

[70] 試作D3鉄筋を用いた縮小部材実験

正会員 村山 八洲雄 (鹿島建設技術研究所)
 正会員 ○野田 進 (鹿島建設技術研究所)
 正会員 岩城 良 (鹿島建設技術研究所)

1 ま え が き

近年、RC構造物はますます大型化の傾向にある。そのため、構造物の模型実験を行う場合、実験施設の制約や実験費用の増大などから、模型の縮小化が重要になってきている。RC構造物を対象にした縮小実験は従来より行われてきたが、国内では、D6未満の異形鉄筋がないため、実験精度上縮小化には限界があった。一方、国外では、1960年代より直径が数mmの鋼線材を鉄筋として用いる縮小実験の検討が進められてきており、既に表面に凹凸を設けた線材を用いている例⁽¹⁾もある。また、コンクリートについては、骨材寸法の相似性⁽²⁾、テストピースの寸法効果⁽³⁾およびコンクリートの応力-ひずみ曲線の相似性⁽²⁾などの検討が行われている。しかし、線材についてみると、その形状は実際の鉄筋とは異っており、付着強度は良好のようであるが、付着すべり特性の確認までには至っていないように思われる。

そこで、市販の鉄筋と同様の形状と機械的性質を有する直径3mmの縮小異形鉄筋(以下D3鉄筋と仮称)を試作し、縮小実験への適用性を調べるために、付着試験とRC部材の曲げ試験を行った。その結果、このD3鉄筋は市販の鉄筋と同等の付着特性を有し、RC構造物の縮小実験に適用できる見通しが得られた。

2 D3鉄筋と諸試験に使用した市販鉄筋

今回試作したD3鉄筋は、写真-1に示すように横ふし形状のものである。ふしの間隔とふしの高さを図-1に示すように、市販の鉄筋とほぼ相似になるように設け、国分・岡村⁽⁴⁾が提案した支圧面積係数 BA^* が市販の鉄筋の範囲をカバーするように、3種類を製作した。図中の黒丸は、あとの諸試験に使用した鉄筋を表わしている。D3鉄筋の製作は、 $\phi 3.2$ mmの快削鋼ASK-2600をダイスで冷間加工し、そのあと電気炉で焼鈍することにより行った。降伏点は、表-3に示すように、市販のSD30材相当になっている。

3 付 着 試 験

縮小実験としてD3鉄筋の付着性能を調べるために、市販のD25、D13、D6および試作D3鉄筋の付着試験を行った。これらは、D25を基本にすると、それぞれ、1/1、1/2、1/4 および 1/8の縮尺に相当する。また、D3以外で入手が容易な3mm鋼材として、 $\phi 3$ mmの丸鋼、 $\phi 3$ mmのインデント鋼(市販の異形PC鋼線と同一形状でSS41材を使用したもの)およびM3ネジ棒の試験も比較のため行った。

付着試験は、村田⁽⁵⁾の提案する i) 引抜き試験 ii) 偏心引抜き試験 iii) 両引き試験 の3種類の方法によった。これらは、いずれも鉄筋に比例した寸法の試験体を用いるもので、模型実験で使用する相似則が考慮されたものとなっている。コンクリートは、それぞれの縮尺率に応じて最大骨材寸法を変え、表-1に示す配合のものを用いた。

3.1 引抜き試験

付着応力度 τ と鉄筋径で無次元化した自由端変位 δ/ϕ の関係を図-2に

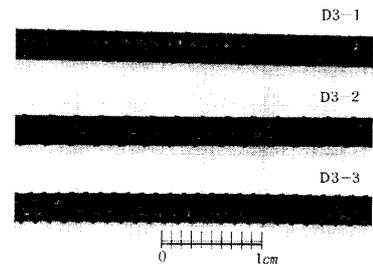


写真-1 D3鉄筋

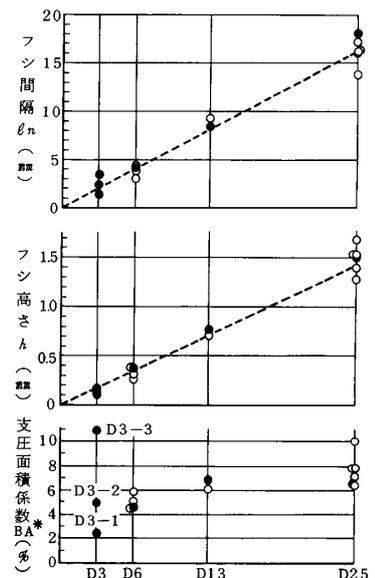


図-1 鉄筋の形状に関する諸定数

示す。同図で、D 3 鉄筋の $\tau - \delta/\phi$ 曲線の範囲は、市販鉄筋に比べて初期勾配が若干小さい傾向にあるが、曲線形状と最大付着応力度 τ_1 は比較的対応したものとなっている。しかし、 $\phi 3$ 丸鋼、 $\phi 3$ インデントでは同一変位に対する付着応力度が小さい。また、M 3 ネジ棒では極

端に大きくなっており、最大付着応力度に達するまで殆ど変位しない。

使用したコンクリートに強度差があるので、最大付着応力度 τ_1 の強度補正後の値 τ_1' を図中に併記した。これより、D 2 5 の τ_1 を 1 とすると、市販鉄筋が 0.9 2 ~ 1.1 9 の範囲であるのに対し、D 3 は種類によって異なるが 1.0 1 ~ 1.4 6 の範囲にある。

また、3 種類の D 3 鉄筋に着目した場合、 τ_1 は $B A^*$ が大きい程大きくなっている。

3.2 偏心引抜き試験

セン断補強筋を図-3のように配置した試験体を用いて行った。付着応力度 τ と鉄筋径で無次元化した載荷側の変位量 δ/ϕ の関係を図-4に示す。同図で、D 3 鉄筋の $\tau - \delta/\phi$ 曲線の範囲は、市販鉄筋に比べて初期勾配が若干小さい傾向にあるが、曲線形状と最大付着応力度 τ_2 はほぼ対応したものとなっている。

この場合も、使用したコンクリートに強度差があるので強度補正を施すと、同図に示すとおりである。D 2 5 の τ_2 を 1 とすると市販鉄筋が 0.8 6 ~ 1.0 6 であるのに対し、D 3 は種類により異なるが 0.7 3 ~ 0.9 8 の範囲にある。

また、3 種類の D 3 鉄筋に着目した場合、 τ_2 は $B A^*$ が大きい程大きくなっている。

3.3 両引き試験

試験体はノッチ無しものを使用し、鉄筋応力度が公称降伏点になるように引張力を与えた時のひびわれの本数を測定した。試験結果を表-2に示す。

同表で、市販鉄筋ではひびわれ本数が4本または5本、D 3 鉄筋ではいずれも5本となっており、D 3 鉄筋と市販鉄筋ではほぼ一致している。一方、他の 3 mm 材をみると、 $\phi 3$ インデントは5本と一致しているが、 $\phi 3$ 丸鋼は2本と極端に少なく、M 3 ネジ棒では7本と多い。

4 RC部材による載荷実験

4.1 試験方法

図-5に示すように鉄筋径に比例した寸法を有する相似形の単純ばりを用い

表-1 コンクリートの配合

縮小率	配合						骨材の種類
	W/C (%)	W (kg/m ³)	C (kg/m ³)	S (kg/m ³)	G (kg/m ³)	Gmax (mm)	
1/1	5.5	176	320	746	1050	2.0	コンクリート標準示方書の標準粒度分布内に入るように細・粗骨材を粒度調整 ⁵⁾ $\lambda = 42\%$
1/2	5.5	218	396	728	884	1.0	粗骨材: Gmax 25 ^{mm} の F.M 7.0 4 の骨材を 10 ^{mm} でふるう 細骨材: 下の縮小率 1/2 の骨材と同じ
1/4	5.5	287	521	1304		5	F.M 2.45
1/8	5.5	289	525	1312		2.5	Gmax 5 ^{mm} F.M 2.92 の砂を 2.5 ^{mm} でふるう

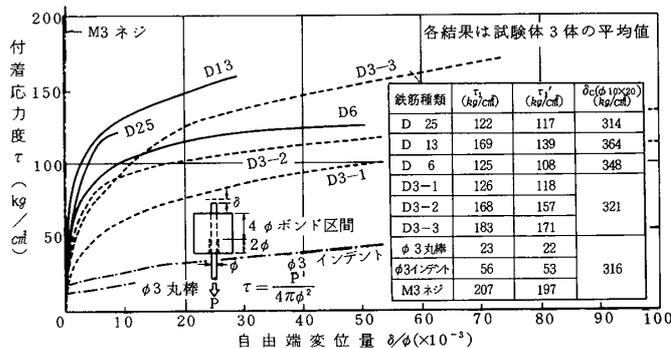


図-2 引抜き試験結果

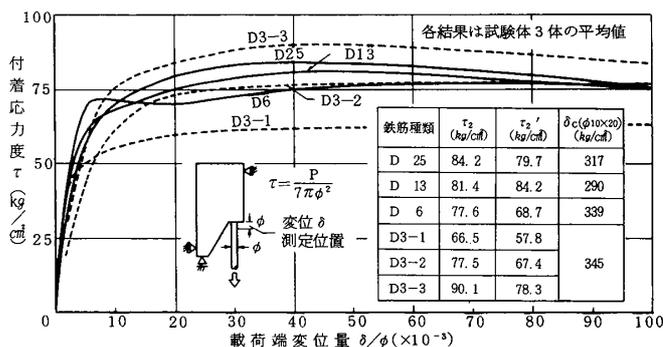


図-4 偏心引抜き試験結果

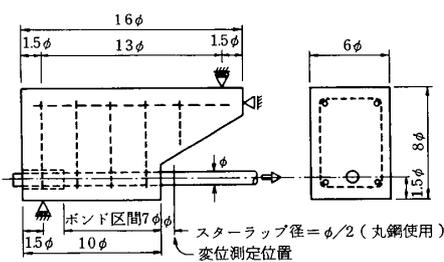
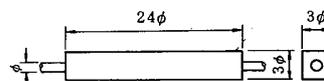


図-3 偏心引抜き試験体

表-2 両引き試験結果

鉄筋種類	ひびわれ本数(本)	コンクリート圧縮強度 (kg/cm ²)
D 25	4	3 1 4
D 13	5	3 6 4
D 6	5	3 4 8
D3-1	5	
D3-2	5	3 2 1
D3-3	5	
$\phi 3$ ・丸棒	2	
$\phi 3$ インデント	5	3 1 6
M3ネジ	7	

(試験体寸法)



た。鉄筋は付着試験で用いたものと同じものを使用し、コンクリートも鉄筋径に応じてそれぞれ同じものを使用した。使用材料の特性を表-3に示す。

荷重は純曲げ区間を有する2点載荷方式により、はりが曲げ破壊するように加えた。鉄筋が公称降伏点になる計算上の荷重(以下公称降伏荷重と呼ぶ)までを荷重制御で、また公称降伏荷重時の変位 δ_0 の1.0倍までを変位制御で、漸増的に一方向に繰返し載荷した。

4.2 荷重-変位曲線

各試験体の荷重Pとはり中央部の変位 δ の関係を、全てD25を用いた梁相当の1/1縮尺に換算して、図-6に示した。更に、これらの包絡線についてまとめたのが図-7である。これらの図によれば、D3鉄筋を用いた1/8縮尺試験体のP- δ 特性は、総じて市販鉄筋を用いた1/1~1/4縮尺試験体のP- δ 特性と類似したものとなっている。降伏荷重に着目すると値に若干の差があるが、これは、鉄筋比等の差によるものであり、これを考慮して計算した降伏荷重の値と比べると、表-3に示すようにそれぞれほぼ一致している。変形性能に着目すると、いずれも1.0 δ_0 まで荷重低下がみられず、この範囲内で変形性能に差はなかった。

一方、D3以外の3mm材を使用した1/8縮尺試験体では、 $\phi 3$ インデントが1/1~1/4縮尺試験体と同様の挙動を示したが、 $\phi 3$ 丸鋼では、ひびわれが一箇所に集中して3 δ_0 で既にたわみ形状が非対称になり、図-6に示すように5 δ_0 で破壊した。M3ネジ棒も異った挙動を示し、線材断面の算定に困難が伴うことを示唆している。

4.3 繰返し載荷による剛性低下

図-6のP- δ 曲線から求めた載荷サイクルによる剛性の変化を図-8に示す。ひびわれが進展しつつある1 δ_0 付近を別にすれば、 $\phi 3$ 丸鋼を除

(単位 mm)

スケール	b	d	h	d'	a	L	e	c	f
1/1	280	360	420	60	1000	1200	150	136	72
1/2	140	180	210	30	500	600	100	68	36
1/4	70	90	105	15	250	300	50	34	18
1/8	35	45	52.5	7.5	125	150	30	17	9

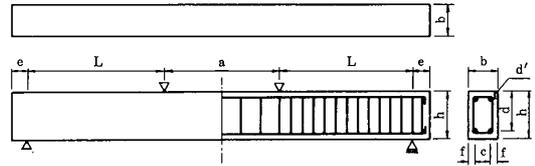


図-5 各はり試験体の寸法

表-3 はり試験体の材料特性および降伏荷重

縮小率	主鉄筋				スターラップ種類	コンクリート(*)				はり部材				
	主鉄筋の種類	断面積鉄筋1本当り(cm ²)	降伏点(kg/cm ²)	見掛けの弾性係数(×10 ⁴ kg/cm ²)		降伏点(kg/cm ²)	圧縮強度(kg/cm ²)	弾性係数(×10 ⁴ kg/cm ²)	割裂強度(kg/cm ²)	引張鉄筋比(%)	降伏荷重計算(換算)(ton)	降伏荷重実測(換算)(ton)	②/①	
1/1	D 25	5.067	38.3 59.4	1.96	$\phi 12$	36.0 50.7	3.00	3.01	3.32	1.01	2.076	2.18	1.05	
1/2	D 13	1.267	36.8 53.0	1.84	$\phi 6$	不明瞭 49.8	3.18	2.86	3.28	1.01	1.993	2.12	1.06	
1/4	D 6	0.3167	36.7 55.3	1.88	$\phi 3$	32.9 42.0	3.43	2.44	2.21	1.01	1.990	2.11	1.06	
1/8	D3-1	0.0725	37.5 47.0	1.92	$\phi 1.5$	32.6	3.49	2.45	2.34	0.92	1.870	2.06	1.10	
	D3-2	0.0731	37.1 44.3	2.00			3.77	2.48	2.48	0.93	1.862	1.98	1.06	
	D3-3	0.0702	35.3 43.2	1.96						0.89	1.708	1.92	1.12	
	$\phi 3$ 丸棒	0.0804	35.2 40.5	2.12						1.02	1.933	2.09	1.08	
	$\phi 3$ インデント	0.0671	38.3 43.6	2.01			36.0	3.49	2.45	2.34	0.85	1.769	1.95	1.10
	M3ネジ	0.0533	35.4 39.1	1.56						0.68	1.313	1.57	1.20	

(*) テストピースは $\phi 10 \times 20$ mm、弾性係数はコンプレッソメータで測定
 (**) 単位長重量から比重7.8として換算

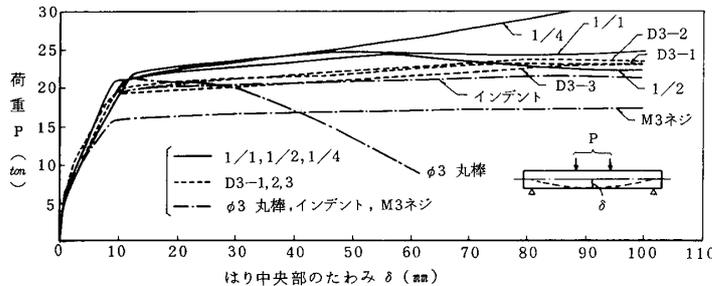


図-7 荷重-たわみ包絡線

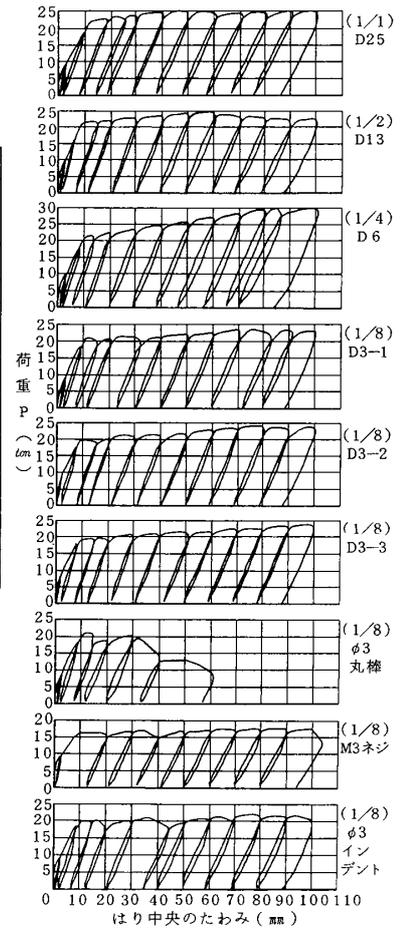


図-6 荷重-たわみ曲線

くどの 1/8 縮尺試験体も、剛性低下の様子は 1/1 ~ 1/4 縮尺試験体と類似している。

4.4 ひびわれ

純曲げ区間に主要な 3 本のひびわれで測定したひびわれ幅の平均値と、荷重との関係を、全て 1/1 縮尺に換算して図-9 に示した。1/1 ~ 1/4 縮尺試験体は、クラックスケールで測定し、1/8 縮尺試験体は簡易顕微鏡で測定した。D 3 鉄筋を用いた 1/8 縮尺試験体のひびわれ幅は、総じて公称降伏荷重時（部材降伏前）では、ほぼ 1/1 ~ 1/4 縮尺試験体の場合と対応している。しかし、部材降伏以降は、1/8 縮尺試験体では大きくなる傾向にある。

一方、φ3 丸鋼や φ3 インデントを用いたものは、公称降伏荷重時で既に 3 ~ 5 倍大きくなっている。

各試験体のひびわれ分布を図-10 に示す。D 3 鉄筋を用いた 1/8 縮尺試験体では、1/1 ~ 1/4 縮尺試験体と比較して、総じてひびわれ本数が少なめで、セン断スパン部のひびわれ長さも小さめであるが、基本的なひびわれパターンは一致している。一方、φ3 丸鋼や φ3 インデントを用いたものは、ひびわれパターンも異っている。

5. まとめ

(1) RC 構造物の縮小模型実験に应用することを目的として D 3 鉄筋を試作し、その付着特性を調べるとともに、これを用いた曲げ破壊型の RC 部材実験を行った。その結果、 $\tau - \delta/\phi$ 曲線や $P - \delta$ 曲線の初期勾配および鉄筋降伏後のひびわれ幅に関して、精度向上のための検討の余地は残されるが、D 3 鉄筋は市販鉄筋とほぼ同等の性能を有し、縮小模型実験に適用できる見通しが得られた。

(2) プロトタイプに異形鉄筋が用いられるとき、縮小実験に丸鋼を用いると、曲げ破壊型の場合でも大きな実験誤差を招く場合のあることがわかった。また、インデント鋼やネジ棒でも、付着破壊型の実験で大きな誤差を招く可能性がある。

(3) 精度向上のためには、鉄筋に関しては支圧面積係数を指標とした鉄筋形状の改良、コンクリートに関しては供試体の寸法効果による強度差の検討などが考えられる。

(参考文献)

(1) H.G.Harris, G.M.Sabnis and R.N.White "Reinforcement Small Scale Direct Models of Concrete Structures" ACI SP-24 Models for Concrete Structures 1970
 (2) W.W.Aldridge and J.E.Breen "Useful Techniques in Direct Modeling of Reinforced Concrete Structures" ACI SP-24 Models for Concrete Structures 1970
 (3) A.H.Chowdhury and R.N.White "Materials and Modeling Techniques for Reinforced Concrete Frames" ACI Journal Vol.74 No.11 Nov.1977
 (4) 国分、岡村 "太径鉄筋の使用に関する研究" 土木学会論文報告集第 202号 1972年6月
 (5) 村田 "鉄筋とコンクリートの付着強度試験方法"

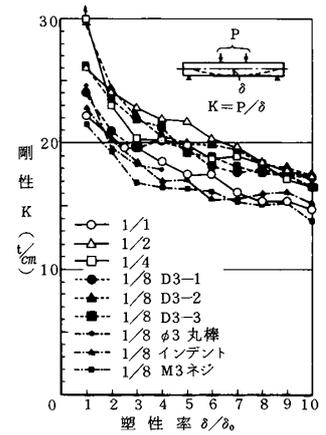


図-8 各載荷サイクルの平均剛性

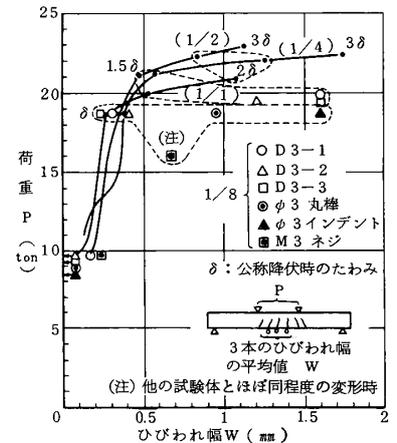


図-9 荷重とひびわれ幅との関係

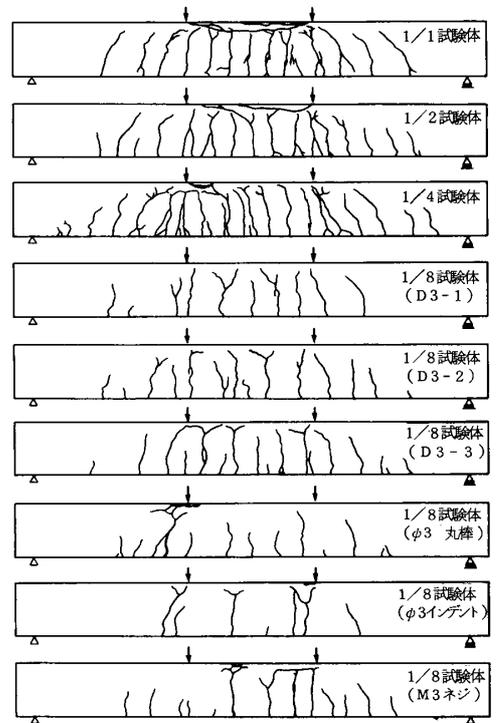


図-10 ひびわれ分布図