

豊田市横断歩道橋の変更設計報告
—超高強度繊維補強コンクリートを使用した歩道橋—

大成建設(株) 本社土木設計部 正会員 ○稲原 英彦
八千代エンジニアリング(株) 名古屋支店技術第 1 部 宮原 啓吏

1. はじめに

現在、愛知県豊田市に総合体育館が新設中である。本歩道橋はこの新設工事に伴い建設されるものであり、市道を跨ぎ地上から体育館 2 階部へアプローチするプレストレストコンクリート橋である。本歩道橋は、市道の建築限界を確保するために桁下レベルが、また体育館 2 階部に接続するため桁天端レベルが決定されるため桁高に厳しい制約が課せられた。また、景観にも配慮した設計が求められていた。

このような計画条件を満足する材料として主桁部に超高強度繊維補強コンクリート (以下、UFC) が採用されていた。近年、UFC は新材料として注目されており、橋梁における国内外の実績が増えつつある。本橋で採用された UFC は圧縮強度の特性値が 180N/mm^2 、引張強度の特性値が 8.8N/mm^2 のセメント系複合材である。また、高張力鋼繊維 ($\Phi 0.2\text{mm}$ 、長さ $L=15\text{mm}$) が容積比で 2% 配合されており、鉄筋は使用されていない。このような、UFC の優れた材料特性により、豊田市横断歩道橋は桁高 550mm と当初設計段階においても桁高スパン比 1/41 という低桁高を実現していた。本稿はこの UFC を採用した歩道橋において、工事受注後に得られた最新の知見を加味し、市道の通行制限時間を短くするために現場工程短縮を目的として、より合理的な構造となるように変更設計を行った結果について報告するものである。完成予想パースを図-1~図-2 に示す。

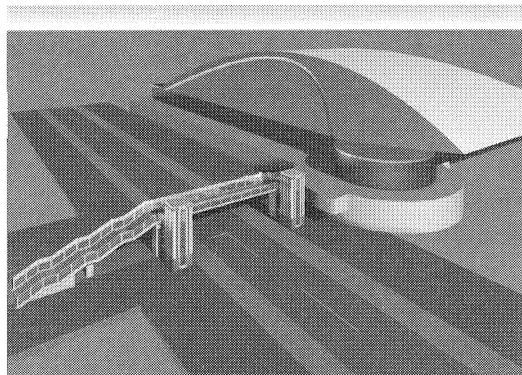


図-1 完成予想パース (その1)

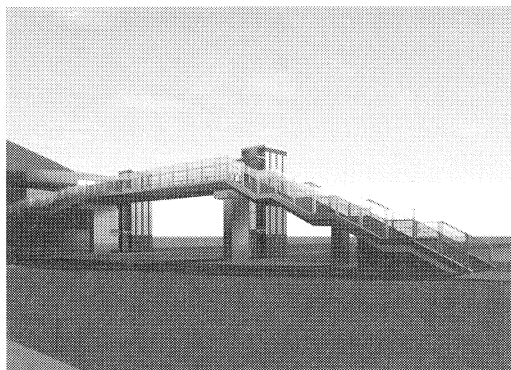


図-2 完成予想パース (その2)

2. 橋梁概要

変更設計後における本歩道橋の橋梁概要を表-1 に、橋梁一般図を図-3 に示す。

表-1 橋梁概要

(1)所在地	愛知県豊田市筆母町	(7)平面線形	直線
(2)橋種	PC単純桁橋 (歩道橋)	(8)縦断勾配	1%放物線
(3)主桁形式	2室箱桁	(9)横断勾配	1%おがみ勾配
(4)橋長	28.007m	(10)荷重	群集荷重
(5)支間長	22.500m	(11)工法	プレキャストセグメント工法
(6)有効幅員	4.0m	(12)工期	平成17年12月~平成19年2月

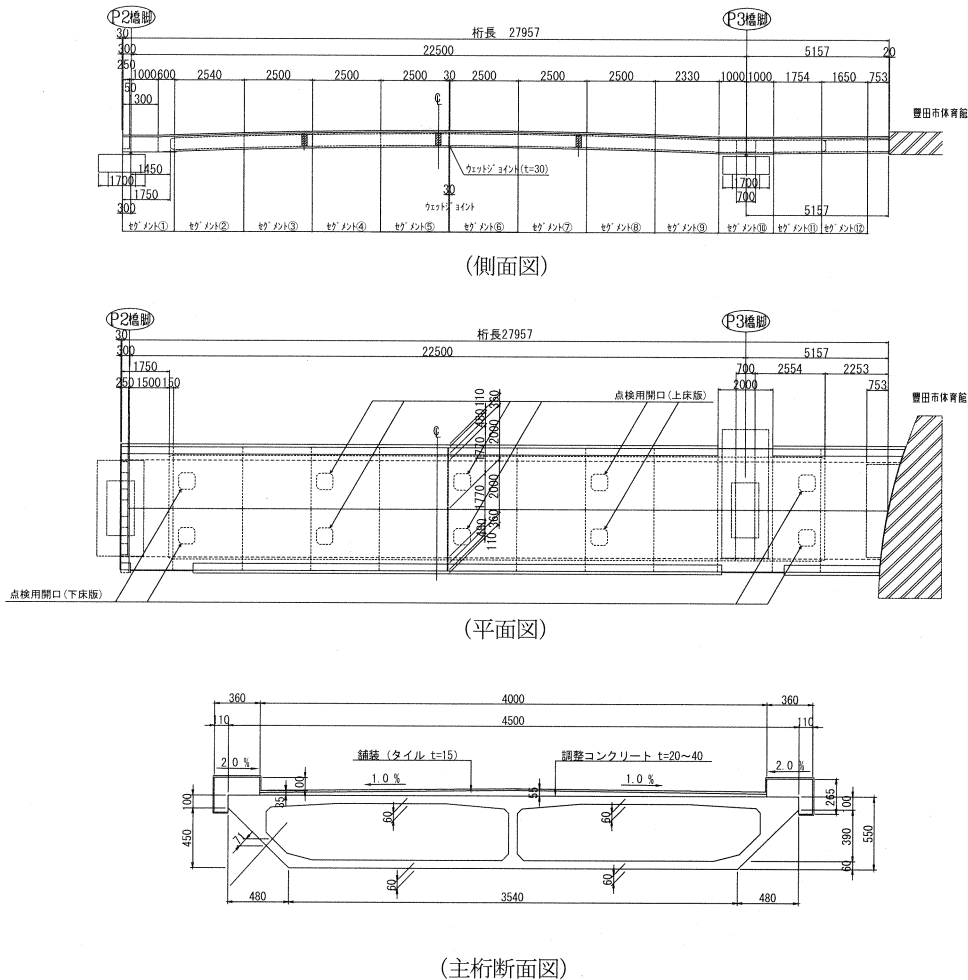


図-3 橋梁一般図

3. 変更設計の概要

以下に変更設計の概要を記す。

① セグメント接合構造の変更 (ウェットジョイント→ドライジョイント)

国内の現在までの実績によれば、UFCは所要強度を発現するために90℃、48時間の蒸気養生を必要とするため、プレキャストセグメント工法(工場製作)が基本となっている。従って一般的な施工手順としては、手順1)セグメント製作工場から架設地点までトレーラにて運搬する、手順2)クレーンにて所定の支保工上にセグメントを並べる、手順3)セグメント間を現場打ちのUFCにて接合(ウェットジョイント)する、手順4)PC鋼材の緊張にて主桁を一体化する、という手順となる。本歩道橋も当初設計における接合構造は、従来と同様ウェットジョイントによる接合構造となっていた。しかし、本歩道橋は比較的交通量の多い市道上での支保工施工であることを考慮し、現場での作業を極力少なくし工程短縮することを目的として、接合構造としてドライジョイントの採用という新しい試みを行った。ただし、完成時の出来形の精度を向上させるために、支間中央の1ヶ所だけはウェットジョイントとした。これ

により歩道部全体を覆うような規模での現場打ち UFC の養生設備の必要がなくなり、中央径間部の一部分だけの小さな養生設備となるため、設備の設置時間の短縮が図れる。またウェットジョイント部が減ったことにより美観性の向上にも寄与する。

ドライジョイントの採用に当たっては、セグメント間の連結部における安全性確認のための接合実験がすでに終了している。また、載荷試験によりせん断力の伝達機構等も確認されている。

② 上床版とウェブの結合構造の変更 (パーフォボンドリブ→一体化)

本歩道橋は、550mm という低桁高である箱桁断面と外ケーブル構造との組み合わせであったために、外ケーブルの施工性の問題や扁平な箱桁形状として一体で製作する時の複雑さから上床版部とその他主桁部分を分離製作し、外ケーブル設置後にパーフォボンドリブを介してウェブ部と結合する方法がとられていた。しかし、図-1、図-2の完成予想パースにもあるように、本歩道橋には高さ約 1.8m のガラス高欄の設置が計画されているため風荷重時の影響が大きく、高欄を介して主桁の上床版とウェブ結合部に比較的大きな面外の曲げモーメントの伝達が予想される。このため結合部分の剛性をより向上させる構造が好ましいと考え、一体化構造とした(図-4 参照)。また、施工上のメリットとして、上床版とその他主桁部分を一体化することにより、現地の接合作業工程が省略出来、工程短縮が可能となる。外ケーブルの施工性の問題については、図-3 に示すように定着部や偏向部付近に主に点検用として合計 10 ケ所の開口を設け、これを外ケーブル施工性の向上にも利用することで対応することとした。

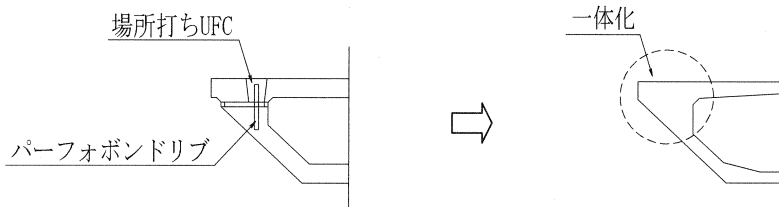


図-4 上床版とウェブの結合構造の変更

③ 断面構造の変更 (1室箱桁→2室箱桁) に伴う、部材の薄肉化

上記の上床版とウェブの結合構造の変更と連動し、断面構造を 1 室箱桁から 2 室箱桁へと変更した(図-5 参照)。これにより箱桁断面としての剛性の向上が図られ、床版厚の薄肉化(受注時 100mm→変更設計後 60mm)が実現した。上部工主桁重量は、これにより約 7%程度低減している。

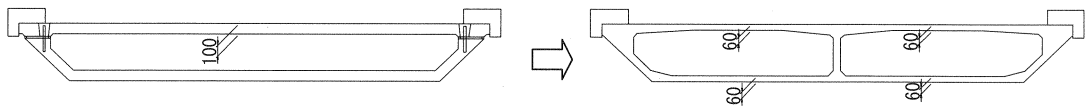


図-5 断面構造の変更に伴う部材の薄肉化

4. 構造設計

4.1 設計方針

UFC による主桁は、当初設計方針と同様、文献 1) に準拠して行った。

圧縮強度 $180\text{N}/\text{mm}^2$ という高強度を活用するために 19S15.2 という大容量の PC 鋼より線を使用し、使用限界状態でひび割れ発生限界の応力制限値 $8.0\text{N}/\text{mm}^2$ (ただし、プレキャストセグメント工法を採用しているので接合部についてはフルプレストレスとした) に抑えるようにし、終局限界状態では設計耐力の照査を行っ

ている。

4.2 設計的特徴

① 橋軸方向はPC構造, 橋軸直角方向はPRC構造

橋軸方向は外ケーブルによるPC構造として設計しているが, 橋軸直角方向(床版の設計)は, PC鋼材や鉄筋を一切配置しておらず, UFCの圧縮強度および引張強度に期待した構造としている。

② 外ケーブル配置

本歩道橋の主桁形状は桁高に比較し大きなキャンバーがあることや, P3橋脚部から体育館までの部分が片持ち状態となっていること, また完成時の桁自重, 群集荷重により発生する断面力に対処することを考慮して, 図-6に示すように外ケーブルを直線配置することとした。これにより, 外ケーブルの曲がりによるロスも無く, 偏向部への作用力も小さくすることが出来る。

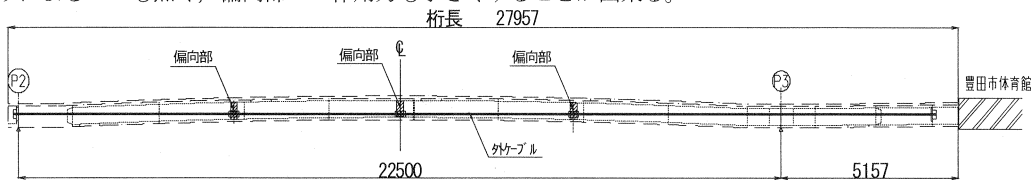


図-6 外ケーブル配置

③ 大きな軸圧縮応力

使用限界状態における橋軸方向の軸圧縮応力は, 上縁, 下縁ともに最大 20N/mm² 以上であり, 非常に高い圧縮応力が導入されている。本歩道橋の単位体積当たりのPC鋼材重量が 90kg/m³ (一般的なPC橋では 30kg/m³程度) になっていることから, UFCの圧縮強度を十分に活用・発揮した構造だといえる。

④ たわみ

たわみの検討は, 文献2) に従い, 以下の式(1)の条件を満足することを確認した。

$$\delta < L/600 \dots \dots (1) \quad \delta : \text{群集荷重によるたわみ} \quad L = \text{スパン長}$$

計算結果によると群集荷重によるたわみが 28mm, L/600 (L=22.5m) が 38mm となり, 式(1)を満足する結果となっている。

④ 振動

たわみ同様, 文献2) に従い振動の検討も行った。これによると 1.5~2.3Hz の範囲に入らないようにする必要がある。検討にあたっては, 以下の式(2)を使用した。その結果, 1次モードが 3.0Hz, 2次モードが 11.8Hz となり, いずれも上記の範囲外である。

$$f = \frac{P}{2\pi} = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{n\pi}{l} \right)^2 \sqrt{\frac{EI}{m}} \dots \dots (2)$$

- | | | |
|------|----------------------|---|
| ここに, | f : 固有振動数 (Hz) | n : 振動モードの次数 (横断歩道橋では通常 $n=1$ もしくは $n=2$ までを考慮すればよい。) |
| | P : 固有円振動数 (rad/秒) | EI : けたの剛度 ($t \cdot m^3$) |
| | l : 支間長 (m) | m : けたの単位長さあたりの質量 (t/m) |

5. まとめ

本歩道橋は, 新材料であるUFCを用いた画期的な橋梁である。今後もUFCの長所を生かされたPC構造物への利用が期待される。本歩道橋で得られた知見が少しでも参考になれば幸いです。

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)」 2004.08
 2) 日本道路協会: 「立体横断施設技術基準・同解説」 昭和54年1月