

ISO 15835 に準拠したモルタル充てん継手単体の疲労性能試験

日本プライススリーブ（株） 正会員 ○松本 智夫
 日本プライススリーブ（株） 阿瀬 正明
 東京工業大学 環境・社会理工学院 フェロー 二羽 淳一郎

1. はじめに

ISO 15835 (2018) は、機械式鉄筋継手の高サイクル疲労荷重下における性能として、応力範囲が 60N/mm^2 で少なくとも 200 万回の载荷に耐えなければならない、そのときの最大応力は規格降伏強度(f_{ym})の 0.6 倍であることを要求している¹⁾。これは、CL.128 の継手単体の疲労試験方法(案)²⁾と比較してもかなり異質である。

そこで、シンガポール製の鉄筋をモルタル充てん継手で接合した継手供試体を作製し、ISO 15835 に基づく単体の高サイクル疲労試験を行って、その疲労性能を検証したので報告する。

2. 供試体および弾塑性域正負繰返し試験

モルタル充てん継手供試体は、BS 4449 :Grade B500B H28(公称断面積 616mm^2) 斜め節の鉄筋を、プレキャスト用のスリーブ 9UX(FCD 700-2 および FCAD 1000-5) で接合して作製した。スリーブ 9UX は、異形鉄筋 D29 用であり、長さ 415mm 、外径 63mm 、内径は広口側 48mm 、狭口側 35mm で、鉄筋同士の突付けあきは 40mm とした。表-1 に使用材料の機械的性質を示す。

本継手供試体は、ISO 15835(以下、ISO と略す)に基づく疲労試験を実施する前に、継手単体の準静的载荷試験として、CL.128 に示されている弾性域および塑性域正負繰返し試験を一体で連続的に行った。表-2 に CL.128 の载荷方法を示す。ISO では、同様な弾性域正負繰返し試験の引張応力度を $0.9f_{ym}$ と規定している。

表-3 に供試体の弾塑性域正負繰返し試験の結果を示す。写真-1 および写真-2 に試験状況および試験後状況を示す。供試体は、3 本とも母材鉄筋で破断しており、そのときの伸び能力は平均で、 $\varepsilon u=5.0\%$ 、 $\varepsilon u/\varepsilon y=23.7(\varepsilon u(\varepsilon y))$:継手単体の終局(降伏)ひずみ)となっていた。CL.128 の継手単体の性能判定基準に照らして、本継手供試体は A 級と判定された。

3. ISO に準拠した継手供試体の疲労試験

表-4 に疲労試験の試験条件を示す。継手供試体は、

表-1 材料の機械的性質

鉄筋および継手 呼び名:材質	引張強さ (N/mm^2)	降伏点 (N/mm^2)	伸び (%)	グラウト材 SSモルタル
H28:B500B	676(540)*	551(500)	16.7(5)	圧縮強度
9UX:FCD700-2	791(700)	560(420)	7.0(2)	(N/mm^2)
9UX:FCAD1000-5	1155(1000)	1034(700)	7.0(5)	108

* ()内の数値は、全て規格値を示す。継手はミルシート値である。

表-2 継手試験の载荷方法 (CL.128)

試験項目	載荷方法
弾性域正負繰返し	$0 \rightarrow (0.95f_{yn} \leftrightarrow -0.5f_{yn})$: 20回繰返し
塑性域正負繰返し	$\rightarrow (2\varepsilon y \leftrightarrow -0.5f_{yn})$: 4回繰返し $\rightarrow (5\varepsilon y \leftrightarrow -0.5f_{yn})$: 4回繰返し→破断

f_{yn} :母材鉄筋の規格降伏強度, εy :一方引張試験による継手単体の降伏強度または耐力を割線剛性で除した値。

表-3 弾塑性域正負繰返し試験結果

鉄筋 (スリーブ)	No.	降伏点 (N/mm^2)	引張強度 f_t (N/mm^2)	剛性低下率 E_{20c}/E_{1c}	すべり量 δ_s			
			f_t/f_{yn}		(20c)	(4c)	(8c)	
B500B	1	540	677	1.35	0.81	0.22	0.33	0.60
H28	2	551	683	1.37	0.80	0.25	0.33	0.62
(9UX)	3	546	680	1.36	0.82	0.17	0.36	0.62
	平均	546	680	1.36	0.81	0.21	0.34	0.61
継手性能 判定基準	SA級	$f_t \geq f_{un}$ or		≥ 0.85	≤ 0.30	≤ 0.30	≤ 0.90	
	A級	$f_t/f_{yn} \geq 1.35$		≥ 0.50	≤ 0.30	≤ 0.60		

$f_{yn}(\text{fun})$:母材鉄筋の規格降伏(引張)強度, f_t :継手単体の引張強度,
 E_{20c}/E_{1c} :弾性域1回目に対する20回目の加力時の $0.95f_{yn}$ の応力度に
 における継手単体の割線剛性, $\delta_s(20c)$, $\delta_s(4c)$, $\delta_s(8c)$:弾性域20回目、
 塑性域4回目および8回目の加力における継手単体のすべり量(mm)。

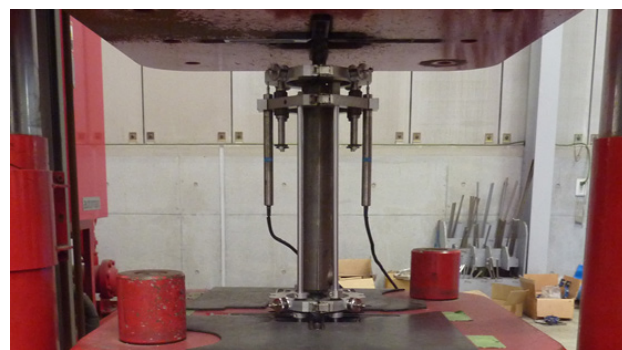


写真-1 試験状況



写真-2 試験後の供試体の状況

キーワード モルタル充てん継手, 軸引張疲労試験, 単体疲労性能, ISO 15835-1, ISO 15835-2

連絡先 〒271-0065 千葉県松戸市南花島向町 313-5 ニスコテクニカルセンター TEL 047-308-3681 FAX 047-308-3682

全長約 1000mm, 試験機のつかみ代が上下とも約 100mm, スリーブの長さが 415mm であり, スリーブ端部からチャック端部までの鉄筋の長さは上下約 200mm となっていた。

前述のとおり, ISO の継手疲労性能は, 最大応力 $0.6f_{ym}$, 応力範囲 60N/mm^2 で繰返し数 $N=200$ 万回において継手供試体が健全であることを要求している。そこで, まず母材鉄筋 1 本について同条件での疲労試験を行い, $N=200$ 万回を超える載荷が可能であることを確認した。

次に, 継手供試体については, 以下の疲労試験を計画した。

- a) ISO に基づき応力範囲 60N/mm^2 で 3 本ともが $N=200$ 万回を超えることを確認する。
- b) そのうちの 1 本は $N=1000$ 万回の繰返し載荷を行う。
- c) さらに, これら 3 本とは別に, 最大応力 300N/mm^2 は一定として, 応力範囲を 2 倍の 120N/mm^2 および 3 倍の 180N/mm^2 で, 1 本ずつ $N=1000$ 万回の繰返し載荷を行う(表-4 参照)。

写真-3 に継手供試体の疲労試験状況を示す。表-5 に疲労試験結果一覧を示す。表-5 の結果は以下のとおりである。

1) 供試体 No. 7a, 7b, 7c は, 最大応力 300N/mm^2 , 応力範囲 60N/mm^2 として行った軸引張疲労載荷において, いずれも繰返し数 $N=200$ 万回を超えた。200 万回時点の鉄筋の拔出し量は, 最大で 0.018mm であった。

2) 供試体 No. 7c については, その後も載荷を継続し, 繰返し数 $N=1000$ 万回でも健全であることを確認した。

3) 供試体 No. 7d は, 最大応力 300N/mm^2 , 応力範囲 120N/mm^2 として行った載荷で, 繰返し数 $N=1000$ 万回に到達した。

4) 供試体 No. 7e は, 最大応力 300N/mm^2 , 応力範囲 180N/mm^2 として載荷を行ったが, 繰返し数 $N=225$ 万回の時点でチャック破断したため, それ以降の載荷が不可能となった。

5) スリーブ材質が FCD 700-2 の継手供試体は全て使い切ったため, 同時に作製した FCAD 1000-5 を用いた継手供試体 No. 10a で, 供試体 No. 7e と同じ載荷を実施した。繰返し数 $N=200$ 万回の時点での鉄筋の拔出し量は 0.006mm であり, その後の載荷で繰返し数 $N=1000$ 万回まで供試体は健全な状態であった。

4. まとめ

本モルタル充てん継手供試体は, ISO 15835 の高サイ

表-4 疲労試験条件 (ISO に準拠)

試験装置および試験環境	600kN疲労試験機, 常温, 大気中
供試体数	母材鉄筋1本, 継手供試体6本
制御, 波形および周波数	荷重, 正弦波, 8~13Hz
最大応力	300N/mm^2
応力範囲	60, 120, 180N/mm^2
最小応力	240, 180, 120N/mm^2
繰返し数	200万回~最大1000万回
測定項目	荷重, 試験機変位, 200万回繰返し時点の残留変形量*

*スリーブの端部からの鉄筋の拔出し量を, クリップゲージ4点で測定して平均値を採った。



写真-3 疲労試験状況

表-5 継手供試体の疲労試験結果

No.	スリーブ 材質	周波数 (Hz)	最大(最小) 応力(N/mm ²)	応力範囲 $\sigma_r(\text{N/mm}^2)$	繰返し数 N(回)	破断位置 判定	残留変形 (mm)**
7a	FCD 700-2	13	300(240)	60	$>2.00\text{E}+06$	未破断	0.003
7b					$>2.00\text{E}+06$		0.018
7c					$>1.00\text{E}+07$		0.005
7d					$>1.00\text{E}+07$		—
7e					2.25E+06	チャック*	—
10a	FCAD 1000-5	8	300(120)	180	$>1.00\text{E}+07$	未破断	0.006

* チャック部で破断したため載荷を終了した。

** 200万回時点の継手端部における鉄筋の抜け出し量を測定した。

クル疲労荷重下の要求性能を十分満足した。また, ISO 15835 の要求の 2 倍および 3 倍の応力範囲においても, 本継手供試体は繰返し数 1000 万回を超える疲労性能を有していることが確認できた。

謝 辞

継手供試体の疲労性能試験は(株)コベルコ科研で実施した。記して謝意を表します。

参考文献

1) INTERNATIONAL STANDARD ISO 15835, Steels for the reinforcement of concrete -Reinforcement couplers for mechanical splices of bars- Part 1: Requirements, Part 2: Test methods, 2018.10

2) 土木学会：コンクリートライブラリー128 鉄筋定着・継手指針[2007 年版], 2007.8