

持続圧縮応力を受けるコンクリートの物質移動抵抗性に関する検討

長岡技術科学大学 正会員 工博 ○下村 匠
(株) 横河ブリッジ 非会員 工修 川島 徹

1. はじめに

耐久性に関するプレストレストコンクリート構造の長所のひとつに、塩分などの鋼材腐食物質の侵入に対する抵抗性が高いことが挙げられる。考えられるその理由は、(1)プレストレストコンクリート構造は一般に曲げひび割れを許さないでひび割れを介した物質侵入がないこと、(2)強度の高いコンクリートが用いられるので細孔組織が緻密で物質移動抵抗性が高いこと、および(3)鋼材周辺のコンクリートが常時圧縮状態にあるので物質が侵入しにくい可能性があることである。

土木学会コンクリート標準示方書では、コンクリート品質と曲げひび割れ幅の影響を考慮してかぶりコンクリートの平均拡散係数を評価し、構造物の塩害に対する耐久性を照査することになっており、上記(1)(2)は自動的に考慮されることになる。しかし、(3)については未考慮である。その理由は、コンクリートの物質移動抵抗性に及ぼす持続圧縮応力の影響の程度が不明で、知見が一般化されていないためと考えられる。

本研究では、プレストレストコンクリート構造の耐久性評価手法の確立を目指し、この観点から持続応力を受けるコンクリートの物質移動抵抗性に関する既往の知見の整理、および新たに企画した持続圧縮応力レベルを実験変数としたコンクリート供試体への塩水噴霧試験を行った。

2. 既往の実験結果の検討

2.1 既往の実験結果に見られる傾向

図-1 と表-1 は持続応力を与えたコンクリートの物質移動抵抗性に関する既往の実験結果のいくつかである。表-1 に示したように、文献によって、透過物質、透過方法、物質移動抵抗性の指標値が異なっている。しかしそれらに共通の傾向を見出せるかどうかを検討するために、図-1 ではあえてそれらの違いを度外視して、各文献について各応力段階における表-1 の物質移動抵抗性の指標値を無応力時の指標値で除した値を縦軸にとっている。ただし物質移動抵抗性が大きいほど縦軸の値が大きくなるように、実際には表-1 の指標値の逆数の比をプロットしている。なお、図-1 には圧縮から引張までのデータが含まれるため、横軸は応力強度比ではなく応力そのものを採用した。

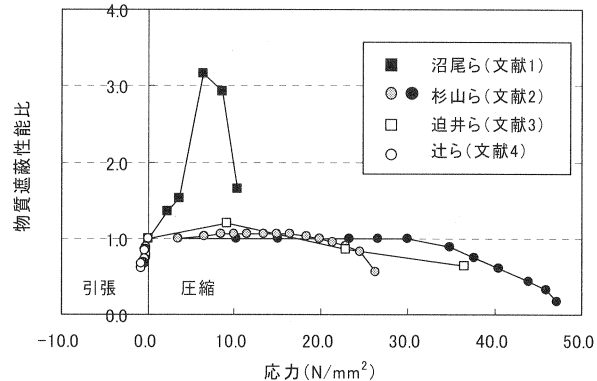


図-1 載荷応力とコンクリートの物質移動抵抗性

図-1 の圧縮側の結果に着目すると、杉山ら²⁾と迫井ら³⁾の結果に共通した傾向が見られる。すなわち、圧縮応力レベルが小さい段階では物質移動抵抗性は無載荷時とほぼ変わらず、圧縮応力レベルが大きくなると物質移動抵抗性は無載荷時よりむしろ低下している。物質移動抵抗性が低下するのは応力レベルが応力強度比で概ね 0.5 以上の範囲である。変化の程度は小さいが、迫井ら³⁾の結果では圧縮応力レベルが小さい段階で無載荷時よりも物質移動抵抗性がわずかに増加しているように見える。沼尾らの結果¹⁾ではさらにこの傾向が顕著に現れている。なお、沼尾らの実験は薄いセメントペーストの供試体を用いているため、コンクリート供試体に比べ影響が敏感に現れたものと思われる。

表-1 荷重応力がコンクリートの物質移動抵抗性に及ぼす影響に関する既往の実験結果

研究者 (文献)	材料 (W/C)	透過物質	透過方法	物質移動抵抗性 の指標値(単位)	応力レベル範囲	
					応力 (N/mm ²)	応力強度比
沼尾ら (文献1)	セメントペースト (40)	水分	自由移動	水分移動速度 (10 ⁻³ g/h)	2.0~10.4	0.05~0.23
杉山ら (文献2)	コンクリート (40)	窒素ガス	加圧透気	透気係数 (m ²)	1.7~30.6	0.06~1
	コンクリート (60)					
迫井ら (文献3)	コンクリート (50)	Cl ⁻	電気泳動	Cl ⁻ 拡散係数 (m ² /s)	9.1~36.6	0.2~0.8
辻ら (文献4)	コンクリート (55)	Cl ⁻	乾湿繰返	Cl ⁻ 浸透深さ (cm)	0.24~1.07 (曲引張)	0.05~0.13
	モルタル (55)					

一方、コンクリートに持続引張を与え、物質移動抵抗性を試験した例は少ない。辻らは鉄筋コンクリート供試体に持続曲げ荷重を荷重し、塩水の乾湿繰返しを与え、塩分浸透深さを測定することにより引張応力下における物質移動抵抗性を定量化することに成功している。その結果によると、引張応力下では応力の増加にしたがい、物質移動抵抗性が低下する傾向が明瞭に現れている。

2.2 既往の実験結果におけるメカニズムの考察

(1) 低圧縮応力レベル

既往の実験結果によると、圧縮応力レベルが小さい段階では、コンクリートの物質移動抵抗性は無載荷時とほぼ同じか、わずかに増大する傾向が見られた。この理由は、圧縮応力によりコンクリートの細孔組織が圧縮されることが考えられる。しかし、その影響は小さいといえる。

(2) 高圧縮応力レベル

圧縮応力レベルが大きい段階で物質移動抵抗性が低下した理由は、圧縮応力によるコンクリート内部組織の微視的な破壊によると考えられる。しかし、プレストレストコンクリートを含む一般のコンクリート部材において常時荷重下でコンクリートに作用する圧縮応力が応力強度比で0.5以上の応力レベルとなることはほとんどないので、現実にはこの範囲の現象は考慮する必要はないと考えられる。

(3) 引張応力下

引張応力下では、応力の増加にしたがって物質移動抵抗性が低下している。辻らによる実験は鉄筋コンクリート供試体を用いて行っていることから、この理由は、異形鉄筋周辺のコンクリートに発生する微細な内部ひび割れによるものと考えられる。

曲げモーメントを受ける鉄筋コンクリート部材では、引張側は常時コンクリートも引張応力下にあるので、無応力状態に比べて物質移動抵抗性が低下しているということになる。このことは曲げひび割れの有無によらない。一方、プレストレストコンクリート部材では、部材引張側でもコンクリートの絶対応力はプレストレスの分だけ圧縮側にシフトしている。したがって上記(1)と考え合わせると、プレストレストコンクリート部材中のコンクリートは鉄筋コンクリート部材中のコンクリートよりも物質移動抵抗性が高い状態にある可能性がある。この仮説の正否を確認すること、さらに正しい場合その定量的な程度が工学的に利用し得るほどであるかを確認することに意義があると考えた。

3. 持続圧縮応力を受けるコンクリートの物質移動抵抗性に関する実験

3.1 供試体概要

圧縮応力がコンクリートの物質移動抵抗性に及ぼす影響について、既往の実験で見られた傾向の追試と、定量的関係を新たに明らかにすることを目的として、コンクリートの水セメント比および持続荷重応力レベルを実験パラメータとして、コンクリート供試体の塩水断続噴霧曝露実験を行った。供試体概要を図-2に示

す。供試体は、100mm×φ100mm のコンクリート円柱の断面中央にφ29mm の鋼製シースを配置したものである。100mm×200mm 型枠にコンクリートを打設し、硬化後にコンクリートカッターで半分に切断することにより作製した。セメントは普通ポルトランドセメントを用いた。水セメント比は 35, 50, 65% の 3水準とした。配合と 28 日圧縮強度を表-2 に示す。

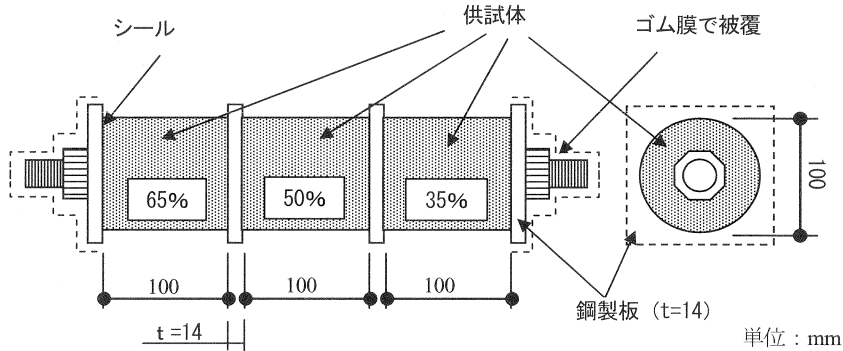


図-2 供試体

表-2 実験に用いたコンクリートの配合

W/C (%)	Gmax (mm)	スランブ (cm)	空気量 (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				28 日圧縮強度 (N/mm ²)
					W	C	S	G	
35	15	8	6	44.6	175	500	709	936	56
50	15	8	6	47.6	175	350	815	954	44
65	15	8	6	50.6	175	269	901	935	24

供試体は打設から 28 日間水中養生し、その後 14 日間空中養生した後、プレストレスを導入した。プレストレスは、W/C の異なる 3 つの供試体を直列に配置し、応力レベルが導入直後の時点で 0~0.8 程度となるように導入した。プレストレスロスを考慮し、プレストレス導入から 18 日後に暴露試験を開始した。供試体一覧を表-3 に示す。

表-3 供試体一覧

name	W/C	プレストレス(kN)		σ/f_c	
		導入直後	有効量	導入直後	有効量
0-35	35	0	0	0	0
0-50	50			0	0
0-65	65			0	0
A50	50	20	-(※)	0.09	-
A65-1	65			0.17	-
A65-2	65			0.17	-
B35	35	72	31	0.18	0.08
B50	50			0.22	0.10
B65	65			0.42	0.18
C35	35	120	61	0.30	0.15
C50	50			0.38	0.19
C65	65			0.69	0.35
D35	35	180	114	0.44	0.28
D50	50			0.57	0.36
D65	65			1.00	0.66
E35-1	35	241	145	0.60	0.36
E35-2	35			0.60	0.36
E50	50			0.76	0.46

(※)ひずみゲージ断裂のため測定できず

3.2 促進暴露試験方法と測定項目

供試体は、実験室内において塩水断続噴霧装置により、60 日間、3%塩水 (Cl⁻) を 2 時間に 1 回噴霧した。1 回の噴霧時間は 20 秒間で、噴霧される量は約 1200cc である。

60 日暴露後に、供試体を取り出し、深さ方向 3 点におけるコンクリート中の可溶性塩化物イオン濃度を測定した。測定試料採取位置は、供試体暴露表面からの深さが、0~10mm, 15~20mm, 25~30mm の位置である。試料粉は、振動式電気ドリル (φ5.3mm) で穿孔を行い、その際に生じた粉を用いた。コンクリート中の可溶性塩化物イオン濃度の測定は、『コンクリート構造物の腐食・防食に関する試験方法ならびに規準 (案)』に準じて行った。

3.3 実験結果と考察

図-3, 4, 5 に載荷応力と暴露試験後のコンクリート中の可溶性塩化物イオン濃度の関係を, 測定位置の深さごとにまとめて示す。応力は, 暴露試験終了時における値である。

実験結果を概観すると, コンクリート中の各位置における塩化物イオン濃度に及ぼす, 水セメント比および表面からの距離の影響は明確に現れているが, 応力の大きさに関する明確な影響は読み取れないことがわかる。水セメント比 65%のシリーズでは応力の増加にともない塩化物イオン濃度に変動が見られるが, 水セメント比 50%, 35%の順に変動が小さくなっているため, コンクリートの品質のばらつきによるものと考えられる。事実, 最も均質性の高いと考えられる水セメント比 35%のシリーズでは, 塩分浸透量に及ぼす応力の影響はほとんど認められない。

本実験の応力レベルは, ほとんどが応力強度比で 0.5 以下の範囲である。この応力レベルにおいて, 圧縮応力はコンクリートの物質移動抵抗性にほとんど影響しないという結果は, 2章で述べた既往の実験結果と矛盾しない。

4. まとめと今後の課題

プレストレストコンクリートの耐久性上の優位点を定量的に表すための模索として, プレストレスを想定した持続圧縮応力がコンクリートの物質移動抵抗性に及ぼす影響を検討した。既往の知見と同じく, 低圧縮応力レベルでは, 持続圧縮応力はコンクリートの物質移動抵抗性にほとんど影響しないことが実験により確認された。

しかし, プレストレストコンクリートは常時荷重下において, 鉄筋コンクリートにおける引張鉄筋周辺のコンクリートよりも物質移動抵抗性は高い状態にあると推察されるので, 今後その部分に焦点を当てた検討を行う価値はあると考えている。

参考文献

- 1) 沼尾達也, 三橋博三, 福沢公夫: 硬化セメントペースト中の水分逸散および移動に及ぼす圧縮応力の影響, 日本建築学会構造系論文集, 第 443 号, pp.11-16, 1990.1
- 2) 杉山隆文, T.W.Bremner, 辻 幸和: 圧縮荷重下におけるコンクリートの透気性状, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.17, No.1, pp.985-990, 1995
- 3) 迫井裕樹, 岡田賢司, 堀口 敬: 静的圧縮荷重下における繊維補強コンクリートの塩分浸透特性, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.27, No.1, pp.709-714, 2005
- 4) 辻 正哲, 澤本武博, 永井志功: コンクリートの塩分浸透特性に及ぼす単位粗骨材量および持続曲げ引張応力の影響, 第 31 回セメント・コンクリート研究討論会論文報告集, pp.29-34, 2004.5

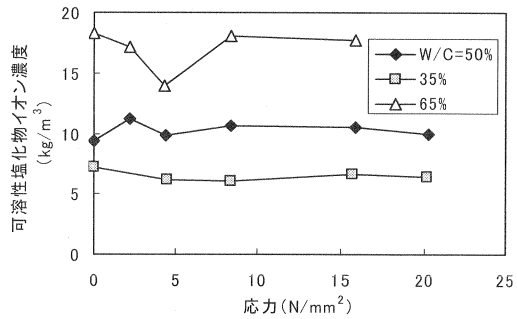


図-3 応力と塩分濃度の関係 (深さ 0~10mm の位置)

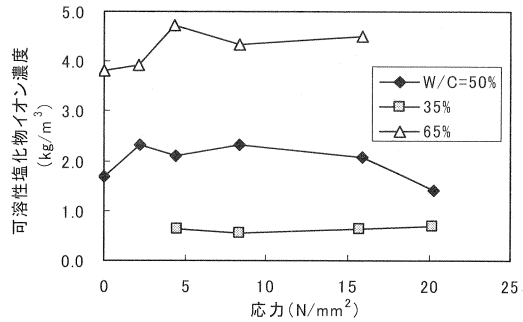


図-4 応力と塩分濃度の関係 (深さ 15~20mm の位置)

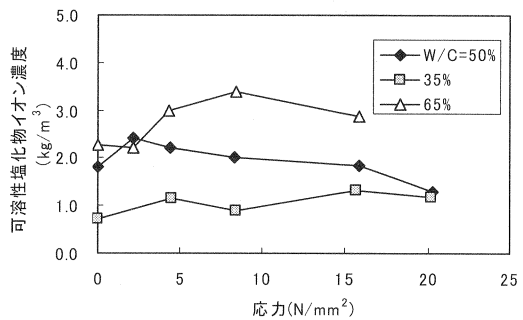


図-5 応力と塩分濃度の関係 (深さ 25~30mm の位置)