

鋼構造物の炭素繊維シート接着工法における積層数の検討

長岡技術科学大学	学生会員	○今井隆博, 正会員	宮下 剛
高速道路総合技術研究所	正会員		広瀬 剛, 服部雅史
ものづくり大学	正会員		大垣賀津雄
長野工業高等専門学校	正会員		奥山雄介
新日鉄住金マテリアルズ	正会員		秀熊佑哉, 小林 朗

1. 背景

腐食した鋼構造物の補修・補強工法として、炭素繊維シート接着工法がある。本工法の主な利点は、施工性や耐久性に優れる点が挙げられる。文献1に設計・施工マニュアルとしてまとめられ、既にいくつかの橋梁での実施も行われている。

本工法における炭素繊維シートの最大積層数は、5層から20層へと変遷した²⁾。この理由は、高度経済成長期に建設された鋼橋で使用されている鋼板厚は9 mm程度のもが多く、厳しい腐食状況として孔食を考えると、必要とされる炭素繊維シートの積層数が20層相当となるためである。また、ここでは、炭素繊維シートのはく離防止に向けて、鋼材と炭素シート間に低弾性で伸びが大きい高伸度弾性パテ材（以下、パテ材）が用いられることになった。ただし、はく離を防止する一方で、鋼材から炭素シートへの応力伝達が緩やかとなることから、応力低減係数という新たな係数が導入された。以上の検討をもとに、現行設計では、炭素繊維シートの最大積層数は20層、応力低減係数は0.74（積層数：6～20層、定着長：200 mm、端部ずらし量：25 mm）とされ、20層以上の積層が必要な場合には、別途実験等で適用性の検証が必要とされている。

2. 目的

本研究では、炭素繊維シート接着工法における最大積層数に関する検討を行う。具体的には、実構造物で、16 mm相当までの減肉を対象とできるように、実験ならびに解析検討を行う。実験検討では、設計・施工マニュアルの制定に向けて、文献2で実施されたのと同じように、平鋼板の両面に炭素繊維シートを接着添付し、一軸引張試験を実施して、強度、ひずみ分布、破壊形態等を確認する。解析検討では、文献2で実施されたのと同じように、数値計算手法を用いて、応力低減係数を中心に検討を進める。

3. 実験概要

図1に示す試験片を用いて、一軸引張試験を実施する。平鋼板（鋼種：SS400）の寸法は、板厚が16 mm、幅が100 mm、長さが1750 mmである。この両面に、繊維目付量300 g/m²、弾性率640 kN/mm²の高弾性炭素繊維シートを含浸接着する。片面あたりの炭素繊維シートの積層数は35層とし、定着長ならびに端部ずらし量は、それぞれ200 mm、15 mmとした。鋼板と炭素繊維シートの間には、パテ材を挿入する。また、本研究では、補修・補強後の長期耐久性向上を意図として、鋼材面に有機ジンクリッチ系塗料を塗布するケースについても検討する。試験ケースとして、有機ジンクリッチ系塗料の有無で2ケースを設ける。

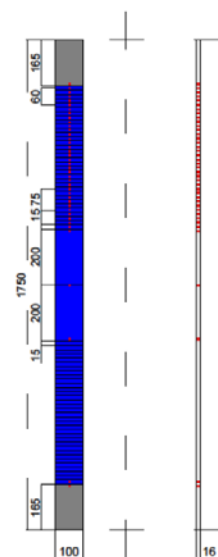


図1 試験片

4. 実験結果

各ケースの荷重-ひずみ関係を図2に示す。ひずみの評価点は、鋼板中央のコバ面とシートを添付しない鋼板表面である。降伏点は276 N/mm²であり、降伏荷重 P_y は442 kNである。有機ジンクがあるケ

キーワード 鋼構造物, 炭素繊維シート, 補修, 補強, 維持管理

連絡先 〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町1603-1 長岡技術科学大学 TEL 0258-47-9641

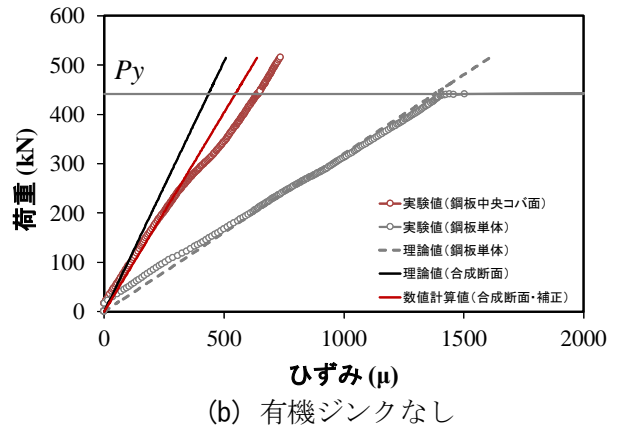
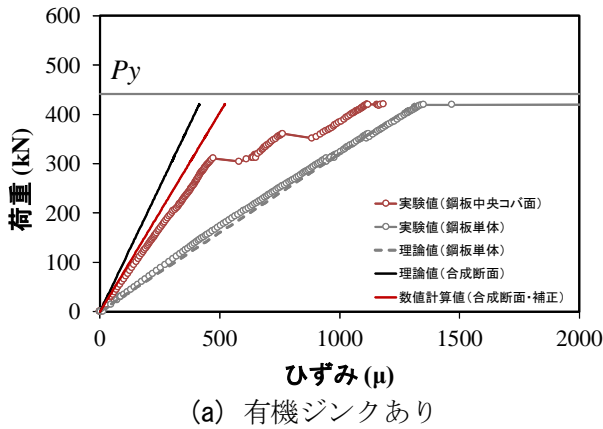


図2 荷重 - ひずみ関係

ースでは、最大荷重は 421 kN であり、降伏荷重に達する前に終局を迎えた。破壊形態はシート層間のはく離であった。有機ジンクがないケースでは、最大荷重は 515 kN であり、降伏荷重を超えて終局を迎えた。破壊形態はシート端部からのき裂発生であった。

図2に示す理論値は、次のように計算する。

$$\text{鋼板単体} : P = E_s A_s \varepsilon \tag{1}$$

$$\text{合成断面} : P = E_s (A_s + A_{cf,s}) \varepsilon \tag{2}$$

$$\text{合成断面・補正} : P = E_s (A_s + c_n A_{cf,s}) \varepsilon \tag{3}$$

ここで、 P は荷重、 E_s は鋼材の弾性率、 A_s は鋼板の断面積、 ε はひずみ、 $A_{cf,s}$ は鋼換算した CFRP シートの断面積、 c_n は応力低減係数である。 c_n は文献2の数値計算手法を用いて次のように計算される。

$$c_n = (1/\xi - 1) / (1/\xi_0 - 1) \tag{4}$$

ここで、 ξ は鋼板に作用する外力を A_s で除した応力に対する炭素繊維シート接着鋼板中央コバ面の応力の比、つまり応力低減率を表し、数値計算手法から算出される。また、

$$\xi_0 = E_s A_s / E_s (A_s + A_{cf,s}) \tag{5}$$

であり、鋼板と炭素繊維シート接着鋼板の剛性比を与える。 ξ は CFRP シートの定着長が十分に長くなると、 ξ_0 に収束する。

本研究では、炭素繊維シートの弾性係数を試験値である 694 kN/mm² とし、定着長ならびに端部ずらし量は 200 mm と 15 mm、パテ材ならびに接着材の物性値や厚さは文献2と同様にして $c_n = 0.701$ を得た。

図2をみると、鋼板中央コバ面について、実験値と数値計算値は、有機ジンクの有無にもとづく相違が確認される。

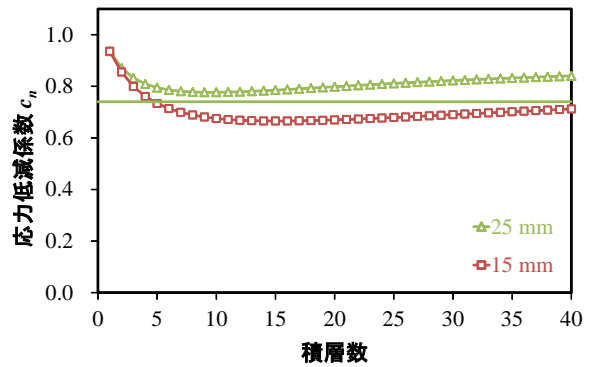


図3 積層数と応力低減係数の関係

5. 解析結果

図3に端部ずらし量をパラメータとして、積層数と応力低減係数の関係を示す。定着長は両者ともに、200 mm である。現行設計では、端部ずらし量を 25 mm とし $c_n = 0.74$ としている。端部ずらし量を 15 mm とすると、鋼板から炭素繊維シートへの応力伝達の距離が短くなることから、 c_n が小さくなる。しかし、図2(b)をみると、端部ずらし量を 15 mm としても、実験値と数値計算値の両者は線形範囲で良い一致を示す。ここから、端部ずらし量を 25 mm とする限りは $c_n = 0.74$ としても良いと考えられる。

6. まとめ

本研究では、鋼構造物に対する炭素繊維シート接着工法における積層数に関する検討を行った。平板の両面に35層ずつ積層した試験片を用いて引張試験を実施したところ、鋼板の降伏荷重を超えるまで炭素繊維シートにはく離等は確認されなかった。また、この場合の応力低減係数に対する考察も加えた。

参考文献

1) 高速道路総合技術研究所：炭素繊維シートによる鋼構造物の補修・補強工法設計・施工マニュアル, 2013, 2) 宮下他：高伸度弾性パテ材を用いた炭素繊維シート接着による鋼橋軸力部材の補修, 土木学会論文集 A1, Vol.71, No.5, pp.23-38, 2015.