

【様式 1】

道路政策の質の向上に資する技術研究開発 【研究終了報告書】

①研究代表者	氏名 (ふりがな)	所属	役職	
	下村 匠 (しもむらたくみ)	長岡技術科学大学	教授	
②研究 テーマ	名称	PC鋼材、定着具、鉄筋にステンレス鋼を用いた新たな高耐久プレストレストコンクリート構造の開発		
	政策 テーマ	[主テーマ] 領域 8	分科会/ 公募タイプ	タイプ II
		[副テーマ]		
③研究経費 (単位: 万円)	令和2年度	令和3年度	令和4年度	総 合 計
※端数切り捨て。実際の研究期間に応じて記入欄を合わせる こと	3 9 5	1, 0 3 9	9 2 2	2, 3 5 8
④研究者氏名	(研究代表者以外の研究者の氏名、所属・役職を記入下さい。なお、記入欄が足りない場合は適宜追加下さい。)			
氏 名	所属・役職 (※令和5年3月31日現在)			
宮里心一	金沢工業大学・教授			
中川英樹	愛知製鋼株式会社・部長			
近藤洋介	愛知製鋼株式会社・チーム長			
今井昌文	日鉄SGワイヤ株式会社			
中井督介	株式会社エスイー			
藪田紘一郎	株式会社エスイー			
東 洋輔	オリエンタル白石株式会社・主任研究員			
⑤研究の目的・目標	(提案書に記載した研究の目的・目標を簡潔に記入下さい。)			
<p>内部鋼材のすべてにステンレス鋼を用いることにより、鋼材腐食の懸念を一切なくした高耐久ポストテンションおよびプレテンションのプレストレストコンクリート (PC) 構造の開発に取り組む。プレテンションPC構造については、開発済みのステンレス鉄筋、ステンレスPC緊張材を用いてプレテンPC構造を作製し、部材としての力学性能、耐久性を確認し、実製品を工業的に生産し、実構造物に適用できるレベルの技術の確立を目指す。ポストテンションPC構造については、ステンレス鋼を用いたPC定着具を新たに開発し、実用可能な施工性、力学性能、耐久性を有したプロトタイプのポストテンションPC構造を製作することを目標とする。また、PC鋼材、定着具、鉄筋にステンレス鋼を用いたPC構造のライフサイクルコストの試算を行い、従来型PC構造と比較し、その優位性を検討する。</p>				

⑥これまでの研究経過・目的の達成状況

図1の役割分担に従い3年間研究を進めてきた。研究は予定通り行うことができ、ステンレスPC鋼材、ステンレス鉄筋、ステンレス製PC定着具を用いたプレテンションおよびポストテンションPC部材を開発し、その性能確認を行い、ライフサイクルコストを試算し実用可能性を検討した。研究目的をほぼ達成することができた。

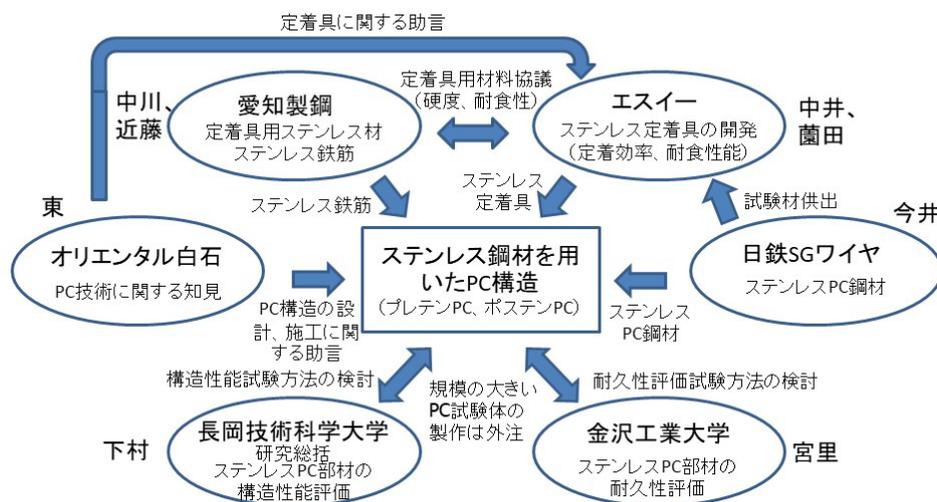


図1 役割分担

⑦中間・FS評価で指摘を受けた事項への対応状況

■中間評価結果

腐食に対する抵抗性を確認していること、ステンレスPC鋼材の伸び能力の問題点の明確化と解決策の検討により、設計上の留意事項等の提案まで期待できることから、現行のとおりに推進することが妥当であると評価する。

対応：いただいた中間評価結果を踏まえ、3年目も研究を推進した。

■参考意見

- ・実用化に向けた成果が得られており、適用マニュアルの整備を望む。
- ・高い応力下で使用することもあり、施工中の傷や、孔食が生じたときの耐久性などについても試験法を充実する必要はないか。また、鋼材・定着具や試験法の規格化に向けた総括が必要である。
- ・鋼材、定着具の規格化の試案、耐久性試験法の規格化の試案、及び、設計、施工の留意点をまとめる点について、具体的な計画を示すべき。

対応：適用マニュアルという形ではないが、破断ひずみや付着特性など本研究で得られた知見に基づきステンレスPC鋼材を用いたPC部材の設計上の留意事項をとりまとめた。ステンレス鋼材は、エポキシ樹脂塗装鉄筋のように施工中の傷が腐食を誘発することはなく、性質上普通鉄筋のような孔食は生じないので、それらを想定した試験法は必要ないと判断した。また、将来のステンレスPC鋼材、定着具の規格化を想定して、関連する既存の規格を調査し、規格の試案を検討した。

⑧研究成果

■ステンレスPC鋼材を用いたプレテンション部材の力学特性

はり試験体によりステンレスPC鋼材を用いたプレテンション部材の曲げ耐荷性状を試験した。従来PC部材と同様の設計と応答解析が可能であることを確認した。

■ステンレス鋼を用いたPC定着具の開発

PC定着具のウェッジ、アンカーヘッドそれぞれに用いるステンレス鋼の鋼種、形状、処理を実験変数として試作した定着具の引張試験を行った。試行錯誤の結果、安定して定着効率95%を有し、破壊や変形の起こらないシングルストランド用PC定着具の開発に成功した。開発したシングルストランド用PC定着具の仕様を用いて、複数本のストランドを一括定着する12本タイプのマルチストランド用PC定着具を試作し、定着性能を確認した。

■ステンレス鋼製定着具を用いたポステンPC部材の力学特性

はり試験体によりステンレスPC鋼材とステンレス製定着具を用いたポステンPC部材の曲げ耐荷性状を試験した。従来PC部材と同様の設計と応答解析が可能であることを確認した。

■ステンレスPC鋼より線とシースの摩擦特性

ステンレスPC鋼より線とシースの摩擦による緊張力の減少特性を試験した。普通PC鋼より線とほぼ同じであったので、実構造物の設計ではステンレスPC鋼より線を用いる際も普通PC鋼より線に対して用いられている摩擦係数の値を適用してよいと考えられる。

■ステンレス鋼製PC鋼材の耐久性

ステンレス鋼の腐食速度は普通鋼の腐食速度に比べ極めて遅く1/10以下であること、緊張力の有無によって腐食速度が変化しないことを確認した。

■ステンレス鋼製定着具の耐久性

普通鋼とステンレス鋼ともに、塩化物イオン量が多いほど分極抵抗が大きいこと、ステンレス鋼においては塩化物イオン量が15kg/m³においても発錆しないことを確認した。

■ステンレス鋼を用いたPC構造の設計上の留意点

ステンレスPC鋼より線の応力-ひずみ関係は、普通PC鋼より線よりも剛性の変化点や破断伸びが小さいので、それらを考慮した応力-ひずみ関係モデルと破断ひずみの設計値を用いるのがよい。ステンレスPC鋼材を用いたPC構造は、終局限界状態の照査において、破壊モードが鋼材の破断とならないことを確認しなければならない。その他の事項については普通PC鋼材を用いた場合と同じ設計法を適用してよい。

■ステンレス鋼を用いたPC構造物のライフサイクルコスト

中小規模橋梁では、ステンレスPC鋼を用いたPC桁が従来構造よりもライフサイクルコストで優位性となることが確認された。なお、現実には普通桁やエポキシ桁は不測の事態により想定よりも早く腐食が発生することがあるが、ステンレスPC構造ではその可能性が非常に低いと考えられるので、今回の計算でLCCの優位性が示せなかった構造形式・規模の橋梁に対してもステンレス鋼の適用を検討する意義はあると考えている。

■ステンレスPC鋼材、定着具の規格試案

ステンレスPC鋼より線の規格の試案を「JIS G 3536 PC鋼線及びPC鋼より線」を参考に作成した。ステンレス鋼を用いたPC定着具の規格の試案を、土木学会規準 JSCE-E503「PC定着工法および接続具の性能試験方法」、「2017年制定コンクリート標準示方書【施工編】」などを参考に作成した。

⑨研究成果の発表状況

- 1) 浦上和也、宮里心一：ステンレス製PC鋼より線の耐食性評価、土木学会中部支部研究発表会、2022.3
- 2) 関根未菜、宮里心一、東洋輔：SUS製PC定着具の腐食評価、土木学会中部支部研究発表会、2022.3
- 3) 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，プレストレストコンクリート工学会第31回シンポジウム論文集，pp.37-42，2022.10
- 4) 浦上和也，宮里心一：ステンレス製PCより線の腐食速度評価，プレストレストコンクリート工学会第31回シンポジウム論文集，pp.411-416，2022.10
- 5) 浦上和也、伊藤大翔、宮里心一：モルタルの塩化物イオン含有量がステンレス鉄筋の腐食速度に及ぼす影響、土木学会中部支部研究発表会、2023.3

上記以外に2023年10月のPCシンポジウムに3編の論文を投稿中である。また「プレストレストコンクリート」に解説記事を投稿予定である。

⑩研究成果の社会への情報発信

論文以外になし

⑪研究の今後の課題・展望等

内部鋼材のすべてにステンレス鋼を用いたプレストレストコンクリート構造を開発するという研究目的はほぼ達成することができた。今後は、開発したステンレス鋼材を用いたPC構造を実構造物に適用し、質の高いインフラの実現に貢献することが望まれる。今後の課題には以下がある。

- ・プレテンションPC構造については、技術的にはすぐにも実用できる。たとえば、床版取替えに用いるプレキャストPC床版にいくつか試験的に適用することが考えられる。
- ・ポストテンションPC構造用のステンレス鋼製PC定着具は実験室内においてプロトタイプを完成させたに過ぎないので、実構造物への適用のためには、製品化し、安定的に、量産できるようにする必要がある。
- ・本研究において開発した技術を広く世の中のインフラに適用するためには、学会の委員会等において、多くの委員の共通認識の下で設計施工基準やガイドラインを策定するのがよいと考える。

⑫研究成果の道路行政への反映

本研究で開発した内部鋼材のすべてにステンレス鋼を用いたプレストレストコンクリート構造は、鋼材の腐食のおそれがないことから、厳しい塩害地域における橋梁に適用した場合、維持管理コストの低減、構造物の信頼性向上に大きく貢献することが期待される。

⑬自己評価

内部鋼材のすべてにステンレス鋼を用いたプレストレストコンクリート構造を開発するという技術的な研究目的は、ほぼ順調に達成することができた。規格化、規準化については、原案を検討したものの、本研究組織だけではそれ以上のことは難しく、今後の課題とした。

開発した技術が実構造物に採用されることで、道路政策の質の向上に寄与することとなる。

概ね研究費の投資価値に見合った研究成果を挙げることができたと考えている。