土研センター

機械式鉄筋継手の性能証明

大田孝二・平林克己・中野正則

1. はじめに

国土交通省が平成27年11月に提唱した建設現場の生産性向上策「ｉ-Construction」のトップランナー施策である「コンクリート工の規格の標準化等」の1つとして、現場における機械式鉄筋継手の適用がある。

従来、鉄筋の継手には重ね継手が用いられてきたが、重ね継手の長さが鉄筋径の25倍以上であり、D51等の太径鉄筋などでは重ね鉄筋の部分だけでも相当な重量になる。さらに昨今、構造物の大型化や耐震設計等で要求される配筋量が多くなったこともあり、結果として過密配筋の設計となる場合が生じ(写真-1)、重ね継手ではさらにその過密度を増すことが課題となっている。良質な鉄筋コンクリート構造物を施工するためには、鉄筋の周囲にコンクリートが十分に行きわたる必要があるが、前述のような重ね継手ではそれが困難となるため鉄筋相互を直接接続する機械式鉄筋継手により、十分な鉄筋間隔を確保することが要求されている。

一般財団法人土木研究センター（以下「当センター」という。）では、第三者証明機関という立場から「技術基準等に基づく性能試験の実施及び証明書の発行、個別技術に対する試験・証明等」の業務を実施しており、その一環として、土木学会の鉄筋定着・継手指針[1]（以下「学会継手指針」という。）に基づく「機械式鉄筋継手の性能証明」をおこなっている。

本報告では、「機械式鉄筋継手の性能証明」に対する当センターの取り組みや、第三者証明機関としての視点で見た、昨今の「機械式鉄筋継手」に関する技術動向、課題について述べる。

2. 機械式鉄筋継手の構造

機械式鉄筋継手の構造は大きく分けて3つの構造要素からなる。①接続しようとする鉄筋、②鉄筋相互を接続する継手部分（ここでは、カプラーと称する。）、及び、③その2つを固定する充填剤（エポキシ樹脂、あるいはセメント系のモルタル等）である。この3つの構造要素を合わせて、学会継手指針では「継手単体」と呼び、周辺のコンクリート部分を含めた「継手部」と区別しており、当センターでは「継手単体」を対象とした性能証明を実施してきている。

写真-1　過密配筋の例

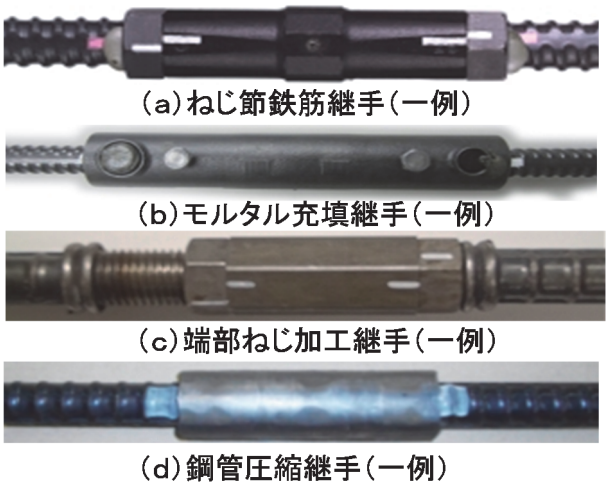

写真-2　カプラー継手の例[2]

「継手単体」の構造は種々のタイプがあり、その例を写真-2[2]に示す。例えば、(a)ネジ鉄筋と内部をネジ加工したカプラーと嵌合させ、外側からナットを用いて締め付け、中央からエポキシ樹脂を注入するタイプ、(b)カプラーとネジ鉄筋をモルタルで一体化するタイプ、(c)ネジ加工した金属を鉄筋に圧

Performance Certification of Mechanical Joints of Reinforcement Bars

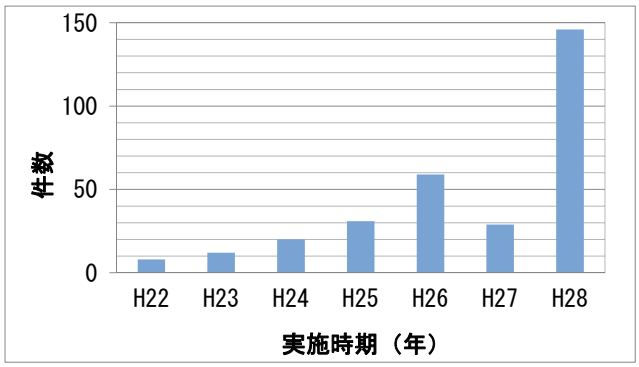

図-1　鉄筋継手の証明件数の推移

接して接続するタイプ、(d)鋼管を油圧により鉄筋に圧着するタイプなどがある。

鉄筋の材質は、SD295、345、390、490が一般的で、その径はD13等の小さいものからD51クラスまでと範囲が広い。カプラーの材質は鋳造品（FCD：球状黒鉛鋳鉄など）が多く、炭素鋼（SC）も用いられているが、使用する鉄筋の強度に合わせて、高強度の材料（FCAD1200：オーステンパ球状黒鉛鋳鉄品、S45C：機械構造用炭素鋼）が採用される。

当センターが証明を行った鉄筋継手の性能試験の件数（1材質、1鉄筋径を1件とした）を図-1に示す。横軸は証明書を発行した年（暦年）である。この数年、証明件数が増えており、とくに昨年（平成28年）が急増している。

3.「継手単体」の性能試験

学会継手指針では、「継手単体」の評価基準として次の3つの評価項目が挙げられている。

①強度、剛性、伸び能力、すべり量
②疲労強度
③その他（低温に対する性能など）

このうち、②、③については、設計者側からの需要が少ないためか、いままでに評価の依頼はなく、基本的には①についての性能試験のみを実施している。①の各項目に関して、学会継手指針には詳細な評価方法が試験の実施方法とともに規定されているが、基本的には継手のない鉄筋母材との比較で、母材に近い性能を持つように規定されている。ここではその概略を以下に紹介する。

試験の内容としては、強度、剛性、伸び能力、及びすべり量に対し、一方向引張試験、高応力繰返し試験、弾性域正負繰返し試験、塑性域正負繰返し試験の4種の試験を行うことが規定されており、試験結果に対する評価の分類としてSA級、A級、B級、C級が定められている。以下、継手単体の評価が最も厳しいSA級を例として紹介する。各試験における性能判定基準の評価値を表-1に示す。ここには、継手の持つ剛性（弾性係数等）に関する規定も記述されているが、主として以下、伸びと強度に注目して記述する。

3.1 一方向引張試験

一方向引張試験では、鉄筋継手の性能として、強度、弾性係数、伸び能力、すべり量を規定している。一方向引張試験の実施状況を写真-3、試験結果の例を図-2に示す。SA級では伸び能力として、表-1に示すように終局ひずみ ε_u が降伏ひずみ ε_y の20倍以上、かつ4%以上であることが要求されている。

継手単体の伸び能力は、カプラーとその両端にある鉄筋を含む基準長（検長）のひずみにより判定されている。検長はカプラーを含んで、カプラーの両端部からそれぞれ鉄筋径の1/2または20mmの大きい方を加えた長さとされている。この時、伸びは①鉄筋のカプラー内部でのすべり、②カプラーの伸び、③カプラー前後の鉄筋の伸びの合計である。このうち①のすべり量は小さく規定されているため、伸びが期待できるのは、②と③となる。一般的には③のカプラー前後の鉄筋の伸びが、②のカプラーの伸びよりも大きく、判定は③に由来する場合も多いが、各メーカーでは、カプラーの材料、材厚を考慮し、カプラーの伸びを大きく確保する工夫を行なっている。

3.2 高応力繰返し試験

高応力繰返し試験では、規格降伏応力の2%と95%の引張荷重との間で30回の繰返し載荷を行う試験であり、常時、あるいは弾性設計で考慮すべき特殊荷重（風荷重等）を受けても、十分な伸び能力、すべり抑制機能を有することを確認している。高応力繰返し試験の載荷結果例を図-3に示す。図のように弾性範囲ではひずみの増加はほとんど見られない。また、載荷時のカプラーの弾性係数に関する基準も設けられており、荷重を受けた場合の継手単体がコンクリートと一体となって挙動することを確認する試験と考えられる。

3.3 弾性域正負繰返し試験

3.2の高応力繰返し試験に、鉄筋の圧縮過程を組み込んだ試験である。コンクリート構造物中の鉄筋が引張、圧縮の両方の荷重に対して設計されている

表-1　継手単体の性能判定基準（SA級の例）

試験		判定基準
一方向引張試験	強度	$f_j \geqq 1.35f_{yn}$またはf_{un}
	剛性	$E_{0.7fyn} \geqq E_s$
		$E_{0.95fyn} \geqq 0.9E_s$
	伸び能力	$\varepsilon_u \geqq 20\varepsilon_y$
		かつ $\varepsilon_u \geqq 0.04$
	すべり量	$\delta_s \leqq 0.3$mm
高応力繰返し試験	強度	$f_j \geqq 1.35f_{yn}$またはf_{un}
	剛性	$E_{30c} \geqq 0.85E_{1c}$
	伸び能力	$\varepsilon_u \geqq 20\varepsilon_y$
		かつ $\varepsilon_u \geqq 0.04$
	すべり量	$\delta_{s(30c)} \leqq 0.3$mm
弾性域正負繰返し試験	強度	$f_j \geqq 1.35f_{yn}$またはf_{un}
	剛性	$E_{20c} \geqq 0.85E_{1c}$
	すべり量	$\delta_{s(20c)} \leqq 0.3$mm
塑性域正負繰返し試験	強度	$f_j \geqq 1.35f_{yn}$またはf_{un}
	すべり量	$\varepsilon_{s(4c)} \leqq 0.5\varepsilon_y$
		$\delta_{s(4c)} \leqq 0.3$mm
		$\varepsilon_{s(8c)} \leqq 1.5\varepsilon_y$
		$\delta_{s(8c)} \leqq 0.9$mm

【注】
f_{yn} ： 母材鉄筋の規格降伏強度（または耐力）（N/mm²）
f_{un} ： 母材鉄筋の規格引張強度（N/mm²）
f_j ： 継手単体の規格引張強度（N/mm²）
δ_s ： 継手単体のすべり量
E_s ： 母材鉄筋の規格降伏強度の70%の応力度における母材の割線剛性
ε_y ： 継手単体の降伏ひずみ
ε_u ： 継手単体の終局ひずみ
ε_s ： 継手単体のすべりひずみ
$E_{0.5fyn}$ $E_{0.7fyn}$ $E_{0.95fyn}$ ： それぞれ$0.5f_{yn}$、$0.7f_{yn}$、$0.95f_{yn}$の応力度における継手単体の割線剛性
E_{1c} E_{20c} E_{30c} ： それぞれ1回目、20回目、30回目の加力時の$0.95f_{yn}$の応力度における継手単体の割線剛性
$\varepsilon_{s(4c)}$ $\varepsilon_{s(8c)}$ ： それぞれ4回目、8回目の加力における継手単体のすべりひずみ
$\delta_{s(4c)}$ $\delta_{s(8c)}$ $\delta_{s(20c)}$ $\delta_{s(30c)}$ ： それぞれ4回目、8回目、20回目、30回目の加力における継手単体のすべり量

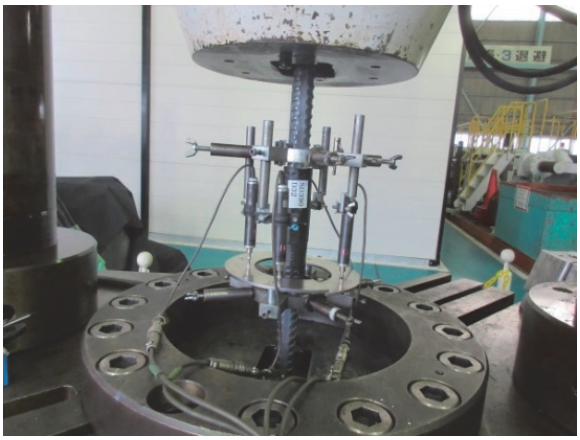

写真-3　一方向引張試験の載荷状況

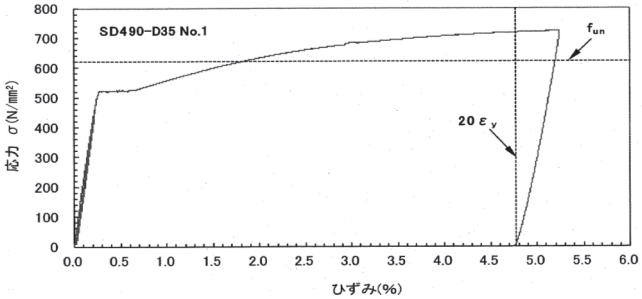

図-2　一方向引張試験結果の例

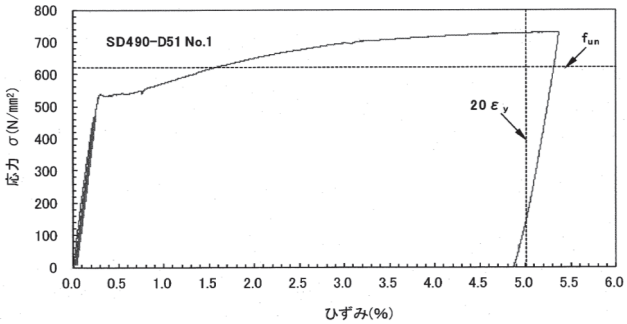

図-3　高応力繰り返し試験の例

場合を想定している。コンクリート構造物中の鉄筋は主として引張を負担する設計となることから、載荷は引張では規格降伏応力の0.95倍、圧縮では規格降伏応力の0.5倍とし、繰返し回数は20回とされている。

この試験は、3.4の塑性域正負繰返し試験とかねて載荷することが多い。すなわち、弾性域載荷（$0.95\sigma_y$～$-0.5\sigma_y$）を20回繰返したあと、降伏ひずみを計測し、次に塑性域正負各4回の繰返し載荷試験を行う例が多い。20回の弾性範囲の繰返しでは、規定にある剛性やすべりなどに余裕があり、載荷試験の効率化を図るためである。

3.4 塑性域正負繰返し試験

塑性域正負繰返し試験では、塑性に至る荷重を規定していることから、荷重の対象は、構造物の応答が弾性限界を超える、規模の大きい地震時を想定していると考えられる。引張では降伏ひずみの2倍のひずみで、圧縮では規格降伏応力の0.5倍となる荷重載荷を4回繰り返し、次に、引張で降伏ひずみの5倍のひずみで、圧縮では規格降伏応力の0.5倍となる荷重を4回繰り返す。この試験結果の例を図-4に示す。終局耐力は3.3項と同じ母材の規格引張強度または、規格降伏強度の1.35倍以上の強度としており、同時にすべり量に関する規定（表-1参照）も3.3、3.4項の両方を満たすこととしている。

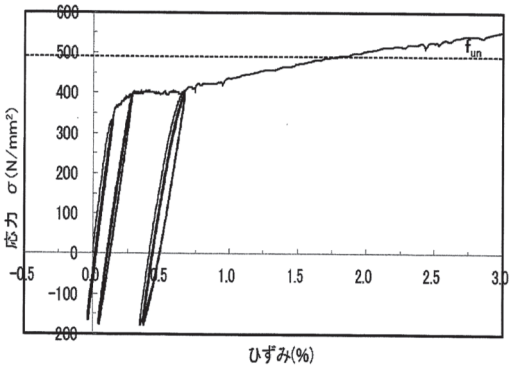

図-4　弾塑性域正負繰返し試験の例

4. 性能評価

3. に示した各性能試験の結果を学会継手指針の性能判定基準に照らし合わせ、前記の階級より適合する性能を判定する。

なお、当センターでは各試験において、終局強度や伸びの値を確認した後、破断するまでの試験を実施し、報告書には、破断位置が「母材」あるいは「カプラーからの抜け」のいずれかであったことがわかるよう明記している。塑性域正負繰返し試験における破断状況を写真-4に示す。

写真-4　塑性域正負繰返し試験後の破断状況

5. おわりに

学会継手指針に基づき、当センターで実施している機械式鉄筋継手の性能証明について紹介した。この学会継手指針は2007年（平成19年）の発行であり、すでに10年近くの時間が経過しているが、この間に、継手材料（カプラー材質や充填剤）やその加工技術等も大きく進歩している。このため、学会継手指針について、試験の依頼者から以下のような意見を聞くことがある。

通常、鉄筋母材では、材料強度が大きくなればその伸びは小さくなることが知られている。しかし、継手単体では3.1、3.2で要求される伸び能力が、ε_y（降伏ひずみ）の20倍以上という条件のために、高強度鉄筋の継手単体の伸びが低強度の継手単体の伸びより大きな伸びを要求していることになる。伸びの規定（4%あるいは、ε_yの20倍以上）の背景が学会継手指針に明確に記述されていないため、高強度継手に低強度継手以上の伸びを要求する理由は不明であるが、この伸びの項目がネックとなってSA級が実現できなかった機械式鉄筋継手もある。

材料の高強度化、多様化の下では、要求性能とその技術的背景についてその根拠を明確に記述する必要があると感じるところである。

国土交通省が推進するｉ- Constructionでは、建設工事における生産性向上を目標に、コンクリート工に関しては平成28年7月に「機械式鉄筋定着工法」についてガイドラインが策定、発表されている。本報告で示す鉄筋の機械式鉄筋継手についても近々ガイドラインが策定される動きがある。これらのガイドラインにより、建設工事における生産性向上の実現を期待したい。

参考文献

1) 公益社団法人土木学会、鉄筋定着・継手指針（2007年版）、コンクリートライブラリー、2007
2) 公益社団法人日本鉄筋継手協会ホームページ、機械式継手の原理と種類

大田孝二

（一財）土木研究センター
企画・審査部長兼コンクリート研究室長、工博
Dr.Koji OHTA

平林克己

（一財）土木研究センター
企画・審査部次長
Katsuki HIRABAYASHI

中野正則

（一財）土木研究センター
専務理事
Masanori NAKANO