

コンクリート中の鉄筋下面に形成される空隙の定量評価

九州大学大学院 学生会員 池田隆徳
正会員 佐川康貴

正会員 濱田秀則
学生会員 多田昂平

1. はじめに

鉄筋-コンクリート界面に空隙が存在することで、腐食発生限界塩化物イオン量が低下することや空隙分布の不均一性により鉄筋軸方向に対してマクロセルが形成されるなどの影響が指摘されている¹⁾。鉄筋-コンクリート界面の空隙の把握に対しては、断面を切り出し、2次元的に評価されることが多く、鉄筋軸方向に対する空隙の分布に関する知見は少ない。そこで、本研究は、鉄筋-コンクリート界面の空隙構造を3次元的に明らかにすることを目的として、X線CTスキャナを適用し、空隙の寸法および鉄筋軸方向に対する空隙の分布について検討を行ったものである。

2. 実験概要

2. 1 使用材料および配合

X線CTスキャナの適用に際し、鉄のような高密度な材料では、X線が透過しないため、計測ができない。そこで、鉄筋のモデルとしてアルミニウム製の棒（以下、アルミ棒）を使用した。アルミ棒は、 $\phi 15\text{mm}$ の丸棒と画像解析による空隙の評価を容易とするためにアルミ棒の断面形状が正方形($15\times 15\text{mm}$)のものをを用いた。アルミ棒供試体は、アルミ棒を埋設したモルタル供試体とした。供試体形状は、図-1に示すように、 $150\times 150\times 500\text{mm}$ の角柱とし、上端および下端より30mmの位置にアルミ棒を配置した。打設面側を上段、底面側を下段と称す。

モルタルの使用材料は、セメントには、普通ポルトランドセメント、細骨材には海砂（表乾密度： 2.54g/cm^3 ，吸水率：1.54%，粗粒率：2.5）を使用した。モルタルの配合は、水セメント比を40，50，60%の3水準とした。以降、それぞれの配合をN40，N50，N60と称す。また、砂セメント比は、3.0で一定とした。N40については、フロー値150 $\pm$ 5が得られるように、ポリカルボン酸系高性能AE減水剤をセメント質量に対し0.9%添加した。また、JIS A 1123に従いブリーディング試験を行った。各配合のフロー値およびブリーディング率を表-1に示す。

2. 2 供試体作製および測定方法

モルタルは、3層で打込みを行い、各層を棒型バイブレーターにより15秒間の締固めを行った。打設後2日で脱型を行い、その後は、材齢28日まで、温度20℃での水中養生を行った。材齢28日において、図-1中の赤色破線のように、アルミ棒を中心とした $75\times 75\times 150\text{mm}$ の大きさに供

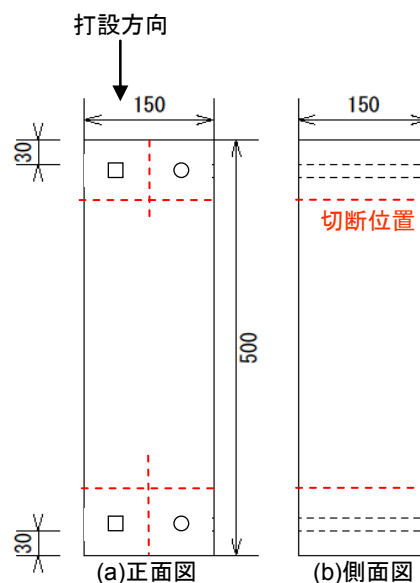


図-1 供試体の形状・寸法(mm)

表-1 モルタルのフレッシュ性状

配合名	フロー値	ブリーディング率(%)
N40	148	0.00
N50	149	4.48
N60	227	9.63

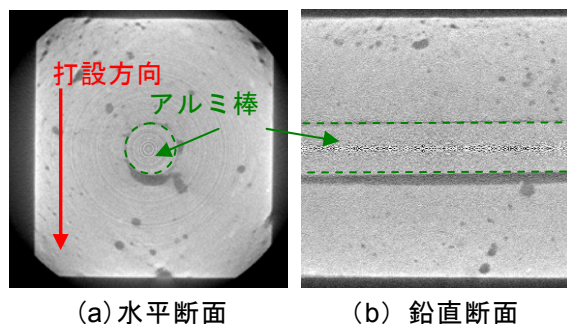


図-2 CT像の一例(N50-上-丸)

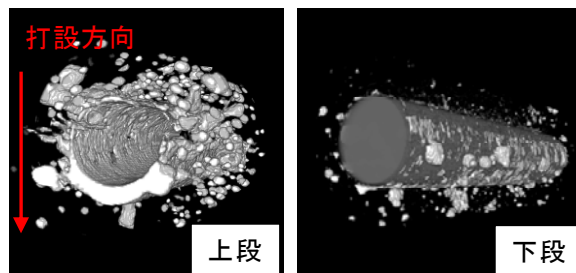


図-3 3次元画像の一例(N50-丸)

試体を切断し、それぞれを X 線 CT スキャナでの撮像に供した。X 線 CT スキャナによる計測範囲は、アルミ棒を中心とする $81.92 \times 81.92 \times 80.00\text{mm}$ とし、1 画素の大きさが $0.16 \times 0.16\text{mm}$ に相当する条件で計測した。

3. X 線 CT スキャナによる空隙の可視化

図-2 に X 線 CT スキャナによって得られる断面図の一例として、N50-上段-丸の水平断面と鉛直断面を示す。なお、打設方向は図中の赤線で示す方向であり、アルミ棒とモルタルの境界を破線で図示している。画像のグレイスケールの濃淡は、密度が大きいほど白く、密度が小さいほど黒く表示するようにしている。図より、アルミ棒の下面に空隙が形成されている状況が確認できる。

また、図-2 のような水平断面図を重ね合わせて 3 次元画像を作成した。図-3 に N50-丸の空隙の 3 次元画像を示す。図より、アルミ棒を上段に配置した場合には、ほぼ一様の厚さでアルミ棒の下面に空隙が形成されているのに対し、下段に配置したアルミ棒の下面は、局所的に粗大な空隙が点在していることが明らかとなった。

4. 空隙の寸法および分布の定量的評価

図-4 に上段および下段の平均空隙厚さを示す。ここで、平均空隙厚さとは、アルミ棒の下面に形成された空隙体積を、アルミ棒下面の表面積で除した値を表している。図より、上段のアルミ棒の下面には、2~5mm の空隙が形成されていることが分かる。また、水セメント比が大きいほど、空隙厚さは大きいことが分かる。表-1 より水セメント比が大きいほど、ブリーディング率が大きいことから、ブリーディングが上段のアルミ棒下面に形成される空隙厚さに大きく影響していることが推察された。一方、下段のアルミ棒の下面では、0.15~0.26mm の平均空隙厚さであり、上段に比べて約 1/10

程度であることが分かった。しかし、図-3 より分かるように、局所的に粗大な空隙の存在が確認されたことから、これらの定量的評価としてアルミ棒下面における空隙厚さの平面的な分布を求めた。図-5 に下段の空隙厚さのコンター図を示す。図より、下段においても、最大で 4mm 程度の厚さの空隙が存在すること、また、水セメント比が大きいほど粗大な空隙が多く存在することが明らかとなった。

5. まとめ

鉄筋の代替材料としてアルミニウム棒を使用することで、X 線 CT スキャナが適用でき、空隙構造を 3 次元的に把握することが可能であった。打設面に近い上段のアルミニウム棒の下面には、数 mm オーダーの空隙が一様な厚みで形成されていることが分かった。一方、底面側の下段のアルミニウム棒の下面では、平均的な厚みは、上段の 1/10 であったが、局所的に最大で 4mm 程度の空隙が存在することが明らかとなった。マクロセル形成に影響すると考えられる局所的な空隙の分布について定量的に把握することが可能であった。

本研究の X 線 CT スキャナによる観察は（独）港湾空港技術研究所と共同で実施した。関係者各位に謝意を表す。

【参考文献】 Mohammed, T. U., Otsuki, N. and Hisada, H.: Corrosion Steel Bars with Respect to Orientation in Concrete, ACI Material Journal, Vol.96, No.2, pp. 154-159, 1999

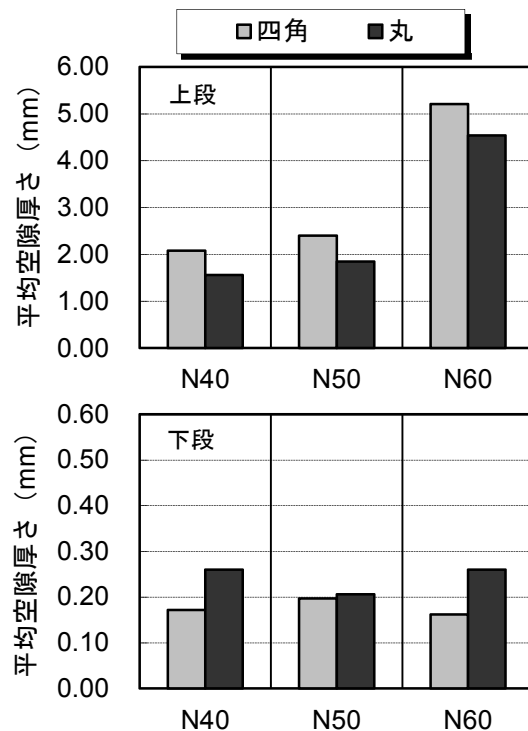


図-4 アルミ棒下面の平均空隙厚さ

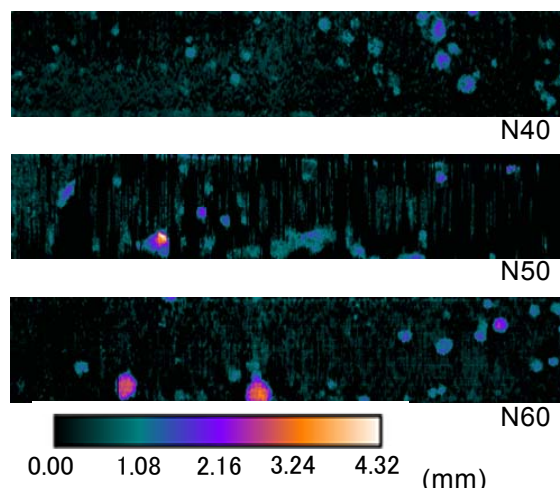


図-5 下段の空隙厚さのコンター図