

中国産高品質軽量骨材を用いたコンクリートにおける短繊維補強効果

東京工業大学大学院 学生員 大滝 晶生

東京工業大学大学院 正会員 河野 克哉

東京工業大学大学院 フェロー 二羽淳一郎

1. はじめに

最近、開発された中国製の高品質人工軽量骨材(以下、NL)は、内部組織が独立空隙によって形成されているため、従来の膨張頁岩を主原料とした非造粒型の軽量骨材よりもきわめて吸水率が低く、骨材強度が高いという特徴がある。そのため低水セメント比とした場合に十分な強度発現性を示し、軽量コンクリートの高強度化ならびに高耐久化が可能になると考えられる。しかし、その一方で、高強度化にともなう脆性的破壊挙動ならびに自己収縮の増大が問題となる。これらを改善する目的で、合成繊維を混入し、NLを用いた低水セメント比コンクリートの破壊力学特性および自己収縮特性に与える短繊維の効果を検討した。また、NLを用いた RC はり部材の載荷試験を行い、コンクリート要素における改善効果がり部材のせん断特性に与える影響について評価した。

2. 試験方法

(1) 材料・配合：本研究では、粗骨材にNL(絶乾密度 1.11kg/l, 24 時間吸水率 1.95%)を、短繊維に軽量性がある合成繊維として、ポリプロピレン繊維(波型, 引張強度 465MPa, 弾性係数 15GPa, 以下, PP)およびビニロン繊維(直線型, 引張強度 861MPa, 弾性係数 23GPa, 以下, PVA)を用いた。また、セメントには早強セメントを、細骨材には小櫃産陸砂を用いた。配合は、単位水量(175kg/m³)および単位セメント量(583kg/m³)を一定とし、W/C=30%とした。なお、配合の種類は、短繊維を混入しない配合を NF とし、短繊維を混入した配合では使用繊維の種類の略号とその混入量で表した。粗骨材を煮沸して高含水状態(5.59%)とした NL を用いた

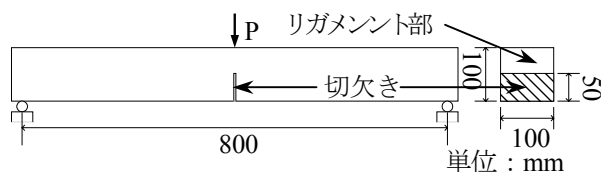


図1 RILEMの3点曲げ試験の概要図

配合ではBを付記した。例えば、高含水状態のNLを使用してPP繊維を3.0%混入した配合は、PP30Bとして表した。

(2) 試験方法：

a) 破壊力学特性：図1に示すRILEM推奨の切欠きはりの3点曲げ試験を行い、荷重－変位曲線下の面積 W_0 より、破壊エネルギー $G_F=(W_0+mg\delta_0)/A_{lig}$ (m ：供試体質量, δ_0 ：終局時の供試体変位, A_{lig} ：リガメント部面積)を算出した。なお、破壊エネルギーは、圧縮強度の影響を考慮して $G_{F0}=G_F/(f'_c/f_{cm0})^{0.7}$ (f'_c ：コンクリートの圧縮強度(MPa), f_{cm0} ：定数(10MPa))とし、圧縮強度の影響を考慮した基本値 G_{F0} で評価した。また、荷重－変位曲線から、仮想ひび割れモデルを組み込んだFEMを用いて引張軟化曲線を推定した¹⁾。

b) 自己収縮特性：NLコンクリートの自己収縮ひずみを、JCI自己収縮委員会が提案する試験方法²⁾に準じて測定した。

c) RCはりのせん断特性：NF, PP30 および NFB の3体のRCはり供試体を図2のようにいずれも $a/d=3.5$, スターラップ無配筋として作製した。また、はりのせん断耐力は、実験により求めた値と算定式³⁾ $V_c=0.2f'_c{}^{1/3}p_w^{1/3}(10^3/d)^{1/4}(0.75+1.4d/a)b_wd$ (p_w ：軸方向鉄筋比(%), a ：せん断スパン, d ：有効高さ(mm), b_w ：幅)により求めた値を比較検討した。

3. 試験結果および考察

(1) 破壊力学特性：図3に G_{F0} と短繊維混入率の関係を示す。図より、いずれの短繊維も混入率の増加にともない G_{F0} はPP繊維よりもPVA繊維の方が大きくな

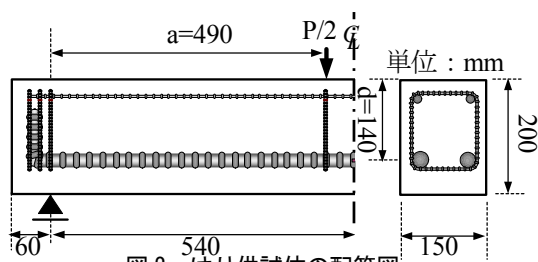


図2 はり供試体の配筋図

キーワード：高品質軽量骨材, 短繊維, 破壊エネルギー, 引張軟化曲線, 自己収縮

連絡先：〒152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1 TEL03-5734-2584 FAX03-5734-3577

った。図4に引張軟化曲線を示す。短繊維無混入のNFでは、急激に軟化応力が減少し、ひび割れ幅0.15mm程度で破壊したのに対し、短繊維を混入した場合は、一時的に軟化応力が低下した後、結合応力が増加してそのまま維持される傾向が見られた。これは、ひび割れ幅が0.15mm以上になっても、ひび割れ面に架橋した短繊維により、応力の伝達が可能となるためである。したがって、NLを用いたコンクリートは短繊維を混入することにより、破壊力学特性を大幅に改善でき、その効果はPP繊維よりも繊維自体の引張強度や弾性係数などの力学的性質に優れるPVA繊維の方が大きいことがわかった。

(2) 自己収縮特性：図5に示すように、短繊維無混入のNLコンクリートには大きな自己収縮ひずみが生じた。しかし、短繊維を混入すると、その混入率の増加とともに自己収縮は低減し、その低減効果はPVA繊維を用いた場合よりもPP繊維を用いた場合の方が大きく、NFに比べて材齢28日で約 100×10^{-6} の低減が確認された。これは、自己収縮には繊維の力学的性質ではなく、繊維の形状など幾何学的性質に起因した微視的な拘束効果が影響するためではないと思われる。また、図6に示すように短繊維の有無にかかわらず、高含水状態のNLを用いたNFBおよびPP30Bでは、骨材中の豊富な水分がペースト部に供給されて自己乾燥を抑制するため、NFおよびPP30に比べて自己収縮が小さくなる。PP30Bでは、短繊維による微視的拘束効果とNLの水分による自己乾燥抑制効果の重ね合せで、自己収縮の低減に寄与している。

(3) RCはりのせん断特性：表1に示すように、NFのせん断耐力の実験値は計算値と比較して4割ほど小さい値となった。しかし、短繊維を混入したPP30では実験値が計算値を3割ほど上回り、短繊維の架橋効果が部材レベルにおいても期待できることがわかった。また、NLを煮沸して高含水状態としたNFBのせん断耐力の実験値は、NFに比べて約2割増加した。これは骨材中の含水により自己収縮が小さくなったことに起因し、せん断耐力が向上したものと考えられる。また、図7のRCはりの荷重-たわみ曲線に示すように、PP30は他の2つの供試体に比べて優れた変形性能を示す。

4. 結論

(1)NLを用いたコンクリートは、短繊維を混入することにより破壊力学特性を大幅に改善できる。破壊力

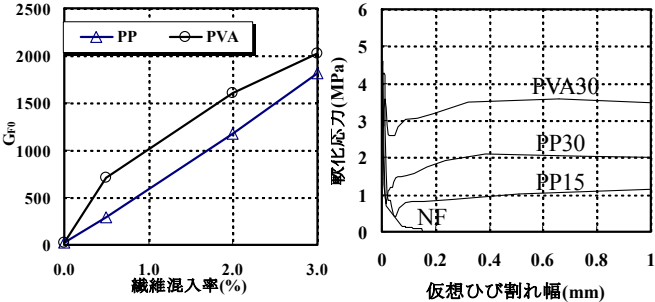


図3 G_{F0}と繊維混入率の関係

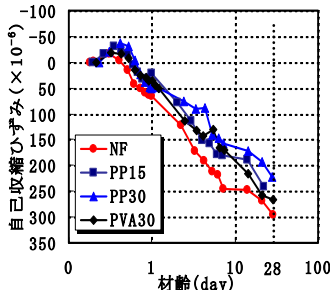


図5 短繊維混入

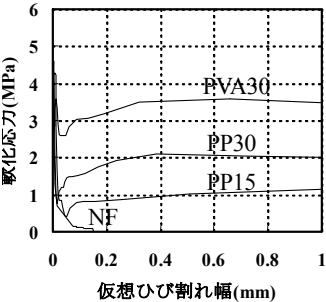


図4 引張軟化曲線

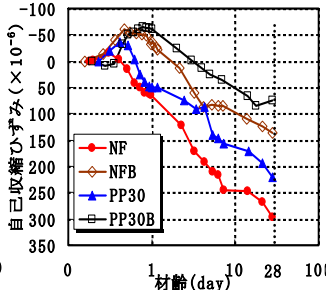


図6 骨材含水率の影響

表1 RCはりの荷重試験結果(せん断耐力)

配合名	圧縮強度	曲げひび割れ発生荷重	実験値	計算値	P_u/P_{cd}
	f'_c (MPa)	P_{cr} (kN)	P_u (kN)	$P_{cal}(kN)=2 \times V_c$	
NF	51.3	103	534	843	63.4
PP30	55.1	114	1119	840	133.2
NFB	58.9	100	637	859	74.1

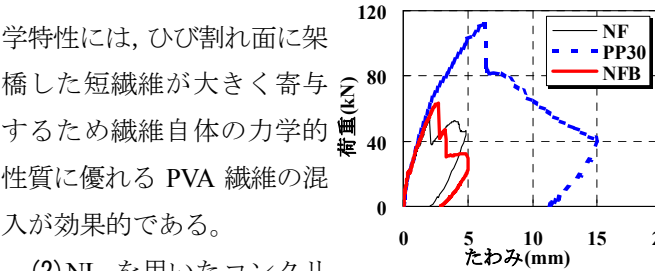


図7 荷重-たわみ曲線

学特性には、ひび割れ面に架橋した短繊維が大きく寄与するため繊維自体の力学的性質に優れるPVA繊維の混入が効果的である。

(2)NLを用いたコンクリートの自己収縮は、短繊維を混入することにより低減できる。自己収縮の低減には波型形状を有するPP繊維が効果的であることから、自己収縮の低減としては繊維の形状などの幾何学的性質が影響していると推測される。

(3)NLを用いたRCはりのせん断特性は、短繊維を混入することにより大幅に改善できる。また、NLを低含水状態で用いた場合には自己収縮の影響によりコンクリート自体に引張応力が生じており、RCはりのせん断耐力が低下する。

参考文献：1)栗原哲彦ほか：多直線近似法による引張軟化曲線の推定と短繊維補強コンクリートの曲げ破壊性状，土木学会論文集，No.532/V-30，pp.119-129，1996.2)日本コンクリート工学協会：コンクリートの自己収縮研究委員会報告書，2002.9 3)二羽淳一郎ほか：せん断補強筋を用いないRCはりのせん断強度式の再評価，土木学会論文集，No.372/V-5，pp.167-176，1986.8