

約40年のロングセラー 今なお進化を続ける鉄筋継手評価試験

技術本部 機械・構造センター 構造技術部 構造評価技術室 天願 航平

建築物には、鉄筋コンクリート構造が多く使用されており、高層マンション等の共同住宅の7割が鉄筋・鉄骨コンクリート造が占めている。これら鉄筋・鉄骨コンクリート造は強度も高く、かつ、解体時に鉄とコンクリートを分解することにより、鉄スクラップとして回収・再利用可能な材料である(第1図参照)。

鉄筋継手には、「ガス圧接継手」、「溶接継手」、「機械式継手」といった種類がある。また、工法もプレキャスト工法や鉄筋の先組みなどの合理化工法が開発され、現在も新たな工法、継手の開発を鉄筋メーカーが主体となって進めている。これら継手の中で、機械式継手は、現場での施工性に優れた継手であり、多くの現場でもちいられており、継手の性能評価試験はこれからも重要な試験であるといえる。

建設業界に限らず、ベテラン技術者の退職や働き方改革といった波は私たちコベルコ科研にも押し寄せており、業務のDX化は必須項目であることから、ここでは、これまで取り組んできた一例を今回、ご紹介する。

第1図 鉄鋼製品の回収・再利用



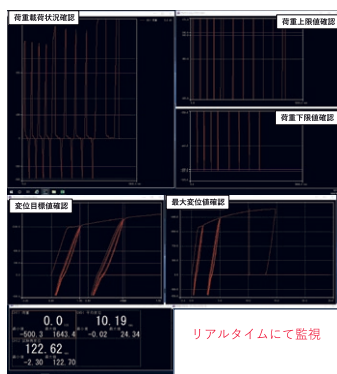
1. 計測システムのDX化と今後

かつては、XYレコーダーをもちいて荷重と伸びの計測値を直接紙にデータを記録する方法で計測を実施していたが、デジタル化とモニタの大型化、複数台化が進み、リアルタイムでの取得した数値データ確認と荷重-変位線図による荷重履歴の確認を同一モニタでの確認が可能となった。また、繰返し載荷時には目標応力部分の拡大など、オペレータが試験時に確認したい部分を

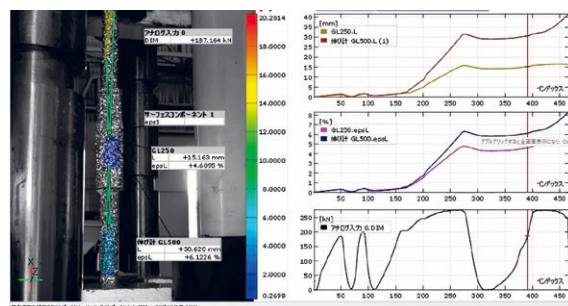
表示して確認しながら、操作を行うことが可能となり、試験の正確性が向上している(第2図参照)。

今後のさらなる取り組みとして、接触式の伸び計にて計測している検長の伸びを、画像相関法にて取得する方法についても検討を進めている。実現すれば、継手部周辺の細かな挙動と終局段階の挙動が把握可能となり、これまでよりもより精度の高い評価が可能になる可能性があると考えている。さらに、伸び計の脱着に必要な工数の削減も期待できる(第3図参照)。

第2図 リアルタイム監視状況



第3図 画像相関法による計測



2. 塑性域正負繰返し試験の自動(無人)運転化

機械式鉄筋継手評価項目(第1表参照)のひとつに、塑性域正負繰返し試験がある。

この試験の載荷ステップは、引張側は伸びの値、圧縮側は応力の値を監視して試験機をオペレートする必要があるため、自動運転はこれまで難しいと考え、有人での試験作業をおこなってきた。

しかし、オペレータが何を見て操作しているのかといった経験則を分析することにより操作プログラム化を行って、自動運転を可能とした。現在は径種D32以下での適用としているが、径種D51まで適用範囲を拡大していく予定である。

第1表 機械式鉄筋継手評価項目

試験項目	載荷方法
1. 一方向引張り試験	0→0.95f _{yn} →(0→0.02f _{yn})→破断 ()はすべり量を計測する場合
2. 弾性域正負繰返し試験	0→(0.95f _{yn} ⇄-0.5f _{yn})→破断 [20回繰返し]
3. 塑性域正負繰返し試験	
SA級継手	0→(2ε _y ⇄-0.5f _{yn})→(5ε _y ⇄-0.5f _{yn})→破断 (4回繰返し) (4回繰返し)
A級継手	0→(2ε _y ⇄-0.5f _{yn})→破断 (4回繰返し)

f_{yn}: 母材鉄筋の規格降伏強度
ε_y: 一方向引張り試験による継手単体の降伏強度または耐力(永久ひずみが0.2%となるとき応力)を割断塑性で除した値

継手単体評価は、これまでは代表鉄筋径のみを評価してきたが、最近では、使用されるすべての鉄筋径の性能評価結果の提出を求められることが増加している。また、ここで紹介した試験以外に、施工の温度環境を模擬した環境下での強度評価や防食塗装による継手強度への影響有無の評価試験も実施している。

今後も当社が保有するさまざまな試験評価技術や知識、経験を併せて試験サービスの向上を図るとともに、お客さまのニーズに応えていきたい。

高張力鋼の応力－ひずみ特性取得試験

技術本部 機械・構造センター 構造技術部 材料強度技術室 中村 洋介

近年、自動車の車体では軽量化、安全性向上を目的に引張強度が1500MPaを超える高張力鋼板が使用されている。高張力鋼板の成型時の課題として、成型荷重が高いだけでなく、成型時のスプリングバック量が大きく、狙った形状に製作することが難しいことが挙げられる。これらを改善する手段として数値シミュレーションが利用されている。板成型プロセスでは、鋼板は曲げ、曲げ戻しを繰り返しながら塑性変形を付与されて成型されているため、数値シミュレーションを行う際には、バウシinger効果やヤング率の塑性ひずみ依存性を考慮することが重要であることが知られており¹⁾、これらを考慮できる吉田-上森モデル(YUモデル)と呼ばれる構成則がもちいられることが多い。本稿では、成型シミュレーションに適用可能なサイクリック応力－ひずみ特性取得試験を紹介する。

この試験では、板状試験片に軸方向の繰り返し引張-圧縮負荷することによって、繰り返し硬化特性やバウシinger効果特性を取得できる。板状試験片に圧縮を負荷した場合、試験片の座屈変形により応力－ひずみ関係が取得できないが、当社では、板状試験片の座屈を抑制する手法を開発することによって、サイクリックは引張-圧縮試験を可能とし、これまでに数多くの試験実績を蓄積してきている。

試験は、電気・油圧式サーボ疲労試験機をもちい、試験片に取り付けたひずみゲージ式伸び計をもちいてひずみ制御方式で実施している。試験中の試験片の座屈を防止することが可能で、かつ試験片と治具間の摩擦力がほとんど発生しない治具を当社独自で考案し利用している。試験時の状況を第1図に示す。試験では板厚に合わせて利用する治具を変更して最適な条件での試験ができるように工夫している。

試験対象としては第1表に示しているように、高張力鋼だけでなく、アルミ、ステンレスなどにも適用可能である。

第1表 試験実績の例

材料	材料強度 [MPa]	板厚 [mm]	ひずみ負荷条件 [%]
アルミ	100	0.8	0%→4%→1%→7%→4%→10%→7%→13%
ステンレス	500	0.8	0%→4%→1%→7%→4%→10%→7%→13%
ハイツ	1300	1.4	0%→2%→0%→2.5%→0.5%→3%→1%
熱間圧延鋼板 SPH	440	2.6	0%→4%→1%→7%→4%→10%→7%→13%
高強度冷延鋼板	1500	1.2	0%→+2%→0%

試験データのアウトプットは応力－ひずみ曲線である。1180MPa級鋼板(板厚：1.2mm)でのデータ一例を第2図に示す。この試験では、原点(応力ゼロ－ひずみゼロ)から負荷を開始し、1サイクル目はひずみ+2.5%まで引張負荷を与えたのち、-2.5%まで圧縮負荷を行っている。2サイクル目では+5%まで引張負荷したのちに圧縮負荷を行っている。この図からわかるように、この試験により、サイクリック応力－ひずみ関係が取得できている。

ただし、図中A点で圧縮応力が下がっているため、この段階で試験片が座屈したと考えられ、さらに広範囲のひずみ域での試験を実施する際には、適切な試験条件の検討が必要であると考えている。

本稿では板成形シミュレーションに必要な応力－ひずみ特性取得試験(サイクリック試験)を紹介した。今後、さらに高強度な鋼板がより複雑な形状への適用される可能性を考えると、今よりも広範囲なひずみ領域での試験を試験片の座屈変形を制御しながら試験を行うことが必要になると考え、本手法をブラッシュアップし貢献していきたい。

*1) 吉田 総仁ほか：第60回理論応用力学講演会(2011)

リング圧縮試験をもちいた 塑性加工シミュレーションの摩擦係数測定

技術本部 計算科学センター DX技術室 高階 真二

製品の軽量化や工程省力化を達成するために、これまでと異なる材料の採用や、より複雑で難易度の高い鍛造などの塑性加工工程の検討が必要となる機会が増えている。そのような検討において、塑性加工シミュレーションの活用が注目されているが、未知の材料やこれまで実施したことのない工程に対しては、シミュレーション精度の向上が必要となる。当社は塑性加工シミュレーションの精度向上を目的としたリング圧縮試験と摩擦係数同定シミュレーションの一貫した評価をおこなってきた。また表面観察技術も合わせて接触界面の状態変化にともなう摩擦係数の変化も考慮した潤滑材や金型用コーティングの評価もおこなっている。そこで本稿では金型用コーティングの評価事例を紹介する。

1. 薄板リング圧縮試験

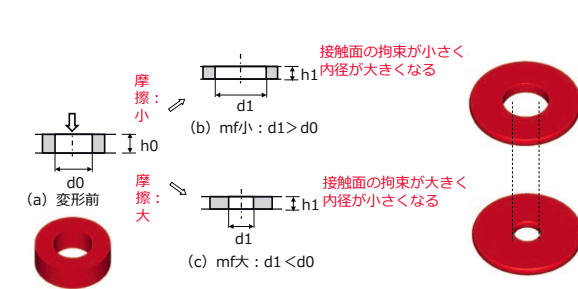
リング圧縮試験はリング状の試験片を厚み方向に圧縮する際に界面の接触抵抗によって内径変化傾向が異なる特性をもちいて、界面の摩擦抵抗を評価する手法である(第1図)。

金型負荷の高い冷間圧造を想定し、薄鋼板をもちいた薄板リング圧縮試験で内径変化率と圧下率の関係を取得した。試験条件としては金型表面に施したコーティングの比較評価のために2種類のコーティング条件において試験を実施した。

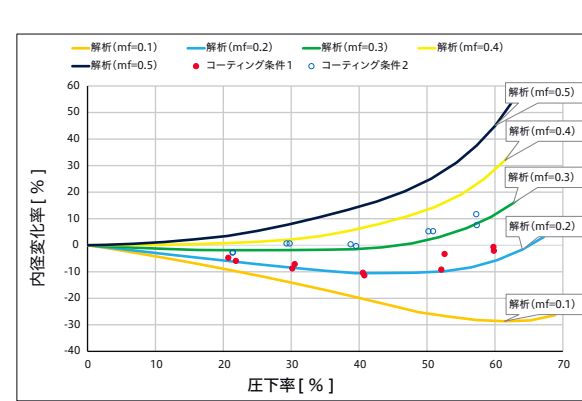
2. 摩擦係数同定シミュレーション

第2図に薄板リング圧縮試験結果と摩擦係数同定シミュレーション結果を重ねた校正曲線を示す。実線で摩擦係数(mf)を変えたシミュレーション結果を示し、試験結果を○プロットで重ね

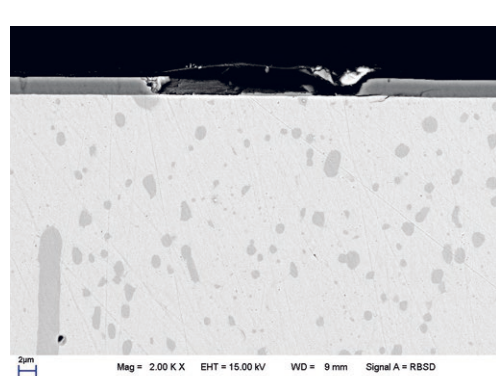
第1図 リング圧縮試験原理



第2図 摩擦係数同定校正曲線



第3図 金型表面SEM観察結果(コーティング条件1)



リング圧縮試験による摩擦係数の同定は、塑性加工シミュレーションの精度を向上させると共にコーティングの剥離など接触界面の変化も考慮可能で、新しい材料やより複雑な鍛造工程設計の効率化に有用である。今後も、さまざまな境界条件に合った評価方法について技術開発を継続していく。