

連続炭素繊維を補強筋に用いたエコセメントコンクリートはりの曲げ挙動

九州大学大学院 正会員 ○山口浩平，日野伸一，Rudy Djamaluddin

太田俊昭

1. はじめに

著者らのグループは、樹脂により部分的に硬化された連続炭素繊維を自動配筋ロボットにより作製し、それをコンクリート部材の補強筋として用いる工法の研究開発を行ってきた。これまでに、それをコンクリート圧壊型はりの曲げ補強筋として用いる場合、その曲げ挙動は既存の RC の設計法を準用できること、また FEM によりその非線形挙動をほぼ再現できることなどの有用な知見が明らかにされている。

一方、近年注目されている焼却灰より生成されるエコセメントは、比較的塩分含有量が高く鉄筋とは不適とされているが、耐腐食性材料である連続炭素繊維との組合せにより、環境に適した新しいコンクリート構造部材の創生が考えられる。その際、連続炭素繊維は鉄筋と比較して高強度であるため、コンクリートも高強度であることが力学的に望ましい。しかしながら、エコセメントを用いた高強度コンクリートの事例が少ないのが現状である。

そこで本研究では、まずエコセメントを用いた高強度コンクリートの配合選定試験を行い、次に連続炭素繊維を補強筋に用いたエコセメントはり(主筋降伏先行型)の曲げ試験を行うことで、補強筋の引張破断に着目した曲げ挙動について検討した。加えて FEM 解析を行い、脆性的な破断をする連続炭素繊維補強筋を用いたはり特有の挙動の解明と既存の設計法の妥当性を検討した。

2. 配合選定試験

材齢 14 日の設計基準強度 70MPa を目標に配合選定を行った。配合選定は 2 回にわけて行い、Step-1 では目標強度を発現するセメント水比(C/W)に、Step-2 では施工性に重点を置いて検討した。

<Step-1>

目標スランプ 18cm、目標空気量 $4.5 \pm 1.5\%$ 程度とし、C/W は 2.5、3.0、3.5 の 3 種類とした。なお、AF 剤(消泡剤)と SP 剤(高性能 AE 減水剤)は打設時に空気量の調整を行うため、各配合で適宜混入した。

その結果、C/W=3.4 程度で目標強度となることがわかった。しかしながら、C/W が大きいと施工性に問題が生じるため、目標空気量 2%として補正を加えた(空気量 1%減少で圧縮強度 5%増加)。図-1 に補正後の圧縮強度 - C/W 関係を示す。これより C/W = 3.1 程度が適当であることがわかる。

<Step-2>

目標スランプ 18cm、目標空気量 2.0%とし、配合は AF 剤、SP 剤の添加率を変えた 4 種類とした。また、打設後ある程度時間が経過しても施工性を維持しておくことが望まれるため、スランプの経時変化も確認した。

表-1 に決定した配合表を示す。なお、同配合は目標強度も達成することがわかった。

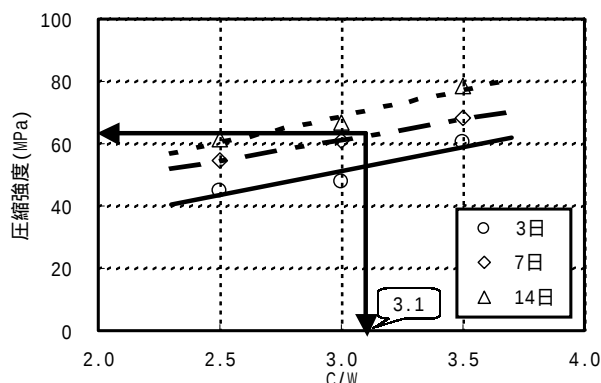


図-1：圧縮強度 - C/W 関係

表-1：配合表

粗骨材の 最大寸法 (mm)	目標ス ランプ (cm)	空気量 (%)	セメント 水比 C/W	単位量 (kg/m ³)				添加率		圧縮 強度 (MPa)
				水 W	セメント C	粗骨材 S	細骨材 G	AF	SP Cx(%)	
20	18 (17.8)*	2.0 (1.2)*	3.1	168	525	816	960	4.0T**	3.5	71.8

* 実験値

** 1T=Cx0.002%

キーワード：連続炭素繊維，CFRP，エコセメント，新工法

九州大学大学院 工学研究院 建設デザイン部門 Tel/Fax 092-642-3309

3. はりの曲げ試験

3.1 試験概要

表-2 に供試体一覧、図-2 に供試体概略図を示す。供試体寸法は 100mm × 200mm × 1600mm，スパンは 1400mm であり、載荷幅は 300mm の 2 点線載荷とした。また、せん断補強筋間隔はエコセメントはり 40mm，普通セメントはり 50mm とした。主筋とせん断補強筋との交点には、浸透性の良いエポキシ樹脂を交差部に塗布した後、接着部補強および機械的付着力の確保を目的として粘性の高いエポキシ樹脂を塗布し、節(グリッド)を作製した。ここで、このような方法で主筋とせん断補強筋の交差部を固定することをグリッドシステムと称する。

主筋量およびそれに伴うグリッドの大きさ、またセメントの種類の違いによる曲げ挙動の差を検証するため、実験パラメータは引張側主筋の断面積およびセメントの種類の計 4 種類として各 2 体ずつ作製した。

3.2 結果および考察

表-3 に耐力評価、図-3 に荷重-変位関係を示す。主筋降伏先行型とした設計通り、全供試体ともやはり引張補強筋の破断により破壊した(写真-1)。普通セメントはりでは実験値と計算値が近い値であるのに対し、エコセメントはりでは実験値が計算値よりも 5 割程度と高い値となった。これはせん断補強筋間隔 40mm の狭い場所にエポキシ樹脂を塗布したため、主筋である非硬化型連続炭素繊維が部分的に硬化型連続炭素繊維(CFRP)となることで引張強度が高くなったためと考えられる。実験値より主筋の引張強度を逆算し、再計算および FEM 解析を行ったところ、耐力についても実験値と一致する結果が得られた。

また、図-3 において、載荷初期の荷重増減の繰り返しは、主筋量が少ないことによる主筋とコンクリートの付着すべりが原因であるが、FEM はほぼ再現できていることがわかる。

4. まとめ

- (1) エコセメントを用いた高強度コンクリートは普通セメントと同等の材料特性を有しており、高強度コンクリートとしても十分に利用可能である。
- (2) 変形の進行に伴い荷重の増減が見られたため、主筋とコンクリートの付着特性を向上させる必要がある。
- (3) 耐腐食性材料である連続炭素繊維と塩素を比較的多く含むエコセメントとの組合せにより、新しい構造部材の創生の可能性が明らかになった。

【謝辞】本研究を行うにあたり、多大なる御協力をいただきました太平洋セメント(株)の北條泰秀氏他に、また修士論文、卒業論文として取り組んだ井上武君、牛嶋知子さんに感謝の意を表します。

表-2：供試体一覧

供試体名	セメント	断面積 (mm ²)	コンクリート強度 (MPa)	計算値	
				ひび割れ荷重 (kN)	終局耐力 (kN)
E-44	エコ	40.5(44)*	74.9	12.5	37.8
E-24		22.1(24)*		12.6	24.8
N-44	普通	40.5(44)*	64.3	12.1	38.0
N-24		22.1(24)*		12.2	25.5

* 束数

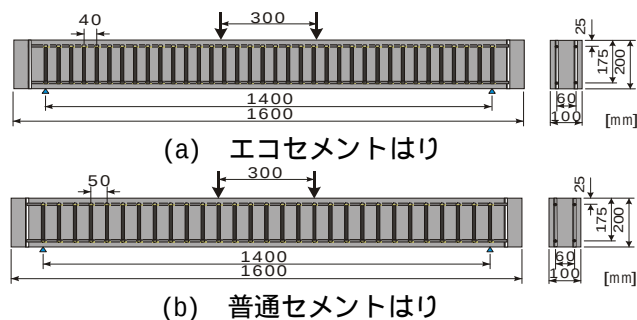


図-2：供試体概略図

表-3：耐力評価

供試体名	終局耐力(kN)			実験値/ 計算値	実験値/ FEM
	実験値	計算値	FEM		
E-44	57.9	43.9	37.8	1.32	1.53
	65.4			1.49	1.73
E-24	36.7	32.0	24.8	1.15	1.48
	34.3			1.07	1.38
N-44	39.0	42.9	38.0	0.91	1.03
	39.2			0.91	1.03
N-24	21.8	31.9	25.5	0.68	0.85
	21.6			0.68	0.85

写真-1：主筋破断状況

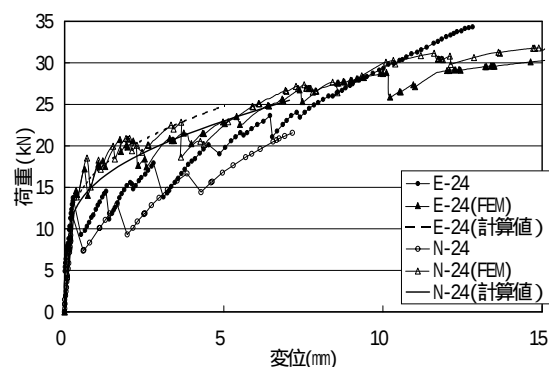


図-3：荷重 - 変位関係