

水溶性高分子圧入法によるコンクリート空隙構造推定方法

Pore Structures in Concrete by Penetration Tests Using Macromolecule Solutions

安田 和 弘 渡 邊 賢 三 大 野 俊 夫
堺 孝 司¹⁾ 田 口 史 雄²⁾

1. はじめに

近年問題となっているコンクリート構造物の耐久性を阻害する塩害や炭酸化など多くの劣化現象は、コンクリート表面から劣化要因となる物質が浸透することによって引き起こされるため、耐久性評価の観点からはコンクリート表面近傍の物質透過性の照査が重要である。コンクリート中における物質移動の経路は空隙であり、現状では空隙構造を把握する試験として水銀圧入式空隙径分布測定が挙げられる。しかし、水銀圧入法は室内試験であり、現場における測定は不可能である。著者らはこれまで、現地に空隙構造が評価可能な試験方法として、低圧で水溶性高分子溶液をコンクリート中に圧入して、圧入前後の分子量分布の相違から空隙構造を推定する方法について検討を行い、この手法により空隙量を推定することが可能であることを明らかにしてきた^{1) 2)}。本報告では、高分子圧入法の現場適用性を検討することを目的に、高分子溶液透過量、水セメント比（以下 W/C）が及ぼす試験結果への影響を明らかにするとともに、透過した高分子溶液の分子量分布からコンクリートの空隙分布を推定する方法について室内試験にて検討を行った。

II. 水溶性高分子圧入法

1. 概 念

水溶性高分子圧入法の概念を Fig.1 に示す。水溶性高分子圧入法は、コンクリートの空隙による「ふるい効果」を用いて空隙構造を評価するものである。分子量の分布を持つ高分子溶液を、様々なサイズの空隙を有するコンクリートに圧入透過させることにより、各空隙径に相当するサイズの分子が選択的に吸着してふるい分けが生じる。この透過前後における高分子溶液の分子量分布を測定・比較することによって、コンクリートの空隙構造を把握しようとするものである。なお、今回の試験には水溶性高分子として、高アルカリ環境下にて安定で、電気的に中性であり、かつ工業的に安定した分子量分布が得られるポリエチレングリコール(以下 PEG)を使用した。

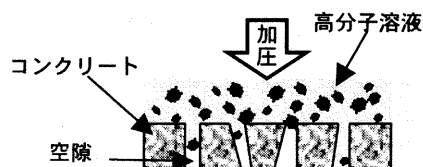


Fig.1 高分子溶液圧入法概念図

(Image of Penetration Test Using Macromolecular Solutions)

2. 室内実験

(1) 試験要因および試験方法

本報告における試験要因はコンクリートの W/C および PEG 水溶液透過量であり、各要因が及ぼす、透過した PEG 水溶液の分子量分布への影響について検討を行った。

PEG 透過試験は、金属製セルに円盤状に成形したコンクリート供試体（φ10×2 cm）をセットして、3.0N/mm²の圧力で PEG 水溶液を加圧した。試験に供したコンクリートの配合を Table 1 に、透過させた PEG 水溶液の特性を Table 2 にそれぞれ示す。また、透過した溶液の分子量分布をゲル浸透クロマトグラフィー（Gel Permeation Chromatography, 以下 GPC）にて測定した。

(2) 試験結果および考察

(a) コンクリートの初期物性

新しい手法である水溶性高分子圧入法の妥当性を検討するために、比較データとして水銀圧入法にて空隙構造を測定した。Fig.2 に水銀圧入式空隙径分布測定結果を示す。この結果から、W/C が大きくなると空隙量、空隙率、平均空隙径が大きくなる結果となっていることがわかる。いずれの W/C においても、分布の最大ピークは空隙径が 0.02~0.05 μm の範囲にあり、そのピークは、W/C が大きくなると空隙径が大きい側へシフトしている。

(b) PEG 溶液透過量の影響

高分子溶液をコンクリートに透過させた後の分布を評価するにあたり、まず透過した量による高分子分布の変化を検討した。W/C=70%における透過 PEG 溶液の分子量分布の変化を Fig.3 に示す。この図から、透過 PEG 溶液の分子量分布形状は、累積透過量により大きな変化がないことがわかる。分布は、分子量 2 万付近と 20 万付

Table 1 コンクリート配合
(Mix Proportions of Concrete)

No.	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	空気量 (%)	スランプ (cm)	単位量(kg/m ³)			
					W	C	S	G
1	40	41.0	4.5±1.5	8.0±2.5	168	420	705	1027
2	55	45.0			168	305	817	1010
3	70	47.0			168	240	879	1002

Table 2 PEG 水溶液分子量
(Properties of PEG Solution)

平均分子量	混合率
20,000	1:1:1(重量比) 水に対しそれぞれ0.00333wt% 全体で0.01wt%
500,000	
4,000,000	

本報は、日本コンクリート工学年次論文集 第 23 巻 第 1 号
(2001) pp.529-534 掲載論文の要約である。

キーワード：コンクリート、非破壊試験、耐久性評価
空隙構造、高分子、水銀圧入法

- 1) 香川大学工学部 教授
2) 北海道開発土木研究所 構造部 材料研究室室長

近にピークが見られ、各累積透過量におけるピークの位置(分子量)と高さ(含有率)を整理すると、ピーク位置、高さともに透過量が増加してもほとんど変化していないことがわかる。よって、透過量が30g程度以上であれば、評価上問題のない溶液が採取可能であると考えられる。

(c) W/Cの影響

Fig.4に各W/CにおけるPEG溶液透過前後の分子量分布を示す。なお、W/C=40%においては溶液が透過せず、透過後の分子量分布を測定することができなかった。この図から、各W/Cにおいてピークが二つ認められるが、W/Cによって分子量が大きい側のピーク位置、および分子量が小さい側のピークの高さが異なっていることがわかる。W/Cが小さくなると、分子量が大きい側のピーク位置は分子量が小さい側へシフトし、分子量が小さい側のピーク高さは、大きくなっている。W/Cが小さくなると空隙径も小さくなるため、分子量が大きいものが透過し難くなり、その結果分布が小さい側にシフトして、分子量が大きい側の含有率が相対的に小さくなったものと考えられる。

III. 分子量分布に基づく空隙径分布の評価

コンクリート透過前後のPEGの分子量分布を測定、比較することで、コンクリートの空隙構造を把握できる可能性があることが検討結果から分かった。PEG試験結果と空隙構造および耐久性を結びつけるには、PEG試験結果から空隙径分布へと変換する必要がある。そこで、PEGの実長を求めることで、PEG分子量分布から空隙径分布に変換する手法について検討した。

第一に、PEGの分子構造と結合長さおよび分子量からPEGの実長を計算した。PEGはエーテル結合を多数持った長鎖の二価アルコールであり、その分子式は $\text{HO}(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{O})_n\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$ で表される³⁾。各原子間の結合距離はC-Cの場合で0.1393nm、C-Oの場合で0.1162nmとなるので、PEG1分子あたりの結合長さは $0.1162[\text{C-O}] \times 2 + 0.1393[\text{C-C}] = 0.3717\text{nm}$ となる⁴⁾。第二に、動的光散乱法によりPEG実長と濃度分布を測定した。GPCで測定した分子量分布と濃度分布の関係からPEG実長と分子量分布の関係を出した。二つの検討結果をFig.5に示す。この関係とPEG透過前後の分布の相違から、コンクリートに吸着される分子数すなわち吸着される分子径、さらにはコンクリートの空隙径が推測可能となる。

IV. まとめ

今回の試験より以下の知見が得られた。本試験の検討範囲では、透過量が30g以上であれば透過後のPEGの分子量分布はほとんど変化しない。W/Cによって透過後のPEGの分子量分布は異なり、水セメント比が小さくなると分子量の大きい部分が減少して、分布のピークは分子量が小さい側へシフトする。PEG粒径と分子量の関係推定する手法を考案し、空隙構造の評価が可能であることを明らかにした。

参考文献

- 1) 古澤 靖彦ら；水溶性高分子圧入法による空隙構造推定に関する基礎的実験、土木学会第54回年次講演会、V-35、(1999)、pp.68-69.
- 2) 渡邊 賢三ら；高分子溶液圧入法によるコンクリートの空隙構造推定について、構造物の診断と補修に関する第11回技術・研究発表論文集、(1999)、pp.20-25.

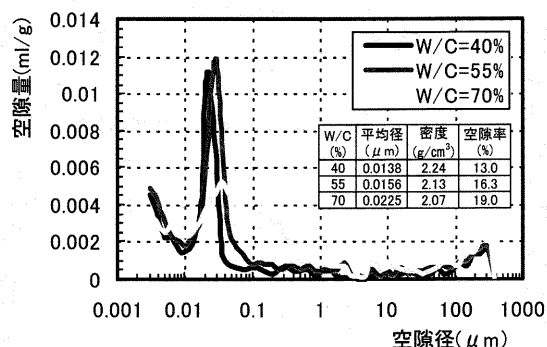


Fig.2 水銀圧入法試験結果

(Test Result of pore structure by Mercury Penetration Method)

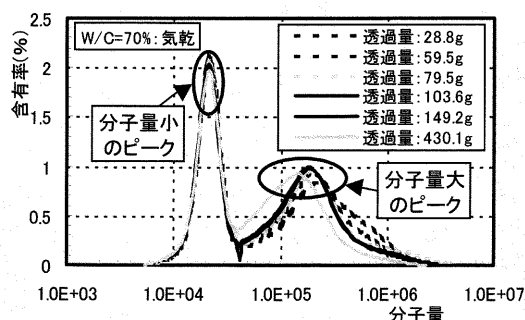


Fig.3 PEG透過量が及ぼす分子量分布への影響

(The Effect of Amount of Penetrated PEG Solution)

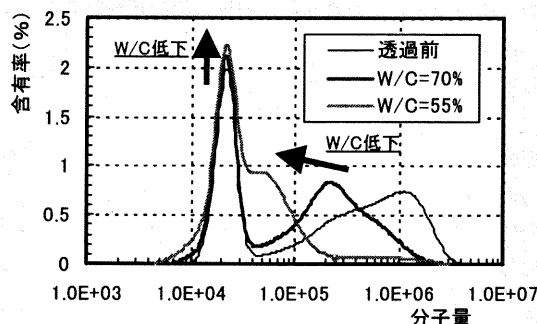


Fig.4 W/Cが及ぼす分子量分布への影響

(The Effect of W/C of Concrete)

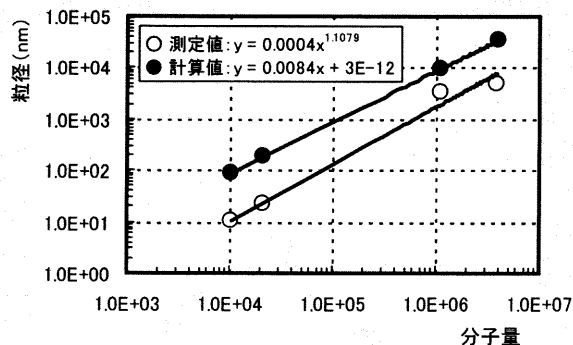


Fig.5 PEG分子量と粒径の関係

(The Relation between Molecule and Length of PEG)

- 3) 藤本 武彦；高分子薬剤入門、三洋化成工業株式会社、1992.11.
- 4) M.J.Moore (藤代 亮一訳)；物理化学(第4版)、東京化学同人、1988.