

コンクリートの材料分離が配置高さの異なる水平鉄筋の耐久性に及ぼす影響

愛媛大学大学院 正会員 ○河合 慶有 あいテレビ 非会員 西村 沙希
愛媛大学大学院 正会員 氏家 勳

1. はじめに

コンクリートを打設する際に生じるブリーディング水により鉄筋及び骨材周囲には境界相や空隙が形成されるが、耐久性への影響は不明確な点が多い。既往の研究¹⁾によると、水平鉄筋周りの境界相が、コンクリート中鉄筋の腐食に影響を及ぼすことが定性的に明らかになっている。本研究では、打設高さ 1.5m で作製した供試体を用いてブリーディングが配置高さの異なる水平鉄筋の耐久性に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。特に、コンクリート中の二酸化炭素の拡散に基づく中性化、鉄筋腐食のカソード反応で消費される酸素透過量及び表層コンクリートの透気性についてコンクリート中の気体の移動に立脚し包括的に検討を行った。

2. 実験概要

2.1 使用材料及び供試体概要

本研究で検討したコンクリートの示方配合を表 1 に示す。水結合材比は 60%を基準とした。細骨材は、砕砂 (S1)、石灰石砕砂(S2)及び銅スラグ細骨材 CUS2.5(S3)の 3 種類を使用した。各細骨材の物性値を表 2 に示す。なお、簡単のため、銅スラグ細骨材及びフライアッシュを使用していない配合を OPC と称す。また、ブリーディング量の増大を目的に細骨材を銅スラグ細骨材に 60%の割合で容積置換した配合を CUS、さらにフライアッシュ (Ⅱ種 C_ⅡFA) を混和した配合を FACUS と称す。本研究では、各配合を用いて図 1 に示す 2 種類の供試体を作製した。各供試体は材齢 3 日で脱型した後、20℃に設定された恒温室に屋内曝露した。なお、供試体タイプ 2 は材齢 28 日が経過した後、図に示すように乾式カッターで切断し、型枠に面した一面を除きエポキシ樹脂系接着剤を用いてシールを施した。

2.2 試験項目

透気試験は、供試体タイプ1を用いてトレント法（エフティーエス製 Permea-TORR）により行った。測定位置は、供試体底面より 250、750、1250mm である。また同時に Kett 科学研究所製の水分計 HI-520 を用いて含水率を測定した。促進中性化試験は JIS A 1153:2003 に準じて行った。なお、試験環境は温度 40℃、相対湿度 60%、CO₂ 濃度 5%とした。中性化深さの測定は、供試体③及び⑦を用いてフェノールフタレイン法により行った。なお、試験期間は18週までとした。また、供試体タイプ2-②、⑥、⑩を用いてコンクリート中の埋設鉄筋（φ9、かぶり20mm）とコンクリート表面に設置したステンレス板をポテンシオスタット（北斗電工 HAB-151A）を介して接続しカソード分極試験を行った。酸素透過速度は、既往の研究²⁾を参考にして 860mV の電位差を設けることにより測定された限界電流密度に基づいて推定した。

表 1 示方配合

配合	W/B (%)	単位量 (kg/m ³)							単位量 (g/m ³)		スランブ (cm)	空気量 (%)
		水	セメント	FA	細骨材			粗骨材	混和剤			
					S1	S2	S3		AE減水剤	AE剤		
OPC	60	165	275	0	448	457	0	955	3025	825	8.5	3.5
CUS	60	165	275	0	182	185	742	959	1650	0	2.5	3.5
FACUS	52.5	165	251	63	166	169	731	931	3143	943	9	4

表 2 細骨材の物性値

細骨材	表記	表乾密度 (g/cm^3)	粗粒率	吸水率 (%)
砕砂	S1	2.61	3.06	1.06
石灰砕砂	S2	2.66	2.67	0.58
銅スラグ細骨材 JIS2.5	S3	3.55	2.72	0.04

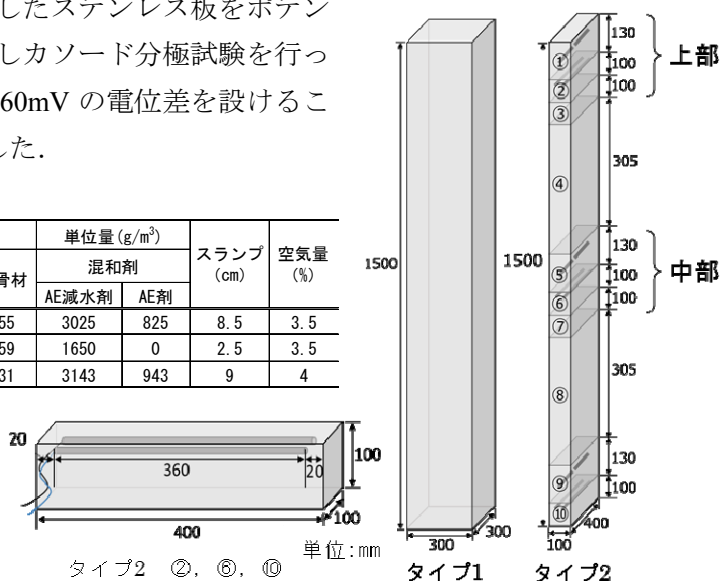


図 1 供試体概要

3. 実験結果及び考察

予備実験の際に JIS A 1123-2003 に準拠し行ったブリーディング試験より、各配合におけるブリーディング量は $0.44 \text{ cm}^3/\text{cm}^2$ (OPC), $0.79 \text{ cm}^3/\text{cm}^2$ (CUS), $0.66 \text{ cm}^3/\text{cm}^2$ (FACUS) でありフライアッシュを混和した FACUS の配合では、約 16%のブリーディング抑制効果が得られることが確認された。

図2に材齢6ヵ月までの各供試体における底面から1250mmの位置において測定された透気係数及び含水率の結果を示す。なお、紙面の都合上、供試体中・下部の結果は割愛している。この図より、各供試体における透気係数は含水率の低下に伴い著しく大きくなっていることが認められる。また、含水率が4.7%のときに測定された透気係数を比較すると、FACUSの供試体ではCUSと比較して約30%の低減が確認された。これはブリーディングの抑制効果及びポズラン反応による空隙構造の緻密化による効果と考えられる。

また図3に示す促進中性化試験の結果より、特にCUS及びFACUSの供試体③において測定された促進中性化速度係数は、供試体⑦と比較して1.1倍程度大きい値となっており、供試体上部は中性化の進行に対する抵抗性が低下することがわかった。この結果は、透気試験の結果と同様の傾向を示している。しかしながら、前述の透気試験の結果ではCUSと比較してFACUSの供試体においては透気性の改善効果が確認されたものの、中性化の進行に対する抵抗性は同程度となっており、中性化と表層コンクリートの透気性との関連についてはさらなる検討を要する。

図4にカソード分極試験より推定された酸素透過速度の結果を示す。この図より、FACUSの上・中部における酸素透過速度はOPCの中部と同程度であり、またCUSの中部における測定値の20%程度となっていることが認められる。前述のFA混和による透気性の改善効果は限定的であったものの、鉄筋腐食が発生した際のカソード反応で消費される酸素透過量はFAの混和によって著しく低減されることがわかった。このことは、水平鉄筋周囲の境界相組織の緻密化による効果と考えられる。

4. 結論

FAの混和によるブリーディング抑制効果およびポズラン反応による空隙構造の緻密化に伴い表層コンクリートの透気性は改善される。さらに、FACUSの供試体に配置された水平鉄筋においては、上部においても酸素透過速度が著しく低減されることから鉄筋腐食に対する抵抗性が高まる要因の一つと考えられる。しかしながら、中性化の進行に対する抵抗性については、透気性あるいは酸素透過速度と必ずしも同様の結果となっておらず、さらなる検討を要する。

参考文献

- 1) T.U.Mohammed et al. : Chloride-induced corrosion of steel bars in concrete with presence of gap at steel-concrete interface, ACI Materials Journal, Vol.99, No.2, pp.149-156, 2002.3
- 2) 西田孝弘, 大即信明, Melito A.Baccay : 鋼材腐食による鉄筋コンクリートの劣化の温度依存症に関するアレニウス則に基づく検討, 材料と環境講演概要集, pp.363-366, 2006

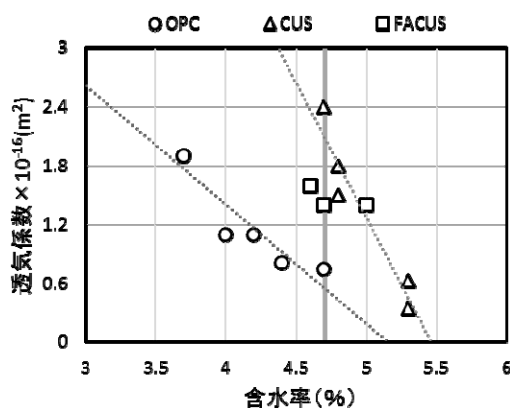


図2 透気係数と含水率の関係

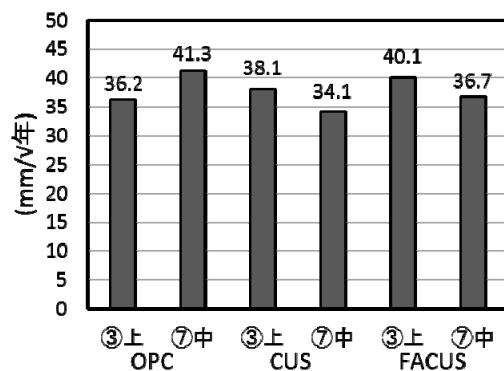


図3 促進中性化速度係数

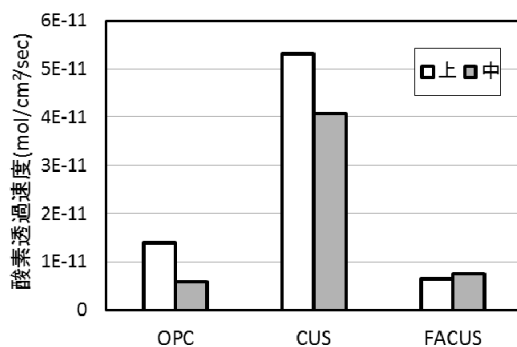


図4 酸素透過速度