

令和 2 年 7 月 9 日現在

機関番号：32665

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K06656

研究課題名(和文) 繊維補強低品質再生骨材コンクリートを用いた場所打ち鉄筋コンクリート杭のせん断耐力

研究課題名(英文) A Study on the Shear Strength of Reinforced Concrete Cast-in-place Pile using Low Quality Recycled Aggregate Concrete with Vinyon 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) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、ビニロン繊維を添加し低品質再生骨材コンクリートを用いた場所打ち鉄筋コンクリート杭のせん断強度について検討を行ったものである。まず、中心圧縮性状の実験結果としては、低品質再生骨材を用いた場所打ち鉄筋コンクリート杭の軸力方向の載荷試験下の圧縮強度は、ビニロン繊維を添加した試験体は添加していない試験体と比較し若干上昇する傾向が認められた。また、終局時の破壊挙動はコンクリートの種類によらず同様となった。一方、ビニロン繊維を添加した試験体はひび割れが分散する傾向が認められた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

現在、骨材の出荷の実態をみると、再生骨材の出荷量は砕石の1割程度で大変少なく、また再生骨材の出荷量のうち道路用に対してコンクリート用は道路用と比較して非常に少ない。天然資源の枯渇の観点から低い品質の再生骨材であっても普通骨材と混合利用することで構造用部材に用いるコンクリート用としての適用が可能となれば、再生骨材の普及につながり天然資源の維持に貢献できるものと考えられる。構造学的な観点から行った実験結果は、構造設計に再生骨材を用いたコンクリートを適用する際の安全性が示されたので再生骨材の需要拡大につながるものと考えられる。

研究成果の概要(英文)：Shear strength of reinforced concrete cast-in-place pile using low quality recycled aggregate concrete with vinyon fiber was examined. As the result, first of all the compressive strength of the cast-in-pile was slightly increased by the vinyon fiber under axial loading test. No difference was observed in both final fracture behavior of the cast-in-pile by the different types of concrete. On the otherhand, occurrence of cracks in cast-in-place using vinyon fiber dispersed.

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 場所打ち鉄筋コンクリート杭 せん断強度 圧縮強度 ビニロン繊維 ひび割れ 乾燥収縮 円柱供試体

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

日本建築学会から平成 26 年に「再生骨材を用いるコンクリートの設計・製造・施工指針(案)」¹⁾(以下、指針(案)という)が発行されている。この指針(案)の第 11 章には鉄筋コンクリート部材に用いる再生骨材コンクリート L という章が設けられており、資源循環型社会の推進の観点から低品質の再生骨材 L を普通骨材と混合使用し調合に工夫を加えて鉄筋コンクリート部材に適用する方法が示されている。一方、中品質の再生骨材を対象とした再生骨材コンクリート M は、再生骨材の吸水率が高い性質を考慮して乾燥収縮を受けにくい地下構造部材などに用途が制限されているが、平成 30 年の JIS 改正では再生骨材コンクリート M ²⁾の中に低品質の再生骨材 L と普通骨材とを混合したのも認められるようになっている。この改正についても低品質の再生骨材 L の利用拡大に向けての検討成果の表れと考える。しかし、経済産業省製造産業局素材産業課の砕石等統計四半期報 ³⁾により骨材の出荷の実態をみると、令和元年 7 月から 9 月の砕石の出荷量は 39,843 千トンに対し、再生骨材の出荷量は 4,059 千トンとなっており再生骨材の出荷量は砕石の 1 割程度で大変少ない。また再生骨材の出荷量のうち道路用は 4,036 千トンに対し、コンクリート用は 22 千トンとなっておりコンクリート用の出荷量は道路用の 0.55%で出荷量としては非常に少ない。砕石は天然資源である岩石を砕いて製造されるが、天然資源の枯渇の観点から低い品質の再生骨材であっても普通骨材と混合利用することで構造用部材に用いるコンクリート用としての適用が可能となれば、再生骨材の普及につながり天然資源の維持に貢献できるものと考え。その際、構造学的な観点から実験を行うことで構造設計に再生骨材 L を用いたコンクリート(以下、低品質再生骨材コンクリートという)を適用する際の安全性が示されれば併せて再生骨材の積極的な利用が可能となり需要拡大につながるものと考え。

2. 研究の目的

本研究では、せん断力を評価するに当たりまず初めに地下構造部材となる場所打ちコンクリート杭に低品質再生骨材コンクリートを使用し、さらに構造耐力上の補強効果を期待してビニロン繊維を添加した円柱試験体(以下、試験体という)の軸力方向の載荷試験下の耐荷力について検討を行った。本研究では基礎的研究としてコンクリートの種類が異なる場合の軸力方向の載荷試験における耐荷力についてコンクリートの種類による差異が生じるかを検討した。

3. 研究の方法

(1)試験体計画および形状

表 - 1 に試験体に使用したコンクリートの種類を示す。本実験は、1. 研究開始当初の背景で述べた平成 30 年の JIS 改正よりも前に計画を行っていたことから、指針(案)に示される特殊配慮品と定義される低品質再生骨材コンクリートを用いた。指針(案)において低品質再生粗骨材と低品質再生細骨材を併用する場合の混合割合の上限値は品質低下の度合を制御するため、低品質再生粗骨材は 30%、低品質再生細骨材は 15%の混合割合としている。実験に使用した低品質再生骨材コンクリートはこの混合割合の上限値を適用した CL、CLV シリーズと称する低品質再生骨材コンクリートを使用した。CL、CLV シリーズと比較するため、普通骨材を用いたコンクリート(以下、普通コンクリートという)の CN、CNV シリーズを計画した。それぞれのシリーズにはビニロン繊維 1.0vol.%を添加した試験体と添加していない試験体を計画し、ビニロン繊維の添加の有無の影響について検討を行った。

図 - 1 に試験体形状を示す。試験体の寸法は高さ 900mm、断面の直径 300mm、かぶりコンクリートの厚さ 25mm である。せん断補強筋(以下、フープという)はフラッシュバット溶接を用いた閉鎖型で最外径(直径)は 250mm である。主筋は D13 を 9 本配筋し、フープは D10 を使用した。フラッシュバット溶接の位置は主筋と主筋の間に配置した。測定区間のフープ間隔は 100mm とした。これらの鉄筋の配筋により、コンクリート全断面積に対する主筋全断面積の割合は 1.62%、せん断補強筋比は 0.48%となっている。

(2)コンクリートの使用材料および調合

表 - 2 にコンクリートの調合を、表 - 3 に使用した骨材の特性を示す。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 18N/mm²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 σ_c が 21 N/mm²程度となるような水セメント比(W/C)を再生骨材コンクリート工場の出荷実績により決定し、CL、CLV シリーズは W/C=65.0%とした。コンクリートは、試験体上部から打設し、また、コンクリートが鉄筋の周囲や型枠の隅まで充填されるようバイブレーターを用いて締固めを行った。型枠には紙管(ボイド)を用いた。

表 - 1 コンクリートの種類

試験体名	シリーズ 混合割合	ビニロン 繊維混入率 (vol.%)
1) CN	CN,CNV シリーズ： 普通粗骨材100%・ 再生粗骨材0%	0.0
2) CNV	普通細骨材100%・ 再生細骨材0%	1.0
3) CL	CL,CLV シリーズ： 普通粗骨材70%・ 再生粗骨材30%	0.0
4) CLV	普通細骨材85%・ 再生細骨材15%	1.0

混合割合：普通骨材を再生骨材
で置換する容積の割合

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および標準物性は、採用したメーカーのコンクリート用製品としてのサイズが最大である直径 660 μ m、標準長 30mm、引張強度 900N/mm²、引張ヤング係数 2.30×10^4 N/mm²で、コンクリートの全体積に対して 1.0vol.%添加した。添加量はトラックアジテータのコンクリート投入口（ホッパ）から後添加した際にビニロン繊維の均一な分散が可能となる量に設定した。

図 - 2 にコンクリートの圧縮強度の推移を示す。圧縮強度を測定したテストピース（直径 100mm、高さ 200mm）は現場封かん養生とした。普通コンクリートの工場出荷実績で決定した水セメント比（W/C）は低品質再生骨材コンクリートの W/C より高く設定したが、普通コンクリートの CN、CNV シリーズは低品質再生骨材コンクリートの CL、CLV シリーズと比較して圧縮強度が増加した。普通コンクリートおよび低品質再生骨材コンクリートともに、ビニロン繊維を添加した CNV、CLV はビニロン繊維を添加していない CN、CL と比較して圧縮強度の差異は、さほど認められなかった。なお、実験時の圧縮強度は材齢 5 週時と材齢 7 週時の圧縮強度を基に補完して求めた。

表 - 4 に鉄筋の材料特性を示す。フープは鉄筋コンクリート用棒鋼 D10（SD295A）を円形に曲げ加工したものを使用した。

(3) 加力および測定方法

図 - 3 に加力方法および測定方法を示す。加力は 1 軸圧縮単調載荷で日本大学生産工学研究所管構造物試験機自動計測制御システムを用いた。

試験体は下部を固定、上部を球座を介して試験機にセットした。変位は試験体中央部（検長 600mm）における軸方向変位を試験体に埋め込んだボルトに 2 本ずつ東西に変位計を取り付け、その平均値を軸方向変位とした。加力は 500kN を 1 サイクルとする 1 方向の繰り返し載荷とした。

4. 研究成果

表 - 5 に実験結果一覧を示す。表中の σ_c は図 - 2 に示したテストピースのコンクリートの圧縮強度の推移から求めた実験時のコンクリートの圧縮強度である。P_{cal.}は国土交通省国土技術政策総合研究所および国

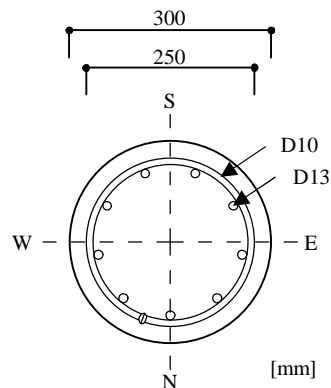


図 - 1 試験体形状

表 - 3 骨材の品質

シリーズ		絶乾密度 (g/cm ³)	実積率 (%) 又は粗粒率	吸水率 (%)	
CN	普通粗骨材	砕石	2.70	61.0%	0.84
	CNV	普通細骨材	天然砂	2.56	2.10
			砕砂	2.64	3.70
CL	普通粗骨材	砕石	-	-	1.89
	再生粗骨材		2.37	59.5%	5.06
CLV	普通細骨材	天然砂	2.53	-	1.95
	再生細骨材		2.02	-	11.22

微粒分量：再生粗骨材 0.4%、再生細骨材 5.3%
不純物量：再生粗骨材、再生細骨材とも 0.0%

表 - 2 コンクリートの調合

シリーズ	指定スランプ (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	単位質量 (kg/m ³)								
				水	セメント	粗骨材		細骨材		混和剤		
						普通粗骨材	再生粗骨材	普通細骨材	再生細骨材	AE 減水剤	AE 剤	
CN	18.0	4.5	67.0	184	275	932	-	612	264	-	2.75	-
CNV						天然		天然砂	砕砂			
CL	21.0	4.5	65.0	180	277	642	253	764	-	116	-	2.40
CLV												

各シリーズとも 呼び強度：18N/mm²、粗骨材の最大寸法：20mm

打設時のスランプ CNシリーズ：18.0cm、CNVシリーズ：9.0cm、CLシリーズ：21.5cm、CLVシリーズ：13.5cm

打設時の空気量 CNシリーズ：4.7%、CNVシリーズ：4.5%、CLシリーズ：4.7%、CLVシリーズ：4.6%

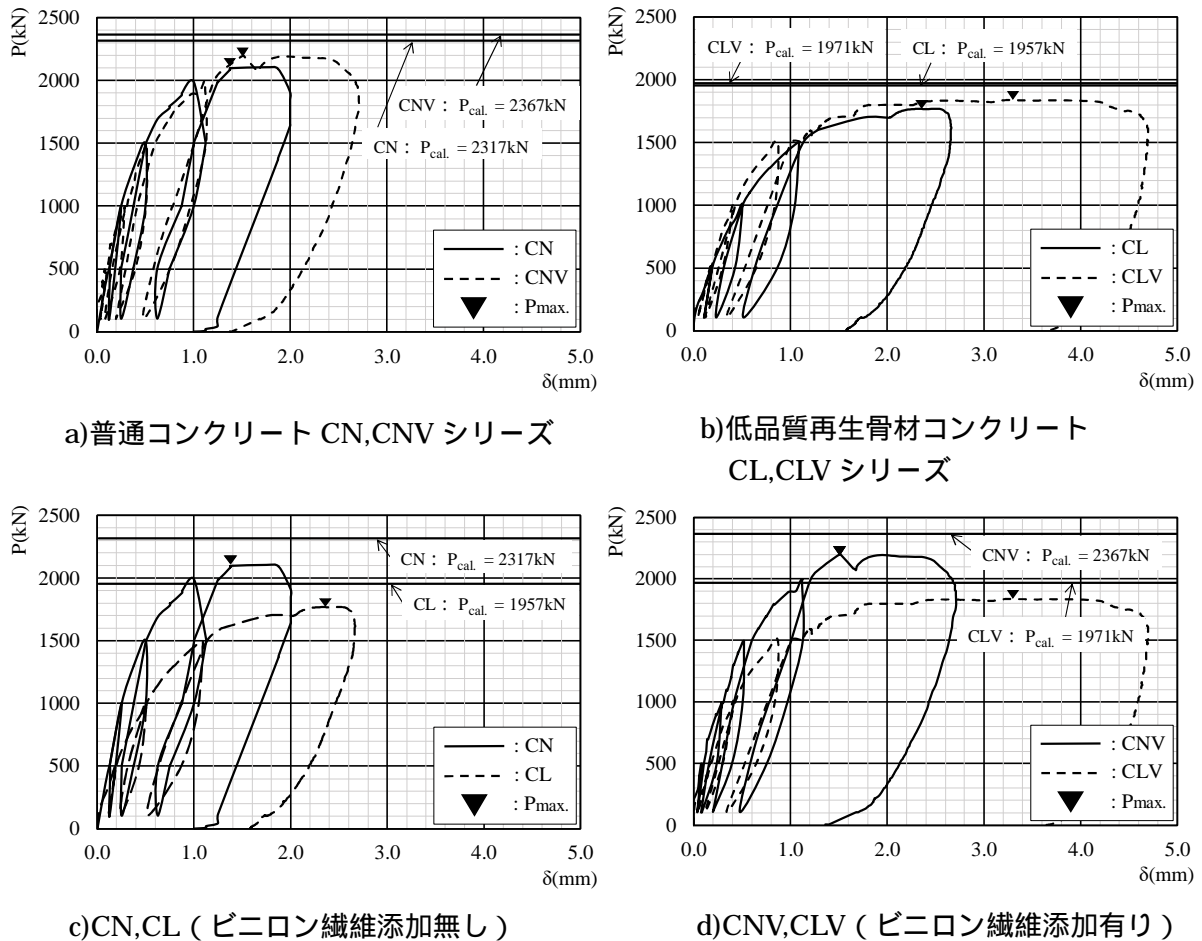


図 - 4 荷重 - 軸方向変位関係

積質量が普通コンクリートと比較し小さいためヤング係数が小さい値となっているためである。

以上、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場所打ちコンクリート杭の耐力について実験的に検討を行った結果、本研究の範囲内で以下に示す成果が得られた。

荷重 - 変位曲線は同一シリーズのコンクリートを比較するとビニロン繊維の添加の有無による剛性の差異は認められず、耐力はビニロン繊維を添加した試験体は若干上昇する傾向のあることを明らかにした。

低品質再生骨材コンクリートの試験体は普通コンクリートの試験体と比較しヤング係数が小さいことに起因し剛性が低くなる傾向が認められた。

主筋のひずみは低品質再生骨材コンクリートの試験体は普通コンクリートの試験体と比較し低い荷重で降伏ひずみに達した。

計算値 P_{cal} と最大荷重 P_{max} を比較すると、すべての試験体において最大荷重は計算値を下回り、試験体の実験時のコンクリートの圧縮強度の強度発現の不十分さが推測された。

コンクリートの種類によらず同様の最終破壊性状が認められた。一方、ビニロン繊維を添加した試験体はひび割れの発生が測定区間全体に分散する傾向を明らかにした。

本研究では実験時のコンクリートの圧縮強度の差のため低品質再生骨材コンクリートの試験体の耐力は普通コンクリートの試験体と比較し低下する傾向があった。今後、コンクリートの圧縮強度 σ_B で荷重を徐すなどして無次元化した評価を行いたい。またビニロン繊維による補強効果の発揮は最大荷重が若干上昇する程度で僅かであったが、最大荷重以降は荷重を維持して靱性のある履歴があることを明らかにした。乾燥収縮率の改善効果とともに材齢にともなう耐力の増加などについて引き続き検討を行いたい。

< 引用文献 >

- 1) 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
- 2) (財) 日本規格協会：JIS A 5022 再生骨材コンクリート M，2018.5.21 改正
- 3) 経済産業省製造産業局素材産業課：砕石等統計四半期報 令和元年 7～9 月分
<https://www.meti.go.jp/statistics/sei/saiseiki/index.html> (閲覧日：2020年1月12日)
- 4) 国土交通省国土技術政策総合研究所・国立研究開発法人建築研究所監修：2015年版 建築物の構造関係技術基準解説書，2015.10

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 秋間大志, 師橋憲貴	4. 巻 第52巻 第2号
2. 論文標題 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を用いる場所打ちコンクリート杭の圧縮強度に関する実験的研究	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本大学生産工学部研究報告A	6. 最初と最後の頁 11-19
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 師橋憲貴, 長橋璃久, 北垣亮馬, 小川敦久
2. 発表標題 低品質再生骨材コンクリートを用いた場所打ちコンクリート杭の逆対称加力 その1 せん断試験体の実験計画
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演梗概集(北陸)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 長橋璃久, 師橋憲貴, 北垣亮馬, 小川敦久
2. 発表標題 低品質再生骨材コンクリートを用いた場所打ちコンクリート杭の逆対称加力 その2 材令6週時におけるせん断性状
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演梗概集(北陸)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 秋間大志, 師橋憲貴, 北垣亮馬, 小川敦久
2. 発表標題 低品質再生骨材コンクリートを用いた場所打ちコンクリート杭の中心圧縮加力 その1 材令5週時における圧縮性状
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演梗概集(北陸)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	北垣 亮馬 (KITAGAKI Ryoma) (20456148)	北海道大学・工学研究院・准教授 (10101)	
研究協力者	小山 潔 (KOYAMA Kiyoshi) (50246849)	日本大学・生産工学部・教授 (32665)	