

6. 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特性に関する研究

牛嶋 知子

1. 目的

UCAS 工法とは、Uni-directional Carbon-fibers Assembly System の略称であり、連続炭素繊維を樹脂などで部分的に硬化し、繊維素線の平行弦集合ケーブルをコンクリート部材の補強筋として自動配筋ロボットにより設置する工法である。これまでの研究により、非硬化型連続炭素繊維をコンクリートはり(Over-reinforced 断面)の曲げ補強部材として用いる場合、その曲げ挙動は従来の RC 理論を準用できること、また FEM によりはりの非線形挙動をほぼ追跡できることなどが明らかにされている。

また、近年注目されているエコセメントは、比較的塩素含有量が多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み合わせにより、環境に適した新しい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に比べて高強度であるため、それを用いるコンクリートも高強度であることが力学的に望ましいが、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コンクリートはり(Under-reinforced 断面)の曲げ試験を行うことで、同補強筋の引張破断に着目した曲げ特性について検討した。

2. 内容

2.1 配合選定試験

2.1.1 試験概要

14 日の圧縮強度で 70MPa を目標に行った。試験は 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>

目標スランブ 18cm、目標空気量 4.5%程度とし、C/W は 2.5、3.0、3.5 の 3 種類とした。なお、AF 剤および SP 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 は 3.4 程度で 70MPa となることがわかった。しかし、C/W が高い場合は施工性が問題となるため、空気量 2%程度として今回の試験結果に補正を加えた。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った。

<STEP - 2>

目標スランブ 18cm、目標空気量 2.0%、C/W=3.1 とし、施工性に重点を置いて検討した。はり供試体作製時には、打設後ある程度時間が経過しても所要の施工性を維持しておくことが望まれるため、スランブの経時変化も測定した。

2.1.2 試験結果

表 - 1 に決定した配合表を示す。今回の配合選定の結果から、AF 剤 4.0T、SP 剤 3.5%で配合したものが施工性も良好で、目標強度も達成できることがわかった。

表 - 1 配合表

粗骨材の最大寸法 (mm)	目標スランブ (cm)	空気量 (%)	セメント水比 C/W	水セメント比 W/C (%)	単位量 (kg/m ³)				添加率	
					水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	AF C x (%)	SP C x (%)
20	18 (17.8)*	2.0 (1.2)*	3.1	32.0	168	525	751	960	4.0T**	3.5

*()...実験値, **1T=C x 0.002%

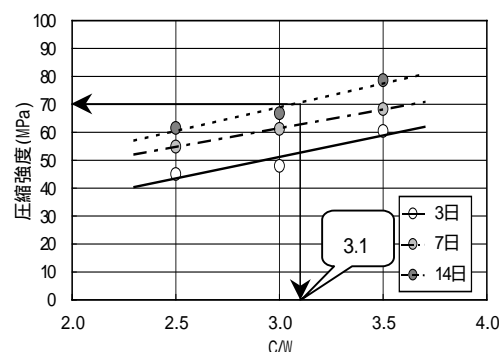


図 - 1 圧縮強度 - C/W 関係

2.2 はりの曲げ試験

2.2.1 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, 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 40mm とし, 主筋とせん断補強筋の交点には, 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.

主筋の断面積およびそれに伴うグリッドの大きさ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巻き数(断面積)を 12 巻き, 22 巻きの 2 種類とし, 設計基準強度 70MPa のエコセメントを用い, 各供試体とも 2 体ずつ作製した.

また, 試験結果の妥当性を検証するため, FEM による解析も行った.

2.2.2 結果

表 - 3 に耐力評価を示す. 全供試体とも設計通り, 引張補強筋の破断により破壊した. また, 終局耐力は実験値 / 計算値 = 1.5 程度と高い値になった. これはせん断補強筋間隔を 40mm と間隔の狭い場所にエポキシ樹脂を塗布したため, 非硬化型連続炭素繊維が部分的に硬化し, 主筋の引張強度が高くなったためと考えられる.

図 - 3 に荷重 - 変位関係 (各供試体 1 体ずつ) を示す. ひび割れまではほぼ線形的に増加し, ひび割れ後は荷重の増減を繰り返しながら増加した. これはグリッドシステムの破壊(付着切れ)によるものであると考えられてきたが, FEM 解析を行った結果, 引張主筋量に関係があることがわかった.

3. 結論

- 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様の材料特性を有しており, 十分利用可能である.
- 2) 変形の進行に伴う荷重の増減は, 主筋が少なかったことにより起こったため, 設計を行う際は釣合主筋量をみたとすよう配筋する必要がある.
- 3) 耐腐食性材料である炭素繊維と塩素を比較的多く含むエコセメントとの組み合わせにより, 新しい構造部材の創生の可能性が明らかになった.

表 - 2 供試体一覧

供試体名	セメント	巻き数 (断面積(mm ²))	コンクリート 圧縮強度 f _c (MPa)	計算値	
				ひび割れ荷重 P _{cr} (kN)	終局耐力 P _{cf-max} (kN)
E-12	エコ	12 (22.1)	74.9	12.5	24.8
E-22		22 (40.5)		12.6	37.8

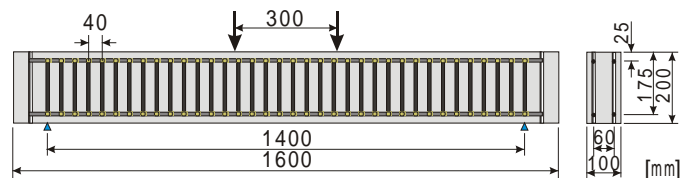
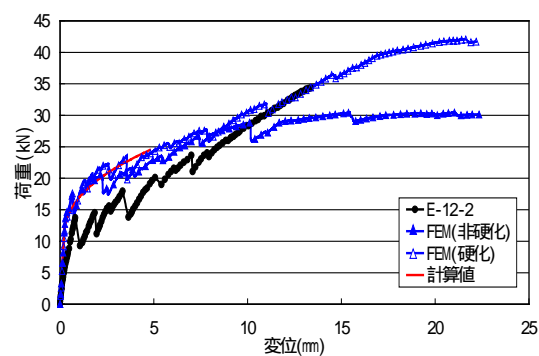


図 - 2 供試体概略図

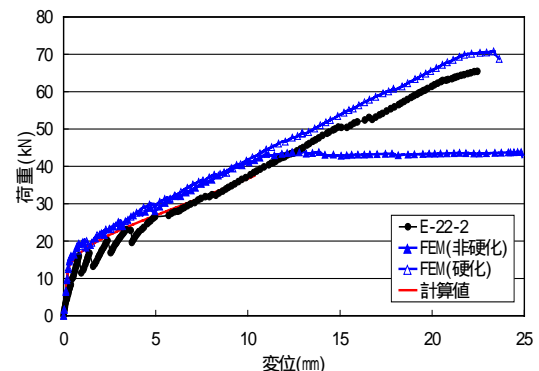
表 - 3 耐力評価

供試体名	ひび割れ荷重				終局耐力			
	実験値 P _{cr} (kN)	FEM値 P _{fem} (kN)	実験値 計算値	実験値 FEM値	実験値 P _u (kN)	FEM値 P _{fem} (kN)	実験値 計算値	実験値 FEM値
E-12-1	-	17.2 (17.6)	-	-	36.7	30.4 (42.1)	1.48	1.21 (0.87)
E-12-2	13.7	-	1.10	0.80 (0.78)	34.3	-	1.38	1.13 (0.81)
E-22-1	13.6	16.2 (16.3)	1.08	0.84 (0.83)	57.9	43.8 (70.7)	1.53	1.32 (0.82)
E-22-2	16.0	-	1.27	0.99 (0.98)	65.4	-	1.73	1.50 (0.93)

* () ... 連続炭素繊維の硬化割合を考慮



(a) 12 巻き



(b) 22 巻き

図 - 3 荷重 - 変位関係