

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 21 日現在

機関番号：32665

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26420562

研究課題名(和文) ビニロン繊維で補強した低品質再生骨材コンクリート梁部材の付着割裂強度に関する研究

研究課題名(英文) A Study on the Bond Splitting Strength of Low Quality Recycled Aggregate Concrete Beams reinforce with Vinylon Fiber

研究代表者

師橋 憲貴 (MOROHASHI, Noritaka)

日本大学・生産工学部・教授

研究者番号：90220110

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、ビニロン繊維が添加された低品質再生骨材コンクリートを用いた梁部材の付着割裂強度について検討を行ったものである。結果として、主筋長期許容応力度時の最大曲げひび割れ幅の大きさは過大な値は認められず低品質再生骨材コンクリートを用いた問題は見出せなかった。また付着割裂強度は低品質再生骨材コンクリートおよび普通コンクリートを用いたシリーズの差異は認められなかった。普通コンクリートとの比較から低品質再生骨材コンクリートの構造用コンクリートとしての有効利用の可能性を明らかとした。

研究成果の概要(英文)：The bond splitting strength of low quality recycled aggregate concrete beams using vinylon fiber were studied. Compared with the case of normal aggregate concrete, the above-recycled concrete beams with vinylon fiber showed equivalent flexural cracking pattern under service loading, values of bond splitting strength at lap splices. This suggests that low quality recycled aggregate concrete could be used as a structural concrete material.

研究分野：建築構造学，鉄筋コンクリート構造，建設廃棄物利用，リサイクル工学

キーワード：低品質再生骨材コンクリート 付着割裂強度 ビニロン繊維 曲げひび割れ幅 乾燥収縮 重ね継手

1. 研究開始当初の背景

高度経済成長期に建設された鉄筋コンクリート造建築物が維持更新のため解体時期を迎えている。解体工事から発生する建設副産物も増加の傾向にあるが、そのうちコンクリート塊は破碎されて再生骨材として再資源化されている。しかし、この再生骨材のほとんどは路盤材としての再利用である。これは再生骨材に付着するモルタル分の影響で再生骨材は吸水率が高く、コンクリートの材料としてリサイクルした場合には再生骨材コンクリートに乾燥収縮ひび割れが発生し易くなるので耐久性が低下する懸念があるためである。このような状況の下、再生骨材をコンクリートの骨材としてより利用し易くするため、再生骨材あるいは再生骨材を用いた再生骨材コンクリートのJISが制定されている^{1)~3)}。このJISは、凍結融解抵抗性などに対する信頼性を高めるため、近年、改正も行われた。このように規格が整備されつつあっても、再生骨材コンクリートが一般的に利用されているとは言い難いのが現状である。そこで本研究は再生骨材コンクリートの普及を目的として、再生骨材のJISのなかで最も品質の低い骨材を扱っている低品質再生骨材に着目し、低品質再生骨材コンクリートを対象とした材料特性、構造特性の観点から検討を進める。具体的には、乾燥収縮ひび割れおよび付着割裂強度の改善を目的として、ピニロン繊維で低品質再生骨材コンクリートを補強し、構造部材としての有効利用の可能性に関して研究を行うこととした。

2. 研究の目的

2014年に日本建築学会から再生骨材を用いるコンクリートの設計・製造・施工指針(案)⁴⁾(以下、指針(案)という)が発行されている。指針(案)では低品質な再生骨材であっても、普通骨材と混合利用するなど工夫を加えることで、鉄筋コンクリート部材に用いることができる低品質再生骨材コンクリートを特殊配慮品と定義している。コンクリート塊を再利用する際の再生骨材は主として吸水率の大きさから高品質、中品質、低品質にランク分けされ、3種類のJISが制定されている^{1)~3)}。本研究は吸水率が11%台の低品質再生細骨材をも含む、低品質再生骨材コンクリートに乾燥収縮ひび割れの抑制効果を期待してピニロン繊維を添加した梁部材の付着割裂強度について検討を行った。検討内容の始めはピニロン繊維が添加された低品質再生骨材コンクリートを用いた梁部材を載荷した際のひび割れ性状とした。ひび割れは梁部材の変形に伴いコンクリートの亀裂によって生じるが、本研究では耐久性を考慮する際に重要となる長期荷重時に相当する主筋が長期許容応力度時のひび割れの発生状況および最大曲げひび割れ幅を検討した。また、終局時となる付着割裂破壊時では破壊形状を検討した。これらのひび割

れ性状の検討に当たっては普通コンクリートを用いた梁部材と低品質再生骨材コンクリートを用いた梁部材とを比較して差異の存在が認められたかどうか確認を行った。続いて、梁部材を載荷した際の変位性状、長期許容応力度時および終局時のひび割れ、さらに最大荷重時の付着割裂強度において低品質再生骨材コンクリートに対するピニロン繊維の添加の有無が影響を及ぼすかどうか検討を行った。

3. 研究の方法

(1) 実験概要

試験体計画および形状

表-1に梁部材一覧を示す。本実験で用いた低品質再生骨材コンクリートは、再生粗骨材および再生細骨材を最大限に活用する観点から指針(案)に示される低品質再生骨材の混合割合の上限値を採用することとした。普通骨材に再生骨材を混合する割合が高くなると所要のスランプを得るための単位水量が増加すること、圧縮強度が低下すること、長さ変化率が大きくなることが知られている⁵⁾。そのため指針(案)では再生粗骨材の混合割合が50%以下の範囲では乾燥収縮などの品質が満足されるとした上で、再生粗骨材を単独で使用する場合は50%以下、再生粗骨材と再生細骨材を併用する場合は再生粗骨材は30%以下、再生細骨材は15%以下と規定している。そこで本研究では低品質再生粗骨材を単独で50%混合した500シリーズ、次に低品質再生粗骨材を30%と低品質再生細骨材を15%併用した3015シリーズの2シリーズの特殊配慮品を計画した。これらと比較するため、普通コンクリートの00シリーズを計画した。それぞれのシリーズにはピニロン繊維を添加した梁部材と添加していない梁部材を用意し、ピニロン繊維の添加の影響について検討を行った。

表-1 梁部材一覧

試験体名	シリーズ 使用骨材	ピニロン 繊維混入率 (%)
1) 00	00 シリーズ 天然粗骨材 100% 再生粗骨材 0%	0.0
2) 00V	天然細骨材 100% 再生細骨材 0%	0.2
3) 500	500 シリーズ 天然粗骨材 50% 再生粗骨材 50%	0.0
4) 500V	天然細骨材 100% 再生細骨材 0%	0.2
5) 3015	3015 シリーズ 天然粗骨材 70% 再生粗骨材 30%	0.0
6) 3015V	天然細骨材 85% 再生細骨材 15%	0.2

図-1 に試験体形状を示す。試験体形状は梁部材の下端主筋が引張となる重ね継手を対象とした純曲げ実験を行う形状とした⁶⁾。重ね継手の実験は純曲げ実験や両引実験で行われることがほとんどであり、本研究では構造耐力を把握するため梁部材の純曲げ実験を行った。純曲げ実験は純曲げ区間のモーメントが一定となるため、1組の重ね継手に作用する応力が一様となりモーメント勾配が存在しないことから1組の重ね継手を構成する2本の主筋にとっては厳しい応力条件となる。試験体は梁部材中央の下端に重ね継手長さ 30db (db は主筋の公称直径) の重ね継手を設けた単純梁形式で付着割裂実験を行った。図-2 に試験体断面を示す。梁部材の幅と全せいは 300mm × 300mm とし、側面および底面のかぶり厚さは 30mm (1.6db) と一定にした。主筋は上端・下端とも 4-D19 ($p_t = p_c = 1.47\%$) としてサイドスプリット型の付着割裂破壊を目指した。主筋は D19 (SD345), $\sigma_y = 366 \text{ N/mm}^2$, $E_s = 1.86 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ を、また重ね継手区間外の横補強筋は D10 (SD295A), $\sigma_y = 395 \text{ N/mm}^2$, $E_s = 1.86 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ を使用した。

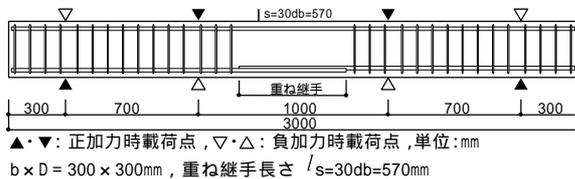


図-1 試験体形状

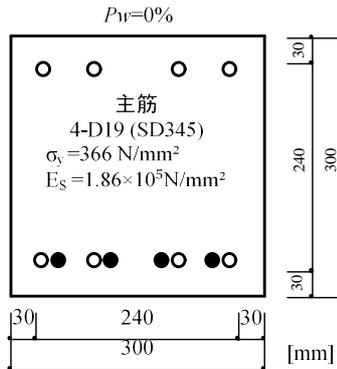


図-2 試験体断面

再生骨材コンクリートの調合設計

本実験で用いた低品質再生骨材コンクリートおよび普通コンクリートはスランプ 21cm, 空気量 4.5% を目標とした。また、指針(案)に示される低品質再生骨材コンクリートの設計基準強度は 18 N/mm^2 を標準としていることから、実験時のコンクリート強度はあまり高くないようコンクリートの圧縮強度 f_c が 21 N/mm^2 程度となるような水セメント比 (W/C) を設定した。そのため表-2 の調合表に示すように再生骨材コンクリートおよび普通コンクリートの工場の出荷実績により、500 シリーズおよび 3015 シリーズは $W/C=65.0\%$ 、00 シリーズは $W/C=74.0\%$ とした。表-3 に骨材の品質を示す。再生骨材はコン

表-2 調合表

シリーズ	単位質量 (kg/m ³)						
	水	セメント	粗骨材		細骨材		
			天然砕石	再生粗骨材	天然砂	天然砕砂	再生細骨材
00	195	264	888	-	627	269	-
500	180	277	458	419	900	-	-
3015	180	277	642	253	764	-	116

水セメント比 W/C 00 シリーズ: 74.0%
500 シリーズ: 65.0%
3015 シリーズ: 65.0%

表-3 骨材の品質

シリーズ	使用骨材	絶乾密度 (g/cm ³)	実積率 (%)	吸水率 (%)
00	砕石	2.68	61.0	0.80
	砕砂	2.60	3.70	1.84
	砂	2.51	2.10	1.95
500	砕石	2.71	62.0	1.29
	再生粗骨材	2.48	61.0	4.79
	山砂	2.58	-	2.43
3015	砕石	2.71	62.0	1.29
	再生粗骨材	2.48	61.0	4.79
	山砂	2.58	-	2.43
	再生細骨材	2.24	-	11.81

クリート塊をジョークラッシャーで破碎して製造された吸水率 4.79% の再生粗骨材および吸水率 11.81% の再生細骨材を使用した。

本実験で使用したビニロン繊維は、ポリビニルアルコールを原料として得られた合成繊維である。ビニロン繊維の形状は、直径 100 μm, 標準長 12mm をコンクリートの全体積に対して 0.2% 添加した。添加量は既往の乾燥収縮ひび割れ供試体 (高さ 150mm, 内径約 320mm, 外径約 410mm) を使用した内側拘束となるリング状の外周に生ずるひび割れ幅 (開口幅) の結果⁷⁾に基づき決定した。既往の結果では「繊維の総表面積と繊維の引張強度の積」は乾燥収縮ひび割れ幅と良い相関があることが報告されている。本研究ではこの考え方を参考にし、本研究で使用したビニロン繊維の形状を考慮して乾燥収縮ひび割れの抑制効果が期待できると推定される 0.2% にビニロン繊維混入率を設定した。

(2) 加力方法および測定方法

加力はコンクリートの打設後、材齢 5 週時に日本大学生産工学研究所所管構造物試験機自動計測制御システムを介した加力ビームにより行った。図-3 に加力方法を示した。地震時における梁部材の挙動を考慮するため、荷重は 75kN, 150kN, 225kN (主筋応力度が 100 N/mm^2 ずつ増加する荷重) で正負の繰り返しを行った。変位測定位置は載荷点と梁中央とし、アルミホルダーに設置した電気式変位計により、支点と梁中央の相対変位を測定した。

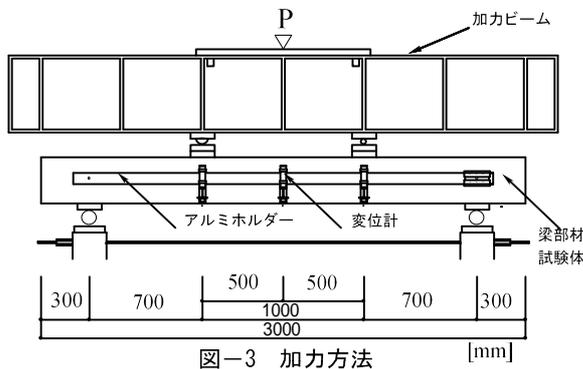


図-3 加力方法 [mm]

4. 研究成果

(1) 実験結果一覧

表-4に各梁部材の実験結果一覧を示す。コンクリートの圧縮強度 σ_c は梁部材実験時における円柱供試体の圧縮強度試験により得られた値である。また円柱供試体の割裂試験により得られた引張強度を τ_t で示した。

表-4 実験結果

試験体名	σ_c (σ_t) (N/mm ²)	最大荷重 P_{max} (kN)	最大曲げ ひび割れ幅 W_{max} (mm)	付着割裂 強度 $\tau_{u exp.}$ (N/mm ²)
1) 00	23.1 (1.98)	270	0.06	3.03
2) 00V	22.7 (1.78)	281	0.12	3.15
3) 500	20.4 (1.77)	272	0.16	3.05
4) 500V	19.0 (1.65)	275	0.05	3.09
5) 3015	20.9 (1.80)	269	0.18	3.02
6) 3015V	22.3 (2.02)	288	0.16	3.23

(2) 長期許容応力度のひび割れ状況

図-4に主筋長期許容応力度時 ($P=150kN$, $\sigma_t=200N/mm^2$ 時)における, 正加力時(・印)のひび割れを実線で, 負加力時(○印)のひび割れを破線で示した。純曲げ区間においては梁下端から上端に向けて曲げひび割れが発生し, せん断スパンには, 加力点に向かう曲げせん断ひび割れが発生した。ひび割れ進展状況に普通コンクリートの00シリーズおよび再生骨材を用いた500・3015シリーズの差異, さらにピニロン繊維の添加の差異は認められなかった。

(3) 終局時のひび割れ状況

図-5に終局時のひび割れを示す。終局時のひび割れは付着割裂破壊時の最終破壊形状を表したものである。最終破壊形状は純曲げ区間の継手区間に発生した付着割裂破壊により, 瞬間的に荷重が低下して最終破壊となった。付着割裂破壊は側面および裏面の表面で観察されたのでサイドスプリット型の想定していた付着割裂破壊となった。写真-1に最終破壊状況を示す。最終破壊状況は

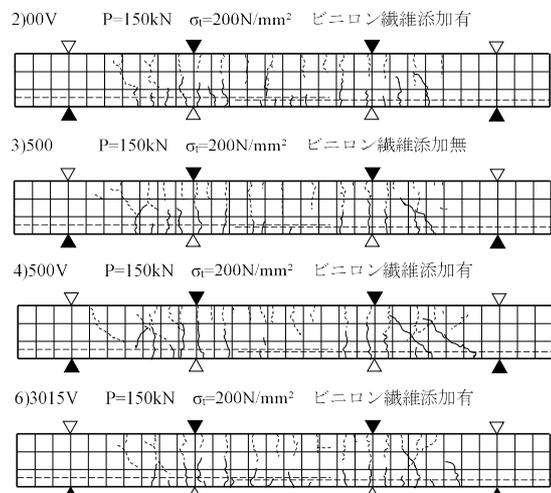


図-4 長期許容応力度時のひび割れ発生状況

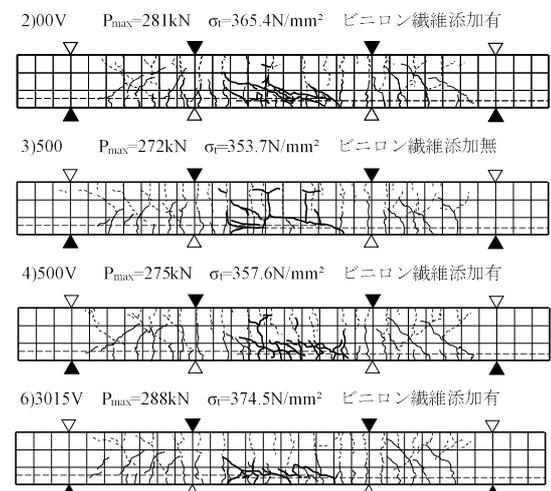


図-5 終局時のひび割れ発生状況

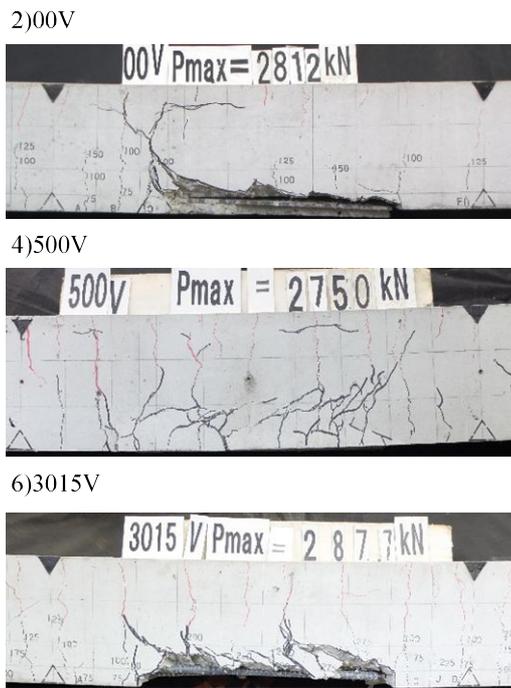


写真-1 最終破壊状況

かぶりコンクリートの剥落の有無に違いが認められたもののシリーズの違いやビニロン繊維の添加の差異は認められず同等であった。

(4) 変位性状

図-6 に荷重 - 変位曲線を示した。全ての梁部材で 225kN から 300kN に向かう途中で付着割裂破壊が発生し急激に耐力が低下した。後述の 4.5 付着割裂強度の検討で考察する最大荷重 P_{max} は図-6 中の印を付した時点の最大荷重である。荷重 - 変位曲線の包絡線をビニロン繊維の添加の有無で分類して比較してみるとビニロン繊維を添加せず再生骨材を用いた 500・3015 シリーズの最大荷重に至るまでの剛性は普通コンクリートの 00 シリーズと比較して低くなる傾向が認められ、付着割裂破壊時の変位も 1~2mm 程大きい値を示した。一方、ビニロン繊維を添加して再生骨材を用いた 500V・3015V シリーズの剛性は普通コンクリートの 00V シリーズと同等となり、剛性の改善が認められた。このことより、ビニロン繊維を添加することは再生骨材を用いた梁部材の剛性に対して、コンクリートに発生する曲げひび割れの界面をつなぎとめる補強効果が存在することが明らかとなった。

(5) 付着割裂強度の検討

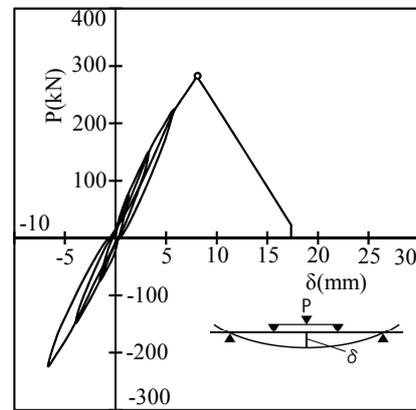
重ね継手の最大荷重時平均付着応力度 u_{exp} を表-4 に示した最大荷重 P_{max} を用いて式(1)より求めた。

$$u_{exp} = \frac{Mu}{j \cdot \sum \phi \cdot l_s} \quad (N/mm^2) \quad (1)$$

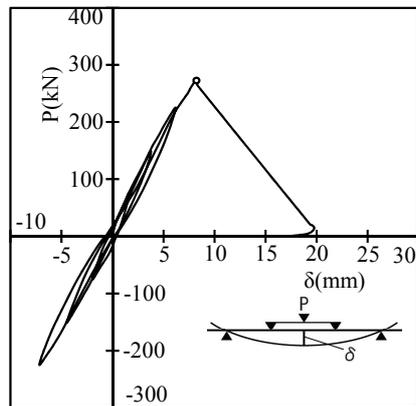
ここで、 Mu : 最大曲げモーメント ($N \cdot mm$) ,
 j : $7/8d$ (mm) (d : 梁有効せい (mm)) ,
 $\sum \phi$: 鉄筋の周長の総和 (mm) ,
 l_s : 重ね継手長さ (mm) である。

図-7 に u_{exp} をビニロン繊維の添加の有無ごとに分類して示した。また、各梁部材の u_{exp} の値を表-4 に示した。a) 図および b) 図を比較すると、まず、再生骨材を用いた 500 (V)・3015 (V) シリーズと普通コンクリートの 00 (V) シリーズの差異は認められなかった。これは、各梁部材のコンクリートの圧縮強度 f_c が梁部材の実験時において、 $19.0N/mm^2 \sim 23.1 N/mm^2$ とさほど開きがないため、コンクリートの圧縮強度に依存する付着割裂強度⁸⁾に差異はほとんど生じなかったものと考えられる。次にビニロン繊維の添加の有無についての比較においても u_{exp} の値に差異はほとんど認められなかった。既往の研究において形状が直径 0.67mm、標準長 30mm であるビニロン繊維を 0.5% 添加した再生骨材コンクリート梁部材の付着割裂強度は増加する傾向が認められた⁹⁾。本研究でビニロン繊維の補強効果が認められなかった要因としては、乾燥収縮ひび割れの抑制効果を期待して細く短いビニロン繊維を使用したこと、また添加量が少ないことが考えられる。

2) 00V



4) 500V



6) 3015V

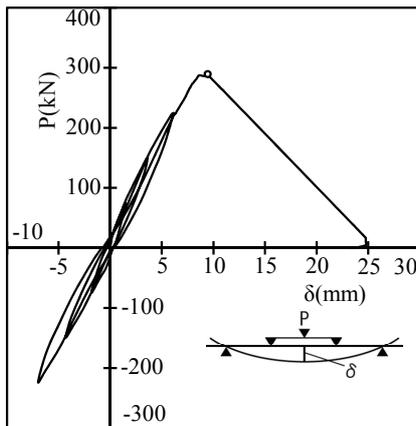


図-6 荷重-変位曲線

(6) 結論

ビニロン繊維が添加された低品質再生骨材コンクリートを用いた梁部材の付着割裂強度について検討を行った結果、本研究の範囲内で以下の知見が得られた。

長期許容応力時の曲げひび割れの進展状況および最終破壊形状ともに普通コンクリートおよび再生骨材を用いたシリーズの違いやビニロン繊維の添加の有無の差異は認められなかった。

荷重 - 変位曲線における長期許容応力度時の曲げ剛性は低品質再生骨材コンクリ

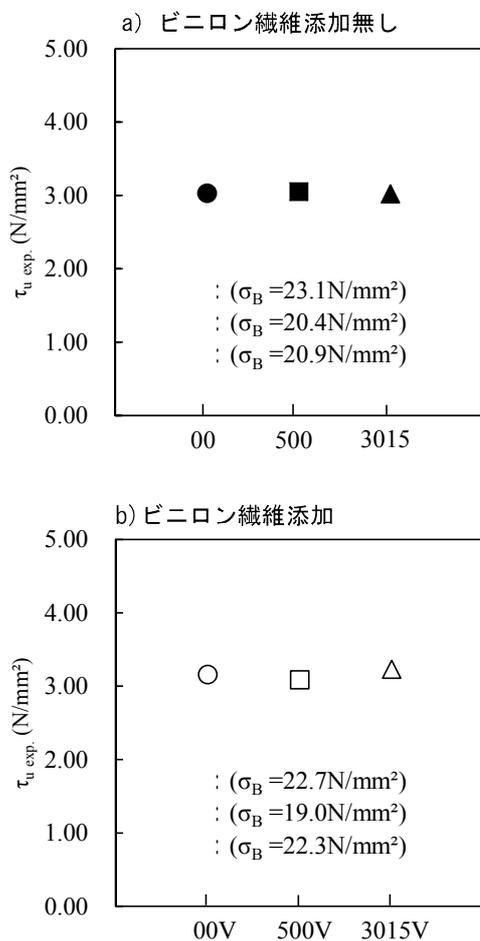


図-7 付着割裂強度

ートを用いた梁部材にビニロン繊維を添加した場合は普通コンクリート梁部材に近づき改善が認められた。

付着割裂強度は各梁部材のコンクリート強度に近い値となったことから、再生骨材を用いたシリーズと普通コンクリートのシリーズとの差異は認められなかった。

普通コンクリートとの比較から低品質再生骨材コンクリートの構造用コンクリートとしての有効利用の可能性を明らかとした。今後は長期保存している梁部材においてビニロン繊維の補強効果が得られるかどうか検討を行う予定である。

参考文献

- 1) (財)日本規格協会：JIS A 5021 コンクリート用再生骨材 H, 2011.5.20 改正
- 2) (財)日本規格協会：JIS A 5022 再生骨材 M を用いたコンクリート, 2012.7.20 改正
- 3) (財)日本規格協会：JIS A 5023 再生骨材 L を用いたコンクリート, 2012.7.20 改正
- 4) 日本建築学会：再生骨材を用いるコンクリートの設計・製造・施工指針(案), 2014.10.20
- 5) 道正泰弘, 貫井泰, 齋藤好久, 近藤学,

村雄一, 原田修輔, 山下雄三, 尾崎雅敏：建築構造物の解体に伴い発生するコンクリート塊のリサイクルシステム 骨材置換法による再生粗骨材コンクリートの品質管理手法, 日本建築学会技術報告集, 第 21 号, pp.15~20, 2005.6

- 6) 角陸純一, 田中礼治：異形鉄筋重ね継手に関する既往実験データの分析, 日本建築学会構造系論文報告集, No.435, pp.131~139, 1992.5
- 7) 稲田真也, 小川敦久, 徳永直樹, 斉藤建三：法枠の繊維補強に関する実験的研究(その1) 室内基礎試験, 土木学会第 61 回年次学術講演会, pp.741~742, 2006.9
- 8) 藤井栄, 森田司郎：異形鉄筋の付着割裂強度に関する研究 第 2 報付着割裂強度算定式の提案, 日本建築学会論文報告集, No.324, pp.45~53, 1983.2
- 9) 高橋和丈, 師橋憲貴, 小川敦久, 桜田智之：ビニロン繊維を混入した再生コンクリート梁部材の付着性状, 日本建築学会大会学術講演梗概集(北海道), pp.685~686, 2013.8

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 2 件)

師橋憲貴, 日野優輝, 小川敦久：ビニロン繊維が添加された低品質再生骨材コンクリートを用いた梁部材の付着割裂強度, コンクリート工学年次論文報告集, 査読有, Vol.39, 2017 年, http://data.jci-net.or.jp/data_html/39/2017.html

師橋憲貴, 日野優輝：ビニロン繊維による補強効果を期待した低品質再生骨材コンクリート梁部材の付着割裂強度に関する実験的研究, 日本大学生産工学部研究報告 A, 査読有, 第 49 巻 第 2 号, 2016 年 12 月, <http://www.cit.nihon-u.ac.jp/2016/pdf/research/A49.2.1.pdf>

[学会発表](計 1 件)

日野優輝, 師橋憲貴：低品質再生骨材コンクリート梁部材の付着割裂強度 その 1 材齢 5 週時のビニロン繊維添加の効果, 日本建築学会大会学術講演梗概集(中国), 2017 年 9 月 1 日

6. 研究組織

(1) 研究代表者

師橋 憲貴 (MOROHASHI Noritaka)
日本大学・生産工学部・教授
研究者番号：90220110

(2) 連携研究者

北垣 亮馬 (KITAGAKI Ryoma)
東京大学・工学(系)研究科(研究院)
研究者番号：20456148

小山 潔 (KOYAMA Kiyoshi)
日本大学・生産工学部・教授
研究者番号：50246849