

ステンレス鉄筋を用いた高機能 RC 部材の開発

日本コンクリート技術(株) 佃 有射
 日本コンクリート技術(株) 篠田 佳男

1. はじめに

我が国の橋梁は、道路橋が 672,909 橋(橋長 2m 以上)、鉄道橋が 93,162(JR 全社)を数える。図-1 は橋長 15m 以上の道路橋を管理主体別に示したものであるが、そのほとんどが地方自治体により管理されている。また、さらに小規模の橋を含めると市町村が管理する道路橋の割合はさらに増大する。小規模な橋梁は戦前から長期にわたって供用されているものが多く、海洋環境下以外の橋梁においても、凍結防止剤の使用により塩害による劣化が顕在化している。また、構造性能上も問題となるものが多く、地域社会の安全・安心を考えると、橋梁上部工の架替えも視野に入れることも肝要である。その場合には、施工性、耐荷性に優れ、かつライフサイクルコスト (LCC) 最小化を実現する工法の開発が必要となる。

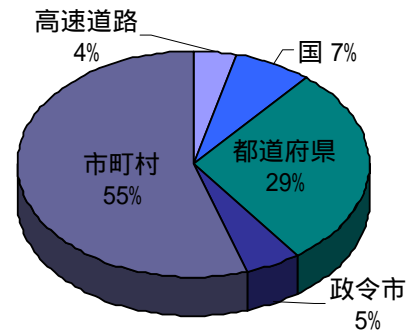


図-1 全国道路橋の管理主体

本研究は、建設企業の連携によるフロンティア事業「地域貢献型コンクリートメンテナンス工法の開発・普及拡大」として橋梁の LCC 最小化に加えて、補修・補強工事の急速施工と地元建設産業の振興を目的として行っているものである。とくに、東日本大震災の復旧・復興を考えると、厳しい気象条件下で長期に安全・安心に供用され、かつ急速施工が可能となる工法が求められている。そこで、施工方法は急速施工が可能となるプレキャスト工法に着目した。また、ステンレス鉄筋(以下、SUS 鉄筋と称す)を使用することで、メンテナンスフリーな鉄筋コンクリート構造物の実現を目指す。SUS 鉄筋を使用する事のメリットとしては、従来の鉄筋コンクリート部材に比べて部材の薄肉軽量化が図れるために、橋梁下部工への荷重負担を軽減できることも挙げられる。

本報告は、このような背景を踏まえて、SUS 鉄筋を用いた高強度・高耐久・軽量の高機能 RC 部材の開発・実用化を目的として実施した実験について報告するものである。

2. 実験概要

表-1 は実験に使用した 4 試験体の内容を示したものである。試験体名称は(破壊モード) - (主鉄筋の本数) - (せん断スパン比(以下、 a/d と称す))で表した。試験体の破壊モードは、曲げ卓越型(B)とせん断卓越型(BS)の 2 タイプとした。また、 a/d は 2.2 と 2.8 の 2 水準とした。各 a/d とともに破壊モード B は主鉄筋を 3 本、破壊モード BS は主鉄筋を 5 本それぞれ配置することとした。

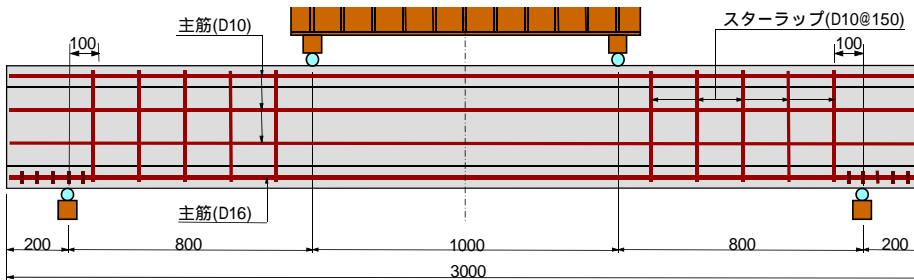
表-1 試験体一覧

試験体名	主鉄筋比 p (%)	せん断スパン a (mm)	せん断スパン比 a/d	寸法		主鉄筋		圧縮鉄筋		せん断補強筋	
				フランジ高 ・ウェブ厚 (mm)	径	本数	径	本数	径	間隔 (mm)	
B-3-2.2	1.25	800	2.2	70	D16	3	D10	3	D10	150	
BS-5-2.2	2.09					5					
B-3-2.8	1.25	1000	2.8			3					100
BS-5-2.8	2.09					5					

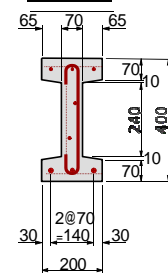
図-2 は試験体および載荷概要を示したものである。試験体は軽量化を図った I 型断面とし、断面寸法は幅 200mm、高さ 400mm でフランジとウェブの厚さが 70mm、試験体の全長は 3.0m とした。また、試験体への載荷は 2 点集中載荷とした。せん断補強筋は $a/d=2.2$ の試験体で 150mm、 $a/d=2.8$ の試験体で 100mm 間隔にそれぞれ配置した。なお、厚さ 70mm のウェブ内に軸方向鉄筋とスターラップを配置したために、鉄筋の最小かぶり厚さは 10mm と小さくなっている。

表-2 は鉄筋の機械的性質を示したものである。ステンレス鉄筋は、ステンレス鋼材のベース鋼である SUS304 を使用した。この SUS304 は 50% 以上の大きな伸び能力を有している。なお、D16 は SD390、D10 は SD295A をそれぞれ使用した。表-3 にコンクリートの配合表を示す。コンクリートは水セメント比が 28.4% で、目標圧縮強度を 80N/mm^2 とした。

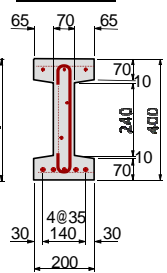
せん断スパン比(a/d)2.2



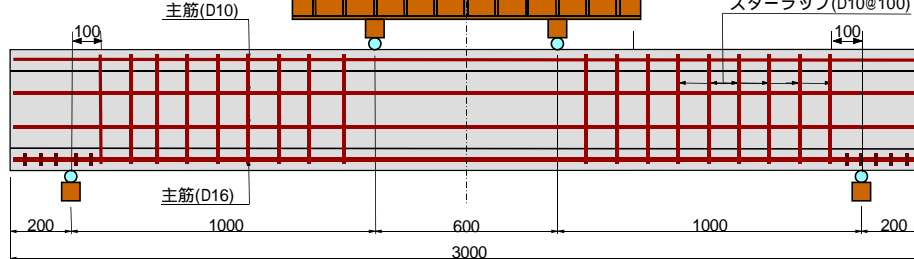
B-3-2.2



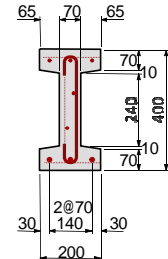
BS-5-2.2



せん断スパン比(a/d)2.8



B-3-2.8



BS-5-2.8

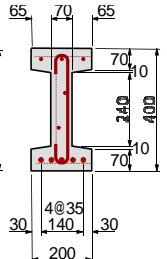


図-2 試験体概要

表-2 鉄筋の機械的性質

鉄筋径	降伏強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	伸び (%)	静弾性係数 (kN/mm ²)
D16	393	680	53	188
D10	363	695	50	202

表-3 コンクリートの配合

セメント種類	細骨材率 (%)	水セメント比 (%)	単位量(kg/m ³)				
			水	セメント	細骨材	粗骨材	混和剤
N	44.4	28.4	170	599	707	902	10.78

3. 試験結果

3.1 耐力

表-4 は本試験で得られた試験結果の一覧を示したものである。主筋降伏荷重は、全試験体で実験値が計算値よりも若干大きくなっているが、両者の間に概ね良い一致が認められる。また、終局荷重は、曲げ卓越型の B-3-2.2 および B-3-2.8 で実験値と計算値の比が 1.12 および 1.10 となった。また、せん断卓越型では実験値と計算値の比が BS-5-2.2 で 1.06、BS-5-2.8 で 0.97 となった。以上のように、曲げ耐力およびせん断耐力ともに実用面での良い一致が認められる。これは今回対象とした I 型断面の鉄筋コンクリート部材の耐力評価に対して、従来から使用されている計算方法が適用可能なことを示唆している。なお、コンクリートの圧縮強度は、 $79.1 \sim 81.2\text{N/mm}^2$ と目標強度 80N/mm^2 をほぼ満足する値であった。

表-4 試験結果一覧表

試験 体名	荷重一覧表 (kN)							破壊 モード	コンク リート 強度
	降伏			終局					
	実験値	計算値	実験値 / 計算値	実験値	計算値 (曲げ)	計算値 (せん断)	実験値 / 計算値		
B-3-2.2	204.3	191.2	1.07	250.2	222.9	288.7	1.12	曲げ	79.1
BS-5-2.2	317.4	311.8	1.02	340.0	351.6	319.6	1.06	せん断	79.1
B-3-2.8	160.0	153.0	1.05	194.2	176.2	268.4	1.10	曲げ	81.2
BS-5-2.8	258.9	249.4	1.04	278.3	281.3	287.0	0.97	せん断	79.1

3.2 変位

図-3 は試験体の荷重とスパン中央部変位の関係を示したものである。曲げ卓越型の B-3-2.2 および B-3-2.8 は、主筋降伏変位 y がそれぞれ 8.7mm および 8.0mm で、終局変位 u はそれぞれ 68.2mm ($=7.9 y$)、54.9mm ($=6.9 y$) と高いじん性を示した後曲げ破壊に至った。これに対して、せん断卓越型の B-5-2.2 および B-5-2.8 は、主筋降伏変位 y がそれぞれ 10.0mm、11.0mm、終局変位 u がそれぞれ 19.7mm ($=2.0 y$)、27.6mm ($=2.5 y$) と小さい変形でせん断破壊に至った。

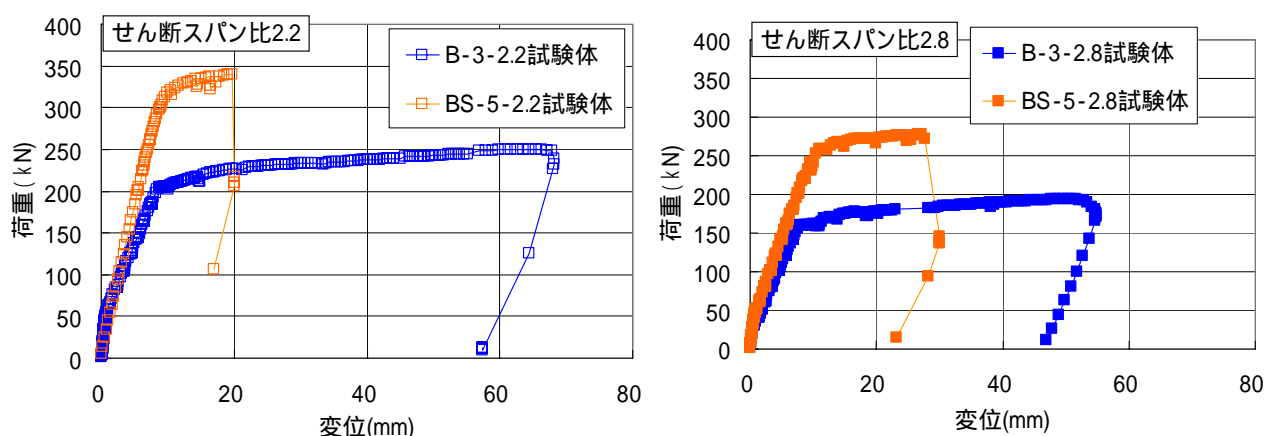


図-3 荷重-変位曲線

3.3 破壊状況

図-4 は B-3-2.8 試験体および BS-5-2.8 試験体のひび割れ発生状況を示したものである。また、写真-1 は載荷終了時における B-3-2.8 試験体を示す。

各試験体の曲げひび割れは、35～50kN 載荷時に等モーメント区間付近において発生し、荷重増加にともなって中立軸が上昇するに従って上方へと進展した。また、鉄筋降伏後は上フランジまでのひび割れの進展ならびに二次的なひび割れの発生が見られた。

せん断ひび割れは、80～100kN の載荷時に全試験体において発生している。これは、曲げ卓越型試験体でも鉄筋比が 1.25% と大きく、せん断ひび割れ発生荷重の計算値が 102～129kN と主鉄筋降伏荷重より小さくなっていることによる。せん断卓越型の BS-5-2.2 および BS-5-2.8 試験体は、せん断ひび割れが進展して破壊に至った。また、曲げ卓越型の B-3-2.2 および B-3-2.8 は、 $6 y$ 以上の大変形を示した後、載荷点付近の圧縮縁のコンクリートが圧壊して破壊に至る曲げ破壊となった。

主筋降伏時における等モーメント区間の平均ひび割れ間隔は $a/d=2.2$ の試験体で 80mm 程度， $a/d=2.8$ の試験体で 60mm 程度となった．このことは，本構造物が良好なひび割れ分散性を有することを示している．

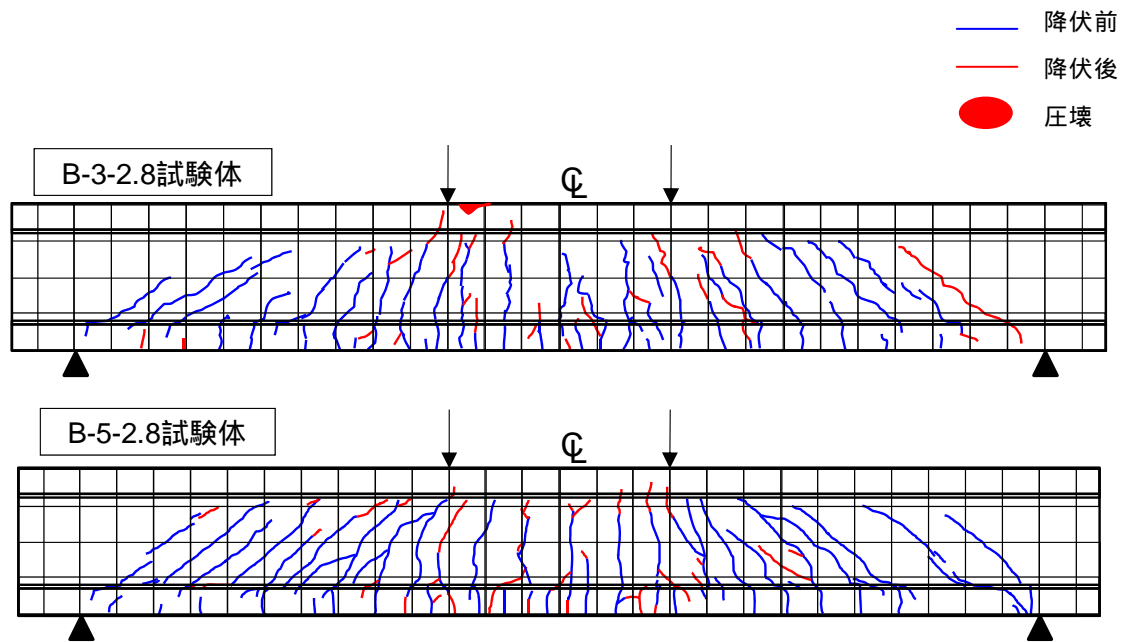


図-4 ひび割れ発生状況



写真-1 破壊状況(B-3-2.8 試験体)

4. まとめ

本研究は，SUS 鉄筋を用いた高強度・高耐久・軽量の高機能 RC 部材の開発を目的としたものであり，SUS 鉄筋を用いて薄肉軽量化を促進した I 型断面の鉄筋コンクリート部材挙動について実験的な検討を行ったものである．その結果得られた知見を以下に示す．

- (1) 主鉄筋降伏荷重は，全試験体で実験値が計算値よりも若干大きくなっているが，概ね良い一致が認められた．
- (2) せん断卓越型試験体は降伏後 $2.0 \sim 2.5 \gamma_y$ の小さい変形で，曲げ卓越型試験体は $6.9 \sim 7.9 \gamma_y$ の大変形の後，それぞれ破壊に至った．各試験体の破壊モードは設計通りであった．
- (3) 耐力は，曲げおよびせん断耐力ともに実用面で良い一致が認められた．

以上のように，高機能 RC 部材は所要の耐荷力および変形能力を有し，従来の鉄筋コンクリート部材を対象とした設計法が適用できることが確認された．