百万塔製作技術の実験的研究 I

工作寸法；轆轤の構造・精度と試作；刃物と治具の適用

正 会 員 成 田 寿 一 郎*

1. はじめに

法隆寺大宝蔵殿や東京国立博物館法隆寺宝物室に展示されている木製轆轤挽き三重小塔、いわゆる百万塔は、塔身内に収納されている陀羅尼経が、世界最古の印刷物として有名であるが、塔自体もまた、形といい、仕上りといい、まことに見事な出来栄で、どの塔一つをとっても立派な工芸的作品である。筆者は昨年夏、遺物の塔 50 基を直接拝観し、寸法を実測する機会を得たが、その寸法・形状の整一さと、旋削仕上面の整った美しさに、現代の技術に勝るとも劣らないものを感じた。しかもこの百万塔は個人的に熟練した名人芸による細工ではなく、不特定多数の工人による一種の大量生産の所産であるとされている。

これまで百万塔に関しては、塔内に収納されている経文や、百万塔製作の時代背景などについて、江戸期に狩谷村斎・穂井田忠友、明治末期に平子鐸嶺等の研究記述があり¹⁾、塔そのものについても、主要部の寸法、使用樹種、さらに塔底面に残る墨書き文字から、製作年月および製作者名などについても若干の報告はあるが、塔を製作した轆轤器の構造や工具・治具、あるいは製作の工程や細部の技術的な諸問題などについての研究はほとんどない。

筆者は遺物の塔を仔細に観察し得たのを機会に、塔各部の寸法を実測してその精度を確かめ、塔に残る刃痕と使用樹種の材質との関係、塔各部の形状、とくに相輪細部の仕上の状態などから、塔の旋削に用いたと思われる轆轤の軸と軸受けの構造機能を、史料による考察を混えながら検討し、これに基づいて、轆轤および刃物・治具を試作した。この試作轆轤および治具によって、遺物と同じと思われる樹種を用いて塔を多数工作して一応の成果を得、古代の木工加工、とくに旋削加工技術の実態の解明に資することができたと思うので報告する。

2. 史料による百万塔の製作経緯

「続日本紀」巻第卅称徳天皇の宝亀元年（770）4 月の頃に、かねて製作中であつた小塔百万基の完成したことが記載されている²⁾。この小塔は三重の木製轆轤挽きで³⁾、俗に百万塔といわれ、完成につれて法隆寺・東大

寺・薬師寺を始め、奈良および近郊の十大寺に分置したとされているが⁴⁾、江戸末期にすでに法隆寺にのみ数万基残っているが、他の諸寺のものはそれぞれ焼（消）失してすでにないといわれていた⁵⁾。この塔は現在まだ法隆寺に数万あるいは約 4 千基ばかり残っているといわれるが、その数は定かでない⁶⁾。しかし法隆寺蔵のうち、小塔 100 基、一万節塔および十万節塔各 1 基ずつ、計 102 基が明治 41 年 1 月 10 日、国の重要文化財に指定され、現在この 102 基は法隆寺大宝蔵殿に展示されている。また法隆寺蔵のうち 48 基が、法隆寺献納宝物の一部として、明治 11 年宮内省に献納され、現在その 48 基は東京国立博物館法隆寺宝物室に展示されている⁷⁾。

幕末から明治初期にかけての動乱期に、この塔の法隆寺内より寺外に流出したものが多く、現在市井において古塔を時折散見する⁸⁾。

昭和 36 年、平城京跡より未完成の塔身のみ 1 基発掘された⁹⁾。これによって塔の製作場所は奈良市内であったことが推測されると共に、その仕かかりの状態から塔身の旋削加工工程をうかがい知る手がかりとすることができる。

塔の寸法について「続日本紀」には「高さ四寸五分、基径三寸五分」とあるが、塔は上下二つの部分に分れ、4.5 寸とは下部塔身のみの高さで、上下合しての総高さは約 7 寸である。上部の相輪は底部を丸柄とし、塔身上部中央にあげられた丸穴に嵌め込まれている。

使用した木材の種類については、塔身用材は桧であるが、相輪用材は桂または水木犀（もっこく）という説と、桜であるという節とがある¹⁰⁾。

「東大寺要録」や「薬師寺縁起」によれば、百万塔の製作の孝謙上皇よりの下命は天平宝字 8 年（764）9 月 11 日に下されている¹¹⁾。完成が「続日本紀」にある如く宝亀元年（770）4 月とすれば、小塔 100 万基の製作所要期間は 5 年 8 箇月である。

百万塔の製作の進行過程についてはこれを知る手がかりになる史料がないので全く不明であるが、100 万という量から考えて下命後、旋削の実際加工の開始までにはかなりの準備を必要としかものと思われる。例えば、材料である桧および桂などの伐採・造材および伐採地より製作工房所在地までの運搬、数十台あるいは百数十台に

* 千葉大学 講師

（昭和 54 年 10 月 17 日本稿受理・討論期限昭和 55 年 12 月末日）

のぼると推測される轆轤およびこれに伴う工具・治具などの調達、数百人にのぼると思われる轆轤工・夫¹³⁾などのための工房の建造などは、すべて下命後に始められたと思われ、それ等の準備調達のために相当の日数を費さざるを得なかったことが推測される。仮りにこの準備期間を1箇年とすれば、正味轆轤作業期間は4年8箇月となる。天災・地変・吉凶などによる作業休止の日を勘案して、1箇月の平均稼働日数を27日と仮定して計算すれば、4年8箇月で100万期を作り終えるには、1日に686期、すなわち約700基ずつの生産を余儀なくされることになる。1台の轆轤で1日何基の塔を作り得るかは、すべての条件を当時と同じにして旋削加工実験をした上でなければ言及できないが、1台1日の旋削可能基数はそれ程大きくなく、多数台の轆轤が毎日稼働したことが推測される。「続日本紀」に「…事に供した官人己下仕丁己上157人…」の記載があるが¹³⁾、この157人中の官人と仕丁の人数比率、仕丁の職種区分も不明で¹⁴⁾、157人中何名の轆轤工がいたかについてはもちろん不明であるが、何れにしても数十あるいは百数十人の轆轤工が毎日作業をしていたものと推測される。

3. 遺物の工作寸法と計測値

東京国立博物館法隆寺宝物室所在の48基と市井所在の2基計50基を、尺を直立させた台を作り、台上に位置を定めて写真1のように塔を置いて200mmの望遠レンズで撮影をし、これを現寸大に引き伸したものについて、図1のような測定箇所を定めてその各部寸法をデバイダで計測し、これを写真の添尺で読みとって各部の寸法とした。層の内径c・dはhおよびjの中部部で求めた。三層屋径bの測定るとき欠損のあるものについては写真上で半径を求めて2倍し、両側に欠損のあるもの

写真1 寸法実測要項

については測定不能とした。なほ基台の直径a、三層屋径bについてはノギスによる実物測定も行い、写真測定との平均値をその測定値とした。

相輪は欠損しているものがかなりあり、屋径や相輪間隔については測定不能の物も多かった。また塔の底面も同じ要領で撮影し、材料の年輪間隔や年輪の先行状態の観察に供した。

各部寸法の実測値を表1に、その平均値および標準偏差を表2に示した。また各部寸法の平均値に基づいた、各部寸法図を図1に示した。

表1 百万塔各部寸法実測値 (単位: mm)

No.	a 基台 径	b 三層 屋径	c 一層 内径	d 三層 内径	e 相輪 屋径	f 塔身 高	g 基台 高	h 一層 間隔	i 二層 間隔	j 三層 間隔	k 相輪 間隔
1	104	77	43	34	37	134	32	32	32	34	36
2	104	78	50	36	38	130	30	32	36	32	33
3	106	77	49	35	38	127	32	32	36	33	33
4	107	77	52	37	36	127	30	34	33	34	34
5	102	77	46	36	35	133	32	34	34	34	32
6	106	77	47	34	35	134	32	32	35	33	33
7	107	77	47	37	37	129	32	34	33	33	32
8	106	79	48	37	35	133	32	32	32	35	33
9	100	76	44	36	38	132	32	35	34	32	31
10	110	80	47	36	32	132	32	32	34	33	33
11	108	79	48	33	38	132	32	34	33	33	33
12	107	78	49	36	36	132	30	35	33	33	33
13	108	78	48	37	37	133	32	33	34	32	33
14	106	79	47	36	36	131	30	35	32	33	34
15	108	78	44	34	34	131	30	34	32	33	33
16	107	78	48	38	38	132	32	35	33	34	34
17	107	78	47	36	37	134	33	35	32	33	33
18	107	77	47	37	37	133	30	35	34	35	34
19	110	80	55	41	36	135	34	34	31	36	34
20	108	79	47	33	33	134	32	33	34	33	33
21	108	77	47	35	36	134	32	35	32	34	35
22	106	76	50	35	34	131	32	33	34	34	34
23	103	77	50	36	36	133	32	33	33	32	33
24	105	79	49	36	36	130	31	33	36	32	33
25	108	79	51	37	34	133	34	33	34	32	34
26	109	80	48	35	35	131	33	33	33	33	33
27	109	77	50	38	39	132	30	34	33	33	34
28	106	80	47	35	34	132	33	32	33	32	34
29	107	80	44	35	33	130	31	35	33	33	32
30	102	—	46	37	—	130	31	34	32	32	—
31	107	81	48	36	—	131	32	33	33	33	—
32	105	77	47	34	34	132	32	34	34	31	34
33	108	78	47	34	35	133	31	35	34	33	33
34	106	74	44	32	33	133	31	34	33	33	32
35	105	79	44	37	—	130	32	32	33	34	—
36	107	78	43	35	35	133	30	34	35	35	33
37	103	74	45	32	—	131	31	35	34	34	—
38	107	73	48	33	32	132	33	34	33	32	33
39	106	—	47	37	—	132	30	34	31	—	—
40	110	74	48	36	—	133	31	35	31	33	—
41	107	77	46	34	—	133	32	35	35	33	33
42	104	80	47	35	—	135	33	33	33	35	33
43	107	76	48	34	—	130	33	33	33	31	—
44	106	76	46	35	—	131	31	33	32	32	34
45	103	—	49	35	—	131	31	34	33	33	—
46	107	80	49	36	—	132	31	32	32	33	—
47	107	79	50	37	—	132	33	33	33	34	33
48	107	79	46	34	—	132	33	33	33	33	32
49	106	77	48	35	34	134	31	33	32	31	34
50	103	74	45	33	33	137	31	37	34	32	32

表 2 各部平均寸法および標準偏差 (単位: mm)

測定部位	平均寸法	標準偏差
X 方向	a 基台径	106.3
	b 三層屋径	77.6
	c 一層内径	47.4
	d 三層内径	35.4
	e 相輪屋径	35.4
Y 方向	f 塔身高	132.0
	g 基台高	32.0
	h 一層間隔	33.0
	i 二層間隔	33.0
	j 三層間隔	33.0
	k 相輪間隔	33.5

図 1 実測に基づく各部寸法図

「続日本紀」に記載されている塔身の寸法は天平尺であるとされている¹⁵⁾。そこで天平尺 1 尺を現矩尺 9.78 寸として換算し、さらにメートル寸法に換算すれば、塔身の高さは 133 mm、基径は 103 mm となり、実測平均寸法は計画寸法に対し、高さにおいてマイナス 1 mm、基径においてプラス 3 mm となり、とくに高さ方向の実物平均寸法は計画寸法に対してきわめて近いことが判る。

各部寸法の標準偏差は、最大 0.229、最小 0.101、平均で 0.158 である。比較のため現在市販されている轆轤挽き木碗 100 箇の主要部の標準偏差を表 3 に示し

表 3 木碗の各部寸法および標準偏差 (単位: mm)

測定部位	平均値	標準偏差
外 径	121.1	0.0324
高 さ	73.3	0.0618
深 さ	55.0	0.0285

たが¹⁶⁾、その平均値は 0.0409 であった。これに対し百万塔のそれはやや大きいものの時代差を考えれば、塔の工作精度の高さが確認されよう。

塔の直径方向の寸法を X 群、高さ方向の寸法を Y 群と

すれば、X 群より Y 群の寸法精度が一段と高いことが、表 2 よりわかる。とくに相輪の層階間隔寸法 k の標準偏差は 0.101 各部寸法中もっとも精度が大である。これを具体的にいえば、50 基の平均寸法が 33.5 mm であり、33.5 mm ± 1 mm の範囲内に 92%、すなわち 50 基中 46 基がおさまるといふ精密さである。

技術水準のいろいろ異なつたであろう、多人数の工人が、このような高い工作精度の作業を均しくし得るためには各工人に対し、単に寸法や図面を提示するのみでなく、現物模型や専用の治具・ゲージ類を与えるなどの方法が採られたものと推測される。とくに Y 方向の精度が X 方向のそれに比して高いのは、Y 方向の精度は挽き込み始めの刃物の当て位置で決まるもので、その当て位置の罫示には多爪罫引形の割りつけゲージのようなものが、挽き込み後の径寸法や形状の確認には形ゲージや深さゲージ・挟みゲージのようなものが使われたのではないかと推測される。そしてその治具・ゲージ類は、作業個々に作らせたのではなく、中央の管理者側において一括して同じものを多数作り、これを個々に作業者に配布してその使用を義務づける、すなわち加工技術の集中管理方式が採られていたものと推測される。尚治具やゲージ類の設計や製作などは、百万塔のデザインのものと一緒に、中央管理者の技術スタッフとして様工（ためしこう）¹⁰⁾の活躍があったのではないかと推測する。

4. 被削面性状と使用工具

百万塔は木地完成後に、膠を糊料とした各色の顔料で彩色されていたが、1200 年の今日それがほとんど剥脱し¹⁸⁾、木肌を直接に見ることのできるものが多い。今回測定し得た 50 基について、木肌の肉眼的観察および手持ちによる重量と触感からみて、50 基すべての塔身用材は桧、相輪用材は桂であると判定することができる。

木肌面には、塔身・相輪共に、鱗・鮫皮・木賊（とくさ）¹⁹⁾などによる研削痕がなく、また俗にキサゲあるいはナデシコ²⁰⁾などと呼ばれる仕上用刃物を使用した痕跡も見当らない。塔身の側面（直立）部分には、ピッチ約 0.5~1 mm の浅樋状の整一な刃痕が、層階上下の水平面には、ピッチやや不統一な細縞状刃痕が見られる。相輪では宝珠先端部分に浅樋状とも縞状とも見える整一な刃痕があるが、それ以外に刃痕はほとんど見られず、全体としてきわめて整然とした、いわゆる鮑目も鮮やかな見事な出来栄である。

これは、旋削作業において、使用した轆轤器の精度が高かつたことと共に、旋削される材料の材質と、旋削部位の寸法と形状によっていろいろな刃物を使い分け、またそれに応じて、轆轤軸の回転速度・刃物の切り込み深さ・送り速度などをがわめて合理的に駆使された結果の所産であるといえよう。

桧は同類の針葉樹である杉や松に比べれば、春秋材部

の硬軟差が小さく、質はかなり密であるとはいうものの、やはり針葉樹であり、全体として軽軟で、旋削性は広葉樹の散孔材に比べてかなり悪い。したがって塔身の旋削で用いる刃物は何よりもまず、刃先角が小さく、切削角（刃先角と逃げ角の和）も小さくできるような、すなわち鋭い刃先の刃物を用いなければならない。また軸の回転が人力で、トルクが小さいから、1刃当りの切削量も制限され、したがってその刃幅も狭くせざるを得ない。以上を勘案し、塔身側面の浅樋状の刃痕とを併せて検討すれば、これを満足する刃物としては写真2に示すような小曲げ鉋刃以外になかったものと考えられる。また層階上下の水平面は木口となるので、1刃当りの切り込み量は更に制約されるから、刃先径を更に小さくした、小曲げ鉋刃を用いたものと思われる。

相輪は被削径が小さいから、小曲げ鉋刃では切削角の微妙な調整がとりにくく、ややもすれば刃先が材中に喰い込んで衝撃のため材のとりつけがゆるみ、旋削不能となる恐れがある。したがって小曲げ鉋刃の使用はきわめて難しい。しかし桂は広葉樹散孔材で、材質は均一で、桧に比べて旋削性が良いから、刃物の切削角はかなり大きくても被削肌はそれ程粗にならない。したがって相輪の旋削には、小曲げ鉋刃に代えて鑿状刃物を用い、一刃当りの切り込み量を小さくして旋削したものと思われる。

遺物の実測による相輪の寸法図を図2に示し

図2 相輪寸法実測図

上部の白棒はマッチ軸木
写真2 小曲げ鉋刃

た。層間ピッチは平均 6.3 mm、各層間のもっとも狭い部分が 2 mm で、深さは約 10 mm である。このような狭い部分を精確にかつ欠損なく旋削するには、刃幅 1～1.5 mm の向待ち形の鑿（刃幅が狭く、厚さの大きい穴掘り専用のもの）でなければならない。この鑿状刃物を写真3に示した。

塔身の上部中央に、経文を収納しかつ相輪基部の丸柄を嵌めるための深い丸穴が垂直にあげられている。遺物の塔 23 基について穴径および深さを測定した結果を表4に示した。穴径はかなりバラツキが大きく、穴の側壁も横削りの痕跡がみられ、かなり粗であった。穴底の形状は弾頭形をしていて、中央部に一段深い凹みらしきものが見られるものが 23 基中約 10 基あった。このような状態から穴明けに用いられた工具は、捻れ錐や鋸（もじり）²¹⁾のようなものでなく、先端が弾頭状になり、側刃をもった匙錐（写真4）あるいは板錐が用いられたものと推測される。穿孔作業はもちろん加工物を回転させ、錐を押し込むものであるが、網引き回転ではトルクが小さいから 20 mm 以上もの径の錐を一挙に押し込むことはできない。始めに 8～10 mm の小径で穴をあけ、15～17 mm の中径を経て最後に目的径の錐を押し込む。

写真3 鑿 刃

表4 穴の状況 (単位: mm)

No.	穴 径	深 さ	No.	穴 径	深 さ	No.	穴 径	深 さ
1	20.4	85.7	9	21.4	88.5	17	22.0	80.8
2	21.2	86.0	10	25.7	90.2	18	24.1	79.2
3	20.2	94.8	11	21.4	95.2	19	22.8	87.2
4	17.8	91.7	12	20.4	93.0	20	23.0	80.4
5	21.6	93.3	13	23.6	85.3	21	21.0	91.7
6	20.8	77.0	14	24.0	76.8	22	22.5	81.6
7	21.6	87.2	15	23.3	93.0	23	21.0	80.0
8	21.4	81.6	16	21.0	70.9

写真4 匙 状 錐

穴底中央部に一段深い凹みのあるのは最初の小径錐が少し深すぎるためのものであろう。穴径は最後に用いる錐径できまるが、穴径にバラツキがあるのは、錐径にバラツキがあったことを示している。しかし回転中の軸振れ、あるいは錐の側刃の切味不良などで穴径が1~2 mmの範囲でバラツクことはあり得るが、表4でみるごとく穴径は最小 17.8 mm, 最大 25.7 mm で、その間 1~2 mmの差のものをグループ別にまとめると、17~18 mm, 20~22 mm, 22~24 mm, 24~25 mm の4種類の異った径の錐が使われたものと推測できる。

以上述べたごとく、百万塔の旋削には、塔身用として小曲げ鉋刃と匙錐または板錐状刃物、相輪用として小幅鑿刃を用いたと思われるが、これらの工具は、形状といい、寸法といい、きわめて特殊なもので、一般の建築木工や指物木工用のものとは完全に異なるものである。現在でも轆轤用の諸工具は既製市販のものはほとんどなく²²⁾、工人が鋼棒の形で購入し、自ら鍛造・成形・焼入・研磨をして使用している状態で、このことは江戸期においても同様で、轆轤は使用する刃物を製品に合せて自作することを得て、始めて一人前とされたものである²³⁾。奈良時代においてどうであったかは、文献・記録の上からは知る術もないが、現代および江戸期の慣習の起源は奈良時代まで遡り得るのではないかと推測される。この場合小曲げ鉋刃や鑿刃では若干の寸法違いは製品にあらわれないが、穴用錐だけは各個人による寸法違がそのまま穴径のバラツキとなってあらわれたものと推測することができる。

5. 轆轤の構造・機能

(1) 史料による考察

奈良時代に、経軸を轆轤で作ったという記録が多くあり²⁴⁾、正倉院文書などに轆轤工人の氏名の記載もあり²⁵⁾、正倉院の御物木工品中に明らかに轆轤挽きと思われる香合などもあるから²⁶⁾、同時代に轆轤があつて、これを駆使用する専門技術者がいたことは明らかであろう。しかし同時代の史料に、轆轤の構造・形式について説明したものはほとんどない。ただ「正倉院文書」に「六斗二升轆轤綱引料」²⁷⁾、「延喜式」木工寮式に「轆轤手湯戸盆、口径一尺八寸、深さ八寸」・「油一升一合、一升塗轆轤軸料、一合塗大拔刀料」・「鉄百廿四延二斤、續轆轤鉋刃料、並造充諸司雜鉄物料」などの記載があり、これらから、轆轤軸は綱引きで廻され、軸には油を給し、刃物は鉄で鉋状に作り、直径1.8尺もの大きなものを挽くこともあった。などのことが断片的に分るだけである。

轆轤については「倭名類聚抄」に「轆轤は円転木機也」・「鉋は轆轤の裁刀也」という記述がある²⁸⁾。円転木機という語の解釈にはいろいろあるが、裁刀の2字から推して、轆轤とは加工物を回転させ、これに刃物をあて

図3 「和漢三才図絵」所載の轆轤

て裁く、すなわち旋削して目的の形を作るものと理解することができる。鉋の字については「箋註倭名類聚抄」に「按木工寮式所載轆轤鉋即此…中略…広韻又云鉋、鉋作標同謂以繩軋軸木為器者也蓋鉋以旋軋為各即所云軋呂也」²⁹⁾とあって、轆轤は明らかに旋削用器機であり、鉋は鉋であり切削用工具であることが判る。中国後魏の「齊民要術」に「挾者鉋作獨樂及蓋一箇三文…後略」とあり³⁰⁾、鉋で獨樂や蓋を作るとあるからには鉋は轆轤あるいはその刃物であると思われるが、轆轤そのものの形式・構造についてはなほ不明である。

江戸期に入って「訓蒙図彙」・「和漢三才図絵」の二書に轆轤の構造をうかがわせるに足るやや精巧な図がある³¹⁾。「訓蒙図彙」ではこれを牽鑽、「和漢三才図絵」では車鉋といっているが、両書に描かれた図は全く同じである(図3)。「訓蒙図彙」は寛文8年(1668)、「和漢三才図絵」は正徳2年(1712)の成立であるから、後者の図は前者の模写であることは明らかである。後者の解説文に「按鉋小予也・其制立短柱横設轆轤置軋器於端有二革紐一人以左右牽軋之一人持鉋削器」とあり、形式と機能もやや詳しく説明している。しかしこの説明によって図3を考察しても、軸受けは首部1箇所のみで、尾端は軸床凸起部に丸柄で嵌められていることは判るが、その細部はなほ不明である。

轆轤についての最近の書「木地師の習俗」³²⁾・「機械」³³⁾・「ろくろ」³⁴⁾などに記載されている江戸末期から明治期にかけて使用された轆轤の写真や実測図をみても、その形式・構造は図3と大同小異である。

このような構造の轆轤では、軸の振れは規制し得ても、軸の軸方向の動きを規制することは難しい。すなわち正面挽き(軸端方向から刃物をあてて削る方法、縦挽きともいう)はできても、百万塔の、とくに相輪の形状のような側面挽き(横挽きともいう)は不可能か、もし可能だとしても、きわめて高度な熟練者が慎重に作業した場合に限られよう。

しかるに遺物の塔身および相輪を観るに、その工作寸法精度がきわめて高く、とくにX方向よりY方向の寸法精度が高いことは、使用した轆轤の、軸振れはもちろ

ん、軸の軸方向の動きがほとんど皆無であったことを物語るものであり、図3で見るような構造形式のものでは長期の使用に堪えなかったのではないかと推察される。

(2) 中世以降の轆轤の軸と軸受け構造

轆轤の器械としての主要部分は、加工物をつりつけて回転させる軸と、それを支えて、正確・円滑かつ軽快に回転させる軸受けとである。中世以降の絵巻物類あるいは絵図類にあらわれた軸および軸受けの形式・構造について考察すると次のようである。

a. 軸…長さ約 500 mm, 直径約 50 mm の丸棒で、硬木製（多くはミネバリ材）である。軸の形式には平行式と中太式の二種がみられるが³⁵⁾、現在する江戸末期および明治期のものはすべて平行式で、中太式のものはない。中太式は牽綱が常に中央に集るという利点はあるものの、実用上の効果にあまりない。

軸の持つべき機械的条件として、軸線が真直で、断面、とくに軸受けに支えられる部分が真円でなければならない。このような丸棒は旋削によって作られねばならぬが長さ 50 cm にもなれば片持ち式の轆轤ではとりつけがいかにも強固でも加工材の端末が振れて旋削は不可能になる。

これを補うためには心押し機構に匹敵する何等かの補助装置の必要を痛感させるものがある。また百万塔の相輪の宝珠先端に到るまでの整一で見事な旋削痕から推して、その旋削には相輪底部の丸柄の径の正確さとある程度の長さを必要とするが（相輪の旋削工程については後述）、この底部旋削には頂部を掴まねばならない。しかし相輪材は桂であり、やや硬質で、しかも塔身程の大径の木取り寸法は考えられぬから取付爪は塔身の時のように大径深爪〔6-(3)〕の方法を採れず小径浅爪式とせざるを得ずその保持力は小さくなり、この場合も前述の長い回転軸の場合と同様に心押し装置状の何かが必要であると推測せざるを得ない。しかし中世以降の轆轤に関する文献類には直接に心押し装置の存在を示唆する何物もない。ただ起源は分らぬが轆轤設備の一つとして軸と同一の線上にあるジクネンボウ³⁶⁾が心押し機構の一つの祖形と考えられるがその事については尚考證と研究調査を必要とする³⁷⁾。

b. 軸受け…絵巻物類および「ろくろ」所載の現存轆轤（年代は不明であるが何れも江戸末期の物を思われる）の実測図より軸受けの構造形式を抽出して整理し、これを表5に示した³⁸⁾。表5で軸受けの機能を不完全ながらも果していると思われるのは、軸を二つの材で上下から押えているBとDで（Dの構造は図3と同じ）、AとCは軸と軸受け板をどのようにして組立てかに疑問が

表5 軸受けの構造形式

No.	成立および 実測年	書名および 実測者名・県名	A	B	C	D
			一木貫通形	短柱二本合せ形	短柱一本貫通形	短柱上下押板形
1	1668	訓蒙図彙				○
2	1670	人倫訓蒙図繪 角細工師			○	
3	1670	人倫訓蒙図繪 錫師	○			
4	1685	和国諸職絵盡	○			
5	1712	和漢三才図繪				○
6	1754	日本山海名物図繪	○			
7	1770	彩画職人部類	○			
8		高橋太郎・新潟県		○		
9	何れも「ろくろ」所載のものと思われる	磯貝 勇・	○			
10		沢田久夫・愛知県	○			
11		橋本鉄男・滋賀県		○		
12		橋本鉄男・秋田県			○	
13		橋本鉄男・岩手県				○
14		橋本鉄男・岩手県	○			
15		石田しず子・新潟県		○		
16		橋本鉄男・岡山県		○		
17		成田寿一郎・秋田県				○
17	昭和 53					

注) No. 17は嘉永3年のもの。

あり、全くの絵空事としか受けとれない。

軸と軸受けの直接接触部はいくら給油しても、長期間の運転をすれば摩耗して遊隙を生じ、軸振れおよび軸方向の動きを助長する。この遊隙を補正し、常時正確な回転を維持するためには、軸受け部あるいはその他の部分に何らかの摩耗調整のしくみを持っていなければならない。表5のうち、Dは軸振れを調整するしくみを持っているように見受けられるが、他には見受けられない。

このような軸受け構造の轆轤では、百万塔、とくに相輪の旋削は不可能であるといわねばならない。

c. 加工材の軸えの取りつけと軸受け構造

遺物の塔身底面を観察すると、塔身を軸端にとりつけた爪の打ち込み跡がみられる。爪の数は3ないし4本で深さは実測の結果いずれも 25~28 mm である。これだけの長さの爪を3ないし4本と同時に底面え打ち込むには、たとえ塔身材が桧で軟質であっても、軸を軸受けに組みこんだままでは、打ち込みの衝撃のため軸受けは破損してしまう。したがって加工材を軸え打ち込むときは、軸を軸受けより外して別の場所で行わねばならない。この意味で軸は軸受けに対し、簡単に分解・組立てきるしくみでなければならない。

6. 百万塔旋削可能な轆轤の試作

(1) 試作轆轤の構造

種々錯誤の結果試作轆轤は軸受けを首尾2箇所に設けた。軸受け構造は表5Dのように短柱をたて、上下の押え板で軸を支持するようにしたが、軸振れを少なくするために上部押え板を、軸受け板押え棒と楔により軽く下圧する方法を採った。また軸方向の動きをなくすために、首部軸受け部にあたる軸部に段欠きを設け、軸受け板でこれを受けて軸の首部方向への移動をとめ、軸の尾端から軽くこれを押すようにした。押す方法としては、軸床

凸起部に作った立形の溝に楔を落す方法を採用した。尾部軸受けは平受けとした。軸受け板と軸、軸端と楔の接触部はなるべく小面積として摩擦抵抗を小とし、軽快に回転するようにした。

接触各部が摩耗して遊隙ができれば、楔が働いて自然に摩耗調整機能を実現してくれる。

この構造によれば、軸のとりつけ、とりはずしはきわめて簡単である。

試作轆轤の構造図およびその姿を、図4および写真5に示した。

(2) 試作轆轤の精度

機能および精度の良否を比較するために、軸受けが首部1箇所、軸端を軸床凸起部に嵌め込みのものを作りこれをA機とし、軸受け構造を図5のようにした。図4の轆轤器をB機とし、AB両機の軸の静的精度をJIS規格中丸ノコ盤の精度検査³⁹⁾を準用し、製作直後と、2時

図4 試作轆轤 (B機)

写真5 試作轆轤

図5 A機の軸受け構造

表6 精度検査結果 (単位: mm)

機(器)種	初期の軸の振れ	初期の軸の軸方向の動き	2時間後の軸の振れ	2時間後の軸の軸方向の動き
精密級丸ノコ盤	(0.02)	(0.03)	—	—
並級丸ノコ盤	(0.03)	(0.08)	—	—
A 器	0.08	0.09	0.4	0.6
B 器	0.06	0.08	0.07	0.08

間の連続回転の後とに分けて精度測定をし、その結果を、表6に示した。両機共初期の精度は、軸振れ・軸動き共に 0.1 mm 以下で、精密丸ノコ盤に比し約 3 倍ではあるものの、百万塔製作用轆轤としては十分な精度を有している。しかし2時間運転後の精度はA機では初めの 4~5 倍にもなり、塔製作用、とくに相輪旋削用としては使用不能に近い状態になった。それに比べてB機の精度はほとんど変らなかった。分解して段欠き部を見るとかなりの摩耗の跡が見えるが、軸端よりの楔の調整の効果があったものと思われる。

(3) 加工材のとりつけ方法

百万塔の旋削において、完全正面挽きがなされるのは、塔身の穴明けと底面の旋削だけで、他の部分および相輪はすべて側面旋削である。側面旋削は加工物に対し、刃物の側面圧力がかかるため、加工物の実えのとりつけはとくに強固でなければならない。

塔身の側面旋削および穴あけのさの軸えのとりつけは、塔身底面に残る爪跡から、長さ 25~28 cm の爪が打ち込まれたものと判る。しかし東博所在の 48 基中、爪跡の看取できる 43 基について、その本数・配置形式および開き寸法を調べると表7のように非常にまちまちである。このことから、使用した轆轤は多数台であり、しかもその軸爪はかなり多人数の別々の工人によって製作されたものであろうと推測することができる。

塔身底面の旋削は、先にあけられ丸穴を利用し、軸端に丸柄を作って、穴をこれに差し込んで行ったものと推測される。

遺物の相輪に爪跡は見られないが、相輪の形状と宝珠先端に到るまでの見事さから推して、そのとりつけはよほど強固なものであったと思われる。これには、はじめに相輪基部に丸柄を作り、この丸柄を、軸端に作った丸穴にきつく嵌めて回転させたものと考えられる。その丸柄を作るには、末旋削の宝珠部分を、爪の方法で軸にとりつけることが考えられるが、相輪材は桂であって、桧より硬く、割裂性も大きいから、塔身の場合のように、

表7 爪の形と開き寸法 (単位: mm)

形	名称	開き寸法
— —	十字形	19, 20, 23, 24, 25, 27, 31, 46, 48, 52, 66
□	箱形	15, 20, 21, 24, 24, 38, 42, 42, 44, 52, 56
—	菱形	22, 22, 28, 33, 48, 50, 50, 52, 54, 57
//	斜菱形	22, 25, 53, 56
—	二列形	32, 39, 40
人	外三角形	28, 44
人	内三角形	52
—	菱二列形	40

中央のものは小爪：丸柄兼用

写真 6 軸のとりつけ形式

大爪を深く打ち込むことはできない。したがって、爪は長さ 5~10 mm, 開き寸法 10~20 mm 位でなければならぬが、それでは保持力が弱いので、これを補完する意味で、5-(2)-a で述べたような心押し装置の併用が必要であったものと推測する。心押し装置については塔の試作実験の項で詳述する³⁷⁾。

以上のように百万塔の旋削加工のさいの加工材の回転軸えのとりつけ方法として、塔身用には大爪式と丸柄嵌め込み式、相輪用としては小爪と丸穴差し込み式が必要となる。試作した 4 つの形式のものを写真 6 に示した。

7. ま と め

百万塔は日産約 700 基というノルマ的性を余儀なくされていたと推測されるにも拘わらず、その出来栄は誠に見事である。筆者は遺物の塔約 50 基を仔細に観察し、各部の寸法を実測し、それから推して塔の旋削技術とその使用轆轤の構造・機能および治工具について検討を加えたが、結果は次のとおりであった。

- (1) 実測平均寸法は「続日本紀」に記されている計画寸法にきわめて近い。
- (2) 各部寸法の標準偏差は、平均約 0.15 で、とくに Y 方向、すなわち高さ方向の工作寸法精度が高い。
- (3) 塔身および相輪の表面に残る整然とした刃痕と、工作寸法精度の高さとを合せ考えて、使用轆轤はきわめて高精度で、とくに軸の軸方向の動きの小さい構造のものであったことが推測される。
- (4) 塔身の穴、基台底面の旋削痕はかなり乱れているが、このことから穴あけ用工具と、底面旋削における、塔の軸えのとりつけ方法が推測される。
- (5) 塔身および相輪用材の材質と、それぞれの被削面に残る刃痕形状から、塔身の側面旋削には小曲げの丸刃を、木口面には小曲げの鉤刃を、相輪の旋削には鑿刃を、とくに階層の挽き込みには幅 1~1.5 mm の向待形鑿刃を用いたことが推測される。穴あけには匙状錐または先端が弾頭状の板錐の使用が推測される。
- (6) 刃物の当て位置野示には、罫引き形の割りつけ

ゲージを、旋削結果の寸法や形状の確認には、形ゲージや深さゲージなどが用いられたと推測される。

- (7) 奈良時代の轆轤を史料によって調べたが、綱引きで、軸に給油した、などの外にその構造・機能については不明である。
- (8) 中世以降の轆轤を絵図・実測図その他の資料によって調べたが、そのほとんどが軸受けの構造形式から推して、軸の軸方向の精度が低く、百万塔旋削用には不適當と思われた。
- (9) 以上の考察に基づき、軸受けを首尾 2 箇所に設け、軸に作った段欠きと調整楔とによって、軸の軸方向の動きを規制し得る轆轤を試作し、比較のため在来形轆轤との 2 機を、JIS 規格を準用してその精度を検査した。その結果、試作轆轤は百万塔、とくに相輪を旋削するにも必要にして十分な精度をもつものであることが確認され、塔の試し旋削の結果からもその事が確かめられた。
- (10) 遺物の塔の形状・寸法および旋削刃痕などから推して、加工材の軸えのとりつけには、大爪式・小爪式（心押し装置併用）・丸柄式・丸穴式の 4 つの方法が採られたものと推測され、この 4 つの軸を試作した。

以上百万塔の遺物について種々観察・調査した結果に基づき、使用したと思われる轆轤や治・工具について検討を加え、試作して試用した結果を報告した。

引き続き次報では、実さいに旋削作業を長期にわたって行い、塔を試作し、その結果に基づいて技術上の諸問題や製作工程などについて検討し、また 1 基あたりの旋削所要時間から割り出した実さいの旋削作業体制について検討したい。また使用した樹種・性状、採材方法および使用量などについても検討を加え、百万塔 100 万基生産の技術的全容を明らかにし、これを報告したい所存である。

謝 辞

本研究に当って、百万塔遺物の観察・測定の便宜を与えられ、かつ多くの資料を供与下された。東京国立博物館、法隆寺宝物室長、文部技官木内武男氏、史料を供与され、種々御指導下された、千葉大学工学部教授大河直躬氏、技術的助言と木碗測定などに協力を賜った、小田原の神奈川県立工芸指導所、刃物製作に協力下された兼房刃物工業株式会社、長野県南木曽の挽物業界の方々に深甚なる謝意を表するものである。

注

- 1) 狩谷掖斉「続日本紀校注」・穂井田忠友「観湖雑帳」・「平子鐸嶺「百万塔肆攷」明治 41 年等
- 2) 「続日本紀」巻第卅一神武天皇の宝龜元年(770) 4 月の頃に「戊午初天皇 八年乱平乃発弘願令造三重小塔一百万基-高各四寸五分基徑三寸五分露盤之下各置根本慈心相

- 輪六度等 陀羅尼_ニ至_レ是功畢分_ニ置諸寺_ニ賜_ニ供_ニ事官_ニ人己下仕丁己上一百五十七人爵 各有_レ差」とある。
- 3) 「諸寺縁起集」菅家本の元興寺吉祥堂の條に「……故号小塔院、轆轤曳高七寸許塔也」とある。
- 4) 平子鐸嶺は十大寺とは「拾芥抄」にありとして、「百万塔肆攷」に次の 10 大寺を挙げている。大安寺・元興寺・興福寺・薬師寺・東大寺・西大寺・法隆寺（以上奈良）四天王寺（攝津）崇福寺（近江）弘福寺（大和）。
- 5) 「観湖維帳」前掲書に「百万塔、今は法隆寺に幾万許か残れる、其他の諸寺には 嘗て見聞及ばぬことにぞなれにけり」とある。
- 6) 「百万塔肆攷」前掲書に「今法隆寺に伝うるもの万有余・「百万塔の今寺に存するもの四万三千九百三十箇」の 2 つの記載がある。また 東京国立博物館法隆寺宝物室長木内武男氏によれば（今法隆寺に存するもの約 4 千基）というが、その残存実数は不明のようである。筆者は本稿で、一応木内説を採った。
- 7) 48 基中常時展示されているものは 20 基、28 基は別に保管されている。
- 8) 幕末から明治にかけてと、第二次大戦後若干の 期間の 2 回にわたり寺外に対して かなり流出したという。現在に市井に 奈良時代作の古塔と思われるものを 私有している人がかなり多い。但し昭和 14 年の模作も多い。
- 9) 「奈良国立文化財年報」1966 未完成小塔塔身 1 基、荒旋削挽込み。穴および底面未加工。
- 10) 「百万塔肆攷」前掲書に「塔身は桧、相輪は桂また小水木犀。狩谷掖斎は「続日本紀校註」に「……其露盤以上用桧、以下用桧」とある。
- 11) 「東大寺要録」第四本願章、薬師寺本「薬師寺縁起」元弘三年（1333）。
- 12) 綱引き轆轤の綱引き工のことを「正倉院文書」などでは夫と記している。
- 13) 本稿注 2
- 14) 百万塔製作のためには 轆轤工、その他に伐採・造材などの木工作、鉄工・画工・印刷工などの 各職種の工人が参画したものと推測される。
- 15) 「観湖維帳」前掲書に「統紀の尺寸は天平尺なり」とある。
- 16) 小田原市某工房製の木碗木地 100 個を無作為に抽出し、これを 神奈川県立工芸指導所木工課で 寸度測定をしてもらった。
- 17) 竹内理三氏「日本上代寺院経済史の研究」による、上代技術労働者の分類（『体系日本史叢書』10『産業史』1, p. 283）によれば「様工は型・模型を作る。様大工は材の様式を定め…中略…あるいは すべてに通じ請負工の意味を持つことあり」と記され、様工とは一種の設計技術者、治具・ゲージの製作者であったことがうかがえる。
- 18) 遺物の塔にも 顔料塗布の跡がうかがえる。狩谷掖斎は、「……丹碧剥落殆盡……」といている。
- 19) 鑑・鮫皮・木賊はともに 古来からの研削材で、研削に木賊を用いることは「倭名類聚抄」百九十九膠漆具の項、「延喜式」木工寮にあり。
- 20) 轆轤用の 幅広鑿状の仕上用刃物のこと。ナデシコ・ホンシコ・キサゲなどと呼ぶ。
- 21) 径の小さい 深い穴の周壁を上げるための リーマー状の工具。「倭名類聚抄」に「鋸、毛遅利鑽也」とあり「和漢三戈図絵」には十字形の柄付のものを図示説明している。
- 22) 轆轤用刃物を 鋼材の形で販売する店が、小田原市に一軒ある。依頼すれば刃物の素形は作ってくれる。
- 23) 轆轤工といわず、一般工人の古来からの 習慣であったといつてよい。とくに轆轤工にその習癖が大で、彼等は轆轤工房の傍に 轆を 備えた鍛冶場を持つことを 常としてきた。
- 24) 「大日本古文書」：（追加四）正倉院文書東大寺写経所解案、同十四（追加八）同東大寺司牒などにあり。
- 25) 「大日本古文書」十六（追加十）正倉院 文書作金堂解に「二等轆轤工紀昃万呂」の記載あり。
- 26) 桧轆轤挽き合子 2：、楓（ケヤキ）轆轤挽き合子 3：、桜轆轤挽き合子 2：など。
- 27) 「大日本古文書」十（追加四）天平 12 年（748）正倉院文書東大寺写経所解案にあり。
- 28) 「倭名類聚抄」第十五第百九十六調度部作具の項。
- 29) 狩谷掖斎「箋註倭名類聚抄」天保 6 年（1835）五造作具「鉋」の項。
- 30) 「斉民要術」種榆白楊第四十六の項、挾者とは小径の榆樹のこと。
- 31) 「訓蒙図彙」卷之十器用二十八ウ、「和漢三戈図絵」第二十四百工具
- 32) 文化庁文化財保護部編「木地師の習俗」1 三重県・滋賀県、2 愛知県・岐阜県、昭 43。
- 33) 吉田光邦氏「機械」法政大学出版局（ものと人間の文化史）1974.12
- 34) 橋本鉄男氏「ろくろ」法政大学出版局（ものと人間の文化史）1979.1
- 35) 「訓蒙図彙」「1668, 「和漢三戈図絵」1712, 「彩画職人部類」1770 の三書の轆轤の図のみ軸は中太式、他はすべて平行式。
- 36) ジクネンボウについては「ろくろ」前掲書 p. 303 および第 72 図に説明および説明図があり、加工材を爪に打ち込むための叩き製置となっているが、軸心が 同一線上にあるという点で心押し機構としての示唆が与えられる。
- 37) 心押し機構については本稿 II の相輪旋削の項において詳しく述べ、我国における轆轤と旋盤との関係と 西欧におけるそれとを対比して考察する所存である。
- 38) 橋本鉄男氏は「ろくろ」で表 5 の A・B・C・D をそれぞれ一木式・二木式・三木式・四木式としている。
- 39) JIS B 6508 「木工用および製材用丸ノコ盤」④精度検査 2 主軸の振れ、3 軸の軸方向の動きの 2 項を準用。

SYNOPSIS

UDC : 72.03 : 72.022

EXPERIMENTAL STUDY ON PRODUCTION METHOD OF ONE MILLION WOODEN MINIATURE PAGODA, NAMELY HYAKUMANTO I

—Accuracy of measurment, used face lathe and tools or gauges—

by JUICHIRO NARITA, Lecturer of CHIBA Univ., Member of
A.I.J.

We observed and took a measurment of sizes about ONE MILLION WOODEN MINIATURE PAGODAS, namely HYAKUMANTO, left at Horyuji temple.

We manufactured a trial face lathe that had anaxis, and tools or templets in order to acturally produce the HYAKUMANTO, finally checked their utility.