

ステンレス PC 鋼材を用いたプレテンション PC 部材の力学特性

コンクリート研究室 齊藤 駿介
指導教員 下村 匠

1. はじめに

プレストレストコンクリート(以下 PC)構造はその特徴上、高強度コンクリートを使用し、ひび割れを制御する設計を行う。そのため鉄筋コンクリート構造と比較し、外部からの腐食因子の侵入しにくいことから高い耐久性を持つとされている。しかし、近年では海域からの塩分や寒冷地における凍結防止剤に含まれる塩分などによる過酷な塩分供給環境下の場合、プレテンション方式で製作された部材においても PC 鋼材をはじめとする内部鋼材の腐食が確認されており、それら橋梁の補修補強は喫緊の課題とされている。

腐食劣化対策として、エポキシ被覆 PC 鋼材やコンクリート表面の塗装等が適用、実施されているが、通常鋼材を用いている限り恒久的な対策にはならず、腐食のリスクを無視することはできない。

また、昨今では土木構造物におけるステンレス(以下 SUS)鋼材の適用が期待されており、材料自体が耐久性に富むため特別な維持管理を必要とせず構造部材の長寿命化が可能である。そこで本研究は、耐久性の高い SUS 鋼材を PC 鋼より線をはじめとする使用鋼材すべてに適用することで、PC 構造物の腐食劣化リスクを大幅に低減させることを目的とした。

本研究で対象とするプレテンション PC 部材に SUSPC 鋼より線を適用するうえで、現状では付着特性等が検討の余地を残しており設計に向けた提言や方針等は取りまとめられていない。そこで本研究では、SUSPC 鋼より線を用いたプレテンション PC 部材の力学特性を明らかにするとともに、計算で各種挙動を再現し、得られた知見から設計への提言を行う。

2. 検討概要

本研究では、PC 鋼より線に SUS 鋼材を用いた場合の力学特性を検証するため、写真-1 に示す普通 PC 鋼より線と SUSPC 鋼より線を用いたプレテンション PC 試験体を製作し、主にプレストレスによる伝達長の計測および荷重試験による曲げ耐荷特性の検討を行う。

2.1. 試験体概要

a. 付着検討試験

プレテンション PC の特徴として端部に定着具を持たない点が挙げられる。そのため、PC 鋼より線とコンクリートとの定着は材料同士の付着のみであり、端部から徐々にプレストレスが導入される。ある地点からプレストレスは一定値となり、そこまでの部材端からの距離が伝達長である。本試験では、図-1 に示す間隔でプレストレスにより発生するコンクリートの圧縮ひずみ分布の計測を行う。既往研究により、伝達長は鋼より線径の約 33 倍となることから、500mm 程度と想定され中央のプレストレス一定区間を 1000mm 確保した全長 2.0m の試験体を製作した。また、付着定着のパラメータの同定に用いる実験値を得るため、付着定着破壊を発生させる図-2 に示す試験体 SL の荷重試験を行った。

b. 大型荷重試験

図-3 に示す実構造物スケールの普通 PC およびステンレス PC を用いた試験体を荷重試験により、両試験体の曲げ荷重挙動および計算値との比較を行う。

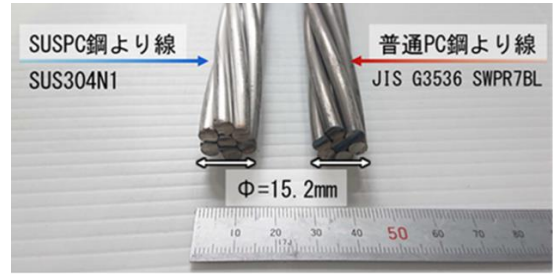


写真-1 使用 PC 鋼より線

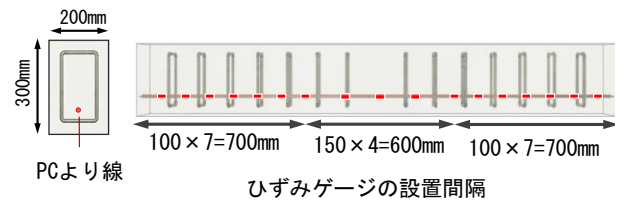


図-1 伝達長試験体

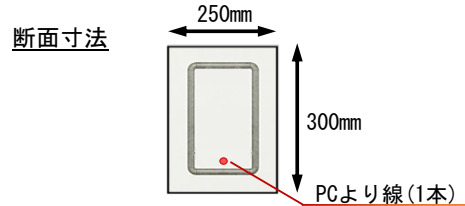
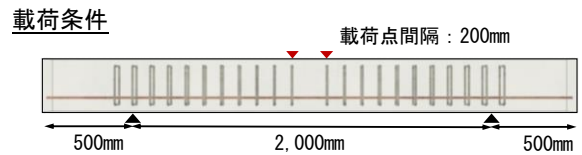


図-2 試験体 SL

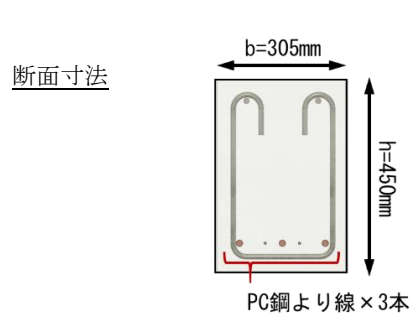
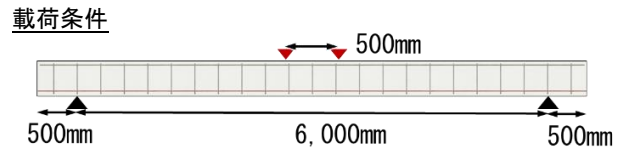


図-3 大型荷重試験体

3. 結果および考察

a. 付着検討試験

図-4 にコンクリートの圧縮ひずみ分布を示す。これよりプレストレス導入直後に端部から圧縮ひずみが蓄積し一定距離でひずみが一定値を示す分布であることがわかる。普通 PC は計算値と同様に 500mm で伝達が完了しており、整合性の高い

結果が得られたといえる。SUSPC の結果を普通 PC と比較すると、SUSPC の両端部ともに 200mm 程度と普通 PC の半分以下の距離で圧縮ひずみが一定値となり伝達が完了していることが確認できる。この相違については、製作工程の違いにより普通 PC 鋼材表面に残存する油膜によるものと考えられる。このことから、SUSPC 鋼材は普通 PC 鋼材と比較し優れた付着性能を有するため従来の設計法でも十分な対応可能であるといえる。

また、試験体 SL においては曲げ載荷荷重が 110kN に達した時点で付着定着破壊が生じ、端部の鋼材の引込みが発生した。この際の鋼材ひずみ ϵ_p および試験体端部から載荷点までの付着長さLから、(1)式に示す付着応力分布関数の同定を行い、付着定着破壊の条件を検討した。

$$\text{付着応力分布} : \tau_s(x) = k \frac{\cosh(\sqrt{M}x)}{\sqrt{M} \sinh(\sqrt{M}L)} \epsilon_p \dots (1)$$

これより、載荷点から試験体端部まで 1,700mm 程度の距離を有していれば曲げ破壊に先行して端部の付着定着破壊が生じないと考えられる。

b. 大型載荷試験

図-5 に大型載荷試験の荷重たわみ関係を示す。これより普通 PC および SUSPC とともに計算値に沿った挙動を示している。このことから、曲げ耐荷性能においては、SUS 鋼材を使用した場合でも大きな相違等はなく従来設計法や平面保持を仮定した数値解析手法でも対応可能であることが示せた。

終局時の破壊モードは、普通 PC においては設計通りの上縁コンクリートの圧壊になったが、SUSPC は PC 鋼より線の破断となった。設計時においては鋼材の JIS 規格に則った引張試験から得られた破断ひずみをもとに設計を行っているため、JIS 規格で定められた破断ひずみの測定方法が破断時の最大ひずみを過大に評価している可能性が考えられる。

検証として鋼材の引張試験を行った結果を図-6 に示す。現状 JIS 規格では、鋼材の弾性係数等の決定には伸び計が用いられており、破断ひずみの算出には万能試験機のクロスヘッドの移動量が用いられている。しかし、図-6 よりクロスヘッドの計測値は鋼材を把持する治具の食い込みになどの誤差を多く含み、ひずみが過大に算出されていることが伺える。実際の破断ひずみの計測には伸び計によるものが望ましいが、安全上の制約により計測は 12,000 μ までとなっている。そのため伸び計の値に近いひずみゲージの計測値を参考値とすることとし、実際の破断ひずみは 19,000 μ 程度であることが明らかとなった。

4. 設計への提言およびまとめ

現行の普通 PC 鋼より線および今回新たに提案する SUSPC 鋼より線の応力-ひずみ関係を図-7 に示す。SUSPC 鋼より線は現行の普通 PC 鋼より線の場合と異なり、降伏挙動が不明瞭であるため、新たにトリリニアモデルを考案した。また、SUSPC 鋼より線の破断ひずみにおいては、普通鋼材の JIS 規格による破断ひずみの測定方法と製品としての破断ひずみの下限値の関係にならない、17,000 μ とした。

曲げ載荷挙動については大きな相違は無いが、終局時には鋼材破断を防止するため上縁コンクリート圧壊時に SUSPC 鋼より線のひずみが 17,000 μ に達していないことを満

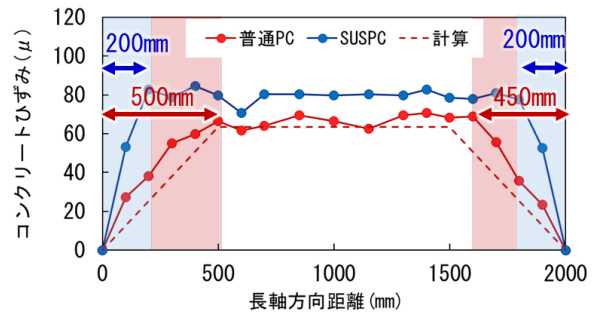


図-4 プレストレスによるコンクリートのひずみ分布

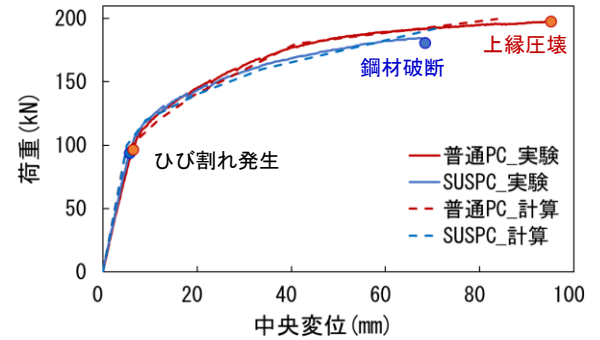


図-5 曲げ載荷試験 荷重-たわみ関係

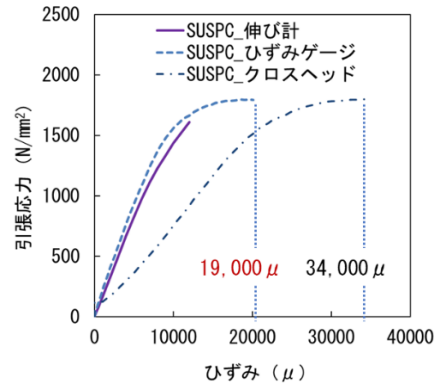


図-6 SUSPC 鋼より線の引張応力-ひずみ関係

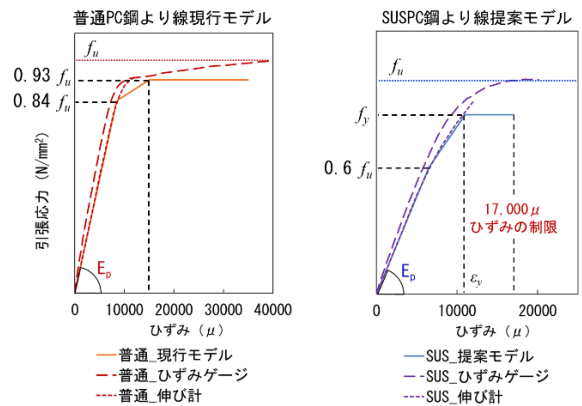


図-7 応力-ひずみ関係モデル

足する必要がある。付着特性については、普通鋼材よりも良好な付着性質を持ち、プレストレスの伝達特性および付着定着能力を有している。このことから、付着特性については現行の設計法に新たな制約を設ける必要はないとした。