

次世代超大型望遠鏡の構造とその製造方法



企業レポート

中谷 光良*, 阿部 洋平**, 成山 達也***, 谷 和彦****
永井 昭弘*****, 湯藤 尚人*****, 辻 丈彰*****

Structure of the next generation extremely large telescope and its manufacture

Key Words : Thirty Meter Telescope, Pipe Joint, Welding,
3D Measurement, Temporary Assembly



* Mitsuyoshi NAKATANI

1967年5月生
大阪大学大学院 工学研究科 溶接工学
専攻 (1992年)
現在、日立造船株式会社 事業企画・技
術開発本部 技術研究所 ものづくり基
盤研究センター グループ長
博士(工学) 溶接工学
TEL : 06-6551-9239
FAX : 06-6551-9841
E-mail : nakatani_m@hitachizosen.co.jp



**** Akihiro NAGAI

1971年1月生
鳥取大学 工学部 土木工学科 (1993年)
現在、日立造船株式会社 堺工場
製造部 部長
TEL : 072-243-5063
FAX : 072-243-6724
E-mail : nagai_a@hitachizosen.co.jp



** Yohei ABE

1987年3月生
大阪大学大学院 工学研究科 機械工学
専攻 (2011年)
現在、日立造船株式会社 事業企画・技
術開発本部 技術研究所 ものづくり基
盤研究センター 研究員 修士
TEL : 06-6551-9239
FAX : 06-6551-9841
E-mail : y_abe@hitachizosen.co.jp



***** Hisato YUTO

1961年2月生
徳島大学大学院 土木工学研究科
(1985年)
現在、日立造船株式会社 風力発電事業
推進室 営業企画部 プロジェクトマネ
ージャー 修士 土木工学
TEL : 06-6569-0214
FAX : 06-6569-7033
E-mail : yutoh@hitachizosen.co.jp



*** Tatsuya NARIYAMA

1989年8月生
近畿大学大学院 エレクトロニクス系工
学専攻 (2014年)
現在、日立造船株式会社 社会インフラ
事業本部 堺工場 製造部 生産技術・
設備課 修士 光学、計測工学
TEL : 072-243-5063
FAX : 072-243-6724
E-mail : nariyama@hitachizosen.co.jp



***** Tomoaki TSUJI

1973年2月生
横浜国立大学大学院 工学研究科
(1997年)
現在、日立造船株式会社 鉄構・防災ビ
ジネスユニット 鉄構・橋梁部 修士
TEL : 06-6569-0261
FAX : 06-6569-0257
E-mail : tsuji_to@hitachizosen.co.jp



**** Kazuhiko TANI

1969年4月生
職業訓練大学校 溶接科 (1992年)
現在、日立造船株式会社 堺工場
製造部 生産技術・設備課 課長
溶接工学
TEL : 072-243-5063
FAX : 072-243-6837
E-mail : tani_k@hitachizosen.co.jp

はじめに

TMT (Thirty Meter Telescope) は、2027年の稼働開始を目指して建設計画が進められている口径30mの光学赤外線・次世代超大型天体望遠鏡である。TMTでは、これまで10数年間、世界最先端の天文学研究に用いられ活躍してきた口径8.2mすばる望遠鏡をはるかに凌ぐ高解像度と高感度を実現する。それにより、太陽系外惑星の探査や宇宙初期の天体の成り立ちの解明など、新しい天文学の研究分野を切り開くことが期待される [1]。TMT計画は、日本のほか、米国、カナダ、中国、インドの5カ国の協力で進められている。日本では、国立天文台が駆動系、制御系を含む望遠鏡構造の計画推進を担当している。また、三菱電機株式会社がそれらの基本設計、詳細設計を担当している。本報告では、TMTの構造と日立造船株式会社が主として検討した製造における計測技術とその評価技術について述べる。

TMTの主鏡は492枚の複合鏡からなり、光を集める能力で従来の望遠鏡の10倍以上となり、天体の性質を調べるのに不可欠な分光観測などにおいて大きな効果が期待される。

TMTは、直径30mの主鏡を高精度に回転させる必要があるため、その支持部材には軽量かつ高い剛性が要求される。そのため、図1に示すように数多くのパイプが用いられる構造となっている。全体の高さとしては50mを超える構造物となる。さらに、軽量化のために格点ブロックのパイプとパイプの接合には溶接が用いられる。下部構造で方位角、上部

構造で仰角のための回転機構を有しており、特に上部構造に対しては、方位角と仰角の回転による繰返し荷重がかかる構造となっている。一日40回の回転、50年間の使用が予定されており、必要となる繰返し数は計73万回(40回×365日×50年)となり、高サイクルの疲労強度が要求される。別途、実施された応力解析により [2]、評価解析と実際の溶接部が極力等価となる高精度製作の実現が必要となる。

支持部材の製造方法

下部構造で検討されている製造方法を図2に示す。まず、格点ブロックと呼ぶパイプが一点に集まるブロックを溶接により組立てる(図2(a))。次に、中組立にて格点ブロックを隣の格点ブロックと接続させるように直管をボルトにより接続する(図2(b))。中組立で接続されたブロックを組合わせていき、下部構造となるブロックを完成させる(図2(c), (d))。

格点ブロックでは、最大16本のパイプが一点に集まる構造となっている。パイプとパイプの交線は鞍形と呼ばれる三次元的に変化する曲線となる。そこで、複数のパイプが交差するパイプの端面は相手のパイプと密に接触するように精度良く三次元的に切断する必要がある。また、溶接にて接続される部分は十分な疲労強度を有する必要がある。このため、格点ブロック製作の際には、パイプの取付け位置、溶接部の脚長管理などが重要な管理因子となる。

中組立、大組立では、格点ブロックと直管をボルトで接続するが、ここでは、組立前のブロックの製作精度を考慮した接続が必要となる。

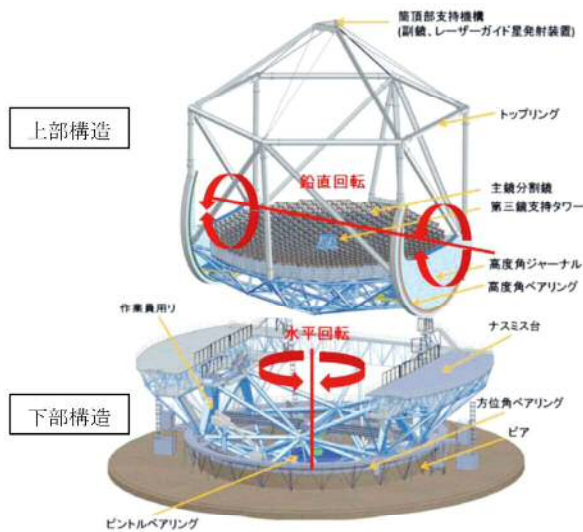


図1 TMTの構造

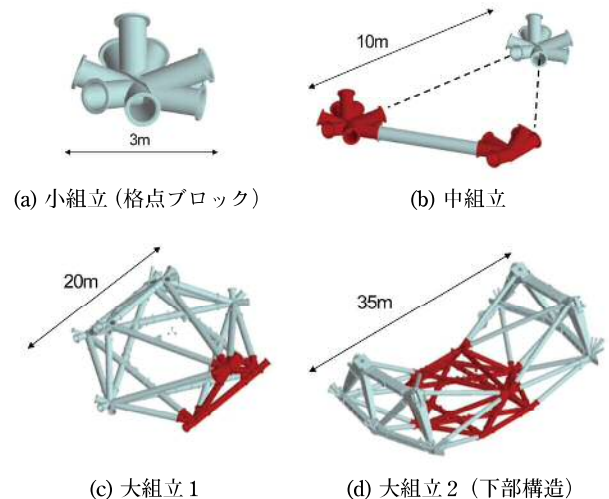


図2 下部構造の製造手順

上部構造の製造方法を図3に示す。上部構造は直径30mの主鏡を支持する部分であり、要求される精度は、30mの領域で三次元方向に±2.5mmと非常に高い。また、下部構造と同様にパイプ構造である。分割鏡を直接支持する3点は高精度アクチュエータにより相対位置を高精度に制御する。このため、上部構造に対しては、大きい範囲を短時間で高精度に計測する技術と高精度製作を実現するための評価技術が必要となる。

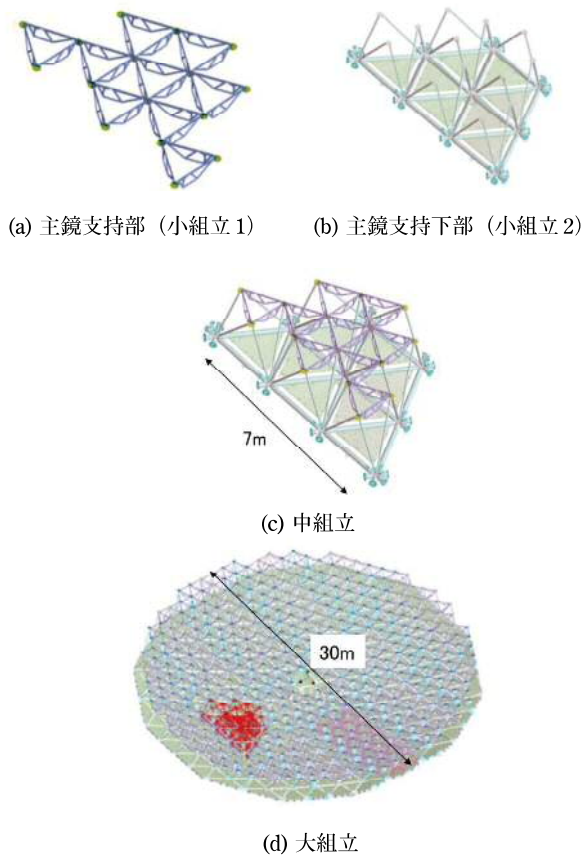


図3 上部構造の製造方法

製造における計測方法

最初の製造工程である格点ブロックのパイプ切断では三次元CADデータを用いたCAMシステムによる三次元切断を行う。図4に切断システムと切断後のパイプを示す。本システムでは、正確に設計値通りにパイプを切断するとともに、格点ブロックを組立てる際に有用となるパイプの組立て位置指示線、溶接士がどこまで溶接するかを目安となる溶接指示線、溶接後に脚長を検査するための溶接検査線の三本のラインを自動で引くことが出来る [3]。

さらに、切断されたパイプを精度良く組立ててい

くために、図5に示すレーザガイド光を用いた三次元位置認識システムを開発している。本システムは十字のラインレーザをパイプ端面に照射する仕組みとなっており、パイプ端面に予め印された十字ラインと比較することで、設計値とのズレを即座にその場で把握できる。パイプの取付け時、溶接時、さらには位置矯正の際にも活用する。

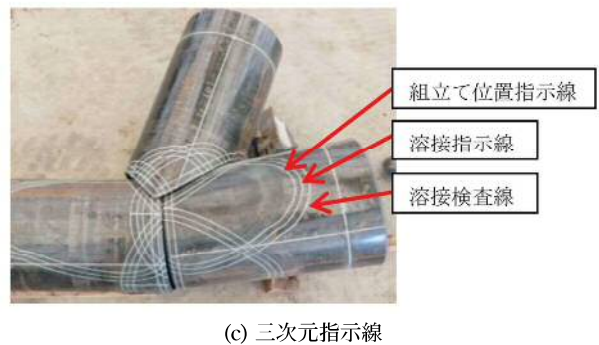
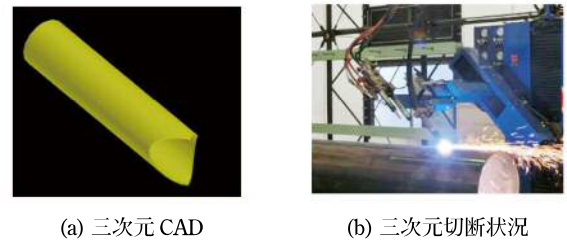


図4 三次元パイプ切断システム

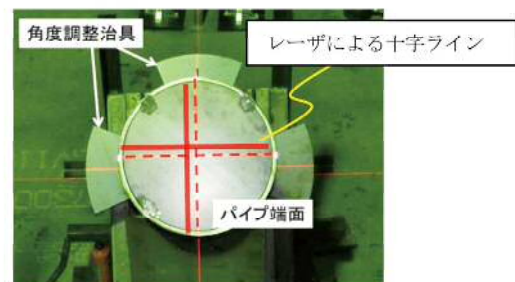
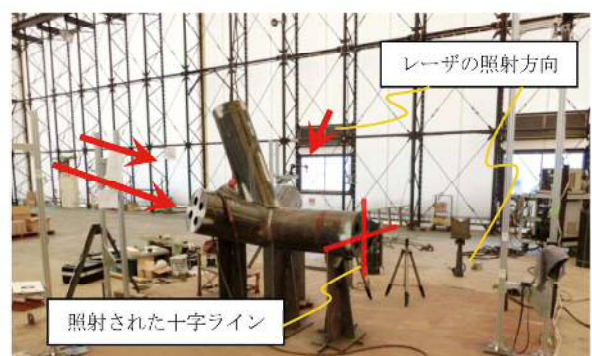


図5 パイプ位置三次元認識システム

溶接部の強度を保証するための格点ブロック溶接部の脚長計測システムについても開発している [4]。パイプとパイプの溶接部はその交線が三次元的に変化するだけでなく、その交角も周上の各位置で変化する。つまり、図6に示すように溶接の開先角度が変化する。これらの開先角度が変化するパイプ溶接部について、別途、設計脚長を確保することで必要な強度を保証できることを確認している [2]。開発した脚長計測システムでは図7に示すように、ラインレーザセンサを用いて得られた二次元情報を処理することで、設計データと比較する。ポータブルなシステムとなっており、溶接したその場で必要な脚長が確保できているかを判定する。図8に開発したシステムにより脚長を測定した結果と溶接部横断面マクロ試験から得られた脚長の測定結果の比較を示す。その差は0.5mm以下であり、十分な測定精度を有している。精度良く測定するだけでなく、測定情報や測定結果をデジタルデータで残すことができ、測定忘れやトレーサビリティにも活用する。

以上のような手法により格点ブロック単体の精度は保証することが出来る。一方、中組立以降では、個々の格点ブロックや直管が有する許容精度内のバラツキを考慮して、最終構造体としての精度を確保しなければならない。以下、中組立以降で精度を確保しつつ製造する方法について述べる。

パイプ端面の位置は、格点ブロック単体を前述の

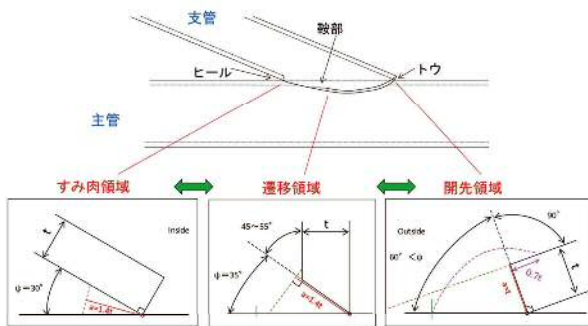


図6 パイプとパイプの溶接部

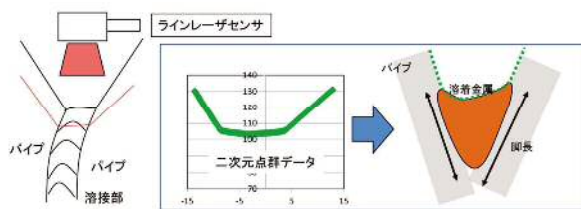
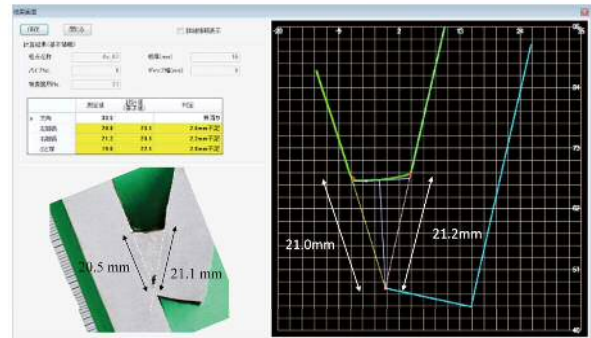


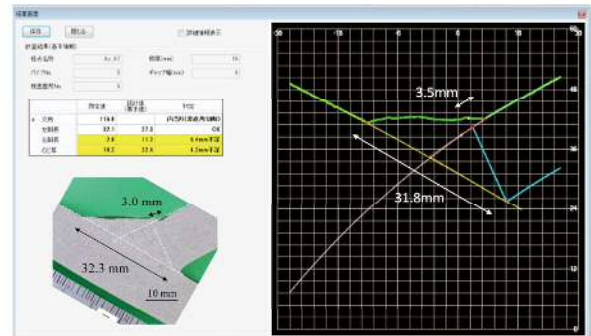
図7 脚長計測システム



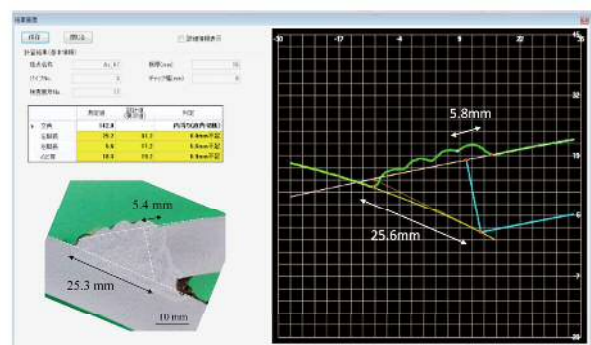
(a) 計測対象



(b) 測定結果 1



(c) 測定結果 2



(d) 測定結果 3

図8 脚長計測システム測定結果

パイプ端面位置三次元認識システムを用いて製作することで許容精度内となる。許容精度内の格点ブロックであっても、組合わせていくと全体ブロックとしての精度を確保できない可能性がある。そこで、格点ブロックをPC内で組合わせて、全体ブロックの精度を確保するシステムも構築している。

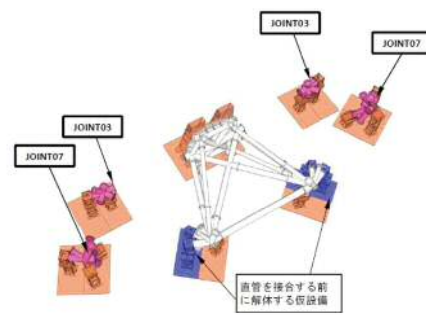
このシステムで用いる格点ブロックは許容精度内の実際の形状である必要があり、高精度三次元計測により得られる計測三次元モデルが用いられる。格点ブロックに対してデジタルカメラを用いた高精度三次元計測を実施した結果を図9に示す。図9(b)は、パイプ端面の計測された中心位置を示す。ここでは、パイプ側面と端面の円板に設置したターゲットから、円筒とその軸心を算出し、軸心と円板平面の交点をパイプ端面の中心位置座標とする。パイプ端面の中心位置座標から、計測三次元モデルを作成する。



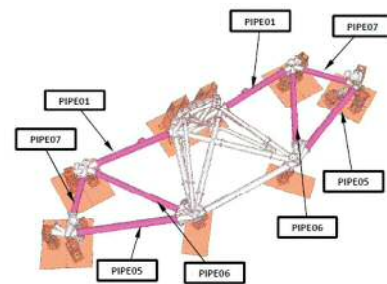
(a) 計測対象格点ブロック (b) データ処理結果
図9 デジタルカメラによる三次元形状計測データ処理

図10に示すように製作工程に対応して、計測三次元モデルを三次元的に移動、回転させて、ブロックが組合わさった全体モデルの精度を確保する。例えば、図10(a)の段階では、図中にJOINTと示した格点ブロックの計測三次元モデルを三次元的に移動、回転させて、全てのパイプ端面の位置が設計値と最も近くなるように設置する。次に、図10(b)では、隣り合う格点ブロックを直管で接続する際に、接続された後のブロックが精度を確保するように格点ブロックの位置とともに直管のフランジを調整する。パイプと格点ブロックはボルトで接続されるが、ボルト穴を設けているフランジに精度を確保するための調整機構を設けている。同様に、以下の中組立、大組立工程においても最終構造体となる完成ブロックの精度を向上させるために、各工程において計測三次元モデルと設計値を比較し、ブロックの位置調整や直管部のフランジを調整する。

最終構造体となる全体ブロックは50mを超える大型の鋼構造物であり、屋外で完成形状を計測する必要がある。屋外では日照の影響等により、全体ブロックに温度差があると、形状が変化してしまう。



(a) 格点ブロック配置時



(b) 直管配置時

図10 中組立における計測データ処理

そこで、日照がなく温度変化の少ない夜間で短時間の計測が必要となる。さらに、建設が予定されている標高4000m以上の高所では、製造場所と温度レベルに差があり形状が変化することが予想される。これらの建設場所と製造場所の温度レベル差、環境変化も考慮して製造し、望遠鏡としての必要な機能(精度)を確保する。

おわりに

本報告では、TMTの支持構造部材を中心にその構造と製造方法において必要となる計測技術とその評価技術について述べた。特に、パイプの溶接構造であることから強度保証や精度管理に必要な独自に開発した計測技術、計測データの評価技術、最終構造体の精度を確保する方策について述べた。

TMTプロジェクトは実現に向けて着実に進んでいる。紹介した技術が近い将来、実用されるものとする。

参考文献

- [1] <http://tmt.mtk.nao.ac.jp/intro-j.html>
- [2] Seiichiro TSUTSUMI et. al, Fatigue Test Results of Actual-size Multi-axial Pipe Joint, IIW Doc. X-1826-15, International Institute of Welding (2015)

[3] Yosuke SASAKI et. al, Weld Joint Design and Cutting CAM System of Multi-axial Pipes, IIW Doc. X-1824-15, International Institute of Welding (2015)

[4] Yohei ABE et. al, Development of Bead Shape Measurement Technology for Pipe Welds, IIW Doc. X-1847-16, International Institute of Welding (2016)

