

型枠面の濡れ性と高流動コンクリートの表面気泡性状の関係

大分工業高等専門学校 正会員 ○ 一宮 一夫
九州工業大学工学部 フェロー 出光 隆
同 上 正会員 山崎 竹博
九州共立大学工学部 フェロー 渡辺 明

1. はじめに

高流動コンクリートの表面気泡の発生量は、型枠表面の濡れ性の影響を大きく受け、濡れ性が良いほど表面気泡は少ない。水性はく離剤を使用すると、表面気泡の開口部がセメントペーストの薄膜で閉じた隠れ気泡となり、表面美観の点からは効果的であることが知られている¹⁾。しかし、隠れ気泡のセメントペーストの薄膜は極めて脆弱で塩分などの有害物質が浸入しやすく、表面気泡同様にかぶりの減少で耐久性が低下する恐れがあるが、表面気泡や隠れ気泡の発生メカニズムならびに両者と耐久性の関係については未解明な点も多い。

本研究では、型枠の濡れ性を定量的に評価する方法を提案するとともに、型枠の濡れ性を調整してモルタル供試体を製作し、型枠表面の濡れ性と表面気泡性状の関係を実験的に検討した。

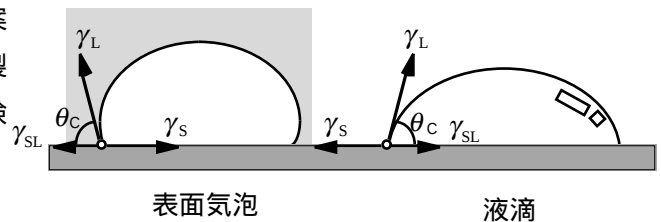


図-1 表面気泡ならびに液滴の接触角

2. 実験概要

2.1 型枠面の濡れ性と接触角の測定方法

図-1は、表面気泡ならびに水平な型枠面上の液滴に作用す

る各界面張力と接触角 θ_c の関係を説明したもので、液体の表面張力を γ_L 、型枠面の表面張力を γ_S 、両者の界面張力を γ_{SL} で表した。本研究では、型枠面の濡れ性を図-2のような水平な型枠面上の重力で歪んだ液滴の接触角 θ_c で評価した²⁾。一般に液滴のような閉じ込められた状態になっている物体は、表面張力により圧縮され内部圧の方が高く、液滴の表面張力を γ_L 、曲率半径を r とすると、圧力差(以下、表面圧という) p は式(1)で表される。

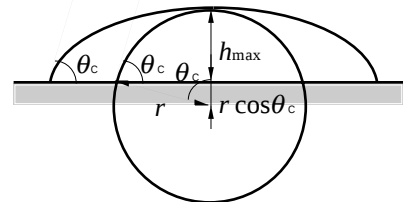


図-2 歪んだ液滴の最大高さとの関係

また、液滴の密度 ρ 、重力加速度 g 、液滴の最大高さ h_{max} とすると液滴の頂点部分を含む液柱の自重から式(2)となり、両式より、 h_{max} は式(3)となる。なお、 h_{max} は重力と表面圧 p とのつり合いで決まる液量に無関係な一定値である。また、曲率半径 r と h_{max} の関係は式(4)であり、式(3) (4)から r を消去して整理すると式(5)が得られる。

$$p = \frac{2\gamma_L}{r} \quad (1)$$

$$p = \rho g h_{max} \quad (2)$$

$$h_{max} = \frac{2\gamma_L}{\rho g r} \quad (3)$$

$$r = r \cos \theta_c + h_{max} \quad (4)$$

$$\cos \theta_c = 1 - \frac{\rho g h_{max}^2}{2\gamma_L} \quad (5)$$

接触角の計算に必要となるモルタルの液相の表面張力は、練混ぜ水、混和剤、水和に伴う析出物質が影響すると考え、それぞれの表面張力をデニューイ式表面張力計で測定した。測定結果は表-1のようであり、モルタルの上澄水、高性能AE減水剤を溶解した練混ぜ水とも同じであることから、本研究では取り扱いの容易さから液滴には高性能AE減水剤を溶解した練混ぜ水を用いた。また、液滴の高さは、マクロレンズを装着したデジタルカメラで撮影した液滴の水平画像をパソコン上で画像解析して測定した。

2.2 供試体の製作および表面気泡の数値化の方法

高流動モルタルは、セメント容積の60%を高炉スラグ微粉末で置換し、セ

表-1 表面張力の測定結果

液体の種類	表面張力(mN/m)
蒸留水	72.8
水道水(練混ぜ水) W	50.4
高性能AE減水剤 SP	37.3
W + SP	39.2
上澄水(練上り後)	39.2
上澄水(30分後)	39.2
上澄水(60分後)	39.2

キーワード 高流動コンクリート・表面気泡・濡れ性・接触角・表面張力

連絡先 〒870-0152 大分市牧1666番地 TEL097-552-7664 FAX097-552-7664
〒804-8550 北九州市戸畑区仙水町1-1 TEL093-884-3114 FAX093-884-3100

ルロース系の増粘剤を添加した併用系とした。配合は、水粉体容積比(V_w/V_p)=0.90、細骨材モルタル容積比(V_s/V_m)=0.45とし、静置フロー値が 220 ± 10 になるように高性能AE減水剤の使用量で調整した。型枠寸法は、幅15×奥行き7×高さ30cmで、材質は鋼、テフロン[®]の2種類とした。はく離剤は、主成分がパラフィン系炭化水素の市販の油性和水性を使用した。表面気泡の数値化には画像解析法を用い、円換算径1mm以上の表面気泡を対象にコンクリート面積に対する表面気泡面積の比率(以下、表面気泡面積比という)と表面気泡数で評価した。

3. 実験結果および考察

図-3は液滴容積を50 μl ごとに増加させたときの液滴高さである。図中の太線は、本方法の適用性を確認するためにテフロン板上に蒸留水で作った液滴での結果である。図のように液滴の高さは液量とともに増加し、最大高さは $h_{\text{max}}=4.18\text{mm}$ で、式(5)で計算した接触角は $\theta_c=100^\circ$ となる。テフロン板と蒸留水での中田らの測定値($h_{\text{max}}=4.36\text{mm}$, $\theta_c=107^\circ$)とほぼ同じ値であり本方法で型枠面の濡れ性を正しく評価できると考えた³⁾。表-2は、 θ_c の計算結果をまとめたもので、実験番号～に対して θ_c は小さくなる傾向にある。

表面気泡の発生状況を表-3に示す。前述のように接触角が大きいほど表面気泡の開口部が広がり、表面気泡面積比、表面気泡数ともに大きくなると予測したが、はく離剤を用いない場合は大きな接触角にも関わらず表面気泡はほとんど発生していない。

コンクリート内部の気泡の状態を調べるためにディスクグラインダーで表面を薄く研磨した。研磨は、表面気泡のコントラストを明瞭にする目的で供試体表面に塗布した黒インクが完全に除去される深さまで行った。表面研磨の結果、実験番号、で新たに気泡が開口した。このことから、はく離剤を使用しない場合も表面気泡はコンクリート内部に移動することがわかる。降伏値が大きい硬練りの普通コンクリートの場合は、打込み時に型枠とコンクリートの界面に閉じこめられ空気泡が表面気泡となるが、降伏値が小さい高流動コンクリートの場合は、粘性液体を容器に充填した場合と同様に、空気泡は常に閉じた状態で存在し、はく離剤の液層と接触する場合ははく離剤の表面張力で、型枠などの固体面に接する場合はコンクリートの液相の表面張力で表面気泡の形態が決まると考えられる。以上のような理由で、実験番号、は液滴の接触角が大きいにも関わらず表面気泡はコンクリート内部に移動し、隠れ気泡が発生したと考えられる。また、はく離剤を塗布した場合は、接触角が小さい方が表面気泡は少ない。表面気泡を深さ方向に切断し、断面形状を調べたところ、表面気泡と液滴の接触角は相関関係が見受けられた。このことより、はく離剤を塗布する場合は水平板上の液滴の接触角を知ることによって表面気泡の形態も予測できる考えられる。

4. まとめ

本研究より得られた知見をまとめると次の通りである。

- (1) 水平な型枠面上の液滴の最大高さから表面張力から型枠面の濡れ性を液滴の接触角で評価できる。また、型枠にはく離剤を塗布する場合は、液滴の接触角から表面気泡の形態を予測できる。
- (2) 高流動コンクリートの表面気泡は、練混ぜ時や打込み時にコンクリート中に巻き込まれた空気泡が脱型後のコンクリート表面に現れたものであり、型枠とコンクリートの界面条件によっては隠れ気泡となる。従って、耐久性が問われる場合は表面気泡同様に発生量の確認が必要となる。

【参考文献】1)一宮一夫，出光 隆，山崎竹博，渡辺明：高流動コンクリートの打設条件が表面気泡特性に及ぼす影響，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.19，pp.61-66，1997.6， 2)丸山智敬ほか：表面と界面の不思議，工業調査会， 3)中田敏夫ほか：ぬれにくい平板上の単一液滴形状に関する一考察，混相流，10巻，1号，1996

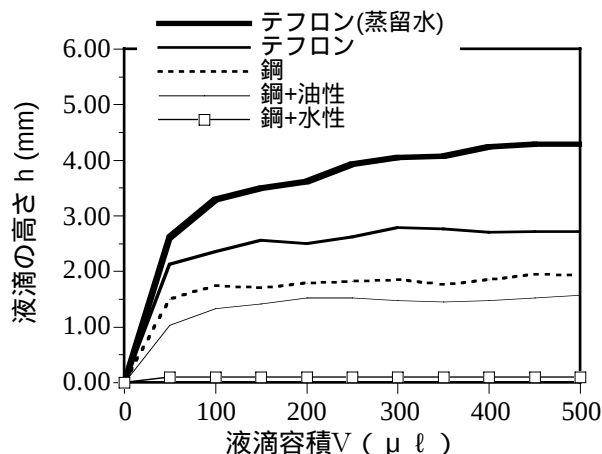


図-3 液滴の容積と高さ

表-2 液滴の接触角

実験番号	型枠	はく離剤	液滴	接触角 θ_c
	テフロン	—	蒸留水	100.0
	テフロン	—	W+SP	86.8
	鋼	—	W+SP	56.7
	鋼	油性	W+SP	45.2
	鋼	水性	W+SP	0.0

表-3 表面気泡面積比ならびに気泡数

実験番号	表面気泡面積比(%)		表面気泡数(個)	
	表面	研磨面	表面	研磨面
	—	—	—	—
	0.5	2.3	137	624
	0.1	2.3	21	725
	3.4	2.9	1018	741
	0.0	2.3	0	740