

内部欠陥を有するモルタルの透気性状に関する一考察

東京大学大学院 学生会員 塚原絵万
 国土交通省 総合技術政策研究センター 正会員 加藤佳孝
 東京大学 生産技術研究所 F 会員 魚本健人

1. はじめに

コンクリート中の欠陥が構造物の耐久性能の急速な低下を招く危険な因子であることは周知の事実である。しかし、欠陥を有するコンクリートの定量的な耐久性能評価は未だ確立されていない。本研究では基礎研究としてモルタルを対象とし、潜在的欠陥である遷移帯と外力による後天的内部欠陥(表面に現れないひび割れ)の有無を要因として透気試験を行い、その影響度および評価方法について検討を行った。

2. 実験概要

普通ポルトランドセメントおよび富士川産川砂を用いたモルタル試験体の水セメント比 W/C は 0.35, 0.50, 細骨材体積割合 V_s は 0.48 である。試験体としてブリケット供試体を用いた(図-1 左)。材齢 28 日まで水中養生を行った後、直接引張载荷により内部欠陥を付与した。直接引張試験の概要を図-1 に示す。直接引張では载荷時の偏心が問題となるが、これを防ぐために载荷治具とブリケット供試体との間にシリコングリースを塗布したテフロンシートを挟んだ。内部欠陥の付与は強度比(= 負荷荷重/引張強度)を 0.65 および 0.85 まで载荷することにより制御し、ひずみゲージ(検長 10mm)により除荷後の残留ひずみを測定した。除荷後、図-2 左に示すようにブリケット供試体の中央部分(治具接触部の間)を切り出して、これを透気試験体とした。試験体は湿度 50%, 40 および 65 の順にそれぞれの環境下で恒量となるまで乾燥し、これを絶乾状態として透気試験を行った。乾燥終了後、アクリル円板にシリコンゴムを用いて固定し(図-2 右)、透気試験装置に設置した。試験時の透気方向は試験体打設面から型枠下面である。流入空気中の二酸化炭素および水分は除去し、試験空気圧は 0.15N/mm^2 一定とした。透気係数は定常時の透過空気量から式(1)を用いて算出した¹⁾。

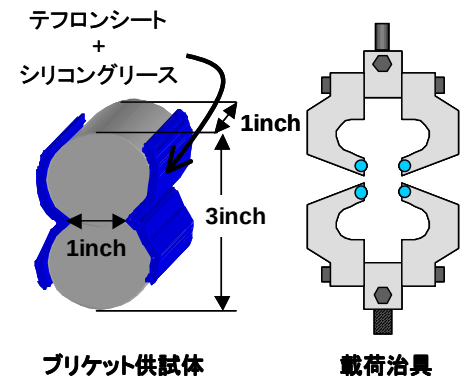


図-1 透気試験体概要

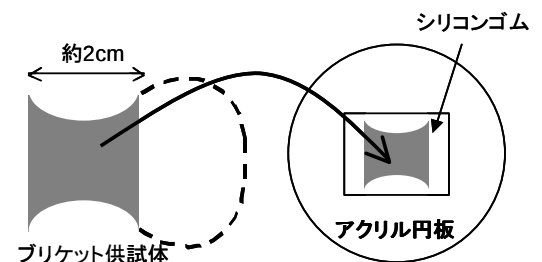


図-2 透気試験体概要

$$K = \frac{2LP_2\gamma_A}{P_1^2 - P_2^2} \frac{Q}{A} \quad (1)$$

ここに、K: 透気係数(cm/sec), L: 供試体厚さ(cm), P_1 : 载荷圧力(kgf/cm²), P_2 : 大気圧(kgf/cm²), γ_A : 空気単位体積重量($=1.205 \times 10^{-6}$ kgf/cm³), Q: 透気量(cc/sec), A: 透気面積(cm²)

3. 内部欠陥が透気性に及ぼす影響

通常、遷移帯は水セメント比 0.40 以上で存在するといわれている。モルタル中に遷移帯が存在する場合、ある骨材量以上から透気係数等の物質移動係数は大きくなり、それは遷移帯の連結性に起因することが既往の研究により示されている^{2), 3)}。本研究で用いた試験体 W/C=0.50 は、ほぼ全ての遷移帯が連結していると考えられる骨材量である²⁾ことをここに特記する。

図-3 に引張応力を付与したモルタル試験体の残留ひずみと透気係数比(無载荷時の透気係数 K_0 に対する割合)の関係を示す。残留ひずみは試験体の塑性変形量を表すと考え、応力の付与によりモルタルの透気係数は増加し、それは試験体の塑性変形分に依存することが分かる。つまり、塑性変形分が多いために内部欠陥が存在することが考えられる。また、その増加割合は W/C の違い、すなわち遷移帯の有無により異なることが考えられる。以上の実験

キーワード: 透気性, 内部欠陥, 遷移帯

〒153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1 東京大学生産技術研究所 Tel.03-5452-6098 (内線 58090)

結果より、遷移帯の有無および内部欠陥の程度がモルタルの透気性に及ぼす影響について、2次元格子状細管モデル⁴⁾により解析的に検討を行った。

解析における内部欠陥は、実験における残留ひずみによる欠陥程度の差を表現するために、ある接点を基点とする欠陥範囲を順に拡大することにより設定した。欠陥はセメントペースト(CP)および遷移帯(TZ)要素に発生するとし、解析における欠陥量の指標として欠陥面積 A_D を使用した。

$$A_D = n_{pd} A_d + n_{td} A_t \quad (2)$$

ここに A_d, A_t : 欠陥, TZ の断面積, n_{pd}, n_{td} : 欠陥に変化した CP, TZ の要素数
但し, A_d と実験における残留ひずみの関係は現段階では考慮していないため、欠陥量の指標については更なる検討が必要である。

図-4 に欠陥面積 A_d と透気係数比の解析結果を示す。実験結果(図-3)と同様、欠陥の発生に伴って透気係数は大きくなり、また遷移帯が存在しない場合の方が透気係数の増加割合は大きくなること分かる。これは粗な領域である遷移帯に欠陥が発生する場合と比較して、CP中に欠陥が発生する場合の方が、欠陥が見かけ(全体)の透気係数に大きく影響を及ぼすためと考えられる。以上の結果より、表面に現れない内部欠陥の危険性と、内部欠陥の存在による透気係数の増加に及ぼす配合的要因を定量的に示すことが出来たと考える。

4. 構成要素が透気係数計算値に及ぼす影響

本研究では解析モデルを CP・遷移帯・骨材の3要素により構成し、前述のような欠陥発生方法を用いて、内部欠陥が見かけの透気係数に及ぼす影響を検討した。しかし、簡単に1要素(モルタル)により内部欠陥を評価することは可能か、また欠陥表現方法は適切かという疑問が残る。そこで、遷移帯が存在する場合の内部欠陥と見かけの透気係数の関係について、3要素による構成、1要素による構成、また

3要素で欠陥がモデル内にランダムに発生する場合について計算を行った。なお、要素毎の透気係数および管径は同様であり、についてはモルタル透気係数を使用した。図-5 に計算結果を示す。実験結果(図-3)と比較すると、欠陥の増加に対する透気係数比の増加及び停滞は、において最も適切に表現されていることが分かる。これより、解析において内部欠陥は見かけの透気係数のみで表現することはできず、取り扱う欠陥レベルに応じて構成要素を細分化する必要があることを示すことが出来た。また、欠陥の表現については、モデル中の欠陥の進展を考慮する必要があると考えられる。

5. まとめ

- 1) 透気係数は試験体の塑性変形分の増加にともなって増加し、その割合は遷移帯の有無により異なる。
- 2) 取り扱う欠陥レベルに応じて解析構成要素を選択する必要がある。また、欠陥表現ではモデル中の欠陥の進展を考慮する必要がある。

参考文献 1) JCI 長期耐久性に関する研究委員会：コンクリートの試験・分析マニュアル 2) 加藤 他：遷移帯の特性に着目した硬化体の物質移動特性のモデル化，土木学会論文集，No.655/V-48(3) 石田 他：物質移動特性から見たコンクリートの微小空隙構造，土木学会第49 回年次学術講演会概要集 4) 塚原 他：欠陥を有するモルタル試験体の透気性に関する実験的考察，JCI 年次論文報告集（投稿中）

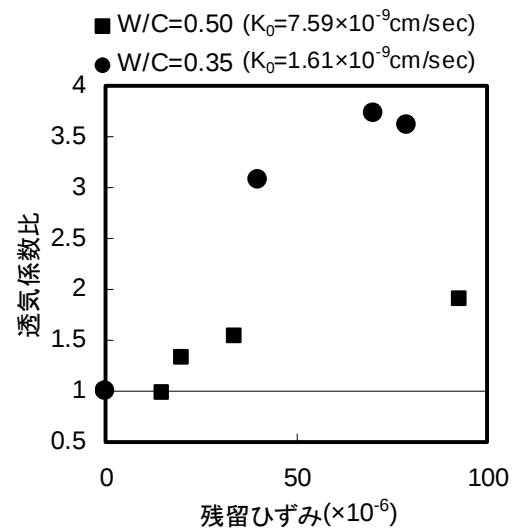


図-3 残留ひずみと透気係数比の関係

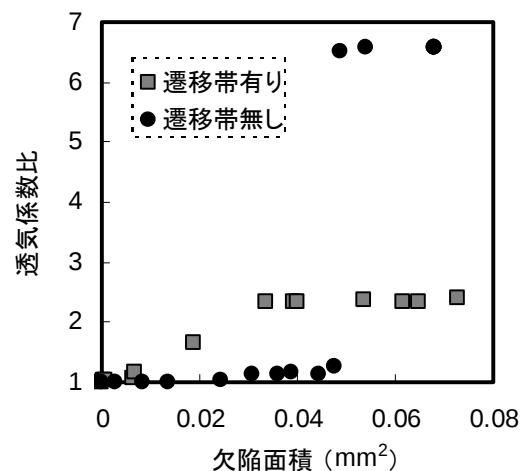


図-4 欠陥面積と透気係数比の関係

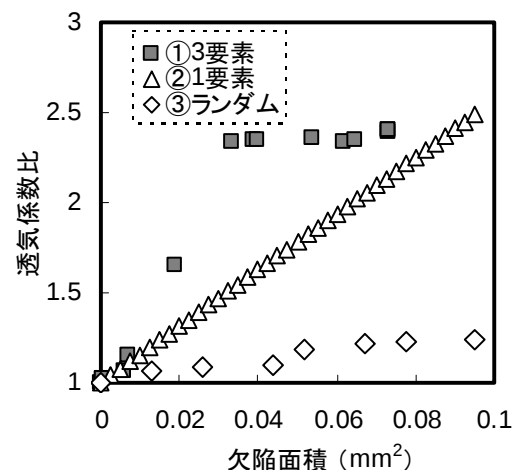


図-5 解析方法による計算値の違い