

コンクリートの塩分浸透機構に関する考察

熊本大学工学部 正員○友田 祐一

同 上 小村 武彦

同 上 正員 大津 政康

間組技術研究所 正員 村上 祐治

1. はじめに

鉄筋コンクリート構造物の劣化事例の多くは、鉄筋腐食に関係したものであると考えることができる。この場合に、鉄筋の腐食劣化を検討する上で塩分の浸透機構の解明は不可欠であると考えられる。著者等は、この浸透機構を支配する大きな要因がコンクリートの細孔分布であることを明らかにしている¹⁾。そこで、乾燥の影響を考慮し、コンクリートの微細構造と浸透機構に関する解析および実験的な考察を行った。

2. 実験概要と解析

表-1 コンクリートの配合

実験に使用したコンクリートの配合を表-1に示す。配合で考慮したパラメータはセメント（普通ポルトランドセメント：N、高炉B種セメント：B）、W/C（50%、60%、80%、100%）およびA E剤の使用（使用：A、使用せず：N）である。これらを組み合わせて、

	水とセメント比 W/C (%)	細骨材率 S/a (%)	単位量(kg/m ³)				混和剤 量 (%)
			水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	
NA50	50	46	178	356	804	958	0.02
NA65	65	46	178	274	835	981	0.02
NA80	80	46	178	223	855	1004	0.02
NA100	100	46	178	178	872	1024	0.02
NN65	65	46	194	298	842	990	—
BA65	65	46	178	274	831	976	0.02
BN65	65	46	194	298	839	985	—

例えば、BN65は高炉セメントでA E剤を用いないW/C = 65% のコンクリートを意味する。

これらにより10 cm X 10 cm x 40 cm の角柱供試体を作成し、28日間水中養生した後に、10 cm x 10 cm の1面を残してエポキシ樹脂を塗布した。エポキシ樹脂の乾燥後に48時間水中に浸漬し、塩分の浸透拡散を見るための塩水浸透試験（20℃の3%NaCl水溶液中に浸漬）、乾燥試験（30℃で湿度45%の恒温恒湿炉に保管）および乾燥（30℃湿度80%）16時間と塩水浸透 8時間を1サイクルとする繰り返し試験の3種類の試験を実施した。

塩分の浸透解析にはF E Mを使用し、次の輸送方程式を1次元モデルで解析することにした。

$$D(\partial^2 C / \partial x^2 + \partial^2 C / \partial y^2) + V(\partial C / \partial x + \partial C / \partial y) = \partial C / \partial t \quad (1)$$

ここで、速度項Vは乾燥の影響を考慮するために導入したものであり、速度項が0の場合は拡散方程式となり、Dは塩分濃度C(%)の拡散係数を表す。

3. 結果および考察

塩分浸透試験の供試体は、浸透深さ方向の塩分濃度を56日および96日浸漬の後、浸透面から1 cm毎に切断した試料を用いて電位差測定法により測定した。その結果に基づいてFickの拡散方程式を用いて拡散係数の第一次推定をし、さらに式(1)で速度項のない場合をF E Mモデルで解き最も各時間経過における濃度分布と一致するように拡散係数を決定した。NA50での測定結果とF E M解析結果を比較したものを図-1に示す。ここで、解析ではコンクリート表面の塩分濃度は3%NaCl水溶液のコンクリート表面での塩素イオン濃度の換算値0.79%としている。

決定されたそれぞれのコンクリートの拡散係数の結果を表-2に示す。これより、W/Cの増加により明

らかに拡散係数は増大している。
また、A E 剤の使用はわずかに
拡散係数を増加させ、高炉セメ
ントの使用はわずかに低下させ
ることが認められる。これらは、
表-2での空気量を考慮すれば、
その総量より、微細構造の点で
小さな細孔が多いほど拡散係数
が小さくなることを表している。

乾燥試験の供試体は所定の乾
燥時間後に、3%NaCl水溶液に浸漬し質量の回復
を確認後、割裂し1g/lのフルオレセインナトリ
ウム水溶液を噴霧し乾燥後に0.1Nの硝酸銀水溶
液を塗布し、褐色から緑色への変色域の深さよ
り浸透深さを決定した。この時、変色域と塩分
濃度の対応が問題となったため、実際に電位差
適定法も実施して検出可能な濃度0.02% とほぼ
対応していることを確認した。そして得られた
乾燥状態での塩分浸透深さを塩分浸透試験の結
果とを比較した。その結果、表-2に示す拡散
係数の大きなNA80およびNA100 では塩分浸透の
みによりより大きな塩分の移動が観察出来た。

そこで、式(1)の速度項を仮定し最も浸透深
さとよく一致するように速度項を決定した。そ
の結果を表-2に示す。拡散係数の大きな細孔
分布が大きい側にあると考えられるNA100 の方
がNA80より、拡散係数ばかりでな
く輸送速度も大きなことが認めら
れる。このことは、乾燥の塩分浸
透への影響が明らかにコンクリ
ートの密実さと関係していること
を表している。乾燥の影響を検討
するために、表-2に決定された拡
散係数および速度項によりFEM
解析した結果を乾燥-浸透繰り返
し試験でのコンクリート内部の塩
分濃度を比較した。NA100 での96

日後における解析結果と繰り返し100 サイクルでの比較結果を図-2に示す。2つの結果はよく一致しており、乾燥時間が推定できるならば、かなり定量的に塩分の浸透深さを予測する可能性のあることがわかる。今後、微細構造と浸透過程の支配パラメータの関係を明らかにするひとつようがあると考えられる。
参考文献1) 村上祐治、山本英俊、坂本 守、大津政康：コンクリートの微細構造に関する一考察、コンクリート工学年次論文報告集, Vol.13, No.1, 1991, 363-368

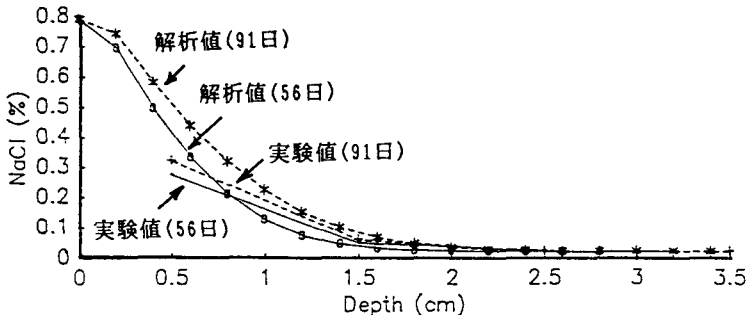


図-1 塩分濃度分布 (NA50)

表-2 浸透機構のデータ

供試体	空気量(%)	拡散係数 (cm ² /sec)	速度項(cm/sec)
NA50	4.5	4.5 x 10 ⁻⁸	—
NA65	5.0	6.0 x 10 ⁻⁸	—
NA80	4.5	6.5 x 10 ⁻⁸	1.0 x 10 ⁻⁷
NA100	4.0	1.2 x 10 ⁻⁷	2.0 x 10 ⁻⁷
NN65	1.2	4.0 x 10 ⁻⁸	—
BA65	4.0	5.5 x 10 ⁻⁸	—
BN65	1.3	5.0 x 10 ⁻⁸	—

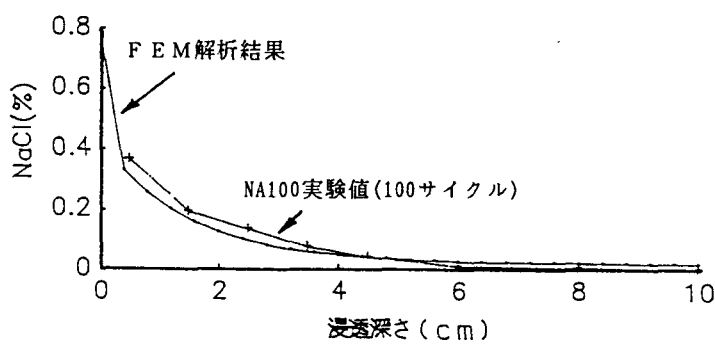


図-2 塩分濃度分布の比較