

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 27 日現在

機関番号：16301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2016

課題番号：15K18100

研究課題名(和文)材料分離の影響を受けた表層コンクリートの耐久性能推定手法に関する研究

研究課題名(英文) Estimation method for durability performance in cover concrete adversely affected by segregation

研究代表者

河合 慶有 (Kawaai, Keiyu)

愛媛大学・理工学研究科(工学系)・講師

研究者番号：90725631

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、材料分離に起因する不均質さがかぶりの物質透過抵抗性に与える影響について検討を行った。その結果、含水率の低下に伴い透気係数は大きくなり、この傾向はブリーディング量に関わらず柱供試体の上部において確認された。また材齢180日までの透気試験および含水率の測定結果に基づいて、材料分離による供試体上部の多孔質化を評価できる可能性を示した。またこのような部位では塩化物イオンの浸入が容易となり、塩化物イオン含有量が増加するほどマイクロセル電流密度は大きくなる傾向が一定程度認められた。本研究では、カソード反応における酸素透過速度がマイクロ・マクロセル腐食をそれぞれ律速していると考えられる。

研究成果の概要(英文)：This study examined the effect of heterogeneity of cover concrete caused by segregation on the resistance against ingress of substances. Air permeability coefficients tended to increase in upper parts of column specimens cast with OPC mixture with typical bleeding water. Based on the results of air permeability and moisture content obtained up to the age of 180 days of monitoring, this study showed that the durability estimation technique based on the relationship between two variables can be applied to assess the heterogeneity such as porous structures formed owing to bleeding water in a form of segregation in column specimen. On the other hand, the ingress of chloride ions tended to increase in those regions affected by bleeding water, which partly contribute to higher microcell corrosion current density. It should be noted that total corrosion current density was likely to increase with higher rate of oxygen permeability measured via cathodic polarization in this study.

研究分野：コンクリート工学

キーワード：不均質さ 耐久性能 透気係数 含水率 酸素透過 腐食形態

1. 研究開始当初の背景

(1) 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および骨材周囲には境界相や空隙が形成される。既往の研究により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が、鉄筋腐食への影響は不明確な点が多い。

(2) 材料分離に生じる不均質さが鉄筋コンクリートの耐久性能に与える影響は明らかではない。そこで本研究では、材齢 180 日までの透気係数 - 含水率の関係に基づいて耐久性能を推定する手法を不均質さの評価に適用することを試みた。

2. 研究の目的

(1) ブリーディング量の異なる 4 種類の配合を用いて作製した打設高さ 1.5m の供試体を対象として、ブリーディングによる材料分離が配置高さの異なる水平鉄筋の腐食性状に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。

(2) 特に、材料分離抵抗性の違いに起因する供試体の高さ方向における物質透過抵抗性の相違がカソード反応で消費される酸素透過量、埋設鉄筋近傍の塩分濃度、分割鉄筋要素間の電位差の存在に及ぼす影響について、腐食形態を含めた腐食性状の観点から検討した。

3. 研究の方法

(1) 本実験では水結合材比を 60%または 52.5%とし、単位水量 165kg/m³ に設定した。配合は混和材を用いない OPC、銅スラグ細骨材 (CUS) を混合使用した CUS60 (数字は混合率を示す)、フライアッシュ (FA) を混和した FACUS30 および FACUS60 の 4 ケースである。供試体寸法は、断面 300×300mm、

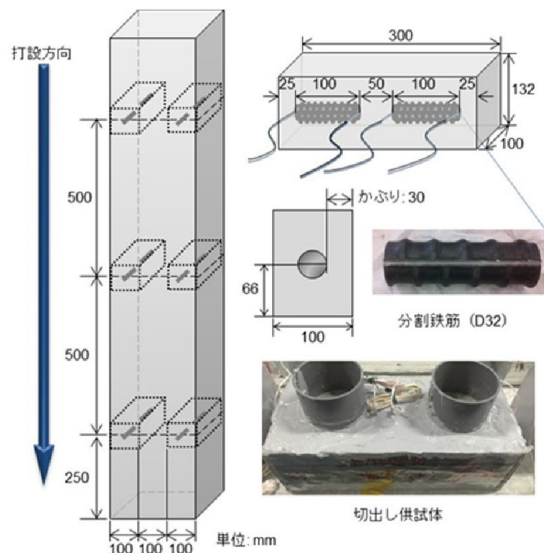


図 1 供試体概要

高さ 1500mm とし、埋設した鉄筋は長さ 100mm の異形鉄筋 D32 を使用した。図 1 に示すように上・下に分割した鉄筋を相対するコンクリート表面からかぶりを確保し、2 本ずつ各高さ (底面から 250、750、1250mm) に埋設した。かぶりはいずれの高さの供試体においても 30mm と一定とした。供試体は、打設後材齢 3 日目に脱型し材齢 28 日まで 20°C の恒温室内で屋内曝露した。その後、図 1 に示す切出し供試体を乾式により切断し作製した。

(2) 乾湿繰り返しを用いた腐食試験は、20°C の恒温室内において塩水を用いた湿潤期間 3 日と乾燥期間 4 日の 1 週間を 1 サイクルとした乾湿繰り返しにより実施した。試験に使用した塩水の濃度は 10% とした。1 サイクル毎の湿潤期間直後に自然電位および分極抵抗 (AC インピーダンス法) を測定した。マイクロセル電流密度は測定された分極抵抗値から Stern-Geary 式の K 値を 0.026 として算出した。なお、いずれの測定においても参照電極には Ag/AgCl を使用した。マクロセル電流密度は、鉄筋上・下間に無抵抗電流計を接続して鉄筋それぞれから流出入する電流を測定し、鉄筋表面積で除して算出した。またコンクリート内部を透過し鉄筋表面でのカソード反応によって消費される酸素量を算出した。

4. 研究成果

(1) まず JIS A 123-2003 に準拠し行ったブリーディング試験より、配合におけるブリーディング量はそれぞれ約 0.33cm³/cm² (OPC)、約 1.0cm³/cm² (CUS60)、約 0.55cm³/cm² (FACUS60)、および約 0.32cm³/cm² (FACUS30) であり、CUS を混合使用した配合でも FA を混和することでブリーディングの抑制効果が得られることが確認されている。

(2) 図 2 にマイクロセル電流密度と鉄筋表面近傍から採取した粉末試料を用いて測定された塩化物イオン含有量の関係を示す。なお、マイクロセル電流密度は供試体切断・割裂前

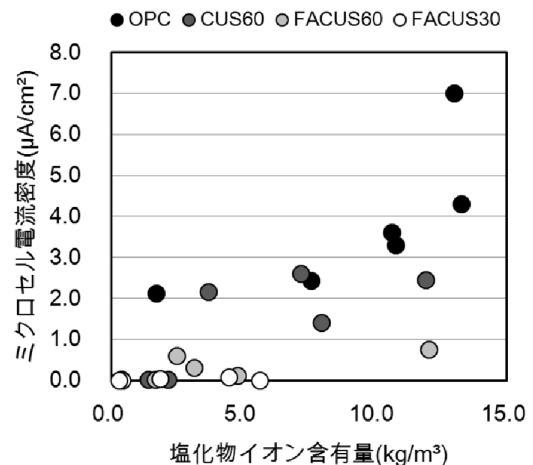


図 2 Cl⁻含有量及びマイクロセル電流密度

(試験期間343日まで)に測定された値とし、塩化物イオン含有量の結果は浸透面から30~45mmの区間で得られた結果を用いた。図より、塩化物イオン含有量が増加するほどマイクロセル電流密度は大きくなる傾向が一定程度認められる。特に、この傾向は OPC および CUS60 の供試体において認められるものの、FA を混和した供試体においては、塩化物イオン含有量が大きな値を示した場合であってもマイクロセル電流密度が低減されている供試体も認められる。

(2) 図3および図4に各供試体におけるマイクロ・マクロセル電流密度および酸素透過速度(材齢180日)の関係をそれぞれ示す。図より、酸素透過速度の増加に伴いマイクロセル電流密度は大きくなる正の相関が明確に認められる。またFAを混和した供試体においては酸素透過速度が 1.0×10^{-11} (mol/cm²/sec)と低減されたことで、マイクロセル電流密度の値も低減されたと考えられる。一方、マイクロセル腐食と同様にカソード側鉄筋部における酸素透過速度が大きくなるほどマクロセル電流密度も大きくなっている。しかし、酸素透過速度が低い場合であっても、マクロセル電流密度が大きな値を示している供試体が見られた。

(3) これらの供試体では図5に示すように

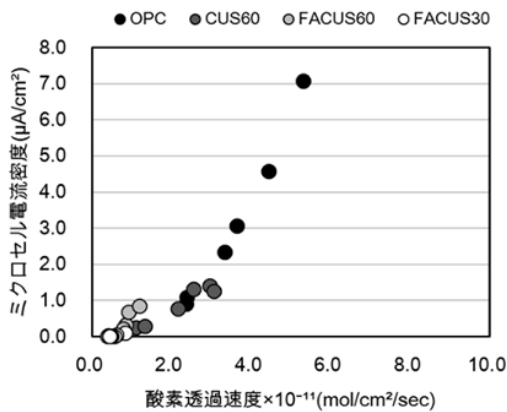


図3 酸素透過速度及びマイクロセル電流密度

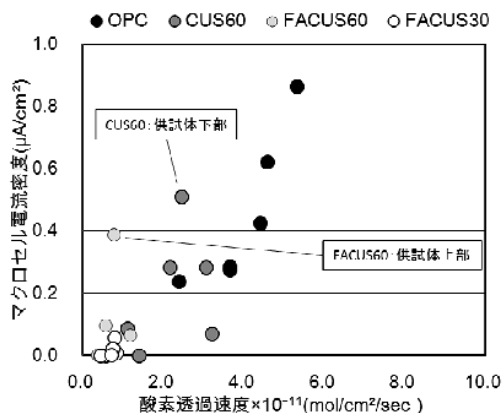


図4 酸素透過速度及びマクロセル電流密度

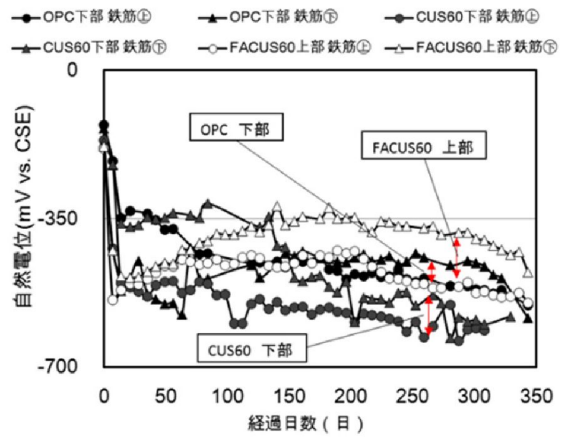


図5 鉄筋上下間の自然電位の差

鉄筋上・下間に自然電位の差が存在しており、この電位差が起電力として作用しマクロセル腐食形成に影響していることが示唆される。このような部位では材料分離に起因する沈下ひび割れの存在により、塩化物イオンが局所的に鉄筋に到達しアノード部を形成したことで、鉄筋要素間に電位差が生じたものと推察される。

(4) 材料分離抵抗性の違いに起因して、物質透過抵抗性が低下した部位では塩化物イオンの浸入が容易となり、塩化物イオン含有量が増加するほどマイクロセル電流密度は大きくなる傾向が一定程度認められるが、鉄筋腐食の発生状況と塩化物イオン含有量の関係は不明確な結果となった。本研究では、鉄筋要素間に電位差が生じた供試体を除き、カソード反応における酸素透過速度がマイクロ・マクロセル腐食をそれぞれ律速していると考えられる。

(5) 含水率の低下に伴い透気係数は大きくなり、この傾向はブリーディング量に関わらず柱供試体の上部において確認された。また図6に示すように材齢180日までの透気試験および含水率の測定結果に基づいて、ブリーディングに起因する材料分離による多孔質化を評価できる可能性を示した。

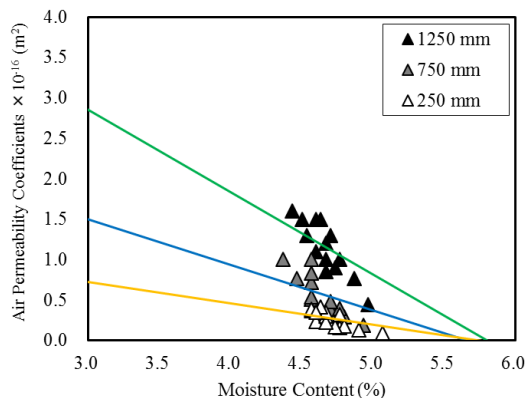


図6 透気係数 - 含水率の関係の一例

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計3件)

久保勇登・河合慶有・氏家勲、表層透気性を用いたブリーディングの起因する不均質性の評価、コンクリート構造物の補修、補強、アップグレードシンポジウム、査読有、投稿中、2017

河合慶有・氏家勲、材料分離に起因する不均質さが水平鉄筋の腐食性状に与える影響、コンクリート工学年次論文集、査読有、掲載可、2017

K.Kawaai and I. Ujike, Influence of Bleeding on Durability of Horizontal Steel bars in RC Column Specimens, Fifth International Symposium on Life-Cycle Civil Engineering, reviewed, pp. 839-846, 2016

〔学会発表〕(計1件)

河合慶有・仲井一平・氏家勲、材料分離の影響を受けた水平鉄筋の腐食性状に及ぼす酸素透過の影響、土木学会四国支部技術研究発表会講演概要集 web セッション、愛媛県・松山市、2017年5月20日

6. 研究組織

(1) 研究代表者

河合 慶有 (KAWAAI, Keiyu)

愛媛大学・大学院理工学研究科・講師

研究者番号：90725631