

善光寺経蔵におけるチタン箔シートを用いたブレース接合部の引張試験

- 種別：材料試験 [木材・煉瓦・鉄・コンクリート・その他]、重量測定、要素試験 [接合部・軸組・壁・水平構面 (床・天井・小屋組・屋根)・非構造部材・その他]、
補強性能試験 [接合部・軸組・壁・**水平構面** (床・天井・**小屋組**・屋根)・非構造部材・その他]

●基本情報

文化財名称：善光寺経蔵

文化財種別（指定年月日）：重要文化財（昭和40年5月29日）

所在地：長野県長野市大字長野元善町 善光寺

所有者（管理団体）：善光寺

構造形式：木造平屋 方五間宝形作り、総檜皮葺、板壁、基壇立ち

建築年：宝暦9年（1759）

事業名称：重要文化財善光寺経蔵保存修理事業

事業期間：2014年10月～2017年9月

工事種別：半解体修理

事業者：善光寺

設計監理：公益財団法人文化財建造物保存技術協会

実験計画者：有限会社江尻建築構造設計事務所

実験機関：小松精練株式会社

実験年月日：2016年7月1日

引用・参考文献：『重要文化財善光寺経蔵修理工事報告書』（宗教法人善光寺 2017年12月）

●実験に至る経緯と目的

重要文化財の耐震補強において、極力古材を傷めずに可逆性を有するかは重要な工法選択要素となる。また同時に、補強材の設置のための古材解体範囲の拡大を避けること、設置したことを原因とする劣化起因要素を排除することも重要である。

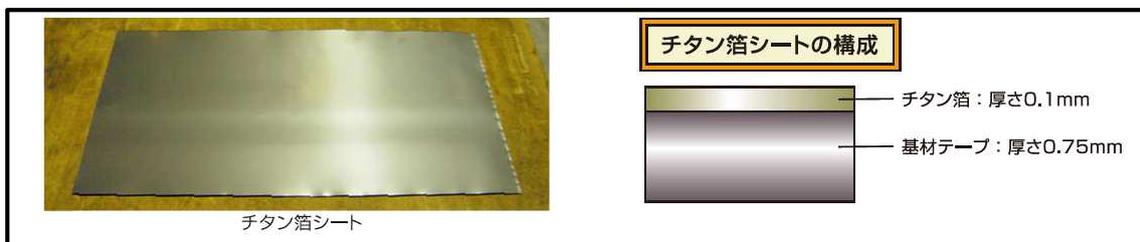
本事業では善光寺経蔵の天井面水平剛性を確保するために、炭素繊維より線の引張ブレースと、その接合金物と古材との固定にチタン箔とブチルゴムで構成された複合シートによる巻き付けを採用した。

<チタン箔シートの特徴>

チタンは鉄より軽量で、腐食せず、また鉄よりも結露しにくい特性を有する。チタン箔シートはチタン箔にブチルゴムを合わせた素材で、シール状の製品となっており、ブチルゴムが接着面となる。古材表面に保護材を取り付けることで古材には接着されず、巻き付けたチタンに重ねることで強度を発揮することができる。また、シール状であることから接着施工に別途接着剤を使用する必要がなく、接着剤が塗布できない狭隘な部位にも採用することが可能となる。

チタン箔シートは海洋沿岸の鋼構造防触保護材として用いられ、高い耐久性を有している。ブチルゴムは自己融着性を有し、実環境においても高位密着性が維持されることが確認されている。

<チタン箔シートの構成>



参考資料：チタン箔の密着耐久性

チタン箔の密着耐久性(実環境/沖縄許田)

①試験場所：
沖縄自動車道
許田高架橋

②試験開始：
平成3年7月～
平成26年9月
(桁塗替工事に
て撤去)

暴露期間		2年目	6年目	8年目		11年目	23年目
		全長	全長	剥離試験前 半部 (約40mm)	剥離試験後 半部 (約40mm)	全長	全長
位置	1回目	600～800 g/cm	2500～3500 g/cm	2000～2500 g/cm	約3500 g/cm	1000～1400 g/cm	3400～3700 g/cm
	2回目		2300～3300 g/cm	2000～2500 g/cm	約3500 g/cm	2000～2400 g/cm	3400～3700 g/cm
剥離形態		塗膜と基材 (粘着層)の 界面剥離	基材(粘着 層)の凝集 破壊 (層間剥離)	塗膜と基材 (粘着層)の 界面剥離	基材(粘着 層)の凝集 破壊 (層間剥離)	塗膜と基材 (粘着層)の 界面剥離	基材(粘着 層)の凝集 破壊 (層間剥離)

密着試験状況

沖縄地区にて23年間供用されたチタン箔は、その粘着剤(自己融着性)特性が発現し、高位密着性を維持していた。

経時23年後の密着試験の剥離状態は、粘着剤(黒色)の凝集破壊で安定していた。

日鉄住金防蝕株式会社

<炭素繊維より線の特徴>

炭素繊維より線はエポキシ樹脂含浸された直径 3 mm の炭素繊維の素線にて 7 本よりされた製品で、以下の特徴を有する。



炭素繊維より線 (CFRTP より線)



- (1) 柔軟 (弾性係数 85,000N/mm²、鋼材の 1/2 以下)
- (2) 軽量 (0.08kg/m、同強度比較 鉄鋼の約 1/20 倍)
- (3) 高強度 (断面積 49.2 mm² で破断強度約 80kN、同断面比較 鉄鋼の約 4 倍)
- (4) 高耐久 (腐食しない)
- (5) 低熱伝導 (結露しにくい、熱伝導率は鉄の 12%程度)
- (6) 低線膨張 (温度による伸び縮みが非常に少ない)
- (7) 新開発材料 (設置年代が明確にわかる)

上記特徴により、軽量で高強度であることから自重によるたわみが少なく、大きな初期張力を導入しなくても直線性が維持でき、木材のめり込みによるたわみ増大も少ない。また、柔軟であることから小屋組を大幅に解体しなくても部材の搬入、設置が可能で、狭隘な部分を通すことができ、製作長さも実用上制限がない。

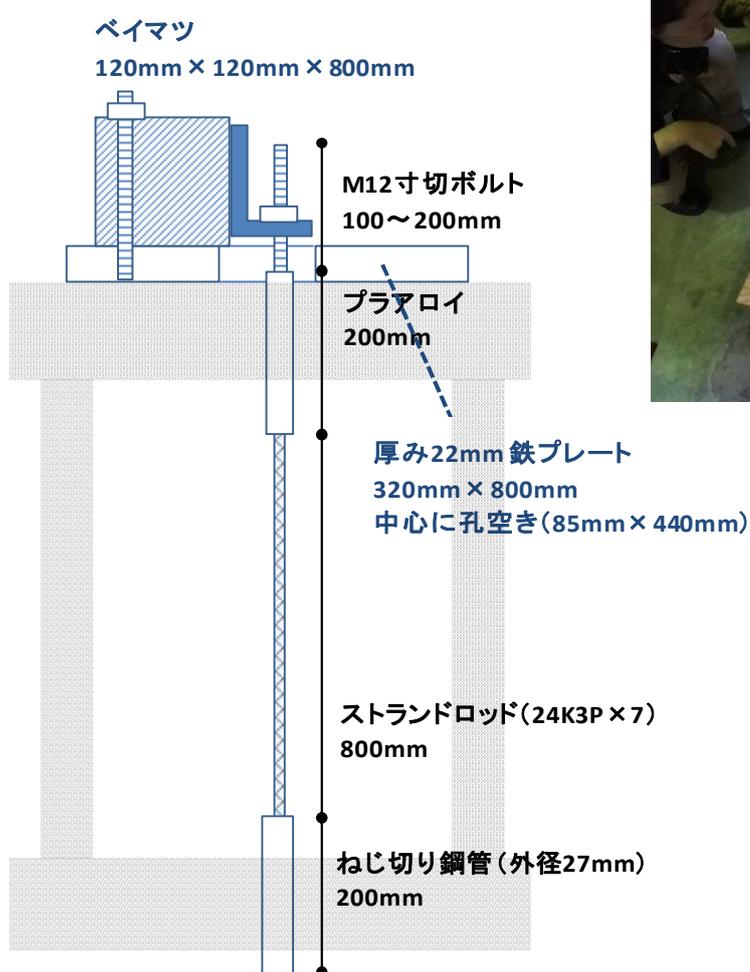
以上より、歴史的建造物に対して施工性に優れ、鋼材補強と比較して古材への影響も最小限に抑えられることから炭素繊維より線による水平ブレースを採用した。

本実験では木材に接合金物をチタン箔シート 1 重で巻き付け固定し、先端に全ねじボルトを接着した炭素繊維より線を繋げ、その引張強度を計測し、チタン箔シート採用幅、巻き数等の接合仕様を決定することを目的とする。

● 姿図・寸法

- 【使用材料】 梁材 : 米松 120x120 3体、取り付け部曲面加工2体
接合金物 : SS400
固定材 : チタン箔シート 150mm幅 2枚、1重巻
ブレース : 炭素繊維より線 NH2437 (素線径3mm、7本より、直径9mm)
先端金具 : ステンレス全ねじボルト M12
カプラー : プラアロイ

【試験体寸法】



●概要

取り付け木材に米松 120x120 角材を 3 体と、接合金物固定部に曲面加工を施した丸太形状のものを 2 体を用意し、それぞれ単調増加荷重にて破断もしくは加力不能となる時点までの加力試験を行った。

●実験方法

右図の試験装置にて単調増加荷重で接合部の破断もしくは荷重不能となる時点まで荷重を行った。

接合部のみの試験を目的とするため、変形は参考とし、試験機チャック間の変位のみ記録した。



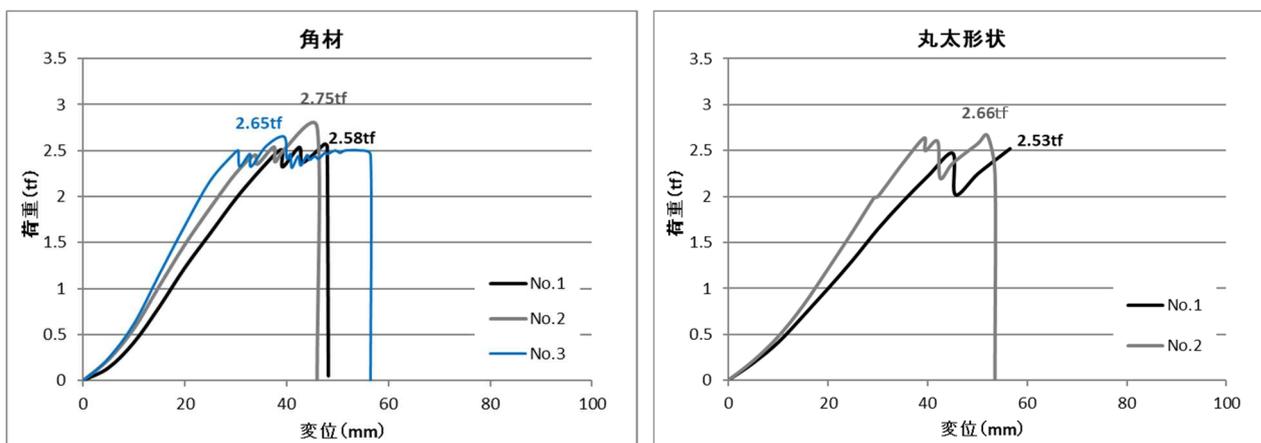
●特性値

最大荷重一覧

試験体	最大荷重	平均	最小値
角材 No1	2.58tf (25.3 kN)	26.0kN	25.3kN
角材 No2	2.75tf (26.9 kN)		
角材 No3	2.65tf (25.9 kN)		
丸太形状 No1	2.53tf (24.8kN)	25.4kN	24.8kN
丸太形状 No2	2.66tf (26.0kN)		

●荷重変形

図に示す通り（試験機チャック間の変形の為、変位は参考とする）。



●破壊形状

破壊前段階において、接合金物と木材にずれが生じ、最終的に接合金物そのものがチタン箔を引っ張るため、チタン箔シートが破断するか、もしくは載荷試験機に接触して載荷続行不能となったため試験終了とした。

●理論式

—

●モデル化

—

●考察

試験の結果、チタン箔シートを用いた接合部の引張耐力が確認された。試験では木材にかかり代を設けていないため、金物と木材の間に滑りが生じたため、採用する接合部ではかかり代を設けて金物がずれないようにすることとし、必要な軸力に対して余力を有するように巻き数を増加して耐力を確保することとした。

本建物における水平ブレースは、屋根面の水平剛性を確保すること及び小屋組の開き止めを目的としていることから、想定する部材応力によって部材及び接合部の破断は想定していないため、必要最小限の補強量及び強度にて設計を行った。

同様の補強材の構成にて鉛直ブレースのように終局時破壊性状が問われるような使用方法に採用する場合は接合部の耐力を増大する等の対策を講じる必要がある。

終局時耐力まで利用する場合は、炭素繊維材料は塑性変形能力が乏しいことから十分な安全率を有した状態で使用するか、接合部に伸び能力を期待する接合方法とすることが望ましい。

炭素繊維より線やチタン箔シートは歴史的建造物の補強に有効な材料であると考えられるが、一般に普及するためには研究データの蓄積や力学的性状を踏まえた接合ディテールの研究の積み重ねが期待される。

<施工状況>



狭隘な格天井上への設置



炭素繊維より線部取り付け部

参考資料：炭素繊維より線の端部接合金物単体試験結果

以下に炭素繊維より線端部接合金物単体試験結果を示す。

試験の結果、重ね長（L1）110 mm以上の試験水準②でボルト破断となる接合となるためこれを採用することとした。

