

超極厚H形鋼の材質について*

70538

中西 昭一**・土師 利昭***・福田 次男***

Mechanical Properties of Super Giant H Shapes

Shoichi NAKANISHI, Toshiaki HAZE, and Tsuguo FUKUDA

Synopsis:

Although super giant H shapes are used progressively in the field of skyscraper construction, in recent Japan mechanical properties in each positions of H shapes have not clearly been reported. In this paper, their mechanical properties were examined by tension tests and Charpy impact tests respectively.

The deformation behaviours of H shapes was estimated by rolling of Plasticine model, and the differences of mechanical properties in each position of H shapes were considered to be caused by the difference of degree of deformation.

The results are as follows:

(1) There were not marked differences in yield strength and tensile strength at any position, while elongation decreased linearly with increasing strain by rolling.

(2) Impact properties near the surface region were higher than near the center of H shapes.

This tendency was affected by not only the deformation behaviour but also the thermal history of the process of H shapes making.

(Received July 19, 1969)

1. はじめに

従来、ビルディングの建設には、鋼板を溶接によつて組み立てられた柱とか梁がおもに使用されていた。しかし経済性、工期などで利点のあるH形鋼が使用されるようになってきた。また建築法の改正後、さかんに高層ビルディングの建設が進められ、とくに最近では三井霞が関ビルディングを始めとする超高層ビルディングが建設されている。高層化につれて強度上の必要性からフランジおよびウェブの厚い超極厚H形鋼が使用されるようになってきた。

H形鋼は圧下のされ方が鋼板の場合とは異なり、幅拡がりに対する拘束が非常に大きい。また超極厚になれば肉厚が厚くなるのでH形鋼断面各部の材質の差が当然考えられる。柱と柱、柱と梁などの継手構造を設計するにさいして、この材質の差を考慮しなければならない。しかしながらいまだ超極厚H形鋼断面各部における細かい材料特性がよく知られていないのが現状である。

そこでウェブ高さ 608 mm、フランジ幅 467 mm、ウェブ厚さ 85 mm、フランジ厚さ 125 mm の超極厚H形鋼の圧延のままと焼ならしを行なつたものの断面各部から試験片を採取し微小引張試験およびVノッチシャルピー衝撃試験により材質を調査した。H形鋼断面各部における材質の相違は圧延時の変形量の差および冷却速度の差に起因すると考えられる。今回はまずプラスチック

の模型圧延より求めた圧延時の変形量の差と材質の差を比較検討した結果について報告する。

2. 供試材

超極厚H形鋼の圧延のまま、および焼ならしを行なつたものの化学成分を Table 1 に示す。

焼ならしは 890°C で 250 min 行なつた。そのおのこの機械的性質は Table 2 に示すとおりである。

Table 1. Chemical contents (wt%).

C	Si	Mn	P	S
0.19	0.32	1.42	0.010	0.005

Table 2. Mechanical properties.

	As rolled	As normalized
Yield point (kg/mm ²)	41.6	38.4
Tensile strength (kg/mm ²)	66.2	57.3
Elongation (%)	30.0	36.0

Specimen JIS No 4

* 昭和44年3月本会講演大会にて発表
昭和44年7月19日受付

** 富士製鉄(株)広畑製鉄所 工博

*** 富士製鉄(株)広畑製鉄所

3. 実験方法

3-1 模型圧延

従来、20°C で潤滑剤として炭酸カルシウムまたは硫酸カルシウム粉末を用いると、プラスチックの応力-ひずみの関係は鋼の熱間加工温度領域におけるそれと類似していることが知られている^{1)~3)}。そこで超極厚H形鋼断面各部における変形量を調査するため、白色および灰色のプラスチックで孔型圧延する前の材料の1/4の大きさに作製した。これを分塊孔型ロール、粗ユニバーサルロール、エッチャーロール、仕上ユニバーサルロールを組み込んだ模型圧延機により圧延した。

3-2 試験片採取位置

超極厚H形鋼断面各部の材質試験片は Fig. 1 のAからKまでの記号で示す位置から採取した。D, Hはウェブ、A, C, Eはフランジの中心部、B, F, Gはフランジ先端部である。I, J, Kはフランジ幅の1/4のところ、とくにIはフランジ厚みの1/4にあたりH形鋼でJISに規定された機械的試験片採取位置である。圧延方向をX方向、フランジでは幅方向ウェブでは板厚方向をY方向、フランジでは板厚方向ウェブでは高さ方向をZ方向とする。

3-3 引張試験

AからKまでの各位置の3方向から、Fig. 2 に示す直

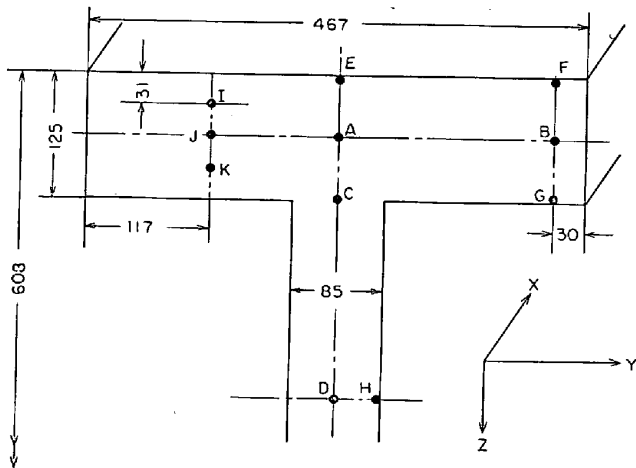


Fig. 1. Sampling positions.

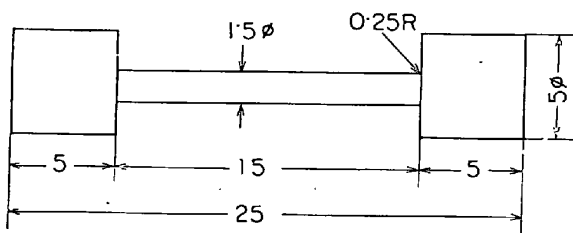
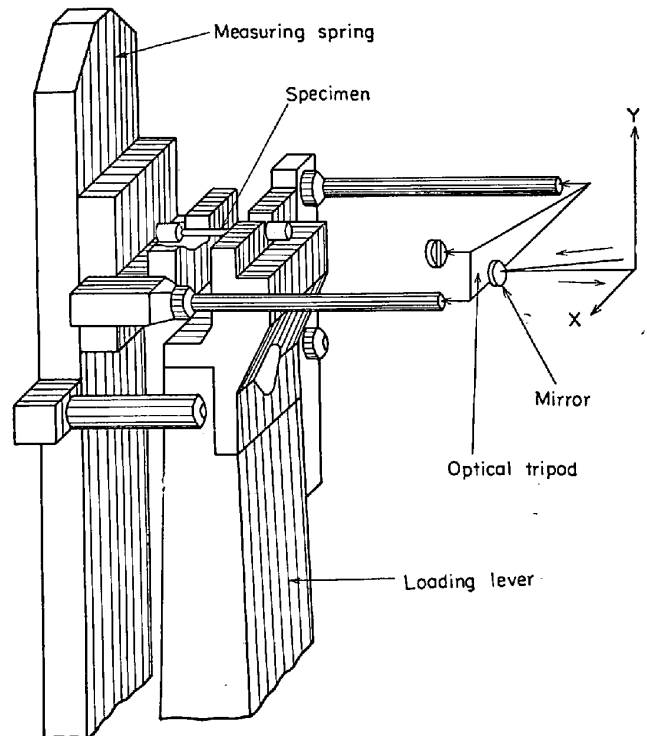


Fig. 2. Dimension of specimen.

径 1.5 mm で標点距離 15 mm の試験片 (以後マイクロ試験片とよぶ) を採取した。このマイクロ試験片とJIS 4号試験片との引張試験値を比較してみると降伏点と引張強さはほとんど同じ値を示すが、伸びはマイクロ試験片の方がかなり低い値となる。たとえば Fig. 1 のI点のX方向について、JIS 4号試験片では 36% がマイクロ引張試験片では 16% である。マイクロ引張試験片は L/D が大きく、局部伸びが全伸びに占める割合が小さいため全伸びは小さくなる。引張試験機 (アムスラー社製) は Fig. 3 に示すような機構のものである。試験片に加わる荷重



No. 3. Mechanism of micro-tensile tester.

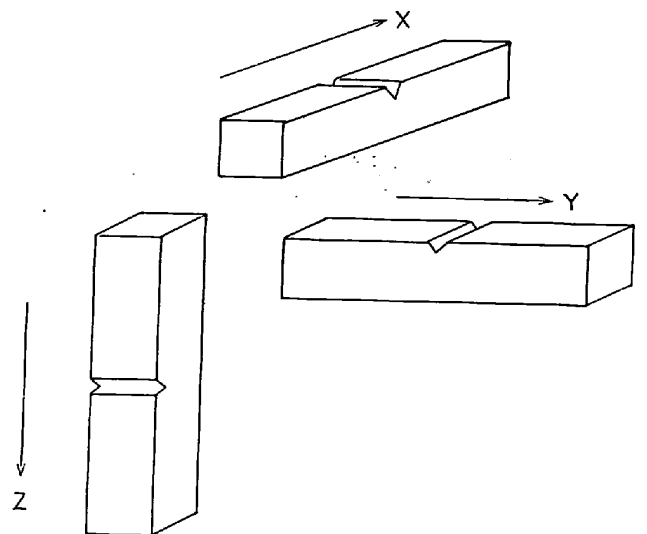


Fig. 4. Notch directions.

は measuring spring のたわみ量から、またひずみは loading lever の移動距離から取りだされる。この変化量は optical tripod に伝えられ、それに取り付けられた mirror に回転を与える。この回転を光学的に乾板上にうつして、応力-ひずみの関係をうることができる。

3.4 シャルピー衝撃試験

試験片は JISZ 3172 の1号に規定したものである。ノッチの方向はJISの場合とは異なり、Fig. 4 に示すごとく建築構造物の柱と梁の仕口部における柱断面で予想される破断方向と一致するようにした。

4. 実験結果

4.1 模型圧延

超極厚H形鋼のプラスティンによる模型圧延実験に使用した孔型圧延する前の材料の断面を Photo. 1 に示す。断面変形挙動を調査するため、断面が正方形の白色および灰色のプラスティンを交互にY方向に22個、Z方向に17個、平行に積み重ねて作製した。断面各部を記号で示すため、正方形断面をY方向に端から $Y_1 \sim Y_{22}$ 、Z方向に端から $Z_1 \sim Z_{17}$ の名称をつける。

この材料を14パス分塊孔型圧延したときの断面変形挙動を Photo. 2 に示す。フランジの先端はロールの孔型に充満していないためフランジ側では素材の正方形がほとんど変化せずに残っている。ただしフランジの先端部ではウェブ方向に引き込まれるような剪断による変形がみられる。一方ウェブ側ではY方向に圧縮、Z方向に引張の変形が起こっている。とくに表面近くではこの傾向が強く、断面積も減少してくることから、この程度の圧

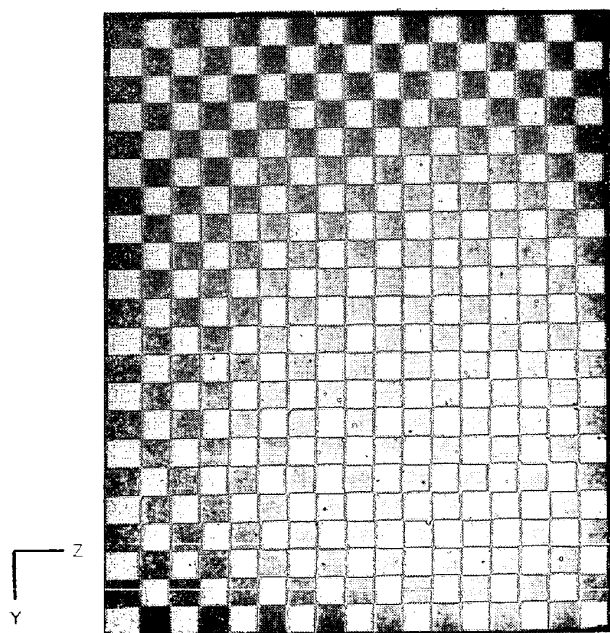


Photo. 1. Pattern in the cross-section of block before blooming.

下では変形がおもにウェブ表面だけで起こっていることがわかる。

ビームブランクまで圧延したときの変形挙動を Photo. 3 に示す。フランジ側ではY、Zの両方向からほぼ等しい圧縮変形を受けて正方形を保つが、ウェブ側ではY方向に圧縮、Z方向に引張の変形が大きくなり長方形となる。圧下により中央部まで変形が行なわれている。このときのY、Z方向の自然対数ひずみ分布を Fig. 5 ~ Fig. 7 に点線で示す。 Y_3 はH形の外表部、 Y_6 は1/4厚さ部、 Y_{11} は中央部をそれぞれ代表する位置である。Zの点は1から6までがフランジ、7から9までがウェブに相当する。外表部から中央部までひずみ分布はいずれも同様な傾向を示す。フランジではY、Z方向ともに圧縮ひずみで、そのひずみ量は同程度である。一般に圧縮加

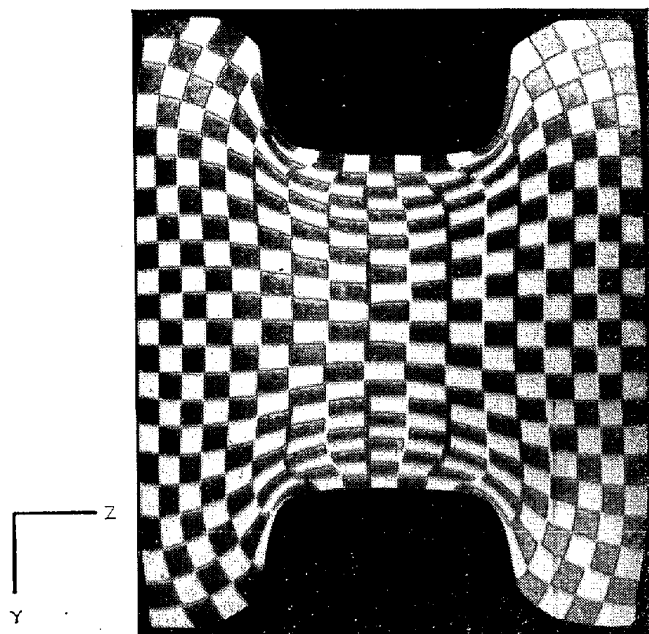


Photo. 2. Flow pattern in the cross section during blooming.

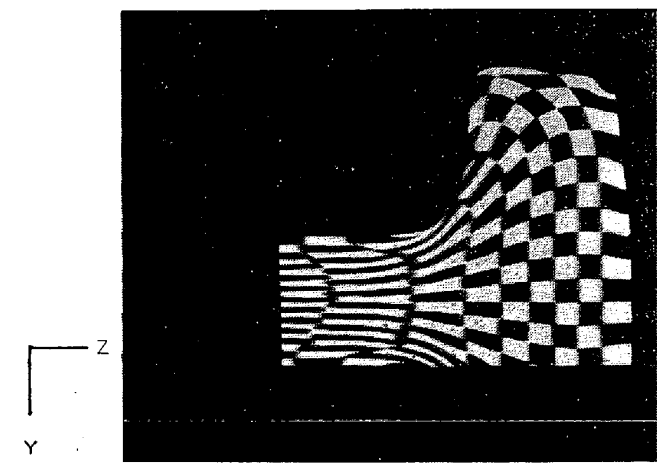


Photo. 3. Flow pattern in the cross-section of beam blank.

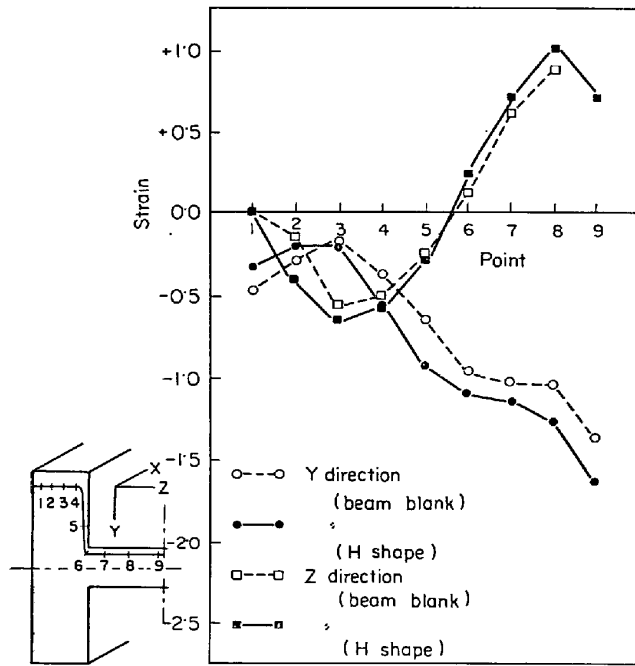


Fig. 5. Natural strain distributions along Y_3 line in cross-sections.

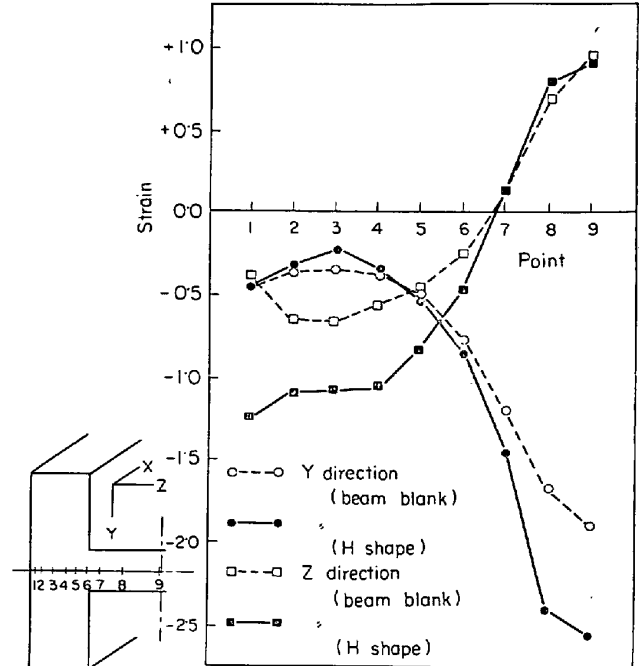


Fig. 7. Natural strain distributions along Y_{11} line in cross-sections.

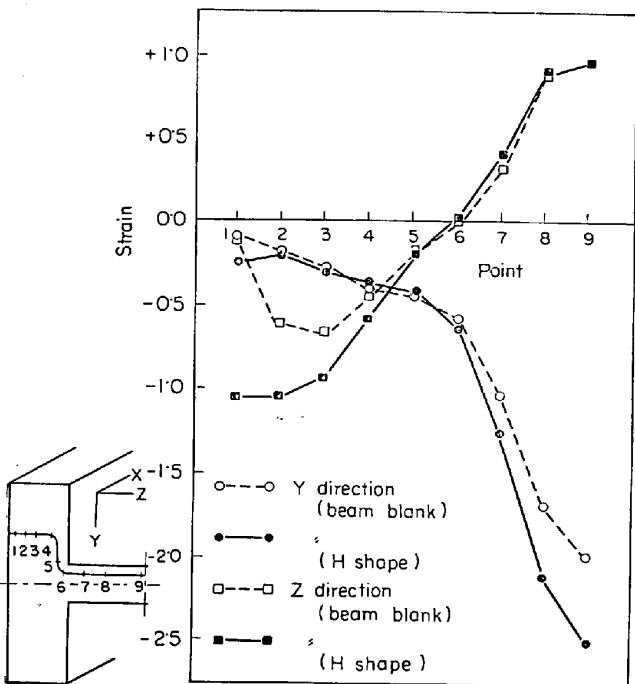


Fig. 6. Natural strain distributions along Y_6 line in cross-sections.

工による変形は厚さ方向のひずみは負、幅方向のひずみは正になるのが普通である。ところがフランジ側ではY、Z方向ともに負である。一方ウェブではY方向に大きな圧縮、Z方向に引張の変形を示す⁴⁾。フランジ側の傾向とウェブ側の傾向を示す境界の位置はフランジとウェブの交叉部より若干フランジ側に入った位置 (Zの4

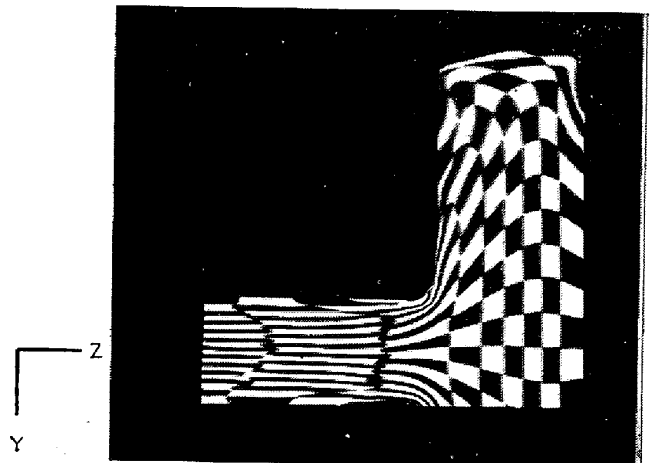


Photo. 4. Flow pattern in the cross-section of H shape.

から6の間)である。この位置は外表部から中央部までほとんど変化しない。

ビームブランクをユニバーサルロールによつてH形にまで圧延したときの断面変形挙動を Photo. 4 に示す。フランジの先端部および水平ロールが当たる近傍は強い剪断変形を示すが、変形挙動はビームブランクのときのそれと類似している。このときのひずみ分布を Fig. 5 ~ Fig. 7 に実線で示す。実線と点線との差がユニバーサルロールで圧延したときのひずみになる。フランジ側ではY方向にはほとんど変化しないが、Z方向に圧縮ひずみ加わる。すなわちH形になつたときフランジ側ではZ方向が鋼板の板厚方向と対応する。一方ウェブではY

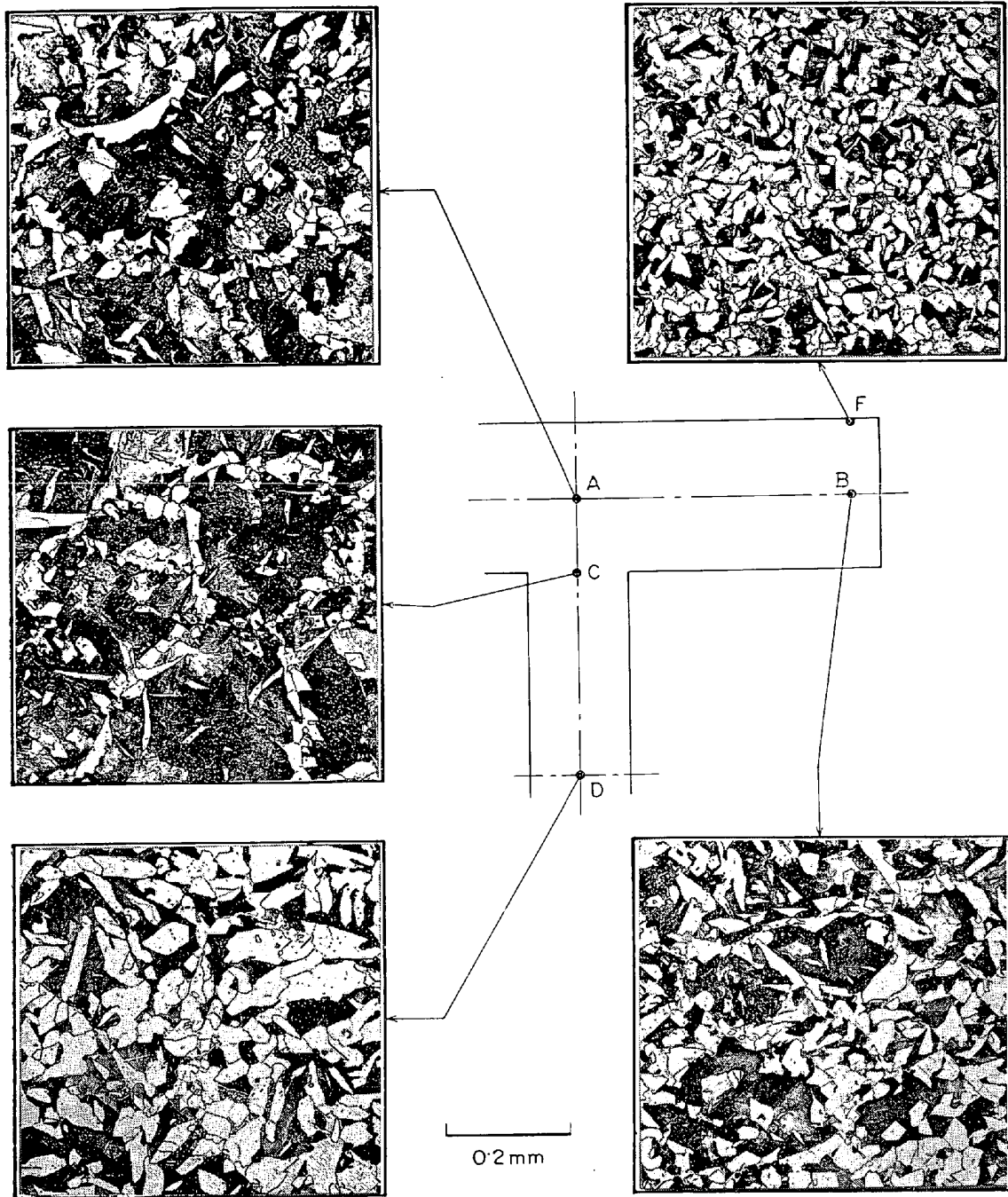


Photo. 5. Micro-structures in each position (As rolled).

方向にのみ圧縮ひずみ加わる。そこでウェブ側ではY方向が板厚方向となる。フランジとウェブの交叉部より若干フランジ側に入った位置でY, Z方向のひずみがほぼ等しくなる。

4.2 顕微鏡組織

超極厚H形鋼の圧延のままの断面顕微鏡組織をPhoto. 5に、これを890°Cで250min焼ならししたときの組織をPhoto. 6に示す。圧延のままの組織は一般に結晶粒が粗く、表面部と内部の差が大きい。通常、結晶粒は変形量や冷却速度に影響されるといわれている。フラン

ジの先端部では剪断による変形も加わり、また冷却もはやいと思われるので結晶粒は他の位置より細くなる。それがF, Bの位置の組織で示される。フランジの中央部では変形量も少なく、冷却も比較のおそいため結晶粒が粗くなっている。これがA, Cの位置の組織で示される。なおA, Cの位置での組織中にウィッドマンステッテン状の組織がみられる。ウェブ中心Dでは変形量は他の部分に比較して大きい、冷却は比較のおそいため結晶粒はFの位置ほど細くない。これを焼ならししたとき、Photo. 6に示すごとく結晶粒は非常に微細化され

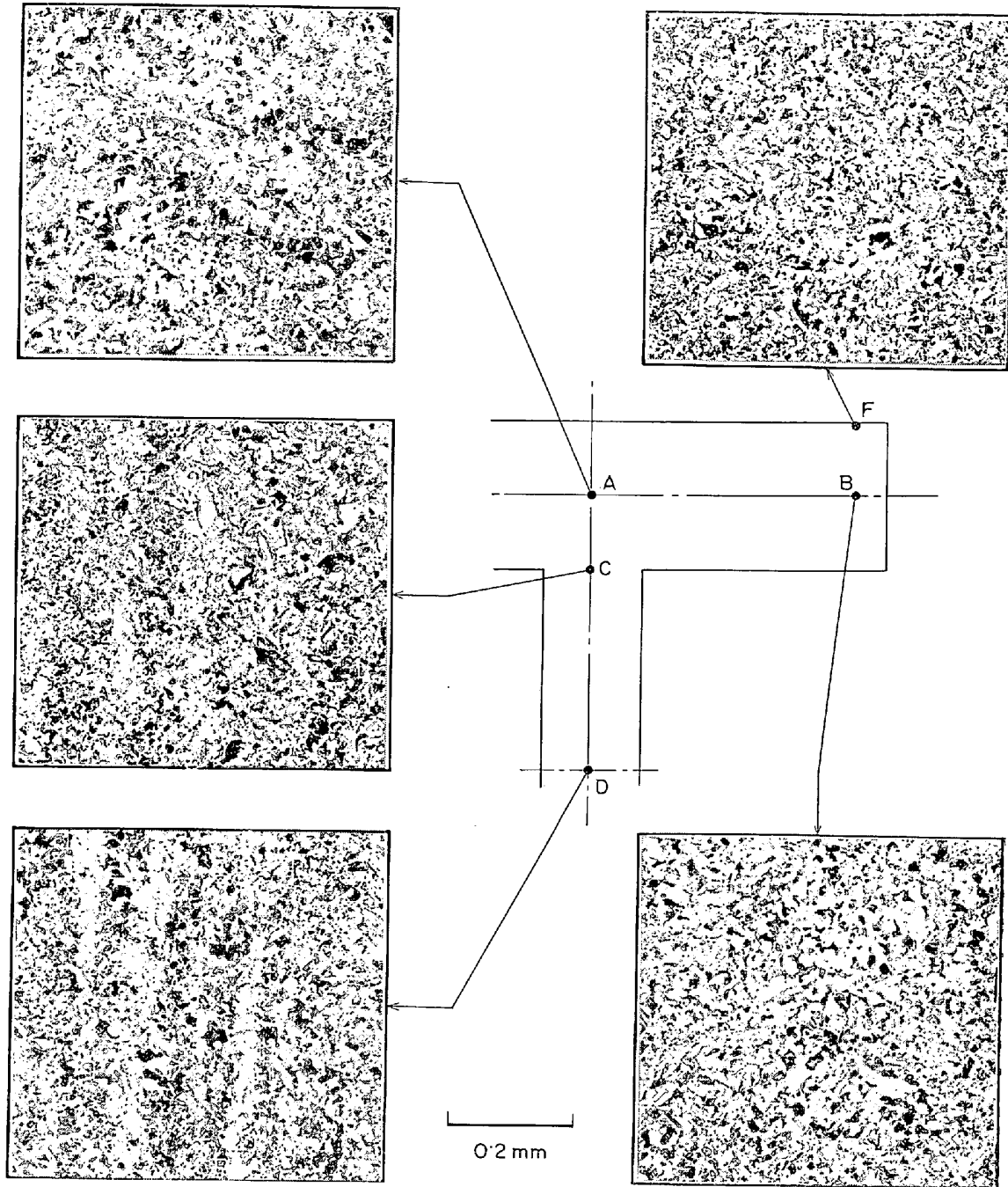


Photo. 6. Micro structures in each position (As normalized).

る。圧延のままでは断面の位置により組織はかなり異なっているが、焼ならしすると外表部であろうと内部であろうと断面各部で相違はほとんどなくなる。なお焼ならしすると圧延時の変形挙動と一致する方向に帯状組織が観察される。とくにD, Cの位置では明確に帯状に重なった組織がみられる。

実際の変形挙動を見るために、特にごく一部にたまたま存在する細長く伸びたA系介在物を観察した。その写真をPhoto. 7に示す。フランジではY方向、ウェブではZ方向に介在物が長く伸びている。フランジに比較して

ウェブの介在物の方が細長く伸び、とくにAの位置ではY方向には伸びているがまだ丸味をのこしている。介在物の形状はPhoto. 4に示したプラスティシンの変形挙動とよく一致している。

4.3 引張試験

圧延のまま、および焼ならしを行なった場合のH形鋼断面各部における3方向の引張試験結果をFig. 8に示す。引張強さ、降伏点は位置によってもまた方向によってもほとんど差が見られない。ただしDの位置のY方向の引張強さの値が他より少し低いのは最大荷重が加わる

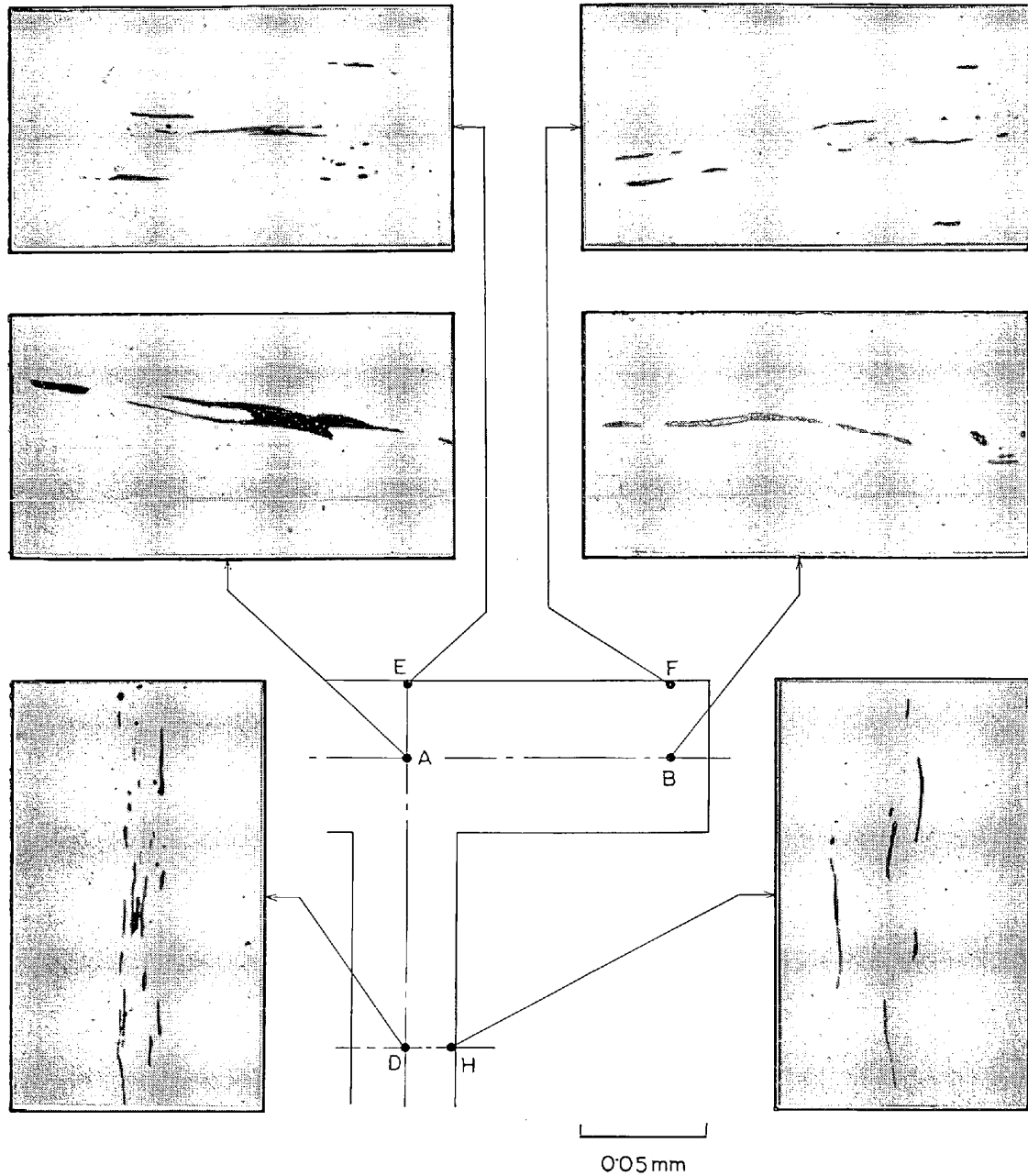


Photo. 7. Non metallic inclusions in each position.

前に破断したためである。伸びを見ると、X方向についてはどの位置でもほぼ等しい値を示す。しかしC, D, Hで代表されるウェブ側ではX, Z, Y方向の順に低い値となる。またE, F, I, J, K, Gで代表されるフランジ側ではX, Y, Z方向の順に低い値となる。これは前記プラスティシンの模型圧延によりフランジ側で方向、ウェブ側でY方向が鋼板での板厚方向になるということとよく一致している。圧延のままに比較して焼ならしすると降伏点、引張強さはわずかに減少しているが、伸びはかなり増加する。伸びの値の増加は断面各部において3方向ともほぼ同じである。

4.4 シャルピー衝撃試験

AからLまで断面各部で、シャルピー衝撃試験を行ない、吸収エネルギー、延性破面率をしらべた。なおLはIと同じ位置でJISに規定された方向にノッチをつけたものである。その代表的な図を Fig. 9~Fig. 15 に示す。0°Cの温度で比較すると吸収エネルギーは位置によって異なっている。とくにX方向についても位置によって差が生じている。C, Dなどのウェブ中心側で、3方向とも低い値を示すが、H, F, Iなどの表面層では比較的高い値を示す。方向による差は伸びの場合と同様に鋼板での板厚方向が比較的低い値となる。焼ならしを行な

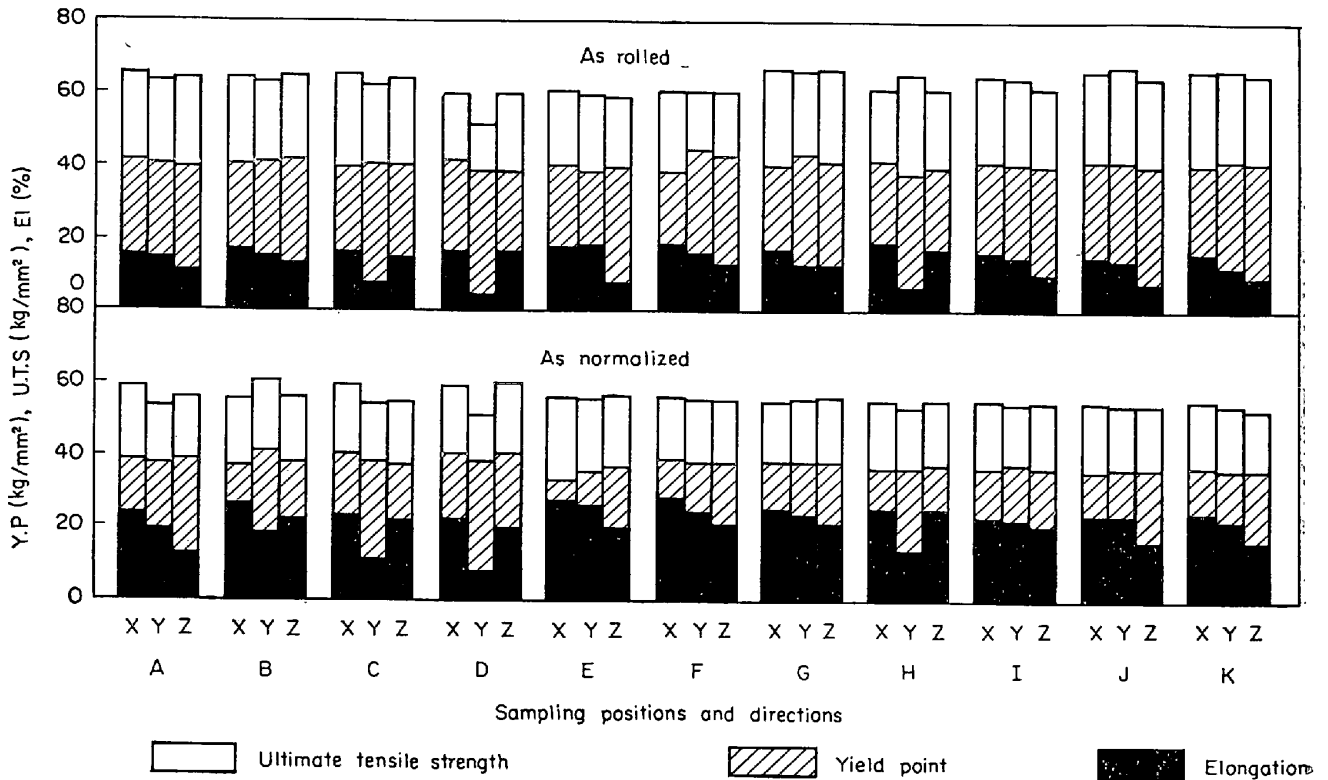


Fig. 8. Results of tensile tests for H shape.

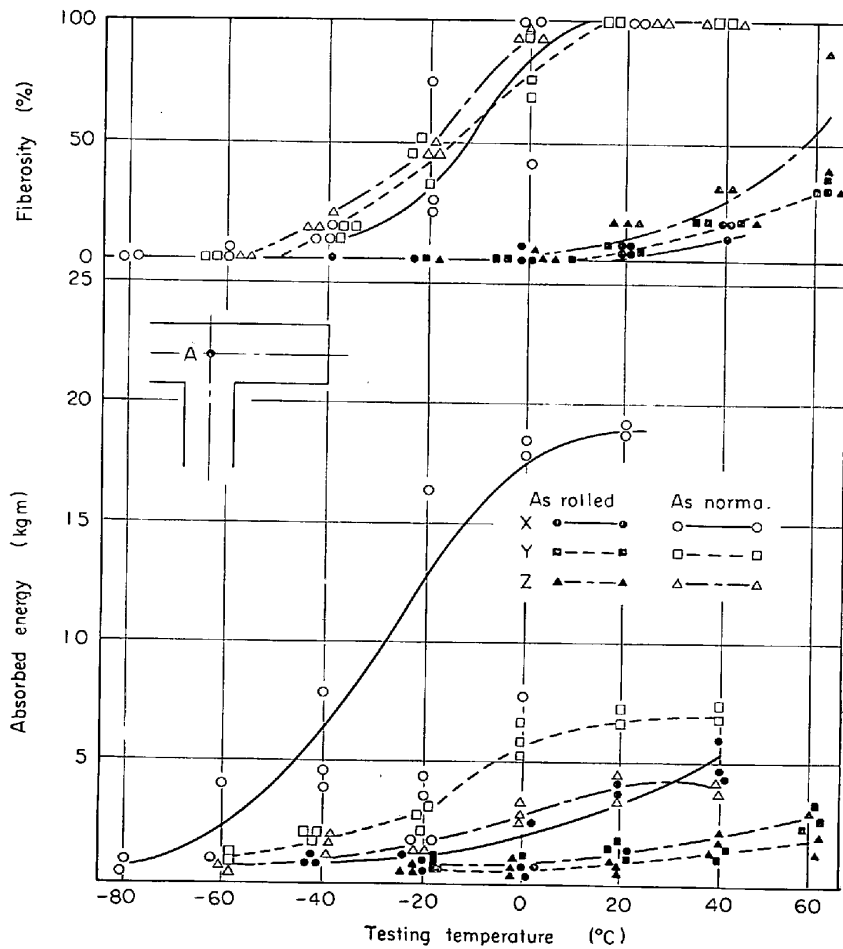


Fig. 9. Results of charpy tests(Position-A).

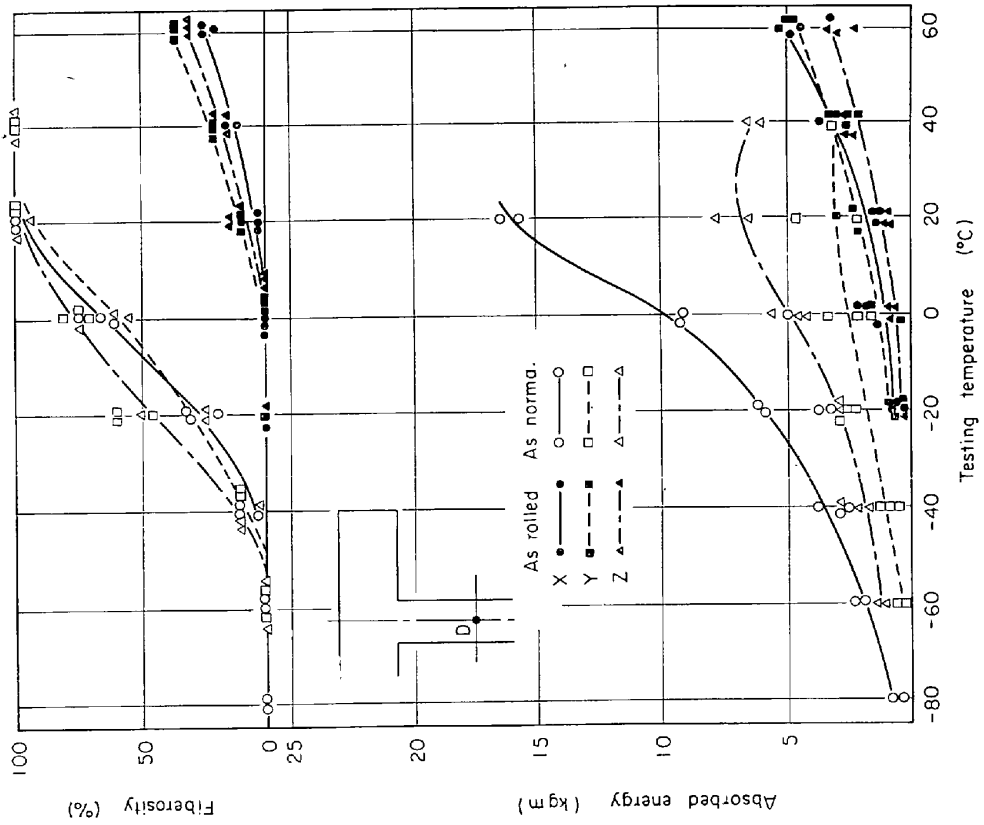


Fig. 11. Results of charpy tests (Position D).

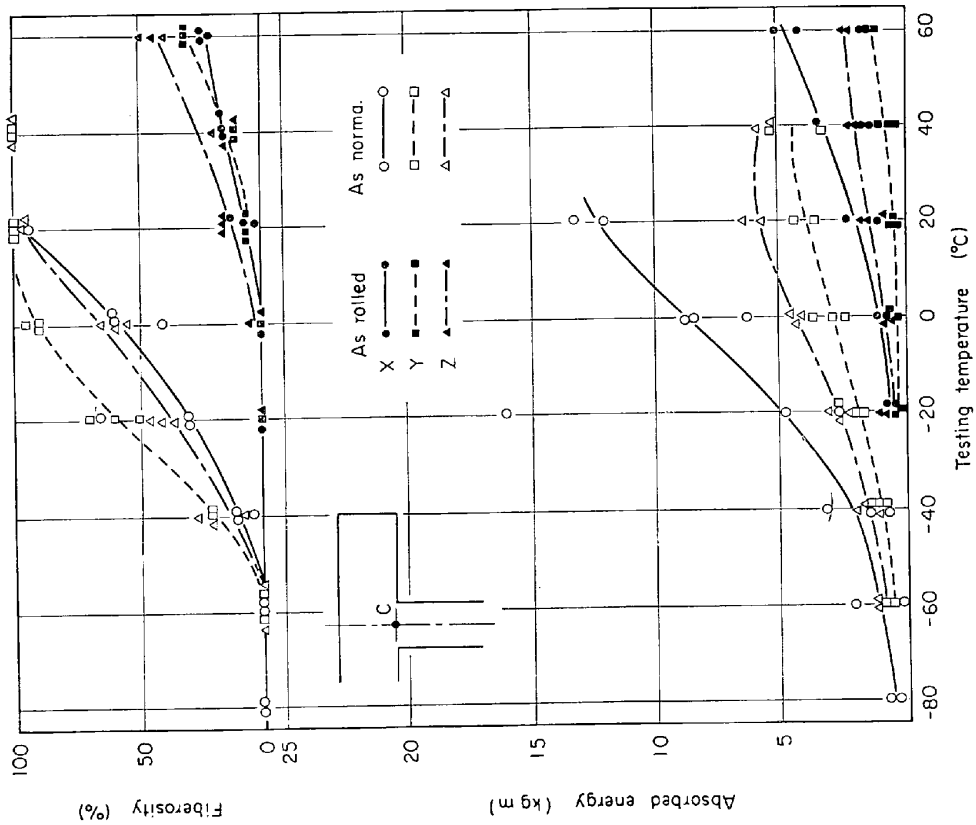


Fig. 10. Results of charpy tests (Position C).

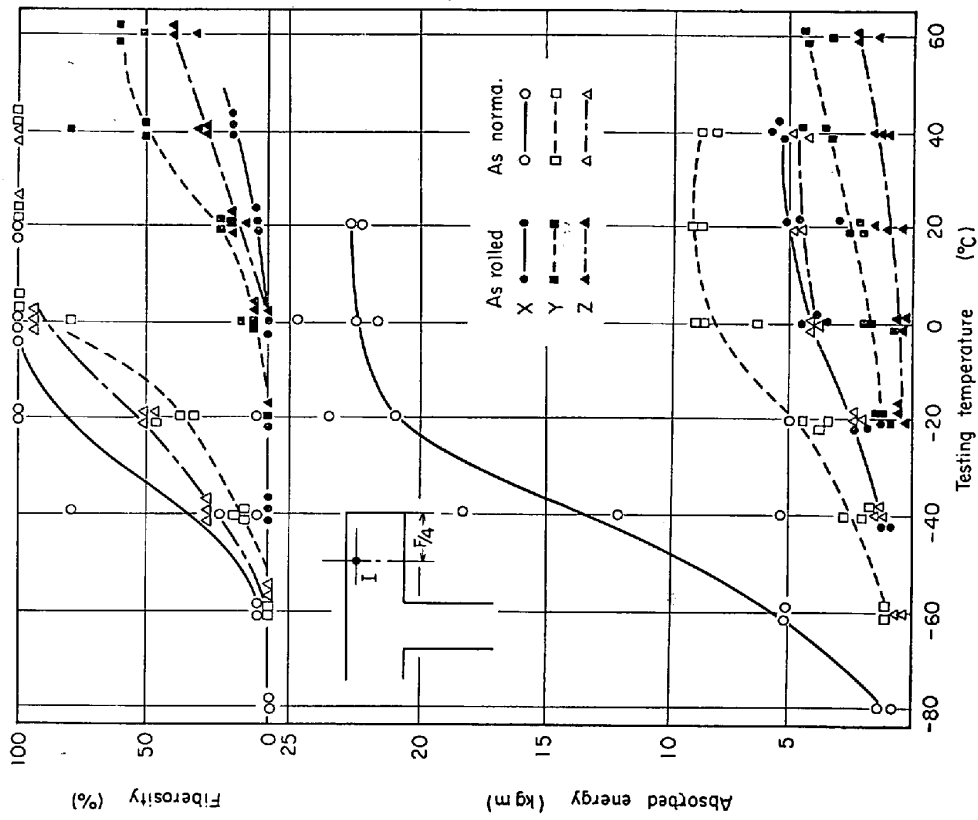


Fig. 13. Results of charpy tests (Position I).

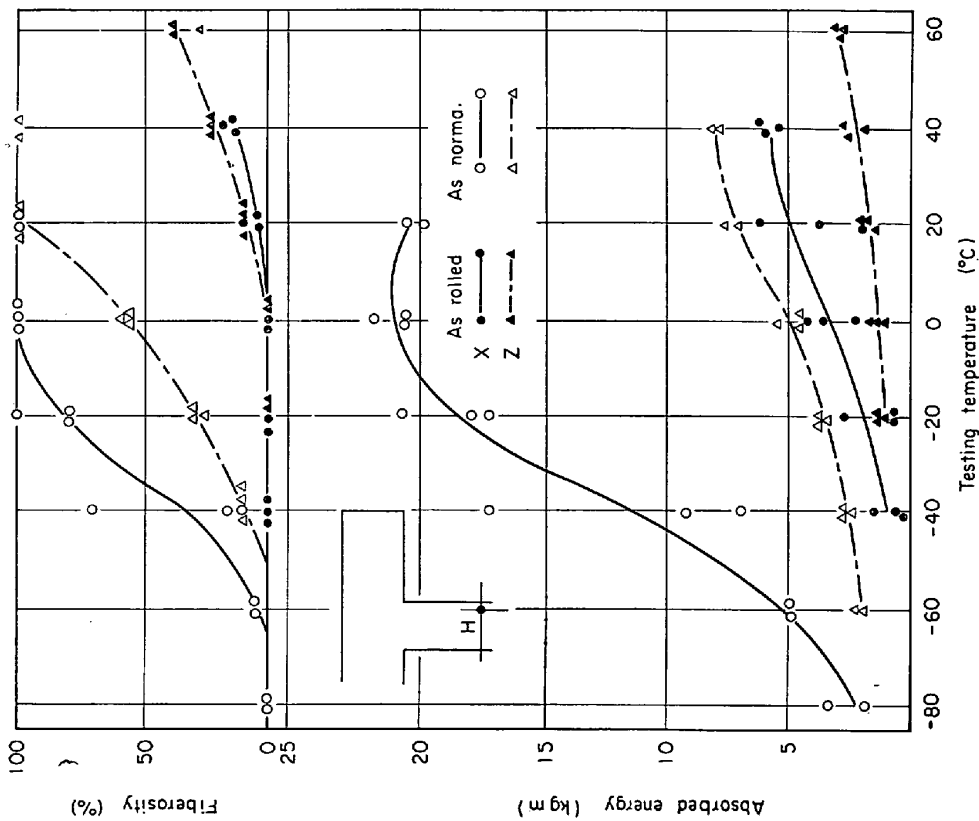


Fig. 12. Results of charpy tests (Position H).

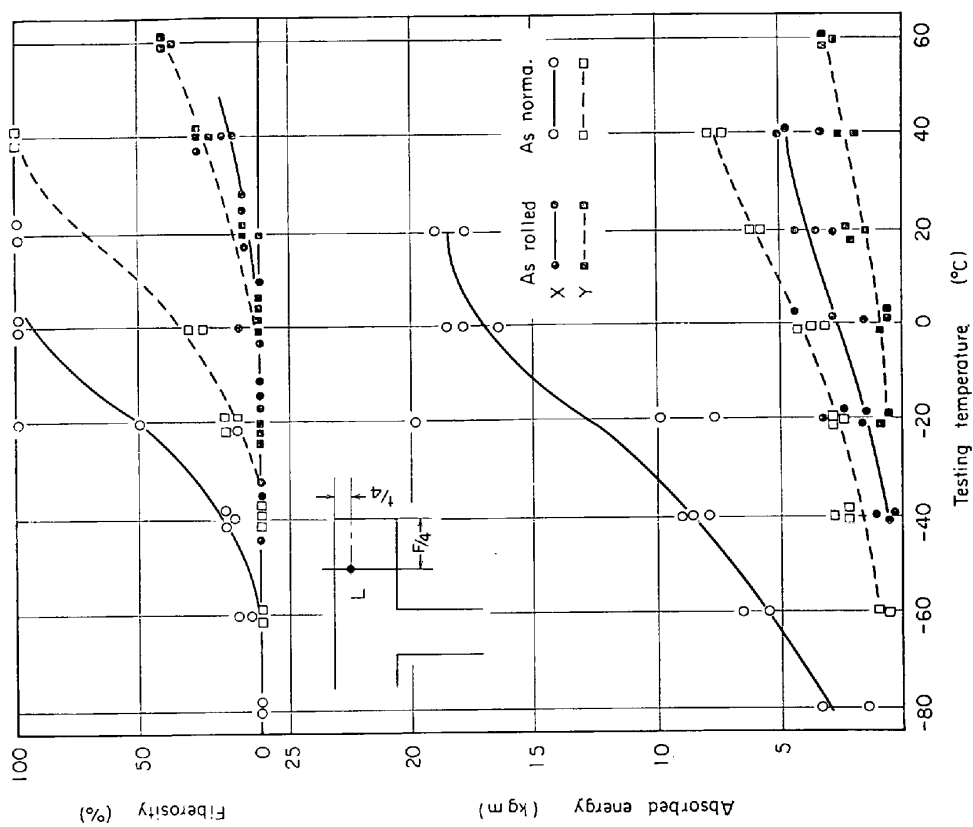


Fig. 15. Results of charpy tests (Position L).

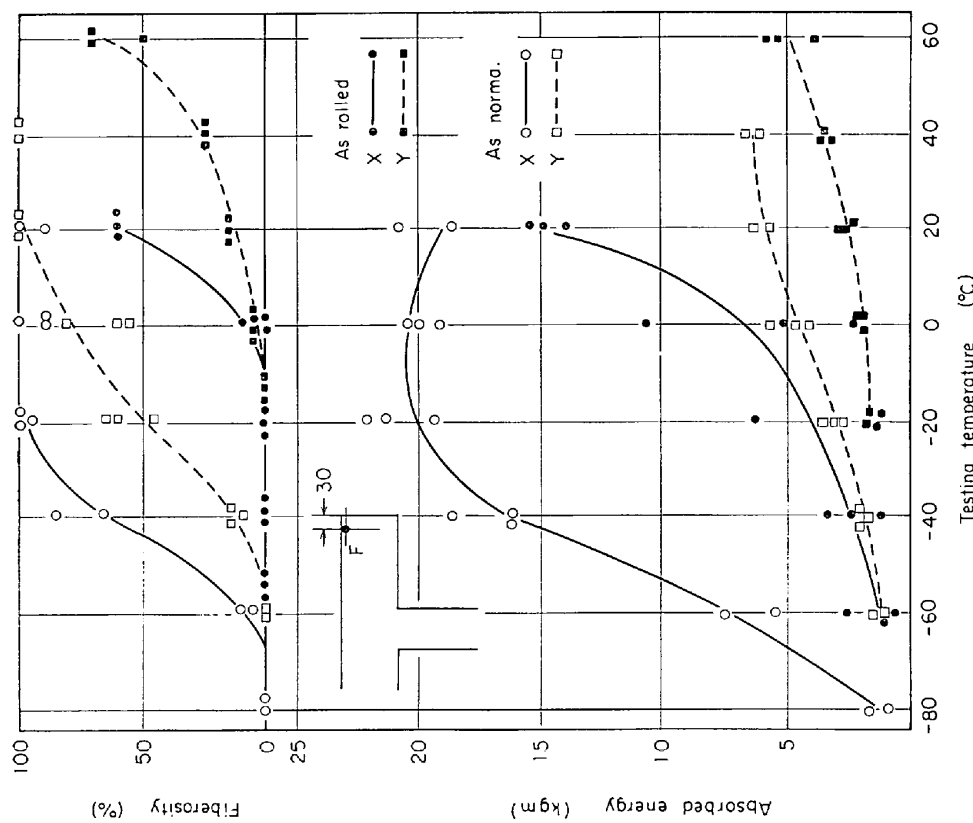


Fig. 14. Results of charpy tests (Position F).

うと絶対値は著しく向上する。vEo で比較するとX方向で約 5~7 倍, Y, Z方向で約 2~5 倍となる。vTrsで比較しても上記の関係は成立する。C点は焼ならしを行なった後でもやはり他の位置に比べてあまりよくない。

5. 考 察

超極厚H形鋼断面各部の材質の差は大きく分けて、① 圧延時の変形量, ②熱的な履歴, の2つのことが相違しているためと考えられる。この原因のうち圧延時の変形量という観点から材質の差ということを追求めた。圧延時の変形量を詳細に調べるためプラスティシンを模型圧延したところ, Photo. 4 に示す変形挙動を示した。この変形挙動はH形鋼の断面のサルファープリント, マクロ組織, 帯状組織および介在物の分布から予想される圧延時の変形の様子とよく一致する。Fig. 5~Fig. 7にこのひずみ分布を示す。すなわちビームブランクのときでH形製品のときの変形挙動の大略が決定されるがユニバーサル圧延によりウェブでは水平ロールによりY方向, フランジでは垂直ロールによりZ方向に圧縮ひずみが増加する。したがってウェブではY方向, フランジではZ方向が板の圧延時の板厚方向とみなせる。

Fig. 16, Fig. 17 に圧延のまま, 焼ならししたときのマイクロ引張試験でえられた伸びの値と, プラスティシンの模型圧延によつて求めた変形量との関係を示す。この変形量および伸びの値は各位置で板厚方向と考えられる方向の値である。均一伸び, 局部伸びの値は圧延のままでも焼ならししたときでも, 圧下量が大きくなるにつれてほぼ直線的に減少する。また各位置のX方向の伸びの値はいずれもほぼ等しいことから超極厚H形鋼断面各部の伸びの値は熱的な履歴よりも圧延時の変形量に支配されるのであろう。圧延時の圧下の加わり方によつて鋼の中では種々の伸びに影響を与える因子が方向性をもつてくるが, 圧延のままでも焼ならしを行なつても伸びの値と圧下量との関係にはほぼ変化がないということから伸びの値には介在物および帯状組織が多かれ少なかれ影響していると思われる。本材料中にはごくわずかであるがアルミナ系とアンガンシリケート系の2種類の介在物がある。圧延によつてマンガンシリケート系は板状になるが, アルミナ系は細かく分割される。引張試験での伸びは板状のマンガンシリケート系の介在物が局部収縮を阻止するため伸びの減少をもたらすのであろう。

焼ならしを行なつたとき, 伸びの値がかなり増加するのは結晶粒の微細化のためと考える。圧延時の温度は1200°C以上の高温に熱せられているので, AlNのような析出物はすべて溶解されている。このAlNは冷却途中

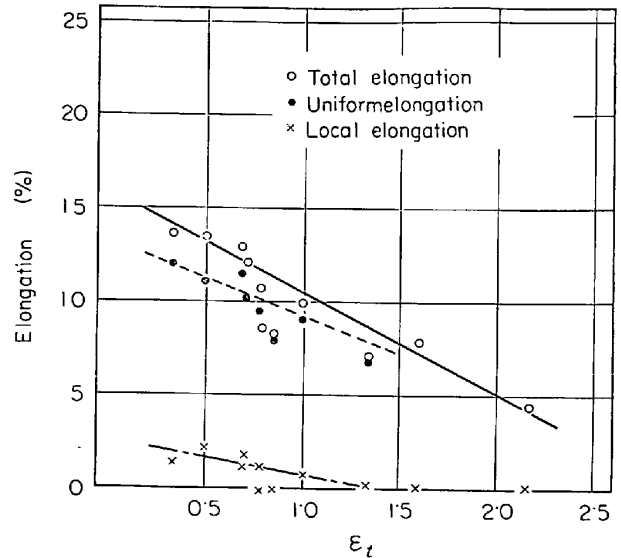


Fig. 16. Relations of natural strains in the thick-direction [ϵ_t] and three kinds of elongation in the thick-direction (As rolled).

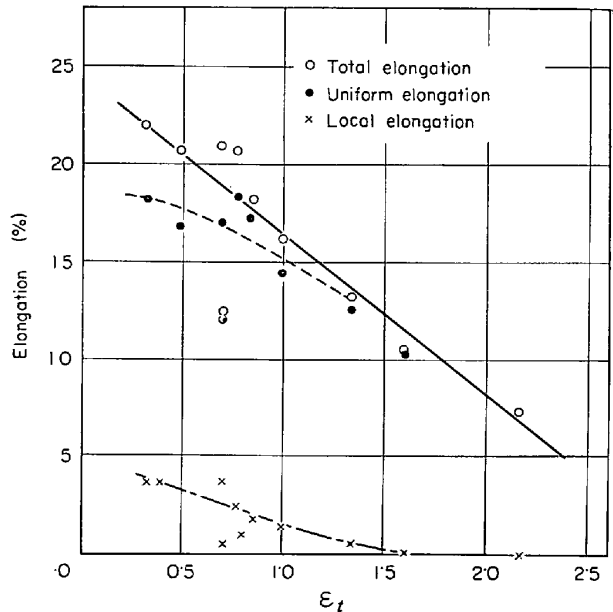


Fig. 17. Relations of natural strains in the thick-direction [ϵ_t] and three kinds of elongation in the thick-direction (As normalized).

で析出するが, あまり結晶粒粗大化の防止の役に立たない。一方焼ならしは 890°C の加熱であるので, 析出した AlN は未溶解で残り Photo. 6 に示すように結晶粒の粗大化を防るのであろう。

シャルピー衝撃試験の吸収エネルギーは組織によつて非常に値が変わることは周知のとおりである^{5)~7)}。X方向の変形量はどの位置でも等しいのにかかわらず, 吸収

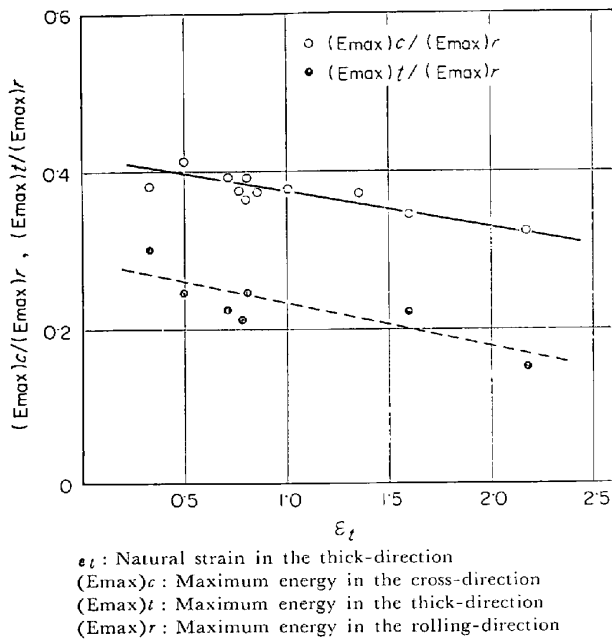


Fig. 18. Relations of $[\epsilon_t]$ and $[(E_{\max})_c / (E_{\max})_r]$, $[(E_{\max})_t / (E_{\max})_r]$ respectively for normalized H shapes.

エネルギーの値は位置によつて大きく異なる。H形鋼の外表部近くが比較的高い値、中心部とくにウィッドマンステッテン状の組織を示すA、Cの位置が低い値を示す。断面各部の組織は圧延時の変形量と熱的な履歴によつて決まるが、シャルピー試験値には圧延時の熱履歴の影響を強くうけているものと考えられる。焼ならしを行なうことによつて組織が非常に微細化され、そのために吸収エネルギーが飛躍的に向上している。一方、方向による差は圧延のままより一層顕著になつている。圧延のままでは帯状組織が観察されなかつた位置でも焼ならしを行なうと、帯状組織が観察される。この帯状組織が方向による差を顕著にしているのであろう。

Fig. 18に厚み方向の変形量と、圧延と直角方向および厚み方向に対する圧延方向の最大吸収エネルギー値の比との関係を示す。同じ位置で、この比をとることにより断面各部の熱履歴による影響を消去することができる。この図によると、変形量が増すにしたがつておのおのの比は減少する。すなわち変形量が増すにしたがつて方向性が顕著になる。一方シャルピー衝撃値はノッチの

方向によつて、その値も異なる。たとえばFig. 13の値とFig. 15の値とを比較してみると、同じ位置でありながらノッチの方向が 90° 変わることによつて $vTrs$ が約 20°C 変わる。Fig. 18の値の中で $(E_{\max})_c / (E_{\max})_r$ と $(E_{\max})_t / (E_{\max})_r$ の値が異なるのはノッチの方向による差である。

6. ま と め

超極厚H形鋼断面各部の材質の差を調査し、その差の由来を圧延時の変形量の差ということから追求したところ次のことが判明した。

(1) プラスティシンの変形挙動は介在物の分布、マクロ組織、サルファープリントなどから予想される鋼の変形挙動とよく一致した。このプラスティシンを用いて断面各部の圧延時のひずみ分布を求めることができる。

(2) 降伏点、引張強さは断面各部で、また方向によつて差が認められないが、伸びは位置や方向によつて異なつている。この伸びの値と圧延時のひずみとは比例関係にあり、ひずみが高いところほど伸びの値が低くなる。焼なましすると絶対値は向上するが、この傾向は変化しない。すなわち伸びの値は介在物および帯状組織が影響しているのであろう。

(3) シャルピー衝撃試験の吸収エネルギーはH形鋼の表面層では比較的高い値を示し、内部では低い値を示す。この傾向は圧延時の変形量だけからは説明できず、熱的な履歴による影響が大きいと思われる。

以上超極厚H形鋼断面各部の材質試験結果を報告したが、ビルディングなどの設計にさいしてこの値を十分活用されることを心から希望するしだいである。

文 献

- 1) A. P. GREEN: Phil. Mag., 42 (1951) p. 327
- 2) 栗野泰吉, 落合正男: 名古屋工業技術試験所報告 6 (1957), p. 10
- 3) 栗野泰吉: 塑性と加工, 1 (1960), p. 203
- 4) 柳本左門: //, 5 (1964), p. 787
- 5) M. ENDRLE: Neue Hütte, 13 (1968), p. 218
- 6) 中西昭一: 鉄と鋼, 42 (1956), p. 837
- 7) 中西昭一: 鉄と鋼, 43 (1957), p. 359