

コンクリートの表層部の性質と塩化物イオン透過性

金沢大学大学院 佐藤健一 株式会社開発センター 笹谷輝彦
金沢大学工学部 鳥居和之 金沢大学工学部 川村満紀

1. まえがき

コンクリートの表層部は内部とは異なる組織構造を持ち、塩化物イオンなどの有害物質の侵入に対する保護機能を果たしている。著者らは、急速塩化物イオン透過性試験 (AASHTO T277) によりコンクリート表層部は内部と比較して塩化物イオン透過量 (クーロン) が小さく、特に鉱物質混和材を使用したコンクリートは普通ポルトランドセメントセメントコンクリートと比較して塩化物イオン浸透の抑制効果が大きいことを明らかにしている¹⁾。

本研究は、各種環境下に5年間暴露したコンクリート供試体から採取したコアを使用して急速塩化物イオン透過性試験を実施し、塩化物イオン透過量 (クーロン) と比抵抗値および細孔径分布との関係について検討を行ったものである。

2. 実験概要

本実験に使用したコンクリートの配合を表-1に示す。コンクリート供試体は24×24×21cmのブロックを使用し、環境作用を受ける1面以外の5面はアクリルゴム系塗料により塗装した。コンクリート打設後28日間の初期養生を行った後に、表-2に示す各種環境下で約5年間暴露を行い、暴露終了後に直径10cmおよび5cmのコンクリートコアを採取した。急速塩化物イオン透過性試験 (AASHTO T277, 写真-1 参照) は直径10cmのコアを用いて、表面より0~5cm, 5~10cmおよび10~15cmの各深さについて実施した。直径5cmのコアは表面から2.5cm毎に切断し、比抵抗値 (測定条件: 1kHz, 10mV) および蒸発性・非蒸発性水分量を測定した。細孔径分布の測定にはコンクリート表面より0~1cm, 5~6cm, 10~11cmの各深さから採取したモルタル片 (5mm角程度) を使用し、48時間の凍結乾燥後に水銀圧入式ポロシメータにより測定した。

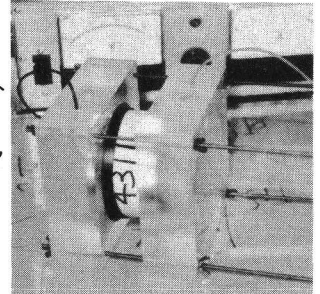


写真-1 急速塩化物イオン透過性試験の外観

表-1 コンクリートの配合

	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m³)			スランブ (cm)	空気量 (%)	f'₂₈ (kgf/cm²)
			W	C	混和材			
OPC45	45	36	135	300		2.0	4.5	367
OPC55	55	38	165	300		8.5	5.5	247
OPC65	65	40	195	300		18.0	5.7	213
FA55	55	38	165	210	90	15.5	5.5	204
BS55	55	38	165	150	150	12.5	5.2	246
SF55	55	38	165	270	30	2.0	5.6	285

OPC: 普通ポルトランドセメント, FA: フライアッシュ, BS: 高炉スラグ微粉末, SF: シリカフェーム

表-2 コンクリートの暴露条件

記号	初期養生条件	暴露条件
1W28	水中養生28日	水中養生
007	水中養生7日+気中養生21日	屋外暴露 (金沢大学建物屋上)
0028	水中養生28日	屋外暴露 (金沢大学建物屋上)
107	水中養生7日+気中養生21日	屋内暴露 (気中養生)
1028	水中養生28日	屋内暴露 (気中養生)

水中養生: 温度20℃の水中

気中養生: 温度20℃, 湿度60%の乾燥室内

3. 実験結果および考察

3.1 塩化物イオン透過量 (クーロン) の深さ方向の変化

図-1に各種コンクリートの塩化物イオン透過量のコンクリート表面からの深さ方向の変化を示す。コンクリートの塩化物イオン透過量は、水中養生<屋外暴露<屋内暴露の順で増加しており、特に普通ポルトランドセメントコンクリートでは、水/セメント比の大きなものほど長期にわたる乾燥の影響が現れている。コンクリート表層部 (0~5cm) は内部 (5cm~) と比較して塩化物イオン透過量は小さくなり、コンクリート表面部に存在するセメントペーストスキンの塩化物イオンの遮断効果が反映された結果になっている。この傾向は、屋内暴露の普通セメントコンクリートにおいてより顕著であり、コンクリートの中性化による表層部の組織の緻密化の影響が示されている (表-3 参照)。一方、鉱物質混和材を使用したコンクリートでは表層部と内部との塩化物イオン透過量の差は小さく、いずれの場合も普通セメントコンクリートと比較して小さな塩化物イオン透過量を示す。特に、フライアッシュコンクリートの塩化物イオン透過量は環境条件に関係なくいずれの場合も1000クーロン以下 (AASHTO T277の評価基準 (Very Low)) となり、塩化物イオンの浸透抑制効果が最も優れていた。

表-3 コンクリートの中性化深さ (mm)

	1W28	007	107
OPC45	0	0	6
OPC55	0	2	14
OPC65	1	2	17
FA55	4	12	26
BS55	1	5	27
SF55	3	3	17

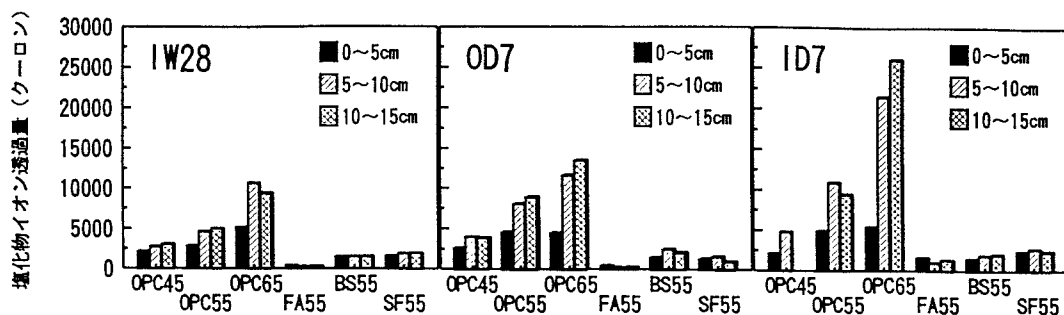


図-1 塩化物イオン透過量のコンクリート表面からの深さ方向の変化

3.2 塩化物イオン透過量と比抵抗値、細孔径分布の関係

図-2に塩化物イオン透過量と比抵抗値との関係を示す。図-2に示されるように、塩化物イオン透過量と比抵抗値との間には良好な関係が存在するのが分かる。この結果は塩化物イオン透過量（クーロン）はコンクリートの電気抵抗性に依存していることを示しており、交流インピーダンス法による比抵抗値により塩化物イオン透過性の推定が可能であることを示唆している²⁾。コンクリート表面部の比抵抗値は内部と比較してかなり大きく、炭酸化による表面組織の緻密化と表面部の細孔溶液中の OH^- イオンの減少との両者の影響が現れているものと推察できる。また、普通セメントコンクリートでは表層部と内部との比抵抗値の相違が明確であるが、それに対して鉱物質混和材を使用したコンクリートでは両者の差がほとんど認められない。図-3に塩化物イオン透過量（クーロン）と $0.04\mu\text{m}$ 以下の細孔量との関係を示す。コンクリートの水和反応が進行すると、全細孔量に占める $0.04\mu\text{m}$ 以下の微細な細孔量が多くなり、 $0.04\mu\text{m}$ 以下の細孔量は水和反応の程度を示す指標の一つと考えられる。図-3に示すように、普通ポルトランドセメントコンクリートでは $0.04\mu\text{m}$ 以下の細孔量が多いものほど塩化物イオン透過量は小さくなる傾向がある。しかし、鉱物質混和材を使用したコンクリートでは $0.04\mu\text{m}$ 以下の細孔量との間に相関性は認められない。鉱物質混和材を使用したコンクリートの比抵抗値は細孔構造よりもむしろ細孔溶液の組成の変化による影響が大きいものと思われる。

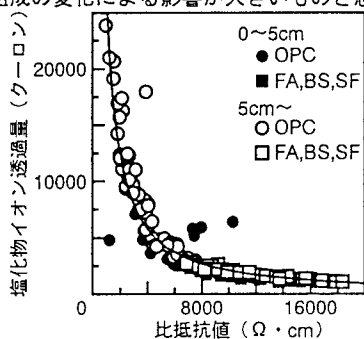


図-2 塩化物イオン透過量と比抵抗値との関係

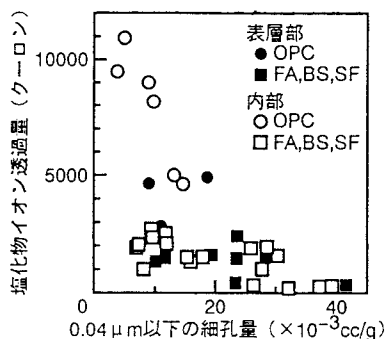


図-3 塩化物イオン透過量と $0.04\mu\text{m}$ 以下の細孔量との関係

4. まとめ

普通セメントコンクリートの表層部では、セメントペースト層の存在や、細孔溶液中の OH^- イオンの減少により急速塩化物イオン透過性試験 (AASHTO T277) における塩化物イオン透過量（クーロン）は内部と比較して減少する。一方、鉱物質混和材を使用したコンクリートでは、表層部と内部との塩化物イオン透過量の相違が小さくなり、いずれの環境条件下でも小さな塩化物イオン透過量を示す。また、普通セメントコンクリートでは細孔径分布が塩化物イオン透過性に影響を及ぼすが、鉱物質混和材を使用したものは細孔径分布よりも細孔溶液の組成の影響が大きいものと考えられる。

謝辞 本研究の実施に当たりご協力いただいた本学部の松田康孝君に感謝の意を表します。

【参考文献】

- 1) K.Torii et.al., ACI SP-132, pp.135-150, 1992.
- 2) M.R.Hansen et.al., ACI SP-140, pp.121-145, 1993.