

オートクレーブ養生した超高強度繊維補強コンクリート製品の構造性能

九州高压コンクリート工業(株) 正会員 ○船本憲治

九州高压コンクリート工業(株) 梅田崇 古賀智博 井上嘉雄 深梅公孝

太平洋セメント(株) 正会員 片桐 誠

1. はじめに

2004年9月に土木学会より「超高強度繊維補強コンクリート(UFC)の設計・施工指針(案)」が発刊されたが、上記指針は、常圧蒸気養生を標準としており、オートクレーブ(AC)養生に関するデータはほとんど無いのが現状である¹⁾。そこで、今回、AC養生設備がすでに設置されているコンクリート製品工場における実用化を図る目的で、供試体の圧縮・曲げ強度試験及びびコンクリート蓋を対象としたスラブの曲げ耐力試験を行い、その構造性能を把握した。

2. コンクリートの配合及び練混ぜ・養生方法

UFCは、セメント系のマトリックスに鋼繊維(直径0.2mm、長さ15mm、引張強度2700N/mm²)を体積比で全体の2%混入しており、配合表を表-1に示す。なお、粉体マトリックスは、ポルトランドセメント、シカフェム、珪石粉末などを細密充填されるようにプレミックス配合されている。また、今回のUFCは、自己充填性に優れた特性を利用し、フロー値260~270mmを目標とし、練混ぜ方法は、プレミックス+水+減水剤で5分+促進剤で30秒+鋼繊維で3分とし、容量30リットルのパン型ミキサーを使用した。コンクリートの性状変化を写真-1に示す。文献1)によると、UFCは同一積算温度でも養生温度が60→90℃と高くなるほど強度増進も大きく、UFCの養生は、初期養生(40℃以下)と標準養生(90℃・48時間)となっている。しかし、AC養生(183℃・10気圧)を保有しているコンクリート製品工場での効率的な運用を考慮し、今回の養生は、初期養生(40℃・12時間)とAC養生(昇圧5時間、保持3時間、降圧3時間)とした。

表-1 コンクリート配合表

水 (kg/m ³)	プレミックス (kg/m ³)	鋼繊維 (kg/m ³)	減水剤 (kg/m ³)	促進剤 (kg/m ³)
153.5	2254	157	24	5

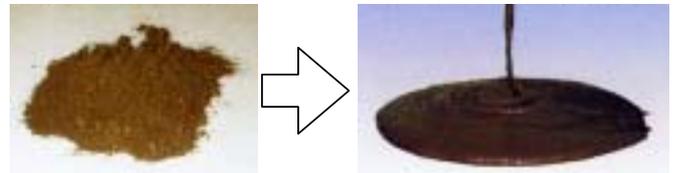


写真-1 コンクリートの性状変化

表-2 圧縮強度及び弾性係数試験結果

	圧縮強度 (N/mm ²)	弾性係数 (N/mm ²) (A)	弾性係数 (New RC式) (N/mm ²) (B)	A/B
AC前	61	—	—	—
AC後	219	50750	49500	1.03

3. 実験概要

圧縮強度試験は、φ5×10cm 供試体をそれぞれ3本作成し、AC前後で2回行った。なお、AC後は、単位容積質量及び歪ゲージによる弾性係数も測定した。また、曲げ強度試験は、4×4×16cm 供試体を3本作成し、スパン長12cmの3等分曲げ載荷試験をAC後に1回行った。

一方、スラブ試験体(136×37.5×厚5.5cm)は、PC鋼線(SWPD1N、φ7mm)を35mmピッチで下端から20mm位置にシングル配筋し、合計2体を平打ちで作成した。なお、載荷方法は、写真-2に示すように、試験体をスパン長(L=122cm)で単純支持し、中央の50cmに油圧ジャッキで等分布荷重を単一載荷した。

4. 実験結果

4.1 フルッシュ性状及びスラブ試験体打設上面仕上げ状況

UFCは、フロー目標値260~270mmを満足し十分な自己充填性が得られた。しかし、水セメント比が極端に低く浮き水が無い為に仕上げが難しく²⁾、今回は打設上面の仕上げは行わなかったが、スラブ上面のプラスチック収縮等の



写真-2 スラブの曲げ耐力試験状況

キーワード 超高強度繊維補強コンクリート、コンクリート製品、オートクレーブ養生、強度、載荷試験、曲げ性能

連絡先 〒810-0022 福岡市中央区薬院1丁目13-8 TEL092-771-3633

ひび割れは観察されなかった。これは、表面近くの鋼繊維がひび割れ防止に寄与したことも一因と考えられる。

4.2 圧縮強度及び弾性係数試験結果

圧縮強度及び弾性係数試験結果を表-2に示す。圧縮強度は、初期養生後に 61N/mm^2 となり、所要の脱型強度が得られた。また、AC養生により 158N/mm^2 の増進が図れ 219N/mm^2 となり、AC養生が極めて有効であることが検証された。また、文献1)によると、圧縮強度の平均値は 194N/mm^2 であり、今回のAC養生により、文献1)の標準的な養生と同等以上の強度増進が望めることが明らかになった。一方、弾性係数は、New RC式により精度良く求めることができることが確認された。

4.3 曲げ試験結果

文献3)によると、ひび割れ強度は $20\sim 30\text{N/mm}^2$ 、最大強度は $40\sim 45\text{N/mm}^2$ となっており、今回の試験値はそれぞれ 29.1N/mm^2 、 41.4N/mm^2 とその範囲内であった。また、最大強度とひび割れ強度の比は、通常のコンクリートと比べると1.42と大きく、これは鋼繊維がひび割れ発生後の強度増進に大きく寄与したものと考えられる。

4.4 スラブの曲げ耐力試験結果

スラブの曲げ耐力試験状況を写真-2に示す。また、その結果を表-3に、荷重-変位関係を図-1に、さらに、最終ひび割れ図を図-2に示す。

初期変位は、表-2の弾性係数を用いた両端ピン支持梁の弾性計算値とほぼ一致した。初期ひび割れは、目視により $P=15\text{kN}$ 程度でヘアークラックが観察され、また、荷重-変位曲線でも同様の結果が得られた。しかし、それ以降、荷重の増加に伴いひび割れが進展している様子は観察されなかった。また、ひび割れ荷重をスラブ下端縁の引張応力に換算すると 19.2N/mm^2 となり、前述の曲げ供試体試験によるひび割れ強度 29.1N/mm^2 と比較すると $2/3$ 程度となった。これは、寸法効果、載荷方式の違い、PC鋼線によりコンクリートの収縮力が拘束されたこと等が影響したものと考えられる¹⁾。

設計荷重 20kN 時には、ヘアークラックが観察されたが、すべて幅 0.05mm 未満のひび割れであり、撓み(δ)も $\delta/L=1/260\sim 290$ であった。また、載荷荷重 40kN 時には、幅 0.1mm 程度のひび割れが観察され、撓みも $\delta/L=1/80\sim 96$ となったが、荷重-変位曲線から見ても過大な撓みは進行していない。

その後、載荷荷重を 90kN に増加させても終局に至らず $\delta/L=1/25$ と大きい撓みとなり、除荷時の撓みは $\delta/L=1/100\sim 115$ で、残留変位は最大変位の $1/4$ と僅かな値であった。ファイバー法によりPC鋼線の効果を考慮した計算値(コンクリート引張無視)による終局荷重は 71kN となるが、今回の実験では、最大荷重 90kN でも破壊しなかった。これは、UFCの引張力を無視したことや、荷重の載荷方式等の影響によるものと思われる。

5. まとめ

オートクレーブ養生したUFC製品は、常圧蒸気養生($90^\circ\text{C}\cdot 48$ 時間)と同等以上の強度増進が図れることが確認でき、また、それを用いたスラブの曲げ耐力試験により、UFCスラブは優れた耐力と変形性能を有することが検証できた。

参考文献 1) 土木学会：超高強度繊維補強コンクリートの設計・施工指針(案)，コンクリートライブラリー 113，2004.9

2) 田中良弘他：超高強度繊維補強コンクリートを用いたPC橋梁の長大スパン化に関する研究開発，コンクリート工学，pp.30-36，2004.8

3) 田中良弘他：超高強度繊維補強コンクリートによるPC歩道橋の設計施工法，コンクリート工学年次論文集，pp.1603-1608，Vol.24，No.2，2002

表-3 スラブの曲げ耐力試験結果

	初期ひび割れ荷重 (kN)	初期ひび割れ強度 (N/mm^2)	初期ひび割れ変位 (mm)	設計荷重 20kN変位 (mm)	設計2倍 40kN変位 (mm)	最大荷重 90kN変位 (mm)	除荷残留変位 (mm)
No.1	15	19.2	3.2 (1/380)	4.7 (1/260)	15 (1/80)	51.6 (1/25)	12 (1/100)
No.2	15	19.2	2.7 (1/450)	4.2 (1/290)	12.6 (1/96)	—	10.6 (1/115)

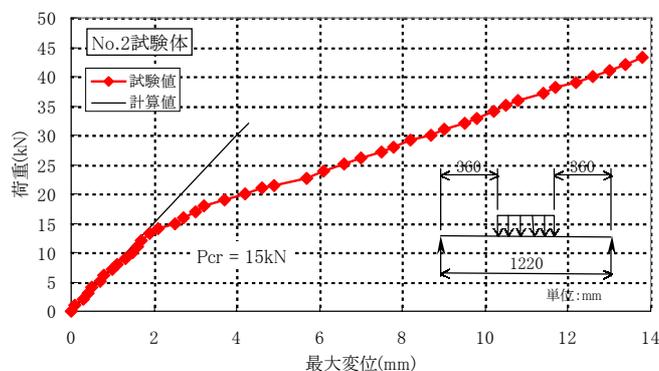


図-1 スラブの荷重-変位関係

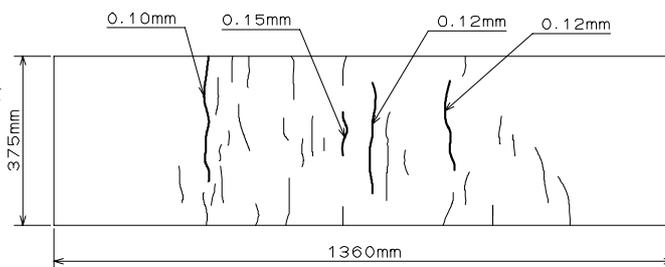


図-2 最終ひび割れ図(最大荷重 90kN 除荷時)