百万塔製作技術の実験的研究 II

使用材料・旋削技術・旋削工程・所要工数

正会員 成 田 寿 一 郎*

1 はじめに

第1報で奈良時代に、木製轆轤挽き小塔百万基が、全製作期間5年8箇月、正味轆轤作業期間推定4年8箇月、すなわち日産約700基というきびしいノルマ生産で作られているにも拘わらず、その出来栄えが非常に見事であることが、遺物群の被削面の性状を観察し、各部の寸法精度を測定した結果明らかであることを報告した¹⁾。これを製作するのに、それぞれの部位に適した刃物を使い分け、各種の治具を適用するという優れた技術が駆使されたことはもちろんであるが、使用された轆轤器械の構造と機能が優れたものであったことが推測される。そこで史料および江戸期以降の轆轤の実測図などによって検討を加えたが、百万塔を満足に旋削し得る構造機能のものを見出すに到らなかった。

遺物の寸法精度中、とくに高さ方向(Y方向)のそれが高かったことから、使用した轆轤は軸の軸方向の動きが規制され、とくに摩擦による遊隙の調整機能をもったものでなければならぬと考え、そのような機能をもった純木製綱引き轆轤を復原試作し、長時間の連続負荷運転試験の結果、充分満足すべきものであったことを確かめた。

本報告は前報に続いて、塔の使用材料について、樹種・性状およびその所要量と造材の方法などについて検討する。また旋削作業の工程と適用治具・工具について、復原試作した轆轤によって塔の製作実験をしつつ技術的考察を加え、製作所要時間を測って、1日700基生産のための組織・体制のあり方を検討・考察した結果を報告する。

2 材料について

(1) 使用樹種

塔身の用材については、狩谷・平子が共に桧であるとし、相輪の用材については、狩谷が桜であるとし、平子は桂または水木屋(もっこく)であるとしている²⁾。遺物の塔身を観察し、とくに底面にみられる年輪の走行状態、階層の欠損部分にみられる年輪間隔、手に持ったさいの重量感などからして、観察し得たもの全数³⁾については、主観的ではあるが桧と確認し得た。百万塔の塔身

用材として持つべき条件は、i:巨量が短期間に、容易に取得できること。ii:造材が容易にできるよう割裂性が大きいこと。iii:旋削加工が容易で、仕上りがよいこと。の三点であるが、我国内に生育する樹種中、iに適応するものは針葉樹では、杉・桧、広葉樹では樺が該当するかもしれぬが、iiの点で樺は除外されよう。iiiの点では杉は不可能ではないが、春秋材の硬軟差があり過ぎ、旋削というのでは桧の方が適材である。以上の観点からも塔身用材はすべて桧であったと推測することができる。

相輪用材も、実際に手にとって観察し得た範囲に限って言えば桂であると推測し得よう。

桂・水木屋・桜は何れも広葉樹の散孔材で、材色は何れも、淡赤褐色または赤褐色で、材質は均質でかつ緻密であるが、気乾比重は、桂が約0.47~0.5、桜が0.6~0.7、水木屋が約0.8である⁴⁾。水木屋はツバキ科の小径木で、南方産で、木斛または厚皮香ともかき、我国では四国・九州地方に産する樹で、蓄積量も少なく、何よりも比重が大で堅硬であり、回転力の小さい綱引轆轤では旋削不可能というべきである。平子は「百万塔肆玖」で「専門工匠の鑑る所によれば、下部は桧にして、上部は水木屋或は桂なるべしという。これは手工を施すの便宜なるに従ひて、その木質を扱ひたるものならん」⁵⁾と述べているが、平子がいつている専門工匠に綱引きによる轆轤挽きの経験があったかどうかは不明である。これは思うに、水木屋は別名を“あかみのき”といわれる程、材色が桂に似ている。また水木屋はモッコクであるが、これと別に木屋という樹があり、これはモクセイである。モクセイは別名を銀桂ともかくことから、桂、銀桂、木屋、水木屋の混同があったのではないかと推測することができる。

桜は桂よりはかなり堅硬である。しかし、綱引轆轤による旋削は相当困難ではあるが可能であることを実験で確認した。しかし能率的には桂の倍近くかかることから、一部に桜を用いた可能性はあるとしても、大部分の相輪は桂を用いたと思われる。

塔身に桧を用いているから、相輪も共木(ともぎ)にして桧を用いるべきだとの考えもあるが、相輪は小径で、しかも層間隔が小さいから、使用刃物は鑿でなけ

* 千葉大学 講師

(昭和54年10月17日本稿受理・討論期限昭和56年5月末日)

ればならぬことは第一報で述べたとおりである⁶⁾。桧を鑿で旋削すれば、その肌は粗になり、層屋は欠け易く、旋削加工技術の立場から桧材の選択はあり得なかったといわねばならない。

(2) 桧の性状

法隆寺大宝蔵殿の100基、東京国立博物館の48基、その他市井所在の数基を観察すると塔身用材の桧はそのほとんどが年輪幅 1～1.5 mm の糸柱に近いものであることが看取できる。東京博物館所在の 25 基について、塔身基台底面を添尺して撮影し(写真-1)、底面直径約 105 mm における年輪曲線の矢高寸法を測定すると、表-1 の如く、最大 6 mm、最小 0.5 mm、平均 2.2 mm であった。平均矢高寸法 2.2 mm を採り得る原木の必要直径を概算し、これを図示すれば図-1 のようになる。塔身用材はすべて心材(赤身)であったろうから、これに辺材(白太)部分の幅を約 100 mm とし加えれば、丸太の直径は約 1500 mm となり、年輪幅を 1～1.5 mm とすれば、丸太の樹令は 500～750 年と推定することができる。百万塔そのものが宗教的意義を持っていることと、回転トルクの小さい綱引き轆轤で旋削しなければならぬという、工作技術上の必要から、年輪間隔の粗い低級材や、節・割れ・档のような欠点部分を用材として用いることは考えられない。したがって作られた百万基の塔身用材はすべて前述の程度の優良材であったものと推測される。

(3) 所要量

塔身 1 基分の木取り正

写真-1 塔身底面

表-1 年輪の状況
(単位: mm)

No.	年 輪 幅	矢 高 寸 法
1	1 ～2	2
2	1 ～2	3
3	2 ～3	5
4	0.5～1	2
5	0.5～1.5	3
6	0.5～1.5	2
7	0.5～1	5
8	0.5～1.5	6
9	0.5～1.5	6
10	0.5～1	2
11	1 ～2	3
12	1 ～1.5	1
13	1 ～1.5	1
14	0.5～1	1
15	0.5～1	1
16	1 ～1.5	1
17	1 ～2	2
18	1 ～1.5	3
19	0.5～1	1
20	0.5～1.5	0.5
21	2 ～2.5	2
22	0.5～1	1
23	1 ～1.5	1
24	0.5～1.5	1
25	0.5～1.5	1

図-1 塔身用材採丸太

A 密柑割り(十字割り)
28 基採材可能

B 太鼓落し
24 基採材可能

図-2 丸太割りの墨かけ

味材積は $10.6\text{cm} \times 10.6\text{cm} \times 13.2\text{cm} \approx 1483\text{cm}^3$ であるが、旋削前の歩増し寸法をそれぞれ 1 cm ずつとすれば所要材積は約 1910cm^3 であり、100 万基分の必要材積は 1910m^3 となる。

図-1 で直径 150 cm の丸太断面における、前述のような条件をもつ塔身材の採取可能部分を斜線で示したが、その面積は全断面の約 30% であり、その部分からの塔身用木取材の採材数は 24～28 箇である。丸太よりの造材の方法は楔の打ち込みによる箭割りであったと思われるが、割りのための墨かけには図-2 のように二つの方法が考えられる。仮りに割りのさいのロスを見無視して考えた場合、採材数からいえば密柑割りの方が有利であり、塔身材を採った以外の部分の有効利用を考えるなら太鼓落しの方が有利である。

百万塔の製作が孝謙上皇より下命されたのは、天平宝字 8 年 9 月であり⁷⁾、同年同月西大寺の建立も下命されている⁸⁾。桧材は西大寺建立用材としても多量に用いられたと思われるから、百万塔用材と西大寺用材とは当然補完し合ったことが推測され、その意味で塔身用材は太鼓落しの方法で割られたと推測できる。以上に述べた墨かけや造材の方法は優良塔身材を採り、かつ建築用材と補完し合うための一つのパターンを示したもので、実さいには建築用として極木や斗材を主として採り、長さの短い塔身材はその余材をもってあてたかもしれず、その順序方法はいろいろであったと思われる。

丸太の長さが大になれば、割りにくく、割るさいにロスも出やすい。しかし残材を建築用材として利用するとすれば 4 m 以下の長さは考えられない。

長さ 4 m の材から、長さ 14.2 cm のものが何箇採れるかは、切断の方法如何による。

8 世紀の後半に横切用鋸が、どの位実用されていたかについては諸説のある所である。吉川金次氏によれば、あさりのついた二等辺三角歯形の横切鋸は 7 世紀にすでに用いられていた⁹⁾、法隆寺大斗の切断面に鋸の挽き跡があることなどから^{10), 11)}、8 世紀には横切鋸はかなり用いられていたことは推測できるが、百万塔の木取りが横切鋸でなされたかどうかは疑わしい。

平城宮跡より発掘された塔身の未成品¹²⁾の底面を観察すると、外周に幅約 10 mm 位の輪状の刃痕がついていられる平面部分があり、中央部はそれより約 5 mm 位盛り上っている。発掘品は所々をプラスチックで補填しているため、その面の性状をよく識別し得ないが、外周の平面部分は底面の振れを正した突っ切り旋削の跡であり、盛り上っている部分は鋸に代る鉋状刃物での切断の跡であると推測される。

あさりとなげしが、ないか、あるいはあったとしても不備な鋸で、約 12 cm 角の未乾燥の桧材を横切りするのは、斧や鉋によるより労が多く、かえって非効率である。

12 cm 角材の鉋による長さ木取りの歩止りは、実験の結果、約 70% である。すなわち 4 m の長さから、長さ約 14 cm の塔身材の採材箇所数は、約 20 箇所と考えられる。

直径約 1.5 m、長さ 4 m の丸太 1 本の材積は約 7.065 m³ である。丸太 1 本よりの塔身の木取材採取箇所数は断面で 24 箇所、長さで 20 箇所であるとすれば 480 箇所であり、1 箇所分の材積は前述の如く 0.00191 m³ で、480 箇所分では約 0.917 m³ であり、歩止りは約 13% となる。

塔身 100 万基を作るには、直径 1.5 m、長さ 4 m の丸太が約 2083 本必要であり、その容量は約 14716 m³ となる。

相輪 1 基分の所要材積は、4.5 cm × 4.5 cm × 9 cm で、約 0.000182 m³ であり、100 万基分で 182 m³ となる。

相輪用材の桂は巨木にはなり得るも桧のように群生ではなく、生育地域は広い。したがって計画的な伐採・造材は難しく、おそらく諸国に令して、桂の良材を朝廷への貢納の形で調達したものではないかと推測される。その場合、桜や水木犀が桂と間違えて収められたこともあったのではないかとと思われる。

3 塔の復原試作

(1) 作業場の環境と準備

a 作業方式……轆轤挽き作業には立式と座式の二つが考えられるが、小林行雄氏が古墳時代の轆轤を想像して描いた復原図では座式であるし¹³⁾、中世以降の絵巻物類でも轆轤作業はすべて座式であるから、奈良時代の轆轤作もまた座式であったと考えられる。座式の場合、轆轤は動揺しないように、床に対して鋸や大釘で固定し、刃物受け台も安定させねばならぬから、床は当然厚板敷であったと推測される。

1 台の轆轤が作業上必要とする面積は図-3 に示すように約 4 m² である。毎日約 700 基の塔を生産する¹⁴⁾ために、何台の轆轤を必要とするかは後章で明らかにするが、かなり広い面積の作業場を必要としたと考えられる。

b 作業の準備……塔を復原試作するための材料としては、塔身用材として、年輪間隔 1~2 mm、完全二方桧の桧の角材を、相輪用材として、桂・水木犀・桜の三種

図-3 轆轤挽きの作業面積

を用意した。塔身用材は長さを約 135 mm、底径を約 110 mm、頂径を 85 mm に、相輪材は長さ約 100 mm、断面を 45 mm 角にし、鉋でそれぞれを円錐台または円筒形に荒削した。このさい、軸へのとりつけのさいの振れを考えて、目的寸法よりそれぞれ 3~5 mm の歩増しをした。

轆轤はかねて試作していたものを、軸は大爪・小爪・丸柄・丸穴の 4 つの形式のものを準備し、軸には綱との滑り止めとして膠を塗布し、細砂を撒布した。刃物受け台は受け面を轆轤軸と平行にしたものを準備し、前後および左右傾斜のできるようにした。

(2) 旋削工程と技術上の問題点

a 旋削工程……塔身と相輪はもちろん別々に旋削される。その工程順序と作業要領は、表-2・表-3 の如くである。

b とりつけと振れ……塔身材を大爪にとりつけるさいには、旋削のときゆるまないように、爪の長さいっぱいを実際に打込まねばならない。この時に底面が軸線に対して振れておれば旋削の結果、頂径寸法が小さくなるからとりつけのさい振れを小さくするようにしなければならぬ(図-7)。底面が振れておれば荒挽きの後、図-7 のように突っ切り旋削でこれを正しておく必要がある。平城宮跡よりの発掘品の底面の状態がこの突っ切りを物語っていると推測される。

c 軸の回転性能と挽き込み要領……軸の回転性能は軸受け部に摩擦抵抗がなく、綱と軸の摩擦が大で滑りがない場合、軸径と綱引夫の体力(体格)に左右される。

軸径が 50 mm、綱引夫の一引きのストロークを約 80 cm とした場合、一引きの回転数は約 5 回である。実験の結果常人の体力の人で毎分の綱引き回数は約 48 往復で、軸の毎分回転速度は約 240 回となる。回転は綱の往復によって正逆交互であり、切削は正転(手前側に回転)のときのみ刃物をあてて行われ、逆転の時は刃物を

表—2 塔身の旋削工程

No.	工 程 名	作 業 内 容	軸 え の とりつけ方法	刃 物	治 具	摘 要
1	荒 挽 き	円錐台形に削る	大爪打込み	小曲げ丸刃	嵌め込みゲージ	底径 103 mm 頂径 77.3 mm 図
2	基準面挽き	底面外周部を削る	同 上	小曲げ鉤刃		底面の振れを正す
3	割 り 付 け	挽込み位置を罫かく	同 上		割り付けゲージ	図 5
4	挽 き 込 み	各階層の凹みを挽く	同 上	小曲げ丸刃	深 さ ゲ ー ジ	
5	仕 上 挽 き	細部を挽く	同 上	小曲げ丸刃 小曲げ鉤刃	形 ゲ ー ジ	図 6
6	穴 あ け	穴をあける	同 上	匙又は板錐 8, 15, 22 mm		
7	底 面 挽 き	底面を中凹に挽く	軸端丸柄に 穴をはめる	鑿刃またわ 小曲げ丸刃		正面挽き

表—3 相輪の旋削工程

No.	工 程 名	作 業 内 容	軸 え の とりつけ方法	刃 物	治 具	摘 要
1	丸 柄 挽 き	基部に丸柄を作る	小爪打込み	鑿 刃	嵌め込みゲージ	心押し装置併用
2	荒 挽 き	大体の形状に荒挽きする	軸端丸穴に 柄を差し込む	鑿 刃		
3	割 り 付 け	挽き込み位置を罫かく	同 上		割り付けゲージ	
4	挽 き 込 み	凹部を挽き込む	同 上	1~1.5 mmの 小 幅 鑿 刃	形 ゲ ー ジ	
5	仕 上 挽 き	宝珠先端ほか細部を挽く	同 上	鑿 刃

図—4 嵌め込みゲージ

図—6 深さ兼形ゲージ

図—5 割り付けゲージ

図—7 取り付け不正

引込めねばならない。挽手は綱引夫の動作に合せながら、刃物を常に前後に揺動させながら切削する必要がある。綱引夫はまた常に挽手の手許を見ながら、綱引きの力、速度を加減しながら綱引きに緩急をつけねばならない。しかし挽手と綱引きの呼吸が合えば作業は淀みなく行われ、電動による一方回転の場合に比しそれ程能率は劣らない。電動によるトルクを、人力によるトルクとほぼ同一にして両者を比較実験した場合の綱引きの電動に対する能率低下は 20~30% の範囲であった。

d 穴の振れと底面旋削……穴径にバラツキがあり、それは使用錐径の大小差のためであろうということは前報で述べたが¹⁵⁾、今一つの問題は穴位置の振れである。これは大径の錐で穴径を拡げるさい、中心がないために、材の年輪の粗密・方向差などのために錐が引かれて振れるためである。予じめ呼び穴を作ってやることである程度防げるが、それでも些少の振れは免れない。

遺物の塔身底面を観察すると、中央部の旋削痕が大きく乱れ、かつ左右非対称に凹凸に振れているものが多い。これは底面旋削のさい、穴径の大小差を補正するために皮・木片などのパッキングによるか、あるいは穴位置が始めから振れていたために生じたもので、比較的穴径が小さく、しかも位置が振れていないものは、底面が整然と旋削されていることからこれを推測することができる。

(3) 心押し機構(両持ち旋削)適用の可否

我国の中世以降の轆轤の絵図・資料類で、心押し機構を併用した両持ち旋削について説明したものは皆無であると思われる。しかしヨーロッパやエジプトで古代から用いられていた弓旋盤(Bow Lathe)や、それにつづく竿旋盤(Pole Lathe)などは明らかに心押し装置を備えた両持ち旋盤である¹⁶⁾。Joseph Needham 氏は「手揉み錐の単純往復回転運動から、紐巻きによる、ある範囲の連続回転運動機能が生れ、その具体的工具として弓錐(Pump Drill)の発生があり、錐軸を水平に台枠上に支持することによって旋盤の成立が可能であった」と述べている¹⁷⁾。

弓錐は舞錐または轆轤錐ともいわれ、我国でも弥生時代の後期に発火器としてこれと同機構のものが用いられていたことはよく知られている¹⁸⁾。この弓錐は軸の一端(錐先)を加工物にあて、他端を作業者が支えて、紐によって軸を回すという点で両持ち回転である。したがって中世以降の絵図・資料に説明はなくても、この弓錐などの経験から、古代の轆轤技術者たちの間に、加工物の他端を支えて軸を回転させることによって加工物の振れを防ぐという考えがあったのではないかと推測させられる。椀・盆などのように径に比し高さ(長さ)の小さいものはよいが、径に比して長さが大で、側面旋削を主とするもの、あるいは材が堅くて爪によるとりつけ力の弱

図-8 心押し装置

いものなどを旋削する場合に、何らかの方法で心押しをして加工物の振れを防ぐというのは古代の轆轤技術者の間で、実さい作業の経験に徴してもあり得たことではなかろうかと思われる。仮りにその場合の心押し装置は釘状の凸起をもつ心押し台を軸心に合せて軸床または床板に大釘あるいは鋸でその都度図-8 のようにとめるだけでよい。このような心押し機構の適用については、東北地方のこけし作りの工人達(鳴子・作並・遠刈田など)の技術的伝承として古くから(少なくとも江戸期から)あったとの証言もある。今回の百万塔の復原試作作業において相輪底面の丸柄挽きでは小爪のとりつけ力不足を補うために止むを得ず心押しを併用したが、古代においてもそうであったと断定し得る証拠はなにもない。

心押し機構を備えた轆轤は機械の定義からいえばすでに轆轤ではなく旋盤である。我国における旋盤の使用の始まりは明治初期からであるとの通説を覆すだけの物的資料はなにもない。しかし相輪底面の丸柄挽きで、もし心押しを適用しなかったとすれば他に振れ止めを含む強固なとりつけ方法がなければならず、このような方法は技術的に心押しよりむずかしく、むしろ古代にはあり得なかったとも考えられる。したがってここでは古代にも工人達の技術的経験から心押しを併用した旋盤的な加工法があったのでなかったかという問題を提起していずれ他の判定をまつことにしたい。

(4) 相輪の挽き込みと小幅鑿

相輪の細部実測寸法は第1報図-2に示したとおりで、各層間の最奥の寸法が2mm、深さ約10mmである。これを旋削するには刃幅約1.5mm以下の鑿刃を用い、単に押し挽きするのではなく、刃先を左右に揺動さ

図-9 刃物台の位置と高さ

せながら切り込みを進めなければならない。軸には少しの振れや軸方向の動きがあってはならず、刃物台は図-9に示す如く、できるだけ加工物に近づけ、刃物を安定させながら挽かねばならない。なお鑿は突っ切り専用として両耳の鋭いものと、仕上げのための両耳の丸いものとが必要であることが実験上確認された。

4 作業組織

本報告を執筆する時点までに、筆者は約60基の塔を製作した。筆者の作業はもちろん、1人の作業員による、一貫作業であった。しかし多人数が多数台の轆轤を用いて、多量に生産する場合のやり方としては、このような一貫作業の他に分業のやり方がある。

一貫・分業の両作業の優劣は一概にきめられないが、単一品種の多量生産においては、後者の方が能率的にも勝り、品質的にも均一なものが得られることは論をまたない。

奈良時代に分業という語句はなかったと思われるが、百万塔製作において分業形式の方法が採られたことは必至と推測される。さもないと5年8箇月の短期間で100万基という量の生産はできなかったであろう¹⁹⁾。

分業の組織と流れは一つの例として図-10のようなものであったと考えられる。流れは塔身と相輪の二つに大きく分け、それぞれが表-2・3のような工程毎に分れ、各工程間には仕事待ちの仕掛り品の貯留場を設け、工程間の仕事の遅速の調節をしたものと考えられる。

各工程毎の轆轤の保有台数、すなわち作業人員の割り振りは、各工程毎の仕事量の多寡、すなわち作業所要工数(時間)に比例して定められよう。筆者の作業実験の結果から、その配分比率は、図-10中の()内数字のようであるべきであろう。すなわち全体を100とすれば、塔身旋削工数は約55、相輪は45となり、塔身の挽き込み仕上にもっとも時間がかかることが明らかである。

5 所要工数と轆轤台数

試作轆轤を使用し、普通の体力の成人男子による綱引きで、塔身は桧材、相輪は桂材で、表-2・3に示したような要領で塔を旋削した結果、最初は1基に3時間以上費してなお満足に作り得なかったが、数を作って馴れるにしたがい、塔身に約70分、相輪に約50分、1基を約2時間で旋削することができ、約60基を作り得た後も変らなかった。

相輪用材として桜材を用いた場合は、相輪個約80分、水木犀を用いた場合は90分を費しても容易でなく、材

図-10 作業工程と工数配分比率

料の硬さが著しく切削能率を下げ、時間を要することが判った²⁰⁾。

轆轤挽き経験約30年以上の工人数名に²¹⁾、遺物の塔の写真と筆者製作の実物を提示して、旋削所要時間の証言を求めたが、現在の電動轆轤で1基60～90分であろうとのことであった。筆者もまた電動轆轤による試作を試み、1基の旋削所要時間約80分という結果を得た。すなわち綱引き轆轤の電動轆轤に比べての所要時間増は約30%であることを確め得た。

以上を総合して、綱引き轆轤による、塔身が桧、相輪が桂の百万塔1基の所要時間は約2時間で、1日10時間の稼働で轆轤1台で5基の旋削が可能であることを確認した。

「東大寺写経所解案」²²⁾に「一斛二斗轆轤工半六十人料人別二升引作軸端一千二百枚人別作廿枚」の記録がある。これは轆轤工1人が1台の轆轤で経軸を1日に20本作り、60人で1200本作ったとみるべきであろう。「延喜式」木工寮の項に「轆轤手湯戸盆口径一尺八寸高一尺三寸、長功四人^{工一人 夫三人}、中功四人半、短功五人」、「手洗、径一尺五寸深五寸、長功三人、中功三人半、短功四人」の記録があり、ついで「九寸盤、長功一人夫二人十六枚、中功十二枚、短功十枚。八寸盤、長功一人夫二人廿枚、中功十六枚、短功十二枚。六寸盤、長功一人夫二人廿四枚、中功廿枚、短功十六枚」の記録がある。これらを現代風に解すれば、径1.8尺、高さ1.3尺の大盆なら、挽手1人に綱引夫3人で、中功すなわち春秋の標準の作業時間内で4日半かかり、径が1.5尺、高5寸の中形のものなら、中功で3日半で作り上げ、径9寸の木皿なら、挽手1人、綱引夫3人で、中功なら1日に12枚、径8寸のものなら16枚、径6寸のものなら20枚を作り上げることを目標としていたことが分る。この場合、工1人夫2人あるいは工1人夫3人というのは、挽手1人に対して綱引夫が2人ないし3人ということと理解されるが、これは綱引夫の仕事は疲労が激しいから交替要員として控えていたか、あるいは大径のものを挽くときは大きな回転トルクを必要とするから2人掛かりで挽いたか

のいずれかであると解すべきであろう。

もちろん当時の記録に百万塔の1日の出来高を記したものはないが、以上の諸記録における製作品の形状・寸法およびその出来高とを比較して、百万塔が1日に約5基できるということは妥当なところと思われる。長功、中功、短功のそれぞれの稼働時間の正確なところは不明であるが、仮りに中功を10時間、長・短功を2時間ずつの増減とすれば、長功で1日6基、中功で5基、短功で4基となり、妥当なものと思われる。

百万塔の旋削で、挽工1人に対して、綱引夫が何人であったかの記録はないが、長期にわたる終日の作業であるから、工1人に対して夫2人とみるのが妥当であろう。中功を基準にして、日産量を5基だとすれば、1日に約700基ずつ作るとすれば、毎日の稼働必要輻輳台数は約140台となり、これに要する人数は工約140人、夫を1台につき2人ずつとすれば夫約280人、毎日稼働必要人数は約420人となる。

「続日本紀」の百万塔の記述の中に「事に供した官人以下、仕丁以上157人に爵を賜う」の記録がある。この場合の官人とは官位を持った者で、この作業の管理者層のことを指すものと思われる。また仕丁とはこの場合は百万塔の製作に従事した各技術職種の工人を指すものと思われるが、157人中の官人と仕丁との人数比率、仕丁の職種区分²²⁾、および各職種の人数比率が不明である。したがって爵を賜った157人の中に輻輳工も含まれていることは確実と思われるものの、人数などについては不明である。この問題については尚今後も研究を続けたい所存である。

第1報で輻輳1台の作業所要面積を約4m²と見なした²³⁾。毎日稼働輻輳台数を140台とすれば、直接作業所要面積は560m²となる。実さい作業には更にこれに部材の置場、作業・管理者などの通路などの間接面積が加わる必要がある。この面積を直接作業面積の約50%とすれば280m²となり、作業所要総面積は約840m²となる。

6 ま と め

第1報にひきつづき百万塔の製作について、塔身・相輪の材料の旋削技術の面からみた樹種・性状、採材・木取りの問題と塔百万基を作るための所要量について検討を加えた。そして試作した輻輳により、予じめ準備をした刃物・治具を用いて、塔身および相輪を、この稿の執筆時点まで約60基を旋削し、技術上の細部にわたる諸問題を追求検討した。その結果としてとくに相輪の柄部の旋削には心押し装置の適用の不可避であると思われるが、このことについては問題を今後に残したい。

また60基旋削の結果として、旋削加工工程の適切な順序を検討し、また当時の生産においても分業作業を行ったものではないかと推測した。それと同時に塔1基の

旋削所要時間あるいは1日の平均生産可能基数を確かめ、日産700基生産のための毎日所要稼働輻輳台数および作業人数を推定した。その結果は次のとおりであった。

- (1) 100万基分という所要量、造材および旋削技術という点からみて、塔身用材はすべて桧、相輪用材はほとんどが桂であったと思われる。桜や水木犀はその比重（硬さ）の故にほとんど使用されなかったと推測される。
- (2) 塔身用材の桧は、そのほとんどが、直径約1.5mの心材の最外周部から採られ、その年輪間かくは平均約2mm、完全二方柱に近い優良材であったと推定される（直径約1.5mというのはそれ程の大径材というように考えられたい）。
- (3) 塔身1基分の所要材積は約1910cm³であるが、100万基分の歩減りを含んだ総所要量は14716m³となり、直径約1.5m、長さ約4mの丸太で約2083本を必要としたと考えられる。
- (4) 丸太よりの採材は箭割りでなされたとと思われるが、残材の建築材への有効利用という点から墨かけは一つの方法として太鼓落しの方法でなされ、残材は同時期に建立された西大寺用材としても利用されたものと推測される。
- (5) 塔身の旋削は、荒挽き、底面の外周挽き、割りつけ、挽込み、穴あけまでを大爪によるとりつけで、底面削りは軸の丸柄え穴を差込んで行われた。荒挽き、挽込みには小曲げの丸刃・鉤刃を、穴の旋削には匙状錐刃が用いられた（匙状の代りに側刃をもった板状錐刃でもよい）。
- (6) 相輪の旋削は柄部の挽き込みから行われなければならぬが、その場合、材のとりつけの力が弱いから、これを補填するために心押し装置の適用が不可避であると推測されるが、このことから奈良時代にはすでに両持ちによる側面旋削技術があったものと推測することはまだ早計で、このことについては今後の検討にまきたい。
- (7) 塔身および相輪の旋削には、軸への加工材のとりつけ方法をそれぞれ2回ずつ変えねばならぬ。したがって軸形式にしたがった分業の形式で作業が行われたものと推測される。実験作業の繰返しの結果、その作業量（工数）比率は塔身約55%、相輪約45%であった。
- (8) 百万塔約60基の旋削作業を行った結果、1基の所要旋削時間は約120分で、1日の稼働時間を10時間とした場合、日産量は5基であった。これは「正倉院文書」・「延喜式」などに記載されている、当時の輻輳挽き作業の工数と比較して妥当なものと思われる。

(9) 1日の必要生産基数を約700基とし、また1人1日の可能生産基数が5基とすれば、毎日稼動轆轤台数は約140台となり、挽工140人、綱引夫は交替要員を含めて280人、計420人となる。

(10) 試作した轆轤は、約60基の塔を旋削した後も軸受けその他に異常を認めなかった。

以上百万塔の製作には約15000m³の巨量の木材を使い、毎日稼動轆轤台数約140台という巨大な生産作業であることが確認されたが、奈良時代にこのような大量生産作業が行われたことはまことに驚嘆に値するものがある。

今後は更に、伐採から彩色に到るまでの百万塔製作の全組織体制を調べ、またとくに塔身底面にある墨がき人名などを手がかりに旋削技術者についても考察と研究を進めて、百万塔製作の全容を明らかにする所存である。

謝 辞

第1報につづいて御指導と御助言を賜わった、東京国立博物館法隆寺宝物室長木内武男氏、千葉大学工学部大河直躬教授、ならびに刃物を製作提供下さった、兼房刃物工業株式会社、長野県南木曽町の大蔵物産、野原工芸などの各社に対し、深甚の敬意を表したい。また連日にわたり綱引き作業の労をとってくれた千葉大学工学部江波戸技官に対し、その労を多としたい。

注

- 1) 百万塔製作の実験的研究 I (工作寸法・轆轤の構造と精度・刃物と治具の適用)。日本建築学会論文報告集第296
- 2) 狩谷掖斉「続日本紀」校注で塔身は桧、相輪は桜であるとし、平子鐸嶺「百万塔肆攷」には塔身は桧、相輪は桂

または水木犀(もっこく)であるとし、更に橋本鉄男「ろくろ」(法政大学出版局昭54.1)では塔身は桧・桜を主材とし、相輪は木犀(もくせい)・桂であるとしている。

- 3) 法隆寺大宝蔵殿展示の100基、東京国立博物館法隆寺宝物室展示および所蔵の48基、その他市井所在の数基。
- 4) 三材の比重は共に京都大学木材研究所編「木材辞典」による。
- 5) 「百万塔肆攷」前掲書、第三節「百万塔の木質及手工」の項。
- 6) 拙稿第1報4被剖面性状と使用工具の項。(本稿1))
- 7) 拙稿第1報注11)。(同上)
- 8) 「西大寺縁起」諸寺縁起集護国寺本。
- 9) 吉川金次「鋸」法政大学出版局、昭51.7.15。
- 10) 村松貞治郎「大工道具の歴史」岩波新書、昭48.8。
- 11) 乾 兼松「工具」(『明治前日本建築技術史』明治前日本科学史刊行会編)昭36.3。
- 12) 拙稿第1報注9)。(本稿1))
- 13) 小林行雄「日本文化の歴史」1(大地と呪術)。
- 14) 拙稿第1報2史料による百万塔の製作技術の項。(本稿1))
- 15) 拙稿第1報4被剖面性状と使用工具の項。(同上)
- 16) Alex・W・Bealer「Old way Working Wood」1976。
- 17) Joseph Needham「中国の科学の文明」巻8 機械工学、中岡哲郎・佐藤晴彦・堀毛尚志・山田潤訳、昭53.3。
- 18) 編集代表樋口隆康「図説日本文化の歴史」Ⅰ 先史原史、小学館昭54.3、p.98 回転運動および登呂遺跡博物館に遺物あり。
- 19) 百万塔全体の製作期間は5年8箇月であるが、正味轆轤作業期間は推定4年8箇月。(拙稿第1報2史料による百万塔の製作技術の項)
- 20) 水木犀は比重0.8で非常に硬いため、人力による綱引回転では旋削不可能になることもある。
- 21) 長野県木曽郡南木曽町、松本市、神奈川県小田原市在住の轆轤工人。
- 22) 拙稿第1報注14)。(本稿1))
- 23) 本稿図-3

SYNOPSIS

UDC : 72.03 : 72.022

EXPERIMENTALLY STUDY ON PRODUCTION METHOD OF ONE MILLION WOODEN MINIATURE PAGODA, NAMELY HYAKUMANTO II

—Quality and quantity of materials, process and efficiency of manufacture—

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

We studied on the quality and amount and method of rough cutting of wood that made material of ONE MILLION MINIATURE PAGODA.

I made many PAGODAS as the trial manufacture by trial manufactured face lathe, and studied the detail of engineering trouble.

Then we conjectured the number of operated face lathe per day by the time needed for making up one PAGODA.