

委託調査研究実績報告書

(工業標準化法 J N L A 制度における測定の不確かさ
及び技能試験用試料開発に係る調査)

平成 17 年 3 月 25 日

財団法人 日本品質保証機構

目 次

1 . 受託年月日及び金額	2
2 . 実施した委託業務の概要	2
(1) 調査研究項目の実施状況、研究担当者氏名	2
(2) 調査研究成果の概要	3
(3) 委員会開催状況表	6
3 . 調査研究成果	7
工業標準化法 JNLA 制度における測定の不確かさ及び 技能試験用試料開発に係る調査 (1)	7
・SB410 厚さ 12mm 及び 4 5 mm 鋼板 (JIS G 3103 「ボイラ及び圧力容器用鋼板」) を用いての引張試験結果	7
工業標準化法 JNLA 制度における測定の不確かさ及び 技能試験用試料開発に係る調査 (2)	33
・セットボルト (JIS B 1186 「摩擦接合用高力六角ボルト・六角 ナット・平座金のセット」) を用いての試験結果	33
4 . 添付資料	58
ボルト試験成績表	58
SB410 鋼材 1 2 mm 及び 4 5 mm の材料検査証明書	61

1. 受託年月日及び金額

受託年月日 : 平成 16 年 8 月 6 日
受託金額 : 9,878,557 円

2. 実施した委託業務の概要

(1) 調査研究項目の実施状況、担当者氏名

独立行政法人製品評価製品評価技術基盤機構（以下、「NITE」という）が、「工業標準化法 JNL A 制度における測定の不確かさの推定及び技能試験用試料開発」に係る調査を委託することを受け、調査を実施することになった。

目的は、測定の不確かさについて調査しその推定事例を作成するとともに、これを技術情報として広く提供することによって試験事業者の測定の不確かさ推定に係る理解の促進を図ることであり、これを受けて次のように実施計画を立てた。

JNL A 制度における 14 分野に係る試験の内一般機械分野（JIS B 1186 六角ボルト）及び鉄鋼・非鉄金属分野（JIS G 3103 ボイラ及び圧力容器用鋼板）の試験について試験結果に影響する要因等を調査し、試験データを取り、統計的手法を用いて測定の不確かさを推定する。

測定の不確かさ推定に当たっては、NITE が定めた「JNL A の試験における推定の不確かさの適用に関する方針」の 4.2.(3) III 定量試験 B に記載されたいずれかの方法による。

技能試験に用いることが可能な均質な試験試料の開発を行う。（技能試験材料の作成は含まない。）

調査担当者氏名

役割	氏名	所属	備考
総括責任者	杉本 明	機械部門 計画室 室長	
リーダー	山田 政司	中部試験センター 建材試験課 課長	
副リーダー	須山 乾次	関東機械試験所 所長	NITE 委員
技術アドバイザー	中本 文男	中部試験センター 師勝試験所 所長	
調査委員	高井 淳一	関東機械試験所 試験検査課 課長	
調査委員	西谷 俊治	中部試験センター 建材試験課 主幹	
調査委員	船田 幸一	関西試験センター 機械建材課 課長	
調査委員	角谷 直人	関西試験センター 機械建材課 主任	

(2) 調査研究成果の概要

今回の調査研究は、一つには JIS G 3103「ボイラ及び圧力容器用鋼板」の材料試験において、技能試験を実施する場合に用いる試験試料(以下「試験片」という)の開発及び開発された試験片の不確かさを推定するものと、もう一つが JIS B 1186「摩擦接合用高力六角ボルト・六角ナット・平座金のセット」の硬さ、引張強さ(4号試験片と製品)、そしてトルク計数値のそれぞれの試験における測定の不確かさの推定に関するものである。

JIS G 3103 の試験片を開発する目的の調査では、材料からどのような方法で採取(サンプリング)したときに最も均一性が良いかを調べる実験を行った。実験の方法は、試験片のサイズ3水準を信号因子とし、採取条件を制御因子として試験を行い、降伏荷重、最大荷重を出力としたときの測定の SN 比を求め、SN 比の大きくなる各因子の水準を最適条件として選択するものである。材料として鋼板 SB410 の厚さ 12mm と 45mm のものを用い、12mm 鋼板は平板の試験片とし、45mm 鋼板は丸棒に加工した試験片とした。

実験の結果、12mm 平板材においては、圧延方向は横方向、採取位置は中央以外、という条件が均一性良いという結果になった。一方、45mm 丸棒材においては、圧延方向は縦方向、採取位置は中央、厚さ方向は上か下、という条件が均一性良いという結果になった。12mm と 45mm では、圧延方向と採取位置の条件が反対の結果を生じたが、どちらも SN 比に顕著な差は表れていない。これらの両因子の要因効果図から観ると、12mm と 45mm では出力値(荷重)が反対の方向に変わっていることが、SN 比の反転になったものと推測される。均一性を高める意味から、両因子とも採取条件を一定にすることに効果があるものと考えられる。次に、45mm の厚さ方向に対しては、上か下の条件が中より明らかに SN 比が大きい結果となり、これは JIS が推奨している採取条件に合致した。また、仕上面の粗さについては、予想に反し降伏荷重では粗い方が、最大荷重では標準加工が、それぞれ SN が大きくなり、細かい加工が SN 比大とはならなかった。原因は明らかではないが、降伏荷重、最大荷重ともに仕上面が細かい場合が大きくなっており、水準の違いは明らかである。よって、この因子についても一定の仕上面にすることが均一性を高める効果があるものと考えられる。

以上の実験結果に基づき、SN 比による最適条件の選定をした場合の、測定の不確かさについて推定を行った。拡張不確かさ(k=2)で表した値は以下のとおりとなった。

12mm 鋼板	降伏点 : 3.9 %	引張強さ : 1.2 %	伸び : 1.8 %
45mm 鋼板	降伏点 : 4.7 %	引張強さ : 1.5 %	伸び : 2.2 %

上記の結果は、技能試験を実施する場合の不確かさとして妥当な値と考えられる。

JIS B 1186「摩擦接合用高力六角ボルト・六角ナット・平座金のセット」における測定の不確かさの実験内容は、ボルト材料の耐力、引張試験、伸び、絞り、ボルトの製品引張試験、硬さ試験、セットのトルク計数値試験に分けられる。試験の際に想定される誤差因子又は制御がある程度可能な因子が4～6と多いため、 L_{18} 直交表に割り付けた実験を行った。実験の結果を観て、寄与率が大きい因子については、試験条件を特定することも想定することにした。

実験結果について要約すると、

ボルト材料の引張試験について：耐力、引張試験において寄与率が大きいのは载荷加速度の変化であり、また、絞りにおいては、降伏点後の载荷速度(ひずみ増加率)の変化が同様にばらつきに影響することが分かった。絞りにおけるこの影響については従来このような実験結果がないため興味深い結果となった。今回の実験では、载荷速度を毎秒5、15、25 (N/mm²)の水準をとって行ったが、JISの規定範囲(毎秒3～30 N/mm²)内であっても、特性値に影響することが明らかになった。したがって、不確かさ評価においては、使用する試験機がCPU制御などにより一定の载荷速度を保持できる場合には、この要因を除外できるものと考えられる。その他の要因として目立っているのが、試験者の違いによってばらつきが影響していることである。これは試験の手順は同様であっても細かい操作、慣れ等の違いが影響することが伺える。今回の評価ではこれらの試験者によるばらつきは不確かさの要因として含めることとした。

ボルトの製品引張試験について：ばらつきの寄与率が大きいのは、ボルト取り付け時の山数、温度、ボルトの長さの3因子である。ボルトの山数は、実験では、5山、6山、7山の3水準とったが、JISの規定では6山である。これは、荷重を受ける山数を約6山にしたときの引張強さが試験片の引張強さとほぼ同じになることから決められたという経緯がある。よって、実際の、試験では山数の違いによる影響は大きいことから6山に固定した試験条件とすることが推奨される。温度変化は10、25、35の3水準によるばらつきであるが、一般の材料に見られるように温度依存性による結果である。したがって、試験室の環境条件に対応した不確かさを評価することとなる。次に、ボルトの長さの違いによるばらつきは、くさび座金に対して影響したのではないかと推測される。よって、ボルト長さについても試験条件として特定して行う必要があるものと考えられる。

硬さ試験について：ばらつきに影響した因子は、寄与率の大きい順に金属表面温度、圧子の違い、試験位置、読取までの時間、である。表面温度によるばらつきは一般的に見られる材料の温度依存性によるものと思われる。圧子については、今回の実験では使用時間のかなり異なる圧子を3種類使ったので、その影響がでたものと考えられるが、通常、試験機に組み込まれている構成部品であるから、試験機の定期的な管理によって圧子の経時変化を監視すれば影響を少なくすることが期待できる。試験位置によるばらつきがでたのは、座金は薄いため試験片加工が難しく測定位置により平行度の違いがあ

り測定箇所の選び方で値が変わるためである。この影響は同時に試験者によるばらつきにも反映されるようである。最後に読取までの時間については、試験条件を一定にすることで除くことができる因子である。

セットのトルク計数値試験について：寄与率が高い因子は温度である。これは、トルク計数値を安定させるため、ナットに表面処理を施し、A種に入るようにしているが、この表面処理剤が温度により潤滑性が変化するため、低温では計数値が大きくなり、高温では小さくなる傾向がみられるからである。温度を特定することによって影響を除くことができるものと考えられる。次に、山数を変えるとばらつくのは、おねじとめねじとの接触面積が違ってくるためであろうと思われる。経時変化については、1ヶ月程度ではそれほど大きい寄与率とならないようである。

以上の結果から各試験項目について不確かさ評価した結果をまとめたものを下表に示す。

試験項目		拡張不確かさ(k=2)
ボルト材料の 強度試験	耐力	2.0 %
	引張試験	1.6 %
	伸び	2.1 %
	絞り	1.8 %
ボルト製品の 強度試験	引張試験	1.7 %
	硬さ(ボルト)	3.3 \$
	硬さ(ナット)	4.6 %
	硬さ(座金)	2.9 %
	トルク計数値	7.1 %

上記の拡張不確かさの値は、JISの許容差等の値に対して概ね妥当な大きさといえる。

(3) 委員会開催状況表

委員会名称	開催日	委員総数 (関係者)	出席 委員数	謝金 対象者	旅費 対象者	交通費 対象者
第1回 技術委員会	平成16年 9月29日	9 (1)	8			杉本 明 船田幸一 角谷直人 山田政司 西谷俊次 中本文男
第2回 技術委員会	平成16年 10月18日	9 (1)	8			杉本 明 船田幸一 角谷直人 須山乾次 高井淳一
第3回 技術委員会	平成17年 2月28日	8 (1)	7			杉本 明 角谷直人 須山乾次 高井淳一
第4回 技術委員会	平成17年 3月10日	7	7			杉本 明 角谷直人 須山乾次 高井淳一
第5回 技術委員会	平成17年 3月23日	7 (1)	6			杉本 明 角谷直人 須山乾次

工業標準化法 JNLA 制度における測定の不確かさ 及び技能試験用試料開発に係る調査（１）

財団法人 日本品質保証機構

1. 鋼板 SB410 の引張試験における不確かさの特性要因

鋼板の引張試験における不確かさ評価については、既に評価事例があるが、今回の調査では技能試験用試料としての試験片を評価することを主として実験を行う。下図の特性要因図において、試験片に係る要因を取り上げ試料製作における最適条件の評価及びその場合の不確かさを推定するものである。

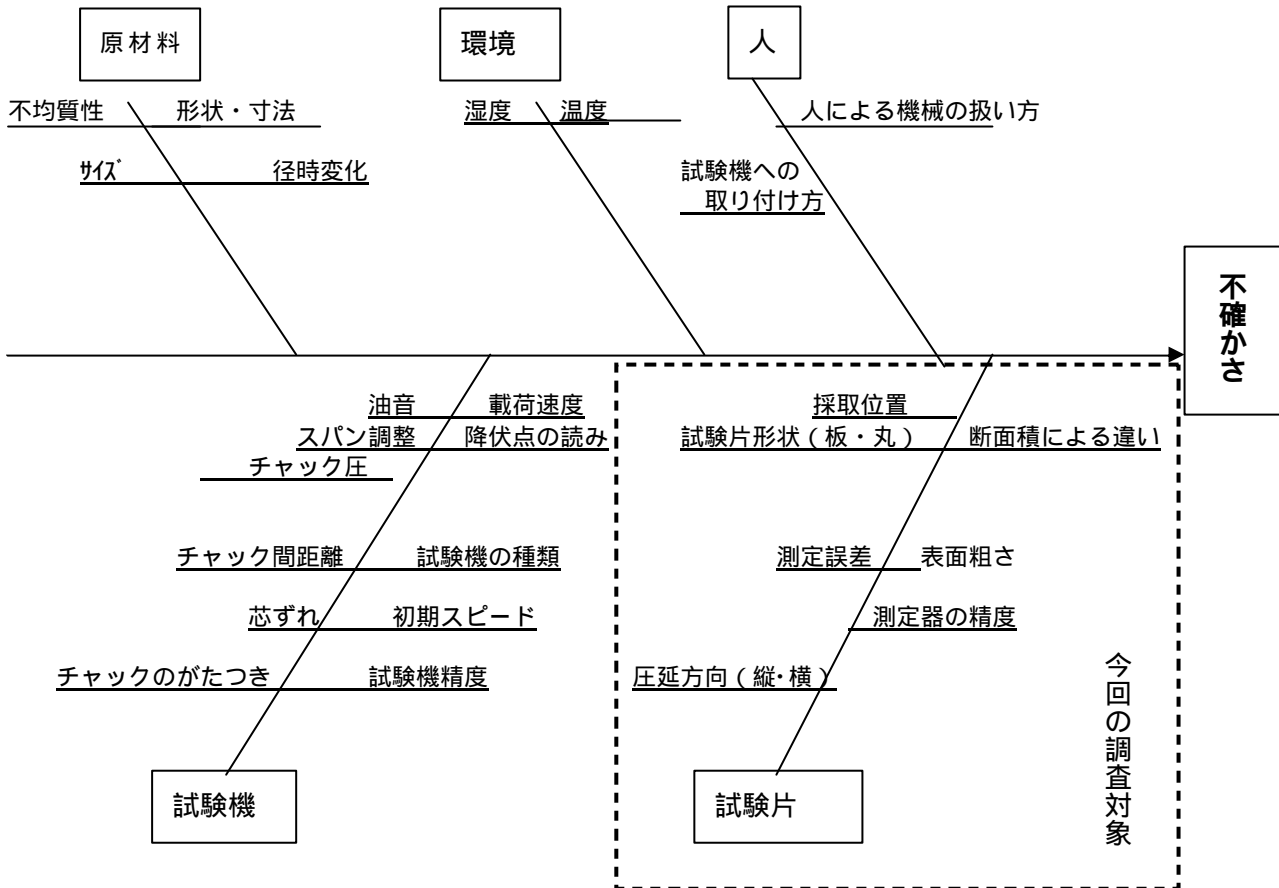


図 1 鋼板の引張試験における不確かさの特性要因図

2. 実験方法

- 1) 実験に使用する試料は、製品規格 JIS G 3103-2003 に基づくボイラ及び圧力容器用炭素鋼及びモリブデン鋼鋼板の製品の種類 SB410 を用いる。原材料の均質性を考慮し同一ロット（同一チャージ）で行う。
- 2) 上記特性要因のうち既に金属材料引張試験の不確かさ算出方法は例示「JNLA の試験における不確かさ評価の事例集（2004.03.25）金属材料引張試験における不確かさ評価の不確かさ要因のリスト及び補正の有無」されており、今回の調査では試験片の最適条件を定めることとし、上記要因のうち試験片に係る要因について実験評価する。
- 3) 最適条件の評価は、サイズの異なる試験片 3 水準を信号因子とし、出力を荷重(力)として測定し、そのときの測定の SN 比によって比較し最適な制御条件を求めるものとする。
- 4) 試験片の測定誤差・測定器精度については必要な場合に不確かさに加える。
- 5) 試験片の制御条件に限定することから、他の条件(試験機の設定条件等)はできる限り一定の条件で実施する。
- 6) 試験条件 :

平板	応力増加率	10 N / mm ² · s	ひずみ増加率	25 % / min
丸棒	応力増加率	10 N / mm ² · s	ひずみ増加率	30 % / min

3. 実験事例

3.1 実験事例1 (SB410の厚さ12mm鋼板を材料とした実験)

1) 実験の割付けは表1のとおりである。

表1. 割り付け表

因子 \ 水準	1	2	3
M: 信号因子 (試験片サイズ)	35 mm	40 mm	45 mm
A: 圧延方向	横(直角)	縦(水平)	-
B: 採取位置	上 1/4	中央	下 1/4
R: 反復	R1	R2	-
n: 繰返し数(試料数)	2本		

2) 試験片の採取方法

図2に示す方法で切断し採取する。

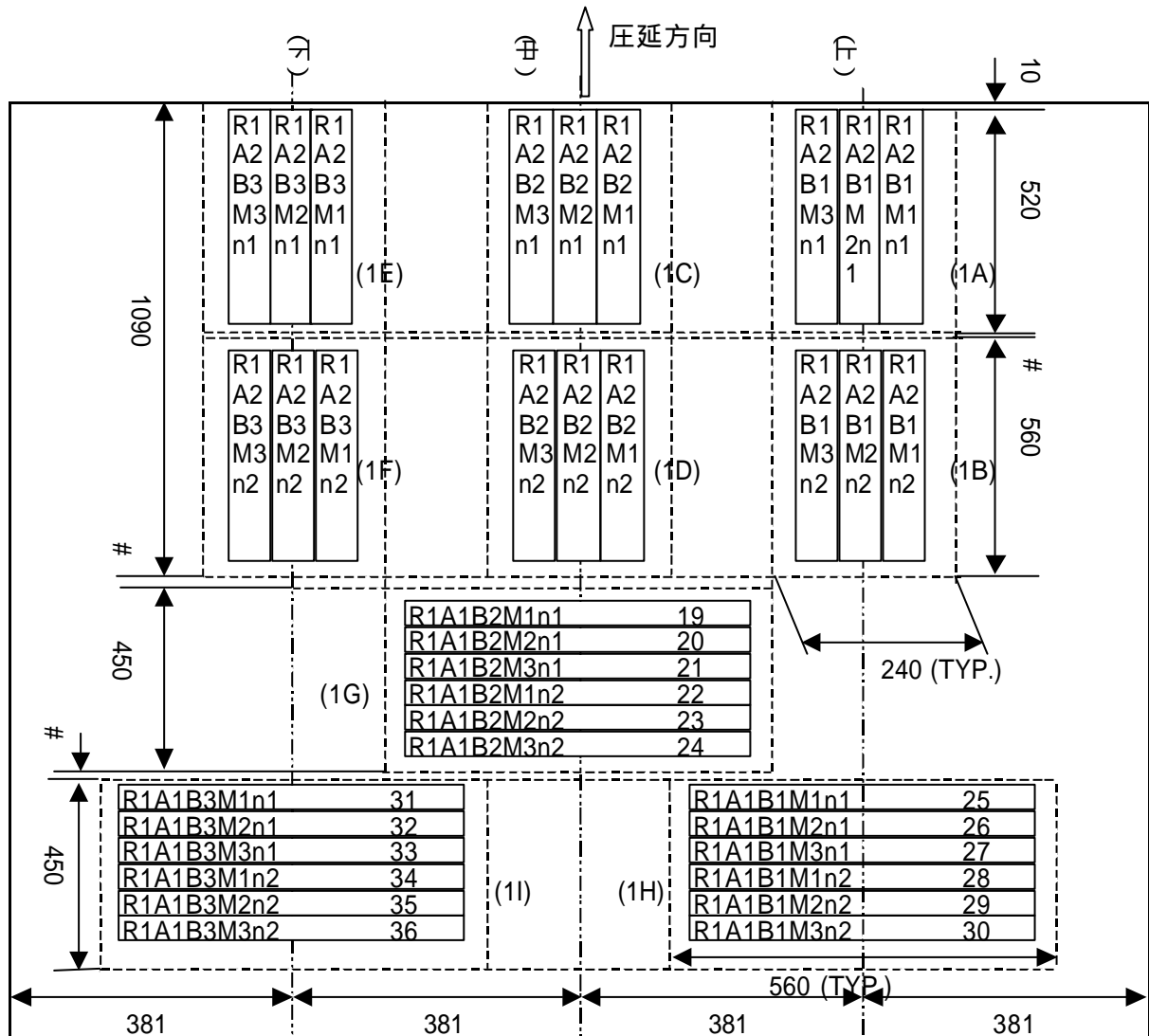


図2 鋼材 SB410、12mmt 試験片切断計画

3) 実験結果 (降伏荷重)

降伏点の荷重のデータを表 2 に示す。

表 2 . 実験データ(降伏荷重)

採取条件		反 復	繰返し	信号因子		
				M1	M2	M3
A1 (圧延方向：縦)	B1 (上 1/4)	R1	n1	122.2	142.0	159.5
			n2	125.2	141.7	159.0
		R2	n1	125.7	143.0	159.5
			n2	126.0	142.2	161.0
	B2 (中央)	R1	n1	123.7	146.5	163.2
			n2	126.2	142.2	160.0
		R2	n1	126.2	146.7	165.2
			n2	123.2	141.0	152.7
	B3 (下 1/4)	R1	n1	129.2	145.0	164.5
			n2	123.7	143.0	167.5
		R2	n1	127.7	145.0	164.7
			n2	129.2	143.0	161.2
A2 (圧延方向：横)	B1 (上 1/4)	R1	n1	121.2	137.5	157.7
			n2	120.2	143.2	160.5
		R2	n1	128.5	148.0	158.7
			n2	128.2	145.0	161.2
	B2 (中央)	R1	n1	127.2	146.5	159.7
			n2	122.5	143.2	155.7
		R2	n1	129.2	147.2	159.5
			n2	127.0	144.7	159.7
	B3 (下 1/4)	R1	n1	128.5	146.7	160.2
			n2	128.0	144.0	158.2
		R2	n1	120.7	144.7	160.0
			n2	127.0	142.2	163.7

表 2 のデータについて、採取条件ごとに 1 次式の SN 比を求め、最適な採取条件を選定する。信号因子として取り上げた試験片のサイズは、幅の長さであるが、出力である荷重(力)は試験片の断面積に比例して大きくなるから、信号因子 M は断面積に換算して SN 比を計算する。試験片の寸法測定から計算した断面積 $M(\text{mm}^2)$ は以下のとおりである。

表 3 試験片の断面積

採取条件	(mm ²)			
	M1	M2	M3	平均
A1B1	419.3	478.6	539.0	479.0
A1B2	419.0	478.4	539.4	478.9
A1B3	418.7	479.3	538.9	479.0
A2B1	419.4	480.1	540.5	480.0
A2B2	419.0	479.8	539.2	479.3
A2B3	420.1	479.1	540.2	479.8

[SN 比 の算出：降伏荷重]

全 2 乗和： S_T

$$S_T = \sum (\text{データ})^2 \quad (4)$$

A1B1 での S_T は次のようになる。

$$S_T(A1B1)=122.2^2+125.2^2+125.7^2+\dots=245279.60$$

同様に

$$\begin{array}{lll} S_T(A1B2)=248260.36 & S_T(A1B3)=256170.29 & S_T(A2B1)=246227.13 \\ S_T(A2B2)=249273.07 & S_T(A2B3)=250098.53 & \end{array}$$

となる。

有効除数： r

$$r = n \sum (M_i - M)^2 \quad (1)$$

繰り返し数は 4 回なので $n=4$ となり、A1B1 での r は次のようになる。

$$r(A1B1)=4 \times [(419.3-479.0)^2+(478.6-479.0)^2+(539.0-479.0)^2]=28644.98$$

同様に

$$\begin{array}{lll} r(A1B2)=29006.02 & r(A1B3)=28872.71 & r(A2B1)=29318.38 \\ r(A2B2)=28921.43 & r(A2B3)=28827.09 & \end{array}$$

となる。

回帰の効果： S

$$S_b = \frac{[\sum Y_i (M_i - M)]^2}{r} \quad (2)$$

A1B1 での S は次のようになる。

$$\begin{aligned} S (A1B1) &= [499.1 \times (419.3-479.0) + 568.9 \times (478.6-479.0) + 639.0 \times (539.0-479.0)]^2 \div 28644.98 \\ &= 2446.47 \end{aligned}$$

同様に

$$\begin{array}{lll} S (A1B2)=2511.35 & S (A1B3)=2740.03 & S (A2B1)=2450.34 \\ S (A2B2)=2073.20 & S (A2B3)=2374.97 & \end{array}$$

となる。

一般平均の効果： S_m

$$S_m = \frac{(\text{データ合計})^2}{\text{データ数}} \quad (3)$$

データ数は 12 個なので A1B1 での S_m は次のようになる。

$$S_m(A1B1)=(122.0+125.2+125.7+\dots)^2 \div 12=242820.75$$

同様に

$$\begin{array}{lll} S_m(A1B2)=245616.85 & S_m(A1B3)=253374.14 & S_m(A2B1)=243646.50 \end{array}$$

$$S_m(A2B2)=247135.70 \quad S_m(A2B3)=247652.60$$

となる。

誤差変動： S_e

$$S_e = S_T - S_b - S_m \quad (5)$$

A1B1 の誤差変動は次のようになる。

$$S_e(A1B1)=245279.60-2446.47-242820.75=12.38$$

同様に

$$S_e(A1B2)=132.16 \quad S_e(A1B3)=56.12 \quad S_e(A2B1)=130.28$$

$$S_e(A2B2)=64.17 \quad S_e(A2B3)=70.96$$

となる。

誤差分散の推定値： V_e

$$V_e = \frac{S_e}{r} \quad (6)$$

今回の実験での自由度 は 10 なので V_e は次のようになる。

$$V_e(A1B1)=12.38 \div 10=1.24$$

同様に

$$V_e(A1B2)=13.22 \quad V_e(A1B3)=5.61 \quad V_e(A2B1)=13.03$$

$$V_e(A2B2)=6.42 \quad V_e(A2B3)=7.10$$

となる。

SN 比：

$$h = \frac{\frac{1}{r}(S - V_e)}{V_e} \quad (7)$$

A1B1 での SN 比 は次のようになる。

$$h(A1B1) = \frac{\frac{1}{28644.98} \times (2446.47 - 1.24)}{1.24} = 0.069 = -11.62 \text{ [db]}$$

同様に

$$(A1B2)=0.007 = -21.86 \text{ [db]} \quad (A1B3)=0.017 = -17.73 \text{ [db]}$$

$$(A2B1)=0.006 = -21.95 \text{ [db]} \quad (A2B2)=0.011 = -19.53 \text{ [db]}$$

$$(A2B3)=0.012 = -19.36 \text{ [db]}$$

となる。SN 比の要因(採取条件)別の水準ごとの平均を表 4 に、要因効果図を図 3 に示す。

表 4 SN 比の水準ごとの平均値

[db]

要 因 (採取条件)	1	2	3
圧延方向：A	-17.07	-20.28	
採取位置：B	-16.78	-20.70	-18.55

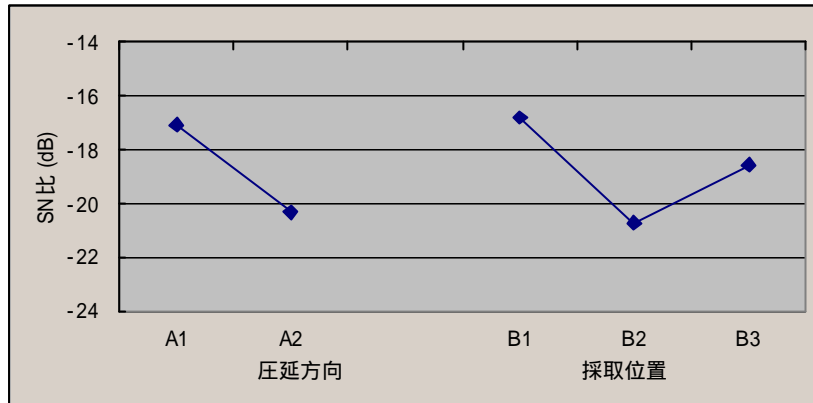


図 3 SN 比の要因効果図(降荷重)

図 3 の結果から、試験片としての最適条件は A1B1 であり、圧延方向に横(直角)で板幅の 1/4 のところから採取した試験片の均一性が良いといえる。

4) 実験結果 (最大荷重)

最大荷重の実験データを表5に示す。

表5 実験データ(最大荷重)

採取条件		反復	繰返し	信号因子		
				M1	M2	M3
A1 (圧延方向：縦)	B1 (上 1/4)	R1	N1	186.7	214.0	240.0
			n2	187.0	213.2	239.7
		R2	n1	186.5	213.2	240.2
			n2	187.0	213.5	240.2
	B2 (中央)	R1	n1	186.2	212.5	238.5
			n2	185.7	212.2	238.7
		R2	n1	187.5	214.0	240.2
			n2	186.7	213.2	239.4
	B3 (下 1/4)	R1	n1	187.0	214.0	240.7
			n2	187.5	214.0	240.7
		R2	n1	186.7	214.2	241.0
			n2	187.7	214.5	240.7
A2 (圧延方向：横)	B1 (上 1/4)	R1	n1	185.5	213.0	238.0
			n2	186.0	212.5	238.2
		R2	n1	187.5	214.7	241.5
			n2	187.7	213.5	240.7
	B2 (中央)	R1	n1	186.0	212.2	238.2
			n2	186.0	213.0	239.0
		R2	n1	187.5	214.2	241.0
			n2	187.7	214.7	241.0
	B3 (下 1/4)	R1	n1	186.5	212.0	239.5
			n2	186.2	213.2	239.7
		R2	n1	189.5	216.0	242.7
			n2	188.0	214.0	241.5

[SN比の算出：最大荷重]

表5のデータについて、降伏点の場合と同様に採取条件ごとにSN比の計算を行う。その結果、水準ごとの平均を表6に、要因効果図を図4に示す。

表6 SN比の水準ごとの平均値(最大荷重)

要因	[db]		
	1	2	3
A：圧延方向	0.50	-9.27	
B：採取位置	-3.13	-6.55	-3.48

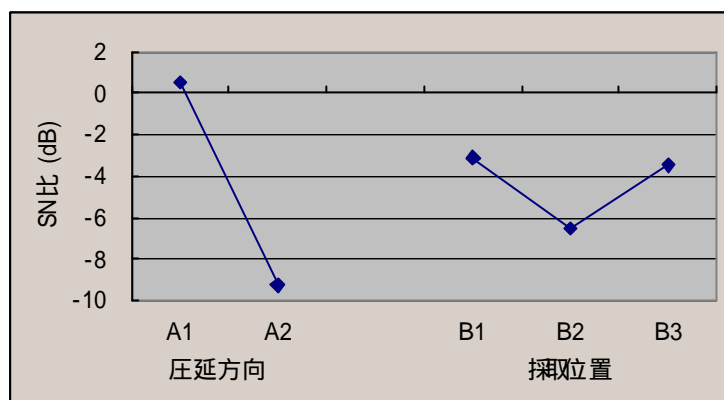


図 4 SN 比の要因効果図

図 4 の結果から、試験片としての最適条件は A1B1 であり、降伏点の場合と同様な結果が得られた。よって、採取条件の最適条件は、圧延方向に横(直角)で板幅の 1/4 のところから採取した試験片の均一性が良いといえる。

[不確かさの算出：降伏点]

次に、降伏点の測定データについての不確かさの推定を行うため、表 2 の実験データについて分散分析を行う。データの解析は、本来の降伏点の大きさである応力(N/mm²)に変換して解析を行う。表 7 に変換したデータを示す。

表 7 実験データ (降伏点)

採取条件		反復	繰返し	試験片サイズ (N/mm ²)		
				M1	M2	M3
A1 (圧延方向：縦)	B1 (上 1/4)	R1	n1	291.7	296.8	296.6
			n2	298.2	296.9	295.5
		R2	n1	300.1	298.2	295.6
			n2	300.3	296.8	297.9
	B2 (中央)	R1	n1	295.6	305.7	304.0
			n2	302.0	298.7	298.3
		R2	n1	299.7	306.4	304.4
			n2	294.5	294.1	281.9
	B3 (下 1/4)	R1	n1	308.1	302.7	306.2
			n2	295.8	298.8	311.2
		R2	n1	305.1	302.3	304.3
			n2	308.5	298.0	299.1
A2 (圧延方向：横)	B1 (上 1/4)	R1	n1	290.0	287.2	293.3
			n2	287.6	299.7	297.2
		R2	n1	305.0	307.1	293.2
			n2	305.1	301.0	296.9
	B2 (中央)	R1	n1	303.9	306.0	297.3
			n2	292.9	299.0	289.1
		R2	n1	307.9	306.3	294.4
			n2	302.7	300.9	296.1
	B3 (下 1/4)	R1	n1	306.2	306.3	296.7
			n2	304.0	301.3	293.5
		R2	n1	286.9	301.3	295.6
			n2	303.1	296.9	303.0

表7のデータの分散分析を行う。

修正項：CF

$$CF = \frac{(\text{全データの和})^2}{\text{データ数}} = \frac{(291.7 + 298.2 + \dots + 303.0)^2}{72} = 6446594.14 \quad (8)$$

平方和： S_T

$$S_T = \left[\sum (\text{データ})^2 \right] - CF = (291.7^2 + 298.2^2 + \dots + 303.0^2) - 6446594.14 = 2414.58 \quad (9)$$

因子 M の平方和： S_M

$$\begin{aligned} S_M &= \frac{[\sum (M1\text{のデータ})]^2 + [\sum (M2\text{のデータ})]^2 + [\sum (M3\text{のデータ})]^2}{M_i\text{の繰返し数}} - CF \\ &= \frac{(7194.8^2 + 7208.1^2 + 7141.4^2)}{24} - 6446594.14 = 104.01 \end{aligned}$$

因子 A の平方和： S_A

$$\begin{aligned} S_A &= \frac{[\sum (A1\text{のデータ})]^2 + [\sum (A2\text{のデータ})]^2}{A_i\text{の繰返し数}} - CF = \frac{(10789.8^2 + 10754.4^2)}{36} - 6446594.14 \\ &= 17.45 \end{aligned}$$

(10)

因子 B の平方和： S_B

$$\begin{aligned} S_B &= \frac{[\sum (B1\text{のデータ})]^2 + [\sum (B2\text{のデータ})]^2 + [\sum (B3\text{のデータ})]^2}{B_i\text{の繰返し数}} - CF \quad (11) \\ &= 238.55 \end{aligned}$$

因子 R の平方和： S_R

$$\begin{aligned} S_R &= \frac{[\sum (R1\text{のデータ})]^2 + [\sum (R2\text{のデータ})]^2}{R_i\text{の繰返し数}} - CF = \frac{(10753.8^2 + 10790.4^2)}{36} - 6446594.14 \\ &= 18.58 \end{aligned}$$

交互作用 M×A の平方和： $S_{M \times A}$

$$\begin{aligned} S_{M \times A} &= \frac{[\sum (M1A1\text{のデータ})]^2 + [\sum (M1A2\text{のデータ})]^2 + \dots + [\sum (M3A2\text{のデータ})]^2}{M_i A_j\text{の繰返し数}} - S_M - S_A - CF \\ &= 74.25 \end{aligned}$$

同様に交互作用 M×B、A×B、R×M、R×A、R×B を求める。

誤差平方和： S_e

誤差は、全平方和 S_T から全ての平方和(変動)を引いて求められる。

$$S_e = 1440.06$$

以上の結果から降伏点データの分散分析を表 8 に示す。

表 8 降伏点データ分散分析表

要因	平方和 S	自由度	分散 V	分散比 F	
R : 反復	18.58	1	18.58	0.67	
R × M	74.25	2	37.12	1.34	
R × A	64.20	1	64.20	2.32	
R × B	193.95	2	96.98	3.50	*
M : 試験片サイズ	104.01	2	52.01	1.88	
A : 圧延方向	17.45	1	17.45	0.63	
B : 採取位置	238.55	2	119.28	4.31	*
M × A	95.33	2	47.66	1.72	
M × B	94.10	4	23.52	0.85	
A × B	74.10	2	37.05	1.34	
e	1440.06	52	27.69		
e' (プール)	2176.03	69	31.54		
T	2414.58	71			

表 8 の分散分析の結果では、採取位置と反復 R と採取位置 B の交互作用 R × B に有意な差が見られるが、このうち、交互作用 R × B は試験のばらつきとして考えるのが妥当である。一方、採取位置 B の要因については、前述の SN 評価で得られたとおり採取位置は板幅 1/4 と指定することで変動は除くことができる。よって、測定の標準不確かさは、採取条件として採取位置を指定した場合を考えるとプールした誤差分散から以下のとおり求める。

$$s_{e'} = \sqrt{V_{e'}} = \sqrt{31.54} = 5.62 \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad \text{相対率に換算した値 : 1.88 (\%)}$$

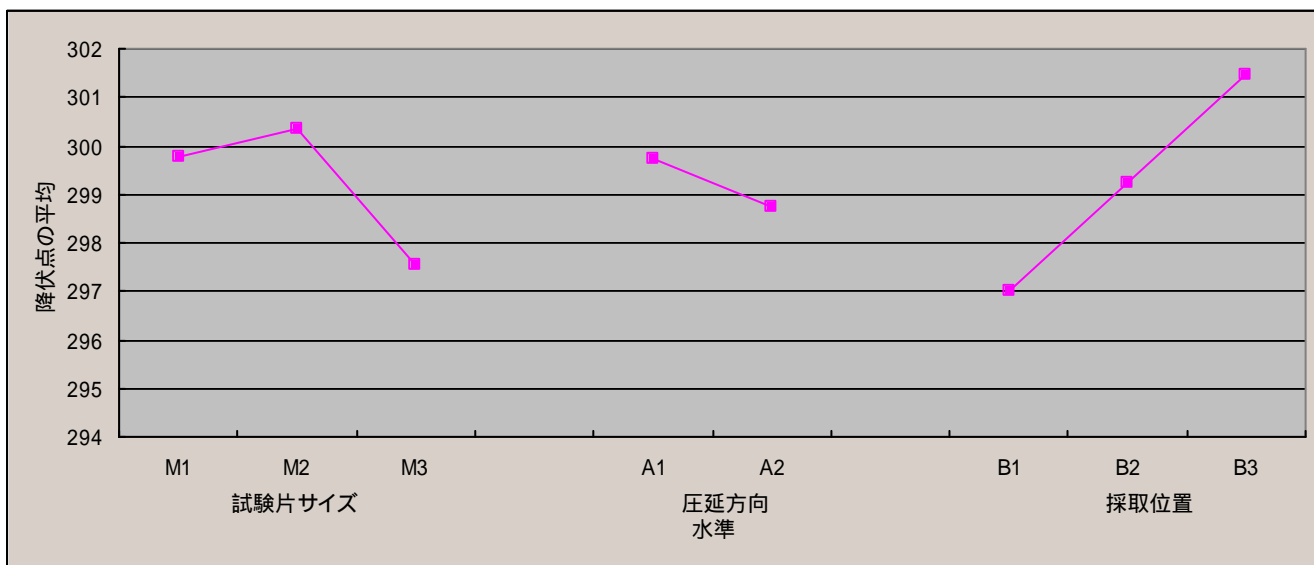


図 5 降伏点の要因効果図

試験片の採取条件を指定した場合の降伏点不確かさバジェットシートを表 9 に示す。

表 9 不確かさのバジェットシート (降伏点)

不確かさ成分	成分の標準不確かさ	単位	感度係数	標準不確かさ	タイプ
試験機の校正の不確かさ	0.22	%	1	0.22	B
試験機の指示誤差の不確かさ	0.42	%	1	0.42	B
引張試験のばらつき	1.88	%	1	1.88	A
合成標準不確かさ				1.94	
拡張不確かさ : U (k=2)				3.9	(%)

[不確かさの算出 :引張強さ]

次に、引張強さの測定データについての不確かさの推定を行うため、表 5 の実験データについて分散分析を行う。データの解析は降伏点の場合と同様に、本来の降伏点の大きさである応力(N/mm²)に変換して解析を行う。表 10 に変換したデータを示す。

表 10 実験データ(引張強さ)

採取条件		反復	繰返し	試験片サイズ (N/mm ²)		
				M1	M2	M3
A1 (圧延方向：縦)	B1 (上 1/4)	R1	n1	445.7	447.3	446.3
			n2	445.5	446.7	445.5
		R2	n1	445.2	444.5	445.1
			n2	445.7	445.6	444.4
	B2 (中央)	R1	n1	444.9	443.4	444.2
			n2	444.4	445.7	445.0
		R2	n1	445.3	447.0	442.6
			n2	446.2	444.6	442.0
	B3 (下 1/4)	R1	n1	445.9	446.8	448.1
			n2	448.4	447.1	447.2
		R2	n1	446.1	446.5	445.3
			n2	448.2	447.0	446.7
A2 (圧延方向：横)	B1 (上 1/4)	R1	n1	443.8	445.0	442.7
			n2	445.0	444.7	441.1
		R2	n1	445.1	445.4	446.1
			n2	446.7	443.1	443.4
	B2 (中央)	R1	n1	444.4	443.2	443.4
			n2	444.7	444.7	443.8
		R2	n1	446.9	445.8	444.8
			n2	447.4	446.5	446.8
	B3 (下 1/4)	R1	n1	444.4	442.6	443.5
			n2	442.3	446.0	444.7
		R2	n1	450.4	449.7	448.4
			n2	448.7	446.9	447.0

表 10 のデータについて、測定の不確かさを推定するため降伏点の場合と同様に分散分析を行う。その結果を表 11 に示す。

表 11 引張強さデータの分散分析表

要因	(N/mm ²)			
	平方和 S	自由度	分散 V	分散比 F
R :反復	21.16	1	21.16	15.52 **
R × M	5.95	2	2.98	2.18
R × A	48.37	1	48.37	35.48 **
R × B	10.80	2	5.40	3.96 *
M :試験片サイズ	11.92	2	5.96	4.37 *
A :圧延方向	4.06	1	4.06	2.98
B 採取位置	42.44	2	21.22	15.56 **
M × A	1.11	2	0.55	0.41
M × B	2.62	4	0.66	0.48
A × B	11.03	2	5.51	4.04 *
e	70.89	52	1.36	
e' (プール)	164.97	65	2.54	
T	230.35	71		

表 11 の分散分析の結果から、SN 比評価で選定された最適条件を指定した場合の測定の不確かさを求める。つまり、有意となった要因のうち試験片サイズ M、採取位置 B 及び交互作用 A × B を除いた要因をプール誤差とし、その誤差分散から標準不確かさを推定すると以下のとおりとなる。

$$s_e = \sqrt{2.54} = 1.59 \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad \text{相対率に換算した値 : 0.36 (\%)}$$

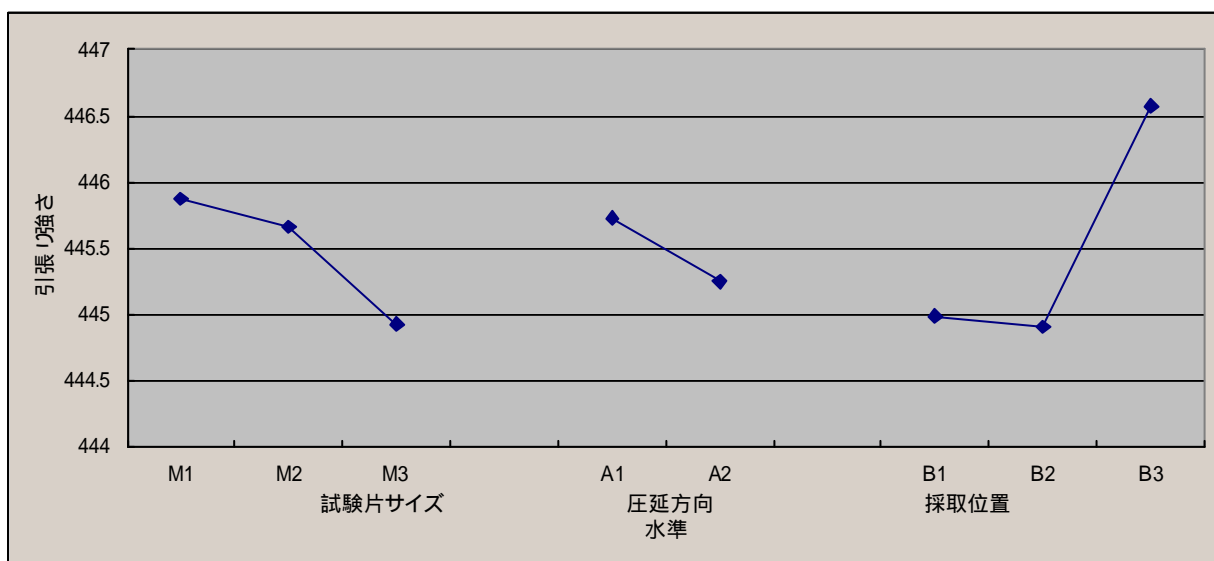


図 6 引張強さの要因効果図

試験片の採取条件を指定した場合の引張強さの不確かさバジェットシートを表 12 に示す。

表12 不確かさのバジェットシート (引張強さ)

不確かさ成分	成分の標準不確かさ	単位	感度係数	標準不確かさ	タイプ
試験機の校正の不確かさ	0.22	%	1	0.22	B
試験機の指示誤差の不確かさ	0.42	%	1	0.42	B
試験のばらつき	0.36	%	1	0.36	A
合成標準不確かさ				0.60	
拡張不確かさ：U (k=2)				1.2	(%)

5) 実験結果 (伸び)

伸びの実験結果を表 13 に示す。伸びの場合は信号因子(試験サイズ)に対し比例するとはいえないので、測定の不確かさについて評価する。

表 13 実験データ(伸び)

(%)

採取条件		反復	繰返し	試験片サイズ		
				M1	M2	M3
A1 (圧延方向：縦)	B1 (上 1/4)	R1	n1	30.8	30.0	29.4
			n2	29.7	30.4	31.7
		R2	n1	30.6	31.3	31.5
			n2	30.4	31.9	33.1
	B2 (中央)	R1	n1	28.8	29.6	31.5
			n2	31.1	31.3	30.0
		R2	n1	31.2	29.9	33.1
			n2	30.8	29.9	30.0
	B3 (下 1/4)	R1	n1	30.4	29.2	30.7
			n2	29.2	30.6	30.2
		R2	n1	28.8	29.3	30.7
			n2	29.5	29.5	30.9
A2 (圧延方向：横)	B1 (上 1/4)	R1	n1	31.0	31.2	31.6
			n2	31.0	30.2	32.5
		R2	n1	29.8	29.6	32.1
			n2	30.3	31.4	32.4
	B2 (中央)	R1	n1	34.0	32.9	31.6
			n2	30.8	30.4	31.7
		R2	n1	32.0	32.5	31.7
			n2	32.1	30.1	31.4
	B3 (下 1/4)	R1	n1	32.0	31.3	32.4
			n2	32.4	30.3	31.7
		R2	n1	29.7	30.9	32.5
			n2	31.5	32.4	32.1

表 13 のデータについて分散分析をした結果を表 14 に示す。

表 14 伸び実験データの分散分析表

要因	平方和 S	自由度	分散 V	分散比 F	(%)
R :反復	0.15	1	0.15	0.18	
R×M	2.28	2	1.14	1.36	
R×A	2.15	1	2.15	2.57	
R×B	1.14	2	0.57	0.68	
M 試験サイズ	10.76	2	5.38	6.43	*
A :圧延方向	18.86	1	18.86	22.56	**
B:採取位置	2.13	2	1.07	1.27	
M×A	0.61	2	0.30	0.36	
M×B	3.83	4	0.96	1.14	
A×B	6.98	2	3.49	4.18	*
E	43.48	52	0.84		
e' (プール)	55.77	66	0.84		
T	92.37	71			

表 14 の分散分析の結果から、試験片の採取条件をした場合の測定の標準不確かさは、プールした誤差分散 $V_{e'}$ から以下のとおりとなる。

$$s_e = \sqrt{0.84} = 0.92 (\%)$$

また、表 14 の分散分析の結果から各要因別に水準ごとの平均をとった要因効果座を図 7 に示す。

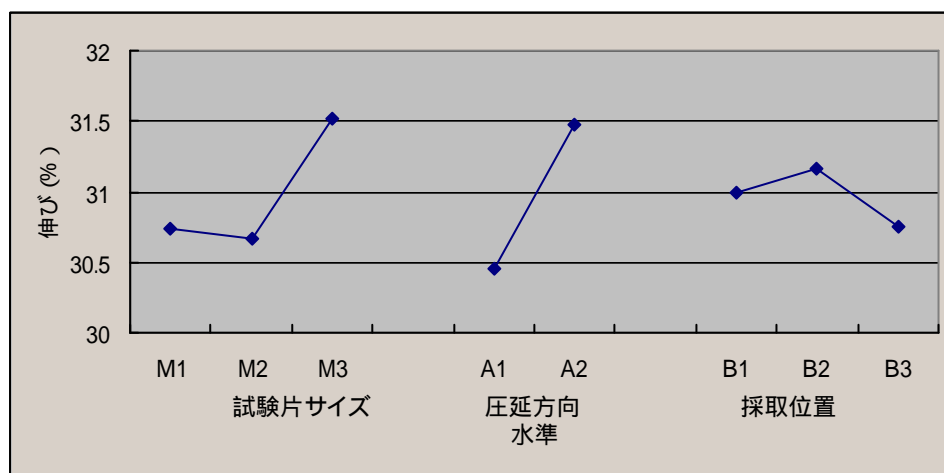


図 7 伸びの要因効果図

試験片の採取条件を指定した場合の伸びの不確かさバジェットシートを表 14 に示す。

表14 不確かさのバジェットシート(伸び)

不確かさ成分	成分の標準不確かさ	単位	感度係数	標準不確かさ	タイプ
ノギスの校正の不確かさ	0.015	mm	1/L	0.01	B
ノギスの偏差等の不確かさ	0.02	mm	1/L	0.01	B
ノギス使用時の不確かさ	0.05	mm	1/L	0.03	B
試験のばらつき	0.92	%	1	0.92	A
合成標準不確かさ				0.92	
拡張不確かさ：U (k=2)				1.8	(%)

L：標点距離 (200mm)

3.2 実験事例2 (SB410の厚さ 45mm 鋼板を材料とした実験)

1) 実験の割付け

実験は、L₁₈ 直交表に要因を割付けた方法で行う。列に4因子(A~D)、外側因子に信号因子としてサイズの異なる試験片を3水準とり、それぞれ2本のサンプルについて行うように割付けた。因子及び水準の内容を表15に、L₁₈ 直交表への割付けを表16に示す。

表15 割り付け表

因子		水準	1	2	3
		外側因子	M: 信号因子 (試験片サイズ)		11.5 mm
n: サンプル数 (繰返し数)			2本		
内側因子	A: 圧延方向		横(直角)	縦(平行)	-
	B: 採取位置(水平方向に対して)		上 1/4	中央	下 1/4
	C: 採取位置(厚さ方向に対して)		上 1/4	中央	下 1/4
	D: 試験片の表面仕上げ粗さ		粗	標準加工	細

表16 . L₁₈ 直交表への割付け

因子 No.	A	B	C	D	e	e	e	e	外側因子					
	圧延方向	採取位置	厚さ方向	表面仕上	e	e	e	e	M1 (11.5mm)		M2 (12.5mm)		M3 (13.5mm)	
	1	2	3	4	5	6	7	8	n1	n2	n1	n2	n1	n2
1	1	1	1	1	1	1	1	1	y _{1.1.1}	y _{1.1.2}	y _{1.2.1}	y _{1.2.2}	y _{1.3.1}	y _{1.3.2}
2	1	1	2	2	2	2	2	2	y _{2.1.1}	y _{2.1.2}	y _{2.2.1}	y _{2.2.2}	y _{2.3.1}	y _{2.3.2}
3	1	1	3	3	3	3	3	3	・	・	・	・	・	・
4	1	2	1	1	2	2	3	3	・	・	・	・	・	・
5	1	2	2	2	3	3	1	1	・	・	・	・	・	・
6	1	2	3	3	1	1	2	2	・	・	・	・	・	・
7	1	3	1	2	1	3	2	3	・	・	・	・	・	・
8	1	3	2	3	2	1	3	1	・	・	・	・	・	・
9	1	3	3	1	3	2	1	2	・	・	・	・	・	・
10	2	1	1	3	3	2	2	1	・	・	・	・	・	・
11	2	1	2	1	1	3	3	2	・	・	・	・	・	・
12	2	1	3	2	2	1	1	3	・	・	・	・	・	・
13	2	2	1	2	3	1	3	2	・	・	・	・	・	・
14	2	2	2	3	1	2	1	3	・	・	・	・	・	・
15	2	2	3	1	2	3	2	1	・	・	・	・	・	・
16	2	3	1	3	2	3	1	2	・	・	・	・	・	・
17	2	3	2	1	3	1	2	3	・	・	・	・	・	・
18	2	3	3	2	1	2	3	1	y _{18.1.1}	y _{18.1.2}	y _{18.2.1}	y _{18.2.2}	y _{18.3.1}	y _{18.3.2}

2) 試験片の採取方法

図8に示す方法で切断し採取する。

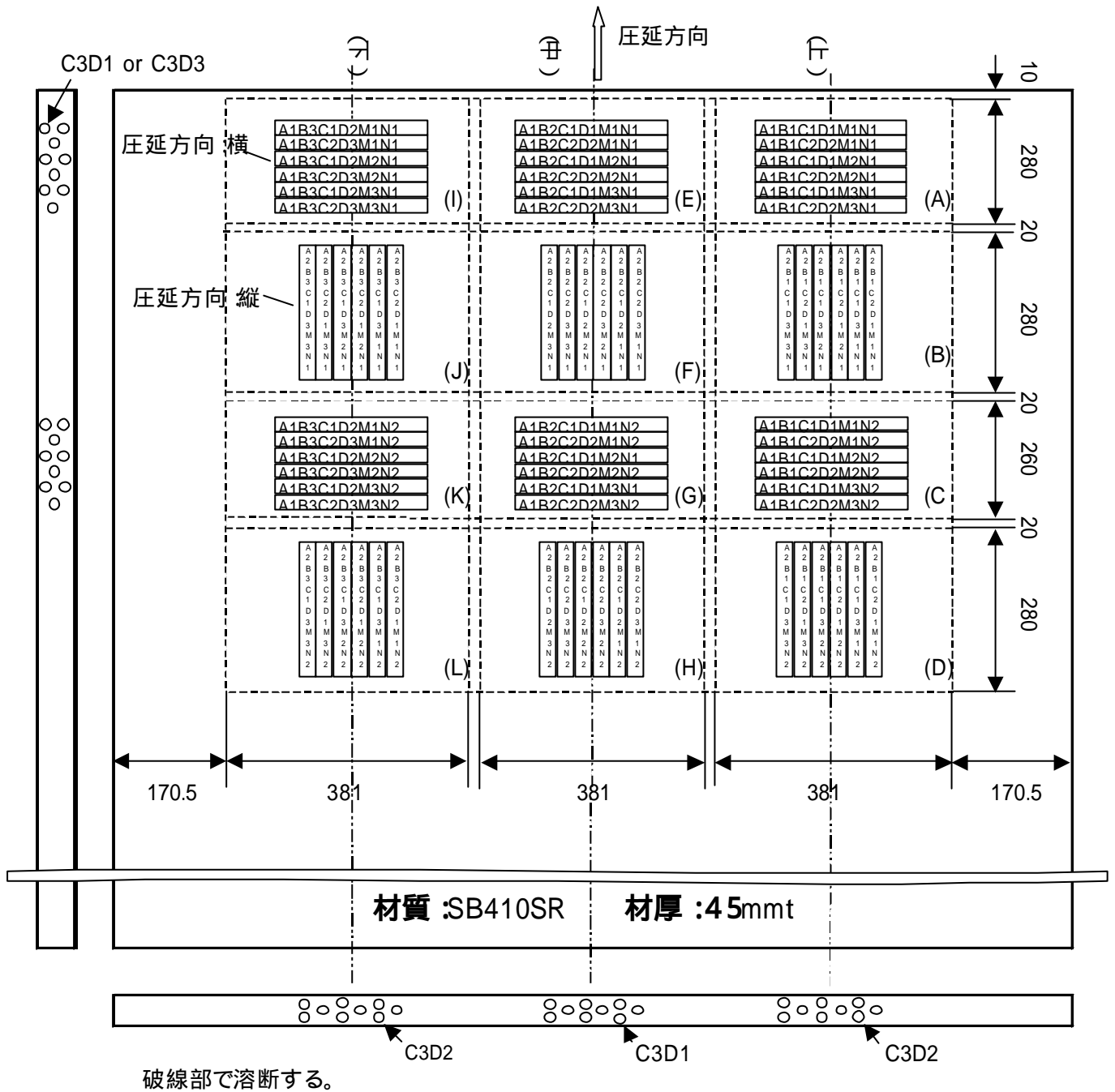


図8 試験片の採取方法

3) 実験結果 (降伏荷重)

降伏荷重の実験データを表 17 に示す。

表 17 降伏荷重実験データ

(特性値: k N)

No.	A	B	C	D	e	e	e	e	外側因子					
									M 1		M 2		M 3	
									n 1	n 2	n 1	n 2	n 1	n 2
1	1	1	1	1	1	1	1	1	27.9	28.1	34.1	33.3	39.7	39.9
2	1	1	2	2	2	2	2	2	26.9	27.6	31.8	33.5	37.4	38.3
3	1	1	3	3	3	3	3	3	27.9	29.3	33.7	34.6	39.4	40.5
4	1	2	1	1	2	2	3	3	28.2	28.2	33.8	33.6	39.9	38.4
5	1	2	2	2	3	3	1	1	26.2	27.4	31.2	32.4	36.9	37.1
6	1	2	3	3	1	1	2	2	29.3	29.4	33.1	35.5	39.8	40.9
7	1	3	1	2	1	3	2	3	27.6	29.3	33.5	34.7	38.9	40.1
8	1	3	2	3	2	1	3	1	27.6	27.7	32.4	33.8	38.0	39.2
9	1	3	3	1	3	2	1	2	27.3	27.2	32.0	34.2	38.9	40.5
10	2	1	1	3	3	2	2	1	28.1	29.4	33.7	35.5	41.5	41.0
11	2	1	2	1	1	3	3	2	26.6	26.9	31.4	33.3	37.1	37.3
12	2	1	3	2	2	1	1	3	28.3	29.7	35.1	35.5	40.0	42.4
13	2	2	1	2	3	1	3	2	27.9	27.7	35.1	35.3	40.4	41.0
14	2	2	2	3	1	2	1	3	27.3	27.8	33.2	32.4	38.9	40.0
15	2	2	3	1	2	3	2	1	28.3	28.6	33.9	34.3	39.8	40.5
16	2	3	1	3	2	3	1	2	28.8	27.7	33.3	33.5	41.3	41.3
17	2	3	2	1	3	1	2	3	27.0	28.2	32.7	32.8	37.5	38.8
18	2	3	3	2	1	2	3	1	28.4	28.8	33.9	35.0	39.6	41.1

内側直交表の各行ごとに外側実験データで SN 比を求める。信号因子 M は試験片のサイズの大きさとして 3 水準設定したが、信号因子の水準の大きさによって生じる出力の大きさ荷重(力)は、試験片の断面積の大きさによって変わることから、信号因子の大きさは試験片の断面積の大きさとして計算する。

[SN 比 の算出: 降伏荷重]

(行番号 1 の SN の計算)

データの全二乗和 S_T

$$S_T = 27.9^2 + 28.1^2 + 34.1^2 + 33.3^2 + 39.7^2 + 39.9^2 = 7007.82$$

一般平均の効果の大きさ S_m

$$S_m = \frac{(\text{データの合計})^2}{\text{データ数}} = \frac{(27.9 + 28.1 + 34.1 + 33.3 + 39.7 + 39.9)^2}{18} = 6868.17$$

有効除数 r

$$r = 2 \times [(M_1 - \bar{M})^2 + (M_2 - \bar{M})^2 + (M_3 - \bar{M})^2] = 2 \times [(104.6 - 123.9)^2 + (123.4 - 123.9)^2 + (143.7 - 123.9)^2] = 1529.56$$

$$S_b = \frac{[(M_1 - \bar{M})y_1 + (M_2 - \bar{M})y_2 + (M_3 - \bar{M})y_3]^2}{r} = 139.29$$

$$S_e = S_T - S_m - S_b = 0.36$$

$$V_e = \frac{S_e}{4} = 0.0902$$

$$h = \frac{\frac{1}{r}(S_b - V_e)}{V_e} = 1.00861 \text{ (kN}\cdot\text{2)} = 0.04 \text{ (db)}$$

以下同様にして、行番号 18 までのデータについて SN 比を求める。その結果を表 18 に示す。

表 18 各行ごとの SN 比データ

No	A	B	C	D	e	e	e	e	SN 比 (db)
	1	2	3	4	5	6	7	8	
1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.04
2	1	1	2	2	2	2	2	2	-9.04
3	1	1	3	3	3	3	3	3	-7.87
4	1	2	1	1	2	2	3	3	-5.95
5	1	2	2	2	3	3	1	1	-7.41
6	1	2	3	3	1	1	2	2	-10.62
7	1	3	1	2	1	3	2	3	-9.75
8	1	3	2	3	2	1	3	1	-7.61
9	1	3	3	1	3	2	1	2	-9.68
10	2	1	1	3	3	2	2	1	-8.01
11	2	1	2	1	1	3	3	2	-9.39
12	2	1	3	2	2	1	1	3	-10.49
13	2	2	1	2	3	1	3	2	-7.22
14	2	2	2	3	1	2	1	3	-5.43
15	2	2	3	1	2	3	2	1	-0.16
16	2	3	1	3	2	3	1	2	-6.88
17	2	3	2	1	3	1	2	3	-7.33
18	2	3	3	2	1	2	3	1	-7.11

制御因子の最適条件を評価するために、水準ごとの SN 比の平均値を求める。その結果を表 19 に示

す。

表 19 SN 比の水準ごとの平均値

列	因子	1	2	3
1	A	-7.5	-6.9	
2	B	-7.5	-6.1	-8.1
3	C	-6.3	-7.7	-7.7
4	D	-5.4	-8.5	-7.7

表 19 をもとにした要因効果図が図 9 である。

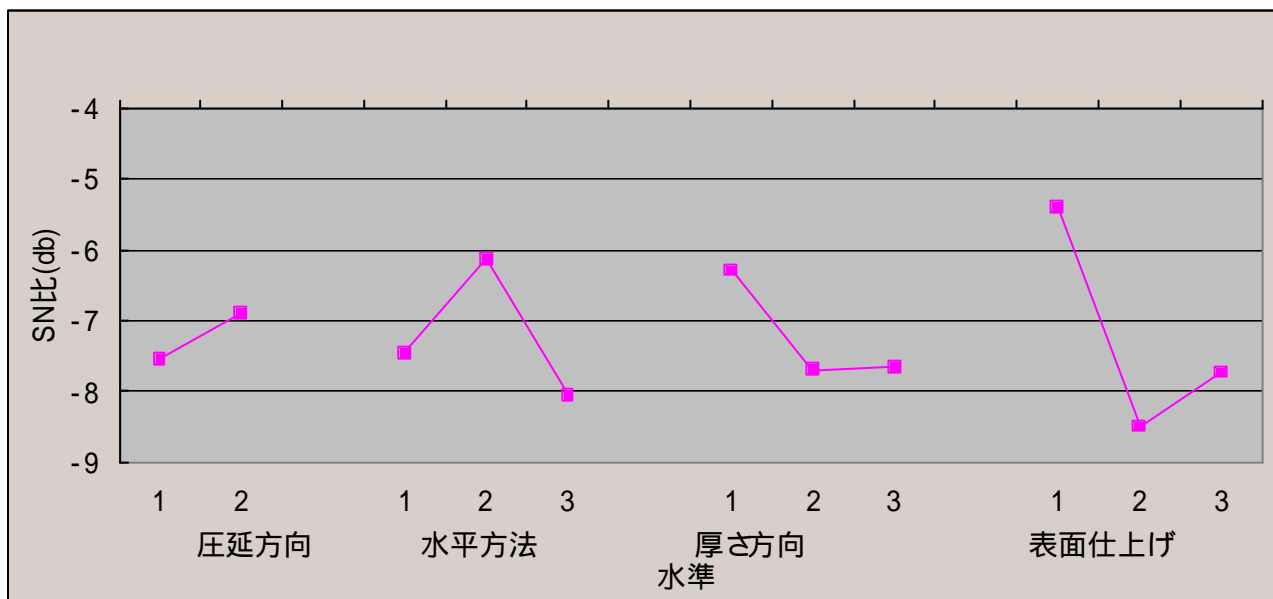


図 9 SN 比の水準ごとの平均値(db)

図 9 の結果から、最適条件は A2,B2,C1,D1 となる。

4) 実験結果 (最大荷重)

最大荷重の実験結果データ及び各行ごとの SN 比を計算した結果を表 20 に示す。

表 20 最大荷重の実験データと SN 比

(特性値 : kN)

	A	B	C	D	e	e	e	e	信号因子						SN 比 (db)
									M 1		M 2		M 3		
									n 1	n 2	n 1	n 2	n 1	n 2	
1	1	1	1	1	1	1	1	1	51.1	51.3	60.6	60.7	70.5	70.3	9.49
2	1	1	2	2	2	2	2	2	50.9	50.7	59.9	59.9	70.6	70.4	9.64
3	1	1	3	3	3	3	3	3	51.5	51.5	60.8	60.8	71.0	70.8	14.02
4	1	2	1	1	2	2	3	3	51.4	51.1	60.7	60.6	70.8	70.4	8.35
5	1	2	2	2	3	3	1	1	50.6	51.2	59.6	60.3	69.7	70.6	0.46
6	1	2	3	3	1	1	2	2	51.5	51.6	60.7	60.9	70.9	70.8	14.75
7	1	3	1	2	1	3	2	3	51.3	51.5	60.6	60.8	70.6	70.7	12.57
8	1	3	2	3	2	1	3	1	52.0	52.2	60.8	61.2	70.9	71.6	3.87
9	1	3	3	1	3	2	1	2	51.3	51.2	60.2	60.8	70.5	70.6	5.84
10	2	1	1	3	3	2	2	1	51.9	51.7	60.8	61.4	70.9	70.9	5.65
11	2	1	2	1	1	3	3	2	50.8	50.9	59.5	60.2	70.2	69.5	2.81
12	2	1	3	2	2	1	1	3	51.3	51.5	60.8	60.8	70.7	70.7	14.01
13	2	2	1	2	3	1	3	2	51.5	51.5	60.7	60.7	70.8	70.8	27.75
14	2	2	2	3	1	2	1	3	51.5	51.1	60.6	59.3	70.1	69.7	-0.75
15	2	2	3	1	2	3	2	1	51.3	51.4	60.6	60.5	70.5	70.6	13.64
16	2	3	1	3	2	3	1	2	51.5	51.5	60.7	60.7	70.7	70.8	22.53
17	2	3	2	1	3	1	2	3	52.0	51.6	61.3	61.0	71.4	70.2	0.26
18	2	3	3	2	1	2	3	1	51.6	51.4	60.7	60.8	70.8	70.7	13.98

上記表 20 の SN 比について、要因効果図を示したものが図 10 である。

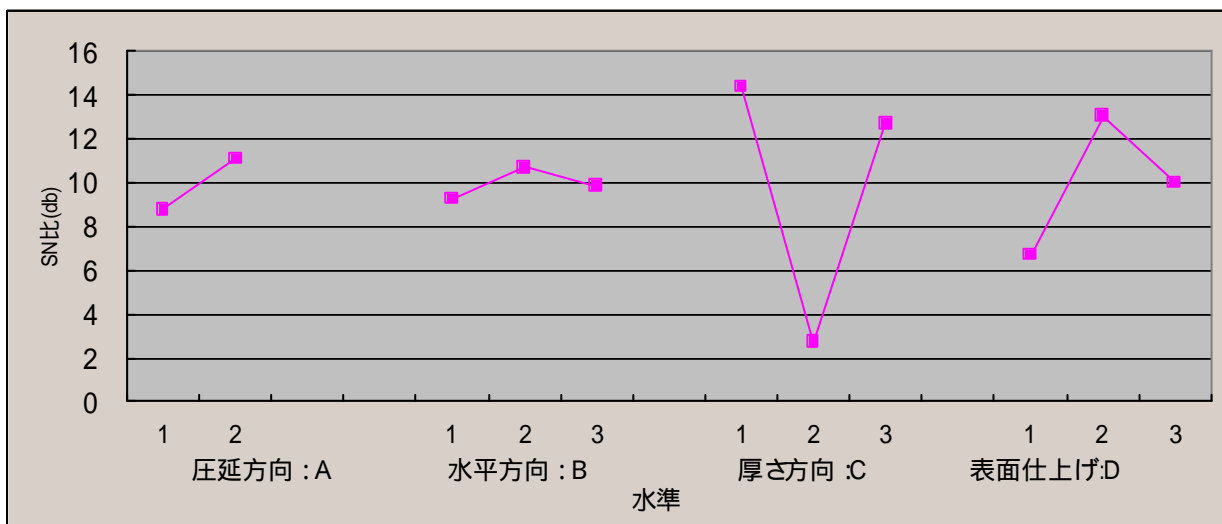


図 10 SN 比の水準ごとの平均値

図 10 の結果から、最適条件は A2,B2,C1,D2 となる。降伏荷重の場合と異なるのは表面仕上の水準が 1 から 2 に変わっている。通常、表面仕上げについては、粗い場合より細かい方がばらつかないものと考え

えられるが、今回の実験では想定に反した結果となった。よって、最適採取条件としては特に指定せず、一定の表面仕上りにすることとする。以上の結果から、試験片の最適採取条件は

- 圧延方向：A2（縦）
- 水平方向：B2（中央）
- 厚さ方向：C1又はC3（上 1/4 又は下 1/4）
- 表面仕上：特に指定しない

となる。上記の結果は、厚さ 12mm 鋼板平板試験片の場合と比較すると、圧延方向と水平方向について異なる結果となっている。この理由については明らかでないが、圧延方向についていえば、厚さ 12mm 鋼板では縦より横の方が降伏荷重、最大荷重共に強さ(出力)が大きく、厚さ 45mm 鋼板の加工棒鋼ではその反対に横より縦の方の強さが大きくなっている。これが SN 比に影響したものと想定できる。また、水平方向においても同様に、厚さ 12mm 鋼板と厚さ 45mm 鋼板では反対の結果となっている。しかしながら、圧延方向、水平方向の両因子とも、SN 比の差が顕著に表れている訳ではない。SN 比の差が大きく表れたのは、厚さ方向 C であった。したがって、厚さ 12mm 鋼板試験片と厚さ 45mm 鋼板試験片では、最適採取条件をそれぞれ別に指定したとしても問題ないと思われる。

[不確かさの推定：降伏点]

5) 不確かさの推定 (降伏点)

測定の不確かさを推定するため、表 17 の実験データについて分散分析を行う。実験データは本来の降伏点の特性値となる荷重(力)を断面積 M で除した応力(N/mm²)に変換して行う。そのデータを表 21 に示す。

表 21 実験データ(降伏点)

(特性値：N/mm²)

No.	試験片サイズ								試験片サイズ					
	A	B	C	D	e	e	e	e	M 1		M 2		M 3	
	1	2	3	4	5	6	7	8	n 1	n 2	n 1	n 2	n 1	n 2
1	1	1	1	1	1	1	1	1	266	269	277	270	276	278
2	1	1	2	2	2	2	2	2	258	264	258	272	260	266
3	1	1	3	3	3	3	3	3	267	279	273	281	274	281
4	1	2	1	1	2	2	3	3	270	271	274	273	278	267
5	1	2	2	2	3	3	1	1	251	262	253	263	257	259
6	1	2	3	3	1	1	2	2	280	282	268	288	277	284
7	1	3	1	2	1	3	2	3	265	280	272	281	271	279
8	1	3	2	3	2	1	3	1	264	265	263	275	265	273
9	1	3	3	1	3	2	1	2	261	260	260	278	270	282
10	2	1	1	3	3	2	2	1	268	280	272	288	289	285
11	2	1	2	1	1	3	3	2	254	257	255	270	258	260
12	2	1	3	2	2	1	1	3	272	285	285	288	278	295
13	2	2	1	2	3	1	3	2	267	265	285	286	281	285
14	2	2	2	3	1	2	1	3	261	266	269	263	270	278
15	2	2	3	1	2	3	2	1	271	274	274	278	278	282
16	2	3	1	3	2	3	1	2	275	265	270	272	287	287
17	2	3	2	1	3	1	2	3	258	269	265	266	261	270
18	2	3	3	2	1	2	3	1	271	277	274	284	276	286

表 21 のデータについて分散分析を行った結果が表 22 である。

表 22 降伏点データの分散分析表

要因	平方和 S	自由度	分散 V	寄与率
M 試験片サイズ	908.97	2	454.48	8.6%
A 圧延方向	365.37	1	365.37	3.4%
B 水平方向	13.35	2	6.67	
C 厚さ方向	4122.05	2	2061.03	42.1%
D 表面仕上	598.86	2	299.43	5.4%
e 誤差	3588.37	98	36.62	
e' (プール)	4200.57	102	41.18	40.5%
合計 T	9596.96	107		100.0%

表 22 の分散分析の結果から、試験の不確かさを指定する採取条件を除いた因子をプールした誤差分散 $V_{e'}$ から推定する。

$$u = \sqrt{V_{e'}} = \sqrt{41.18} = 6.42 \quad (\text{N/mm}^2) \quad \text{相対率に換算した値} \quad 2.36\%$$

また、各因子別に要因効果を図 11 に示す。

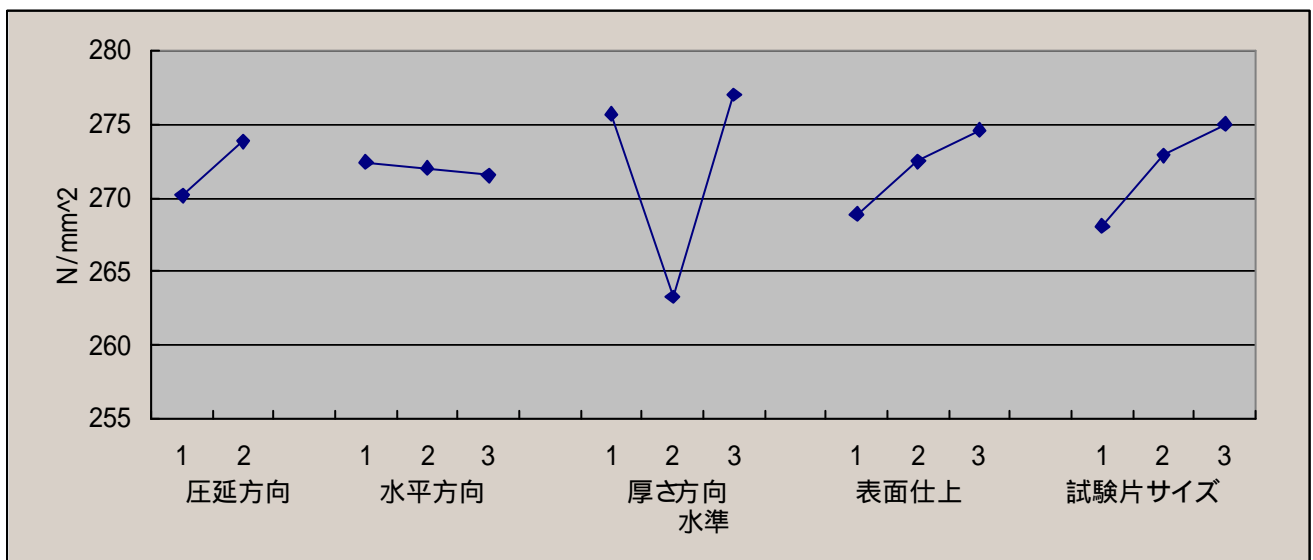


図 11 降伏点の要因効果図

試験片の採取条件を指定した場合の降伏点の不確かさバジェットシートを表 23 に示す。

表23 不確かさのバジェットシート(降伏点)

不確かさ成分	成分の標準不確かさ	単位	感度係数	標準不確かさ	タイプ
試験機の校正の不確かさ	0.25	%	1	0.25	B
試験機の指示誤差の不確かさ	0.09	%	1	0.09	B
試験のばらつき	2.36	%	1	2.36	A
合成標準不確かさ				2.37	
拡張不確かさ：U (k=2)				4.7	(%)

6) 不確かさの推定(引張強さ)

測定の不確かさを推定するため、表 20 の実験データについて分散分析を行う。実験データは本来の引張強さの特性値となる荷重(力)を断面積 M で除した応力(N/mm²)に変換して行う。そのデータを表 24 に示す。

表 24 実験データ(引張強さ)

(特性値：N/mm²)

No.									試験片サイズ					
	A	B	C	D	e	e	e	e	M 1		M 2		M 3	
	1	2	3	4	5	6	7	8	n 1	n 2	n 1	n 2	n 1	n 2
1	1	1	1	1	1	1	1	1	487.6	491.4	491.5	491.5	490.3	489.6
2	1	1	2	2	2	2	2	2	487.5	484.7	486.6	485.8	491	488.2
3	1	1	3	3	3	3	3	3	493.3	490.5	493.1	493.1	493.1	491.7
4	1	2	1	1	2	2	3	3	492.3	490.4	492.3	492.3	493	490.3
5	1	2	2	2	3	3	1	1	485.6	490.4	484.2	489.8	484.7	492.3
6	1	2	3	3	1	1	2	2	491.4	494.3	492.3	493.9	493	492.4
7	1	3	1	2	1	3	2	3	492.3	492.4	491.5	491.5	491.6	492.3
8	1	3	2	3	2	1	3	1	497.1	500	493.1	498	493.7	497.9
9	1	3	3	1	3	2	1	2	490.4	489.5	489.8	493.9	489.6	491
10	2	1	1	3	3	2	2	1	495.2	492.4	491.5	498.8	493	493
11	2	1	2	1	1	3	3	2	484.7	486.6	484.1	488.2	487.5	484.7
12	2	1	3	2	2	1	1	3	492.3	494.2	493.1	493.1	491	491.7
13	2	2	1	2	3	1	3	2	493.3	493.3	492.3	492.3	492.4	491.7
14	2	2	2	3	1	2	1	3	493.3	489.5	491.5	481.7	486.8	484
15	2	2	3	1	2	3	2	1	491.4	492.3	490.7	490.7	492.7	491
16	2	3	1	3	2	3	1	2	492.4	492.4	492.3	492.3	491.7	492.4
17	2	3	2	1	3	1	2	3	497.1	492.4	496.4	493.9	496.5	488.9
18	2	3	3	2	1	2	3	1	492.4	494.2	491.5	493.1	493.7	491.7

表 24 のデータについて分散分析を行った結果が表 25 である。

表 25 引張強さの分散分析表

要因	平方和 S	自由度	(N/mm ²)	
			分散 V	寄与率
M 試験片サイズ	6.07	2	3.04	
A 圧延方向	0.94	1	0.94	
B 水平方向	151.86	2	75.93	11.4%
C 厚さ方向	113.01	2	56.51	7.9%
D 表面仕上	85.54	2	42.77	5.5%
e 誤差	771.40	98	7.87	
e' (プール)	778.41	101	11.85	75.3%
計 T	1128.82	107		100.0%

表 25 の分散分析の結果から、試験の不確かさをプールした誤差分散 $V_{e'}$ から推定する。

$$u = \sqrt{V_{e'}} = \sqrt{11.85} = 3.4 \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad \text{相対率に換算した値 } 0.70 \text{ (\%)}$$

また、各因子別に要因効果を図 12 に示す。

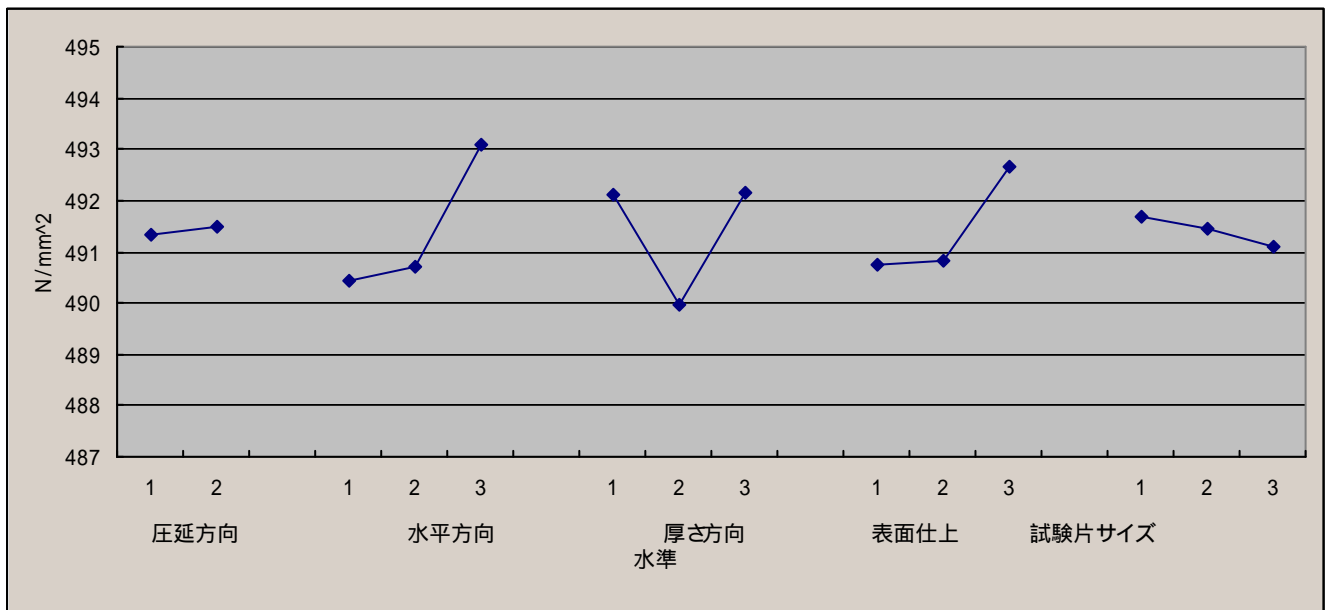


図 12 引張強さの要因効果図

試験片の採取条件を指定した場合の引張強さの不確かさバジェットシートを表 26 に示す。

表26 不確かさのバジェットシート(引張り強さ)

不確かさ成分	成分の標準不確かさ	単位	感度係数	標準不確かさ	タイプ
試験機の校正の不確かさ	0.28	%	1	0.28	B
試験機の指示誤差の不確かさ	0.09	%	1	0.09	B
試験のばらつき	0.70	%	1	0.70	A
合成標準不確かさ				0.76	
拡張不確かさ：U (k=2)				1.5	(%)

7) 不確かさの推定(伸び)

伸びの試験の実験データを表 27 に示す。

表 27 実験データ(伸び)

(特性値：%)

No.	A	B	C	D	e	e	e	e	試験片サイズ					
									M 1		M 2		M 3	
									n 1	n 2	n 1	n 2	n 1	n 2
1	1	1	1	1	1	1	1	1	36.4	35.0	35.2	35.7	38.4	36.0
2	1	1	2	2	2	2	2	2	30.7	30.7	33.0	32.2	34.2	31.4
3	1	1	3	3	3	3	3	3	34.8	34.5	34.4	34.7	37.7	35.2
4	1	2	1	1	2	2	3	3	34.8	35.3	35.1	37.2	35.3	37.0
5	1	2	2	2	3	3	1	1	33.0	30.0	30.8	33.7	35.3	33.6
6	1	2	3	3	1	1	2	2	34.6	32.9	34.9	34.8	36.8	36.0
7	1	3	1	2	1	3	2	3	33.8	33.4	35.5	35.7	36.0	35.6
8	1	3	2	3	2	1	3	1	32.5	29.7	34.7	33.5	34.4	34.7
9	1	3	3	1	3	2	1	2	34.7	36.6	36.0	34.1	36.4	36.2
10	2	1	1	3	3	2	2	1	34.6	34.2	36.1	34.7	37.5	35.9
11	2	1	2	1	1	3	3	2	35.0	35.7	31.3	33.2	34.3	35.1
12	2	1	3	2	2	1	1	3	33.7	34.5	35.1	35.6	34.4	35.6
13	2	2	1	2	3	1	3	2	35.7	33.6	34.4	35.4	34.8	36.0
14	2	2	2	3	1	2	1	3	29.9	32.2	34.3	32.9	34.1	35.0
15	2	2	3	1	2	3	2	1	35.5	34.2	34.9	36.0	36.7	36.6
16	2	3	1	3	2	3	1	2	36.6	34.2	36.8	35.2	36.3	36.5
17	2	3	2	1	3	1	2	3	35.9	33.1	34.9	32.6	33.1	34.3
18	2	3	3	2	1	2	3	1	35.0	35.1	35.5	36.0	34.7	35.2

表 27 のデータについて分散分析を行った結果が表 28 である。

表 28 伸びの分散分析表

		(%)			
要 因		平方和 S	自由度	分散 V	寄与率
M	試験片サイズ	40.98	2	20.49	12.9%
A	圧延方向	2.06	1	2.06	
B	水平方向	1.83	2	0.92	
C	厚さ方向	119.25	2	59.63	38.9%
D	表面仕上	21.02	2	10.51	6.2%
e	誤差	115.26	98	1.18	
e'	(プール)	119.15	101	1.18	42.0%
合計 T		300.40	107		100.0%

表 28 の分散分析の結果から、試験の不確かさをプールした誤差分散 $V_{e'}$ から推定する。

$$u = \sqrt{V_{e'}} = \sqrt{1.18} = 1.1 \quad (\%)$$

また、各因子別に要因効果を図 13 に示す。

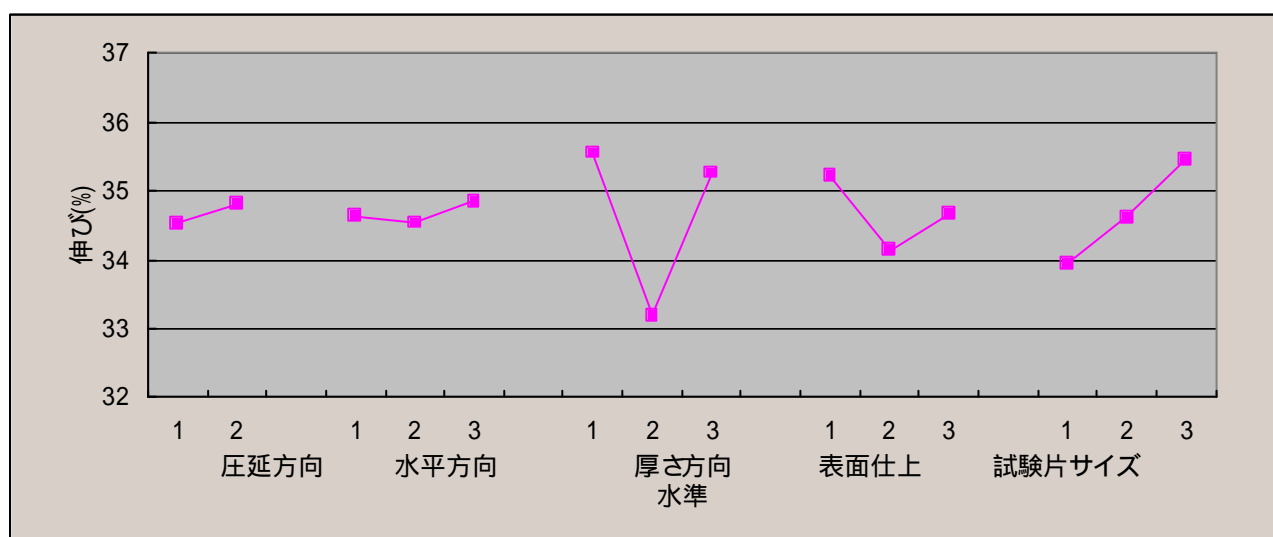


図 13 伸びの要因効果図

試験片の採取条件を指定した場合の伸びの不確かさバジェットシートを表 29 に示す。

表26 不確かさのバジェットシート(伸び)

不確かさ成分	成分の標準不確かさ	単位	感度係数	標準不確かさ	タイプ
ノギスの校正の不確かさ	0.015	mm	1/L	0.03	B
ノギス器差による不確かさ	0.02	mm	1/L	0.04	B
ノギスの測定のばらつき	0.05	mm	1/L	0.10	A
引張試験によるばらつき	1.09	%	1	1.09	
合成標準不確かさ				1.10	
拡張不確かさ : U (k=2)				2.2	(%)

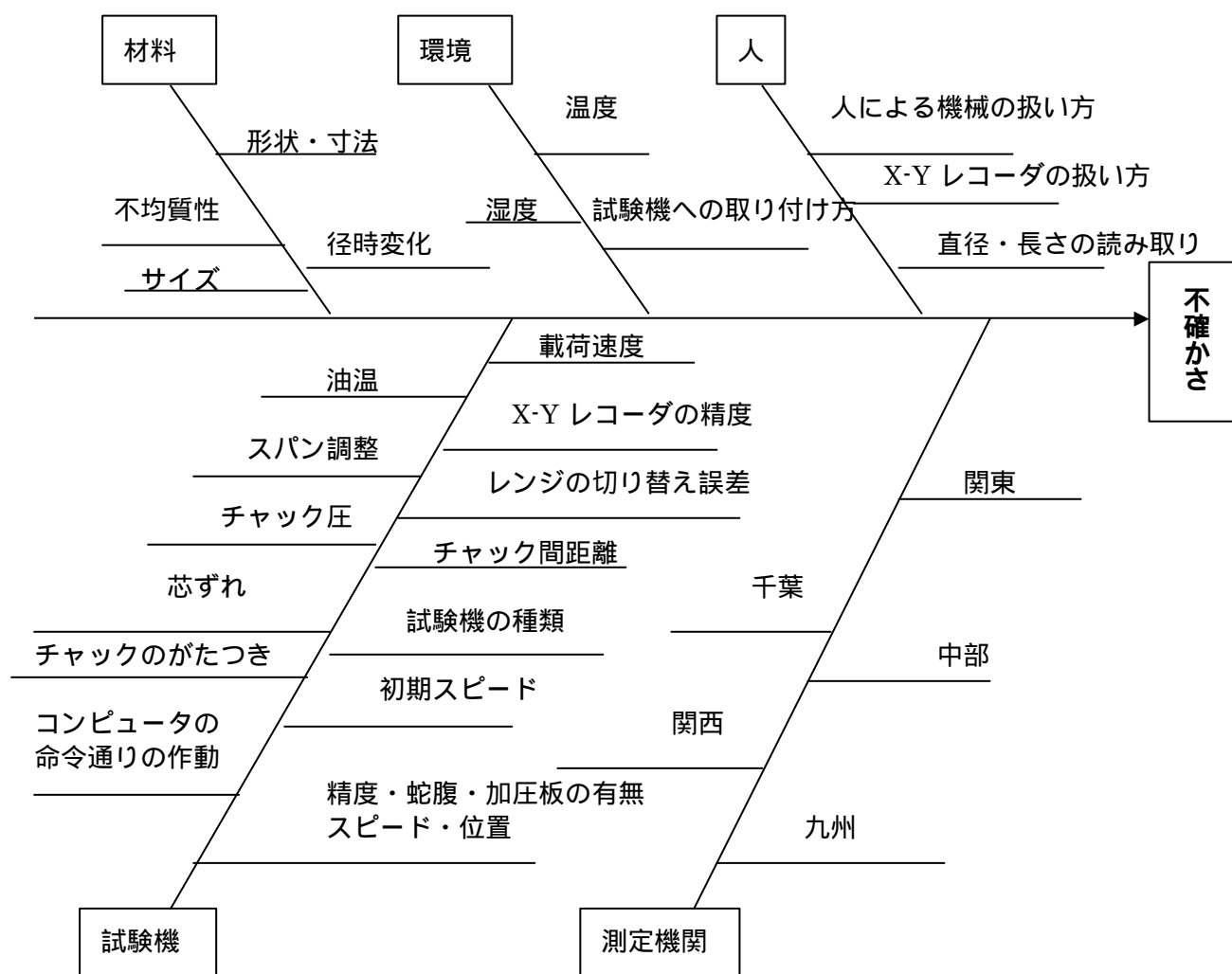
L : 標点長さ

工業標準化法 J N L A 制度における測定の不確かさ及び 技能試験用試料開発に係る調査 (2)

財団法人日本品質保証機構

製品規格 JIS B 1186-1995 「摩擦接合用高力六角ボルト・六角ナット・平座金のセット」を用いて、ボルトの引張試験、製品の引張試験、ボルトの硬さ試験、ナットの硬さ試験、座金の硬さ試験及びセットのトルク係数値試験それぞれの不確かさを推定することを目的として、以下それぞれの試験の特性要因から実験に用いる要因を限定し、実験を行うものである。

1. ボルト材料の引張試験特性要因



1 - 1 . 実験方法の特定

- イ) 実験は、製品規格 JIS B 1186-1995 に基づく六角ボルトで、製品の種類 F10T、M24 を用いる。材料の均質性を考慮し同一ロット（同一チャージ）で行う。
- ロ) 引張試験は JIS Z 2241:1998 「金属材料引張試験方法」に基づき、六角ボルトを JIS Z 2201:1998「金属材料引張試験片」に規定する 4 号試験片に加工したものをを用い、耐力(0.2% オフセット法)、引張強さ、伸び及び絞りについて行う。
 標点距離 L=50mm
 径 D=14mm
- ハ) 試験機の精度は、1 年に 1 回検証しているデータを用い、試験機の不確かさを試験結果の不確かさに加える。
- ニ) 油温は要因からはずすため、朝 9 時から試験機を動かし午後に試験を行う。
- ホ) 試験は同一条件で 3 本ずつ行い、反復を 2 回行う。
- ヘ) その他要因の解析方法には直交配列表（3 水準）を用いる。

1 - 2 . 実験

- イ) 直交実験の要因と水準
 特性要因の中から載荷速度に着目して実験を行う。初期スピードは、フルレンジの 3% までとする。

No.	要因	水準		
		1	2	3
e				
A	初期スピード(mm/min.)	5	25	50
B	載荷速度 A(N/mm ² /s)	5	15	25
C	載荷速度(歪増加率%)	20	35	50
D	試験者	TS	KS	JT
e				
e				
e				

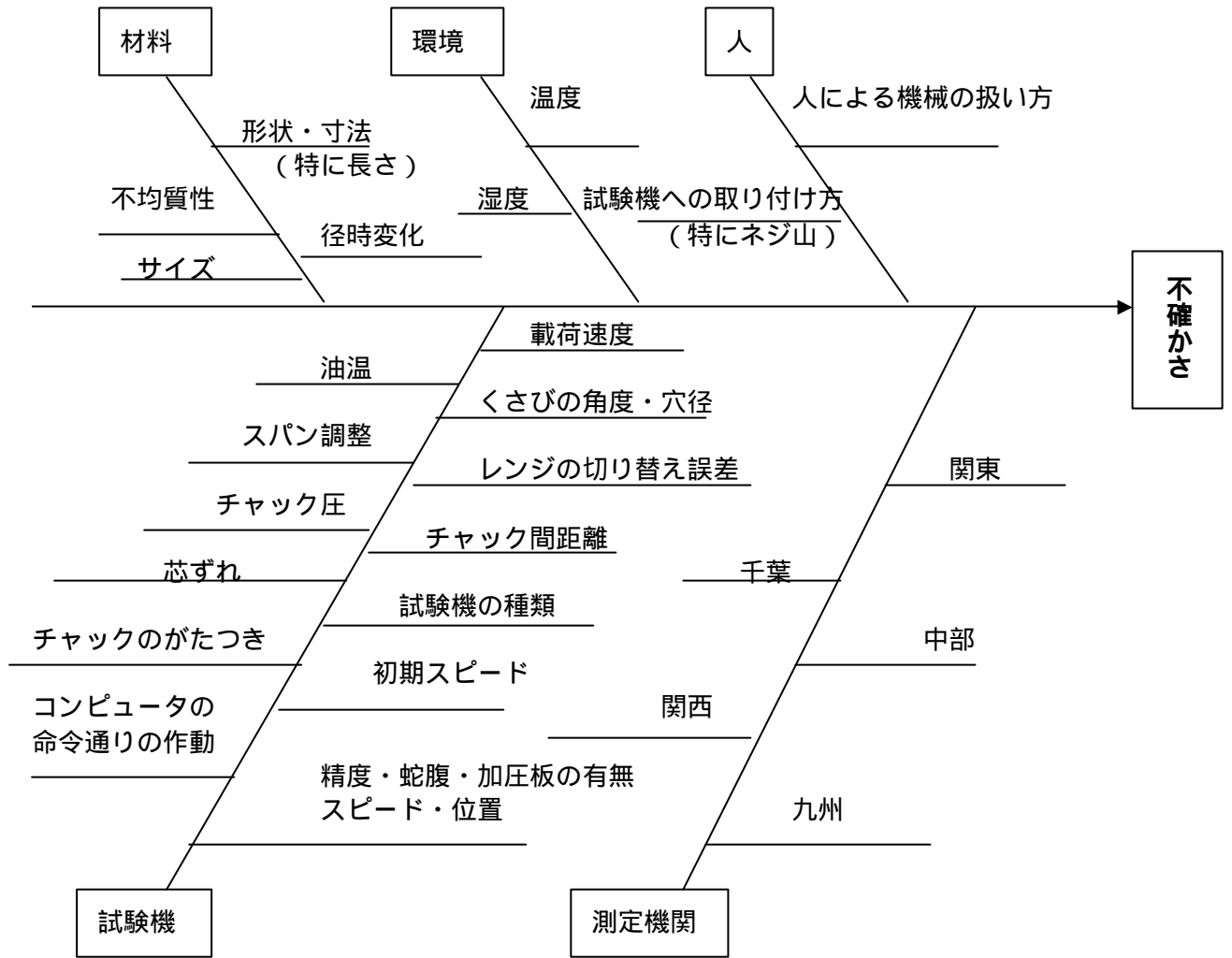
- ロ) 直交配列表は以下の通りとする。

行 番	因子	e	A	B	C	D	E	F	e	R1			R2		
	列番	1	2	3	4	5	6	7	8	n1	n2	n3	n1	n2	n3
1	/	1	1	1	1	1	1	1	1	Y1-1	Y1-2	Y1-3	Y1'-1	Y1'-2	Y1'-3
2	/	1	1	2	2	2	2	2	2	Y2-1	Y2-2	Y2-3	Y2'-1	Y2'-2	Y2'-3
3	/	1	1	3	3	3	3	3	3	Y3-1	Y3-2	Y3-3	Y3'-1	Y3'-2	Y3'-3
4	/	1	2	1	1	2	2	3	3	Y4-1	Y4-2	Y4-3	Y4'-1	Y4'-2	Y4'-3
5	/	1	2	2	2	3	3	1	1	Y5-1	Y5-2	Y5-3	Y5'-1	Y5'-2	Y5'-3
6	/	1	2	3	3	1	1	2	2	Y6-1	Y6-2	Y6-3	Y6'-1	Y6'-2	Y6'-3
7	/	1	3	1	2	1	3	2	3	Y7-1	Y7-2	Y7-3	Y7'-1	Y7'-2	Y7'-3
8	/	1	3	2	3	2	1	3	1	Y8-1	Y8-2	Y8-3	Y8'-1	Y8'-2	Y8'-3
9	/	1	3	3	1	3	2	1	2	Y9-1	Y9-2	Y9-3	Y9'-1	Y9'-2	Y9'-3
10	/	2	1	1	3	3	2	2	1	Y10-1	Y10-2	Y10-3	Y10'-1	Y10'-2	Y10'-3
11	/	2	1	2	1	1	3	3	2	Y11-1	Y11-2	Y11-3	Y11'-1	Y11'-2	Y11'-3
12	/	2	1	3	2	2	1	1	3	Y12-1	Y12-2	Y12-3	Y12'-1	Y12'-2	Y12'-3
13	/	2	2	1	2	3	1	3	2	Y13-1	Y13-2	Y13-3	Y13'-1	Y13'-2	Y13'-3
14	/	2	2	2	3	1	2	1	3	Y14-1	Y14-2	Y14-3	Y14'-1	Y14'-2	Y14'-3
15	/	2	2	3	1	2	3	2	1	Y15-1	Y15-2	Y15-3	Y15'-1	Y15'-2	Y15'-3
16	/	2	3	1	3	2	3	1	2	Y16-1	Y16-2	Y16-3	Y16'-1	Y16'-2	Y16'-3
17	/	2	3	2	1	3	1	2	3	Y17-1	Y17-2	Y17-3	Y17'-1	Y17'-2	Y17'-3
18	/	2	3	3	2	1	2	3	1	Y18-1	Y18-2	Y18-3	Y18'-1	Y18'-2	Y18'-3

1 - 3 ボルト材料引張試験の試験員割り当て

試験員	番号	初期スピード (mm/min) (A)	戴 荷 速 度 (N/mm ² /s) (B)	戴荷速度(歪増 加率%) (C)		
TS	1	5	5	20		
	6	25	25	50		
	7	50	5	35		
	11	5	15	20		
	14	25	15	50		
	18	50	25	35		
KS	2	5	15	35		
	4	25	5	20		
	8	50	15	50		
	12	5	25	35		
	15	25	25	20		
	16	50	5	50		
JT	3	5	25	50		
	5	25	15	35		
	9	50	25	20		
	10	5	5	50		
	13	25	5	35		
	17	50	15	20		

2. ボルト製品の引張試験特性要因



2 - 1 . 実験方法の特定

- イ) 実験は、製品規格 JIS B 1186-1995 に基づく六角ボルトで、製品の種類 F10T、M24 を用いる。材料の均質性を考慮し同一ロット (同一チャージ) で行う。
- ロ) 試験は JIS B 1186-1995 の 11.1.1 (1.2) 「製品の引張試験」に基づき行う。
- ハ) 試験機の精度は、1 年に 1 回検証しているデータを用い、試験機の不確かさを試験結果の不確かさに加える。
- ニ) 直行実験の要因としては、上記特性要因からボルト取り付け時の山数、試験温度、ボルトの長さ、くさびの角度・穴径及び試験者とする。
- ホ) JIS では温度について規定していないが、10 から 35 の環境下での試験を考える。温度は雰囲気温度維持が無理なため金属表面温度とする。(恒温槽にて 1 時間保持)
- ヘ) JIS では保証荷重に耐えるかどうかであるが、実験では引張荷重を測定する。
- ト) その他要因の解析方法には直交配列表 (3 水準) を用いる。

2 - 2 . 実験

イ) 直交実験の要因と水準

No.	要因	水準		
		1	2	3
e				
A	ボルト取付時の山数	5 山	6 山	7 山
B	温度	10	25	35
C	ボルトの長さ	90mm	120mm	160mm
D	くさびの角度	9.5 度	10 度	10.5 度
E	くさびの穴径	2.00mm	2.15mm	2.3mm
F	試験者	TS	KS	JT
e				

ロ) 実験計画は上記 6 要因 3 水準で行う。

ハ) 直交実験は大反復の 2 回とする。

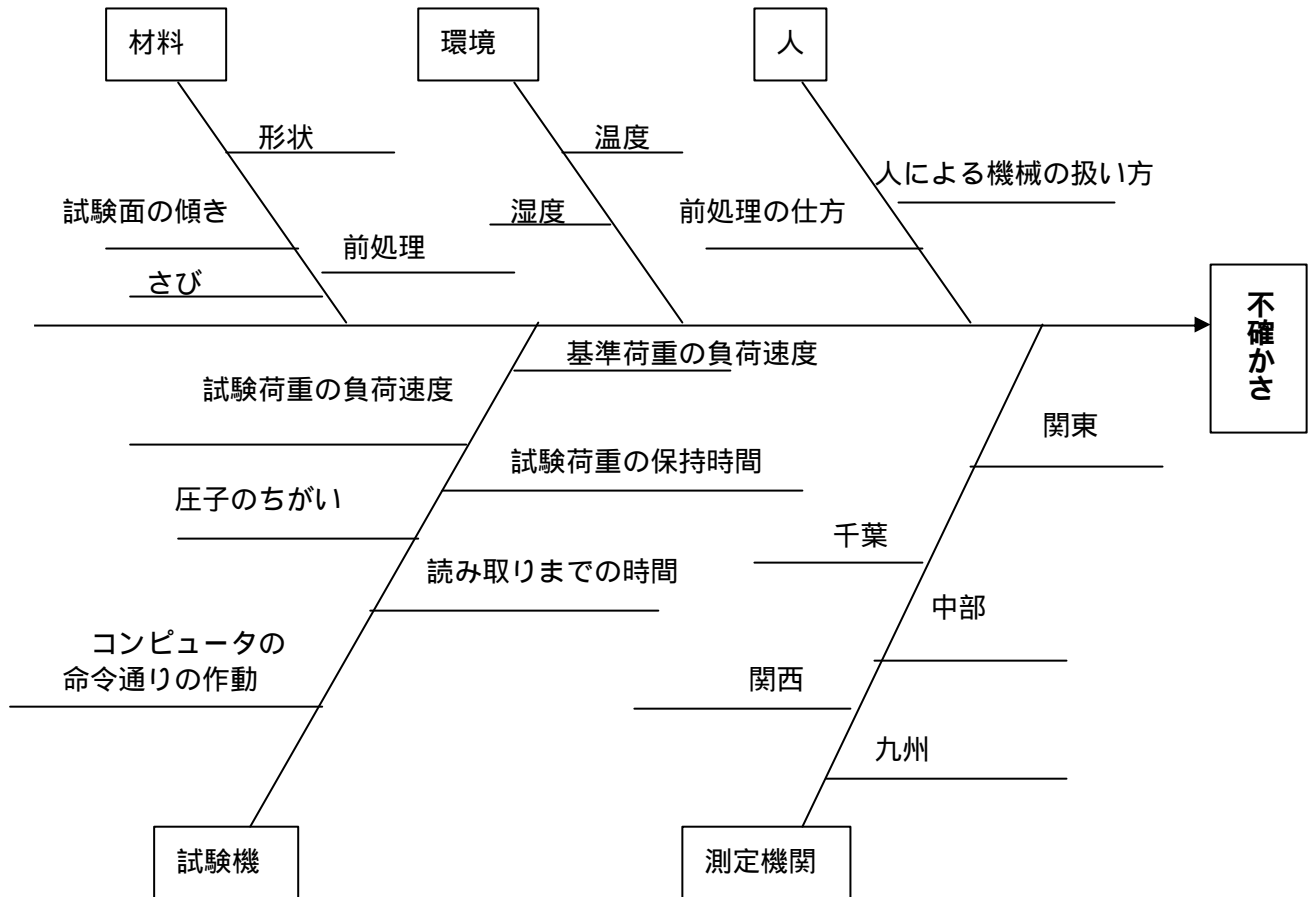
ニ) 試験片は 3 本行う。但し測定値の平均はしない。

ホ) 直交配列表は前記同様とする。

2 - 3 ボルト製品引張試験の試験員割り当て

試験員	番号	ボルト取付時の山数 (A)	温度 (金属表面) (B)	ボルトの長さ (C)	くさびの角度 (D)	くさびの穴径 (E)
TS	1	5 山	10	90mm	9.5 度	2.0mm
	5	6 山	25	120mm	10.5 度	2.3mm
	9	7 山	35	90mm	10.5 度	2.15mm
	12	5 山	35	120mm	10 度	2.0mm
	14	6 山	25	160mm	9.5 度	2.15mm
	16	7 山	10	160mm	10 度	2.3mm
KS	2	5 山	25	120mm	10 度	2.15mm
	6	6 山	35	160mm	9.5 度	2.0mm
	7	7 山	10	120mm	9.5 度	2.3mm
	10	5 山	10	160mm	10.5 度	2.15mm
	15	6 山	35	90mm	10 度	2.3mm
	17	7 山	25	90mm	10.5 度	2.0mm
JT	3	5 山	35	160mm	10.5 度	2.3mm
	4	6 山	10	90mm	10 度	2.15mm
	8	7 山	25	160mm	10 度	2.0mm
	11	5 山	25	90mm	9.5 度	2.3mm
	13	6 山	10	120mm	10.5 度	2.0mm
	18	7 山	35	120mm	9.5 度	2.15mm

3. ボルト、ナット及び座金のロックウェル硬さ試験特性要因



3 - 1 . 実験方法の特定

- イ) 実験は、製品規格 JIS B 1186-1995 に基づく六角ボルトで、製品の種類 F10T、M24 を用いる。材料の均質性を考慮し同一ロット（同一チャージ）で行う。
- ロ) 試験は JIS Z 2245:1998 「ロックウェル硬さ試験 - 試験方法」に基づき、ボルト・ナット・座金それぞれ行う。
- ハ) 試験機の精度は、1年に1回検証しているデータを用い、試験機の不確かさを試験結果の不確かさに加える。
- ニ) 直行実験の要因としては、上記特性要因から試験位置（試験片の内側、中央、外側）、試験荷重の保持時間、読み取りまでの時間、試験者、金属表面温度及び圧子のちがいとする。
- ホ) ボルト、ナット及び座金それぞれ行う。
- ヘ) 試験は同一条件で3本行い、反復を2回行う。
- ト) JIS では温度について規定していないが、10 から 35 の環境下での試験を考える。温度は雰囲気温度維持が無理なため金属表面温度とする。（恒温槽にて1時間以上保持）
- チ) その他要因の解析方法には直交配列表（3水準）を用いる。

3 - 2 . 実験

イ) 直交実験の要因と水準

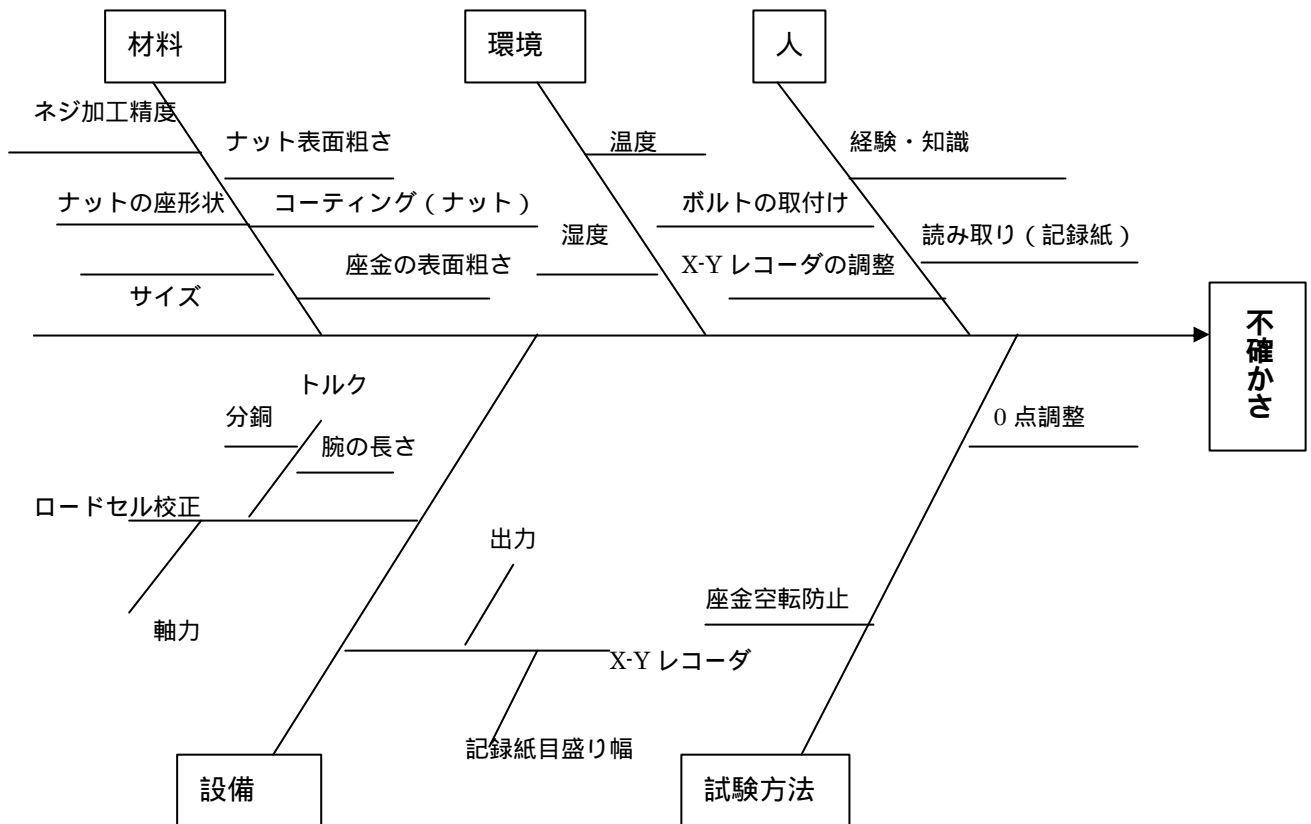
No.	要因	水準		
		1	2	3
e				
A	試験位置	外側	中央	内側
B	試験荷重の保持時間(秒)	6	4	2
C	読み取りまでの時間(秒)	30	15	0
D	試験者	TS	KS	JT
E	金属表面温度()	10	25	35
F	圧子のちがい	A	b	c
e				

ロ) 直交配列表は前記同様とする。

3 - 3 ロックウェル硬さ試験の試験員割り当て

試験員	番号	試験位置(A)	試験荷重の保持時間(秒)(B)	読取までの時間(秒)(C)	金属表面温度(D)	圧子のちがい(E)
TS	1	外	6	30	10	A
	6	中	2	0	10	B
	7	内	6	15	35	B
	11	外	4	30	35	C
	14	中	4	0	25	A
	18	内	2	15	25	C
KS	2	外	4	15	25	B
	4	中	6	30	25	C
	8	内	4	0	10	C
	12	外	2	15	10	A
	15	中	2	30	35	B
	16	内	6	0	35	A
JT	3	外	2	0	35	C
	5	中	4	15	35	A
	9	内	2	30	25	A
	10	外	6	0	25	B
	13	中	6	15	10	C
	17	内	4	30	10	B

4 . ボルトを用いてのトルク係数値測定の特異要因



4 - 1 . 実験方法

- イ) 実験は、製品規格 JIS B 1186-1995 に基づく六角ボルトで、製品の種類 F10T、M24 を用いる。材料の均質性を考慮し同一ロット (同一チャージ) で行う。
- ロ) 試験は JIS B 1186-1995 の 11.2 「セットのトルク係数値試験」に基づき行う。
- ハ) 試験機の精度は、トルク値及び軸力について、実験開始前に検証を行い確認する。また、検証に用いる力計、ノギス、分銅等の不確かさも含めて、試験機の不確かさを試験結果の不確かさに加える。
- ニ) セットボルトは同一ロットであるため、ネジの加工精度・ナット座の形状・表面粗さ・座金の硬さは均質とみなし、要因からはずした。
- ホ) JIS ではトルク係数値試験を A (表面処理を施したもの) と B (表面処理を行わないもの) とに分けているが、実験では A を選択した。
- ヘ) JIS では温度について規定していないが、他の仕様書等で 0 から 60 の環境下での保証を規定しているので、これを要因にあげた。
- ト) その他要因の解析方法には直交配列表 (3 水準) を用いる。

4 - 2 . 実験

イ) 直交実験の要因と水準

No.	要因	水準		
		1	2	3
A	座金の取付	裏	表	
B	ボルト取付時の山数	3 山外	0	3 山内
C	温度	0	30	60
D	経時変化	開封直後	開封後 15 日	開封後 30 日
E	取付時の座金空転防止	何も行わない	チョークをつける	錆びた座をつける
F	試験者	TS	KS	JT
e				
e				

ロ) 実験計画は上記 6 要因 3 水準で行う。

ハ) 直交実験は大反復 (再現性) の 2 回とする。

ニ) 試験片は 3 本行う。但し測定値の平均はしない。

ホ) 直交配列表は前記同様とする。

4 - 3 トルク係数値試験の試験員割り当て

試験員	番号	座金の取付 (A)	ボルト取付時の山数 (B)	温度 (金属表面) (C)	経時変化 (D)	取付時の座金空転防止 (E)
TS	1	裏	3 山外	0	開封直後	清掃のみ
	6	裏	0	60	開封後 30 日	清掃のみ
	8	裏	3 山内	30	開封後 30 日	チョーク塗り
	12	表	3 山外	60	開封後 15 日	チョーク塗り
	13	表	0	0	開封後 15 日	座金 (錆びた)
	17	表	3 山内	30	開封直後	座金 (錆びた)
KS	2	裏	3 山外	30	開封 15 日後	チョーク塗り
	4	裏	0	0	開封直後	チョーク塗り
	9	裏	3 山内	60	開封直後	座金 (錆びた)
	10	表	3 山外	0	開封後 30 日	座金 (錆びた)
	14	表	0	30	開封後 30 日	清掃のみ
	18	表	3 山内	60	開封後 15 日	清掃のみ
JT	3	裏	3 山外	60	開封後 30 日	清掃のみ
	5	裏	0	30	開封後 15 日	清掃のみ
	7	裏	3 山内	0	開封後 15 日	チョーク塗り
	11	表	3 山外	30	開封直後	チョーク塗り
	15	表	0	60	開封直後	座金 (錆びた)
	16	表	3 山内	0	開封後 30 日	座金 (錆びた)

5. 不確かさの推定

5.1 ボルト材料の引張試験（耐力（0.2%オフセット法）

ボルト材料の引張試験（耐力）の不確かさ推定を行うため、表1の実験データについて分散分析を行う。データを表1に示す。

表1 （単位：kN/mm²）

行 番	因 子 列 番	e	A	B	C	D	e	e	e	R1			R2		
		1	2	3	4	5	6	7	8	n1	n2	n3	n1	n2	n3
1	/	1	1	1	1	1	1	1	1	1020	1036	1016	1026	1027	1036
2	/	1	1	2	2	2	2	2	2	1052	1056	1033	1043	1028	1027
3	/	1	1	3	3	3	3	3	3	1064	1037	1047	1041	1037	1035
4	/	1	2	1	1	2	2	3	3	1051	1041	1047	1026	1027	1032
5	/	1	2	2	2	3	3	1	1	1040	1038	1055	1051	1034	1032
6	/	1	2	3	3	1	1	2	2	1035	1036	1035	1037	1039	1045
7	/	1	3	1	2	1	3	2	3	1013	1032	1028	1027	1021	1034
8	/	1	3	2	3	2	1	3	1	1050	1049	1025	1028	1032	1027
9	/	1	3	3	1	3	2	1	2	1038	1052	1042	1056	1043	1026
10	/	2	1	1	3	3	2	2	1	1025	1053	1029	1031	1026	1019
11	/	2	1	2	1	1	3	3	2	1036	1037	1029	1045	1027	1029
12	/	2	1	3	2	2	1	1	3	1037	1053	1051	1032	1046	1030
13	/	2	2	1	2	3	1	3	2	1029	1028	1024	1038	1027	1039
14	/	2	2	2	3	1	2	1	3	1034	1033	1027	1033	1026	1034
15	/	2	2	3	1	2	3	2	1	1052	1035	1050	1026	1031	1041
16	/	2	3	1	3	2	3	1	2	1050	1042	1033	1028	1049	1038
17	/	2	3	2	1	3	1	2	3	1055	1027	1058	1021	1031	1018
18	/	2	3	3	2	1	2	3	1	1029	1028	1034	1040	1046	1018

表1のデータについて分散分析を行う。

修正項 : CF

$$CF = \frac{(\text{全データの和})^2}{\text{データ数}} = \frac{(1020+1030+\dots+1018)^2}{108} = 115882818.37$$

全2乗和 : S_T

$$S_T = \sum_1^{108} (\text{各データ})^2 - CF = 11821.63$$

因子 R の平方和 : S_R

$$S_M = \frac{[\sum(R1のデータ)]^2 + [\sum(R2のデータ)]^2}{Riの繰返し数} - CF$$

$$= \frac{(56086^2 + 55786^2)}{54} - 115882818.37 = 833.33$$

因子 A の平方和 : S_A

$$S_A = \frac{[\sum(A1のデータ)]^2 + [\sum(A2のデータ)]^2 + [\sum(A3のデータ)]^2}{Aiの繰返し数} - CF$$

$$= \frac{(37296^2 + 37308^2 + 37268^2)}{36} - 115882818.37$$

$$= 23.41$$

因子 B, C, D について上記同様に平方和を算出する。

誤差平方和 : Se

誤差は全平方和 S_T から全ての平方和 (変動) を引いて求められる。

$$Se = 8745.17$$

各因子の分散 V_i が誤差分散 Ve に対して 2 倍以内の要因、試験者及び反復要因を誤差分散 Ve にプールする。

$$Ve' = \frac{Se + \text{プールする要因のSの和}}{fe + \text{プールする要因の自由度}f\text{の和}} = \frac{Se'}{fe}$$

$$Se' = 8745.17(Se) + 833.33(SR) + 23.41(SA) + 18.02(Sc) = 9619.93$$

$$fe = 98(Se) + 1(SR) + 2(SA) + 2(Sc) = 103$$

$$\text{従って、} Ve' = \frac{Se'}{fe} = \frac{9619.93}{103} = 93.40$$

分散が誤差分散の 2 倍以上の効果の寄与率 の計算を行う。

B の効果の寄与率を求めると、

$$m = \frac{SB - fBVe'}{ST} = \frac{1061.63 - 2 \times 94.31}{11821.63} \times 100 = 7.38$$

他の寄与率も同様に計算する。

上記に従い計算したものを表 2 にまとめる。

表 2

要 因	平方和 S	自由度	分散 V	分散比 F	寄与率 (%)
R 反復	833.33	1	833.33	8.84	
A 初期スピード(N/mm ² /s)	23.41	2	11.70	0.12	
B 戴荷速度(N/mm ² /s)	1061.63	2	530.82	5.43	7.25
C 戴荷速度 (歪増加率%)	18.02	2	9.01	0.09	
D 試験者	1140.07	2	570.04	5.83	
e (誤差)	8745.17	98	89.24		
e' (誤差プール)	10760.00	105	102.48		92.75
計	11821.63	107			100.00

表 2 の分散分析の結果から、測定の不確かさをプールした誤差分散 $V_{e'}$ から推定する。

$$u_e = \sqrt{V_{e'}} = \sqrt{102.476} = 10.123 \quad (\text{N/mm}^2) \quad \text{相対率に換算した値} \quad 0.98\%$$

試験機の最大拡張不確かさ：0.18%（2004年6月2日の校正結果：200k N レンジ）
 従って、試験機の標準不確かさは、

$$u_s = \text{耐力の平均} \times 0.0009 = 1036 \times 0.0009 = 0.93 \quad (\text{N/mm}^2)$$

指示誤差 u_a ：0.23%（使用レンジの最大）
 従って、指示誤差は、

$$u_a = 1036 \times 0.0023 = 2.38 \quad (\text{N/mm}^2)$$

合成標準不確かさは、

$$u_T = \sqrt{u_e^2 + u_s^2 + u_a^2} = \sqrt{9.72^2 + 0.93^2} = 9.76 \quad (\text{N/mm}^2)$$

相対率に換算した値 0.94%

拡張不確かさは、

$$U = k \times u_T = 2 \times 9.75 = 19.50 \quad (\text{N/mm}^2) \quad \text{相対率に換算した値} \quad 1.9\%$$

全て百分率で計算すると、

$$u_T = \sqrt{u_e^2 + u_s^2 + u_a^2} = \sqrt{0.94^2 + 0.09^2 + 0.23^2} = 0.97$$

上記を表 3 にまとめる。

表3 不確かさのバジェットシート (耐力)

不確かさ成分	成分の標準不確かさ	単位	感度係数	標準不確かさ	タイプ
試験機の校正の不確かさ	0.09	%	1	0.09	B
試験機の指示誤差の不確かさ	0.23	%	1	0.23	B
引張試験のばらつき	0.98	%	1	0.98	A
合成標準不確かさ				1.01	
拡張不確かさ: U (k=2)				2.02	(%)

5.2 ボルト材料の引張試験 (引張強さ)

ボルト材料の引張試験 (引張強さ) の不確かさ推定を行うため、表4の実験データについて分散分析を行う。データを表4に示す。

表4 (単位: kN/mm²)

行番	因子 列番	e	A	B	C	D	E	e	e	R1			R2		
		1	2	3	4	5	6	7	8	n1	n2	n3	n1	n2	n3
1	/	1	1	1	1	1	1	1	1	1078	1092	1063	1077	1080	1088
2	/	1	1	2	2	2	2	2	2	1091	1087	1082	1091	1076	1076
3	/	1	1	3	3	3	3	3	3	1092	1090	1098	1086	1082	1085
4	/	1	2	1	1	2	2	3	3	1090	1084	1082	1082	1078	1087
5	/	1	2	2	2	3	3	1	1	1096	1084	1096	1086	1086	1082
6	/	1	2	3	3	1	1	2	2	1092	1097	1090	1082	1090	1099
7	/	1	3	1	2	1	3	2	3	1066	1083	1083	1089	1075	1090
8	/	1	3	2	3	2	1	3	1	1087	1074	1071	1073	1082	1076
9	/	1	3	3	1	3	2	1	2	1084	1082	1087	1099	1086	1079
10	/	2	1	1	3	3	2	2	1	1070	1094	1084	1083	1080	1068
11	/	2	1	2	1	1	3	3	2	1086	1089	1078	1101	1077	1079
12	/	2	1	3	2	2	1	1	3	1084	1077	1084	1082	1082	1080
13	/	2	2	1	2	3	1	3	2	1083	1084	1070	1069	1076	1088
14	/	2	2	2	3	1	2	1	3	1090	1086	1082	1088	1084	1091
15	/	2	2	3	1	2	3	2	1	1089	1083	1090	1077	1078	1086
16	/	2	3	1	3	2	3	1	2	1094	1099	1094	1068	1088	1078
17	/	2	3	2	1	3	1	2	3	1069	1071	1090	1073	1080	1063
18	/	2	3	3	2	1	2	3	1	1081	1078	1105	1093	1100	1064

表4について、分散分析を行った結果が表5である。

表 5

要 因	平方和 S	自由度	分散 V	分散比 F	寄与率 (%)
R 反復	200.08	1	200.08	2.82	
A 初期スピード(N/mm ² /s)	220.35	2	110.18	1.58	
B 戴荷速度(N/mm ² /s)	480.30	2	240.15	3.44	4.16
C 戴荷速度 (歪増加率%)	171.19	2	85.59	1.22	
D 試験者	142.46	2	71.23	1.02	
e (誤差)	6850.39	98	69.90		
e' (誤差プール)	7584.47	104	72.23		95.84
計	8064.769	107			100.00

表 5 の分散分析の結果から、測定の不確かさをプールした誤差分散 $V_{e'}$ から推定する。

$$u_e = \sqrt{V_{e'}} = \sqrt{72.23} = 8.50 \quad (\text{N/mm}^2) \quad \text{相対率に換算した値} \quad 0.78\%$$

表 6 不確かさのバジェットシート (引張強度)

不確かさ成分	成分の標準不確かさ	単位	感度係数	標準不確かさ	タイプ
試験機の校正の不確かさ	0.09	%	1	0.09	B
試験機の指示誤差の不確かさ	0.23	%	1	0.23	B
引張試験のばらつき	0.78	%	1	0.78	A
合成標準不確かさ				0.82	
拡張不確かさ : U (k=2)				1.64	(%)

5.3 ボルト材料の引張試験 (伸び)

ボルト材料の引張試験 (伸び) の不確かさ推定を行うため、表 7 の実験データについて分散分析を行う。データを表 7 に示す。

表7 (単位：%)

行 番	因子 列番	e								R1			R2		
		1	2	3	4	5	6	7	8	N1	n2	n3	n1	n2	n3
1	/	1	1	1	1	1	1	1	1	18.8	17.4	14.5	16.9	17.7	18.2
2	/	1	1	2	2	2	2	2	2	19.5	17.1	18.4	18.6	17.7	19.2
3	/	1	1	3	3	3	3	3	3	18.7	18.3	18.6	17.9	17.9	18.0
4	/	1	2	1	1	2	2	3	3	17.0	16.9	17.0	16.9	17.2	17.9
5	/	1	2	2	2	3	3	1	1	18.4	18.3	17.5	17.3	18.7	17.6
6	/	1	2	3	3	1	1	2	2	17.8	17.5	18.1	15.7	17.6	18.4
7	/	1	3	1	2	1	3	2	3	17.1	16.5	19.2	18.2	17.9	17.4
8	/	1	3	2	3	2	1	3	1	17.8	15.6	14.3	17.2	17.5	18.3
9	/	1	3	3	1	3	2	1	2	18.0	17.6	17.8	18.0	18.6	18.2
10	/	2	1	1	3	3	2	2	1	16.9	17.6	17.9	18.2	18.6	17.6
11	/	2	1	2	1	1	3	3	2	17.7	18.1	17.4	19.5	17.2	15.3
12	/	2	1	3	2	2	1	1	3	17.6	17.7	19.0	17.6	17.7	18.0
13	/	2	2	1	2	3	1	3	2	18.0	17.7	17.5	18.2	16.7	18.0
14	/	2	2	2	3	1	2	1	3	17.4	17.6	17.9	17.6	17.4	17.2
15	/	2	2	3	1	2	3	2	1	17.9	18.5	17.9	17.5	17.7	18.2
16	/	2	3	1	3	2	3	1	2	17.3	18.0	18.3	17.7	18.4	18.4
17	/	2	3	2	1	3	1	2	3	22.0	15.8	19.3	18.1	17.6	15.7
18	/	2	3	3	2	1	2	3	1	16.4	17.9	19.0	18.1	18.3	14.5

表7について、分散分析を行った結果が表8である。

表8

要 因	平方和 S	自由度	分散 V	分散比 F	寄与率 (%)
R 反復	0.049	1	0.049	0.04	
A 初期スピード(N/mm ² /s)	1.107	2	0.554	0.51	
B 戴荷速度(N/mm ² /s)	1.004	2	0.502	0.46	
C 戴荷速度(歪増加率%)	0.891	2	0.445	0.41	
D 試験者	4.212	2	2.106	1.93	
e (誤差)	106.887	98	1.091		
e' (誤差プール)	114.149	107	1.067		100.00
計	114.149	107			100.00

表8の分散分析の結果から、測定の不確かさをプールした誤差分散 $V_{e'}$ から推定する。

$$u_e = \sqrt{V_{e'}} = \sqrt{1.067} = 1.033 \quad (\%)$$

表9 不確かさのバジェットシート (伸び)

不確かさ成分	成分の標準不確かさ	単位	感度係数	標準不確かさ	タイプ
ノギスの校正の不確かさ	0.05	mm	1/L	0.10	B
ノギスの偏差等の不確かさ	0.02	mm	1/L	0.04	B
ノギス使用時の不確かさ	0.05	mm	1/L	0.10	B
試験のばらつき	1.03	%	1	1.03	A
合成標準不確かさ				1.04	
拡張不確かさ：U (k=2)				2.1	(%)

L：標点距離 (50mm)

5.4 ボルト材料の引張試験 (絞り)

ボルト材料の引張試験 (絞り) の不確かさ推定を行うため、表10の実験データについて分散分析を行う。データを表10に示す。

表10 (単位：%)

行 番	因子	e								R1			R2		
	列番	1	2	3	4	5	6	7	8	n1	n2	n3	n1	n2	n3
1	/	1	1	1	1	1	1	1	1	67.3	67.5	66.5	67.6	67.5	67.7
2	/	1	1	2	2	2	2	2	2	67.8	65.8	66.7	67.6	67.6	68.0
3	/	1	1	3	3	3	3	3	3	67.1	66.7	67.4	67.1	66.9	66.5
4	/	1	2	1	1	2	2	3	3	64.0	66.9	66.5	67.1	66.9	67.4
5	/	1	2	2	2	3	3	1	1	66.4	65.7	67.3	67.5	67.4	67.1
6	/	1	2	3	3	1	1	2	2	66.9	67.5	67.1	65.9	66.7	67.5
7	/	1	3	1	2	1	3	2	3	67.8	67.3	68.0	67.3	68.0	67.2
8	/	1	3	2	3	2	1	3	1	65.9	64.8	65.3	67.1	66.8	65.4
9	/	1	3	3	1	3	2	1	2	67.2	66.6	67.5	66.9	67.1	68.2
10	/	2	1	1	3	3	2	2	1	66.9	66.9	67.3	67.0	67.4	67.2
11	/	2	1	2	1	1	3	3	2	67.5	67.5	67.2	68.0	67.1	66.9
12	/	2	1	3	2	2	1	1	3	66.0	66.4	67.0	65.2	67.7	67.2
13	/	2	2	1	2	3	1	3	2	68.3	66.1	67.3	68.2	67.6	67.0
14	/	2	2	2	3	1	2	1	3	67.2	66.1	67.1	66.7	67.1	66.5
15	/	2	2	3	1	2	3	2	1	67.6	67.0	67.4	67.2	66.6	67.4
16	/	2	3	1	3	2	3	1	2	65.9	65.7	66.2	67.1	67.1	67.1
17	/	2	3	2	1	3	1	2	3	66.1	66.6	67.4	68.1	68.2	66.1
18	/	2	3	3	2	1	2	3	1	66.7	67.1	67.5	67.4	67.8	65.9

表10について、分散分析を行った結果が表11である。

表 1 1 (単位: %)

要因	平方和 S	自由度	分散 V	分散比 F	寄与率 (%)
R 反復	3.449	1	3.449	7.61	
A 初期スピード(N/mm ² /s)	0.804	2	0.402	0.88	
B 戴荷速度(N/mm ² /s)	0.729	2	0.365	0.80	
C 戴荷速度 (歪増加率%)	4.454	2	2.227	4.88	5.74
D 試験者	6.107	2	3.053	6.70	
e (誤差)	44.681	98	0.456		
e' (誤差プール)	52.320	104	0.498		94.26
計	60.223	107	0.563		100.00

表 1 1 の分散分析の結果から、測定の不確かさをプールした誤差分散 $V_{e'}$ から推定する。

$$u_e = \sqrt{V_{e'}} = \sqrt{0.498} = 0.706 (\%)$$

表 1 2 不確かさのバジェットシート(絞り)

不確かさ成分	成分の標準不確かさ	単位	感度係数	標準不確かさ	タイプ
ノギスの校正の不確かさ	0.05	mm	1/L	0.36	B
ノギス器差による不確かさ	0.02	mm	1/L	0.14	B
ノギスの測定のばらつき	0.05	mm	1/L	0.36	A
引張試験によるばらつき	0.71	%	1	0.71	
合成標準不確かさ				0.88	
拡張不確かさ: U (k=2)				1.76	(%)

5.5 ボルトの製品引張試験

ボルトの製品引張試験の不確かさ推定を行うため、表 1 3 の実験データについて分散分析を行う。データを表 1 3 に示す。

表 1 3 (単位 : kN)

行 番	因 子 列 番	e	A	B	C	D	E	F	e	R1			R2		
		1	2	3	4	5	6	7	8	n1	n2	n3	n1	n2	n3
1	/	1	1	1	1	1	1	1	1	383.5	384.0	386.5	377.8	383.4	380.2
2	/	1	1	2	2	2	2	2	2	383.5	383.5	381.5	382.6	385.2	386.0
3	/	1	1	3	3	3	3	3	3	381.0	382.5	377.0	381.2	380.8	382.0
4	/	1	2	1	1	2	2	3	3	382.5	378.5	380.0	379.8	379.2	379.0
5	/	1	2	2	2	3	3	1	1	376.0	377.0	376.0	380.4	379.6	377.2
6	/	1	2	3	3	1	1	2	2	377.0	380.0	381.0	383.6	382.2	380.2
7	/	1	3	1	2	1	3	2	3	380.0	379.5	375.0	379.6	381.4	381.8
8	/	1	3	2	3	2	1	3	1	375.0	373.5	379.5	378.4	381.8	378.2
9	/	1	3	3	1	3	2	1	2	373.5	370.5	373.5	373.4	372.4	376.6
10	/	2	1	1	3	3	2	2	1	382.5	379.5	386.5	392.8	389.0	388.8
11	/	2	1	2	1	1	3	3	2	383.5	381.0	381.5	378.2	385.2	381.8
12	/	2	1	3	2	2	1	1	3	380.5	379.0	378.0	381.8	385.2	382.8
13	/	2	2	1	2	3	1	3	2	385.0	378.0	381.0	385.2	384.0	378.0
14	/	2	2	2	3	1	2	1	3	383.5	378.0	377.0	381.6	379.8	377.4
15	/	2	2	3	1	2	3	2	1	377.5	376.0	371.0	379.4	378.4	376.6
16	/	2	3	1	3	2	3	1	2	382.5	380.5	380.0	382.2	386.6	386.2
17	/	2	3	2	1	3	1	2	3	375.0	375.5	376.5	374.6	380.6	376.6
18	/	2	3	3	2	1	2	3	1	373.0	373.0	373.5	372.4	372.6	373.2

表 1 3 について、分散分析を行った結果が表 1 4 である。

表 1 4

要 因	平方和 S	自由度	分散 V	分散比 F	寄与率 (%)
R 反復	84.447	1	42.2234	6.78	
A ボルト取付時の山数	574.291	2	287.145	46.08	30.00
B 温度	394.205	2	197.103	31.63	20.35
C ボルトの長さ	160.111	2	80.055	12.85	7.80
D くさびの角度	17.482	2	8.741	1.40	
E くさびの穴径	11.616	2	5.808	0.93	
F 試験者	37.562	2	18.781	3.01	
e (誤差)	585.777	94	6.232		
e' (誤差プール)	736.883	101	7.296		41.85
計	1865.489	107	17.434		100.00

表 1 4 の分散分析の結果から、測定の不確かさをプールした誤差分散 $V_{e'}$ から推定する。

$$u_e = \sqrt{V_{e'}} = \sqrt{7.296} = 2.70 \quad (\text{kN}) \quad \text{相対率に換算した値} \quad 0.71\%$$

表 1 5 不確かさのバジェットシート(製品引張試験)

不確かさ成分	成分の標準不確かさ	単位	感度係数	標準不確かさ	タイプ
試験機の校正の不確かさ	0.175	%	1	0.18	B
試験機の指示誤差の不確かさ	0.450	%	1	0.45	B
試験のばらつき	0.711	%	1	0.71	A
合成標準不確かさ				0.86	
拡張不確かさ : $U(k=2)$				1.72	(%)

5.6 ボルトの硬さ試験

ボルトの硬さ試験の不確かさ推定を行うため、表 1 6 の実験データについて分散分析を行う。データを表 1 6 に示す。

表 1 6 (単位 : HRC)

行 番	因 子 列 番	e	A	B	C	D	E	F	e	R1			R2		
		1	2	3	4	5	6	7	8	n1	n2	n3	n1	n2	n3
1	/	1	1	1	1	1	1	1	1	34.1	33.8	34.2	33.6	33.6	33.6
2	/	1	1	2	2	2	2	2	2	33.5	33.5	33.4	33.3	33.2	33.2
3	/	1	1	3	3	3	3	3	3	34.0	34.3	32.6	32.9	33.5	33.3
4	/	1	2	1	1	2	2	3	3	34.1	33.1	32.2	34.2	34.6	33.9
5	/	1	2	2	2	3	3	1	1	32.6	32.3	32.8	33.3	32.4	32.9
6	/	1	2	3	3	1	1	2	2	34.7	35.4	33.8	33.8	34.1	33.9
7	/	1	3	1	2	1	3	2	3	33.9	34.2	34.6	33.9	33.3	33.4
8	/	1	3	2	3	2	1	3	1	34.6	34.1	35.0	34.2	34.4	34.1
9	/	1	3	3	1	3	2	1	2	33.6	33.4	33.4	33.0	33.6	33.5
10	/	2	1	1	3	3	2	2	1	33.3	33.3	33.2	32.8	33.2	32.7
11	/	2	1	2	1	1	3	3	2	34.4	34.6	34.3	34.2	34.1	33.5
12	/	2	1	3	2	2	1	1	3	35.1	34.2	34.7	33.5	33.4	33.2
13	/	2	2	1	2	3	1	3	2	34.4	34.7	34.3	34.2	33.2	34.3
14	/	2	2	2	3	1	2	1	3	33.3	33.3	33.2	33.1	33.1	32.8
15	/	2	2	3	1	2	3	2	1	32.8	32.9	32.6	34.1	33.5	33.6
16	/	2	3	1	3	2	3	1	2	34.0	33.8	32.7	32.7	32.8	32.7
17	/	2	3	2	1	3	1	2	3	34.9	35.4	35.0	34.4	34.6	34.7
18	/	2	3	3	2	1	2	3	1	34.5	34.1	34.4	34.1	34.6	34.9

表 1 6 について、分散分析を行った結果が表 1 7 である。

表 1 7

要 因	平方和 S	自由度	分散 V	分散比 F	寄与率 (%)
R 反復	1.789	1	1.789	7.88	
A 試験位置	4.423	2	2.211	9.74	6.98
B 試験荷重の保持時間 (秒)	0.636	2	0.318	1.40	
C 読み取りまでの時間 (秒)	1.550	2	0.775	3.41	1.82
D 試験者	2.656	2	1.328	5.85	
E 金属表面温度 ()	14.808	2	7.404	32.61	25.62
F 圧子のちがい	8.521	2	4.260	18.77	14.33
e (誤差)	21.341	94	0.227		
e' (誤差プール)	26.422	99	0.267		51.25
計	55.723	107	0.521		100.00

表 1 7 の分散分析の結果から、測定の不確かさをプールした誤差分散 $V_{e'}$ から推定する。

$$u_e = \sqrt{V_{e'}} = \sqrt{0.267} = 0.52 \text{ (HRC)} \quad \text{相対率に換算した値 } 1.54\%$$

表 1 8 不確かさのバジェットシート(ボルト硬さ試験)

不確かさ成分	成分の標準不確かさ	単位	感度係数	標準不確かさ	タイプ
試験機の校正の不確かさ	0.300	%	1	0.30	B
試験機の指示誤差の不確かさ	0.500	%	1	0.50	B
試験のばらつき	1.541	%	1	1.54	A
合成標準不確かさ				1.65	
拡張不確かさ : U (k=2)				3.30	(%)

5.7 ナットの硬さ試験

ナットの硬さ試験の不確かさ推定を行うため、表19の実験データについて分散分析を行う。
データを表19に示す。

表19 (単位:HRC)

行 番	因 子 列 番	e	A	B	C	D	E	F	e	R1			R2		
		1	2	3	4	5	6	7	8	N1	n2	n3	n1	n2	n3
1	/	1	1	1	1	1	1	1	1	27.7	27.3	28.2	28.1	28.2	27.8
2	/	1	1	2	2	2	2	2	2	28.0	27.5	27.6	27.0	28.0	26.8
3	/	1	1	3	3	3	3	3	3	29.2	28.8	28.6	28.2	28.8	27.6
4	/	1	2	1	1	2	2	3	3	26.4	26.5	26.8	28.9	28.5	27.6
5	/	1	2	2	2	3	3	1	1	26.5	27.1	26.8	27.3	26.9	26.7
6	/	1	2	3	3	1	1	2	2	28.9	29.2	29.6	28.7	29.1	29.3
7	/	1	3	1	2	1	3	2	3	28.2	28.0	28.5	28.3	28.2	28.2
8	/	1	3	2	3	2	1	3	1	28.5	28.0	28.8	29.2	28.4	28.1
9	/	1	3	3	1	3	2	1	2	27.2	28.1	27.4	27.8	28.4	27.8
10	/	2	1	1	3	3	2	2	1	26.9	27.7	27.2	28.5	28.0	28.4
11	/	2	1	2	1	1	3	3	2	27.9	27.9	28.3	27.8	28.3	28.3
12	/	2	1	3	2	2	1	1	3	29.0	28.3	28.0	27.1	27.6	27.2
13	/	2	2	1	2	3	1	3	2	27.9	28.8	28.2	28.2	28.5	29.0
14	/	2	2	2	3	1	2	1	3	28.2	28.3	28.1	28.6	27.7	28.4
15	/	2	2	3	1	2	3	2	1	27.9	27.6	28.4	28.3	28.1	27.6
16	/	2	3	1	3	2	3	1	2	26.5	26.4	26.8	25.5	25.1	26.3
17	/	2	3	2	1	3	1	2	3	28.5	28.3	28.4	29.4	29.5	28.3
18	/	2	3	3	2	1	2	3	1	28.8	28.7	29.1	28.7	28.7	28.5

表19について、分散分析を行った結果が表20である。

表20

要 因	平方和S	自由度	分散V	分散比F	寄与率(%)
R 反復	0.148	1	0.148	0.51	
A 試験位置	0.145	2	0.073	0.25	
B 試験荷重の保持時間(秒)	8.684	2	4.342	15.08	10.46
C 読み取りまでの時間(秒)	0.191	2	0.096	0.33	
D 試験者	12.150	2	6.075	21.10	
E 金属表面温度()	11.545	2	5.772	20.05	14.26
F 圧子のちがい	15.547	2	7.773	27.00	19.56
e (誤差)	27.061	94	0.288		
e' (誤差プール)	39.696	101	0.393	---	55.72
計	75.471	107	0.705	---	100.00

表 2 0 の分散分析の結果から、測定の不確かさをプールした誤差分散 $V_{e'}$ から推定する。

$$u_e = \sqrt{V_{e'}} = \sqrt{0.393} = 0.63 \quad (\text{HRC}) \quad \text{相対率} \quad 2.24\%$$

表 2 1 不確かさのバジェットシート(ナット硬さ試験)

不確かさ成分	成分の標準不確かさ	単位	感度係数	標準不確かさ	タイプ
試験機の校正の不確かさ	0.300	%	1	0.30	B
試験機の指示誤差の不確かさ	0.500	%	1	0.50	B
試験のばらつき	2.240	%	1	2.24	A
合成標準不確かさ				2.31	
拡張不確かさ：U(k=2)				4.63	(%)

5.8 座金の硬さ試験

座金の硬さ試験の不確かさ推定を行うため、表 1 5 の実験データについて分散分析を行う。データを表 1 5 に示す。

表 2 2 (単位：HRC)

行 番	因 子 列 番	e	A	B	C	D	E	F	e	R1			R2		
		1	2	3	4	5	6	7	8	N1	N2	n3	n1	n2	n3
1	/	1	1	1	1	1	1	1	1	39.8	40.0	40.0	39.5	40.8	40.6
2	/	1	1	2	2	2	2	2	2	40.5	40.6	40.6	39.6	40.4	39.1
3	/	1	1	3	3	3	3	3	3	41.0	40.3	40.9	40.8	41.3	40.7
4	/	1	2	1	1	2	2	3	3	40.7	39.1	39.4	39.9	38.7	39.4
5	/	1	2	2	2	3	3	1	1	39.6	39.7	40.2	40.5	40.4	40.2
6	/	1	2	3	3	1	1	2	2	41.2	41.5	41.5	41.2	40.4	41.3
7	/	1	3	1	2	1	3	2	3	40.3	40.7	41.0	40.7	41.1	41.4
8	/	1	3	2	3	2	1	3	1	41.2	39.7	40.5	40.4	40.8	40.4
9	/	1	3	3	1	3	2	1	2	40.5	40.6	40.0	41.0	41.4	41.0
10	/	2	1	1	3	3	2	2	1	41.6	40.1	40.6	40.6	40.4	41.1
11	/	2	1	2	1	1	3	3	2	40.6	40.6	40.5	40.8	41.1	40.4
12	/	2	1	3	2	2	1	1	3	37.9	39.7	39.7	40.3	39.6	39.9
13	/	2	2	1	2	3	1	3	2	40.7	40.9	40.6	40.8	41.0	41.0
14	/	2	2	2	3	1	2	1	3	40.9	40.7	40.6	40.2	39.9	39.9
15	/	2	2	3	1	2	3	2	1	41.6	40.8	40.3	39.9	40.0	41.0
16	/	2	3	1	3	2	3	1	2	40.4	40.6	39.4	38.5	38.1	40.2
17	/	2	3	2	1	3	1	2	3	40.8	41.5	41.3	42.3	41.2	41.4
18	/	2	3	3	2	1	2	3	1	40.8	41.7	41.4	41.8	40.6	40.8

表 2 2 について、分散分析を行った結果が表 2 3 である。

表 2 3

要 因	平方和 S	自由度	分散 V	分散比 F	寄与率 (%)
R 反復	0.024	1	0.024	0.08	
A 試験位置	2.704	2	1.352	4.46	3.01
B 試験荷重の保持時間 (秒)	3.079	2	1.540	5.08	3.63
C 読み取りまでの時間 (秒)	0.158	2	0.079	0.26	
D 試験者	14.819	2	7.410	24.43	
E 金属表面温度 ()	0.565	2	0.283	0.93	
F 圧子のちがい	10.881	2	5.441	17.94	16.48
e (誤差)	28.504	94	0.303		
e' (誤差プール)	44.070	101	0.436	---	76.87
計	60.734	107	0.568	---	100.00

表 2 3 の分散分析の結果から、測定の不確かさをプールした誤差分散 $V_{e'}$ から推定する。

$$u_e = \sqrt{V_{e'}} = \sqrt{0.436} = 0.66 \quad (\text{HRC}) \quad \text{相対率に換算した値} \quad 1.63\%$$

表 2 4 不確かさのバジェットシート(座金硬さ試験)

不確かさ成分	成分の標準不確かさ	単位	感度係数	標準不確かさ	タイプ
試験機の校正の不確かさ	0.300	%	1	0.30	B
試験機の指示誤差の不確かさ	0.500	%	1	0.50	B
試験のばらつき	1.340	%	1	1.34	A
合成標準不確かさ				1.46	
拡張不確かさ: U (k=2)				2.92	(%)

5.9 セットボルトのトルク係数値試験

座金の硬さ試験の不確かさ推定を行うため、表2.5の実験データについて分散分析を行う。データを表2.5に示す。

表2.5 (単位:なし)

行 番	因 子 列 番	A	B	C	D	E	F	e	e'	R1			R2		
		1	2	3	4	5	6	7	8	n1	n2	n3	n1	n2	n3
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.160	0.156	0.153	0.151	0.156	0.157
2	2	1	1	2	2	2	2	2	2	0.138	0.147	0.151	0.142	0.133	0.136
3	3	1	1	3	3	3	3	3	3	0.121	0.122	0.132	0.136	0.135	0.136
4	4	1	2	1	1	2	2	3	3	0.151	0.156	0.154	0.158	0.158	0.150
5	5	1	2	2	2	3	3	1	1	0.140	0.138	0.136	0.138	0.136	0.138
6	6	1	2	3	3	1	1	2	2	0.125	0.128	0.125	0.138	0.135	0.124
7	7	1	3	1	2	1	3	2	3	0.149	0.151	0.151	0.156	0.144	0.151
8	8	1	3	2	3	2	1	3	1	0.128	0.135	0.128	0.138	0.128	0.125
9	9	1	3	3	1	3	2	1	2	0.119	0.118	0.117	0.115	0.114	0.111
10	10	2	1	1	3	3	2	2	1	0.161	0.157	0.158	0.151	0.154	0.153
11	11	2	1	2	1	1	3	3	2	0.142	0.144	0.139	0.136	0.142	0.138
12	12	2	1	3	2	2	1	1	3	0.133	0.129	0.125	0.131	0.129	0.125
13	13	2	2	1	2	3	1	3	2	0.154	0.151	0.156	0.149	0.158	0.154
14	14	2	2	2	3	1	2	1	3	0.138	0.135	0.132	0.136	0.138	0.132
15	15	2	2	3	1	2	3	2	1	0.117	0.124	0.121	0.122	0.125	0.128
16	16	2	3	1	3	2	3	1	2	0.150	0.151	0.146	0.156	0.143	0.150
17	17	2	3	2	1	3	1	2	3	0.131	0.129	0.135	0.134	0.131	0.129
18	18	2	3	3	2	1	2	3	1	0.121	0.129	0.133	0.119	0.121	0.119

表2.5について、分散分析を行った結果が表2.6である。

表2.6

要 因	平方和 S	自由度	分散 V	分散比 F	寄与率 (%)
R 反復	0.00000726	1	0.00000726	0.363242	
A 座金の取付	0.00000533	2	0.00000267	0.133436	
B ボルト取付時の山数	0.00131469	2	0.00065734	32.892402	7.15
C 温度 ()	0.01445652	2	0.00722826	361.690858	80.82
D 経時変化	0.00011613	2	0.00005806	2.905473	0.43
E 取付時の座金空転防止	0.00004902	2	0.00002451	1.226405	
F 試験者	0.00001191	2	0.00000595	0.297914	
e (誤差)	0.00187856	94	0.00001998		
e' (誤差プール)	0.00195207	101	0.00001933		11.59
計	0.01783941	107	0.00016672		100.00

表 2 6 の分散分析の結果から、測定の不確かさをプールした誤差分散 $V_{e'}$ から推定する。

$$u_e = \sqrt{V_{e'}} = \sqrt{0.00001933} = 0.004397 \quad \text{相対率に換算した値} \quad 3.18\%$$

表 2 7 不確かさのバジェットシート(トルク係数値試験)

不確かさ成分	成分の標準 不確かさ	単位	感度係数	標準不確かさ	タイプ
トルク校正の不確かさ	0.170	%	1	0.17	B
軸力校正の不確かさ	1.386	%	1	1.39	B
トルク指示誤差の不確かさ	0.462	%	1	0.46	B
軸力指示誤差の不確かさ	0.481	%	1	0.48	B
試験のバラツキ	3.185	%	1	3.19	A
合成標準不確かさ				3.54	
拡張不確かさ：U (k=2)				7.08	(%)

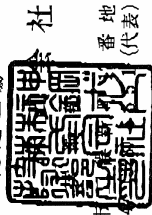
財団法人 日本品質保証機構 殿

神鋼ボルト試験成績表

工事名 高力六角ボルト (JIS B 1186)

発行年月日 平成 16 年 12 月 13 日

JIS表示認定工場
 神鋼ボルト
 市川市
 TEL 04



社
 番地
 (代表)

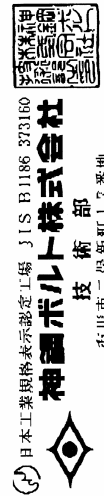
製品検査証明書

ハイテン ボルト

セット 番号	等級 F10T	ボ ル ル 片				ト		ナ ッ ト		セ ッ ト		外 観	溶融亜鉛めっき 付着量 g/m ² JIS H 8641		
		4 号 試 験 片	製 品		製 品		製 品		ト ル ク 係 数 値 平均値		ト ル ク N-m			形 状 寸 法	
ねじの 呼び × 長さ	耐 力 N/mm ²	引 張 強 さ N/mm ²	伸 び %	絞 り %	引 張 荷 重 kN	硬 さ HRC	硬 さ HRC	硬 さ HRC	保 証 荷 重 kN	硬 さ HRC	ト ル ク 係 数 値 平均値	ねじ 精 度	ボ ル ト	ナ ッ ト	座 金
H09420GH	24 X 160	1031	1080	20	68	370	33	26	合格	40	0.130	合格	※	※	※
H09410GH	24 X 120	1035	1084	19	68	374	33	26	合格	40	0.132	合格	※	※	※
H09400GH	24 X 90	1034	1081	19	67	369	33	26	合格	40	0.129	合格	※	※	※

注) 採取数: ボルト(3)、ナット(3)、座金(3)、セット(3)、溶融亜鉛めっき付着量(3)

上記の製品は、検査の結果合格したことを証明します。



日本工業規格表示認定工場 JIS B1186 373160

神鋼ボルト株式会社

技術部
市川市二俣新町17番地



チ ャ ー ジ 番 号 一 覧 表

セットアップNO.	規 格	寸 法	受 検 本 数	ホ ー ト C H G	チ ャ ー ジ C H G	座 金 C H G
H09420GH	B H 10 A M	24 160		C56342	C3Y314	KA0164
H09410GH	B H 10 A M	24 120		C56342	C3Y314	KA0164
H09400GH	B H 10 A M	24 90		C56342	C3Y314	KA0164

< 合 計 >



検査証明書 INSPECTION CERTIFICATE

証 明 書 番 号 :ASH -2070
Certificate No. :2004-05-14

日 付 :2004-05-14

船 名 :
SHIP NO. :
工 場 番 号 :
Construction No. :
契 約 番 号 :AH2M806
Contract No. :

購 取 者 :ASAHI STEEL CO., LTD.
Customer :
購取者管理番号 :METAL ONE CORPORATION
Customer's Control No. :
注 文 者 :AUE -4A80200
Shipper :
注文者照合番号 :HOT ROLLED STEEL PLATE
Reference No. :
品 名 :JIS G3103 SB410 SR 2003
Commodity :
規 格
&
Specification
品 名 番 号 :
Roll No. :
品 番 号 :
Heat No. :
品 目 番 号 :
Customer's Control No. :
寸 法 (MM)
T X W X L
規 格 (STANDARD)
購取者管理番号 (B)
Customer's Control No. :

品番 Item No.	鋼種 Steel	品目 Grade	品番 Heat No.	品目 Roll No.	寸法 Size (mm)	数量 Quantity	単位 Unit	化学成分 (%) Chemical Composition (%)				引張試験 Tensile Test	衝撃試験 Impact Test				
								C	Si	Mn	P			S	CU	NI	MO
UJ59501					45 X 1524 X 6096	1	3281KG	0.01	0.03	0.40	0.012	0.30	225	410	21		
32297						1	3281KG	0.01	0.03	0.40	0.012	0.30	225	410	21		
SPECIFIED VALUE (STANDARD)																	
LADLE																	
TOTAL																	
VISUAL & DIMENSIONS : GOOD																	
HEAT TREATMENT CONDITION FOR ONLY TEST SPECIMEN																	
825°C X 1HR. 0MIN. / 25MM THICKNESS (F.C)																	
STRESS RELIEVED																	
K ITEM NO. 001																	
TEST SPECIMEN:																	
TENSILE: JIS NO. 1A																	

(注) [1] 鋼種番号の単位は、鋼種番号の単位に準じて表示する。
(Notes) [1] Unit of Steel Grade Number is indicated by the unit of Steel Grade Number.
[2] 寸法は、図面に示す寸法で表示する。
[2] Dimension is indicated by the dimension shown in the drawing.
[3] 数量は、図面に示す数量で表示する。
[3] Quantity is indicated by the quantity shown in the drawing.

#4 位置 Position
T: 上部 Top F.
B: 下部 Bottom W.
L: 縦 Longitudinal
C: 横 Transverse
Z: 厚 Through-thickness

#5 位置 Position
A: 200mm
E: 50mm
J: 2"
M: 5.65A
R: 4D
U: 100mm
T: 70mm

鋼種番号の単位は、鋼種番号の単位に準じて表示する。
Unit of Steel Grade Number is indicated by the unit of Steel Grade Number.

○印のみ有効

上記商品は検査の結果指定の規程を各項目に合格していることを証明いたします。
WE HEREBY CERTIFY THAT THE MATERIAL DESCRIBED HEREIN HAS BEEN TESTED AND INSPECTED WITH SATISFACTORY RESULTS IN ACCORDANCE WITH THE REQUIREMENTS OF THE ABOVE SPECIFICATION.

東日本製鉄所(京浜) : 〒210-0868 神奈川県川崎市川崎区扇島1番地1 East Japan Works (Kaihin) 210-0868 JAPAN
平 成 年 月 日
株式会社 海老名鋼材
Quality Assurance Section East Japan Works

検査証明書 INSPECTION CERTIFICATE

需要家: MITSUBISHI CORPORATION (ASAHI-STEEL)

顧客管理番号: METAL ONE CORPORATION
出文番号: BFZ -4A05950
引当番号: HOT ROLLED STEEL PLATE
参考番号: JIS G3103 SB410
商品名: 鋼板

証明書番号: ASH-0596-002
CONTINUED
日付: 2004-08-12
製造番号: :
工番番号: :
製造所番号: :
契約番号: A25M385

品名 Item No.	数量 Quantity	質量 Mass (CAL)	化学成分 Chemical Composition (%)	引張試験 Tensile Test	
				引張強さ Yield Strength	引張強さ Tensile Strength
004	1	1167	C: 0.20, Si: 0.07, Mn: 0.13, P: 0.004, S: 0.0005, N: 0.0012, Al: 0.004, CR+MO: 0.005, CU+NI+CR+MO: 0.005	440	540
003	1	1319	C: 0.14, Si: 0.07, Mn: 0.14, P: 0.004, S: 0.0005, N: 0.0012, Al: 0.004, CR+MO: 0.005, CU+NI+CR+MO: 0.005	440	540
002	1	875	C: 0.12, Si: 0.07, Mn: 0.12, P: 0.004, S: 0.0005, N: 0.0012, Al: 0.004, CR+MO: 0.005, CU+NI+CR+MO: 0.005	440	540

規格: JIS G3103 SB410
引張試験: 縦向き
引張強さ: 440 MPa
引張強さ: 540 MPa
断面収縮率: 55%
断面収縮率: 55%
断面収縮率: 55%


検査結果は検査の結果指定の規格に合格していることを証明いたします。
WE HEREBY CERTIFY THAT THE MATERIAL DESCRIBED HEREIN HAS BEEN TESTED AND INSPECTED WITH SATISFACTORY RESULTS IN ACCORDANCE WITH THE REQUIREMENTS OF THE ABOVE SPECIFICATION.



東日本製鉄所 品質保証部
Quality Assurance Section
East Japan Works

東日本製鉄所(横浜): 〒210-0868 神奈川県川崎市磯区南島1番地1
東日本製鉄所(横浜): 〒210-0868 神奈川県川崎市磯区南島1番地1

検査証明書 INSPECTION CERTIFICATE


JFE
JFE スチール株式会社 東日本製鉄所(京浜)
JFE Steel Corporation East Japan Works (Keihin)

需 要 家 : **MITSUBISHI CORPORATION (ASAHI-STEEL)**
 Customer's No. :
 需 要 家 管 理 番 号 : **MFZ -4A05950**
 Customer's Control No. :
 注 文 者 : **METAL ONE CORPORATION**
 Shipper's Reference No. :
 注 文 者 照 合 番 号 : **BPZ -4A05950**
 Reference No. :
 品 名 : **HOT ROLLED STEEL PLATE**
 Commodity & Specification : **JIS G3103 SB410**
 規 格

証 明 番 号 : **ASH -0596-003**
 Certificate No. : **CONTINUED**
 日 付 : **2004-08-12**
 Date :
 船 番 :
 Ship No. :
 工 番 号 :
 Construction No. :
 契 約 番 号 : **A25M385**
 Contract No. :

JIS 種別	JIS 品名	JIS 規格	JIS 寸法	数量	重量	化学成分 (%)	引張試験	
							引張強さ	伸び
品名	寸法	厚さ	幅	長さ	質量	C, S, Mn, P, S	Yield Point	Elongation
CH77404	12 X 1524 X 6096	1	875	1	875	C: 0.18, Mn: 0.005, P: 0.005, S: 0.005	Y: 200	20
CH77405	12 X 1524 X 6096	1	875	1	875	C: 0.18, Mn: 0.005, P: 0.005, S: 0.005	Y: 200	20
CH77406	12 X 1524 X 6096	1	875	1	875	C: 0.18, Mn: 0.005, P: 0.005, S: 0.005	Y: 200	20
CH77407	12 X 1524 X 6096	1	875	1	875	C: 0.18, Mn: 0.005, P: 0.005, S: 0.005	Y: 200	20
CH77408	12 X 1524 X 6096	1	875	1	875	C: 0.18, Mn: 0.005, P: 0.005, S: 0.005	Y: 200	20
CH77409	12 X 1524 X 6096	1	875	1	875	C: 0.18, Mn: 0.005, P: 0.005, S: 0.005	Y: 200	20
CH77410	12 X 1524 X 6096	1	875	1	875	C: 0.18, Mn: 0.005, P: 0.005, S: 0.005	Y: 200	20
CH77411	12 X 1524 X 6096	1	875	1	875	C: 0.18, Mn: 0.005, P: 0.005, S: 0.005	Y: 200	20
CH76401	9 X 2000 X 6000	1	848	1	848	C: 0.18, Mn: 0.005, P: 0.005, S: 0.005	Y: 200	20
CH76402	9 X 2000 X 6000	1	848	1	848	C: 0.18, Mn: 0.005, P: 0.005, S: 0.005	Y: 200	20

(注) 1. 引張試験は、本表の引張強さ、伸びの値を標準値とする。 (Notes) 1. Tensile Test is performed based on the standard value of yield strength and elongation.
 2. 寸法公差は、本表の寸法に準じている。 (Notes) 2. Dimensional tolerance is based on the dimension specified in this certificate.
 3. 重量公差は、本表の重量に準じている。 (Notes) 3. Weight tolerance is based on the weight specified in this certificate.

検査項目: 引張試験、縦方向伸び試験、化学成分分析、衝撃試験、硬度試験、超音波検査
 Inspection Items: Tensile Test, Elongation Test, Chemical Analysis, Impact Test, Hardness Test, Ultrasonic Examination

検査結果: 合格 (Pass)
 Test Results: Good

上記内容は検査の結果を記載していることを証明いたします。
 WE HEREBY CERTIFY THAT THE MATERIAL DESCRIBED HEREIN HAS BEEN TESTED AND FOUND TO COMPLY WITH SATISFACTORY RESULTS IN ACCORDANCE WITH THE REQUIREMENTS OF THE ABOVE SPECIFICATION.

東日本製鉄所 (京浜) : 〒210-0868 神奈川県川崎市磯区磯島1番地1 東日本製鉄所(京浜) 1-1-1, Oishi-Shima, Kawasaki 210-0868 JAPAN



東日本製鉄所 品質保証部
 Quality Assurance Section
 East Japan Works