



第 1 図 鎌倉大仏側面

## 鎌倉大仏頸部の強化プラスチック (FRP)による耐震補強

関 野 克

鎌倉大仏は奈良大仏とともに日本の鑄金技術の大規模に行なわれた事例であり、世界に比類ない文化財であるが、後者より前者の鑄金技術は進歩しており、700 余年を経て保存状態もよい。しかし鎌倉大仏の頸部に関して、昭和 34 年発足した修理委員会の調査は、

ラジオアイソトープを用い透視写真を撮影して、頸部の構造の特長と欠陥をほぼ明らかにし、その結果、地震に対する補強の必要を裏付けることができた。

頸部の補強を電気溶接によって行なおうとしたが、地金中の鉛の量が多く、良好な結果を期待し難かったし、また低温ガス溶接も熱が内部から外部に伝わり、表面の色の変化を来たすおそれが懸念された。そこで最後に強化プラスチックを頸の内部に貼布することを試験研究の上、実施に移し成功した。強化プラスチックの施工法は、まずサンドブラストで地肌を清浄し、エポキシ樹脂で下地をつくり、その上にポリエステル樹脂を浸潤したガラス繊維の織物を帯状に積層し、全体として籠型に成形した。

### 1. 緒 言

筆者の関係している高徳院国宝銅造阿彌陀如来坐像修理委員会<sup>1)</sup>が鎌倉大仏修理の一部として頸部の補強に新材料である強化プラスチックを用いたのでここに解説を行なうものである<sup>2)</sup>。

今から 700 余年前、建長 4 年 (1252 年) 8 月 17 日鑄造が開始された鎌倉大仏は、奈良大仏 (752 年開眼供養) とともに、世界的な価値を有し、鑄造技術を日本に伝えた中国には、竜興寺大仏 (791 年) をのこすのみであり、しかも後の両者は大破再興されたもので、創建のままの状態を保存しているのは鎌倉大仏だけである。当初大仏殿はあったが、罹災で失われ露座となった。元禄 16 年 (1703) 11 月 22 日の地震で、台座の石壇が崩れ、2 尺傾き、近くは大正 12 年 (1923) 9 月 1 日の地震で、台座の前方が 1 尺沈下し、仏体は 1 尺 3 寸前に迂りだした。この大正 12 年の復旧修理で、台座は鉄筋コンクリート造りの強固のものに改められ、仏体はこの台座に固定された。しかし当時すでに不安を感じられていた頸部の補強は実施されなかった。

### 2. 大仏の材質と構造

#### (1) 材質

奈良薬師寺の銅造月光菩薩立像の蓮台から採取した資料の分析によれば<sup>3)</sup>、材質はほとんど銅であって、96.4

%を占め、錫と鉛が少量で、砒素を 1.38% 含んでいるのが特長とされた。鎌倉大仏の左肩内部から今回採取した資料は比重 8.8 でその分析結果は、銅 65.9%、錫 7.4%、鉛 25.8% その他鉄 0.17% とアルミウム 0.12%

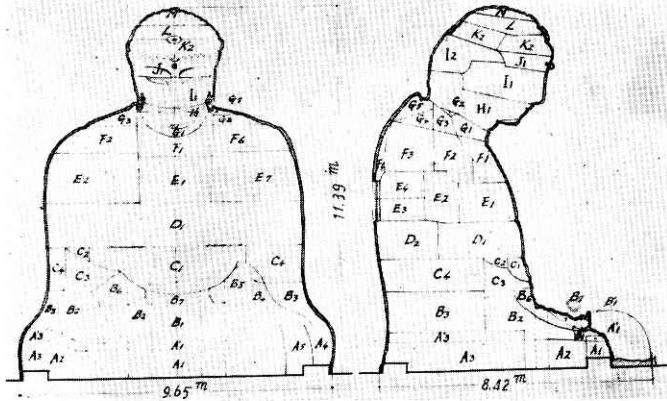


江本義理技官写真

中央の黒い部：鉛の塊。白い部：銅と錫の固溶体初晶。白い部分に粒状の黒い部分：不純物として混入した非金属介在物、鉛あるいは果と思われる。他の灰色(以上以外の部分)： $\alpha+\delta$

第 2 図 鎌倉大仏の金属組織 (左肩内部頸の取付部から試料を採取)

亜鉛 0、シリコン痕跡少しであり、分光分析によれば金なし、銀少し、チタン、マンガン少しずつであった。ただし鉛は銅錫合金と固溶体を作らないで鉛自身析出している(第 2 図)。昭和 32 年、早大鑄物研究所で行なっ



第3図 鎌倉大仏鑄造区分図

た11カ所から得た資料の分析によれば、錫は最大14.57%、平均9.26%、鉛は平均19.58%であった。すなわち鎌倉大仏の鑄物はこのように多量の鉛を含むのが特徴であって、荒木宏氏はその理由を鑄造材料として中国から当時輸入した宋銭を多量地金に供したとの説をたてている<sup>4)</sup>。

## (2) 鑄造技術

吾妻鏡によれば、鎌倉大仏に関して暦仁1年(1238)2月23日大仏堂事始めの記録があり、同年5月18日に木造大仏頭を上げるとみえている。これから前記建長鑄造開始の今日の銅造大仏は、この木造大仏を原型として、まず外型をとり、後に内型を外型によってつくり、下から上へと型を組み上げながら順次鑄上げたものと考えられる。ただし内外型の間には同材質の型持を挿んで厚さに計画性をもたせた。胴部はA～Gまでの7層、計41個、頭部はH～Mの6層、計9個のセクションからなっている。各セクションは一度に鑄造され(第3図)<sup>5)</sup>セクションとセクションとはほとんど大部分鑄練りで連結されている。内型は外型より一層小型で外型をさらに幾つか矩形に分割した大いさと形を仏体内壁に今日鑄張りとして留めている。



第4図 鎌倉大仏背部の鑄練り

鑄練りの技術は奈良大仏より一層進歩した段階を示している。すなわち鑄造の終わった下層縁に孔を等間隔に穿ちおき、次層はこの縁に重ねて鑄造時に湯がこの孔に流れ込んでリベット状あるいは環状に上層と一体になるよう工夫されたものである(第4図)。

## (3) 写真測量

本所丸安隆和教授によって、日本で最初の立体像の写

真測量と図化が、鎌倉大仏について昭和34年春行なわれ、表面積は278m<sup>2</sup>、重量128tonと推定できた<sup>6)</sup>。頭部の重量は、約20ton。重心の位置は前額部上端から約2mでほとんど前頸部端直上の左右耳上端から20cmの距離にあることが図上から求められ、地震時に頸にかかる曲げモーメント算出の基礎数字を得た。すなわち頭部はやや前傾して、地震時に頭部重心が容易に頸部前方外に離脱する欠点があることが一層明らかになった。

ただし仏体壁厚の測定に関しては、航空研究所の丹羽登助教授の斡旋によって、昭和34年7月3日超音波探傷機を用いて試験測定を行なった。

端子を立てる場所はワイヤブラシを用いて磨き、かつ、油を挾んだが、接触不十分であった。グラインダーで平らにすれば良結果が得られることが判明した。しかし実際にはラジオグラフィで厚さを推定する方法によった。

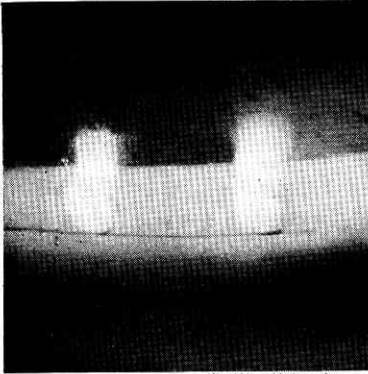
## (4) γ線撮影

東京国立文化財研究所保存科学部では、ラジオアイソ

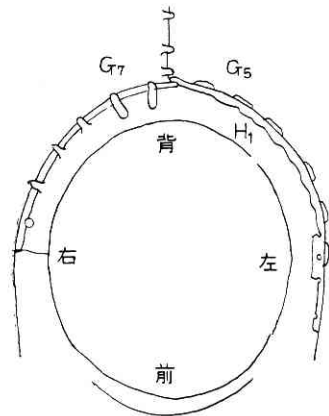


写真公報提供

トープによる銅造仏像のγ線撮影を昭和28年<sup>7)</sup>から行なってきたので、同部の登石健三技官に依頼した。昭和34年6月と8月の両回にわたって実施した。線源はCo<sup>60</sup>で3キュリーの径10mm、厚さ2mmの大いさである。いくぶん影像の鮮明さは不完全であるが、撮影時間を短くする上から必要であった。フィルムは医療用X線フィルムを用いた。大いさは、第1回50cm×50cm、第2回35cm×50cmで、防湿した黒紙袋に入れ、厚さ1mmの鉄板に挟み、散乱してくる2次X線を遮断するに役立たせた。体内にフィルムを、体外にγ線源をおいて夜間に撮影した(第5図)。露出時間は、3キュリーの線源に対して、銅厚4cmの場合、線源とフィルムとの距離1mとして、2時間が適当な露出で、壁厚が1cm増せば、大体露出は倍を要し、距離が倍になれば4倍の露出であった。現像は標準状態で行



第 6 図 鎌倉大仏頭部鑄継ぎ部の  $\gamma$  線写真  
登石健三技官写真



第 7 図 鎌倉大仏内部頭部鑄継ぎ伏図

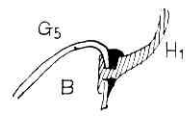
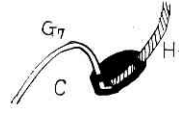
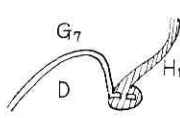
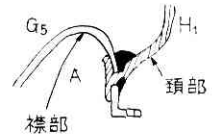
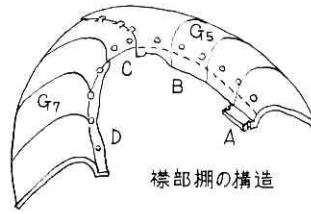
鑄造技術の開明に貴重な資料を提供した(第 6 図)。

(5) 頭部の構造

頭部の前半は圧力に耐えるつきつけの鑄継ぎとなって

ない、レンドールを使用、20°Cで5分ときめ、銅壁の厚さを写真の黒化度から知るため、あらかじめ、同組成地金の1cmおき階段状ブロックを同じ条件で写し比

較した。全部で85枚撮影した。その中き裂のある部分32枚、鑄継ぎ部の間隙43枚を記録し、ブローホールの有無も明らかになった。厚さは1~10cmで傾度曲線はほぼ左右対称の配置で、モードは5.1cmと推測された。すなわち  $\gamma$  線写真は中世の



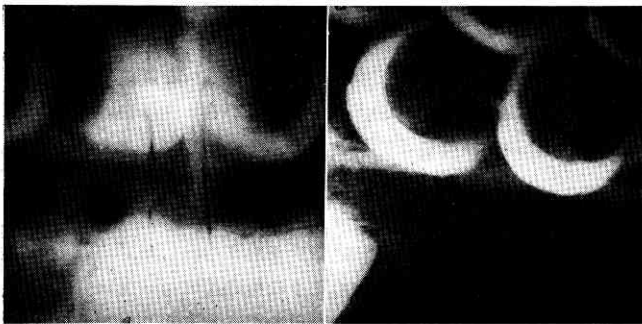
第 8 図 鎌倉大仏襟部棚の構造と頸部鑄継ぎの想定図



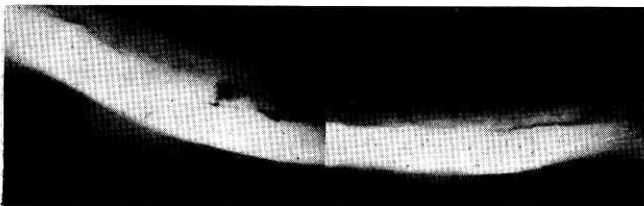
第 9 図 鎌倉大仏後頭部にみられるき裂と鑄掛け

いるのに対して、後半は張力に有利な鑄継ぎの構造になっている。すなわち、後襟部は内側に彎曲して、その端は水平に折れて棚を形成し、この棚で頸部下端を受けるのが最初の計画であった。しかし実際にはこの棚のやや

上部で頸部下端は重ね継ぎとされ、左半分の襟部(G<sub>5</sub>)に鑄継ぎで鑄継がれた。この鑄継ぎは頭部の大きなりベット状を呈し6個、背中線まで配され、不必要となった棚は大部分はつりとられている。これに対して右半分の頸部は、すでに改訂線まで切り上げられた襟部(G<sub>7</sub>)下端の棚にのり、6個の鑄継ぎで鑄継がれている(第 7, 8 図)。この場合鑄継ぎは直角接手の位置で、環状を呈している。ただし背中線に最も近い部分は型落ちして失敗したのであろう折返された襟部(G<sub>7</sub>)と頸下端(H<sub>1</sub>)に孔を2個ずつあけて、外部の襟下部溝に大きな鑄掛けを行なっている(第 9, 10 図)。頸の下部(H<sub>1</sub>)はこの部分で自身鑄継がれているのも鑄造の困難さを示すものである。またこの溝の外側に当たる頸鑄継ぎ個所の形成する間隙に、とくに左半外部に顕著な帯状の鑄掛けがみられる。これからも左半が先に鑄継がれ不出来であったのに対して、右半は後に鑄継がれ計画通り成功したが、左右鑄継ぎ個所は最も困難で、鑄掛けに



第 10 図 鎌倉大仏後頭部の  $\gamma$  線写真 登石健三技官写真  
(外から中への透視で第 9 図と左右逆になっている)



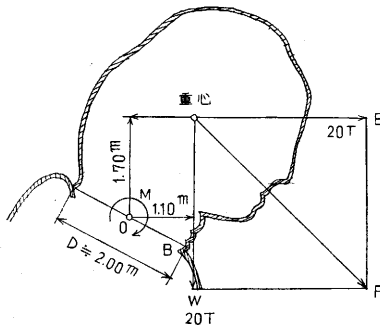
第 11 図 鎌倉大仏左頭部鑄継ぎ部  $\gamma$  線写真 同上  
(二重の間隙がみられる)

よる手直しを必要としたのであつたらう。γ線写真によると、襟部と頸部との接触面はほとんど融着していないことは他の鑄継部と同様であつて、計12本の鑄繰りだけで頭部は胴部に機械的に連続されていることが明らかになった。とくに左半分には鑄継部に2重の間隙があり(第11図)、鑄掛けはこの間隙の間の部分に流入されたごとくである。

またγ線写真によれば、鑄掛け部分には、これをもとにして熱的原因によるき裂が多く走っており、頸右後のき裂は特に大きい。後に発生した機械的き裂は、左背にある大仏殿倒壊時に負ったと考えられる打撲傷と、左脇脇部の湯の不足に原因する継ぎ足し部の入り以外にはほとんど顕著なもののみられない。

(6) 頸部の耐震強度

地震研究所河角広教授が過去の地震資料から確率的に求められた200年間に一度の割で期待される限界加速度値は、相模灘沿岸地帯で1000ガルにも達している<sup>8)</sup>。



第12図 鎌倉大仏頸部に加わる地震時のモーメント

すなわち鎌倉は、日本でも最強地震帯に当たっている。一方ボーリングの結果は、現地盤下3mまでドタン盛土、3~13mが粘土、砂貝殻混り、13m以下が第3期層であるドタンからなりたっている。地盤としては軟弱であるので、耐震強度計算のため工学部武藤清教授のすすめ

で震度を10割すなわち重力(980ガル)に等しいととった。材質は20%鉛含有の同組成の合金について引張強度12kg/mm<sup>2</sup>、肩部内側から採取した資料について15.2kg/mm<sup>2</sup>を得た。地震時に頸部に加わるモーメントは前向き方向で卓越して56tmで(第12図)、これは後頸部の径40mmの鑄繰り12本の応張力または応剪

力により、前頸部は突きつけて厚さ40mm断面の応張力で支えられると考えた。計算を簡単化するため、頸部内径を2.0mの円筒断面とし、鑄繰りを等配置と考え、この部分は引張力に対しては、仏体自体の抵抗は0とみなし、あたかも鉄筋コンクリートの煙突の断面のように考えた。今、中立軸の位置を角θとし、中心から応圧断面の重心までの中心からの距離をgとすれば(第13図)、

$$g = \frac{2}{3} \frac{104^3 - 100^3}{104^2 - 100^2} \cdot \frac{\sin \theta}{\theta}$$

$$\text{圧縮側断面積 } A_c = \theta(104^2 - 100^2) = 816\theta$$

$$\text{引張側鑄繰り1本の断面積 } A_r = 2^2\pi = 4\pi$$

$$6A_r(38+n) + 6A_r(96+n) = (g-n)A_c$$

ただし中立軸の位置を中心からnとする

$$n = 100 \cos \theta, \quad g = 101.5 \sin \theta / \theta$$

$$24\pi(134 + 200 \cdot \cos \theta) = 816\theta \left( 101.5 \frac{\sin \theta}{\theta} - 100 \cos \theta \right)$$

この方程式をといて θ=0.902→51.7°, n=63.1cm, δ=88.2cm となる。

n-n から単位距離の応力度をσ<sub>i</sub>とすると、

$$\sigma_i [(g-n)^2 A_c + 24\pi \{ (n+38)^2 + (n+96)^2 \}] = M = 5600 \text{ t}\cdot\text{cm}$$

これから σ<sub>i</sub>=0.56/33.5 t/cm<sup>2</sup>

引張鑄繰りの最大応力

$$\sigma_{tmax} = \sigma_i \times d_t = \frac{0.56}{313.5} \times 167 = 0.300 \text{ t/cm}^2$$

圧縮仏体の最大応力

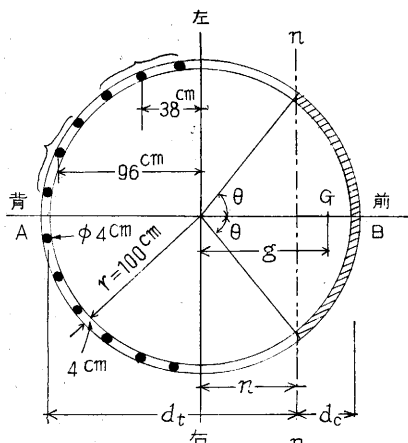
$$\sigma_{cmax} = \sigma \times d_c = \frac{0.56}{313.5} \times 40 = 0.072 \text{ t/cm}^2$$

最大引張鑄繰り荷重 T=0.3×4π=3.77t となる。

以上は鑄繰りの断面が、引張りを受けると考えた場合であつて、右半の場合はこれに相当し、左半の場合は鑄繰りの断面が剪力を受ける形となっている。前述のように地金の最終引張強度を12kg/mm<sup>2</sup>とすれば、弾性限界の許容強度にとるべきであり、これを最終強度の1/4と仮定し3kg/mm<sup>2</sup>とする。しかるとき仏像の頸後部の鑄繰りは震度10割の場合、許容強度ぎりぎりの状態にあるとされ、剪断強度は引張強度よりさらに下回るから剪断に対しては不十分と判定された。以上の構造計算は入江建築事務所の三宅晋氏をわずらわした。

しかも実際は前述のように後頸部については特に鑄造過程の不整が注目され、渠の存在もさることながら鑄繰り位置の変更や鑄上りの不完全に対する鑄掛けによる手直しと、鑄掛けに原因する大きき裂が外方へ走り、鑄造当時からこうした欠陥を内蔵してきたのであつた。このき裂個所には鉛を外部から打ち込んで間隙を充填しているが、これは強度的に無意味であつて、雨水の浸入を防ぐ目的からであつたと思われる。

以上の欠陥にもかかわらず歴史時代の地震に安全であつたのは、空積みと考えられる石積みの台座が崩壊して、仏体が移動したため免震の効果があつたに外ならないの



第13図 鎌倉大仏頸部構造模型図

である。

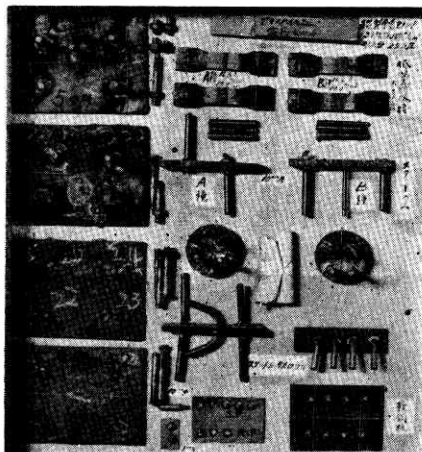
### 3. 頸部補強方法

#### (1) 免震構造

仏像はほとんど変形しない剛構造と考えられ、堅固なコンクリート造りの台座に、固定されているならば、直接地震動が仏体に加わる。もし水平で平坦な台座の上に遊離して安置されている状態を考えると、仏体は一定の震度以上で迂り免震の効果をもつことになる。元禄・大正の地震では台座の石積みが崩れ、同様の効果があった。しかし実際問題として施工上、あるいは保守上、常に免震効果を保証することは困難である。やはり頸部の補強は実施した方がよいと考えた。もっとも頸部以外にも構造的弱点は若干予想され、また未知の個所もあり得るのであるから、補強を特に行なわないそれらの個所については依然免震的效果は期待しなければならない。そこで最小0.3以上の震度で迂り出るよう免震構造に台座を改造することにした。

#### (2) 電気溶接

鑄造物の修理法として、まず鑄掛けが考えられるが、熱を伴うため、色の変化やき裂を生じ、国宝の修理にはむかない。裏金を内部からネジ止めする方法は、奈良薬師寺本尊の台座に用いられたが<sup>2)</sup>、鎌倉大仏の壁厚が比較的薄くネジ切りに不適当であると判断され、結局電気溶接を用いる方針をたてた。工学部の仲威雄教授はこの依頼に応じて、困難なスタッドウエルディングを試験的に成功し、さらに銀膜等による低温ガス溶接を併用するときは、径 10mm の真鍮棒に約 1t の引張応力をもたせることができた(第 14 図)。しかし地金に含まれ



第 14 図 スタッド溶接試験

た鉛が電気溶接の際に蒸気となって爆発的に飛び出すので、施工に困難があり、かつ低温ガス溶接もていねいに行なうと 2cm の厚さの地金をとおして、その表面は 175°C の温度ペンキを変色させる危険性があり、仲教授の申出でによって電気溶接の採用をひかえることにした。

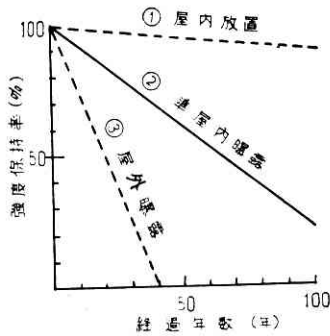
#### (3) 強化プラスチック

薬師寺月光菩薩の首を継ぐ方法として、胴体部と頸部の内部にそれぞれつくられたステンレススチールの枠をネジによって締め合わせる機械的方法が用いられたとき、当研究所の加藤正夫教授の提案によってエポキシ系合成樹脂のアラルダイトが併用された。また台座天板の裏金補強にもネジ止めとともにアラルダイトが併用された。したがって鎌倉大仏の場合も裏金を鑄造して、これをアラルダイトで貼りつける方法は、早くから考えられていたが、とくに頸部の曲面や鑄造り等の凹凸が激しい個所については、施工上ほとんど不可能と判断された。そこで工学部浜田稔教授の発案によって裏金に代えて強化プラスチックを採用することにした。強化プラスチックは、合成樹脂でガラスの繊維で織った布を積層して本体が成形される新材料で、軽舟艇の舟体やスポーツカーの車体にすでに使用されており、また大きなものでは潜水艦の指令塔にも応用されている。もっとも日本には古く漆をもって麻布を積層していく技術は、乾漆と称せられ奈良時代の仏像はこれできているし、漆はしばしば鑄造品の修理にも用いられてきている。強化プラスチックは、漆の代わりに合成樹脂を、麻布の代わりにガラスの織物を用いるだけの相違である。またこれは医療用のギプスの石膏と包帯との関係にも比較することができる。

強化プラスチックを鎌倉大仏の頸部補強に実用化するため、強化プラスチック協会磯貝元三氏の紹介によって、日東紡績株式会社の強化プラスチック研究所(所長藤田利恒氏)に試験研究に仕様の作成から実施施工まで一貫して依頼し、所期の目的を達することができた。上田市三、田部井清両氏の担当であった。ただし設計は入江建築事務所の三宅晋氏である。

合成樹脂として、エポキシとポリエステルとがあり、前者はスイスのチバ製品でアラルダイトと名付けられているが、まだ国産されていない。後者はややその性能が劣るが、国産されており前者よりはるかに低廉である。ただし、銅に対して後者は硬化が有害されるので下地はエポキシでなければならなかった。強度は地金(12kg/mm<sup>2</sup>)の2倍ほど(23kg/mm<sup>2</sup>)、線膨張係数(13.9×10<sup>-6</sup>)は地金(16.8×10<sup>-6</sup>)と大差なく、樹脂そのものは硬化するとやや収縮するが、ガラスの織物を積層する強化プラスチックでは、水平方向については全く収縮はみられず、形成が自由である。仏体は夏期に直射日光で温度が相当上昇し、強化プラスチックとの間かなりの温度差を生ずるので、これを 50°C として熱応力を計算してみたところ、問題にするには及ばなかった。

ただ問題となったのは耐久性に関し、耐用年数の未知のことであった。ポリエステルの強化プラスチックについて、現在まで5年間の屋外曝露試験結果で、引張強度は、86%の保持率、ウェザーメータによる2000時間



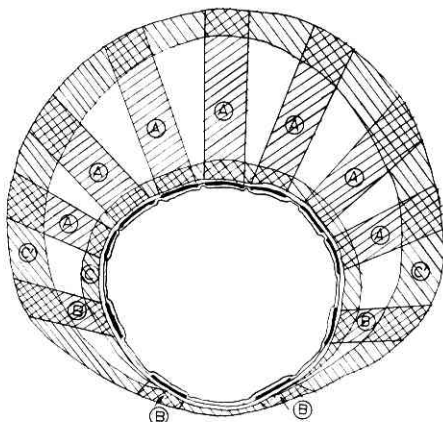
曝露条件

- ① 屋内
  - 温度 22.5°C 一定
  - 湿度 50% 一定
  - 暗黒所
- ② 準屋内
  - 温度 -10°C~+70°C
  - 湿度 50%~100%
  - 間接反射紫外線 僅少
  - 炭酸ガス 多少
- ③ 屋外
  - 温度 -20°C~+80°C
  - 湿度 40%~100%
  - 直射日光による紫外線, 熱線
  - 雨水による洗滌
  - 土砂・煤煙による摩耗
  - 潮風, 酸化性の霧等による化学作用
  - 氷結, 積雪等による作用

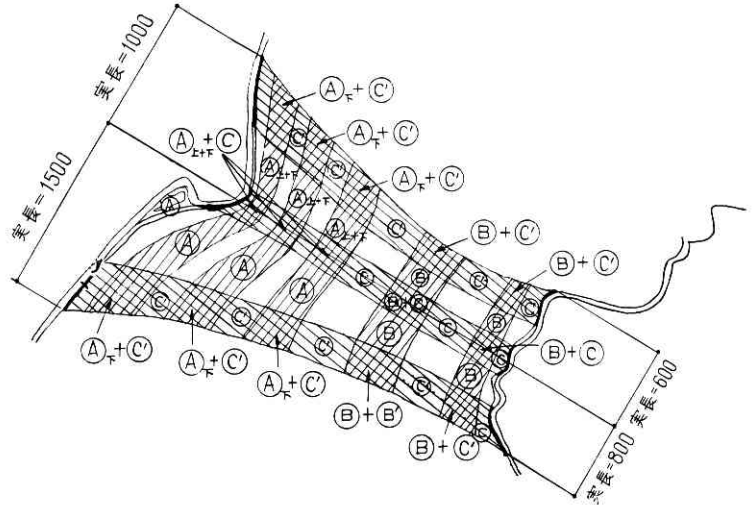
第 15 図 強化プラスチックの耐候性

で、耐用年数を15年ととっているが、冷暗所では良好で半永久的と考えられる。そこで大仏体内を屋外と冷暗所の中間とみなして、100年後において、強度の保持率を20%と考え、これを基礎として設計を行なった(第15図)。今回施工と同時に同質の試験片をつくり、体内に保存して、経年強度試験を実施することにした。

強化プラスチックを仏体壁に貼り付けるのに、下地の清浄は大切な条件である。このためサンドブラストを用いて効果が極めて大きく、高価なエポキシ樹脂を予想以



第 16 図 鎌倉大仏頭部の強化プラスチック補強 (横部の平面図)



第 17 図 鎌倉大仏頭部の強化プラスチック補強 (断面図)

て(8年相当)で67%、また煮沸試験で8時間(8年間に相当)で77%となっている。車体船舶については最も厳しい条件

上に節約できた。サンドブラストの作業はメタリコン金属株式会社に依頼した。

最後に黒褐色に着色をした樹脂を塗布してその仕上がりの明度を地金にあわせた。

#### 4. 強化プラスチックによる補強の設計と仕様

##### (1) 設計

初めはギプスのように頸内面全体をカー状に一葉曲面板として貼りつけることを考えたが、経済上と施工上の立場から、縦と横のストリップからなる籠型を採用することにした。すなわち、強度を必要とする後半は密に7本、前半は疎に4本の縦方向のストリップとし、それらの上端、中央、下端を横方向で3段の輪状のストリップでつなぐことにした。

##### (2) 清浄作業

サンドブラスト砥料は30~50メッシュを用い、水性ペイントで下書きした補強用強化プラスチック貼布部分のみをブラストし、大仏の鋳物の砂を十分取り去った。サンドブラスト施工後、鋭いエッジ等があればディスクグラインダーで研削した。



第 18 図 鎌倉大仏頭部サンドブラストによる清浄

**(3) 表面処理**

表面処理剤 NPC 10 を含んだ海綿によりサンドブラスト跡をていねいに清拭し、処理後水洗乾燥した。

**(4) Base Coating**

エポキシパテ # SW 49 (Chiba 社製), 100 部, 硬化剤ハードナー (Chiba 社製), 9 部, 充填剤エアロジル, 2 部をヘラにより厚目に塗布, き裂部分には樹脂を押し入れ, 厚み平均 5 mm 以下とし, 積層のベースとして塗面は十分にいいに行なった。

**(5) Sealing by Compound**

ポリエステル G20 (東洋高圧製), 100 部, 充填剤エアロジル, 2 部, グラスチョップ, 100 部, 硬化剤パーナック N (日本油脂製), 1 部を材料とし, グラスチョップをポリエステルに含浸せしめ, コンパウンドを作り, 大きな凹凸をシーリングした。

**(6) 1st Laminating**

ガラスクロス, EC 181-VX (日東紡績製), エポキシレジン # 6600 (Chiba 社製), ハードナー # 951 (Chiba 社製) を材料とする。まず EC 181-VX を所定の長さに切り, 幅約 30cm×長さ 50cm とする。つぎにエポキシレジンを調合し, すばやく, かつ十分慎重にガラスクロスに含浸せしめ, 3 層ずつ積層した。

**(7) 2nd Laminating**

EC 181-VAX, ポリエステルレジン, G 20, 硬化剤, パーナック N (温度条件によって適当に配合する) を材料とする。EC 181-VAX を同じ幅, 約 30cm とし 1st Laminating をオーバーラップするように 3 層ずつ積層する。

**(8) Reinforcing Laminating (第 16, 17 図)**

材料は前項に同じ。EC 181-VAX を 30cm の帯状に切り 1 層ずつ積層する。Ⓐ下およびⒸ, Ⓒ' は 17 ply まで, Ⓑ は 27 ply まで施工。とくに襟の折り上がり部分は, 箱形の持送りとした。

**(9) Final Laminating**

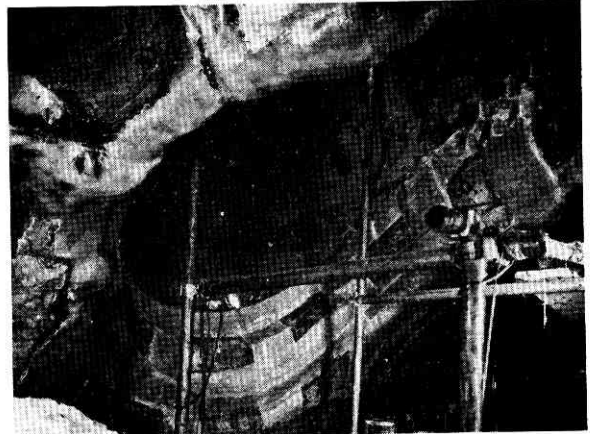
EC 181-VAX, ポリエステルレジン GA 20 (東洋高圧製), パーナック N (温度条件により適当に配合する) を材料とする。ガラスクロス 1m/m 幅×所定の長さに切り, ていねいに脱泡しつつ 3 ply 積層し, 必要な調色は指定色に着色した。

**(10) 仕上面**

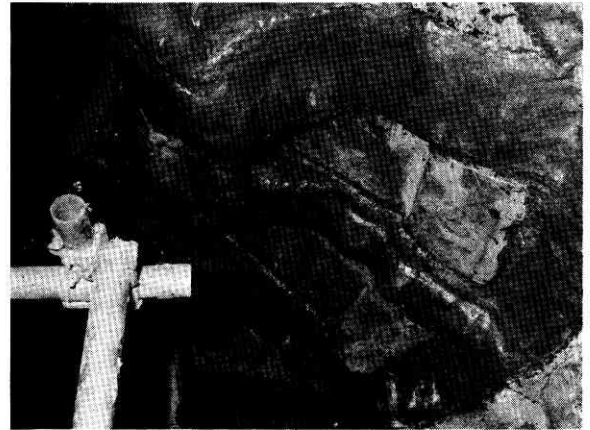
強化プラスチックの端面の処理については, ガラスクロスのをツレをていねいに除去し, 端面をそろえてなるべく平滑とし, 最初クロス積層硬化後調色したレジンに刷毛により均一に塗布した。

ただし, Ⓒ' のみは幅を 20 cm とし, (3)~(8) の作業は ⒶⒷ をまず施工し Ⓒ および Ⓒ' を後にし, その他は同時とした。工期は 1 カ月であった。

(1960. 12. 6)



第 19 図 鎌倉大仏頸部強化プラスチック補強  
(後頸部から前頸部をみる)



第 20 図 鎌倉大仏後頸部強化プラスチック補強仕上がり

**参 考 文 献**

- (1) 高徳院国宝銅造阿弥陀如来坐像修理委員会は, 昭和 34 年 2 月発足した。委員は脇本十九郎 (元芸術大学教授) 荒木宏 (元住友金属専務取締役) 内藤春治 (芸術大学教授) 香取正彦 (鑄金家) 米沢嘉圃 (東大教授, 東洋文化研究所) 浜田稔 (東大教授, 工学部) 小島芳正 (壇家代表) 山本豊市 (芸術大学教授) と筆者の 9 名で構成され, 筆者は委員長。
- (2) 千々岩健児: 古代の鑄物技術について, 生産研究, 第 9 巻, 第 9 号, 昭和 32 年 9 月に鎌倉大仏の鑄造に関する解説が示されている。
- (3) 薬師寺修理委員会: 国宝薬師三尊修理工事報告書, 昭和 33 年 3 月。
- (4) 荒木宏: 技術者のみた奈良と鎌倉の大仏, 昭和 34 年 6 月。
- (5) 文化財保護委員会美術工芸課, 昭和 33 年 2 月 5 日国宝指定調査に基づいて製図。
- (6) 丸安隆和外: 写真測量を利用した三次元の精密測定—鎌倉大仏の測定を例にとって—, 生産研究 第 12 巻, 第 6 号, 昭和 35 年 6 月。
- (7) 関野克: 文化財の保存科学, 生産研究, 第 10 巻, 第 8 号, 昭和 33 年 8 月。
- (8) 河角広: 地震力の期待値について (プリント)