
太径異形棒鋼リバーコン D51 について

Large Size Deformed Bar RIVER CON D51

嶋 文雄(Fumio Shima) 松岡 逸雄(Itsuo Matsuoka) 浅川 貞夫(Sadao Asakawa)
佐々木 徹(Toru Sasaki) 村木 幸春(Yukiharu Muraki)

要旨：

鉄筋コンクリートに使用される異形棒鋼は、社会的要請や設計施工技術の進歩から太径化の傾向にあり、最近直径 51mm の鉄筋が注目されてきた。このため、当社では数年前より実験研究を進めてきたが、このたびふし間隔 15mm で横ふし型の表面形状を持つリバーコン D51 を開発した。本報告は、リバーコン D51 に関して実施した材質、製造工程、コンクリートとの付着性、現場継手工法、現場における曲げ加工性などのついて述べる。リバーコン D51 は、横ふし形状でふし間隔が小さく、しかもふしを欠落していないため諸性能がすぐれている。

Synopsis：

Lately, a particular attention has been focused on large size deformed bar for reinforced concrete, reflecting and increasing trend of using larger structures and the progress of designing and execution techniques. Under such circumstances, Kawasaki Steel has developed RIVER CON D51 deformed bar of 51mm in diameter which has a spacing of longitudinal lugs of 15mm. The article deals with the results of studies made on the product, covering quality of steel used, manufacturing process, adhesion property when applied to concrete, at-site joint engineering method and at-site bending workability.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

太径異形棒鋼 リバーコン D51について

Large Size Deformed Bar RIVER CON D51

嶋 文 雄*
Fumio Shima

松 岡 逸 雄**
Itsuo Matsuoka

浅 川 貞 夫***
Sadao Asakawa

佐々木 徹****
Toru Sasaki

村 木 幸 春*****
Yukiharu Muraki

Synopsis:

Lately, a particular attention has been focused on large size deformed bar for reinforced concrete, reflecting an increasing trend of using larger structures and the progress of designing and execution techniques.

Under such circumstances, Kawasaki Steel has developed **RIVER CON D51** deformed bar of 51mm in diameter which has a spacing of longitudinal lugs of 15mm.

The article deals with the results of studies made on the product, covering quality of steel used, manufacturing process, adhesion property when applied to concrete, at-site joint engineering method and at-site bending workability.

1. まえがき

設計・施工技術の進歩と構造物の大型化にともなう、最近鉄筋コンクリートに使用される異形棒鋼は、しだいに太径化への傾向をみせつつある。

1964年に制定された JIS G 3112「鉄筋コンクリート用棒鋼」には、材料面で問題点が解決されたことから、太径の D41 までが規格化されたが、鉄筋とコンクリートとの複合機構など、使用上の問題についての研究が、太径鉄筋についてはほとんど行なわれていなかったこともあって、D41 のような太径鉄筋の使用は、設計・施工の両面から規制され、D32 までの鉄筋を使用するのが実情で

あった。

このため、土木・建築の両分野において太径鉄筋の使用面に関する研究が進められ、最近になって D32 を越える鉄筋が、土木・建築構造物に使用されるようになってきた。

ところが、原子力発電所や長大橋、高層ビルなど大きな断面力を受ける鉄筋コンクリート構造物では、D35～D41 程度の鉄筋を使用しても鉄筋本数が多くなって過密配筋となり、コンクリートの打設性が著しく悪化する。このため、さらに太径の鉄筋を使用するのが必要となってきた。

また、騒音問題から新幹線等の橋梁型式は、鋼橋に代って鉄筋コンクリート橋やプレストレストコンクリート橋となる傾向がみられるようになってきたが、これらの橋梁は死荷重を増加させるた

* エンジニアリングセンター建設開発部土木開発室部長

*** 水島製鉄所管理部条鋼管理課掛長

***** エンジニアリングセンター建設開発部土木開発室

** 水島製鉄所第一庄延部棒鋼課課長

**** 技術研究所水島研究室主任研究員

め、下部構造を大型化することになる。ところが、河川内や道路内のように部材の断面寸法が制限され、下部構造を大きくできない場所では、細径鉄筋を使用すると鉄筋コンクリート構造にできなくなり、鉄骨鉄筋コンクリート構造にしなければならない場合も生じてくる。

太径鉄筋を用いるとこれからの問題が解決されることから、しだいに太径鉄筋を使用する空気が強くなり、D41を越える鉄筋の開発が要請されてきた。

D51太径異形棒鋼(公称径50.8mm)は、このような理由から、高炉メーカーを中心として研究が進められ製品化されてきたものであるが、設計や施工に関する指針がないこともあって、実構造物への適用は著しく制限される結果となっている。このため、D51を対象としたJIS G 3112の改正作業、さらには土木構造物に適用する示方書の作成作業があいついで行なわれており、また建築の分野でもD51の利用を図るべく検討が進められている。

このような事情から、当社でも数年前より研究を進め、ここに良好な品質を持つリバーコンD51を開発した。

本報告は、圧延の問題、材質、形状・寸法、コンクリートとの複合特性、現場継手など、リバーコンD51の開発にさいして実施した実験研究をまとめたものである。

2. 形状、寸法

鉄筋コンクリートは、鉄筋とコンクリートが一体となって抵抗する構造であるため、付着性のすぐれた鉄筋ほど望ましいものであると考えられている。このため、鉄筋の表面形状と付着性の関係について、種々の実験が繰返され付着強度を大きくするよう努力が払われてきた。

ところが、鉄筋コンクリートを設計する場合、大きな断面力の作用する部材では、細径の鉄筋を用いると鉄筋の使用本数が増えるため付着面積も大きくなり、発生付着応力は非常に小さくなる。このため、設計に用いられる許容付着応力度^{1,2)}に対し、十分余裕のある設計がなされることになる。

このような理由から細径鉄筋を用いる場合には、設計上鉄筋の表面形状を良くして付着強度を大きくすることは、あまり重要でないことになる。

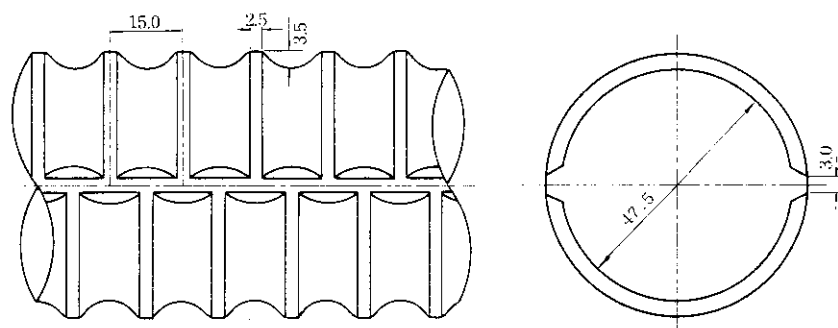


図 1 リバーコンD51の形状および標準寸法

表 1 リバーコンD51の寸法

呼び名	単位 重量 (kg/m)	公称 直径 (mm)	公称 断面積 (cm ²)	公称 周長 (cm)	ふしの許容限度 (mm)			
					ふしの平均 間隔の 最大値	ふしの高さ		ふしのすき 間の和 の最大値
						最小値	最大値	
D51	15.9	50.8	20.27	16.0	16.0	2.5	5.0	40.0

しかし、D51のような太径を使用する場合は、鉄筋本数が減るため、付着強度は設計上重要な検討項目となる。D51の表面形状が、現在まで付着強度のすぐれたものを主眼として決められてきた理由はこのためである。ところで、この付着強度の算出方法として現在まで種々の方法が考えられてきたが、D51の表面形状を決めるにあたっては、最も簡便でしかも形状による付着強度の差が見れる引抜き試験方法³⁾がとられてきた。

ところが、この試験方法では付着強度については判定し得ても、ひび割れ幅については測定できないため、当社ではリバーコンD51の表面形状を決めるにあたり別の方法を検討した。その結果付着強度にすぐれ、ひび割れ幅も小さくできる鉄筋ほどひび割れ分散性にすぐれていることに着目し⁴⁾、ひび割れ分散性試験方法をとることにした。

この試験方法によって、付着性から最適表面形状をみいだすとともに、圧延や曲げ加工、現場継手など他の要素をも考慮して、図1および表1に示す形状・寸法をもつリバーコンD51を得た。

3. 製造工程

当社水島製鉄所における太径異形棒鋼リバーコンD51の製造工程の概略を図2に示す。とくに最終圧延は、新設の棒鋼工場のH-V配列ミル⁵⁾によって行なうため、寸法精度の良い製品が得られる。

4. 材 質

4.1 化学成分

リバーコンD51の化学成分は、表2に示すように太径化による質量効果が材質におよぼす影響を勘案して、JIS規格や一般リバーコンよりも一段と厳しい成分範囲を設けている。

4.2 機械的性質

(1) 引張試験、曲げ試験

JIS 3号試験片で行なった引張試験および圧延のままでの曲げ試験の結果を表3に示す。いずれも規格を十分満足している。

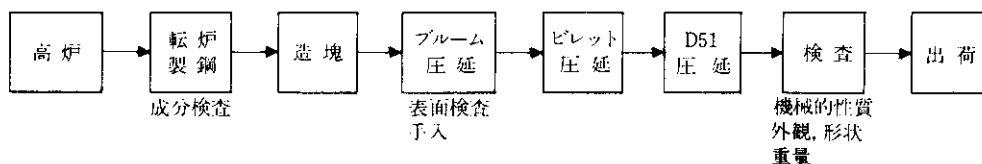


図2 リバーコンD51の製造工程

表2 リバーコンD51の化学成分 (wt %)

規 格	記 号	C	Si	Mn	P	S	C+Mn/6
JIS G 3112	SD30	—	—	—	≤0.050	≤0.050	—
改 正 案	SD35	≤0.27	—	≤1.60	≤0.050	≤0.050	≤0.50
川鉄規格	リバーコン SD30	—	—	—	≤0.050	≤0.050	—
	一般 SD35	≤0.25	≤0.50	≤1.50	≤0.050	≤0.050	≤0.50
	リバーコン SD30	0.18~0.23	0.35~0.45	1.30~1.50	≤0.030	≤0.030	0.40~0.48
	D51 SD35	0.20~0.25	0.35~0.45	1.30~1.50	≤0.030	≤0.030	0.42~0.50
実 績 例	リバーコン SD30	0.19	0.43	1.42	0.018	0.012	0.427
	D51 SD35	0.23	0.38	1.48	0.022	0.016	0.476

表 3 リバーコンD51の機械的性質

規 格	記 号	降 伏 点 (kg/mm ²)	引張強さ (kg/mm ²)	伸 び (%)	曲 げ (180°)
JIS G 3112	D51 SD30	≥30	49~63	≥14	4 D
改 正 案	D51 SD35	≥35	≥50	≥16	5 D
リバーコンD51 実績例	SD30 $\bar{x}$	34.0	51.9	30.1	4 D 良
	σ	1.05	2.10	1.88	
	SD35 $\bar{x}$	38.6	55.7	27.7	4 D 良
	σ	1.07	1.95	1.43	

D: 公称直径

写真 1, 2 に試験結果の一例を示す。
(2)硬さ試験

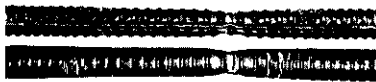


写真 1 引張試験

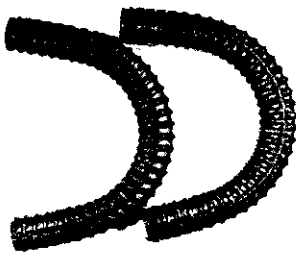


写真 2 曲げ試験

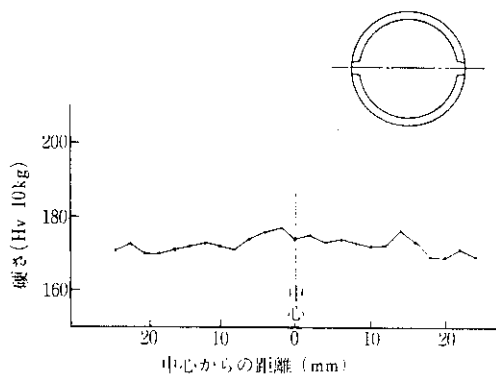


図 3 リバーコンD51の断面硬さ

図 3 に横断面の硬さ分布を示す。バラツキが少なく良好である。

4.3 組 織

写真 3 にリバーコンD51の横断面のマクロ組織を示す。中心部の偏析も少なく、表面まで均質である。

写真 4 は組織を見たものであるが、正常なフェライト・パーライト組織になっている。

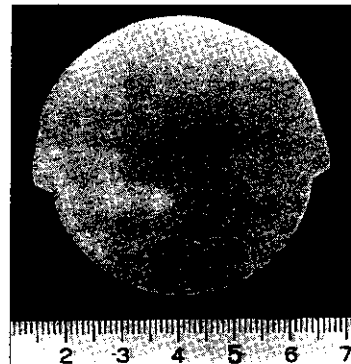


写真 3 断面マクロ



写真 4 顕微鏡組織 (×100)

5. 附着性試験

鉄筋コンクリートでは、鉄筋の腐食を考慮して一般的にはひび割れ幅を 0.2mm 以下⁶⁾ に抑える設計がとられているため、鉄筋の引張応力度を高くとることができず、合理的な設計ができない場合がある。とくに、D51のような太径鉄筋は、細径に比して附着性が悪化するためひび割れ幅が大きくなり、腐食の影響の大きい場所では使用するのが無理となる場合もある。このため、附着性のすぐれた鉄筋を使用してコンクリートに発生するひび割れを分散し、ひび割れ幅を小さくすることが好ましい。

当社では、リバーコン D51 の表面形状を決定するにあたり、上記の考え方から 2 章に述べたようにひび割れ分散性を導入したが、そのほかに種々の条件での附着性について検討するため、定着性試験、引抜き試験も行なった。

本試験のうち、横ひび割れ分散性試験と定着性試験は東北大学工学部後藤研究室、引抜き試験は東京都立大学工学部村田研究室に依頼して行なったものである。

5.1 横ひび割れ分散性試験^{4,7,8)}

鉄筋コンクリートばりに荷重が載荷されると、はりの引張側のコンクリート表面には数多くのひび割れが発生するが、ひび割れ幅をできるだけ小さくするためには、ある単位長さにおけるひび割れ数になるべく多くなること、すなわちひび割れ間隔を小さくすることが必要である。このひび割れ間隔は、コンクリート中の鉄筋の良否によって左右されるため、鉄筋はひび割れ分散性を良くするようなものであることが望ましい。

本試験は、はりの曲げ引張部を想定して製作した供試体で、両引き載荷を行なってひび割れ最大間隔を測定し、鉄筋の横ひび割れ分散性を調査したものである。同時に、鉄筋周辺の内部ひび割れについても測定した。

(1) 試験方法

使用した鉄筋は、種々のふし間隔をもつ直径 51mm、長さ 5m の切削材と圧延材である。

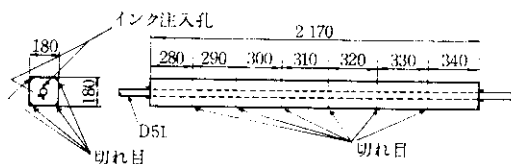


図 4 横ひび割れ分散性試験体形状 (D51 の一例)

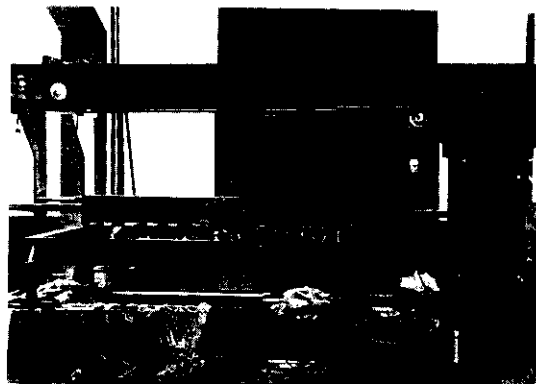


写真 5 横ひび割れ分散性試験

ひび割れ最大間隔は、図 4 に示す長さ約 2m 余の正方形断面のコンクリートの四隅に、間隔を変えた切れ目を入れるとともに、鉄筋表面から 1cm 程度離れた位置に平行に細い孔をあけ、両引き載荷を行ないながら赤インクを注入し測定した。なお、内部ひび割れは試験終了後断面中央で半割りして測定した。

(2) 試験結果

図 5 にふし間隔の違いによるひび割れ最大間隔の測定結果を示す。

前述したように、ひび割れ最大間隔を小さくできる鉄筋ほどすぐれたものと考えられることから、本試験の結果はふし間隔 12mm の切削材が最もすぐれた性能を持っていることを示している。

これは写真 6 に示す内部ひび割れ状況からもわかる。すなわち写真 6 にはふし間隔 12mm、15mm、20mm の 3 種類の内部ひび割れ状況を示しているが、これより 12mm の鉄筋が最も多くの内部ひび割れを発生しており、鉄筋とコンクリートが一体となっていることがわかる。

当社では、ふし間隔を 15mm としたが、これは 2 章に述べたように圧延など他の要因より決定したものである。

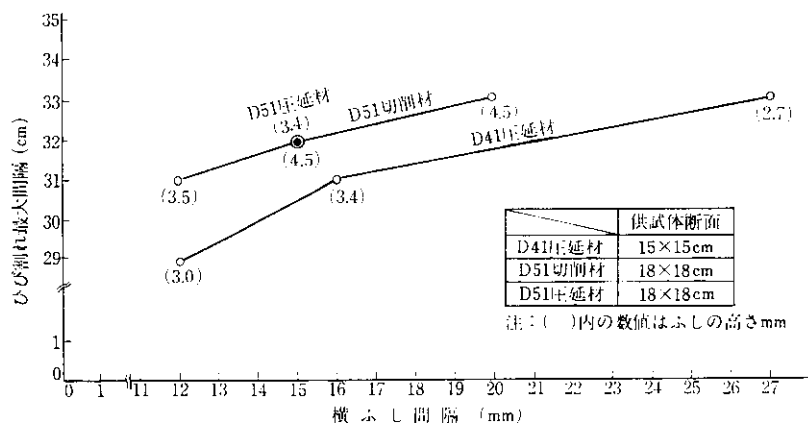


図 5 横ひび割れ分散性試験結果

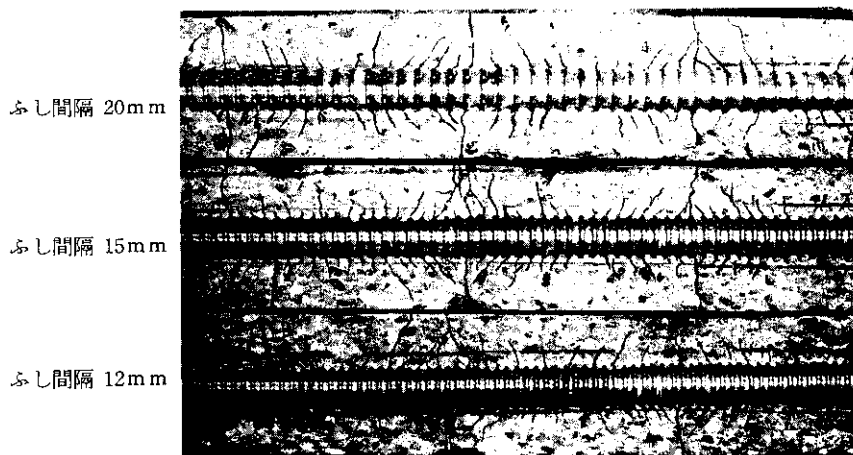


写真 6 内部ひび割れ発生状況

5.2 定着性試験

本試験は、実際の鉄筋コンクリート単純ばりに集中荷重が載荷されたときの応力状態とよく似た状態で、はり端に近い部分を再現できるような試験体を製作し、リバーコンD51の定着性を調査したものである。

平均付着応力度は、図 6 に示す形状の試験体に片引き載荷を行ない、引抜き量を測定し算出したものである（写真 7）。

試験結果は 図 6 に示すとおりである。

本試験の結果、平均付着応力度は最大で 55 kg/cm² 程度を示している。ひび割れは 写真 7 に示すように鉄筋軸に斜めに発生しているが、最終的には縦ひび割れからコンクリートが割裂し付着

がなくなっている。

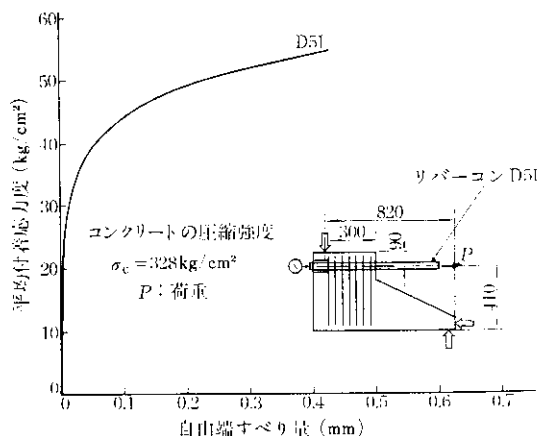


図 6 定着性試験結果

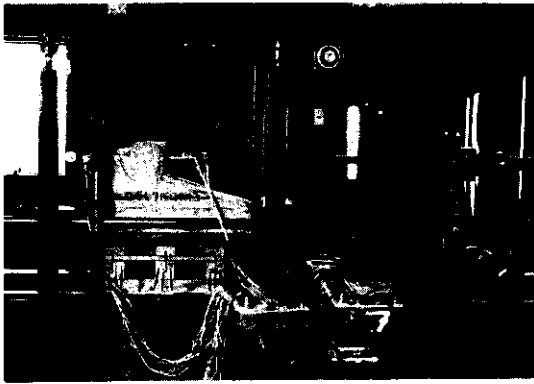


写真 7 定着性試験

5.3 引抜き試験

本試験は試験方法が簡単で、しかも鉄筋表面形状の違いが付着強度の差となって現れることから、鉄筋の付着強度を調査するために、従来から主として行なわれてきた方法である^{3,9)}。

試験体形状ならびに載荷方法を 図 7、写真 8 に示す。

試験結果を 図 8 に示すが、本試験によるリバーコンD51の平均付着応力度は最大で $120\text{kg}/\text{cm}^2$ 程度でD32とほぼ同等である。

この値から明らかなように、5章2節の定着性試験による平均付着応力度と相当に差があるが、これは試験方法の違いによるものと考えられる。

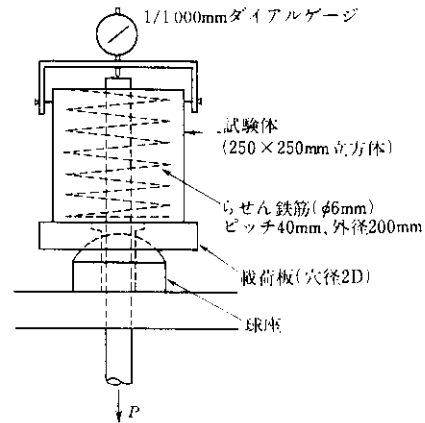


図 7 引抜き試験

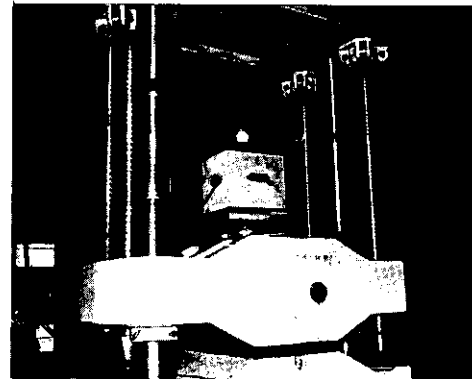


写真 8 引抜き試験

6. 現場継手

鉄筋は、運搬上あるいは圧延上の制約から定尺となるため、鉄筋コンクリート構造物には必ず継手を設ける必要が生じてくる。

細径の鉄筋では、重ね継手とガス圧接継手を主として用いているが、D51のような太径鉄筋では巨大構造物のように配筋に余裕のあるものでないかぎり、重ね継手を用いることは不可能となる。

このため、D51を使用する場合は鉄筋を直接に接続することが一般的となるが、接続法としては従来のガス圧接法のほか、最近は構造物のプレファブ化や鉄筋組立ての省力化などから、機械的な接合法が考案され実用化されてきた。

当社ではリバーコンD51の開発にあたり、ガス

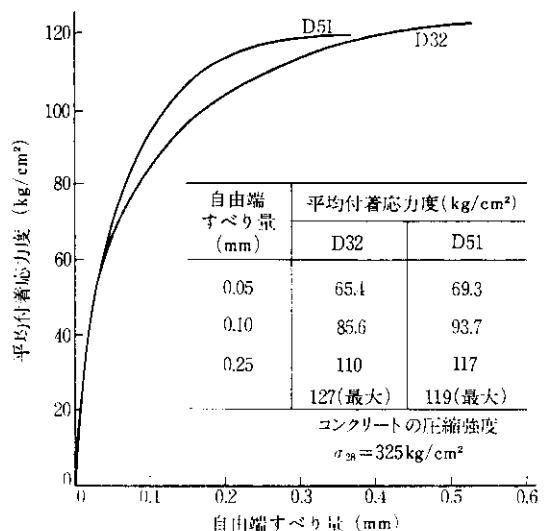


図 8 引抜き試験結果

圧接継手と機械的継手について確性試験を行ない、十分な信頼性が得られることを確認した。

6.1 ガス圧接継手

(1) 試験方法

リバーコンD51のガス圧接性試験を東亜圧接機のアセチレン噴射式圧接法で行なったが、D51のガス圧接法としては、このほか2、3の方法が考案されている。

アセチレン噴射式圧接法は、写真9に示す器具を用いて行なうもので、4個のアセチレンガス噴射口を持つ多口式リングバーナーにより、圧接の初期段階に鉄筋のすき間にアセチレンガスを噴射して圧接面を還元性にし、圧接不良の原因になるSiやMnの酸化物の生成を抑制することによって継手を形成するものである。この方法は、鉄筋の突合せ面のすき間が密着するまで、アセチレ

ンガスを噴射しながら標準炎で加熱するため、火力を弱めることなく施工を行なうことができる。

今回の試験では、圧接継手の性能に大きく影響する突合せ面のすき間を0mmおよび4mmの2水準で実施した。すき間4mmの場合は、0mmに比べて標準炎での加熱時間が若干長くなっている。作業状況を写真10に、また平均的な加圧サイクルを図9に示す。

(2) 試験結果

ガス圧接後の継手部の形状・寸法を表4に示す。前述のように、すき間によって圧接条件を変えているので、ふくらみの大きさがやや異なっているが、ふくらみ径はいずれも $1.5D$ 以上あり、日本建築学会の規準 ($1.4D$ 以上)¹⁰⁾ を満足している。

圧接後、引張り、曲げおよび破面試験を行なっ



写真9 ガス圧接用器具



写真10 ガス圧接作業

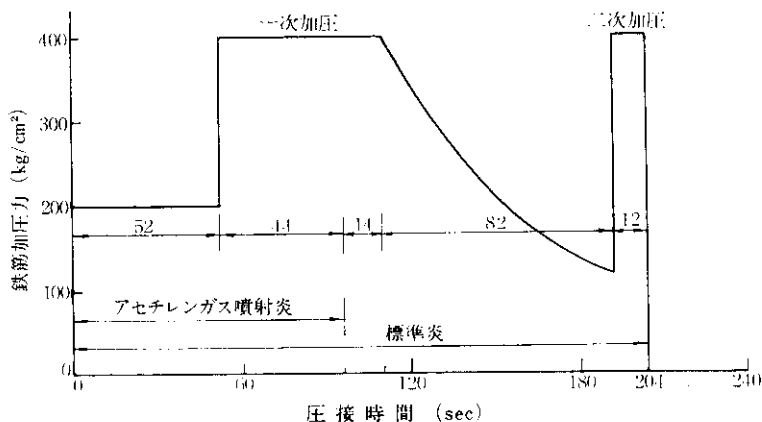


図9 加圧サイクル

た。試験結果は、写真 11, 12, 13, 14 に示すようにいずれも良好であった。ただ、すき間が大きい場合には、加熱時間等を考慮しないとフラット破面が生じやすくなるので注意する必要がある。

本試験の結果リバーコンD51はガス圧接に良好な鉄筋であることがわかった。

図 10 と 写真 15 に圧接部における硬さ分布と顕微鏡組織の一例を示す。圧接部は熱影響で硬くなるが、実用上差しつかえない程度である。組織についても熱影響以外の欠陥は認められず、圧接と鉄筋の条件が良く適合していることを示している。

6.2 カドウェルド継手

カドウェルド継手¹¹⁾は米国の ERICO 社で開発されたもので、図 11 に示すように内面に溝を有しているスリーブを鉄筋の継手部にセットし、スリーブ内に溶融金属を流し込んで接合するものであり、主として溶け込み金属のせん断力により応力を伝達する継手工法である。本継手工法は岡部¹²⁾によって技術導入されたもので、鹿島建設¹³⁾との共同研究により実構造物へ適用されたものである。

当社では、この継手工法を用いてリバーコンD51の確性試験を行ない、スリーブ長さが24cmあれば母材破断することを確認している(写真 16, 表 5)。

表 4 ガス圧接後の形状 (平均値)

圧接のすき間	ふくらみ径 (mm)	ふくらみ径/D	ふくらみ長さ (mm)	縮み代 (mm)
0 mm	リブ側 81.9	1.61	64.5	44.9
	ふし側 77.4	1.52		
4 mm	リブ側 86.4	1.70	66.6	54.4
	ふし側 77.0	1.52		

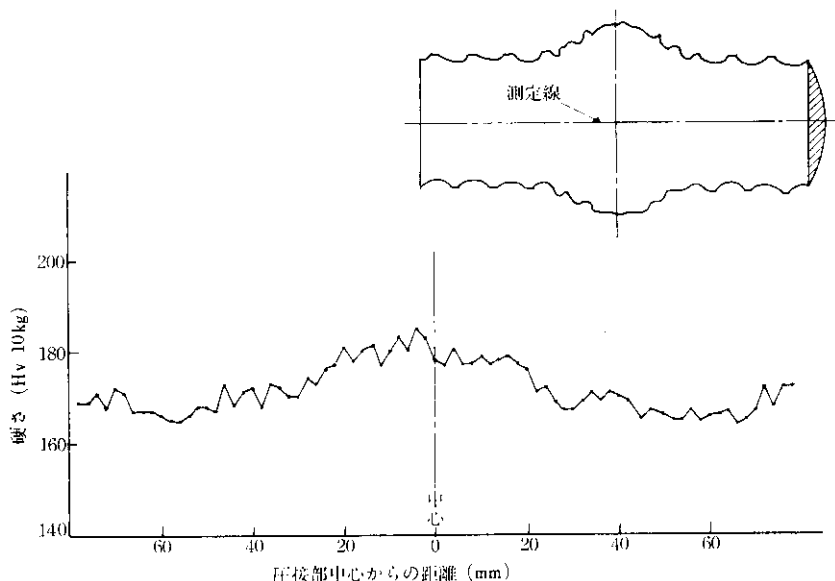
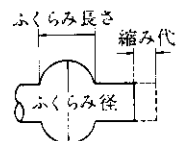


図 10 リバーコンD51圧接部の断面硬さ

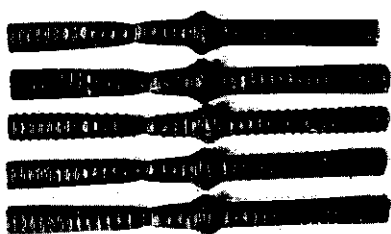


写真 11 引張試験

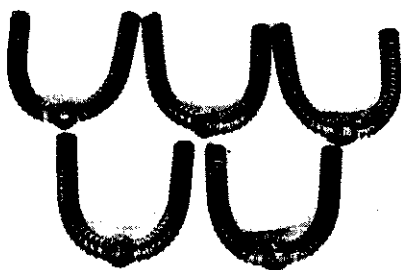


写真 12 曲げ試験

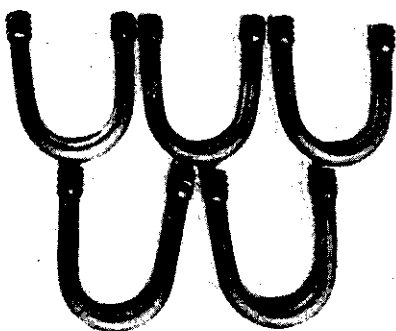


写真 13 曲げ試験 (0.8D 切削材)

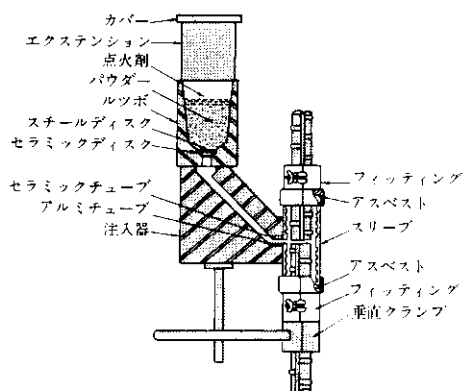


図 11 カドウェルド継手装置

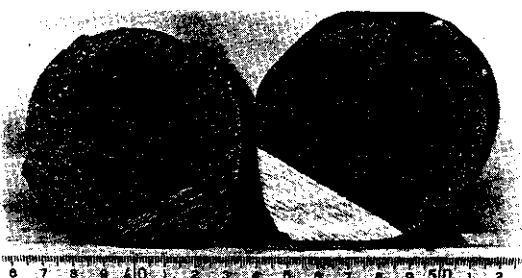
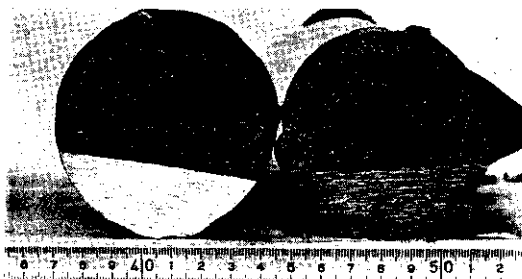
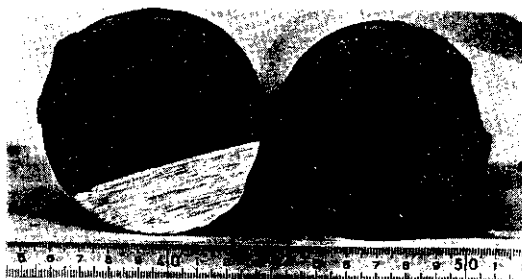


写真 14 破面試験

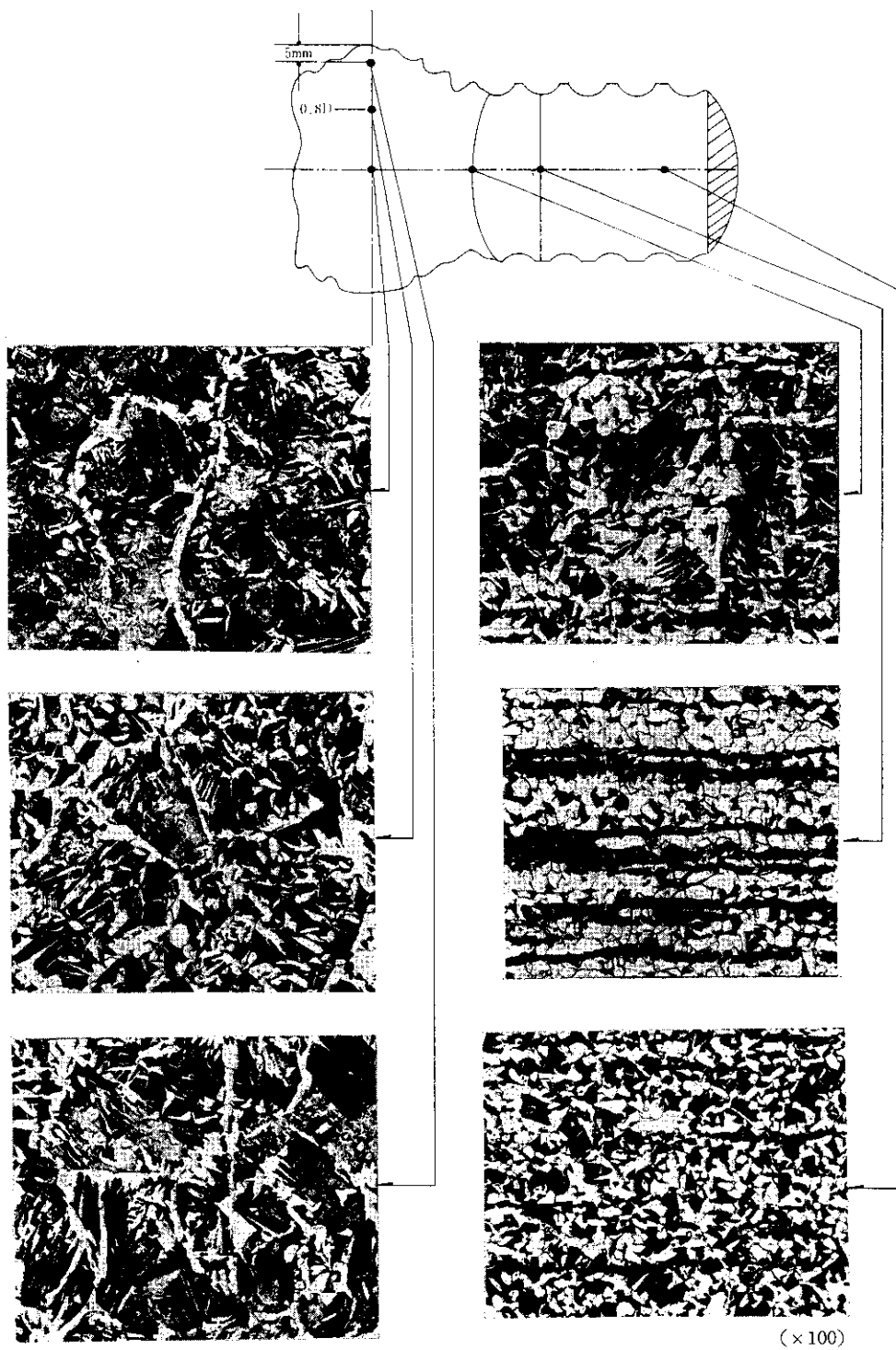


写真 15 圧接部の顕微鏡組織

表 5 カドウェルド継手引張試験結果

No.	接続方法	スリーブ長 (mm)	破断荷重 (t)	引張強さ (kg/mm ²)	破断状況
1	横 型	239.6	109.2	53.9	母材破断
2	"	240.5	110.0	54.2	"
3	"	239.0	110.2	54.3	"
4	縦 型	239.5	109.2	53.9	"
5	"	239.5	109.2	53.9	"
6	"	239.5	109.0	53.8	"

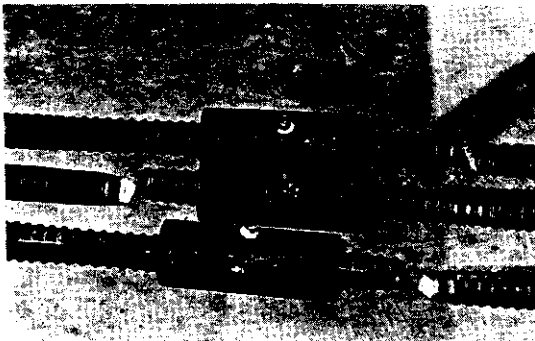


写真 16 カドウェルド継手引張試験

本工法による実構造物への適用はD38まで行なわれており、最近京都市のアパート建設にリバーコンD38が使用された。この建物では、現場での加工を最小限に抑えるために、精密切断を行なった鉄筋が用いられている。

6.3 グリップジョイント

グリップジョイント¹²⁾は西独の Züblin 社によって開発されたもので、㈱大林組によって技術導

入されている。

この継手工法は 図 12 に示すように鉄筋の継手部をスリーブで包み、油圧プレス器で冷間圧着し、ふし内にスリーブをくい込ませることにより、くい込み肉とふしとのせん断力で応力を伝達する工法である。

当社では、リバーコンD51について最小スリーブ長検索試験を行ない、表 6 に示すように最小スリーブ長さが 12.5cm であることをみいだしたが、さらにクリープ試験や繰返し試験を行なった結果、スリーブ長さが 20cm 程度あれば十分であることを確認した(写真 17)。

なお、表 6 に示す締付方向 0°、90° とは、リブを締付ける場合を 0° とし、ふしを締付ける場

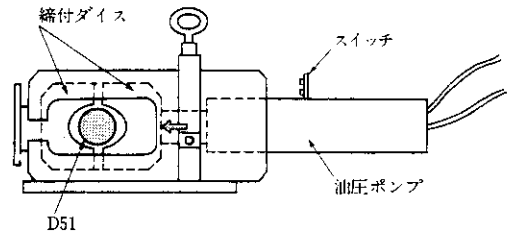


図 12 グリップジョイント締付装置

表 6 グリップジョイント引張試験結果

No.	締付方向	スリーブ長 (mm)		破断荷重 (t)	引張強さ (kg/mm ²)	破断状況
		締付前	締付後			
1	0°	100	108	100.6	49.6	引 抜 け
2	90°	"	110	104.7	51.7	"
3	0°	125	135	110.3	54.4	母材破断
4	90°	"	134	110.4	54.5	"
5	0°	150	159	109.7	54.1	"
6	90°	"	159	110.0	54.3	"
7	素 材			110.4	54.5	

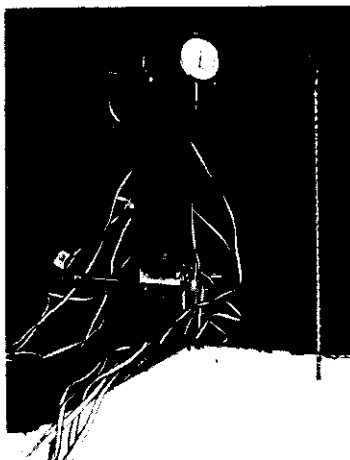


写真 17 グリップジョイント引張試験

合を 90° としたものである。一般的には、ふしを締付ける 90° の方が有利と考えられる。

リバーコンD51は、横ふしをもちふし間隔も小さいため、前述のようなメカニカルな方式による継手には非常に有利となり、スリーブ長さを短くできる鉄筋といえる。

本実験は、㈱大林組技術研究所の協力を得て行なったものである。

7. 現場冷間曲げ試験

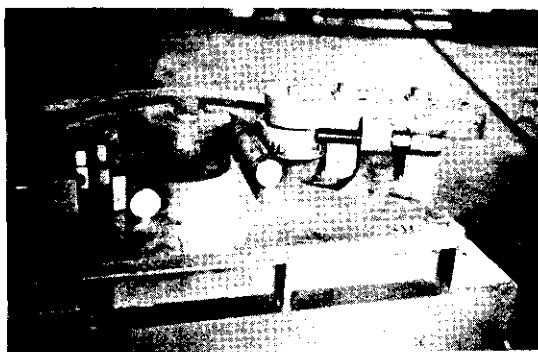


写真 18 リバーコンD51の曲げ加工試験

素材の曲げ性能に関しては4章2節に述べたとおりであるが、現場では冷間曲げ加工機を用いることが多いので、これによる試験を行なった。加工状況を写真18に示す。曲げ直径を $4D$ と $6D$ とし、 180° の曲げを行なったが、割れ折損等も生じなく良好な結果が得られた。

8. あとがき

本報では、太径異形棒鋼の使用増加とともに、D51に対する認識が深まっている現状に即すべく、リバーコンD51の研究のほかその背景についても記述した。

リバーコンD51は、本文に記したようにコンクリートとの付着性ととも、ガス圧接や機械的接合などの現場継手にもすぐれた性能を持っているが、これは

- (1) 横ふし形状である
- (2) ふし間隔 (=15mm) が小さい
- (3) ふしを欠落していない (社章と材質記号はふしの間に挿入)

などによるものであろう。このように、素材ならびに実験室的規模での確性試験についてはほとんど終了し、良好な結果を得ることができた。鉄筋コンクリート構造物としての性能については、現在研究を進めているので、実験が終了した段階で引続いて報告する予定である。

最後に、本研究にあたり当初からご指導をいただきました東北大学工学部後藤教授、尾坂教授、大塚助手、さらにリバーコンD51の実用化にあたってご指導いただきました東京大学工学部国分教授、東京都立大学工学部村田教授ほかの「太径鉄筋研究懇談会」の委員の方々に謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 土木学会：鉄筋コンクリート標準示方書，(1967)
- 2) 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算規準，(1971)
- 3) 国分，岡村：土木学会論文集，(1972) 202，103～113
- 4) 後藤，植田，満木：コンクリートライブラリー，(1965) 14，94～109
- 5) 松岡：川崎製鉄技報，5 (1973) 1，73～84

- 6) 松本：コンクリートライブラリー，(1968) 3, 67～92
- 7) 後藤，嶋，大塚：土木学会第28回年次学術講演会講演概要集第5部，(1973)，111～113
- 8) Y. Goto : ACI Journal, 68 (1971), 244～251
- 9) 村田：セメント・コンクリート，(1965) 223, 13～17
- 10) 日本建築学会：溶接工作規準Ⅲ，ガス圧接，(1973)
- 11) 亀田，宇佐美，小黑，五味，江良，阿部：日本建築学会大会学術講演梗概集，(1973)，1227～1228
- 12) 西川：建築技術，(1973) 263, 137～147

