

エトリンサイト生成系超高強度繊維補強 コンクリートの構造性能

一宮 利通^{*1}・本田 智昭^{*2}・曾我部 直樹^{*3}・松原 功明^{*4}

1. はじめに

高い圧縮強度、高い引張強度およびじん性を有する超高強度繊維補強コンクリート（以下、UFC）が実用化され、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）」¹⁾（以下、UFC指針）においてその設計・施工方法が示されている。UFCはとくにプレストレストコンクリート部材として使用した場合、上部構造の軽量化に伴う施工の省力化や下部構造の規模縮小などの効果が期待できる。UFCを用いた部材では鉄筋を配置する必要がないことから、かぶり等の制約を受けずに部材厚さを薄くできるため、その効果は高いと考えられる。

著者らはUFC指針に示される標準材料とは異なるエトリンサイト生成系UFC（以下、AFt系UFC）を開発し、実用化に関する検討を行っている。AFt系UFCはエトリンサイトの生成とポゾラン材の活性により緻密な硬化体となることにより200 N/mm²級の圧縮強度を達成し、長さの異なる2種類の鋼繊維の混入により優れた流動性を保ちながら高い引張強度と引張じん性を実現したものである²⁾。

このAFt系UFCについて材料の力学的特性を把握することを目的として材料試験を実施し、基礎的な材料の力学特性を把握している³⁾。また、部材の曲げ実験およびせん断実験を行い、部材の曲げおよびせん断耐力評価方法について検討している^{3), 4)}。

本報告は、これらの材料試験結果をもとに設定した材料の設計値について報告するとともに、引張強度の設定方法を見直して曲げ耐力およびせん断耐力を再評価した結果を報告するものである。

2. 超高強度繊維補強コンクリートの配合と養生

AFt系UFCの標準配合を表-1に示す。AFt系UFCはエトリンサイトの生成とポゾラン材の活性化により緻密な硬化体とすることによって200 N/mm²級の圧縮強度が得られ

表-1 AFt系UFCの標準配合

空気量 (%)	単位量 (kg/m ³)				鋼繊維 (kg)
	水	プレミックス結合材	骨材	混和剤	
2.0	195	1287	905	32.2	137.4

水の単位量は混和剤の水分を含む

るものである。また、公称繊維長が20 mmと15 mmの鋼繊維を混合したものを容積比で1.75%混入することによって、15 N/mm²程度の引張強度が得られるものである。養生としては、20℃の気中養生を24時間行い（以下、一次養生）、85℃の蒸気養生を20～24時間行う（以下、二次養生）ことを基本としている。

3. 材料の設計値の検討

3.1 試験の概要

(1) 圧縮強度およびヤング係数試験

JIS A 1108およびJIS A 1149に準じ、φ100×200 mmの試験体を用いて圧縮強度およびヤング係数の試験を行った。なお、標準養生（20℃水中養生）を行った試験体についても試験を行った。

(2) 直接引張試験

図-1に試験体形状および荷重状況を示す。10×50×300 mmの平板試験体中央部の両側に幅1.5 mm、深さ5 mmの切欠きを設け、直接引張試験を行った。試験方法は、UFC指針「参考資料3」に準じ、荷重速度を0.2 mm/minとし、荷重荷重およびリガメント（切欠きを設けた破壊面）の開口変位を計測した。

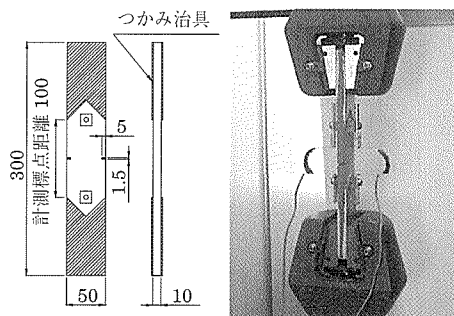


図-1 直接引張試験方法

(3) 曲げ強度試験

JSCE - G552に準じ、100×100×400 mmの試験体を用いて曲げ強度試験を行った。本試験では荷重と変位を連続的に計測し、荷重と変位の関係が不連続になった点から曲げひび割れ発生強度を特定した。

(4) 割裂引張強度試験

JIS A 1113に準じ、φ100×150 mmの試験体を用いて

^{*1} Toshimichi ICHINOMIYA：鹿島建設(株) 技術研究所 土木構造・材料グループ 上席研究員

^{*2} Tomoaki HONDA：鹿島建設(株) 技術研究所 土木構造・材料グループ 研究員

^{*3} Naoki SOGABE：鹿島建設(株) 技術研究所 土木構造・材料グループ 研究員

^{*4} Noriaki MATSUBARA：鹿島建設(株) 技術研究所 土木構造・材料グループ 研究員

割裂引張強度試験によりひび割れ発生強度を確認した。割裂ひび割れ発生強度は、ひずみゲージを用いて試験体の両端面の中心において荷重と直角方向のひずみを連続的に計測し、荷重とひずみの関係が不連続になった点から特定した。

(5) 疲労強度試験

図 - 2 に疲労試験の概要を、表 - 2 に試験ケースを示す。100 × 100 × 400 mm の試験体を用いて、せん断支間長 160 mm とした中央点荷重により繰返し曲げ荷重を行った。試験は、計 19 ケースとし、応力振幅と疲労破壊する繰返し回数との関係を調べた。荷重は、上限および下限荷重を設定して sin 波（周波数 5.0 Hz）の繰返し荷重を与えた。なお、繰返し回数の上限は UFC 指針と同様 200 万回とした。

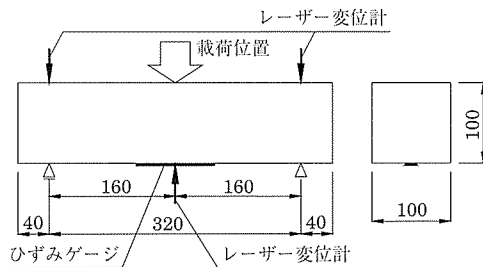


図 - 2 疲労試験の概要

表 - 2 疲労強度試験ケース

ケース No.	静的曲げ強度の平均値 f_m (N/mm ²)	上限応力 σ_{max} (N/mm ²)	下限応力 σ_{min} (N/mm ²)	荷重強度比 $(\sigma_{max} - \sigma_{min}) / (f_m - \sigma_{min})$
1	26.34	8.01	1.90	0.25
2	32.20	14.02	1.90	0.40
3	26.34	11.68	1.90	0.40
4	32.20	15.54	1.90	0.45
5	30.13	14.60	1.90	0.45
6	26.34	15.34	1.90	0.55
7	26.34	15.34	1.90	0.55
8	32.20	18.57	1.90	0.55
9	32.20	21.60	1.90	0.65
10	32.20	21.60	1.90	0.65
11	26.34	19.01	1.90	0.70
12	26.34	19.01	1.90	0.70
13	32.20	24.63	1.90	0.75
14	32.20	24.63	1.90	0.75
15	26.34	21.70	1.90	0.81
1	32.20	26.44	1.90	0.81
17	32.20	26.44	1.90	0.81
18	32.20	27.66	1.90	0.85
19	32.20	27.66	1.90	0.85

(6) 収縮試験

養生中および養生後の収縮を検討するため、収縮試験を行った。100 × 100 × 400 mm の供試体の中央に低剛性タイプの埋込み型ひずみ計を埋め込み、20 °C 相対湿度 60 % の環境下における UFC の収縮ひずみの経時変化を凝結始発から計測した。

(7) クリープ試験

一次養生終了後および二次養生終了後におけるクリープ

ひずみを調べるためにクリープ試験を行った。一次養生終了後に荷重を開始する試験には $\phi 100 \times 200$ mm の試験体を、二次養生終了後に荷重を開始する試験には試験装置の能力の関係から $\phi 75 \times 150$ mm の試験体を用いた。試験は、3 体の試験体を重ねて油圧ジャッキで一定荷重を継続荷重することによって行った。荷重応力度は、一次養生終了後に荷重を開始する試験では 15 N/mm² および 20 N/mm² とし、二次養生終了後に荷重を開始する試験では 36 N/mm²、72 N/mm² および 100 N/mm² とした。クリープひずみは、試験体に貼付したひずみゲージで計測し、同一条件下の自由収縮ひずみを差し引くことによって求めた。

3.2 試験結果および考察

(1) 圧縮強度およびヤング係数

図 - 3 に二次養生後の試験体を用いた圧縮強度試験結果の度数分布を示す。圧縮強度の平均値は 192.6 N/mm²、標準偏差は 7.4 N/mm² となった。この結果から正規分布を仮定し、危険率 5 % となる値を求めると 180.5 N/mm² となったことから、圧縮強度の特性値として UFC 指針と同じ 180 N/mm² を用いることができると判断された。

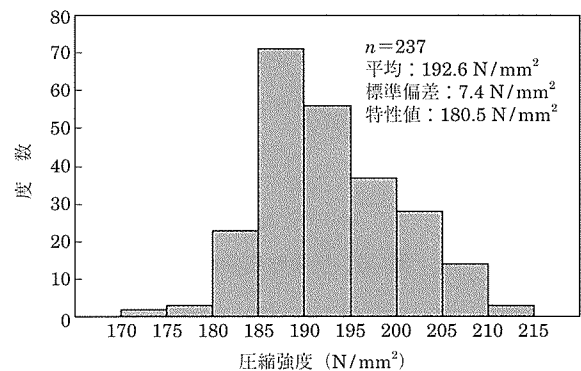


図 - 3 圧縮強度の度数分布

図 - 4 に圧縮強度 (f_c) とヤング係数 (E_c) の関係を示す。二次養生後の試験体以外に、標準養生を行った試験体を用いた結果も示す。二次養生後の Aft 系 UFC のヤング係数は、平均値が 46 kN/mm² となり、標準養生を行った試験体では、以下の関係式が得られた。

$$E_c = 1.77 f_c^{0.64} \quad (1)$$

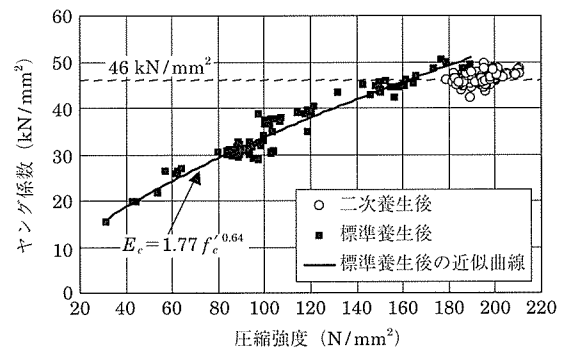


図 - 4 圧縮強度とヤング係数の関係

(2) 引張軟化特性

図 - 5 に直接引張試験結果として載荷荷重をリガメントの断面積で除した引張応力と開口変位の関係である引張軟化曲線を示す。引張応力の大きさにばらつきはみられるが、ほぼ同様の曲線が得られ、ひび割れ発生後も鋼繊維が引張力を伝達することにより応力が増加し、さらに開口変位が増加するに伴い応力が徐々に低下する傾向を示した。

図 - 5 には同一開口変位における引張応力を正規分布と仮定し、危険率 5% となる引張応力の値を算出して求めた引張軟化曲線の特性曲線を示す。この特性曲線は UFC 指針に示されている引張軟化曲線モデルと比較して十分上回っていることが確認されたことから、AFt 系 UFC についても UFC 指針のモデルを用いれば安全側の評価が可能である。なお、危険率 5% となる引張強度の値は 14.2 N/mm² となった (試験体数 $n = 25$)。

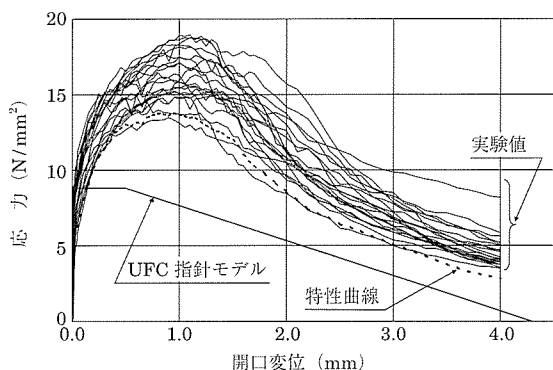


図 - 5 引張軟化曲線

(3) 曲げ強度および引張強度

図 - 6 に曲げ強度試験結果の度数分布を示す。曲げ強度の平均値は 33.0 N/mm²、標準偏差は 4.2 N/mm² となった。この結果から正規分布を仮定し、危険率 5% となる特性値を求めると 26.0 N/mm² となった。

図 - 7 に曲げ強度と引張強度の関係を示す。引張強度は直接引張試験によるものおよび曲げ試験の逆解析から求めたものの 2 種類について示している。UFC 指針では曲げ試験の逆解析から引張強度を求める方法を採用しており、この方法による AFt 系 UFC の引張強度と曲げ強度の関係は UFC 指針で示される関係と同様な関係が得られた。これと

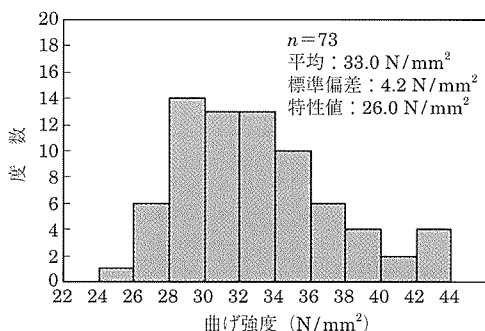


図 - 6 曲げ強度の度数分布

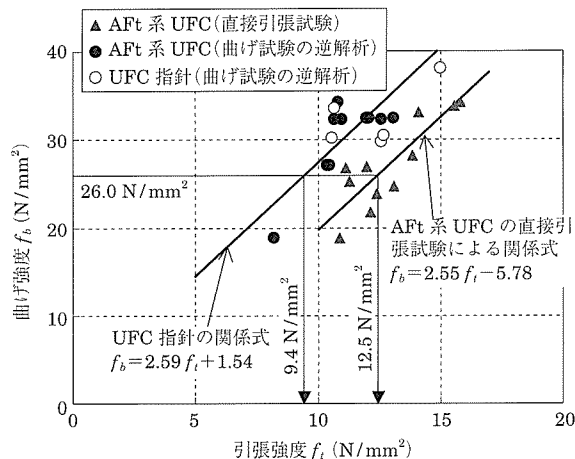


図 - 7 曲げ強度と引張強度の関係

比較して直接引張試験による AFt 系 UFC の引張強度と曲げ強度の関係では、同一曲げ強度に対して直接引張強度の方が大きくなる傾向がみられた。その原因は今後検討が必要であるが、ひとつの可能性として直接引張試験に用いる厚さ 10 mm の平板試験体に鋼繊維が二次元配向されて引張強度が大きくなったことが考えられるため、ここでは曲げ強度から引張強度を求める関係式は UFC 指針で示される関係式を用いることとした。なお、この関係を用いて曲げ強度の危険率 5% となる特性値 26.0 N/mm² を引張強度に換算した値は 9.4 N/mm² となることから、引張強度の特性値として安全側に UFC 指針と同じ 8.8 N/mm² を用いることができる。

(4) ひび割れ発生強度

図 - 8 に曲げ強度試験において得られた曲げひび割れ発生強度の度数分布を示す。ひび割れ発生強度の平均値は 14.8 N/mm²、標準偏差 1.5 N/mm²、危険率 5% となる値は 12.4 N/mm² となった。

UFC 指針では割裂引張強度試験によるひび割れ発生強度に基づいてひび割れ発生強度の特性値を定めているが、ここでは安定した結果が得やすい曲げ試験を採用している。そこで、AFt 系 UFC の曲げひび割れ発生強度との関係から割裂ひび割れ発生強度を求める。

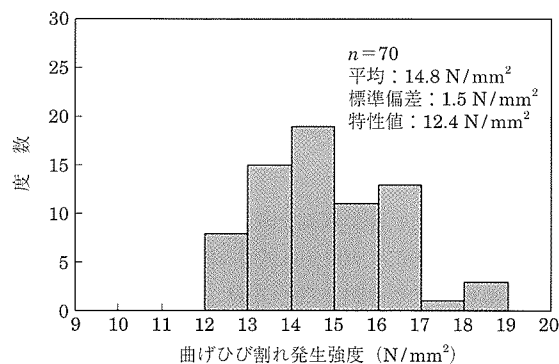


図 - 8 曲げひび割れ発生強度の度数分布

図 - 9 に二次養生および標準養生を行った試験体を用いた割裂ひび割れ発生強度と曲げひび割れ発生強度の関係を示す。図 - 9 には UFC 指針に示される関係式による直線も示す。AFt 系 UFC の試験結果は UFC 指針の関係式とほぼ一致していることから、AFt 系 UFC についても UFC 指針の関係式を用いることができると考えられる。この関係式を用いて AFt 系 UFC の曲げひび割れ発生強度の危険率 5% となる特性値 12.4 N/mm^2 を割裂ひび割れ発生強度に換算した値は 8.5 N/mm^2 となることから、割裂ひび割れ発生強度の特性値として安全側に UFC 指針と同じ 8.0 N/mm^2 を用いることができる。

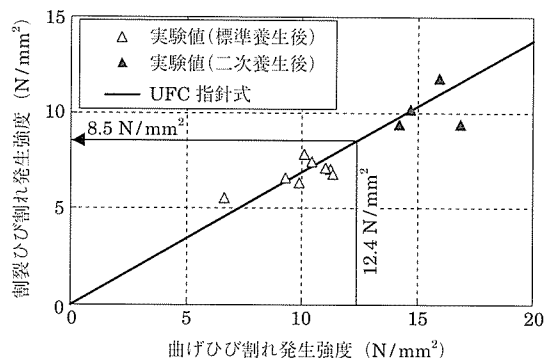


図 - 9 ひび割れ発生強度の関係

(5) 疲労強度

図 - 10 に疲労強度試験で得られた S-N 関係を示す。載荷強度比 0.40 以下のケースでは 200 万回の繰返しに対してひび割れが発生せず、疲労破壊しなかった。また、全体の傾向は、UFC 指針に示される S-N 曲線とほぼ一致していることが確認された。

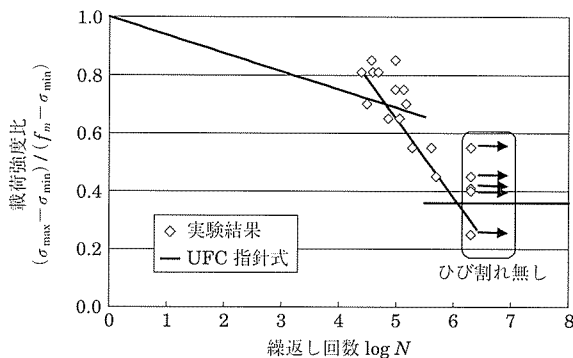


図 - 10 疲労試験結果

(6) 収縮

凝結始発からの収縮の経時変化を図 - 11 に示す。一次養生中の収縮ひずみは約 320×10^{-6} 、二次養生中の収縮ひずみは約 380×10^{-6} であり、合計で約 700×10^{-6} であった。二次養生終了以降の収縮ひずみは 50×10^{-6} 程度と非常に小さかったが、これは、収縮のほとんどが水和反応に伴う自己収縮であったためと考えられる。

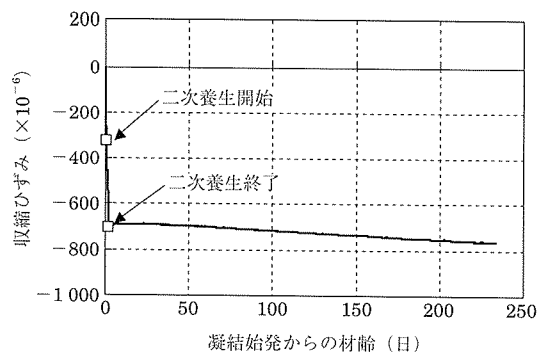


図 - 11 凝結始発からの収縮ひずみ

(7) クリープ

一次養生終了後に載荷を開始した試験について、単位応力あたりのクリープひずみの試験結果を図 - 12 に示す。クリープひずみは載荷後 5 時間程度まで急激に増加し、その後は UFC の強度発現に伴い増加の程度が鈍化するという傾向が確認された。載荷後 20 時間時ではすべての載荷ケースにおいて単位応力当たりのクリープひずみが $70 \sim 80 \times 10^{-6} (\text{N/mm}^2)$ であった。一次養生終了後におけるクリープひずみは、後述する二次養生後のそれに比べ大きい傾向がある。そのため、プレテンション部材などにおいて一次養生終了後にプレストレスを導入する場合には、導入後から二次養生開始までの時間と導入応力に応じたクリープによるプレストレスの損失を適切に考慮する必要がある。

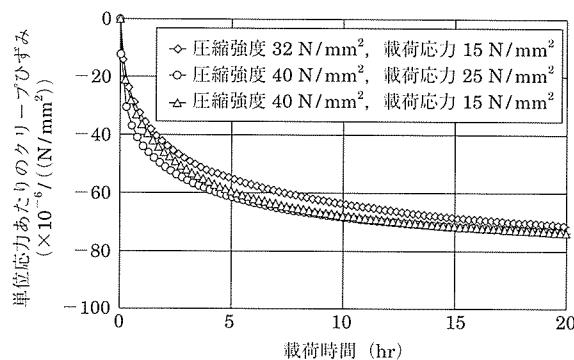


図 - 12 一次養生後のクリープひずみ

二次養生終了後に載荷を開始した試験について、単位応力あたりのクリープひずみの試験結果、ならびに土木学会コンクリート標準示方書⁵⁾(以下、標準示方書)に示される圧縮強度の影響を考慮した予測式による予測値を図 - 13 に示す。なお、標準示方書の圧縮強度の適用範囲は 80 N/mm^2 以下である。 72 N/mm^2 および 100 N/mm^2 の応力を作用させた供試体のクリープひずみは標準示方書の予測式に圧縮強度の実測値 206 N/mm^2 を代入して予測した値の約 80% であった。 36 N/mm^2 の応力を作用させた供試体のクリープひずみはそれよりも若干小さい値であった。これらの値は、圧縮強度が 40 N/mm^2 の普通強度コンクリートのクリープひずみを標準示方書により算定した値と比較すると 1 /

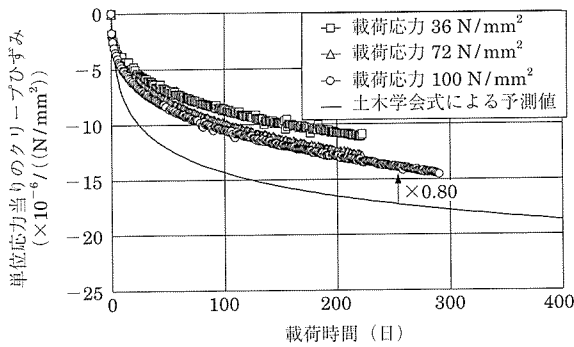


図 - 13 二次養生後のクリープひずみ

5 程度であり、非常に小さいものであった。なお、圧縮強度が約 150 N/mm² で鋼繊維が混入されていない超高強度コンクリートでは、約 50 N/mm² の応力を作用させた場合のクリープひずみが標準示方書で予測した値の約 70 % であったと報告されており⁶⁾、AFt 系 UFC はこれとほぼ同じ傾向を示した。

4. 曲げ耐力の検討

4.1 実験の概要

試験体の概要を図 - 14 に示す。試験体は、補強鋼材を配置しない梁試験体を 3 体（試験体 N1-1 ~ 3）、プレテンション方式でプレストレスを導入した梁試験体を 1 体（試験体 MPC）とした。試験体 N1 は幅 150 mm 高さ 200 mm の矩形断面、試験体 MPC はウェブ幅 100 mm、高さ 305 mm の T 型断面とした。試験体 MPC には降伏荷重 427 kN、引張荷重 480 kN の φ 19.3 mm の PC 鋼より線を用い、緊張力は規格降伏荷重 387 kN の 0.9 倍の 348 kN とした。導入された応力度は 6.0 N/mm² であった。また、PC 鋼より線 3 本のうち中央の 1 本は緊張しないで補強鋼材として配置した。プレストレスを導入する試験体では、一次養生後プレストレスを導入し、直ちに二次養生を行った。

荷重は、試験体を単純支持して 2 点荷重で行い、単調に荷重を増加させた。荷重開始から終了まで、荷重荷重をロードセルにより、試験体中央のたわみを変位計により計測した。

4.2 実験結果および考察

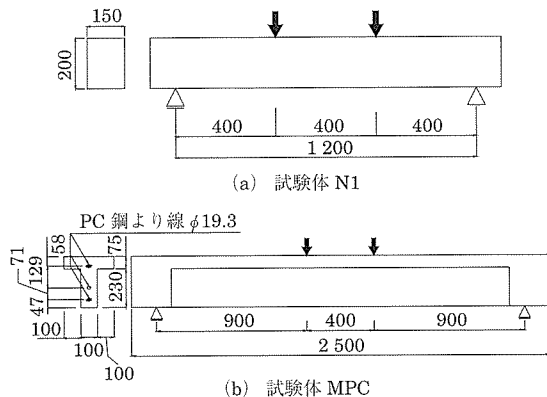


図 - 14 曲げ試験体の概要

表 - 3 に材料試験および曲げ荷重実験結果を、図 - 15 に試験体 N1 シリーズの荷重と試験体中央変位の関係を、図 - 16 に試験体 MPC の荷重と試験体中央変位の関係を示す。

試験体 N1 シリーズでは各ケースではほぼ同様の荷重変位曲線が得られた。ひび割れ発生後剛性は徐々に低下したが、鋼繊維が引張力を伝達することにより荷重が増加し、微細ひび割れの本数が増加した。その後、最大荷重付近で等曲げ区間に発生したひび割れのうち 1 本のひび割れの幅が増加し始め、荷重が徐々に低下した。ひび割れ幅が増加するとともに変位が増大し、変位が 15 mm を超えたところで荷重を中止して除荷した。

試験体 MPC では荷重荷重 120 kN で曲げひび割れが発生し、荷重の増加とともに微細なひび割れの本数が増加した。PC 鋼より線のひずみは計測できなかったが、解析結果から荷重荷重 300 kN 程度で PC 鋼より線が降伏したと推定される。最大荷重 416 kN に達した後、上縁の UFC が圧縮破壊

表 - 3 材料試験および曲げ荷重実験結果

試験体	N1-1	N1-2	N1-3	MPC
補強鋼材	なし			あり
圧縮強度 (N/mm ²)	210.2	194.2	201.2	201.2
曲げ強度 (N/mm ²)	27.1	32.4	28.4	28.4
換算引張強度 (N/mm ²)	12.9	15.0	13.4	13.4
ヤング係数 (kN/mm ²)	44.6	47.4	44.9	44.9
平均軸圧縮応力度 (N/mm ²)	—			6.0
最大荷重 P_u (kN)	160	159	156	416
計算耐力 P_d (kN)	127	150	150	406
P_u / P_d	1.26	1.06	1.02	1.02

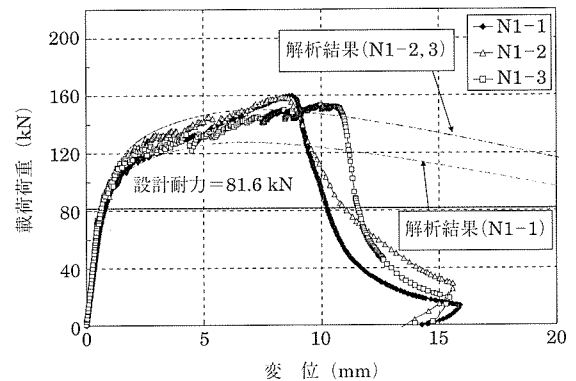


図 - 15 曲げ荷重実験結果（試験体 N1 シリーズ）

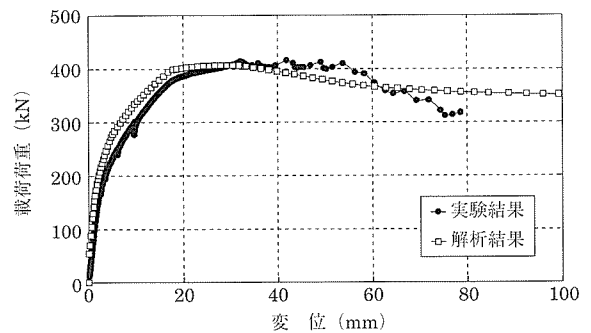


図 - 16 曲げ荷重実験結果（試験体 MPC）

して荷重が徐々に低下し、荷重が解析による降伏荷重まで低下したところで載荷を中止した。

UFC 指針 6.2「曲げモーメントおよび軸方向力に対する安全性の検討」に準じ、以下の条件で解析した結果を表 - 3 に計算耐力として、図 - 15 および図 - 16 に解析結果として示す。

- ・圧縮強度は実験値を使用
- ・引張強度は曲げ強度から UFC 指針の式を用いて換算
- ・安全係数は 1.0 とする

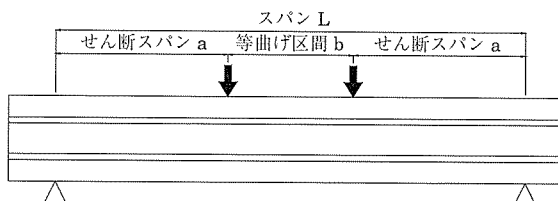
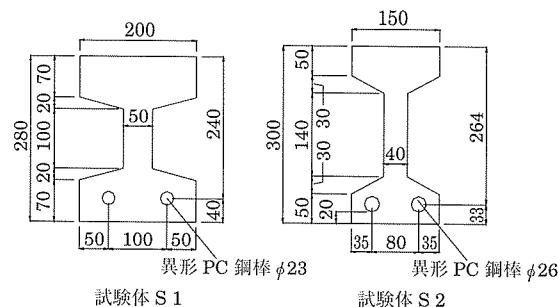
ただし、 ϕ 19.3 mm の PC 鋼より線については、規格引張強度の 0.7 倍を折れ点とするバイリニア曲線でモデル化した⁷⁾。なお、載荷直前における PC 鋼より線の初期ひずみは計測できなかったため、緊張力が同じであるプレストレス導入実験で得られた値を用いた⁴⁾。

実験値と計算耐力を比較すると、試験体 N1 - 2, N1 - 3 および MPC については精度良く評価されていることから、AFt 系 UFC についても UFC 指針のモデルを用いて評価可能であること、太径の ϕ 19.3 mm の PC ストランドを用いた場合でも曲げ耐力が評価可能であることが確認された。一方、試験体 N1 - 1 については、耐力を 25 % 程度小さく評価する結果となった。この原因としては、材料試験において引張強度が過小評価されたことが影響していると考えられる。設計においては引張強度の特性値を使用し、さらに安全係数で除するため図 - 15 に「設計耐力」として示すように安全側の評価となるが、合理的な設計や品質管理を行う上でも適切に引張強度を評価できる試験方法が望まれる。

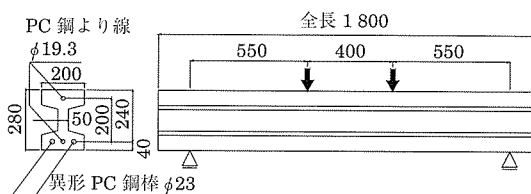
5. せん断耐力の検討

5.1 実験の概要

実験条件を表 - 4 に、試験体の概要を図 - 17 に示す。試験体は、引張鋼材（異形 PC 鋼棒）のみを配置した梁試験体を 2 体（試験体 S 1, S 2）、引張鋼材（異形 PC 鋼棒）に加えて PC 鋼より線を用いてプレテンション方式でプレ



(a) 試験体 S 1 および S 2



(b) 試験体 SPC 1 および SPC 2

図 - 17 せん断試験体の概要

ストレスを導入した梁試験体を 2 体（試験体 SPC 1, SPC 2）とした。試験体はすべて I 型断面とし、試験体 S 1 はウェブ幅 50 mm、有効高さ 240 mm、試験体 S 2 はウェブ幅 40 mm、有効高さ 267 mm、試験体 SPC 1 および SPC 2 はウェブ幅 50 mm、有効高さ 240 mm とした。PC 鋼より線には曲げ試験体 MPC と同様 ϕ 19.3 mm の PC 鋼より線を用い、緊張力は規格降伏荷重の 0.9 倍の 348 kN とした。曲げ降伏が先行しないように試験体 S 1, SPC 1 および SPC 2 では ϕ 23 mm 異形 PC 鋼棒を、試験体 S 2 では ϕ 26 mm 異形 PC 鋼棒を緊張せずにそれぞれ 2 本ずつ配置して補強した。プレストレスを導入する試験体では一次養生後圧縮強度が 40 N/mm² に達した時点でプレストレスを導入し、直ちに二次養生を行った。

載荷は試験体を単純支持して 2 点載荷で行い、単調に荷重を増加させた。載荷開始から終了まで、載荷荷重をロードセルにより、試験体中央のたわみを変位計により計測した。

5.2 実験結果および考察

図 - 18 に作用せん断力と試験体中央変位の関係を示す。

S 1 では作用せん断力 88 kN でせん断スパンに斜めひび割れが発生し、せん断力の増加に伴い徐々に微細なひび割れの本数が増加した。その後、最大せん断力 274 kN 付近で 1 本の斜めひび割れの幅が拡大し始め、徐々にせん断力が低下した。試験体 S 2 でも同様な挙動を示し、斜めひび割れ発生時のせん断力は 69 kN、最大せん断力は 159 kN であった。試験体 SPC 1 では作用せん断力 100 kN で斜めひび割れが発生し、せん断力の増加とともに斜めひび割れ本数

表 - 4 せん断実験条件および結果

試験体		S1	S2	SPC1	SPC2
実験条件	ウェブ幅 (mm)	50	40	50	50
	有効高さ (mm)	240	267	240	240
	引張鋼材料 (mm ²)	831	1061.8	1074.7	1074.7
	プレストレス力 (kN)	0	0	270	135
	せん断スパン比	2.3	3.0	2.3	2.3
材料強度	圧縮強度 (N/mm ²)	202.9	179.0	201.2	196.4
	曲げ強度 (N/mm ²)	32.4	38.4	28.4	27.1
	換算引張強度 (N/mm ²)	11.9	14.2	10.4	9.9
試験結果	斜めひび割れ発生 (kN)	88	69	100	88
	最大せん断力 (kN)	274	159	306	293
	破壊時の斜めひび割れ角度* (°)	34	19	26	28
	指針式 (kN)	186	183	193	170
計算値	実験値/指針式	1.47	0.87	1.58	1.72
	参考式 (kN)	217	203	226	207
	実験値/参考式	1.26	0.78	1.35	1.42

* 部材軸とひび割れのなす角度

が増加した。その後、最大せん断力 306 kN に達したときに 1 本の斜めひび割れが拡大してせん断力が急激に低下した。試験体 SPC 2 でも同様な挙動を示し、斜めひび割れ発生時のせん断力は 88 kN、最大せん断力は 293 kN であった。

表 - 4 にせん断耐力の実験値と UFC 指針を用いた計算値の比較を示す。計算値は UFC 指針 6.3.3 「棒部材の設計せん断耐力式」に示されている式 (指針式)、ならびに「参考資料 4 超高強度繊維補強コンクリートのせん断耐力」で提案されている式 (参考式) を用いて算定した。算定の条件は以下のとおりとした。

- ・ 圧縮強度は実験値を使用
- ・ 引張強度は曲げ強度から UFC 指針の式を用いて換算
- ・ 安全係数は 1.0 とする
- ・ 軸力を受けない場合の斜めひび割れが部材軸となす角度は UFC 指針に準じて 40° とする

表 - 4 より、指針式による計算値に対する実験値の比は 0.87 ~ 1.72、参考式による計算値に対する実験値の比は 0.78 ~ 1.42 であった。これらのばらつきは UFC 指針に示されるせん断実験の結果と同程度のばらつきの範囲であるため、AFt 系 UFC についても、また、太径の ϕ 19.3 mm の PC ストランドを用いた場合でも UFC 指針に準じてせん断耐力を評価できると考えられる。

試験体 S 2 については計算値に対する実験値の比が 1 を下回っていたが、設計においては材料強度の特性値を用い、

安全係数で除した値を設計せん断耐力とするため、図 - 18 中「設計耐力」に示したとおり試験体 S 2 でも 2 倍程度の安全率は確保される結果となった。今後、合理的な設計を行うためには、実験データを蓄積し、耐力算定式の精度を向上させる必要がある。

6. おわりに

本論文では、新たに開発したエトリンナイト生成系 (AFt 系) UFC の力学的性状および構造性能を明らかにすることを目的として、実験に基づく検討を行った。その結果、以下のようなことが明らかとなった。

- 1) AFt 系 UFC について、材料試験により圧縮強度、ヤング係数、曲げ強度、ひび割れ強度の特性値および引張軟化特性、疲労強度、収縮およびクリープについて確認した。その結果、UFC 指針で示される標準材料と同程度の性能を有していることが確認された。
- 2) 補強鋼材を配置しない部材および太径の ϕ 19.3 mm の PC ストランドを用いたプレテンション部材ともに、UFC 指針の算定方法を用いて曲げ耐力を算定可能であることが確認された。
- 3) AFt 系 UFC を用いた部材のせん断耐力は UFC 指針に示されるせん断実験結果と同程度のばらつきで評価することができること、材料強度の特性値を用い、かつ、安全係数を考慮することにより安全側に評価できることが確認された。

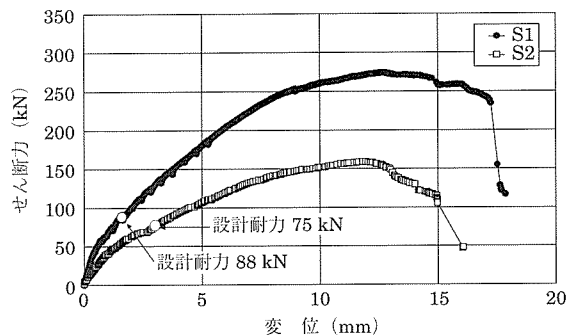
謝 辞

エトリンナイト生成系 (AFt 系) UFC は電気化学工業 (株)、住友電工スチールワイヤー (株) および三井住友建設 (株) と共同開発したものであり、本研究における各種実験に際しては各社の関係各位に多大な協力をいただきました。ここに深く感謝の意を表します。

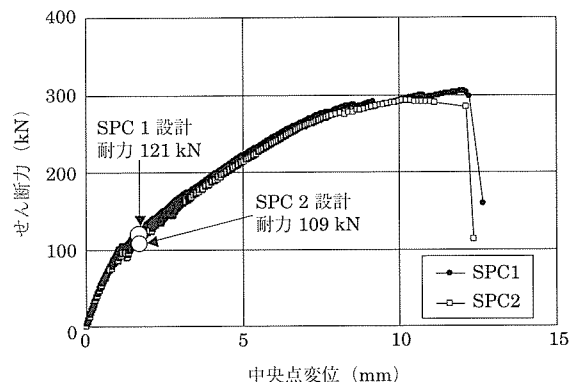
参考文献

- 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)，2004。
- 2) 例えば、松原功明，大野俊夫，坂井吾郎，山田真人；超高強度繊維補強コンクリートの諸特性に及ぼす鋼繊維の影響，コンクリート工学年次論文集，Vol.28，No.1，(2006.7)，pp.1253 - 1258。
- 3) 本田智昭，一宮利通，曾我部直樹，日紫喜剛啓；超高強度繊維補強コンクリートの構造性能に関する基礎的研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.28，No.2，(2006.7)，pp.637 - 642。
- 4) 一宮利通，曾我部直樹，本田智昭，日紫喜剛啓；超高強度繊維補強コンクリートを用いたプレテンション部材の構造性能，コンクリート工学年次論文集，Vol.28，No.2，(2006.7)，pp.505 - 510。
- 5) 土木学会；コンクリート標準示方書 [2002 年制定] 構造性能照査編，2002。
- 6) 日紫喜剛啓，一宮利通，大野俊夫，高田和法，平陽兵，藤井秀樹；超高強度コンクリートのプレテンション部材への適用性に関する基礎的研究，材料，Vol.53，No.6，(2004)，pp.678 - 685。
- 7) 日本道路公団；PC 橋の耐久性向上に関する設計・施工マニュアル，2001。

[2006 年 7 月 21 日受付]



(a) 試験体 S 1 および S 2



(b) 試験体 SPC 1 および SPC 2

図 - 18 せん断載荷実験結果