

見かけの接触角を指標とした配合の違いが毛管張力に与える影響の検討

東京大学大学院 学生会員 ○中村兆治

東京大学生産技術研究所 正会員 酒井雄也

東京大学生産技術研究所 正会員 岸 利治

1. はじめに

コンクリート構造物における劣化現象の多くは表面からの液状水浸入に支配される。例えば Tahakashi et al.¹⁾により、フライアッシュコンクリートを用いた実構造物において、普通コンクリートと比較して塩化物イオンの浸入深さが抑制されていること、またそれらと液状水の浸入深さが対応していることが報告されている。毛管張力による液状水浸入に影響を与える因子として、空隙構造ならびに空隙壁面の化学的性状が挙げられる。本論文は土壌分野で報告されている手法を参考にして、コンクリート空隙壁面の化学的性質の指標である接触角を算出し、配合の違いが毛管張力に与える影響を検討したものである。

2. 親水性多孔質体の接触角

ある液体を理想的な固体表面（化学的に均一かつ凹凸のない表面）に滴下すると、図 1 に示すように液体は、自らの持つ表面張力により曲面を形成する。それぞれの相間における界面張力は釣り合っており、液滴の接線と固体表面がなす角度を接触角という。接触角が小さいほどその固体表面は濡れやすく、したがって毛管張力も大きくなることから、コンクリート配合による毛管張力の違いは接触角の測定により評価可能であると考えられる。しかしながら、コンクリートは親水性多孔質体であるため、着滴後、液体は直ちに不可逆的に内部に浸入してしまう。また析出物等によるコンクリート表面の微細な凹凸により接触角が変化することから、滴下による接触角の測定は困難である。以上の課題を解決するため、Letey et al.²⁾の方法を参考にして、次章に示す方法により接触角の測定を行った。

3. 接触角測定方法

筆者ら³⁾は若材齢モルタル供試体の浸漬試験を実施し、初期の重量増加量と経過時間の平方根が比例することを確認している。以上は、モルタル中への液状水浸入が毛管張力と粘性摩擦力に支配されると仮定した、

Washburn 式と Hagen-Poiseuille 式より導かれる式 1 に従うことを示している。

$$M = C\rho\sqrt{\frac{\gamma\cos\theta}{2\mu}}\sqrt{t} \quad [1]$$

ここで M ：浸潤による重量増加量， C ：空隙構造に依存する係数， ρ ：液体の密度， γ ：液体の表面張力， θ ：コンクリートと液体の見かけの接触角， μ ：液体の粘性係数， t ：経過時間である。

液体の各物性が既知であれば、浸漬試験において重量増加量を測定することで、式 1 中の C と θ 以外のパラメータが得られる。ここで、エタノールはあらゆる固体に対して θ はほぼ 0 であることが知られている⁽²⁾。よって、エタノールを用いて浸漬試験を行い、式 1 の θ を 0 とすることで、 C を得ることができる。同様の試料であれば、空隙構造に依存するパラメータである C は変わらないことから、液状水を用いた浸漬試験により見かけの接触角 θ が算出される。

4. 試験概要

測定に用いた供試体の配合を表 1 に示す。全ての供試体の材齢は 2.75 年であり、打設後 3 日で脱型し、28

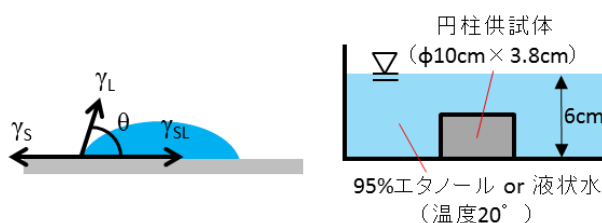


図 1 接触角

図 2 浸漬試験

表 1 示方配合表

配合(kg/m ³)	W	C	FA or BFS	S	G
N40	180.3	450.9	-	708.6	978.5
N55	180.3	327.9	-	805.1	984.5
N70	180.3	257.6	-	886.3	960.9
FB55	172.7	251.2	62.8	791.6	1007.8
FC55	169.7	216.0	92.6	783.5	1017.9
BA55	179.4	260.9	65.2	787.1	1002.1
BB55	174.9	159.0	159.0	792.3	1008.7

キーワード 接触角，毛管張力，化学的性質，液状水浸入

連絡先

〒153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1 東京大学生産技術研究所 Be403 T E L 03-3452-6098 (ext. 58090)

日間水中に静置した後、気中養生を施している。また、AE 減水剤と AE 剤をセメントに対し、それぞれ 0.2%, 0.004% 添加した。浸漬試験の概要を図 2 に示す。まず試験前の 3 日間、105℃の乾燥炉で乾燥させた供試体(φ 10cm×3.8cm)を、深さ 6cm、温度 20℃に保った濃度 95%エタノール浸漬槽底に水平に静置し、浸漬 3 時間後まで適宜、重量増加量を測定した。その後、供試体を温度 35℃湿度 20%の乾燥炉に入れ、供試体重量がエタノール浸漬試験前と同程度になったことを確認した後、同じ条件で液状水浸漬試験を実施した。

5. 試験結果

図 3 に N40 の重量増加量と経過時間の平方根の関係を示す。いずれも重量が増加するにつれて、傾きが減少していることがわかる。これは、本試験では全面が解放されているため、エタノールや液状水が浸入するにつれて、浸入フロントの面積が減少したことが主な原因であると考えられる。上記の影響を排除するため、見かけの接触角の算出には浸漬開始後 5 分までのデータを用いた。ただし、開始後 180 分までのデータを用いても、供試体間の接触角の大小関係に変化はなかった。

3 章で述べた方法により算出した見かけの接触角を図 4 に示す。本測定方法により得られた見かけの接触角はいずれも 60°程度の値であり、これまで液状水浸入の計算などに用いられてきた 0°とは大きく異なる結果となった。また、FA もしくは BFS を含むコンクリートにおける見かけの接触角は OPC と比較して若干大きくなっているものの、その差異は最大で 10°程度であった。図 5 には接触角計(協和界面科学社)を用いて液滴法により測定した、W/C=30~50%のセメントペースト供試体表面と液状水の接触角を示す。材齢 3 日で脱型し、材齢 7 日まで水中養生した後測定を行っている。含水率の差やペースト表面の凹凸の影響により、測定値

には多少の誤差が生じている可能性があるが、少なくとも接触角は 60° 前後であるという同様の結果を得ている。

6. 試験結果の考察

図 4 における OPC 同士の値を比較すると、W/C が増加するにつれて見かけの接触角が大きくなっていることがわかる。しかしながら、化学的性質を表す接触角に W/C が与える影響は大きくないと考えられる。そこで、図 4 をセメントと骨材(細骨材+粗骨材)の重量比で整理した結果を図 6 に示す。混和材の有無によらず比較的直線に近い関係を有しており、セメント骨材比が増加するに従い、見かけの接触角が減少していることが確認できる。上記は、Ca と比較して濡れやすい Si が骨材の主成分であることに起因すると考えられる。

また、混和材の有無による見かけの接触角への影響は小さいことから、これまで論じられてきた FA や BFS の添加による液状水や塩分の浸入に対する抵抗性の向上は、駆動力である毛管張力ではなく、抵抗力である粘性摩擦力や、空隙構造の影響によるものと考えられる。今後詳細を検討する予定である。

7. まとめ

本検討では、エタノールと液状水を用いた浸漬試験の結果に基づいて見かけの接触角を算出することで、コンクリート中への液状水浸入の駆動力である毛管張力を検討した。その結果、コンクリートと液状水の見かけの接触角は 60°程度であり、水セメント比や混和材よりも、骨材量が接触角、すなわち毛管張力に与える影響が大きいことを示す結果を得た。

参考文献

- 1)Takahashi, Y., et al., ICDCS, pp.285-292, (2010)
- 2)Letey, J., et al., Soil Science, 93,pp149-153, (1962)
- 3)中村 兆治ら, セメント技術大会講演要旨(投稿中),(2012)

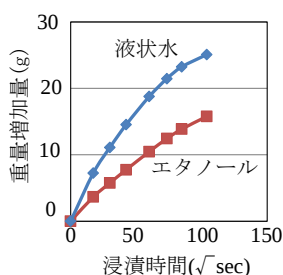


図 3 重量増加量と浸漬時間の平方根の関係

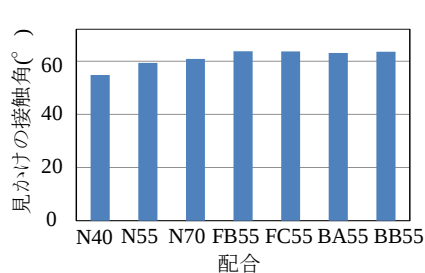


図 4 本手法により測定した見かけの接触角

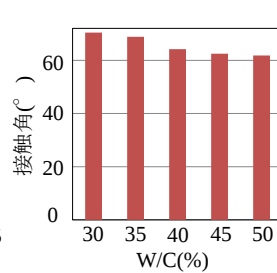


図 5 液滴法により測定した接触角

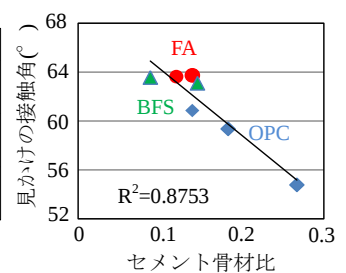


図 6 見かけの接触角とセメント骨材比