

ステンレス鉄筋を使用した埋設型枠（SSB埋設型枠）の開発

宇都宮大学大学院 学生会員 ○定山 真輝

宇都宮大学大学院教授 正会員 藤原 浩巳

宇都宮大学大学院准教授 正会員 丸岡 正知

日本コンクリート技術（株）代表取締役 正会員 篠田 佳男

1. はじめに

構造物を施工する際に、工期短縮や省人化を達成する手段の一つとして、構造物表面に型枠を存置する埋設型枠工法が挙げられる。しかし既存の埋設型枠は部材が厚く、質量が大きいため、設置にクレーンなどの重機を必要とし、施工性や経済性に問題があった。^{1),2)}

一方、耐食性に優れるステンレス鉄筋の設計施工指針案が土木学会から刊行された。このステンレス鉄筋は腐食環境下でも最小かぶりで使用することができ部材の大幅な軽量化を可能にした。

またセメント系材料は高い圧縮強度を示すものの引張強度が低いため、曲げやせん断、ねじりに対して弱く、また脆性的な挙動を示す。このために、セメントモルタル中に短繊維を混入し、繊維補強セメント(FRC)とすることによって、引張強度、曲げ強度、衝撃強度、伸び特性などを改善する技術が開発されている。

本研究は、これらの技術を組み合わせ、ステンレス鉄筋を適用した新たな埋設型枠（SSB埋設型枠）の開発に向け、繊維補強モルタル（FRC）の基本性状の把握、さらに繊維補強モルタルを用いた埋設型枠について、梁部材を用いた部材試験を行い、構造性能の確認を行ったので、その結果について報告する。

2. 繊維補強モルタル（FRC）の基本性状

2.1 実験概要

FRCにおいては短繊維を曲げ能力向上、じん性付与のため、マトリックスとなるモルタル部分に、体積比で約1~2%添加することから、フレッシュ状態での流動性の低下を引き起こしやすい。短繊維を添加したセメント系複合材料の練り混ぜにおいては、

表-1 使用材料

材料	記号	材料名	密度(g/cm ³)
結合材	HPC	早強ポルトランドセメント	3.14
	FA	フライアッシュⅡ種	2.29
	BS	高炉スラグ微粉末8000	2.91
細骨材	S	鬼怒川産川砂(粒径2.5mm以下)	2.54
練混ぜ水	W	上水道水	1.00
補強材	VF	ビニロン繊維	1.30
減水剤	SP	ポリカルボン酸エーテル系高性能減水剤	1.10
増粘剤	V	非イオン系水溶性セルロース	-
消泡剤	DF	ポリアルキレン誘導体	1.00

表-2 実験条件

因子	水準
W/P (%)	30
混和材種類	フライアッシュⅡ種 高炉スラグ微粉末8000
混和材置換率(%)	0, 15, 30
増粘剤添加率(×W%)	0, 0.1, 0.2

練り上がり時の流動性の確保と、短繊維の分散が不可決であるが、これを達成する為にはフレッシュマトリックスの高い粘性が必要である。フレッシュマトリックスの粘性を高める方法として、単位水量の低減、セルロース系化合物などの増粘剤の添加などが知られているが、粘性が過大となることにより流動性が悪化するなどの問題がある。本実験では、フレッシュマトリックスの粘性が繊維の分散性に与える影響および配合毎の硬化性状を比較し、埋設型枠に用いるモルタルの基本配合を検討した。

2.2 使用材料および配合条件

使用材料を表-1、実験条件を表-2に示す。セメントに早強ポルトランドセメントを使用し、混和材としてフライアッシュⅡ種および高炉スラグ微粉末（ブレン値 8000cm²/g）を用いた。細骨材はふるいにかけ最大粒径が 2.5mm となるよう調整した川砂を用いた。増粘剤として非イオン系水溶性セルロースを用い、補強材の繊維は繊維径 100μm、繊維長 12mm のビニロン繊維を用いた。

キーワード 埋設型枠, 短繊維補強, ステンレス鉄筋, 曲げ性能

連絡先 〒321-0904 栃木県宇都宮市陽東 7-1-2 TEL028-689-6211

表-3 フレッシュ性状試験結果

配合番号	W/P (%)	混和材種類	FABS置換率	増粘剤添加率 V (×W%)	減水剤添加率 (×P%)	フロー値 (mm)	ファイバーボールの有無	※塑性粘度 (Pa・s)
1	30	HPC	0	0.0	0.40	分離	×	1.21
2		HPC+FA	15		0.40	分離	×	1.19
3			30		0.35	分離	×	0.97
4			15		0.40	分離	×	1.59
5		HPC+BS	30		0.40	分離	△	1.89
6		HPC	0	0.1	0.40	160	△	1.89
7		HPC+FA	15		0.35	170	△	1.36
8			30		0.35	180	△	1.94
9			15		0.30	130	△	1.57
10		HPC+BS	30		0.35	170	△	2.11
11		HPC	0	0.2	0.40	170	○	1.94
12		HPC+FA	15		0.40	170	○	2.43
13			30		0.35	150	○	2.91
14			15		0.40	150	○	2.34
15		HPC+BS	30		0.35	145	○	2.48

※繊維無混和のフレッシュモルタルの塑性粘度の推定値

○：なし △：若干ある ×：あり

2.3 実験項目および方法

(1) モルタルフロー試験

JIS R 5201「セメントの物理試験方法」準拠した。また、モルタルフロー値の他に繊維の分散性およびファイバーボールの有無を目視にて確認した。

(2) 空気量試験

JIS A 1116「フレッシュコンクリートの空気量の質量による試験方法」に準拠した。

(3) J₁₄漏斗流下試験

J₁₄ 漏斗（高さ：392mm，上端半径：35mm，下端半径：7mm）を用いて J₁₄ 漏斗流下試験を行い，その流下時間を測定した。また，漏斗を流下する時間 t を用いて塑性粘度 η を式(1)によって算出した。³⁾

$$\eta = \frac{3\beta\Lambda^2\rho g t}{8 \left\{ \frac{(z_t - z_b)(z_t + 3z_b)}{2z_b^3} + \frac{1}{z_b} \ln \left(\frac{z_t}{z_b} \right) \right\}} \quad (1)$$

β：栓流に関するパラメータ

Λ、z_a、z_b：漏斗の形状パラメータ

ρ：モルタルの密度 (kg/m³)

(4) 曲げ強度および曲げタフネス試験

供試体は、JCI-SF2「繊維補強コンクリートの強度及び試験用供試体の作り方」に準拠し，100×100×400 mmの角柱供試体を4本作成した。試験は、JCI-SF4「繊維補強コンクリートの曲げ強度及び曲げタフネス試験方法」に準拠した。養生日数は，常圧蒸気養生(65℃，6時間保持)後，20℃の恒温室で静置し，材齢14日後に試験を行った。

(5) 圧縮強度試験

JSCE-G 505「円柱供試体を用いたモルタルまたはセメントペーストの圧縮強度試験方法」に準拠した。養生日数は，曲げ試験と同様とした。

2.4 試験結果

2.4.1 フレッシュ性状試験結果

フレッシュ性状試験結果を表-3に示す。増粘剤無添加の配合では，混和剤の種類，置換率にかかわらず全配合で材料分離およびファイバーボールが確認された。フレッシュモルタルの粘性が低いために，繊維同士の絡み合いを解くことができなかつたためだと考えられる。以上の結果より，硬化性状については配合番号11から配合番号15(No.11~No.15)について検討を行った。

2.4.2 硬化性状試験結果

図-1に荷重-変位関係を，図-2に圧縮強度試験結果を示す。図-1に示すようにビニロン繊維を混入することにより供試体に初期ひび割れが発生した後もただちに破壊しないことがわかる。これは，ひび割れ発生面において繊維が架橋となりひび割れ幅の増大を抑制したためと考えられる。また混和剤種類で比較すると，フライアッシュを用いた配合の方が高いじん性を有すると言える。圧縮強度は，全配合で60N/mm²以上であり，高い強度発現性を示した。以上の結果より，以降の試験はFAを用いたNo.12について行った。

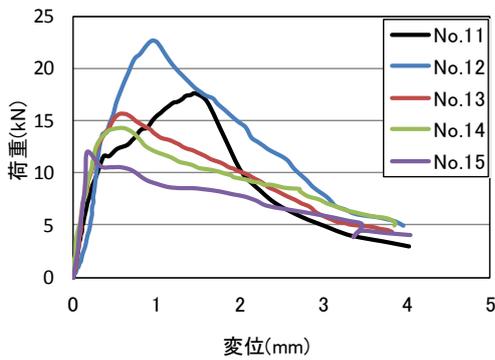


図-1 荷重-変位関係

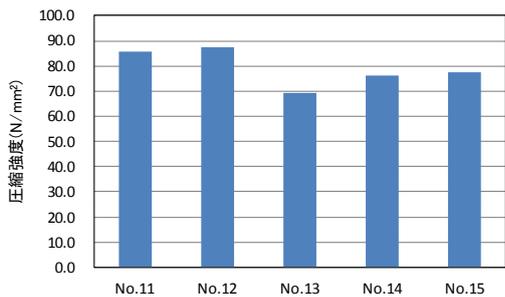


図-2 圧縮強度試験結果

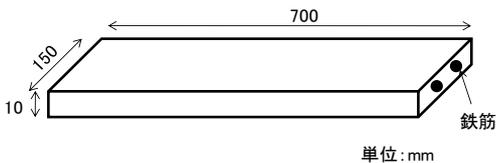


図-3 薄板部材

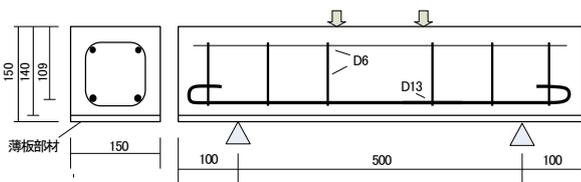


図-4 RC 梁試験体

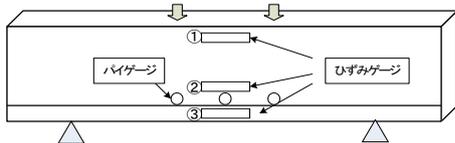


図-5 ゲージおよび変位計位置

3. 底面に薄板部材を用いた RC 梁の静的曲げ試験

3.1 実験概要

プレキャスト製の型枠を埋設型枠として適用する際に重要な点として、後打ち部と同等以上の強度特性を有することや後打ち部との一体性を有していることなどが挙げられる。そこで本実験では、上記のモルタルを用いて図-3 に示すような薄板部材を作成し、薄板部材と後打ち部との一体性や梁部材としての構造性能を総合的に評価するために RC 梁を作成し、曲げ試験を行った。なお、薄板部材内の補強用鉄筋は異形鉄筋(D6)およびステンレス鉄筋(SSB)を使用し、鉄筋間隔を 50mm とした。

3.2 試験体概要

試験体の概要を図-4 に後打ちコンクリートの配合及び圧縮強度を表-4 に示す。試験体は、薄板部材を配置した試験体と薄板部材を配置しない試験体の計 3 本とした。

3.3 試験方法

試験は 4 点曲げ載荷で行い、スパンは 500mm、等曲げ区間は 150mm とした。試験体のたわみ量は梁底面中心部においてレーザー変位計を用いて測定した。また、図-5 に示すようにコンクリート側面のひずみをひずみゲージを用いて測定し、開口変位をパイゲージを用いて測定した。

3.4 試験結果

3.4.1 荷重-変位関係

各試験体の荷重-変位関係を図-6 に示す。本実験では、底面に薄板部材を設置することにより RC 梁の最大荷重が増加することがわかる。またステンレス鉄筋と異形鉄筋の最大荷重や変形挙動にそれほど差がないことがわかる。

3.4.2 コンクリート側面ひずみ

ステンレス鉄筋を使用した試験体 (No.12-SSB) を一例として示す。図-7 はそれぞれの測定位置でのコンクリート側面のひずみを、図-8 は測定位置③における測定値と平面保持の関係に基づき測定位置①および②のひずみから算出した③のコンクリート側面のひずみの計算値を表している。図から見て取れるように測定値と計算値は同じような値をとり、薄板部材と後打ち部が同じような挙動を示

表-4 後打ちコンクリートの配合

W/C (%)	s/a	目標スランプ (cm)	目標空気量 (%)	単体量(Kg/m ³)				圧縮強度 (N/mm ²)
				W	C	S	G	
55.0	44.0	8.0	4.5	165	300	795	1035	45.4

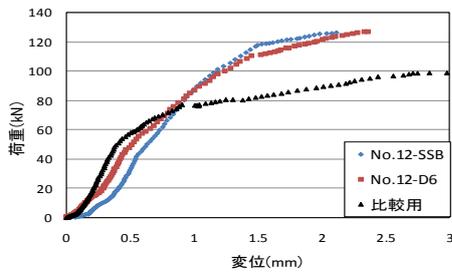


図-6 荷重-変位関係

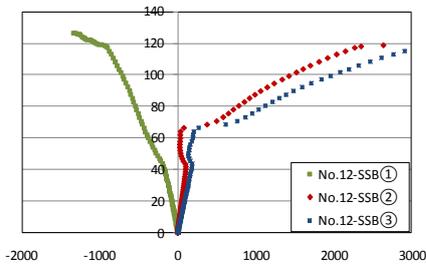


図-7 コンクリート側面のひずみ

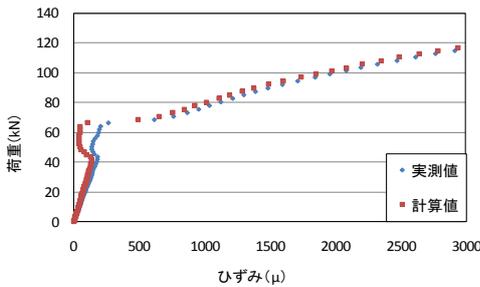


図-8 測定位置③における測定値と計算値

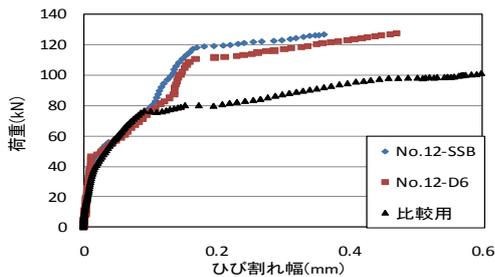


図-9 試験体毎のひび割れ幅

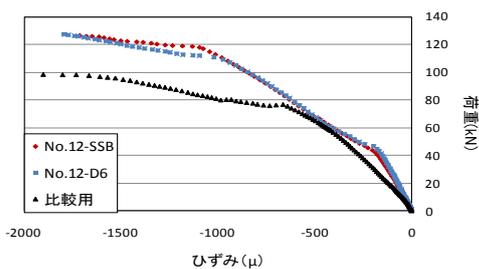


図-10 荷重-圧縮縁コンクリートひずみ関係

していることがわかる。目視でも界面でのひび割れが確認されなかったことを考えると、本実験で用いた薄板部材と後打ちコンクリートとの付着性能は高いと言える。

3.4.3 ひび割れ幅

図-9 に試験体毎の平均ひび割れ幅を示す。図より、底面に薄板部材を設置することにより、RC 梁の等曲げ区間のひび割れ幅が減少していることがわかる。これは、薄板部材を設置したことによりひび割れが分散したためだと考えられる。

3.4.4 圧縮縁コンクリートひずみ

図-10 に荷重-圧縮縁コンクリートのひずみ関係を示す。図より、薄板部材を設置することにより、薄板部材が無い試験体と比較して圧縮縁コンクリートのひずみが小さくなっていることがわかる。

4. まとめ

繊維補強モルタルの配合の検討、および薄板部材を用いた RC 梁の曲げ試験を行った結果、以下の知見が得られた。

- (1) 高炉スラグ微粉末を用いるよりもフライアッシュを用いた方がじん性が向上する。
- (2) 試験体底面に薄板部材を設置することにより、最大荷重は増加する。しかし薄板部材内の鉄筋種類の違いによる最大荷重の明確な差は本実験の範囲内では見られなかった。
- (3) 本実験で用いた薄板部材は、表面処理をせずに後打ちコンクリートとの一体性を確保できる。
- (4) 薄板部材を底面に設置することにより、ひび割れ幅の減少、圧縮縁でのひずみの減少が期待できる。

参考文献

- 1) 篠田佳男・工藤進也・佃有射・谷田貝敦：プレキャスト工法の新たな領域への適用・壁体構造物
- 2) 人見祥徳・滝沢清・新村亮・福井真男：高じん性セメントボードを使用した埋設型枠工法に関する研究，コンクリート工学年次論文集，2003，pp1871-1876
- 3) 渡辺健治・小野博宣・谷川恭雄：フレッシュモルタルのレオロジー性質に及ぼす再攪拌の影響，コンクリート工学年次論文集，Vol.22，No.2，2000，pp427-432