

V-298 電解による硬化ペーストの軟化に及ぼすアルカリ分の影響

足利工業大学 正会員 黒井登起雄
 足利工業大学 末吉 達也
 足利工業大学 正会員 青戸 章
 足利工業大学 松村 仁夫

1. 目的

鉄筋コンクリートに直流電流が作用した場合、鉄筋が陰極になるその周辺のペーストが軟化し、それに伴って鉄筋とコンクリートとの付着強度が著しく低下することは良く知られている。そこで、本研究では、電気分解によるペーストの強度低下のメカニズムを明らかにするとともに、ペーストの軟化の抑制・防止方法の資料を得る目的で、軟化による強度低下に対するセメントのアルカリ分の影響を実験的に調べ、さらに電解によるペーストの軟化抑制方法について若干の考察を試みたものである。

2. 実験の概要

セメントは、普通ポルトランドセメント（C社製 $R_2O=0.66\%$ ）、およびN社製 $R_2O=0.45, 0.57, 0.69\%$ と、高炉セメントA種（C社製 $R_2O=0.62\%$ ）、およびC種（S社製 $R_2O=0.47\%$ ）のそれぞれアルカリ分（ R_2O ）の異なるものを用いた。

電解供試体は、図1に示したように、内径が10.5cm、高さが12cmの炭素鋼鋼管にペーストを打込み、その中心、高さ方向に鉄筋を埋設する形状とした。鉄筋は、JISに準じて加工したみがき異形棒鋼（図2）、およびみがき丸棒鋼（ $\phi 16\text{mm}$ ）を用いた。供試体は各要因、および水準ごとに3個を一組とし、12個作成した。実験に用いたペーストの配合は $W/C=0.45$ とした。

電解試験は、供試体作成後28日間、 $20\pm 3^\circ\text{C}$ で水中養生してから実施した。試験は、水道水を用いた電解槽中に電解供試体を約11.5cmの深さまで浸漬し、40、および80mA（電流密度 $0.80\sim 1.59\text{mA}/\text{cm}^2$ ）の一定直流電流を接続して実施した。電源は直流安定化電源流（出力電流 $1\sim 125\text{mA}$ 、出力電圧 $1\sim 800\text{V}$ ）を用いた。電解は供試体数個を直列に接続して行い、168、336、504、および672時間で終了した。電解終了後に、健全なペースト、および軟化したペーストの細孔径分布の測定、軟化深さの測定、引き抜きによる付着強度試験、偏光ゼーマン原子吸光度計によるNa、およびKのアルカリ金属イオン、およびCa、Fe、Mg等の陽イオンの蛍光分析、ダイナミック超微小硬度計による鉄筋周辺のペーストのブリネル硬度分布の測定などを行った。

3. 実験結果および考察

3.1 軟化ペーストの強度低下のメカニズム

図3は健全なペースト、電解後の健全な部分のペースト、および軟化した部分のペーストのボア半径 $37.5\text{Å}\sim 750000\text{Å}$ の細孔径分布を測定した結果を示す。健全なペースト、および健全な部分のペーストは 240Å 以下の微細孔径が全細孔容積の74~77%を占め、 $37.5\sim 135\text{Å}$ の細孔径が最も多い（35~40%）分布を示している。これに対して、軟化した部分のペーストの細孔径は全細孔容積の71~74%が 750Å 以下に広く分布し、 $37.5\sim 135\text{Å}$ の微細孔径が最も多いが、その容積は著しく少なくなっている。表1は鉄筋周辺のペーストの半径方向のブリネル硬度の分布を示す。ペーストの平均硬度は鉄筋から2mm程度範囲まで約400で、3~4mm以上では約650以上を示しており、電解による軟化が鉄筋周辺2mm程度まで進行していることを示し

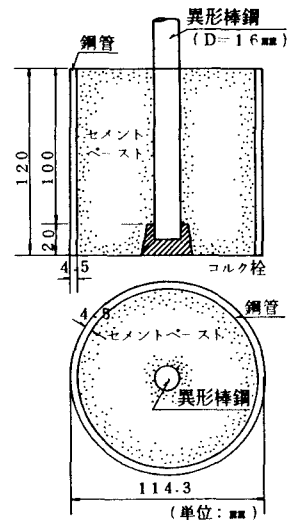


図1 電解供試体の形状

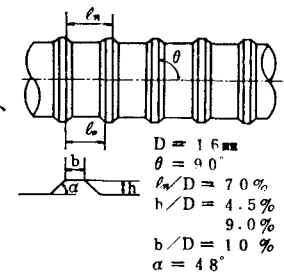


図2 異形鉄筋の形状

ている。以上より、直流電流による鉄筋周辺のペーストの軟化は周囲のペースト中のアルカリ金属イオンが鉄筋周辺約 2mm の範囲に集積することが原因であり、ペーストの強度低下は 100 A 以下のゲルポアと考えら

れる細孔径が減少し、より孔径の大きい細孔が増大することによるものと考えられる。

3.2 アルカリ分の異なるセメントを用いた硬化ペーストの軟化程度と付着強度

図4はアルカリ分の異なるセメントを用いたときのペーストの軟化部分に集積したアルカリ金属イオンの経時

変化を示す。Na、およびKイオンともに、セメント中のアルカリ分が少なくなるに伴って、電解による集積速度が小さくなるようである。このときの軟化深さはいずれの場合もほとんど同じで、53.76A・hのとき1.5 mm程度であった。また、Ca、Fe、およびMgイオン等は電解による集積はほとんど認められなかった。図5はアルカリ分が0.45~0.69%の範囲で異なる普通ボルトランドセメント、および高炉セメントを用いたペーストと鉄筋との電解の進行に伴う付着強度の変化を示す。初期、および最大付着強度ともに、セメントのアルカリ分の違いによる差異は明確には認められず、初期付着強度で30~70%、最大付着強度で15~50%程度の強度低下が認められた。

図4はアルカリ金属イオン分析結果変化を示す。Na、およびKイオンともに、セメント中のアルカリ分が少なくなるに伴って、電解による集積速度が小さくなるようである。このときの軟化深さはいずれの場合もほとんど同じで、53.76A・hのとき1.5 mm程度であった。また、Ca、Fe、およびMgイオン等は電解による集積はほとんど認められなかった。図5はアルカリ分が0.45~0.69%の範囲で異なる普通ボルトランドセメント、および高炉セメントを用いたペーストと鉄筋との電解の進行に伴う付着強度の変化を示す。初期、および最大付着強度ともに、セメントのアルカリ分の違いによる差異は明確には認められず、初期付着強度で30~70%、最大付着強度で15~50%程度の強度低下が認められた。

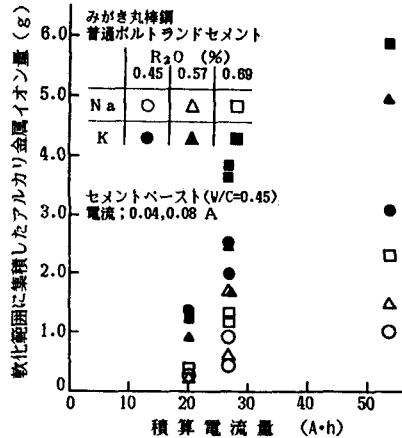


図4 アルカリ金属イオン分析結果

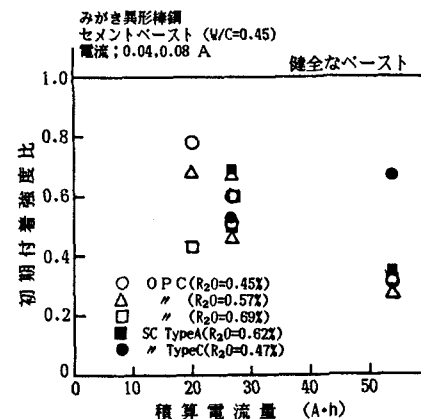


図5 初期、および最大付着強度と積算電流量との関係

3.3 電解によるペーストの軟化防止および抑制効果

アルカリ分の少ない普通ボルトランドセメント、および高炉セメントを用いると、電解によるペースト中のアルカリ金属イオンの鉄筋周辺への集積は幾らか押さえられるが、湿潤状態で電解を受けたとき、ペーストの軟化とその範囲、およびペーストの強度低下などは市販のアルカリ分の少ないセメントを用いたとしても抑制することが困難なであると考えられる。

表1 軟化ペーストのブリネル硬度分布（到達荷重50）

深さ	1mm	2mm	3mm	4mm	5mm	6mm	7mm	8mm	9mm
①	571.5	219.0	199.6	236.3	339.6	1037.7	1194.1	889.3	1009.6
②	864.2	---	---	748.3	497.4	1595.9	767.2	820.5	889.0
③	142.9	618.1	1102.9	979.4	428.9	552.7	889.5	877.3	842.2
④	140.5	---	678.6	757.9	696.6	---	688.1	696.2	1039.9
⑤	367.4	409.4	320.5	1008.0	463.6	722.3	2623.8	1253.0	---
平均	417.3	415.5	649.9	746.0	485.2	977.1	1232.5	907.3	945.2

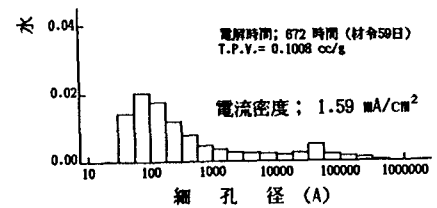
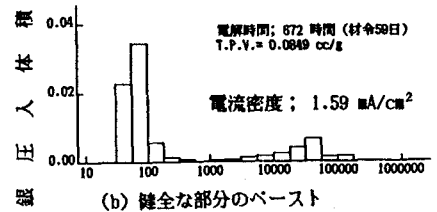
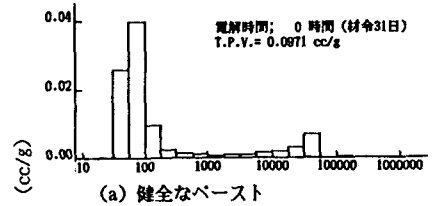


図3 ペーストの細孔径分布

