

TMT 本体望遠鏡構造: 配線・配管支持構造の解析と詳細化

杉本正宏 (国立天文台 TMT プロジェクト)

概要(Abstract)

TMT(Thirty Meter Telescope)本体望遠鏡構造内には、電源、信号、冷却溶媒などを望遠鏡や鏡、観測装置へ供給するための多数の配線・配管が張り巡らされている。これらを支持する構造体は、大きいものでは十メートル規模に達する。本発表では、この支持構造体に対する構造解析を実施し、支持構造や接合部に補強を施すことで、共振などのリスクを考慮した条件下においても 1000 年周期の大地震にも耐えうる設計であることを確認したので、ここに報告する。

1. TMT と望遠鏡本体構造(STR)

TMT は、日本・アメリカ・カナダ・インドによる国際プロジェクトであり、ハワイ島マウナケア山頂に口径 30 m の光学赤外線望遠鏡を建設・運用する計画である (図 1)。日本は望遠鏡本体構造 (STR) や主鏡の製造を担当している。

望遠鏡本体構造[1]は重量が約 2,500 トン、幅・高さはいずれも約 50 m に達する。また、約 10 ミリ秒角という高い精度で天体を追尾する能力が求められる。本構造には、セグメント鏡交換作業を行うためのセグメント・ハンドリング・システム (SHS) など、特徴的な機能が備わっている。機械設計として特筆すべき点は、免震機構の導入と、模擬地震波形を用いた時刻歴応答解析の実施である [2]。TMT では、1,000 年周期の大地震までを想定しており、望遠鏡構造の時刻歴応答解析 (図 2 右) において、その主構造に生じる応力が引張強度を超えないことが仕様として定義されている。

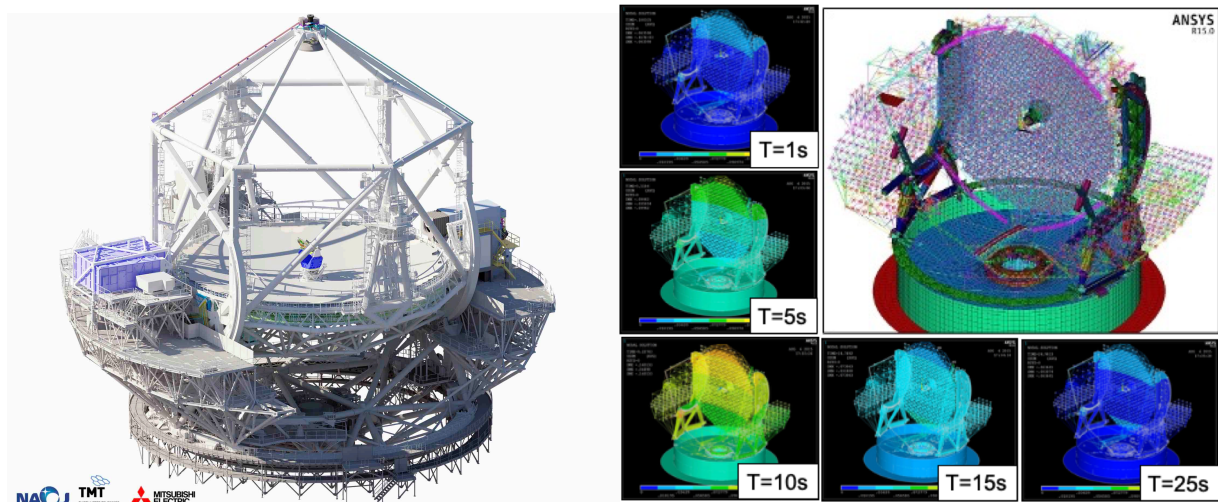


図 1: 左)TMT 望遠鏡の完成予想図。右)望遠鏡本体構造の有限要素モデルと時刻歴応答解析。

2. TUS と Azimuth Stair Way (ASW)

望遠鏡構造内部には、電源・信号・冷却溶媒などを各装置へ供給するため、多数の配線や配管が張り巡らされており、これらのユーティリティ・サービスは TUS (Telescope Utility Service) と総称されている [3]。

このうち、望遠鏡の方位角回転中心部からナスミス台へ至るルートは ASW (Azimuth Stair Way) と呼ばれる (図 2)。ASW は、鋼材 SS400 (JIS G 3101、引張強度 400 MPa) の H 鋼材および L 字鋼材から構成されるトラス構造体であり、最大のもの (ASW1-2 および ASW3-4) では長さ・高さが約 8m、重量は約 7~9 トンに達する。

TMT 国際天文台 (TIO) が契約したアメリカ企業が、この ASW の詳細設計および構造解析を実施し、その設計に基づき、国立天文台および望遠鏡製造メーカーが製造を担当する計画となっている。

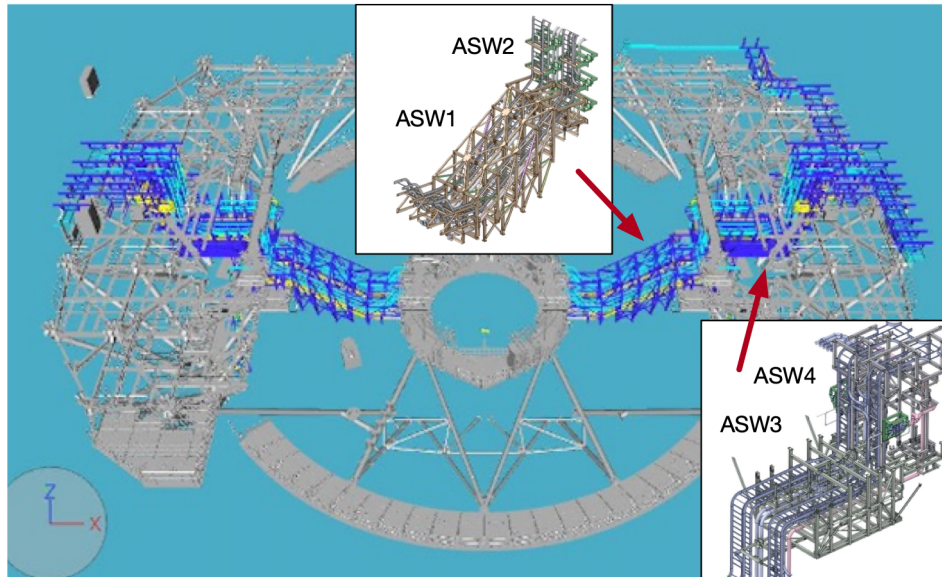


図 2: Azimuth 構造における Telescope Utility Service (TUS) と配線・配管のサポート構造となる Azimuth Stair Way (ASW)。方位角中心からナスミス台へ向かうに従い ASW1-4 と名付けられている。

3. ASW の構造(再)解析

ASW の詳細設計はすでに完了しているが、将来的に国立天文台および望遠鏡製造メーカーが製造準備を進めるためには、以下の点について再解析を実施し、必要に応じて設計修正を図る必要があった。

(1) 地震荷重

詳細設計では、望遠鏡全体モデルの時刻歴応答解析から求めた ASW のインターフェイス点ノードの最大加速度を静荷重(水平 1.3G、垂直 1.5G)として加え、ASW の強度確認を行っていた。しかし、設計された ASW 構造の固有値がインターフェイス点における振動波形の周波数帯域内に存在しており、共振によりさらに大きな加速度が加わる可能性があることが判明した。そのため本解析では、インターフェイス点の時刻歴波形から応答加速度スペクトル(5%減衰を仮定)を算出し、その最大値(水平と垂直方向でそれぞれ 3~4G 程度)を地震静荷重として加えることとした。

(2) CAD と有限要素解析(FEM)モデルの不一致

詳細設計後、ASW と望遠鏡構造との機械的干渉等の判明により、国立天文台が受領した最終 CAD モデルと詳細設計時の FEM モデルの間には不一致が存在していた。また詳細設計の FEM 解析はすべてビーム要素で構成されていたが、CAD モデルでは一部の接合部が必ずしも剛接合ではない設計となっていることが確認されたため、接合部の強度評価も必要になった。そこで本解析では、CAD モデルに対応した接合部形状を含む FEM モデルを新たに作成した(図 3 上)。

FEM 解析の結果、ガセットによるピン接合部やブレースの不足に起因する強度不足箇所において、引張強度を超える応力が発生していることが確認された。そのため、これらの箇所には補強を施す設計変更を行った（図3下）。

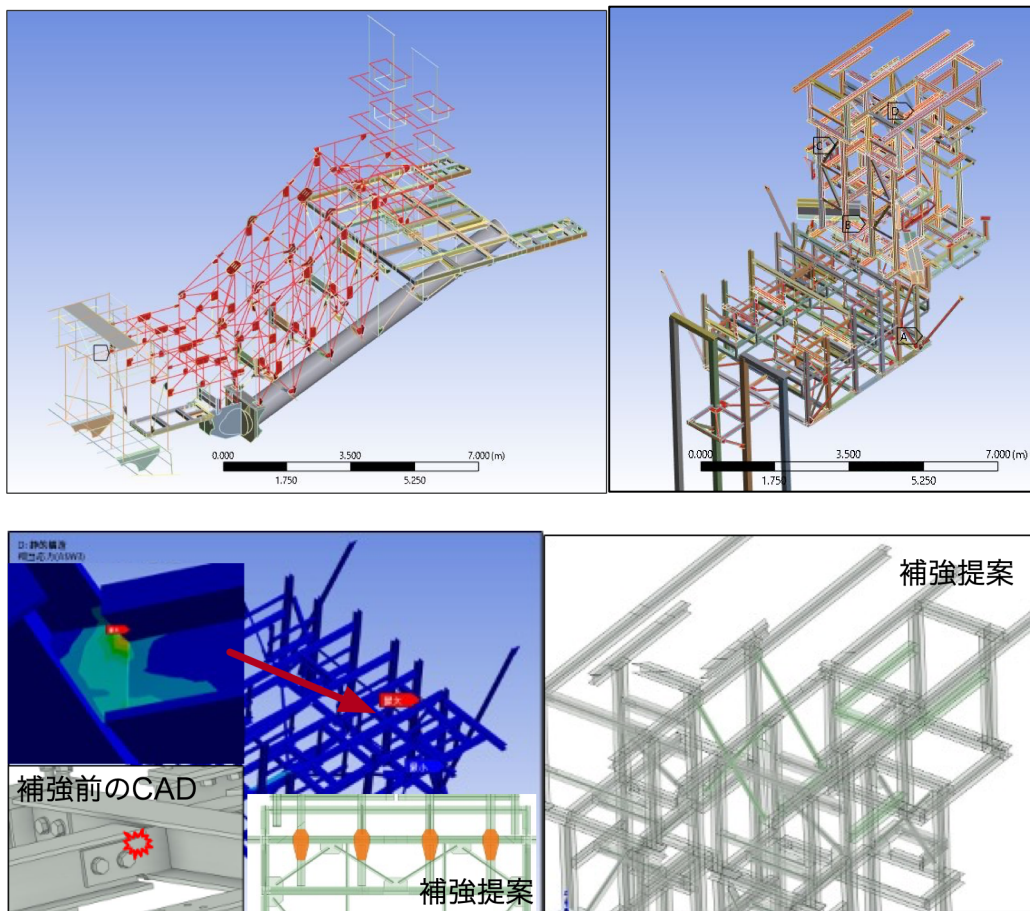


図 3: (上)再構築した ASW の有限要素解析モデル。(下)補強が必要と確認された例。

また、ASW に設置される配管を支持するパイプハンガーについては、詳細設計において L 字材を溶接して組み合わせた構造が提案されていた。しかし、望遠鏡建設地での調達性や加工の容易さを考慮し、パイプハンガーを市販のチャンネル材へ置き換える検討を進めている。

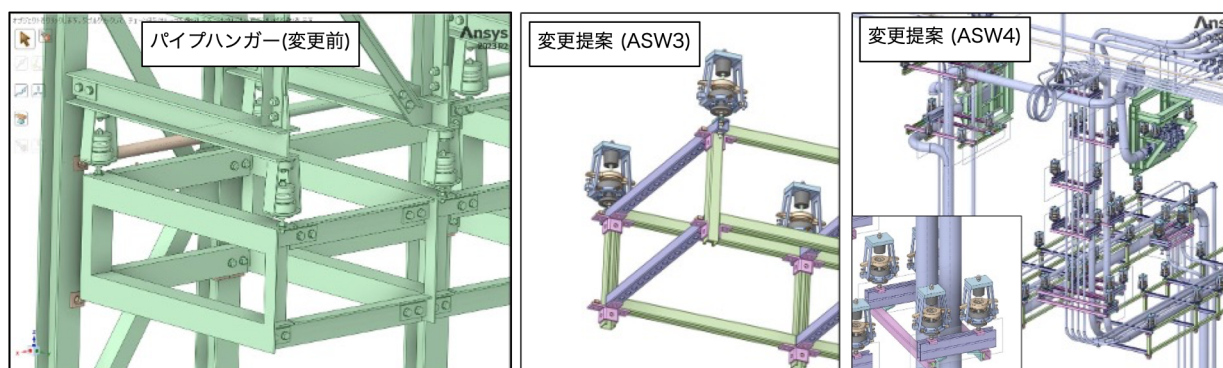


図 4: 市販品利用を意識した設計変更提案(パイプハンガー部の市販チャンネル材の利用)

4. まとめ

TMT 望遠鏡構造内に敷設される配線・配管を支持する ASW について、構造解析を実施した。本解析では、共振によるリスクを考慮し、応答加速度スペクトルのピーク値を地震加速度における最大加速度として定義し、静解析を行った。また、接合部などの詳細形状も解析モデルに組み込むことで、それらの強度評価を可能とした。解析の結果、強度不足と判断された箇所には支持構造や接合部の補強を実施し、ASW が 1000 年周期の大地震にも耐えうる設計であることを確認した。さらに、パイプハンガーなどの部材については、現地での調達性を考慮し、市販品の活用を前提とした設計変更を進めている。

5. 謝辞

Numerical computations were in part carried out on Cray XC50 and XC30 at Center for Computational Astrophysics, National Astronomical Observatory of Japan.

6. 参考文献

- [1] Sugimoto, M. et al., *Design and status overview of TMT telescope structure*, Proc. SPIE 1309408, Yokohama, Japan, 2024
- [2] Sugimoto, M. et al. *Seismic isolation system design and performance of TMT telescope structure*, Proc. SPIE 1218216, Montreal, Canada, 2022
- [3] Tazawa, S. et al., *Design implementation of Telescope Utility Services (TUS) onto the TMT telescope structure*, Proc. SPIE 1309430, Yokohama, Japan, 2024