凍結融解を受けた繊維補強コンクリートの曲げ載荷試験

東北大学大学院　正会員　○内藤英樹　松井証券(株)　林　弘
東北大学大学院　フェロー　鈴木基行　東北大学大学院　学生会員　齊木佑介
(独)鉄道建設・運輸施設整備支援機構　正会員　山洞晃一　(株)オリエンタルコンサルタンツ　正会員　古賀秀幸

1. はじめに

近年，高架橋と道路の跨道部やトンネル坑口部など，コンクリート片の落下を防止すべき箇所に対して，ポリプロピレン繊維を混入する施工例が報告されている．一方，著者ら[1)]は，繰り返し凍結融解作用下においてコンクリートのひび割れ部に水が浸入すると，凍結融解抵抗性に優れるコンクリートであっても，ひび割れ内部の水の凍結膨張圧によってひび割れが進展し，コンクリート片の落下が引き起こされる可能性があることを示した．ポリプロピレン繊維は，ハンマーの打撃に対するコンクリート片の落下防止効果が確認されており，すでに寒冷地においても多くの施工例が報告されているが，繰返し凍結融解作用に伴うひび割れやコンクリート片の落下に対する有用性を検討した例は著者らが知る限りない．そこで，本研究は，ポリプロピレン繊維を用いた繊維補強コンクリートの凍結融解試験により，凍結融解作用に伴うひび割れ進展性状を把握し，コンクリート片の落下防止効果を検討する．

表－1　示方配合

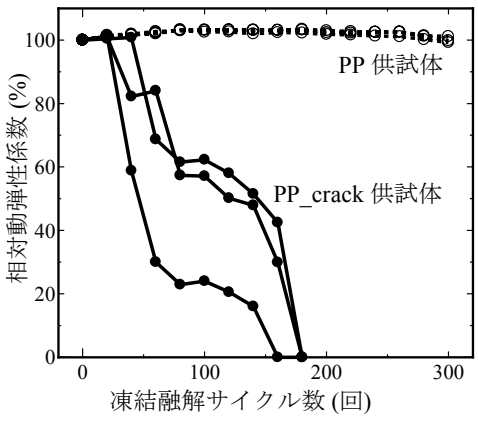
W/C	*s/a*	G_{max}	単位量 (kg/m^3)				AE 剤 (ml)
			W	C	S	G	
51%	50.7%	25	173	339	875	889	2.37

2. 凍結融解試験

初期ひび割れのない PP 供試体および初期ひび割れを導入した PP_crack 供試体の 2 種類を検討する．使用したポリプロピレン繊維は，引張強度 500N/mm^2，繊維長 48mm，直径 680μm であり，直線型エンボス加工が施されている．供試体形状は 100×100×400mm の角柱供試体とし，中央部に深さ 30mm の切り欠きを導入した[1)]．供試体はシリーズ毎に 3 体ずつ作製し，水中凍結融解試験を行った．**表－1** の示方配合に対してポリプロピレン繊維を体積混入率 0.5%とした．

写真－1　PP_crack の損傷状況 (300 サイクル)

供試体の損傷状況を**写真－1**，相対動弾性係数の変化を**図－1** に示す．初期ひび割れを有する PP_crack では，ひび割れの進展に伴って相対動弾性係数が著しく低下し，最終的にはひび割れが供試体を貫通した．しかし，ひび割れ貫通後も 300 サイクルまで凍結融解作用を与えたが，それでも繊維の架橋が保たれており，ひび割れ断面には供試体の自重を上回る引抜抵抗力を有していた．



図－1　相対動弾性係数

3. 凍結融解を受けたポリプロピレン繊維の引抜特性

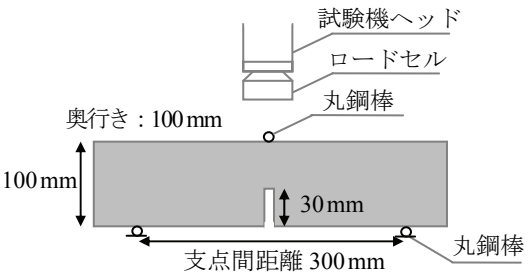
(1) 曲げ載荷実験

凍結融解を受けたポリプロピレン繊維の引抜特性を確認するために，凍結融解試験後の供試体の曲げ載荷試験を行った．3 点曲げ載荷試験の概略図を**図－2** に示す．曲げ載荷試験は，ひび割れが貫通し，その後 300 サイクルまで凍結融解を与えた 3 体の PP_crack 供試

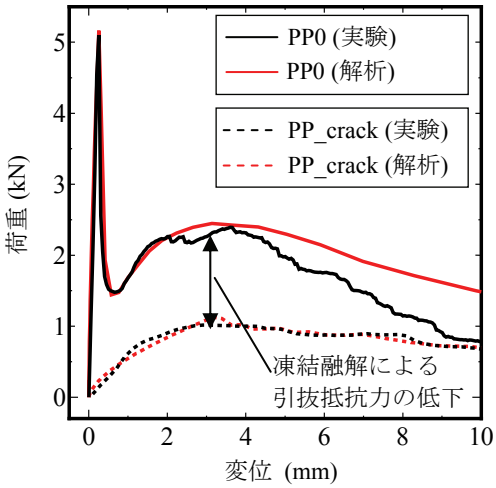
Key Words：凍結融解試験，繊維補強コンクリート，ポリプロピレン繊維，繊維の引抜特性
連絡先：〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06　TEL：022 (795) 7449　FAX：022 (795) 7448

体に加えて,別途保管していた2体の健全状態の供試体 (以下, PP0) を用いた．なお，曲げ試験の際には，PP0 供試体にも深さ 30mm の切り欠きを導入した．

PP0 および PP_crack 供試体の荷重－変位関係の一例を**図－3** に示す．PP0 供試体では，最大荷重直後に急激な荷重低下を示し，その後に変位の増大とともに繊維の架橋効果が発揮されて荷重が回復し，変位 2～4mm 付近 (以下，第 2 ピーク点) で再び荷重が低下した．ポリプロピレン繊維では，引抜変位が 1.5～3mm 程度になると最大引抜抵抗力を発揮することが報告されており[2)]，このような繊維の引抜特性を勘案すると，繊維長の長いポリプロピレン繊維を用いれば凍結融解に伴う大きなひび割れ開口に対しても繊維の架橋が追従できると考えられる．300 サイクルの凍結融解を与えた PP_crack 供試体では，すでにひび割れが貫通しているためにコンクリートの引張力は得られない．また，健全供試体 PP0 と比較しても繊維の引抜抵抗力が発揮される第 2 ピークの荷重が低下した．試験後のひび割れ断面の観察において，PP0 供試体では 41%の繊維が破断したが，PP_crack 供試体ではわずか 13%の繊維しか破断していなかった．このことから，凍結融解により繊維－コンクリート間の付着力が低下したと考えられる．



図－2 3 点曲げ載荷試験の概略図



図－3 荷重－変位関係

(2) 繊維の引抜特性の評価

繊維の引抜特性を考慮した断面の釣合計算[3)]を用いて曲げ載荷試験の荷重－変位関係を再現することにより，繊維の引抜抵抗曲線を同定する．なお，この解析モデルを使用するため，曲げ載荷試験後のひび割れ断面から，繊維の位置・本数・繊維方向角・埋め込み長さを計測している．

図－3 に実験結果と解析結果の比較の一例を示す．これらの解析結果は，第 2 ピーク点が一致するよう繊維の最大引抜抵抗力を仮定している．これらの検討より，健全状態の繊維の最大引抜抵抗力が 180N であるのに対して，凍結融解を受けた繊維の最大引抜抵抗力は 125N に低下した．

以上より，ひび割れ断面に凍結融解が作用すると繊維の引抜抵抗力が低下することが示された．一方，本検討で用いたポリプロピレン繊維は，凍結融解により付着劣化しても 125N の引抜抵抗力を保持することが示された．これは繊維 1 本で 12kg 程度のコンクリート片の自重に耐えることを示しており，コンクリート片の落下防止対策としては十分な引抜抵抗力を有していると考えられる．

4. まとめ

初期ひび割れを有する繊維補強コンクリートの凍結融解試験を行った．その結果，ポリプロピレン繊維では凍結融解によるひび割れ進展を効果的に防ぐことはできなかったが，ひび割れが開口しても繊維の架橋が追従していた．さらに，曲げ載荷試験を行った結果，健全状態の繊維の引抜抵抗力 (180N) が凍結融解作用により約 70% (125N) まで低下することを確認した．

参考文献

1) 内藤英樹，山洞晃一，古賀秀幸，鈴木基之：初期ひび割れを有する繊維補強コンクリートの凍結融解抵抗性，コンクリート工学年次論文集，Vol.31，No.1，pp.1135-1140，2009． 2) 宮崎晋行，大久保誠介，福井勝則：コンクリート補強用 PET 繊維とポリプロピレン繊維の引抜特性，資源と素材，Vol.121，pp363-369，2005． 3) Hugo S.A and Nemkumar B: Predicting the Flexural Postcracking Performance of Steel Fiber Reinforced Concrete from Pullout of Single Fibers, *ACI Materials Journal*, Vol.94, No.1, pp18-31, 1997.