

ビニロン短繊維混入コンクリートを用いたRC梁の静載荷実験

Static bending tests on RC beams using vinylon short-fiber mixed concrete

北海道開発土木研究所 正会員 栗橋 祐介 (Yusuke Kurihashi)
 北海道開発土木研究所 正会員 田口 史雄 (Fumio Taguchi)
 三井建設(株) フェロー会員 三上 浩 (Hiroshi Mikami)
 室蘭工業大学 フェロー会員 岸 徳光 (Norimitsu Kishi)

1. はじめに

引張応力に対して脆性的な破壊性状を示すモルタルやコンクリートの靱性能を向上させるため、種々の短繊維を混入した高靱性モルタル・コンクリートに関する研究が諸研究機関で実施されている。特に、最近では親水性がありモルタルとの付着性能に優れるビニロン短繊維を用いた高靱性モルタル・コンクリートに関する研究が盛んに行われている¹⁾。これまでの研究では、各種材料試験により、主にビニロン短繊維の混入による靱性能向上効果やその評価法に関する検討が行われている。

一方、高靱性コンクリートを種々のコンクリート構造物の構成材料として用いることで、コンクリートの経年劣化に伴うかぶりコンクリートの剥落による第3者被害の防止や、構造物の耐震・耐荷性能の向上も可能になるものと考えられる。しかしながら、高靱性コンクリートを用いた鉄筋コンクリート(RC)部材等に関する実験研究は、一部の研究機関において実施されているものの、未だ十分ではなく、その評価法も確立されるに至っていないのが現状である。

このような観点より、本研究では、ビニロン短繊維を混入した高靱性コンクリートによるRC部材の耐力および靱性能向上効果に関する基礎資料の収集を目的として、高靱性コンクリートを用いたRC梁の静載荷実験を実施した。本研究では、圧縮強度がほぼ同等の普通コンクリートおよび高靱性コンクリートを用い、主鉄筋比、

せん断補強筋比およびせん断スパン比の異なる単純支持RC梁により、コンクリートの材料特性が耐荷挙動に与える影響について検討を行っている。

2. 実験概要

表-1には、本実験に用いたRC梁の一覧を示している。試験体は、コンクリートの種類(普通, 高靱性)、主鉄筋比およびせん断スパン比をそれぞれ2種類に変化させた全8体である。試験体名の第1項目はコンクリートの種類(普通:N, 高靱性:H)および主鉄筋比(1.24%:1, 2.42%:2)の組合せで示しており、第2項目のRに付随する数値は、せん断スパン比の概略値を示している。

また、表中のせん断余裕度 α は、計算曲げ耐力 P_{uc} に対する計算せん断耐力 V_{uc} の比として算出している。ここで、 P_{uc} は後述の断面分割法により算出している。また、 V_{uc} のうち、コンクリートの分担分は文献²⁾を参考に、せん断補強筋の分担分はコンクリート標準示方書³⁾を参考に算出している。なお、高靱性コンクリートを用いたH試験体の α は、普通コンクリートを用いた場合と同様として算定した参考値である。表より、R3試験体の α は1.0よりも小さくなっていることより、普通コンクリート使用時にはせん断破壊することが予想される。

図-1には、RC梁の形状寸法および配筋状況を示している。本実験に用いた試験体は、全て断面寸法200×200mm、純スパン1.5mの複鉄筋RC梁である。軸方

表-1 試験体の一覧

試験体名	コンクリートの種類	主鉄筋比 p_t (%)	せん断スパン比 r_s	せん断余裕度* α
N1-R3	普通	1.24	3.1	0.91
N1-R5		(D16)	4.7	5.55
N2-R3		2.42	3.1	0.66
N2-R5		(D22)	4.7	3.38
H1-R3	高靱性	1.24	3.1	(0.92)
H1-R5		(D16)	4.7	(5.60)
H2-R3		2.42	3.1	(0.67)
H2-R5		(D22)	4.7	(3.41)

* ただし、H試験体のせん断余裕度 α は、普通コンクリートの場合と同様として算定した参考値。

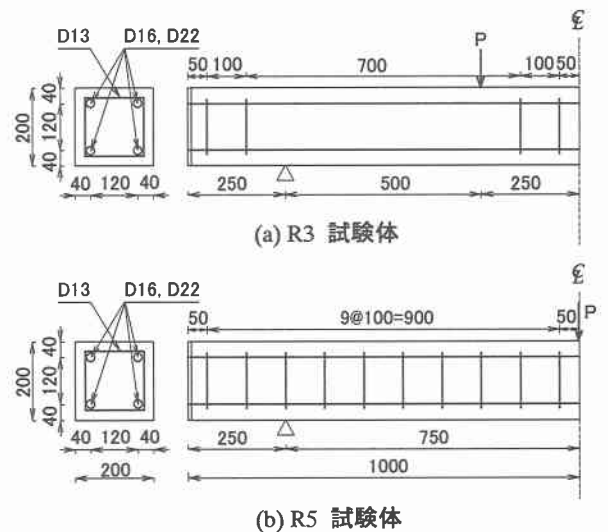


図-1 試験体の形状寸法および配筋状況

表-2 コンクリートの配合

種類	V_f (vol. %)	W/C (%)	単位量 (kg/m ³)				SP (C×%)	スランプ (cm)	空気量 (%)
			W	C	S	G			
普通	0	51	147	288	868	1057	-	10.5	4.2
高靱性	1.5	53	152	288	937	972	0.6	5.2	4.4

V_f : 短繊維混入率, SP: 高性能減水剤

表-3 ビニロン短繊維の寸法および材料特性値

直径 (mm)	長さ (mm)	弾性 係数 (GPa)	引張 強度 (MPa)	破断 歪み (%)
0.66	30	29.4	0.88	7.0

表-4 コンクリートの力学性能試験結果

種類	圧縮 強度 (MPa)	圧縮靱 性係数 (MPa)	曲げ 強度 (MPa)	曲げ靱 性係数 (MPa)	引張 強度 (MPa)
普通	39.7	24.6	5.2	-	3.4
高靱性	37.6	27.7	5.4	4.4	4.1

* 全て3供試体の平均値

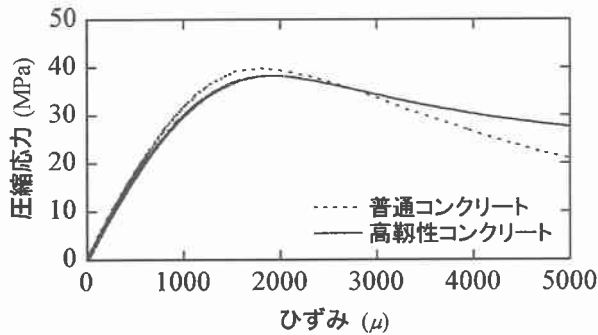


図-2 圧縮試験結果の一例

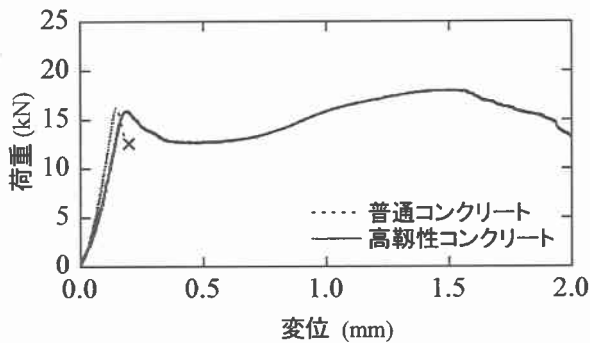


図-3 曲げ試験結果の一例

向筋には D16 (SD345)もしくは D22 (SD345) を用いている。せん断補強筋は、R5 試験体の場合のみ D13 (SD295) を用いて100 mm 間隔で配置している。また、荷重方法は R3 および R5 試験体で、それぞれ等曲げ区間 50 cm の2点荷重および中央1点荷重としている。そのため、せん断スパン比は、それぞれ 3.1 および 4.7 となっている。

表-2, 3には、各コンクリートの配合およびビニロン短繊維の材料特性値の一覧を示している。本実験では、高靱性コンクリートへのビニロン短繊維の体積混入率(以後、単に短繊維混入率 V_f)を1.5%と設定している。

3. 高靱性コンクリートの力学性能

図-2, 3には、高靱性コンクリートの圧縮および曲げ試験結果の一例を普通コンクリートの結果と比較して

示している。また、表-4には、割裂試験結果による引張強度を含めた力学性能試験結果の一覧を示している。

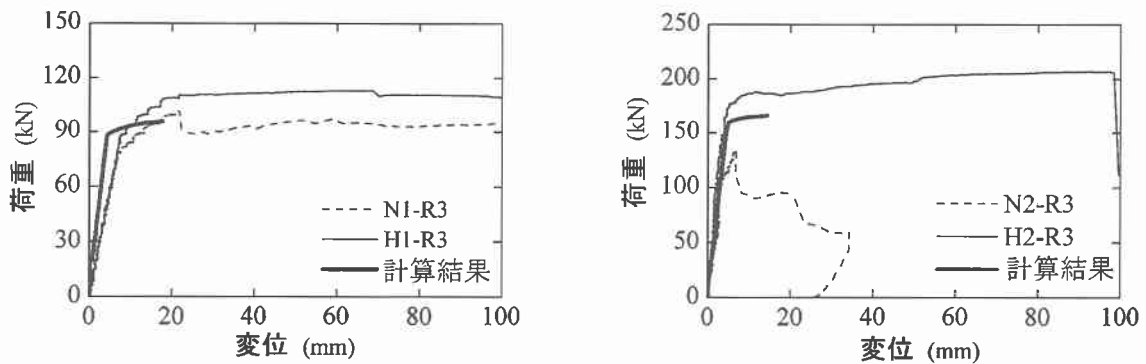
図-2の圧縮試験結果より、両コンクリートともにピーク時までほぼ同様の性状を示していることが分かる。また、ピーク後には、高靱性コンクリートの圧縮応力が普通コンクリートのそれを若干上回っていることより、圧縮靱性の向上が伺える。一方、図-3の10×10×40 (cm) 供試体を用いた曲げ試験結果より、普通コンクリートの場合、最大荷重到達後荷重が急激に低下して曲げ破壊に至っていることが分かる。これに対し、高靱性コンクリートの場合、変位 0.2 mm 程度で荷重が若干低下した後再度荷重が増加し、変位 1.5 mm 程度で最大荷重を示している。これより、本実験に用いた高靱性コンクリートは、ビニロン短繊維の架橋効果により高い靱性を示すことが分かる。なお、表-4のコンクリートの各種力学性能試験結果より、曲げ靱性係数を除き、両コンクリートの力学性能はほぼ同様であることが分かる。

4. RC 梁の静荷重実験

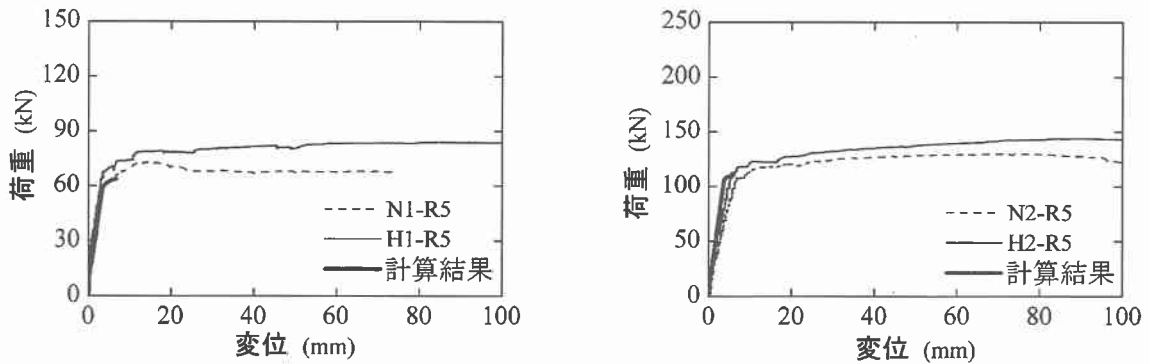
4.1 荷重-変位関係

図-4には、同一形状寸法の普通および高靱性コンクリートを用いた RC 梁の荷重-変位関係を、計算結果と比較して示している。計算結果は、コンクリート標準示方書に準拠してコンクリートおよび鉄筋の応力-ひずみ関係を設定し、断面分割法によって算出した。図には、普通コンクリートを用いた場合に関する計算結果のみを示している。なお、本実験では、荷重が大きく低下した時点、もしくは変位が 100 mm 程度に至った時点を終局とし、荷重を終了している。

図-4(a)のR3試験体の結果より、コンクリートの種類にかかわらず、各試験体の初期勾配はほぼ同様であり、計算結果とも比較的良好に対応していることが分かる。N1/2-R3試験体の実験結果を見ると、計算降伏荷重到達前に剛性勾配が低下していることより、この時点において斜めひび割れが進展しているものと推察される。なお、N1-R3試験体は、表-1に示されているように、



(a) R3 試験体



(b) R5 試験体

図-4 荷重-変位曲線に関する実験および計算結果の比較

せん断余裕度 α が 1.0 よりも若干小さい程度であるため、斜めひび割れの発生により荷重が若干低下するものの、せん断破壊に至らず曲げ破壊により終局に至っている。一方、N2-R3 試験体は、 α が 1.0 を大きく下回っているため、最大荷重到達後に急激な荷重低下を示し、せん断破壊に至っていることが分かる。これらに対し、高靱性コンクリートを用いた H1/2-R3 試験体では、主鉄筋降伏後、変位 100 mm 程度まで急激な荷重低下は見られない。これより、高靱性コンクリートを用いることにより、RC 梁のせん断耐力が向上してせん断破壊型の RC 梁を曲げ破壊型に移行できることが分かる。

図-4(b) の R5 試験体の結果から、いずれの試験体も、計算降伏荷重と同程度かそれ以上の荷重レベルで主鉄筋が降伏し、その後若干の荷重増加を示しながら変位が増大して曲げ破壊に至っていることが分かる。しかしながら、H1/2-R5 試験体は、N1/2-R5 試験体に比べて降伏荷重および最大荷重が大きくなっていることが分かる。これは、高靱性コンクリートが、曲げひび割れ発生後においても引張応力を分担していることによるものと推察される。

4.2 主鉄筋ひずみ分布

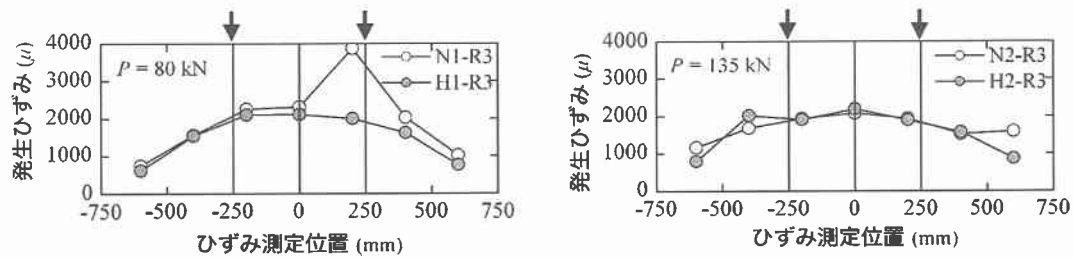
図-5には、N および H 試験体の同一荷重時における主鉄筋ひずみ分布の比較図を示している。ここでは、図-4の荷重-変位関係を参考に、主鉄筋降伏時近傍の結果を示している。ただし、N/H2-R3 試験体の結果は、N2-R3 試験体が主鉄筋降伏前にせん断破壊により終局に至っていることから、N2-R3 試験体の最大荷重時の結

果を示している。

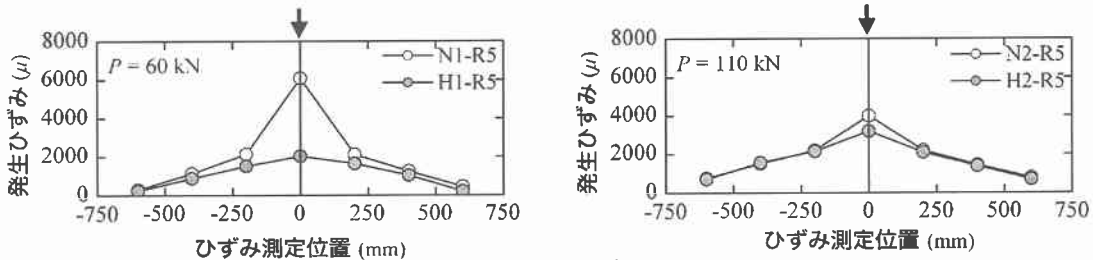
図-5(a) の R3 試験体の結果より、N/H1-R3 および N/H2-R3 試験体のひずみ分布は、それぞれスパン中央部ではほぼ同様であるものの、載荷点近傍やせん断スパンでは対応していないことが分かる。N1-R3 試験体では、右側載荷点近傍および右側せん断スパンで H1-R3 試験体よりも大きなひずみが発生している。これは、右側せん断スパン内に斜めひび割れが発生したことによるものと考えられる。

また、N2-R3 試験体は右側せん断スパンで、H2-R3 試験体は左側せん断スパンで、それぞれひずみ分布が若干乱れている。N2-R3 試験体は、この直後せん断破壊に至っていることより、この部分のせん断ひび割れが開口して終局に至ったものと考えられる。これに対して、H2-R3 試験体は、左側せん断スパンでひずみ分布に乱れが見られるものの、その後も荷重の増加勾配は低下していない。これは、微小な斜めひび割れの発生後、短繊維の架橋効果が発揮され、コンクリートの引張亀裂の進展が抑制されたことによるものと推察される。

図-5(b) の R5 試験体の結果より、N1/2-R5 試験体では、載荷点直下のひずみ値が H1/2-R5 試験体のそれよりも大きく示されていることが分かる。この傾向は、特に N1-R5 試験体で顕著である。これは、前述のように、高靱性コンクリートを用いる場合には、主鉄筋降伏時近傍においてもコンクリートが引張応力を分担するため、主鉄筋の分担する引張応力が軽減されていることを示している。



(a) R3 試験体



(b) R5 試験体

図-5 同一荷重時におけるひずみ分布性状の比較

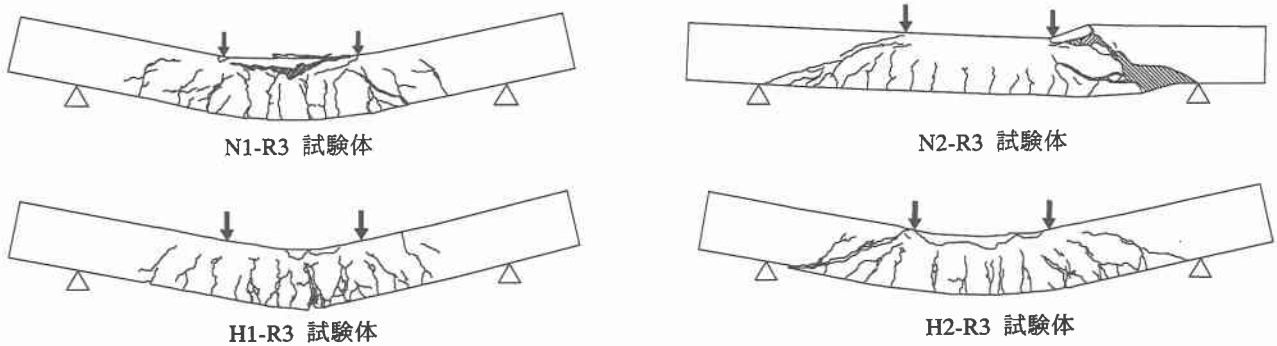


図-6 R3 試験体のひび割れ分布性状

4. 3 破壊性状

図-6には、R3 試験体の実験終了後におけるひび割れ分布性状を示している。N/H1-R3 試験体のひび割れ分布性状を比較すると、H1-R3 試験体の等曲げ区間には、N1-R3 試験体の場合よりも多くの曲げひび割れが発生していることが分かる。これは、高靱性コンクリートのひび割れ分散効果によるものと考えられる。また、N1-R3 試験体では、右側せん断スパンに斜めひび割れの開口が見られるのに対して、高靱性コンクリートを用いた H1-R3 試験体には明瞭なせん断ひび割れは見られず、スパン中央部の曲げひび割れが大きく開口していることが分かる。

N2-R3 試験体のひび割れ分布性状より、右側せん断スパンにおいて著しいせん断破壊を生じ、支点部近傍のかぶりコンクリートが大きく剥落していることが分かる。一方、高靱性コンクリートを用いた H2-R3 試験体は、左側荷点から支点側に向かって斜めひび割れの開口が見られるもの、梁はほぼ左右対称に曲げ変形している。このように、高靱性コンクリートを用いることによってせん断耐力が向上し、せん断破壊型の RC 梁が曲げ破壊型に移行していることが分かる。

5. まとめ

本実験では、ピニロン短繊維を用いた高靱性コンクリートによる RC 梁の耐力および変形性能の向上効果に関する基礎資料を得ることを目的として、普通および高靱性コンクリートを用いた RC 梁の静載荷実験を実施した。本実験で得られた知見は以下の通りである。

- 1) 高靱性コンクリートを用いることにより、斜めひび割れ発生後、短繊維の架橋効果によりコンクリートの引張亀裂の進展が抑制されて、梁のせん断耐力が向上する。
- 2) 高靱性コンクリートを用いた RC 梁は、主鉄筋降伏後においてもコンクリートが引張応力を分担するため、主鉄筋の分担引張応力が低減されて降伏荷重および曲げ耐力が向上する。

参考文献

- 1) コンクリート工学協会：高靱性セメント複合材料を知る・作る・使う，2002.1
- 2) Okamura, H., Higai, T. : Proposed Design Equation for Shear Strength of Reinforced Concrete Beams without Web Reinforcement, Proceedings of JSCE, No. 300, pp. 131-141, 1980.
- 3) 土木学会：コンクリート標準示方書（設計編），2002