

# 鉄筋機械式継手特性評価試験に対する土研センターの取組み

五島孝行・落合盛人・柴田辰正

## 1. はじめに

国土交通省では、i-Constructionの取り組みとしてコンクリート工事の生産性向上のための新技術の普及に努めており、その中で鉄筋機械式継手は2017年に「機械式鉄筋継手工法ガイドライン」が発行されるなど、現場配筋の効率化として期待されている技術である。

(一財)土木研究センター(以下「土研センター」という。)は、土木構造物分野において、中立的な技術審査機関として、これまで「コンクリートライブラリー128 鉄筋定着・継手指針[2007年版]土木学会(2007年8月)」(以下「学会指針」という。)に準拠した鉄筋機械式継手の特性評価試験を実施してきている。

また、これまでの数多くの試験経験により得られた知見をもとに、学会指針2020年版改訂委員会の委員として参画し、現行の継手指針の中の主として試験方法の改訂に携わっている。さらに、学会指針改訂に合わせ、土研センター発行の「鉄筋機械式継手特性評価試験要領」(以下「センター要領」という。)も見直し、今年度の特性評価試験より適用しているところである。

本報文では、土木工事における鉄筋施工の現況を紹介した上で、これまで行われてきた鉄筋継手試験の課題とその解決のための学会指針の改訂内容、及びその改訂内容に沿うべく、見直したセンター要領の内容を報告し、優れた鉄筋機械式継手技術の普及に資することを目的とする。

## 2. 機械式継手の概要と最近の採用動向

鉄筋の継手には、現在、主に重ね継手、ガス圧接継手、機械式継手が用いられている(図-1)。重ね継手は従来より用いられてきた方法であるが、継手部において鉄筋を重ねる必要があり、太径鉄筋や配筋量の多い構造断面の場合は、継手部においてさらに鉄筋の過密度が増し、断面が構成できないことが懸念される。この問題を解消するための継手工法と

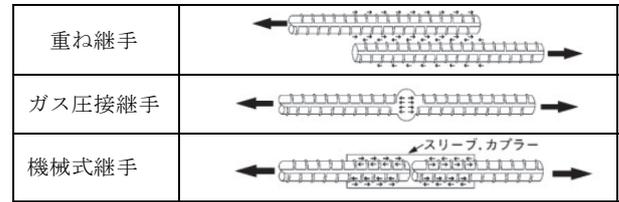


図-1 鉄筋継手方式の種類例

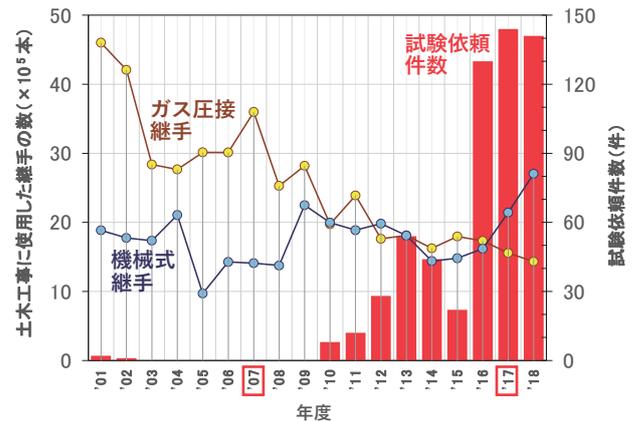


図-2 機械式継手の採用動向と試験依頼件数

してガス圧接継手が開発された。

ガス圧接継手は1950年代から広く使用されるようになったが、現場溶接ゆえ、施工が天候に左右されやすいこと、熟練継手工による施工が必要となることなど、生産性において課題があるとして、さらなる改良が求められた。

これらの重ね継手やガス圧接継手の問題を解消することを目的に開発された技術が機械式継手である。機械式継手は、1970年代に入り開発が始まり、1982年の初版の学会指針に機械式継手が掲載されて以降、それまで建設省通達(現 国土交通省)により“特殊な継手”とされていた機械式継手が一般的な継手として扱われるようになった。その後新しい継手工法の開発に伴い指針の見直しが行われ、2007年版学会指針が発行されるに至った。

継手に関する規準の変遷のなかで、土木工事に用いられる継手方式の採用動向および土研センターが受託した特性評価試験の依頼件数を図-2に示す。同図のとおり、機械式継手は、2007年版学会指針が発行されて以降、2009年に採用が増大し始め、その後しばらくはガス圧接継手の採用数とほぼ同じ採用数で推移してきたが、2017年に国土交通省より「機械式鉄筋継手工法ガイドライン」が発行され、それを機に採用が急激に増加し、ガス圧接継手の採

用数を大きく上回るようになった。また、土研センターは、2001年より機械式継手の特性評価試験を行うようになり、2010年頃から依頼が増え始め、その後の機械式継手の採用増加に伴い依頼数も急増している。なお、土研センターが2012年度から2019年度までに実施した機械式継手の特性評価試験の実績を鉄筋の直径（呼び名）別に整理した結果、D51が最も多くなっており、太径鉄筋の継手への当該継手形式の適用増大の傾向がある。また、2017年度からは、後述する異径間継手の試験依頼を受けるようになり、それ以降も当該型式の依頼が増加する傾向にある。

### 3. 最近の動向に対応するための土木学会鉄筋継手指針の改訂内容

2007年版学会指針では、第2章に挙げた鉄筋直径の太径化やそれに伴う異径間継手などの機械式継手の多様化までは想定していなかったため、2020年版の学会指針は、主としてこれらを念頭に改訂が行われた。その改訂内容のうち、本項では特性評価試験方法についての変更点を示す。

#### 3.1 継手性能試験用供試体の作製方法の明確化

2007年版学会指針では、供試体の作製方法について、次のように記述している。

「継手単体の性能試験に用いる供試体は、その継手が実際に現場で用いられている場合と同様の材料および施工方法によって製作されたものであり、かつ継手の性能を代表するような平均的なものとする。」しかし、上文にある“平均的なもの”の解釈の仕方に、継手開発技術者によって考え方にばらつきがあることがわかり、また、土研センターがこれまでにに行った試験でも、継手技術開発の多様化に伴い同様のことが見受けられるようになってきた。

そこで、2020年版学会指針では、継手を構成する材料と継手の嵌合状態の2つに分け、試験に用いる“平均的”となる条件を、それぞれ、下記のように明示することとした。

- ① 継手構成材料：試験に用いる供試体は、継手が実際に現場で用いられる場合と同等の材料
- ② 継手の嵌合状態：製造者が継手の品質を保証するために作成する施工要領書に示された、施工上許される限界値を考慮した供試体

ここで、②の嵌合状態とは、組込み時の嵌合長さや嵌合角度が、施工要領書で許容する嵌合状態の中で、継手性能上最も不利と判断される状態で試験

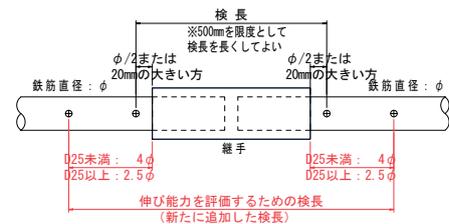


図-3 同径間継手の検長

を行うことを意味する。

#### 3.2 継手部大型化に対応した伸び能力評価方法の見直し

2007年版学会指針では、伸び能力の評価に用いる検長は、図-3上段に示す「検長」または、「その検長が500mmより短い場合は500mmを限度として長く採ってよい」としていた。

ここで、「500mmまで検長を長く採ってよい」とした理由は、継手の伸び能力を評価するためのひずみとして、継手本体に加え、その近傍のある範囲内の鉄筋に発生するひずみを考慮してよいとしたことによる。言い換えると、500mm程度の範囲を検長とすれば、その範囲に適度な鉄筋のひずみが含まれるとの判断である。

なお、500mmは試験実施時の鉄筋の座屈防止になっている。しかし、近年太径鉄筋による継手も多くなり、継手本体だけで500mm以上の長さの継手本体も存在するようになった。その結果、従前の方では、適度な鉄筋のひずみを継手の伸び能力として加味できない状況になってきた。

そのため、2020年版指針では、500mmの規定を撤廃し、その代わりに、鉄筋直径に応じて鉄筋本体の伸びひずみを直接、検長に反映できるよう、鉄筋直径の係数倍を継手長さの両側に加えた長さを検長とすることとした（図-3の下段に示す新たに追加した検長）。具体的には、5φ（D25以上）（φは鉄筋の直径）または8φ（D25未満）を継手長に加えた長さを検長に設定し直した。なお、5φ、8φは、JISで採用されている鋼材の引張試験における検長であり、継手の伸び能力評価においても、この程度の鉄筋長を確保しておけば、鉄筋本体の有意な伸び能力を考慮できると判断し、本試験においても引用することとした。また、5φ、8φ程度であれば、細径鉄筋継手であっても検長が500mmを上回ることはなく、試験時の継手座屈も概ね回避できると判断した。なお、継手試験においては、太径、細径にかかわらず座屈防止に留意して試験を行う必要がある。

土研センター

3.3 異径間継手構造に対応した試験要領の改良

2007年版継手指針発行当時は、異径間継手は開発途中であり、指針には異径間継手に着目した試験方法の記載がなかった。

継手の特性評価試験方法には、評価する項目で分類すると、剛性評価試験、残留変形量評価試験、および伸び能力評価試験の3つがある。剛性評価試験や残留変形量評価試験は、いずれも継手単体の剛性や、継手部内部の塑性変形および鉄筋抜け出しを評価するので、同径継手同様、継手部のみに着目した図-4の上段に示す“検長”で評価することで問題はないとされた。

一方、伸び能力評価試験については、継手に加え周辺鉄筋のひずみも考慮することになり、異径間継手の場合は、細径側に比べ太径側の方が検長が長くなる。しかし、当該継手形式の場合、細径側の応力が支配的な状態となり、細径側が先行して塑性化し、太径側は一般的には塑性化しない。したがって、伸び能力も細径側のひずみ量に着目して計測すれば十分とされた。

そのため、2020年版学会指針では、異径間継手の場合は、図-4の下段に示すように、鉄筋直径に応じた5φもしくは8φの検長は細径側のみに採用し、太径側の無用な検長採用による試験体の長寸化を防止した。

なお、異径間継手でも、左右の鉄筋直径に大差がない場合には、表-1に示すD38とD35の計算例でも判るように、試験に用いる双方の鉄筋の降伏点の大小関係により、場合によっては太径側が先行して塑性化（伸び）し始める可能性がある。そのため試験前に使用鉄筋の品質を確認しその可能性が考えられる場合には、同径間継手の場合と同様、継手端部の両側鉄筋に5φもしくは8φの長さの検長を採ることを検討するのが良い。

4. 土木学会鉄筋継手指針の改訂に伴うセンター要領の見直し

土木学会の継手指針は、鉄筋継手の要求性能や設計・施工の考え方を中心に示すことを目的としたものであるため、特性評価試験の方法についての詳細は記載されていない。

そのため、センター要領は、試験の具体的方法や結果の評価方法、さらには試験の考え方について指針の内容を補完し試験結果が一意となることを目的に作成したものである。

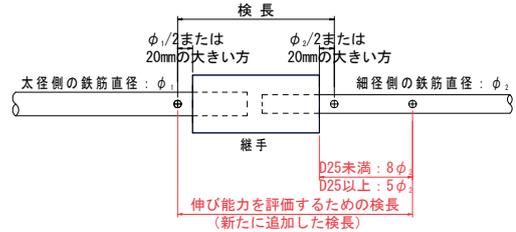


図-4 異径間継手の検長

表-1 断面積比による塑性化の計算例

<ul style="list-style-type: none"> <li>異径間継手の例: 太径側D38, 細径側D35</li> <li>太径側鉄筋断面積 / 細径側鉄筋断面積 = 1.18</li> <li>SD345の場合 降伏点 345~440</li> <li>降伏点のばらつきによる塑性化する応力の変動比 = 1.28 &gt; 1.18</li> <li>以上より、太径側鉄筋が先行して塑性化する可能性がある。</li> </ul>
---

着目点 1	<p>嵌合長さ 継手への鉄筋の差し込み長さが最も短い状態</p>
着目点 2	<p>嵌合角度 継手に対して鉄筋が斜めに差し込まれる状態</p>
着目点 3	<p>嵌合偏心量 継手断面中心に対して鉄筋芯が偏心して差し込まれる状態</p>

図-5 機械式継手の嵌合状態例

供試体作製方法の内、3.1②項に記載の継手指針が求める継手の嵌合状態は、当該試験要領で具体的に説明している。つまり、継手性能に影響する継手の嵌合状態として、図-5に示す3つの着目点で最も不利となる状態とした。

このうち、着目点2、3については、近年の機械式継手の多様化により、モルタル充填継手の場合など、継手内径に対して鉄筋の直径が小さく、継手内に鉄筋との間に有意な隙間が存在する継手の場合の供試体の作製方法を念頭に置いている。

着目点1では、嵌合長が短いことにより接合部の応力伝達能力が最も小さくなる。

着目点2では、継手本体を挟んで左右の鉄筋に交角が存在することにより、継手本体を境に鉄筋に伝達される作用力に分力が発生する。その結果、継手本体および鉄筋の継手端部には二次曲げ応力が発生する。さらに、継手端部近傍には鉄筋との接点に応

力集中など、本来設計上見込んでいない応力が発生する。また、二次曲げ応力による鉄筋の曲げ変形が、鉄筋の軸方向変位にも含まれてしまうことになり、その分継手単体の軸剛性が見掛け上低下して評価されることになる。しかし、実際には、周囲にコンクリートが充填されているため、鉄筋の曲げ変形は発生しないことを認識しておく必要がある。

着目点3では、継手に対して鉄筋が偏心することにより、モルタル充填継手の場合には充填されるモルタルも偏心し、モルタルと鉄筋もしくは継手本体との付着力に差が生じる。ここで、継手に対する鉄筋の偏心の仕方として、左右の鉄筋で逆側に偏心するようなことが起こり得る場合には、付着力の差に加えて、着目点2と同様に、鉄筋のズレに伴う偏心曲げモーメントが発生することになり、これによっても鉄筋や継手の曲げ応力が発生する。以上のように、供試体の作製に当たっては、対象とする継手形式に応じて、着目点1～3の状態あるいはそれらの組み合わせの状態の中から、起こり得る最悪の嵌合条件について試験を行うことを規定している。

なお、着目点2に示す鉄筋同士が交角を持って接合される場合には、試験時に圧縮力を載荷した際に座屈する可能性に留意し、試験中に座屈現象が発生する場合には、座屈防止策を講じて試験を行う必要がある。ただし、実際の継手では、周囲にコンクリートが充填されていることから、鉄筋は曲げ変形による面外変位はコンクリートにより拘束され発生しないため座屈することはない。

## 5. おわりに

鉄筋の機械式継手は、国土交通省が進めるi-Constructionの重要な柱である建設現場の生産性向上の課題である、現場のコンクリート工の生産性向

上に大いに資するものであり、今後は更に幅広く土木構造物に活用されることが期待されている。

今後も性能確認試験が適切に実施され、新しい技術・工法の正しい性能評価に資することを祈念する。

なお、土研センターは、長年にわたり、各技術開発者からの依頼に基づき、鉄筋の機械式継手の特性評価の活動に取り組み、そこでの試験方法などの実務上の経験を報告するなど、学会指針の改訂にも携わってきているが、第三者機関として各種の新技术の性能確認・審査を行う、センターの役割を改めて認識し、より適切に果たす上で、貴重かつ有意義な経験・実績になっている。

今後とも、公的機関を支援する第三者機関として正しい性能の試験・確認や普及活動を通じ、社会的な要請に基づき民間で開発された新技术の評価・利用促進を図る活動に、さらに努めるところである。

最後に、センターにおける「鉄筋機械式継手性能評価試験要領」の改訂作業に際し、常に暖かく、ご指導を賜った長岡技術科学大学下村匠教授に感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 公益社団法人土木学会、コンクリートライブラリー 128 鉄筋定着・継手指針 (2007年版)
- 2) 公益社団法人土木学会、コンクリートライブラリー 156 鉄筋定着・継手指針 (2020年版)
- 3) 公益社団法人日本鉄筋継手協会、鉄筋継手統計調査委員会、鉄筋継手統計調査報告書 (1966年度～2018年度)、2019年9月
- 4) 公益社団法人日本鉄筋継手協会ホームページ、継手の種類
- 5) 林静雄、鉄筋継手における品質管理の現状と今後、コンクリート工学、Vol.47、No.8、2009
- 6) 大田孝二、平林克己、中野正則：機械式鉄筋継手の性能証明、土木技術資料、第59巻、第2号、pp.60～63、2017

五島孝行



(一財)土木研究センター  
材料・構造研究部 主幹  
研究員  
GOTO Takayuki

落合盛人



(一財)土木研究センター  
材料・構造研究部 部付  
部長  
OCHIAI Morito

柴田辰正



(一財)土木研究センター  
企画・審査部長  
SHIBATA Tatsumasa