コンクリートの振動締固めが硬化後の気泡分布に及ぼす影響に関する基礎実験

鹿島建設（株）　正会員　林　大介　橋本　学　○池田　真理子　フェロー　坂田　昇
鳥取大学農学部　正会員　緒方　英彦

1. はじめに

フレッシュコンクリートに連行された気泡は，ブリーディングに伴って合泡あるいは破泡し，硬化過程で変化することが知られている[1)]。また，コンクリートの運搬，打込みおよび締固めの影響によっても変化することが推察されるが，これまでに，施工方法と気泡分布の相関に関する知見はほとんど得られていない。そこで，コンクリート施工の中でも特に気泡分布への影響が大きいと推察される振動締固めに着眼し，硬化コンクリートの気泡分布に関する実験的検討を行った。

2. 試験概要

(1) 使用材料および配合

使用材料およびコンクリート配合を，**表－1** および **表－2** にそれぞれ示す。フレッシュコンクリートのスランプ，空気量およびコンクリート温度の実測値は，それぞれ 10.5cm, 5.5%および 14.0℃であった。また，ブリーディング量を測定したところ，0.03cm^3/cm^2 であった。

表－1　使用材料

項目	記号	摘要
水	W	上水道水，密度：1.0g/cm^3
セメント	C	普通ポルトランドセメント，密度：3.16g/cm^3
細骨材	S1	東京都八王子産砕砂，表乾密度：2.62g/cm^3，粗粒率：3.00
	S2	千葉県成田産山砂，表乾密度：2.56g/cm^3，粗粒率：1.80
粗骨材	G1	東京都八王子産砕石，20～5mm，表乾密度：2.65g/cm^3，実積率：69.5%
	G2	埼玉県秩父産砕石，20～5mm，表乾密度：2.70g/cm^3，実積率：59.5%
	G3	東京都西多摩産砕石，20～10mm，表乾密度：2.66g/cm^3，実積率：59.5%
AE 減水剤	Ad	リグニンスルホン酸化合物とポリカルボン酸エーテル系化合物の複合体

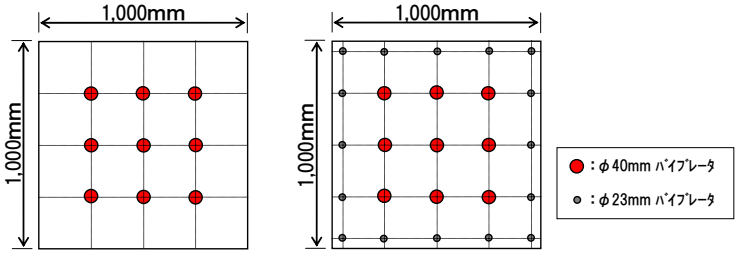
(2) コンクリート施工方法

縦 1,000mm×横 1,000mm×高さ 1,000mm の型枠を製作し，かぶりを 70mm として，水平および鉛直方向に，それぞれ D19 および D22 を 150mm 間隔で配置した。また，コンクリート施工では，1 層あたりの高さを 500mm として 2 層に分けて打ち込んだ。

振動締固めについては，**図－1** に示すように，直径 40mm の棒状バイブレータによって，1 ヵ所あたり 10 秒間の締固めを 250mm 間隔で行った試験体と，この締固めの直後に，直径 23mm の棒状バイブレータによって，かぶりを約 250mm 間隔で 1 ヵ所あたり 5 秒間締め固めた試験体の 2 種類を作製した。

表－2　コンクリートの配合

Gmax (mm)	ｽﾗﾝﾌﾟ (cm)	W/C (%)	空気量 (%)	s/a (%)	単位量（kg/m^3）							Ad (C%)
					W	C	S1	S2	G1	G2	G3	
20	8	55.0	4.5	45.0	169	307	564	242	304	405	304	1.25



(a) φ40mm のみ　　(b) φ40mm＋φ23mm

図－1　棒状バイブレータの挿入位置（平面図）

(3) 気泡分布の測定概要

材齢 28 日において，打込みの各層の中心となる高さ 250mm および 750mm より，それぞれ直径 150mm のコアを採取し，表面から 60mm, 125mm および 500mm の各深さの試料を採取して ASTM C457 に準じた気泡分布測定を行った。

キーワード　コンクリート，振動締固め，空気量，気泡間隔係数
連絡先　〒182-0036　東京都調布市飛田給 2-19-1　鹿島技術研究所　TEL042-489-8007

3. 試験結果

硬化コンクリートの空気量を**図－2** に示す。同図より，直径 40mm の棒状バイブレータによる振動締固めのみを行った試験体の空気量は 3.3～6.2%の範囲にあり，フレッシュから硬化にかけて-2.2～+0.7%の変化があった。硬化の過程で空気量が増加したのは，高さ 750mm における深さ 60mm の値のみであり，フレッシュコンクリートの 5.5%に対して 6.2%であった。この試験体の高さ方向の違いによる空気量の違いをみると，高さ 750mm の空気量の方が，高さ 250mm よりも多く，いずれの高さにおいても，表層側となる深さ 60mm および 125mm の空気量の方が，内部の深さ 500mm よりも多い傾向があった。以上の結果より，コンクリート中の気泡は，打込みおよび振動締固めによって表層側に移動しやすく，また，ブリーディングや上層を打ち重ねる際の振動締固めの影響などによって，上方に集まりやすいことが確認される。

一方，かぶりを直径 23mm の棒状バイブレータで締め固めた試験体の空気量は 2.5～3.9%の範囲にあり，フレッシュから硬化にかけて，-3.0～-1.6%の範囲で減少していた。また，直径 40mm の棒状バイブレータのみの試験体に比べて，全体的に空気量が少なく，特に深さ 60mm および 125mm において，その傾向が顕著であった。

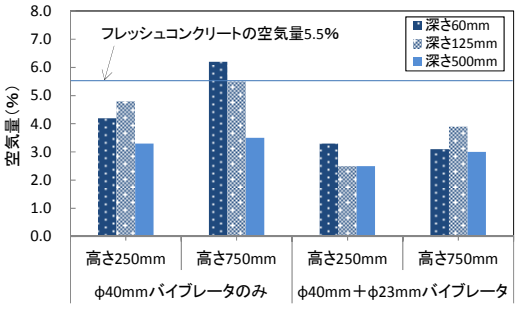
硬化コンクリートの気泡分布を**図－3** に示す。同図の気泡分布では，主にエントレインドエアと考えられる径 0.1mm 程度と，エントラップトエアと考えられる径 1～10mm 程度の 2 ヵ所にピークが現れている。径 0.1mm 程度の気泡は，耐凍害性の向上に有効とされる範囲であり [1)]，各分布にほとんど差がなかったが，全体的に少ない傾向があるため，今後，径 0.1mm 前後の気泡が多いコンクリートについても試験を実施し，施工の影響について，さらに考察していくことが必要と考えられる。一方，表面の気泡や強度への影響の観点から多すぎることが望ましくないと考えられる径 1～10mm の気泡をみると，直径 40mm の棒状バイブレータのみの試験体において，この範囲の空気量が多いことが確認される。このことより，硬化コンクリートの空気量の違いはエントラップトエアによるものであることが推察される。

4. おわりに

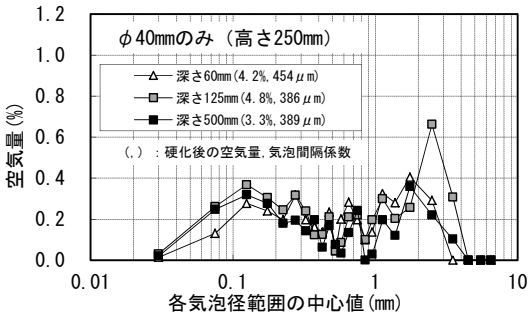
コンクリートの振動締固めが硬化コンクリートの気泡分布に及ぼす影響について実験的検討を行った結果，本試験のコンクリート中の気泡は，表層側かつ上方に集中しやすいことが明らかとなり，かぶりに棒状バイブレータを挿入して締め固めることによって，粗大な径の気泡を排出できることが確認された。今後，コンクリートの気泡分布やスランプ，打込み箇所の形状が異なる場合について，さらにデータを蓄積し，考察を深めていきたいと考えている。

参考文献

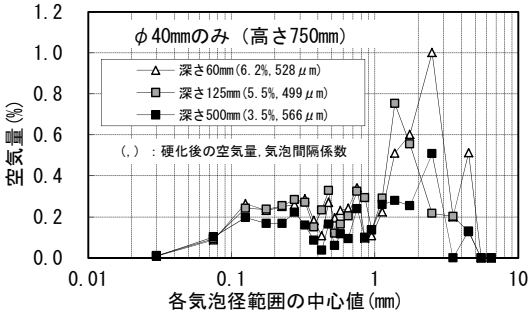
1) 坂田ほか：コンクリートの気泡組織と耐凍害性の関係に関する考察，コンクリート工学論文集，Vol.23，No.1，pp.35-47，2012.1



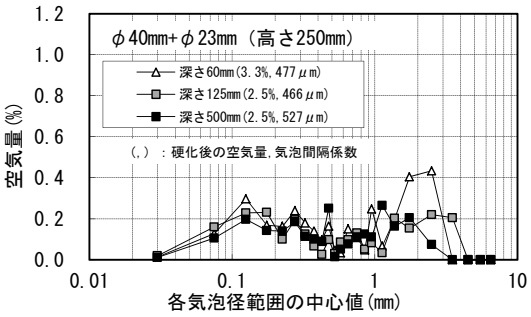
図－2　硬化コンクリートの空気量



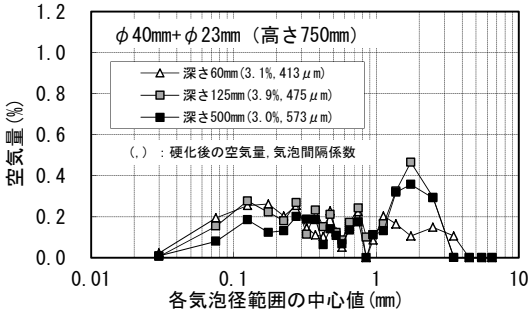
(a) φ40mm のみ（高さ 250mm）



(b) φ40mm のみ（高さ 750mm）



(c) φ40mm＋φ23mm（高さ 250mm）



(d) φ40mm＋φ23mm（高さ 750mm）

図－3　硬化コンクリートの気泡分布