、Cl濃度 とf'。比の関係を見ると、全浸せき期間において、Cl濃度 は、タイプ PRC がタイプ N (f'c比=0%) より低いことが わかる。これは、f'c比=30%以下という標準的な大きさの プレストレスが与えられると,応力付与直角方向からの 塩分浸透、すなわちはり下縁からの材料部分への塩分浸 透を低下させることができることを意味しており、つま りプレストレスの作用が塩分浸透抵抗性に寄与すること を示唆するものである。また、プレストレスの大きさの 影響についてタイプ PRC の結果を見ると、Cl-濃度は f'。 比=30%が 20%より高く、f'。比すなわちプレストレスの 増加に伴い CI-濃度が増加する傾向を示すことがわかる。 これは、プレストレスが小さい方が疲労損傷による塩分 浸透の助長よりもプレストレスによる内部の潜在的クラ ックや空隙の閉塞によって塩分浸透が改善され、プレス トレスによる Cl濃度の浸透抵抗性がより優位に働いた ことを意味すると考えられる。

図-3 で示されたプレストレスに伴う応力付与の効果 の傾向を定量的に見るために,図-4 に,浸せき期間別 にタイプN(f'c比=0%)のCI-濃度の平均値(Cl⁻(N))に 対する各供試体のCI-濃度(Cl⁻)の関係(Cl⁻/Cl⁻(N))とf'c 比の関係を示す。図より,タイプPRCのCl⁻/Cl⁻(N)はタ



図-6 Cl⁻/Cl⁻ (N) と残留ひずみの関係

イプNと比較して、概ねタイプNの同程度~半分程度 の範囲であることや、0.7~0.8 に多く存在することが確 認できる。これは、標準的なプレストレスの作用によっ て塩分浸透が2、3割低減されることを意味する。

Saito³⁾らや著者 ^{5),6)}らの既往研究における,同一付与応 力で繰り返し付与回数が多くなると残留ひずみが増加し, それによってさらに塩分浸透量が多くなることならびに 浸透速度が速くなる結果を踏まえ,図-5 に,浸せき期 間別の Cl-濃度と残留ひずみの関係を示す。図より,全浸 せき期間において,残留ひずみの増加に伴い,Cl-濃度が 高くなる傾向が確認される。これは,繰り返し応力付与 によって残留ひずみが増加すると,プレストレスに伴う 応力付与による塩分浸透抵抗性の効果よりも,疲労損傷 による塩分浸透の助長の影響が現れてくることを意味し ていると推測できる。その傾向を定量的に見るために, 図-6に、浸せき期間別の Cl/Cl⁻_(N) と残留ひずみの関係 と近似線を示す。近似線は、タイプNよりもタイプ PRC が明らかに小さいこと、これはタイプNと比較してタイ プ PRC はコンクリート内部の塩分浸透挙動が応力によ る緻密や損傷等の影響等と推測される理由により明らか に異なることから判断し、f⁻。比=0%の値を除いて近似 した。図より、浸せき期間の違いに関わらず、残留ひず みの増加に伴う Cl-濃度の増加傾向は、近似線よりほぼ同 様の傾きを示すことが確認できる。また、延長した近似 線から、タイプ PRC の塩分浸透挙動は、応力付与をする とまずは残留ひずみ 0 μ のまま Cl-/Cl⁻(N)が切片位置まで 低下し、その後残留ひずみの増加と共に Cl-/Cl⁻(N)が増加 する挙動を表すと考えられる。なお、残留ひずみが 300 μ 程度になると応力付与がない場合と同じ Cl-濃度になる ことがわかる。

4.2 電気泳動試験(試験B)による検討

図-7 に、電気泳動試験における陽極側水槽溶液中の Cl濃度と供試体表面間の電位差と経過時間の積の関係 を, 塩分浸透方向別(応力付与方向ならびに応力付与直 角方向)に示す。経過時間でなく電位差と経過時間の積 として示したのは,各供試体の試験中の電位差が完全に 一致しないことからその違いの影響を除去することがで きる²⁾ためである。図より、応力付与が無いタイプN(f'。 比=0%)は、塩分浸透方向の違いに関わらず、しばらく の間まったく濃度が増加しない非定常状態を経た後に定 常状態に移行していることが確認された。一方、応力付 与されたタイプ PRC では、応力付与方向の供試体は通電 開始後直ちに Cl-濃度の増加が始まり緩やかな増加曲線 を経た後に定常状態に推移する傾向を示し、応力付与直 角方向の供試体はタイプNと同じように濃度増加しない 非定常状態を経て定常状態に推移する傾向を示し、塩分 浸透方向の違いの影響が認められた。応力付与方向の供 試体の Cl-濃度の挙動における通電開始直後の Cl-濃度の 増加と緩やかな増加曲線後の定常状態への推移は,著者 の人工ひび割れを有するモルタル供試体の電気泳動試験 における挙動10とほぼ同様の挙動を示しており、そのこ とから応力付与方向の Cl濃度の浸透には繰り返し応力 付与に伴う微細ひび割れ等の内部損傷の影響を受けてい るものと考えられる。一方で、応力付与直角方向の供試 体の Cl-濃度の挙動は, 前述のタイプ N が示す, 濃度増 加しない非定常状態を経て定常状態に移行するという挙 動の面で,ほぼ同様の挙動を示している。このことから, 応力付与直角方向の Cl-の浸透は,繰り返し応力付与に伴 う内部損傷の影響をほとんど受けていないと考えられる。

図-8 に,実効拡散係数 D_eとf'e比の関係を示す。図 より,応力付与方向において,タイプ PRC の D_eはタイ プNよりf'e比の違いに関わらず約 1.6 倍大きく,一方で





応力付与直角方向において、タイプ PRC の De はタイプ Nよりf'e比=30%では約5%小さくf'c比=50%では約14% 大きいことが確認され、塩分浸透方向の違いによってプ レストレスによる塩分浸透抵抗性への効果に顕著な優劣 の差が示された。これにより、プレストレスによる応力 付与方向からの塩分浸透が応力付与直角方向からよりも 明らかに不利な影響を受けていることがわかった。また、 応力付与直角方向において、通常の PRC はりのプレスト レスの標準的な大きさであるf'e比=30%の Deがタイプ N より小さく、その大きさ以上のf'e比=50%の Deがタイプ Nより大きい値を示したことは、標準的なプレストレス 内においてはプレストレスの優位な影響を受けることが できることを示唆する結果といえる。

図-9に、実効拡散係数に関するタイプN(f'c比=0%) のD_e(D_{e(N)})に対するタイプPRCの各D_eの関係(D_e/D_e (N))と残留ひずみの関係を示す。この残留ひずみは、各 断面におけるひずみの平均値である。また、図中には浸 透方向別に近似線を併記するが、図-6の近似線と同様 に、応力付与の有無の違いによって塩分浸透挙動に違い があるという理由から、応力付与方向と応力付与直角方 向共にf'c比=0%の値を除いて近似線を併記した。図より、 浸透方向の違いに関わらず、残留ひずみの増加に伴いD_e/ De (N) が増加する傾向が示された。De/De (N) と残留ひずみ の関係は、応力付与方向と応力付与直角方向共に正の傾 きによる一次式が示され、応力付与方向は切片が 1.0 以 上に、応力付与直角方向は 1.0 以下となった。この De/De (N) と残留ひずみの関係における応力付与直角方向の一 次式は、切片が 1.0 から小さくなる分がプレストレスに よる内部の潜在的クラックや空隙の閉塞の効果を、傾き が疲労損傷による塩分浸透の助長を表すと考えられる。 なお、この近似式は残留ひずみが約 200 μ になるとタイ プ N と同じ Deになる。

4.3 塩水浸せき試験と電気泳動試験の比較

図-10は、図-6の各浸せき期間の Cl⁻/Cl⁻(N) と残留ひ ずみの関係を一つにまとめたものと、図-9の De/De (N) と残留ひずみの関係における応力付与直角方向のデータ を、塩水浸せき試験と電気泳動試験の結果比較のために まとめたものである。図より、近似線は切片こそ異なる が増加傾向はほぼ同じ程度であることが認められた。残 留ひずみはプレストレスに伴う圧縮応力の大きさの影響 や繰り返し回数の影響が反映されたものであるから、こ の残留ひずみと拡散係数や Cl-濃度の関係が定量的に解 明されれば、それら値を残留ひずみから推定あるいは評 価することが可能になると考えられる。



5. まとめ

本試験の範囲内で、以下のことが明らかになった。

- (1)応力付与直角方向の塩分浸透において,浸せき試験ならびに電気泳動試験から,標準的なプレストレスに伴う応力付与がある場合は無い場合より Cl-濃度は低く,実効拡散係数は小さくなった。
- (2)応力付与直角方向の塩分浸透において,浸せき試験ならびに電気泳動試験から,標準的なプレストレスによる応力付与の影響は,付与応力が小さいほど塩分浸透抵抗性に優位な結果を示した。
- (3)電気泳動試験より,塩分浸透抵抗性に対するプレストレスと塩分浸透方向の関係は、応力付与方向においてはいかなるプレストレスの大きさであっても不利

な影響を受け、応力付与直角方向においては標準的 なプレストレス内において優位な影響を示した。

謝辞

本研究の一部は、日本学術振興会科学研究費補助金 (基盤研究 (C) JP17K06539,研究代表者:日本大学 齊 藤準平)の助成を受けたものです。また、本研究の実施 に際し、平成 29 年度日本大学理工学部交通システム工 学科卒業研究生の相澤悠君、竜岳弘君、杉山崇斗君に多 大な協力をいただいた。ここに付記し、謝意を表します。

引用・参考文献

- 川名 桂子,西岡 友樹,睦好 宏史,浅本 晋吾:腐 食促進実験による RC および PRC 梁の鉄筋腐食に関 する研究,コンクリート工学年次論文集,Vol.30, pp.825-830,2008
- 齊藤 準平,下邊 悟:電気泳動法を用いた PRC はり のひび割れ領域部における塩分浸透特性に関する実 験的検討,コンクリート工学年次論文集,Vol.39, pp.679-684,2017
- Saito,M. and Ishimori,H.:Chloride Permeability of Concrete under Static and Repeated Compressive Loading, Cement and Concrete Research, Vol.25, No.4, pp. 803-808, 1995
- 4) 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、第18巻、第3号、pp.1-7、2007
- 5) 齊藤 準平,下邊 悟:塩分浸せき試験を用いた PRC はりのひび割れ領域部の塩分浸透に関する検討,第 25 回プレストレストコンクリートの発展に関する シンポジウム論文集,pp.187-192,2016
- 6) 齊藤 準平,下邊 悟:繰返し荷重下におけるコンク リートの塩分浸透特性,第 26 回プレストレストコ ンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, pp.93-98, 2017
- 1. 土木学会: 2013 制定 コンクリート標準示方書 [規 準編] 土木学会規準および関連規準, JSCE-G 572-2013, pp.372-376, 2013
- 8) 日本工業規格 JIS A 1154:2012「硬化コンクリート中 に含まれる塩化物イオンの試験方法」,2012
- 2013 制定 コンクリート標準示方書 [規 準編] 土木学会規準および関連規準, JSCE-G 571-2013, pp.363-369, 2013
- 10) 齊藤 準平, 柳沼 善明: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,コンクリート工学年次論文集, Vol.33, pp.815-820, 2011