

超高強度繊維補強コンクリートを用いた新しいウェブ構造に関する研究

三井住友建設(株)	土木管理本部	PC設計部	正会員	〇片	健一
三井住友建設(株)	大阪支店	土木部	正会員	玉置	一清
三井住友建設(株)	土木管理本部	PC設計部	正会員	永元	直樹
三井住友建設(株)	土木管理本部	PC設計部	正会員	春日	昭夫

1. はじめに

橋梁建設コストを低減する方法として、筆者らは、鋼板の加工を極力低減し、施工現場で鋼板の溶接を不要とした新しい鋼コンクリート複合部材である「バタフライウェブ(図-1)」の開発に取り組み、その実用化に向けウェブ本体と接合部の各せん断耐力実験を行い非線形解析との整合性と構造の安全性を確認した^{1),2)}。本稿は、本構造の維持管理性向上を目指し、ウェブ部に超高強度繊維補強コンクリート

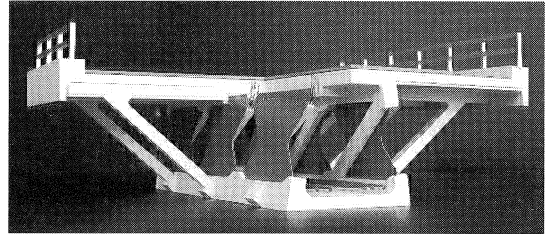


図-1 バタフライウェブ橋

(Ultra High Strength Fiber Reinforced Concrete 以下、UFC)を用いた構造に対して、構造特性と安全性を確認するために行ったせん断耐力実験結果に関して報告するものである。

2. UFCバタフライウェブの特徴

バタフライウェブは、図-2のような蝶型形状の独立したウェブを有する構造であり、ウェブに鋼板を用いる場合は斜め方向に補剛コンクリートを一体化させて座屈を抑制している。この部位にUFCを用いた場合は座屈に対する補剛コンクリートが不要となる一方、引張側にPC鋼材を配置する必要がある。また床版との接合は、鋼板ウェブの場合は孔あき鋼板ジベルを用いるのに対し、UFCウェブの場合は予め埋め込んだ接合鉄筋によりせん断を伝達させる構造としている。ウェブにUFCを用いることにより、鋼部材の防錆等の維持管理が軽減され橋梁のライフサイクルコストの低減に効果があると考えられる。加えて鋼板ウェブは運搬条件によりその寸法に制約が生じ対応できる支間長が65m程度までと制限されるが、UFCウェブは現場にてプレストレスで一体化することが可能なため、ウェブ寸法の大型化が可能となり適用支間長も拡大される。

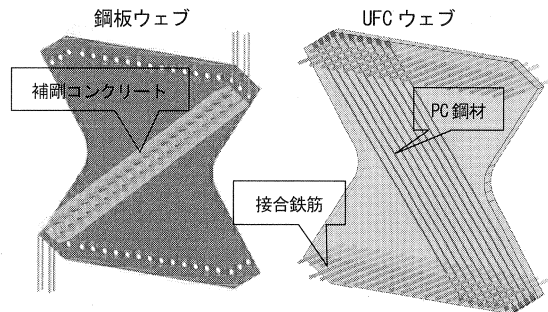


図-2 ウェブ構造の比較

鋼部材の防錆等の維持管理が軽減され橋梁のライフサイクルコストの低減に効果があると考えられる。加えて鋼板ウェブは運搬条件によりその寸法に制約が生じ対応できる支間長が65m程度までと制限されるが、UFCウェブは現場にてプレストレスで一体化することが可能なため、ウェブ寸法の大型化が可能となり適用支間長も拡大される。

3. 要素モデルによるせん断耐力実験

(1) 実験目的

1) 破壊形態の確認：本構造にせん断力が作用した場合、予想される破壊形態には①最小幅部での純せん断破壊、②引張側のPC鋼材降伏による破壊、③圧縮側のコンクリート圧壊の3通りに加え、ひび割れ進行に伴ったこれらの複合的な破壊が挙げられる。これらの破壊形態は部材の耐力への影響が大きく部材厚等の部材寸法の設定に影響を与えるため、両者を確認する必要がある。

2) 解析値との整合性：ひび割れ発生後の非線形領域においても本構造の挙動が解析と整合性を有していることを確認し、その挙動や耐力が非線形解析により検証できることを確認する。

(2) 実験対象および実験方法

本実験の対象橋梁は図-3に示す支間長38mの連続桁橋であり、実験供試体はこの1ウェブを抽出した1/2モデルである。実験方法は図-4に示すように上下端をコンクリートにて巻立てたウェブ供試体の下端を全方向に固定して上端側にはレールを配置して、ジャッキによる載荷時に鉛直方向の変形を拘束し、水平方向のみの変形を生じさせることで純せん断力を作用させている。またUFCバタフライウェブには、せん断力により引張が発生する方向にプレテンション方式にてプレストレスを導入している。プレストレス量は、対象モデルでの算出断面力を基に設計終局荷重にて生じる引張力の合計として1S12.7を4本配置し、プレストレス量は設計荷重時での引張力に対してフルプレストレスになるように有効緊張力として66.1kN(0.36Pu)を与えている。図-5に材料試験値と非線形解析モデルおよび解析に用いた応力-ひずみ関係を示す。解析モデルはUFCのウェブ部とPC鋼材をモデル化し下端を全拘束し、上端側の水平方向変位を漸増させることで実験を再現した。UFCは4節点シェル要素の回転ひび割れモデルとし、PC鋼材はウェブと完全付着している埋込要素とし所定の緊張力を初期応力として与えている。

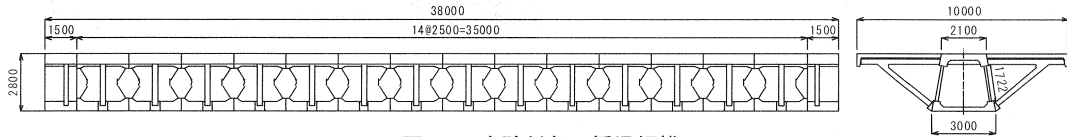


図-3 実験対象の橋梁規模

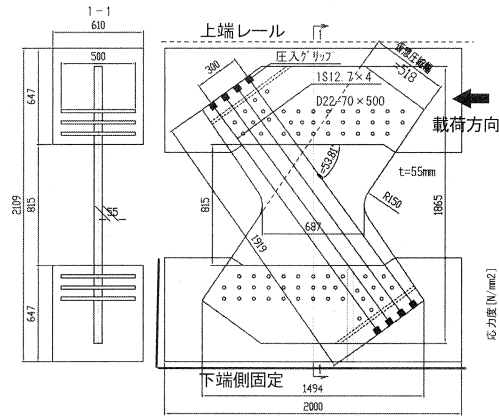


図-4 実験供試体

弾性係数	E_c	45017	N/mm ²
圧縮強度	f_{ck}	189.1	N/mm ²
ひび割れ発生強度	f_{cr}	7.8	N/mm ²
引張強度	f_{tk}	202	N/mm ²
2面せん断強度		46.3	N/mm ²

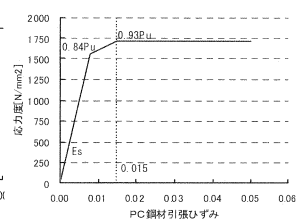
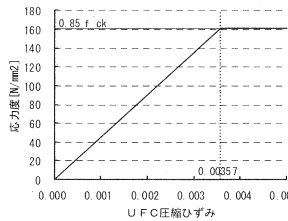
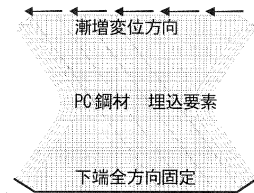


図-5 非線形解析モデル

(3) 実験結果

1) 荷重-変位曲線

写真-1に全体の破壊状況写真、図-6に載荷荷重と水平方向変位のグラフを示す。載荷荷重400kNにてバタフライウェブの最小幅部近傍の引張側の側面にひび割れが発生し、500kNにて反対側の側面にも発生した。荷重-変位曲線からも500kNを超えた時点から変形の勾配に変化が生じておりこれらはひび割れ進行による影響と考えられる。その後は荷重の増加に対して、変形勾配はほぼ変化せずに細かなひび割れが分散して表面に発生し、載荷荷重が2670kNに達した時点で、固定コンクリートの圧縮側の一部(写真-1○部)が圧縮破壊し、それと同時に供試体は引張側にP C鋼材と共に破断し終局に至った。写真-2に最初に圧縮破壊を生じた部分の拡大写真を示す。また図-7にせん断応力度-変位曲線を示す。図中には参考文献3)により算出した設計斜め圧縮破壊力と材料強度実験により得られた2面せん断強度を示しているが、これによると終局時には両数値よりも大きなせん断応力度が発生しているにもかかわらず、せん断破壊が生じなかったことが確認された。ここで図-4に示すような圧縮領域幅を仮定し圧縮強度 f_{ck} を用いてこの断面積の圧縮耐力を算出すると、 $0.85f_{ck} \times A_c \times \cos \theta = 2667kN$ となり非線形解析による破壊荷重とほぼ一致する。

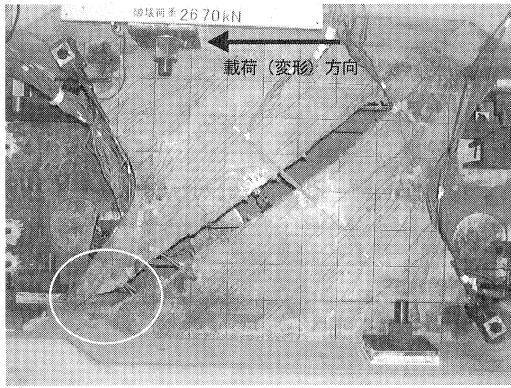


写真-1 破壊状況-1

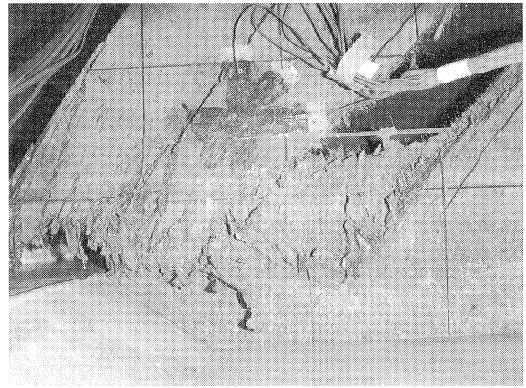


写真-2 破壊状況-2

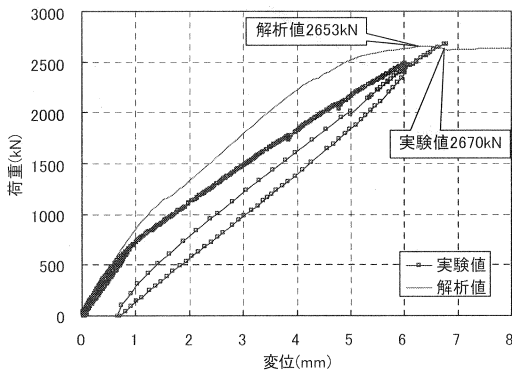


図-6 荷重-変位グラフ

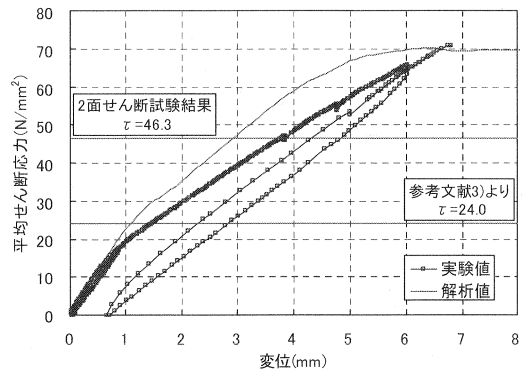


図-7 平均せん断応力度-変位グラフ

2) コンクリートひずみ

図-8に表面で実験により計測された圧縮方向のコンクリートひずみ, 図-9に, 両端部での実験値と解析値との比較を示す。この結果より, 圧縮領域内でのひずみは一樣ではなく, 端部ほど大きくなる傾向がある。これは非線形解析による主圧縮応力度の分布と同様である。加えて供試体端部の圧縮ひずみは解析値と一致しているために, 非線形解析が実験結果と整合性を有していることが明らかとなった。

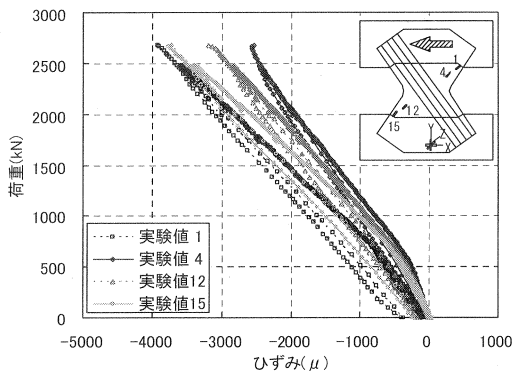


図-8 コンクリート圧縮ひずみグラフ

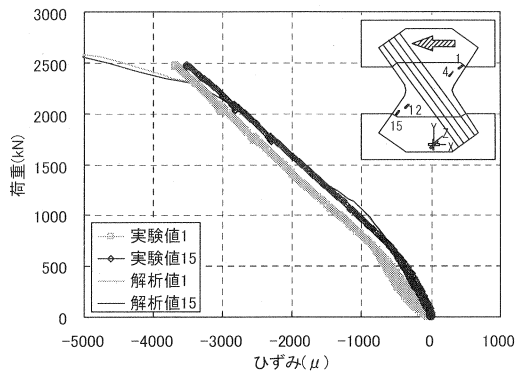


図-9 解析値との比較

2) PC鋼材ひずみ

図-10, 11にPC鋼材のひずみを示す。このグラフから供試体にひび割れが発生した後も実験値と解析値がほぼ等しいことが確認された。これは、UFCは付着強度が大きくひび割れ分散性の高い材料であるため、通常のコンクリートのようなひび割れ発生後の引張りひずみの集中が生じず、ひずみが鋼材全体で一樣になっているからと考えられる。また、図-11にて解析より大きなひずみが生じている箇所がある。しかし、PC鋼材本数は終局荷重時に生じる全引張力をPC鋼材にて受け持たせる設計として決定しており、実験時での降伏に至るひずみ増加量5600 μ に対して最大ひずみが4000 μ であることから、PC鋼材は降伏には至っておらず、引張側の耐力に余裕があることが確認された。

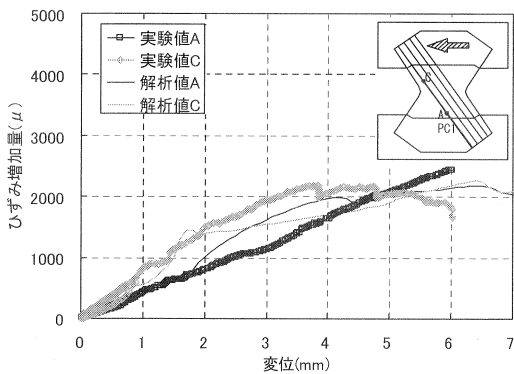


図-10 PC鋼材ひずみグラフ1

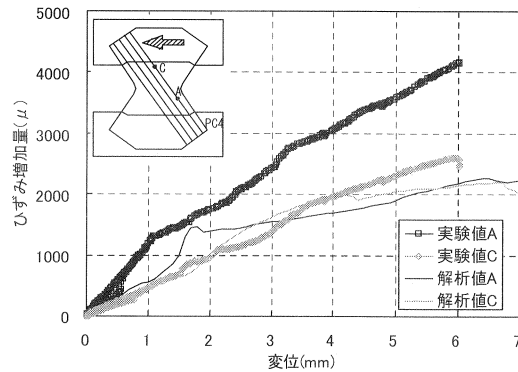


図-11 PC鋼材ひずみグラフ2

4. まとめ

本実験により、UFCを用いたバタフライウェブに関して以下の知見が得られた。

- (1) UFCは、その圧縮強度に比べてせん断強度が大きいがないが、本橋のような構造に用いることによって終局耐力を圧縮強度にて決定することが可能となり、材料の特性を最大限利用できることが確認された。
- (2) 荷重と変位、応力分布および耐力の実験結果が非線形解析結果と整合性を有しており、その挙動を解析にて予測することが可能であることが確認された。

今後の課題としては、桁としての変形の影響を明確にすることである。本実験では上下端の鉛直変位を拘束しているが実構造物では横桁等での拘束であり、本構造では変形の拘束度合いとひび割れの発生や進行の状況が耐力に影響すると予想される。本実験により本ウェブ構造の挙動を非線形解析にて予測できることが明らかとなったため、桁モデルで非線形解析を実施しその影響を確認することができる。この確認により終局のメカニズムがより明確となり、PC鋼材本数およびその緊張力の設定方法が確立され、本構造の設計手法を体系的に構築することが可能と考えられる。

参考文献

- 1) 片, 高木, 中積, 春日: 新しいウェブ形式を有する複合橋の関する研究, 第13回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, pp. 413-416, 2004. 10.
- 2) 片, 高木, 中積, 春日: 新しいウェブ形式を有する複合橋の接合部に関する研究, 第15回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, pp. 527-530, 2006. 10.
- 3) 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), 土木学会コンクリートライブラリー 第113号, 2004.9
- 4) 土木学会: 超高強度繊維補強コンクリート「サクセム」の技術評価, 技術推進ライブラリーNo.3, 2006.11