

低サイクル繰返し荷重による異形棒鋼の付着すべりに関する実験

防衛大学校 学生会員 ○松川 翔, チャイ・ソックポー, 正会員 黒田 一郎, 古屋 信明

1. はじめに

異形棒鋼とコンクリートの付着特性が、RC構造物の性能に大きな影響を及ぼすことは論を待たず、多数の研究が行われてきた。繰返し荷重下における付着強度は疲労に関して重要であり、特に高サイクル(例えば 10^6 あるいはそれ以上)疲労を念頭に設計基準が整備されている。しかし、非常に大きな地震動を受けた場合などのRC構造物の挙動を考えると、高レベルかつ低サイクルの繰返し荷重を受けた後の付着特性を理解しておくことが必要である。そこで、直方体コンクリートの中に埋め込んだ異形棒鋼にそのような繰返し荷重を与えた後に引き抜く、という実験を行った。本稿では、破壊モードの違いが残存付着強度に及ぼす影響、すべり量と載荷回数の関係、について報告する。

2. 実験手法

供試体は、断面寸法が $100\text{mm} \times 100\text{mm}$ 、その中央にD10もしくはD16鉄筋が埋め込まれ、付着長さは 2ϕ 、 3.1ϕ もしくは 5ϕ であり、付着部の両側に 50mm の非付着区間(油粘土巻きつけ)が設けられている。鉄筋および型枠が水平に寝た状態で、コンクリートを上から打ち込んだ。粗骨材は最大寸法 20mm の石灰岩碎石、水セメント比 60% 、細骨材率 43% 、実験時のコンクリート強度は表-1に示してある。強度の違いは、主に実験時の材齢差による。このように作製した供試体を、図-1に示すようにアムスラー式載荷装置で引き抜いた。

表-1には、供試体種類、実験結果も併せ示したが、以下のような記号を用いている。 $P_{\max}$: 単調載荷(monotonic loading)時の最大荷重。 $P_{0.2}$ または $P_{0.3}$: 初載荷ですべり量が 0.2 または 0.3mm に達した時の荷重(概ね $0.75 \sim 0.90 P_{\max}$)、これをその後の繰返し載荷時に上限値として用いる。 $P_{\max,r}$: $P_{0.2}$ または $P_{0.3}$ が所定回与えられた(この時のすべり量がSlip at final stage)

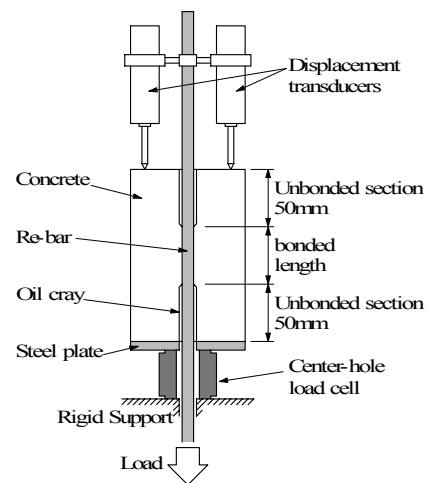


図-1 載荷実験の概要

表-1 供試体一覧

Data No.	Diameter	Bond Length	Loading method	Compressive strength (MPa)	Tensile Strength (MPa)	$\tau_{\max}$ (MPa)	$\tau_{\max,r}$ (MPa)	$\tau_{\max}$ or $\tau_{\max,r} \div f_t$	Slip at $\tau_{\max,r}$ (mm)	Slip at final stage (mm)	$P_{\max}$ or $P_{\max,r}$ (kN)	$P_{0.2}$ or $P_{0.3}$ (kN)	$P_{\max}$ or $P_{\max,r} \div P_{0.2}$ or $P_{0.3}$	$P_{\max,r} \div P_{\max}$
1	D10	2ϕ (20mm)	Mono.	27.9	2.4	8.1		3.38	0.70		4.87	3.95	1.23	1.00
2			$P_{0.2} \times 5$				7.9	3.30	0.40	0.31	4.76	4.30	1.11	0.98
3			$P_{0.2} \times 20$				7.5	3.13	0.63	0.34	4.50	3.53	1.27	0.92
4		2ϕ (20mm)	Mono.	20.1	2.2	8.4		3.77	0.55		5.02	4.77	1.05	1.00
5			$P_{0.2} \times 5$				8.2	3.69	0.60	0.44	4.91	4.62	1.06	0.98
6			$P_{0.2} \times 20$				8.4	3.78	0.65	0.53	5.04	4.65	1.08	1.00
7		5ϕ (50mm)	Mono.	24.5	2.0	6.2		3.03	0.70		9.30	7.40	1.26	1.00
8			$P_{0.2} \times 5$				5.9	2.90	0.66	0.29	8.90	6.90	1.29	0.96
9			$P_{0.2} \times 20$				6.2	3.05	0.80	0.57	9.40	8.23	1.14	1.01
10		5ϕ (50mm)	Mono.	20.1	2.2	8.5		3.85	0.73		12.82	10.00	1.28	1.00
11			$P_{0.2} \times 5$				8.7	3.93	0.89	0.36	13.08	10.88	1.20	1.02
12			$P_{0.2} \times 20$				8.7	3.91	0.69	0.49	13.02	11.22	1.16	1.01
13		$P_{0.2} \times 302$					8.0	3.60	1.10	1.04	12.00	10.29	1.17	0.93
14	D16	3.1ϕ (50mm)	Mono.	33.3	3.4	11.3		3.36	0.51		28.12	24.09	1.17	1.00
15			$P_{0.2} \times 5$				11.2	3.34	0.73	0.315	27.98	20.66	1.35	0.99
16			$P_{0.2} \times 5^*$				8.9	2.64	0.57	0.415	22.15	23.96	0.92	0.79

Note: * ... Split failure (others are pull-out failure).

キーワード: 異形棒鋼, 付着応力, 付着すべり, 残存付着強度, 繰返し荷重

連絡先: 〒239-8686 横須賀市走水 1-10-20 防衛大学校建設環境工学科, 電話 046-841-3810, ikuroda@nda.ac.jp

後の最終引抜き時の最大荷重。 $\tau_{\max}$ または $\tau_{\max,r}$: $P_{\max}$ または $P_{\max,r}$ に対応する付着強度。荷重の繰返し回数は5回もしくは20回としたが、1体(No.13)のみ302回まで続けてみた。

3. 実験結果および考察

図-2に付着応力～すべり量関係の代表例を示す。他のほとんどのケースでも同様な結果となった。すなわち、文献¹⁾に報告されているように、繰返し載荷後の付着応力～すべり量関係は単調載荷のそれに漸近し、繰返し荷重の影響で付着強度が低下することなかった(図中のNo.14とNo.15との比較。また表-1の右端列の数値を参照)。そして、最終的には引抜き破壊(Pullout failure)が生じた。しかし、302回も載荷したNo.13では繰返し時に単調載荷におけるピーク

を越えたため、また図中のNo.16では $P_{0.2}$ を5回載荷したのちの最終引抜き時に供試体が割裂破壊(Splitted failure)したため、ともに $\tau_{\max,r}$ は $\tau_{\max}$ より小さくなった。文献¹⁾では、D16鉄筋を埋め込んだ150mm角の供試体($f'_c=37\text{MPa}$)、付着長さは 2ϕ という条件で、 $0.75P_{\max}$ を最大で10,000回も載荷しているのに、このような事例の報告はない。

図-3～図-5に、すべり量～荷重の繰返し数関係を示す。いずれのグラフにおいても、顕著なすべりがせいぜい5回目までの載荷初期で発生し、その後は安定して微増していく状態が見られる。各曲線の最後ですべり量が急増しているのは、最終引抜きによる。No.13では、この最終引抜き時すべり量が他に比べて小さく、既に終局状態に近かったものと思われる。また、付着長さ 2ϕ 供試体は 5ϕ 供試体よりもすべり量は常に大きい。

4. 結論

- (1) 繰返し荷重による付着強度への影響は、繰返しによって単調載荷時のピークを越えた場合、または最終破壊形態が割裂になった場合に見られ、残存付着強度は単調載荷による強度に比べて約10～20%低下した。
- (2) 単調載荷時強度の概ね75～90%の繰返し荷重を与えた場合、5サイクル目までに顕著な滑りが発生した。その後すべりは、急激に増加することなく安定して微増していき、最終引抜き時に大きく増加して終局に到った。また、付着長さ 2ϕ 供試体は 5ϕ 供試体よりもすべり量は常に大きかった。

参考文献

- 1) B.H.Oh, et al, "Realistic Models for Local Bond Stress-Slip of Reinforced Concrete under Repeated Loading", J. of Structural Eng. of ASCE, Feb. 2007, pp.216～224
- 2) 土木学会コンクリート標準示方書(設計編, 2007年版)

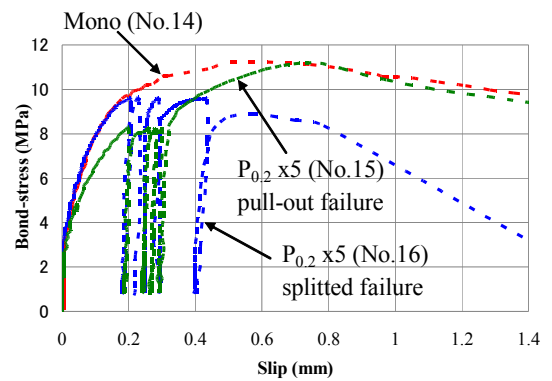


図-2 付着応力～すべり量関係の一例

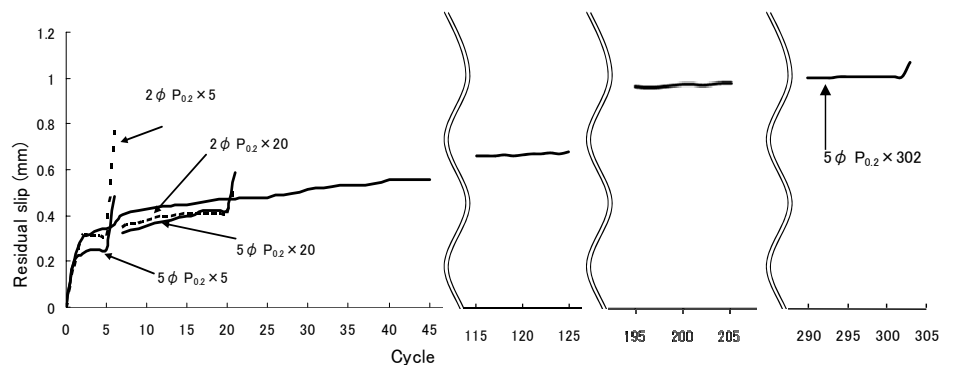


図-3 すべり量～荷重繰返し数関係(D10, $P_{0.2}$)

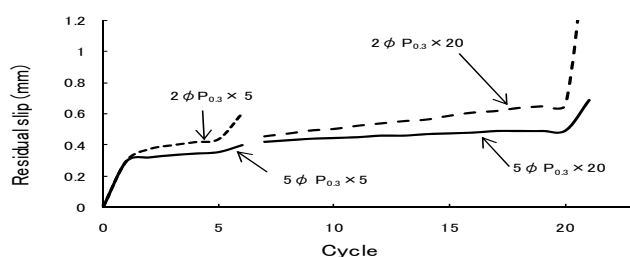


図-4 すべり量～荷重繰返し数関係(D10, $P_{0.3}$)

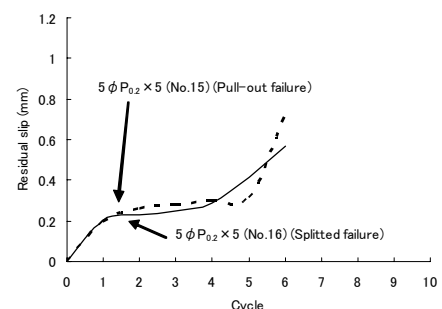


図-5 すべり量～荷重繰返し数関係(D16)