

# 小形ラックの高周波焼入れによって生ずるひずみ

久野 精市郎 林 二一

## Distortions of Small-Sized Racks caused by Induction Hardening

Seiichiro KUNO, Niichi HAYASHI

It is usually accepted that steel parts surface hardened by induction heating generally exhibit less total distortion and distortions of racks are often caused for hardening of their tooth surface only.

In this report, the result of several experiments on the racks generated by quenching transformation and thermal change are described.

Racks of 1.5, 2.0 module and several sextional forms of 100 mm length are measured in detail.

Materials of racks are 0.45 % carbon steels. Items of measurments are as follows: length, width, planeness of side surface, whole depth, thickness of tooth, pressure angle, undulation of tooth surface, transverse pitch error, over pine width.

### 1. ま え が き

高周波焼入れの特長の一つは加熱部分が表面のうすい部分にとどまるため、全体のひずみの発生量が少ないとされている。またラックのひずみはその歯面の側のみが加熱されることに原因することもあり。しかし、高周波焼入れのひずみに関する詳細な測定結果は歯車の場合の武田<sup>(1)</sup>, <sup>(2)</sup>の実験がある他は殆どない。

こゝでは小形ラックについての焼れ入ひずみの発生状況を調査する目的で二、三の実験を試みた。すなわちモジュール1.5, 2のラックについて断面形状等を変更し、その長さおよび焼入れ条件を一定として行った。しかし熱処理前後の各項目の詳細な測定から焼入れひずみの発生状況を明らかにし、およそ初期の目的を達した。

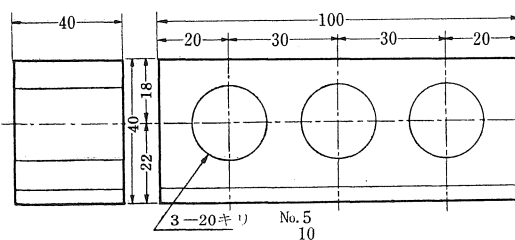
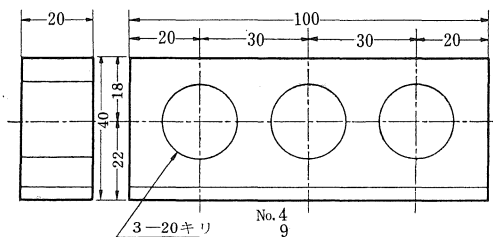
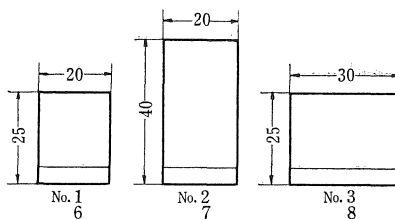
### 2. 供 試 ラ ッ ク

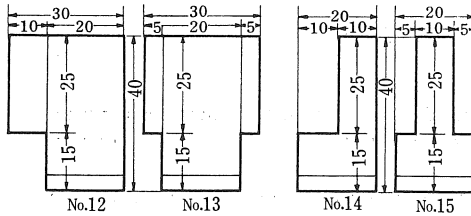
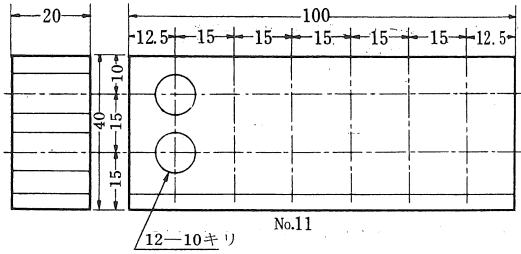
ラックはモジュール1.5および2で圧力角は20°全長を100mmに統一し、断面形状等を数種類変更した。その諸元を図1に示す。素材は機械構造用炭素鋼8種、S45Cとし、その組成は第1表に示した。まず直径40φ~60φの圧延棒を焼ならし後フライス盤で研削仕上げ代を0.2mm残して角形に削り出した穴あけを行った。つ

第1表 素材の成分

名 称	C %	Si %	Mn %	P %	S %
S45C	0.45	0.29	0.62	0.020	0.018

ぎにひずみ取りおよび球状化焼鈍の目的で図2に示すように約700°Cに炉中加熱後除冷した。その後各面を平面研削盤で仕上げし、フライス盤でラックの歯形を切削した。





No. 1 ~ 5 は 1.5 モジュール  
 No. 6 ~ 15 は 2 モジュール  
 長さ は 全て 100mm  
 全て 研磨 仕上 (▽▽▽)

図1 供試ラック

3. 高周波焼入れ

焼入れ装置は深部までのかたさを得るために M. G. 式

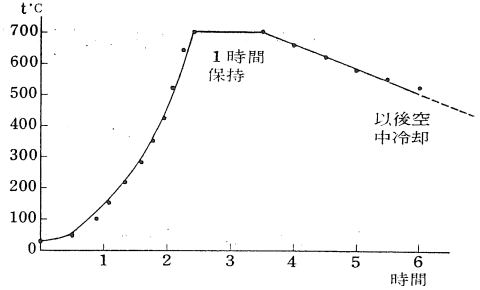


図2 焼鈍温度と時間

とし、容量 50kw, 10kc の型形を使用した。焼入れは平面形コイルによる片面移動とし、歯面の 3/4 以上の部分が焼入かたさを満足するという主旨から二、三の予備実験を行った結果、第 2 表のように決めて行った。コイルは図 3 に示す形状のものを使用した。これらによって得られた焼入れ後の歯面かたさの分布は図 4 のようになった。

4. ひずみの測定事項とその方法

4.1 長さおよび巾の測定

ラックの全長はマイクロメーターで測定した。マイクロメーターの精度はブロックゲージで検定し、測定には温度差、測定圧の変化等のないよう十分の注意を行った。また歯面を上にした場合の上下巾および歯巾の変化は万

第2表 高周波焼入条件

ラック No.	コイル	予熱	電圧(V)	電流(A)	出力(kw)	送り速度 mm/sec	コイルと歯先のすきま mm	(1) 水量 l/min
1 ~ 5	平面形	なし	280	138	38	3.5	2	6
6 ~ 15	平面形	150°C <sup>(2)</sup> 高周波予熱	280	138	38	3.5	2	6

(1) 30°C ソリブルクインチ (大同化学) 1.6%液。

(2) 短時間高周波加熱 (約400°C) 後水冷して表面温度を150°Cとした。

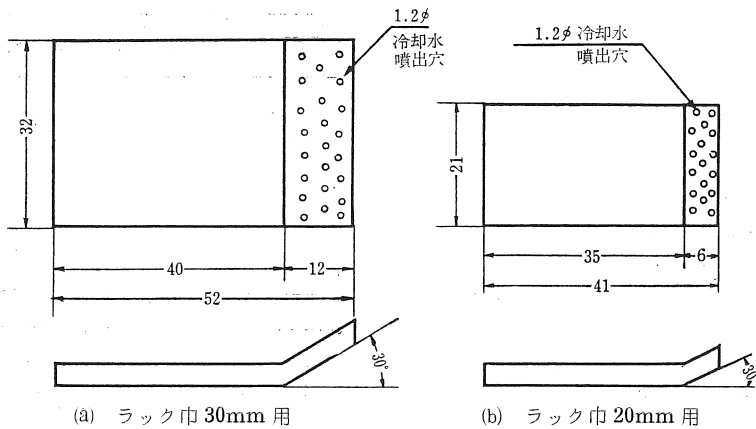


図3 焼入コイルの形状

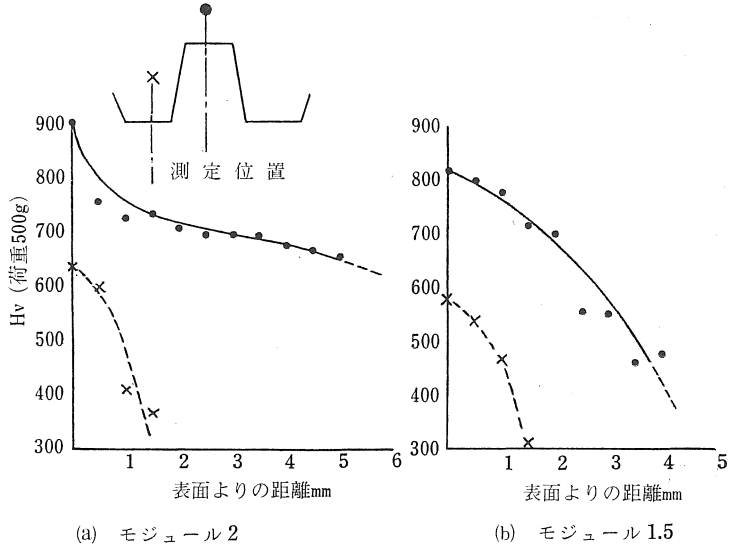
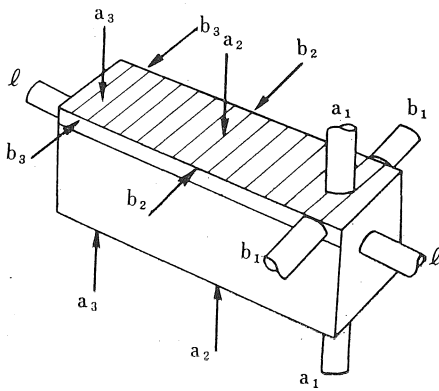
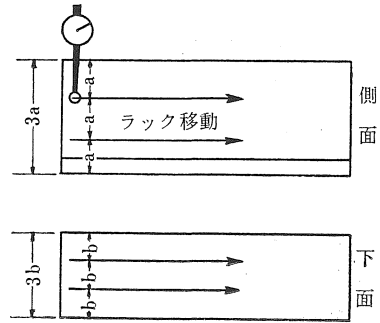


図4 かたさ分布



ℓ：長さ， a：上下巾， b：歯巾

図5 長さおよび巾の測定位置



矢印方向に20mm  
間隔に測定  
矢印方向にダイヤルゲージを  
移動する。

図6 平面度の測定位置

能測長機（三井精機）により 20°C，測定圧 1 kg で図5に示すように 6ヶ所の測定を行った。

#### 4.2 平面度の測定

ラックを研削盤に取り付け 1/1000mm 目盛のダイヤルゲージを移動して，図6に示すように歯の反対側の面を2ヶ所，両側面を各2ヶ所の合計6ヶ所について測定した。ラックを取り付けた台の平面度は 1μ 以内に保った。

#### 4.3 歯すじのうねり

ラックを研削盤に取り付け，両端よりそれぞれ二つ目の歯の右側および左側の計4ヶ所についての歯すじ方向の変位を測定した。取り付け台の歯すじ方向との平行度は 1μ 以内に調整し 1/1000mm 目盛のてこ式ダイヤルゲージのフィーラーを図7のようにピッチ線上に於て歯面

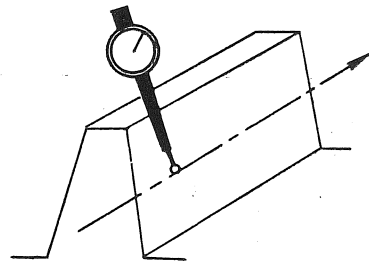


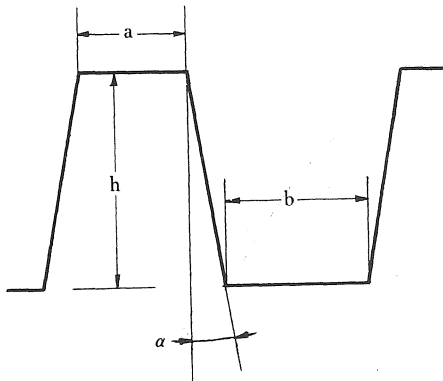
図7 歯すじのうねり測定

に平行に当て、法線方向のうねりを測定した。

#### 4.4 歯の形の測定

図8に示すようにラックの両端より二つ目の歯およびみぞについて歯先の歯厚，歯丈，圧力角，歯底のみぞ巾

を測定した。長さは5/1000mm目盛，角度は1'目盛のある工具顕微鏡を使って歯巾の両端面の部分の形状の変化を調べた。



- a : 歯先の歯厚
- b : 歯底のミゾ幅
- h : 歯 丈
- α : 圧力角

図8 歯の形の測定

4.5 単一ピッチ

万能測長機を利用して歯の中央位置に於てピッチ線付近で歯面に当るようなピンを各歯みぞに入れて測定し，それぞれの読みの差を求め，それから理論ピッチ  $\pi m$  の値を差引いた 数値を求めた。測定温度は 20°C，圧力は 225gr で行った。

4.6 オーバピンによる歯の厚さ

ピンの外周がラックのピッチ線付近で当るようなピンを選び，これを両端より二つ目の歯みぞに入れ図9に示すような方法で，室温 20°C，測定圧 1kg として求めた。

ラックのピッチを  $P$ ，圧力角を  $\alpha$ ，ピンの径を  $d$ ，他の面よりピッチ面までのきよりを  $A$ 。オーバピン巾の値

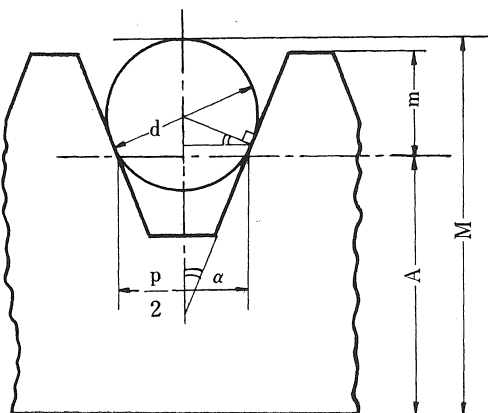


図9 オーバピンによる測定

を  $M$  とすると，これらの間にはつぎの関係がある。

$$M = A + \frac{d}{2}(1 + \sin\alpha) + \left(\frac{d}{2}\cos\alpha - \frac{P}{4}\right)\cot\alpha$$

単一ピッチ および 圧力角の焼入れ 前後の 変化に対する  $M$  の影響はそれぞれ

$$\frac{\partial M}{\partial P} = -\frac{\cot\alpha}{4}$$

$$\frac{\partial M}{\partial \alpha} = -\frac{1}{\sin^2\alpha} \left(\frac{d}{2}\cos\alpha - \frac{P}{4}\right)$$

となる。ピンの接点がラックのピッチ線と一致する場合は圧力角誤差の影響は殆どなくなり無視できる。

5. ひずみの測定結果

5.1 長さおよび巾の変化

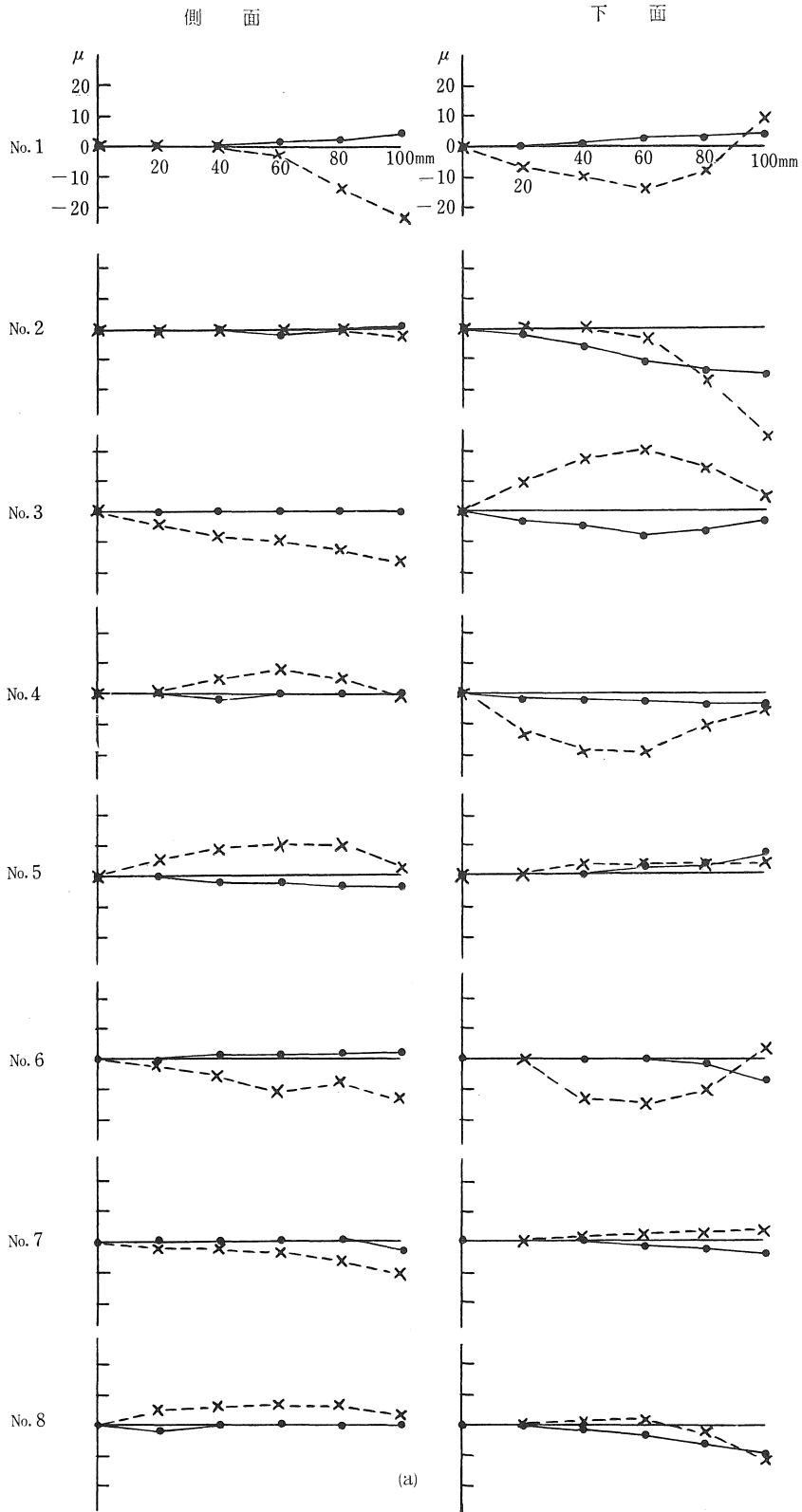
- (1) 全長はすべてのラックが増加した。歯巾 30mm の場合が 20mm のものに比べて増加量がやゝ多く，また歯巾は 20mm でも他の部分の断面巾の大きいものは同様に多くなった。
- (2) ラックの歯の側とその反対側との間の巾は熱処理前後での統一の傾向は現れなかった。たゞラック No. 1 ~ 5 と 6 ~ 10 の同じ断面形状のものではモジュール，熱処理条件が異っても極めて類似の傾向となった。また No. 5, 10 の歯巾30mmで側面に大穴のある場合，No. 12, 13の歯巾より他の部分の巾の大きいものでは特に大きく増加した。
- (3) 歯巾も熱処理前後での一様な傾向は認められない。しかし一般に上下巾の増減との関連がある。たゞし上下巾の特に大きくなった No. 5, 10, 12, 13はこの場合も全て増加した。マルテンサイト化による組織の変化による影響より形状による冷却効果の影響が強く出ていると思われる。

5.2 平面度の変化

- (1) 側面の平面度は熱処理前より  $10\mu$  前後変形量が多くなっている。特に歯巾に対して側面に多くの穴のある No. 11, 断面が非対称の No. 12, 14では多くなった。また同じ形状の No. 1 ~ 5 と 6 ~ 10ではモジュールは異なるが予熱焼入れの方が変形が少く，その効果が認められた。
- (2) 下面（歯の反対側）の平面度も熱処理前よりわるくなっている。1.5mの一発焼入れのものはその曲りの方向も一定していないが，2mの予熱焼入れの場合は断面の形が変化してもその方向はほぼ一定で歯面側が小円となる方向に曲る傾向にある。この場合も No. 11で多く現れた。また No. 14, 15の歯巾部分より他の断面巾の小さいものは下面の変形が少なかった。

5.3 歯すじのうねりの変化

- (1) 熱処理前よりわるくなっており，その程度は条件により非常に差を生じた。



(21)

図 10

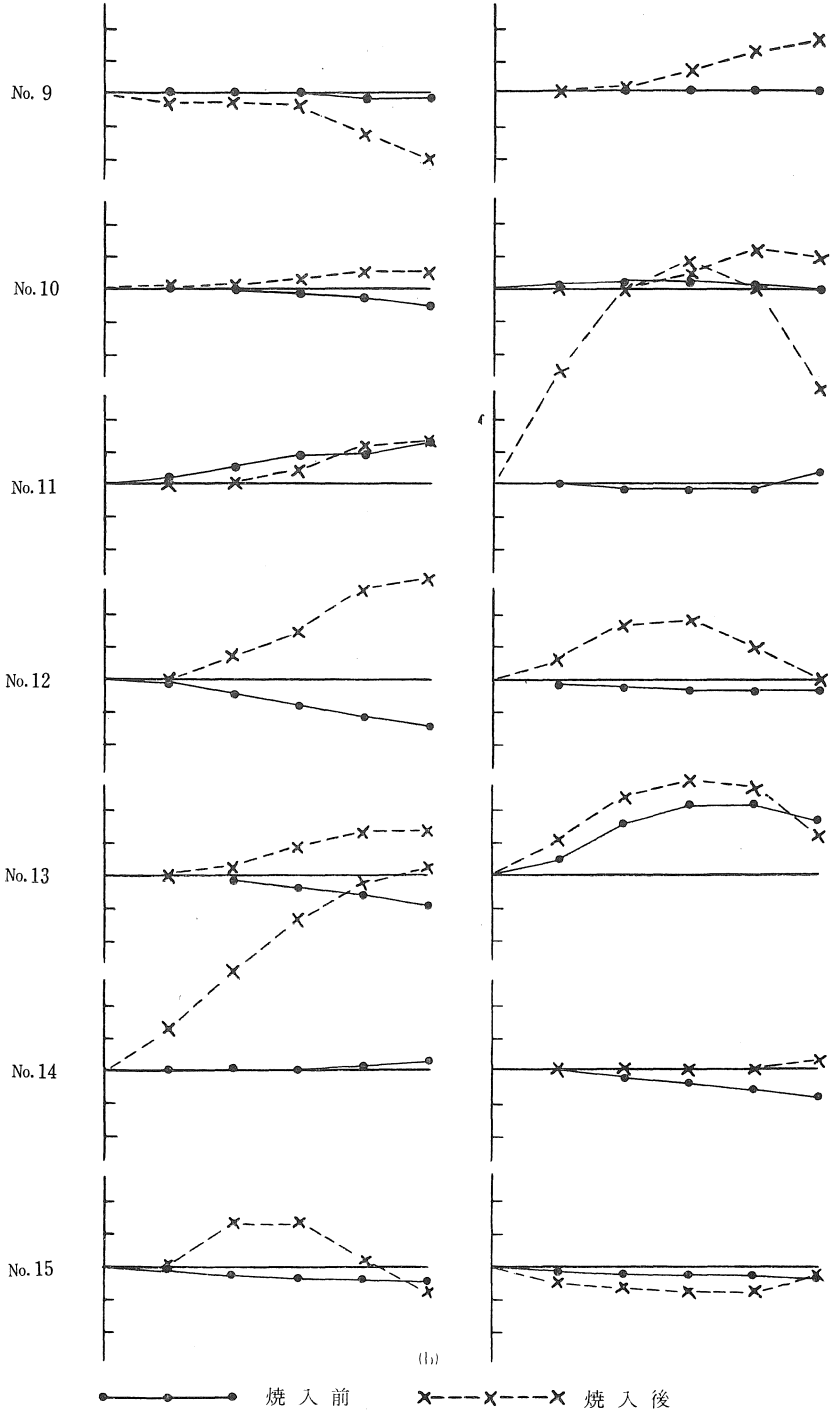


図10 平面度の変化

(2) No. 1 ~ 5 と 6 ~ 10 の同じ断面形状のものでは 2 m の場合で予熱焼入れをした方が良好であり、その効果が認められた。また歯巾と断面巾との異なる No. 13, 15 など加熱部に対して両側に対称な形状の場合は良好な結果が得られた。

(3) 側面に穴あきの場合は非常にわるく、穴のあけた部分の面積が同じものでもその数が多い場合の方がわるくなった。また No.12, 14 など断面が非対称の場合は特にわるくなった。

5.4 歯の形の変化

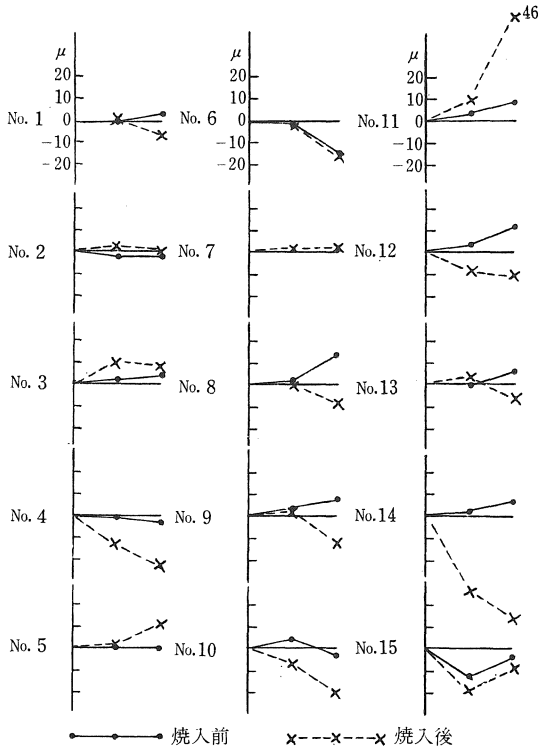


図11 歯面のうねりの変化

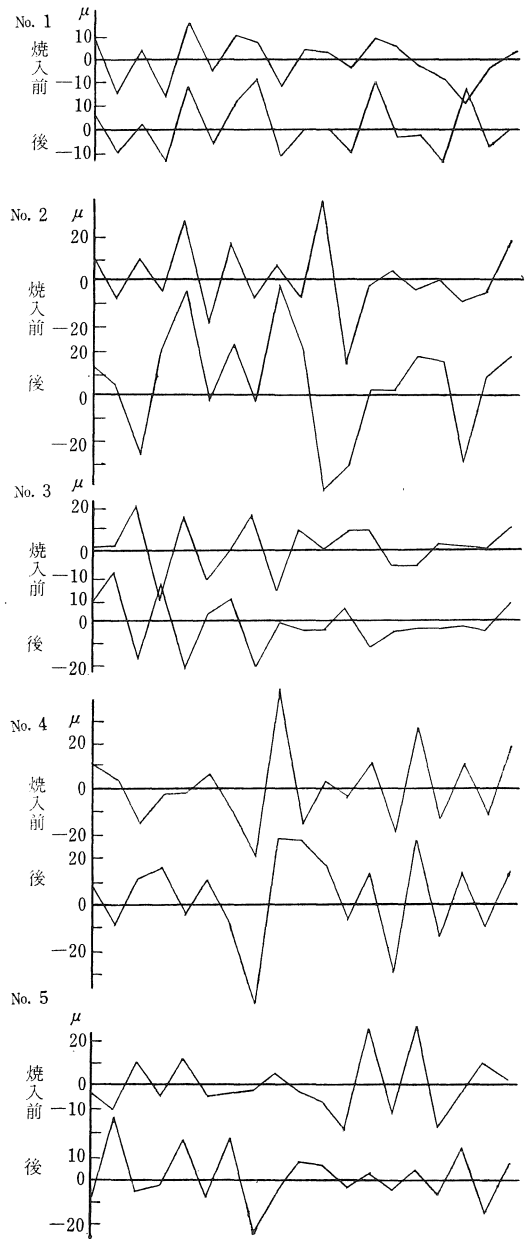
- (1) 歯先の歯厚は全体に増加の傾向にある。また歯丈も増加しているものが多い。
- (2) 歯底のミゾ巾には増減があり一定方向の変位は認められなかった。
- (3) 圧力角は増減ないかまたは減少の傾向にある。従って全体として歯面が立つ傾向が認められた。

### 5.5 単一ピッチ誤差

- (1) 熱処理前より全体として1~2級わるくなっている。
- (2) 1.5mのNo.1~5より予熱焼入れした2mのNo.6~10の方が変化が少くその効果が認められた。また短形断面ではNo.8が、異形断面ではNo.15の場合が最も良好であった。
- (3) 一般に歯巾の小さいもの、側面に穴あきの場合は特にわるい。またNo.12, 14のラックの断面が対称形でない場合は大きな差を生じた。冷却効果の差によるひずみのためと思われる。

### 5.6 歯の厚さの変化

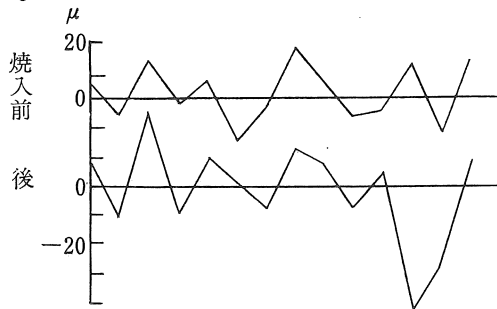
オーバピンによる測定では一般に殆ど差がないかまたは熱処理後の方が多少減少している。No.5, 10, 12, 13などのようにラックの上下巾の非常に増大したもので、オーバピンによる値には殆ど差がなかった。



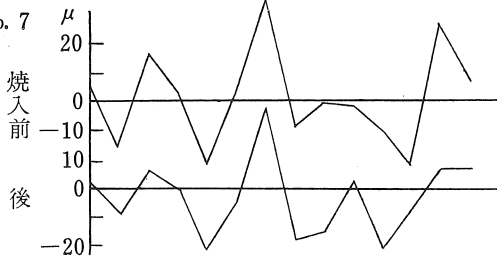
(a) 1.5モジュール、一発焼入

図12

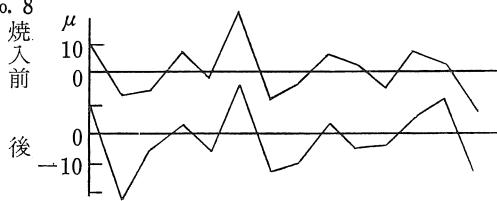
No. 6



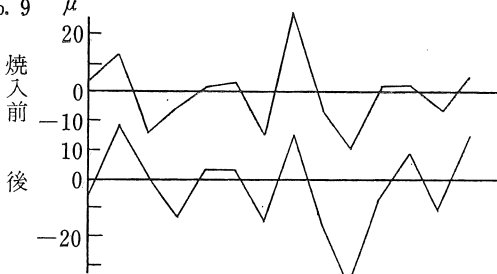
No. 7



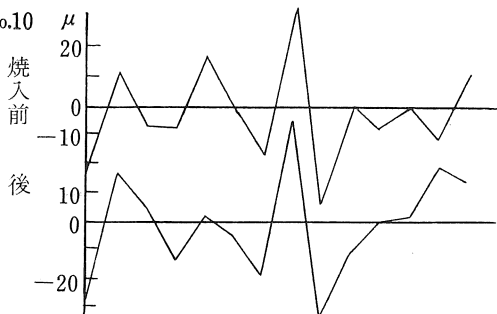
No. 8



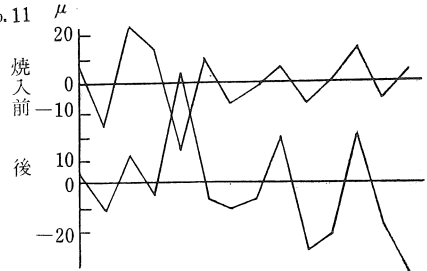
No. 9



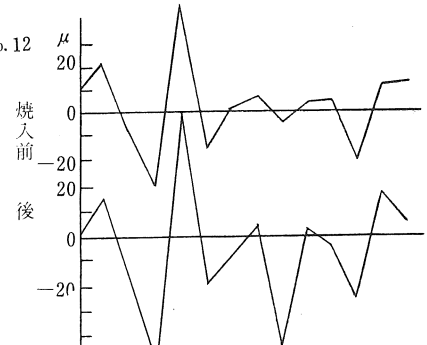
No.10



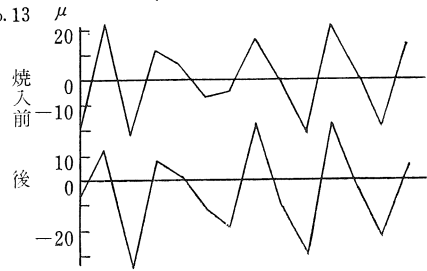
No.11



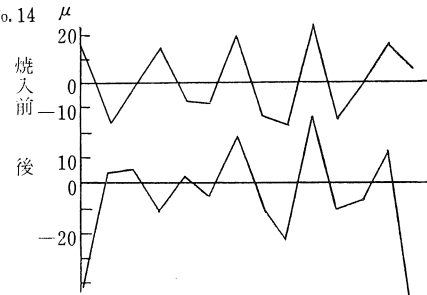
No.12



No.13



No.14



No.15

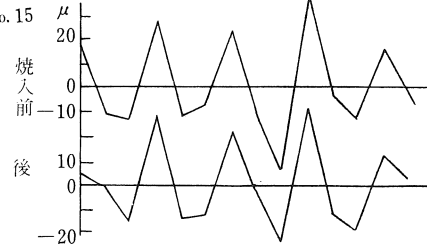
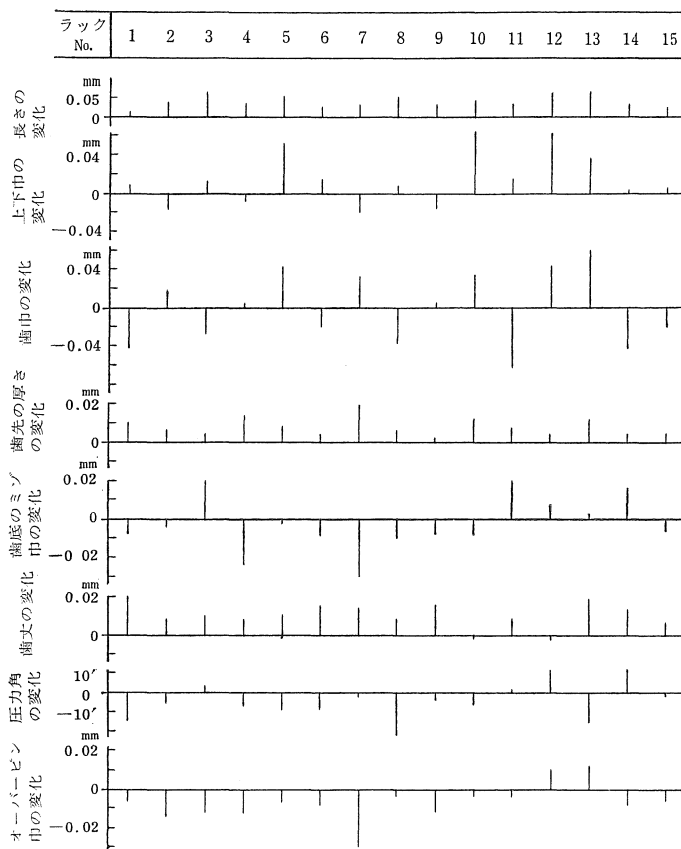


図12 (b) 2モジュール、予熱焼入

図12 単一ピッチの変化



第3表 焼入ひずみの測定結果  
(全長, 上下の巾, 歯巾, 歯先の歯厚, 歯底のミゾ巾, 歯丈, 圧力角, オーバピン巾の変化)



上下巾および歯巾はラックの中央部位置の値である。歯の厚さ、ミゾ巾、歯丈、圧力角は両端よりそれぞれ二つ目の歯の平均値をとり、オーバピン巾は両端よりそれぞれ二つ目の歯ミゾにピンを入れた場合の平均値をとった。

6. むすび

供試ラックの製作法、形状、高周波焼入れ法、ひずみの測定事項とその方法等について述べ、焼入れによって生ずるひずみを詳細に測定した。しかして従来から小形ラックに対して一般に行われている高周波焼入れについてのひずみの発生状態をおよそ知ることができた。なお、実験データはその代表的なもののみを図示したが、ラックの形状等の条件が同様のものではほぼ同様の結果が得られた。

本研究を行なうに当ってお手伝い頂いた愛知工大の春日井氏に厚くお礼申し上げます。また熱処理については高周波熱練の浅川課長、谷口氏に多大の御援助を賜った。深く感謝する次第である。

参考文献

1. 武田信男：小形歯車の高周波焼入れによって生ずるひずみ（第1報），機械学会論文集，27巻182号（昭36—10）。
2. 武田信男：小形歯車の高周波焼入れによって生ずるひずみ（第2報），機械学会論文集，27巻182号（昭36—10）。