

通電作用によるコンクリート中の各種イオンの移動について

関西四国総合研究所土木技術部 正会員 横田 優

1. まえがき

最近、デサリネーション、電気防食、電着¹⁾など通電作用を利用したコンクリート構造物の劣化防止・補修方法に関する研究がなされている。本文は、コンクリート中の鉄筋(陰極)と外部の陽極との間で直流電流を流した場合のコンクリート中の塩化物イオン(Cl^-)、ナトリウムイオン(Na^+) およびカリウムイオン(K^+)の移動状況について検討した結果を報告するものである。

2. 実験方法

2.1 試験体

試験体には、図1に示すように $\phi 15\text{cm} \times h 15\text{cm}$ のコンクリート中央にSD295, D16mmの異形鉄筋(黒皮付)を埋め込んだものを用いた。なお、材令28日まで封かん養生を行った後、側面の幅2.7cm $\times$ 高さ15cm $\times$ 4か所を除く、すべての面にエポキシ樹脂塗装を施した。試験体は 水セメント比(W/C)、NaCl添加量をパラメータに、表1に示す18体を用意した。

2.2 実験方法

(1) 通電試験方法

各試験体は自然海水中に浸漬し、鉄筋(陰極)と水中に設置した陽極との間で直流電源装置を用いて表1に示す条件でそれぞれ通電した。

(2) コンクリート中の塩化物およびアルカリ金属の分析方法

通電試験終了後、コンクリート試験体中に含まれる塩化物量およびNaとKのアルカリ金属量を測定した。

塩化物については、試験体表面から0~2、2~4、4~6.7cmの各深さのコンクリート中に含まれる全塩分および可溶性塩分の分析を(社)日本コンクリート工学協会から提案されている方法により行った。結果はコンクリートに対する重量%で整理した。

Na、Kについては、鉄筋から1mm以内の位置から約1gの粉末を削りとり、分析は原子吸光光度計を用いた炎光分析によった。結果はモルタル中に含まれるNa、K量を各元素の原子量で割り、モルタル1kg当りのグラム当量数で整理した。

3. 実験結果および考察

(1) コンクリート中の塩化物量の分布状況

コンクリート中の全塩分は、鉄筋の腐食に直接関与すると考えられる細孔内の液相中に溶けている Cl^- (自由塩分)とフリーデル氏塩などとして固相中に固定されている塩分(固定塩分)とに大別される。前者の自由塩分量の測定は細孔溶液を直接採取する必要があり容易でないため、一般に可溶性塩分量が代用されているのが現状である。

図2はW/C55%, NaCl15kg/m³添加試験体の通電(浸漬)終了後のコンクリート中の塩化物(全塩分)量の分布状況を示している。無通電試験体においてはわずかに外部からの塩化物の浸透が認められる。一方、通

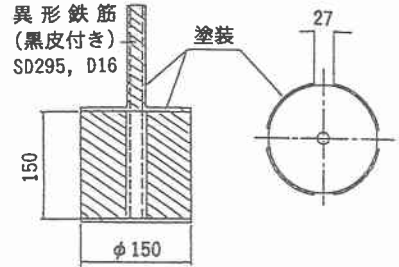


図1 試験体の形状および寸法

表1 試験体、試験ケース一覧表

コンクリート品質 水セメント比 (%)	塩化物量 NaCl (kg/m ³)	電流密度 (A/m ²)	通電 日数 (日)	通電量 (A·hr /m ²)
55	0	0.0	約117	0
		1.09		3,061
		1.64		4,592
		2.18		6,122
55	3	0.0		0
		1.09		3,061
		1.64		4,592
55	3	0.0		0
		2.18		4,810
		4.35		9,950
		8.70		14,800
55	15	0.0	約90	0
		2.18		4,720
		4.35		9,530
		8.70		18,500
65	15	0.0		0
		2.18		5,440
		4.35		9,680

・コンクリート品質 (G_{max} 20mm, 空気量 5±1%, スランプ 8±1cm, C=315(W/C55%), 266(65%)kg/m³)
 ・電流密度、通電量は鉄筋表面積当りの値である。コンクリート表面積当りの値は0.459倍である。

電試験体においては、電流密度の増加に伴って、コンクリート内の塩化物量が陰極である鉄筋を中心に著しく減少していることがわかる。たとえば電流密度 $2.18\text{A}/\text{m}^2$ で90日間通電した場合の含有塩分量は、無通電に比べて、鉄筋周辺で約9%、表面側で約50%にまで減少している。

図3は、図2と同じ試験体について、全塩分量に占める可溶性塩分量の割合を示している。無通電の場合は約0.7であるが、通電した場合には0.6から0.5へと、電流密度が大きくなると塩化物が多く除去された試験体ほど小さくなっている。これはイオンの状態の塩化物が細孔内を移動していることを示しているものと思われる。また、特に鉄筋周辺での全塩分量を調べると、無通電試験体の固定塩分量(全塩分-可溶性塩分)を下回っていることから、フリーデル氏塩などとして固定されていた塩化物が、通電による Cl^- 量の減少に伴い、分解してイオン化しているものと推測される。

図4は通電量と鉄筋周辺での塩化物(全塩分)量との関係を示している。 NaCl 無添加の場合、今回の通電条件では外部から塩化物の浸透が認められたが、鉄筋位置での塩分量は減少している。 NaCl 添加の場合、通電当初の塩化物量は添加量の多い試験体ほど減少が著しいが、最終的には一定値(約0.03%)に収斂する傾向が認められる。これは、海水とコンクリート中の塩化物濃度差による拡散浸透力と、通電に伴う電気的泳動力が釣り合った状態と推定される。なお、 W/C の違いによる差はほとんど認められなかった。

(2) アルカリ金属イオン(Na^+ , K^+)の集積状況

図5は通電量と鉄筋周辺でのアルカリ金属イオン量(Na と K の各グラム当量数の和)との関係を示している。陽イオンである Na^+ や K^+ は陰イオンである Cl^- とは反対に鉄筋周辺に集積する傾向があり、集積量は NaCl 添加量が多い試験体ほど多く、通電量にほぼ比例して増加している。

4. 結論

- (1) 鉄筋を陰極として直流電流を流した場合、コンクリート中の Cl^- は鉄筋を中心に減少し、一部はコンクリート外に除去される。一方、 Na^+ や K^+ は鉄筋周辺に集積する。
- (2) 通電によるコンクリート内での Cl^- 、 Na^+ および K^+ の移動は、陽極側水溶液ならびに細孔中に存在する各種イオンの濃度や電流密度の影響を大きく受ける。

〔参考文献〕

- 1) 横田優, 佐々木晴敏, 福手勲: 電着工法による港湾コンクリート構造物の補修と防食について, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.14, No.1, pp.849-854, 1992.6

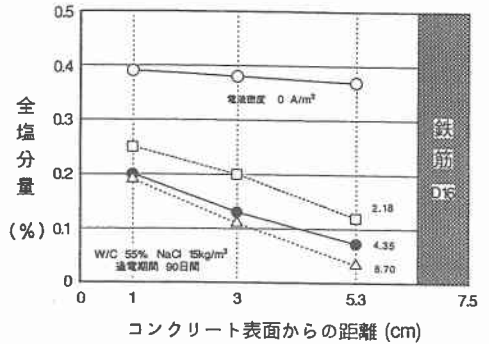


図2 塩化物量の分布状況(通電の影響)
— W/C55, NaCl 添加量 $15\text{kg}/\text{m}^3$ —

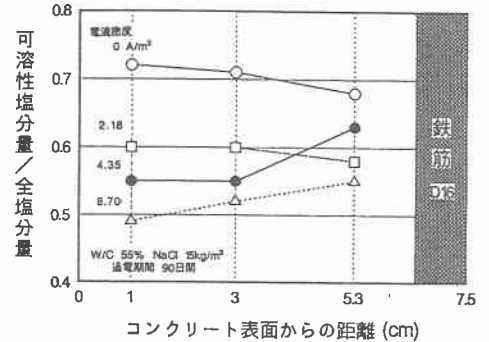


図3 可溶性と全塩分量の比(通電の影響)
— W/C55, NaCl 添加量 $15\text{kg}/\text{m}^3$ —

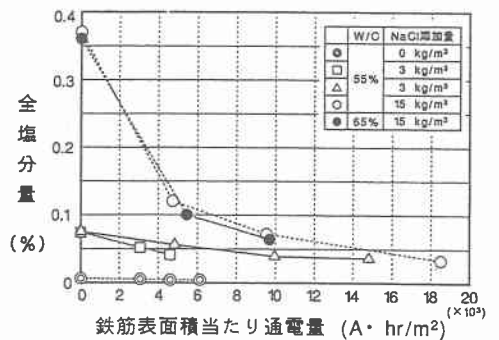


図4 通電に伴う塩化物の除去状況

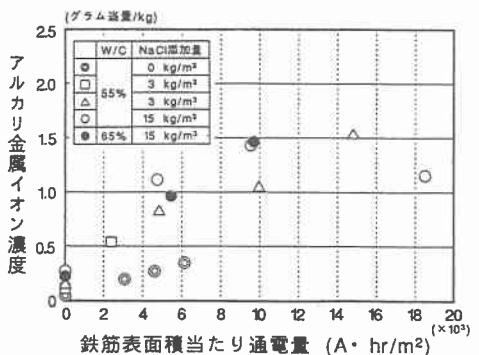


図5 通電に伴うアルカリ金属イオンの集積状況