

内部鋼材のすべてにステンレスを用いた プレストレストコンクリート構造の実用化に関する研究

コンクリート研究室 藤縄 泰平
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(PC)構造において塩害やグラウト未充填などを起因とする鋼材の腐食が報告されている。近年、エポキシ樹脂被覆PC鋼材の開発、ポリエチレン(PE)シースの開発など様々な対策がなされ、構造物の耐久性が著しく向上したが、腐食への懸念は完全には払拭されていない。そこで本研究では、腐食の恐れが少ない材料のみで構成されるPC構造の開発および実用化を目指すこととし、その材料としてステンレス(SUS)鋼材を選択した。

日本において、ステンレス鉄筋を用いるコンクリート構造物の設計施工指針(案)が制定されるなど土木構造物へのSUS鋼材の適用が期待されており、既に構造物への適用事例が存在する。しかしながらSUSPC鋼材を用いたPC構造を設計するのに必要な技術情報が体系化されていないこと、SUS鋼材を用いると初期建設費が高くなること、SUS鋼製定着具が存在しないことが実用化の妨げとなっている。

そのため本研究では、SUSPC構造を構成する定着具の開発について報告し、検討されていない力学性能を明らかにすることで、SUSPC構造の開発を目指した。また、既往の研究も含め、これまでの知見を反映して設計する際の留意点を提言し、ライフサイクルコスト(LCC)の試算を通じてSUSPC構造の適用範囲の検討を行うことで、実用化への一助としたい。

2. ステンレス製PC定着具の開発

株式会社エスイー、愛知製鋼株式会社、日鉄SGワイヤ株式会社と共同で、SEEE工法のPC定着具をSUS鋼材により作製した。昨年度はウェッジにSUS420J2の焼入れ焼き戻し材を用いて形状の太径化と後端細径化、アンカーヘッドに同鋼種の焼きなまし材、潤滑剤にモリブデン系を用いることで定着効率を満たし、欠け・割れのないシングルストランド定着具が開発できた。

今年度は昨年度開発したシングルストランド定着具を更に改良して完成度を高め、マルチストランド定着具に知見を反映して試作を行った。引張試験を実施ところ、ウェッジに微小な割れは生じたものの、実用上では抑制できるものであるため、定着効率95%を満足する定着具を開発することができた(図-1)。そのため、マルチシステムにおいても非腐食材料のみでPC構造を構成することが可能となった。

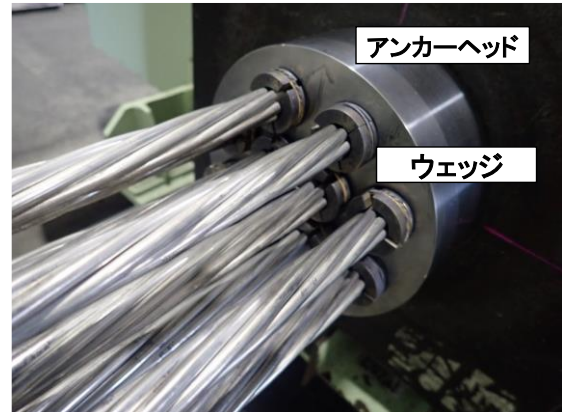


図-1 開発したマルチストランド定着具

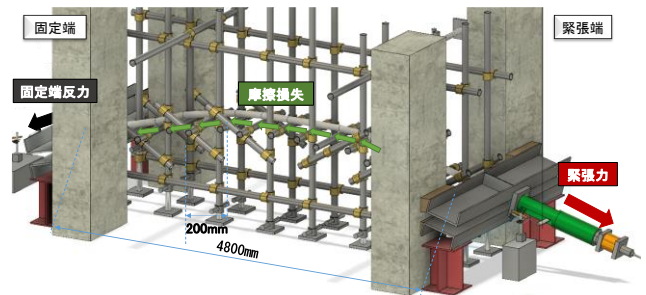


図-2 緊張試験装置

3. 緊張力の減少

PC鋼材の緊張力減少において、リラクゼーションについては普通PC鋼より線と同等であることが報告されている¹⁾。しかしながら、最終的に決定した仕様のSUS鋼製定着具のセットロスが不明であり、PC鋼より線とシースの摩擦についてはSUSPC鋼より線での報告事例がないことから、緊張試験により確認した。

セットロスは、2.で報告した定着具を用いて緊張試験を行い、SUSPC鋼より線に測定端子を取り付け、鋼材の移動量からセットロスで重要なウェッジのめり込み量(セット量)を測定した。結果として、設計における許容緊張力 $0.9P_y(170kN)$ までPC鋼より線を緊張し、20MPaでウェッジを圧入した状態で緊張ジャッキを除荷した際の定着具のセット量は約4mmであることが確認できた。

PC鋼より線とシースの摩擦は、図-2に示す試験装置を用いて行った。SUSPC鋼より線と、同形状の普通PC鋼より線を用い、鋼製シースとPEシースと組み合わせ、 30° 、 40° 、 60° の3種類の曲げ配置で試験を行った。PC鋼より線は7本の素線からなる呼び径15.2mm、シースは $\phi 38mm$ のものを用いた。

図-3 に緊張端荷重-固定端荷重の関係を示す。荷重の大きさによらず概ね比例となっており、いずれの組み合わせにおいても 45° 線と傾きが異なっていることから、摩擦の影響が生じていることが確認できる。組み合わせによる極端な傾向の違いは確認できなかった。表-1 に、試験結果から同定した摩擦係数を示す。PC 鋼より線の鋼種による比較では、鋼製シースとの組み合わせで 1 割程度摩擦による影響が大きく、PE シースでは同等となる傾向が確認された。シースによる違いでは、PE シースの摩擦の影響は鋼製シースの半分程度であることが確認できる。

本研究において普通 PC 鋼より線と SUSPC 鋼より線に大きな違いはなく、鋼製シースとの組み合わせでも従来設計で用いられている値よりも小さいことから、従来の値を適用して問題ないと判断した。

4. 設計についての提言

SUSPC 鋼より線は普通 PC 鋼より線と比べ伸び量が小さいことが明らかとなっている。しかしながら、一般に PC 鋼材の破断が先行することはないため、道路橋示方書では鋼材破断に対する照査は省略されている²⁾。そのため、一般的な橋梁を対象に終局時の設計を行うことで破断照査が必要か確認する。以上から、設計計算を行い、終局荷重作用時に PC 鋼材ひずみが破断ひずみに達するかを確かめた。

検討対象として、コンクリートライブラリー 117³⁾で示されている一般的な T 桁橋を選択した。普通 PC 鋼材は 12S12.7B を 4 本配置している。また、SUSPC 鋼より線の破断ひずみは既往の研究¹⁾を参考に 17,000 μ とした。

設計計算の結果を表-2 に示す。SUSPC 鋼より線を用いて一般的な T 桁橋を設計すると、終局荷重作用時に鋼材破断することが明らかとなった。また、その対策として鋼材本数を増加させたところ、6 本で安全な破壊モードである曲げ引張破壊となることが確認できた。

5. 適用範囲の検討

初期コスト、維持管理コストを考慮した構造物の LCC を種々の条件下で試算し、PC 鋼材、定着具、鉄筋に SUS 鋼材を用いた PC 部材を実構造物に適用した際の効果の検討を行う。建設時に鋼材腐食に対する一般的な塩害対策が行われた PC 橋を対象とした。

PC 橋には様々な構造形式があるが、それぞれの全体工事費に占める鋼材費率が異なることから、代表的な構造形式を取り上げて比較検討を行い、SUS 鋼材を用いた PC 橋における初期建設費の現実的な範囲を探ることとした。また、T 桁橋は適

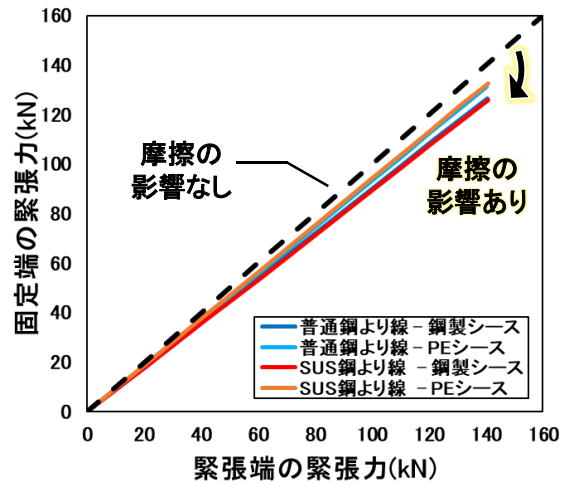


図-3 40° 配置における両端の緊張力比

表-1 摩擦係数の比較

組み合わせ	μ (角度)	λ (長さ)	鋼種 の比較	シース の比較
設計値	0.3	0.004	—	—
普通鋼-鋼製	0.137	0.0018	—	—
普通鋼-PE	0.075	0.0010	—	0.55 倍
SUS 鋼-鋼製	0.153	0.0020	1.1 倍	—
SUS 鋼-PE	0.075	0.0010	1.0 倍	0.49 倍

表-2 照査の破壊モード

1 主桁あたりの鋼材本数	1 本あたりの緊張応力(N/mm ²)	曲げ照査	破断照査
4	1070	曲げ引張破壊	破断
5	900	曲げ引張破壊	破断
6	790	曲げ引張破壊	曲げ引張破壊
7	710	曲げ圧縮破壊	曲げ引張破壊

用支間の範囲が比較的広く、支間の規模によって使用材料の数量が大きく変化するため、大規模支間においても SUS 鋼材の適用に優位性があるか検討を行うこととする。

飛沫帯に架設された構造物を想定し、塩分の侵入により内部の鋼材が腐食する塩害劣化が進行すると仮定する。検討期間は 100 年とした。また、SUS 鋼材を用いたケース(SUS 桁)の効果を確認するため、普通鋼材を用いたケース(普通桁)およびエポキシ樹脂被覆鋼材を用いたケース(エポキシ桁)と比較した。

普通桁、エポキシ桁の保全時期については既往の報告書⁴⁾を参考に、断面修復工および表面塗装工をそれぞれ 20 年と 50 年に施す事後保全として検討する。なお、普通桁では供用 50 年で架替えが必要となるものと設定した。また、SUS 桁については無対策で劣化が進行しないと仮定している

ため、定期点検費用のみ計上することとした。

図-4 に T 桁橋(30m)での LCC の経年推移を、表-3 に構造形式ごとの LCC 試算結果を示す。各桁を比較するため、普通桁初期コストに対する比率を示している。試算の結果、30m の T 桁橋では SUS 桁に優位性がある可能性が示されたが、45m まで支間長を増加すると優位を示さなかった。要因として、橋体面積以上に鋼材量が増大したことにより、初期建設費が補修費用以上に増加したためと考えられる。本検討では、普通桁とエポキシ桁がそれぞれ 20 年、50 年経過するまで補修を必要としない仮定としたが、この条件においても SUSPC 構造は中小規模橋梁に適用性を示すことが確認できた。

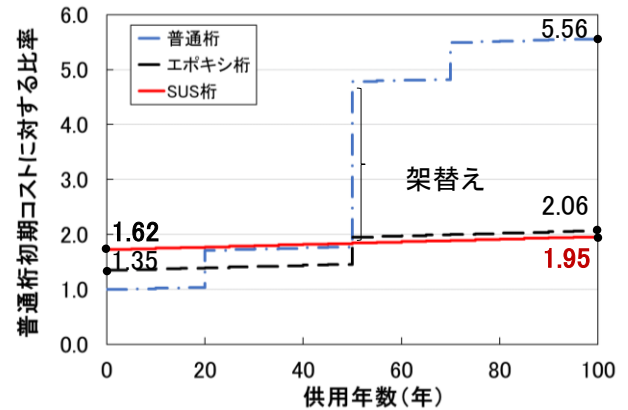


図-4 T 桁橋 (30m) を対象とした LCC の経年推移

6. まとめ

SUS 鋼製シングルストランド・マルチストランド定着具が開発できたため、非腐食材料のみで PC 構造を構成することが可能となった。力学性能において、定着具のセット量が約 4mm であること、PC 鋼より線とシースの摩擦では PC 鋼より線の鋼種による大きな違いは確認できず、同定した摩擦係数が設計値よりも値が小さいことから従来設計で用いられている値を適用して問題ないと判断した。以上のことから、SUSPC 構造を設計する際は、SUSPC 鋼より線の物性値を考慮し、終局状態における PC 鋼より線の破断伸びを考慮するならば、基本的には従来の設計法を用いて問題ないと判断した。また、SUSPC 構造の適用範囲の検討では、いくつかの構造形式・規模の橋梁を対象に LCC の試算を行い、30m の T 桁橋で最も適用性のある結果となった。本試算では補修時期などを仮定しているが、この条件下においても中小規模橋梁への適用性があることが確認された。

表-3 構造形式ごとの LCC 試算結果

構造形式	普通桁	エポキシ桁	SUS 桁
T 桁(30m)	5.56	2.06	1.95
T 桁(45m)	5.78	2.21	2.31
中空床版	5.51	1.71	1.93
箱桁	5.22	1.49	1.81

参考文献

- 1) 下村匠, 小松侑矢, 齊藤駿介: 内部鋼材のすべてにステンレス鋼を用いた高耐久 PC 構造の開発, 2022.
- 2) 日本道路協会: 平成 29 年 道路橋示方書, 2017.
- 3) 土木学会: コンクリートライブラリー117 土木学会コンクリート標準示方書に基づく設計計算例 [道路橋編], 2005.
- 4) 国土交通省土木研究所: ミニマムメンテナンス PC 橋の開発に関する共同研究報告書(I), 2001.