

繰り返し荷重を受ける鉄筋とコンクリートの付着応力性状に関する研究

中央大学
中央大学大学院
中央大学

学生会員
学生会員
正会員

○直 兼司
鈴木 綾
大下 英吉

1. はじめに

近年、既存の鉄筋コンクリート構造物の経年劣化に伴い、耐久性能や構造性能の低下が深刻な問題となっている。このことを背景として、構造物を適切に維持管理し、長期にわたる供用を目指す動向が各方面で活発となってきている。

わが国では、地震が頻繁に発生しているため、既存の構造物は長年に渡って繰り返し荷重を受けている。外力としてこの種の地震力を想定した場合、繰り返し荷重を受ける RC 構造物の変形性能を定量的に評価することが重要となる。鉄筋とコンクリートが一体となって外力に抵抗する RC 構造物において、変形性能や耐荷性能に及ぼす両材料の付着性状の影響が非常に重要である。

鉄筋とコンクリートの劣化は、鉄筋への応力伝達を抑制し、設計時とは全く異なる変形性能や耐荷性能を有することになる。

現在まで、鉄筋とコンクリートとの付着性状に関する研究は多く見られるが、その多くは単調荷重による評価に留まり、繰り返し荷重履歴下における付着性状を評価したものは無い。すなわち、地震力等の繰り返し荷重下にある構造物の各種性能を詳細に評価可能にするためには、

載荷履歴下における付着性状を定性的かつ定量的に評価しておかなければならない。このことはすなわち、単調荷重が載荷された際のひび割れや変形の局所化等に伴う応力の再分配を適切に評価することにも通じるわけである。

そこで本研究では、繰り返し載荷による RC 梁部材の付着性状を評価することを目的として、鉄筋とコンクリートの引抜き実験を実施し、局所付着応力～局所すべり関係について実験的手法により評価を行った。

2. 実験概要

2.1 試験体

試験体の形状寸法および配筋を図-1 に示す。試験体は 240×200×875mm であり、かぶり 40mm の位置に D16(SD295A)異形鉄筋を 60mm 間隔で 3 本配筋した (L 鉄筋, M 鉄筋, R 鉄筋と称する)。また、自由端からの鉄筋の抜き出しを抑制するために、自由端から 150mm の領域に定着筋を 2 本配筋した。一方、せん断補強筋を有する試験体は、D6 のせん断補強筋(SD295A)が 80mm 間隔で配筋された。

試験体は、打設後 48 時間で脱型した後に、28 日間湿布養生を施した。荷重の載荷は、材齢 36

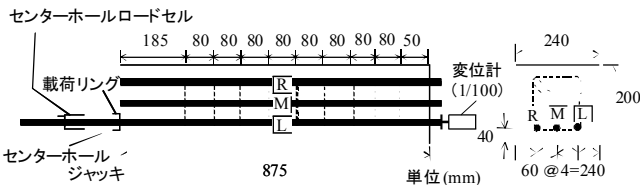


図 - 1 試験体概要
表 - 1 コンクリートの配合

G _{max} (mm)	W/C (%)	スラブ (cm)	空気量 (%)	単位量 (kg/m ³)					
				水	セメント	細骨材	粗骨材	混和材	NaCl
				W	C	S	G		
20	60	10	5.0	168	280	826	996	2.80	8.11

表 - 2 実験パラメータ

試験体名	せん断補強筋	引抜き鉄筋
BD-S0-0L	無し	L
BD-S80-0L	有り	M
BD-S80-0M		

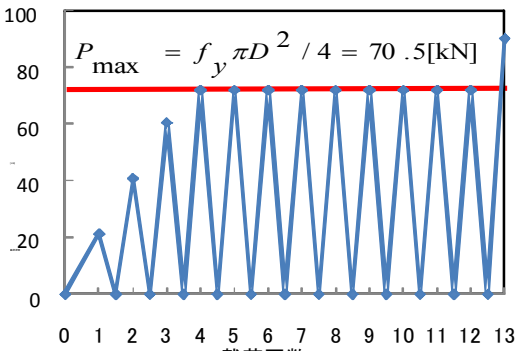


図 - 2 載荷履歴

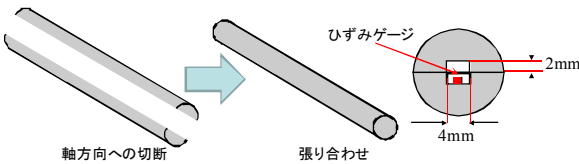


図 - 3 貼り合せ鉄筋概要

日の時点とした。なお、コンクリートの配合は表-1に示す通りである。

2.2 引抜試験方法

鉄筋の引抜きは片引き試験であり、その概要を図-1に示す。引抜き鉄筋は、配筋された3本の鉄筋のうち試験体側面から60mmの位置に配筋された外側および中央の鉄筋である。なお、荷重速度は9.8kN/minとした。また、荷重履歴は図-2に示すようにそれぞれ20kN、40kNおよび60kNまで荷重を荷重させた後に除荷を行い、その後、鉄筋の降伏荷重である70.5kNを最大荷重とする荷重と除荷を10回繰り返し10回目で試験体が破壊に至るまで荷重を荷重し続けた。

2.3 実験パラメータおよび試験体名称

実験パラメータは表-2に示すようにせん断補強筋の有無および引抜きの対象とした主鉄筋位置（外側、中央）である。

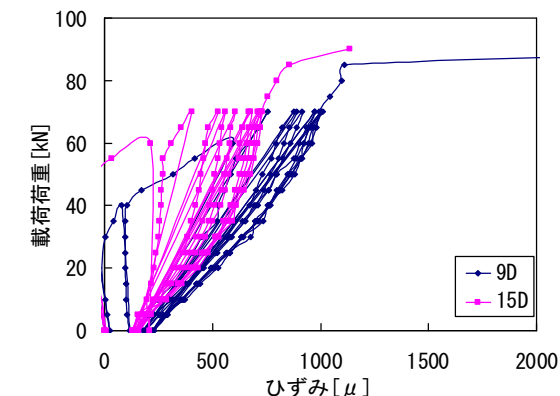
2.4 測定項目

測定項目は、鉄筋の軸方向ひずみ、自由端すべりおよびひび割れ幅である。鉄筋ひずみの測定であるが、貼り合わせ鉄筋を用い、鉄筋内部にひずみゲージを貼り付けることにより測定した。その具体的な方法は、図-3に示すように鉄筋を軸方向に切断後、その断面に2mm×4mmの溝を掘り、ひずみゲージを貼り付けた後、2対の切断された鉄筋をエポキシ樹脂接着剤により貼り合わせ1本の鉄筋とした。貼り合わせた鉄筋は3本の鉄筋のうち引抜き鉄筋のみとし、残りの2本の鉄筋は通常の鉄筋を使用した。なお、ひずみゲージの貼り付け間隔は3Dである。

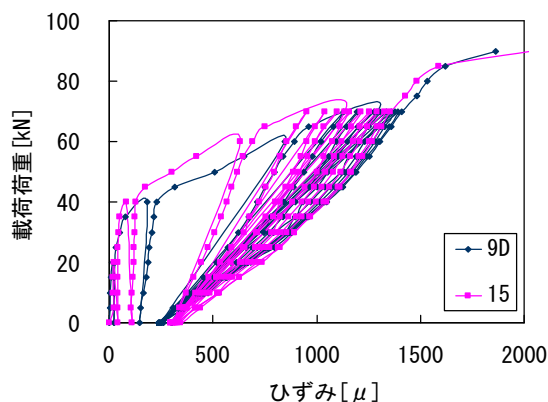
3. 引抜き試験結果

3.1 鉄筋ひずみ履歴

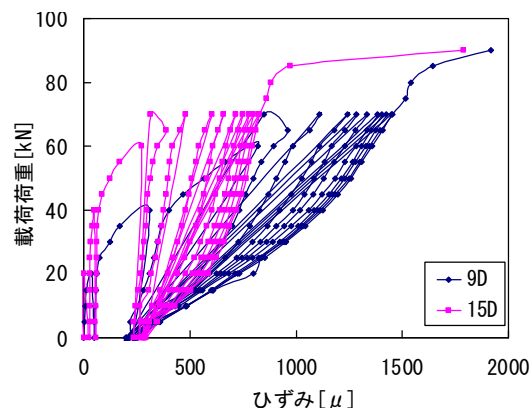
荷重端からの距離9Dおよび15Dの位置における鉄筋のひずみを図-4に示す。鉄筋ひずみは、荷重荷重に伴って増加し、その割合は、当然であるがコンクリートに伝達される応力が大きい15Dの方が9Dに比べて大きい。また、いずれの試験体においても3回目の荷重においてひずみの急激な増加が生じ、荷重が完全に除荷された時点においては、200 μ 程度の残留ひずみが生じている。これは、3荷重目において、コンクリートにひび割れが発生し、その分担力が鉄筋に移行し鉄筋が降伏したことによるものであり、この詳細は後述することとする。しかしながら、3荷重目において荷重が最大となった時点における鉄筋ひずみは、いずれの試験体においても降伏ひずみ（1760 μ ）以下であり、荷重の荷重時



(a) BD-S0-L



(b) BD-S80-L



(c) BD-S80-M

図-4 鉄筋ひずみ履歴

に残留しているひずみは鉄筋の降伏によるものではない。恐らく、鉄筋のリブとコンクリート界面におけるインターロッキングにより、鉄筋の復元が抑制されたものと推測される。それ以降の荷重では、最大荷重が同一であるため除荷した際の残留ひずみに殆ど変化は無い。

次にせん断補強筋の有無による比較を行うと、せん断補強筋を配筋した試験体では、各荷重履歴時の最大荷重時における鉄筋ひずみはせん断補強筋が無い試験体に比べて大きくなっている。

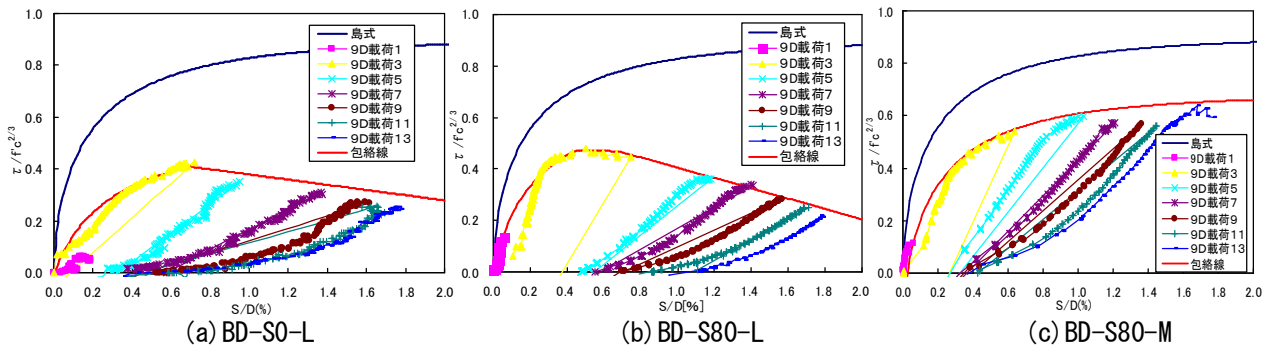


図-5 付着応力 - すべり関係 (9D 位置)

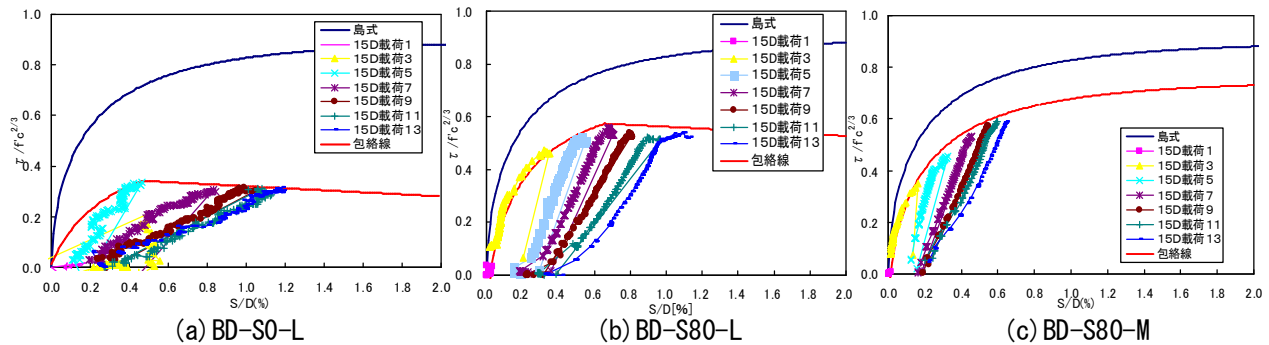


図-6 付着応力 - すべり関係 (15D 位置)

一方、せん断補強筋を配筋した試験体では、引き抜く鉄筋が中央である M 鉄筋と外側である L 鉄筋では、両者にほとんど差異が無い。

3.2 付着応力とすべりの関係

鉄筋に沿った各位置における付着応力 τ は、式(1)を用い算出した。

$$\tau = \frac{1}{\pi D} \frac{dP}{dx} \quad (1)$$

ここで、 D は鉄筋径、 P は鉄筋力である。

具体的な鉄筋力勾配の算出方法であるが、着目する計測点を含む近傍の 3 点を通る 2 次曲線から、各測定点の鉄筋力勾配を算出した。

すべり量は、鉄筋とコンクリートの相対的なずれが生じない位置を基準として、式(2)により算出される。

$$s = \int \varepsilon dx \quad (2)$$

図-5 および 6 は、それぞれ 9D および 15D の付着応力とすべり関係を表したものであり、各図 (a) ~ (c) はそれぞれ試験体 BD - S0 - L, BD - S80 - L および BD - S80 - M に対応している。

付着応力は、既往の研究¹⁾と同様に、圧縮強度の $2/3$ 乗で、すべり量は鉄筋径で除することにより無次元化した。なお、図中には式(3)に示す

鳥ら²⁾による提案式も併せて示している。また、各载荷において最大付着応力となる点を結んだ包絡線も朱書きの実線で示している。

$$\tau = 0.9 f_c^{2/3} \left(1 - \exp \left(-40 \left(\frac{S}{D} \right)^{0.6} \right) \right) \quad (3)$$

ここで、 f_c は圧縮強度、 D は鉄筋径である。

まず、いずれの試験体においても包絡線の値は鳥式に比べて全体的に小さくなっており、各図 (a), (b) に示す L 鉄筋においては付着応力が最大となった後に、徐々に低下している。これは、後述するように载荷により発生したひび割れの影響によるものである。

次に、载荷履歴に応じた付着応力性状であるが、いずれの試験体においても 3 回目までは急激な増加を示した後に付着応力が最大となるが、それ以降の载荷では非常に緩やかに増加するとともに、载荷回数に応じてその増加率も小さくなっている。これは、同図に示すように 3 回目以降では荷重の载荷に伴って、ひび割れが発生し開口することにより、鉄筋とコンクリートの相対すべり量が大きくなるためである。

せん断補強筋を有する BD - S80 - L および BD - S80 - M の試験体は、せん断補強筋がない BD - S0 - L の試験体と比べると、付着応力 - すべり関係は比較的大きな付着応力を示している。これは、せん断補強筋のコンファインド効果に

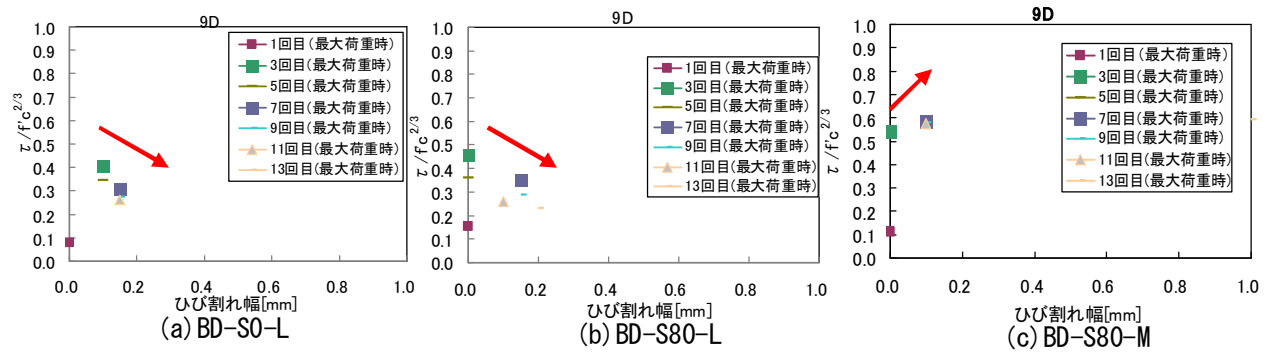


図-7 付着応力とひび割れ幅の関係 (9D 位置)

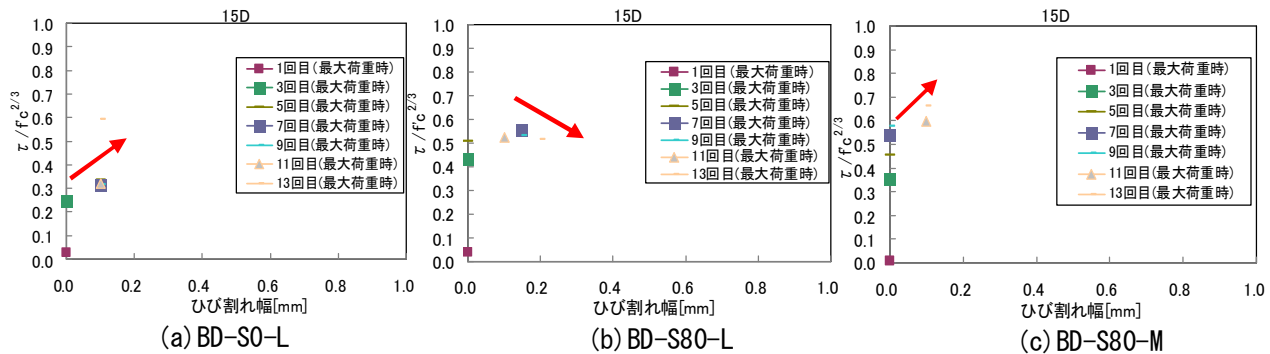


図-8 付着応力とひび割れ幅の関係 (15D 位置)

よるもので、せん断補強筋の拘束効果により、引抜く鉄筋の抜出しが抑制され、付着応力が増加したものと考えられる。また、M 鉄筋の付着応力は、L 鉄筋と比べると比較的大きな値を示すとともに、L 鉄筋では付着応力が最大となった以降にすべりの増加とともに緩やかに低下することに対して、M 鉄筋では増加傾向を示すのみである。これに関しても、荷重の増荷によるひび割れの影響であり、その詳細は 3.2 節で述べるものとする。

3.3 付着応力とひび割れ幅の関係

図-7および8に付着応力とひび割れ幅の関係の図を示す。

3.1で3回目の増荷において急激にひずみが増加したのはひび割れの影響と述べているが、同図に示すように3回目の増荷ではひび割れが生じていない。要因として考えられるのは、目視できない微細なひび割れが生じ、鉄筋に影響をもたらしたと考えられる。また、同図に示すように付着応力がひび割れの進展とともに減少しているものもあるが、増加しているものもある。減少しているものは、コンクリートのひび割れが進展したことにより、コンクリートの局所破壊がより進展し、そのため、コンクリートの拘束圧が低減し、鉄筋とコンクリートの付着応力が減少したと考えられる。増加傾向にあるもの

において、ひび割れ幅が 0.1mm 以内でありコンクリートの拘束圧にあまり影響がおよばず、付着応力が上昇したと考えられる。

4 まとめ

繰り返し増荷による RC 梁部材の付着性状を評価することを目的として鉄筋とコンクリートの引抜き実験を実施し、局所付着応力～局所すべり関係について実験的手法により評価した。

以下に本研究で得られたまとめを示す。

- (1) 付着応力は増荷端からの距離によらず、ひび割れ幅の進展に依存する傾向がある。
- (2) せん断補強筋を配筋した場合、せん断補強筋を配筋しない場合と比較すると、付着応力は増加し付着応力-すべり関係は比較的大きな付着応力を示す。

参考文献

- 1) 村上祐貴, 木下哲秀, 鈴木修一, 福本幸成, 大下英吉: 鉄筋腐食を生じた RC 梁部材の残存曲げ耐力性状に関する研究, コンクリート工学論文集, 第 17 巻, 第 1 号, 2005.1
- 2) 島弘, 周礼良, 岡村甫: マッシュパなコンクリートに埋め込まれた異形鉄筋の付着応力-すべり-ひずみ関係, 土木学会論文集, No.378, V - 6, pp.165-174, 1987.2