

太径異形鉄筋の重ね継手工法の開発（その1）

——添え筋補強継手の構造性能実験——

増田 安彦 脇坂 達也
吉岡 研三 中山 達雄

Development of Lap Joint Method for Large-Diameter Deformed Bar (Part 1)

——Structural Experiments of Splint-Bar-Reinforced Joint——

Yasuhiko Masuda Tatsuya Wakisaka
Kenzoh Yoshioka Tatsuo Nakayama

Abstract

In principle, lap joints of large-diameter deformed bars in reinforced concrete are not acceptable under the Standards for Structural Calculation of Reinforced Concrete Structures. Accordingly, the main methods used in joining these bars are welded splices and a number of mechanical connections. However, these methods are accompanied by problems about cost, influence of weather, need for special skills, etc.

To solve these problems, a lap joint with splint-bar reinforcement was developed. In this report, results of bending and shear-bending structural experiments on reinforced concrete members containing the joint method developed are explained. It was shown that beams or columns with lap length 25 times the bar diameter possess sufficient strength and ductility for practical use.

概 要

現在、D29以上の太径異形鉄筋の重ね継手への使用は原則的に認められておらず、圧接・溶接・機械継手などによる継手が用いられている。しかし、それらの継手工法は、特殊技能工が必要、天候に左右されるなど様々な短所を有する。

これらの問題点を改良するため、圧接などの継手と同等以上の構造性能を有する、添え筋補強方式による太径異形鉄筋の重ね継手工法を考案した。この論文は、考案した継手工法の構造性能を確認するために実施した、純曲げ実験および曲げせん断実験の結果をまとめたもので、主筋の重ね長さが $25d$ (d :主筋直径)でも、実用上十分な強度と変形能を確保できることを示した。

1. はじめに

RC造中高層あるいは超高層建物でよく使用されている、D29以上の太径鉄筋は、鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（以後、RC規準と略す。）などで、原則として重ね継手への使用が認められていない。しかし、太径鉄筋の継手にも重ね継手を使用することができれば、特殊技能工が不要となり、作業が天候に左右されず、鉄筋径が太いほど圧接や溶接よりコスト面で有利となる、などの利点が見られる。

本報告は、圧接などの継手と同等以上の構造性能を有する太径鉄筋重ね継手工法を開発するために実施した一連の実験のうち、添え筋補強方式による、純曲げ加力実験および曲げせん断加力実験結果についてまとめたものである。

2. 添え筋による重ね継手補強方法

図-1は、純曲げ区間の重ね継手における添え筋補強のメカニズムを表わしている。添え筋は、重ね継手区間(⑤~⑥間)の外側に余長(①~②, ③~④間)をもち、部材が純曲げ応力を受けたとき、添え筋は余長端部より主筋応力を分担し始め、継手端部の主筋応力を緩和する。なお、十分な余長があれば、継手端部で平面保持が成り立ち、主筋と添え筋のひずみが一致する。この仮定と、重ね長さと平均付着応力度の関係に関する研究^{1)~3)}を参考に、以下の方法で必要添え筋余長 l を求めることができる。

主筋は添え筋端部(①, ④)で降伏し、重ね継手端部(⑤, ⑥)で主筋ひずみは添え筋ひずみと一致することから、力の釣合いより継手端部の主筋および添え筋ひずみ

ϵ は次式で与えられる。

$$\epsilon \cdot Es' \cdot as = (\epsilon_y - \epsilon) Es \cdot As \quad \dots\dots\dots(1)$$

As: 主筋断面積 as: 添え筋断面積
 Es: 主筋弾性係数 Es': 添え筋弾性係数
 ϵ_y : 主筋降伏ひずみ

次に、添え筋余長部分の平均付着応力度は、最大値 $u\tau_a$ より小さいから余長 l_1 は次式で求められる。

$$l_1 \psi' u \tau_a > \epsilon Es' \cdot as \quad \dots\dots\dots(2)$$

また、図-1の(a)~(c)間あるいは(b)~(d)間の主筋平均付着応力度も $u\tau_a$ より小さいため、次式が成り立つ。

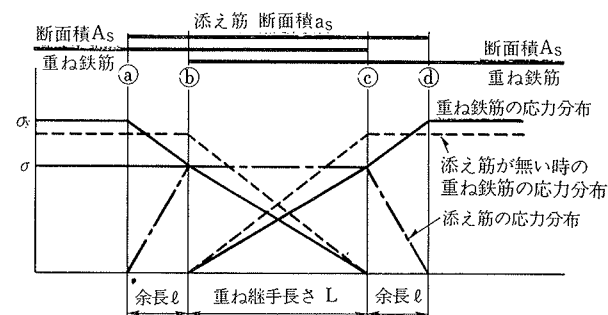
$$(l_2 + L) \psi u \tau_a > \epsilon_y \cdot Es \cdot As \quad \dots\dots\dots(3)$$

ψ' : 添え筋周長 ψ : 主筋周長
 必要余長は l_1, l_2 の大きいほうで決まる。

3. 純曲げ加力実験

3.1. 実験概要

試験体の概要を表-1に示す。試験体は全部で4体で、



- この応力分布は以下の仮定に基づく
- a) 重ね鉄筋は、添え筋の端部に相当する(a), (d)点で降伏する
- b) 重ね鉄筋と添え筋は、平面保持の仮定から、(b)点および(c)点を同一の応力を示す。
- c) 重ね鉄筋および添え筋の(a)~(b), (b)~(c), (c)~(d)間の応力度は直線的に変化する。

図-1 重ね継手の応力分布

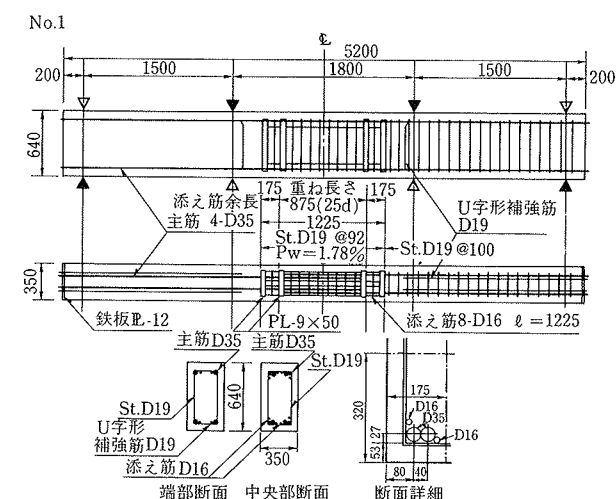


図-2 試験体詳細

主筋の重ね長さを25dと30dの2種に変化させ、添え筋余長を2章で求めた l ($u\tau_a = 37 \text{ kg/cm}^2$)に対して、No.1とNo.3は2/3倍と短く、No.2はほぼ必要値に等しく、No.4は4/3倍と長くしている。その他の条件はすべて同一で、図-2にNo.1試験体の詳細を、表-2に使用材料、および材料試験結果を示す。

荷重は図-3に示す方法で、正負交番繰返し荷重とし、降伏変位計算値の1/2倍の変位で、その後、主筋降伏変位の1倍、2倍、4倍の変位でそれぞれ2回ずつ繰り返し、最後は6倍まで変形させた。

3.2. 実験結果

3.2.1. 荷重-変位関係 表-3に実験結果の一覧を、図-4に各試験体の荷重-変位関係(Q- δ 関係)を示す。正荷重ではNo.1試験体のみが、6 δ_y の変形途中で付着破壊を生じた。また、試験体コンクリートを横打ち

試験体	No.1	No.2	No.3	No.4
重ね長さ	25d	25d	30d	25d
添え筋量	継手1組につき 2-D16			
添え筋余長 (片側, mm)	175	263	175	350
共通事項	断面: 640×350mm コンクリート設計基準強度: 240kg/cm ² 主筋量: 4-D35 (Pg=1.71%) フープ筋: D19 @92 (Pw=1.78%)			

表-1 試験体概要

鉄筋	径	降伏強度 (kg/mm ²)	降伏ひずみ ($\times 10^{-6}$)	弾性係数 $\times 10^4$ (kg/mm ²)	引張強度 (kg/mm ²)	伸び率 (%)
鉄筋	D35	36.5	2040	1.79	61.2	24.9
	D19	39.4	2110	1.89	56.2	17.5
	D16	38.0	1950	1.92	56.7	18.0

コンクリート強度 (試験時強度) 244kg/cm², 弾性係数 1.95 $\times 10^5$ kg/cm²

表-2 使用材料

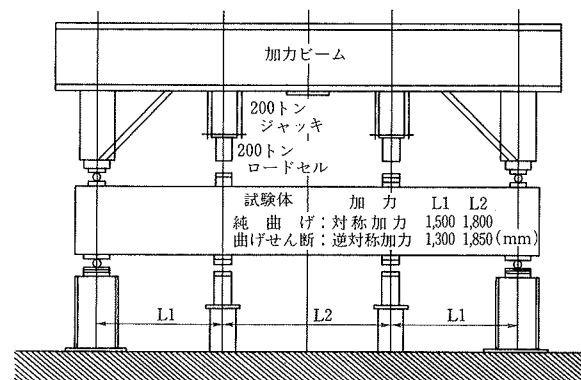


図-3 荷重方法

試験体	弾性剛性t/cm			主筋降伏荷重 ton			降伏変形 mm		
	実験値	計算値	実/計	実験値	計算値	実/計	実験値	計算値	実/計
1	46.7	46.7	1.00	27.0	23.2	1.16	14.4	13.5	1.07
2	52.8	46.7	1.13	26.5	23.2	1.14	13.5	13.5	1.00
3	60.6	46.7	1.29	26.1	23.2	1.13	13.7	13.5	1.01
4	55.1	46.7	1.18	26.4	23.2	1.14	12.9	13.5	0.94

表-3 実験結果一覧

としたため、上端筋が引張となる負荷重では、No.4を除くすべての試験体で付着破壊が生じた。このように、主筋重ね長さが同じでも、添え筋の余長が異なることによって変形能力に差が生じることが分かる。

図-5に比較のため、予備実験として行なった、添え筋補強のない重ね長さ25dの試験体のQ- δ 関係を、参考として示す。断面寸法640×640mm, $p_w=1.59\%$, $p_g=2.80\%$, 材料, 加力条件などは同じである。主筋降伏とほぼ同時に付着破壊が生じ、耐力が低下している。同図と図-4との比較により、添え筋補強の効果が分かる。

3.2.2. ひずみ計測結果 図-6に主筋降伏時のひずみ値の分布を示す。同図中の一点鎖線は、(1)式による計算値である。また、No.2試験体のひずみ分布図中の太い破線は、比較のため、図-5で示した試験体の主筋降伏時ひずみ分布をプロットしたものである。余長の短いNo.1試験体とNo.3試験体のひずみ分布形状は類似しており、ともに継手端部で添え筋ひずみが主筋ひずみより小さく、余長部分のひずみ変化量が少ない。一方、No.2およびNo.4試験体では、

余長が十分にあるため、継手端部で平面保持が成り立ち、計算値とよく一致している。

3.2.3. ひびわれ・破壊状況 写真-1に試験終了時ひびわれ状況の例として、付着破壊を生じたNo.1試験体と正負荷重とも破壊しなかったNo.4試験体を示す。曲げひびわれは、いずれの試験体も添え筋端部と加力点位置だけが大きく広がり、他の位置のひびわれはあまり広がらない。コンクリートの圧壊も添え筋端部位置と加力点位置との間

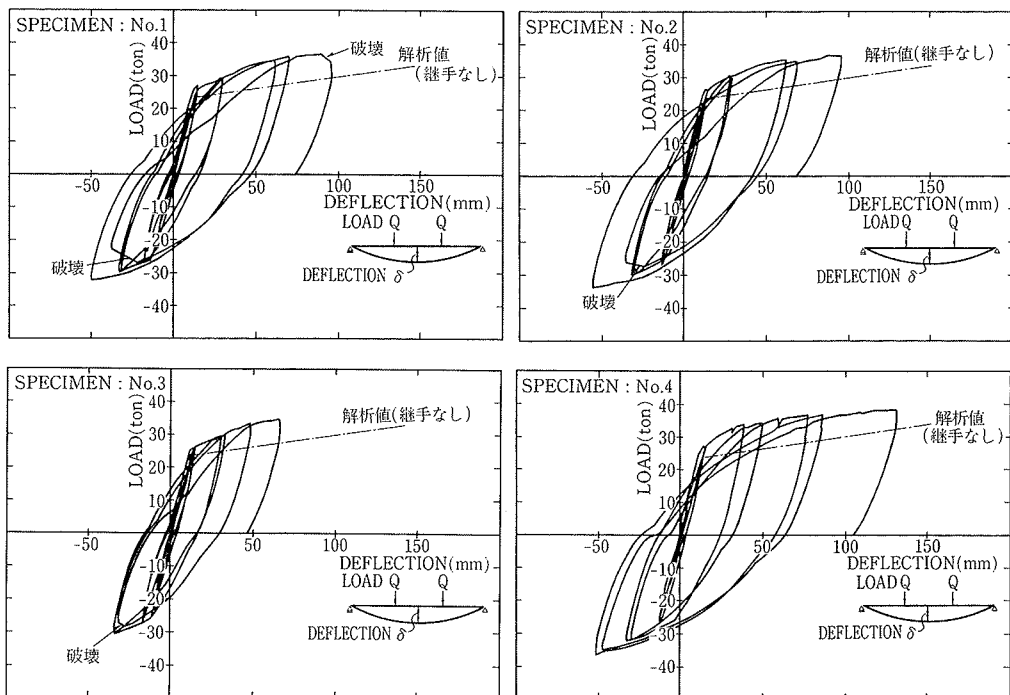


図-4 荷重-変位関係

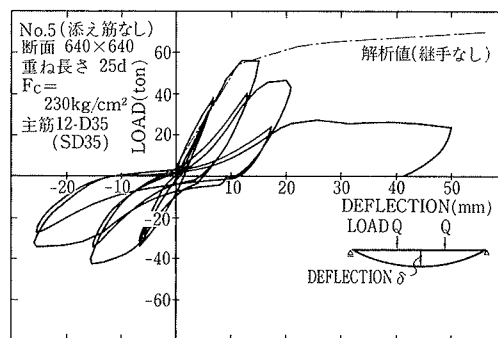


図-5 添え筋がない場合の荷重-変位関係

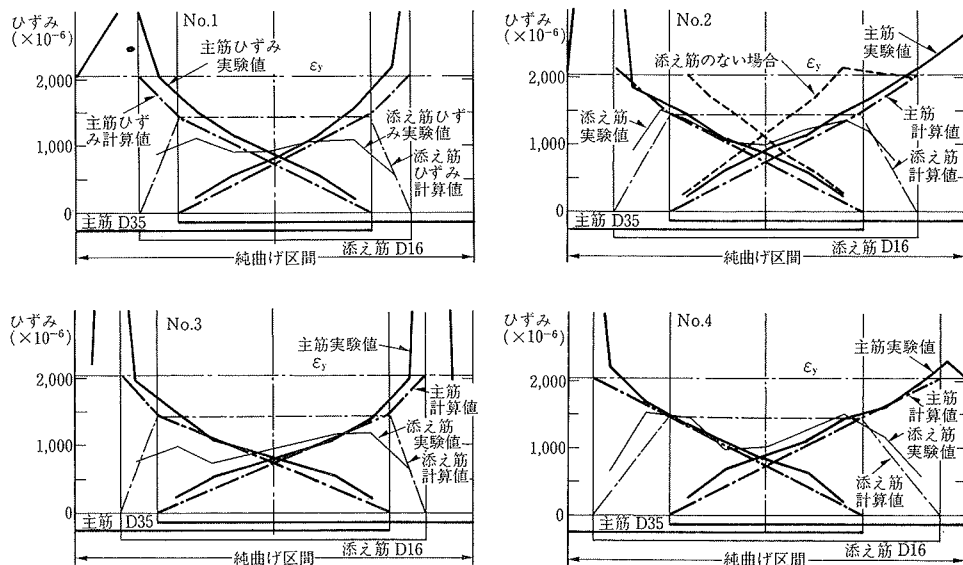


図-6 ひずみ分布

で生じるが、重ね継手区間では生じなかった。

4. 曲げせん断加力実験

曲げせん断荷重を受けた場合、RC 規準でも指摘されているように、せん断ひびわれによって部材端部の主筋付着が喪失することが予想され(図一7参照),その区間を考慮して主筋の定着長さを求めねばならない。

一方、図一8で示すように、添え筋補強を施すことで、主筋と添え筋の応力が一致する位置よりも先端部分では、主筋応力が緩和されることが予想され、応力伝達に必要な定着長さを短くできると考えられる。

4.1. 実験概要

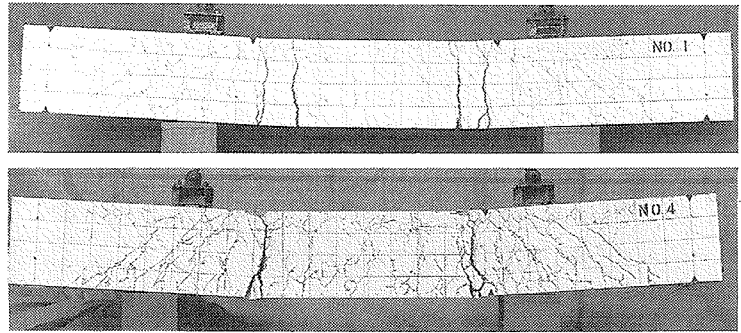
試験体数は6体で、表一4にその概要を、図一9に試験体詳細を示す。パラメータとして、主筋重ね長さ(25d, 30d, 35d), 添え筋量, 継手位置を取りあげている。すなわち, No.1 試験体を標準に, No.2, No.4 試験体は重ね長さを変化させ, No.5 試験体はフープ筋と添え筋を打込んだ遠心成形PC型枠をかぶりコンクリートとして使用したもの, No.3 は試験区間片側端部に継手を設けたものである。特に No.4 の主筋長さは図一7中の式(4)で求めた必要定着長さに等しい。使用材料および材料試験結果を表一5に示す。

荷重は図一3に示した荷重装置を用いて、逆対称に加力し、主筋降伏変位の1倍, 2倍, 3倍, 4倍, 5倍の変位で各2回ずつの正負交番繰り返し荷重を行ない、最後に7倍まで変形させた。

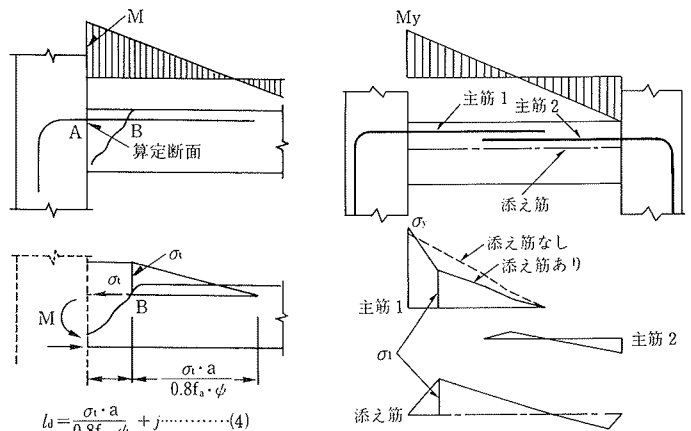
4.2. 実験結果

4.2.1. 荷重—変位関係 表一6に試験結果の一覧を、図一10に試験区間に作用するせん断力と層間変位の関係(Q—δ関係)を示す。No.3 試験体を除くすべての添え筋補強試験体で、主筋降伏後も荷重の上昇が見られ、一本もののNo.6 試験体と比較して、Q—δ曲線が囲む面積も大きく、エネルギー吸収能力においても改善されていることが分かる。これらの結果から、主筋定着長さが(4)式で求められる定着長さより短くても、添え筋で補強することで、試験体の耐力、変形能力は確保できること、また、フープ、添え筋を打ち込んだPC型枠をかぶりコンクリートに使用したNo.5 試験体と、一体打ちのNo.1の挙動にほとんど差がないことなどが分かる。

一方、部材端部に継手を設けたNo.3 試験体は、継手と逆側の部材端部の変形のみが進み、その部分でせん断破壊を生じ、荷重が低下した。

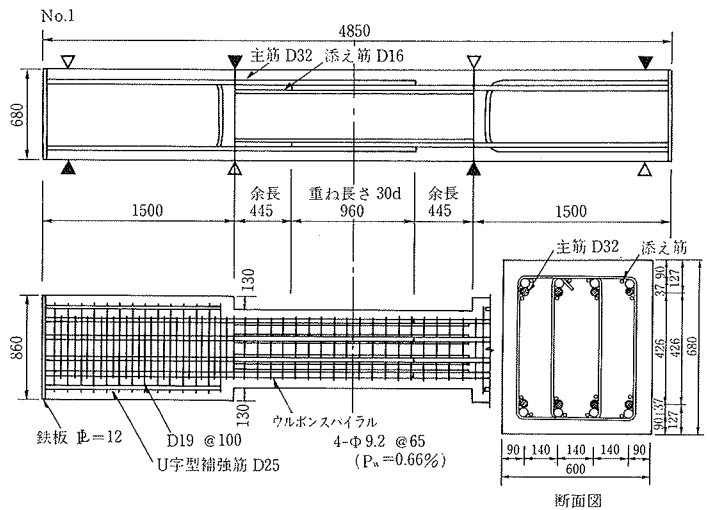


写真一 載荷終了時試験体状況 (上: No.1, 下: No.4)



図一7 主筋の定着 (RC規準より)

図一8 応力分布 (RC規準より)



図一9 試験体詳細 (No.1)

試験体	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6
重ね長さ	30d	25d	25d	35d	30d	—
添え筋量*1	2-D16	2-D19	2-D19	2-D16	2-D16	—
余長(mm)*2	445	525	525	365	445	—
継手位置	中央	中央	端部	中央	中央	なし
備考					PC型枠	1本もの
共通事項	断面: 600×680 mm コンクリート設計基準強度: 240kg/cm ² 主筋量: 8-D32 (Pg=1.6%) フープ筋: 高張力鋼スパイラル 4-φ9.2 @70 (Pw=0.61%)					

*1 継手1組に対する量 *2 添え筋長さは内のりスパンの長さ(1850mm)

表一4 試験体概要

4.2.2. ひずみ計測結果 図-11は、主筋降伏時および $4\delta_y$ 時の、曲げせん断区間における主筋および添え筋のひずみ分布である。先ず、重ね継手を部材中央に設けた試験体の、主筋降伏時ひずみ分布をみると、図-8で示した平面保持が成り立っており、主筋の引張ひずみは重ね継手端部位置でおよそ $1,000 \sim 1,450 (\times 10^{-6})$ であるのに対して、一本もの (No.6) の同じ位置のひずみ値は、それらの約1.3倍となっている。また、変位が $4\delta_y$ のとき、主筋が降伏して付着を失った区間でも、添え筋は弾性状態で、かつ付着力を保持していることが分かり、添え筋補強試験体の耐力、変形能力が一本もの (No.6) より優れるのは、このことによるものと考えられる。

4.2.3. ひびわれ・破壊状況 写真-2に荷重終了時の No.1, No.3 および No.6 試験体のひびわれ状況を示す。最終的に No.1は、試験区間外のコンクリートが破壊し、No.3は継手のない位置でせん断破壊が生じている。

5. まとめ

添え筋補強重ね継手部材の、純曲げ加力および曲げせん断加力実験で得られた結果を述べる。

(1) 純曲げ加力下では、添え筋の余長が異なることによって、変形能力に差が生じる。

添え筋補強を施した重ね継手部の主筋および添え筋ひずみ分布は、(1)式による計算値とよく一致し、添え筋の必要余長は(2)・(3)式で得られる。

(2) 曲げせん断加力下では、添え筋方式で重ね継手を補強した試験体は、重ね継手を持たない一本ものの部材より、耐力、変形能力が優れている。

(3) D29以上の太径鉄筋でも、添え筋補強方式を採用することで、重ね長さ $25d$ の重ね継手に使用することができる。

鉄筋	径	降伏強度 (kg/mm ²)	降伏ひずみ ($\times 10^{-6}$)	弾性係数 $\times 10^4$ (kg/mm ²)	引張強度 (kg/mm ²)	伸び率 (%)
	D32	45.8	2500	1.95	65.4	19.7
	D19	36.9	2060	1.82	53.8	16.3
	D16	37.4	2050	1.85	54.5	18.9

コンクリート強度 (試験時強度) 237kg/cm², 弾性係数 1.98×10^5 kg/cm²

表-5 使用材料

試験体 No.		No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6
弾性剛性 t/cm	実験値	410	446	564	393	437	372
	計算値	399	399	399	399	399	399
	実/計	1.03	1.12	1.41	0.99	1.10	0.93
降伏荷重 ton	実験値	86.8	89.2	96.1	85.6	83.3	87.0
	計算値	77.9	77.9	83.1	77.9	77.9	77.9
	実/計	1.11	1.15	1.16	1.10	1.07	1.12

表-6 実験結果一覧

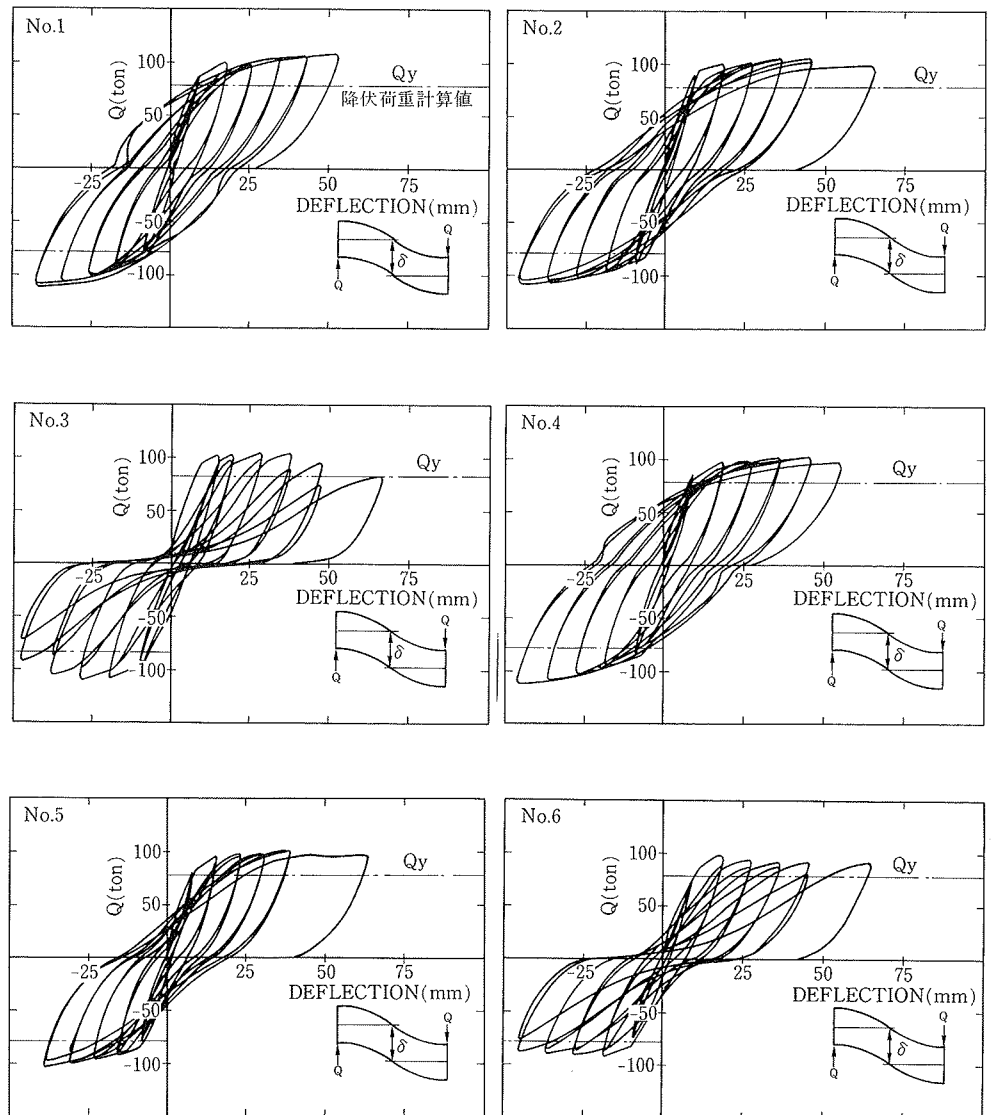


図-10 荷重-変位関係

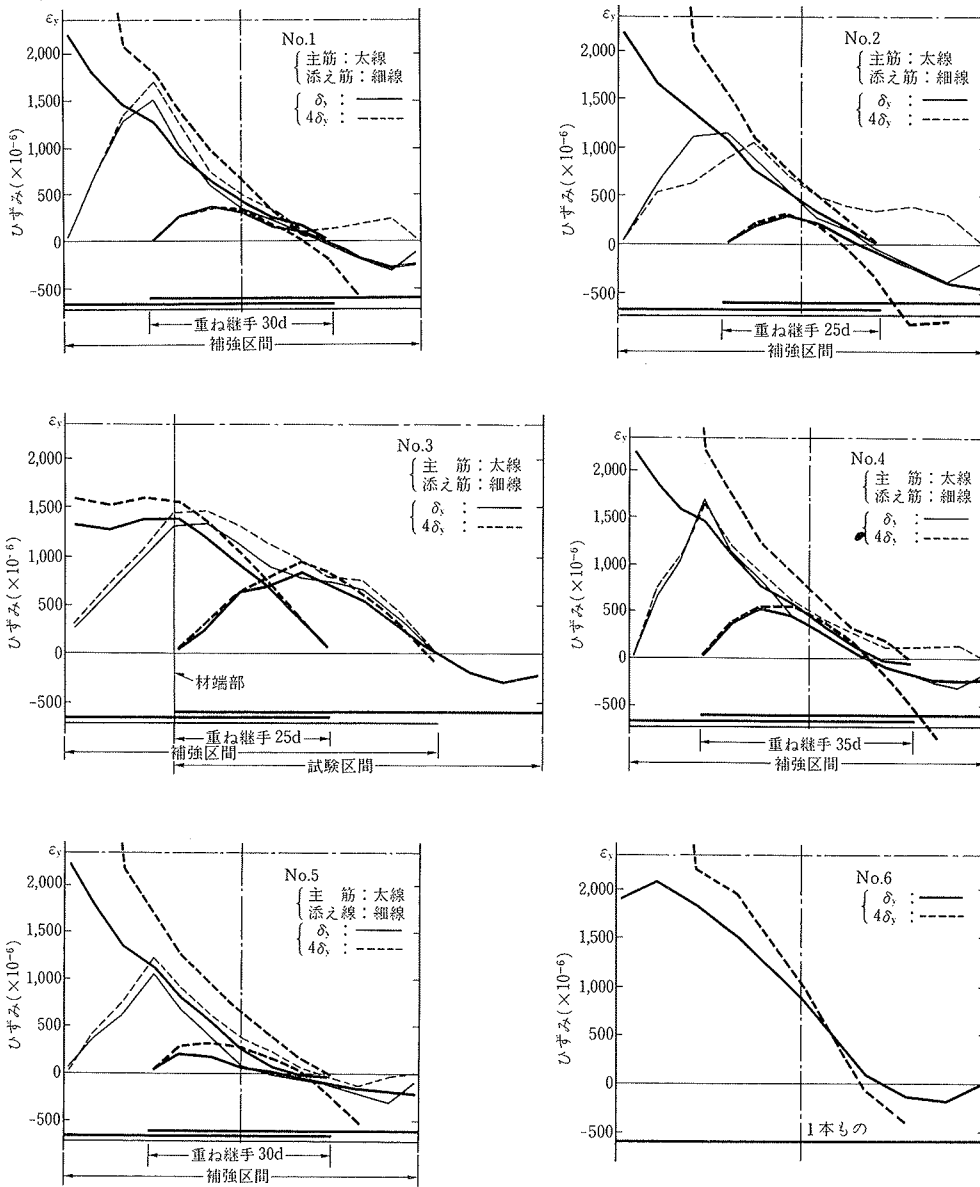


図-11 ひずみ分布

参考文献

- 1) 土堅・白川：太径異形鉄筋の重ね継手に関する実験的研究，土木学会，コンクリート・ライブラリー，No. 43，(1977)
- 2) J. Cairns and P. D. Arthur：Strength of Lapped Splices in Reinforced Concrete，J. of A. C. I.，Vol. 76，No. 2，(1979. 2)，pp. 277～296
- 3) 藤井・森田：異形鉄筋の付着割裂強度に関する研究，日本建築学会論文報告集，No. 319，(昭57. 9)，pp. 47～55

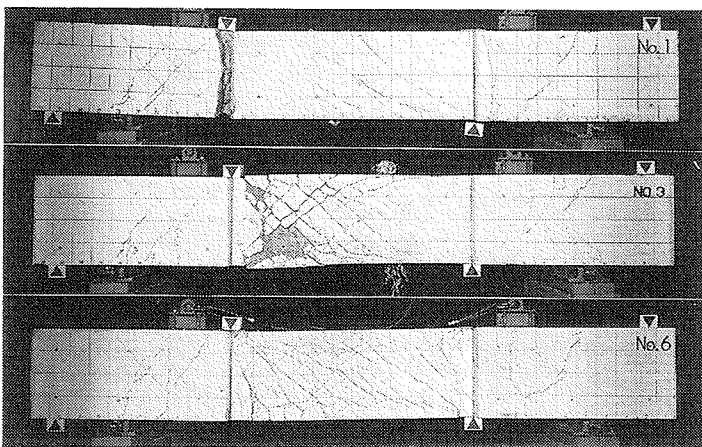


写真-2 載荷終了時試験体状況
(上：No. 1，中：No. 3，下：No. 6)