

超高強度繊維補強コンクリートの床版ストラット部材への適用性に関する研究

ドービー建設工業 (株) 大阪支店 設計部 正会員 ○ 江本 雅樹
 同 上 大阪支店 設計部 正会員 長谷川 剛
 太平洋セメント (株) 中央研究所 田中 敏嗣
 同 上 中央研究所 市川 勝俊

1. はじめに

近年、死荷重の軽減を目的に鋼・コンクリート複合構造の研究が進み、基礎構造や下部構造の縮小が耐震性能や経済性の向上へと繋がっている。これらの性能を向上させる橋梁形式の中には、主桁断面の縮小を図り、ストラット付きの張出床版を有する箱桁橋がある。そして、さらなる死荷重の軽減のために波形鋼板ウェブを有するストラット付きPC箱桁橋の適用が検討されている¹⁾。一方、200~800N/mm²クラスの圧縮強度を発現する Reactive Powder Concrete (RPC) をベースとし、圧縮強度が200N/mm²を超える超高強度繊維補強コンクリート (Reactive Powder Composite Material : 以下、RPCM) が最近開発されている²⁾。RPCM は、高強度・高耐久性などの優れた特性を有しており、土木・建築分野を中心に幅広い適用が期待されている。

本研究は、このような背景の下で、RPCM の床版ストラット部材への適用を検討したものである。繊維にはストラット部材の維持管理を容易にするために有機繊維を用い、養生条件を変化させて製作した RPCM の強度特性を検討した。その結果に基づいて、波形鋼板ウェブを有する RPCM 製ストラット付きPC箱桁橋の試設計を行い、その適用性を検討した。

2. 有機繊維を用いた超高強度繊維補強コンクリートの強度特性の検討

2.1 実験概要

(1) 使用材料

本実験に使用した材料を表-1に示す。RPCM プレミックス粉体は、セメントを主成分とし、シリカフェーム、石英質微粉末、珪砂などを、粉体が最密充填となるように予め混合したものである。

表-1 使用材料

種類	主成分等	密度	記号
プレミックス	RPCMプレミックス粉体	2.82	PM
有機繊維	PVA繊維(φ0.3×15mm)	1.30	FO
混和剤	ポリカルボン酸系減水剤	1.0	Ad
水	水道水	1.0	W

(2) 練混ぜ

本実験の配合およびフレッシュ性状を表-2に示す。ストラット部材には主に圧縮力が作用することを考慮し、繊維混入量は0.5% (体積比) とした。練混ぜは、万能攪拌ミキサ (10L) を用いた。プレミックス、減水剤、水を同時に投入した後、低速で90秒、高速で240秒を行った。その後有機繊維投入し、180秒間練り混ぜた。練混ぜ後、JIS R 5201「セメントの物理試験方法 (11.フロー試験)」に規定されているフローコーンを用い、0打 (打撃なし) のフローを測定した。

表-2 配合およびフレッシュ性状

配合	W/PM	8.0mass%
	Ad添加率	PM×1.3mass%
	FO混入率	0.5vol%
フレッシュ性状	フロー値	265mm
	温度	26.5°C

(3) 養生条件

成形後、温度20°C湿度70%の試験室内で48時間静置し、脱型を行った。その後、表-3に示す条件で蒸気養生を行った。

表-3 蒸気養生条件

	最高温度 (°C)	最高温度保持時間 (h)	昇・降温速度 (°C/h)
1	90	48	15
2	90	24	15
3	80	24	15
4	60	24	15

(4) 試験項目とその方法

所定の養生後、以下の試験を行った。

- ① 圧縮強度試験：JIS A 1108に準拠した。供試体寸法をφ5×10cmとし、供試体打設面は研磨処理とした。
- ② ヤング係数試験：JIS A 1149に準拠した。圧縮強度試験供試体にひずみゲージを貼付して縦ひずみを測定した。

③ 曲げ強度試験: JIS A 1106に準拠した。供試体寸法を4×4×16cmとし、3等分点载荷とした。

2. 2 試験結果および考察

図-1に蒸気養生時の最高温度と蒸気養生後の圧縮強度の関係を示す。一般に鋼繊維 (FM) を2% (体積比) 用いた超高強度繊維補強コンクリートは、最高温度90℃最高温度保持時間48時間の蒸気養生条件で200N/mm²程度の強度が得られるが²⁾、本実験の有機繊維 (FO) を0.5%混入した場合においても、90℃-48時間の蒸気養生により同程度の圧縮強度が得られた。

一方、最高温度保持時間を24時間とした場合、最高温度が低くなるほど、圧縮強度は低下する傾向を示すが、最高温度が60℃の場合においても150N/mm²程度の高強度が得られた。最高温度を60℃に固定すれば、JISのプレテンション方式橋げたを製造する工場の養生設備を利用することができ、ストラット部材の製造対応が容易になると考えられる。その場合でも、60℃-24時間の蒸気養生条件で、RPCMの設計基準強度は100N/mm²を十分確保できることが認められた。なお、60℃-24時間の養生を行った場合の曲げ強度は、20.5N/mm²であった。

図-2に圧縮強度とヤング係数の関係を示す。圧縮強度150N/mm²で50kN/mm²程度の高いヤング係数が得られており、またデータが少ないものの、圧縮強度とヤング係数には比例的な関係が認められた。一般に高強度コンクリートの圧縮強度とヤング係数の関係は、New RC式に代表されるように非線形式で示されるが³⁾、本研究では直線関係を仮定し、設計基準強度となる圧縮強度100N/mm²におけるヤング係数を推定すると、48kN/mm²となった。

3. 試設計概要

3. 1 設計断面の構成

試設計に用いた標準断面図を図-3に示す。断面の寸法は、上床版幅を17.150m、ウェブ間隔を6.000mとし、ストラットの水平方向支間を4.000mとした。

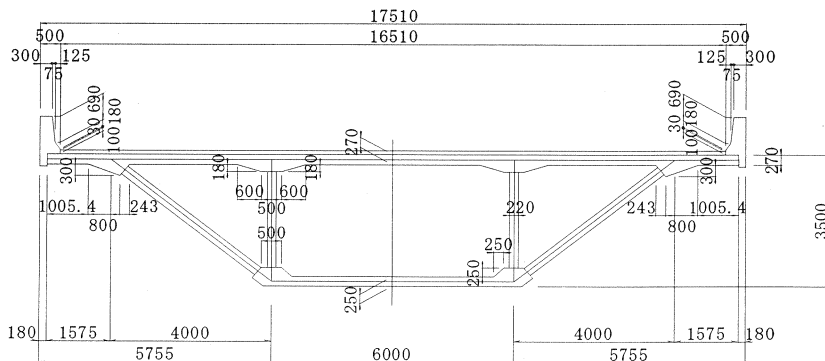


図-3 標準断面図

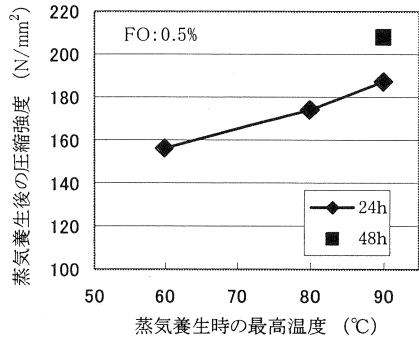


図-1 蒸気養生時最高温度と圧縮強度の関係

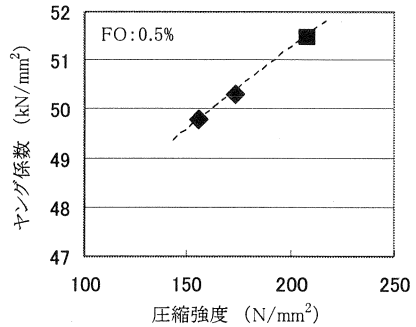


図-2 圧縮強度とヤング係数の関係

3. 2 設計条件

試設計は道路橋として実施し、活荷重にはB活荷重⁴⁾を採用した。また、壁高欄には高さ8.0mの遮音壁が設置されるものとし、風荷重(3.0kN/m²)を考慮した。波形鋼板(材質;SM490)の等価板厚は、波の波長を300mm一定とし、波の高さを250mmとした場合の等価剛性として決定した。また、橋軸方向の長さについては、波形鋼板の形状と施工性を考慮し、単位ブロック長を3.600mとして設計を行うこととした。なお、床版コンクリートの設計基準強度は40N/mm²とした。

3. 3 RPCMの材料特性

試設計に用いたRPCMの材料特性を表-4に示す。ここでは、JISのプレテンション方式橋げた製造工場の蒸気養生設備を有効に利用することを念頭に置き、最高温度60℃で24時間養生した場合の実験結果に基づいて各設計用値を算定した。ただし、現時点では供試体数が少ないため、統計的に強度の設計値を決定することが難しいので、変動係数を一義的に10%として材料特性を決定した。

表-4 RPCMの材料特性

設計基準強度	100 N/mm ²
ヤング係数	4.8E+4 N/mm ²
許容曲げ圧縮応力度	33.0 N/mm ²
許容曲げ引張応力度	-6.0 N/mm ²

3. 4 解析モデル

ストラット部材の断面力算出は、平面骨組解析を用いて計算を行った。計算の煩雑性を避けるため、横方向の荷重載荷方法については、断面中心に対し対称荷重とした。また、ストラット部材の応力検討位置は、ストラット部材の上下付け根部断面とした。

なお、活荷重の載荷方法は全7ケースとし、載荷位置は図-4の位置とした。

3. 5 ストラット部材形状の決定

ストラット部材の断面形状には、使用実績のある鋼管ストラット断面と同等の断面性能を持つ円形断面または角形断面を適用することが考えられる。

円形断面を採用した場合、断面性能がほぼ等しくなる断面での設計は可能であるが、製作方法の問題や運搬・施工の容易さ等を考慮すると現実的ではないと判断された。そこで、本検討では正方形断面を採用し、150mm×150mm(□150mm)、200mm×200mm(□200mm)、250mm×250mm(□250mm)の3タイプの充実断面を対象として検討を実施した。

3. 6 試設計の結果および考察

ストラット部材の上下付け根部分に着目

し、最大曲げモーメントが作用した場合の応力度(M_{max})と、最大軸力が作用した場合の応力度(N_{max})をそれぞれ

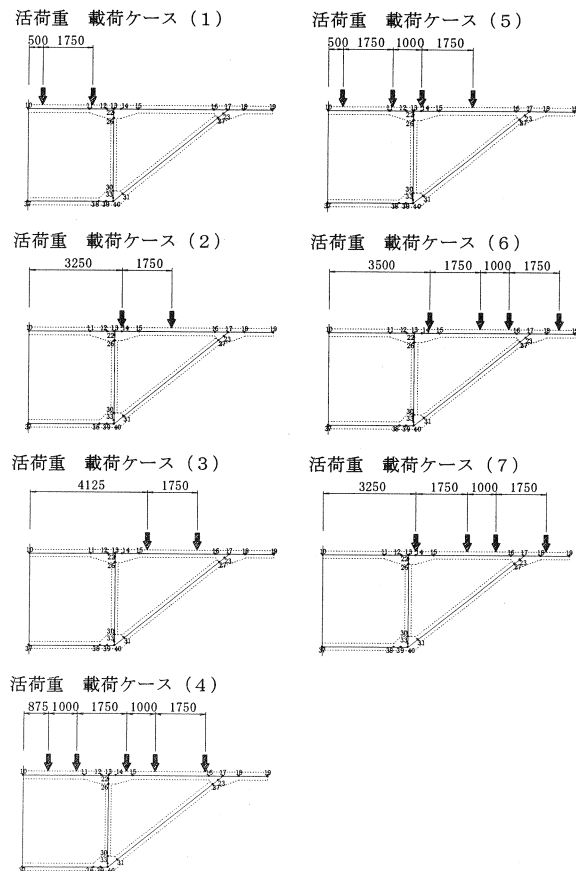


図-4 活荷重載荷位置

れ表-5に示す。

比較的断面積の小さい□150mm 断面では、 M_{max} 、 N_{max} の両方で圧縮応力度が許容値を満足しなかった。一方、□250mm 断面では、許容値は満足するものの、 M_{max} 時に引張応力が作用する結果となった。

したがって本設計の範囲では、圧縮応力に余裕はあるが、□200mm 断面を採用するのが妥当であると考えられる。また、ストラット部材では軸圧縮力が支配的になるが、作用曲げモーメントとのバランスも考慮して、断面寸法を決定する必要があることが分かった。

4. まとめ

以下に本研究で得られた結論を示す。

- (1) 有機繊維を0.5% (体積比) 混入し、最高温度90℃-48時間の蒸気養生を実施したRPCMは、同様の養生を実施した従来の超高強度繊維補強コンクリート(鋼繊維混入率; 2% (体積比))とほぼ同じ200N/mm²程度の圧縮強度を有していた。
- (2) JISのプレテンション方式橋げた製造工場の蒸気養生設備を有効に利用することを念頭に置き、最高温度60℃-24時間の蒸気養生した場合でも、設計基準強度100N/mm²のRPCMを製造することができる。
- (3) 本試設計の範囲において、RPCMの設計基準強度を100N/mm²とした場合、ストラット部材の最小断面は200mm×200mm(正方形充実断面)となった。
- (4) 現時点での鋼管ストラットの使用実績によると、ストラットにはφ267.4の鋼管が使用されている例がある。RPCMをストラット部材に適用して、より小径にすることで景観性の向上を図ることができる。

なお、有機繊維を用いたRPCMの適用により、ストラット部材のライフサイクルコストを縮減することもできると考えられる。今後は、この部材のライフサイクルコストを検討するとともに、ストラット部材のさらなる軽量化を目指した中空断面部材の製造方法の検討および床版とストラット部材の接合方法に関する検討を実施していく予定である。

【参考文献】

- 1) 猪熊康夫、本間淳史: ストラット付き波形鋼板ウェブPC箱桁橋の適用性検討、プレストレストコンクリート、Vol.40、No.5、pp.71-83、Sep. 1998
- 2) 下山善秀、鶴沢正美: ダクタルの特性と応用分野、太平洋セメント研究報告、第142号、pp.55-62、2002
- 3) (財)国土開発技術研究センター: 建設省総合技術開発プロジェクト「鉄筋コンクリート造構造物の超軽量・超高層化技術の開発」平成4年度高強度コンクリート分科会報告書、1993
- 4) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 III コンクリート橋編

表-5 曲げ応力度結果

曲げモーメントに対して

部材断面	□150	□200	□250	
検討位置	上端付け根			
荷重組合せケース	死+活(1)+内風	死+活(6)+内風	死+活(1)+内風	
曲げ応力度	上縁(N/mm ²)	21.758	16.224	13.733
	下縁(N/mm ²)	8.652	1.272	-2.448
許容値	$-6.0\text{N/mm}^2 \leq \sigma_c \leq 33.0\text{N/mm}^2$			

部材断面	□150	□200	□250	
検討位置	下端付け根			
荷重組合せケース	死+活(7)	死+活(7)	死+活(7)	
曲げ応力度	上縁(N/mm ²)	33.919	22.133	16.715
	下縁(N/mm ²)	22.954	10.676	4.515
許容値	$-6.0\text{N/mm}^2 \leq \sigma_c \leq 33.0\text{N/mm}^2$			

軸力に対して

部材断面	□150	□200	□250	
検討位置	上端付け根			
荷重組合せケース	死+活(6)+内風	死+活(6)+内風	死+活(6)+内風	
曲げ応力度	上縁(N/mm ²)	35.831	22.934	16.902
	下縁(N/mm ²)	25.946	12.632	6.046
許容値	$-6.0\text{N/mm}^2 \leq \sigma_c \leq 33.0\text{N/mm}^2$			

部材断面	□150	□200	□250	
検討位置	下端付け根			
荷重組合せケース	死+活(6)+内風	死+活(6)+内風	死+活(6)+内風	
曲げ応力度	上縁(N/mm ²)	35.877	22.856	16.882
	下縁(N/mm ²)	26.032	12.842	6.197
許容値	$-6.0\text{N/mm}^2 \leq \sigma_c \leq 33.0\text{N/mm}^2$			