

高強度繊維補強モルタルを使用した PC はりの疲労実験

(株) ピーエス三菱	正会員	○桜田道博
(株) ピーエス三菱	正会員	大山博明
(株) ピーエス三菱	正会員	石田邦洋
山口大学	正会員	浜田純夫

1. はじめに

近年、高強度コンクリートや高強度材料に関する研究が盛んに行われており、現在では設計基準強度が 100MPa を超えるコンクリートも実用化されている。高強度コンクリートをはじめとするセメント系の高強度材料では自己収縮によるひび割れや脆性的な破壊形態が課題となるが、これらを改善するため、粗骨材を使用せず、代わりに鋼繊維を混入した高強度材料(以降、高強度繊維補強モルタルと呼ぶ)が開発され、低桁高 PC 橋、等へ適用されている^{1)~7)}。高強度繊維補強モルタルおよび鋼繊維の写真をそれぞれ、写真-1 および写真-2 に示す。桁高が低い橋梁に高強度繊維補強モルタルを適用した場合、活荷重による変動応力度が大きくなることから、高強度繊維補強モルタルの疲労に対する照査が必要になると考えられる。しかしながら、設計基準強度が 120MPa の高強度繊維補強モルタルの疲労の照査にコンクリート標準示方書の疲労強度算定式⁸⁾が適用できるかは不明であるため疲労実験を実施し、その適用性を検討した。



写真-1 高強度繊維補強モルタル



写真-2 鋼繊維

2. 実験概要

(1) 供試体および載荷方法

供試体の一般図、諸元および載荷実験状況をそれぞれ、図-1、表-1 および写真-3 に示す。供試体は、幅 0.10m、高さ 0.22m、支間 1.5m の PC 梁とした。PC 鋼棒の緊張力は、上下とも同じで、1 本あたり 415kN とした。これは、最大荷重時に供試体下縁に引張応力度を生じさせないよう決定した緊張力である。荷重は単純支持した供試体に、支間中央部の純曲げ区間が 200mm となるよう載荷した。本疲労実験の着目点は、純曲げ区間部の供試体上縁であり、この部分の変動圧縮応力 $\Delta \sigma$ が所定の値になるよう最大荷重を決定した。最大荷重 131kN は、純曲げ区間部の供試体上縁の変動圧縮応力度 $\Delta \sigma$ が 42MPa となる荷重であり、この変動応力度はコンクリート標準示方書の疲労強度算定式に準拠して求めた 200 万回疲労強度に相当する。



写真-3 疲労実験状況

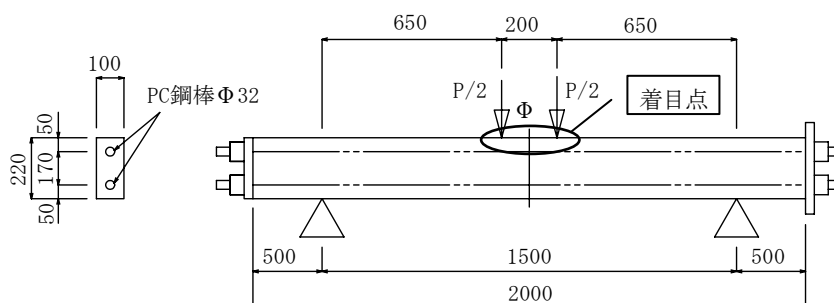


図-1 供試体一般図

表-1 供試体諸元

断面寸法		PC 鋼棒 緊張力* (kN)	有効 プレストレス (MPa)	変動応力度 $\Delta \sigma$ ** (MPa)	設計基準 強度 f'_c (MPa)	変動応力比 $\Delta \sigma / (f'_c - \sigma_p)$	載荷荷重 P (kN)	
幅 (m)	高 (m)						最大 P _{max}	最小 P _{min}
0.10	0.22	415	42	42	120	0.54	131	5

*1 本あたりの緊張力, **着目点における $\Delta \sigma$ (設計値)

(2) 計測方法

計測項目および計測位置を表-2 に示す。計測は、載荷繰返し回数が、1 回、10 回、100 回、1000 回、1 万回、10 万回、100 万回および 200 万回になった時点で行い、載荷回数が 200 万回に達した段階で終了した。

(3) 使用材料

高強度繊維補強モルタルの使用材料、示方配合、練混ぜ方法、養生方法および強度性状をそれぞれ、表-3、表-4、図-2、図-3 および表-5 に示す。

表-2 計測項目および計測位置

計測項目	計測機器	計測位置
変位	変位計	支間中央部、支点部
表面ひずみ	ひずみゲージ	支間中央部
PC 鋼棒ひずみ	ひずみゲージ	支間中央部

表-3 使用材料

材 料	記号	摘 要
セメント	C	シリカフュームセメント, 密度 3.08g/cm ³
鋼繊維	SF	引張強度 2340MPa, 密度 7.85g/cm ³ 長さ 13mm, 径 0.16mm
細骨材	S	砕砂(倉敷市産), 表乾密度 2.57g/cm ³ 吸水率 1.72%, 最大寸法 5mm
高性能(AE)減水剤	SP	ポリカルボン酸系

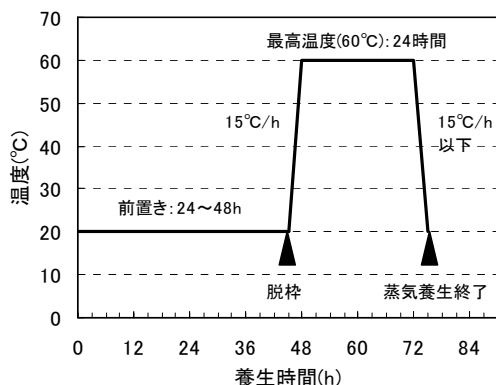


図-2 養生方法

表-4 示方配合

W/C (%)	Air (%)	SF 量 (vol. %)	単位量(kg/m ³)				SP/C (%)
			W	C	S	SF	
17	2.0	1.0	210	1235	948	79	3.0

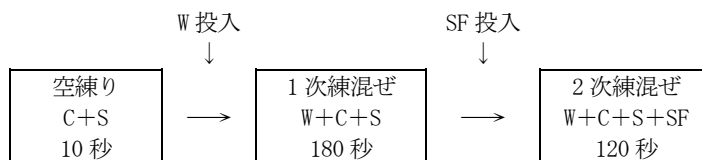


図-3 練混ぜ方法

表-5 強度性状

蒸気養生直後(材齢 4 日)				材齢 28 日			
圧縮強度 (MPa)	ヤング係数 (GPa)	引張強度 (MPa)	曲げ強度 (MPa)	圧縮強度 (MPa)	ヤング係数 (GPa)	引張強度 (MPa)	曲げ強度 (MPa)
154	—	7.3	21.9	154	42.8	9.0	23.4

3. 実験結果および考察

(1) 繰返し载荷による供試体の変状

繰返し载荷による供試体の変状を表-6に示す。载荷繰返し数が200万回に達しても供試体の変状は認められなかった。载荷繰返し数が200万回に達しても破壊しなかったため、载荷を終了した。

(2) 変位

载荷繰返し数と変位との関係を図-4に示す。最小荷重時の変位(残留変位)は、繰返し数200万回においても0.7mm程度であり、わずかであった。

(3) 桁上縁応力度

本疲労実験の着目点である純曲げ区間部の桁上縁応力度と载荷繰返し数との関係を図-5に示す。桁上縁の応力度は、桁上縁に配置したひずみゲージの測定値とヤング係数との積により求めた。载荷初期における桁上縁応力度は50MPaとなっており、当初想定した42MPaより大きくなっている。これは、供試体にポリエチレンシースを用いたことによって実際の有効断面が減少したことによる計算誤差と推察される。最大荷重時および最小荷重時の応力度が10万回程度から若干大きくなっているが、これはクリープの影響によると考えられ、応力度の振幅が増加する傾向にはないため、供試体の損傷はほとんどないと考えられる。

表-6 供試体の変状

载荷繰返し数 N	変状
1 回	変状なし
10 回	〃
100 回	〃
1,000 回	〃
1 万回	〃
10 万回	〃
50 万回	〃
100 万回	〃
150 万回	〃
200 万回	破壊せず

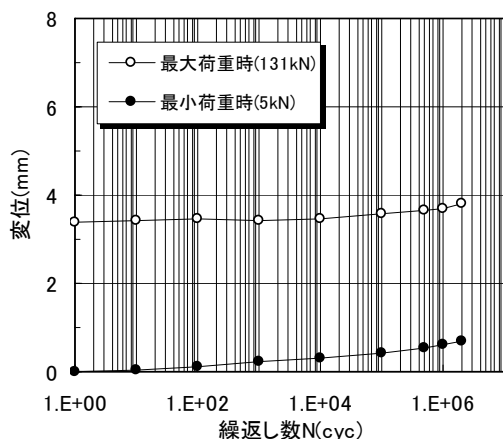


図-4 繰返し数と変位との関係

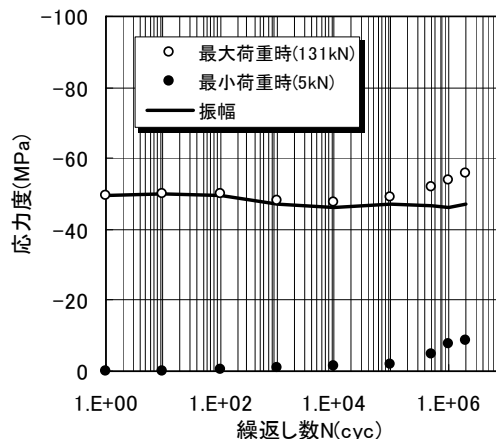


図-5 繰返し数と桁上縁応力度との関係

(4) 変動応力比と载荷回数との関係

下限応力を考慮した変動応力比 $\Delta \sigma / (f_c - \sigma_p)$ と繰返し数との関係、および疲労実験の結果をそれぞれ、図-6および表-7に示す。図中の太線は、コンクリート標準示方書の疲労強度算定式⁸⁾であり、式(1)により算出した。実際に作用した曲げ圧縮応力度で、式(1)による疲労寿命(繰返し数)を計算すると15,000回となるが、実際には200万回载荷しても破壊しなかった。したがって、高強度繊維補強モルタルの疲労強度は、コンクリート標準示方書の疲労強度算定式により安全側に評価できることが確認された。

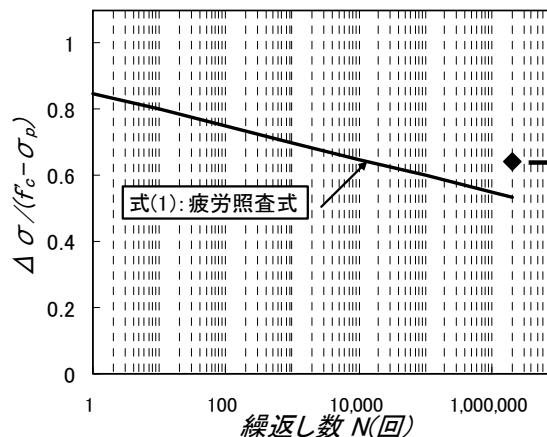


図-6 変動応力比と繰返し回数との関係

$$\frac{f'_{rc}}{(f'_c - \sigma'_p)} = 0.85 \left(1 - \frac{\log N}{K} \right) \cdots (1)$$

$\Delta \sigma'$: 変動圧縮応力, f'_c : モルタル圧縮強度, σ'_p : 下限応力度(有効プレストレス)

N : 応力繰返し回数, K : 定数(通常コンクリート 17)

表-7 疲労試験結果

変動応力 $\Delta \sigma'$ (MPa)	下限応力度 σ'_p (MPa)	設計基準強度 f'_c (MPa)	$\Delta \sigma' / (f'_c - \sigma'_p)$	繰返し数(疲労寿命)	
				計算値(回)	実験値(回)
50	42	120	0.641	15,000	2,000,000 以上

4. まとめ

- ①本疲労実験において PC 梁供試体に実際に発生した変動圧縮応力度は 50MPa であった。
- ②上記の変動圧縮応力度で、コンクリート標準示方書に準じて、計算上の疲労寿命(繰返し回数)を算出すると 15,000 回となるが、実際には 200 万回載荷しても破壊しなかった。
- ③したがって、高強度繊維補強モルタルの疲労強度は、コンクリート標準示方書の疲労強度算定式で安全側に評価できると考えられる。

謝辞

本研究を行うにあたっては、山口大学の兼行啓治氏、当時大学院生の江上真介氏(現、ピーエス三菱)および濱岡洋亘氏(現オリエンタル建設)にご協力いただいた。ここに、ご協力いただいた関係各位に深く感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 雨宮美子, 桜田道博, 渡辺浩良, 森拓也 : 高強度繊維補強モルタルの性状とそれを用いた低桁高 PC 橋の試設計, プレストレストコンクリート技術協会, 第 13 回シンポジウム論文集, pp. 585-588, 2004. 10
- 2) 桜田道博, 雨宮美子, 渡辺浩良, 森拓也 : ダックスビーム工法(高強度低桁高 PC 橋)の開発, ピーエス三菱技報, 3 号, 2005. 10
- 3) 雨宮美子, 桜田道博, 森拓也, 二羽淳一郎 : 高強度繊維補強モルタルを用いた PC 梁の性状, コンクリート工学年次論文集, pp. 1657-1662, 2005. 7
- 4) 桜田道博, 大山博明, 森拓也, 二羽淳一郎 : 高強度繊維補強モルタルを使用した塔状構造物に関する実験的研究, プレストレストコンクリート技術協会, 第 15 回シンポジウム論文集, pp. 449-454, 2006. 10
- 5) 宮前俊之, 菊池拓夫, 木村和典, 小西隆宏 : 豆飼橋の設計, プレストレストコンクリート技術協会, 第 15 回シンポジウム論文集, pp. 29-32, 2006. 10
- 6) 岩井利裕, 亀沢直弘, 藤岡靖, 石田邦洋 : 高強度繊維補強モルタルを用いた PC プレテンション桁の施工—皆喜橋—, プレストレストコンクリート技術協会, 第 15 回シンポジウム論文集, pp. 33-36, 2006. 10
- 7) 二羽淳一郎, 他 : 高強度コンクリート・高機能コンクリートの PC 橋への適用, プレストレストコンクリート技術協会, 第 35 回技術講習会資料, pp. 91-108, 2007. 2
- 8) 土木学会 : コンクリート標準示方書 [構造性能照査編], pp. 24-25, 2002. 3