

# 仮設構造物用挟締金具の強度解析

平沢 秀直\*・歌代 宏\*<sup>2</sup>・正井 康雄\*・長塚 修\*

Analysis of Clamp Strength for Temporary Structures

Hidenao Hirasawa, Hiroshi Utashiro, Yasuo Masai, Osamu Nagatsuka

**Synopsis :** We have been investigating materials, designs and structures of customer's products in partnership with them to meet the requirement, quickly and exactly.

For example, we verified safety of the clamps by four methods, ① choice of the adequate materials, ② the theoretical calculation of displacement and stress, ③ the actual tensile test, ④ FEM to finely examine the stress distribution and deformation.

These results suggested us the method to improve the strength of the customer's products.

**Key words :** temporary structures; clamp; theoretical calculation; FEM; actual tensile test.

## 1. 緒言

当社は鋼材の需要家のニーズに迅速かつ的確に対応し、需要家の求める鋼材を適切に選択、または新たに開発するため、需要家の製品の開発段階から積極的にコンタクトし、共同で材料の選定および構造、そして形状等の検討を行っている。

その一例として、今回仮設構造物用挟締金具について材料比較、モデルによる強度計算、FEMによる強度計算、および強度解析に基づく形状改善検討を行なったので報告する。

## 2. 仮設構造物用挟締金具の概略

従来、土木・建築工事に設置される仮設構造物の接合部の締結には、ボルト締めや溶接による方法がとられてきた。しかし、これらの方法では締結に多大の労働力を要すること、部材の再使用が不可能なことおよび支柱の位置のズレや回転等に対応するのが難しいこと等のため、大規模な構造物には不適とみられるようになった。

そこで、ボルトによる接合のための孔開けや溶接を一切必要としない締結方法としてFig.1に示すような金具を用いた締結方式が最近多く採用されるようになった<sup>1)</sup>。Fig.2にその使用例を示す。

この挟締金具は仮設構造物の安全性に大いに関係する部品であるので、その強度については十分なる信頼性が要求される。

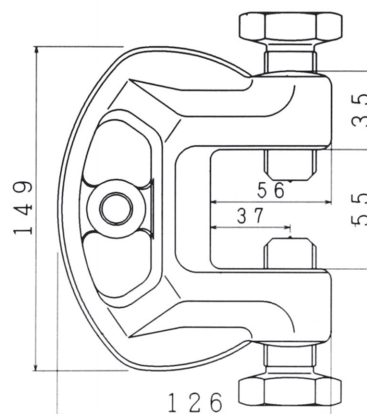


Fig.1 Shape of the conventional clamp.

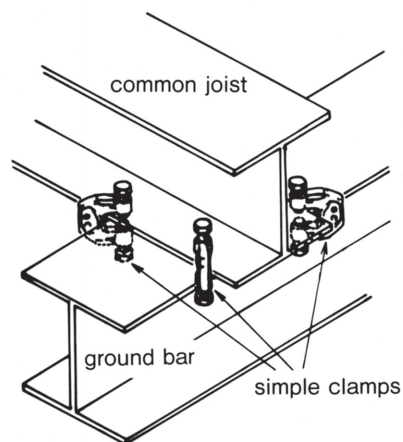


Fig.2 Example of clamps used in construct structures.

\* 生産本部設備部

\* 2 ブルマン販売株式会社 (東京都千代田区内神田1-11-10)

### 3. 材質の検討

挟締金具の軽量化、強度アップ、そしてコストダウンを目標とし、材質検討を行なった。

Table 1 Mechanical property of each material.

Sort of steels	Yield strength (N/mm <sup>2</sup> )	Tensile strength (N/mm <sup>2</sup> )	Elongation (%)
Material A : Microalloyed	765	1167	10.2
Material B : Microalloyed	628	922	22.6
S45C : Hardened	628	794	23.6

検討には従来の材質であるS45C焼入焼戻し鋼および自動車等の機械要素に使用される高強度非調質鋼材料Aおよび材料Bの3種類を用いた。(Table 1)

実験として、Fig. 3に示す試験法により行なった。

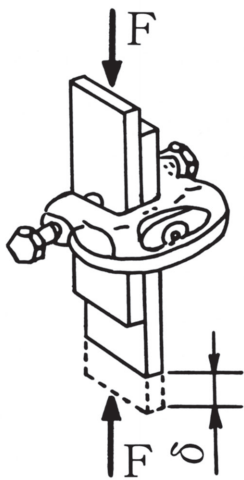


Fig.3 Method of compressive test.

この試験方法では試験用平板間の摩擦力のため厳密には荷重Fの全量が挟締金具に伝わるわけではない(ボルトが平板に食い込むためボルト接触面でのすべりはないが、平板間では大きなすべりが発生した)が、みかけの荷重Fと変位量δの関係を図4に示す。

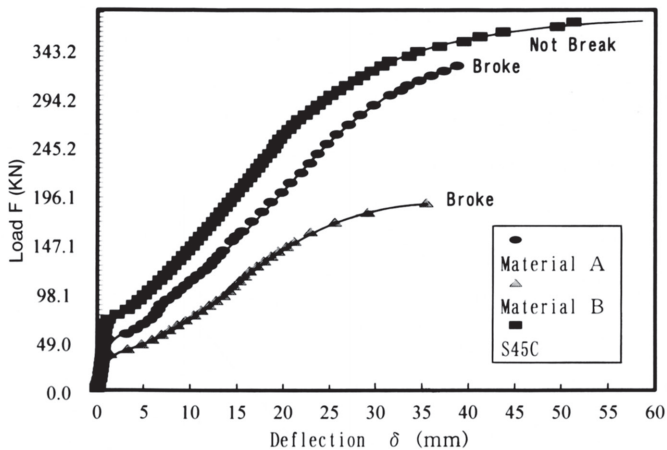


Fig.4 Results of compressive test.

Fig. 4から材料A、材料BはS45Cに比べ小さな変位量δで破断することがわかる。また、破断面は典型的な脆性破面であった。

このことから、本挟締金具に用いる材質には単に強度のみではなく、脆性破壊をしないような伸びが必要である(強度と伸びのバランスが良い)ことがわかる。即ち挟締金具は脆性的に破壊すると、安全上非常に危険であるので、例えば鋳鉄のように伸びの少ない脆性材料は使用できない。

### 4. 強度解析

実際の使用条件では挟締金具にねじれの荷重が働いているが、本報ではモデル解析のしやすい引張荷重の場合のみを採り上げ、解析を行った。

#### 4・1 モデルによる強度計算

##### 4・1・1 モデルの設定

強度計算を行なうため、Fig. 5のようなモデルを設定し、断面A、B、CおよびDの応力を計算した。この時、曲げモーメントおよび各断面の応力は以下の式で表わされる。

$$M = P l \quad \dots (1)$$

$$\sigma = \frac{P}{A} \pm \frac{M}{Z} \quad \dots (2)$$

P : ボルト締結時の反力 (N)

A : 断面積 (mm<sup>2</sup>)

l : Pの作用点から当該断面中立軸までの距離 (mm)

M : 当該断面の曲げモーメント (N・mm)

Z : 当該断面の断面係数 (mm<sup>3</sup>)

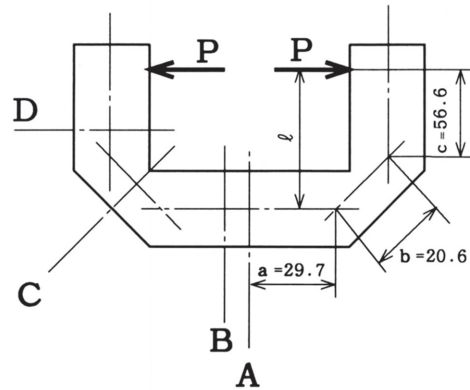


Fig.5 Calculation model of tensile stress.

##### 4・1・2 各断面性能の計算

各断面の断面性能を図6に示す。

I<sub>x</sub> : X軸に関する断面2次モーメント

I<sub>y</sub> : Y軸に関する断面2次モーメント

A : 断面積, Z<sub>1</sub>, Z<sub>2</sub> : 断面係数

##### 4・1・3 各断面の応力計算結果

Fig. 3の各断面に生じる引張応力を計算するとTable 2のような結果となった。

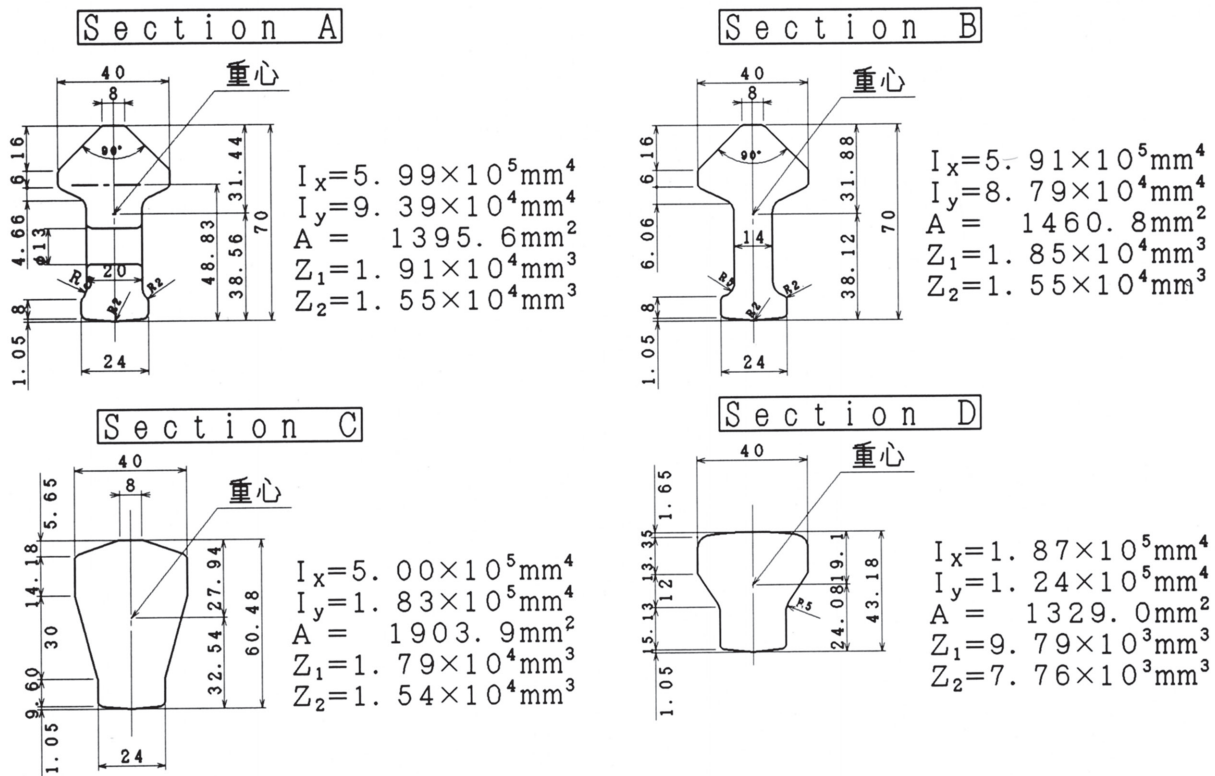


Fig.6 Characteristics of the clamp in each section.

Table 2 Calculation results of tensile stress.

Condition of load	Section	Maximum tensile stress (N/mm <sup>2</sup> )
P=58,840N (P=6,000kgf, at designated torque to wrench the bolts is 30kgf·m)	A	253.0
	B	258.9
	C	222.6
	D	222.6

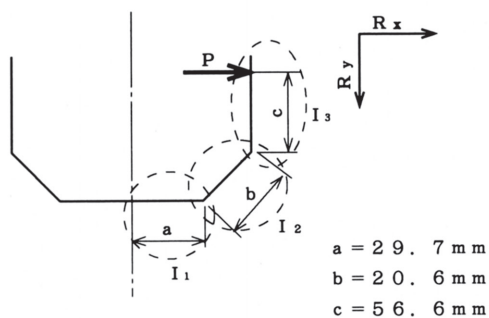


Fig.7 Calculation model of deflection.

#### 4・1・4 応力値の考察

Table 2の結果を見ると最弱断面はB断面で、その応力値は258.9N/mm<sup>2</sup>となっており、この値はS45Cの降伏点に対し十分安全な値である。

#### 4・1・5 締結時の反力Pによる変位量の計算

Fig. 7に示す曲り梁のモデルで考える。

挟締金具は左右対称形なので、Fig. 7のように2分割し、さらにその1つをa, bおよびcの3節に分割して変位量を算出した。

荷重方向の変位をRx、荷重と垂直方向の変位をRyとすると、RxおよびRyは式①および②のように求められる。

$$R_x = \frac{P}{E} \left\{ \frac{1}{I_1} \left( c + \frac{\sqrt{2}}{2} b \right)^2 a + \frac{1}{I_2} b \left( \frac{\sqrt{2}}{2} bc + c^2 + \frac{b^2}{6} \right) + \frac{1}{3I_3} c^3 \right\} \quad \dots \textcircled{1}$$

$$R_y = \frac{P}{E} \left\{ \frac{1}{2I_1} a \left( ca + \frac{\sqrt{2}}{2} ba + \sqrt{2} bc + b^2 \right) + \frac{\sqrt{2}}{2I_2} \left( \frac{\sqrt{2}}{6} b + \frac{1}{2} c \right) b^2 \right\} \quad \dots \textcircled{2}$$

P：締結力 P=58,840 (N) (6,000kgf)

I<sub>1</sub>：断面Aの断面2次モーメント I<sub>1</sub>=5.99×10<sup>5</sup> (mm<sup>4</sup>)

I<sub>2</sub>：断面Cの断面2次モーメント I<sub>2</sub>=5.00×10<sup>5</sup> (mm<sup>4</sup>)

I<sub>3</sub>：断面Dの断面2次モーメント I<sub>3</sub>=1.87×10<sup>5</sup> (mm<sup>4</sup>)

E：ヤング率 E=2.06×10<sup>5</sup> (N/mm<sup>2</sup>)

ここで、式①および②に各値を与えて変位量δを計算すると、Rx=0.212mm, Ry=0.0353mm(後述の引張試験における標点間距離に換算すると0.42mm)と求まった。

#### 4・2 FEMによる解析

前述のモデル計算に対し、解析の精度を向上させるためにRasna社の“Applied Structure”によるFEM解析を行なった。

##### 4・2・1 境界条件

FEM解析を行なうにあたり、境界条件をFig. 8のように設定し、また引張荷重Pは前記と同様58,840N(6,000kgf)とした。

##### 4・2・2 引張荷重による変形挙動

Fig. 8に挟締金具の変形挙動解析結果を示す。

赤線部が無負荷時の形状を、青線部が負荷時の形状を表している。この結果を後述の引張試験結果と比較検討するため、荷重方向の変位量を標点間距離に換算すると0.49mmになる。

# 境界条件

引張荷重P時： $X=0, TransX=0$

ねじり荷重W時： $X=0, TransX=0$

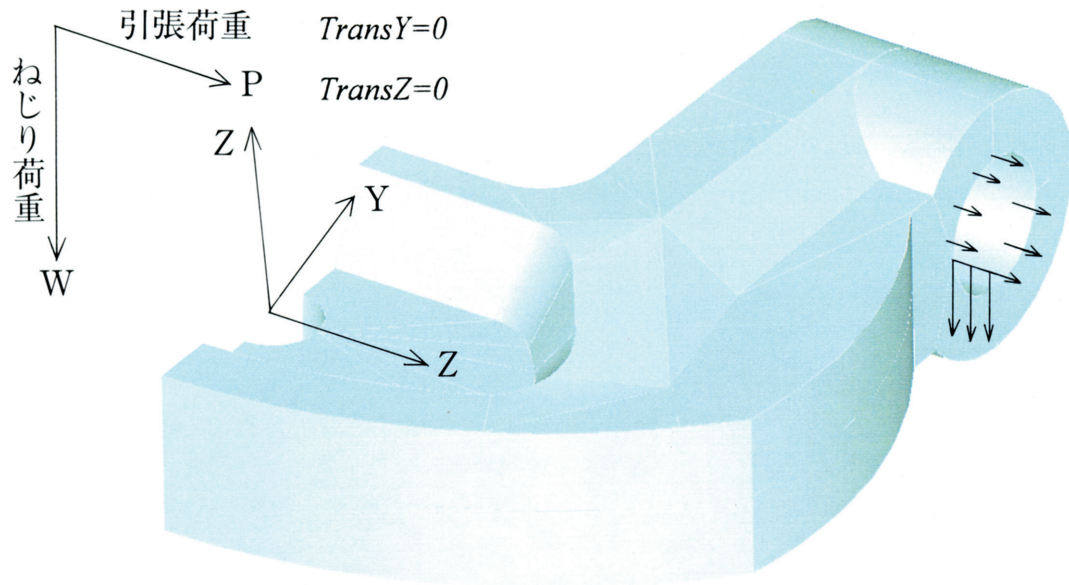


Fig.8 The boundary conditions of FEM analysis.

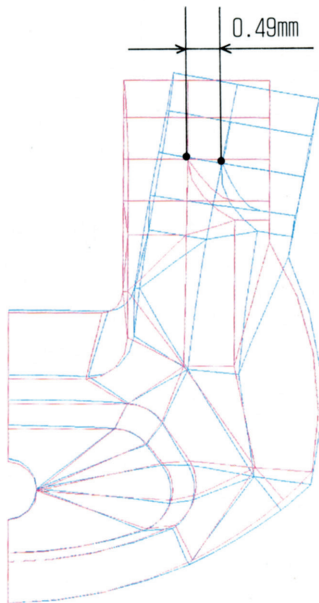


Fig.9 Analysis of the deformation in the conventional clamp.

## 4・3 引張試験による検証

### 4・3・1 引張試験結果

これまでの計算結果の妥当性を確認するため実物のS45C鍛造品で焼入焼戻し熱処理したサンプルを使用し、Fig.10のような試験方法で荷重Pと変位量 $\lambda$ の関係を実測した。

### 4・3・2 試験結果および考察

Fig.11に試験結果、モデル計算値およびFEM計算結果を示す。Fig.11より、使用条件（ $P=58,840N$ ）におけるモデル計算値、FEM解析値はほぼ試験値に一致していることがわかり、モデル計算およびFEM解析の妥当性を検証することができた。

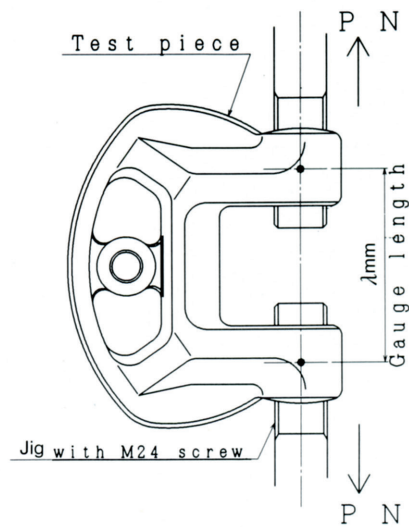


Fig.10 The method of tensile test.

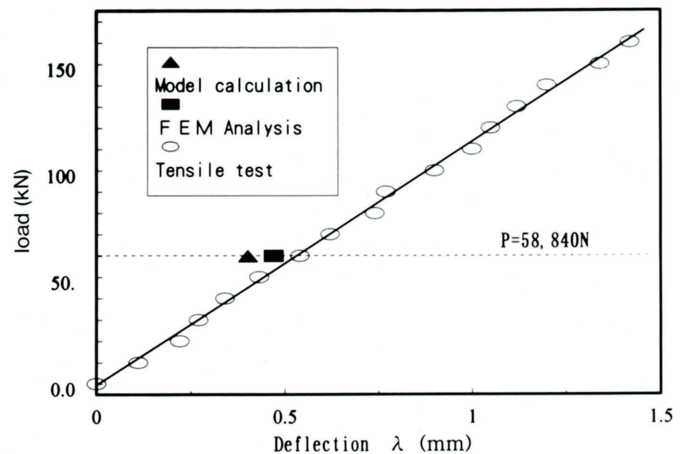


Fig.11 Results of tensile test.

## 5. 形状の検討

### 5・1 従来形状のFEM解析

Fig.12に引張荷重58,840Nが作用した場合のFEMによる応力分布解析結果を示す。

Fig.12はvon Mises応力の分布を表したもので、フィレット部周辺の微小な部分に応力が集中しており（赤、黄、緑色部）、その最大値は785N/mm<sup>2</sup>以上となっている。

次いで、断面D外側（緑色部）の応力が高いが、その他

の部分（水、白、青色部）では特に大きな応力が認められなかった。

### 5・2 新形状の設計

従来の形状の金具における問題点は、フィレットあるいはその周辺に応力が集中することであった。

上記の応力集中を避けるためにフィレット部のRを大きくする一方、軽量化するため応力値の低かったC断面およびその付近（Fig.13破線部、Fig.12の青、白色部）の肉を減少させた新形状の挟締金具を設計した。（Fig.13）

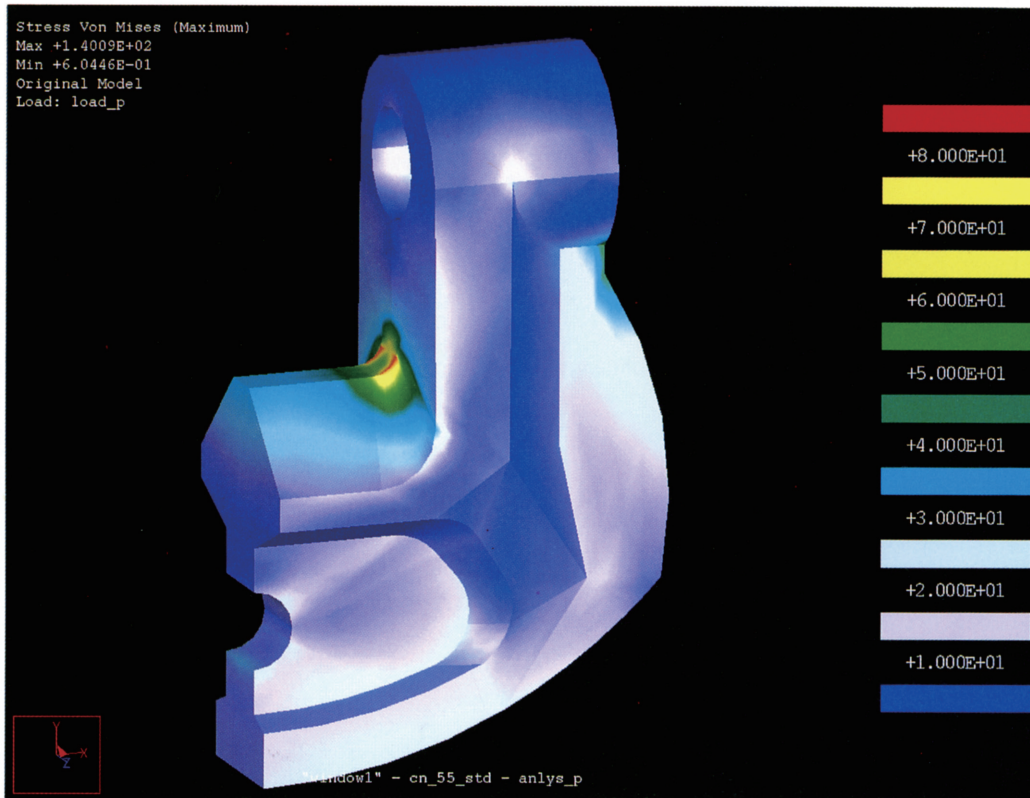


Fig.12 Analysis of the von Mises stress in the conventional clamp.

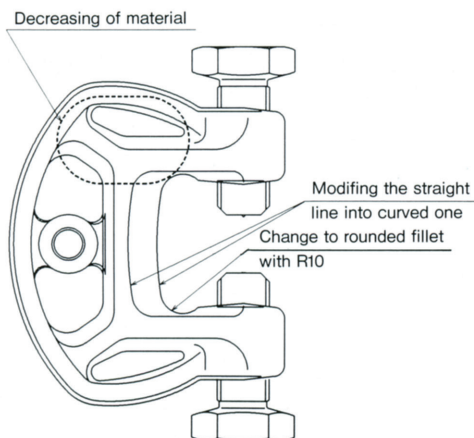


Fig.13 Shape of the developed clamp.

### 5・3 新形状におけるFEM解析

新形状の挟締金具に引張荷重58,840N（6,000kgf）が作用した時の応力分布解析結果および変形挙動解析結果をFig.14、Fig.15に示す。

形状変更によって、応力の最大値が大幅に減少し、応力の分布状態もフィレット部を中心に放射状に均一に分布する結果となり、また、肉を減少した部分の応力値も従来形と同様降伏点以下になっている。（Fig.14）

一方、変形挙動解析結果においては、変位量は0.57mmとなり（Fig.15）、0.08mm増加する結果となった。

これは、各部の肉を減少させたことにより断面2次モーメントが小さくなったためである。

今後はねじり荷重を含めて解析を行ない、応力値を低下させるだけでなく、軽量化しつつ変位量も現状以下に押さえることができるよう、更に新しい形状の検討を行なっていく。

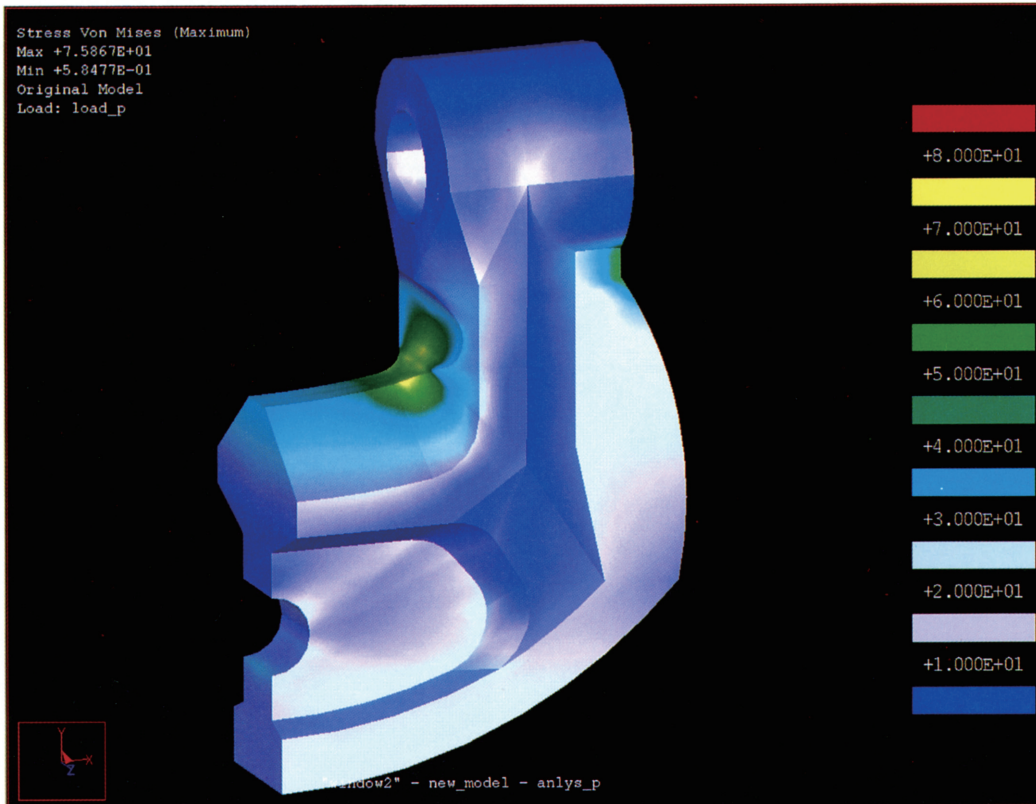


Fig.14 Analysis of the von Mises stress in the developed clamp.

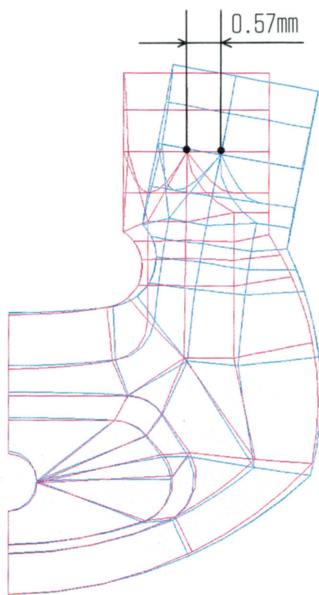


Fig.15 Analysis of deformation in the new clamp.

## 6. 結言

仮設構造物用挟締金具の材質選定、強度計算、強度試験、そして形状検討等、信頼性向上のための検討を行なった結果、材質的には強度と伸びのバランスが良く脆性的な破壊をしないS45Cが適していることがわかった。

また、有限要素法を用いた強度検討により挟締金具のコーナー部の応力が最大であり、この部分のRを大きくとることにより最大応力を低下させることが可能であることが判明した。

本論文では一例として仮設構造物用挟締金具の強度解析について述べたが、今後ともお客様のニーズに応えるべく有限要素法等の手法を用いて材質選定や強度検討等を行なっていく所存である。

## 文 献

- (1) 社団法人 仮設工業会：作業構台等に用いるボルトレス緊結システムの安全性に関する研究報告、(1993)、p.42