

PC構造物と補強土橋台の一体化に関する一考察

(独) 鉄道建設・運輸施設整備支援機構 正会員 工修 ○西 恭彦
 (独) 鉄道建設・運輸施設整備支援機構 正会員 石井 秀和
 (独) 鉄道建設・運輸施設整備支援機構 菊地 圭介
 (独) 鉄道建設・運輸施設整備支援機構 福重 孝章

Abstract : Integral bridge with geosynthetic-reinforced-soil (GRS integral bridge) is a method of construction to integrate abutments and GRS with a bridge superstructure. Because of its structural system, i.e. highly statically indeterminate structure, it is concerned that the bridge with longer span and prestressed concrete T-Shaped girder may have larger influence on crack occurrence, caused by temperature deformation, shrinkage and secondary prestressing effect of concrete. This study aims to observe the time-dependent behavior of large-scale GRS integral bridge. For this purpose, authors carried out a long-term measurement of displacement, strain, etc. of GRS integral bridge with prestressed concrete girder. This paper describes the measurement results and the observed knowledge from the measurement results. Considering these results of the measurement, the time-dependent mechanism of resistance of the GRS integral bridge was discussed.

Key words : geosynthetic-reinforced-soil(GRS) integral bridge, PC T-Shaped girder, time-dependent behavior

1. はじめに

補強土(GRS = Geosynthetic Reinforced Soil)橋台と桁・床版を剛結し一体化したGRS一体橋梁¹⁾の上部構造には、従来は、RC構造、SRC構造が適用されていた。現在、上部構造にPC桁(T形4主桁)を適用した図-1に示すGRS一体橋梁の設計・施工^{2,3,4)}を行っている。温度・乾燥収縮に加えて、クリープとそれに伴う二次力が、常時の挙動に影響を与える可能性があると考えられるため、継続的な計測を行っている。なお、対象となる橋梁とその設計、施工は次のとおりである。

名称：九州新幹線（西九州）、原種架道橋

設計：(独) 鉄道建設・運輸施設整備支援機構九州新幹線建設局，日本交通技術（株）

施工：佐藤・村本・なかはら九州新幹線(西九州)，第1平山トンネル外3箇所他JV

本論文では、一体化後約1年の計測結果を報告し、設計やRC構造、SRC構造のGRS一体橋梁との比較に

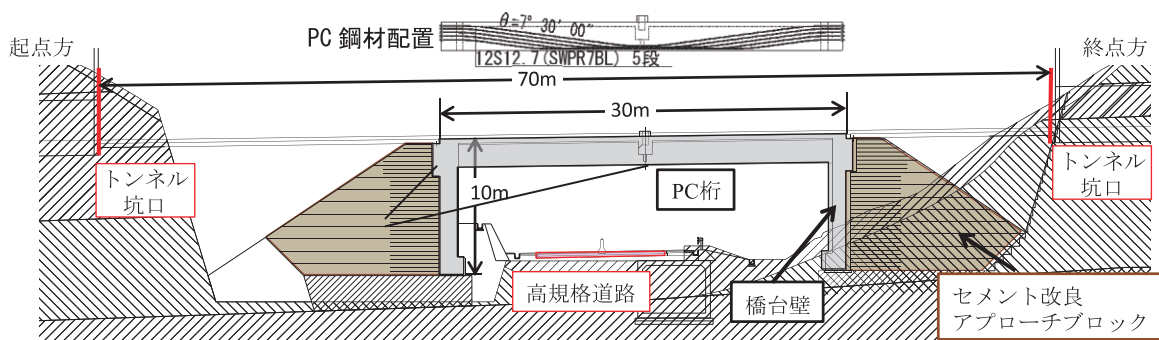


図-1 PC桁を適用したGRS一体橋梁

より、PC構造物と補強土橋台の一体化の影響を検討する。

2. 補強土橋台と上部工を一体化したGRS一体橋梁へのPC桁の適用

鉄道の橋台では、地震時の背面盛土との段差による軌道変位が走行安全性上問題になることから、ジオテキスタイルと剛な場所打ちコンクリート壁で盛土を安定化し、壁体天端で桁を受ける補強土橋台が開発されている。また、背面盛土のゆすり込み沈下の影響を緩和するため、セメント改良土によるアプローチブロックとよばれる遷移領域を構築する。

GRS一体橋梁は、補強土橋台と桁・床版を剛結し一体化した構造物である。耐震性に優れる、単純桁橋梁に比べて交通荷重に対するたわみを小さくすることができる、支承が不要となることから、維持管理を含めたトータルコストを削減できるなどの利点がある。セメント改良アプローチブロック内に埋設されたジオテキスタイルは、**図-2**に示すように施工中のこぼれだし防止のために設置された金網または土のうにより非改良の碎石を巻き込んだ形で、橋台裏の壁体コンクリートに定着されている。橋梁の中で主に伸縮をする部分は、上部工と一体化された橋台壁とセメント改良アプローチブロックとの間のジオテキスタイルが敷設された非改良碎石部だと考えられることから、設計においては、補強土壁を模擬した試験体の正負交番載荷試験による荷重変位関係に基づきバネを設定し¹⁾、桁・床版の常時の伸縮が拘束されるものとして考慮している。ジオテキスタイルに巻き込まれた背面盛土は自立することから、橋台壁基礎は上部工と橋台壁の自重を支持すればよく、本橋梁では直接基礎としている。

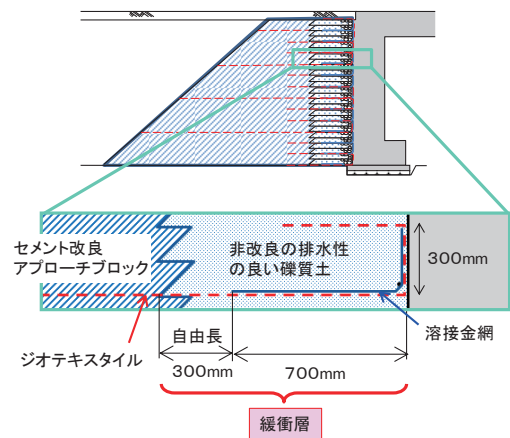


図-2 ジオテキスタイルの定着例

表-1 計測の内容と頻度

計測内容	計測開始日	頻度
外気温計	2016/9/29	2017/3/7 以前 1回/1時間 以降 1回/1日 (AM6:00)
鉄筋計(橋台壁部) (鉄筋ひずみ)	2016/10/3 (橋台壁コンクリート 打込み後)	
鉄筋計(床版) (鉄筋ひずみ)	2017/2/6 (横桁コンクリート 打込み時)	
鉄筋計(主桁部) (鉄筋ひずみ)	2016/11/18 (G2桁PC鋼線緊張後)	2016/12/14(桁架設時) 2016/12/20 以降 1回/1時間 2017/3/7 以降 1回/1日 (AM6:00)
コンクリート ひずみ計		
無応力計		
EMセンサー (PC鋼線応力計)	2016/11/18	2016/11/18(G2桁PC鋼線緊張前・後) 2016/12/14(G2桁架設前・後) 2017/2/6(横桁打込み前・後) 2017/2/13, 20, 3/6, 4/3, 5/1 (横桁打込み後 7日, 14日, 28日, 2か月, 3か月) 以降 1回/3か月
継目計 (相対変位)	2017/2/6 (横桁コンクリート 打込み時)	2017/3/7 以前 1回/1時間 以降 1回/1日 (AM6:00)
ジオテキスタイル ひずみ計	2017/1/28	
盛土内温度計		
水平変位計	2017/2/6 (横桁コンクリート 打込み時)	

GRS一体橋梁の上部構造にPC桁を適用する場合は、桁・床版の常時の伸縮に影響を与える作用として、温度、乾燥収縮のほかに、クリープとそれに伴う二次力の影響が考えられる。本橋梁の設計では、クリープの影響を緩和するため、T形桁の主桁製作後1ヶ月以降に横桁、スラブのコンクリートを打込んで上下部を一体化することとして計画した。施工にあたり、設計の妥当性の確認のため、**表-1**に示す項目、頻度の計測を**図-3**に示す部位で

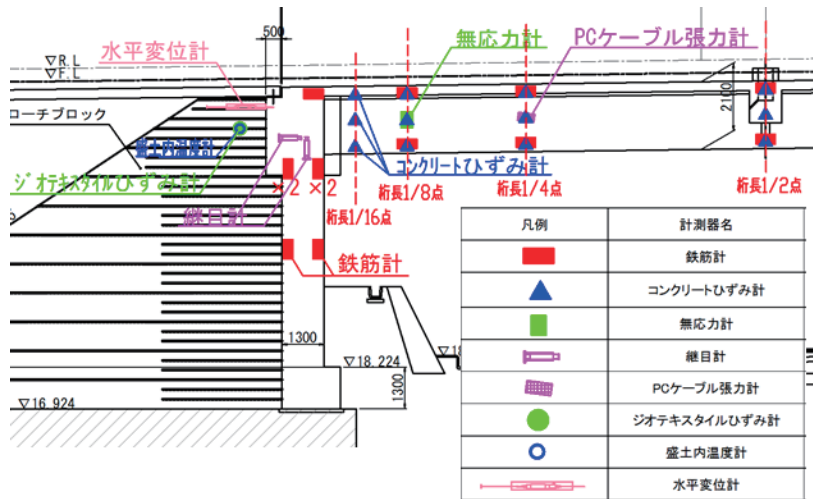


図-3 計測部位

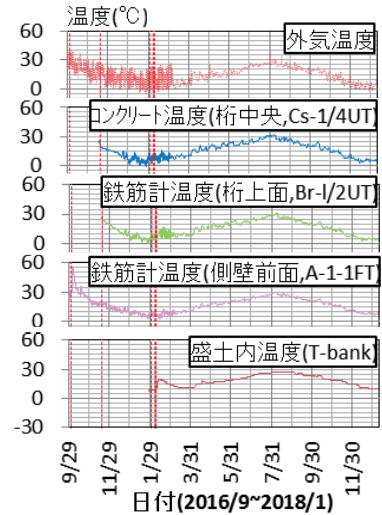


図-4 温度の経時変化

行った。なお、コンクリートを打込んだ日は、橋台壁が2016/11/3、各主桁は11/7(G3桁)、11/15(G2桁)、11/25(G4桁)、12/3(G1桁)である。橋台壁に設置した仮シュー上に架設後の2017/1/31に橋台背面の盛土の構築が完了し、2/6に橋台上の横桁コンクリート、2/8に床版コンクリートを打込んで上下部を一体化している。

3. 計測結果と考察

3.1 温度変化

図-4に温度の経時変化を示す。コンクリートおよび盛土内は、2017年2月の打込み後、水和熱による一時的な温度上昇が見られた。その後は、桁、橋台壁とも外気温と同様の温度履歴であるが、橋梁内(桁、橋台、盛土)の温度は外気温ほど変動していない。設計上は安全性に対して $\pm 12.5^{\circ}\text{C}$ 、使用性に対してその80%を考慮している。

3.2 主桁のコンクリートひずみ

図-5にG2主桁のプレストレス導入直後(PC緊張11/18)を0としたコンクリートひずみの経時変化を示す。桁を架設した時点の圧縮ひずみは下縁側が大きく、プレストレスによるクリープ変形の影響と考えられる。一体化後、気温、桁温度の上昇に伴い、全断面で圧縮側に推移しているのは、桁の温度膨張が橋台壁に拘束された反力の影響も影響していると考えられる。8月以降の温度降下時には、上縁

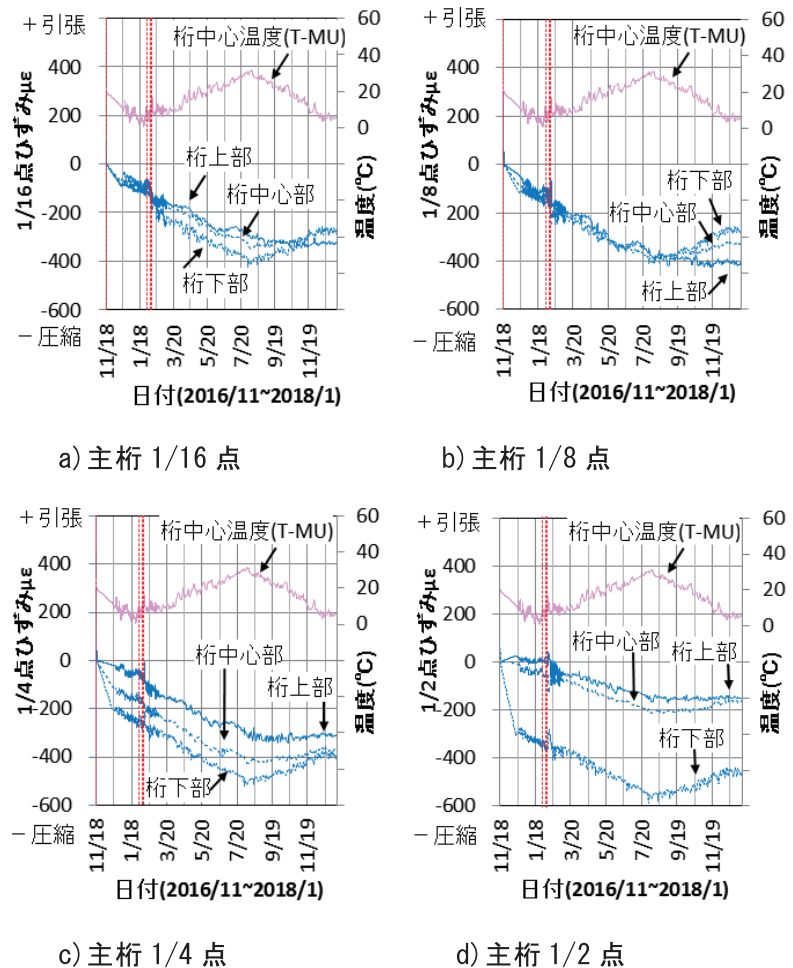


図-5 主桁(G2)内のコンクリートひずみ

側のひずみはほぼ一定であるが、下縁側のひずみが引張傾向に移行する。

3.3 鉄筋応力

(1) 橋台壁内の鉄筋応力

図-6に橋台壁内の鉄筋応力を示す。温度上昇に伴い、橋台壁の膨張が背面の補強盛土や上部の主桁に拘束されることから、すべての計測値が圧縮側に移行している。8月以降の温度降下に伴い、下部の背面側と上部の前面側は引張傾向へ移行している。下部の背面側は、橋台壁の温度収縮が補強盛土に拘束されているためと考えられ、同様の挙動はRC構造のGRS一体橋梁でも見られる⁵⁾。また、上部の前面側は、温度降下に伴って収縮した主桁が橋台壁に拘束されることにより、主桁に正曲げが生じるため、剛結されている橋台壁上部の前面側に引張が出るものと考えられる。同様の挙動はSRC構造のGRS一体橋梁でも発生している⁶⁾。

(2) 主桁と横桁部床版の鉄筋応力

図-7に主桁部と横桁部床版に設置した鉄筋計の値の経時変化を示す。主桁の鉄筋応力は、コンクリートひずみと同様に桁を架設した時点の圧縮応力は下縁側が大きく、一体化後、気温、桁温度の上昇に伴い、全断面で圧縮側に推移している。横桁部床版は、コンクリート打込み後は引張側に推移するが、気温、桁温度の上昇に伴い、圧縮側に推移しており、主桁の膨張を橋台壁で拘束している影響と考えられる。

温度降下時には主桁上部の鉄筋応力がおおむね一定なのに対して、主桁下部の鉄筋応力は引張側に

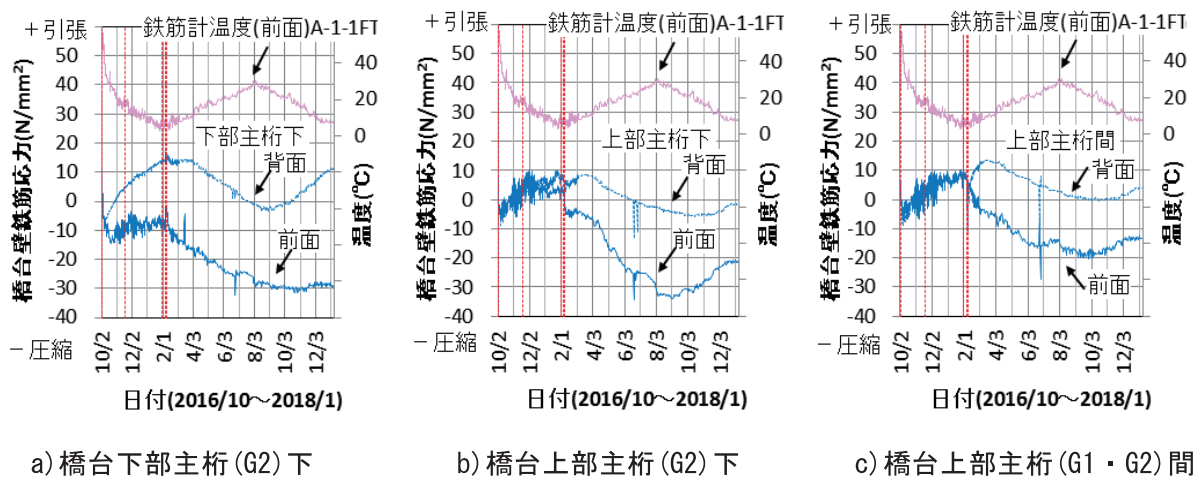


図-6 橋台壁内の鉄筋応力

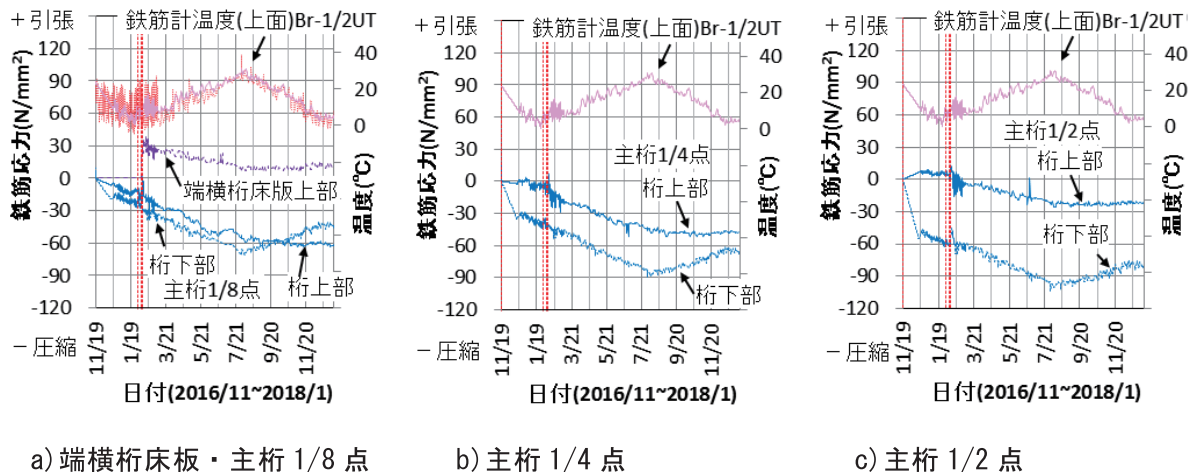


図-7 主桁 (G2)・床版の鉄筋応力

移行する傾向がみられる。この傾向は、RC構造、SRC構造のGRS一体橋梁にも見られ^{5,6)}、コンクリートひずみの傾向と一致する。設計上は収縮に伴い橋台に拘束された桁に正曲げが出るが、それによる引張の影響が実構造物にも生じていると考えられる。また、橋台壁上部の鉄筋応力の挙動とも一致している。

3.4 打継目の相対変位

図-8に橋台および桁と後打ちとなる接合部の横桁のコンクリートとの打継目の相対変位の経時変化を示す。鉛直方向継目計が温度上昇とともに収縮側に変位し、温度降下とともに伸び側に変位しているが、橋台壁の温度伸縮の影響と考えられる。主桁側面の水平方向継目計は、温度上昇とともに収縮側に、温度降下とともに伸び側に、それぞれわずかに変位している。主桁の温度伸縮の影響と考えられるが、T形桁の桁端と補強土橋台との変位差は小さく、上下部工が一体化していることを示していると考えられる。なお、鉛直方向の相対変位が水平変位よりも大きい傾向があるが、計測位置に近接した主桁直下の橋台壁上には、架設後から一体化までの間のクリープ変形などを拘束しないためにコンクリートより弾性係数の小さいゴム製仮支承(1050mm×950mm×厚さ30mm)が埋め殺されているためと考えられる。

3.5 桁端の水平変位

図-9に桁端と補強盛土間の相対変位の経時変化を示す。温度上昇中は橋台背面側に変位し、温度降下とともに橋台前面側に変位している。桁端の水平変位(桁端変位)を温度変化との関係で図示すると、図-10のようになる。あわせてコンクリートの線膨張係数による自由伸縮の場合の桁温度と桁端変位の関係を破線で示している。温度の上昇に伴って、最初に橋台壁を背面側へ押し込む方向に変位が生じる際の温度に対する変位は、自由伸縮の場合よりも小さくなっているが、橋台壁を前面側へ引っ張る方向に変位が生じる際の変位は、自由伸縮と同等になっている。載荷開始点を越えて橋台壁を押し込む場合の変位に対して背面盛土の水平剛性が高くなる挙動は、GRS一体橋梁の長スパン化を想定した補強盛土壁の正負交番水平載荷試験⁷⁾でも見られている。また、SRC構造のGRS一体橋梁⁶⁾計測では、それと合わせて橋台壁を前面側へ引っ張る方向の変位に対する背面盛土の水平剛性が自由伸縮と同程度となる挙動も見られている。橋台壁を前面側へ引っ張る方向の変位が自由伸縮と同程度であれば、橋台壁とセメント改良アプローチブロックとの間のジオテキスタイルが敷設された非改良砕石部には、温度降下による主桁の短縮を軸方向に拘束しない、可動支承と同様の機能が期待できる。なお、本橋はPC構造のため、材齢が比較的若い時期はクリープによる収縮の影響も考えられるが、今後の挙動を追跡することで、クリープによる影響は確認ができると考えられる。

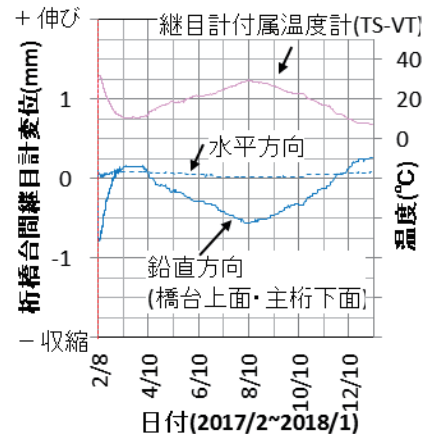


図-8 打継目の相対変位

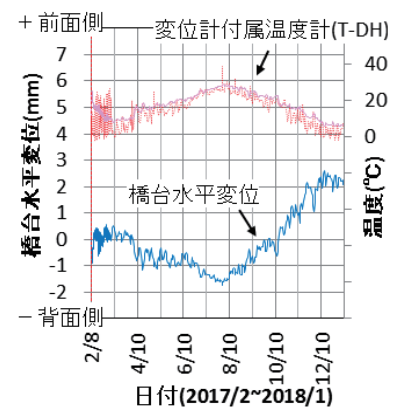


図-9 桁端と補強盛土間の相対変位

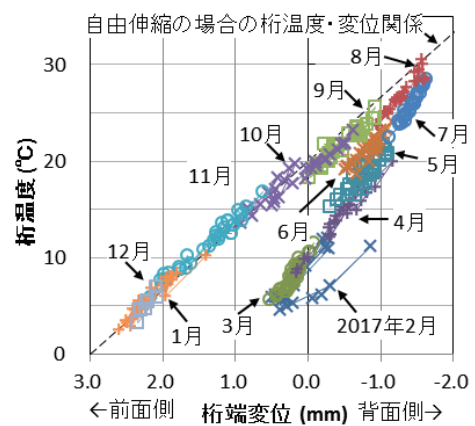


図-10 温度と桁端変位の関係

3.6 PC鋼材張力の変化

図-11にPC鋼材張力の経時変化を示す。張力は定着後の1500kNから1200kN程度まで低下してきている。計測断面 (L/4点) におけるPC鋼材張力の設計値はプレストレッシング直後が1260.5 kNであり、有効プレストレスが1118.0～1122.4 kNであり、計測値と概ね一致している。

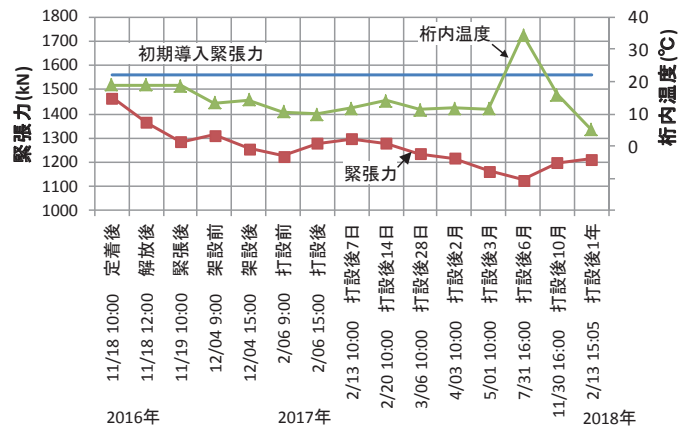


図-11 PC鋼材張力の変化

4. まとめ

PC桁を適用したGRS一体橋梁の施工にあたり計測を実施した。PC桁の製作から2

か月後に補強土橋台と一体化し、1年程度計測を継続していた結果以下のような挙動が見られた。

- ・主桁内のコンクリート応力、鉄筋ひずみは、一体化前は桁下面の圧縮が大きく、一体化後、気温や桁の温度上昇に伴う膨張が拘束された影響で全断面が圧縮側に移行する。気温の降下に伴い、収縮するときは、桁下面側が引張側に移行する傾向がある。
- ・橋台壁の鉄筋応力は、温度上昇時には、橋台壁の温度伸縮が背面盛土と主桁に拘束された影響、主桁の温度収縮を橋台壁が拘束する影響を受ける。
- ・主桁と橋台壁との打継目間の変位は小さく、上下部工は一体化している。
- ・桁端の変形量は温度上昇時の橋台背面への押込み側に対して、温度降下時の橋台前面への引張側の変位量が大きく、後者の変位量はおおむね自由伸縮の場合の変位量に相当する。
- ・一体化後の温度変化による挙動は、過去の模型試験やRC構造、SRC構造の実績と同様の傾向である。本橋については、引続き計測を行い、年間の温度変化に対する挙動を確認する予定である。

参考文献

- 1) 玉井真一, 神田政幸, 龍岡文夫: 補強盛土一体橋梁, コンクリート工学, Vol. 52, No. 10, pp. 892-898, 2014. 10.
- 2) 石井秀和, 玉井真一, 菊地圭介, 高寄太一: 九州新幹線 (西九州ルート) におけるPC桁を用いた補強盛土一体橋梁の計画, 第25回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, pp. 457-460, 2016
- 3) 石井秀和, 石川太郎, 菊地圭介, 福重孝章: PC桁を用いたGRS一体橋梁の施工—九州新幹線 (西九州ルート)—, 第26回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, pp. 209-212, 2017
- 4) 曾我大介, 陶山雄介, 阪田暁, 龍岡文夫, 西岡英俊: PC桁を用いたGRS一体橋梁—九州新幹線 (西九州ルート) 原種架道橋—, ジオシンセティックス論文集, pp. 153-158, 第32巻, 2017. 12
- 5) 小島謙一, 野中隆博, 陶山雄介, 青木一二三, 渡辺和之: 補強盛土一体橋梁における季節の温度変化に伴う挙動, ジオシンセティックス論文集第28巻, pp. 369-374, 2013. 12
- 6) 猪股貴憲, 斉藤雅充, 池田学, 小島謙一, 進藤良則, 玉井真一, 小田文夫: SRC下路桁構造を有するGRS一体橋梁の経時挙動, 土木学会論文集A1, Vol. 72, No. 5, pp. II_135-II_144, 2016
- 7) 加藤久也, 森野達也, 陶山雄介, 青木一二三, 西岡英俊, 小島謙一: GRS一体橋梁の長スパン化を想定した補強盛土壁の正負交番水平載荷試験 (その2: 試験結果), 第48回地盤工学研究発表会, pp. 1543-1544, 2013. 7