

旧三江線 8 径間連続ラーメン高架（宇都井高架橋）

酒井雄壮

1. はじめに

本年度の研究報告は、天空の駅として注目されてきた宇都井高架橋の技術的特徴について、これまでに収集された文献資料と観測データを基に考察して行きます。

宇都井高架橋は旧三江線の起点江津駅から 74k854m51 に位置し、昭和 50 年に全線開通した最終区間に建設されたもので、日本鉄道建設公団の計画で大本組により施工されています。同じ時期に建設された JR 九州 篠栗線（福岡県）の壁式橋脚を有する鉄道高架橋と同じく特殊なジョイント構造が採用されています。

また、収集された文献資料からも、この時期に高架橋の構造について色々な検討が行われており、今日の標準とされた構造形式が確立しされた時期であったことが伺えます。

下図は、ともに駅区間に位置しホーム桁を支持する宇都井高架橋と山手高架橋で、ほぼ同じ構造であり、これらの特徴比較と挙動観測の状況を報告します。

旧三江線 宇都井高架橋 橋長 159.00m

側単径間+4 径間連続ラーメン橋+4 径間連続ラーメン橋+側単径間

13.00m + 17.00m × 4 = 68.00m + 17.00m × 4 = 68.00m + 10.00m

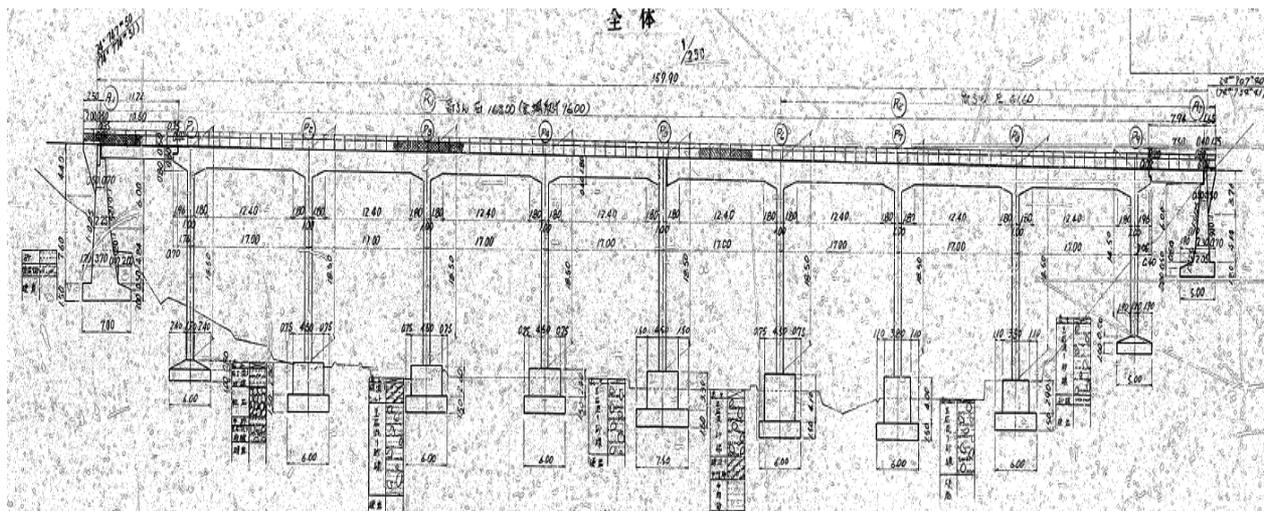


図-1 三江線 宇都井高架橋

JR 九州 篠栗線 山手橋 橋長 150.00m

側単径間+3 径間連続ラーメン橋+4 径間連続ラーメン橋+3 径間連続ラーメン橋+側単径間

12.00m + 12.00m × 3 = 36.00m + 12.00m × 4 = 48.00m + 12.00m × 3 = 36.00m + 12.00m

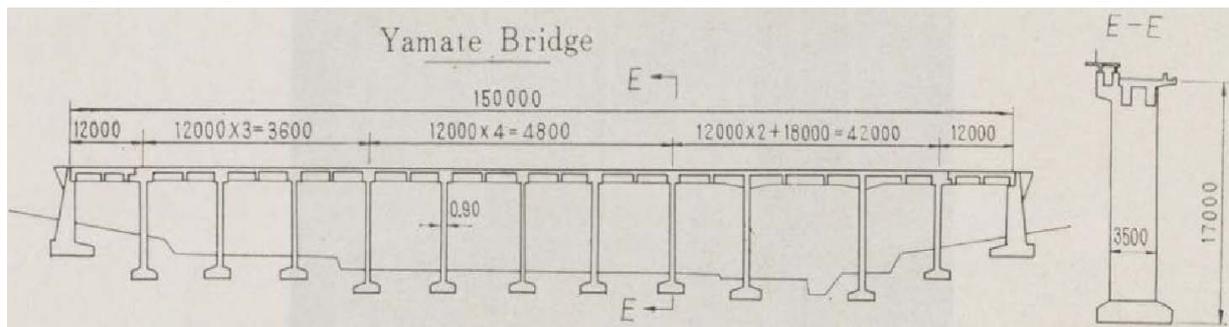


図-2 篠栗線 山手高架橋

開業年月

- ・国鉄(現 JR 九州) 篠栗線(篠栗～桂川間) 1968年5月開業：福岡県篠栗町～桂川町
- ・国鉄(現 JR 西日本) 三江線(浜原～口羽間) 1975年8月開業：島根県邑智町～羽須美村

文献資料

- ・壁柱式高架 鉄道土木(Vol.9)内田聰吉、森重龍馬、辻秀紀
鉄道施設協会 1967年1月
- ・Elevated Railway Structure with Wall Piers
Permanent Way(Vol.10 No1)No.34 Permanent Way Society of Japan 1968年2月
- ・鉄筋コンクリート高架橋の設計 池田康平、手塚民之佑
鉄道土木シリーズ6 日本鉄道協会監修 山海堂 1967年8月
(上記文献の「Elevated Railway Structure with Wall Piers」は、鉄道遺構研究分科会メンバーの岸根真志さんによる国立国会図書館デジタルコレクション検索で、全文英語にて発表されているが、同氏により翻訳されている)
- ・宇都井～伊賀和志間 74k854m51 宇都井高架橋 財産図 米子鉄道管理局浜田保線区

2. 設計条件

線路区間はともに単線で、設計条件もほぼ同じである。() 内は宇都井高架橋

荷重

活荷重 KS-16

地震時水平力 死荷重に地震係数 0.15 (0.20) を乗じた値

温度変化 $\pm 15^{\circ}\text{C}$

温度低下を想定したコンクリートの収縮は -15°C

許容応力

鉄筋張力 異形鉄筋 SD30 1600 kg/cm^2 、丸鋼 SR24 1400 kg/cm^2

コンクリート 240 kg/cm^2 、圧縮曲げ応力 80 kg/cm^2

せん断力

20 (16) kg/cm^2 ウエップ鉄筋が使われている箇所

スラブ 10 (9) kg/cm^2

6.5 (7.0) kg/cm^2 ウエップ鉄筋が使われていない箇所

付着応力度 丸鋼 7 kg/cm^2 、異形鉄筋 14 (16) kg/cm^2

軸応力 70 kg/cm^2

地震時水平力の違いは地域特性区分の違いで、せん断許容値の違いは現在でも難解な課題であり、当時から短期間のうちに何回も変更が繰り返されていたことが察しられます。

3. 構造計画

先に建設された JR 九州篠栗線において「通常の鉄道高架よりかなり異なる多様な鉄筋コンクリートラーメン構造」が計画されています。

・ 比較的薄い壁式橋脚

梁と壁の剛比を大きくして温度変化や乾燥収縮による応力を減少させる試みが行われ、軌道直角方向は幅広で耐力を大きくしていますが、軌道方向は剛度を小さく（薄く）することで応力集中を軽減するとともに、全長に渡り均一でシンプルスレンダーな外観を与える構造とされています。

・ 比較的長い標準スパン

高さが 14m~20m の標準スパンとして 12m~13m の計画が行われています。経済的なスパンが比較により検討されていますが美観的視点からもスパン長と高さのバランスが考えられています。

・ ラーメン橋の 1 ブロック当たり長さ

高架橋の弱点（保守メンテナンスのボトルネック）とされるジョイントを少なくする試みとして、60m から 90m のブロック長を標準として建設されています。

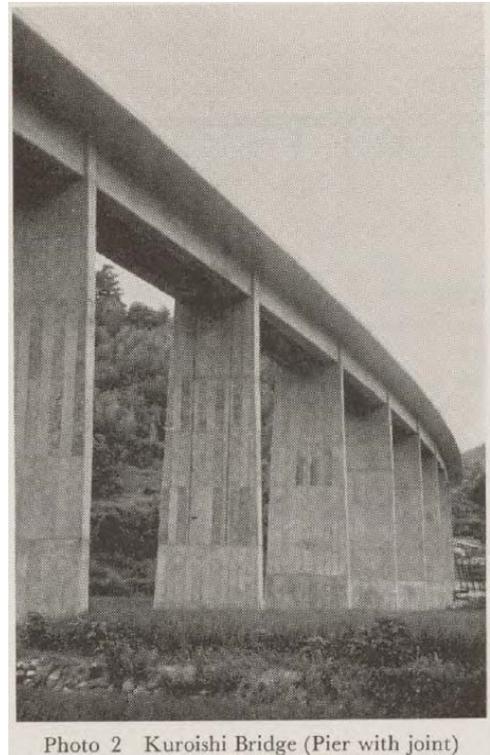


写真-1 篠栗線 黒石橋

宇都井高架橋は高さ 18.50m×スパン 17.0m ラーメンブロック長 4×17.0=68.0m で、先行建設された山手高架橋の高さ 17.0m×スパン 12.0m ラーメンブロック長 4×12.0=48.0m の実績を基に、1 サイズ大きい計画が可能になったものと考えます。

・ 橋台を一点固定とした構造

駅区間でホーム桁を支持している宇都井高架橋や山手高架橋とは、考え方を変えた JR 九州篠栗線の試みとして、上部の梁が橋台に強固に接続された鉄筋コンクリートラーメン高架構造があります。

軌道の長さ方向の水平力を橋台に一点集中させています。橋台がすべての水平荷重を受け持つに十分強固な構造であり、橋脚は軌道の横断方向に垂直力と水平力を受け持つ必要がありますが軌道方向の水平力を受け持つ必要はありません。したがって、軌道の横断方向に十分な剛性と強度を持つ必要がありますが、軌道の長手方向については、温度変化と収縮による応力の増大を防止する剛性を最小化した断面が望ましく壁厚 0.40m の橋脚が建設されています。

現在は想定を超える大地震にも有効な多点固定方式が優先されますが、経済性と日常繰り返される伸縮への対応を優先した構造の試みが行われており、挙動の実態や維持管理の状況にも関心が持てます。

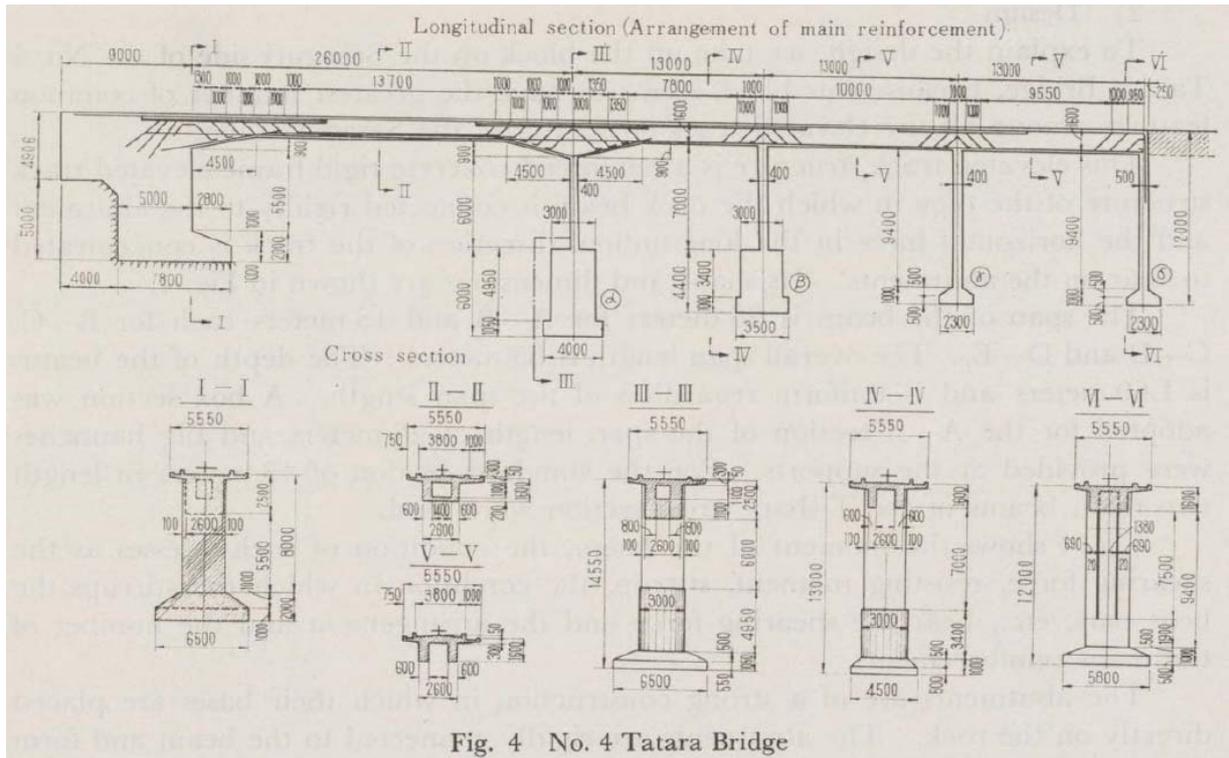


Fig. 4 No. 4 Tatara Bridge

図-3 橋台固定方式：厚さ 0.40m 橋脚 第四多々良橋

・新しい方式の特殊ジョイントの採用（宇都井高架橋でも採用）

ラーメンブロック端部をつなぐ橋脚（VI-VI）は、2つのブロックを上手く接続させるために特別に設計されています。

壁式橋脚はA, B, A'からなり、橋脚A, A'は外側であり一つの起点側ブロック梁が接続され、B橋脚においては中央で終点側ブロック梁と接続されています。

この方式では、温度変化や乾燥収縮による上部構造の変位は、橋脚壁面の弾性たわみにより緩和吸収されます。ジョイント部における橋脚の外見は、他のジョイントのない橋脚の外観とほとんど変わらない。

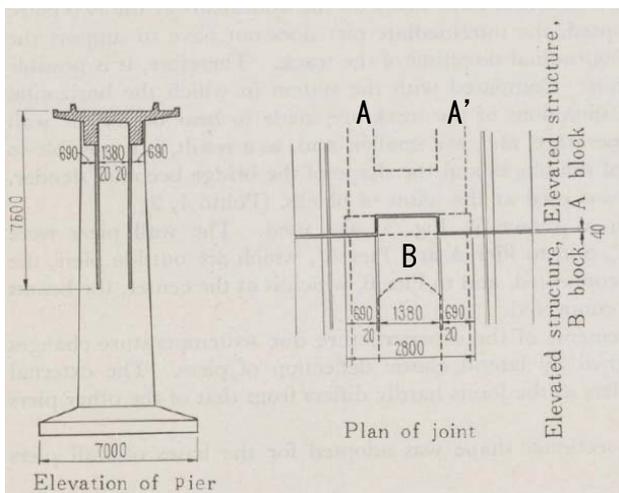


図-4 新しい方式の特殊ジョイント

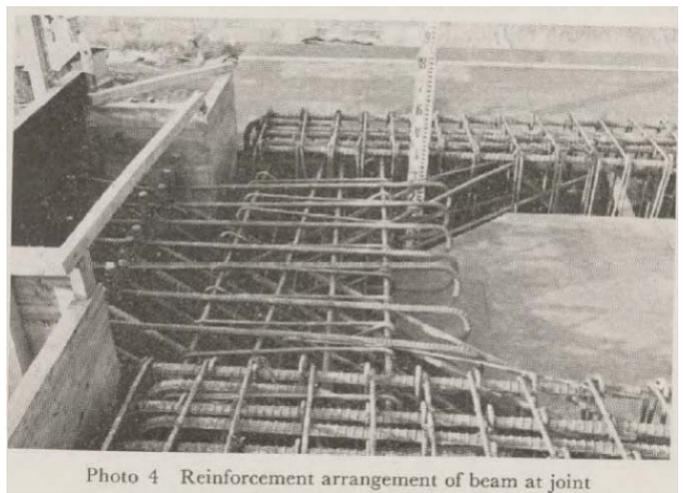


Photo 4 Reinforcement arrangement of beam at joint

写真-2 新しい方式の特殊ジョイント配筋施工状況

4. 宇都井高架橋の挙動

現在、宇都井高架橋の構造的特徴を再確認するために外観調査や特殊ジョイントの挙動観測を行っているところですが、2年間の温度伸縮が観測できていますのでその状況と、そこで発見された異常な挙動を報告します。

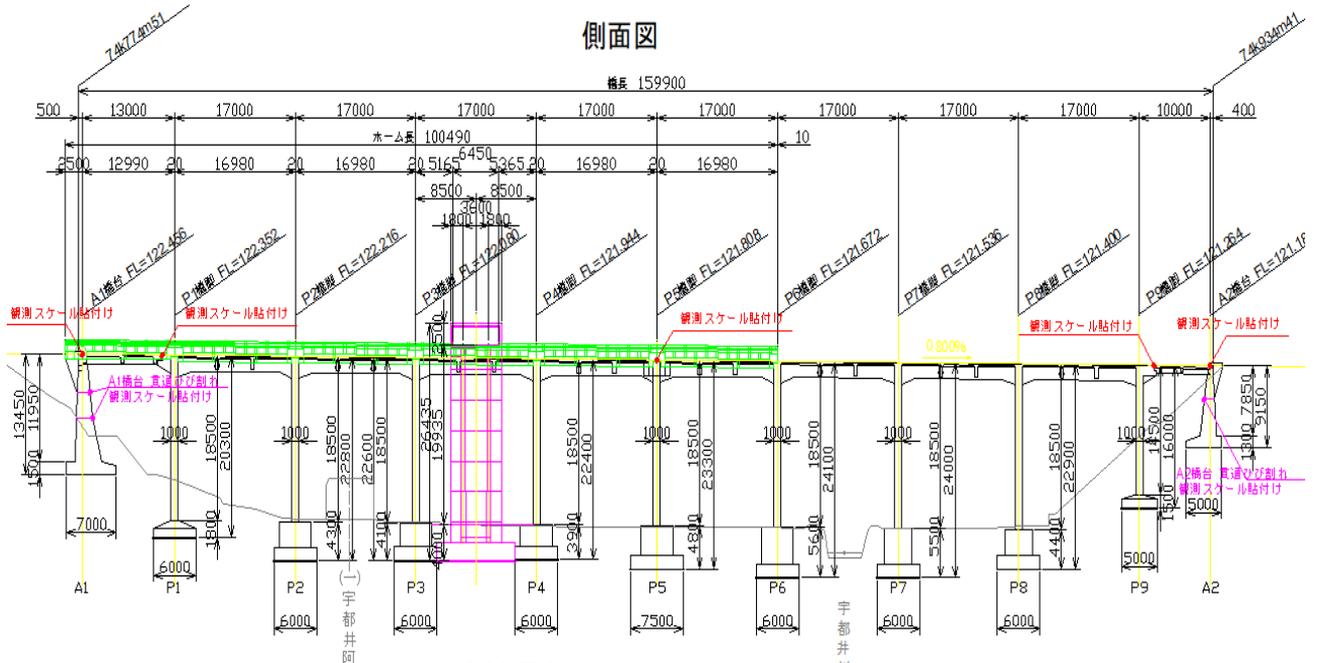


図-5 伸縮量観測位置 (スケール貼付位置)

・観測位置と観測方法

宇都井高架橋の伸縮部5箇所ならびに独立している駅舎建物との相対変位観測を、鉄道遺構分科会の活動として行っています。

観測方法は予算の都合により簡易ノギスを張付けた初歩的なもので、週1回程度の頻度で観測し日時、気温、とともに貼付けたノギスの開きをデジタルノギス0.1mm精度で人手によりアナログ測定・アナログ記録しています。

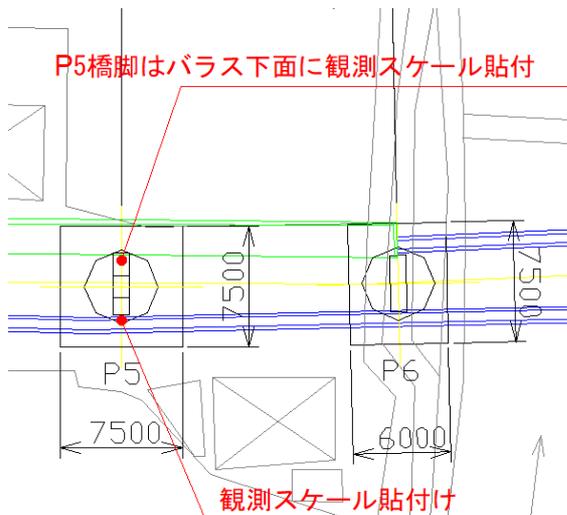


図-6 P5 特殊ジョイント部の伸縮観測位置



写真-3 P5 特殊ジョイント部の伸縮観測状況

・観測記録（2022年2月～2024年12月）

2年間の観測実施により宇都井高架ラーメン橋の温度伸縮は、1年周期で同じ挙動を繰り返しており、安定した状態にあることが確認できました。

観測値は夏季と冬期の観測時平均気温差 27℃に対して $\sum \delta (A1 \sim P5) = 7.5\text{mm}$ 程度、 $\sum \delta (P5 \sim A2) = 4.0\text{mm}$ 程度の伸縮幅が観測されたが、線膨張係数 $\alpha = 1.0\text{E-}5$ とした場合の伸縮量 21.6mm に対してかなり小さく、平面的な動きや伸縮部以外の伸縮については検討中です。

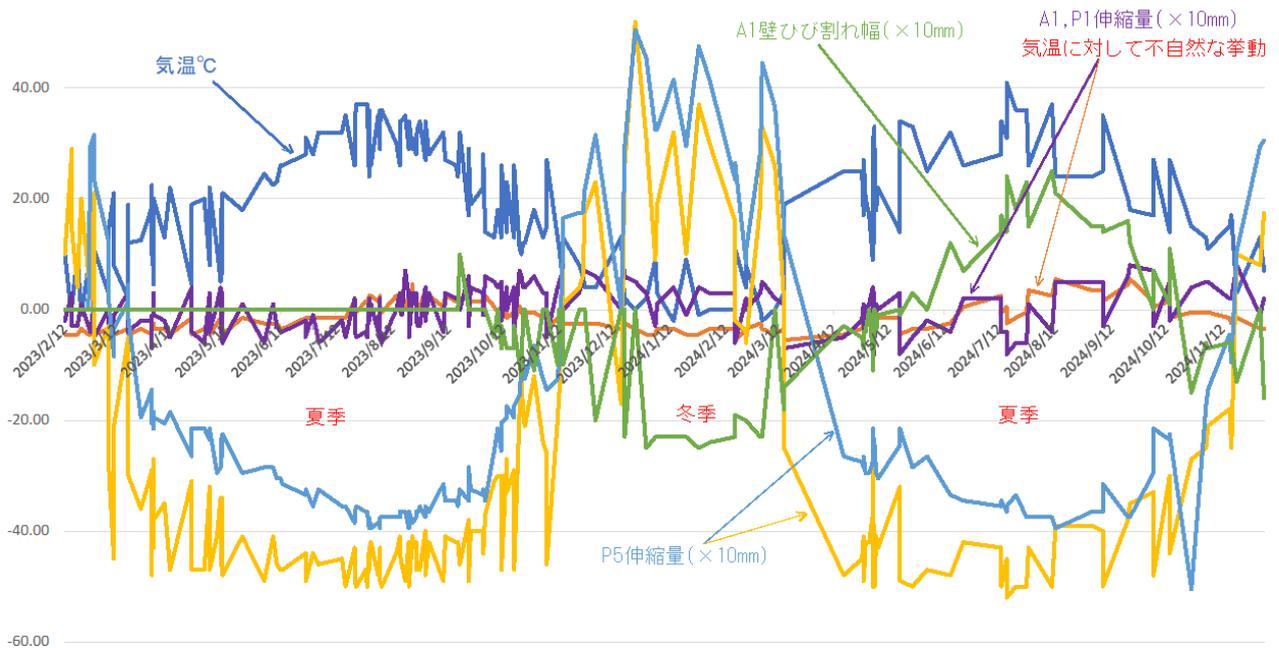


図-7 A1～P5 気温℃と伸縮量×10mm

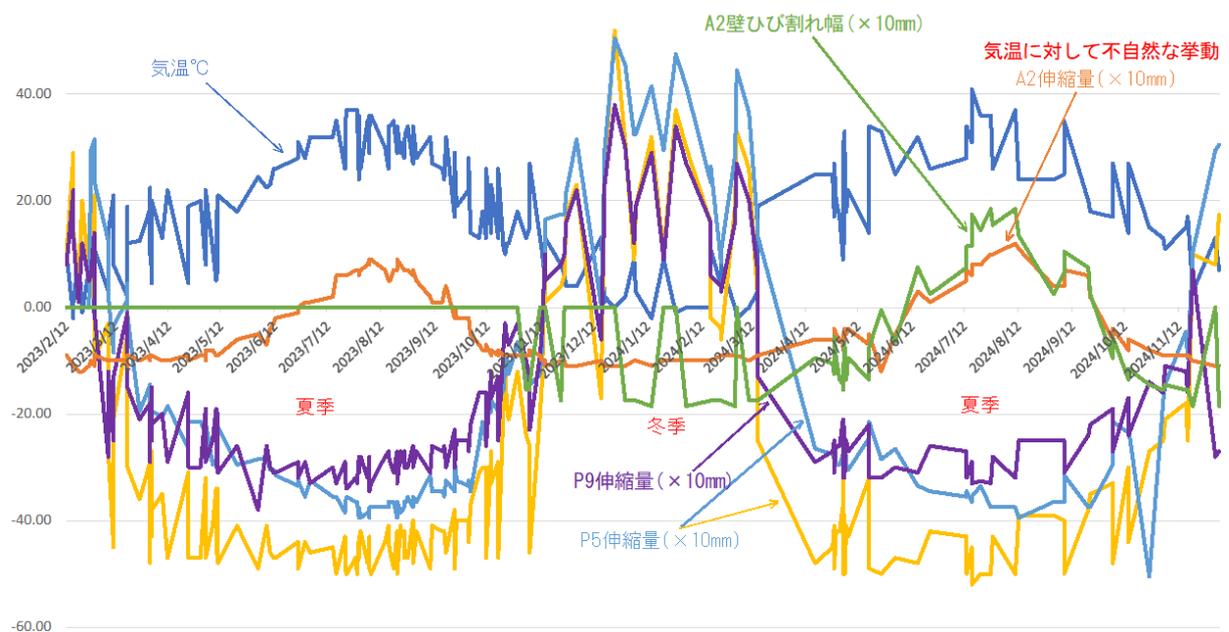


図-8 P5～A2 気温℃と伸縮量×10mm

・異常な伸縮挙動から発見された橋台の損傷

その検討途上で発見されたのが A1、P1 部と A2 部の伸縮が、気温昇降に対して逆であることです。P5 部および P9 部は桁の温度伸縮方向に整合して挙動していますが、A2 部は明らかに逆の動きを示しています。A1、P1、P9、A2 部のゲルバーの支承は厚さ 12mm のフレッシュパッドゴムと考えられ、せん断力が発生して伸縮が制限される構造ですが、明らかに異常なので橋台付近をよく観察してみると、橋台に躯体を貫通する開口ひび割れが発見されました。

以前は躯体壁面がオニカズラで覆われ、ひび割れの存在が確認できなかったのですが、昨年の鉄道公園施設点検時（邑南町が実施）に伐採撤去されて A1A2 橋台ともに貫通ひび割れを確認しました。

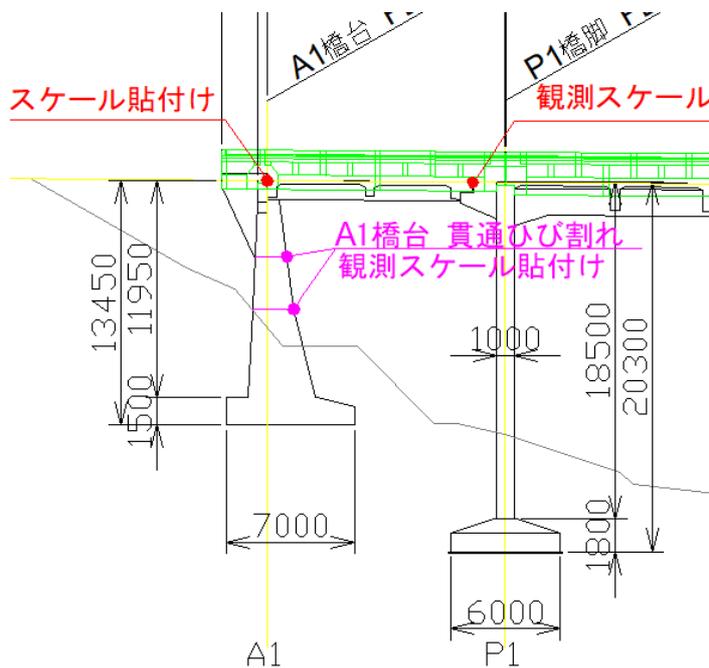


写真-4.5 橋台部貫通ひび割れの状況

図-9 橋台貫通ひび割れ位置

昨年の観測からこの A1、A2 橋台躯体貫通ひび割れ幅の伸縮も追加観測していますが、温度伸縮に整合した開閉をしています。また、A1 橋台背面の軌道は永年に渡る沈下保線の跡が見られ、貫通ひび割れ開閉を伴う橋台躯体の動きが関係していることも考えられます。

もともと特殊ジョイント（かみ合わせ構造）の P5 橋脚の挙動に異常がないかと始めた観測ですが、意外な損傷を発見しています。

・今後の観測検討

単に温度伸縮を観測しただけで橋の異常（損傷）が判明したことは偶然ですが、他の一般構造物でも挙動の計測監視が必要であると感じました。

また、当初より考えているラーメン構造が持つ耐震耐力についても動的挙動を含めて観測検討したいのですが、未だに進んでいません。

今後これらの観測検討から新たな問題の発見や、維持管理手法、観測解析手法の開発もできるのではないかと考えています。

5. おわりに

本年12月に観光庁が行う「地域・日本の新たなレガシー形成事業」の一環で、事業化に向けたモニターツアー（仮称：エンジニアーツーリズム）が実施され、専門家を対象としたツアーで鉄道遺構研究分科会の活動として旧三江線の構造物案内を行いました。

普段の実務を離れて、地域のレガシー活動をされている方々やツアーに参加された研究者の方々と交流することで、新たな感動と覚醒を得ることができました。

芸術の世界では「新たに考案された表現や技法だけが新しいわけではなく、古典とされるものに多くの新たな感動と新鮮さを感じる」と言われます。

我々は実学エンジニアであり感動に感化される者ではないのですが、レガシーとされ良く考えられた計画や構造には、感服させられます。

これまでの概念を覆す試みが先人たちによって行われており、これを今回紹介したのですが、新しいものは単に目線を変えて注目を集めるだけでなく、良く考え抜いて工夫を凝らして後世に引き継がれる必要があります。また良く考え抜かれたものは古いとされるものでも新鮮さを感じます。

・鉄筋コンクリートラーメン高架橋の実務的図書

JR九州 篠栗線の建設と同時期に、前述の「鉄筋コンクリート高架橋の設計 池田康平、手塚民之佑 鉄道土木シリーズ6 日本鉄道協会監修 山海堂」が発刊されています。

鉄建公団の技術者により取りまとめられたもので、当時の試みを基に、図表などを用いて簡単に構造計画やチェックできるように具体的方法が解説されています。

その中でもこの「2つのラーメン端柱を互いに食い込ませた新しい方式の特殊ジョイント」が紹介され、バランスの取れた等間隔でスレンダーなラーメン橋の景観を考える技術者の感性が伺えます。

また、大地震を想定した耐震設計が一般的に普及していなかった当時において、構造細目による配慮事項が随所に紹介されており「ラーメン構造の持つ耐震性能が十分発揮できるようにしなければならない」と提言されています。なるほど解析技術や解析機器が未発達な時代においても多方面に配慮されて丁寧に設計施工された構造物は、現時点に通用する耐力を有しているものです。

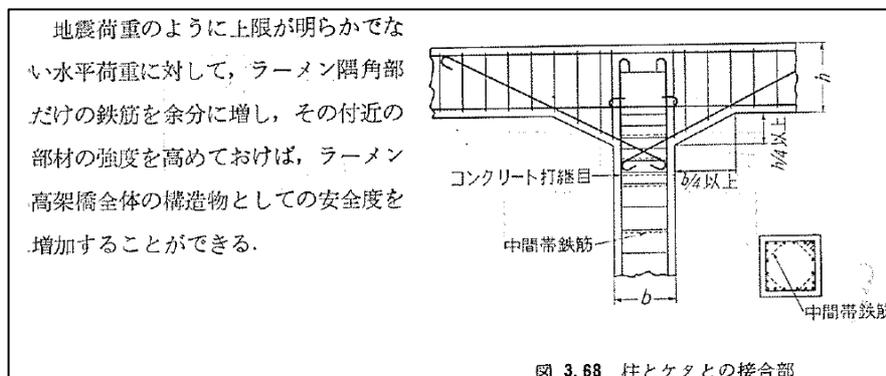


図-10 実務図書の提言

以上