

高靱性セメント材料の繊維混入率がRC橋脚の変形性能に及ぼす影響

山之内俊樹¹・幸左賢二²・佐藤崇³

¹学生会員 九州工業大学大学院 工学研究科建設社会工学専攻（〒804-8550北九州市戸畑区仙水町1-1）

²正会員 Ph.D. 九州工業大学教授 工学部建設社会工学科（〒804-8550北九州市戸畑区仙水町1-1）

³正会員 工修（株）長大 福岡構造技術部（〒804-8550北九州市戸畑区仙水町1-1）

1. はじめに

RC 構造物の耐震設計において、構造物の靱性を向上させることで、大規模地震時にエネルギーを効果的に吸収することができる。靱性の向上策としては、構造物に高靱性材料を使用することが効果的であり、この高靱性材料の一つとして、PVA 繊維を配合した高靱性セメント複合材料が挙げられる。高靱性セメント複合材料は繊維によるひび割れ間の応力架橋効果などから、圧縮、引張ともに非常に大きな靱性を有する材料である。また、最大圧縮強度以降においても緩やかに応力が低下する性状を示すため¹⁾、圧縮靱性の向上に付与すると考えられる。

そこで、本研究では鉄筋コンクリート橋脚の耐震性能の向上を目的に、配合および配筋をパラメータとした 11 体の供試体を作製し、高靱性セメント複合材料を用いた RC 橋脚の正負交番載荷実験から、変形性能に及ぼす影響について検討を行った。本論文では主として供試体に高靱性セメント複合材料の繊維混入率および、帯鉄筋間隔の違いが供試体の変形性能に及ぼす影響について評価を行った。

2. 実験概要

(1) 実験供試体と載荷方法

表-1 に供試体諸元、図-1 に供試体形状と載荷方法を示す。供試体形状は、一般的な RC 単柱式橋脚を 1/8 スケールでモデル化した。供試体は平成 14 年道路橋示方書²⁾に準拠して設計し、橋脚が支持する上部構造の重量を 160kN、地盤種別はⅡ種と見込み、レベル 2 地震動に対して断面を決定した。全ての供試体形状は、断面寸法を 400×400mm の正方形断面とし、かぶり厚を 50mm、橋脚基部から載荷点までの高さを 1400mm、せん断支間比を 4.0 としている。軸方向鉄筋および帯鉄筋はそれぞれ D19, D10

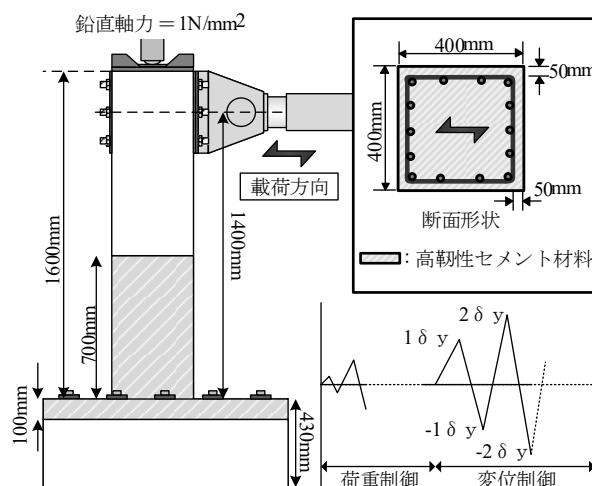


図-1 供試体形状と載荷方法の概略図

の異形鉄筋を用い、配筋は実橋梁の橋脚を極力再現し、高靱性セメント複合材料を用いた場合においても破壊形式が曲げ破壊となることを条件に鉄筋比を 1.43%とした。No.1 を除き全ての供試体で、高靱性セメント複合材料の使用範囲は柱基部より 700mm までの全断面に使用し、それ以上の高さの範囲およびフーチングは普通コンクリートで打設している。700mm を補強範囲とした理由は、降伏曲げモーメント以上の断面力が発生する範囲は、基部からおよそ 0.3~0.4H（H：載荷高さ）であるが、塑性ヒンジ部を含み、かつその遷移領域も含んだ範囲を考慮したためである。

載荷は実構造物の死荷重を再現するため、供試体柱上面より 1.0N/mm² 相当を載荷した一定軸力下で正負交番載荷を行った。水平ジャッキの制御方法は、試算で求めた降伏荷重までは荷重制御で載荷し、その時点での変位を δy と定義し、降伏以後は δy の整数倍を変位制御により載荷した。また、実験での終局変位の定義は降伏荷重を下回った時の変位とし、降伏荷重より低下したループで載荷を終了した。

表-1 供試体諸元

供試体番号		No.1	No.2-1	No.2-4	No.2-6	No.2-7	No.2-8	No.2-9	No.2-10	No.2-11	No.2-12	No.2-13
コンクリート 強度[N/mm ²]	高靱性セメント	-	73.7	60.8	77.4	77.4	92.9	95.2	54.9	95.2	68.8	68.8
	普通コン	30.6	24.8	32.7	41.4	41.4	43.2	43.2	58.3	43.2	49.3	49.3
軸方向鉄筋	名称	SD345	SD345	SD345	SD390	SD490	SD390	SD490	SD490	SD490	SD490	SD490
	降伏強度[N/mm ²]	399	399	420	473	567	473	567	567	567	567	567
	径	D19	D19	D19	D19	D19	D19	D19	D19	D19	D19	D19
	間隔[mm]	150	150	100	75	75	50	75	75	75	50	100
帯鉄筋	名称	SD345	SD345	SD345	SD345	SD345	SD345	SD345	SD345	SD345	SD345	SD345
	降伏強度[N/mm ²]	408	356	420	402	402	402	402	402	402	402	402
	径	D10	D10	D10	D10	D10	D10	D10	D10	D10	D10	D10
	間隔[mm]	150	150	100	75	75	50	75	75	75	50	100
高靱性 セメント 配合	基本配合番号	-	配合-1	配合-2	配合-2	配合-2	配合-2	配合-3	配合-4	配合-3	配合-3	配合-3
	繊維長[mm]	-	8	12	12	12	12	12	12	12	12	12
	繊維混入[Vol. %]	-	2	3	3	3	3	2	3	2	2	2
パラメータ												
(a) 繊維混入率の影響		○	○	○		△		△		△		
(b) 帯鉄筋間隔の影響					△		△	○		○	○	○
(c) 軸方向鉄筋強度の影響				○	○	○						
(d) 高靱性セメントの施工性の影響						○			○			

(2) 実験パラメータ

本実験では高靱性セメント複合材料を RC 橋脚に用いた場合の変形性能を評価するために、表-1 に示す 4 種類のパラメータを設定し、11 体の供試体を作成した。本論文では主に (a) 繊維混入率の影響および (b) 帯鉄筋間隔の影響について考察を行う。なお、(c) 軸方向鉄筋強度の影響、(d) 高靱性セメントの施工性については、実験概要および実験結果を簡潔に示す。

(a) 繊維混入率の影響

高靱性セメント複合材料の繊維混入率が RC 橋脚の変形性能に与える影響を把握する目的で、軸方向鉄筋に普通強度鉄筋 (SD345) を用いて、繊維混入率をそれぞれ 0%, 2%, 3% とした、No.1, No.2-1, No.2-4 を作製した。No.1 は一般的な圧縮強度 30kN/mm² である普通コンクリートを使用した供試体である。また、軸方向鉄筋に高強度鉄筋 (SD490) を用いて、繊維混入率を 3%, 2% とした、No.2-7 (3%), No.2-9 (2%), 2-11 (2%) を作製した。

(b) 帯鉄筋間隔の影響

高靱性セメント複合材料を用いた RC 橋脚における帯鉄筋間隔が変形性能に与える影響を把握する目的で、軸方向鉄筋 SD390 の No.2-6, 2-8 供試体および、軸方向鉄筋 SD490 の No.2-9, 2-11, 2-12, 2-13 供試体を作製した。No.2-6 の帯鉄筋間隔は 75mm, No.2-8 の帯鉄筋間隔は 50mm である。なお、同供試体の繊維混入率は 3% である。また、No.2-9, 2-11, 2-12, 2-13 の帯鉄筋間隔はそれぞれ、75mm, 50mm, 100mm であり、同供試体の繊維混入率は 2% である。

(c) 軸方向鉄筋強度の影響

高強度鉄筋と高靱性セメント複合材料を組み合わせた際の RC 橋脚の変形性能を分析する目的で、軸方向鉄筋強度をパラメータとし、軸方向鉄筋 SD345 を用いた No.2-4, 軸方向鉄筋 SD390 を用いた No.2-6, 軸方向鉄筋 SD490 を用いた No.2-7 を作製した。その結果、各供試体の最大荷重は軸方向鉄筋強度の上昇に伴い上昇した。また、終局変位については、No.2-4, 2-6, 2-7 でそれぞれ、122mm, 163mm, 127mm であり、No.2-6 が最も大きい変形性能を有していた。

(d) 高靱性セメントの施工性の影響

高靱性セメント複合材料の施工性が RC 橋脚の変形性能に与える影響を把握する目的で、No.2-7 の高靱性セメント複合材料の水セメント比を 45% から 50% に変更し、高靱性セメント複合材料の流動性を向上させた No.2-10 を作製した。その結果、No.2-7 に対して No.2-10 の変形性能は 12% 向上する結果が得られた。また、スランプフローは 45cm×45cm で No.2-7 に対して、No.2-10 のスランプフローは 48cm×48cm となり、流動性が改善された。

3. 繊維混入率の影響評価

(1) 実験結果

図-2 に代表例として、繊維混入率 0% (普通コンクリート) の No.1, 繊維混入率 2% の No.2-1, 繊維混入率 3% の No.2-4 の荷重変位履歴曲線を示す。同図 (a) に示すように No.1 は水平変位 8.5mm で降伏荷重 149kN となり、その後、6δy でかぶりコンク

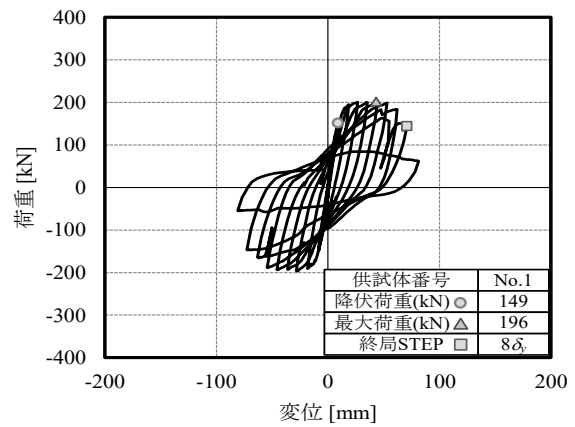
リートのはらみ出しが発生し、7 δ y で荷重低下し、8 δ y で降伏荷重を下回った。同図 (b) に示すように No.2-1 は水平変位 9.5mm で降伏荷重 135kN となり、その後、10 δ y でかぶりコンクリートのはらみ出しが発生し、11 δ y で荷重低下し、12 δ y で降伏荷重を下回った。同図 (c) に示すように No.2-4 は水平変位 8.2mm で降伏変位 158kN となり、その後、13 δ y でかぶりコンクリートのはらみ出しとともに荷重が低下し始め、15 δ y で引張側の主鉄筋が 1 本破断し、降伏荷重を下回った。

図-3 は軸方向鉄筋に普通強度鉄筋 SD345 を使用し、繊維混入率をパラメータとした、No.1 (0%), No.2-1 (2%), No.2-4 (3%) の終局変位時までの荷重変位包絡線を比較した図である。まず、最大荷重は、普通コンクリートを使用した No.1 の 198kN に対し、No.2-1、2-4 の最大荷重は約 210kN (1.1 倍) となっている。次に、かぶりコンクリートのはらみ出し発生変位を比較すると、No.1 の 54mm に対し、繊維混入率が 2% である No.2-1 のはらみ出し発生変位は 92mm (1.7 倍)、また、繊維混入率を 3% とした No.2-4 は 107mm となり、さらに 1.2 倍向上する結果となった。このことから、高靱性セメント複合材料の使用により変形性能の向上が確認できた。

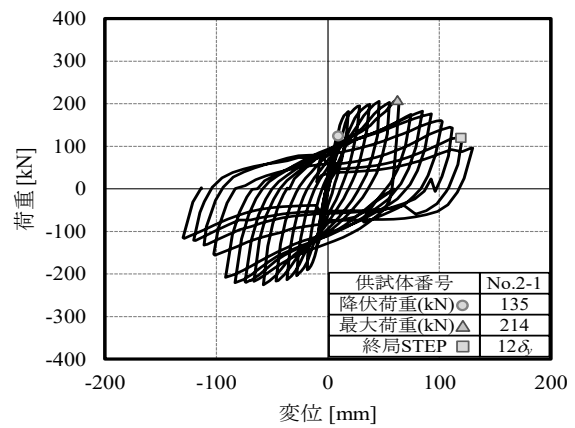
図-4 は軸方向鉄筋に高強度鉄筋 (SD490) を使用し、繊維混入率をパラメータとした、No.2-7(3%), No.2-9(2%), 2-11 (2%) の終局変位時までの荷重変位包絡線を比較した図である。ここでは参考値として、No.1 も示す。同図に示すように、最大荷重を比較すると、普通鉄筋と普通コンクリートを使用した No.1 に比べ、高強度鉄筋と高靱性セメント材料を使用した 3 供試体では、1.5~1.6 倍になることがわかる。また、はらみ出し発生変位は、1.9~2.2 倍となった。さらに、終局変位を比較すると、はらみ出し発生変位と同様に、1.8 倍、2.2 倍向上する結果となった。このことから、普通鉄筋シリーズ同様に、高靱性セメント材料を用いることで、高強度鉄筋を用いた場合でも変形性能の低下を抑制し、普通強度鉄筋以上の変形性能を有することがわかる。しかし、繊維混入率 2% の No.2-9、2-11 に対して、繊維混入率 3% の No.2-7 の変形性能はやや低下する結果となった。

(2) 材料試験

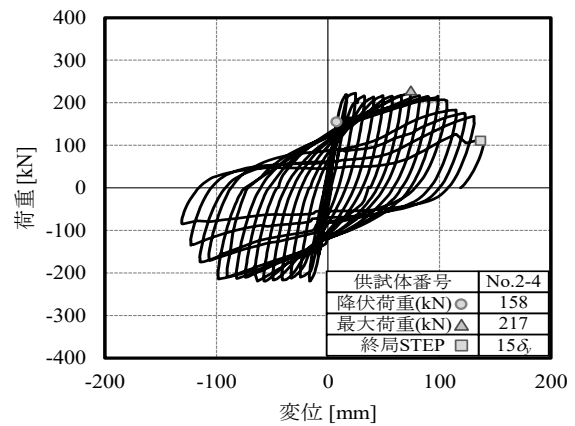
表-2 に各供試体の高靱性セメント複合材料の配合を示す。配合 1 は繊維長 8mm の繊維を 2.0Vol.% で混入させた高靱性セメント複合材料であり、配合 2、3 は繊維長を 8mm から 12mm に変更し、施工可能な範囲で繊維混入率を最大限に増加させること



(a) No.1



(b) No.2-1



(c) No.2-4

図-2 荷重変位履歴曲線

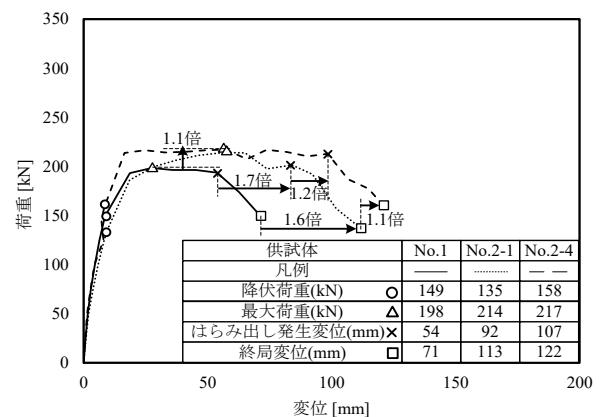


図-3 荷重変位包絡線 (普通鉄筋シリーズ)

を目的に、繊維混入率を 3.0Vol.%, 2.0Vol.%としたものである。繊維混入率が増加すると粘性が増加するため増粘剤を使用せず、材料分離が発生しない範囲で水セメント比を大きくし(水セメント比 45%),フライアッシュの割合を増加させ、高性能 AE 減水剤を用いることで流動性を確保した。また、配合 4 は配合 2 の水セメント比 45%から 50%に増加させ、高靱性セメント複合材料の流動性を高めた配合である。練混ぜ方法として、No.2-1, 2-4 では水平一軸ミキサー、No.2-6 以降では、水平二軸強制練混ぜミキサーを使用し、約 2 分間セメントモルタルを攪拌し、その後、繊維を投入し約 8 分間練混ぜし、その後フレッシュ試験としてスランプフローと空気量の測定後、打設を行った。

ここでは、柱供試体実験を行うにあたり繊維混入率の違いが圧縮靱性に及ぼす影響について検討するために、No.2-1, 2-4, 2-7, 2-9, 2-11 供試体の高靱性セメント複合材料の圧縮試験を実施した結果についてまとめる。各供試体に使用した配合については表-1 に示す。各供試体における圧縮試験体の本数は 100mm×200mm のテストピース約 10 体である。応力ひずみ履歴の測定範囲は、載荷開始から試験体に発生するポストピークの応力が圧縮応力の 10%に低下する領域とした。

図-5, 6 に各供試体の高靱性セメントの圧縮試験から得られた応力ひずみの平均値を示す。繊維混入率 2%および 3%の圧縮試験の平均値を比較すると、最大圧縮応力は繊維混入率 2%の No.2-1 は 73.7N/mm², No.2-9, 2-11 は 95.2N/mm², 繊維混入率 3%の No.2-4 は 69N/mm², No.2-7 は 77.4N/mm² となり、繊維混入率 3%の方がやや小さくなる傾向となった。また、応力が最大圧縮応力の 10%に達した時点の終局ひずみは繊維混入率 2%の No.2-1 は 32000 μ , No.2-9, 2-11 は約 45000 μ , 繊維混入率 3%の No.2-4 は 45000 μ , No.2-7 は約 32000 μ となった。繊維混入率が同じであっても No.2-9, 2-11 に比べて No.2-1 の終局ひずみが伸びなかった原因としては、No.2-9, 2-11 の繊維長が 12mm に対し、No.2-1 に使用した繊維長は 8mm であることが考えられる。また、繊維混入率 3%の No.2-7 が繊維混入率 2%の No.2-9, 2-11 に比べて、圧縮強度および圧縮靱性共に、やや低くなっている。

(3) 試算方法および結果

(a) 試算方法

普通強度の材料を用いた No.1 および高靱性セメントを用いた各供試体の材質および配筋の違いが耐震性能に及ぼす影響を把握するため、道路橋示方

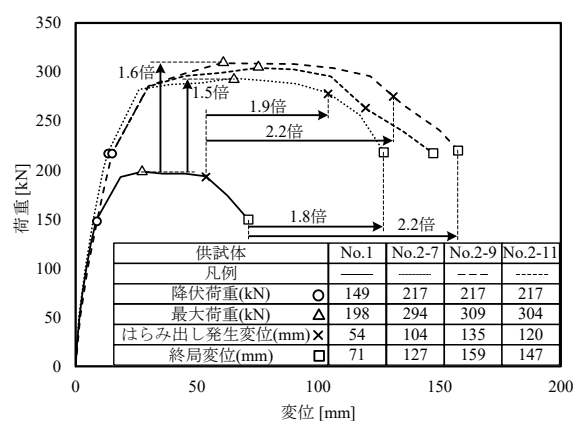


図-4 荷重変位包絡線 (高強度鉄筋シリーズ)

表-2 高靱性セメント材料の配合

配合	PVA繊維		W/C	単位量 (kg/m ³)						
	繊維量 (Vol.%)	繊維長 (μm)		W	C	F	S	AE	PVA	
1	2	8	45	261	580	580	580	20	39	
2	3	12	45	261	580	580	580	20	39	
3	2	12	45	261	580	580	580	20	26	
4	3	12	50	282	564	564	564	19	38	

W:水, C:セメント, F:フライアッシュ, S:珪砂6号

AE:AE減水剤, PVA:PVA繊維

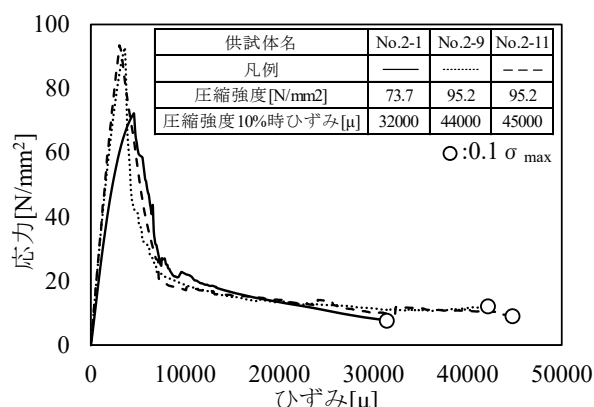


図-5 高靱性セメントの応力ひずみ関係 (2%)

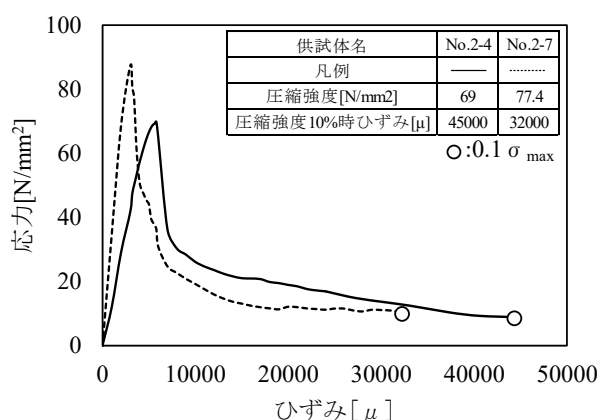


図-6 高靱性セメントの応力ひずみ関係 (3%)

書²⁾を基本とし供試体の耐力及び変形性能の試算を行った。降伏の定義は、最外縁の軸方向鉄筋位置

において軸方向鉄筋の引張ひずみが降伏ひずみに達するときの状態とした。終局の定義は、最外縁の軸方向鉄筋位置の圧縮ひずみがコンクリートの終局圧縮ひずみに達するときの状態とした。なお、道路橋示方書ではコンクリートの最大圧縮ひずみの80%を終局圧縮ひずみと定義しているが、ここでは普通コンクリートおよび高靱性セメント材料の最大圧縮ひずみの25%に達した時を終局圧縮ひずみと定義した。これは、著者ら³⁾によって行われた既往の研究により、最大圧縮応力の25%相当まで断面力を受け持つと想定した際の実験結果と試算結果の整合がとれていたためである。

ここに代表として、No.2-7、2-9の試算に使用した高靱性セメント複合材料の圧縮応力ひずみ関係を図-7に示す。同図に示す実線は、図-5、6に示す圧縮試験結果の平均値を直線で近似する方法で作成している。また、同図に示す点線は、高靱性セメント材料の応力軟化勾配が帯鉄筋の拘束によって緩慢になる現象を想定したものである。本稿では、普通コンクリートを用いた場合に Park ら⁴⁾の提案式によって算出された帯鉄筋の拘束効果に相当する面積が、高靱性セメント材料の場合にもエネルギー増加分として作用する(図中斜線部)と仮定している。また、高靱性セメント材料は繊維による応力架橋効果により、引張側における断面力の負担も期待できる材料であるが、柱部材では繊維長に比べ部材厚が厚く、引張側で抵抗が十分小さいと想定され、文献³⁾においても引張力を考慮しない試算の方が実験値を精度良く評価出来ていることから、試算では引張力を考慮しなかった。鉄筋の応力ひずみ関係は、ヤング係数を $2 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ 、降伏応力に実降伏強度を使用し、降伏後の応力を一定とするバイリニア型の応力ひずみ関係とした。

(b) 試算結果

試算に用いた材料諸元および、供試体形状は図-1および表-1の諸量である。図-8に各供試体の試算より得られた荷重変位関係を示す。まず、軸方向鉄筋にSD345を使用したNo.1、2-1、2-4の終局変位を比べると、繊維混入率0%(普通コンクリート)のNo.1に対して、繊維混入率2%のNo.2-1の終局変位が46mmから121mm(2.6倍)に向上している。また、繊維混入率3%のNo.2-4の終局変位は143mmとなり、さらに1.2倍向上している。これは、普通コンクリートに比べて、高靱性セメント材料の終局ひずみが大きいことから、終局ひずみに達する際の終局曲率が大きくなることで、終局変位が大きくなったと考えられる。次に、軸方向鉄筋SD490を使用したNo.2-7、2-9、2-11の荷重変位曲線を比較す

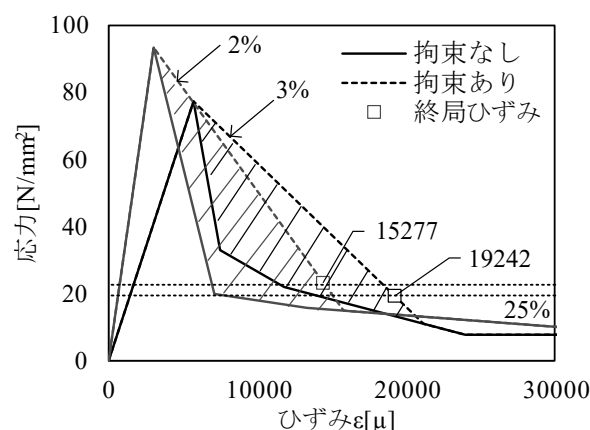


図-7 試算に用いたコンクリートの応力ひずみ関係

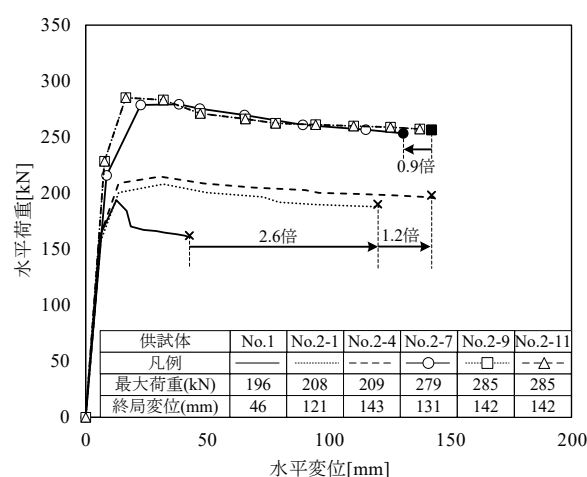


図-8 試算結果

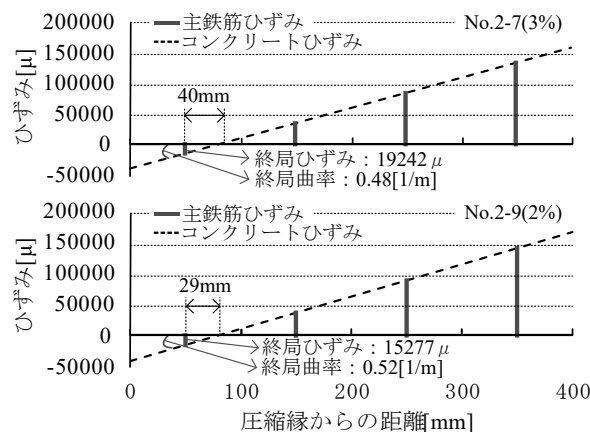


図-9 終局時の断面ひずみの比較

ると、3 供試体とも同じような曲線を描いている。図-5で示すように、No.2-9とNo.2-11の高靱性セメント複合材料の応力ひずみはほぼ等しいので、試算には同じモデルを使用したため、試算結果は同じである。しかし、繊維混入率2%のNo.2-9、2-11に対して、繊維混入率3%のNo.2-7の終局変位が142mmから131mm(0.9倍)と減少している。これは、図-7の応力ひずみモデルに示すように、繊維混入率3%の方が終局ひずみが4000 μ 程度大きいものの、圧縮強度は繊維混入率2%の方が大きい。一

一般的には、前述したように、終局ひずみが大きい方が、終局曲率が大きくなり、終局変位が大きくなる。しかし、軸方向鉄筋に高強度鉄筋を用いると、引張鉄筋が負担する荷重が増加し、中立軸が図心中央へシフトすることで、終局曲率が小さくなり、終局変位が小さくなるが、図-9 に示すように、コンクリートの圧縮強度が大きいと、中立軸から主鉄筋までの位置が 40mm から 29mm になることで、終局曲率が 0.48[1/m]から 0.52[1/m]と大きくなる。そのため、高強度鉄筋を使用したケースでは、コンクリートの圧縮強度が変形性能に与える影響は大きいと考えられる。

(4) 比較

図-10 に終局変位の試算結果と実験結果の比較を示す。図中の比率は試算値に対する実験値の値である。縦軸に繊維混入率，横軸に終局変位を示す。また、白塗りのプロットが実験値，黒塗りのプロットが試算値である。まず、試算値と実験値を比較すると、No. 1 以外は比率が±15%内であり、概ね実験値を再現できているといえる。次に、普通鉄筋シリーズを見ると、前述したように、試算値、実験値ともに、繊維混入率を 0%から 2%にすることで終局変位が約 2 倍向上し、繊維混入率を 2%から 3%にすることで終局変位はさらに約 1.1 倍向上している。しかし、高強度鉄筋シリーズを見ると、実験値、試算値ともに、繊維混入率を 2%から 3%に増加させても、終局変位は約 0.9 倍と小さくなっている。

図-11 に最大荷重の試算結果と実験結果の比較を示す。縦軸に繊維混入率，横軸に最大荷重を示す。プロットの記号は図-10 と同じである。まず、試算値と実験値を比較すると、比率は±10%内であり、概ね実験値を再現できているといえる。また、普通鉄筋シリーズ、高強度鉄筋シリーズ共に、繊維混入率が最大荷重に与える影響は小さいことがわかる。

以上より、PVA 繊維を混入した高靱性セメント複合材料を用いた No. 2-1, 2-4 は、普通コンクリートを用いた No. 1 に比べ、最大荷重はやや大きくなり、変形性能が 2 倍以上向上することが確認できた。また、No. 2-7, 2-9, 2-11 は高強度鉄筋の高強度化に伴う変形性能の低下に比べ、高靱性セメント複合材料を用いることによる変形性能の増加がより大きくなることが試算値、実験値からも確認できた。しかし、繊維混入率を 2%から 3%に増やしても、RC 橋脚の変形性能を向上させる効果は小さいことが試算値、実験値からも確認できた。

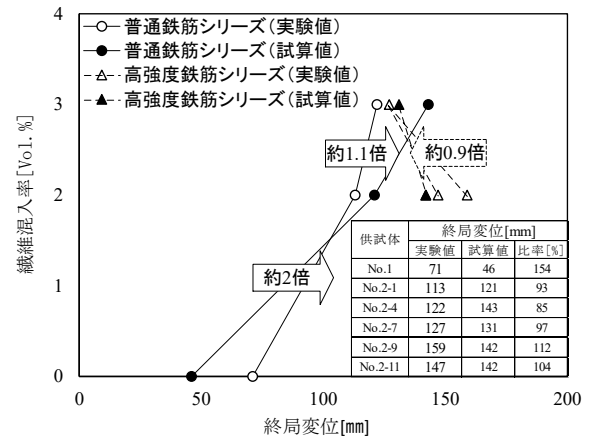


図-10 試算結果と実験結果の比較（終局変位）

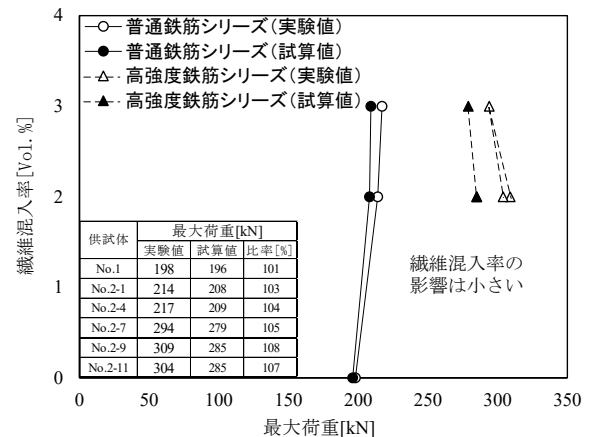


図-11 試算結果と実験結果の比較（最大荷重）

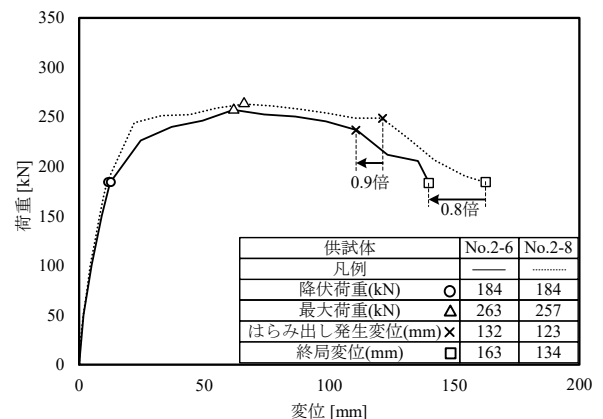


図-12 荷重変位包絡線(SD390)

4. 帯鉄筋間隔の影響評価

(1) 実験結果

ここでは、帯鉄筋間隔をパラメータとした、供試体の実験結果を示す。まず、図-12 は軸方向鉄筋 SD390 を使用した、No.2-6, 2-8 の終局変位までの荷重変位包絡線を比較したものである。最大荷重は No.2-6 が 263kN, No.2-8 が 257kN とほとんど差はない。次に、かぶりコンクリートのはらみ出し発生変位を比較すると、帯鉄筋間隔 75mm の No.2-6 の

132mm に対して、帯鉄筋間隔 50mm の No.2-8 は 123mm と 0.9 倍となり、帯鉄筋間隔を狭くしたにも関わらず、はらみ出しの発生を遅延することはできなかった。さらに、終局変位を比較をすると、No.2-6 の 163mm に対し、No.2-8 は 134mm と 0.8 倍となり、さらに差が大きくなる結果となった。

次に、図-13 は軸方向鉄筋 SD490 を使用した No.2-9, 2-11, 2-12, 2-13 の終局変位までの荷重変位包絡線を比較したものである。まず、最大荷重は各供試体とも 300kN 前後と大きな差はない。また、かぶりコンクリートのはらみ出し発生変位を比較すると、帯鉄筋間隔 75mm, 50mm, 100mm の No.2-11, 2-12, 2-13 のはらみ出し発生はいずれも 120mm と同じなのに対して、帯鉄筋間隔 75mm の No.2-9 のはらみ出し発生変位は 135mm と約 1.1 倍になり、1 δ y 分はらみ出し発生が遅れる結果となった。さらに、終局変位を比較すると、終局変位が最も小さかったのは、帯鉄筋間隔が最も大きい 100mm の No.2-13 (140mm) であり、それに対し、帯鉄筋間隔 75mm の No.2-9, 2-11 の終局変位は 159mm (1.1 倍), 147mm (1.06 倍) とやや大きくなった。また、帯鉄筋間隔が 50mm で最も狭い No.2-12 の終局変位は 158mm (1.1 倍) という結果となった。No.2-9 と No.2-11 の実験結果より、同一条件の供試体であっても、はらみ出し発生変位、終局変位ともに 1 δ y 程度の差が生じることが確認できた。

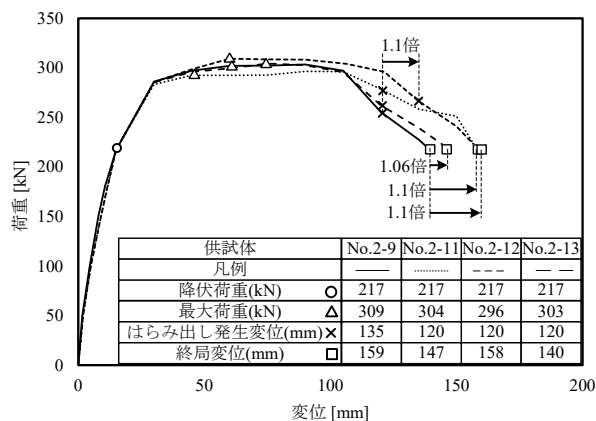


図-13 荷重変位包絡線(SD490)

表-3 他機関の供試体諸元

引用文献	供試体名	せん断スパン 断面形状[mm]	主鉄筋		帯鉄筋		コンクリート 強度[MPa]
			名称	比[%]	名称	間隔[mm]	
① 中山ら ⁵⁾	I-2	1150 400×400	SD345 D19	2.87	SD345 D13	80	27
	I-4					60	24
	I-5					50	31
② 中田ら ⁶⁾	HS0.2L19	1500 400×400	SD345 D19	0.61	SD345 D10	65	33
	LS0.5L19					175	39
③ 連上ら ⁷⁾	C	3010 600×600	USD685 D13	0.99	USD685 D6	75	69
	D					50	71
④ 九工大	No.2-6	1400 400×400	SD390 D19	1.43	SD345 D10	75	77
	No.2-8		SD490 D19			50	93
	No.2-9					75	95
	No.2-11					75	54
	No.2-12					50	69
	No.2-13					100	69
⑤ 栗橋ら ⁸⁾	N-V2	1250 250×250	SD295 D13	2.43	なし		45
	S-V2				SD295D6	100	45

(2) 普通コンクリートを用いた供試体との比較

ここでは、普通コンクリートを用いて帯鉄筋間隔をパラメータとした RC 橋脚の載荷実験と本実験を比較する。表-3 に他機関で行われた RC 橋脚の供試体諸元を示す。

図-14 に表-3 に示す各供試体のはらみ出し発生変位と帯鉄筋比の関係を示す。凡例に示す番号は、表-3 に示す引用文献の上からの番号と同じである。九工大と栗橋らの供試体は繊維を配合したコンクリートを用いている。また、図中の四角で囲んでいる数字は、各供試体のプロットを結ぶ傾きの値であり、はらみ出し発生変位の増加量を帯鉄筋比の増加量で除すことにより算出した。この値は大きくなるほど、帯鉄筋間隔の効果が大きくなることを示している。No.2-9 と No.2-11 は帯鉄筋比が同じであるため、はらみ出し発生変位を平均している。図-15 も同様である。図-14 より、傾きの値は-38(はらみ出し発生変位の差/帯鉄筋比の差=mm/%) から 63mm/%であり、平均傾きは 15mm/%である。普通コンクリートを使用した供試体の傾きの値は 0mm/%以上になることから、帯鉄筋比を増加させ

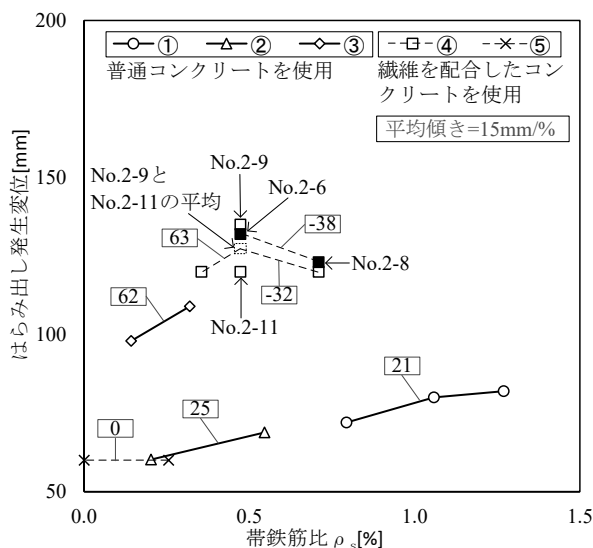


図-14 はらみ出し発生変位と帯鉄筋比の関係

ることで、はらみ出し発生変位を遅延させることがわかる。しかし、繊維を配合した供試体においては、傾きが 0mm/%以下になる供試体もあり、帯鉄筋比を増加させる効果は小さいことがわかる。

図-15 には終局変位と帯鉄筋比の関係を示す。同図より、傾きの値は-123(終局変位の差/帯鉄筋比の

差=mm/%) から-110mm/%となり、平均傾きは30mm/%である。No.2-6 と No.2-8 を結ぶ傾き以外では、傾きは0mm/%以上となり、図-14 中の平均傾きより2倍大きくになっているのが確認できことから、帯鉄筋比を増加させることで、終局変位が大きくなることがわかる。

以上より、帯鉄筋比を増加することは、かぶりコンクリートのはらみ出し発生変位を遅延させる効果より、はらみ出し発生後の荷重低下を緩やかにし、終局変位を増加させる効果の方が大きいと考えられる。なお、No.2-8 の終局変位が No.2-6 より小さくなった理由は、帯鉄筋間隔が狭いことで、軸方向鉄筋の狭い区間でひずみが集中し、早期に引張側の軸方向鉄筋が破断したため、急激な荷重低下が起きたと考えられる。また、繊維を配合したコンクリートを用いた供試体のはらみ出し発生変位の差が小さかった理由として、帯鉄筋および繊維の拘束効果により、はらみ出し発生を限界まで抑えていたため、はらみ出し発生変位の差が小さかったことも考えられる。

5. まとめ

繊維混入率および帯鉄筋間隔がRC橋脚の変形性能に与える影響について、載荷実験結果および試算結果をまとめたことで得られた知見を以下に示す。

- (1)普通コンクリートを用いた No.1 に対して、高靱性セメント複合材料を用いた No.2-1, 2-4 の終局変位は1.6倍以上となった。さらに、高強度鉄筋および高靱性セメント複合材料を使用した No.2-7, 2-9, 2-11 の最大荷重は約1.5倍、終局変位も約2倍となった。この傾向は試算結果からも同様のことが示せたことから、繊維を配合した高靱性セメント複合材料を用いることで、変形性能を向上させることが可能なことがわかった。
- (2)繊維混入率を0%から2%に増やした際の変形性能は大きく向上したものの、繊維混入率を2%から3%に増やしても、変形性能の向上は小さいことが実験値および試算値より確認できた。このことから、繊維混入率は2%程度がRC橋脚の変形性能を効率よく向上させるのに適していると考えられる。
- (3)九工大および他機関の実験結果により、はらみ出し発生変位と帯鉄筋比の関係は15(はらみ出し発生変位の差/帯鉄筋比の差=mm/%)に対して、終局変位と帯鉄筋比の関係は30(終局変位の差/帯鉄筋比の差=mm/%)と2倍大きくなった。しかし、変形性能に対する高靱性セメント複合材料

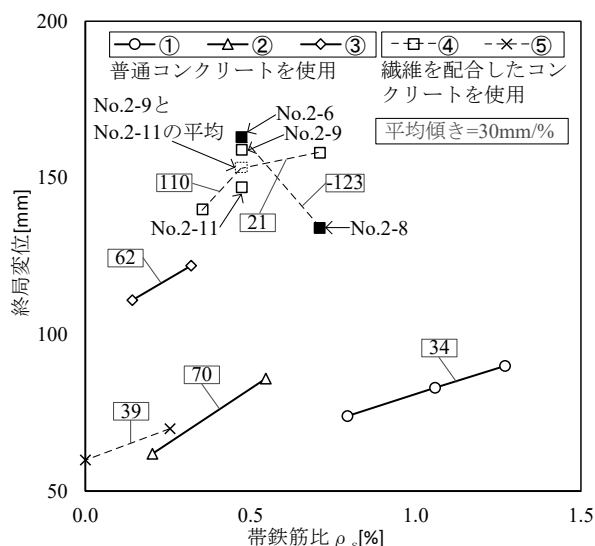


図-15 終局変位と帯鉄筋比の関係

の効果に比べると、帯鉄筋比を増加させる効果は小さいと思われる。

参考文献

- 1) 松尾庄二, 関田徹志, 福山洋, 六郷恵哲: 委員会報告「高靱性セメント複合材料の性能評価と構造利用研究委員会の活動と性能比較試験結果」, コンクリート工学年次論文集, Vol.24, No.1, pp.43-50, 2002
- 2) 公益社団法人日本道路協会: 道路橋示方書・同解説IV 下部構造編, 2002.3
- 3) 清水英樹, 幸左賢二, 小川敦久, 合田寛基: 柱外周面のみに高靱性セメントを使用した耐震補強効果の検証, 構造工学論文集, vol.57A, pp.405-417, 2011.3
- 4) Kent, D.C., Park, R., "Flexural Members with Confined Concrete", Journal of the Structural Division, ASCE, Vol.97, No.ST7, July, 1971, pp.1969-1990
- 5) 中山弥須夫, 石橋忠良, 鎌田則夫: 帯鉄筋を密に配置したRC柱の変形性能, コンクリート工学年次文集, Vol.19, No.2, pp.783-788, 1997
- 6) 中田裕喜, 田所敏弥, 谷村幸裕, 奥西, 淳一: RC柱における配筋詳細が変形性能に及ぼす実験的検討, コンクリート工学年次文集, Vol.34, No.2, pp.775-780, 2012
- 7) 運上茂樹: 高強度材料を用いた鉄筋コンクリート橋脚の耐力・変形性能にの評価に関する研究, 土木研究所資料第4007号, 2006年2月
- 8) 栗橋祐介, 岸徳光, 三上浩, 田口史雄: PVA短繊維混入によるRC柱の靱性性能向上効果, 構造工学論文集 Vol.58A, pp.879-888, 2012.3