

シャルピー衝撃試験機の検査基準と衝撃基準片

上 田 輝 之*

1. ま え が き

最近の高強度材料や低温材料の開発に伴い、衝撃試験は船用、陸用を問わず重要な材料試験の一つとなっている。衝撃試験に用いられるシャルピー衝撃試験機の大部分は大体同じ構造のものであるが、それでも、同一材料に対する衝撃試験値が異なる試験機間で、あるいは同じ試験機においてさえ、大きなばらつきを示すことがしばしばある。このような試験誤差は、試験片の材質や加工精度あるいは試験技術にも問題はあるが、試験機の構造、据付けにも原因の一端がある。昨年、シャルピー衝撃試験機を含む材料試験機関係の当会の新規則（以下単に規則という）が制定、施行され、また一方、JIS規格でも、JIS B7722-1952（シャルピー衝撃試験機）の改正が進められ、規則とほぼ同様の内容の改正原案が最近答申された。これらの規則や規格では、最近の試験機の研究、調査を基に、試験機の構造機能について精密に規定するとともに、その検査方法も具体的に詳細に定めている。しかしながら、衝撃試験値の総合誤差の検査については、まだ規定されておらず、今後の大きな問題として残されている。

一般に、材料試験機の最も本質的な検査は試験値の指示精度の検査であり、その他の検査は所要の精度および試験条件を確保するために必要な構造上、機能上の検査にすぎない。引張試験機などでは、荷重検定器により総合的な荷重指示精度が直接検査される。かたさ試験機では、最終的には、かたさ基準片を介して、標準試験機とのかたさ値の校正を行ない、間接的なかたさ指示値の総合精度の検査としている。

一方、衝撃試験機の場合は、適当なエネルギー測定器がないので、引張試験機のように総合的な衝撃値の精度の直接検査が行えない。そこで、規則やJIS改正原案では、試験機要部の加工組立の精度をできるだけ向上して、試験機間の同一性を高めるようにしている。しかし、諸要部の許容誤差の衝撃試験結果に与える影響はかなり大きく、しかもそれらの影響は必ずしも相殺されず、実際には吸収エネルギー値が高目となる場合が多く、無視で

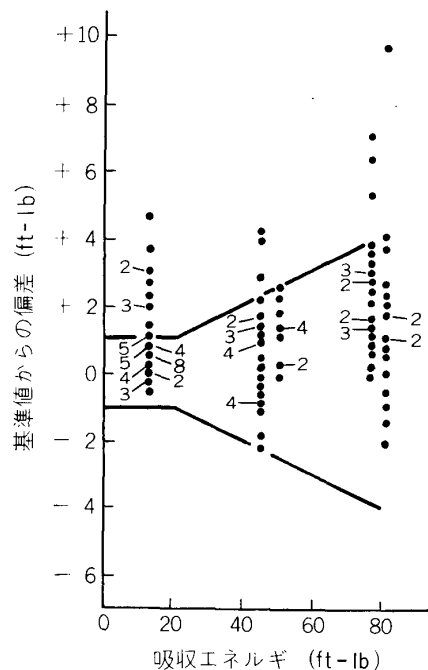


図1 AMMRC 衝撃基準片による検査結果の一例（図中に添えた数字は試験機台数，図中の太線は検査合格基準を示す）。

きない。図1は、標準となるシャルピー衝撃試験機での試験結果のばらつきが $\pm 1 \text{ ft-lb}$ または $\pm 5\%$ の基準（図中の太線で示されている）以内にあることの確実な標準試験片を用いて、AMMRC** が45台の商用試験機で衝撃試験を行なった結果¹⁾である。これらの試験機は、構造的には規則と同等のASTM規格に適合するにもかかわらず、その衝撃試験値が標準試験機で得られたものと異なるものが少なくなく、また試験結果が基準内にあるなしにかかわらず、全般的に基準吸収エネルギー値より高目となっていることが認められる。そこで、最近では諸規格において、衝撃基準片を用いた標準試験機との比較による総合誤差の検査が取りあげられる傾向にあり、JIS改正原案でも参考事項としてこの検査が付記され、本文でその実施を推奨している。また当会でも、将来この方法により検査することを検討している。

以下シャルピー衝撃試験値に及ぼす試験機構造の影響

** U. S. Army Materials and Mechanics Research Center, 米国のシャルピー衝撃試験機の標準機関となっている。

* 機関部

ならびに衝撃基準片に関して、これまでに検討された結果について述べる。

2. 衝撃試験値に及ぼす試験機要部の影響と検査基準

一般に、衝撃試験値、すなわち吸収エネルギー値は、次のエネルギーから構成されると考えられる。

- (1) 試験片の破断に要するエネルギー
 - a 試験片の破断に関するエネルギー損失
 - b Brinelling による試験片変形のエネルギー
- (2) 破断した試験片の飛散に要するエネルギー損失
- (3) 試験機に吸収されるエネルギー損失
 - a ハンマの動きに伴う空気抵抗や軸受の摩擦によるエネルギー損失
 - b 衝撃時に、試験機の振動などにより吸収されるエネルギー損失

ここに、Brinelling とは衝撃時に、試験片の両端部に試験片支持台端が食い込んで痕を生ずることをいう。本来の衝撃試験値とは(1)aの試験片による吸収エネルギーで、その他のエネルギー損失はすべて試験誤差であるが、シャルピー衝撃試験の本質から、これらのある程度伴うことは避けられない。(1)～(3)のエネルギーは、いずれも試験材の機械的性質に依存するが、試験片支持台、ハンマ、機わく、基礎台などの試験機要部の構造と寸法にも影響される。したがって、衝撃試験値の精度を向上させるには、同一材料に対して試験片の破断に要するエネルギーが一定であるとともに、衝撃試験に伴うエネルギー損失も少なくかつ一定であるように、試験機要部の構造寸法について標準値と精度を規定する必要がある。

試験機要部のうち、試験片支持台は、衝撃試験値への影響が特に大きい。図2および図3は、SAE 4340 鋼の試験片を用いたときの支持台端間の距離および支持台端の丸み半径の吸収エネルギー値に及ぼす影響を示したものである¹⁾。支持台端間の距離は、試験片の破断に要するエネルギーに直接影響するから、現行 JIS では 40 ± 0.2 mm, ISO では $40 + {}_0^{0.5}$ mm, ASTM では 40 ± 0.05 mm, また規則では $40 + {}_0^{0.2}$ mm と、その標準値および公差が規定されている。しかし、図2から明らかなように、この公差は規則の場合で、10 kgm レベルの吸収エネルギー値に対して約 0.1 kgm のエネルギー誤差に相当する。試験片支持台端の丸み半径の影響はさらに大きく、図3に見られるように、丸み半径の減少に伴って、吸収エネルギー値は急激に増大する。これは支持台端が鋭くなるに伴って Brinelling が増大し、そのためのエネルギー損失の増加となるものとみられる。丸み半径の寸法は ISO では 1～

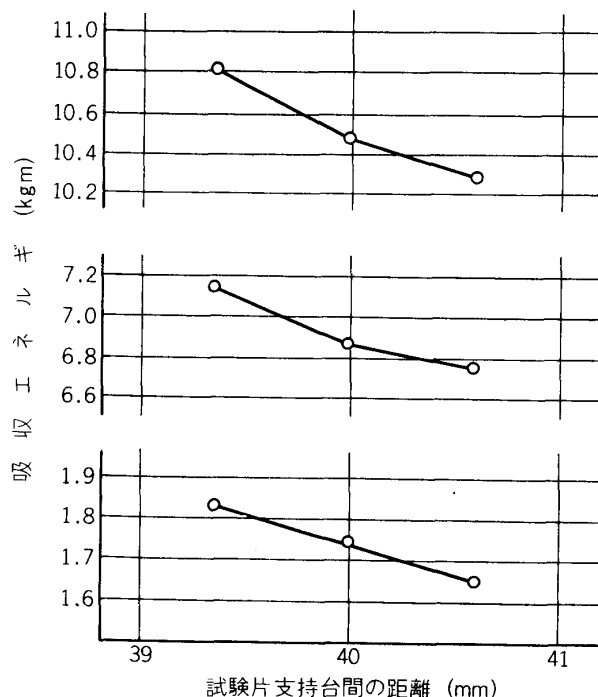


図2 吸収エネルギー値に対する試験片支持台間の距離の影響

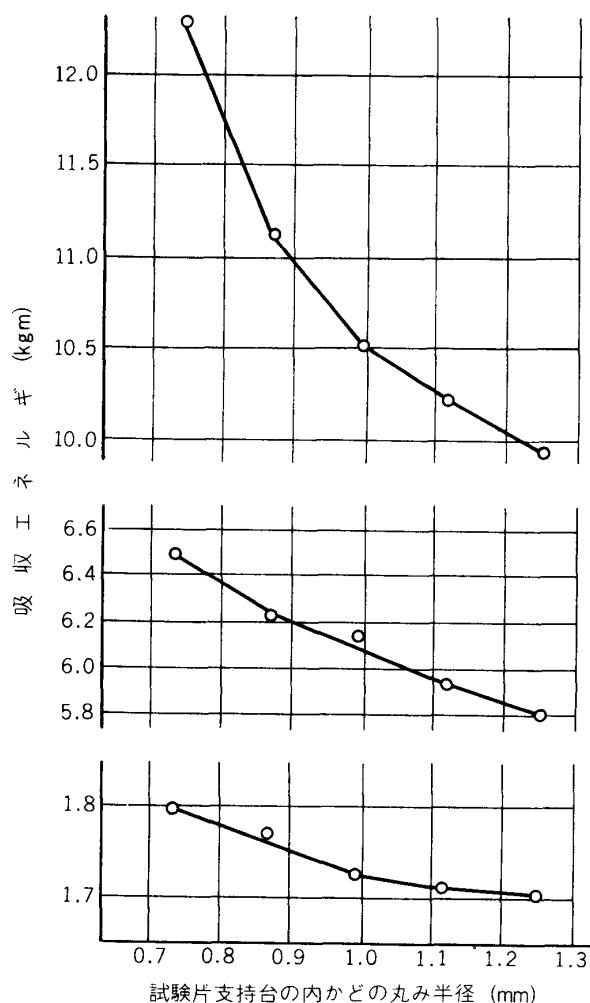


図3 吸収エネルギー値に対する試験片支持台端の丸み半径の影響

1.5 mm ASTM では、 1 ± 0.05 mm と規定され、また現行 JIS では 1 mm とのみ規定され公差の規定はない。図 3 に明らかなように、寸法公差は小さい方がよいが、支持台端は使用に伴って比較的つぶれやすいので、規則では $1 + \frac{0.2}{0}$ mm と規定しているが、この公差は 10 kgm レベルの衝撃値に対して約 0.5 kgm の誤差を許したことになる。また試験片支持台端の表面あらさも、Brinelling と関連して、衝撃試験値に影響するとされている¹⁾。規則では具体的な規定はないが、JIS 改正原案では支持台の表面あらさを $3.2 \mu\text{m } R_{\text{max}}$ 、ASTM では $4 \mu\text{m } Ra$ 相当に仕上げるものとしている。試験片支持台の水平面と衝撃時に試験片を支える垂直面との直角度もまた衝撃試験値に影響する。衝撃時に試験片垂直面と一致していないと、Brinelling がはなはだしく生じたり、試験片の転動を生じて破断試験片がハンマと支持台端との間にはさまれてつぶされる、いわゆる Jamming を生じたりして、エネルギー損失の増大を招く可能性がある。この直角度について、ISO では $90^\circ \pm 0.5^\circ$ 、規則や ASTM では $90^\circ \pm 9'$ と公差を規定している。なお、Jamming を生ずる原因のもう一つに支持台の構造がある。破断した試験片は、ときには衝撃方向ではなく、横方向（試験片の長手方向）に飛散する。ことに、じん性の低い試験片の場合には、これが生じやすい。このような場合、破断された試験片は、その端部が支持台に当たり、再びハンマの側面に衝突し、支持台とハンマとの間にはさまれて、Jamming を生ずる。これらの Jamming が生ずると、たとえば、SAE 4340 鋼の 2 kgm 程度の吸収エネルギーの試験片で、約 0.6 kgm のエネルギー損失の増加を示した例もある。

ASTM を除いては、具体的に Jamming を防止する規定を設けたものはないが、試験片を支持台に置いたとき、その長手方向の左右両側端に、それぞれ 13 mm 以上のすきま（図 4）を設けるか、テーパ（図 5）、を付けて、破断された試験片がハンマから逃げやすくした支持台構造が、Jamming 防止に効果があるとされている¹⁾。

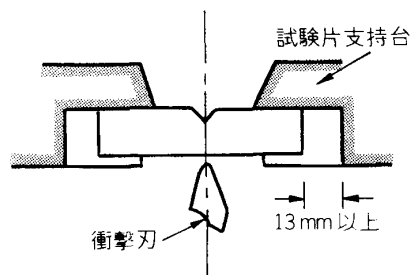


図 4 Jamming を防止するための試験片支持台の改良例

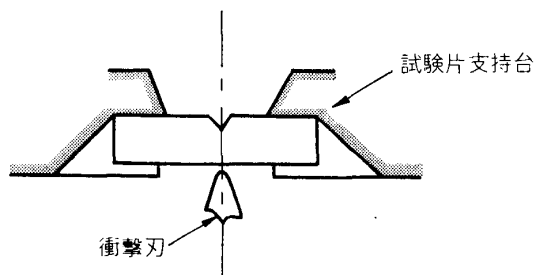


図 5 Jamming を防止するための試験片支持台の改良例

ハンマの構造もまた衝撃試験値に対する重要な影響因子である。ハンマの衝撃刃の形状寸法、ことに刃先半径の寸法は、試験片の破断に要するエネルギーに影響すると考えられる。しかし、刃先半径は、規格により異なり、現行 JIS では 1 mm、ISO では 2~2.5 mm、ASTM では 8 mm とそれぞれ規定されている。刃先半径の衝撃試験結果への影響の研究^{2),3)}によれば、高張力鋼を含む各種構造鋼において、刃先半径を 1~6 mm の範囲で変えて実験した結果、刃先半径が大になれば吸収エネルギー値は高くなる傾向はあるものの、半径 1~4 mm の範囲では吸収エネルギー値に有意な差は認められなかった。また、遷移温度についても、半径が大きくなると、 vT_{rB} および vT_{r15} はともにわずかに低下する傾向が認められるが、1~4 mm の範囲では無視でき、さらに延性破面率への影響は半径 1~6 mm の範囲で認められなかった。これらの結果から、刃先形状が正常であれば、刃先半径 1~4 mm の範囲では実用的に影響しないといえる。規則では、刃先半径を 1~2.5 mm と規定している。これは、現在使用されている半径 1 mm の試験機を考慮に入れたもので、将来は、JIS 改正原案や ISO と同様に $2 + \frac{0.5}{0}$ mm に刃先半径が統一されることが望ましい。

衝撃刃の形状寸法で、刃の長さも Jamming に関係するので注意が必要である。現在一般に使用されている試験機では 18 mm 程度のものが多いが、JIS 改正原案では 16 mm 以下と規定している。

また、衝撃速度はハンマの寸法と持上げ角度によって定まるが、これも影響因子の一つで、ぜい性—延性遷移への影響の形で、試験片の破断に要するエネルギー値に関係する¹⁰⁾。しかし、規則で規定された 4~6 m/sec の速度範囲では実的にこの影響は無視できる⁴⁾。

前述のハンマの空気抵抗や軸受の摩擦によるエネルギー損失について、諸規格においては、ハンマの回転軸の水平度やその軸受の遊びなどのハンマの構造を規定しているが、最終的には、所定の持上げ角度からのハンマの空振りにおける振上り角度の減少によるエネルギー損失の検

査で規制される。規則では、この損失は指針の摩擦損失を含めてひょう量の0.5%以内と規定している。

一般に、試験機の機わく（試験片支持台を含む）やハンマは十分な剛性をもつことが要求されているが、完全な剛体ではないので、衝撃エネルギーの一部は試験機の振動などによって吸収され、エネルギー損失となる。また、ハンマが完全な剛体であったとしても、ハンマの打撃中心と打撃点とが食い違えば、衝撃エネルギーの一部は回転軸に加わる。このため、JIS改正原案では、ハンマの回転軸中心から打撃中心、打撃点および刃縁の中点までの距離に標準値（ひょう量 30 kgm で 750 mm）を設け、それぞれ公差を規定しているが、機わくやハンマの剛性については、定量的な規制が困難なので、具体的な規定は設けられていない。しかし、試験機の剛性の相違に起因して、ひょう量 120 *ftlb* の試験機では 12.5 *ftlb* の吸収エネルギー値を示す試験片が、ひょう量 60 *ftlb* の試験機では 18 *ftlb* の試験値となり、30 *ftlb* の試験機では破断できなかったという実験例もある⁴⁾。また、試験機の剛性に関する解析的な研究^{4), 11)}によれば、切欠きなしの平滑試験片の弾性範囲での衝撃試験において、試験機に吸収されるエネルギー損失は、試験片の剛性にもよるが、約 9.5 mm 角の断面の鋳鉄の試験片の場合、支持台間距離約 100 mm で衝撃エネルギーの約 10%、支持台間距離約 50 mm で約 50% にも達した実験結果もある。これらのことから、剛性の低い試験機では吸収エネルギー値が高目に得られるので、試験機には十分な剛性あるいはある一定の剛性が必要なが認められよう。また、一般の商用の試験機では、ひょう量に近い吸収エネルギー値の試験には問題があることもうかがわれる。JIS 改正原案や ASTM では、試験機の使用範囲をひょう量の 80% 以下と規定している。

試験機に吸収されるエネルギー損失にとって、試験機の基礎台への据付け状態もまた重要な因子である。試験片の衝撃時に、機わくとともに基礎台もまた大きな力を受けるから、基礎台は十分な重さと剛性を必要とし、同時に機わくと基礎台との結合も十分強固なものでなければならない。据付けが不十分な場合には、基礎台上での機わくの移動などによって、衝撃エネルギーの一部が消費され、高目の吸収エネルギー値を示すことになる。たとえば、基礎ボルトの締め付け力が不足のような場合には、本来の吸収エネルギー値が 10 kgm 程度の試験片に対して、約 1~2 kgm 高目の吸収エネルギー値が得られるというようなことがしばしばある。基礎台には、ASTM では、ハンマの40倍以上の重量のコンクリートブロックか、厚さ 150 mm 以上のコンクリート床（試験機の付近だけでな

く、十分な広さを持ったもの）を推奨している。試験機の据付けには、これまでよく用いられているくさび形のウェッジでは基礎台との結合が不安定となるので、平らな鋼片を用いて水平を調節し、また高張力鋼 (9T) などの基礎ボルトを用いて、十分強固に締め付けるとよい。

衝撃試験値の誤差には、以上の吸収エネルギーの誤差のほかに、試験片に加えられる衝撃エネルギーの誤差や吸収エネルギー値の指示装置（目盛板）の誤差が加わる。しかし、通常、これらの誤差はいずれも 0.05 kgm 以下であるように、ハンマの落下装置および目盛板が調整されている。

3. 衝撃基準片による検査

諸規格において、試験機要部の構造と寸法精度が規定されても、実際には具体的に構造を規定できない場合もあり、構造の影響を必ずしも定量的に示せない場合もある。したがって、前述の種類の誤差の積み重ねを考えると、Jamming のような異状が生じていないとしても、単に試験機の構造寸法が規定の精度以内にあるということだけでは、実際の衝撃試験において吸収エネルギー値の精度を必ずしも保証することではないことは明らかで、それゆえ、衝撃基準片による総合誤差の検査の必要性が生じる。

現在、衝撃基準片による検査を取り入れている規格には ISO/R 422 (Verification of Pendulum Impact Testing Machine for Testing Steel) および ASTM-E23 (Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials) があり、また前述のように JIS B 7722 の改正原案においても、この検査を参考規定ながらも推奨している。さらに、ヨーロッパ共同体 (EC) においても、設立準備中の Bureau for Reference Material による衝撃基準片の供給が考慮されている。

衝撃基準片による検査では、同一材料から一様に製作された1組の基準片からなる基準片ロットにおいて、まずそのロットから標本抽出した基準片を標準衝撃試験機で衝撃試験を行ない、あらかじめそのロットにおける吸収エネルギーの基準値を決定する。次に、このような基準片を用いて検査される試験機での衝撃値を求め、これと基準値とを比較することによって、その試験機の衝撃値の総合誤差が検査される。この基準片は ISO と ASTM とで方式が異なる。ISO 方式では、切欠きのない平滑試験片を基準片として用い、衝撃により、き裂を生ずることなく変形を生ぜしめ、その弾塑性変形エネルギー値により試験機の校正を行なうもので、基準片材料には軟鋼程度のものを用いている。一方、ASTM 方式では SAE

4340 鋼の焼入焼戻し材を用い、標準寸法の V 切欠き衝撃試験片を基準片として、40°C の低温衝撃試験で破壊したときの吸収エネルギー値によって校正が行なわれる。

以下、これらの基準片による検査方式の妥当性についての検討する。

(1) ISO 方式衝撃基準片

ISO/R 442 のシャルピー衝撃試験機の基準片による direct check の規定の概要を次に示す。

表 1 ISO 衝撃基準片の寸法

	寸 法	公 差
長 さ	55 mm	±0.1 mm
幅	10 mm	±0.05 mm
厚 さ	3, 5 および 7 mm を標準とする。	±0.01 mm

基準片には、表 1 に示すように、衝撃方向の厚さが異なる 3 種のものが用いられる。ここに、厚さ 3, 5, 7 mm は、それぞれ吸収エネルギー値のレベルがほぼ 3, 7, 14 kgm の基準片に相当する。各エネルギーレベルごとの基準片のロットの大きさは 30~50 本にとり、各ロットから 5 本の基準片を標本抽出し、標準衝撃試験機によりその吸収エネルギー値 T_1, T_2, T_3, T_4, T_5 を求める ($T_1 < T_2 < \dots < T_5$ とする)。このとき

$$(T_5 - T_1)/T_1 \leq 0.05 \quad (1)$$

ならば、そのロットは均質とみなして、中位数 T_3 をそのロットの基準値とする。試験機の検査には、そのロットから任意の 5 本の基準片をとり、その試験機で衝撃し、吸収エネルギー値 $T_{1M}, T_{2M}, \dots, T_{5M}$ を求める。このとき

$$\text{ばらつき} \quad (T_{5M} - T_{1M})/T_{1M} \leq 0.10 \quad (2)$$

$$\text{精 度} \quad (T_{3M} - T_3)/T_3 \leq 0.05 \quad (3)$$

を満足するならば、その試験機の衝撃値の精度は十分であるとする。

以上の ISO/R 442 の検査方式の理論的根拠を考察してみよう。基準片の基準値は、その本質から、個々の基準片ごとに与えられるものではなく、基準片ロット全体の代表値として与えられる。この代表値には、ロット全体の吸収エネルギー値の平均値 μ を用いるのが最も妥当と考えられる。ロット内の吸収エネルギー値の分布が正規分布とすれば、 μ はまたロット全体の中位数でもある。実験には、基準値はロットからの抽出標本によって推定せざるを得ないから、標本平均 \bar{x}_0 または標本中位数 \bar{x}_0 を基準値とする。したがって、基準値が信頼できるものであるためには、真の基準値に対する推定誤差 $\bar{x}_0 - \mu$ ま

たは $\bar{x}_0 - \mu$ が小さいことを保証する必要がある。この誤差は、ロット内の吸収エネルギー値のばらつきに依存するので、(1)式の規定が必要となる。数理統計における範囲を利用した代用 t 検定法から、基準値の信頼限界は、信頼度 95% で

$$|\bar{x}_0 - \mu|/R_0 < 0.52$$

となる。ここに $R_0 = T_5 - T_1$ である。(1)式と同様に、

$$R_0 \leq 0.05 \bar{x}_0 \quad (4)$$

とすれば

$$|\bar{x}_0 - \mu|/\bar{x}_0 < 0.026 \quad (5)$$

すなわち、基準値に 5 本の基準片による標本平均値 \bar{x}_0 を用いたとき、そのばらつきが(4)式を満足すれば、真の基準値 μ に対する推定誤差は基準値の 2.6% 以内である。

ISO のように、基準値に中位数 $\bar{x}_0 (= T_3)$ を用いる場合の信頼限界は、近似的に、信頼度 95% で

$$|T_3 - \mu|/T_1 < 0.037 \quad (6)$$

すなわち、ISO の場合は、5 本の基準片におけるばらつきが(1)式を満足すれば、その基準値は真の基準値 μ に対して T_1 の 3.7% 以内の誤差範囲にある。基準値に中位数を用いるのは簡便でよいが、(5)と(6)との比較からもわかるように、平均値を用いる場合よりも信頼性は低い。なお、JIS 改正原案の参考では、基準値決定のための抽出標本数を 10 本とし、基準値にはその平均値を用い、(4)式をロットの採用規準とすることを推奨している。この場合(5)式は、信頼度 95% で、

$$|\bar{x}_0 - \mu|/\bar{x}_0 < 0.012$$

となり、ISO よりも基準値の信頼性は一段と高まる。

基準片による検査結果の判定は、検査される試験機による基準片の衝撃試験結果 (5 本の基準片の吸収エネルギー値の平均値 \bar{x} または中位数 \bar{x} とばらつき $R = T_{5M} - T_{1M}$) が、標準衝撃試験機のそれと有意差のない同等のものとなしを基準としていると考えられる。すなわち、試験結果のばらつきに両試験機間で有意差がないためには、代用 F 検定法から、有意水準 5% で

$$R \leq 2.6 R_0$$

でなければならない。ここで検査の便宜上、(1)式から、 $R_0 \leq 0.05 T_1$ とすれば

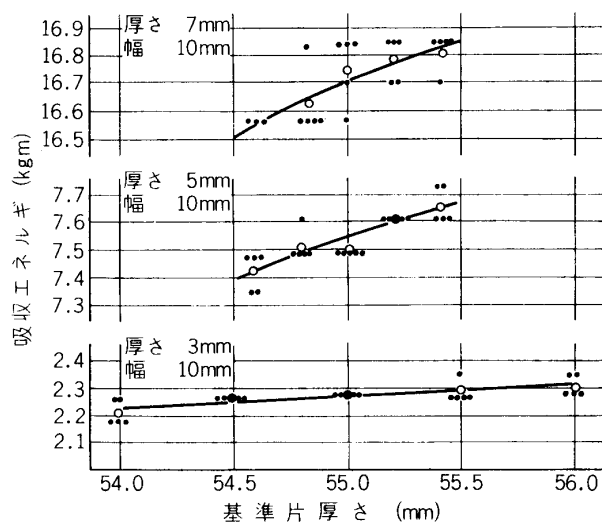
$$R \leq 0.13 T_1 \leq 0.1 T_1$$

となり、(2)式の判定基準が得られる。

また、両試験機での平均値 \bar{x}_0 と \bar{x} との間に有意差がないためには、代用 t 検定法から、有意水準 5% で

$$|\bar{x} - \bar{x}_0| < 0.3(R + R_0)$$

でなければならない。ここで検査の便宜上、(4)式から、 $R \leq R_0 \leq 0.05 \bar{x}_0$ とすれば



● 印は測定値

○ 印は平均値

図 6-1 ISO 方式衝撃基準片の長さの吸収エネルギー値への影響

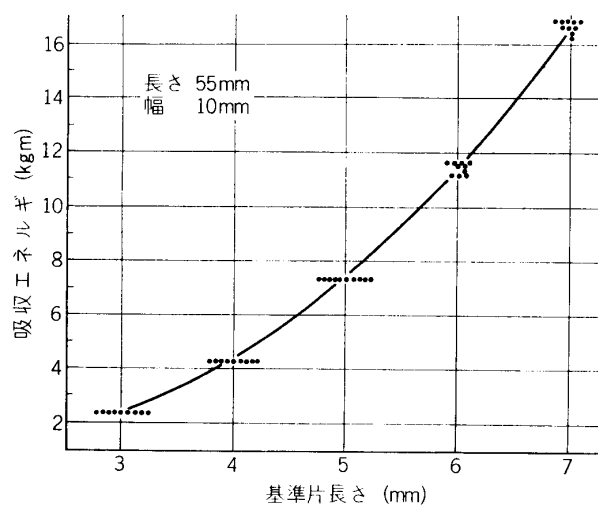


図 6-2 ISO 方式衝撃基準片の厚さと吸収エネルギーとの関係

表 2 ISO 衝撃基準片の寸法公差に相当する吸収エネルギー値の誤差

基準片	吸収エネルギーレベル	エ ネ ル ギ 誤 差			合 計
		長さ (公差 ± 0.1 mm) 差	厚さ (公差 ± 0.01 mm) 差	幅 (公差 ± 0.05 mm) 公差	
厚さ 3 mm	3 kgm	$\pm 0.2\%$	$\pm 0.9\%$	$\pm 0.5\%$	$\pm 1.6\%$ (± 0.05 kgm)
厚さ 5 mm	7 kgm	$\pm 0.4\%$	$\pm 0.5\%$	$\pm 0.5\%$	$\pm 1.4\%$ (± 0.1 kgm)
厚さ 7 mm	14 kgm	$\pm 0.3\%$	$\pm 0.3\%$	$\pm 0.5\%$	$\pm 1.1\%$ (± 0.15 kgm)

$$|\bar{x} - \bar{x}_0| / \bar{x}_0 < 0.03$$

という判定基準が得られる。ISO のように基準値を \bar{x}_0 とすれば、同様に

$$|T_{3M} - T_3| / T_3 < 0.043 \approx 0.05$$

が得られる。すなわち(2), (3)式の判定基準は信頼度95%で、検査される試験機を標準試験機と同等とみなす基準である。

最近、ISO/R 442 の direct check に関する調査が日本鉄鋼協会によって行なわれ、当会もこれに協力した。この調査データ⁵⁾からも ISO 方式の妥当性が一応認められる。

図 6 もその一つで、基準片の長さ、厚さの寸法の吸収エネルギー値への影響を示したものである。ISO の基準片寸法には表 1 に示す公差が規定されているが、この図から、それらの公差は表 2 に示すような吸収エネルギー誤差に相当することが認められる。標準寸法の基準片の吸収エネルギー値に対して最大 $\pm 1.6\%$ 程度の誤差が基準

片ロットのばらつきに含まれることになる。この調査における共同実験では、鉄鋼各社の協力により、圧延のままと焼ならし材の 2 種類のキルド鋼を用いて基準片を試作して提供された。基準片ロットの大きさは 200 本で、各ロットから 12 本の基準片を標本抽出し、同一試験機で吸収エネルギー値の平均値と標準偏差を求めた結果は表 3 のとおりである。前述の(5)式と同じ結論を標本数 12 の場合に求めるには、(4)式と同様に、 $\sigma_e < 0.016 \bar{x}_0$ が必要である。表 3 の比 σ_e / \bar{x}_0 は、D 社の 7 mm 厚さの基準片を除いて、他のロットはすべてこの条件を満足することを示している。D 社の 7 mm 基準片の場合は、その仕上精度が不足であったためと思われる。すなわち、基準片の材質、熱処理および加工が適切であれば、ISO の規準を満たす基準片ロットの製作は容易であると認められる。これらの基準片を用いて、18 事業所 36 台の試験機について衝撃試験を行なった結果を、図 7 および表 4 に示す。図 7 は各ロットからの 5 本の基準片の吸収エネルギー

表 3 試作 ISO 基準片ロットのばらつき

基準片ロット	平均値 \bar{x}_0	標準偏差 σ_e	σ_e/\bar{x}_0
A社 3 mm	2.12kgm	0.0121kgm	0.6%
B社 3 mm	2.07kgm	0.0211kgm	1.0%
B社 5 mm	7.75kgm	0.0513kgm	0.7%
C社 5 mm	8.93kgm	0.1071kgm	1.2%
D社 7 mm	15.49kgm	0.2585kgm	1.7%
E社 7 mm	16.65kgm	0.0611kgm	0.4%

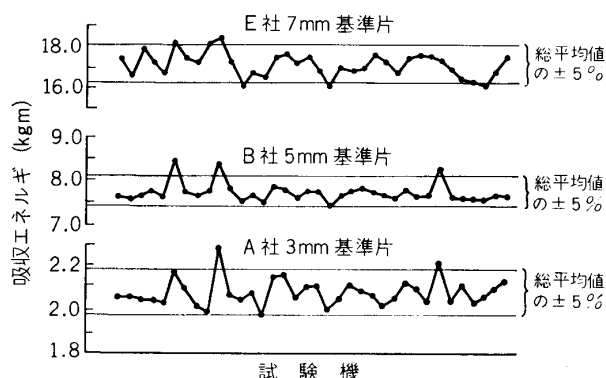


図 7 ISO 方式衝撃基準片によるシャルピー衝撃試験機の実態調査例

表 4 ISO 基準片 5 本の試験値の平均値またはばらつきが 5% を越える試験機の数 (36 台中)

基準片		3 mm		5 mm		7 mm	
		A社	B社	B社	C社	D社	E社
平均値と36台の総平均値との差が5%以上のもの	+	2	3	3	2	3	3
	-	1	2	0	0	2	3
$(T_{3M} - T_{1M})/T_{1M} \times 100\%$ が5%を越えるもの		3	5	1	3	15	4

ギ値の平均値を各試験機別に示したものである。これらの結果から、あるロットの基準片について高い吸収エネルギーを示す試験機は、他のロットについても同様であり、基準片によって試験機の衝撃値の傾向を識別し得ることが認められる。しかしその傾向と各試験機における吸収エネルギーのばらつきの大小との間には関係は認められなかった。また、ばらつきが5%を越えるものは若干認められたが、10%を越えるものは認められなかった。D社の7mm基準片にばらつき5%を越えるものが多くみられたが、もともとロット内のばらつきが大きいので、試験機に起因するものではないと思われる。この実験においては、標準試験機を設定しなかったので基準値

は与えられていないが、全試験機に対する吸収エネルギー値の総平均を各ロットの基準値とすると、その±5%の範囲外にある試験機は7台(D社製7mm基準片のばらつきのためと思われる1台を除く)で、またこの実験データに対する詳細な統計解析の結果⁶⁾も同様な合否判定の傾向を示していて、ISOの判定基準が一応妥当なものと認められた。しかしながら、ISO方式の検査で見出された誤差が、切欠き試験片を用いる実際の試験の場合に対して、そのまま適用できるかどうか疑点が残る。ことに、吸収エネルギー値に与える試験片支持台周辺の影響は問題で、たとえば、通常の炭素工具鋼製の支持台の場合とその支持台端に超硬合金を溶射した場合とでは、通常のV切欠き試験片では両者の差はほとんど認められないが、ISO基準片では溶射支持台の方が吸収エネルギー値が低くなる(10kgmレベルで約0.5kgm低い)例⁷⁾もある。この場合は、ISO基準片は比較的かたさが低くじん性が高いので、支持台によるBrinellingの差が明りょうに生じたものと考えられた。このように、ISO方式では、試験機の異状を見出すことはできるが、必ずしもその異状が実際の衝撃試験で大きな影響を持つとは限らない。

(2) ASTM 方式基準片

ASTMで推奨されている衝撃基準片は、実際には、AMMRCで製作されているもので、同時にその基準片による検査結果の判定とその証明もAMMRCで実施している。AMMRCのシャルピー衝撃試験機の検査は、試験機の構造(基礎、据付けを含む)の検査、試験技術の検査および衝撃基準片による総合誤差の検査からなり、いずれも検査依頼者側において検査を実施し、その結果を所定の様式を用いてAMMRCに報告して、検査結果の評価ならびに検査証明を受けるシステムをとっている。試験機の構造の検査は、ASTM規格とほぼ同様の基準に基づいて、要部の構造、寸法および機能についてチェックする。試験技術の検査を行なうのは、じん性試験のための衝撃試験は低温での試験が多く、衝撃試験値の精度には低温技術の正確さが大きく影響するとの考えからであり、AMMRCの検査の特色である。AMMRCの検査は、単なる試験機の検査ではなく、検査を受ける事業所のじん性試験データの精度を保証することになる。試験技術の検査では、その事業所で通常行なわれている試験片の冷却方法や試験片支持台へのセットの方法についての実態をチェックする。衝撃基準片による検査の結果は、基準片の破面の測定と試験機、試験技術のチェックデータとともに解析されて合否の評価が行なわれ、また不合格の場合は試験機、試験技術に対する改善勧告がなされる。

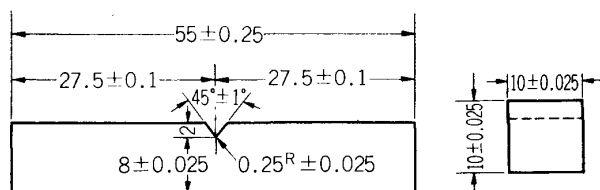


図 8 AMMRC 衝撃基準片の形状寸法

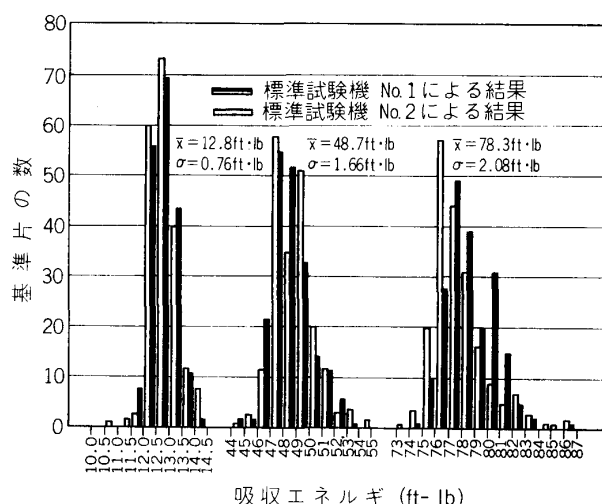


図 9 AMMRC 衝撃基準片のロットにおける吸収エネルギー値の度数分布

AMMRC の基準片による検査の基本的な考え方は前述の ISO 方式の場合と変わらない。AMMRC の基準片は、航空機用の良質の SAE 4340 鋼を素材として用い、5/8" の角棒に圧延後、熱処理によってその吸収エネルギー値が約 15, 40, 75 *ftlb* の 3 レベルのロットに分け、その後、図 8 の形状寸法に機械加工している。各ロットの大きさは約 6,000 本で、各ロットから 400 本の基準片を標本抽出して 2 台の標準試験機によって衝撃試験し、各ロット内の吸収エネルギー値の分布を調べている。その分布の一例は図 9⁹⁾ のとおりで、2 台の標準試験機の間で差は認められない。ロットから 5 本の基準片をとり、これを標準試験機で試験したときの吸収エネルギー値の平均値 \bar{x} の信頼限界を、図 9 の分布から求めると、信頼度 99% で

$$|\bar{x} - \bar{x}_0| < 1 \text{ ftlb}$$

(吸収エネルギーレベル 12 *ftlb* の場合)

$$|\bar{x} - \bar{x}_0| < 0.05 \bar{x}_0$$

(吸収エネルギーレベル 49 および 78 *ftlb* の場合)

となる。ここに \bar{x}_0 は 400 本の基準片から決定した基準値である。図 1 に示す合格基準線はこの信頼限界を示したものである。

この方式の基準片の場合、特に注意を要するのは、基

準片の加工精度の点である。加工精度の吸収エネルギー値に対する影響に関する研究^{1),9)}によれば、試験片の材料試験温度などにもよるが、図 8 に示す AMMRC の基準片の寸法公差は、たとえば SAE 4340 を鋼の 10 kgm レベルの場合で約 0.4 kgm の誤差に相当し、高張力鋼の 14 kgm レベルの場合で約 0.6 kgm の誤差に相当する。これらの誤差は、ロット内のばらつきに含まれることになるが、図 6 で比較すると、基準片ロットのばらつきの半ばを占めることに相当する。

日本鉄鋼協会では、AMMRC 方式の基準片の検討のため、SNM 8 鋼を素材に、JIS 4 号衝撃試験片 (V 切欠き) の 30 本ロットを試作し、吸収エネルギー値のばらつきを調べた。素材は 850°C 焼入れを行ない、焼戻しを 500°C と 600°C の 2 種で行なって 2 ロットとした。前者は 20°C で、後者は -20°C で衝撃試験され、それぞれ 4 kgm および 7 kgm レベル (平均値) の衝撃値が得られた。しかし、そのばらつきの標準偏差は、前者で 0.37 kgm、後方で 0.95 kgm と、AMMRC のものに比べて約 2~4 倍のばらつきとなった。その原因としては、素材が鍛造材 (20 mmφ) で、圧延材に比べて材質にむらがあること、熱処理にむらがあること (試験片のかたさに、前者で約 2 HRC、後方で約 3.5 HRC の範囲のばらつきが認められた)、加工寸法精度が AMMRC に比べて不足であること (たとえば切欠き深さのばらつきは ±0.05 mm で、AMMRC の公差の 2 倍となっている) などが考えられる。これらの点を考慮して注意深く製作すれば、AMMRC 基準片に相当するものの製作は可能と考えられるが、ISO 方式に比べて困難なことは明らかである。

4. ま と め

シャルピー衝撃試験機の検査において、基準片による衝撃値の総合誤差の検査が必要なことは以上で明らかであり、またそのための基準片の方式について検討を行なった。ISO 方式と ASTM 方式とは一長一短であり、ISO 方式の場合はばらつきの少ないロットを比較的容易に得られるが、実際の衝撃試験の場合とは異なった試験機要部の影響を受ける。一方、ASTM 方式の場合は実際の試験に即したものはあるが、ばらつきの少ないロットを得るのは必ずしも容易でない。しかし、試験機検査の立場からは、実際の衝撃試験に適合することが第一義であり、ASTM 方式の方が望ましい。EC における基準片もまた切欠き基準片の採用を考慮しているようで、大勢としては将来の基準片は切欠き付きのものとなると思われる。日本においても最近カナダへのパイプライン

の輸出に関連して、鉄鋼メーカー各社が AMMRC の検査を受検している。今後ともこのような検査の要望は多くなろう。当会においても、基準片による直接検査の必要性を認め、その実施を検討中であり、試験機のユーザ、メーカー、基準片に必要な材料のメーカーなど大方の御協力をお願いしたい。なお、衝撃試験機の精度の維持には、ユーザにおいて自主的に日常の定期的な検査を行なうことが望ましく、それには ISO 方式の基準片は簡便で適していることを付言しておく。

最後に、日本鉄鋼協会標準化委員会機械試験方法分科会資料を引用させていただいたことをここに厚く感謝します。

参 考 文 献

- 1) N. H. Hahey, Materials Research and Standard, Nov. 1961, pp. 872~876.
- 2) 吉沢, 椎名, かたさと強さ, 3月, 1969, pp. 20~34.
- 3) 日本鉄鋼協会第27回機械試験方法分科会資料.
- 4) J. I. Bluhm, ASTM STP 176, 1955, pp. 84~93.
- 5) 日本鉄鋼協会第31回機械試験方法分科会資料.
- 6) 日本鉄鋼協会第32回機械試験方法分科会資料.
- 7) 日本鉄鋼協会第40回機械試験方法分科会資料.
- 8) D. E. Driscoll, ASTM STP 176, 1955 pp. 70~75.
- 9) 越賀, 日本海事協会技術研究所報告.
- 10) C. W. MacGregor, *et al.*, Weld. Research Suppl. Jan. 1947, pp. 50s~56s.
- 11) L. E. Welch *et al.*, Trans. ASME, July 1946, pp. 547~556.