

空気室圧力法を応用したポーラスコンクリートの空隙率測定方法に関する研究

(その1: 空隙率の定義と測定方法)

ポーラスコンクリート 空隙率 空気量試験器
容積法 質量法 空気室圧力法

正会員 ○中川武志 *1
同 松村 豪 *2
同 三島直生 *3
同 畑中重光 *4

1. はじめに

ポーラスコンクリートの各種の機能性は、主に内部の連続的な空隙の状態に依存することから、ポーラスコンクリートの適用にあたって、空隙率を正確に測定することは重要な意義をもつ。空隙率の測定方法は、日本コンクリート工学学会の「ポーラスコンクリートの設計・施工法の確立に関する研究委員会」により、フレッシュ状態では圧力法、硬化状態では容積法および質量法〔以下、JCI 規準(案)〕¹⁾がそれぞれ提案されている。しかし、骨材種類・粒径の多様化など研究・開発されるポーラスコンクリートの幅が広がり、JCI 規準(案)の定める方法が必ずしも適切とはいえない場合も生じている。特に、骨材粒径が5mm以下程度の小粒径ポーラスコンクリート²⁾においては、平均空隙径が小さいため、供試体を飽和および表乾状態とすることが非常に困難であり、一般に用いられることの多い容積法では質量測定に誤差が生じやすく、また、連続空隙率と全空隙率の明確な区分が困難である、などの問題点も指摘されている^{2),3)}。

そこで、この問題を解決する方法として、本研究では JIS A 1128 によるフレッシュコンクリートの空気量試験器を応用した容積圧力法の提案を目的としている。本報では、各種の測定方法に関する問題点を整理する。

2. 空隙率の種類と定義

一般に、ポーラスコンクリートは、粗骨材の各粒の間に分散した連続空隙をもつ。日本コンクリート工学学会の「ポーラスコンクリートの設計・施工に関する研究委員会報告書」¹⁾によると、連続空隙とは、「供試体表面からみて連続している空隙であり、容易に水で飽和・排水される空隙」、独立空隙とは、「供試体表面からみて、独立している空隙であり、水で飽和・排水するには若干の時間を要する空隙」と定義されている。しかし、実際に独立している空隙の場合、1日程度の浸水での飽和・排水は非常に困難と考えられる。また、小粒径・低空隙率のポーラスコンクリートの場合、「独立」でなく空隙が連続していても空隙径が小さいため飽和・排水がかなり難しい。こうした点は、空隙の名称と実際の状態とが矛盾するため、誤解を招きやすく、上記報告書の表現はやや適切さを欠くものと思われる。

以上を踏まえ、本研究では、図-1 および表-1 に示すように、空隙をその連続性に応じて3つのレベルに分類する。連続空隙は、JCI 規準(案)どおりの定義とする。準連続空隙は、連続した空隙と考えられるが飽和・排水する

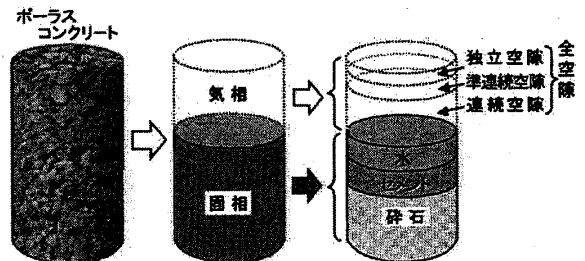


図-1 ポーラスコンクリートの構成(容積)

表-1 ポーラスコンクリートの空隙の分類

空隙のイメージ	空隙			
	連続空隙	準連続空隙	独立空隙	
飽水・排水	容易	時間を要する	困難	
空隙の名称	JCI 規準(案)	全空隙		
	本報告の定義	連続空隙 A_1	準連続空隙 A_2	独立空隙 A_3
測定方法の有効範囲	全空隙 A_T			
	フレッシュ	圧力法	質量法	
	硬化後	容積法	容積圧力法	
		容積法	容積圧力法	

〔注〕 本定義においては、セメントペースト中の微細空隙は対象としない。

のに若干の時間を要する空隙とする。独立空隙は、供試体表面からみて完全に独立している空隙とする。また、全空隙は、基本的には上記の3種の空隙の合計とするが、独立空隙は通常のポーラスコンクリートにおいては構成割合が小さいと考えられるため、便宜的に無視しても影響は小さいものと考えられる。

3. 空隙率の測定方法

表-2 に、本研究で取り扱う空隙率の測定方法の一覧を示す。同表中には、供試体を表面乾燥状態とすることを目的とした水中浸漬の有無、および後述する水中浸漬後の供試体の乾燥時間を短縮するための遠心脱水処理の有無についても実験要因と捉え、A~C の記号でそれぞれ区別して示してある。出典の欄において、JCI 規準(修)とあるのは、JCI 規準(案)と同じ算定方法によるが、手順を若干修正した方法であり、提案とあるのは本研究で新たに提案・検討する方法である。

表-2 空隙率測定方法の比較

試料の状態	試験法の名称	出典	測定手順の概要	他の測定項目	得られる空隙率	算定式※
フレッシュ時	圧力法	JCI規 準(案) ¹⁾	打設 → 気中質量 W_1 → 注水 → 全体質量 W_2 → 空気量 A_p		連続空隙率 全空隙率	$A_1 = (W_2 - W_1) / V_C$ $A_T = A_1 + A_p$
	質量法	JCI規 準(修) ¹⁾	打設 → 気中質量 W_3 (型枠内)	型枠質量 W_{11} 固相密度 ρ_s	全空隙率	$V_s = (W_3 - W_{11}) / \rho_s$ $A_T = (V_A - V_s) / V_A$
硬化後	質量法 A [水中浸漬なし]	JCI規 準(修) ¹⁾	脱型 → 気中質量 W_4	固相密度 ρ_s	全空隙率	$A_T = (V_A - W_4 / \rho_s) / V_A$
	質量法 B [水中浸漬・ 気中乾燥]	JCI規 準(案) ¹⁾	脱型 → 水中浸漬 → 気中放置 → 気中質量 W_4 (24h) (24h)			
	質量法 C [水中浸漬・脱水]	提案	脱型 → 水中浸漬 → 脱水 → 気中質量 W_4 (24h) (7min)			
硬化後	容積法 A [水中浸漬・ 気中乾燥]	JCI規 準(案) ¹⁾	脱型 → 水中浸漬 → 水中質量 W_6 → 気中放置 → 気中質量 W_6 (即時) → 水中質量 W_7 (24h) (24h)	試験容器 + 水の質量 W_{10}	連続 + 準連続空隙率 準連続空隙率 (→全空隙率)	$A_1 + A_2 = (V_A - W_6 + W_7) / V_A$ $A_2 = (W_5 - W_7) / V_A$
	容積法 B [水中浸漬・脱水]	提案	脱型 → 水中浸漬 → 水中質量 W_6 → 脱水 → 気中質量 W_6 (即時) → 水中質量 W_7 (24h) (7min)			
	容積圧力法 A [水中浸漬なし]	提案	脱型 → 気中質量 W_8 → 注水 → 全体質量 W_9 → 空気量 A_p			
	容積圧力法 B [水中浸漬・脱水]	提案	脱型 → 水中浸漬 → 脱水 → 気中質量 W_8 → 注水 → 全体質量 W_9 → 空気量 A_p (24h) (7min)			

[注] □: 測定値, A_T : 全空隙率(%), A_1 : 連続空隙率(%), A_2 : 準連続空隙率(%), A_p : 空気量(%), V_s : 固相容積(cm^3), V_A : 供試体の見かけ容積(cm^3), V_C : 試験容器の容積(cm^3), $W_1 \sim W_{11}$: 質量の測定値(g), 脱水: 遠心脱水処理
※ 水の密度は $\rho_w = 1\text{g}/\text{cm}^3$ (一定)と仮定し, 式中では省略している。

4. 空気室圧力法を応用した空隙率測定方法

本方法は、フレッシュ時の空隙率測定の方法を、硬化後のポーラスコンクリートに応用したもので、容積圧力法と称することとする。容積圧力法では、見かけの容積を測定した後に供試体を容器に格納し、試験器上部を組立てて注水した状態で、供試体を入れる前後の質量の差から供試体の固相容積を求める。空気量に関しては試験容器の容積に対する比率(%)が表示されるので、供試体の見かけの容積に対する比率に換算し、準連続空隙率とする。すなわち、連続空隙率および準連続空隙率は、以下の式を用いて求められる。

$$A_1 = 100 \times \{V_A - (W_8 + W_{10} - W_9) / \rho_w\} / V_A \quad \dots (1)$$

$$A_2 = A_p \times V_C / V_A \quad \dots (2)$$

ここに、 A_1 : 連続空隙率 (%)、

- W_8 : 供試体の気中質量 (g)、
- W_9 : 供試体を入れた試験器と水の合計質量 (g)、
- W_{10} : 試験器と水の合計質量 (g)、
- A_2 : 準連続空隙率 (%)、
- A_p : 空気量測定により測定された空気量 (%)、
- ρ_w : 水の密度 (g/cm^3)、
- V_A : 供試体の見かけ容積 (cm^3)、
- V_C : 試験容器の容積 (cm^3)

5. 空隙率測定方法の比較

容積圧力法は、次のようなメリットがあると考えられる。

- 1) 小粒径を含むポーラスコンクリート全般に適用できる。
- 2) 試験容器に収まり、見かけ容積を求めることができれば、

どのような形状でも空隙率が測定でき、また、高い精度が期待できる。

- 3) 連続空隙率と準連続空隙率を同時に測定できる。
- 4) 試験方法が簡便で、かつ既存の装置を活用して短時間に測定できる。

一方、質量法は、簡易で比較的精度の高い方法であるが、全空隙率しか得られない点、ポーラスコンクリートの調査条件、骨材およびセメントの密度が既知でなければならない点など、施工時の品質管理にはあまり適さない面がある。容積法は、調査条件等が既知でなくても空隙率を測定できるが、特に小粒径のポーラスコンクリートに対する測定精度と連続空隙・準連続空隙の分析に難点があると考えられる。

6. まとめ

本報において得られた知見を以下に示す。

- 1) JCI 規準(案)における空隙率の定義は、実態に合わせて適切な表現となるよう見直す必要がある。
- 2) 容積圧力法は、質量法および容積法に比べて、得られる空隙率の種類、測定精度、所要時間、制約条件の点で優れ、一般的な品質管理・施工管理に適するものと考えられる。

【参考文献】

- 1) ポーラスコンクリートの設計・施工に関する研究委員会：同報告書、日本コンクリート工学協会、pp.179-180、2003
- 2) 前川明弘、山本晃、三島直生、畑中重光：小粒径ポーラスコンクリートの空隙率測定方法に関する研究、第 60 回セメント技術大会講演要旨、pp.218-219、2006
- 3) 畑中重光、三島直生：小粒径ポーラスコンクリートの揚水高さに関する理論的アプローチ、セメント・コンクリート論文集、No.60、pp.271-278、2006

*1 三重大学大学院工学研究科建築学専攻・大学院生・修士(工学)
*2 川島工業技術部
*3 三重大学大学院工学研究科建築学専攻・助教・博士(工学)
*4 三重大学大学院工学研究科建築学専攻・教授・工博

*1 Graduate Student, Div. of Arch. Graduate School of Eng. Mie Univ., M. Eng.
*2 Kawashima Industry, Engineering Dept.
*3 Assist. Prof., Div. of Arch., Graduate School of Eng. Mie Univ., Dr. Eng.
*4 Prof., Div. of Arch., Graduate School of Eng. Mie Univ., Dr. Eng.