

炭素繊維シートを貼付する既設鋼橋桁の補強法に関する基礎的な実験的研究

大阪市立大学大学院工学研究科 学生員 ○杉原尚志
 大阪市立大学大学院工学研究科 正会員 松村政秀

京橋工業株式会社 正会員 並木宏徳
 大阪市立大学大学院工学研究科 正会員 北田俊行

1. 研究の背景と目的

老朽化した鋼橋桁，および設計活荷重の増加に伴う既設鋼橋の耐荷力の不足が問題となっており，それらに対する施工性に優れた補強法の開発が望まれている．従来の鋼板を貼付する工法よりも施工性に優れる補強法の1つとして，炭素繊維シートもしくは炭素繊維板¹⁾を用いる方法が挙げられる．本研究では，鋼桁の補強を対象として，高弾性の炭素繊維シートを貼付する補強効果を検証するため，曲げ載荷実験を実施した．また，鋼 I 桁下フランジにプレストレス(以下，PS という)を導入して，炭素繊維シートを貼付する場合の補強効果についても検討している．

2. 治具により炭素繊維シートを貼付する補強効果

高弾性の炭素繊維シートを図-1 に示す鋼 I 桁下フランジに貼付(図-2 (a) 参照)することにより活荷重に対する応力が分担され，鋼桁の曲げ剛度が効率良く改善されるだけでなく，鋼桁が降伏するまでの荷重を増加させることができる．さらに，図-2 (b) に示すように，特別な治具を用いることにより下フランジに PS を導入し，炭素繊維シート貼付後に治具を撤去すると，炭素繊維シートに PS が導入され，PS 量に比例して死荷重に対する補強も可能となる．この方法は，とりわけ，老朽化した鋼桁の合理的な補強工法であると考えられる．

3. 曲げ載荷実験

本研究で提案した補強法の効果を検証するために，1,000 kN 万能試験機を用いて曲げ載荷実験を実施した．ここで，実験供試体は，無補強鋼 I 桁を想定した供試体 Type-S (図-1)，Type-S の下フランジに高弾性の炭素繊維シートを6層(図-3)貼付した Type-S+C (図-2)，および Type-S+C に治具を用いて PS を導入し補強した Type-S+C+PS の3タイプとし，各供試体の上フランジには床板を想定して Cover-plate (180×9 mm) を溶接により貼付している．また，炭素繊維シートの定着端部で剥離が生じない十分な長さ(2,800 mm)を貼付した，これらの供試体に4点曲げにより最大荷重が得られるまで荷重を載荷した．Type-S+C+PS における下フランジへの PS 導入過程は，(1) 下フランジへ治具を用いて圧縮力を導入する(図-2, (b) i))，(2) 炭素繊維シートをエポキシ樹脂で含浸させ下フランジへ貼付する，(3) エポキシ樹脂が完全に硬化した後，治具を撤去する(図-2, (b) ii))．

以上の工程により，下フランジに -613μ の圧縮ひずみが

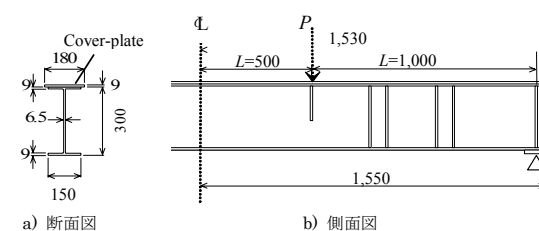
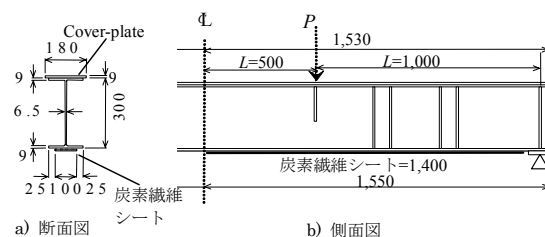
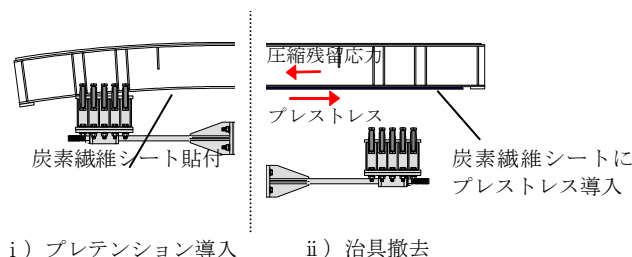


図-1 補強対象(実験供試体 Type-S) (寸法単位 : mm)



(a)実験供試体 Type-S+C (寸法単位 : mm)



(b)実験供試体 Type-S+C+PS

図-2 実験供試体 Type-S+C, Type-S+C+PS

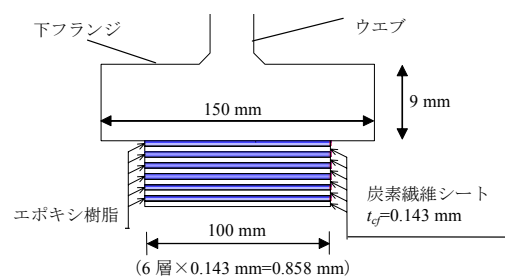


図-3 炭素繊維シート断面図

キーワード:炭素繊維シート，鋼桁，プレストレス，補強

連絡先: 〒558-8585 大阪市住吉区杉本 3-3-138 大阪市立大学大学院工学研究科都市系専攻 TEL:06-6605-2735

発生するまで PS を導入し、治具撤去後には、下フランジに -92μ の圧縮残留ひずみ、炭素繊維シートには 552μ の引張ひずみがそれぞれ導入された。各部材の材料特性は表-1に示すとおりである。

表-1 材料特性

部材名称	ヤング率 (N/mm ²)	降伏点 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)
cover plate	2.01×10^5	275.6	459.3
鋼 I 桁	2.04×10^5	287.3	423.9
炭素繊維シート	6.88×10^5	-	2,180

図-4には荷重 P と供試体支間中央の垂直変位 u との関係を示す。図中、 $P_{Y(S)}$ 、 $P_{Y(S+C)}$ 、および $P_{Y(S+C+PS)}$ はそれぞれ Type-S、Type-S+C、および Type-S+C+PS の下フランジが降伏ひずみに達した時の荷重（以下、降伏強度という）である。また、弾性域における曲げ剛度 EI (式 (1)) は、ウェブプレートに貼付したひずみゲージにより計測したひずみ分布の勾配より算定した。同図によると、炭素繊維シートを 6 層貼付することにより降伏強度は 17.7%、曲げ剛度は 12.3%向上していることがわかる。理論降伏強度 P_{Y0} (式 (2)) も同時に約 16.0%改善されている。なお、炭素繊維シートの破断は、曲げモーメントが卓越する両載荷点間で発生し、破断に至るまで鋼桁との間に剥離の発生は確認されなかった。

$$EI = \frac{M}{\phi} \quad (1)$$

$$P_{Y0} = \frac{\sigma_{YS} I_{eq}}{yl} \quad (2)$$

ここに、 M ：作用曲げモーメント、 ϕ ：曲率、 σ_{YS} ：鋼 I 桁の降伏点、 I_{eq} ：鋼 I 桁および炭素繊維シートの断面 2 次モーメント（Type-S は鋼 I 桁のみ）、 y ：中立軸から下フランジまでの距離、および l ：支間長

図-5には、 $P=50\text{ kN}$ 載荷時の各供試体の支間中央断面におけるひずみ分布を示す。Type-S の下フランジ表面の計測引張ひずみは 459μ であった。Type-S+Cでは、炭素繊維シートを貼付することにより計測引張ひずみは約 50μ 低下し、約 11.7%の作用応力の低減が確認できる。さらに、Type-S+C+PS は、下フランジに導入されたプレストレス量 92μ を考慮すると、約 29.8%の作用ひずみの低減効果が得られ、プレストレスの導入効果が確認できた。

4. まとめ

炭素繊維シートを下フランジに貼付する補強法の有効性を曲げ載荷実験により検討した。その結果、高弾性の炭素繊維シートを 6 層貼付すると、曲げ剛度が向上し 12.3%、17.7%の降伏強度の改善がみられた。また、下フランジの計測引張ひずみにおいては約 11.7%の低減効果が得られた。さらに、提案した特別な治具を用いた工法によりプレストレスを導入すると -92μ のプレストレスが下フランジに導入可能であることを確認した。今回の実験では、炭素繊維シートの剥離は炭素繊維シートの破断時までは生じなかった。今後さらに、炭素繊維シートの適切な補強範囲と種類について検討することにより、老朽化した鋼橋桁の要求補強量に見合った合理的な補強が可能と考えられる。

参考文献

1) Suzuki, H., (2002) ; Strengthening of a Steel Beam with Carbon Fiber Reinforced Polymer Strip, Proceedings of the First International Conference on Bridge Maintenance, Safety and Management, IABMAS'02, Barcelona, pp.325-326 , Spain, 14-17, July 2002.

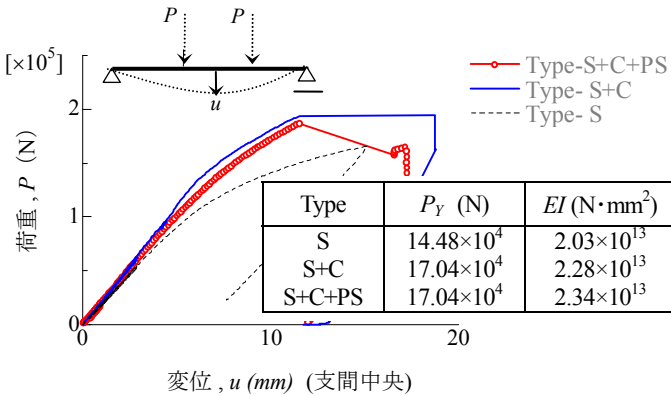


図-4 荷重—鉛直変位関係

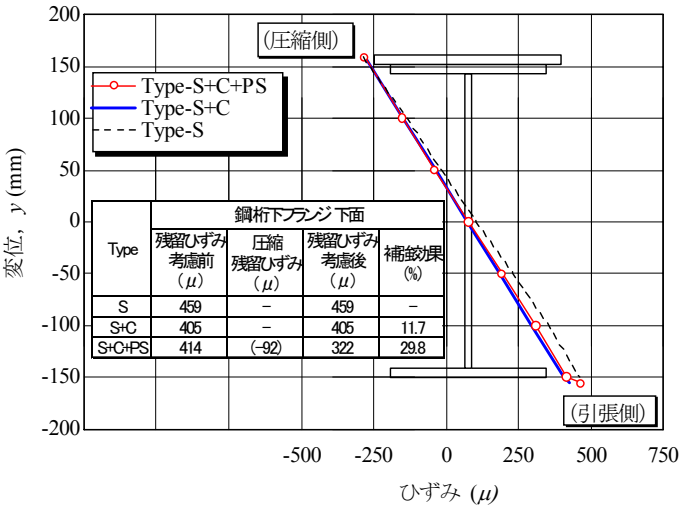


図-5 支間中央断面のひずみ分布