

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

九州大学工学部 学生会員 ○牛嶋 知子
 九州大学大学院 フェロー 太田 俊昭
 九州大学大学院 正会員 日野 伸一, 山口 浩平
 九州大学大学院 学生会員 Djamaluddin Rudy, 井上 武

1. はじめに

UCAS 工法とは、著者らが提案する 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-reinforce 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¹⁾。

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と比較すると高強度であるため、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 UCAS 工法を用いたエコセメントコンクリートはり(Under-reinforce 断面)の曲げ試験を行うことで、同補強材の引張破断に着目した曲げ挙動について検討した。

2. 配合選定試験

2.1 試験概要

14 日強度で 70MPa を目標に配合選定を行った²⁾。配合選定は 2 回に分けて行い、＜STEP-1＞では目標強度を発現する水セメント比に、＜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、水セメント比 W/C は 28.6%、33.3%、40.0% の 3 種類とした。なお、AF 剤と 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、セメント水比 C/W=3.4 (W/C=29.0%) 程度で 70MPa となることがわかった。しかしながら C/W が高過ぎる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(空気量 1% の減少で圧縮強度 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 (W/C=32.0%) 程度が適当であることがわかった。

＜STEP-2＞

目標スランプ 18cm、目標空気量 2.0%、W/C=32.0% 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の測定も行った。

2.2 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)	目標スランプ (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	SP C× (%)
20	18 (17.8)*	2.0 (1.2)*	3.1	32.0	168	525	816	960	4.0T**	3.5

*()…実験値, **1T=C×0.002%

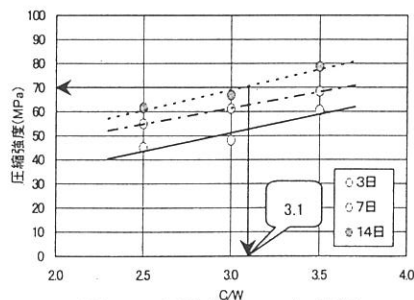


図-1 圧縮強度-C/W 関係

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 の普通セメントおよびエコセメントを用い、各供試体とも 2 体ずつ作製した。

3. 2 試験結果

表-3 に耐力評価を示す。設計通り全供試体とも引張補強筋の破断により破壊した。普通セメントはりは実験値と計算値に近い値であるのに対し、エコセメントはり は実験値／計算値＝1.5 と高い値となった。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型連続炭素繊維となって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（挙動がほぼ同じなので、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る。

また、設計上補強筋の引張破断を想定したが、実験結果からも同部材が破断していることが確認された。

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様の材料特性を有しており、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。

【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㈱の北條泰秀氏他に感謝の意を表します。

【参考文献】

- 1) 佐溝圭太郎：非硬化型連続炭素繊維補強材のコンクリート構造物への適用に関する研究，九州大学修士論文，2002 年 3 月
- 2) JASS5 鉄筋コンクリート工事（解説），日本建築学会，1991 年

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 (MPa)	計算値	
				ひび割れ荷重 P_{cr-g} (kN)	引張破断力 P_{ct-max} (kN)
E-12	エコ	12 (22.1)	74.9	12.5	28.0
E-22		22 (40.5)		12.6	42.1
N-12	普通	12 (22.1)	64.3	12.1	28.0
N-22		22 (40.5)		12.2	42.1

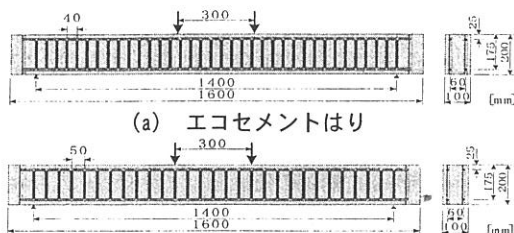
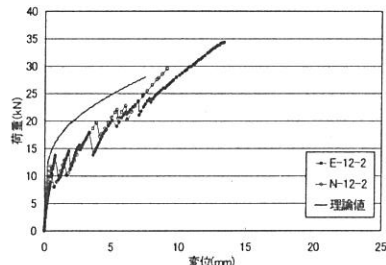


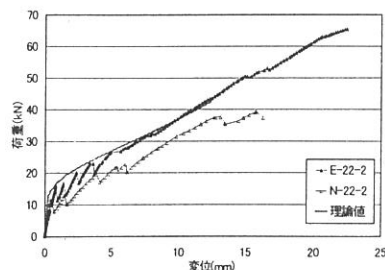
図-2 供試体概略図

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)	計算値	実験値 P_u (kN)	計算値
E-12	1	-	-	36.7	1.69
	2	13.7	1.10	34.3	1.58
E-22	1	13.6	1.08	57.9	1.42
	2	16.0	1.27	65.4	1.60
N-12	1	11.9	0.98	21.8	0.78
	2	11.9	0.98	21.6	0.77
N-22	1	10.0	0.82	39.2	0.93
	2	11.9	0.98	39.2	0.93



(a) 12 巻き



(b) 22 巻き

図-3 荷重－変位関係