

UFCの引張クリープ特性を考慮した橋梁拡幅設計について

(株)大林組 正会員 ○齊藤 翔太
(株)大林組 正会員 坪倉 辰雄
(株)大林組 正会員 星加 益朗

1. はじめに

近年、全国的高速道路において、橋梁のリニューアル工事が進められている。リニューアル工事を行う路線の中には交通量の多い路線も含まれており、工事中においても工事前と同様の車線数の確保が必要となる場合がある。その際、工事区間内の橋梁では、工事中の車線を確保するために既設橋の拡幅を最初に行い、新設部に車線をシフトさせてから既設劣化部の床版取替などを実施することがある。

本報文では、コンクリート橋を対象に、既設桁と新設PC桁を超高強度繊維補強コンクリート（以下、UFC）による橋軸直角方向接合部（以下、縦接合部）で一体化して橋梁幅員を拡幅する工法²⁾（以下、新拡幅工法）を対象とした。新拡幅工法の設計においては、縦接合部断面（W210mm×H190mm）が新設部（W4080mm×H950mm）、既設部断面（W9700mm×H950mm）と比較して小断面であることから、新設部と既設部を剛結した平面格子モデルを用いることとしている。しかし、UFCは引張クリープの影響により応力緩和することが確認されており¹⁾、既設部に拘束されることで新設部に発生する引張応力の緩和が考えられた。そこで、平面格子解析において、UFCの引張クリープ特性を考慮した解析を実施し、考慮しない場合の解析結果と比較を行った。

2. 新拡幅工法について

(1) 工法概要

コンクリート橋の拡幅工事では、新設部が既設部に拘束されることにより、新設部に引張力が発生する。そのため、在来工法は既設部よりも大きな桁断面や大容量のプレストレスを必要としていた。新拡幅工法は、プレキャスト（以下、PCa）部材を積極的に活用し、橋軸方向へのプレテンション鋼材配置とPCa-U桁の先行製作によるクリープ・自己収縮・乾燥収縮の促進により、既設部の拘束による橋軸方向引張応力を低減し、桁高を既設部に合致させることを可能とした工法である。新拡幅工法の断面例（中央分離帯側拡幅）を図-1に示す。

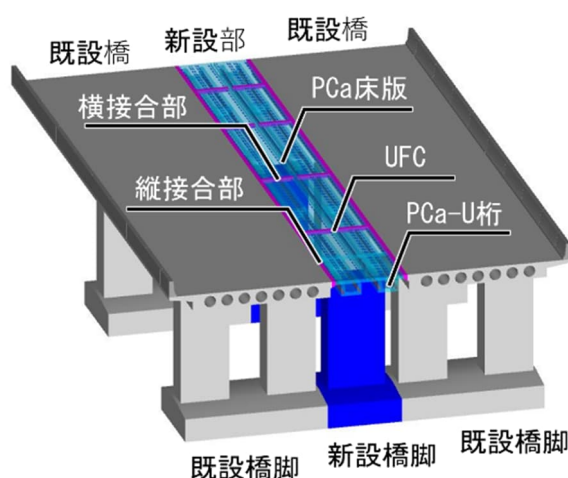


図-1 拡幅構造の上下部工概略図

(2) 施工ステップ

新拡幅工法の施工ステップを図-2に示す。以下に各Stepでの施工内容と留意点を記載する。

Step1：既設部の張出し床版を切断する。既設部に主方向のプレストレスが導入されている場合は、縦締め鋼材と干渉しない位置で切断する。

Step2：プレテンション方式の一次鋼材により、プレストレスを導入し、必要期間養生（本報文では9カ月として検討した）を行ってクリープ・自己収縮・乾燥収縮の影響を低減した工場製作のPCa-U桁を架設する。

Step3：PCa-U桁同士の接合部にUFCを充填し、ポステン鋼材（連結鋼材）でPCa-U桁を1径間分連結する。

キーワード 橋梁拡幅工事, 超高強度繊維補強コンクリート (UFC), 引張クリープ

連絡先 〒108-8502 東京都港区港南 2-15-2 (株)大林組 生産技術本部橋梁技術部 TEL 050-3829-1539

- Step4：プレテンション方式の一次鋼材により，プレストレスを導入し，必要期間養生を行ったPCa床版を架設する．PCa床版同士はUFCにより接合する．
- Step5：縦接合部，横接合部をUFCにより接合する．接合部には，PCa床版同士およびPCa床版と既設床版の接合部があり，後者は既設床版へのせん断キーの形成やアンカー鉄筋の施工を行う．縦接合部の施工後に，拡幅桁のクリープ・乾燥収縮による変形が既設部に拘束される影響が生じる．
- Step6：橋面工を施工して拡幅が完了する．

3. UFCの引張クリープ特性

新拡幅工法の既設・新設床版縦接合部には，常温硬化型のUFCを採用している．佐々木ら（2020.7）は，本UFCを対象に疑似完全拘束試験を実施し，若材齢時のクリープ現象による応力緩和の影響を確認している¹⁾．試験に使用したUFCの配合を表- 1，試験機の概要を図- 3に示す．疑似完全拘束試験の結果を図- 4に示す．引張クリープひずみにより収縮ひずみ量が低減されており，累積収縮ひずみの最大値は117 μ であることが分かる．また，応力緩和の影響により，徐々に累積収縮ひずみは減少し，最終的には0となることが分かる．

表- 1 試験に用いた UFC の配合

水結合材比 (%)	単位量(kg/m ³)				鋼繊維 (kg/m ³)	膨張材 (kg/m ³)
	水	プレミックス材	細骨材	高性能減水剤		
15.5	230※1	1830	330※2	32	157	20

※1 高性能減水剤の水分を含む

※2 表乾状態の単位量

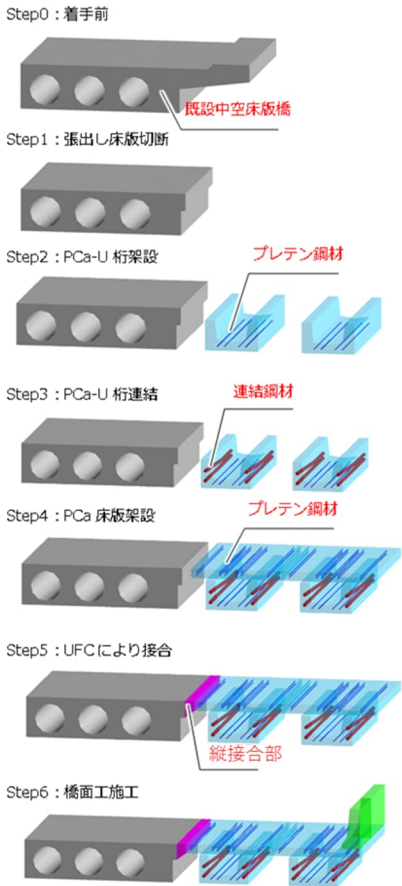


図- 2 施工ステップ図

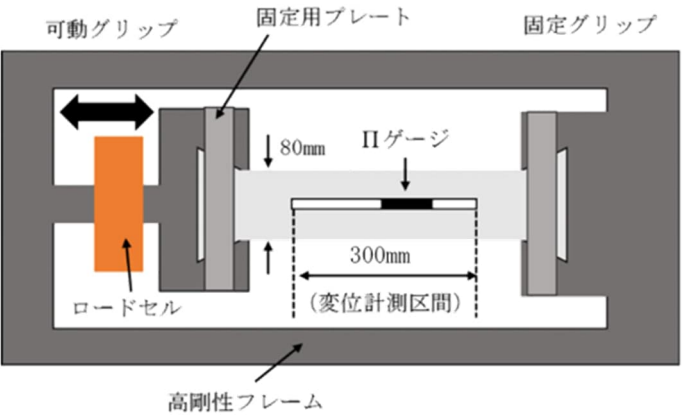


図- 3 疑似拘束試験機の概要

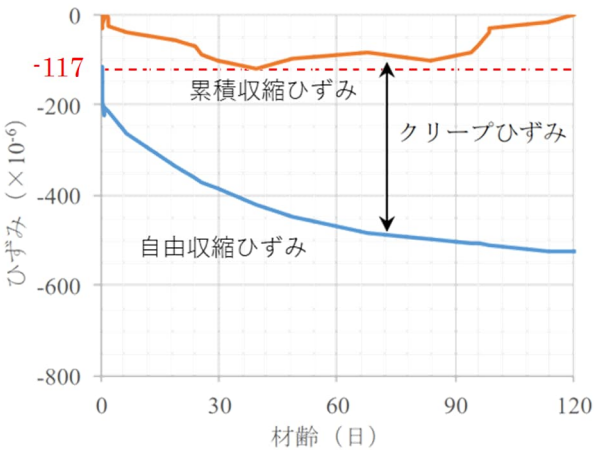


図- 4 UFC の自由収縮ひずみと累積収縮ひずみ

4. UFCの引張クリープ特性を考慮した拡幅設計

(1) 検討概要

橋長120mの7径間連続RC中空床版橋の中央分離帯拡幅を想定して，UFCのクリープ特性が既設部，新設部に与える影響について検討を行った．一体化後の有効幅員は23.9mとした．対象橋梁の側面図および断面図を，それぞれ図- 5，図- 6に示す．

既設上下線 ($\sigma_{ck}=24\text{N/mm}^2$)，中央分離帯新設部 (PCa-U桁，PCa床版ともに $\sigma_{ck}=50\text{N/mm}^2$)，縦接合部を平面格子でモデル化した．簡易化のため，橋脚およびフーチング基礎はモデル化していない．

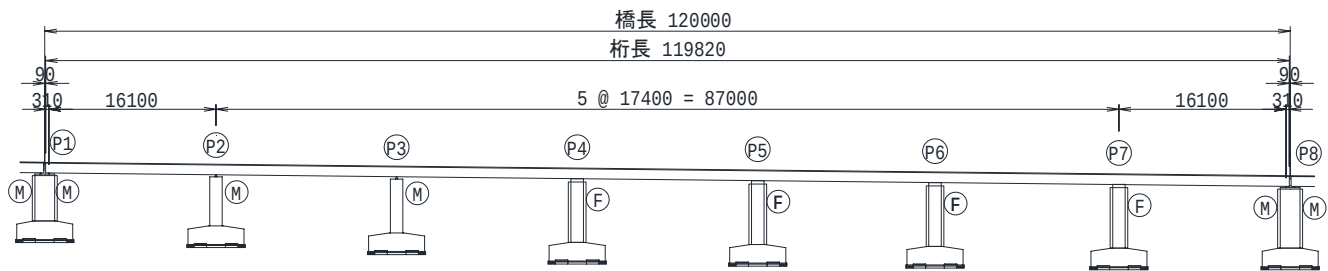


図-5 対象橋梁側面図

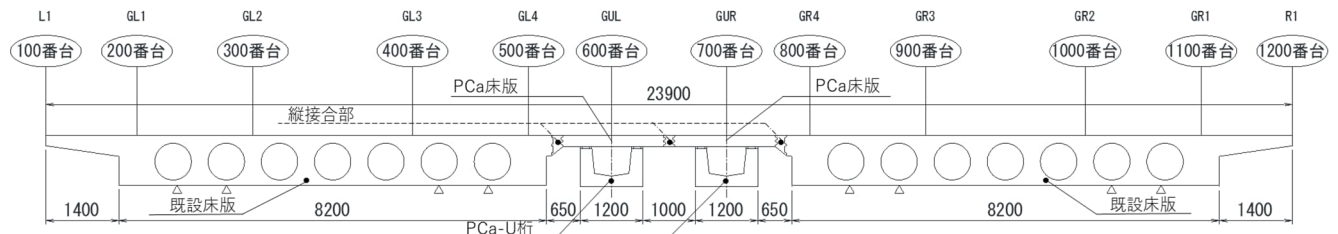


図-6 対象橋梁断面図

(2) 解析諸条件の設定

新拡幅工法の施工ステップを考慮したステップ解析とした。施工ステップおよび各施工ステップにおける支承条件を表-2に示す。

Step-1～Step7まではPCa-U桁架設期間であり、架設時にプレストレスを効率的に導入するため、完成時の支承条件とは異なり1点固定とした。Step8は床版架設期間であり、PCa-U桁梁モデル上に床版死荷重を載荷する。Step9は縦接合部打込みであり、既設部と接続されることで、新設部は拘束の影響を受ける。この際、支承条件は既設の支承条件と同じ多点固定に変更する。Step10では橋面荷重（舗装・壁高欄荷重）を載荷し、以降クリープが収束するまでの期間、解析を実施した。新設部のプレストレスを考慮した場合、接合部に着目すると接合部には圧縮力が作用するため、安全側の検討として本解析ではプレストレスおよび活荷重の影響は考慮していない。

表-2 施工ステップ

施工 ステップ	期間（日）	支承条件								備考
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	
Step-1	5	F	M	-	-	-	-	-	-	第1施工区施工時
Step-2	5	F	M	M	-	-	-	-	-	第2施工区施工時
Step-3	5	F	M	M	M	-	-	-	-	第3施工区施工時
Step-4	5	M	M	M	M	F	-	-	-	第4施工区施工時
Step-5	5	M	M	M	M	F	M	-	-	第5施工区施工時
Step-6	5	M	M	M	M	F	M	M	-	第6施工区施工時
Step-7	5	M	M	M	M	F	M	M	M	第7施工区施工時
Step-8	10	M	M	M	M	F	M	M	M	PCa床版架設
Step-9	10	M	M	M	F	F	F	F	M	縦接合部打設
Step-10	90	M	M	M	F	F	F	F	M	橋面工完成
Step-11	90	M	M	M	F	F	F	F	M	接合後180日
Step-12	90	M	M	M	F	F	F	F	M	接合後270日
Step-13	95	M	M	M	F	F	F	F	M	接合後1年
Step-14	365	M	M	M	F	F	F	F	M	接合後2年
Step-15	365	M	M	M	F	F	F	F	M	接合後3年
Step-16	100000	M	M	M	F	F	F	F	M	クリープ終了時

コンクリート材料の乾燥収縮の設定は、道路橋示方書に記載の算出式を用いることとした。また、クリープ係数は道路橋示方書記載の算出式を用いた場合に鋼材量が過大となったため、事前の圧縮クリープ試験結果より、道路橋示方書記載の算出式の50%の値を用いることとした。既設床版はクリープ・乾燥収縮ともに終了しているものとし、縦接合部UFCのクリープ・乾燥収縮の設定は、クリープ・乾燥収縮・自己収縮の影響が考慮された図-4の疑似完全拘束試験に基づき、乾燥収縮量最大値-117 μ と設定することで考慮した。本報文では、新設部と既設部を剛結とした場合をCase-1、縦接合部をモデル化し、引張クリープによる応力緩和を考慮した収縮量117 μ を設定した場合をCase-2として解析を実施した。平面格子モデルの設定において、Case-1は縦接合部梁モデルの橋軸方向剛性を著しく小さい値とした仮想部材として設定した。Case-2には縦接合部梁モデルに橋軸方向剛性を設定し、前述のとおり乾燥収縮量を設定した。

(3) 解析結果

Case-1, Case-2の2ケースの解析結果について、新設部、既設部および縦接合部の橋軸方向応力度を図-7に示す。UFCのクリープ・自己収縮・乾燥収縮による影響は軸力が卓越するため、ここでは橋軸方向応力度のみの比較結果を示す。

新設部、既設部ともに2ケースの橋軸方向応力差はほとんど無く、2ケースともに最大応力差は0.07N/mm²となった。このことから、UFCのクリープ・乾燥収縮による新設部（図-6中、GUL, GUR）、既設部（図-6中、GL4, GR4）への影響は極めて小さく、今回のような断面構成における拡幅構造では、新設部と既設部を剛結として解析する設計手法は妥当であると考えられる。

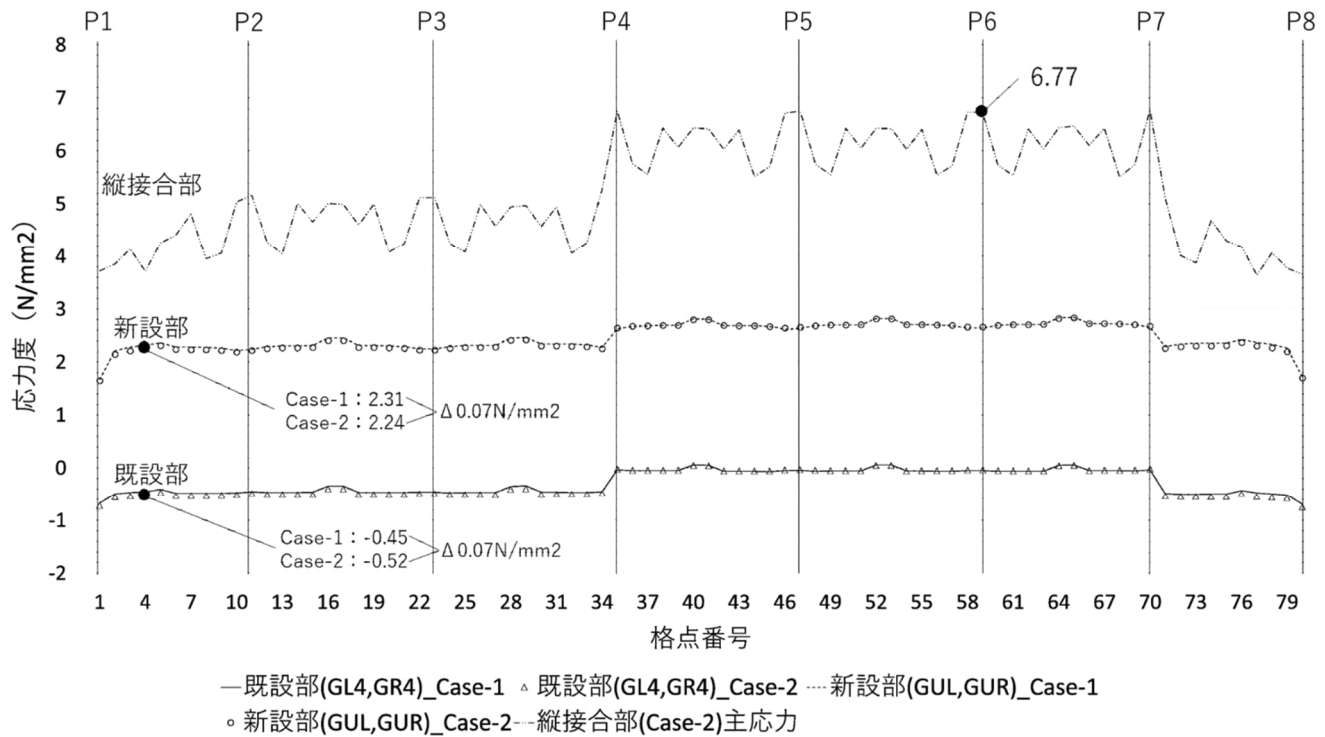


図-7 応力度の比較

5. FEM解析

平面格子解析結果の妥当性検討のため、Case-2の条件でFEM解析を実施した。解析モデル断面図、鳥瞰図をそれぞれ図-8、図-9に示す。既設部、新設部、縦接合部をソリッドモデル化（要素数：約120000）し、平面格子解析と同様に表-2に示す施工ステップを考慮して解析した。縦接合部には、引張クリープによる応力緩和を考慮した収缩量117μを設定した。中空床版橋円筒部は簡易化のため同面積の矩形断面とした。結果を図-10に示す。既設部-新設部間の縦接合部の最大主応力は6.31N/mm²であり、平面格子解析結果（6.77N/mm²）と比較して0.31N/mm²程度低い値となった。これは、平面格子解析では横桁の剛性を安全側に考慮している影響で、縦接合部死荷重および橋面荷重の影響がFEM解析と比較して大きいと考えられる。

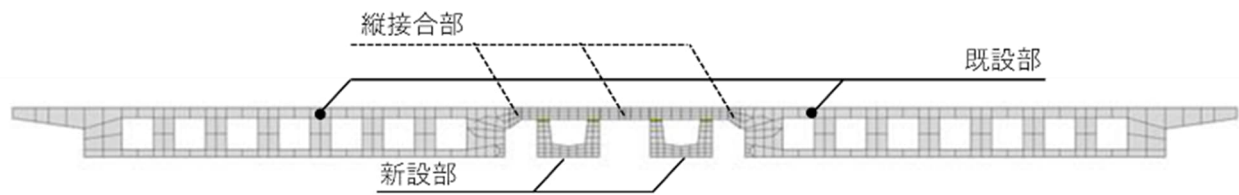


図-8 FEM 解析モデル断面図

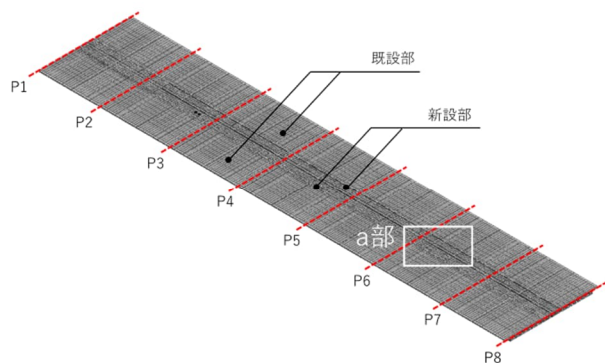


図- 9 FEM 解析モデル鳥瞰図

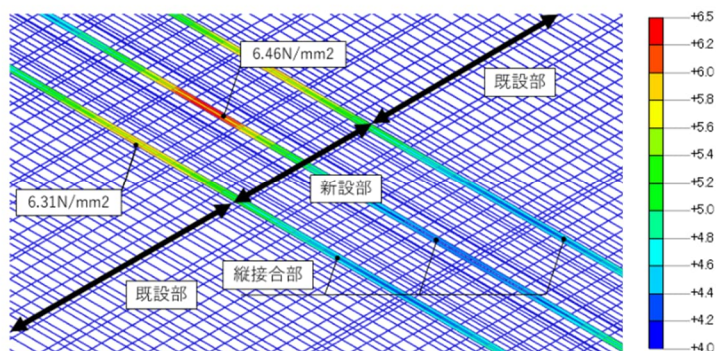


図- 10 FEM 解析結果（図- 9 中 a 部）

支間中央部（P6-P7径間）及び支点部（P6）について、既設部、接合部、新設部の軸方向応力度の時系列変化を確認した。着目箇所を図- 11に、支間中央部（P6-P7径間）の橋軸方向応力履歴を図- 12に示す。図- 12において、Step8までは接合部打込み前であるため省略した。Step9の期間においては、UFCのクリープ・乾燥収縮による部材の収縮が既設部及び新設部に拘束されることにより引張応力がUFC部に作用し、既設部及び新設部には圧縮応力が作用する。Step10以降は、橋面荷重を載荷しており、図- 11に示す着目点は上部構造の中立軸よりも上側に位置するため、支間中央部では圧縮力が作用するため、一時的にUFCの引張応力は緩和されるものの、その後のUFCのクリープ・乾燥収縮の進展に伴い、徐々にUFCの引張応力は増加し、Step10終了時点でUFCのクリープ・乾燥収縮は上限に達しており、接合部①で4.96N/mm²、接合部②で4.78N/mm²まで増加する。Step11以降は、新設部のクリープ・乾燥収縮が進展することにより、新設部に作用する圧縮力が緩和され、それに伴いUFC部の引張応力が緩和される。解析終了時点で接合部の応力度は、接合部①で4.80N/mm²、接合部②で4.6N/mm²まで低下することが確認された。

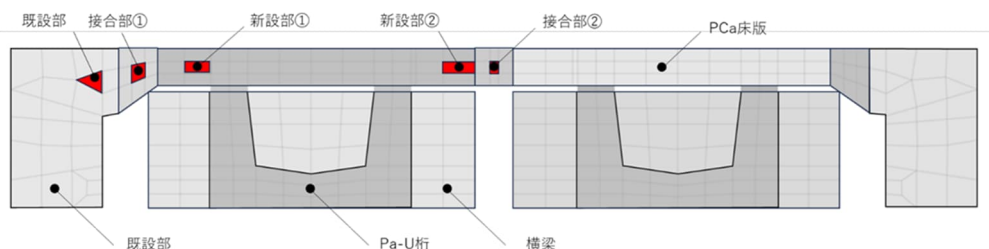


図- 11 橋軸方向応力抽出箇所

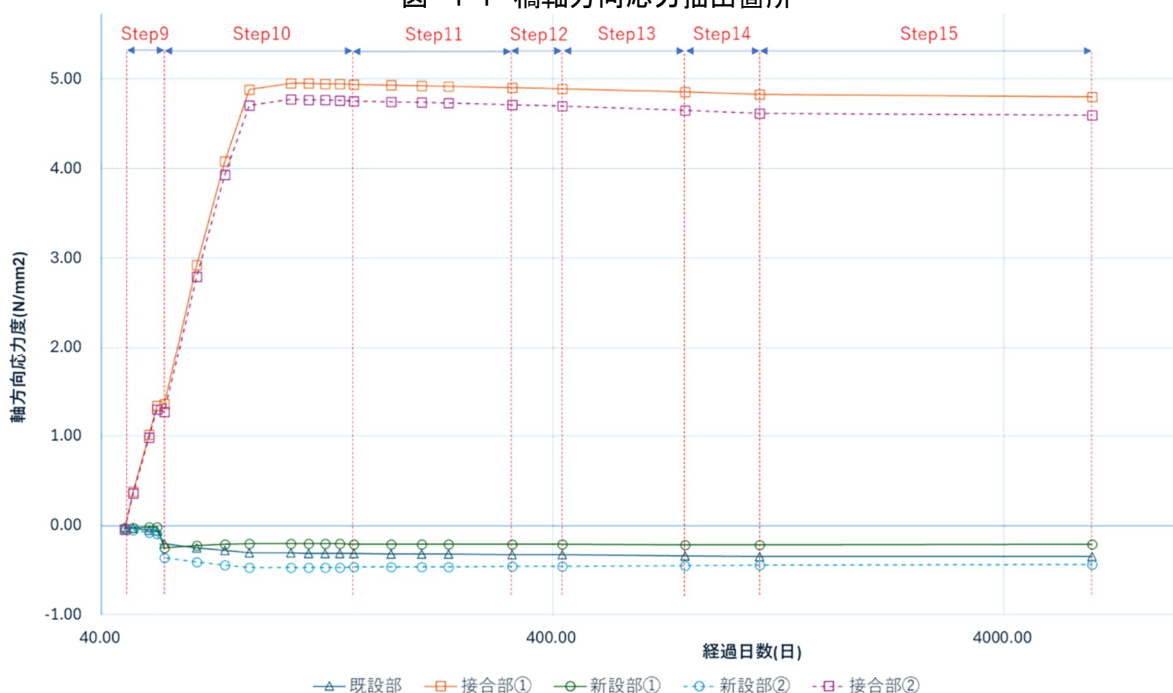


図- 12 支間中央部（P6-P7径間）橋軸方向応力度の時系列変化

支点部（P6）の橋軸方向応力度の時系列変化を図-13に示す。応力の抽出箇所は支間中央部同様に図-11に示す範囲とした。接合部については、UFCのクリープ・乾燥収縮が終了するまでの期間における傾向は支間中央部と同様である。支点部であるため、橋面荷重が載荷されることで部材上縁には引張応力が作用し、着目箇所においては新設部、既設部にも引張応力が作用する。Step11以降に徐々に引張応力が増加しているが、これは新設部材のクリープ・乾燥収縮に伴う収縮が固定支承（P6及びP7支承）で拘束されるため、支点部付近の引張応力が増加したことが原因と考えられる。

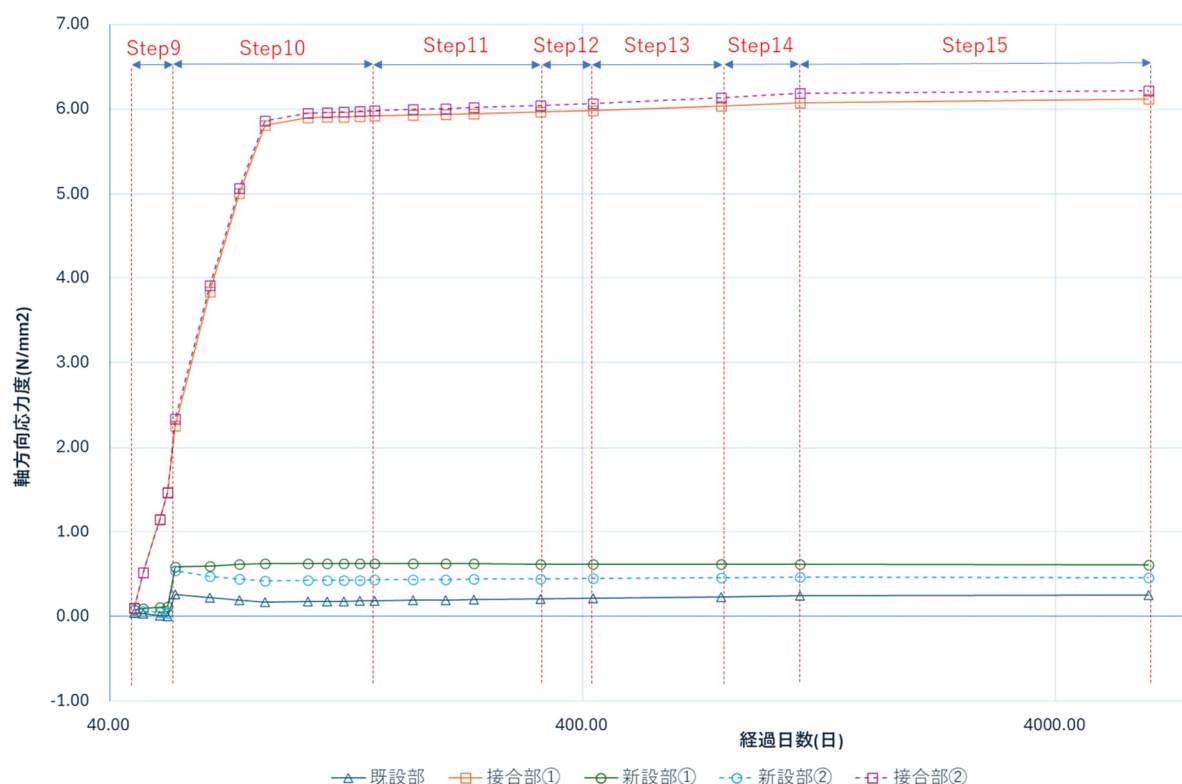


図-13 支点部（P6）橋軸方向応力度の時系列変化

6. まとめ

UFCを縦接合部に用いる橋梁拡幅において、UFCのクリープ・乾燥収縮による新設部、既設部への影響は極めて小さく、今回のような断面構成における拡幅構造では、新設部と既設部を剛結として解析する設計手法は妥当であると考えられる。今後の展望としては、新設部の実物大試験体を用いた計測を実施し、本検討の妥当性を確認する考えである。

参考文献

- 1) 佐々木等：拘束条件下における超高強度繊維補強コンクリートの応力状態に関する実験的研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.42，No.2，2020.7
- 2) 中村和己等：PC 桁拡幅工法の開発-中空床版橋の拡幅-，プレストレストコンクリート，Vol.65，No.6，2023.11