

論文 鉄筋の諸特性に及ぼすスポット溶接の影響

森濱和正^{*1}・河野 広隆^{*2}・加藤俊二^{*3}

要旨: 鉄筋コンクリート工事の合理化・省力化を図るためにユニット鉄筋の利用が考えられている。ユニット鉄筋は、鉄筋同志を緊結する必要があることから溶接が不可欠である。ところが溶接は、熱等の影響により疲労強度が低下するなどの理由で、その利用が厳しく制限されている。そのため、本論文ではスポット溶接した鉄筋の各種強度試験を行い、溶接が鉄筋の強度に与える影響を調査し、その適用条件を検討したものである。

キーワード: ユニット鉄筋、スポット溶接、引張強度、疲労強度、せん断強さ、引裂き強さ、曲げ性状

1. まえがき

鉄筋コンクリート工事の合理化・省力化が急務となっているが、鉄筋工の省力化の一つにユニット鉄筋の使用が考えられる。ここで、ユニット鉄筋とは、工場などであらかじめある単位で製作した鉄筋網であり、それを現場で組み立てることにより現場の省力化を図るものである。この工法を採用するにあたり、ユニット鉄筋製作の合理化、特に溶接の合理化が必要であり、その方法の一つにスポット溶接（電気抵抗溶接）の使用が考えられる。スポット溶接は、短時間で溶接できるため熱の影響が少ないといわれていること、同時に多点溶接できること、そのため大きな設備を必要とすることから工場製作とならざるを得ないが、そのことで品質管理が行いやすくなることなどからユニット鉄筋の製作

表-1 実験項目と測定項目

実験項目	試験方法	測定項目	試験本数
引張試験	JIS Z 2241	降伏点、引張強さ、伸び、絞り、破断位置	5本
せん断試験	JIS G 3551	せん断強さ、破断面積	5本
引裂き試験		引裂き強さ、破断面積	5本
曲げ試験	JIS Z 2248	荷重、ストローク（曲げ角度）、観察 溶接部分が、引張および圧縮について実施	各3本
疲労試験		疲労強度	6本以上

2. 実験概要

実験に使用した鉄筋の種類は、電炉品で、D10～D16はS D295、D19～D38（ただしD29、D35は除く）はS D345である。実験項目は表-1、試験片の鉄筋の組合せ・形状・溶接点の目標せん断強さは表-2のとおりである。目標せん断強さは、溶接の強度が鉄筋の強度に与える影響を

表-2 試験片

* 鉄筋 組合せ	試験片	
	形状	目標せん断 強さ (tf)
D13-D10 D16-D10	十字	1, 2, 3
D19-D13 D22-D16	網	1, 2, 3
D25-D13 D32-D16 D38-D19	十字	2.5, 4.0, 5.5, 8.0

*左の太径が実験対象、ただし網については両方試験した。

*1 建設省土木研究所材料施工部コンクリート研究室研究員（正会員）

*2 建設省土木研究所材料施工部コンクリート研究室室長（正会員）

*3 建設省土木研究所材料施工部コンクリート研究室

検討するため、設定した溶接強度であり、ユニット鉄筋の最大重量を運送上の制約から、細径は1～2 t、太径は3～4 tと想定して定めた。鉄筋網は、太径鉄筋を長手に配置した網目400×350mmの格子で、網の大きさは4×2 mであり、それを十字に切り出し試験片とした。

表-3 引張試験結果

試験片種類	鉄筋径	破断位置	本数	降伏点 kgf/cm ²	引張強さ kgf/cm ²		伸び %	絞り %	母材比			
					母材比	母材比						
母材	網	D 1 3	5	3805	5504		30.0		60.5			
		D 1 6	5	3917	5664		26.8		54.9			
		D 1 9	5	4395	6544		24.9		52.9			
		D 2 2	5	4544	6667		23.1		44.1			
	十字	D 1 3	5	4059	5960		25.7		54.9			
		D 1 6	5	4052	5943		27.1		54.9			
		D 2 5	5	4498	6435		30.8		54.6			
		D 3 2	5	4291	6087		27.7		51.9			
		D 3 8	5	4008	6153		28.4		36.0			
		D 1 3	溶接外	9	3885	1.021	5639	1.025	16.5	0.551	55.0	0.908
スポーツ溶接	網		溶接部	6	3871	1.017	5407	0.982	11.1	0.370	10.3	0.170
		D 1 6	溶接外	12	3598	0.918	5234	0.924	23.1	0.862	60.4	1.100
			溶接部	3	3604	0.920	5247	0.926	12.5	0.465	22.4	0.408
		D 1 9	溶接外	15	4560	1.038	6683	1.021	20.7	0.833	52.6	0.996
		D 2 2	溶接外	12	4635	1.020	6776	1.016	19.4	0.838	42.2	0.957
			溶接部	3	4641	1.021	6677	1.001	11.4	0.492	11.9	0.270
	十字	D 1 3	溶接外	15	3902	0.961	5610	0.941	24.5	0.954	59.6	1.086
		D 1 6	溶接外	15	3938	0.972	5551	0.934	24.4	0.899	56.2	1.022
		D 2 5	溶接外	20	4217	0.937	6261	0.973	21.7	0.704	48.3	0.883
		D 3 2	溶接外	19	4273	0.996	5794	0.952	23.6	0.853	53.1	1.023
			溶接部	1	4283	0.998	6077	0.998	13.9	0.502	18.0	0.347
		D 3 8	溶接外	11	3941	0.983	5948	0.967	21.4	0.751	36.8	1.022
			溶接部	9	3937	0.982	6022	0.979	16.1	0.565	17.4	0.482

3. 引張試験

引張試験は、JIS Z 2211（金属材料引張試験方法）に準拠した。鉄筋径ごとに破断位置が溶接部とそれ以外の場合に分類して整理した結果を表-3に示す。破断位置で「溶接部」とは、溶接位置とそこから10mm以内で破断した場合であり、それ以外で破断した場合を「溶接外」とした。

溶接した鉄筋の降伏点と引張強さに対する母材との比を図-1に示す。溶接部で破断した場合(黒)とそれ以外(白)で分けて示してある。スポット溶接した鉄筋の強度は、今回の実験では母材の92~102%程度であり、規格値は十分満足していた。溶接部から破断した場合、それ以外の場合との強度差は小さく、強度上はほとんど問題ないことから、設計に用いる引張許容応力度は現行の基準類の値を用いてもさしつかえないものと考えら

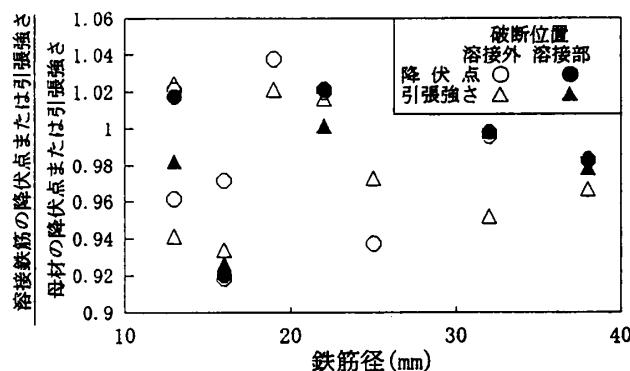


図-1 降伏点、引張強さの母材との比較

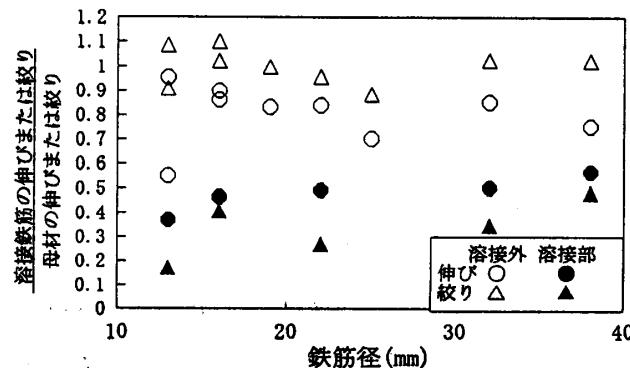


図-2 伸び、絞りの母材に対する比率

れる。しかしながら、伸び、絞りの母材に対する比では、溶接部で破断した場合はかなり小さくなってしまっており(図-2)、伸びの規格値(D16以下は16%、D19以上は18%以上)を大きく下回ったものもある。橋脚基部などのように大変形の繰返しが考えられ、大きな伸び能力が必要な部位には点溶接を制限する必要がある。

4. 疲労試験

疲労試験は、各種類の鉄筋について下限応力を公称降伏点の2%とし、上限応力を変えた。波形はサイン波で、5~10 Hzで載荷した。

疲労試験の結果の例を図-3に示す。図中の回帰直線は、コンクリート標準示方書(土木学会、以下示方書)に示されている鉄筋の設計疲労強度算定式(学会式)で回帰した結果であり、回帰係数 α 、 k を表-4に示す。表-4には比較のためにアーチ溶接の結果[1]も示した。

回帰結果と示方書の推奨値から計算した200万回疲労強度の比は、図-4に示すように溶接することにより疲労強度は低下するが、示方書に規定されている溶接した場合の疲労強度(学会式の50%)はほとんど満足している。母

材の200万回疲労強度と比

較すると、図-5のように鉄筋径が太くなるほど強度の比は大きくなってしまっており、熱の影響による強度の低下は少ないことを示している。また、アーチ溶接と比較した場合も、スポット溶接のほうが20%程度疲労強度が高く、スポット溶接は短時間で溶接できることから、アーチ溶接よりも熱の影響が少いものと考えられる。

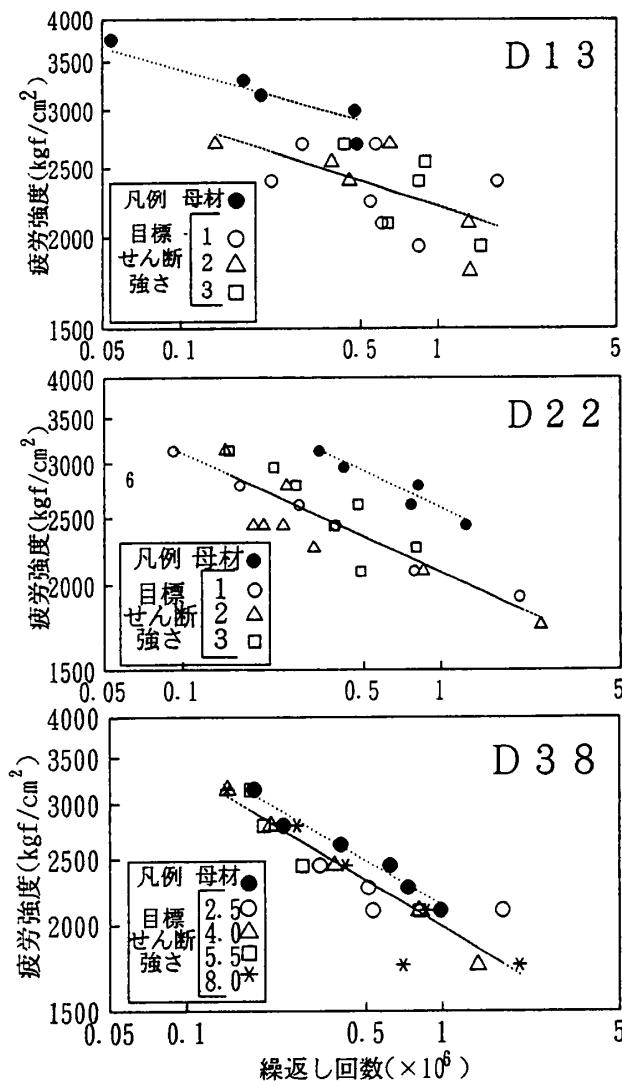


図-3 疲労試験結果

表-4 疲労試験の回帰試験結果

溶接の種類	鉄筋種類	α	k	200万回疲労強度(kgf/cm²)		
				示方書実験結果(注)回帰係数	示方書実験結果(注)回帰係数	①示方書(2)注)実験結果(%)
スポット溶接	D13 母材	0.86	0.765	0.101	2372	2521 106 -
	D13 溶接全体		0.768	0.116		2042 86 81
	D16 母材	0.85	0.551	0.061	2322	2733 118 -
	D16 溶接全体		1.560	0.249		1839 79 67
	D19 母材	0.84	0.538	0.057	2270	2837 125 -
	D19 溶接全体		0.794	0.126		1916 84 68
	D22 母材	0.82	1.216	0.179	2218	2282 103 -
	D22 溶接全体		1.088	0.174		1847 83 81
	D25 母材	0.81	1.365	0.216	2175	1903 87 -
	D25 溶接全体		1.211	0.205		1554 71 82
アーチ溶接	D32 母材	0.80	1.584	0.272	2058	1389 67 -
	D32 溶接全体		1.372	0.247		1221 59 88
	D38 母材	0.78	1.363	0.218	1970	1836 93 -
	D38 溶接全体		1.380	0.226		1700 86 93
	D13 なし	0.86	0.507	0.057	2248	2494 111 -
アーチ溶接	D13 あり		1.570	0.281		1118 50 45
	D19 なし	0.84	0.619	0.078	2148	2380 111 -
	D19 あり		1.639	0.284		1255 58 53
	D25 なし	0.82	0.922	0.133	2052	2153 105 -
	D25 あり		0.835	0.143		1524 74 71

注) 土木学会:コンクリート標準示方書・設計編

5. せん断・引裂き試験
ユニット鉄筋の移動・組立て時やコンクリート打設時に溶接点に各種荷重が作用することから、溶接点のせん断強さや引裂き強さがユニット鉄筋の製作のときの溶接強度の指定や品質管理に重要と考えられるため、これらの実験を行った。せん断試験は、JIS G 3551（溶接金網）に規定されている溶接点せん断強さ試験に準じて行った。引裂き試験は、図-6のように溶接部分を引きはがす試験である。

試験結果を表-5、図-7および8に示す。せん断強さは、目標値に対して鉄筋径が太くなるほど大きくなる傾向にある。D22以下についてみてみると、D13は目標値に対して下回っているが、D16はほぼ目標値どおり、D19では目標値1および2tfではかなり上回り、D22は全体に大きく上回っている。

これは、鉄筋径が太くなるほど曲率は小さくなるため大きな溶接面積が得やすくなるためと考えられる。せん断強さのばらつきの範囲は、最大値は最小値の2倍程度もの開きがあり、製作に用いるせん断強さは設計荷重を下回らないような管理が必要と考えられる。

引裂き強さも鉄筋径が太くなるほど大きくなっているが、目標せん断強さの増加に対する引裂き強さの増加はわずかであった。せん断強さに対しては概ね2/3であり、品質管理には試験の簡単なせん断強さ試験を行っておけば、引裂きのような荷重に対しても強度が推定できる。

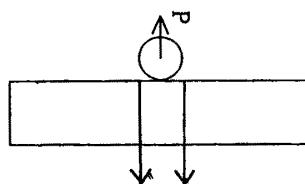


図-6 引裂き試験

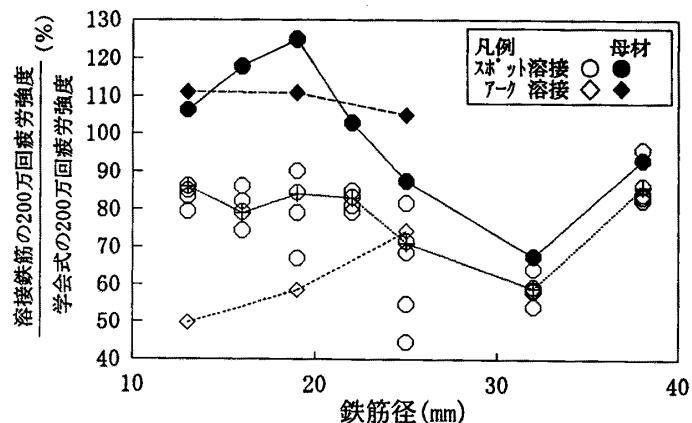


図-4 疲労強度（学會式との比較）

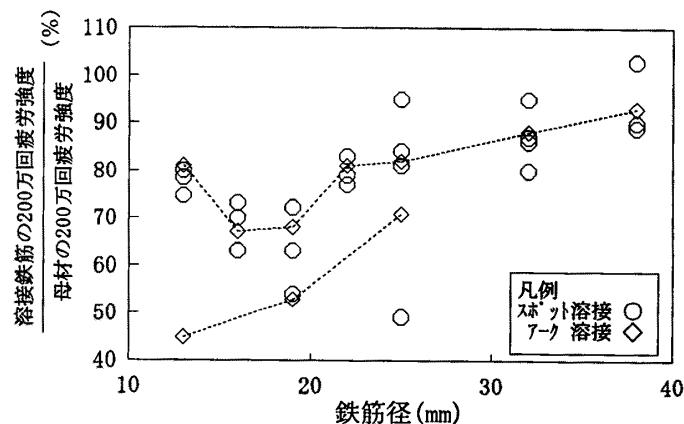


図-5 疲労強度（母材との比較）

表-5 せん断および引裂き試験結果

鉄筋組合せ	目標せん断強さ(tf)	せん断強さ(tf)			引裂き強さ(tf)		
		最大	最小	平均	最大	最小	平均
D13-D10	1.0	1.90	1.28	1.62	1.68	1.07	1.40
	2.0	2.10	1.24	1.74	1.51	1.04	1.30
	3.0	2.70	2.29	2.52	2.17	1.69	1.86
D16-D10	1.0	1.89	0.81	1.41	1.60	1.18	1.45
	2.0	1.86	1.53	1.70	1.70	1.18	1.39
	3.0	3.16	2.17	2.73	1.80	1.27	1.60
D19-D13	1.0	2.34	1.34	2.02	2.38	1.37	1.92
	2.0	4.26	2.24	3.12	2.52	1.61	2.10
	3.0	4.05	2.38	3.13	2.86	2.02	2.44
D22-D16	1.0	2.79	1.26	1.97	2.68	2.06	2.30
	2.0	4.26	3.02	3.71	3.08	2.28	2.63
	3.0	4.43	2.95	3.73	3.94	2.40	3.09
D25-D13	2.5	3.94	3.38	3.59	3.41	2.83	3.08
	4.0	4.32	3.38	4.04	3.90	2.65	3.28
	5.5	4.48	3.90	4.19	2.74	2.15	2.51
	8.0	4.86	3.58	4.08	2.89	2.55	2.72
D32-D16	2.5	4.54	3.92	4.26	3.88	2.55	3.16
	4.0	5.16	4.20	4.74	4.20	2.24	3.10
	5.5	6.18	4.34	4.91	4.24	2.59	3.37
	8.0	7.48	4.90	5.92	4.81	2.99	3.82
D38-D19	2.5	4.84	4.00	4.40	4.87	3.25	3.94
	4.0	7.18	3.04	5.11	5.94	3.55	4.43
	5.5	7.32	4.58	5.91	5.83	2.75	4.24
	8.0	10.62	6.28	7.80	5.94	3.72	4.96

表-6 曲げ試験結果

鉄筋径	目標せん断強さ(tf) 平均(度)	溶接部圧縮観察		溶接部引張観察	
		曲げ角度	曲げ角度	曲げ角度	曲げ角度
D13	母材	172	なし	145	あり
	1	172	"	128	"
	2	171	"	172	"
	3	171	"		
D16	母材	172	"	172	一部あり
	1	171	"	148	"
	2	170	"	147	"
	3	170	"		
D19	母材	169	"	47	あり
	1	134	一部	36	"
	2	131	一部	40	"
	3	169	あり		
D22	母材	168	なし	30	あり
	1	167	あり	29	"
	2	166	"	29	"
	3	167	"	34	"
D25	母材	163	なし	67	あり
	2.5	163	"	73	"
	4.0	163	一部	73	"
	5.5	163	"	73	"
	8.0	163	なし	163	一部
D32	母材	155	"	21	あり
	2.5	155	"	26	"
	4.0	155	"	24	"
	5.5	155	"	23	"
	8.0	155	"		
D38	母材	149	"	149	あり
	2.5	149	"	20	"
	4.0	149	"	21	"
	5.5	149	"	26	"
	8.0	149	"		

注) 観察の、なし:割れやキレツなし
あり: 3本とも割れやキレツあり,
一部: 3本のうち1本でも割れやキレツあり

6. 曲げ試験

溶接した鉄筋の曲げ加工の可能性を検討するため、曲げ試験を行った。試験は、JIS Z 2248 (金属材料曲げ試験方法) の押曲げ法に準じ、曲げ半径をD16以下は鉄筋径の1.5倍、D19以上は鉄筋径の2倍とし、溶接点が引張側になる場合と、圧縮側になる（溶接点を巻き込む）場合について行った。また、鉄筋が割れるまで、または割れることなく試験機の最大能力まで押し込んだときの変位を測定し、図-9のように曲げ角度2θを求めた。

曲げ試験結果を表-6、図-10に示す。溶接点を巻き込む場合、一部の鉄筋を除き180°近く曲げても変状はなく、曲げ半径を多少大きくすることにより曲げ加工は可能と考えられる。溶接点が引張

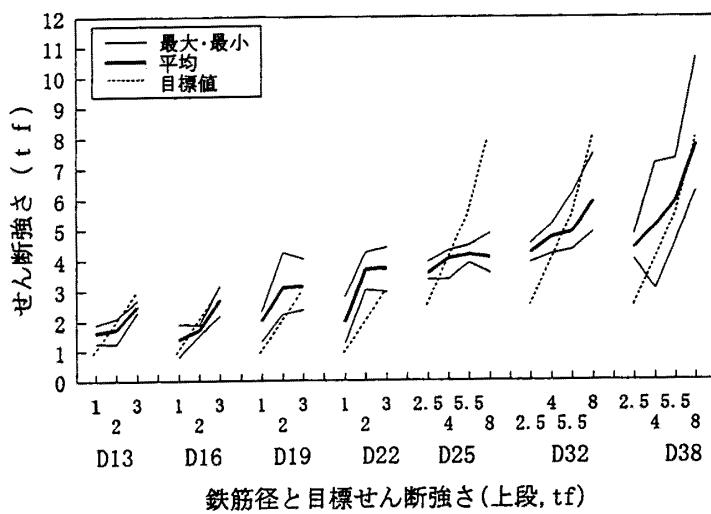


図-7 せん断試験結果

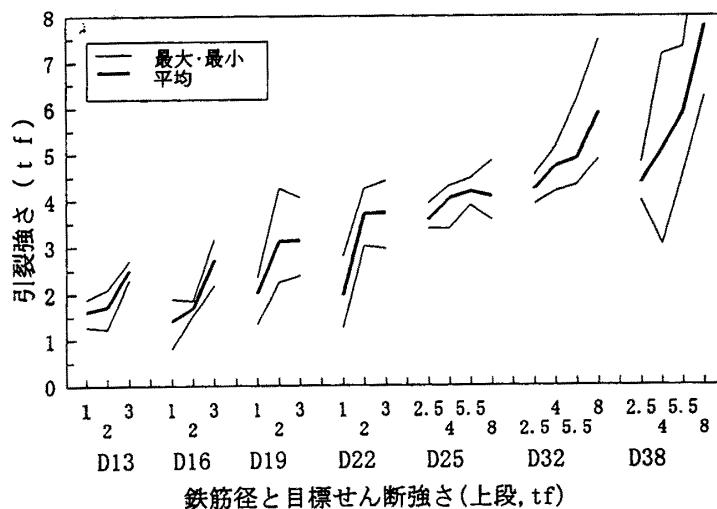


図-8 引裂き試験結果

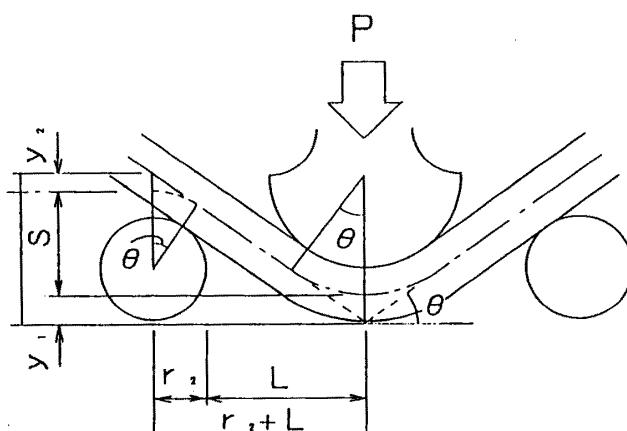


図-9 曲げ試験

になる場合、すべて割れまたはキレツを生じた。目標せん断強さにはほとんど関係なく、鉄筋径が太くなるほど小さい曲げ角度で割れを生じる傾向にある。D32、D38は20°程度で割れを生じており、フックなど曲げ半径が小さい場合溶接点が引張を受けるような曲げ加工は避けることが望ましい。

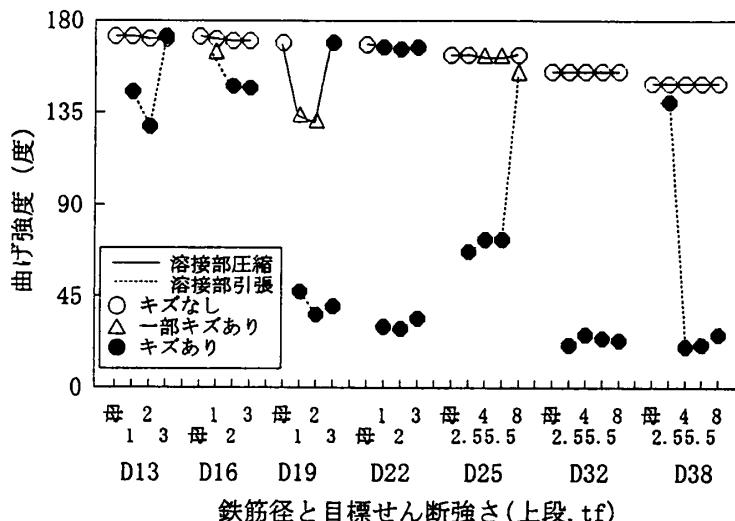


図-10 鉄筋の曲げ試験結果

7. まとめ

- スポット溶接した鉄筋の強度試験を行った結果、以下のことが明らかになった。
- ① 引張強度に与える溶接の影響は小さく、母材に対して90%以上の強度は確保されており、規格値も十分満足した。溶接部で破断した場合も強度的には問題ないことから、引張許容応力度は現行規準の値を用いてもさしつかえない。ただし、伸びが小さくなるため、塑性ヒンジが形成されるなど伸び能力を要求される部位では溶接をさけることが望ましい。
 - ② 疲労強度は、溶接による温度の影響により低下するが、鉄筋径が太くなるほどその影響も小さくなり、細い径のものは母材の67%であったが、D38は母材の93%であり、示方書の規定（学会式の50%）はほとんど上回った。また、アーク溶接に比べ疲労強度が高く、熱の影響による強度低下は小さい。
 - ③ 溶接点のせん断強さは、鉄筋径が太いほど高い強度が得やすい。ばらつきはかなり大きいため、ユニット鉄筋の製作に用いるせん断強さは設計荷重を下回らないような管理が必要と考えられる。
 - ④ 引裂き強さは、せん断強さの2/3程度であり、品質管理には試験の簡単なせん断強さ試験を行っておけばよい。
 - ⑤ 溶接点を巻き込む曲げ加工は可能であるが、引張になるような場合は割れやすく、わずかな曲げ能力しかないと、フックなど曲げ半径が小さい場合は避けたほうがよい。

8. あとがき

以上の結果より、溶接部の破断の伸びなど何点かの注意点はあるものの、擁壁、ボックスカルバートなど静的な構造物にスポット溶接によって製作されたユニット鉄筋を使用できることが明らかになった。

なお、本実験は、建設省総プロ「建設事業における施工新技術の開発」の鉄筋コンクリートワーキング（リーダー：檜貝山梨大学教授）で、（株）諏訪熔工の協力のもとに土木研究所と先端建設技術センター、民間11社の共同研究で行ったものである。

【参考文献】

- [1]小林ほか：コンクリート用鉄筋に関する検討、土木研究所資料、Vol.30, No.12, pp. 51-57, 1988. 12