

令和 2 年 6 月 22 日現在

機関番号：26402

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K14710

研究課題名(和文) Smooth surface of Self-Compacting Concrete with independent stable fine entrained air

研究課題名(英文) Smooth surface of Self-Compacting Concrete with independent stable fine entrained air

研究代表者

Attachai Anuwat (Attachaiyawuth, Anuwat)

高知工科大学・システム工学群・客員研究員

研究者番号：40770938

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,900,000円

研究成果の概要(和文)：コンクリート中に残留する気泡が移動・浮上することにより型枠との境界面(コンクリート表面)に付着し硬化後に表面気泡となるとの仮説を立てた。気泡の移動・浮上(抜け)を抑制することにより硬化後表面の残留気泡発生防止につながることを自己充填コンクリートのモルタル試験により検証した。練上り直後から2時間後までのモルタル中の空気の減少量と硬化後の表面気泡面積との関係を調べた。水セメント比が同一かつ増粘剤無添加であれば空気減少量と表面に残る径の大きさ500 μm 以上の気泡面積の合計との間に相関が見られた。しかし、水セメント比を低くしたものや増粘剤を添加したものは空気減少量に拘らず表面気泡が発生しなかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

単位セメント量の少ない、安価で経済的な自己充填コンクリート成立のために連行されるようになった微細気泡がフレッシュコンクリート中では移動しにくい性質を活かした、コンクリート硬化後の表面気泡抑制技術を実証することが出来た。フレッシュコンクリートの変形の際の固体粒子間摩擦緩和に有効な微細気泡が表面気泡の防止にも有効であることから、施工の合理化・省力化に貢献する自己充填性と美観を両立させた、社会貢献度の高い技術である。

研究成果の概要(英文)：It was hypothesized that the air bubbles remaining within concrete moved and floated upwards to become surface air bubbles on the boundary surface with the formwork after hardening. A mortar test was established for self-compacting concrete to prevent the occurrence of residual air bubbles on the surface after hardening by reducing the movement and flotation of air bubbles. The relationship between the air content reduction of fresh mortar with time and the surface air bubbles of the hardened mortar was investigated. There was a correlation between the air content reduction 2 hours after mixing and the total area of air bubbles of diameter 500 micro meters or larger remaining on the surface when the water cement ratio is constant and viscosity modification additive is not used. However, surface air bubbles did not occur regardless of the air content reduction with time in the test specimens where the water cement ratio was reduced and viscosity modifying additive was added.

研究分野：コンクリート工学

キーワード：自己充填コンクリート 表面気泡 連行空気泡 増粘剤 隠れ気泡

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

コンクリートの表面気泡は強度(構造物安全性)に直接影響するものではないにもかかわらず、多くの人の目に触れる美観に直結するものであり、その除去(発生防止)には多大な労力が割かれ、さらには表面補修まで要求されることがあるなど、コンクリート施工の「厄介者」であり続けてきた。

従来、表面気泡の防止策は、型枠面付近の気泡を振動により除去することによられてきた。

一方、本研究では、コンクリート材料自体に着目し、その材料と配合を、気泡が型枠表面に残留しにくくするための技術を開発する。別目的で開発が進められてきた、時間経過による空気量減少の抑制が鍵となる自己充填コンクリート技術を活用する。

そもそも、硬化後にコンクリート表面に生じる気泡は、打込み後のコンクリート中の気泡が合体して大きくなり一層動きやすくなり、それが型枠(内側)面に集まったまま硬化することによるものである。もし気泡どうしが合体しにくい、そして移動しにくければ型枠面に集まることはなく、従って表面に気泡が残らないものと仮定したことが、本研究の当初の背景である。

2. 研究の目的

コンクリート材料自体に着目し、その材料と配合を、気泡が型枠表面に残留しにくくするための技術を開発する。別目的で開発が進められてきた、時間経過による空気量減少の抑制が鍵となる「気泡潤滑型自己充填コンクリート(air-SCC)」技術を活用する。

本研究では、仮説「連行空気泡どうしが合体しにくく、移動・浮上しにくければ、コンクリートの硬化後の表面気泡の発生を抑制可能である」を検証する。

3. 研究の方法

本研究では、(1)低分子量型新型増粘剤の添加による連行空気泡の量の経時安定性向上効果、および、(2)気泡の移動・浮上(抜け)の抑制による硬化後表面の残留気泡発生防止効果、を、自己充填コンクリートを想定したモルタル試験により検証した。

4. 研究成果

4.1 低分子量型新型増粘剤の添加による連行空気泡の量の経時安定性向上効果

気泡潤滑型自己充填コンクリート(air-SCC)ではフレッシュ時の変形の際の固体粒子間摩擦を低減させるために安定した微細な気泡を連行する必要がある。本研究では、粘着力を高めるために添加される新型増粘剤が連行空気泡に及ぼす影響について、空気量の経時安定性と径分布を測定することにより明らかにした。

(1) 材料・配合と試験手順

使用材料と基本配合を示す(表-1, 2)。スランプフロー値が 250±10 mm になるように減水剤の添加量を調整した。練混ぜは、増粘剤をセメントに混ぜて空練り 30 秒間、水と減水剤を投入後 60 秒間の一括練りとした。練混ぜ完了後に 10 分静置の後、モルタルフロー試験、重量法による空気量試験、回転粘度計による粘度測定(0.3 rpm)、浮力法(AVA)により空気径分布を測定した。

表-1 使用材料

材料	概要	記号
水	上水道	W
セメント	普通ポルトランドセメント	C
細骨材	石灰砕砂(比重 2.68, 吸水率 0.81%, 粗粒率 2.63%)	S
高性能 AE 減水剤	ポリカルボン酸エーテル系化合物	SP
空気連行剤	変形ロジン酸化合物系陰イオン界面活性剤	AE
増粘剤	低分子量セルロースエーテル	VMA

表-2 モルタルの基本配合

W/C	s/m	単位量(kg/m³)		
		W	C	S
0.45	0.55	264	586	1474

(2) 同じ水セメント比における増粘剤の効果

水セメント比 45% で一定とし、増粘剤を 200g/m³ (コンクリート中の添加量相当: 実際にはモルタル容積比である 0.7 倍した値) 添加し空気連行剤をセメント質量×0.5% 添加したモルタルを、増粘剤のみ無添加のモルタルと空気量の経時変化を比較した(図-1)。練り上がり 10 分後の測定では両者は同等の空気量であったが、1 時間後には増粘剤を添加したモルタルの方が空気減少量が小さかった。

空気径分布解析により空気径分布を比較した(図-2)。増粘剤を添加することにより微細気泡の割合が高くなり、大径気泡が少なくなった。増粘剤が微細気泡連行の割合を高めて空気量の経時変化を抑制したと言える。

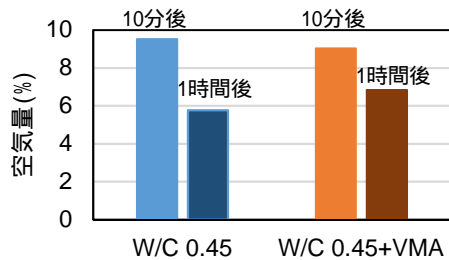


図-1 練上り 10 分後と 1 時間後の空気量
- 増粘剤添加により経時による空気量減少を抑制

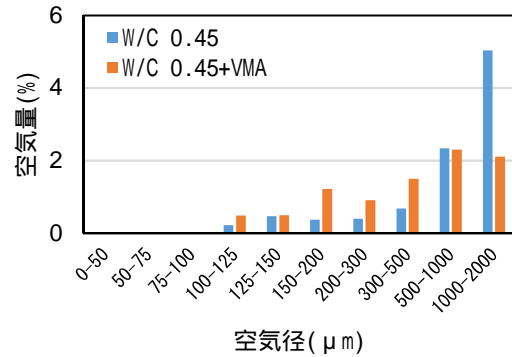


図-2 増粘剤の有無により異なる空気径分布
(練上り 10 分後に測定)

(3) 増粘剤加が連行空気泡に与える影響

増粘剤を添加することにより、連行空気量を変えることなく微細気泡の連行を可能にし、空気量の経時変化を抑えることを可能にした。その要因を明らかにするために、使用した新型増粘剤による増粘作用の特徴を調べた。この増粘剤によるものと同等の高粘度を、水セメント比を 0.45 より低くして付与することにより、粘度と空気量の関係を調べた(図-3)。水セメント比 0.38 と 0.35 の間が増粘剤添加によるものと同等な粘度となったが、連行空気量には大きな差が見られた。水セメント比が下がるにつれて連行空気量が小さくなる傾向を確認した。また、練り上がり 1 時間後の空気量は、水セメント比を下げたモルタルの方が減少率が高く、経時安定性が低くなる結果となった(図-4)。

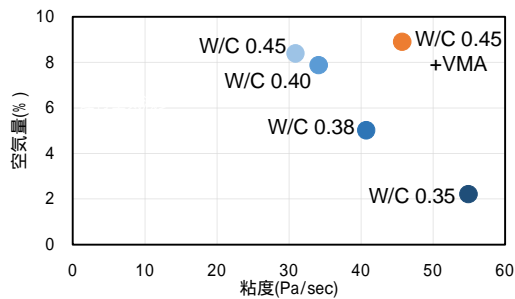


図-3 同程度の粘度下でも異なる、増粘剤添加の場合と低水セメント比での空気連行性(空気連行剤添加量一定)

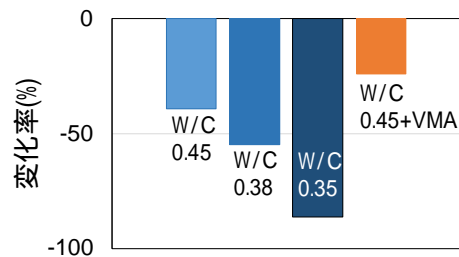


図-4 練上り 10 分後から 1 時間後間の空気量変化率

上記の低水セメント比による連行空気量の低下を補うため、空気連行剤添加量を水セメント比 0.38 の場合にセメント質量×1.0%、水セメント比 0.35 の場合に 2.0%と大きくしたモルタルの、粘度と気泡比表面積の関係を比較した(図-5)。連行直後の気泡の比表面積は、増粘剤添加の有無や水セメント比に関わらず、主に粘度の高低に左右されていた。

上記の各モルタルについて AVA により練上がり 10 分後の空気径分布割合を比較した。水セメント比の低下により高粘度になるほど細かい気泡の割合が高くなった(図-6)。これらから同程度の粘度を想定すると、増粘剤添加モルタルの気泡は同程度もしくは若干劣る細かさであった。

しかし、増粘剤添加の方が明らかに経時に対する空気量の安定性が高かった。このことから、新型増粘剤による効果には、空気泡の微細化に加えて、別のものが寄与している可能性を得た。

(4) まとめ

新型増粘剤をモルタルに添加することにより微細な気泡の連行を有利にし、空気量の経時変化を抑えることが出来た。

同じ空気連行剤添加量での連行可能な空気量は、新型増粘剤添加の有無にかかわらず、主に水セメント比に支配されていた。水セメント比が低いほど連行空気量が小さくなった。

練り上がり(連行)直後の気泡の比表面積は、増粘剤添加の有無や水セメント比に関わらず、主に粘度の高低に左右されていた。増粘剤添加のものに比べ、低水セメント比による高粘性のモルタルの方が微細気泡の割合が高かったが、経時による空気量減少が大きかった。すなわち、増粘剤による効果には空気泡の微細化以外の要因も存在している可能性を得たと言える。

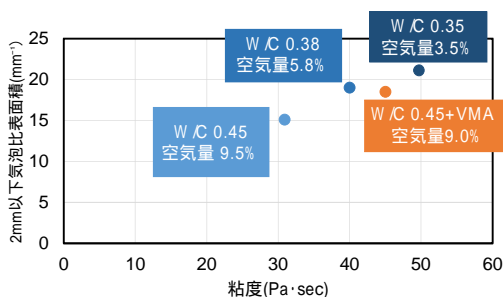


図-5 粘度と直径 2 mm 以下の気泡比表面積との関係

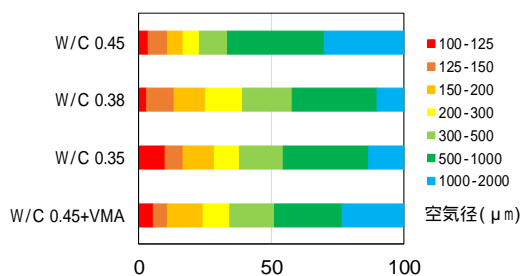


図-6 練り上がり 10 分後の空気径分布割合

4.2 フレッシュ時の空気量減少の抑制による硬化後表面気泡発生防止

コンクリート中に残留する気泡が移動・浮上することにより、型枠との境界面（コンクリート表面）に附着し硬化後に表面気泡となるとの仮説を立てた。そして、気泡の移動・浮上（抜け）を抑制することにより硬化後表面の残留気泡発生防止につながることを、自己充填コンクリートを想定したモルタル試験により検証した。

(1)モルタル試料について

モルタルの使用材料と基本配合を示す（表-3、4）。フロー値が 250 ± 10 mm になるように減水剤の添加量を調整した。増粘剤はセメントに混ぜ空練り 30 秒間の後、水と減水剤を投入後 120 秒間練混ぜた。空気量調整剤は練混ぜ直後に添加し、さらに 60 間練混ぜた。モルタルフロー試験、重量法による空気量試験を練混ぜ完了 10 分後、1 時間後および 2 時間後に行った。その際、再練混ぜは行わず巻込み空気の混入を防いだ。練混ぜ完了 20 分後にモルタルを軽量型枠プラモールド（φ50 mm×h100 mm）に投入した。硬化後に脱型し、クラックスケールを用いて供試体側面 $15,700 \text{ mm}^2$ における表面気泡を計測した。

表-3 使用材料

材料	概要	記号
水	上下水道	W
セメント	普通ポルトランドセメント	C
細骨材	石灰砕砂（比重 2.68，吸水率 0.81%，粗粒率 2.63%	S
高性能 AE 減水剤	ポリカルボン酸エーテル系化合物	SP
空気連行剤	変形ロジン酸化合物系陰イオン界面活性剤	AE
増粘剤	セルロースエーテル系	VMA
空気量調整剤	ポリアルキレングリコール誘導体	D

表-4 モルタルの基本配合

W/C	s/m	単体量 (kg/m³)		
		W	C	S
0.45	0.55	264	586	1,474
0.35	0.55	236	674	1,474

(2)空気減少量が硬化後表面の残留気泡発生に及ぼす影響

増粘剤添加の有無や空気連行剤添加量の調整により空気減少量を変化させたモルタル（表-3）の、練上り直後から 2 時間後までのモルタル中の空気の減少量と硬化後の表面気泡面積との関係を調べた。空気量は重量法を用いて測定し、練上り直後から 2 時間後までの値の差とした。なお、2 時間後の空気量は 6.7～10.7%の範囲に分布したが、表面気泡面積との相関は見られなかった。気泡として空気径が 500μm 以上のものを測定し、表面気泡の総面積を供試体側面の表面積で除した値（以下、表面気泡面積率という）を示した（図-7）。空気減少量と表面気泡面積率との間には相関が見られた。しかし、増粘剤を添加したもの、および、水セメント比 35%のものは空気減少量に拘わらず表面気泡が見られなかった。空気の減少量のみでは硬化後表面の残留気泡発生量を説明できなかった。

(3)モルタル表面のセメントペーストの粘着力が気泡の型枠面との付着に及ぼす影響

W/C 35%の硬化後供試体の表面を擦ると、表面近くに気泡が存在していたことが分かった（写真-1）。モルタル表面と型枠面の付着力に着目した。粘着力が大きければモルタル中を移動する気泡が表面に出ることが不可能となり、硬化後に表面気泡とならないと仮定した（図-8）。

表-2 モルタルの配合

W/C (%)	VMA (g/m ³)	D (%)	AE (%)
45	200	0	C×0.005
45	0	C×0.010	C×0.005
45	0	C×0.004	C×0.005
45	0	0	C×0.005
35	0	0	C×0.015

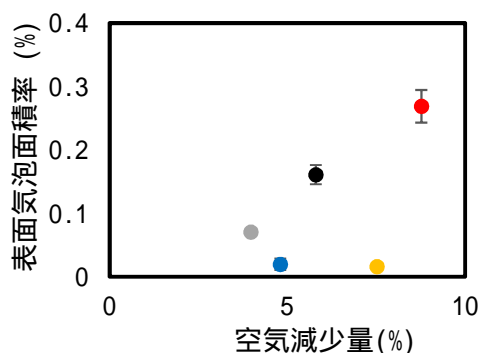


図-7 空気減少量と表面気泡面積率との関係



写真-1 硬化後に表面のセメントペーストを剥がすと直下に隠れ気泡の存在を確認

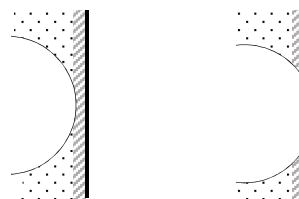


図-8 型枠面のペーストの粘着力による気泡の表面への移動への影響の可能性；左：粘着力大；右：粘着力小

前項(3)で用いた材料・配合のフレッシュモルタルをテクスチャアナライザーで測定し、面外方向の剥離強度を粘着力とした。モルタル表面を削ったことで見えた気泡を隠れ気泡面積率として比較した(図-9)。その結果、表面気泡面積率が同程度に低かった W/C 45%・増粘剤添加のものと、W/C 35%のものの隠れ気泡面積率は粘着力の高い W/C 35%の方が高くなった。W/C 35%は W/C 45%・増粘剤添加と比べ空気減少量が多かったにも拘わらず表面気泡が生じなかったのは、モルタル表面の粘着力が影響したと考察した。

各配合の隠れ気泡面積率と空気減少量の関係を示す(図-10)。空気減少量と表面気泡面積率で相関が得られなかった W/C 45%・増粘剤添加のものと W/C 35%のものを含め、隠れ気泡面積率と空気減少量に相関が見られた。粘着力が高いものは型枠にモルタルが強く附着し、気泡が表面に移動できなかったものと考察した。空気の減少量が多く気泡が動きやすいもので型枠との境界面のセメントペーストの粘着力が高ければ、残留気泡が表面に出てこない可能性を得た。

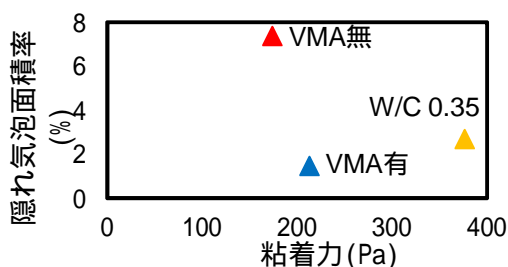


図-9 粘着力と隠れ気泡面積率

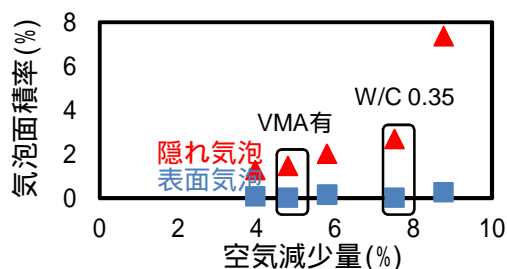


図-10 各配合の空気減少量と気泡面積率

(4)まとめ

時間経過によるフレッシュモルタルの空気減少量とモルタル硬化表面の表面気泡との関係を調べたところ、水セメント比が同一かつ増粘剤を使用していない条件下では、練上りから2時間後までの空気減少量と、表面に残る径の大きさ500μm以上の気泡面積の合計との間に相関が見られた。しかし、水セメント比を低くしたものや増粘剤を添加したものは、時間経過による空気減少量に拘らず表面気泡が発生しなかった。

低い水セメント比や増粘剤添加により型枠との粘着力が高くなったことが、空気量減少量に拘らず表面に残留気泡を発生させず表面直下に気泡を留めた可能性を得た。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 1件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Puthipad Nipat, Ouchi Masahiro, Attachaiyawuth Anuwat	4. 巻 180
2. 論文標題 Effects of fly ash, mixing procedure and type of air-entraining agent on coalescence of entrained air bubbles in mortar of self-compacting concrete at fresh state	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Construction and Building Materials	6. 最初と最後の頁 437 ~ 444
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.04.138	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 大内 雅博
2. 発表標題 増粘剤添加によるフレッシュモルタルへの連行空気法の安定化
3. 学会等名 第74回土木学会年次学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 古竹莉久
2. 発表標題 フレッシュ時の空気量減少の抑制による自己充填コンクリートの硬化後表面の残留気泡発生の防止
3. 学会等名 第75回土木学会年次学術講演会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	大内 雅博 (OUCHI MASAHIRO)		