溶接熱應力の圖式解法 (第2報)

大 谷 碧*

Graphical Solution of Thermal Stresses by Welding. (2nd Report)

By M. Ōtani*

Abstract

The effects of external constraints upon thermal stresses in butt welded V joints are discussed in this paper. The stress-strain relation in plastic regions at high temperature is idealised as in Fig. 3 considering work hardening, the strengthening effect of which assumed to be same at any temperature. The stress increments are graphically calculated by each small time intervals and superposed on the previous stress values, then the distributions of strain accordingly determined. Figs. 7-12 and Table 2 are the calculated results.

緒 論

外的拘束をうけるV型衝合接手に生ずる収縮應力が拘束の強さによりいかに変化するかは興味ある問題であるが、従来の研究においては取扱いの範囲が主として弾性変形内に限られ塑性変形開始後の應力値を詳細に論じていない。また冷却中収縮應力に應じて生ずる歪度を考えてみると、ビードより遠ざかるにつれて温度は低く従つて降伏点應力値は高くなつて行くから、接手近傍では塑性変形を生じ接手より離れた所では弾性である場合も想像し得る。ことにV型接手中におかれた溶接ビードの厚さが板厚よりも小なるときは、収縮変形の大部分をビード部の塑性変形で受持つこととなり極端な歪度の集中とでも称すべき現象が起る。この現象は熔着銭の龜裂発生と密接な開聯をもつものであつて、かかる見地よりしても問題の重要性が強調される。本報告は簡単な外的拘束をうける軟鋼板V型衝合接手中において拘束度を変化せしめた場合の収縮應力並びに歪度分布状態を図式解法により求めたものである。

第1章 理 論

1 拘束条件

V型衝合接手に簡単な外的拘束を與えるものとして、先に仲教授の提案された型式と類似の第1図に示すH型試験片を考察の対称とした。が、このとき接手中においては被拘束辺の長さ l 断面積 $A (=b \times s)$ 及び拘束材の断面積 A_1 を種々組合せることにより接手部の受ける拘束度を変化せしむることができる。板厚 s とビード厚さ s_b の比いかんも結果に重大な影響を與えるものである。

Fig.1 外的拘束を受けるV型衝合接手

計算に当り座標の原点0及びx軸は第1図のごとくとする。なお被拘束辺の延長は無限に細長いものとして議論を進める。

2. 温度分布

第1図に示すV型接手を溶接した場合の温度分布を、該ビードを置くことにより板に與えられる熱量と同等の熱量を有する瞬間平面熱源が原点においてx軸に垂直方向に発生したものとして取扱うと、これは次式により表わされる。(2)

$$T = \frac{Q}{2\sqrt{\pi kt}} e^{-a^2 t - \frac{x^2}{4kt}} \quad (1)$$

T: 温度

Q: 平面熱源の強さ 即ち

(単位板断面積当りの発生熱量)/(比熱)×(比重)

* 正員 運輸省鐵道技術研究所第2部 Member, Railway Technical Research Institute, Ministry of Transportation

脚註① 仲威雄: 建築学会論文集第17号 拘束材を有する衝合接手の強度

脚註② 例えば仲威雄: 建築学会論文集第19号 持続的に加熱されたる材の温度分布について

t : 瞬間熱源発生後の時間

k : 温度傳播率 (Thermal Difusivity)

a^2 : 冷却係数 (Coeff. of Cooling)

すなわち温度計算ではビードを平面状熱源と見なしかつビード厚さと板厚の差及び拘束材の熱傳導を無視して温度分布の近似値を求める。

板の線熱膨脹係数を α とすると、外的拘束が存在しない場合部材 l は自由に膨脹して l' となり

$$l' - l = \int_0^l \alpha T dx \quad (2)$$

で表される、 α は温度の函数であるが本計算においては第2図に示す測定値によつた。

3. 應力・歪曲線

高温における軟鋼の機械的性質に関しては多くの

Fig. 2 $\alpha \cdot E \cdot \sigma_{YP}$ -T曲線

測定値があるが、計算は第2図に示すヤング率(E)降伏点應力(σ_{YP})値により行い、かつ σ_{YP} 迄應力度(σ)と歪度(ϵ)の間に比例関係が成立つとした。材料が塑性変形を起した際の應力(σ_P)歪曲線は、第3図に示すごとく σ_{YP} より大なる應力値に対しても直線であるとした。かかる假定は材料が軟鋼の場合数%程度の ϵ に対して充分正確な結果を與えると

Fig. 3 σ - ϵ 曲線 各温度での應力・歪曲線測定値の1例は第4図に示す如くであつて、厳密に考えれば E' 値は温度によりか

なり変化するが、計算を簡単にするため一應温度にかかわらず $E' = 40 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$

Fig. 4 高温における應力・歪曲線の実測値

の一定値であると假定した。なお以上の諸常数は母材たる軟鋼板に対してもビード部熔着鐵に対しても等値であるとする。

4. 収縮應力及び歪

収縮應力の計算に当つては熱源発生時を時刻の基準にとり、これより完全冷却($t = \infty$)までを小間隔に細分し、各小時間々隔内では熱常数・弾性常数の値は一定と假定して収縮應力の増加量を計算し前の應力値に加算して行く。この際 $T = 700^\circ\text{C}$ 以上では應力度は存在せず、収縮應力はビードの温度が 700°C まで下つて始めて発生ずるとした。先の要領で細分した小時間々隔 $\Delta t_n = t_n - t_{n-1}$ における収縮應力の増加量を考へてみる。外的拘束がなく接手が自由に収縮し得たとすれば、 Δt_n 間に被拘束辺($x=l$ まで)の長さは次式で示す量 Δ_n だけ変化する。

$$\Delta_n = \int_0^l (\alpha T)_{t=t_{n-1}} dx - \int_0^l (\alpha T)_{t=t_n} dx \quad (3)$$

しかるに接手は第1図に示すとき要領で拘束されているから自由に収縮できず、(3)式の Δ_n は拘束材、被拘束辺・ビード部の3者に分配される。一方各部材の應力値間には釣合條件より定まる次式の関係がある。

$$\left. \begin{aligned} \sigma_1 &= \frac{A}{A_1} \sigma \\ \sigma_0 &= \frac{S}{S_0} \sigma \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

σ : 被拘束辺の應力度

脚註③ 岡田 実: 熔接工学 p.63 を参照した。

④ 岡田 実: 熔接工学 p.30 を参照した。

脚註⑥ 清水篤磨: 金属材料実験法 p.78

σ_1 : 拘束材の應力度

σ_0 : ビード部の應力度

(4)式に準じて Δt_n 間における各部材應力度増加量の間にも次の関係が成立する。

$$\left. \begin{aligned} \Delta \sigma_1 &= \frac{A}{A_1} \cdot \Delta \sigma \\ \Delta \sigma_0 &= \frac{s}{s_0} \cdot \Delta \sigma \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

(5)式の應力度増加によるビード部を含む被拘束材の伸量と拘束材の縮量との絶対値の和が(3)式で定まる温度分布の変化による収縮量に等しい条件より、 Δt_n 間に應力度増加量が決定される。従つて部材各部がすべて弾性域内にあるときは、 $\Delta \sigma$ は次式から求められる。

$$\Delta \sigma = \Delta n / \left(\frac{s}{s_0} \int_0^{l_0} \frac{dx}{E} + \int_{l_0}^l \frac{dx}{E} + \frac{A}{A_1} \frac{1}{(E)_{T=n}} \right) \quad (6)$$

各点の歪度の増加量を計算するには、 $\Delta \sigma$ を各点の温度に相当した E で割ればよい。

部材一部に塑性変形を生じたときは次の要領で應力度増加量を求める。まず $s=s_0$ (従つて $\Delta \sigma = \Delta \sigma_0$) でかつ A_1 は A に比しかなり大きく、そのため被拘束材中温度最高で σ_{YP} が低いビード部から塑性変形が始まる場合につき考えよう。 $t=t_{n-1}$ 時ビード中心の應力が丁度 σ_{YP} に等しく(温度は T_{n-1})、次の Δt_n 間の収縮により塑性変形が開始されるものとする。 Δt_n 間の應力度増加は $\Delta \sigma$ であり、従つて $t=t_n$ 時(温度は T_n)に弾性変形を生じている範囲はその点の温度に対応する降伏点應力度値が(7)式

$$(\sigma)_{t=t_{n-1}} + \Delta \sigma = (\sigma_{YP})_{T=T_{n-1}} + \Delta \sigma \quad (7)$$

の値に等しい点までである。かかる塑性域を $x=0$ から $x=\Delta l_n$ までの範囲であるとし、 $x=\Delta l_n$ での温度を $T_n - \Delta T_n$ すると、 Δt_n を適当に小さくとるならば小区間 $x=0 \sim \Delta l_n$ に対応する $\sigma_{YP}-T$ 曲線の部分は近似的に直線と見なされ、次の関係が成立する(第5図(a))。

$$\Delta T_n = \Delta \sigma / \left(\frac{\partial \sigma_{YP}}{\partial T} \right)_{T=T_{n-1}} \quad (8)$$

(8)式で定まる ΔT_n に應じて温度分布曲線(第5図(b))から Δl_n 値が定められる。同様の理由で小区間 $x=0 \sim \Delta l_n$ では温度分布曲線を近似的に直線と考える。 $\sigma_{YP}-T$ 曲線・温度分布曲線が直線として取扱える小区間においては $\sigma_{YP}-x$ 曲線も結局直線とし

Fig. 5 図式解法

て取扱える。

従つて、塑性部分で應力・歪曲線の傾斜を一定と假定したことをも考慮するならば、塑性変形を考慮した場合應力度の増加による被拘束材・拘束材の伸縮量の和は次式であらわして充分正確であり(第5図(c)参照)かつ Δn に等しくなければならない。

$$\frac{1}{2} \frac{\Delta \sigma}{E} \cdot \Delta l_n + \int_{l-\Delta l_n}^l \frac{\Delta \sigma}{E} dx + \frac{\Delta \sigma_1}{(E)_{T=n}} = \Delta n$$

すなわち

$$\Delta \sigma = \Delta n / \left(\frac{1}{2} \frac{\Delta l_n}{E} + \int_{l-\Delta l_n}^l \frac{dx}{E} + \frac{A}{A_1} \frac{1}{(E)_{T=n}} \right) \quad (9)$$

$\Delta t_{n+1}=t_{n+1}-t_n$ 間の應力度増加を求める際は、 $x=0 \sim \Delta l_n$ では塑性変形が一樣に進行することに注意すればよい。塑性域は第5図(c)に示す要領で順次拡がっていく。

一般には $t=t_{n-1}$ において σ が丁度 σ_{YP} に等しいとは限らず第5図(d)に示す曲線上1のごとき位置にある。その場合應力度は $T=T_n$ に対する應力・歪曲線の弾性部分に平行に起点1から出発し点2に到り始めて塑性変形を起すとして計算する。同様に t_{n+1} 時の應力度を求めるにも(第5図(e)) Δt_{n+1} 後の温度変化による應力・歪曲線の相違を考慮して Δn_{+1} を弾性部分1~2より生ずる部分と塑性部分2~3より生ずる部分に分けて考えなければならない。

第2図に示すごとく $\sigma_{YP}-T$ 曲線には約 180°C で極大値があるが、この場合の取扱いは第5図(f)のごとくなる。図は $t=t_m$ 時に丁度ビード中央が σ_{YP} 極大値を示す温度であつたものである。

$s < s_0$ でかつ A_1 はビード断面積に比しかなり大きい場合も以上に準じて取扱えばよい。ただし s と s_0 の差がほとんどない場合を除きビード部分のみが塑

性変形を生じ結局歪度は極端に該部へ集中する。

A_1 がビード断面積にほぼ等しいかあるいは小であると拘束材も降伏する。拘束材への熱伝導を無視すればその温度は不変であるから拘束材中の塑性変形も一様に分布する。

第2章 計算

計算例においては板幅 $b=5\text{cm}$ 、ビード厚さ $s_0=0.5\text{cm}$ に一定とし $l \cdot s \cdot A_1/A$ の値を種々組合せて拘束度を変化せしめ収縮応力と歪度を求めた。

1. 温度分布

使用する溶接棒径を 4mm 開先角度 60° 使用電流 (I) 130amp. 電弧電圧 (V) 22Volt 溶接棒の熔融速度 0.5cm/sec スパッター等による熔融鉄の飛散率を 20% としかつ有効熱係数を η とすると、温度分布を定める (1) 式中の熱源の強さ Q は次式のごとくなる。

$$Q = \frac{0.24\eta VI}{c\rho} \times \left[\frac{\text{V型接手中の熔着鉄横断面積} \times (1/s)}{\text{毎秒接手に注入される熔融鉄の体積}} \right] \\ = \frac{0.24\eta VI}{c\rho} \times \frac{2.86}{s} \quad (10)$$

$c \cdot \rho$ 及び (1) 式中の k は 400°C における値

$$c = 0.151 \quad \text{cal/g}^\circ\text{C}$$

$$\rho = 7.72 \quad \text{g/cm}^3$$

$$k = 0.100 \quad \text{cm}^2/\text{sec}$$

としかつ $\eta = 0.65$

として計算する。また板表面よりの熱放散を考慮する時は冷却係数は

$a^2 = 20 \times 10^{-4} \text{ 1/sec}$ と假定した。(6) 第6図は $s=0.5, 0.75, 1.0\text{cm}$ として計算したビード中央部 ($x=0$) に対する温度・時間曲線である。

Fig. 6 Max. $T-t$ 曲線

2. 収縮応力及び歪

熱源発生より完全冷却までの時間を $\dots 4 \cdot 6 \cdot 8 \cdot 10 \cdot 12 \cdot 16 \cdot 20 \cdot 30 \cdot 40 \cdot 60 \cdot 90 \cdot 150 \cdot 400 \cdot \infty \text{ sec}$ 等に細分し各小時間々隔における應力度及び歪度の増加量を順次加算した。 $s_0=0.5\text{cm}$ とし $a^2 \cdot A_1/A \cdot l \cdot m \cdot s$ 等を第1表のごとく組合せて合計17の場合につき収縮応力と歪量を計算した。計算結果は第7~12図及び第2表に示すごとくである。結果を図示する場合ベースは時間 t とせず最高温度 (ビード中央部温度) としこれを横軸にとつた。第7・9・11図はビード部の

Table 1 $a^2 \cdot A_1/A \cdot l \cdot s$ の値

a^2 1/sec	A_1/A	$l\text{cm}$	$s\text{cm}$
0	∞	5	0.5, 1.0
		2	0.5 0.75 1.0
		1	0.5 1.0
	4	5, 2, 1	1.0
	1	5, 2, 1	
	$\frac{1}{2}$	5, 2, 1	
5×10^{-4}	∞	5	1.0

Fig. 7 σ_b-T 曲線 (I)

脚註⑥ これら熱常数に関しては仲教授の実験を参照されたい。

仲威雄：建築学会論文集第26号及び溶接学会誌 第16巻第7号の掲載論文

Table 2 歪度の分布 ($t=\infty$)

a^2 1/sec	A_1/A	l cm	x cm s cm	歪 度 (%)							
				0	0.5	1	1.5	2	3	4	5
0	∞	5	0.5	0.338	0.333	0.327	—	0.319	0.315	0.314	0.313
			1	1.796	0.081	0.080	—	0.078	0.077	0.077	0.077
		2	0.5	1.257	1.027	0.741	0.547	0.468			
			1	2.568	0.092	0.088	0.086	0.085			
		1	0.5	1.404	1.003	0.882					
			1	2.642	0.100	0.090

Fig. 8 ϵ_b - T 曲線 (I) Fig. 10 ϵ_b - T 曲線 (I) Fig. 9 σ_b - T 曲線 (I) Fig. 11 σ_b - T 曲線 (II)

Fig. 12 ϵ_0 - T 曲線 (III)

應力値と最高温度の関係、第8・10・12図はビード中央における歪度(ϵ_0)と最高温度の関係、第2表は冷却後の歪度分布状態の1例を示す。第7・8図は $A_1/A = \infty$ $s = 0.5, 1.0$ cm の時 l の長短が結果に与える影響を及ぼすかを示す、また冷却係数 a^2 を考慮した際との比較も示しておいた。第9・10図は $s = 1.0$ cm $l = 5, 2, 1$ cm の時 A_1/A 値のいかなが結果に及ぼす影響を、第11・12図は $A_1/A = \infty$ $l = 1$ cm の時 s の値がいかに影響するかを図示するものである。

3. 計算結果に対する考察

(1) l の影響

l が短くなれば接手の拘束度は大となりビード部の収縮応力及び歪度共に増加するが、 $s_0 = s$ の場合より $s_0 < s$ の方が増加率は著しい。 $l = 5$ cm の時は $s = 0.5$ cm で約 215°C $s = 1.0$ cm で約 120°C の時降伏して以後塑性的に変形するが、 $l = 1.0$ cm の時は 600°C 前後で既に降伏し従つてビード中央における歪度は極めて大となり青熱脆性(約 200°C)の時既に相当量の歪度が存在する。

(2) A_1/A 値の影響

拘束度の影響が大きくあらわれる $s = 1.0$ cm の場合につき $A_1/A = \infty, 4, 1, \frac{1}{2}$ として比較してみると A_1/A が大となるほどビード部の収縮応力と歪度が増加するのはもちろんであるが、 l が短く 1 cm となると A_1/A の影響力が小さくなる。 l の場合と同様に A_1/A が大となると青熱脆性時の歪量は大きな

る。 $A_1/A = \frac{1}{2}$ はビード部の應力度と拘束材の應力度が等しい材寸法であつて、従つて始めビード部が高温な中はビード部が塑性変形を受持つが、ビード部が段々冷却し塑性硬化が進行するとついに拘束材も塑性変形を起しビード部へ歪度の集中する速度は鈍くなる。この間の事情は第9図⑧⑨曲線によく表われている。

(3) s_0/s 値の影響

第11・12図は $s_0/s = 1, 0.75, 0.5$ の3つの場合を比較したものであるがその中 $s_0/s = 0.5$ よりも 0.75 の方が収縮応力並びに歪量は大きくなる。この現象は次の如く説明しうる。すなわちビード厚さが板厚に比し薄くなると母材部に比しビード部の應力値は高くなるが、逆に(発熱量)/(板厚)値が小、従つて冷却時の収縮量は小となるからビード厚さが減するにつれてビード部の應力値と歪度が常に大となるとは限らないのであつて、両者の関係から定まるある s_0/s の値に対して収縮応力及び歪量の極大値が存在するわけである。

(4) a^2 の影響

第7・8図に示すごとく板表面からの熱放散を考慮しても結果は思ったほど変らない。これは第1図のような無限に細長い板では、 $x = 0 \sim l$ の範囲に蓄積されている熱量は大部分板内を x 軸に沿つた方向へ流れ出て終い該範囲の温度分布は第6図に示すごとく餘り a^2 値に左右されないものであるから当然である。

(5) 歪度の集中

冷却収縮時ビード部が高温で周辺が低温であるから収縮歪は一様に分布せず第2表の例から明らかなごとく極端に中央へ集中する。集中度は s_0/s の1より小なるある値に対して極大値を示しかつ A_1/A が大となるほどまた l が小となるほど大きく、はなはだしき時は最小歪量の30倍以上の値に達する。この事は熔接時ビード部に発生する収縮龜裂の成因と密接に関連している。すなわちもし冷却による収縮が $x = 0 \sim l$ 間で一様に分布したとすれば歪量は僅かなものであり、ビード部に容易く収縮龜裂が発生するとは考えられない。しかるに計算例中最も歪度大なる第12図②曲線について考えてみると、ビード部は青熱脆性温度 200°C まで冷却した時既に 1.6% 強延伸されている。熔着鐵中には氣泡・スラグ等の夾

雑物が存在しこれらのノッチ効果のため局部的には 1.6% をさらに数倍する歪度が存在し得るわけで、もし熔着鐵が健全でないならば、かかる高度の歪量は材料を破壊せしむるに充分であろう。クレーター部は材質的に缺陷があると同時に多く凹面をなし形状的にも應力集中が大であつてやはり容易に龜裂が発生するものと考え得る。もちろん計算例にあらわれた以上に歪度がビード部に集中する拘束状態はあるわけで、かかる場合は一層龜裂が発生し易いであろう。

結 論

以上の結果を要約すれば次のごとくなる。

1. 第 1 図のごとき簡単な外的拘束を受ける V 型衝合接手において板幅 b ビード厚さ s_b を一定とし、板厚 s 被拘束辺の長さ l 拘束材断面積 A_1 の寸法を種々変えて冷却中及び完全冷却後の収縮應力と歪度の分布状態を計算した。
2. 温度分布はビードを瞬間平面状熱源と假定し、熱源の強さを (10) 式のごとくして (1) 式より計算した。
3. 図式計算に必要な諸数値は第 2 図により求め又應力・歪曲線は第 3 図に示すように 2 直線部分より成るとしかつ塑性変域部の傾斜 E' は温度にかかわらず一定と假定した。
4. 熱源発生より完全冷却までの間を細分し各小時間 Δt_n 中での熱常数・弾性常数を一定とし収縮應力・歪度の増加量を計算し順次加算して行く。
5. 間の應力度増加は部材全体が弾性域にあるときは (6) 式により、部材 1 部に塑性変形が生ずるとき

は (9) 式を應用して近似的に求められる。應力度の増加に應じて歪度増加量の分布も定められる。

5. 板厚並びに拘束状態を変化せしめたときのビード部における収縮應力並びに歪度の発生状況を第 7~12 図に示す。

6. 歪度の分布は一樣でなく第 2 表の例に示すごとくビード部に集中するが極端な場合は集中度が 30 倍以上に達する。しかしその量は青熱脆性温度まで冷却した時既に 1.5% 以上の値をとる。従つて熔着鐵の材質健全でなくスラグ・ブローホール等のノッチ効果が大きな場合、あるいはクレーター等形状からの應力集中がさらに考えられる場合は、熔着鐵が伸び切れず破壊し龜裂が発生する可能性が充分存し得る。

要するに従來接手の拘束度はただ材料力学の概念のみをもつてしかも弾性的に取扱われてきたのであるがこれでは不十分であつて、さらに熱傳導論と塑性学の知識を加味して考察を進め、例えば最も龜裂を発生し易い温度 (青熱脆性温度) にまで冷却される間局局部的にビードが延伸される歪度のごとき量をもつて各種接手間の拘束度を比較せねばならぬ。本小論はかかる論法を簡単な外的拘束を受ける衝合接手に適用して一應その結果をまとめたものである。さらに必要が痛感されるのは高温における熔着鐵機械的性質の研究であつて、心線品質と被覆剤配合が熔着鐵の材質にどのように影響しその結果高温における機械的性質がいかに変化するか明らかにされねばならぬ。両方面からの研究が完成された時始めてビード龜裂の問題が完全に解決されたこととなるのである。

資 料

日本熔接技術發達史

[XVI]

佐々木新太郎*

第三表に鋼板に熔着鐵を蒲鉾形に盛り上げ、これより全熔着鐵試験片を削り出し、熔着鐵の機械的性質を調査を行うことが実施されているがこの試験結果は実際に鋼板を熔着せる熔着鐵の機械的性質に比して大に異なるものであるから、實際上の参考には餘りならぬと記している。私もこれに賛成するものである。蒲鉾形に盛り上げて試験片を作る方法は熔融の列を続けて沢山列べるので試験片を作る全体が作業中に真赤に赤熱される。従つて試験片の冷却も徐冷となる。これに比して罐胴の厚板を熔接する時は母板の方へ熱を吸収されることが多いから、熔着鐵が全体が赤熱されるがごときことは絶対に起らぬ。また冷却速度も急速である。かくのごとき熔接の條件を異にするのででき上つた熔着鐵の材質も異なることになる。従つて罐胴の厚板を熔接した實際上の熔着鐵の機械的性質を蒲鉾形に盛り上げた

熔着鐵の機械的性質の結果に等しいと考へて罐胴製作上の設計に採用することは多くの誤解を生じはなはだ危険である。もちろん熔接棒の良否を檢定するがごとき場合に蒲鉾形盛り上げ全熔着鐵試験片を採用するのは差し支えない。ただこれを實際に適用するのは大に注意しなければならぬと警告していると考へるものである。

疲労試験は設計上の参考に止めるべきと記している。疲労試験で一つの材質のものの疲労界限を定めんとするだけで非常に長時日を要する。しかしこの疲労界限が定められて後に實際の製品の疲労試験結果はこの疲労界限以上でなければならぬと定められたとしても一個の試験片の疲労試験を終るにも相当長時間を要する。これを短時間に求めんとする各種の方法が考案され、発表されているがいずれもがすこぶる信頼性に乏しくまたあるものは物理学実験室的の規模であつてこれを廣く工業的に採用することができないというのも少くない。工業的製品は完成の納期に制限を受けている。この製品の合格、不合格の決定は納期までに短期に行われなければならぬ。またこの決定のいかんは及ぼす影響が技術的にも経済的にも極めて大であるから、判定結果は誰れが見ても不腹のないものでなければならぬ。すなわち製品検査は簡單にして明確なることを旨とする必要

* 名譽員、日本断接工業株式会社