# 多孔質体の空隙径分布と毛管張力による液状水浸入挙動に関係する数値解析的検討

4	1+	•	ж	1-
Ι.		し	α	<u>ا</u> ر

コンクリートの劣化因子は空隙中の液状水を移動場 とするため、液状水の浸入挙動を把握することはコン クリートの耐久性を論じる上で必要不可欠である.し かしながら液状水浸入のメカニズムには不明な点が多 く、挙動を定量的に予測する手法は確立されていない のが現状である.本検討ではまず、毛管張力と摩擦抵 抗に支配された液状水の浸入挙動を数値解析的に検討 した.また浸入挙動と水銀圧入法(MIP)の測定原理と の間に類似性が存在すると考え、MIPの測定結果から 液状水の浸入挙動を予測する手法を検討し、その妥当 性を数値解析的および実験的に検討した.

## 2. パーコレーション解析

100×100mmの領域に直径 0.5mmの円形要素を千鳥状 に配置し、浸透解析を実施した.要素数は約 50,000 で あり、左右の境界は連続とした.液状水は解析領域下 端部から浸潤し、隣接する要素間を移動する.液状水 が浸入していない要素を E<sub>e</sub>、浸入した要素を E<sub>s</sub>とし、 E<sub>s</sub>に接した節点と隣り合う E<sub>e</sub>を E<sub>s</sub>に変化させるという 処理を行うことで液状水浸入を表現している.ただし E<sub>e</sub>が E<sub>s</sub>に変化する、すなわち浸潤する際には、それま での浸入経路に応じた摩擦抵抗が作用し、Washburn 式 と Hagen-Poisuille 式から導かれた式(1)で算出される時 間  $\Delta t$ を要するものとした.Tas ら<sup>1)</sup>により、5nm の高さ を有するガラス製の流路においても浸潤挙動は Washburn 式に従うことが報告されており、コンクリー

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
東京大学大学院	学生会員	中村	兆治

ト中の微細空隙を移動する液状水挙動を表現するにあ たり上式を使用することは、妥当であると考えられる.

$$\Delta t_i = \alpha \cdot \Sigma L_i / r_i \tag{1}$$

ここで  $\Delta t_i$ :要素 i への浸入に必要な時間,  $\alpha$ :液体や 壁面の性質に依存する係数,  $L_i$ :要素 i における流路長 さである. L は 0.5mm,  $\alpha$  は簡易的に 1 とした.本解析 における各要素は同一の径  $r_i$  を有する空隙の群を想定 しており,  $r_i$  として図 1 に示す 5 種類の空隙径分布を各 要素に与えた. casel'は casel における 2 割の要素を浸 入不可能としたものであり, case2'も同様である.各要 素の空隙体積は一定とした.本解析における「時間」 は実時間とは対応していない.また上記と同様の解析 モデルを用いて MIP を想定した解析を実施した.解析 領域の下端から圧入を行い,Washburn 式から換算され る径以上の空隙に水銀が侵入するものとし,圧力を 徐々に増加させて空隙径分布を算出した.

### 3. 解析結果

図 2 に液状水浸入解析の結果例を示す.また図 3 に は、液状水が浸入した要素数と解析における時間 t の平 方根との関係を示す.図より、空隙径分布の違いによ り浸入挙動が大きく変化していることが確認できる. 図 4 には圧入解析の結果から求められた空隙径分布を 示す. MIP による一般的な実測結果と比較して、急な 勾配を有する結果となっているが、これは圧入過程に おける摩擦抵抗を無視したことが主原因であると考え られる.図 1 と比較すると、付与した空隙径分布と大



キーワード 水銀圧入法,パーコレーション解析,毛管張力,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 Be406 TEL 03-3452-6098 (ext. 58086)

-255-



図4 圧入解析から算出された空隙径分布

きく異なっており,特に case2 や case2 において,粗大 な空隙がほとんど捕捉されていないことが確認できる. 以上の結果は,圧入試験から実際の空隙径分布を予測 することが困難であることを示している.しかし,抵 抗の小さな空隙から順に侵入していくという点で,圧 入挙動と液状水の浸入挙動とは,メカニズム的に類似 していると考えられる.そこで次章では,圧入解析の 結果に基づいて液状水浸入挙動を予測する方法を検討 する.

# 4. 圧入解析の結果に基づく液状水浸入挙動の予測

以下のコンセプトに基づいて, 圧入解析の結果から 液状水の浸潤挙動の予測を行った. ①駆動力として毛 管張力,抵抗力として粘性摩擦が支配的である.②圧 入と浸潤は共に,抵抗の小さな空隙,すなわち粗大空 隙から生じる. ③空隙は図 5 の右上に示すように、入 口となる小径空隙とそれ以上の径を有する空隙群から 構成されるクラスターとして存在する. また図 5 に示 すように、各クラスターは入り口径 ri,長さ Li,断面積 Ai の直方体として単純化されるものとする. 圧入圧力 を換算して得られる空隙径は ri である. ④入り口径 ri が小さくなるにつれてクラスター中にも微細な空隙が 増えていくことから, r<sub>i</sub>を代表半径として用いる. ⑤各 クラスターの断面積 A<sub>i</sub>は総空隙量に依存し、同一モデ ル(供試体)内ではriによらず一定とする.これは、ク ラスターがある程度の範囲に存在する空隙の影響を包 含するためである.以上のコンセプトに基づくと、液 状水の浸入体積 V は以下の式で表される.

$$V = \Sigma L_i \cdot A_i = \Sigma L_i \cdot f(P_{total})$$
<sup>[2]</sup>

ただし  $L_i$ : 液状水が浸入したクラスターの長さ,  $P_{total}$ :総空隙量(解析では浸入可能要素数)である.本 検討では r が異なる要素への浸入挙動を検討するため, 式(1)と(2)を併せて以下のような増分形式にして用いた.  $\sqrt{T} \cdot \Delta V_i = \alpha \cdot f(P_{total}) \cdot \sqrt{r_i} \cdot \Delta T$ [3]





(図1の空隙分布に基づく)



ただし ΔV<sub>i</sub>: 各クラスター体積, r<sub>i</sub>: 各クラスターの 入り口径、すなわち圧入圧力から換算される空隙径で ある. また今回は簡単のため, α=1, f(P<sub>tolal</sub>)= P<sub>tolal</sub> とし ている.まず,解析で要素に与えた空隙径分布(図1) を用いて、式(3)から浸潤挙動を予測した結果を図6に 示す.図3に示した浸入解析の結果と比較して、検討 ケース同士の大小関係や挙動が大きく異なっているこ とが確認できる.一方,図7には圧入解析から算出さ れた空隙径分布(図4)を用いて浸潤挙動を予測した結 果を示す. 空隙径分布や浸透可能要素数, すなわち総 空隙量が異なるにも関わらず,図3における各ケース の大小関係が捉えられている.以上の結果は、コンク リート中の実際の空隙分布よりも、MIP により測定さ れる空隙構造と,液状水の浸潤挙動との間により直接 的な対応関係が存在することを数値解析的に確認した ものであると考えている.

### 5. まとめ

本検討では浸入挙動と水銀圧入法(MIP)の測定原理 との間に類似性が存在すると考え,MIPの測定結果か ら液状水の浸入挙動を予測する手法を検討した.今後 は実験による上記手法の妥当性の検証や,液状水浸潤 深さの予測手法の提案を行う予定である.

## 参考文献

1)N.R. Tas, et al., Applied Physics Letters 85, 2004