

機械構造用炭素鋼（S45C）による片持ち回転曲げおよび均一回転曲げ特性の同等性に関する実験的検証

株式会社 山本金属製作所 國分、山本（泰）、河合
立命館大学 菊池、上野、酒井

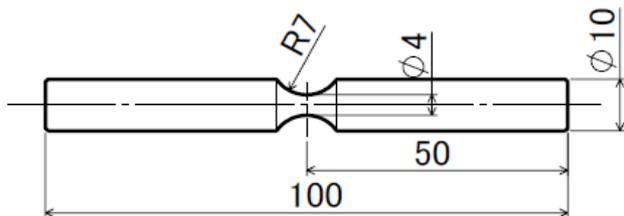
背景

S-N線図の作成には長期間必要

近年では多連式の片持ち式回転曲げ疲労試験機が普及-(砂時計型試験片)



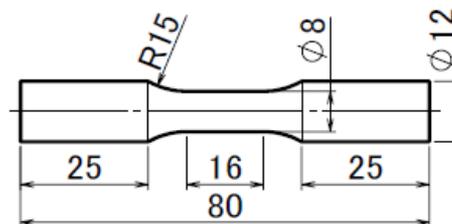
株式会社山本金属製作所



両持ち式回転曲げ疲労試験機も使い続けられ多数のデータを蓄積-(平滑試験片)



株式会社テークスグループ



背景

弊社に互換性について問い合わせが多数寄せられる

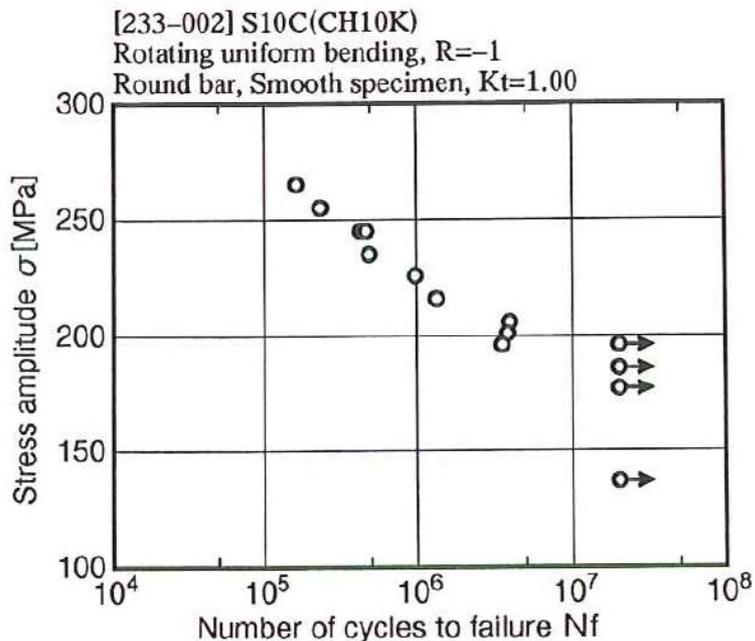


図1 S10C 鋼の均一回転曲げ疲労特性

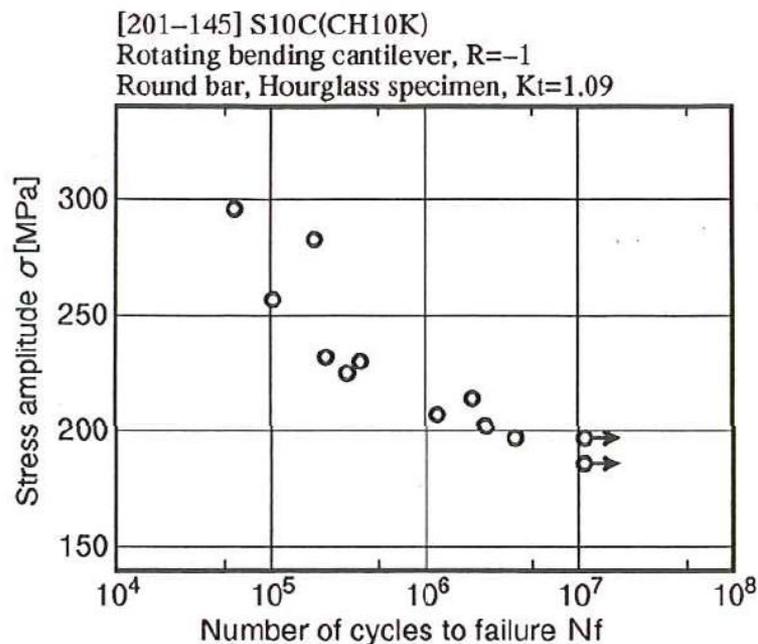


図2 S10C 鋼の片持ち回転曲げ疲労特性

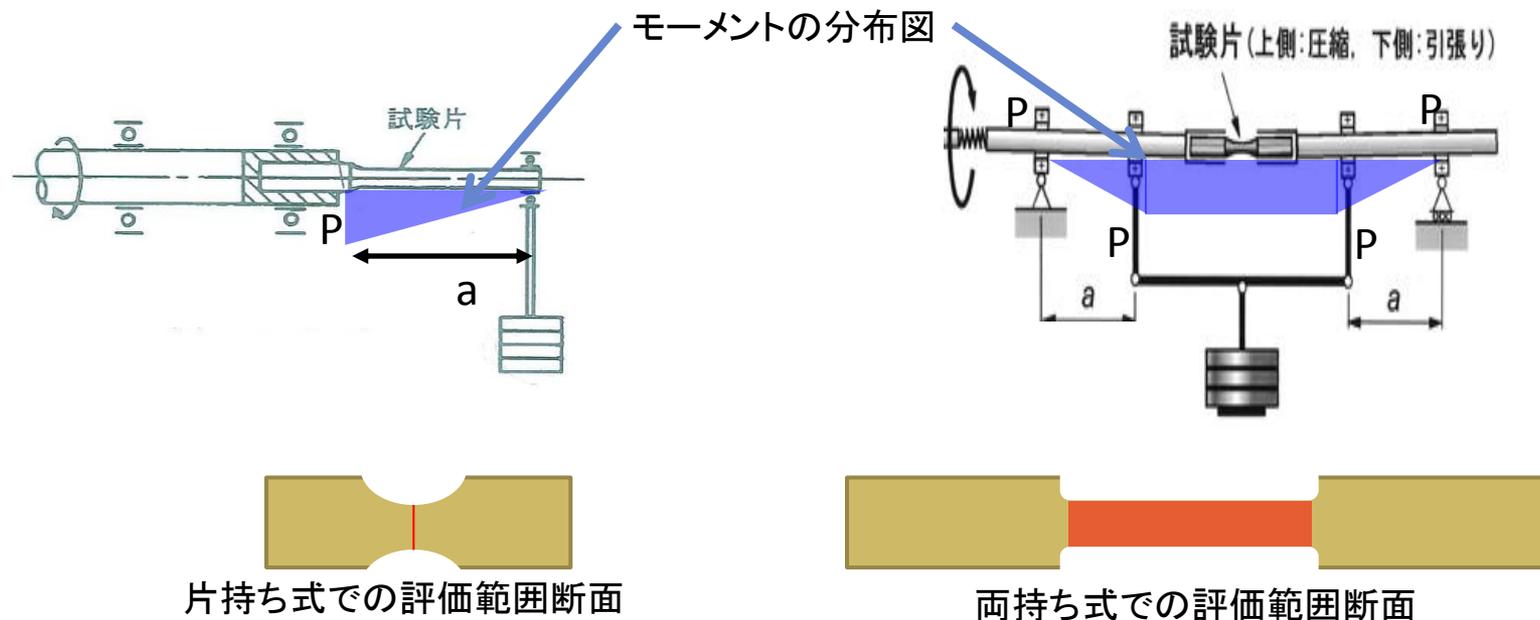
参考文献：DATEBOOK ON FATIGUE STRENGTH OF METALLIC MATERIALS

片持ち式と両持ち式は同等の結果

背景

ユーザー様の声 1

それでも、危険体積については異なるのでは？

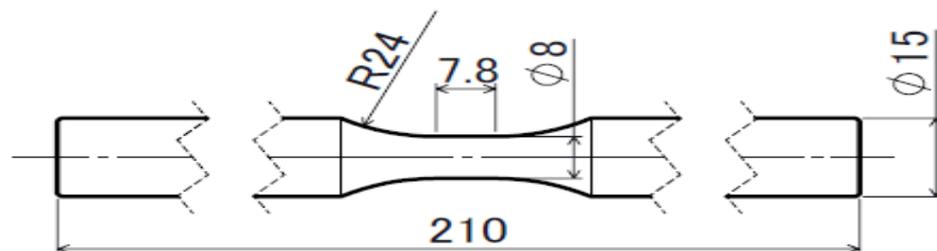
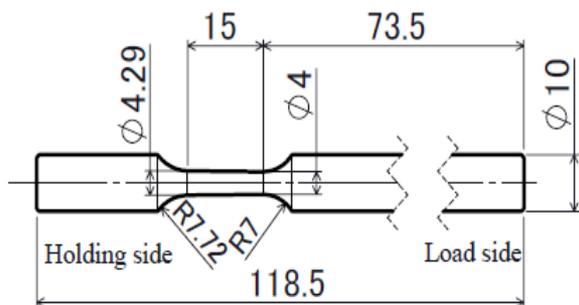
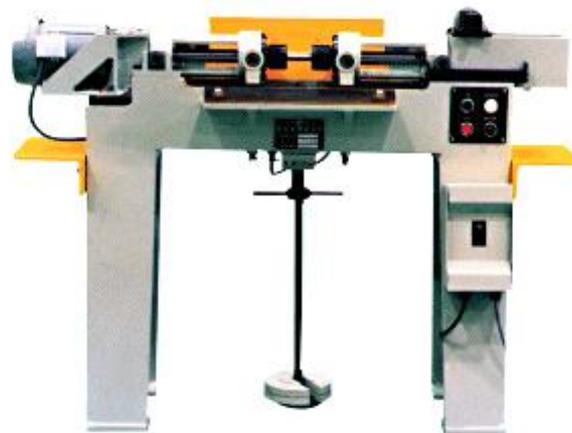


目的

ユーザー様の声 2

危険体積を考慮した試験を片持ち式で実施したい

片持ち式にて危険体積を考慮した疲労試験を実施し、両持ち式と結果を比較



内容

試験片の形状設計

残留応力測定

疲労試験

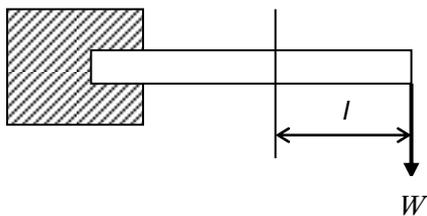
考察

結言



試験片の形状設計

断面一様な丸棒TPの曲げ応力



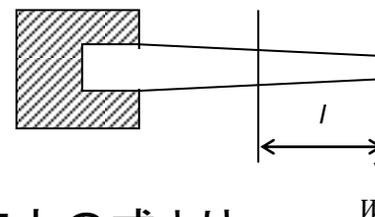
基礎式： $M = \sigma Z$

断面係数： $Z = \frac{\pi d^3}{32}$

モーメント： $M = Wl$

曲げ応力： $\sigma = \frac{M}{Z} = \frac{32Wl}{\pi d^3}$

曲げ応力一様なテーパ型TP



曲げ応力の式より

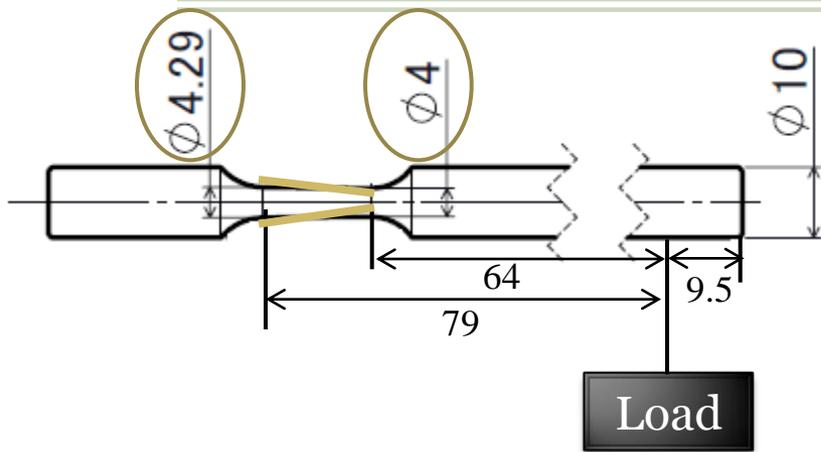
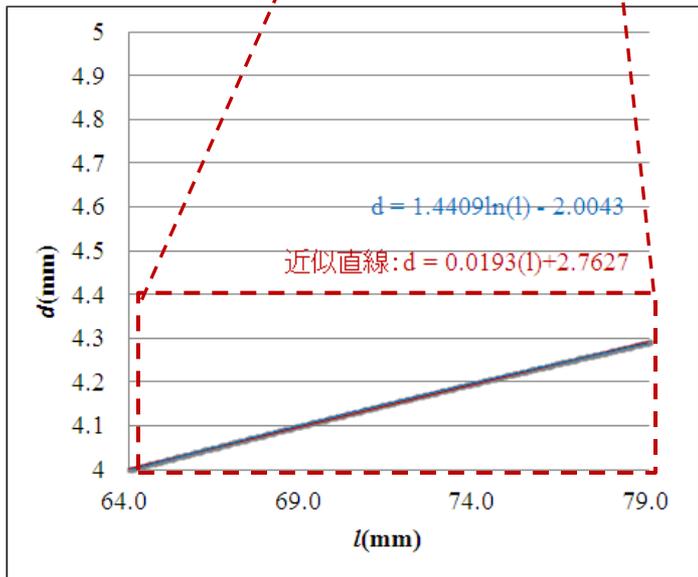
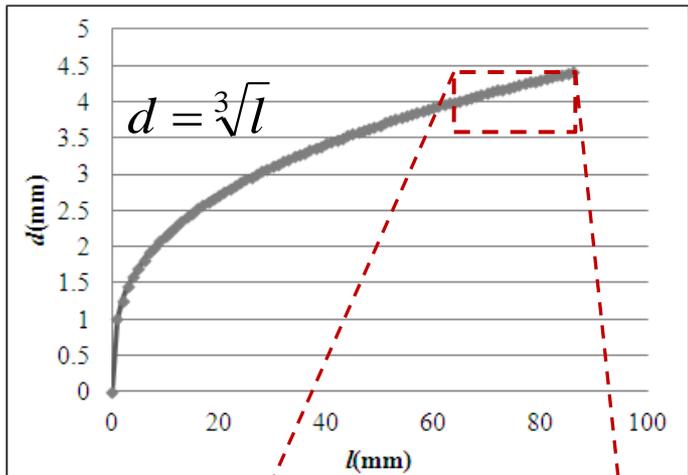
$$d^3 = \frac{32Wl}{\pi\sigma}$$

任意の位置で σ 一定となる d を求めると

$$d = \sqrt[3]{\frac{32Wl}{\pi\sigma}}$$

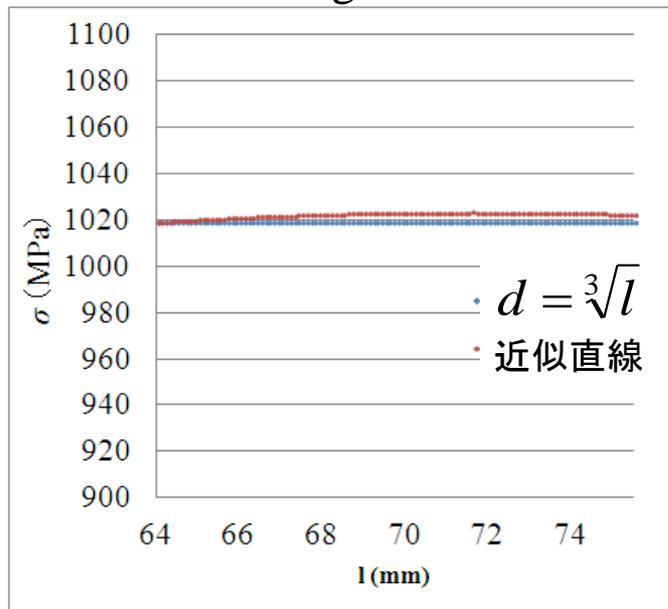
切欠き径が $\sqrt[3]{l}$ に比例するよう変化すれば均一な曲げ応力が発生

試験片の形状設計



荷重点から遠い位置では直線近似可能

例. 荷重10kgでの応力差



※応力差は0.42%(4.26MPa)と誤差範囲

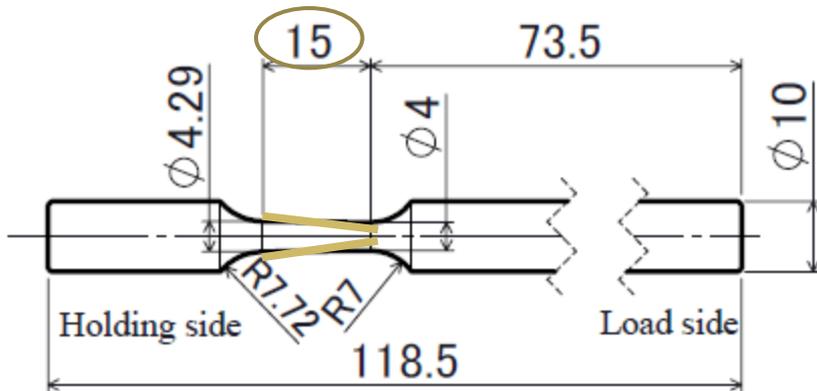
試験片の形状設計

疲労破壊はTP表層における結晶粒のすべり帯から発生

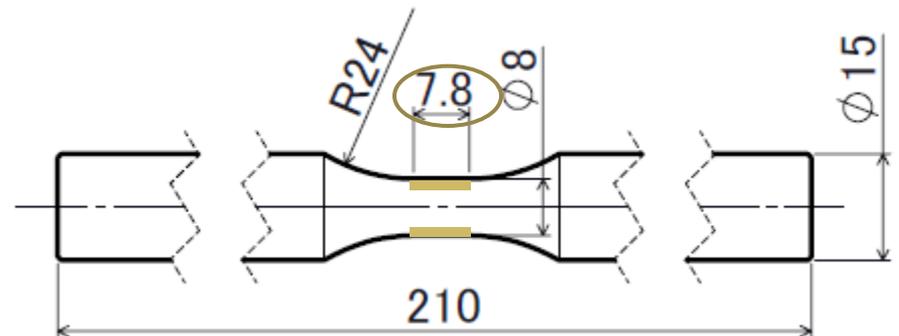
供試材の結晶粒直径を $30\mu\text{m}$ と想定

深さ $30\mu\text{m}$ の表面層の体積が同等(5.8mm^3)となるよう切欠き長さを設計

片持ち式-テーパ-TP



両持ち式-平滑TP



供試材 : S45C

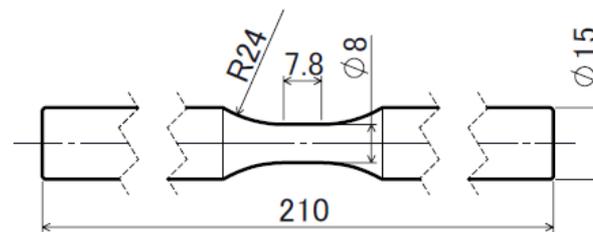
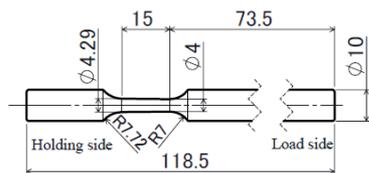
熱処理 : 880°C 45min (油冷), 420°C 50min(空冷)

Material	C	Si	Mn	P	S	Ni	Co
S45C	0.42	0.15	0.60	0.30	0.35	0.20	0.20



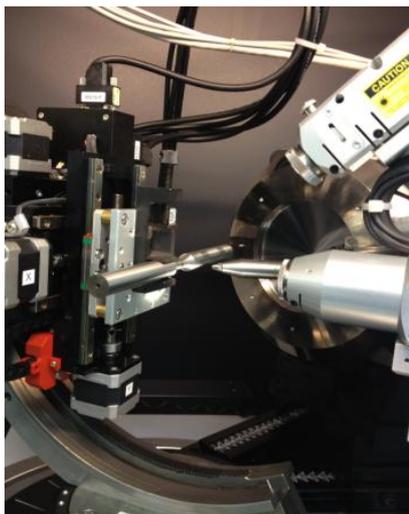
残留応力

各試験機によってTPの全長や切欠き径が異なる



加工によって試験片が受けるストレスも異なるのでは？

プレ疲労TPを作製し残留応力の測定

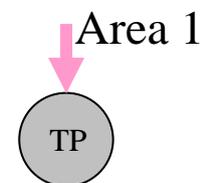


測定機: D8 Discover with GADDS

測定方向: TP長手方向

回折線: Cr-K α

測定箇所: 切欠き中央

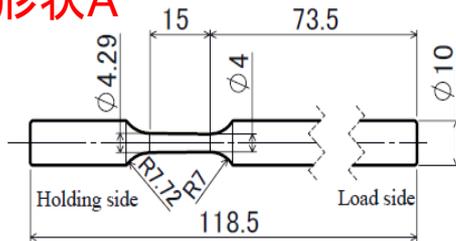


残留応力

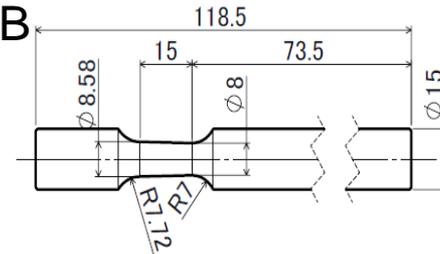
供試材: S45C (熱処理 無)

加工条件は同一: 主軸回転数600rpm、送り0.1mm/rev、切込み深さ0.05mm

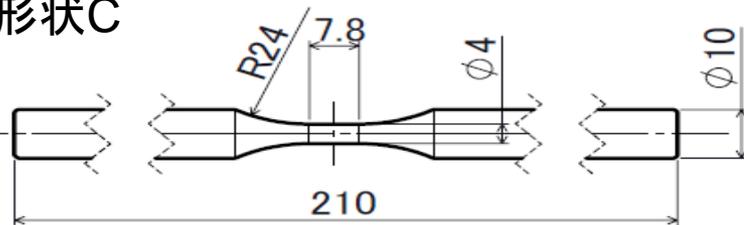
形状A



形状B



形状C



形状D

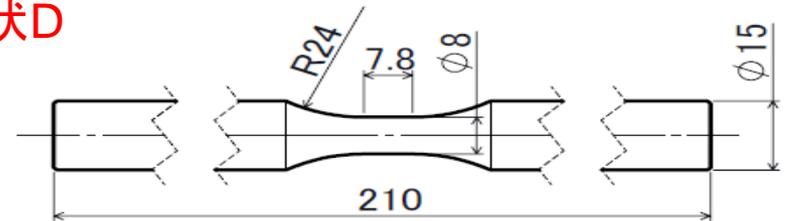


表1 各形状での残留応力 (MPa)

	φ4	φ8
テーパ-TP L=118.5	-226	-204
平滑TP L=210	-142	-98

【結果】

径が小さいほど圧縮残留応力は大きい
全長が長いと圧縮残留応力は小さい



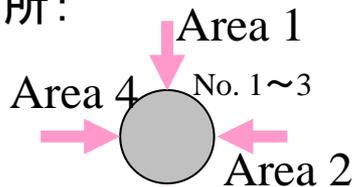
試験機によるTPの使用制限から形状Aと、
データ蓄積量の多い形状Dで疲労試験

残留応力

供試材 : S45C

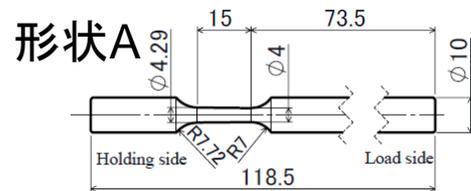
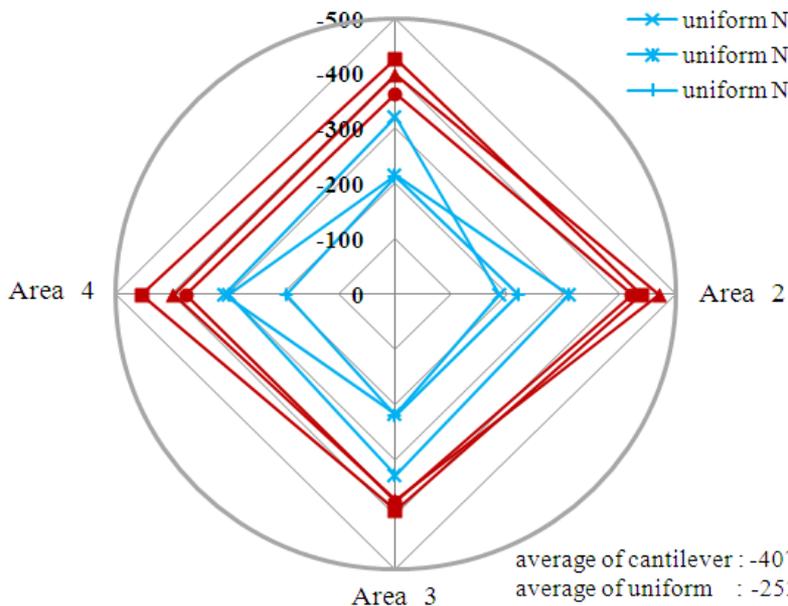
熱処理 : 880°C 45min (油冷), 420°C 50min (空冷)

測定箇所 :



Area 1
Area 1

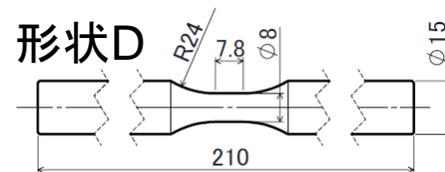
- cantilever No.1
- ▲ cantilever No.2
- cantilever No.3
- ✕ uniform No.1
- ✱ uniform No.2
- + uniform No.3



片持ち式-テーパ-TP

平均 -407MPa

Measurement location	Residual stress (MPa)				
	Area1	Area2	Area3	Area4	Average
1	-364	-422	-376	-373	-384
2	-397	-471	-373	-396	-409
3	-426	-439	-391	-454	-427



両持ち式-平滑TP

平均 -252MPa

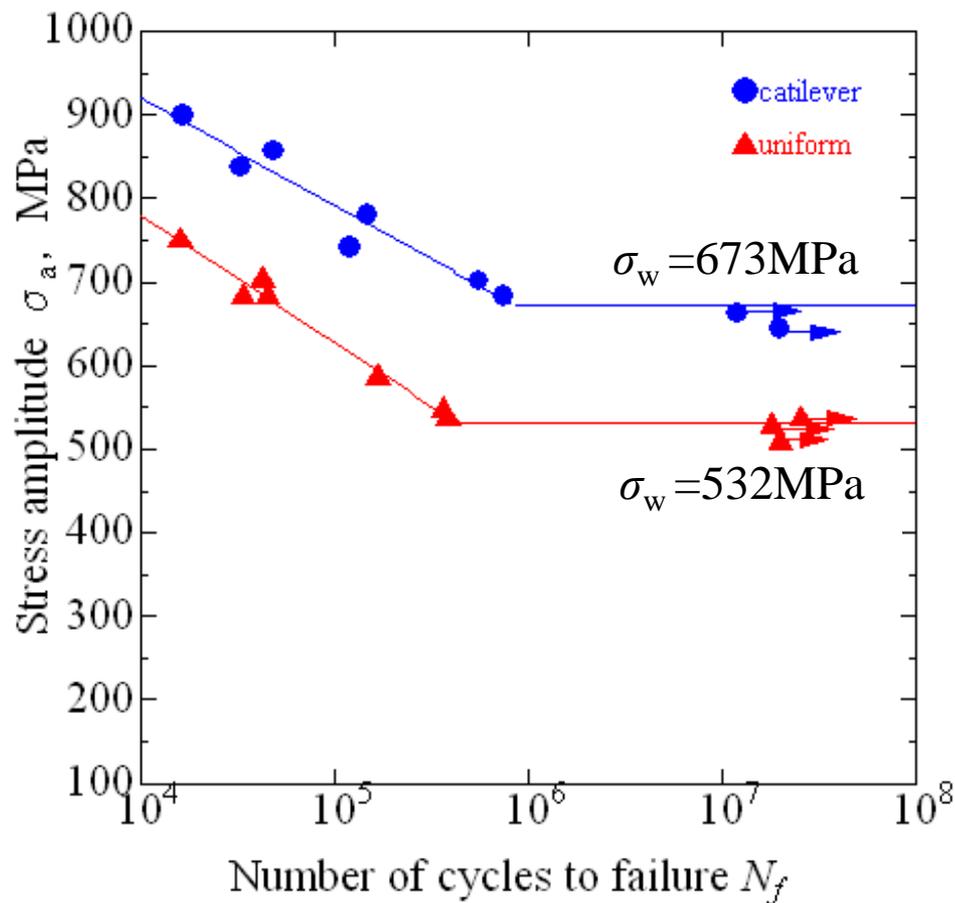
Measurement location	Residual stress (MPa)				
	Area1	Area2	Area3	Area4	Average
1	-322	-185	-217	-305	-257
2	-216	-311	-328	-297	-288
3	-213	-221	-221	-194	-212



疲労試験

供試材: S45C

熱処理: 880°C 45min (油冷), 420°C 50min (空冷)



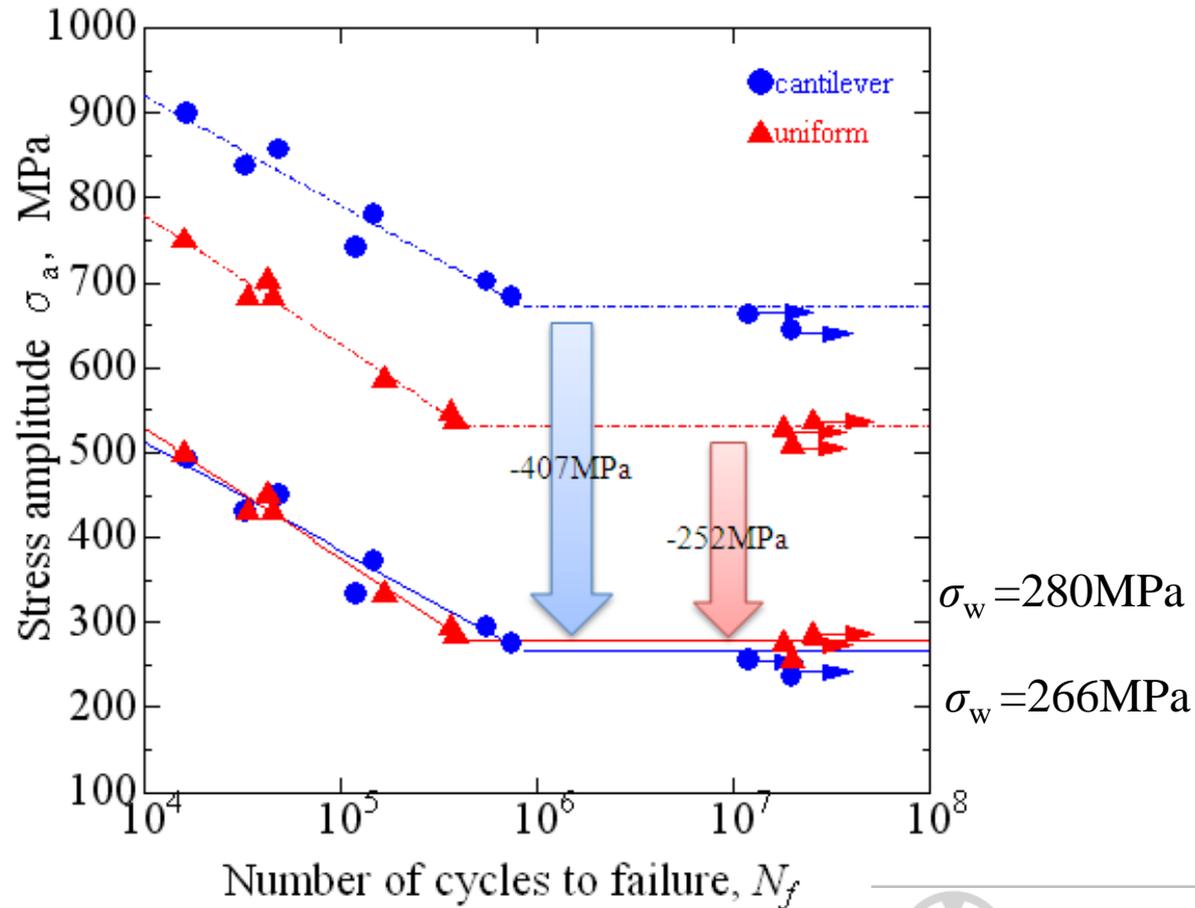
「折れ線モデル」によりS-N曲線を回帰



YAMAMOTO METAL
TECHNOS, CO. LTD.

考察

- ・各TPの圧縮残留応力を平均応力がかかっているものと考えた
- ・負荷応力から圧縮残留応力を差し引いた値を真の負荷応力として補正



結 言

機械構造用炭素鋼 S45C を用いて、片持ち式-テーパーTPおよび両持ち式-平滑TPの同等性に関して実験的検証を実施

1)危険体積として表層部の結晶粒寸法の厚さの表層部体積を同じにすれば、
両方式の試験結果は同等

2)TP加工時に導入される圧縮残留応力を測定し平均応力として補正すれば、
両方式の試験結果は同等

3) 1)、2)より荷重様式が異なっても**4連式回転曲げ疲労試験機は小野式回転曲げ疲労試験機と同等の結果を得ることを検証**

今後の予定

片持ち-砂時計型TP ϕ 4と両持ち-平滑試験片 ϕ 8での結果は危険体積の影響を考慮しても違いがないのでは？

片持ち-砂時計型TP ϕ 4と両持ち-平滑TP ϕ 8を作製し、疲労試験実施