

斜材ケーブルの構造および架設技術の紹介

喜多野 由之*1・大嶽 昌之*2・猪俣 明*3・白根 信隆*4

昭和38年にわが国で最初のPC斜張橋が誕生してから47年の間に、PC斜張橋の施工実績は120橋を超えている。また、平成4年に世界で初めてのエクストラードズド橋、小田原ブルーウェイブリッジが建設されてから今日まで、エクストラードズド橋の施工実績は50橋に達している。この間、斜材ケーブルの材料・架設技術は日々進歩・改善され、さまざまな取組みがなされてきた。本報文では、PC斜張橋およびエクストラードズド橋の斜材ケーブルの構造、架設技術などについて最近の情報を紹介する。

キーワード：斜張橋、エクストラードズド橋、斜材ケーブル、架設技術

1. はじめに

PC斜張橋およびエクストラードズド橋に用いられる斜材ケーブルは、近年、施工性や耐久性に優れたシステムが開発され、また、緊張管理方法も含めたさまざまな架設技術も開発されている。

斜材ケーブルは製造方法により、大きく2つに分類される。斜材を構成する各材料が一体化され工場で組み立てられるケーブル（以下、プレファブ型ケーブル）と、斜材を構成する各材料が個別に架設現場に搬入され現場で組み立てられるケーブル（以下、現場組立て型ケーブル）であり、両者は施工方法、構造などが大きく異なる。本稿では、それぞれについて構造概要・架設技術などを紹介する。

2. プレファブ型ケーブル

2.1 プレファブ型ケーブルの概要

国内の斜張橋の斜材ケーブルは、近年現場組立て型ケーブルの施工実績が増加しているものの、プレファブ型ケーブルの施工実績は多い。また、エクストラードズド橋では近年、グラウトを不要としたプレファブ型ケーブルの採用事例が増加している。

プレファブ型ケーブルは、ストランド、定着具、保護管

などが一体化され、工場で組み立てられた状態で架設現場に搬入される。防錆処理も工場で施されるため、現場で防錆処理を行う必要はない。ケーブルは、鋼製のドラムに巻き取られ大型車両で現場に運搬されるのが一般的である。

斜材の架設には、タワークレーンなどの大型重機が必要となる。また、張力の導入は一般的にケーブルを一括で緊張できるセンターホールジャッキを用いて実施される。

2.2 プレファブ型ケーブルの定着部構造

プレファブ型ケーブルの定着方法としては、シム定着方式とナット定着方式がある。

シム定着方式は、斜材ケーブル端部の鋼製部材とアンカ

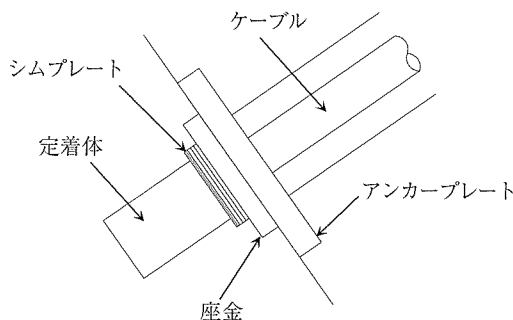


図-1 シム定着方式の定着部構造



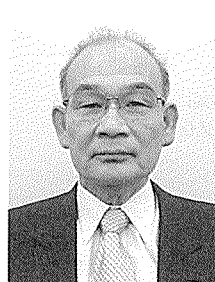
*1 Yoshiyuki KITANO

(株)エスイー 建設エンジニアリング本部 エンジニアリング部



*2 Masayuki OHTAKE

(株)エスイー 建設エンジニアリング本部 斜材部



*3 Akira INOMATA

(株)エスイー 建設エンジニアリング本部



*4 Nobutaka SHIRANE

(株)エスイー 建設エンジニアリング本部 斜材部

ープレートの間にシムプレートを挿入し、定着する方式である。図 - 1 にシム定着方式の定着部構造を示す。シム定着方式では張力調整を行う場合、シムプレートの板厚・枚数を変更することにより、張力の増減が可能となる。

一方、ナット定着方式では、斜材ケーブル端部の鋼製部材にねじ加工が施され、このねじにナットを締め付けることにより、定着する方式である。ナット定着方式の定着部構造を図 - 2 に示す。ナット定着方式では、張力調整を行う場合もナットを回して定着することにより張力の増減が可能である。

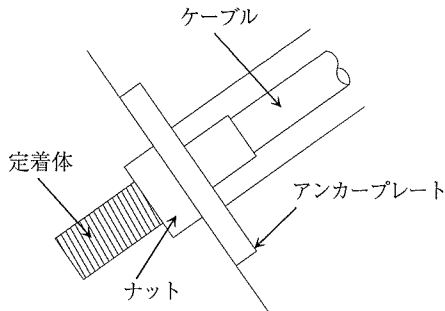


図 - 2 ナット定着方式の定着部構造

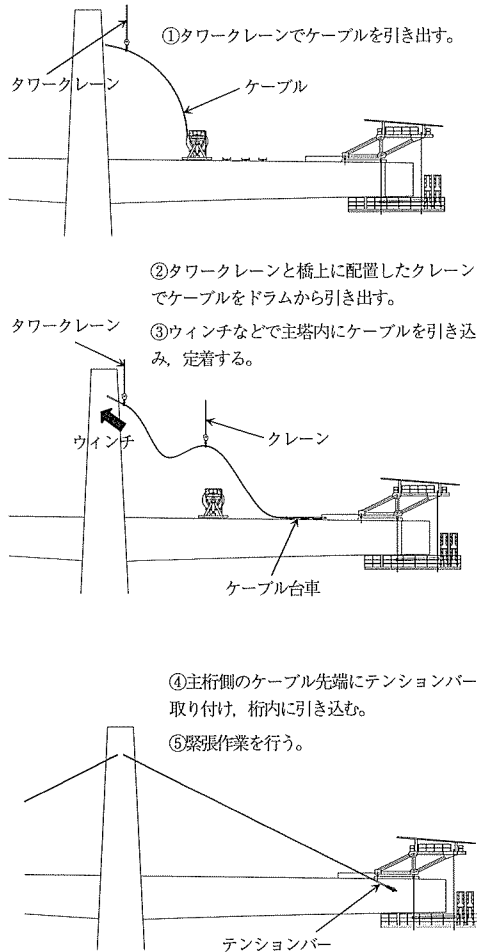


図 - 3 プレファブ型ケーブルの架設方法の一例

2.3 プレファブ型ケーブルの架設方法

プレファブ型ケーブルの架設は、一般的に複数のクレーンやウインチを用いて行う。プレファブ型ケーブルの架設方法の一例を図 - 3 に示す。

2.4 新しい定着構造の紹介

斜張橋の場合、主塔定着部構造は主に分離固定方式となるが、エクストラード橋では、分離固定方式のほかに貫通固定方式が採用されることもある。分離固定方式（例としてセパレート構造）と貫通固定方式（サドル構造）の構造概要図を、図 - 4 に示す。

貫通固定方式の場合、これまでは現場組立て型ケーブルが使用されることが多かった。しかし、近年ではプレファブ型ケーブルでもサドル構造に適用できるよう、新たな定着システムが開発されている。ここでは、二分割の鋼製スリーブ（以下、エポキシマンション）を用いた定着システムについて概説する。

この定着システムに用いられるプレファブ型ケーブルは、全長に渡りポリエチレンで被覆されているが、ケーブルの中間部分（エポキシマンション部）のみポリエチレン被覆が工場で剥ぎ取られている（図 - 5）。

現場では、ポリエチレン被覆が剥ぎ取られた部分にエポキシマンションを取り付け、エポキシマンション内にエポキシ樹脂を注入してケーブルとエポキシマンションを一体化させる。そして、ケーブル端部と同様に、ナットを用い

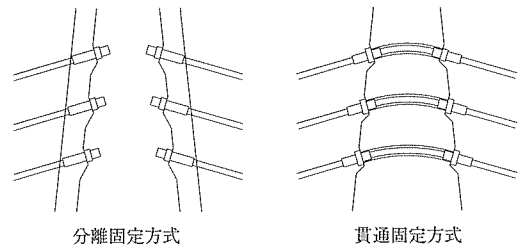


図 - 4 分離固定方式と貫通固定方式の構造概要図

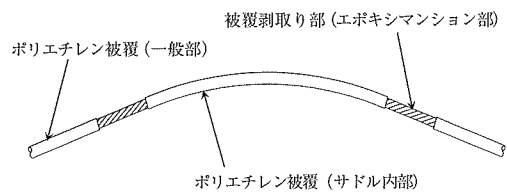


図 - 5 ケーブル構造

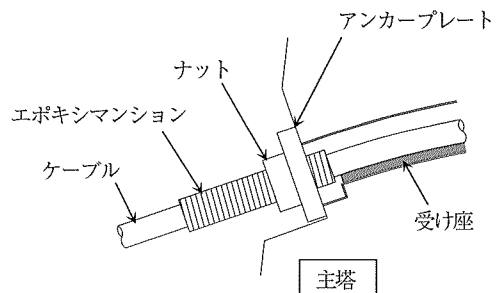


図 - 6 エポキシマンションのサドル部構造

て定着する。エポキシマニションを用いたサドル部の構造を図-6に示す。なお、サドル内のグラウトは不要であり、現場施工の省力化が可能である。

エポキシマニションを用いた定着システムでは、ケーブルに生じる応力変動はエポキシマニションで抵抗し、サドル内部は応力変動の影響を受けない。この構造が成立するためには、自由長部よりもサドル内部のほうがケーブル張力が高い状態となるように、張力管理を行う。サドル部の張力概念を図-7に示す。なお、エポキシマニションを用いたエクストラードズド橋の施工実績の一例を表-1に示す。

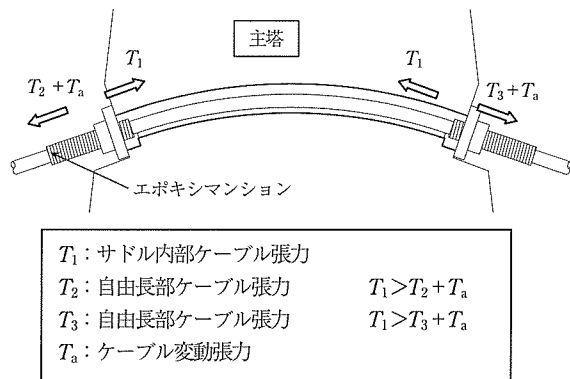


図-7 エポキシマニションのサドル部張力概念図

表-1 エポキシマニションを用いたエクストラードズド橋施工実績の一例

橋梁名	橋長(m)	最大支間長(m)	ケーブルタイプ
雪沢3号橋	177.1	71.0	500 t
夕原歩道橋	132.0	51.0	170 t
館腰高架橋	113.0	56.2	500 t
恵比須橋	70.0	34.5	170 t, 270 t
余部橋りょう	310.6	82.5	500 t
越谷レイクタウンF橋(仮称)	105.2	43.0	360 t

3. 現場組立て型ケーブル

3.1 現場組立て型ケーブルの概要

従来、斜張橋ではプレファブ型ケーブルが採用されることが多かったが、近年、現場組立て型ケーブルが採用される事例が増加している。

現場組立て型ケーブルは、斜材を構成する各材料が個別に架設現場に搬入され、ストランドを1本ずつ現場で組み立てる。ストランド本数は設計荷重にあわせ、1本単位での増減が可能である。

現場組立て型ケーブルの防錆には、セメント系グラウトや樹脂などにより保護管内部を充てんする方法が用いられている。しかし近年では、樹脂などで被覆されたストランドを用いて、グラウトを不要としたノングラウトタイプの採用事例が増加している。ノングラウトタイプのストランドおよび保護管の一例を図-8に示す。

このストランドの場合、亜鉛めっき・グリース・ポリエチレン被覆により三重防錆処理が施され、高い防錆性能を

有している。さらに、現場で架設されたストランドの束は、ポリエチレン製の保護管で保護される。

グラウトタイプ・ノングラウトタイプにかかわらず、一般的にストランドはドラムに巻かれ、汎用のトラックで現場に搬入される。

また、斜材の架設には大型の重機は不要である。緊張作業はストランド1本ずつ行うことが一般的であり、緊張ジャッキも小型である。一括で架設・緊張するプレファブ型ケーブルに比べても施工性は遜色ない。

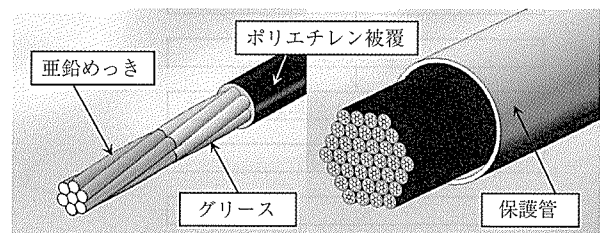


図-8 スtrandおよび保護管の一例

3.2 現場組立て型ケーブルの定着部構造

現場組立て型ケーブルでは、くさび(ウェッジ)により定着されることが一般的である。現場組立て型ケーブルの定着部構造の一例を図-9に示す。この構造では、ストランドは1本ごとにウェッジで定着されるが、定着体側面にねじ加工が施され、ストランド群はナットで定着されている。張力調整を実施する場合は、ストランド群を一括で緊張し、ナットを回して定着することにより導入張力の増減が可能である。

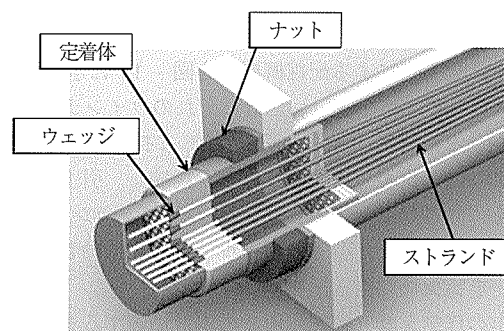


図-9 現場組立て型ケーブルの定着部構造の一例

3.3 現場組立て型ケーブルの架設方法

3.3.1 施工概要

現場組立て型ケーブルの代表的な架設手順を以下に示すとともに、代表的な架設フローを図-10に示す。

- ① 1本目のストランドを保護管内に挿入して、保護管と一緒に吊り上げる。
- ② 1本目のストランドを、ウェッジにより塔側・桁側の順に定着し、緊張する。
- ③ 保護管をガイドにして、2本目のストランドを配線し、塔側・桁側の順にウェッジで定着し、緊張する。
- ④ 所定の本数に達するまでストランドの配線を繰り返す。

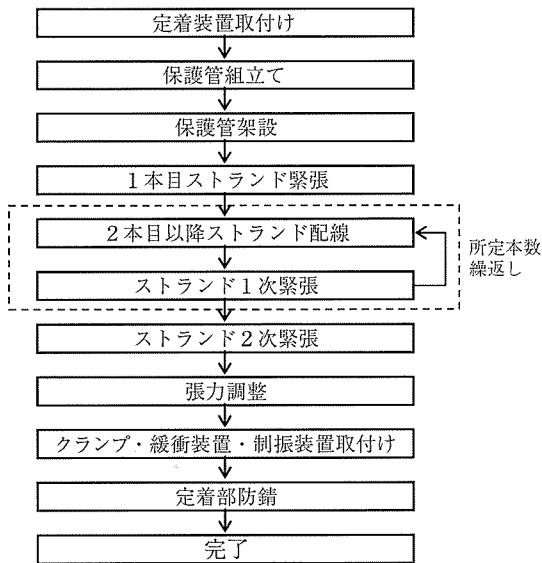


図-10 現場組立て型ケーブルの架設フロー

す。

- ⑤ 必要に応じて張力調整を行う。
- ⑥ クランプ・緩衝装置・制振装置（必要に応じて）を取り付ける。
- ⑦ 定着部の防錆処理を行う。

3.3.2 ストランドの配線方法

ストランドの代表的な配線方法には、ウインチを用いる方法（以下、ウインチ方式）とプッシングマシンを用いる方法（以下、プッシングマシン方式）の2種類があり、施工条件にあわせて配線方法を決定する。

(1) ウインチ方式

ウインチ方式による配線概要図を図-11に示す。

2台のウインチを使用し、それぞれのウインチワイヤーをスレッダーと呼ぶ治具（図-12）に接続する。このスレッダーに、配線するストランドを接続し、引上げ用ウインチを作動させて主塔側へ引き上げる。ストランドの定着・緊張作業が完了後、引下げ用のウインチを作動させ、スレッダーを橋面側に引き戻す。

以上の作業を繰り返し、所定の本数に達するまで、スト

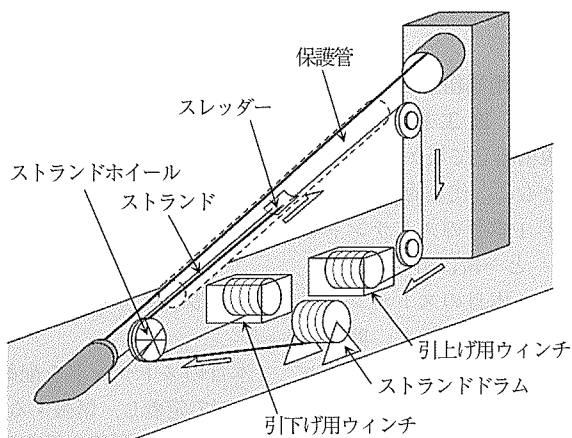


図-11 ウインチ方式による配線概要図

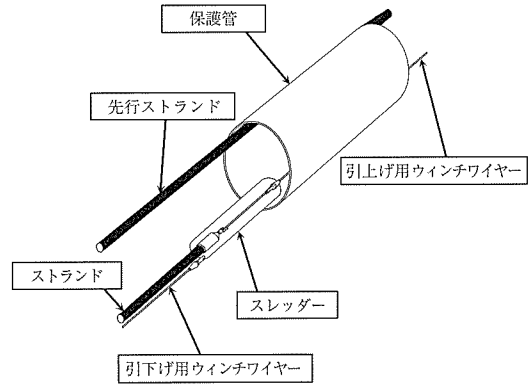


図-12 ウインチワイヤーおよびスレッダー概要図

ランドの配線を行う。

(2) プッシングマシン方式

プッシングマシン方式による配線概要図を図-13に示す。ストランドドラムからストランドを引き出し、プッシングマシンによりストランドを主塔に押し上げる。このとき、主塔側面にガイドパイプを配置し、その中にストランドを通していく。主塔上部に押し上げられたストランドは、保護管の中を通り橋面上に到達する。

以上の作業を繰り返し、所定の本数に達するまでストランドの配線を行う。

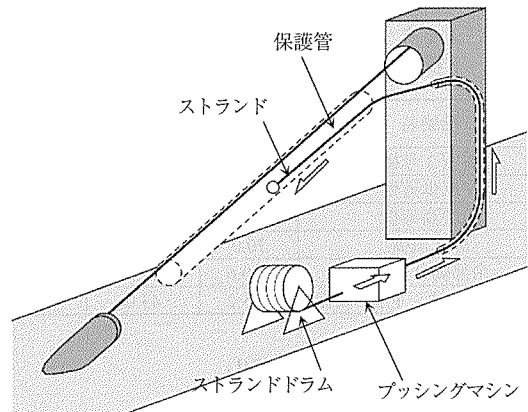


図-13 プッシングマシン方式による配線概要図

3.3.3 導入張力の検討

現場組立て型ケーブルは、プレファブ型ケーブルと異なりストランドを1本ずつ配線・緊張するため、緊張したストランド本数が増えるにしたがって合計張力が増加し、ケーブルの定着点間距離が縮まる。そのため、先行して緊張したストランドの張力は減少していく。この弾性変形の影響を考慮して、導入張力の検討を行う。これは、PC構造におけるプレストレスの損失（コンクリートの弾性変形）と同様の理論である。

3.3.4 緊張管理方法

現場組立て型ケーブルの緊張管理方法には、主に以下に示す4種類がある。

- ① マーキング法
- ② 実張力測定法
- ③ 張力計算法
- ④ AQ 緊張管理法

各緊張管理方法について、以下に詳述する。

(1) マーキング法

製作工場であらかじめストランドにマーキングを行い、現場では緊張時にマーキング位置をすべてのストランドで揃えることにより、張力を一定にする緊張管理方法である。

なお、工場では同一温度条件ですべてのストランドにマーキングを施すため、ストランド架設時に温度が変化した場合でも、マーキング位置を揃えることで、すべてのストランドの張力が一定となる。マーキング法は、ストランドの製作に時間を要するが、現場での緊張管理が容易であり、施工の省力化が可能である。マーキング法の緊張概要図を図 - 14 に、緊張作業状況を写真 - 1 に示す。

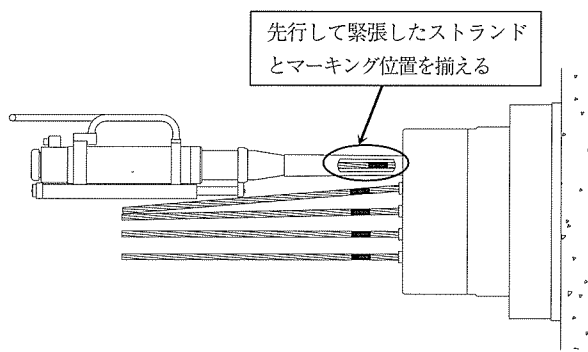


図 - 14 マーキング法の緊張概要図

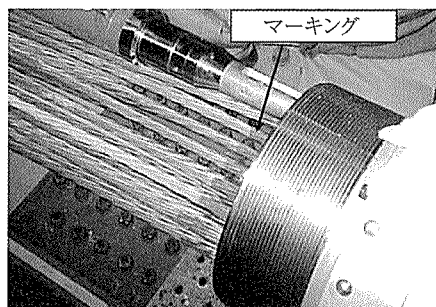


写真 - 1 マーキング法による緊張作業状況

(2) 実張力測定法

1 本目のストランドに張力測定用のロードセルを取り付け、2 本目以降のストランドは、1 本目のストランドの張力表示値にあわせるように張力を導入する緊張管理方法である。

なお、実張力測定法では、ロードセルを取り付けたストランドと架設されるストランドに温度差がある場合や、ロードセルを取り付けたストランドが温度の影響を受けると張力に誤差が生じる（ストランド緊張時には、張力表示計上では張力の誤差が生じていないように表示される。しかし、すべてのストランドの緊張作業が完了したのち、各ス

トランドが同一温度になると、各ストランド間で張力差が発生する)。この場合、ストランドの張力補正を実施する必要がある。ストランドの架設作業は作業性の良い昼間に行い、温度が安定する夜間もしくは早朝に、張力補正作業を実施することが一般的である。

実張力測定法では、ケーブル架設後もロードセルを残置することにより、張力のモニタリングが可能である。

ロードセルの配置図を図 - 15 に、ロードセルの取付け状況・張力表示計を写真 - 2 に示す。

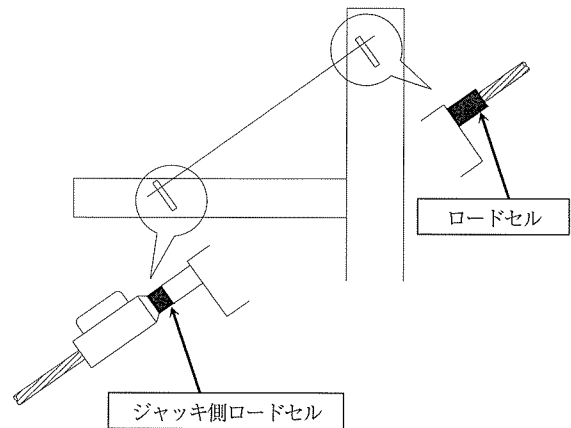


図 - 15 ロードセル配置図

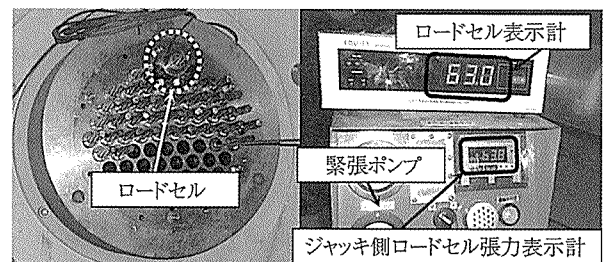


写真 - 2 ロードセル取付け状況・張力表示計

(3) 張力計算法

すべてのストランドについて、導入張力をあらかじめ算出しておき、算出された張力を導入する緊張管理方法である。なお、張力計算法では、計算で仮定したストランド温度と架設時のストランド温度に差があると、張力に誤差が生じる（ストランド緊張時には、張力表示計を確認しながら計算値どおりの張力を導入することになり、誤差が生じていないように表示される。しかし、すべてのストランドの緊張作業が完了したのち、各ストランドが計算で仮定した温度になると、計算値に対して張力差が発生する)。この場合、ストランドの張力補正を実施する必要がある。ストランドの架設作業は作業性の良い昼間に行い、温度が安定する夜間もしくは早朝に、張力補正作業を実施することが一般的である。

(4) AQ 緊張管理法

AQ 緊張管理法は、作業の省力化と管理精度の向上を目的として、新たに開発された緊張管理方法である。

ストランドの定着点間距離を光波により測定し、測定距離にしたがって導入張力を算出し、ストランドを緊張する。また、ストランドの温度変化も考慮することが可能である。AQ緊張管理法での測定項目・測定機器を表-2に、使用する機材などを図-16に示す。

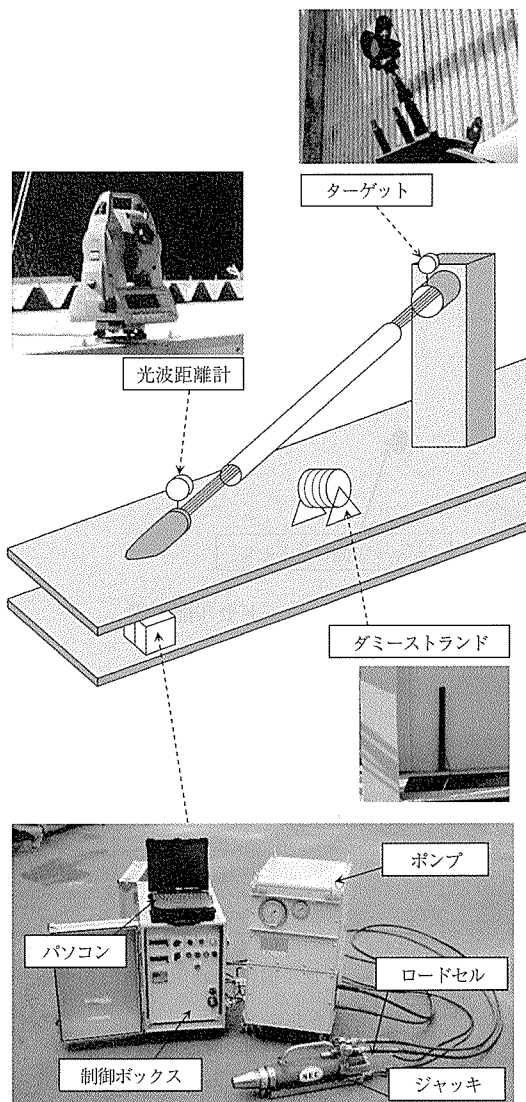


図 - 16 AQ 緊張管理法の機材配置

表 - 2 AQ 緊張管理法による測定項目・測定機器

測定項目	測定機器	測定方法
定着点間距離	光波距離計	主塔側にターゲット、主桁側に光波距離計を設置し、二点間の距離を測定する。
導入張力	ロードセル	緊張ジャッキに内蔵されたロードセルにより、ストランドの導入張力を測定する。
ストランド温度	熱電対	ダミーストランドに熱電対を貼り付け、温度を測定する。

AQ緊張管理法では、前述の定着点間距離の測定から緊張作業まで、パソコンを使用して自動で行うことにより、施工の省力化を実現した。また、ストランドの定着点間距離を測定し、その定着点間距離をもとに導入張力の算出を行うため、橋面上に配置した重機などの位置を変更した場合や、主桁・主塔・斜材ケーブルの温度変化に伴う定着点間距離の増減は、ストランド張力のばらつきの原因にはならない。

3.4 施工実績

現場組立て型ケーブルを採用したPC斜張橋(複合含む)、エクストラードード橋の主な施工実績を表-3に示す。

表 - 3 現場組立て型ケーブルの施工実績の一例

橋梁名	橋種	橋長 (m)	最大支間長 (m)	ケーブルタイプ
サンマリブリッジ	複合	200.0	145.0	490~1 250 t
赤とんぼ橋※	PC	294.3	122.3	960~1 100 t
矢部川橋	PC	517.0	261.0	1 400~2 200 t
夢翔大橋※	PC	290.0	127.0	700 t
生名橋	複合	515.0	315.0	490~960 t
栄川大橋(仮称)	複合	290.0	190.0	670~2 000 t
新曾木大橋(仮称)	PC	204.0	107.0	600~830 t

※はエクストラードード橋の実績を示す。

4. おわりに

斜材ケーブルの施工技術は日々進歩・改善され、さまざまな取組みがなされてきた。また、斜材ケーブルや斜材定着部構造は、斜張橋およびエクストラードード橋を構成する重要部材であり、耐久性・安全性の確保が必要不可欠である。

今後も、さらなる耐久性の向上、施工の合理化・省力化をキーワードに、斜材ケーブルに関する材料・施工技術の開発を進めていく必要があると考えている。

参考文献

- 1) (財)プレストレストコンクリート技術協会編：PC斜張橋・エクストラードード橋設計施工基準，技報堂出版，2009.
- 2) 建設技術審査証明報告書「FUT-H型斜材ケーブルⅡ」，財団法人土木研究センター，平成22年3月

【2010年9月17日受付】