

炭素繊維ストランドシート接着により補強された鋼板の 低温環境下における補強効果および剥離に及ぼす緩衝層の物性の影響

新日鉄住金マテリアルズ株式会社 正会員 ○秀熊 佑哉, 非会員 角南 有紀, 正会員 小林 朗

1. はじめに

鋼構造を炭素繊維シートにて補修・補強する場合、低弾性・高伸度な特性を有するポリウレアパテを緩衝層として使用することで、炭素繊維シートの剥離を抑制することが知られている¹⁾。本用途で一般的に使用されるポリウレアパテのガラス転移点温度 (T_g) は -15°C 以下であるが、寒冷地では供用中に気温がそれ以下となることが想定される。

一方、一般的に樹脂材料の弾性係数は温度に依存し、温度が低くなれば、弾性係数は高くなる。特に T_g を境にその値は大きく変化するため、 T_g をまたいで低温側になる際は剥離に対して留意する必要がある。そこで本研究では、炭素繊維シートが接着された鋼板の低温環境下での引張試験を実施し、補強効果および剥離に及ぼすポリウレアパテの物性変化の影響を検討する。また、低温環境下でのポリウレアパテの物性変化を把握するため、ポリウレアパテ単体での引張試験も実施した。

2. 試験概要

引張試験の供試体は図-1 に示すように、鋼板 (SM570 : $600\text{L} \times 25\text{b} \times 9\text{t}$) の両面に、ポリウレアパテを介して高弾性型 900 目付の炭素繊維ストランドシート各 1 層を定着長 200mm にて接着している。炭素繊維ストランドシートおよびポリウレアパテの物性は表-1、表-2 に示す。

施工は室温 (23°C) で行い、その後室温にて 7 日間養生を行った。引張試験は、チャンバー付きの万能試験機にて実施し、試験温度は 23°C , 0°C , -10°C , -20°C , -30°C , -40°C とした。各温度での試験は同一の試験体を使用し、各温度で鋼材応力 250 MPa まで载荷したのち除荷し、チャンバー内の温度を変化させ、試験体に設置した熱電対の温度が試験温度に達してから再度 250 MPa まで载荷す

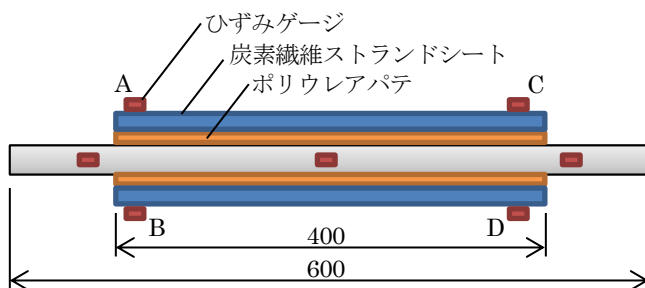


図-1 供試体図

るというサイクルを 23°C から -40°C まで実施した。

また、ポリウレア単体の試験は JIS K 7161 に準拠して実施し各温度での弾性係数を測定した。試験温度は鋼材の引張試験と同様とした。

表-1 炭素繊維ストランドシートの材料諸元

繊維目付 g/m^2	設計厚 mm	引張強度 N/mm^2	弾性係数 N/mm^2
900	0.429	2670	7.05×10^5

表-2 ポリウレアパテの材料諸元

塗布厚 mm	破断伸び $\%$	引張強度 N/mm^2	弾性係数 N/mm^2	T_g $^{\circ}\text{C}$
0.8	391	9.0	60.6	-22

3. 結果と考察

(1) 剥離への影響

引張試験より得られた -40°C での補強部の応力とひずみの関係を図-2 に示す。また、同条件でのシート端部の応力とひずみの関係を図-3 に示す。

図-2 より、補強部のひずみが 250 MPa まで直線的に増加し、その傾きが概ね鋼と炭素繊維ストランドシートを合成断面とした理論値と一致していることが分かる。通常、ポリウレアパテを使用した場合、パテが低弾性であるため、定着長を 200 mm とっても補強部中央では合成断面にならないことが報告されている¹⁾ が、低温時は弾性係数が高くなり、合成断面として機能したと考えられる。

また、低温時にポリウレアパテの弾性係数が高くなると剥離が懸念されるが、図-3 に示したとおり、シート端部のひずみは 250 MPa まで単調増加しており、 -40°C でも剥離は発生しなかった。ただし、本試験においては、施工時と試験時の温度差があるが、鋼と炭素繊維の線膨張係数差による熱応力は考慮していない (各温度の試験開始時のひずみを 0 としている)。

(2) 補強効果への影響

表-3 に、各温度での補強部の応力とひずみの関係の傾きから、見かけの剛性を示す。ポリウレア単体の引張試験から得られた弾性係数も同表に示す。また、それぞれの試験温度との関係を、図-4、図-5 に示す。

キーワード 炭素繊維ストランドシート, ポリウレア, 鋼構造, 補強, 低温, 剥離

連絡先 〒103-0061 東京都中央区銀座 7-16-3 新日鉄住金マテリアルズ株式会社 Tel.03-6859-3441

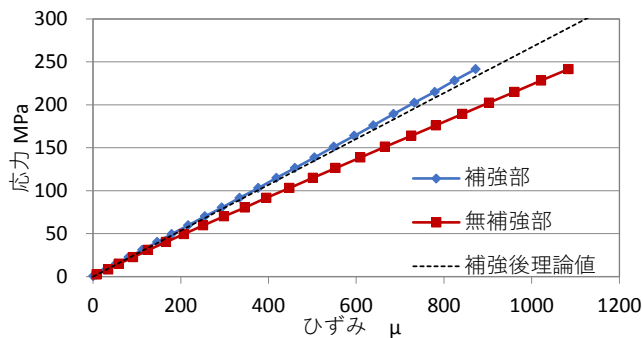


図-2 補強部の応力とひずみの関係 (-40℃)

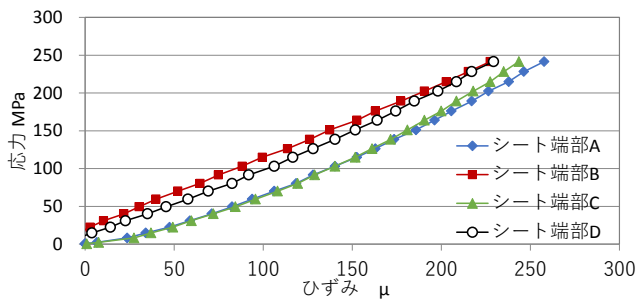


図-3 シート部の応力とひずみの関係 (-40℃)

表-3 ポリウレアと補強効果の温度依存性

試験温度 ℃	弾性係数 N/mm ²	見かけの剛性 kN/mm ²
23	60.6	256.6
0	67.9	259.3
-10	61.5	262.5
-20	81.7	264.8
-30	103.7	268.8
-40	382.9	276.0

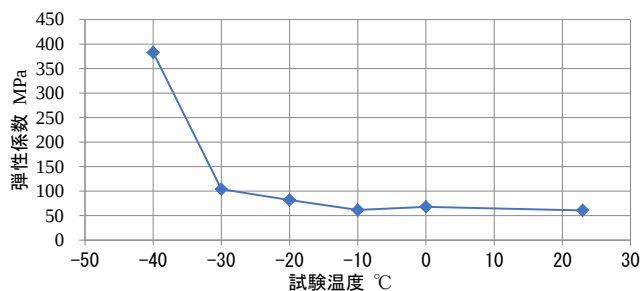


図-4 各温度でのポリウレアパテの弾性係数

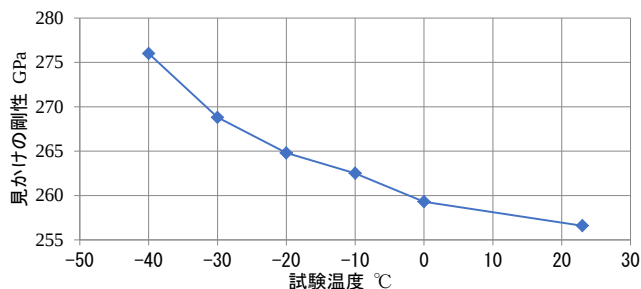


図-5 各温度での見かけの剛性

表-3, 図-4 より, ポリウレアの弾性係数は-30℃までは緩やかに増加し, T_g を過ぎた-30℃以下から急激に増加, -40℃では, 常温の6倍以上にまで増加した. 破断伸び, 引張強度は逆に低下している可能性はあるが, チャンバー内の引張変位に制限があり測定は出来ていない.

また, 表-3, 図-5 より, 見かけの剛性は, -40℃までは増加していることがわかる. これは, 常温ではポリウレアパテの低弾性により合成断面になっていなかったが, 温度低下に伴うポリウレアの弾性係数の増加で, -40℃の時点で定着長 200mm で合成断面となる値に達したためであると考えられる. ここで, 文献2)に提案されている合成断面に必要な定着長の計算を用いて, 定着長 200mm で合成断面となる接着層の必要弾性係数を逆算するとおよそ 200 MPa となる (塗布厚 0.8mm, ポアソン比 0.49 として). 200 MPa は-30℃と-40℃の間であることから, -40℃で見かけの剛性が合成断面としての理論値と一致するという結果と一致する.

4. まとめ

炭素繊維シートが接着された鋼板の, 低温環境下での補強効果および剥離に及ぼすポリウレアパテの物性変化の影響を検討するために引張試験を実施した. 得られた知見を以下に示す.

- ・ポリウレアパテの弾性係数は-30℃までは緩やかに増加し, ガラス転移点温度 (T_g : -22℃) を過ぎた-30℃以降から急激に増加, -40℃では, 常温の6倍以上にまで増加した.
- ・ポリウレアパテの弾性係数が増加した-40℃においても鋼材応力 250 MPa までは炭素繊維シートの剥離は発生しなかった.
- ・補強効果は, 低温になりポリウレアパテの弾性係数が増加するに伴い合成断面としての補強効果に近づき, 定着長 200mm で合成断面となる接着層の必要弾性係数 200 MPa を超える-40℃以降では合成断面として挙動する.

今後の課題

本検討では, 鋼と炭素繊維の線膨張係数差による熱応力は考慮しておらず, 実際には低温時に 250 MPa まで達していない. 今後は熱応力を考慮した付着限界を求めるためさらに高応力まで実験を行う.

参考文献

- 1) 若林, 宮下, 奥山, 秀熊, 小林, 小出, 堀本, 長井: 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桁補修設計法の提案, 土木学会論文集 F4, Vol. 71, No. 1, 44-63, 2015, 02.
- 2) 石川, 大倉: 複数の段差を有する CFRP 板接着鋼板の各 CFRP 板の必要接着長さ最適剛性, 土木学会論文集 A, Vol. 66, No. 2, 368-377, 2010, 06.