Japan Concrete Institute

報告　溶接および機械式鉄筋継手の高速，繰返し，低温引張試験

古賀裕久*1・河野広隆*2・森濱和正*3・加藤俊二*4

要旨：兵庫県南部地震の際に鉄筋コンクリート構造物の鉄筋継手部の破断現象が見られた。これを受け，地震のような載荷速度の大きい荷重や繰返し荷重を受けたときの強度等，各種鉄筋継手の挙動を明確にするため載荷実験を行った。このうち溶接および機械式鉄筋継手を用いた実験では，いずれの載荷条件においても，鉄筋母材部で延性的な破断をする良好な結果であった。

キーワード：溶接継手，機械式継手，載荷速度，弾・塑性域正負繰返し，試験温度

1. まえがき

1995年1月17日に発生した兵庫県南部地震では，鉄筋コンクリート構造物中の鉄筋継手部が破断した事例がみられた。継手部の破断事例の中には変形によるエネルギー吸収が小さいまま生じているものもあった。

鉄筋継手の強度等が，載荷速度や繰返し荷重の影響を強く受けるとすると，現在の設計体系を根底から揺るがしかねないことであり，構造物の安全性確保のため，地震時などに生じる外力に対する鉄筋継手の挙動を明確にすることは極めて重要である。そこで各種鉄筋継手を用いた載荷試験を行った。

このうちガス圧接継手を用いた実験結果はすでに報告した[1]。今回は，既報において検討した実験ケースのうち，代表的なケースについて，溶接継手および各種機械式鉄筋継手を用いて行った実験結果を報告する。

表—1　鉄筋の機械的性質

呼び名	節の形状	製法	降伏点 N/mm²	引張強さ N/mm²	試験片	伸び %	絞り %
D25①	横節	電炉	375.5	590.9	2号	24.3	49.7
D25②			380.1	589.7		22.9	50.9
D25③			380.6	541.8		27.1	52.3
D25④	ねじ節		413.4	604.2		21.4	41.3
SD345の規格値			345～440	490以上		18以上	—

2. 実験概要

2.1 使用した鉄筋および継手の種類

鉄筋は，SD345で呼び名D25のものを用いた。鉄筋の機械的性質を表—1に示す。

実験の対象とする継手は，使用実績や継手構造形式を考慮し，表—2および図—1に示す11種類とした。

突合せ継手は鉄筋端面どうしを向い合わせて接合し応力を伝達するものであり，これには，溶接継手と機械式継手とが用いられる。溶接継手ではガス圧接が用いられることが多い。標準的なガス圧接の他に，圧接部のふくらみを押し抜く熱間押抜法があり，後者は目視によって継手の良否を施工時に全数検査できるのではないかと期待されている。

また，ガス圧接継手以外の溶接継手として，ここでは継手部を銅当て金で囲んでアーク溶接するエンクローズ溶接と，電気抵抗溶接の一種であるフラッシュ溶接を対象とした。

*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　工修（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　工修（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主任研究員　（正会員）
*4 建設省土木研究所企画部企画課　（正会員）

NII-Electronic Library Service

表—2　実験対象とした突合せ継手

継手の種類				鉄筋	記号	継手長(mm)
溶接継手	ガス圧接	標準		D25 ①②	A-1	30
		押抜			A-2	30
	アーク溶接	エンクローズ溶接		D25 ③	B	25
	電気抵抗溶接	フラッシュ溶接			C	20
機械式継手	スリーブ方式	モルタル充填	短スリーブ		D-1	320
			長スリーブ		D-2	370
		圧着（油圧）			E	250
	ねじ方式 端部ねじ接合	摩擦圧接			F	157
		スリーブ圧着（鍛造）			G	244
	ねじ節鉄筋	ロックナット		D25 ④	H	200
		充填（樹脂）			I	140

※鉄筋の種類は，表—1を参照
※ガス圧接は，標準と高速載荷のときD25 ①を低温高速と繰返しのときD25 ②を用いた
※溶接継手の継手長としては，便宜的に熱影響部の概略値を示した。

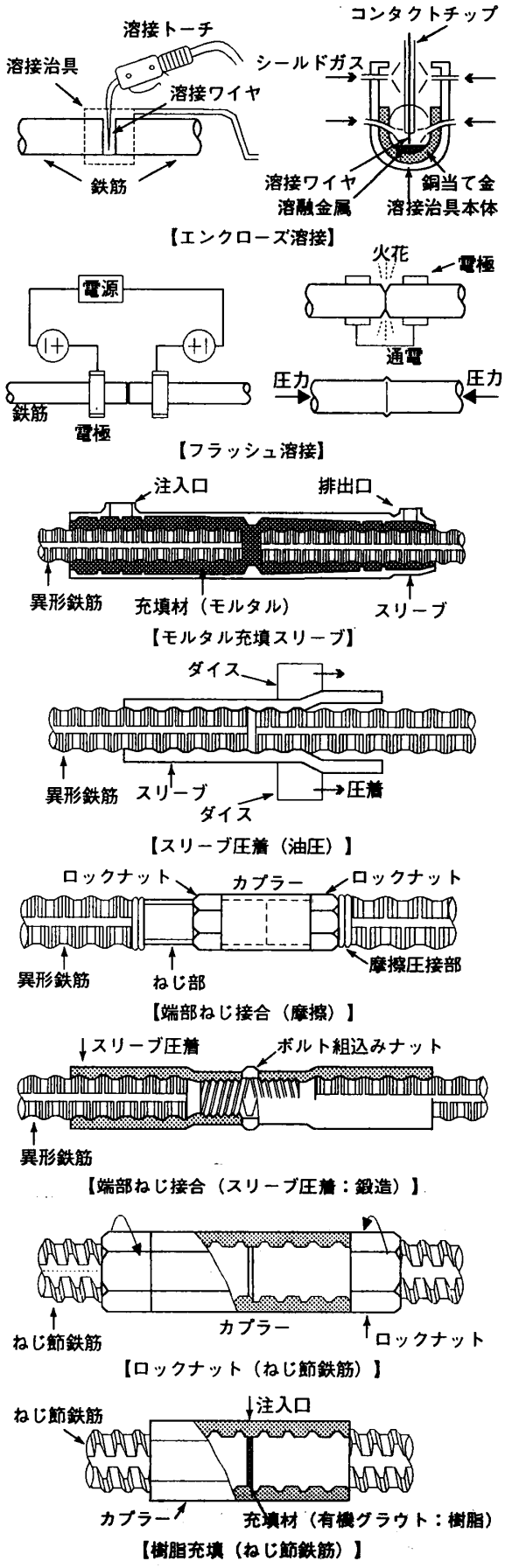
機械式継手は異形鉄筋の節を介して接合する継手で，スリーブ（鋼管）方式とねじ方式に大別される。

スリーブ方式は，鉄筋にかかる応力をスリーブに伝達する方式であり，伝達方法にはスリーブを変形させて鉄筋に密着させる圧着と，鉄筋とスリーブの隙間にモルタルを充填しモルタルを介して応力を伝達する方法がある。

ねじ方式には，ねじ節鉄筋を使用する方法と鉄筋の端部にねじを接合する方法がある。ねじ節鉄筋を用いる場合には，カップラーと呼ばれる長いナットで鉄筋どうしをつなぐが，このカップラーとねじ節の間のゆるみを解消する際に，ロックナットを専用の油圧トルクレンチで締めつける方法と，隙間に樹脂を注入する充填固定方法がある。

端部ねじ接合は，鉄筋の端部に別途加工したねじを接合しておき，ナットまたはボルトで結合する2段階の継手である。ねじの接合方法として摩擦圧接を用いたものと，ナット付きのスリーブを鍛造によって鉄筋に密着させたものを試験した。

いずれの継手も土木学会「鉄筋継手指針」と建築センター評定のA級認定の継手であり，各施工基準等にしたがって製作した。



図—1　対象とした溶接および機械式継手

NII-Electronic Library Service

2. 2 試験項目および方法

載荷試験の条件は,次の四種類で,試験片はそれぞれ3本とした（ただし,圧接については,①・②で 10 本,③・④で2本とした）。

①基準速度　　②常温高速

③低温高速　　④繰返し

①・②・④は,常温（25℃程度）で行ったが,③では－40℃の環境で行った。また,①では JIS Z 2241 に準じたひずみ速度 0.01 %/s の載荷速度とし,②・③では地震時のひずみ速度を考慮して 10 %/s を目標とした載荷速度とした。

繰返し載荷試験は,図—2のように圧縮応力を降伏点強度の 50%とした圧縮一定引張漸増による弾塑性域正負繰返しとした。1段階目の引張応力は降伏点強度の 95% (0.95fy) とし,その後は式 (1)から求められる応力を各段階につき4回ずつ繰返した。繰返し載荷後は 10%/s を目標とした速度で破断するまで載荷した。周波数は 0.5Hz で,サイン波とした。

引張試験時には,鉄筋母材部および圧接部のひずみと荷重,伸び変位を,破断後は伸び,絞りを測った。伸び変位の計測にはレーザー変位計を用い,標点距離を 8D＋継手長,つかみの距離を 16D＋継手長とした。また,機械式継手の場合には,開口変位測定用クリップ型変位計を用いて,継手部からの鉄筋の伸び出し量を計測した（図—3参照）。

$$fn=fy+\frac{f_B-fy}{10}\times n \qquad (1)$$

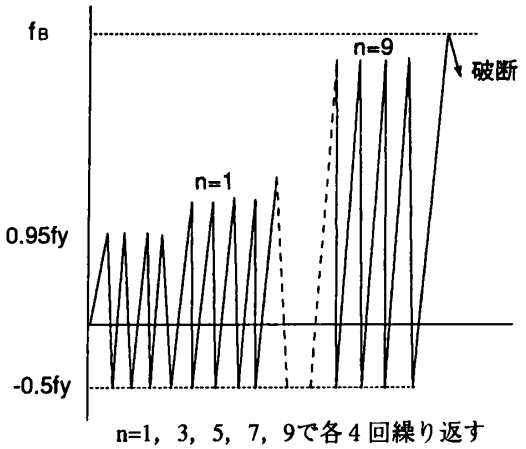
ただし, n＝1, 3, 5, 7, 9

fn：n段階での載荷応力

f_B：引張強度

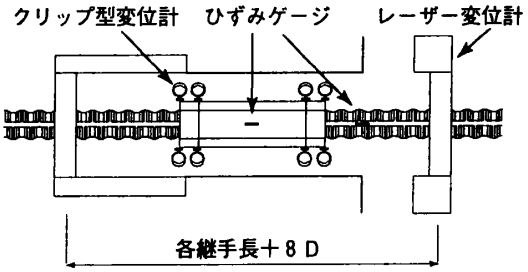
fy：降伏点強度

また,一部の試料については,試験前後でビッカース硬さ試験（JIS Z 2244）を行い,母材部と継手部で鉄筋の性状の変化を見た。

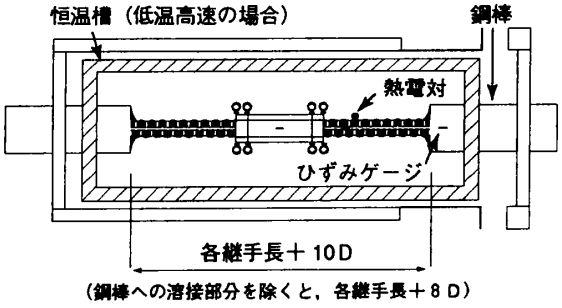


n=1, 3, 5, 7, 9で各4回繰り返す

図—2　繰返し載荷パターン



①基準速度・②常温高速



③低温高速・④繰返し

図—3　試験片および載荷状況

3. 実験結果

3. 1 強度

各種鉄筋継手試験片の破断位置は,すべて鉄筋母材部であり,伸びのある延性的な破断であった。

図—4に母材の基準速度による引張強さに対する各種継手の降伏点強度,引張強さの比を,載荷方法ごとに示す。降伏点強度は常温高速載荷の場合は約 10％増加し,低温高速載荷の場合はさらに数％増加した。引張強

NII-Electronic Library Service

度も，降伏点強度の場合ほど顕著ではないが，常温高速，低温高速になるほど増加した。これらの増加率は，破断部がすべて鉄筋母材部であったことから継手の種類によらずほぼ一致しており，鋼材の一般的な強度特性を示しているものと考えられる。繰返し載荷の場合の引張強度は，常温での高速載荷の場合に近いものであった。

3. 2 破断時の伸び

図—5には母材を引っ張った場合の伸びに対する比で各継手の伸びを示す。伸びを測定する標点長は，母材 8D に対し機械式継手は（8D＋継手長）とし，ガス圧接および溶接継手は接合部を含めて 8D とした。このように標点を定めると，ガス圧接および溶接継手では，接合部の伸びがほとんどないことから，母材を引っ張った場合の伸びに対し 60～70％になった。

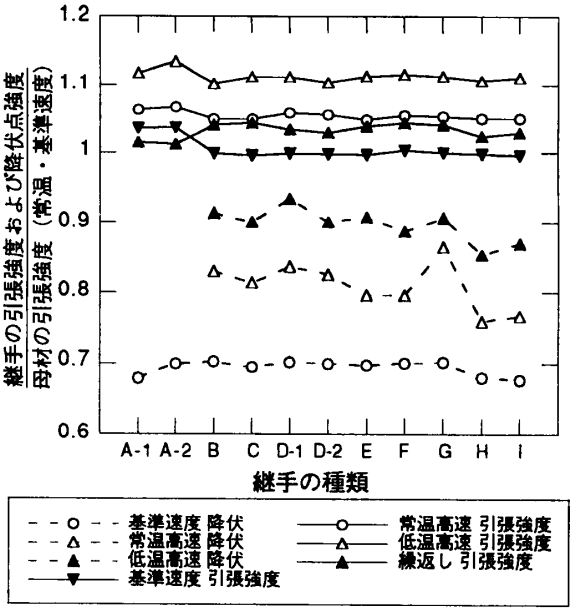
機械式継手の場合もまた，継手部分の剛性が高いため，伸びが小さくなっている。一例として，継手 D-2 を基準速度で載荷した際のスリーブのひずみ量と鉄筋母材部のひずみ量を比較し，図—6に示す。スリーブで覆われた継手部は，鉄筋母材の引張強さに達しても弾性域であることから，十分な強度を有しており，母材部が降伏後大きく変形するのに対し，スリーブの変形量は小さい。他のスリーブやカップラー，ナットを用いた継手でも同様で，母材部と比較すると継手部の変形量は小さかった。

ねじ節鉄筋を用いた継手H，Iは継手長が短く，かつ継手端部からの鉄筋の伸出しも大きいことから，他の機械式継手より大きく母材の 60％程度になっている。他の機械式継手は継手長が長いので，母材の 40％前後になっている。

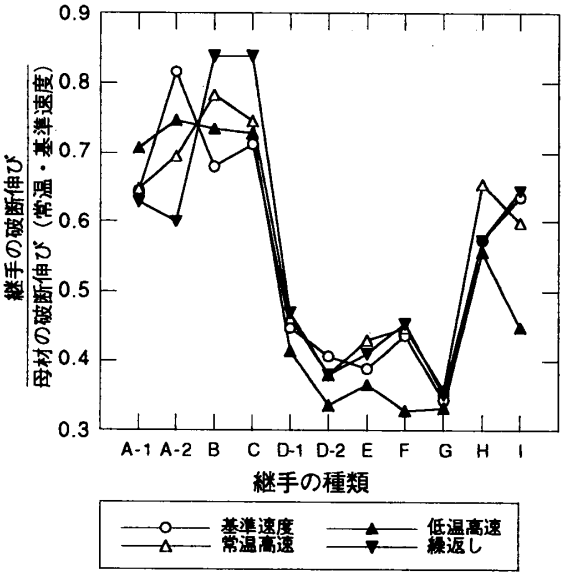
載荷方法の違いによる破断時の伸び量への影響は，明確には見られなかった。

3. 3 鉄筋の伸出し量

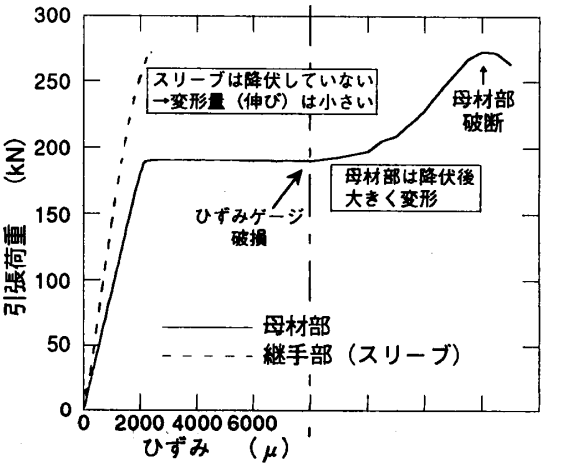
機械式継手では，引張載荷時にスリーブ，ナットなどの端部から鉄筋が塑性変形によって



図—4 各種継手の引張および降伏強度



図—5 各種継手の破断伸び



図—6 引張荷重と継手部と母材部のひずみ（継手 D-2）

NII-Electronic Library Service

Japan Concrete Institute

伸び出してくる。伸出し量は降伏点強度の95％程度では,いずれの継手でも最大0.52mmとわずかであったが，母材の引張強度時には図—7に示すように継手の種類によって大きく伸び出すものもある。

継手Fはねじ部が固相接合の摩擦圧接で継ぎ足されていること，ねじの精度が良いことから伸出しはほとんどない。継手Hはナットによって締めつけるものであり,母材の引張強度に達するあたりではナットによる締付けの効果がほとんどなくなって伸出し量が大きくなっている。スリーブを用いる継手の中では，モルタル充填式のものが若干伸出し量が大きかった。

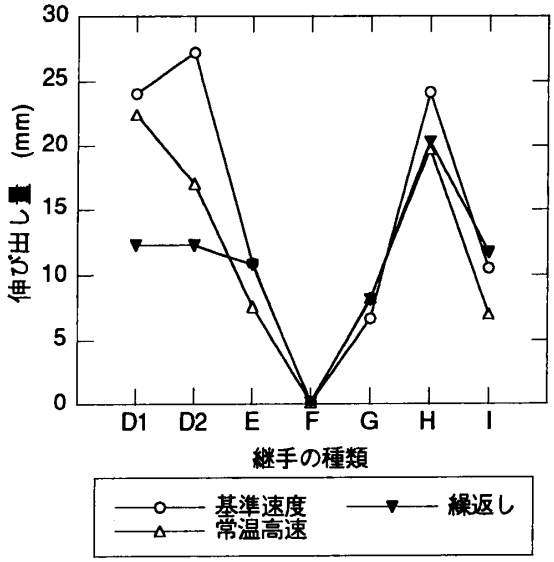
図—8には，繰返し試験時の伸出し残留量の変化を示す。今回の試験では，n=3あたりから伸出し量が大きくなり，その後はおおよそ繰返しの回数に応じて伸出しが大きくなっている。

3. 4 硬さ試験結果

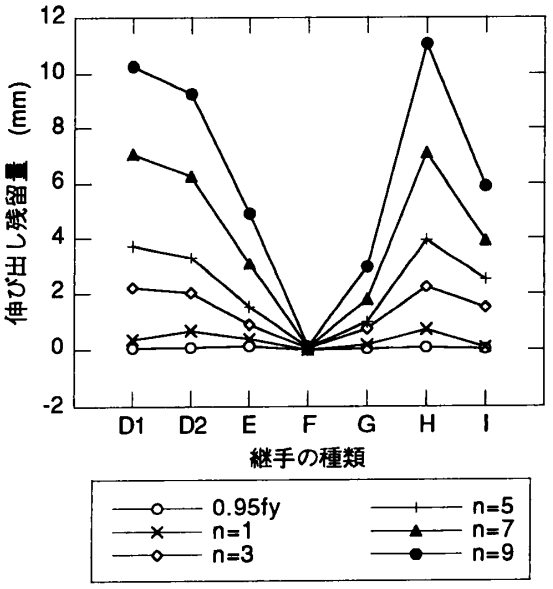
引張試験前後での鉄筋母材および継手部分の性状変化をみるために,ビッカース硬さ試験を行った。試験後の試験片としては，基準速度または常温高速による載荷試験を行ったものを用いた(図—7から,これらの伸出しの性状に大きな違いはないものと考えた)。ここでは例として，数種の継手の試験結果を紹介する。

まず，図—9にフラッシュ溶接継手（継手C）の硬さ試験結果を示す。試験前には溶接部分の硬さが母材部分よりも大きいが，引張試験後は，溶接部分は変化が大きくないのに対し，鉄筋母材部分では硬さに大きな変化があり，すなわち鉄筋が降伏して塑性硬化していることが確認できる。

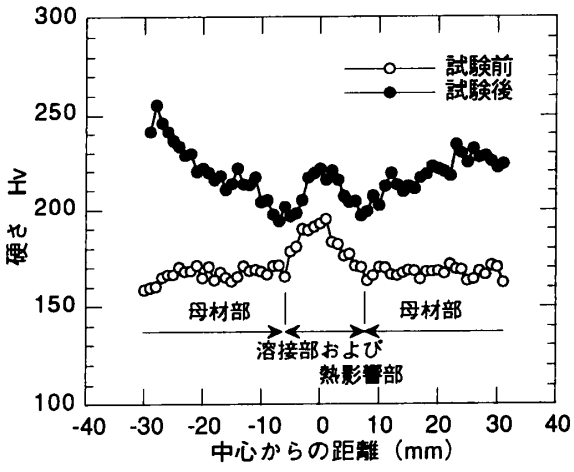
機械式継手の場合には，硬さ試験の結果から,継手部分がどの程度載荷の影響を受けたか確認することができる。まず，モルタル充填によるスリーブ方式継手（継手D-2）の鉄筋硬さ分布（引張試験後）を図—10に示す。継手部の中心部分と比較すると,おおよそ80mm



図—7 機械式継手の伸出し量



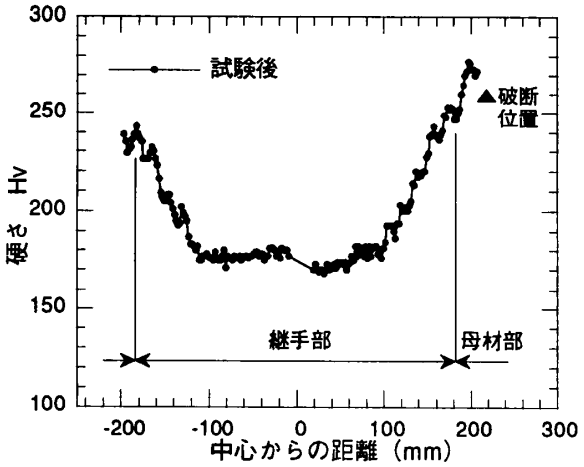
図—8 機械式継手の伸出し残留量
（各繰返し載荷段階終了時）



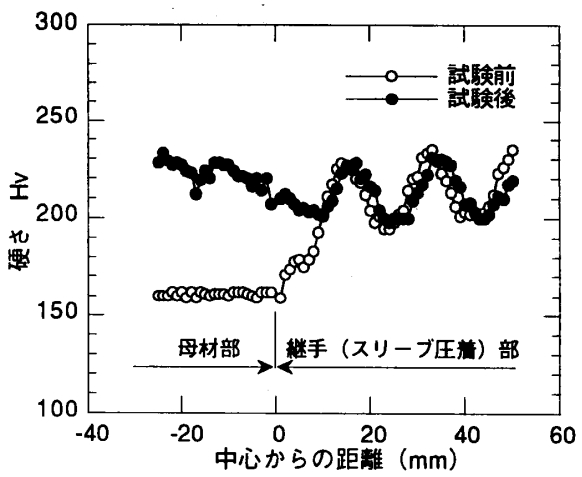
図—9 硬さ試験結果（フラッシュ溶接）

NII-Electronic Library Service

Japan Concrete Institute



図—10　硬さ試験結果
（モルタル充填式スリーブ）



図—11　硬さ試験結果
（鍛造によるスリーブ圧着部分）

内側のあたりからスリーブ両端に近づくほど連続的に硬さが増している。これは，引張によりスリーブの端部では鉄筋とモルタルの付着がきれて鉄筋が伸び出し，塑性変形しているためである。一方，継手部中心の 200mm の間では，ほとんど引張の影響を受けず健全である。

次に，端部ねじ接合（継手G）のために用いられた，鍛造によるスリーブ圧着部分の鉄筋硬さ分布を図—11に示す。スリーブ内では，引張試験前から波打つように母材部よりも硬くなっているが，これはスリーブを圧着する際の鍛造による塑性変形の影響と考えられる。引張試験前後の硬さ分布を比較すると，鉄筋母材部では，硬さに大きな変化がみられるのに対し，継手内部へ 10mm 程度以上入るとほとんど変化がない。この間の継手端部から約 10mm の区間では，鉄筋の硬さがやや大きくなっており，モルタル充填式の場合と同様に継手端部の鉄筋の伸出しが起こっていることが確認できるが，端部の 10mm は鉄筋一節分程度の長さであり，鍛造によるスリーブ圧着部分は，母材が破断するまでの載荷ではほとんど影響を受けていないと考えることができる。

4.　まとめ

各種鉄筋継手を用いて地震時を想定した高速，あるいは繰返し載荷による引張試験を行い，次のことがわかった。

①地震時のひずみ速度を上回ると考えられる速さまで載荷速度を大きくした場合，試験温度を－40℃まで下げた場合，繰返し試験を行った場合のいずれにおいても，継手部分で破断することはなく，強度面では母材と同等に取り扱うことができる。

②機械式継手では，継手構造によって引張による伸び変形量が異なる。

また，ビッカース硬さ試験の結果を用いて，いくつかの継手での引張時の伸びの特徴について報告した。

謝辞

本報告は，ガス圧接継手は（社）日本圧接協会との共同研究で実施したものです。機械式継手は(社)普通鋼電炉工業会の東京鐵鋼(株)および合同製鐵(株)と(株)富士ボルト，日本スプライススリーブ(株)，岡部テック(株)，溶接継手は日本鋼管工事(株)に協力いただきました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

1) 森濱和正・河野広隆・加藤俊二：ガス圧接鉄筋の高速，繰返し，低温引張試験，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.20, No.3, 1998

NII-Electronic Library Service