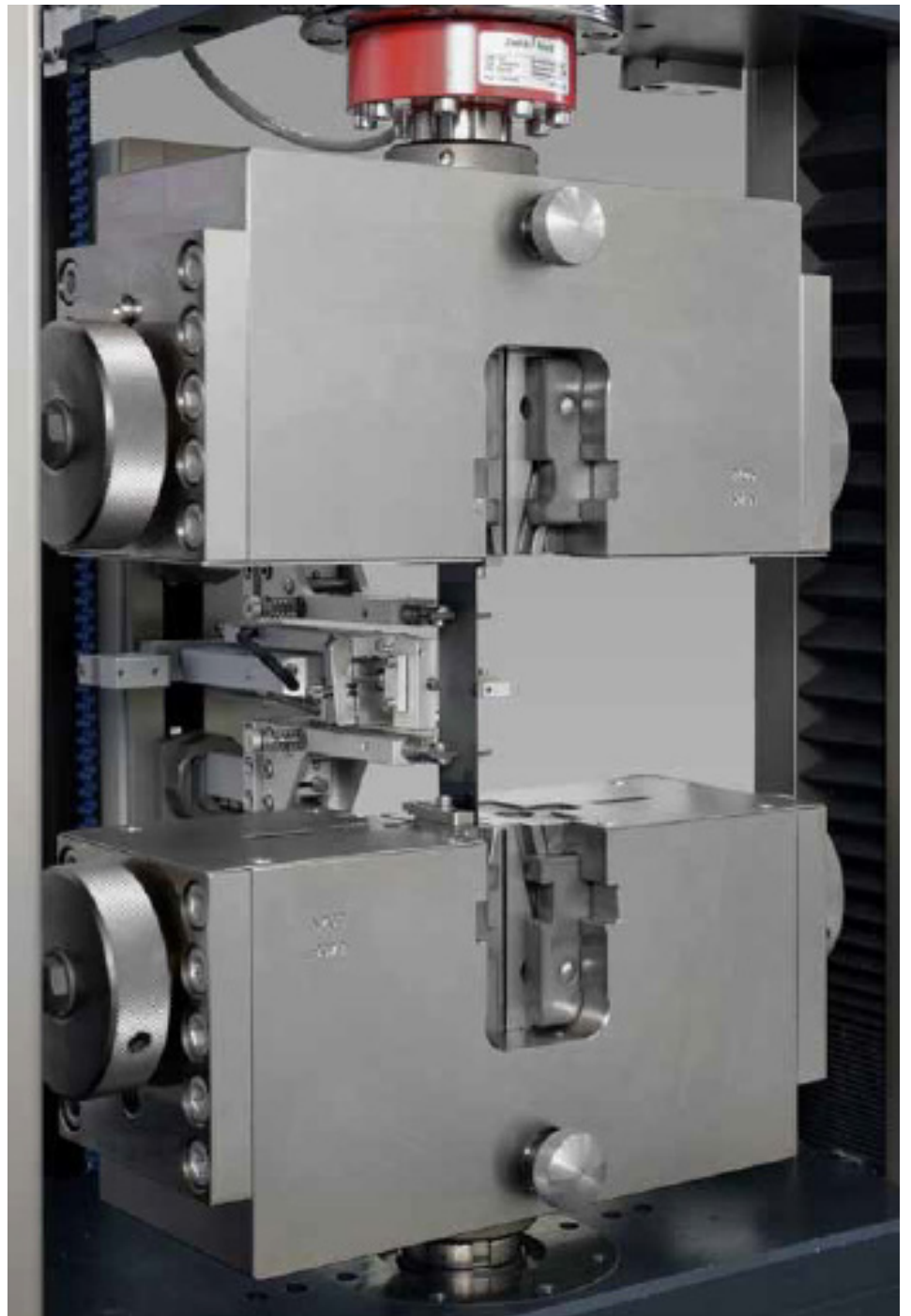


## 先端複合材分野における 試験ソリューション



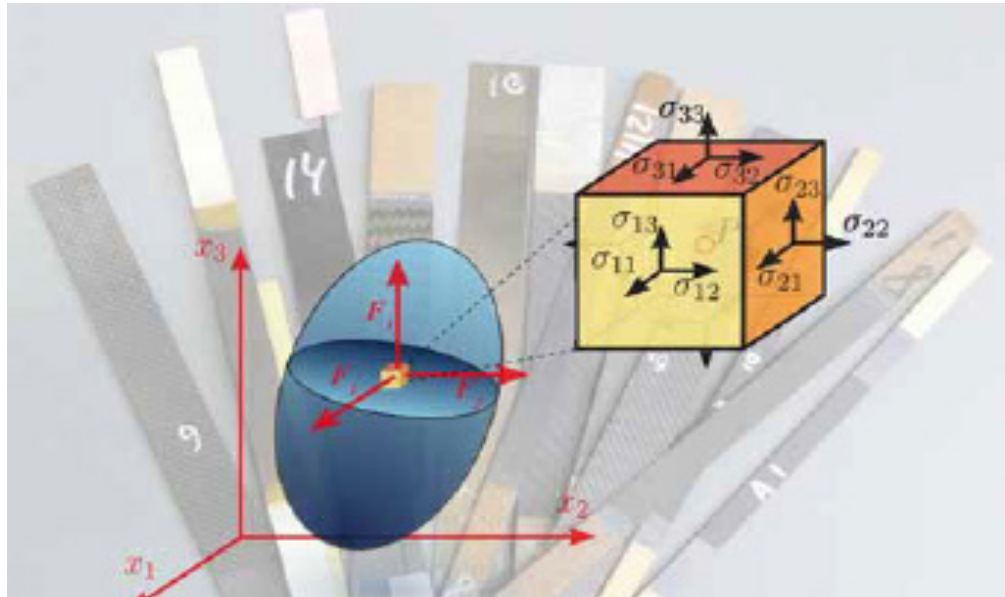
## Zwick 複合材試験の最高のパートナー

### モジュール化のソリューション

ここ数年の先端複合材分野における試験の革新の多くはここZwick社で達成されてきました。

複雑なアプリケーションの中、当社は試験システムのモジュール化に成功し、様々な種類の試験に対応すべく治具交換の手間などを軽減、試験の再設定も簡単に手早く行えるようになりました。

この開発により、より正確で信頼性の高い試験を実現しました。また、この開発過程で新たな副産物も生まれました。それは、数年後に来るであろう試験システムの更新の際に簡単に新しい試験が追加できるようになり、ユーザーの方々から好評を得ています。



Zwickの製品は全てのノーマル/せん断方向の複合材の特性値を測定します

### スペシャリストと規格

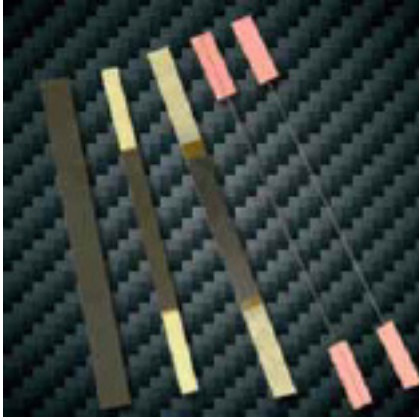
Zwickでは100名を超えるスタッフが、試験機や治具類のデザインから更新される規格に対応したソフトウェアの変更、改善に対応するために、開発に常時携わっています。

当社の試験ラボでもスペシャリストによる新製品の出来栄へのチェック、使い勝手、ユーザーの要求に応えられるか日々試験を通じて研究しています。

また、国際、国内の各種規格委員会へも10名程度のスタッフが常時委員として参加し、常に各種の規格動向（試験機、飛行機、プラスチック、繊維強化材料等）を把握、試験システムへ反映しています。



Zwickの製品によって全ての規格に適った試験を



## 繊維強化材の試験

繊維強化複合材は直交異方性の材料であり、実際の使用条件下では主に弾性挙動を示します。よって応力とひずみは全ての方向に加え、せん断方向にも測定される必要があります。

規格では、様々な角度から材料に荷重を負荷する方法を生み出してきました。

これらの要求に適った試験を実施するにあたり、精緻な治具類はもちろんの事、正確な荷重制御及び特殊なアライメント治具を用いた正確なアライメントも非常に重要になってきます。



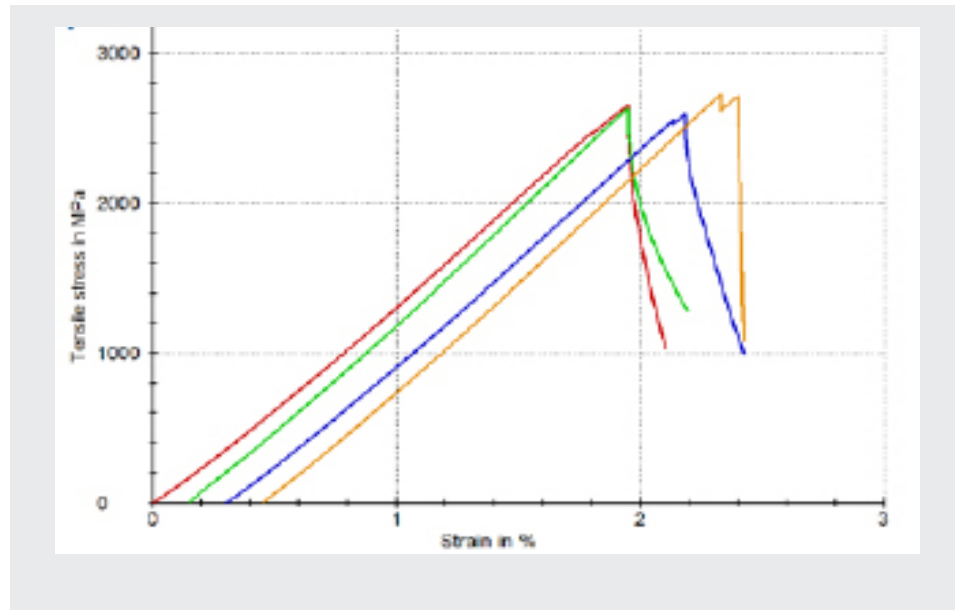
右側がフレーム及び治具。すべての試験をこの1台で行います：これらの治具とフレームにより複合材のあらゆる機械的強度を測定します。また、試験部が上下2ヶ所に分かれており、治具交換の手間を出来るだけ省きたいという考えです。

## ファイバー及びファイバートの引張試験

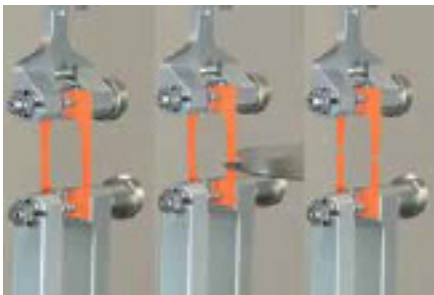
一方向性の強化材料にとって重要な事は、しっかりとグリッピングすることです。

多くのケースでは、グリップエリア近辺での早期のファイバーの破断を避けるために試験片をタブによって保護をして試験を行います。しかしながら、このタブを使用しない方法で試験をすることも可能です。

Zwickでは、極めて幅広い試験片掴み具とチャック刃を揃えています。当社のアプリケーションラボで実際にどのグリップ、どのチャック刃が最適かを見極め、最適なグリッピングの提案をさせていただきます。



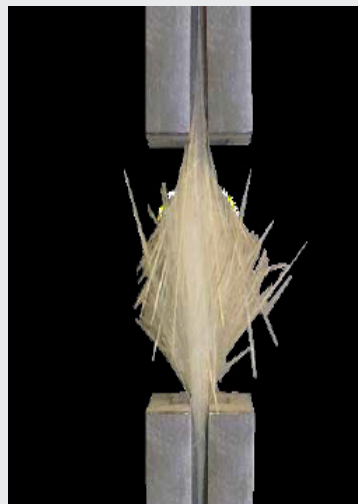
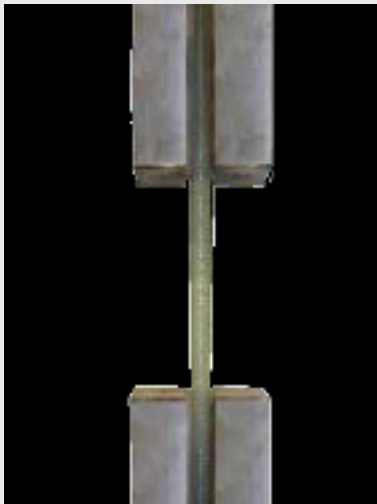
testXpert IIソフトウェアにより正確な試験結果をリアルタイムで



紙にシングルフィラメントを取付けてグリッピング



カーボンファイバートの引張 (接触伸び計)



グリップ間で正しく破断

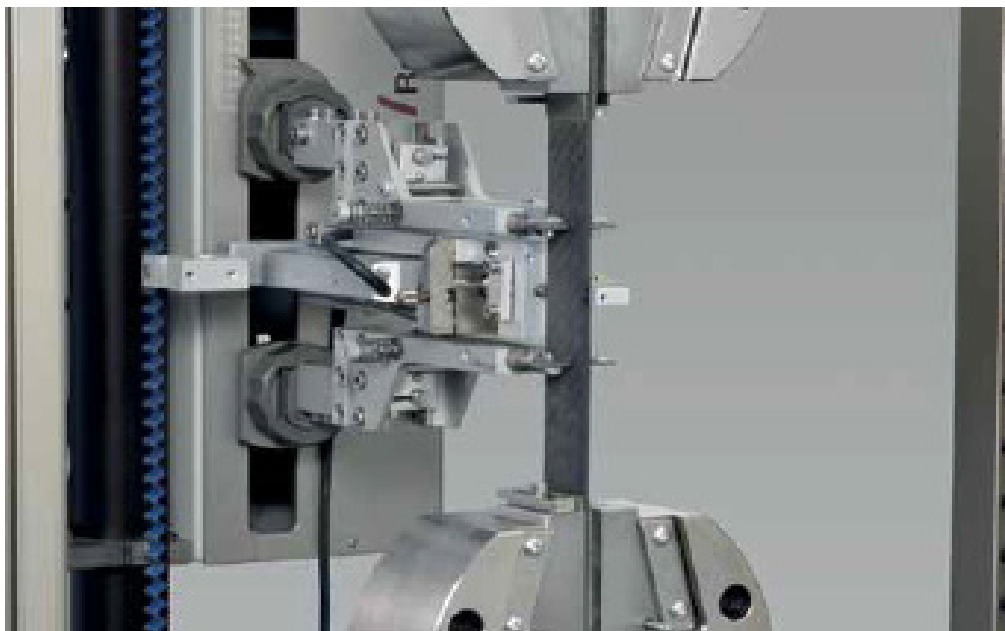
## 積層材 - 引張、Open / filled Hole

一方向性積層材の引張試験で重要なことは、正確なアラインメント、正しいグリップの選択、そして正確な伸び(変位)測定です。

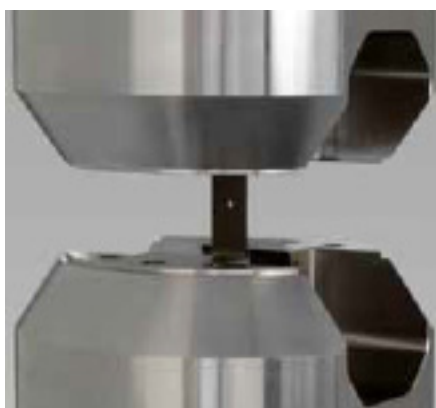
一般的に異方性積層材は大きな断面積の試験片を用いて引張試験を行います。異方性積層材は、多くのケースでは、塑性域における変形が比較的大きいためアラインメントの重要性は一方向性材に比べ低いとされています。

Zwickは様々なソリューションを提供しています: メカニカルグリップ、クサビスクリュウグリップ、油圧グリップ。これら全ては、引張のみならず圧縮、曲げ、そしてせん断試験の治具とも接続可能です。

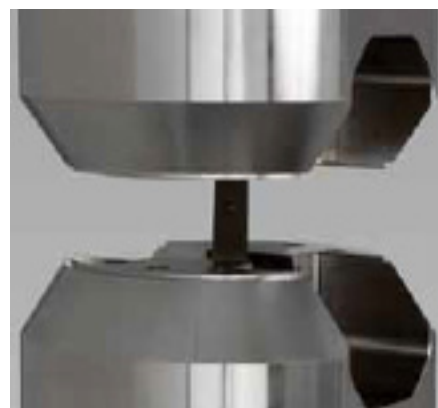
また、同時にひずみ測定も様々なタイプの伸び計を用いて測定しています: ひずみゲージ、クリップオン、フィラーアームタイプ、そして日接触のビデオ、レーザー伸び計から最適なひずみ測定を選択できます。



0°、90°方向の材料の引張試験



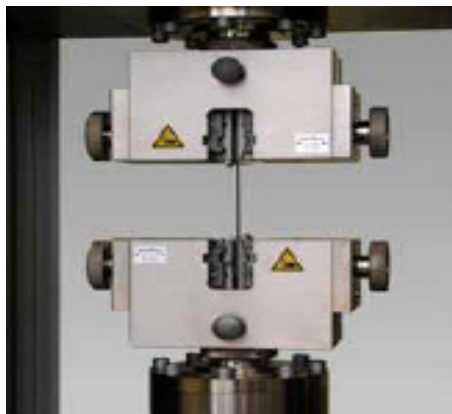
オープンホール引張



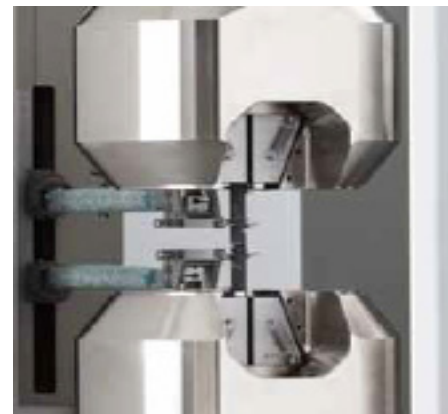
フィルドホール引張



クサビグリップ



平行締付クサビ



油圧定位置グリップ

## 圧縮試験 - OHC, FHC

様々なタイプの圧縮試験がこの40年で開発、実用化されてきました。また、圧縮試験の種類によって固有の治具が必要とされています。

これらの治具は負荷される圧縮荷重のタイプによって区別されます。

2枚の加圧板に試験片を配置して圧縮する方法は、治具としては最もシンプルですが、一方この場合は試験片の加工に細心の注意を払わなければなりません。試験片加工時のアラインメントや試験片の端の表面が正確である必要があります。この試験方法は信頼性の高い圧縮弾性率を求める事が出来ますが、最大荷重に至る手前で試験片が破壊され、圧縮強さが低くでることもあります。

せん断特性もまた材料の強さを測定する上では重要です。古い ASTM 規格では Celanese 方式による圧縮せん断試験が規定されていましたが、試験片の工作精度にデータがあまりにも大きく依存していました。EN 規格では、この問題をグリップのコーンの場所にフラットなクサビを使うことで解決しています。



EN 2850 及び ASTM D 695 に沿った端部圧縮負荷方式。  
支持ブロックによって圧縮軸に対してセンターをとっている。

Zwick 社によって製造された HCCF は今までの問題点を大きく改善したソリューションです。油圧の平行グリップの原理によって試験中のチャック刃の動きが無くなりました。これによって成功する試験数が大きく改善されています。

HCCF は低荷重におけるせん断負荷方式にも高荷重下の複合負荷方式のどちらの試験に対応しています。

また、この方式はエアバスの規格の有孔及び無孔圧縮試験 (OHC, FHC) にも使用可能です。2011年にHCCFはエアバス社によってAITM 1.0008に適合する試験であると認定されています。



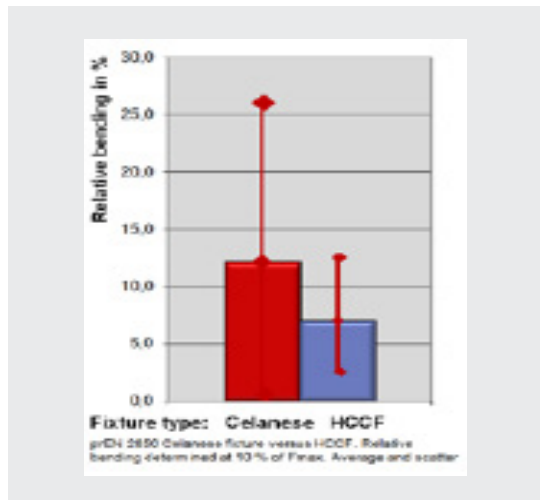
以前のASTMスタンダードのcelanese治具



現在のASTMスタンダードのIITRI 治具



複合負荷方式の治具  
(©Wyoming Test Fixture Inc.)



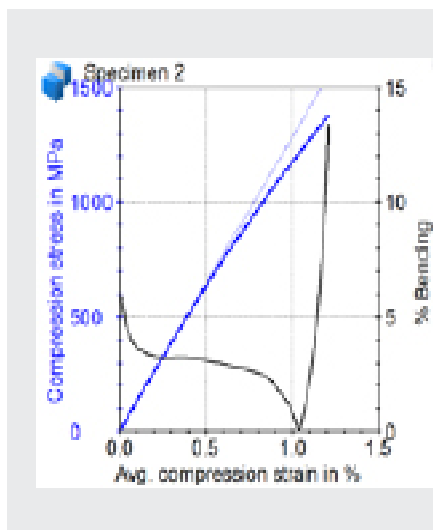
曲げ及びデータの分散が改善

ASTM 規格に準拠した有孔 (OHC) 及び無孔 (FHC) 圧縮試験はバックリングを防ぐためのガイドを使い長い試験片で行います。

Zwick社は HCCFを使い、ひずみゲージあるいは両サイドに clip-on 伸び計を付けて変位を正確に測定しています。



HCCF - 圧縮治具の油圧部材 - はせん断負荷及び複合負荷方式に使用される



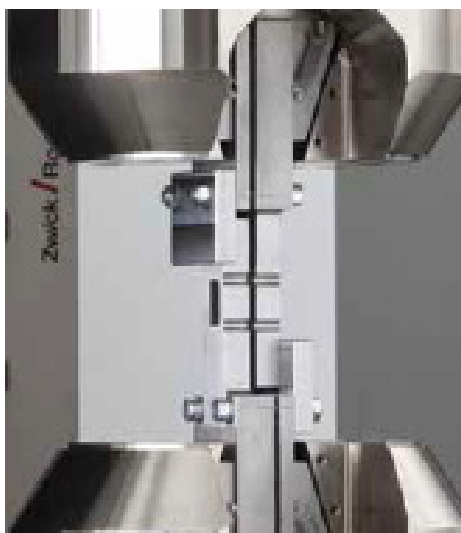
ソフトで S S 曲線及び曲げも



各種規格では clip-on 伸び計による変位測定を許容しています



HCCF ではエアバス社の OHC にも最適



ASTM に準拠した OHC / FHC 試験はバックリングを防ぐガイドが必要。これはせん断負荷では油圧グリップに、端部負荷では耐圧版の間に使われます。



## 衝撃後残留圧縮 - CAI

HIT 230F 落錘衝撃試験機は、衝撃後残留圧縮特性値を求める CAI 試験に最適です。高さが最高1mまで調節可能となっており、インパクトポイントにおけるスピード測定も行っています。

ウェイトの調節がモジュールで設定できますのでインパクトエネルギーの正確な調節が可能です。また特殊な機構により2度撃ちのようなケースが防げます。

計装化された径16 mmのインデンターによって荷重-トラベル曲線を testXpert II ソフトウェア上で見ることができ、ダメージのシーケンス及びエネルギーリリースレートも把握出来るようになっています。

残留圧縮強さの測定は衝撃試験の後の圧縮試験によって行われます。ISO、EN、及びエアバス社の規格では、試験片を上下でクランプすることになっています。ASTM、DIN、及びボーイング社の規格では試験片は各4点でのみガイドされることが要求されています。

曲げとバックリング測定のためにひずみゲージが使われます。

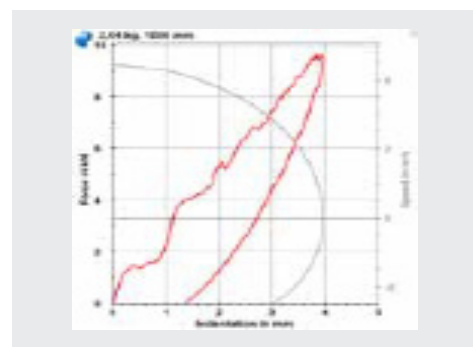
この試験から得られる特性値は衝撃によるダメージに対する材料の耐性を示す貴重なデータとなります。



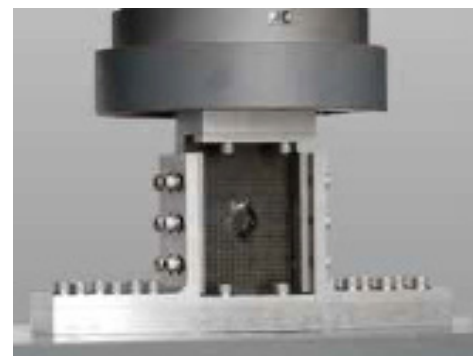
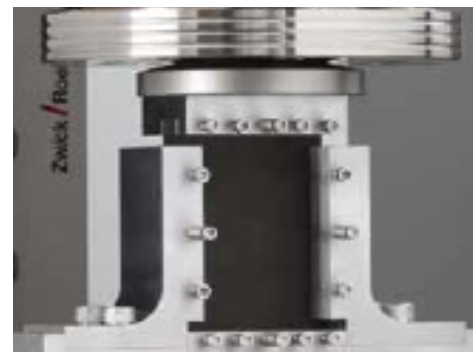
CAI 試験用の HIT230F



CAI 試験片



計装化によって得られる荷重-トラベル曲線



圧縮試験によって得られる残留圧縮強さは衝撃によるダメージへの耐性を現します。(上部: ISO、EN、エアバス規格、 下部: ASTM、DIN、ボーイング規格のそれぞれの治具)

## 面内せん断 - 45°方向引張

このせん断試験は繊維方向の試験片を使い、±45°方向へ引張る試験です。

この試験によって繊維が軸方向に沿ってせん断を起こし、母材に変位を与えます。

縦方向、横方向のひずみを測定することでせん断の変位を決定します。以下可能な測定方法。

- 2つのひずみゲージを使用
- 2軸対応の clip-on 伸び計の使用
- makroXtensと幅計を使用

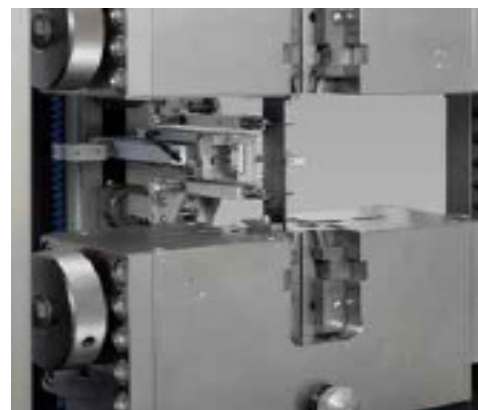
testXpert II は規格対応したせん断応力-せん断ひずみ曲線に対応しており、せん断弾性率及びせん断強さを含めた特性値の計算も行えます。



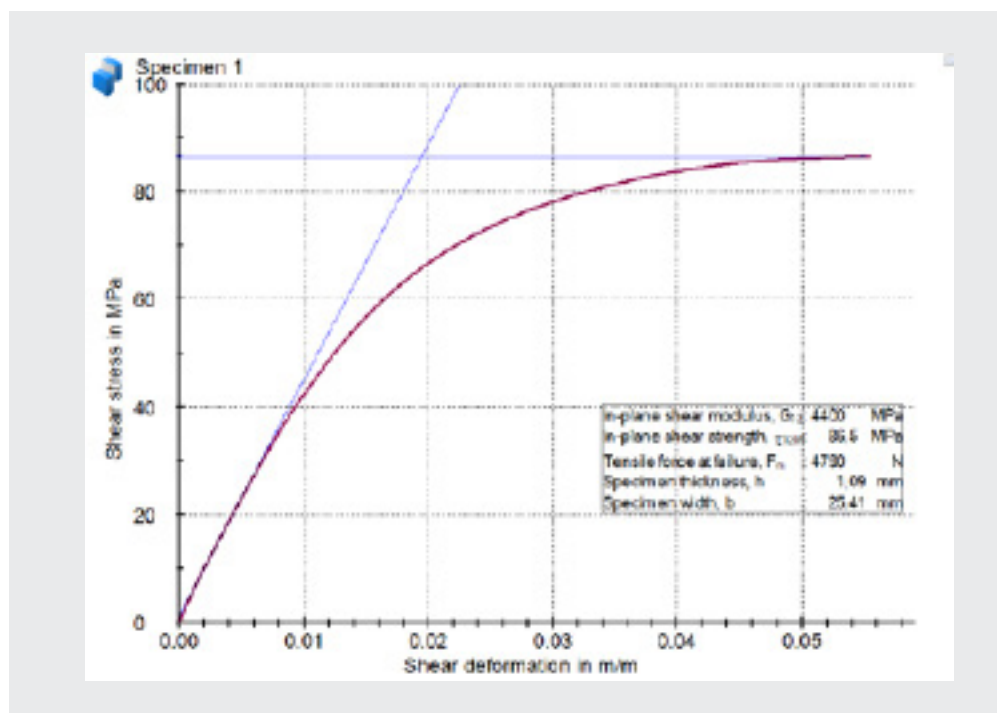
2軸のclip-on伸び計



ひずみゲージでせん断ひずみを測定



makroXtens を使用した測定



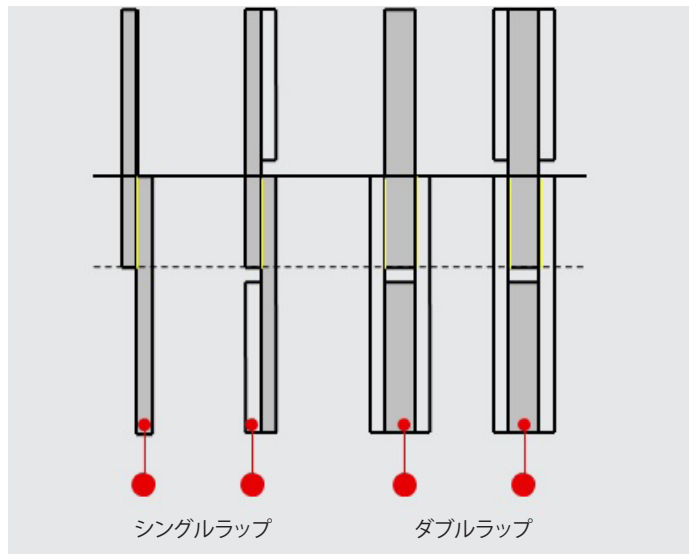
ISO 14129 ではせん断弾性率は0.1%と0.5%で、また EN 6031 では0.05%と0.25%で決定されます

## ラップ引き剥がし試験

この試験は通常層の2つのレイヤー間の接着の強度の比較測定を行うために使われる手法です。

接着されているレイヤーの厚みが分かっている場合、高分解能の伸び計を使用することで引裂きのひずみを測定することが可能です。

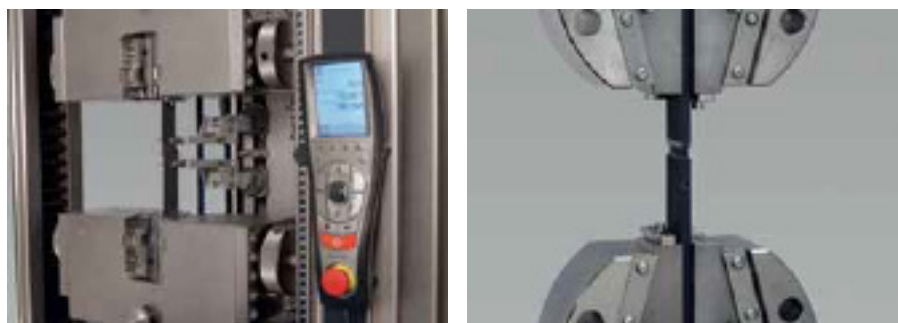
正確なアラインメントが出せるメカニカル、空圧、あるいは油圧のグリップを使うことで正確な試験結果を得ることが出来ます。シングルラップ試験片には横方向の調節機能が付いているグリップが必要となります。



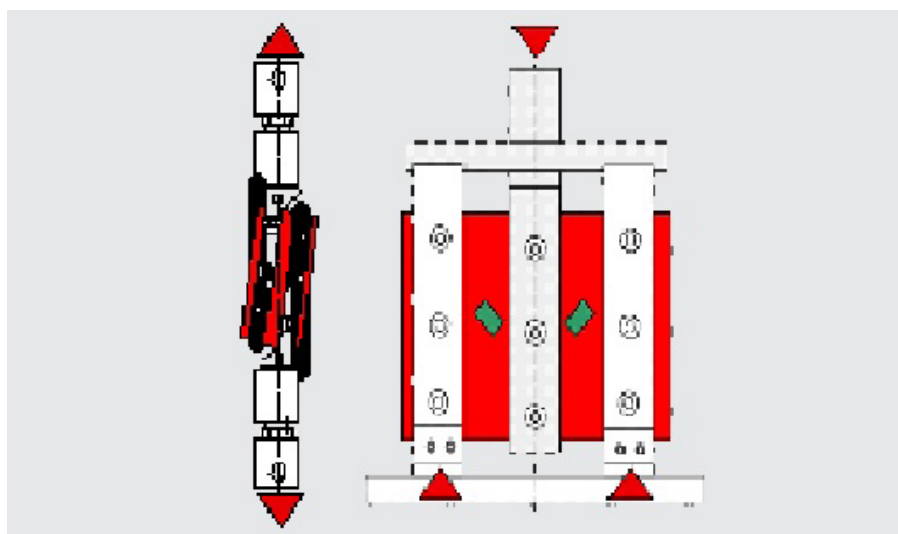
## レールせん断試験

ASTMの規格ではもう一つ、一方向性層(0°)及び織った繊維材(45°及び90°)に対する面内せん断試験の規格を定めています。

この試験ではせん断応力、せん断強さ、せん断ひずみ(ひずみゲージを用いて測定)に加え、せん断弾性率も測定されます。



左) シングルラップ試験には横方向調節機能が要求されます。  
右) ダブルラップ試験片



ASTM D 4255 に沿ったレールせん断試験:  
左) 2つのレールを用いた引張試験  
右) 3つのレールを用いた引張/圧縮試験

## Vノッチせん断試験

強化繊維材のせん断特性値はVノッチせん断試験によって求められます。

ここでは2つの試験方法が試験片サイズ及び荷重のかけ方で存在します。

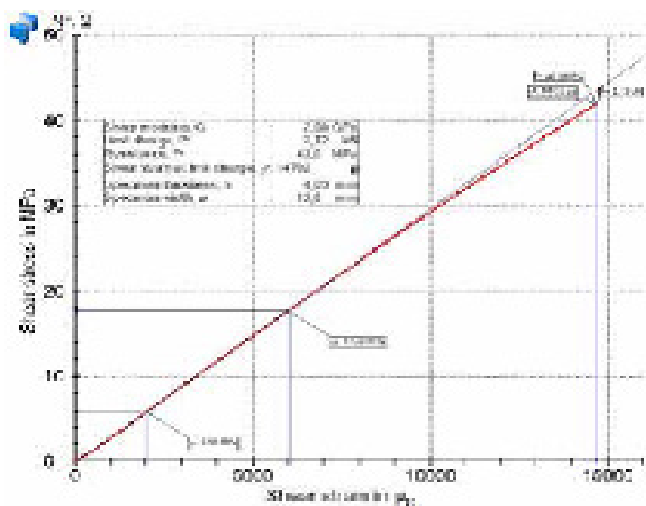
Vノッチレールせん断に使われる試験片は比較的大きいものとなっている一方、イオシペスキメソッドでは、試験片のエッジに対して荷重をかけ試験を行うという特徴があります。

最も小さな断面に対してせん断の力を集中させるためにノッチを作ります。せん断ひずみはひずみゲージ等を用いて測定します。

イオシペスキメソッドでは、試験片ホルダーに軸方向のガイド付け、曲げ荷重の発生を防いだ状態でせん断試験を行います。



Vノッチレールせん断試験: 正確にアラインメントを取るための治具及びその試験片



Vノッチせん断試験(イオシペスキメソッド): testXpert IIソフトウェアによって正確な試験結果(せん断応力、せん断ひずみ)が得られます

## ショートビーム法による層間せん断強さ

この試験は、支持スパンの長さで試験片の厚みの比率を低くして行います。その結果、試験片に対して十分なせん断荷重を加えて、破壊に至ります。

層間せん断強さ (ILSS) 試験治具は様々な温度環境で行えるようにデザインされています。

支持台と荷重を加える圧子は正確にアライメントされていなければなりません。Zwickの治具は横方向から伸びるガイドアームによって正確なセンタリングが行えるようになっており、最初の0.5 mmの横方向のふれは1マイクロンと極めて小さな値となっています。

支持台の内面に設置されたレファレンスサーフェイスによって支持スパンの正確なモニタリングを行うことも出来ます。

様々なセッティングゲージやリードスクリュー調整をオプションにて提供しています。これらにより異なる試験片の厚みにも対応しています。

Standard	Loading nose, R	Support radius, r	Support distance, L	Centering accuracy
ISO 14130	5 mm	2 mm	5 h ± 0.3 mm	-
ASTM D 2344	3 mm	1.5 mm	4 h ± 0.3 mm	± 0.3 mm
EN 2377	3 ... 5 mm	2 ... 3 mm	5 h ± 0.1 mm	-
EN 2583	3 mm	3 mm	5 h ± 0.1 mm	± 0.02 mm
CRAG method 100	3 mm	3 mm	4 h ± 0.5 mm	-
			5 h ± 0.5 mm	-

h = specimen thickness



ILSS試験用治具: 横方向から伸びるガイドアームによる正確なセンタリング



スタンダードな10 mmのセッティングゲージによる正確なアライメント



様々な支持スパンに対するセッティングゲージ



試験片近辺に取り付けた温度センサー

## 曲げ試験

3点及び4点曲げ試験は、試験片の厚みに対する16~40倍の支持スパンで行われます。これによって、せん断応力が無視できるほどの小さな値となります。

曲げ弾性率及び強さは積層によって大きく影響を受けますが、引張強さとの相関関係はありません。

Standard	Method	Thickness, h	Loading nose, R	Support radius,
ISO 14125	3-Point	≤ 3 mm	5 mm	2 mm
		> 3 mm	5 mm	5 mm
	4-Point	≤ 3 mm	2 mm	2 mm
		> 3 mm	5 mm	5 mm
ASTM D 7264	3-Point, 4-Point	-	3 mm / 0.125 in	3 mm / 0.125 in
ASTM D 790	3-Point	-	5 mm	5 mm
EN 2562	3-Point	-	12.5 mm	5 mm
EN 2746	3-Point	-	5 mm	2 mm

曲げのたわみは一般的にクリップオンタイプの伸び計を用いて測定がされます。しかしながら、Zwick の試験装置には高精度で変位補整システムが搭載されており、多くの場合クロスヘッドトラベルエンコーダーによって正確な曲げたわみの測定を行うことが可能となっています。

曲げ試験用の治具類は-80℃～+250℃の温度領域に対応しており、様々な温度下での試験を行うことが出来ます。



エンドストップによる正確なポジション



圧子と支持のアラインメント



4点曲げ試験の治具



3点曲げにおけるたわみ測定



4点曲げにおけるたわみ測定

## エネルギー解放率 (G) 及び 破壊靱性 (K)

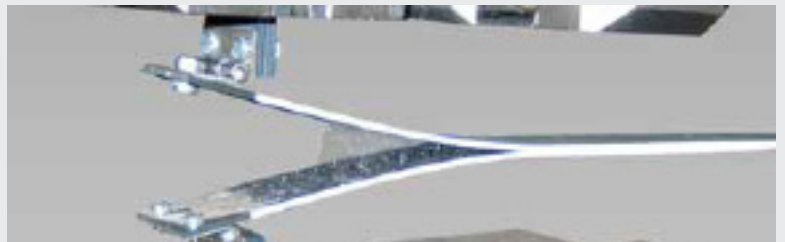
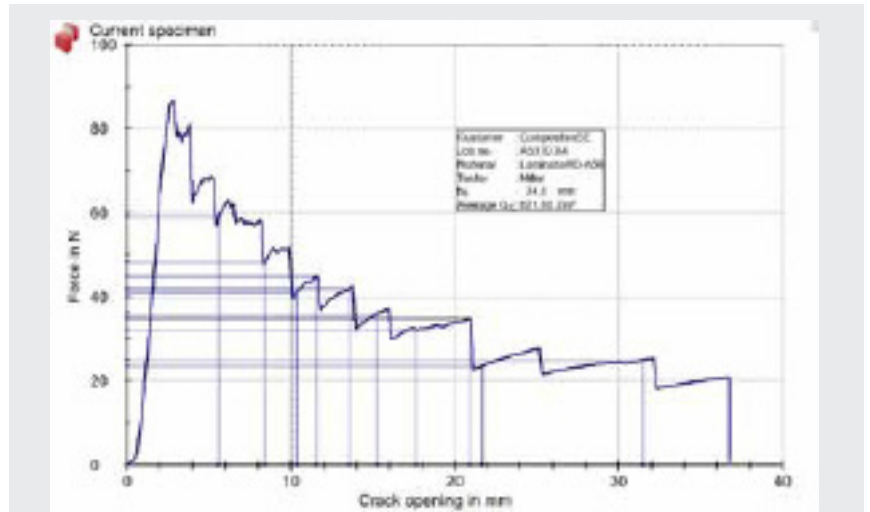
エネルギー解放率 ( $G_c$ ) はある一定の距離間の亀裂伝播に必要とされる単位表面積当りのエネルギーと定義されます。

Mode I – 亀裂開口 – は通常多くの規格で定義されている DCB (Double Cantilever Beam) 方式で測定されます。

Mode II – 面内せん断 – はよく ENF (End Notch Flexure) 方式で測定が行われ、通常は3点曲げで行われますがまれに4点曲げでも行われることがあります。ISOの規格では C-ELS (Calibrated End Loaded Split) 方式に基づいています。TCT (Transverse Crack Tension) 方式はあまり一般的ではありません。

MMB (Mixed Mode I/II Bending) 方式では、モード比を自由に設定することができ、実際の発生する複数の荷重をシミュレーションすることができます。

母材の場合は Mode I 応力強度係数  $K_{Ic}$  が一般的には使われます。



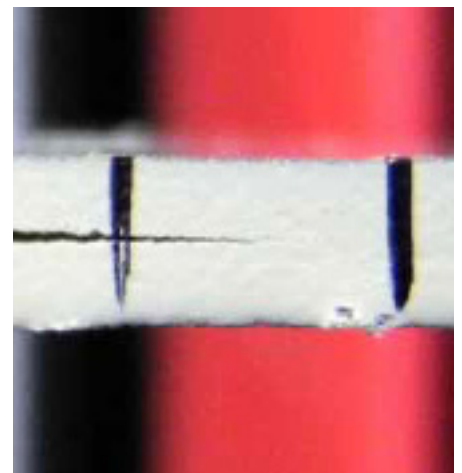
Mode I DCB方式によるエネルギー解放率(上部グラフ)、試験片のアラインメント(真ん中)試験の様子(下部)



Mode II エネルギー解放率、ENF方式



MMB方式



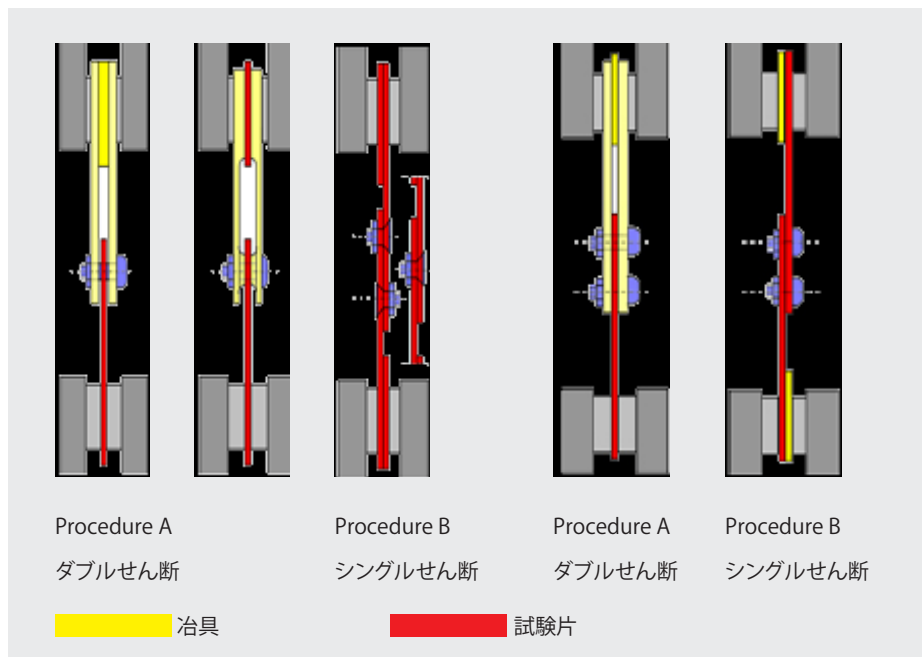
亀裂伝播の様子

## ピン軸受強度及び 孔の変形

ピン及びボルト等で継ぎ手をされた軸受の能力の評価は多くの規格、品質管理において極めて重要なパートです。

この試験は実際に使用される環境、荷重を想定して行うのが一般的です。シングル及びダブルラップせん断の両方ともに1つあるいは2つのピン継ぎ手の状態で試験が行われます。2つのピン継ぎ手はおもに突き抜け強度を測定するために行われます。

この試験は継ぎ手のタイプによっても変わってきます:ピン継ぎ手はプレートと試験片の間に一定のクリアランスを確保して行う、一方ボルト継ぎ手の場合一定の締付トルク下で行います。



孔の変形はプレートと試験片の間に装着された伸び計を用いて測定します。

testXpert II ソフトウェアのスタンダード試験プログラムによって規格に沿った試験を行うことができます。

この試験は一般的に引張荷重で行います。圧縮荷重下で行うことはあまり一般的ではありません。



ピン軸受強度、シングルせん断、圧縮試験 (ASTM D 5961 Method B)



ASTMの規格に沿ったOHC-FHCのバックリングを防ぐガイド

# Zwick / Roell

## Zwick Japan Corporation

〒222-0033  
神奈川県横浜市港北区新横浜 3-8-8  
日総第16ビル405

Phone : 045-595-9655  
Fax : 045-595-9656

E mail : [info@zwick.jp](mailto:info@zwick.jp)  
HP : [www.zwick.jp](http://www.zwick.jp)  
YouTube : [ZwickRoell.tv](https://www.youtube.com/ZwickRoell.tv)

## ZwickRoell AG

August-Nagel-Str. 11  
D-89079 Ulm  
Phone +49 7305 10 - 0  
Fax +49 7305 10 - 200  
[info@zwickroell.com](mailto:info@zwickroell.com)  
[www.zwickroell.com](http://www.zwickroell.com)

Members of the Zwick Roell AG

## Zwick GmbH & Co. KG

[www.zwick.com](http://www.zwick.com)

## Indentec

### Hardness Testing Machines Ltd.

[www.indentec.com](http://www.indentec.com)

## Messphysik Materials Testing GmbH

[www.messphysik.com](http://www.messphysik.com)

## GTM Gassman Testing and Metrology

[www.gtm-gmbh.com](http://www.gtm-gmbh.com)

## ASMEC GmbH

[www.asmec.com](http://www.asmec.com)

Your local company worldwide

