

報告 ガス圧接鉄筋の高速、繰返し、低温引張試験

森濱和正^{*1}・河野広隆^{*2}・加藤俊二^{*3}

要旨：兵庫県南部地震の際に鉄筋のガス圧接継手部が破断したのが見られたことから、ガス圧接継手が地震のような高速荷重や高ひずみ繰返し、低温などの条件下でどう挙動するか実験を行った。その結果、いずれの載荷条件においても良好な結果であり、ガス圧接継手を施した鉄筋が地震時のRC構造物の性能を低下させることはないことが明らかになった。

キーワード：ガス圧接継手、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において、鉄筋コンクリート構造物中の鉄筋の継手部の破断現象がみられた。

現在、鉄筋コンクリートで造られている橋脚などの耐震設計の考え方は、通常の荷重や中規模までの地震に対しては、残留変形が生じない範囲で耐え（弾性設計）、大地震に対しては、変形によりエネルギーを吸収することで、崩壊を免れるという考え方（塑性設計）を採っている。しかしながら、今回の地震で見られた破断現象は、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があり、これは想定している外力より小さい力で崩壊が生じる可能性のあることを意味する。

載荷速度、繰返し荷重などによって鉄筋継手の強度が大きく影響を受けるとすると、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、構造物の安全性の確保のため、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。

本報告では、鉄筋継手の90%以上を占めるガス圧接継手について、地震時に作用する特徴的な荷重である高速載荷、高ひずみ繰返しの影響、また低温時の引張試験を行った結果につい

て述べる。

2. 実験概要

2.1 使用した鉄筋の種類

実験に使用した鉄筋は、SD345のD19～D51の7種類である。D51は電炉品と高炉品を使った。鉄筋の機械的性質を表-1に示す。節形状は、電炉品は横節、高炉品は斜め節である。

2.2 試験項目および方法

試験項目とその方法、試験した鉄筋の種類を表-2に示す。全部で648本の引張試験を行った。

載荷速度試験は、JIS Z 2241に準じた標準速度（ひずみ速度で降伏前は0.01%/s、降伏後は0.1%/sを目標）に対して降伏前速度の10倍ずつ、4段階速くしていった。ただし、4段階目は試験装置の性能限界から20～30%/sであったが、地震時にRC構造物で生じうる鉄筋のひずみ速度は0.1～10%/sといわれており[1]、それを十分上回っているものと考えられる。

温度に関しては、常温、0℃、-20℃、-40℃について標準速度および高速（約5%/s）引張試験を行った。

繰返し試験の載荷パターンは、図-1のように圧縮は降伏応力の50%一定、引張は弾性域

*1 建設省土木研究所 コンクリート研究室 主任研究員（正会員）

*2 建設省土木研究所 コンクリート研究室長 工修（正会員）

*3 建設省土木研究所 コンクリート研究室 研究員（正会員）

表-1 機械的性質

呼び名	製法	降伏点 N/mm ²	引張強さ N/mm ²	試験 片	伸び %	絞り %
D19	電炉	364.5	568.2	2号	23.5	53.5
D25 ①		375.5	590.9	2号	24.3	49.7
D25 ②		380.1	589.7	2号	22.9	50.9
D32		377.0	588.6	3号	29.5	53.2
D38		401.8	593.2	3号	23.3	48.9
D51		392.4	581.1	3号	24.8	48.3
D51	高炉	394.9	566.2	3号	22.3	47.3
SD345の規格値		345 ~ 440	490 以上	2号	18 以上	—
				3号	16 以上	

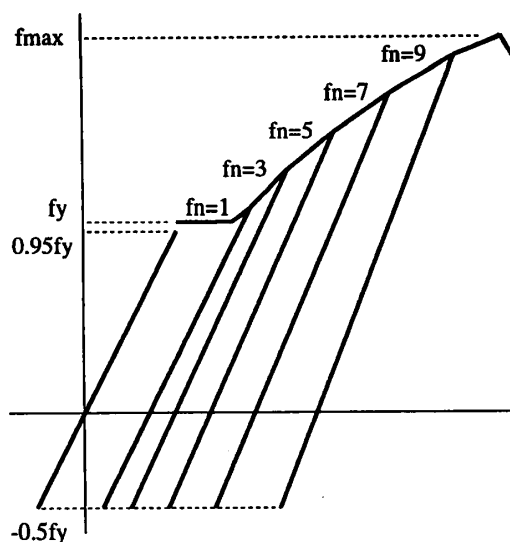


図-1 弾性域・塑性域正負繰返し荷重パターン

表-2 試験項目、荷重方法および鉄筋の種類

試験項目	鉄筋の呼び名(径)	D19 ¹⁾	D25 ①	D25 ②	D32	D38	D51 ³⁾ 電炉	D51 ³⁾ 高炉	1条件当りの 試験本数
	荷重方法								
荷重速度試験	標準速度 ¹⁾ の10倍 ずつ4段階	○	○		○				10
温度・速度試験	温度:常温,0,-20,-40℃ 速度:標準,高速(5%/s)			○		○	○	○	2
繰返し試験	繰返しパターン図-1			○					2

1) 標準速度は、降伏前 0.01%/s, 降伏後 0.1%/s

2) D19は標準圧接のみ

3) D51の押抜圧接の温度・速度試験の温度は常温および-40℃の2水準

では降伏応力の 95 %、塑性域では次のような漸増荷重とした。引張強さ f_{max} と降伏応力 f_y の差を 10 等分し、降伏応力からの順番を n で表したとき、繰返し応力 f_n を式(1)とした。試験は $n=1, 3, 5, 7, 9$ でそれぞれ4回繰返す(図-1)、圧縮一定・引張漸増による弾塑性域正負繰返し荷重とした。周波数は 0.5Hz で、サイン波とした。

$$f_n = f_y + \frac{f_{max} - f_y}{10} \times n \quad (1)$$

これらの試験はいずれも母材、通常のカス圧接(標準圧接と呼ぶ)、および熱間押抜法(押抜圧接と呼ぶ)によって作製した試験片について実施した。ここで、熱間押抜法とは、通常の、図-2のようにふくらみ部分を押抜刃によって、取ってしまう方法である。こうすることに

よって、不良な圧接面があった場合、加熱して真っ赤になっている部分に黒い線条が現れ、不良であることが一目で分かる。そのため、簡単に目視により全数の検査が可能となる工法である。

2.3 継手の品質

試験に用いたカス圧接継手は規準[2]に基づいて作製し、全て外観観察、形状寸法測定、超音波探傷試験を行った。また、3本ずつ曲げ試験を行った。

押抜圧接は、圧接直後に圧接面の観察を行ったが、すべて異常はなかった。形状、寸法の測定の結果、曲がり度は1度以下、偏心はほとんどなく、ふくらみ径は、押抜圧接の場合鉄筋径の1.2倍、標準圧接の場合平均で約1.6倍であり、すべて良好であった。

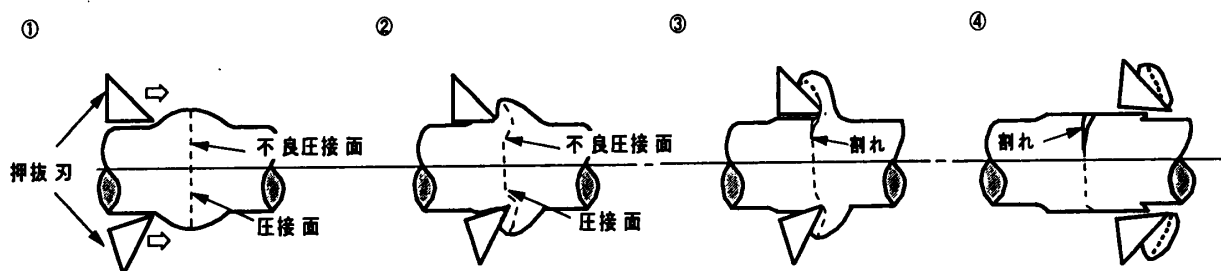


図-2 熱間押抜法

JIS Z 3062 による超音波探傷試験の結果も、基準値である -24dB に対し、D51 は一部に -28dB 以下もあったが、そのほかはすべて -30dB 以下であり良好であった。

曲げ試験の結果、D32 の押抜圧接の 1 本が圧接面で破断したが、そのほかはすべて破断などの異常はなかった。破断したものも、曲げ角度 103 度まで曲がった。破断面は、外周部にフラット破面が形成されていた。

2.4 試験片および測定方法

荷重速度試験用の試験片は図-3 (a) のように標点距離 $8D$ 、つかみの距離 $10D$ とした。

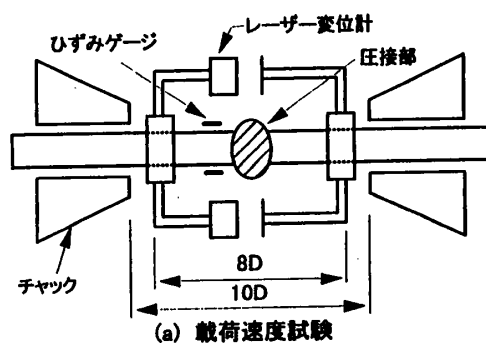
温度・速度および繰返し試験用の試験片は、低温による強度増加、繰返しによるつかみ部の破断を防止するために、図-3 (b) (c) のように太い鋼棒を溶接した。標点距離は、温度・速度試験は圧接部の評価を厳しくするため $4D$ とした。

引張試験中の測定項目は、荷重、ひずみ、伸び変位である。破断後は伸び、絞りを測った。伸び変位はレーザー変位計によって測定した。温度・速度試験の伸び変位は恒温槽の外から測定した。また、熱電対によって温度も測定した。試験中の測定は、動ひずみアンプを通して AD 変換してパソコンに取り込み、降伏応力、引張強さ、ヤング係数などを求めた。

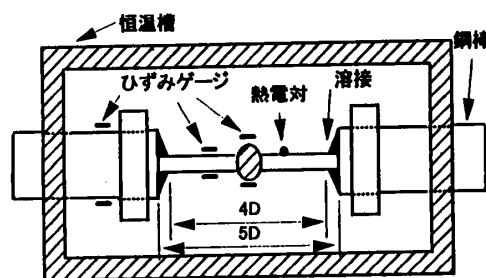
3. 荷重速度試験結果

試験片の破断はすべて母材部の延性破壊であった。そのほとんどは圧接部とチャック部のほぼ中間で生じた。

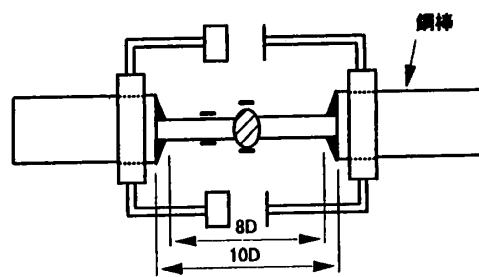
ひずみ速度を変化させたときの D25 の標準



(a) 荷重速度試験



(b) 温度・速度試験



(c) 繰返し試験

図-3 試験片および測定方法

圧接の結果は図-4～図-7 のとおりであった。また、荷重と伸び変位の関係は図-9 の太線のとおりである。ひずみ速度と降伏応力、引張強さの関係は図-4 のとおりである。破断した位置がすべて母材部であったことから圧接方法に関わらず降伏応力、引張強さはほぼ同様な結果であった。降伏応力はひずみ速度が 10 倍速くなるごとに約 4 % 増加、引張強さは約 2 %

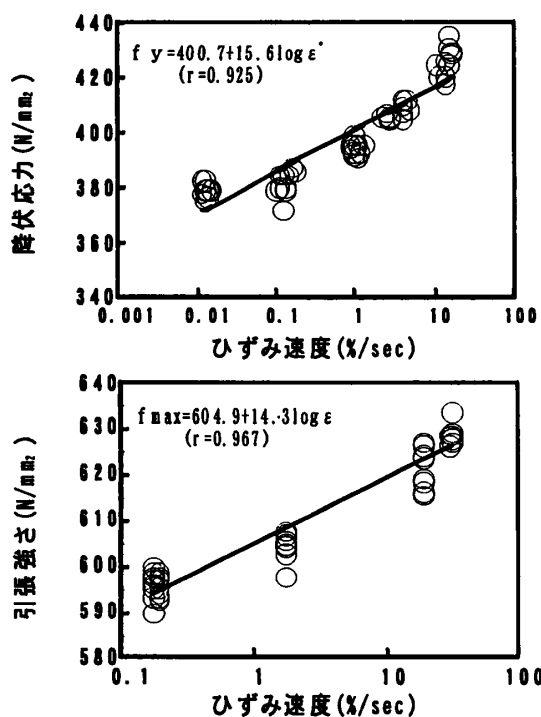


図-4 ひずみ速度と降伏応力、引張強さの関係 (D25の標準圧接)

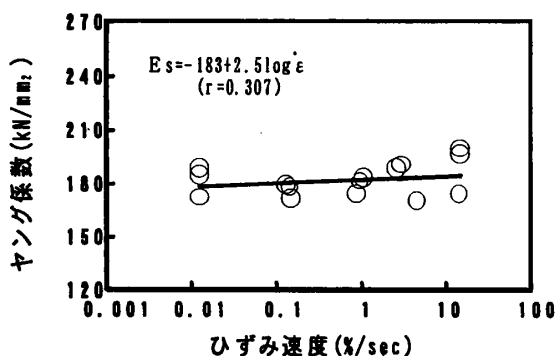


図-5 ひずみ速度とヤング係数 (D25の標準圧接)

増加した。最も速いときの引張強さは、標準速度の場合より約6%増加した。それでも圧接部から破断することはなく、圧接が適切に施工されていれば、この程度載荷速度が速くなることによる強度増加があっても圧接部で破断することはないものと考えられる。

図-5～図-7にひずみ速度とヤング係数、伸び、絞りの関係を示す。いずれもばらつきはあるものの、ほぼ一定でありひずみ速度の影響はほとんど見られない。他の種類の鉄筋も同様な傾向を示した。なお、伸びは母材が24%に対し、圧接試験片は平均17%と小さくなった。これは標点間内に圧接のふくらみを含んでいるため見かけ上小さくなったものである。

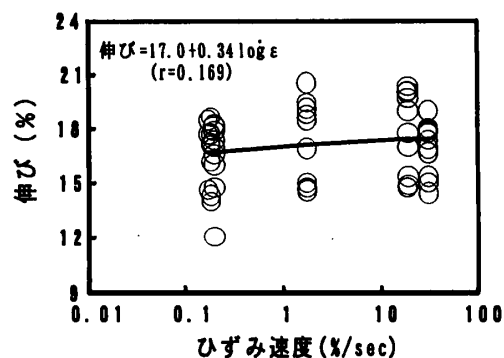


図-6 ひずみ速度と伸びの関係 (D25の標準圧接)

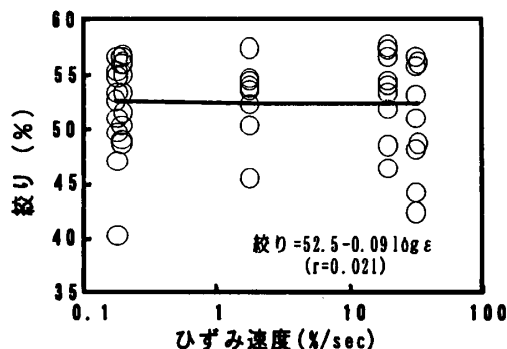


図-7 ひずみ速度と絞りの関係 (D25の標準圧接)

4. 温度・速度試験結果

試験温度、載荷速度を変化させたときのD25の場合の降伏応力、引張強さ、ヤング係数、一様伸び、破断伸び、絞りを図-8に示す。「一様伸び」とは最大荷重（引張強さ）時の伸びのことであり、くびれはじめる直前の伸びのことである。破断後に求めている伸びをそれと区別するため、ここでは「破断伸び」とした。高速載荷時の降伏応力は読み取ることができなかった。

破断状況は、ほとんどは母材部の延性破壊であったが、D51高炉の3本は圧接部で破断した。破断したうちの1本は圧接界面の破断であり、試験条件は標準圧接の標準速度、0℃のときであった。2本は圧接付根部の破断であり、標準圧接の高速載荷、-40℃であった。圧接界面で破断したものは、破断面観察の結果、フラット破面があった。付根部で破断したものは、破断面の破面観察から、ふくらみと節によってノッチが形成され、さらに低温により脆性破壊したものと判断された。そのほかに鉄棒と鉄筋の溶接部で破断したものも数本あった。しかしな

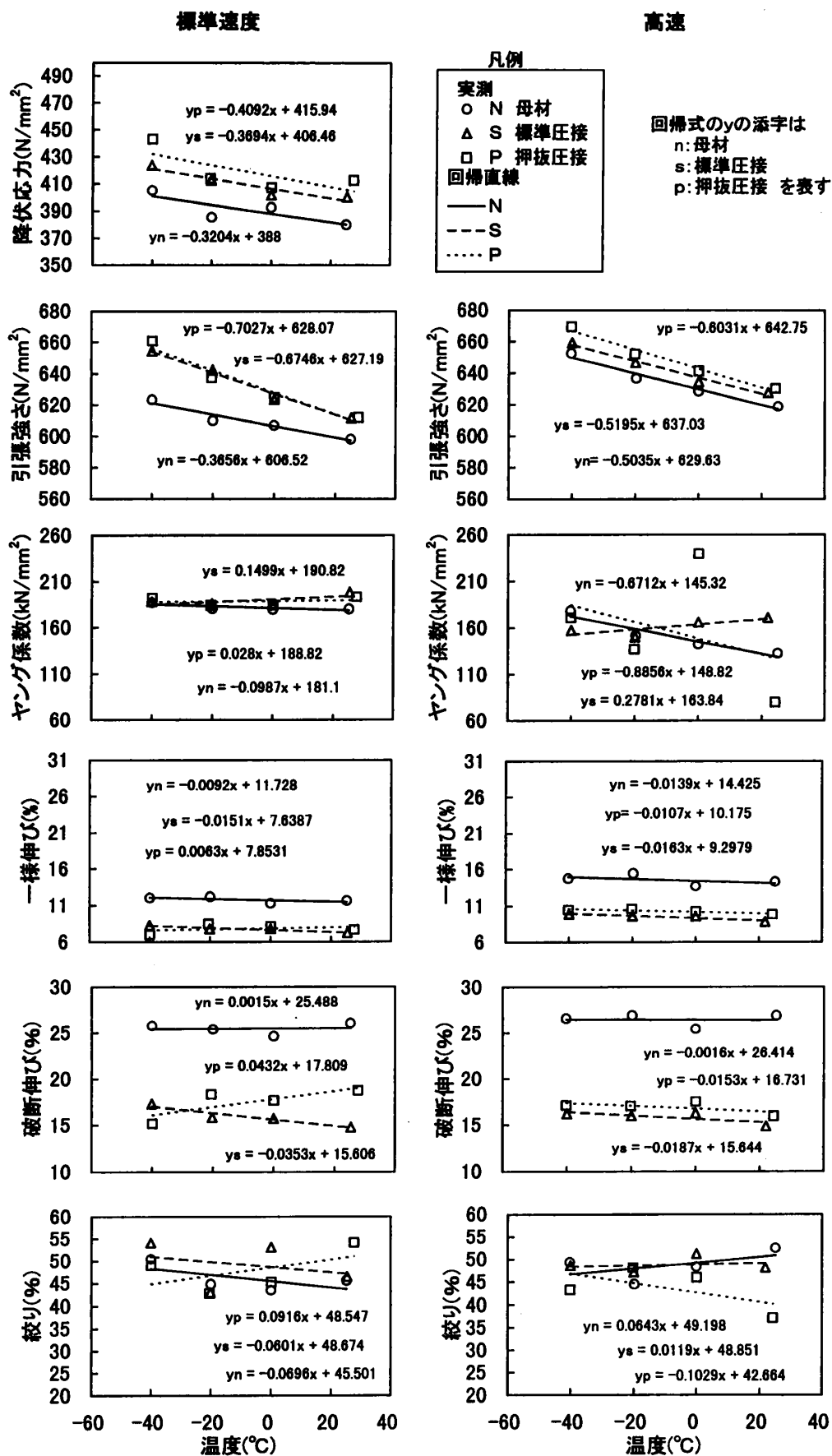


図-8 温度・速度試験結果

がら、これらすべての破断強度は引張強さとはほぼ同じであった。

図-8より降伏応力および引張強さは、温度が上がるほど減少した。一次回帰によって求めた引張強さの減少率は、標準速度の場合 $0.5 \sim 0.7\text{N/mm}^2/\text{℃}$ 、高速載荷の場合 $0.4 \sim 0.6\text{N/mm}^2/\text{℃}$ 程度であった。

ヤング係数、一様伸び、破断伸び、絞り は温度、速度に関わらずほぼ一定値となっており、今回の試験範囲程度の温度・速度であれば、強度以外の機械的性質にはほとんど影響しないものと考えられる。

5. 繰返し試験結果

繰返し試験によっても破断位置はすべて母材部であり、延性的であった。繰返し試験の荷重と伸び変位の関係を図-9に示す。比較に標準速度による試験結果を太線で示すとおり、繰返すとひずみ硬化時の傾きが小さく、伸び変位は大きくなっている。引張強さ、破断伸び、絞りは図-10のとおり、圧接試験片と母材はほぼ同じであった。この程度の繰返しでも、規準に基づき適切に圧接を行えば圧接部で破断することはないものと考えられる。

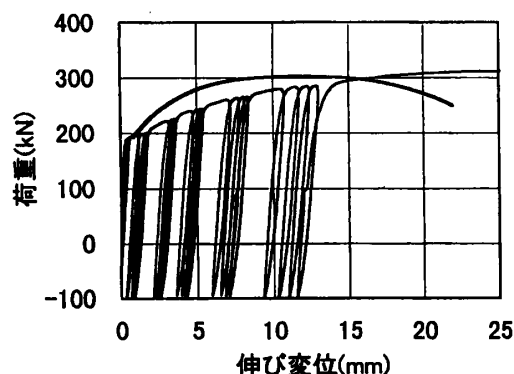


図-9 荷重-伸び変位の関係の一例
(D25, 標準圧接)

6. まとめ

D19 ~ D51 の標準圧接および押抜圧接した鉄筋の載荷速度、試験温度を変化させたときの引張試験、および繰返し試験を行い、次のこと

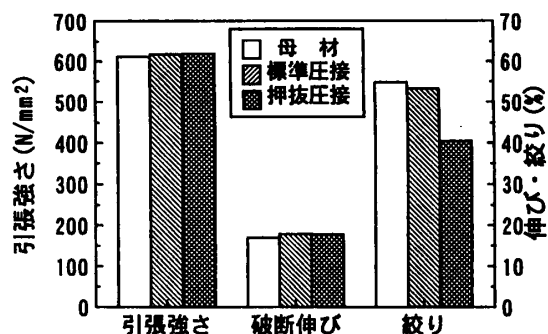


図-10 繰返し試験結果

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て引張試験を行った結果、強度は増加した。この際、圧接部で破断することはなかった。

② 試験温度を -40℃ まで下げて引張試験を行った結果、1本圧接界面で破断し、2本が圧接付根部で破断した。それらの強度もほぼ引張強さまで達しており、概ね良好な結果であった。母材部で破断したものは全く問題なかった。

③ 繰返し試験の結果も何ら問題はなかった。

以上の結果より、ガス圧接継手は規準に基づき適切に施工すれば地震時に想定される荷重条件に十分耐えることができるものと考えられる。しかしながら、今回試験した圧接鉄筋 474 本中に曲げ試験で1本、引張試験で1本、各種検査では良好であったものが界面で破断しており、今後欠陥箇所をできるだけ見逃さないような各種検査方法の検査精度に関するさらなる検討が必要と考えられる。

なお、本研究は(社)日本圧接協会と共同研究で実施したものである。

【参考文献】

- 〔1〕 小谷：鉄筋コンクリートにおける載荷速度の影響、コンクリート工学, Vol.21, No.11, pp.23 ~ 33, 1983.11
- 〔2〕 日本圧接協会：鉄筋のガス圧接工事標準仕様書