

再生コンクリート梁の付着性状に及ぼす横補強筋の効果 乾燥収縮ひび割れの影響

日大生産工(院) 河井 久直
日大生産工 師橋 憲貴
日大生産工 桜田 智之

1. はじめに

筆者らは昨年度の学術講演会で乾燥収縮ひび割れのまだ発生していない再生コンクリート梁の付着性状に及ぼす横補強筋の効果について検討を行った¹⁾。その結果、再生コンクリート梁の付着割裂強度は、普通コンクリートの場合と比べ横補強筋の効果がほぼ同程度であった。そこで本研究は材齢が1年経過し、乾燥収縮ひび割れが発生した再生コンクリート梁においても横補強筋の効果が同様に得られるのか検討を行ったものである。

2. 実験概要

表-1 に調合表および骨材の吸水率を示す。本研究で使用した再生コンクリート(R シリーズ)は細骨材に天然砂を使用し、粗骨材に吸水率が5%程度の再生粗骨材を用いた。図-1 に試験体形状を、図-2 に試験体断面図を例示する。試験体は幅とせいともに300mmとし、下端の純曲げ区間に重ね継手を570mm(30db:主筋の公称直径)で設けた単純梁形式である。主筋は上端と下端ともに高強度鉄筋を4-D19で配筋し、主筋から側面および底面までのかぶり厚さは30mm(1.6db)とした。表-2 に試験体詳細を示す。付着割裂強度と横補強筋比 pw との関係を検討することを目的とするため、重ね継手部分の横補強筋比 pw は0.0%、0.6%、1.2%の3種類に変化させた。載荷時期は試験体に乾燥収縮ひび割れがまだ発生していない5週時と、実験棟にて保存し再

表-1 調合表および骨材の吸水率

シリーズ	W/C (%)	単位質量 (kg/m ³)				吸水率 (%)	
		セメント	水	細骨材	粗骨材	細骨材	粗骨材
N	63.5	287	182	870 (天然)	940 (碎石)	1.61	0.76
R	58.0	316	183	798 (天然)	867 (再生)	2.76	5.05

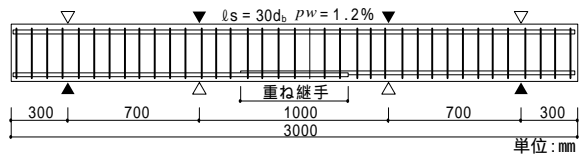


図-1 試験体形状 ($pw=1.2\%$)

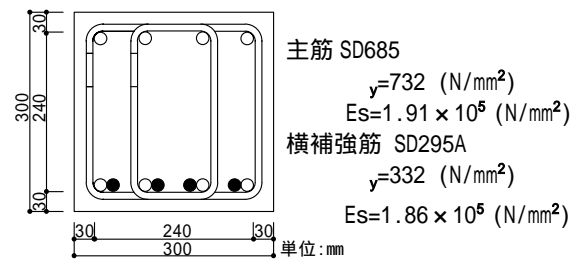


図-2 試験体断面図 ($pw=0.6\%, 1.2\%$)

表-2 試験体詳細

試験体名	シリーズ 置換率	横補強筋		載荷時期 (材齢)
		pw (%)	間隔 (mm)	
1)00N ¹⁾	Nシリーズ	0.0	-	5週時
2)06N ¹⁾		0.6	160	
3)12N ¹⁾		1.2	80	
4)00NK	碎石 100% 天然砂 100%	0.0	-	1年時
5)06NK		0.6	160	
6)12NK		1.2	80	
7)00R ¹⁾	Rシリーズ 再生粗骨材 100% 天然砂 100%	0.0	-	5週時
8)06R ¹⁾		0.6	160	
9)12R ¹⁾		1.2	80	
10)00RK		0.0	-	1年時
11)06RK		0.6	160	
12)12RK		1.2	80	
13)A-06R ¹⁾		0.6	160	5週時
14)A-06RK		0.6	160	1年時

A:乾燥収縮低減剤を10kg/m³で添加
重ね継手長さ l_s :570mm(30db)
1) 昨年度の学術講演会で発表済み

The Effects of Transverse Reinforcement on Bond Properties
of Beams with Recycled Aggregate Concrete
The effect of drying shrinkage cracks

Hisanao KAWAI, Noritaka MOROHASHI and Tomoyuki SAKURADA

生コンクリート梁に乾燥収縮ひび割れが発生した1年時とした。なお、再生コンクリートに発生する乾燥収縮ひび割れを抑制するため、乾燥収縮低減剤を添加した試験体も作成し、付着割裂強度への影響を検討した。加力は2点集中加力で正負繰返し载荷とし、荷重の制御は主筋の応力度が $\sigma_t=100\text{N/mm}^2$ ずつ増加するように行った。

3. 実験結果

3.1 材齢1年時のコンクリートの性状

表-3 に実験結果一覧を、また図-3 にヤング係数の推移を示す。普通コンクリート(Nシリーズ)と再生コンクリート(Rシリーズ)のヤング係数はともに、日本建築学会 鉄筋コンクリート構造計算規準²⁾(以下、RC規準という)で示されるRC規準式に単位容積重量を考慮することで実測値とほぼ適合した。Rシリーズの実測値の推移は、Nシリーズに比べ圧縮強度は高いにもかかわらず低い値となった。これはRシリーズの ρ_c が 21.5kN/m^3 前後と小さかったためと考えられる。

図-4 に普通コンクリートを用いた12NKと再生コンクリートを用いた12RKを例に材齢1年時の乾燥収縮ひび割れを示す。12NKは1年時においても乾燥収縮ひび割れの発生が認められなかった。一方、12RKは材齢4週過ぎに乾燥収縮ひび割れが発生し始めた。1年時には00RKと06RKも側面全体に微細な乾燥収縮ひび割れが顕著に発生し、横補強筋比 p_w による大きな違いは見られなかった。また、乾燥収縮低減剤を添加した試験体(A-06RK)は添加してない試験体(06RK)に比べ、乾燥収縮ひび割れの発生が僅かに抑制された。

3.2 最終破壊形状 図-5 に1年時に载荷した12NKと12RKの最終破壊形状を例示する。材齢1年時においても乾燥収縮ひび割れが発生しなかった12NKは载荷とともに曲げひび割れが新規に発生した。载荷前に乾燥収縮ひび割れが新規に発生した。载荷前に乾燥収縮ひび割れが新規に発生した。

表-3 実験結果一覧

試験体名	圧縮強度 B (N/mm^2)	最大曲げひび割れ幅 W_{max} (mm)	最大荷重 P_{max} (kN)	付着割裂強度 $u_{\text{exp.}}$ (N/mm^2)
1)00N ¹⁾	28.8(5週時)	0.08	268.0	3.01
2)06N ¹⁾		0.08	415.1	4.66
3)12N ¹⁾		0.10	455.8	5.12
4)00NK	37.6(1年時)	0.10	323.8	3.63
5)06NK		0.14	423.0	4.75
6)12NK		0.10	458.0	5.14
7)00R ¹⁾	32.4(5週時)	0.12	274.1	3.08
8)06R ¹⁾		0.16	373.5	4.19
9)12R ¹⁾		0.18	449.0	5.04
10)00RK	38.7(1年時)	0.16	275.0	3.09
11)06RK		0.18	407.4	4.57
12)12RK		0.20	486.2	5.46
13)A-06R ¹⁾	34.3(5週時)	0.20	397.7	4.46
14)A-06RK	40.7(1年時)	0.18	387.8	4.35

最大曲げひび割れ幅は $\sigma_t=200\text{N/mm}^2$ ($P=150\text{kN}$)時
破壊形状:付着割裂破壊

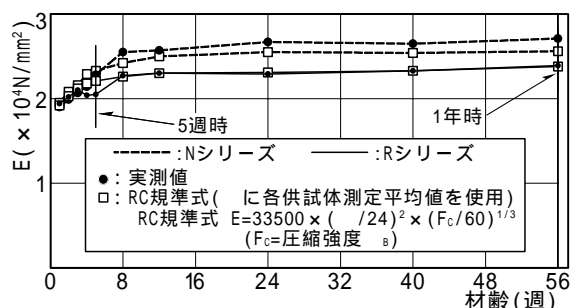
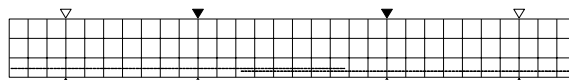
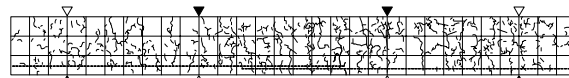


図-3 ヤング係数の推移

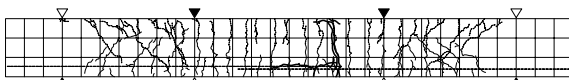


a) 12NK 側面 (1年時)

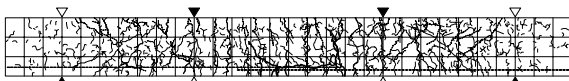


b) 12RK 側面 (1年時)

図-4 乾燥収縮ひび割れの例示



a) 12NK 側面 ($P_{\text{max}}=458.0\text{kN}$)



b) 12RK 側面 ($P_{\text{max}}=486.2\text{kN}$)

図-5 最終破壊形状の例示

び割れの発生が顕著に見られた 12 RK は、乾燥収縮ひび割れが繋がり曲げひび割れが進展していく様子が確認された。最終破壊形状は横補強筋比 pw の違いによらず、重ね継手区間に付着割裂ひび割れが急激に進展するサイドスプリット型の付着割裂破壊となった。

3.3 曲げひび割れ性状 図-6 に再生コンクリートを用いた試験体(R シリーズ)の横補強筋比 $pw=1.2\%$ を例に曲げひび割れの発生本数と主筋応力度の関係を示す。12RK(1 年時)の主筋応力の増加に伴う曲げひび割れの発生本数の増加の割合は 12R(5 週時)と同程度であったが、12RK の発生本数は 12R に比べ載荷前に発生していた乾燥収縮ひび割れの本数の分多かった。図-7 に主筋長期許容応力度時の最大曲げひび割れ幅 W_{max} を示す。N シリーズの 1 年時の W_{max} は、5 週時とさほど変わらなかった。一方、R シリーズの 1 年時の W_{max} は若干のばらつきは見られたが平均すると 0.18 mm 程であり、5 週時を平均した 0.15mm に比べ載荷前の乾燥収縮ひび割れにより僅かに大きくなった。なお、全試験体の W_{max} は横補強筋比による影響は見られず、RC 規準に定められる制限目標値の 0.25mm 以内となった。

3.4 変位性状 図-8 に横補強筋比 $pw=1.2\%$ の試験体の荷重と変位の関係を例示する。変位は梁の中央変位を示したものである。図 a) の N シリーズの 12NK(1 年時)の初期剛性は 5 週時に比べ同等であったが、図 b) の R シリーズの 12RK は乾燥収縮ひび割れの影響により 5 週時に比べ初期剛性が低下した。また、これらの性状は横補強筋比 pw が 0.0% と 0.6% の試験体においても同様の傾向を示した。なお、N シリーズの 1 年時において横補強筋比の変化による初期剛性の差異は見られず、この性状は R シリーズでも同様であった。

4. 付着割裂強度の評価

図-9 に各試験体の付着割裂強度を示す。付

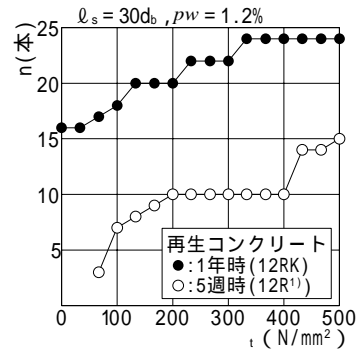


図-6 曲げひび割れ発生本数と主筋応力度の関係

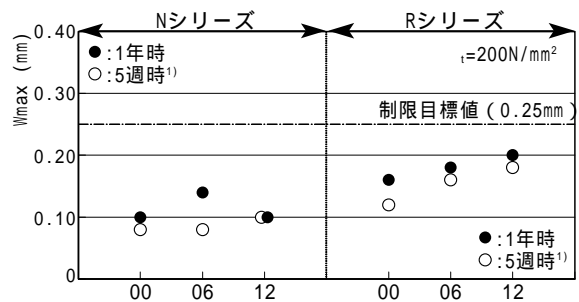


図-7 主筋長期許容応力度時の最大曲げひび割れ幅

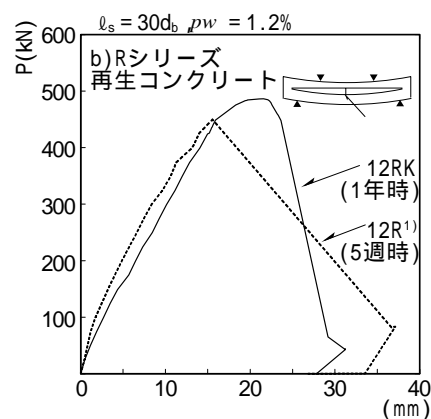
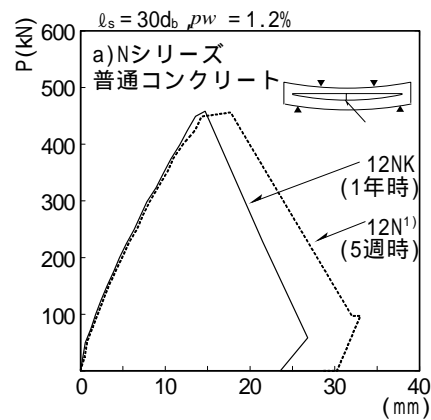


図-8 荷重と変位の関係 ($pw=1.2\%$)

着割裂強度は式(1)により算出した。

$$u_{exp.} = \frac{M_u}{j \cdot \ell_s} \quad (\text{N/mm}^2) \quad (1)$$

ここで M_u : 最大曲げモーメント (N・mm)

j : $(7/8)d$ (d : 梁有効せい 260.5mm)

ℓ_s : 鉄筋の周長 (4-D19 240mm)

s : 重ね継手長さ (30db 570mm)

図 a) の普通コンクリート (N シリーズ) と図 b) の再生コンクリート (R シリーズ) はともに、1 年時の付着割裂強度は 5 週時より若干上昇した。これは圧縮強度が 5 週時に比べ N シリーズでは 30% 程度、R シリーズでは 20% 程度増加したためと考える。また、N シリーズの 1 年時の付着割裂強度は横補強筋比 pw の増加に伴い上昇し、この傾向は載荷前に乾燥収縮ひび割れが発生していた R シリーズの 1 年時においても同様であった。これは付着割裂強度の横補強筋負担分が増加したためと考えられ、その増加の割合は 5 週時とほぼ同程度であった。なお、R シリーズ (1 年時) の $pw=0.6\%$ について、乾燥収縮低減剤を添加した A-06RK の付着割裂強度は添加していない 06RK とほぼ同程度であった。

5. まとめ

乾燥収縮ひび割れが発生した再生コンクリート梁の付着割裂強度に横補強筋の効果が得られるのか検討した結果、本実験の範囲内で以下に示す知見が得られた。

- 1) 再生コンクリートのヤング係数は単位容積重量が小さかったため、普通コンクリートより低い値となった。
- 2) 1 年時の再生コンクリート梁の主筋長期許容応力度時の最大曲げひび割れ幅は、5 週時に比較して載荷前の乾燥収縮ひび割れにより僅かに大きい結果となったが、制限目標値の 0.25 mm 以内となっていた。
- 3) 乾燥収縮ひび割れが発生した 1 年時の再生コンクリート梁の付着割裂強度は横補

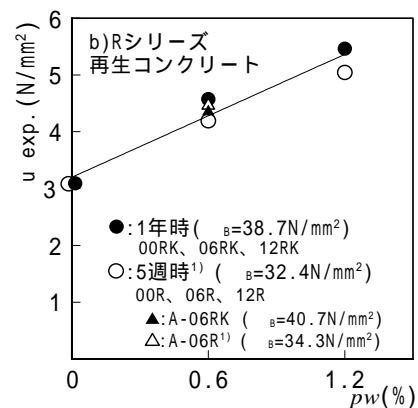
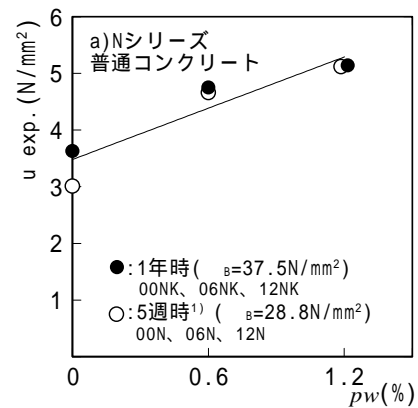


図-9 各試験体の付着割裂強度

強筋比の増加に伴い補強筋負担分が増加し、その増加の割合は 5 週時とほぼ同程度であった。

以上、再生コンクリート梁の付着性状に及ぼす横補強筋の効果について検討した結果、乾燥収縮ひび割れの影響はさほど見られず再生コンクリート梁の付着割裂強度においても横補強筋の効果を確認できた。

謝辞 本研究に際し、東京建設廃材処理協同組合 葛西再生コンクリート工場より再生コンクリートを供与していただきました。また株式会社フローリックの坂本健氏と鈴木良明氏に技術指導をしていただきました。ここに深謝いたします。

参考文献

- 1) 河井久直、師橋憲貴、桜田智之：再生コンクリート梁の付着性状に及ぼす横補強筋の効果、日本大学生産工学部第 37 回学術講演会、2004 年 12 月、pp.17-20
- 2) 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 -許容応力度設計法-、1999