

ポーラスコンクリートの骨材と結合材との界面部分における破壊状況の観察

東北学院大学工学部 正会員 ○大友 鉄平
東北学院大学工学部 フェロー 大塚 浩司
東北学院大学工学部 正会員 武田 三弘

1. はじめに

近年ポーラスコンクリート(以下PoCと記す)は、環境負荷低減型および生物共生型のコンクリートとして積極的に利用されている。しかしながら、PoCは多くの空隙を有する構造上、一般のコンクリートに比べて強度や耐久性の低く、脆性的であることが懸念されている。とくに凍結融解作用に対しては、空隙内に水が容易に浸入するために脆弱な構造になっている。

本研究室では、これまで、一般のPoCよりも強度および耐久性(耐凍害性)が向上した新しい補強PoCの作製に成功している。しかしながら、土木学会や建築学会が規定している耐凍害性の判断基準に到達できていない。また、PoCの構造で最も脆弱な界面箇所における凍結融解時の破壊性状を明らかにしていない。今後さらなる高強度および高耐久性を有するPoCを作製するためには、上記の問題を解決しなければならない。そこで本研究は、セメントにシリカフュームを置換し、同時に繊維を混入した補強PoCを作製して凍結融解実験をおこない、PoCの骨材と結合材との界面部分に発生するひび割れの微視的観察および定量化をおこない、普通PoCと補強PoCとの比較結果から破壊性状を明らかにすることを目的として実験をおこなったものである。

2. 実験概要

2.1 使用材料および実験供試体について

セメントは、早強ポルトランドセメントを使用し、骨材は、粒径の異なる2種類(5〜10mm:Gmax10mm および 10〜20mm:Gmax20mm)を使用した。混和材はシリカフュームを使用し、補強PoCのセメント量に対して30%置換した。また繊維は、ポリビニルアルコールを使用した。この繊維は微細な短繊維であり、補強PoCに対して混入した。繊維の混入率は、0.5(以下F0.5)、1.0(以下F1.0)および1.5(以下F1.5)Vol%とし、PoCの単位容積比に対して設定した。なお、繊維は、練混ぜ前にエアーコンプレッサを用いて分散させた後に使用した。また、PoCの施工性を考慮して高性能AE減水剤を使用し、添加量をセメント質量比の1%とした。PoCの配合は表-1に示す。実験に使用した供試体は、走査型電子顕微鏡による微視的観察用として、PoC供試体(φ50mm×10mm)と結合材供試体(φ50mm×10mm)を、X線透過実験として、結合材供試体(φ100mm×10mm)を用いた。なお、微視的観察用の供試体は、観察する一面以外をコーティングし、側面から凍結融解の影響が及ばないように考慮している。

2.2 各凍結融解実験およびその評価方法について

PoC供試体を用いた凍結融解試験は、JISA1148A法に準じた一面水中凍結水中融解とし、10サイクル毎に走査型電子顕微鏡によるひび割れの観察とその定量化をおこなった。なお、観察箇所は、PoCの構造上最も脆弱な箇所と思われる骨材と結合材との界面部分とし、撮影範囲を5mm×5mmとした。撮影画像は9枚の画像を繋ぎ合わせて一枚とし、その画像の中から幅7〜8μm以上のひび割れを抽出してその長さ幅を測定し、普通PoCと補強PoCとの比較をおこなった。また、本研究では、結合材自体の耐凍害性を評価するために、結合材供試体を作製し、X線造影撮影法による透過線変化量の測定と走査型電子顕微鏡によるひび割れの観察とその定量化をおこなった。X線造影撮影法は、JISA1148A法に準じた全面水中凍結水中融解後に、造影剤に60分間浸透させて撮影をおこない、得られた透過線変化量から普通PoCと補強PoCとの比較をおこなった。また、ひび割れの観察とその定量化については、サイクル毎に微視的観察をおこない、PoC供試体の凍結融解実験と同様の評価をおこなっている。

表-1 PoCの配合

Gmax (mm)	W/C (%)	P/G (%)	単位量 (kg/m ³)			シリカ フューム S (%)	繊維 F (vol%)
			W	C	G		
10	30	30.9	88	294.5	1551	30	0.5, 1.0, 1.5
20		31.2					0.5, 1.0, 1.5

キーワード 補強ポーラスコンクリート、繊維、シリカフューム、走査型電子顕微鏡

連絡先 〒985-8537 宮城県多賀城市中央1-13-1 TEL 022-368-1115 FAX 022-368-1116

3. 実験結果および考察

図-1 は、凍結融解 100 サイクル後に撮影した普通 PoC 供試体 ($G_{max}10mm$) の画像であり、倍率は 35 倍である。普通 PoC 供試体では、骨材と結合材との界面部分からひび割れが発生し、その後、累積・連結して結合材ひび割れに進展した。また、そのひび割れから、結合材の剥離が多くの箇所で見られた。図-2 は、凍結融解 100 サイクル後に撮影した補強 PoC 供試体 ($G_{max}10mm$) の画像であり、倍率は 35 倍である。繊維の混入率は 1.5Vol% である。補強 PoC では、ひび割れの発生が普通 PoC と同様に骨材と結合材との界面部分から発生するものの、その後ひび割れは結合材へ進展せず、界面部分で留まる傾向がみられた。したがって、PoC を補強することによって、脆弱な界面および結合材が補強され、結果として、ひび割れの発生とその進展を抑制できることが確認できた。また、 $G_{max}20mm$ の普通および補強 PoC 供試体のひび割れ性状は、 $G_{max}10mm$ の供試体と同様の傾向であった。図-3 は、上記ひび割れ長さを測定し、累積した結果である。初期段階でひび割れ長さは、普通 PoC がいずれの補強 PoC よりも長い結果が得られ、最大で 18 倍であり、100 サイクル時において、最大で 1.7 倍であった。したがって、ひび割れの定量化からも補強がひび割れ発生や進展の抑制に与える効果があると考えられる。また、繊維混入量の差は、混入量が多いものほど、ひび割れの抑制効果がみられた。

結合材自体の耐凍害性として、X 線造影撮影法による透過線変化量の測定では、普通 PoC において 50 サイクルまで透過線変化量が増加するが、60 サイクル時点で供試体が凍結融解によって破壊した。一方、補強 PoC では、サイクルが進行しても供試体は破壊せず、また、透過線変化量が大きく増加しないことから、普通 PoC に比べ凍結融解作用による劣化が進行しないと考えられる。また、ひび割れ長さの測定では、普通 PoC が補強 PoC に比べて長い結果となった。このことから、補強の効果は PoC の界面部分ばかりでなく、結合材自体の補強にも効果を与えることがわかった。したがって繊維の混入による PoC の補強は、ひび割れ抑制の橋渡し効果があると考えられる。また、100 サイクル時点では、補強量の差が確認できなかった。

結合材自体の耐凍害性として、X 線造影撮影法による透過線変化量の測定では、普通 PoC において 50 サイクルまで透過線変化量が増加するが、60 サイクル時点で供試体が凍結融解によって破壊した。一方、補強 PoC では、サイクルが進行しても供試体は破壊せず、また、透過線変化量が大きく増加しないことから、普通 PoC に比べ凍結融解作用による劣化が進行しないと考えられる。また、ひび割れ長さの測定では、普通 PoC が補強 PoC に比べて長い結果となった。このことから、補強の効果は PoC の界面部分ばかりでなく、結合材自体の補強にも効果を与えることがわかった。したがって繊維の混入による PoC の補強は、ひび割れ抑制の橋渡し効果があると考えられる。また、100 サイクル時点では、補強量の差が確認できなかった。

4. まとめ

(1) 普通 PoC に発生するひび割れは、骨材と結合材との界面部分から発生し、その後、結合材に進展して骨材や結合材の剥離が生じることが確認できた。一方、補強 PoC では普通 PoC のようなひび割れの進展が確認できなかった。したがって、補強は PoC の脆性改善に与える効果があると考えられる。

(2) PoC 供試体に発生したひび割れ長さは、初期および 100 サイクルの段階において、普通 PoC に比べて補強 PoC が短かった。また、補強量が多いものほど、その結果は顕著であった。したがって、補強することは、最も脆弱な界面部分および結合材に発生するひび割れの累積・連結を抑制することがわかった。

(3) 結合材供試体の透過線変化量の測定では、普通 PoC において 50 サイクルまで透過線変化量が増加するが、60 サイクルで供試体が破壊した。一方、補強 PoC では、サイクルが進行しても供試体が破壊せず、また透過線変化量が大きく増加しないことから、凍結融解による劣化が普通 PoC と比べ、進行しないと考えられる。さらに、結合材表面に発生したひび割れの長さは、普通 PoC に比べて補強 PoC が少なかった。したがって、補強は、結合材自体にも耐凍害性の向上効果を与えると考えられる。

【謝辞】本研究の遂行にあたり、平成 21 年度東北学院大学工学部環境建設工学科 4 年生の堀籠晃司氏および同 4 年生の長谷川晶一氏にはご協力をいただいた。ここに付記して、感謝の意を表します。

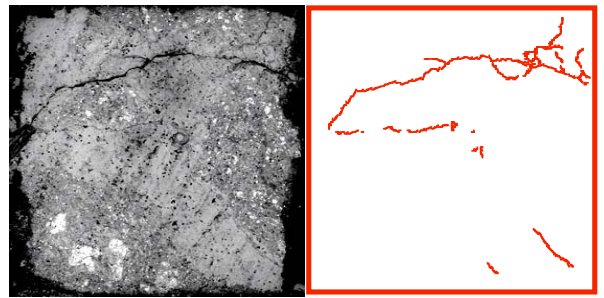


図-1 普通 PoC 供試体の画像の一例 ($G_{max}10mm$)

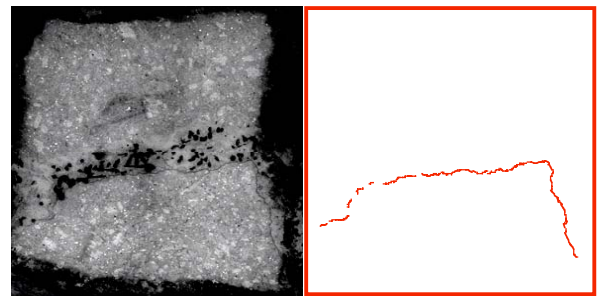


図-2 補強 PoC 供試体の画像の一例 ($G_{max}10mm$)

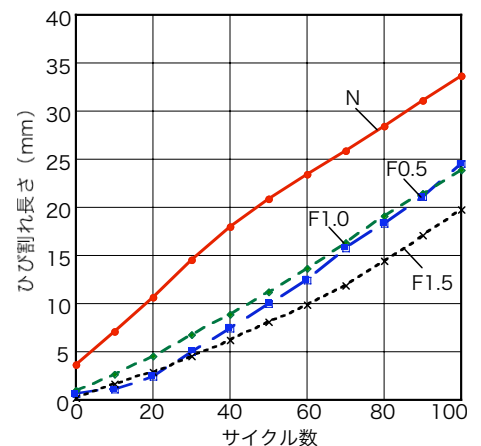


図-3 PoC 供試体のひび割れ長さ ($G_{max}10mm$)