

(91) PC斜張橋における機械化・情報化施工

長野県飯田建設事務所

林 清忠

〃

下澤 治彦

住友建設(株)名古屋支店

正会員 石黒 政美

〃

〇正会員 大磯 章

1. はじめに

南宮大橋は、長野県の南端に位置し、主要地方道飯田富山佐久間線の天竜川に架かり、泰阜村と阿南町を結ぶ2径間連続PC斜張橋である。

架橋付近には、県立阿南病院、阿南高校、阿南警察等公共機関が集中しており、付近住民にとって生命線であると同時に、地震対策緊急輸送路に指定されている。しかしながら昭和58年には現橋が台風の影響で1.5m冠水したため、架け替えが必要となった。こうした経緯をふまえて、昭和58年より調査が始まり平成2年より下部工に着手し、平成7年3月に完成した。

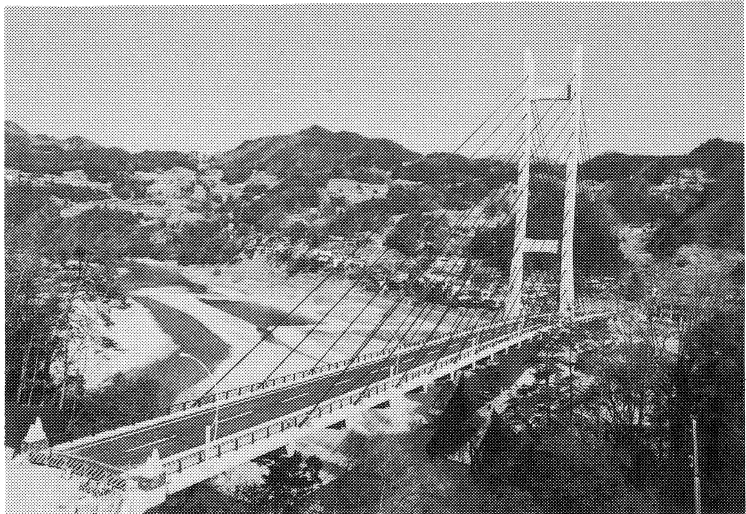


写真-1 完成写真

本稿は、日本でも有数の規模を誇るPC斜張橋の各施工段階での効率性・安全性・品質管理を確保するための機械化施工・情報化施工を展開したのでここに報告する。

2. 工事概要

本橋の概要を以下に、一般図を図-1に示す。

- 発注者 : 長野県
- 工事名 : 平成3年度 国補緊急地方道整備工事
- 工事場所 : 長野県下伊那郡泰阜村～阿南町
- 構造形式 : 2径間連続PC斜張橋
- 橋格 : 1等橋(TL-20)
- 橋長 : 282.0m
- 支間 : 2@140.35m
- 幅員 : 10.75m(歩道2.5m+車道7.25m)
- 平面曲線 : 直線
- 縦断勾配 : 5.6%～1.5%
- 主桁断面 : 1室箱桁(桁高3.0～2.2m)
- 主塔 : H型RC構造(主塔高さ=75.0m)
- 斜材 : 2面吊りハープ形式 12段 48ケーブル

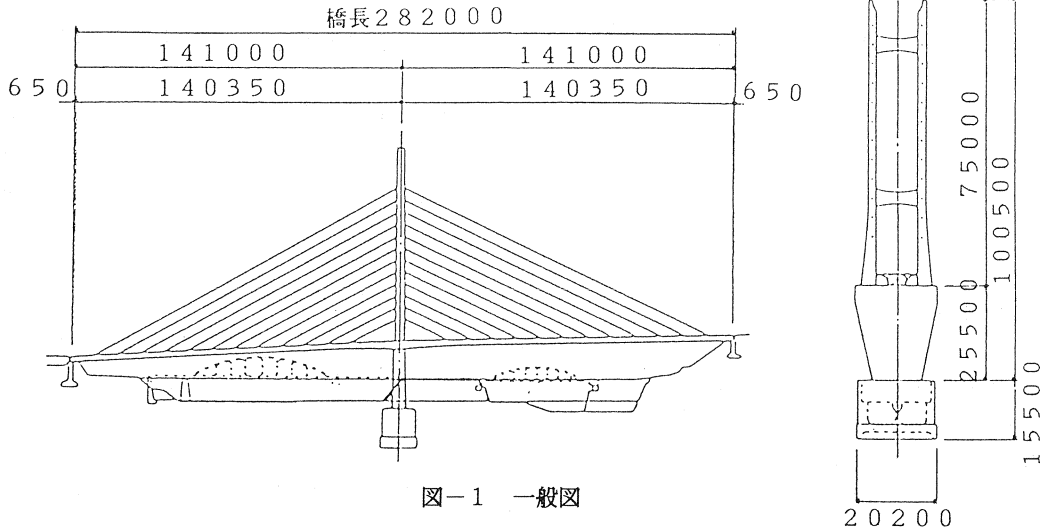


図-1 一般図

3. 主塔の機械化施工

主塔は、75mあり架設地点が天竜川の中央に位置し風の影響を受ける。また、生活道路が主塔の真下にあることなどから、高所における安全性・作業効率を考慮して、移動足場工法（ジャンピングステージ工法）を採用した。

施工は1～4ロッド（15m）までを総枠組足場を使用し、5～16ロッド（60m）をジャンピングステージ工法で機械化施工を行なった。

ジャンピングステージは型枠・鉄筋・コンクリート等の主塔施工を受け持つ「ジャンプA」と、斜材架設、緊張、グラウト等の斜材関連作業を受け持つ「ジャンプB」の2種類を使用した。

「ジャンプA」の構造は、左右の足場フレーム上にスライド機構がついた梁を4本渡し、全面に足場板を敷き詰め、その上に1ロッド5mの高さを施工する枠組足場を組み立てた構造で、主塔の形状変化に対応できるようになっている。枠組みの最上段には、鋼製足場板を敷き詰めて大判型枠の加工、鉄筋等の資材置場として使用できる。

横梁施工時には、主塔間の作業台部分を取り外すことができ、横梁の側足場として使用できる構造となっている。

このようにジャンピングステージと枠組みステージを組み合わせた施工例は初めてである。

「ジャンプB」の構造は、足場フレームにスライド式作業台が取り付け、斜材をかわしながら上昇・下降が自由に行える。作業台は、斜材緊張ジャッキを載せたまま移動でき、吊り装置がセットされているのでジャッキの装着・脱着が容易に行なえる構造となっている。

「ジャンプA・B」の上昇、下降システム構造は、作業台をセットした足場フレームと、装置の移動時のガイド兼アンカーとなるレールの2系統に大別され、油圧ジャッキ装置により移動する。

移動時間は「ジャンプA」で90分（5m）、「ジャンプB」で60分（5m）を要した。

ジャンプへの昇降は、ロングスパンエレベーター（1.2t）を使用した。

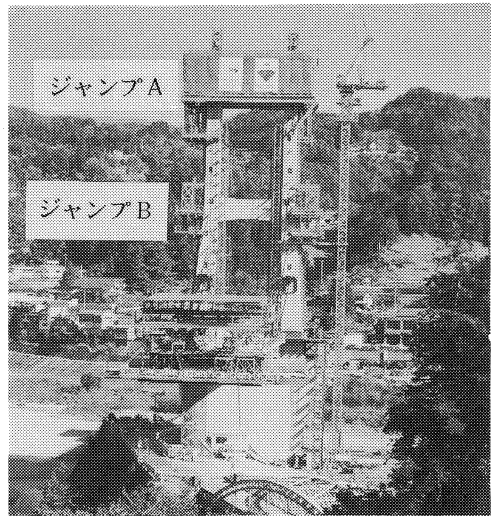


写真-2 主塔ジャンピングステージ

4. 施工管理の情報化施工

斜張橋は、主桁が斜材張力により弾性支持された構造物で、主桁の形状・断面力が斜材張力に密接に関連している。さらに施工中は、支間に比べて桁高が低い片持ち梁を斜材で吊った構造系であり、日常の温度変化により橋体の応力や変位は大きく変動する。本橋のように長大斜張橋において最終的な出来形と品質を確保するためには、施工中の斜材張力と形状を許容される範囲内で管理していくことが施工管理上重要なポイントとなる。つまり、施工中の張力(斜材張力)と形状(主桁・主塔の変形)を常に把握し、設計値との差異を分析し、次工程へむけて適切な対応を行なうといった施工管理システムが必要となる。

・施工管理システムは図-2により構成される。

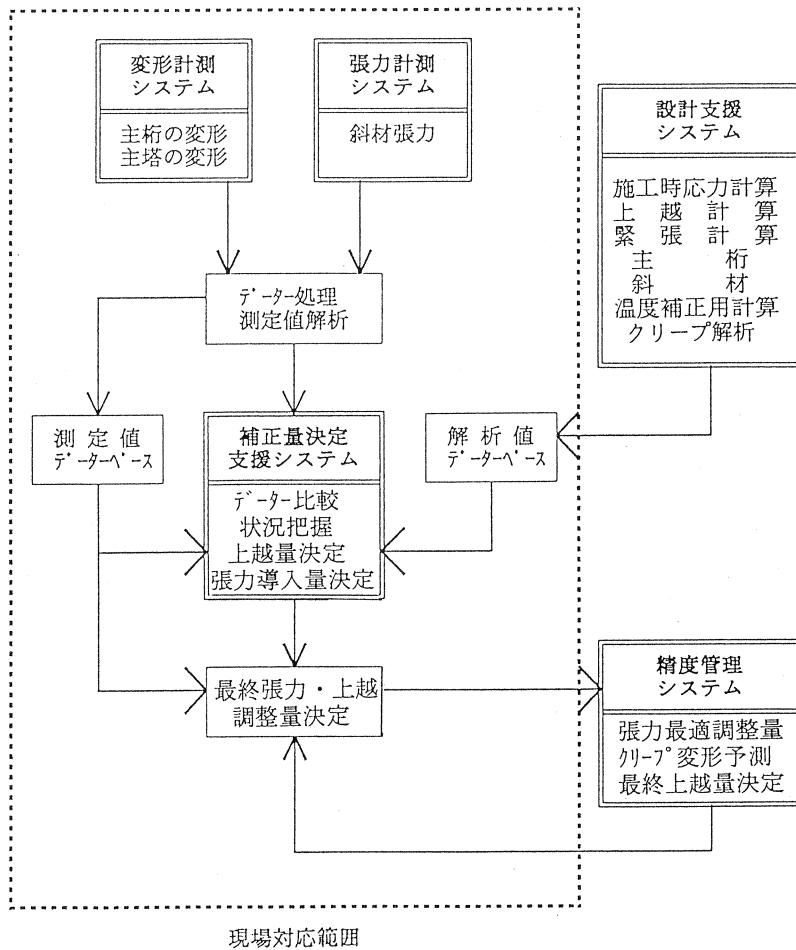


図-2 施工管理システム

南宮大橋の場合、施工管理システムにおいて、斜材張力や主桁の鉛直変位、主塔の水平変位など膨大な量の情報を各施工段階ごとに常に把握し、次の施工ステップに反映させる必要があった。

また、構造解析やデータの整理・分析が複雑で測定頻度も多くなることなどから、計測機器を組み合わせせた情報化施工を行なった。

次に、張力計測システム、変形計測システム及び温度計測(補正計算用)で行なった各情報化施工の項目を表-1に示す。

表-1 情報化施工の項目

特に本橋では、自動変形計測システムを導入し、主桁・主塔の挙動を計測した。

従来方法は、レーザー光線と光センサーを組み合わせた計測である。この方法は、電子レベルから、ある基準面内（2次元）で回転するレーザー光を発生し、それを各電子スタッフのセンサーが受光しポイント高さを自動的に測量しパソコンへ通信する計測システムであるが、勾配変化・タワミの大きい橋梁では使用機器が多く必要となる。

自動変形計測システムは、距離・水平角・鉛直角（3次元）を同時に測定するトータルステーションに、測点を連続追尾して自動視準し、パソコンに座標を通信するものであり、1台で主塔・主桁の変位を連続して計測できるシステムである。

項目	部材	測定内容	測定方法
張力計測システム	斜材	斜材に所定の張力が導入されているか、施工中の張力に異常がないか確認する。	・導入張力を圧力計により管理する ・張力の経時変化をロードセルにより測定する。 ・張力を強制振動法により測定する。
		形状管理を行う。	・主桁のたわみを変形計測システムにより測定する。
変形計測システム	主桁	形状管理の補正と主塔の安全性の確認	・主塔のたおれを変形計測システムにより測定する。
	主塔	形状管理、橋体応力度及び張力の補正	・外気温度を熱電対により測定する。
温度計測	外気温	形状管理、橋体応力度及び張力の補正	・外気温度を熱電対により測定する。
	主桁	形状管理、橋体応力度及び張力の補正	・主桁温度、上下床版温度差を熱電対により測定する。
	主塔	形状管理、橋体応力度及び張力の補正	・主塔温度、温度差を熱電対により測定する。
	斜材	形状管理、橋体応力度及び張力の補正	・斜材温度を熱電対により測定する。

1台で主塔・主桁の変位を連続して計測できるシステムである。

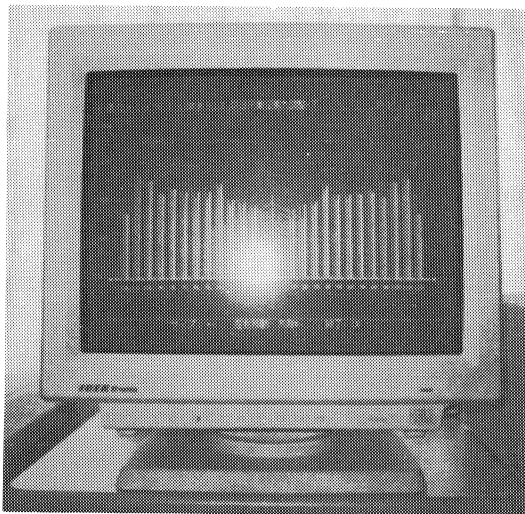


写真-3 張力計測システム

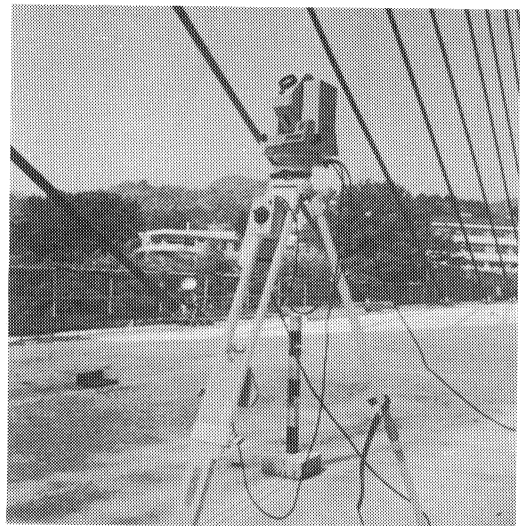


写真-4 トータルステーション

5. 斜材グラウトの自動化

現場制作ケーブルでは、ケーブルを構成するPC鋼より線とそれを保護するPE保護管との間に、鋼線防錆のためにグラウト（セメントミルク）を注入する。

グラウトは、保護管内を完全に充填できるように最下端から注入する。そのため、保護管にポリエチレン管を用いた斜材では、グラウト機器の能力・保護管の強度などから注入高さを抑える必要があり、橋面上で

移動式クレーンからゴンドラを吊り下げて分割注入を行なった例が多い。

本橋では、グラウトの注入は3回に分けて行なった。順序は以下のとおりである。

- ・ 1次グラウト…………… 主桁側の斜材定着体から橋面上のさや管まで (H=1.5m)
- ・ 2次グラウト…………… 橋面上の注入口より主塔側定着体前面まで (H=7~7.1m)
- ・ 3次グラウト…………… 主塔側定着体前面から背面まで (H=2m)

従って、本橋では最大注入高さ7.1m、注入長13.9mあり施工管理・安全管理面で問題が多いので保護管の肉厚(設計7mm→15mm)を増し、オートバッチミキシングシステムプラントを開発し、橋面上から1回で主塔側定着体までグラウト注入をした。

※「オートバッチミキシングプラント」

斜材グラウトは、短時間にしかも大容量(グラウト総量52m³、セメント総量68tf)のグラウトを練り混ぜ注入する必要がある。

開発したプラントは、材料ホッパー(セメント)、ミキサー、アジテーター、注入ポンプをシステム化してトラックに載せ移動可能とし、材料の計量(セメント、水)・投入・練り混ぜ・注入を自動化したプラントである。

プラントを使用したグラウト施工フローチャートを図-3に示す。

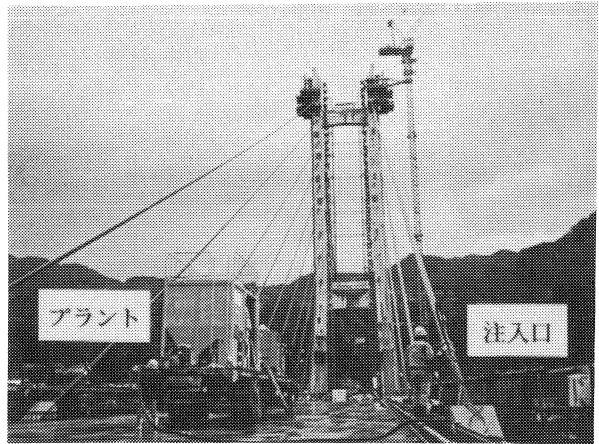


写真-5 注入状況

※プラント選定にあたっての留意点

- 1) 注入区間のグラウト量が、グラウトの可使時間90分以内に練り混ぜができること。
- 2) 1バッチ練り混ぜに必要な量は150~200ℓなので、材料分離によるブリージングやウォーターレンズが発生しないように回転数が1000rpm/min以上有するものが必要である。
- 3) グラウトポンプの能力は最長斜材を可使時間内に注入する吐出圧力・吐出量が必要である。

(吐出圧力)

$$\begin{aligned}
 P &= r \cdot H + \text{損失分(ノズルホースのロス)} \\
 &= 1.88 \times 7.1 + 10 \\
 &= 23 \text{ kgf/cm}^2 \text{以上}
 \end{aligned}$$

r: グラウト比重 H: 高さ

(吐出量)

$$\begin{aligned}
 q &= \text{最大斜材グラウト量} \div \text{可使時間} \\
 &= 1567 \div 90 \\
 &= 18 \text{ ℓ/min以上}
 \end{aligned}$$

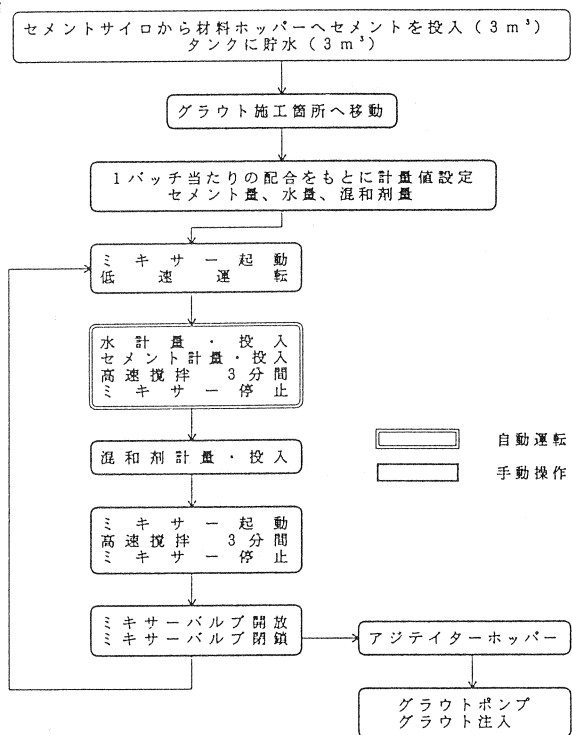


図-3 施工フローチャート図

2次グラウトを行なった最終圧力結果を10段・12段ケーブルにて表-2に報告する。

表-2 S10・S12圧力測定結果

※測定結果について

- 1) 平均時間については、グラウトの可使時間90分に対して余裕をもっている。
- 2) 吐出量については、計算上必要であった18ℓ/分の20%増しの能力を有した。
- 3) 圧力損失分については、注入ホース、ノズル等のロスを10kgf/cm²と仮定していたが、ノズルの先端を絞り込まなかった(ホース径と同じφ40mm)ので1kgf/cm²とロスを少なくできた。

	単位	S10L	S10R	S12L	S12R	平均
グラウト量	L	1,173.6	1,215.0	1,569.3	1,449.1	——
平均時間	分	50.0	53.5	75.0	67.0	——
吐出能力	L/分	23.5	22.7	20.9	21.6	22.2
注入高さ	m	59.3	51.9	70.5	61.6	——
注入区間	m	116.1	112.6	139.1	134.9	——
ポンプ圧力	kgf/cm ²	14.0	12.5	14.8	12.8	——
注入口圧力	〃	13.0	11.0	14.0	12.5	——
水頭差圧	〃	11.1	9.8	13.3	11.6	——
管内損失	kgf/cm ² /m	0.016	0.011	0.005	0.007	0.010
ホース損失	kgf/cm ²	1.0	1.5	0.8	0.3	0.9

ただし、損失分に関して、(PE)管内損失分は、注入区間(m)で除した値。
ホース損失分は、接続ホース長20(m)である。

6. まとめ

本論文は、PC斜張橋の機械化施工・情報化施工を展開したことにより、次のことが実証でき、最終的には省力化・工期の短縮につながったものと確信する。

- 1) ジャンピングステージ工法の採用により、高所作業の安全性・効率性が実証できた。
- 2) 各種の計測機器を組み合わせることにより高度な情報化施工ができ、施工時の橋の挙動を瞬時に把握することができた。
- 3) 斜材グラウトをシステム化することで、高所作業の危険を減らすことができた。また、PE保護管を使用した注入高さ71mは、PC斜張橋として初めての実績となった。

PC橋の長大化につれて構造的合理性・経済性・外観上の美しさが注目を集め、長大PC斜張橋の実績が増えるにつれ、施工は機械化・情報化の方向へ進んで行くものと思われる。今回の工事でも得られた実績が、PC斜張橋の発展に貢献できれば幸いである。

最後に、南宮大橋の計画、設計及び施工にあたり、御助言・御指導いただいた関係各位に深く感謝の意を表する次第である。