

論文 高温加熱による鉄筋継ぎ手圧着工法の開発研究

岩原 昭次*

要旨：本研究で提案する継手工法は、継手部品である中空鋼管(スリーブ)を高温加熱(800～1000℃程度)して鉄筋に圧着する工法であり、そのため、それ自体の継手としての性能が発揮できることの確認が必要であることのほかに、高温加圧に対する中空鋼管と鉄筋の機械的物性の変状を明確にする必要がある。本工法の継手に対する力学的性能は継手性能実験により検証することができた。また、ロックウェル硬さ試験を行い、継手部の機械的物性を検討し、高温加熱による圧着が継手部に変状を与えないことを示した。

キーワード：中空鋼管，圧着，継手性能，ビッカース硬さ

1. はじめに

鉄筋継手には、在来の重ね継手や圧接継手の他に溶接継手、機械式継手および圧着継手など、種々の継手が提案され、開発・実用化されている。その実用化件数は、平成3年の建設省住指発第31号「特殊な鉄筋継手の取扱いについて」以降、新規あるいは追加を含めて平成15年度までに200件以上、特に、最近10年程度においては年間約15～20件以上となっている。しかし、これら既往の継手は、圧接継手と溶接継手以外に、鉄筋の熱特性とその熱管理などの観点から、高温加熱の活用は行われていない。

本研究で提案する継手工法は、継手部品である中空鋼管(スリーブ)を高温加熱(800～1000℃程度)して鉄筋に圧着する工法であり、既存の圧着工法(冷間圧着工法)が常温で行われるのに対して、圧接継手と溶接継手以外の鉄筋継手の分野に高温加熱による加圧・圧着を積極的に活用するものである。また、本工法は、中空鋼管を高温加熱した状態で加圧するため、比較的大きくない加力で、外観形状が竹節などのような凹凸を有するものであれば、どのような鉄筋にも中空鋼管を圧着できるという汎用性に優れるとともに、また中空鋼管を鉄筋の凹凸面によく圧着できるという特徴を有する。

この種の研究は、今のところ、国内外ともに見られないようである。

しかしながら、鉄筋継手に高温加熱による加圧・圧着を活用するためには、それ自体の継手としての性能が発揮できることを確認することの他に、下記の事項についても検証する必要がある。



- a 高温加熱・加圧に対する中空鋼管と鉄筋の機械的物性の変状
- b 圧着方法とその治具の開発
- c 最適な加熱温度と加熱方法

以上の観点から、本研究は、継手性能の検証を行うとともに、高温加熱・加圧に対する中空鋼管と鉄筋の機械的物性の変状を明らかにすることを目的とする。

なお、ここでは高温加熱による加圧・圧着を活用した鉄筋継手工法を熱圧着継手工法と称することにする。

2. 熱圧着継手工法の概要

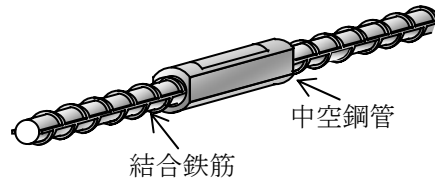
2.1 工法概要

熱圧着鉄筋継手工法は、主にコンクリート系建築物あるいは構造物中の継手において鉄筋を、に示すように、中空鋼管()の両側から挿入し、その状態で中空鋼管部分を800～1000℃に加熱し、圧着させる工法である。なお、中空鋼管の材質はS45Cである。対象とする異形鉄筋の材質はSD295A, SD345およびSD390の3種類、鉄筋径はD10～D32とする。

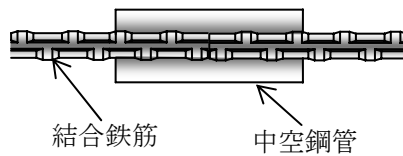
* 崇城大学 工学部建築学科助教授 工博 (正会員)

2.2 中空鋼管

中空鋼管の断面寸法は、異形鉄筋に対しては当該鉄筋の材質に関係なく応力 σ_S を一律材質SD390の場合の引張強さの下限值(560N/mm²)、中空鋼管に対しては応力 σ_K をS45Cの降伏点応力(345N/mm²と仮定)として、 $\sigma_S S_t \leq \sigma_K S_1$ を満たすように求めた。ただし、 S_t は異形鉄筋の公称断面積、 S_1 は中空鋼管の断面積である。



(a) 外観形状



(b) 断面図

図-1 継手部の形状

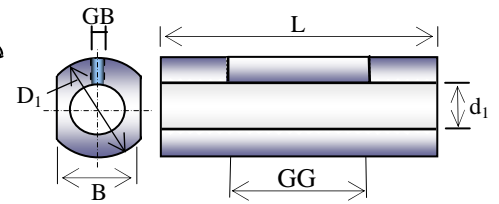


図-2 中空鋼管の形状と寸法

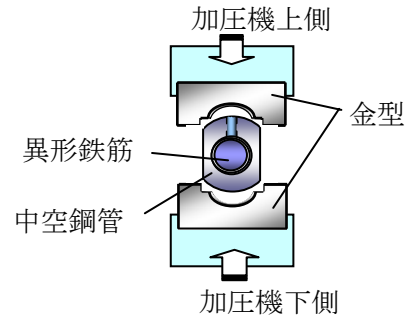


図-3 加圧方法

なお、D10の外径寸法はD13に対する計算結果をそのまま採用した。

表-1に中空鋼管の形状寸法を示す。寸法位置については図-2を参照。

表-1 中空鋼管の寸法(mm) (鉄筋の鋼種SD295A, SD345およびSD390共通)

名称	CRN10	CRN13	CRN16	CRN19	CRN22	CRN25	CRN29	CRN32
対象鉄筋	D10	D13	D16	D19	D22	D25	D29	D32
外径 D_1	28	28	33	38	43	50	55	60
内径 d_1	11	14.5	18.5	21.5	25	28	33	36
断面の幅 B	24	24	28	33	37	42	47	51
肉厚 t_c	8.5	6.75	7.25	8.25	9.0	11.0	11.0	12.0
最小厚さ t	6.5	4.75	4.75	5.75	6.0	7.0	7.0	7.5
長さ L	67	89	111	134	155	178	200	223
開口部の幅 GB	3	4	4	5	6	7	8	9
開口部の長さ GG	22	30	37	45	52	59	67	74

(注) 中空鋼管の内径 d_1 は、最低、公称直径の1.5mm厚とする。

2.3 加圧・圧着方法

図-3に示すように、加圧部分が上下方向に作動する加圧機を用いて、加熱した中空鋼管を鉄筋に圧着した。その加圧部分には中空鋼管を鉄筋に圧着するための圧着金型を取付けている。圧着金型は機械用鋼材S45Cで製作している。また、加圧機の加圧力は最大300kN程度で、1分間に6回以上の繰返し加圧が可能なものとした。

2.4 継手の製作方法

継手は加熱、加圧・圧着の操作を1工程とし、鉄筋径に応じて次のaとbの2形式で製作した。

a D10~D22 : 1工程(加圧・圧着の繰返しは鉄筋径に応じて異なる)。

b D25~D32 : 2工程(それぞれの工程における加圧・圧着の繰返しは鉄筋径に応じて異なる)。

bの製作方法の流れを図-4に示す。aの場合は「2工程目」部分を行わない。

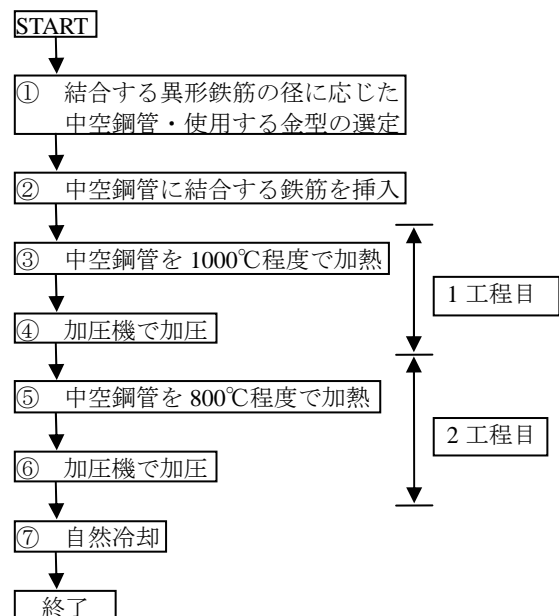


図-4 熱圧着継手施工手順 (D25~D32の場合、2工程)

および2工程目(同800°C~1000°C)の段階でそれぞれ1回ずつ行う。また、加圧は1工程目の

段階で最大 10 回の繰返し，2 工程目の段階で 5 回の繰返しとした。

3. 実験概要

3.1 加力方法

継手の実験は，平成 3 年建設省住指発第 31 号に記載の継手性能 SA 級と A 級に対する次の 2 つの項目とした。

- a 一方向引張実験
- b 弾性域正負繰返し実験と塑性域正負繰返し実験を組合せた実験(単に弾塑性繰返し実験と略する)とする。

図-5 に一方向引張実験， 図-6 に弾塑性繰返し実験における加力方法を示す。

3.2 測定治具と加力試験機

特定検長間の伸び量の測定治具は図-7 に示すものを，また継手試験体に対する一方向引張実験と弾塑性繰返し実験の加力には写真-1 に示す疲労試験機(ストローク：±120mm)を用いた。

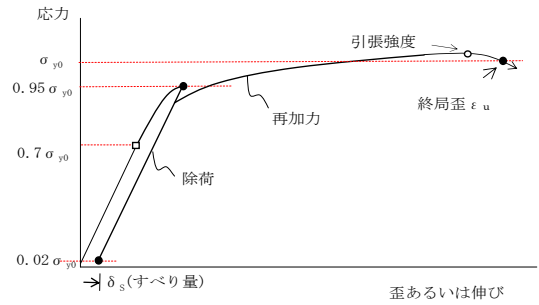


図 5 一方向引張実験の加力方法

- A:一方向引張実験 (A 級継手, SA 級継手) ($0.95\sigma_{y0J}$ まで 1 回)
- B:弾性域正負繰返し実験 (A 級継手, SA 級継手)
($-0.5\sigma_{y0J} \sim 0.95\sigma_{y0J}$ まで 20 回繰返し)
- C:塑性域正負繰返し実験 (A 級継手)
($-0.5\sigma_{y0}$ を下限値として $2\varepsilon_y$ まで 4 回繰返し)
- D:塑性域正負繰返し実験 (SA 級継手)
($-0.5\sigma_{y0}$ を下限値として $5\varepsilon_y$ まで 4 回繰返し)

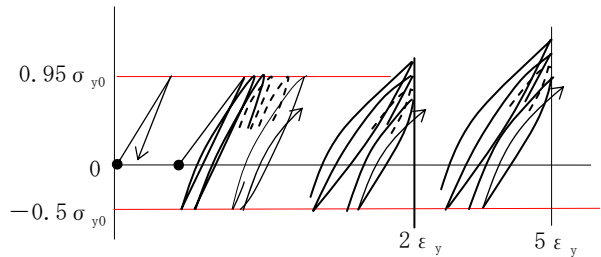


図-6 弾塑性繰返し実験の加力方法

4. 鉄筋の機械的性質に関する実験結果

鉄筋と使用する中空鋼管の加熱に対する機械的性質の変状を検討することを目的に，1000℃程度の加熱・自然冷却の操作を 1 回～3 回繰返しを行い，これが鉄筋 (D25:材質 SD390) と中空鋼管の素材 (材質:S45C) の引張強度や弾性剛性などに及ぼす繰返し加熱の影響を検討した。

鉄筋の引張試験結果を図-8 に示す。加熱・自然冷却を 0 回(しない場合)，1 回，2 回，3 回ともほぼ同様の応力-歪履歴を示した。

また，中空鋼管の素材の引張試験結果を図-9 に示す。加熱・自然冷却 1 回のは明確な降伏棚を示し，素材(加熱・自然冷却 0 回)のものよりも高い値を示した。加熱・自然冷却 2 回，3 回は明確な降伏点を示さないが，3 つとも同じような応力-歪履歴を示した。

5. 継手性能に関する実験結果

継手実験は当該鉄筋径当該材質のものに対して 3 本ずつ行った。

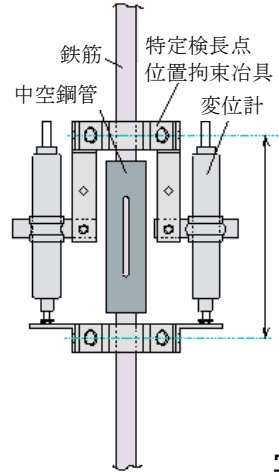


図-7 測定治具



写真-1 1000kN 油圧サーボ型疲労実験機

このうち，同鋼種同径鉄筋継手について，図-10 に適用範囲中最も小さい D10(材質: SD 295A) の一方向引張実験と弾塑性繰返し実験結果の，また，図-11 に適用範囲中最も大きい D32 (材質: SD390) の同鋼種同径継手の一方向引張実験結果と弾塑性繰返し実験結果の応力-歪履歴を示す。両図には弾塑性域正負繰返し実験中の弾性域正負繰返し 20 回部分の応力-歪履歴も合わせて拡大して示した。両試験体の場合

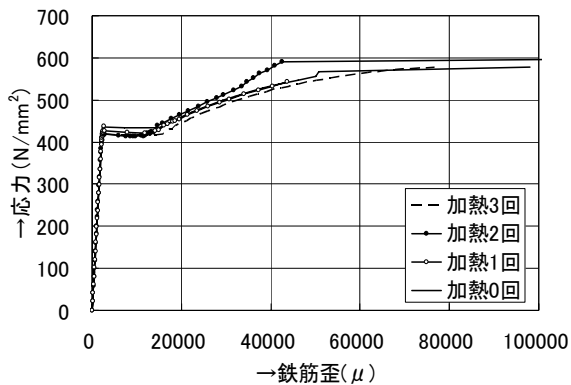


図-8 D25 (SD390) 鉄筋の加熱 3 回までの応力-歪曲線

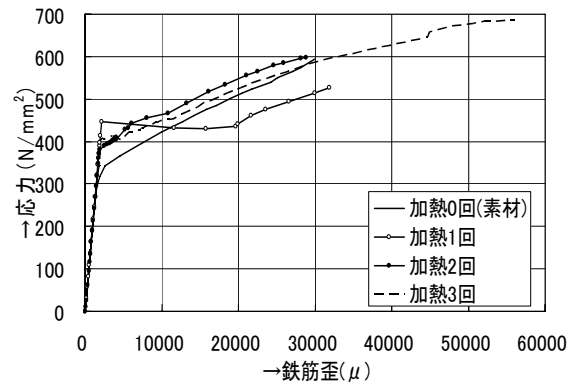


図-9 中空鋼管の素材 (S45C) の加熱 3 回までの応力-歪曲線

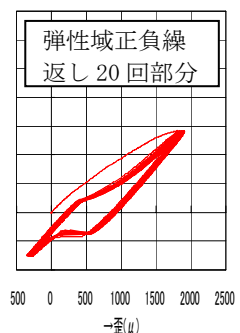
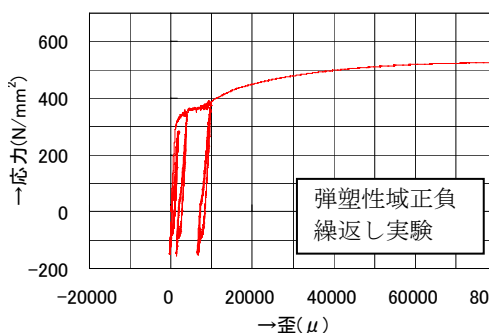
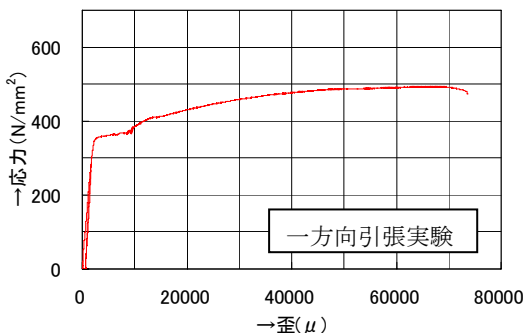


図-10 D10 (SD295A) 応力-歪関係

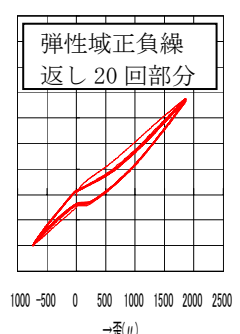
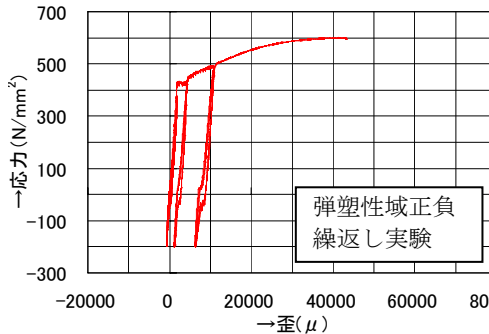
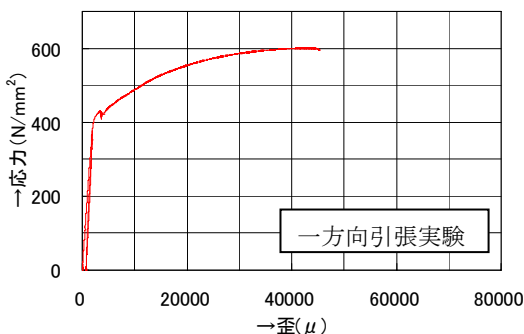


図-11 D32 (SD390) 応力-歪関係

ともに、弾性域正負繰返し 20 回の履歴で示されているように、繰返し加力に対してバナナ状のループを描くのが特徴となっている。

実験結果を表-2 と表-3 に一覧する。

いずれの実験においても、全ての試験体は継手性能判定基準 A 級を満たし、継手性能判定基準 SA 級を満たさないものは一方向引張実験で 5 体、弾塑性域繰返し実験で 3 体の合計 8 体であった。試験体は、中空鋼管の両側から挿入した 2 つの鉄筋の両端を手で支えた状態でその中空鋼管部分を加熱・加圧して製作しているため、試験体の約 2 割に中空鋼管部分で 5~10mm 程度の反りが見られた。反りが小さいかあるいは見

られない試験体は全て継手性能判定基準 SA 級を示した。一方、A 級となった試験体はいずれも中空鋼管部分にこのような反りが見られたものであり、反りが起きないように製作されていれば、SA 級をも満たしたと考えられる。

実際の施工にあたっては、反りが起こらないことが望ましいので、現場では加圧時に中空鋼管に反りが生じないように、結合する両鉄筋を強固に拘束するなどの工夫が必要と考えられる。

6. 鉄筋と中空鋼管の加熱による硬さなど

数分間という短い時間ではあるが、鉄筋を挿入した中空鋼管部分を 800 度以上~1000℃程度

表-2 一方向引張試験(破断まで実施)結果一覧

鉄筋の種類	剛性			靱性			強度				判定
	0.7 σ_{y0} 時	0.95 σ_{y0} 時	すべり量	降伏歪	終局歪		最大応力 σ_b N/mm ²	σ_b / σ_{y0}	σ_b / σ_{b0}	降伏応力 σ_y N/mm ²	
	$0.7\sigma_{y0}E/E_0$	$0.95\sigma_{y0}E/E_0$	δ_s (mm)	ϵ_y (%)	ϵ_u (%)	ϵ_u / ϵ_y					
D10-A	0.98	0.96	0.06	0.195	7.41	38.10	499.6	1.69	1.14	361.7	A級
D16-A	1.06	1.02	0.08	0.170	5.54	32.41	491.8	1.667	1.12	340.5	A級
D22-A	1.11	1.07	0.08	0.168	5.07	30.54	551.1	1.87	1.25	364.1	SA級
D13-B	1.04	0.98	0.10	0.200	5.25	25.99	560.6	1.560	1.14	394.5	A級
D25-B	1.14	1.11	0.09	0.175	5.83	33.60	561.1	1.627	1.14	389.7	SA級
D32-B	1.10	1.01	0.15	0.176	5.14	29.46	553.5	1.61	1.13	385.6	SA級
D16-C	1.01	1.13	0.07	0.193	4.52	23.50	621.4	1.59	1.11	445.2	SA級
D25-C	1.17	1.06	0.14	0.185	5.58	30.17	594.9	1.53	1.06	426.2	SA級
D32-C	1.00	0.95	0.22	0.216	5.62	26.03	592.4	1.52	1.06	426.7	A級
継手性能判定基準	≥ 0.9	≥ 0.7	≤ 0.3		≥ 2	≥ 10		≥ 1.35	≥ 1		A級
	≥ 1	≥ 0.9	≤ 0.3		≥ 4	≥ 20		≥ 1.35	≥ 1		SA級

(注1) 鉄筋の種類において、A：材質 SD295A B：材質 SD345 C：材質 SD345 を表す。

(注2) 表中の値はそれぞれ3本の平均値である。ただし、判定においては、3本のうち1本でもSA級を満たさない場合は、平均値がSA級であっても、A級とした。

表-3 弾塑性繰返し試験結果一覧

鉄筋の種類	弾性域正負繰返し試験		塑性域正負繰返し試験							判定
	剛性		すべり量				強度			
	すべり量 ${}_{20C}\delta_s$ (mm)	${}_{4C}\delta_s$ (mm)	${}_{4C}\epsilon_s$ (μ)	${}_{4C}\epsilon_s / \epsilon_y$	${}_{8C}\delta_s$ (mm)	${}_{8C}\epsilon_s$ (μ)	${}_{8C}\epsilon_s / \epsilon_y$	最大応力 σ_b N/mm ² [σ_b / σ_{y0}]	終局歪 ϵ_u (%)	
D10-A	0.10	0.00	19	0.01	0.02	171	0.09	509.3[1.72]	7.47	A級
D16-A	0.08	0.04	279	0.16	0.07	447	0.26	493.1[1.67]	4.96	SA級
D22-A	0.09	0.07	356	0.21	0.10	616	0.37	549.2[1.86]	5.63	SA級
D13-B	0.14	0.04	295	0.14	0.07	511	0.26	574.9[1.67]	5.23	A級
D25-B	0.11	0.07	329	0.19	0.22	936	0.54	563.5[1.63]	4.74	SA級
D32-B	0.16	0.15	527	0.30	0.31	1132	0.64	558.0[1.62]	4.65	SA級
D16-C	0.07	0.067	407	0.20	0.13	777	0.38	624.2[1.60]	4.99	SA級
D25-C	0.01	0.11	490	0.27	0.25	1077	0.58	596.2[1.53]	5.45	A級
D32-C	0.19	0.14	477	0.22	0.40	1403	0.65	601.6[1.54]	4.35	SA級
継手性能判定基準	≤ 0.3	≤ 0.6		≤ 1.0	-		-	[≥ 1.35]		A級
	≤ 0.3	≤ 0.3		≤ 0.5	≤ 0.9		≤ 1.5			SA級
備考	降伏歪 ϵ_y は一方向引張り実験結果の値を使用									

(注1) 鉄筋の種類において、A：材質 SD295A B：材質 SD345, C：材質 SD345 を表す。

(注2) 表中の値はそれぞれ3本の平均値である。ただし、判定においては、3本のうち1本でもSA級を満たさない場合は、平均値がSA級であっても、A級とした。

に加熱し、その状態の下で同部分を加圧・圧着するので、中空鋼管のみならず鉄筋に対しても機械的性状や金属組織に変状を及ぼすことが考えられる。ここでは、その変状のうち加熱・圧着による硬さと鉄筋断面の形状変化を検討した。硬さはロックウェル硬さ試験により、中空鋼管と鉄筋の形状変化は目視によった。

6.1 ロックウェル硬さ試験

(1) 採取位置と試験片の種別

ロックウェル硬さ試験は、試験片を継手試験体から抽出し、鉄筋D10～D32に対する全ての中空鋼管(8種類、加熱有り)と非加熱の中空鋼管単体について、また鉄筋は継手内部のものとしてD10(SD295A)、D13(SD345)、D16(SD295A)およびD22(SD295A)の4種類、加熱有り)と非加熱部分(素材も含む)について実施した。

(2) 試験方法と測定位置

試験機は明石製作所製(形式 AR-10)のものを

いた。試験片は輪切り状(厚さ 10mm)で取り出し、図-12 に示すように断面の外側、中央および内側の 3 測定点について行った。なお、同図中の測定間隔 a と c はともに約 2~3mm であった。

6.2 ロックウェル硬さ試験結果

中空鋼管と鉄筋の断面に対するビッカース硬さの分布を図-13 と図-14

に示す。図-13 中、(0)は加熱を加えていない D25 用の中空鋼管のビッカース硬さ(200 Hv)である。ビッカース硬さはロックウェル硬さから JIS の硬さ換算表(SAE J 417, 1983 年改定)により換算した。なお、両図中で、外側と内側の値は各供試体における平均値である。ばらつきはあるものの、加熱を 1 回行った中空鋼管(D22 以下用)は最大で約 3 割硬くなるが、加熱を 2 回行った中空鋼管(D25 以上用)は加熱を加えていない中空鋼管単体と同程度の硬さを示した。

既往の研究によれば、加熱を受けない鉄筋のビッカース硬さは鋼種 SD345 で 180~200 Hv, SD390 で 200~220 Hv であること^{1), 2)}が示されているが、本測定では加熱を加えない鉄筋の硬さは約 160~220 Hv の範囲に分布した。一方、加熱の影響を受けた鉄筋は加熱を受けない場合と比較して約 1 割強の増加に留まった。

一般に、鉄筋のアーク溶接時の低温割れ防止には母材熱影響部の硬さを 350 Hv 以下に抑えることを目安としているが、既往の研究では、鉄筋溶接部のビッカース硬さは、最大で 280 Hv 程度が示されている³⁾。加熱、加圧・圧着された本継手における中空鋼管と鉄筋はいずれも鉄筋溶接部のビッカース硬さ以下となった。

6.3 断面の変状

目視では、中空鋼管や鉄筋に割れやいびつあるいはゆがみなどの変状が見られなかった。

7. まとめ

a 本継手工法は継手性能判定基準 A 級以上の性能を有した。

b 高温加熱および加圧による硬さは中空鋼管

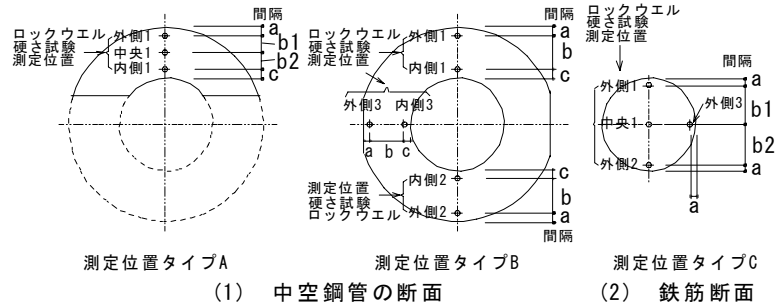


図-12 中空鋼管と鉄筋の断面における測定位置

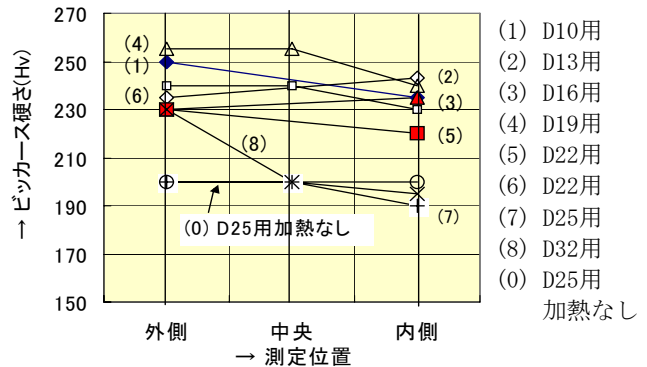


図-13 中空鋼管のビッカース硬さ

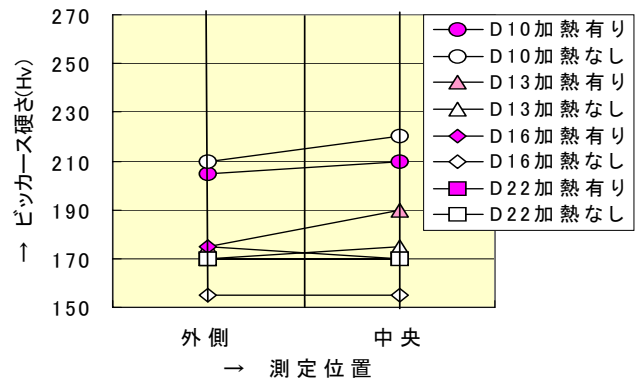


図-14 鉄筋のビッカース硬さ

に対してビッカース硬さ 260 Hv 以下、鉄筋に対して 220 Hv 以下に納まった。

c 目視では中空鋼管や鉄筋の断面に割れやいびつなどの変状が見られなかった。

「参考文献」

- 1) 吉津利洋ほか：鉄筋溶接継手の施工方法の検討, 日本建築学会技術報告集, 第 13 号, PP. 25-18, 2001 年 7 月
- 2) (社)日本圧接協会圧接技術委員会：「メーカーの異なる鉄筋の圧接性能に関する試験研究」に関する報告, 昭和 63 年 9 月
- 3) 森三郎ほか：鉄筋溶接継手の技術動向, コンクリート工学, Vol. 38, No. 8, pp. 13-20, 2000, 8