

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

鉄筋コンクリート梁の付着割裂強度は主筋周囲のコンクリートの主筋拘束効果(以下、コンクリート負担分という)と横補強筋の主筋拘束効果(以下、横補強筋負担分という)を累加して評価する考え方が報告されている¹⁾。当研究室ではこれまで再生コンクリートを用いた梁部材の付着性状を把握するに当たり、重ね継手部分に横補強筋を配筋しない梁部材を使用し、付着割裂強度のコンクリート負担分について検討を行ってきた。一方、横補強筋は普通コンクリートを用いた梁部材の重ね継手において付着割裂強度の横補強筋負担分を増大させ付着割裂強度に大きな効果のあることが既往の研究で報告されている²⁾。そこで本研究は再生コンクリート梁においても普通コンクリートで見られる横補強筋の効果が得られるのか検討を行ったものである。

2.実験概要

表-1 に試験体詳細を、表-2 に調合表を示す。本研究で作成した試験体は天然骨材を用いた普通コンクリート(N シリーズ)と粗骨材のみに再生骨材を用いた再生コンクリート(R シリーズ)の2種類である。また、再生コンクリートに発生する乾燥収縮ひび割れを抑制させるため、乾燥収縮低減剤を添加した試験体も作成した。表-3 にフレッシュコンクリートの性質を示す。乾燥収縮低減剤を添加したコンクリートにはワーカビリティを改善する

表-1 試験体詳細

試験体名	シリーズ	重ね継手区間の横補強	
		横補強筋比 p_w (%)	配筋間隔 S(mm)
1) 00N	Nシリーズ	0.0	-
2) 06N		0.6	160
3) 12N		1.2	80
4) 00R	Rシリーズ	0.0	-
5) 06R		0.6	160
6) 12R		1.2	80
7) A-06R		0.6	160

A:乾燥収縮低減剤を添加 重ね継手長さ ℓ_s :30db(570mm)
*上記試験体以外に1年間保存試験体を作成

表-2 調合表

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

表-3 フレッシュコンクリートの性質

シリーズ	スランブ (cm)	フロー (cm)	空気量 (%)
N	19.5	29.0×28.5	5.2
R	(R)	28.5×27.5	4.7
	(A-R)	24.0×23.0	0.5

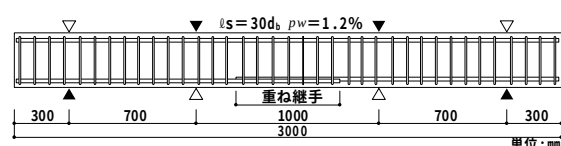


図-1 試験体形状($p_w=1.2\%$)

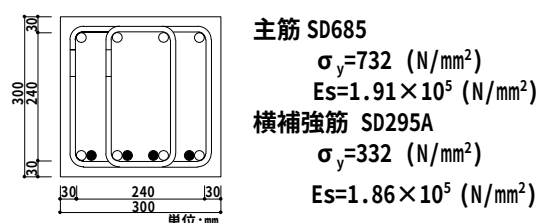


図-2 試験体断面図($p_w=0.6\%, 1.2\%$)

The Effects of Transverse Reinforcement on Bond Properties
of Beams with Recycled Aggregate Concrete

Hisanao KAWAI, Noritaka MOROHASHI and Tomoyuki SAKURADA

ため打設時に流動化剤を添加した。図-1 に試験体形状を、図-2 に断面図を示す。試験体は幅とせいともに 300 mm、主筋から側面および底面までのかぶり厚さを 30mm(1.6db db:主筋の公称直径)とした単純梁である。純曲げ区間の下端には重ね継手を 570mm(30db)で設け、主筋は梁部材の曲げ降伏に対して継手部の破壊が先行するよう高強度鉄筋を使用した。付着割裂強度と横補強筋比 p_w との関係を検討するため、重ね継手部分の横補強筋比 p_w は 0.0%、0.6%、1.2%の 3 種類に変化させた。

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。曲げひび割れ幅はマイクロスコープ(最小目盛 0.02 mm)を用いて純曲げ区間の主筋重心線上を測定した。

3.実験結果

3.1 最終破壊形状 表-4 に実験結果一覧を、図-3 に 00R と 12R を例に最終破壊形状を示す。側面の点線によるひび割れは負加力時の曲げひび割れである。試験体側面の最終破壊形状は横補強筋比 p_w 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。また 12R の底面の破壊形状は 00R に比べて最大荷重が上昇したことから付着ひび割れの発生が多く見られた。

N シリーズにおいても破壊形状は同様の傾向が見られ、シリーズの違いは認められなかった。

3.2 長期許容応力度時の最大曲げひび割れ幅

図-4 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。 $W_{\max}$ は日本建築学会鉄筋コンクリート構造計算規準³⁾ (以下、RC 規準という)に定められる制限目標値の 0.25mm 以内となった。普通コンクリートを用いた試験体(N シリーズ)の $W_{\max}$ にばらつきは少なく、その値は 0.10 mm 以下となり、横補強

表-4 実験結果一覧

試験体名	圧縮強度 σ_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 $\tau_{u \text{ exp.}}$ (N/mm^2)
1) 00N	28.8	0.08	268.0	3.01
2) 06N		0.08	415.1	4.66
3) 12N		0.10	455.8	5.12
4) 00R	32.4	0.12	274.1	3.08
5) 06R		0.16	373.5	4.19
6) 12R		0.18	449.0	5.04
7) A-06R	34.3	0.20	397.7	4.46

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

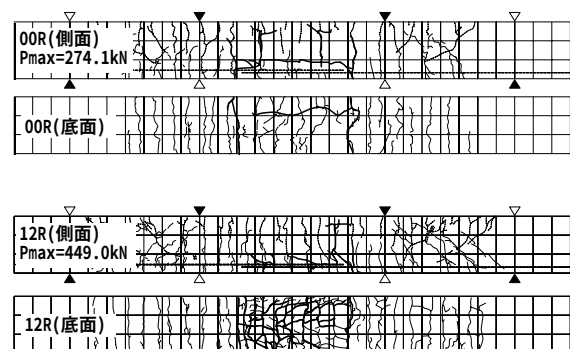


図-3 最終破壊形状(00R,12R)

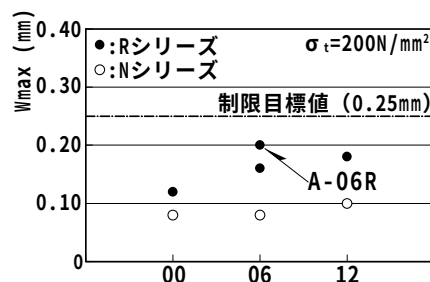


図-4 主筋長期許容応力度時の最大曲げひび割れ幅

筋比 p_w による影響は認められなかった。一方、再生コンクリートを用いた試験体(R シリーズ)の $W_{\max}$ は 0.12~0.20 mm で若干のばらつきが見られたが、普通コンクリートと同様に横補強筋比 p_w による影響は見られなかった。

N シリーズと R シリーズを比較すると、N シリーズの方が R シリーズに比べ $W_{\max}$ が若干小さい値となった。既往の研究²⁾では普通コンクリートを用いて中子筋を有する場合に $p_w=0.4\sim 2.4\%$ の範囲で $W_{\max}$ の平均が約 0.14 mm と報告されていることから、本実験の N シ

リーズにおいては W_{max} が小さい結果となっていたものとする。A-06R の W_{max} は若干大きい値となり、乾燥収縮低減剤の影響は明確には認められなかった。

3.3 変位性状 図-5 に横補強筋比 $p_w=1.2\%$ を例に荷重-変位曲線を示す。変位は試験体の中央の相対変位を測定した。N シリーズ(12N) と R シリーズ(12R)の正加力時の初期剛性に違いは見られなかった。また最大荷重 P_{max} もほぼ同程度の値となった。なお、12N は付着割裂破壊時に変位が増加した。これは横補強筋が多く配筋されていることで、付着の劣化が遅延したものと考えられる。

図-6 にシリーズ別に荷重-変位曲線の包絡線を示す。N シリーズと R シリーズともに横補強比 p_w の変化によらず、初期剛性に違いは認められなかった。また最大荷重 P_{max} は横補強筋の増加とともに P_{max} が増大し横補強筋の効果が認められた。

4. 付着割裂強度の評価

図-7 に各試験体の付着割裂強度を示す。付着割裂強度は式(1)により算出した。

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

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)

ψ :鉄筋の周長 (4-D19 240mm)

ℓ_s :重ね継手長さ (30db 570mm)

N シリーズと R シリーズともに付着割裂強度は横補強筋の増加に伴い上昇したことが確認できた。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、R シリーズの増加の割合は N シリーズの場合とほぼ同程度であった。コンクリートの圧縮強度 σ_c は N シリーズと R シリーズを比較すると R シリーズの方が N シリーズより 13%程上回っていたが、付着割裂強度にはあまり差異が見られなかった。これは R シリーズの粗骨材がモルタ

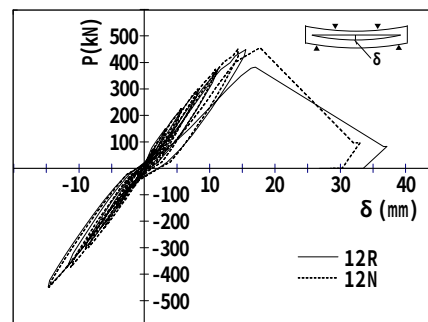


図-5 荷重-変位曲線($p_w=1.2\%$)

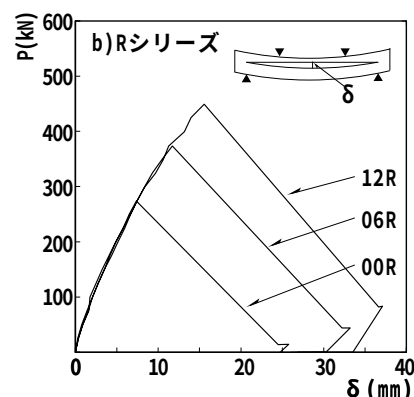
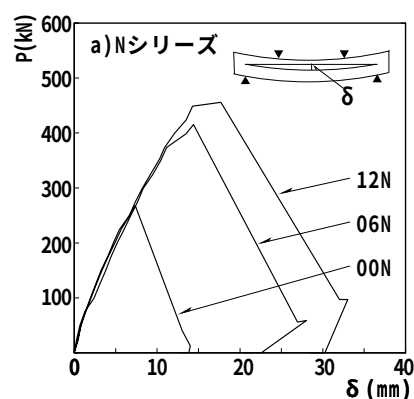


図-6 荷重-変位曲線(包絡線)

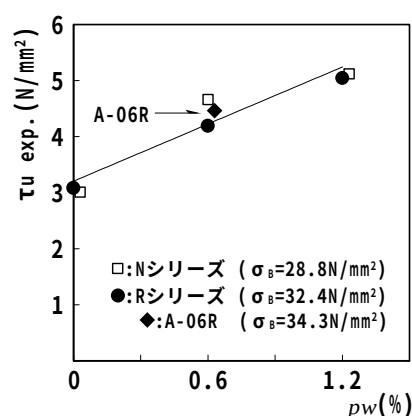


図-7 各試験体の付着割裂強度

ル分や微粉末が付着しNシリーズの碎石に比べ剛性の低い再生粗骨材となっているため、付着割裂強度に影響を及ぼしたものと考える。Rシリーズの $p_w=0.6\%$ ではA-06Rが06Rを若干上回っていた。これは乾燥収縮低減剤の添加によってコンクリートの空気量が低下し圧縮強度 σ_B が上昇したためと考える。

5. 長期間経過の性状

5.1 ヤング係数 図-8 にRシリーズのヤング係数の推移を示す。RC規準によるヤング係数の算定において、コンクリートの単位容積重量 γ は γ を調査しない場合に普通コンクリートで $\gamma=23\text{kN/m}^3$ とすることができるとしている³⁾。本研究では再生コンクリートの γ を測定した結果、 γ は $\gamma=23\text{kN/m}^3$ より小さい値となった。これは本研究で用いた再生粗骨材の表乾密度が 2.44g/cm^3 に対して、普通コンクリートの碎石では 2.70g/cm^3 となっており、再生粗骨材の方が γ は小さい値となっていたためと考えられる。図-8 よりRシリーズのヤング係数の実測値(□印)は γ を考慮することでRC規準式(実線)とよく一致した。

5.2 乾燥収縮ひび割れ性状 図-9 に12Rを例に1年の予定で保存している試験体の乾燥収縮ひび割れを示す。Rシリーズの12Rは材齢4週過ぎに乾燥収縮ひび割れが発生し始めた。12週目では00Rと06Rも側面全体に乾燥収縮ひび割れが発生し、横補強筋比 p_w によるひび割れの発生に違いは見られなかった。

6. まとめ

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を検討した結果、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主筋長期許容応力時の最大曲げひび割れ幅は、普通コンクリートに比べ若干大きくなったが制限目標値の 0.25mm 以内となった。
- 2) 再生コンクリート梁の付着割裂強度は横

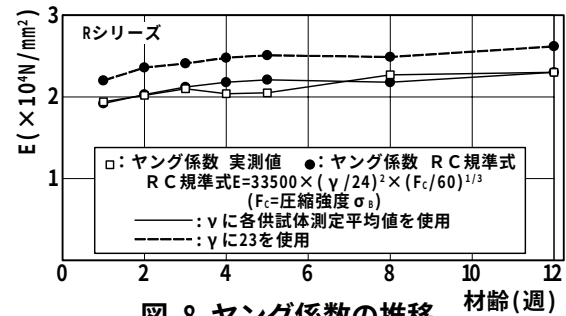


図-8 ヤング係数の推移

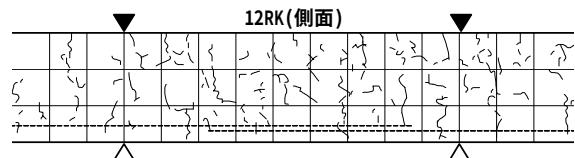


図-9 乾燥収縮ひび割れ(材齢12週)

補強筋の増加に伴い横補強筋負担分が増加し、その増加の割合は普通コンクリートの場合とほぼ同程度であった。

- 3) 再生コンクリートのヤング係数の算定に当たっては、単位容積重量を考慮することで実測値は算定式とよく一致した。

今後、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普通コンクリートと同様に見られるか、打設1年後について更に継続して検討する予定である。

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) 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1報 付着割裂破壊を支配する要因についての実験結果-、日本建築学会論文報告集、第319号、1982.9、pp.47-55
- 2) 桜田智之、師橋憲貴、田中礼治: 重ね継手の付着割裂強度に及ぼす横補強筋および中子筋の効果に関する実験的研究、日本建築学会構造系論文集、1994.11、pp.119-128
- 3) 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