

金沢大学大学院	学生会員	加藤 俊 充
金沢大学大学院	正会員	五十嵐 心一
金沢大学工学部	フェロー	川 村 満 紀

1. 序論

高強度コンクリートにおいて特徴的な現象である自己収縮が骨材などに拘束されると内部に微細にひびわれが発生し強度および耐久性が低下すると考えられる。したがって、自己収縮の低減は重大な課題であり、その解決策の一つとして軽量骨材を内部養生材料として使用することが検討されている[1]。この場合、軽量骨材は飽水状態で使用する場合および吸水量を見込み水量補正して乾燥状態の軽量骨材を使用する場合がある。このとき、軽量骨材の放水および吸水作用は骨材-セメントペースト組織の形成に影響を及ぼすと考えられる。

本研究においては、水セメント比の低いセメントペースト中に含水状態の異なる軽量骨材を埋め込み、この場合における骨材界面のセメントペースト組織変化を反射電子像に対する画像解析および微小硬度測定により明らかにすることを目的とする。

2. 実験概要

2.1 使用材料および配合

使用したセメントは普通ポルトランドセメントである。普通粗骨材は石川県手取川産川砂利(密度: 2.57g/cm^3 、吸水率: 2.73%)、軽量粗骨材は膨張頁岩系の人工軽量骨材(絶乾密度: 1.27g/cm^3 、30 分間吸水率: 7.2% 、24 時間吸水率: 10.36%)を粒径 $5\sim 10\text{mm}$ にふるい分けて使用した。乾燥状態の軽量骨材を使用する場合には骨材の吸水を考慮する場合と考慮しない場合について検討を行った。軽量骨材の吸水を考慮する場合では、30 分間吸水率に相当する水量を練り混ぜ水に加えた。乾燥状態の軽量骨材は初期含水状態によって吸水量および吸水速度が変化するので、その影響を避けるために、使用前に 100°C の乾燥炉で 24 時間乾燥させた。セメントペーストの水セメント比は 0.25 とし、ポリカルボン酸系高性能減水剤を使用した。

ホバート型ミキサーを使用してセメントペーストを 3 分間練り混ぜた。その後粗骨材を混入して練り混ぜ、直方供試体(寸法: $40\times 40\times 35\text{mm}$)を作製した(粗骨材体積率: 20%)。供試体は直ちに密封し、7 日間 20°C の恒温室に静置した。

2.2 実験方法

(1)反射電子像観察 材齢 7 日の供試体から試料を切り出し、エタノールに浸漬した。その後、真空装置を用いて樹脂含浸し、樹脂硬化後、試料表面を耐水性研磨紙およびダイヤモンドスラリーを用いて注意深く研磨した。金パラジウム蒸着した後、電子顕微鏡を使用して任意の約 10 ヶ所において界面領域の反射電子像の観察を行なった。

(2)画像解析 反射電子像に対して、未水和セメントおよび毛細管空隙に関する 2 値化処理を行い、さらに、界面から $100\mu\text{m}$ までの領域を幅 $10\mu\text{m}$ ずつの帯状領域に分割し、各分割領域に対して、未水和セメントおよび毛細管空隙の体積率を求めた。

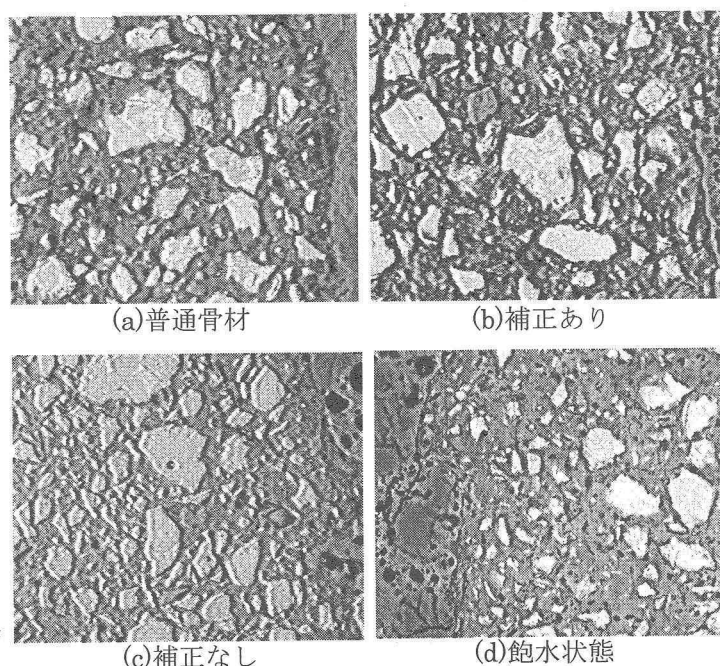


図-1 反射電子像

(3)微小硬度試験 材齢7日の供試体から切り出した試料表面を、耐水性研磨紙を用いて研磨した。その後、界面から $10\mu\text{m}$ ごとに $100\mu\text{m}$ まで、試験荷重 98.07mN としてビッカース硬度を求めた。

3.結果および考察

図-1に、普通骨材および含水状態の異なる軽量骨材を使用した場合における

反射電子像を示す。普通骨材を使用した場合では界面近傍において多孔質な領域が形成されているようである。乾燥状態の軽量骨材を使用した場合では水量補正の有無に関わらずほぼ同様な組織が形成されており、水量補正による界面組織の変化は明瞭ではない。一方、飽水状態の軽量骨材を使用した場合では他の骨材を使用した場合より未水和セメント粒子が少なく、緻密な組織が形成されている。

図-2に、骨材・セメントペースト界面領域組織の画像解析を示す。図-2(a)

に示すように、いずれの骨材を使用した場合においても界面に近づくにつれて未水和セメント率は低下しており、セメントの充填の影響が現れている。飽水状態の軽量骨材を使用した場合では界面領域全体において他の骨材の場合より未水和セメント率が小さく、セメントの水和度が大きいことがわかる。一方、普通骨材および乾燥状態の軽量骨材を使用した場合では未水和セメント率の差は小さい。図-2(b)に示すように、普通骨材を使用した場合において界面近傍で空隙率が増大しており、多孔質な組織が形成されていることがわかる。飽水状態で使用した場合、空隙率が最も小さく、緻密な組織が形成されている。これに対し、乾燥状態の軽量骨材を使用した場合では水量補正の有無による空隙率の大きな差は認められず、ほぼ同様な組織が形成されているようである。

図-3に、骨材・セメントペースト界面領域の組織の微小硬度測定結果を示す。飽水状態の軽量骨材を使用した場合では領域全体において硬度が増大しており軽量骨材からの水分供給によるセメントの水和の進行により緻密な組織が形成されていることがわかる。一方、普通骨材を使用した場合では界面に近づくにつれて微小硬度が低下していく傾向が認められた。これに対し、軽量骨材を使用した場合では骨材近傍における硬度の低下が認められず均一な組織が形成されている。

図-1～図-3の結果より、飽水状態の軽量骨材を使用した場合では水分供給によりセメントの水和が進行し組織が緻密になることが認められ、内部養生効果が期待できるといえる。一方、乾燥状態の軽量骨材を使用した場合、界面領域におけるセメントの水和反応の進行の程度は普通骨材とは大きな差は認められないにも関わらず界面近傍の硬度に差が生じていた。普通骨材の周囲はセメントペーストマトリックスの収縮が拘束されることによる微細なひびわれが発生しうるが[2]、軽量骨材周囲では放湿による収縮の緩和、および骨材の弾性係数が低いことによる拘束応力の低下により、ひびわれの発生が低減されたものと考えられる。

4.結論

- (1) 飽水状態の軽量骨材を使用すると組織が緻密となり、水分供給による内部養生効果が期待できる。
- (2) 軽量骨材の低い弾性係数と放湿効果により、骨材周囲の収縮拘束による損傷が緩和される。

参考文献 [1] Zhutovsky, S., Kovler, K., and Bentur, A., Proc. RILEM Int. Conf. on Early Age Cracking in Cementitious System(EAC01), pp.365-373, 2001

[2]五十嵐心一, 川村満紀, 森下隆志, 土木学会論文集, No.704/V-55, pp.173-186, 2002

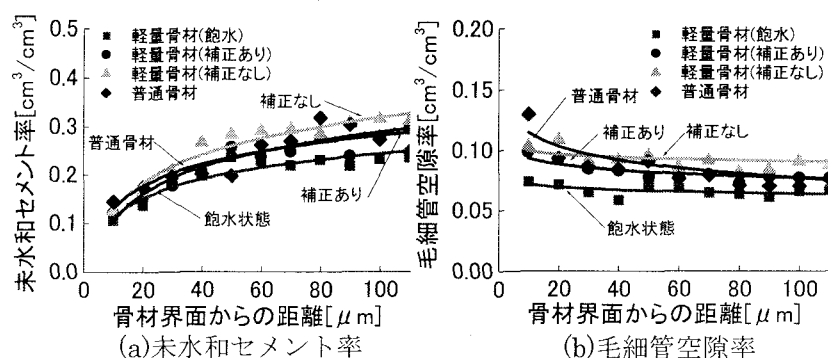


図-2 画像解析結果

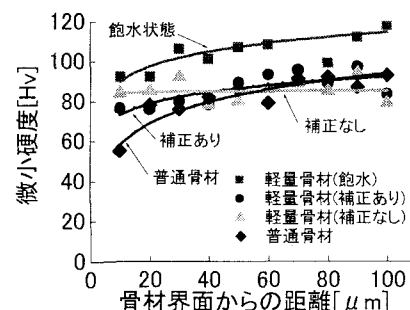


図-3 微小硬度結果