

コンクリートの物質移動に対する遷移帯の影響把握と改善方法の検討

芝浦工業大学大学院 理工学研究科 建設工学専攻
芝浦工業大学 工学部 先進国際課程 (兼任 土木工学科)

○深澤英将
伊代田岳史

1. はじめに

コンクリート構造物の劣化はコンクリートの特性値である耐久性とその構造物が置かれている環境に依存し、劣化因子がコンクリート中に透過・侵入してくることによって構造物の耐久性が低下する。したがって、コンクリート中の物質移動の把握は重要とされている。ここで、コンクリートは水、セメント、細骨材、粗骨材などで構成される複合材料であり、コンクリート中を物質が移動する経路として硬化体内の空隙が考えられるが、存在する空隙が様々であるため、物質移動の把握は困難である。ここで本研究では空隙の存在する場所をセメントペースト部と骨材界面（以下、遷移帯とする）に分けて考えることでコンクリート中の物質移動を把握できるのではないかと考えた。そこで、本研究ではコンクリート中の物質移動に対して粗骨材に形成される遷移帯の影響を把握することを目的として、骨材の存在によって形成される遷移帯に着目し検討を実施した。

2. 試験概要

2.1 検討方法

本研究では遷移帯の形成される部分を骨材周囲と骨材下面に分けて検討を行った。

1 つ目の骨材周囲における遷移帯の検討では、セメントの水和速度による水合度の違いによりペースト部が収縮することで、遷移帯が形成される可能性があるという既往の研究¹⁾より報告されており、普通ポルトランドセメント(OPC)と高炉スラグ微粉末を高置換したセメント(B70)を使用し、養生温度を変化させた。養生温度は脱型直後に20,40,60℃環境下で24時間静置したあと水中養生を28日間施した。また、計画配合の粗骨材分を差し引いた配合を用いてモルタルを作製し同様の条件で養生し試験を実施することで、粗骨材周囲の影響を整理した。

2 つ目の骨材下面に形成される遷移帯の検討はブリーディング現象の影響で生成される遷移帯に着目した。ブリーディングによって水が骨材下面に拘束され、空隙を形成すると既往の研究²⁾で報告されている。ブリーディングによる遷移帯形成の検討をするために、水セメント比を60%とし、単位水量を170,200kg/m³と大きく設定した。これは、多量のブリーディングを発生させ、主に

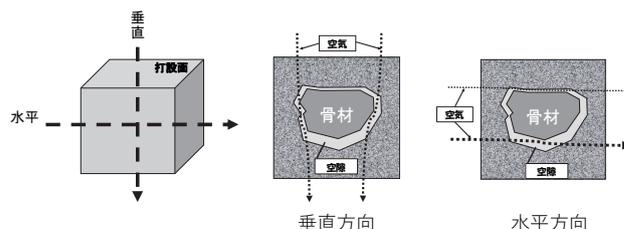


図-1 異方性を考慮した透気試験概要

骨材下面に形成される空隙を助長させるためである。養生方法は恒温恒湿室にて封緘養生を7日間施した。

2.2 試験方法

試験は透気試験と空隙率試験を実施した。透気試験は各供試体に空気を0.2MPaの圧力で透過させ、透過した空気量を水上置換法より計測し、透気係数を算出した。また、ブリーディングによる骨材下面の遷移帯形成を想定した検討では、粗骨材下面の空隙を評価する目的で図-1で示すように異方性を考慮して透気試験を実施した。150×150×150 mmの型枠を使用してコンクリートを作製し打設面に対して垂直及び水平方向にφ100mmでコアを採取し、φ100×50 mmになるようコンクリートカッターで切断した。試験体はその後、質量恒量となるまで乾燥炉にて乾燥させ試験を実施した。空隙率試験は透気試験に用いた供試体を用いて、アルキメデス法により乾燥質量、飽水質量、水中質量を計測し空隙率を算出した。

3. 試験結果

3.1 骨材周辺の遷移帯の検討

図-2に温度を与えた場合のコンクリートとモルタルの空隙率の関係を示す。コンクリートの空隙率は、粗骨材に空隙がないと仮定して、粗骨材周りの空隙を考慮するために単位モルタルあたりの空隙率で整理を行った。温度を与えることで、OPCではモルタルの空隙率が増加していることが確認された。一方でB70の場合、モルタルの空隙率は温度を与えてもあまり変化が見られないが、単位モルタルあたりの空隙率が大きくなっていることが確認できた。これは、B70において温度を与えると骨材周辺に遷移帯が生成されたのではないかと考えられる。

図-3に空隙率と透気係数の関係を示す。OPCとB70において、単位モルタルあたりの空隙率があまり変わら

ないにもかかわらず、温度を与えたことで遷移帯の形成が助長されたと考えられる B70 の透気係数が大きい。これは、コンクリートの物質移動に遷移帯の与える影響が大きいことが推測される。

3. 2 骨材下面の遷移帯の検討

図-4に骨材下面に形成される遷移帯を評価するために、垂直方向・水平方向での透気係数の結果を示す。単位水量に関わらず垂直方向の結果よりも水平方向の透気係数が大きいことがわかる。この結果から骨材下面に形成される遷移帯は物質移動性に影響を及ぼしていることが考えられる。

4. 粗骨材界面の遷移帯の改善

これまでの検討でコンクリートの物質移動には遷移帯の影響が大きいことが確認された。そこで遷移帯がコンクリートの物質移動性に及ぼす影響を小さくする検討を行った。本検討では近年開発され注目されている C-S-H 系硬化促進剤を使用して検討を行った。C-S-H 系硬化促進剤は C-S-H ナノ粒子が主成分の硬化促進剤であり、従来の亜硝酸系の硬化促進剤とは異なるメカニズムで効果を発揮するとされている。コンクリートの液相中に C-S-H ナノ粒子を浮遊させることで、水和生成物の核として働き、コンクリートのコンクリートの物質移動抵抗性を改善するのではないかと考えた。試験は図-1の異方性を考慮した透気試験を実施した。

図-5に C-S-H 系硬化促進剤を添加したものと無添加の透気係数を示す。C-S-H 系硬化促進剤を添加することで単位水量に関わらず無添加のものと比較して透気係数が改善された。加えて垂直方向・水平方向共に透気係数が改善されていることが確認された。垂直方向の透気係数は骨材側面の遷移帯、水平方向の透気係数は骨材下面の遷移帯と考えると、どちらにおいても透気係数が改善していることから、C-S-H 系硬化促進剤を添加することによって骨材界面に形成される遷移帯全体が改善されたと考えられる。

5. まとめ

本研究のまとめを示す。

- (1) 温度を与えることで B70 においては遷移帯の形成が多くなり物質移動性に与える影響を及ぼす。
- (2) ブリーディングによって形成される遷移帯も物質移動性に与える影響が大きい。
- (3) C-S-H 系硬化促進剤を添加することで遷移帯を緻密化し、コンクリートの物質移動抵抗性を改善する。

【参考文献】

- 1) 荒木萌：各種セメント硬化体が形成する空隙構造と水分浸透性状の関係，芝浦工業大学修士論文,2020
- 2) 田籠ら，ブリーディングによる骨材界面空隙の生成が物質透過性に与える影響，コンクリート年次論文集,2018

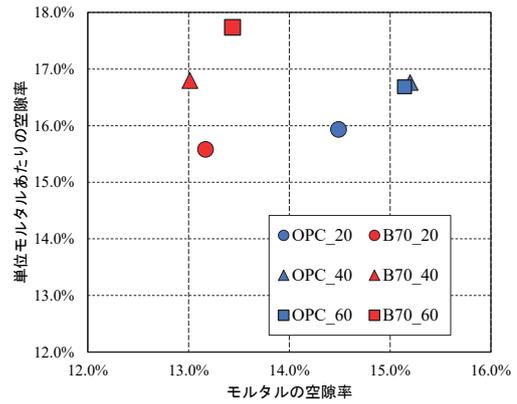


図-2 コンクリートとモルタルの空隙率の関係

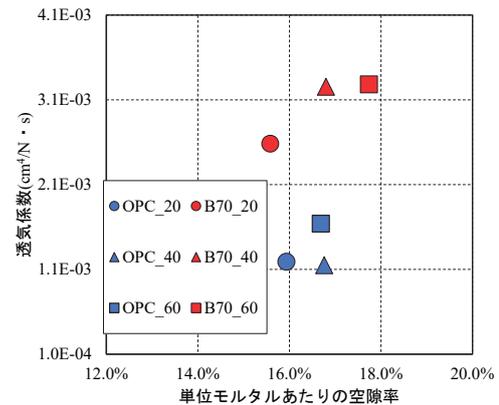


図-3 透気係数と空隙率の関係

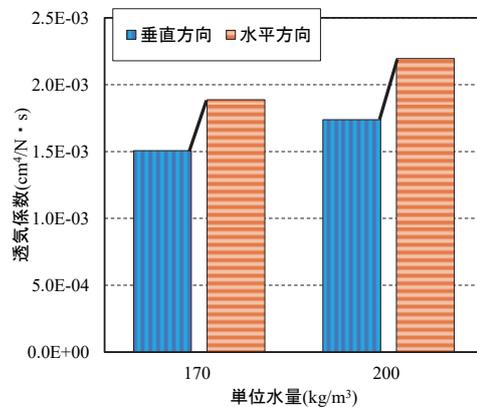


図-4 骨材下面の遷移帯の検討結果

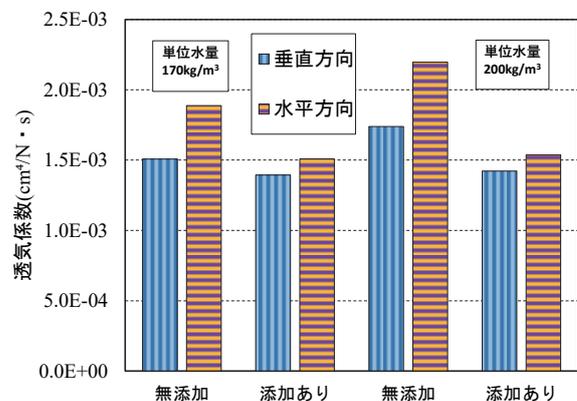


図-5 透気試験結果