

第11回 PC橋の架設工法（その2）

講師：白浜 寛*

1. はじめに

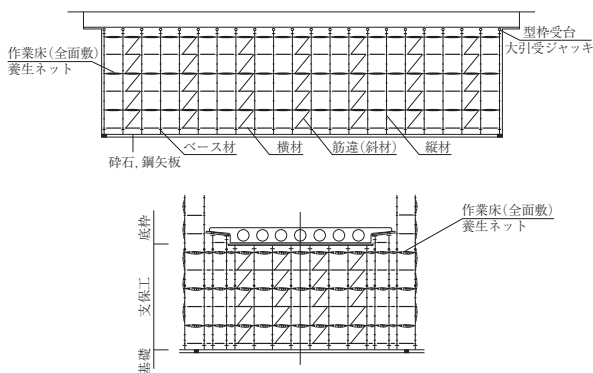
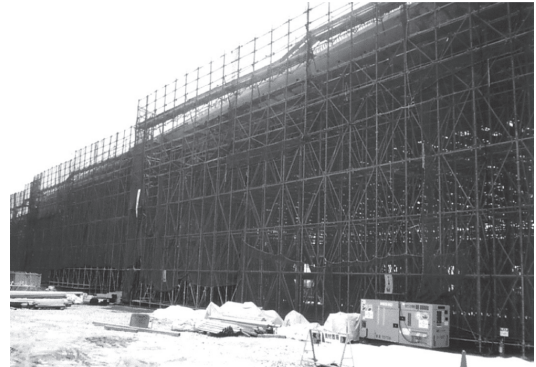
前回の講座（第10回）では、架設工法の分類と各工法の概要、およびプレキャスト架設工法について解説しました。今回の講座（第11回）では、場所打ち架設工法として、固定支保工式架設工法、移動支保工式架設工法、張出し架設工法および押し出し架設工法について解説します。

2. 固定支保工式架設工法

固定支保工による架設工法は、使用する部材の組合せによって、枠組式支保工架設、支柱式支保工架設などに分類されます。支保工の形式の選定にあたっては、立地条件（地形、架設高さ、基礎地盤条件、桁下空間の使用制限の有無）、構造条件（橋梁形式、構造部材の形状寸法、下部構造物利用の可否）、工事規模および工期等を考慮して、これらの現場条件に適合し、安全でかつ経済的なものを選ぶ必要があります。

2.1 枠組式支保工架設

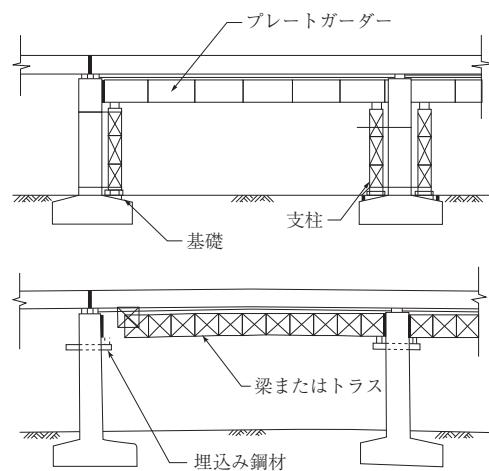
枠組式支保工は、地盤上に組み立てた多数の支柱により、直接、型枠を支持する支保工形式で、支柱としては鋼管枠、単管、パイプサポートなどが用いられます。一般に、組立解体が簡単で、転用性を考えて規格化された鋼管枠組式支柱（建枠・くさび結合）が用いられ、これを枠組式支保工と呼んでいます。枠組式支保工は、図-1、写真-1に示すように鋼管枠組式支柱と水平つなぎ材および筋かいにより構成されています。

図-1 枠組式支保工¹⁾写真-1 枠組式支保工¹⁾

この形式の支保工の選定条件としては、地形が平坦で桁下空間に障害物がなく、高さが12m程度までであり、基礎地盤が良好で、構造部材の荷重が比較的小さいことなどがあげられます。

2.2 支柱式支保工架設

図-2に示すように径間の中間に支柱を設けない支柱式支保工架設の場合は、梁で荷重を受け下部構造物の基礎にその反力を伝えるようにした支保工形式で、下部構造物のフーチング上に支柱（組立鋼柱、H形鋼などを使用）を組み立てて梁（プレートガーダー）を受ける方法と、梁の

図-2 支柱式支保工¹⁾

* Hiroshi SHIRAHAMA : 鹿島建設(株) 土木設計本部 構造設計部 橋梁グループ

支持材として橋脚や橋台にブラケットを取り付けて梁を受ける方法があります。梁材としては、トラス構造大型組立梁や架設桁（エレクションガーダー）等が使用されます。型枠の組立解体を容易にするため、梁上に枠組式支保工を一段使用することが多いです。

この形式の支保工の選定条件としては、河川や道路が交差しているなど桁下空間を十分に確保する必要がある場合、基礎地盤が軟弱で中間支柱が設置できない場合、桁下高さが非常に高い場合などで、下部構造物を利用できる場合にはこの形式が有利になります。

また、図 - 3 に示すように梁で荷重を受け、径間の中間でこの荷重を集中的に支柱で受けるようにした支保工形式もあります。梁材としては、H 形鋼、トラス構造組立梁、架設桁（エレクションガーダー）等が使用されます。支柱としては、三角支柱、四角支柱等の組立鋼柱および H 形鋼などが用いられるほか、最近では、太径鋼管を使った 1 本あたりの許容荷重が大きい支柱が使用されています。

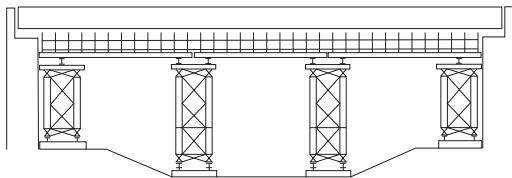


図 - 3 支柱式支保工（中間に支柱を設ける例）¹⁾

この形式の支保工は、小河川や水路または道路等と交差していて桁下空間を一部確保する必要がある場合、斜面上に支保工を設ける場合、構造部材の荷重が比較的大きい場合等で、基礎地盤が比較的良好で中間支柱が設置でき、桁下高さが比較的高い場合等に用いられます。

2.3 固定支保工式架設工法の留意事項

固定支保工式架設工法の留意事項としては、次の事項があります。

- ① 支保工各部材の検討：応力度、たわみの検討を行うこと。鉛直荷重には作業荷重（衝撃荷重を含む）として 3.5 kN/m^2 （コンクリート道路橋施工便覧より）を加える。また、労働安全衛生規則（以下、安衛則）第 240 条により、照査水平荷重として鋼管枠を支柱として用いるときは設計荷重の 2.5 % を、それ以外のものを支柱として用いるときは設計荷重の 5 % をとり、その荷重を支保工の上端に作用させて、横方向の安定の検討を行う。木材、鋼材の許容応力度は安衛則第 241 条による。
- ② 組立て鋼柱を支柱として用い、その高さが 4 m を超えるときは、高さ 4 m 以内ごとに水平つなぎを二方向に設け、かつ、水平つなぎの変位を防止すること（安衛則第 242 条）。
- ③ 集中荷重の作用する支点部、H 型鋼等の腹板（ウェブ）に垂直補剛材（スティフナー）を入れて補強すること（安衛則第 242 条）。
- ④ 梁の支間が大きく梁高が高いときは、水平つなぎ材と筋かいによる横倒れ防止の検討を行うこと。
- ⑤ プレストレッシングによる桁の弾性変形を妨げないよ

うな構造にすること。また、支保工桁のたわみが大きいと、プレストレス導入による桁の反り上がりによっても支保工が外れにくくなるばかりか、支保工桁の弾性復元力による上向きの力を受けることもあるので、プレストレッシングに伴って支保工を降下させるなどの処置を施す必要がある。

⑥ コンクリートの打込み前および打込み中に支保工の点検を行うこと（安衛則第 244 条）。

⑦ コンクリートの打込み中にたわみの測定を行い、計算値と対比し安全性を確かめること。

3. 移動支保工式架設工法

移動支保工式架設工法は、荷重を支持する支持桁（ガーダー）が橋体の上方に設置されるハンガータイプ（移動吊支保工）と、支持桁が橋体の下方に設置されるサポートタイプ（可動支保工）の 2 方式があります。いずれの型式においても基本的には、支持桁を架設径間に架け渡し、これにより型枠、支保工、コンクリート等の荷重を支持させる構造になっています。また、上屋設備、荷役設備、支保工移動設備等も一体化されており、高度に機械化されています。大型移動支保工の移動は、空中で行われるため、桁下の地形、地盤条件の制約を受けません。

本架設工法の特徴をあげると次のとおりです。

- ① 桁下の地形、地盤条件等の制約を受けず施工できる。
- ② 機械化施工なので、固定支保工式架設と比べて大幅に省力化でき、急速施工ができる。
- ③ 上屋設備を有しているため雨天施工が可能であり、工程管理、品質管理が確実にできる。
- ④ パターン化した作業の反復になるため、作業習熟度が高まる。とくに多径間連続桁の架設にその特徴を発揮する。
- ⑤ 作業足場、昇降設備等の安全設備も機械に組み込まれているので、作業の安全面でも優れている。
- ⑥ 工事規模が大きい程コスト面の有利性が増し、橋面積 5000 m^2 以上に適用するのが望ましい。一般的には支間が 20 ~ 40 m、施工延長が 600 ~ 800 m あれば、固定支保工式架設工法に比べ経済的に有利になるといわれている。

3.1 ハンガータイプ（移動吊支保工）架設

ハンガータイプは移動吊支保工とも呼ばれ、図 - 4、写真 - 2 のように架設径間の橋体の上方に設置された 1 ~ 2 本の支持桁（ガーダー）から直角方向に横梁を配置し、その横梁から吊材を介して、型枠および足場設備を吊り下げる構造になっています。現在は、国内で施工各社がそれぞれ独自の架設機械を開発しているため、多くの種類の機械が用いられています。ハンガータイプはサポートタイプと比較して、支持桁が橋面より上に設置されているため、桁下空間に制限がある場合に有利であり、橋脚形状への制約がきわめて少ないことが特長です。

3.2 サポートタイプ（可動支保工）架設

サポートタイプは、架設径間の橋体の下方に 2 ~ 4 本の支持桁（ガーダー）を設置し、この上に支保工、型枠等を載せ、橋桁を製作・架設する工法です（図 - 5、写真

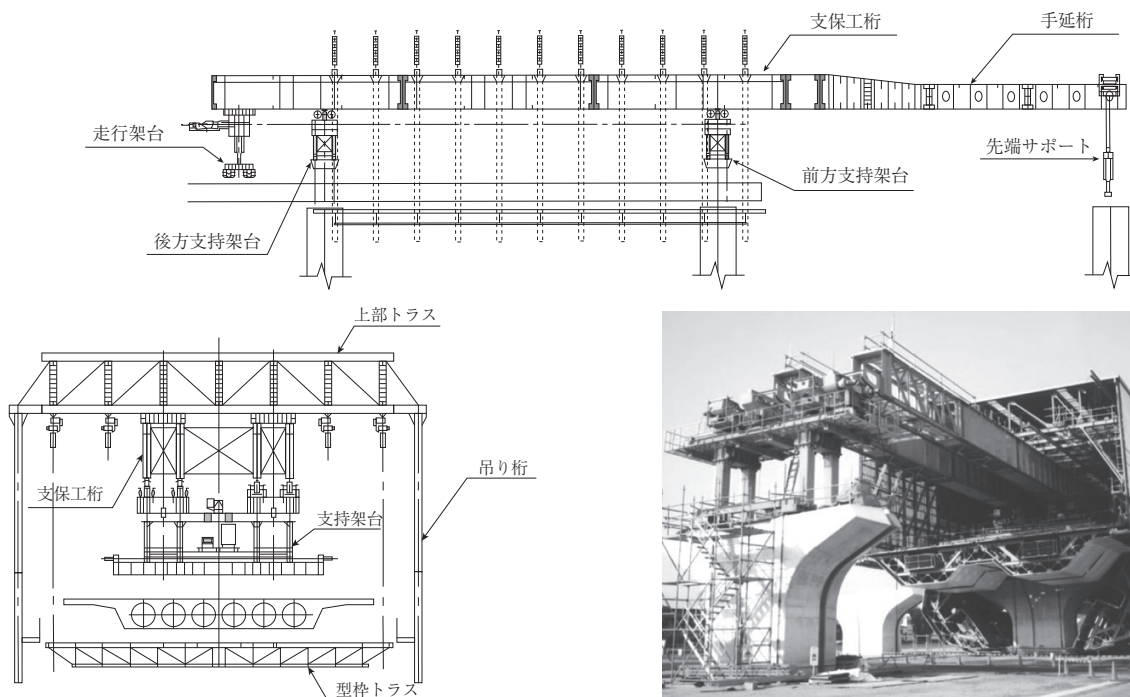


図 - 4 ハンガータイプ架設¹⁾



写真 - 2 ハンガータイプ架設¹⁾

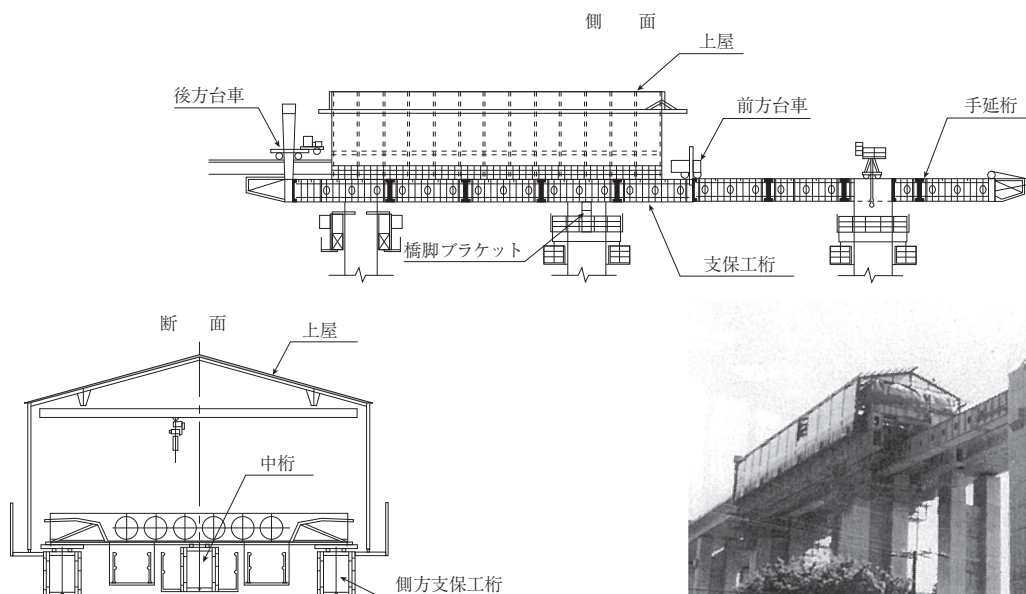


図 - 5 サポートタイプ架設¹⁾



写真 - 3 サポートタイプ架設¹⁾

- 3)。

サポートタイプは、支持桁（ガーダー）が橋体の下方に配置されているので、計画にあたっては各橋脚にガーダーを支持する仮設ブラケットまたは鋼製支柱の設置が必要です。橋脚の形状により、その支持装置が大きく影響を受けるので、選定にあたっては注意が必要です。

3.3 移動支保工式架設工法の留意事項

移動支保工式架設工法の留意事項としては、次の事項があります。

① 大型の架設機械を用いるため、経済的にある程度の施工延長（15 径間程度以上）が必要である。

② 移動支保工の各部材の応力度、たわみについて安全性の検討を行うこと。

③ 大型移動支保工の移動時およびコンクリート打設時における本体桁の応力および支承反力について安全性の検討を行うこと。

④ 支保工を移動させる時の転倒に対する安全性の検討を行うこと。

⑤ コンクリート打込み前および打込み中に移動支保工の点検を行うこと（安衛則第 244 条）。

⑥ ガーダーにねじりが起きないように、主桁断面について

対称にコンクリートを打設すること。

⑦ コンクリートの打込み中にたわみの測定を行い、計算値との対比をして安全性を確かめること。

⑧ 主桁の縦締め緊張作業に伴い、主桁は支持桁の弾性復元力によって突き上げる力を受ける場合には、主桁自重分のプレストレスを導入した時点で型枠を脱型する必要がある。

4. 張出し架設工法

張出し架設工法は、地上から支える支保工なしに、一般に橋脚から左右にバランスをとりながら移動作業車または移動式架設桁を用いて、支間中央に向かって適当な長さのブロックに区切り、コンクリートを打ち継ぎながら順次張り出していく工法です。本工法には、移動作業車による架設と移動式架設桁による架設の2方式があります。

張出し架設工法の特徴をあげると次のとおりです。

- ① 高橋脚および長大支間の橋梁が経済的に施工できる。
- ② 支保工設置の必要がないため、深い谷、流量の多い河川、船舶の航行する海上、交通量の多い街路上で架橋が容易にできる。
- ③ 主桁を分割して施工するため、合理的に桁高を変化させて自重を低減させることが容易にできる。
- ④ サイクル作業になるため、作業の習熟度が高まり、品質管理、工程管理が確実に行える。

4.1 移動作業車による架設

橋体を橋軸線上で2～4mのブロックに区分し、橋脚に近い部分から移動作業車を用いて、両方に現場打ちを行って施工する架設工法です。

この工法は、長大スパンのPC橋の架設に際し、工事規

模に対し架設装置等が大規模にならないので、非常に経済的で優れた工法であり、多数の施工実績があります。また、構造形式も、桁橋のみならず、アーチ橋、斜張橋、複合橋などの長大スパンの橋梁の架設にも適用されています。

移動作業車は、図-6に示すように、トラス構造のメインフレームを既架設桁上に設置し、横梁、吊材を介して、型枠および足場設備を吊り下げる構造になっています。このメインフレームの後方端部は、既設コンクリートに埋め込まれたPC鋼棒にアンカージャッキによりプレストレスを導入することによって固定され、荷重による上揚力に抵抗するしくみになっています。メインジャッキは、メインフレームから伝達される荷重を支持するジャッキです。

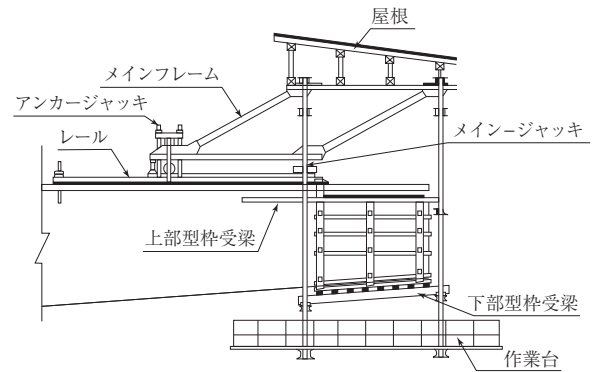


図-6 移動作業車¹⁾

本工法の施工手順は、図-7に示すように、柱頭部の施工から始まり、径間中央部の閉合で橋体工の施工が完了

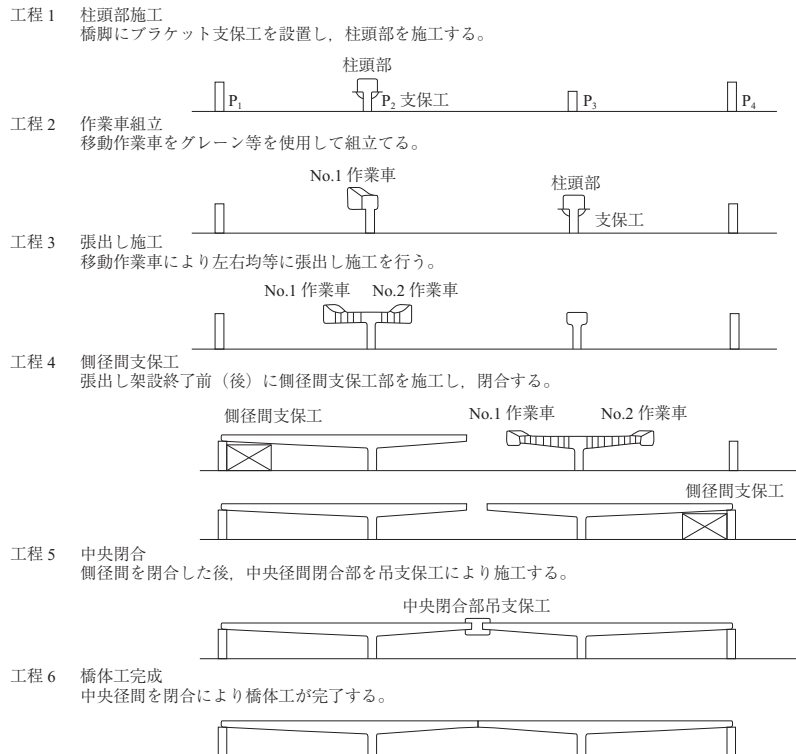


図-7 移動作業車による施工手順¹⁾

します。

柱頭部の施工は、移動作業車が組み立て可能な最小長さで支保工を用いて施工します。柱頭部の桁は、張出し架設の基準となるので慎重に施工する必要があります。また、連続桁形式の橋梁の施工では、主桁と橋脚を固定する目的で、仮固定構造の設置が必要となります。

なお、左右の張出し長に極端な差を設ける必要がある場合には、仮支柱（写真 - 4）を設けることがあります。



写真 - 4 仮支柱を併用して張り出す方法 1)

4.2 移動式架設桁による架設

橋体を橋軸線上で 10 m 程度のブロックに区分し、橋脚に近い部分から、大型架設桁（送り桁）より移動式型枠装置を吊り下げ、これを用いてコンクリートを現場打ちして、両方に張出していく架設工法であり、地上からの作業を必要としないで支間 40 ～ 150 m の長大支間の PC 橋の架設に適用できます。

図 - 8 に示すように、主要部材は、長大なスパンを有する送り桁と型枠装置および架台などです。

本工法の一般的な施工順序は、まず橋台側径間部を固定支保工により施工し、装置を設置して第 1 橋脚の柱頭部および張出し施工を行った後、側径間の閉合を行います。次に送り桁を移動し、同様の工程を繰り返して片押し架設を

行います。従って、資材運搬は、既設上部工と送り桁を使用して行うことができます。その他の特長としては、1 ブロックの長さを 10 m 程度にできるので施工速度が速いこと、柱頭部を支保工や揚重機を用いずに施工できることなどがあげられます。

4.3 張出し架設工法の留意事項

張出し架設工法の留意事項としては、次の事項があります。

- ① 架設中の各段階における本体桁の応力、変形および安定の検討ならびに橋脚躯体、基礎構造の検討を行うこと。
- ② 架設機械の各部材の応力度およびたわみについて安全性の検討を行うこと。
- ③ 移動作業車のアンカー鋼棒は、継手カップラーの捩込み不足や鋼棒の軸線の折れなどの不測の事態に備えて 1 ヲ所に 2 本使用するのが良い。
- ④ 仮支柱を設ける場合は、基礎および仮支柱の耐力を検討すること。
- ⑤ コンクリートの打込み前および打込み中に架設機械の点検を行うこと（安衛則第 244 条）。
- ⑥ コンクリートのクリープおよび乾燥収縮が終了した時点で、橋面が所定の計画高さになるようたわみを管理すること。たわみを管理するためには、各荷重によるたわみ量を事前に計算しておき、その値をもとに各施工段階の主桁の高さを求め、型枠のセット高さを決定するとともに、架設後の橋面高さについても設計値との比較による管理を行うこと。

5. 押し出し架設工法

押し出し架設工法は、図 - 9 に示すように、橋台または第 1 橋脚の後方に橋桁の製作ヤードを設け、このヤードで 8 ～ 20 m 程度の大型ブロックを製作し、順次 PC 桁を前方に押し出して架設する工法です。架設時に発生する PC 桁の断面力を低減するために、橋桁の先端に手延べ桁（手延べ桁の長さは最大スパン長の 60 ～ 80 %）を取り付け、押

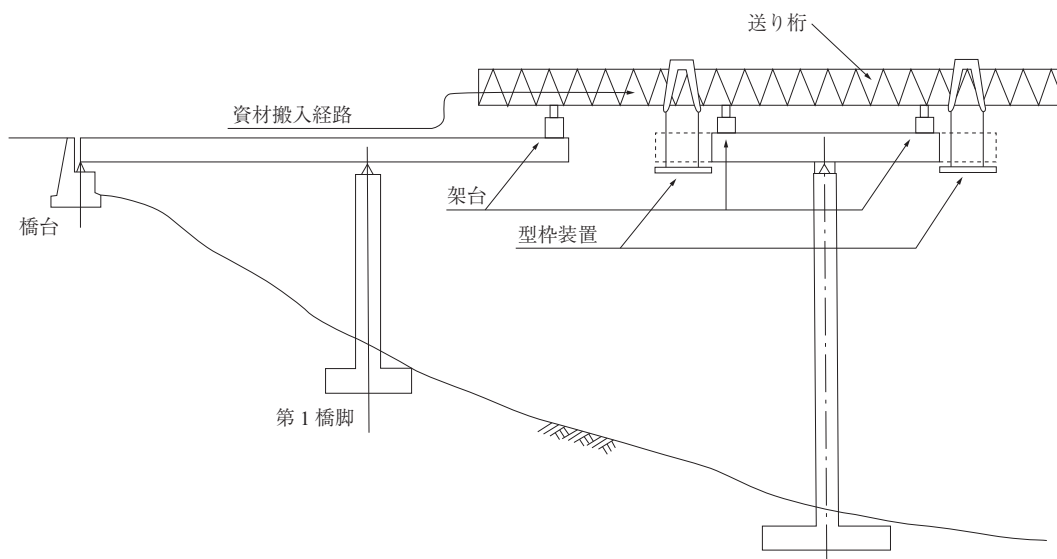


図 - 8 移動式架設桁による架設 1)

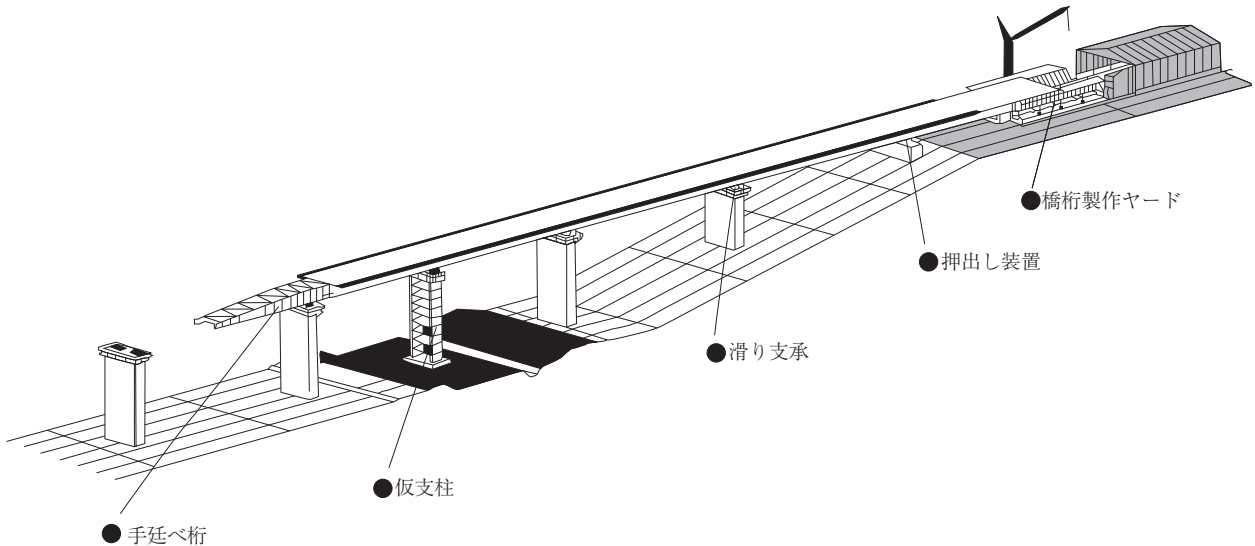


図 - 9 押し出し架設工法の概念図¹⁾

出し装置を用いて橋体を押し出します。支間が大きい場合(45～60m以上)は、橋脚の中間に仮支柱を設置することもあります。

本工法には、押し出し推力を得る位置が橋台または橋脚の1箇所限定されている反力集中方式押し出し架設と、すべての橋台、橋脚(仮支柱を設置する場合は仮支柱も含む)上に押し出し装置を設置して、押し出し反力を取る反力分散方式押し出し架設の2方式があります。

押し出し架設工法の特徴をあげると次のとおりです。

- ① 桁下の地形、地盤条件等の制約を受けず施工でき、施工中の桁下空間完成時とまったく同一であるので、道路、鉄道が交差していても、交通の支障にならない。
- ② 製作ヤードに上屋設備を設ければ、天候に左右されず全天候型の作業場となり、品質・工程管理が確実に実行される。
- ③ サイクル化、パターン化した作業で、作業員の熟練も早く、機械化、省力化が図れる。

④ 架橋地点での作業が少なくなることで、高所作業が少なくなり作業の安全面でも優れている。

5.1 反力集中方式押し出し架設

反力集中方式の押し出し工法の設備は、桁を前方へ移動させる押し出し装置と、桁を滑らせる滑り装置を分離しています。押し出し装置にはジャッキを使用し、基本的には1箇所(橋台あるいは第1橋脚)に設置します。滑り装置は、各橋台、橋脚および仮支柱に配置します。

反力集中方式押し出し架設工法(引張棒方式)の押し出し設備概念図を図-10に示します。

5.2 反力分散方式押し出し架設

反力分散方式の押し出し工法の押し出し設備は、桁を前方へ移動させるための水平ジャッキと、桁を滑らせるための滑り装置が一体になっています。滑り装置は、その下面にテフロン板を接着したスライドプレートとスライド架台(滑り架台)で構成されています。これに、スライドプレートを引き戻す時に使用する鉛直ジャッキを加えて一組とし、

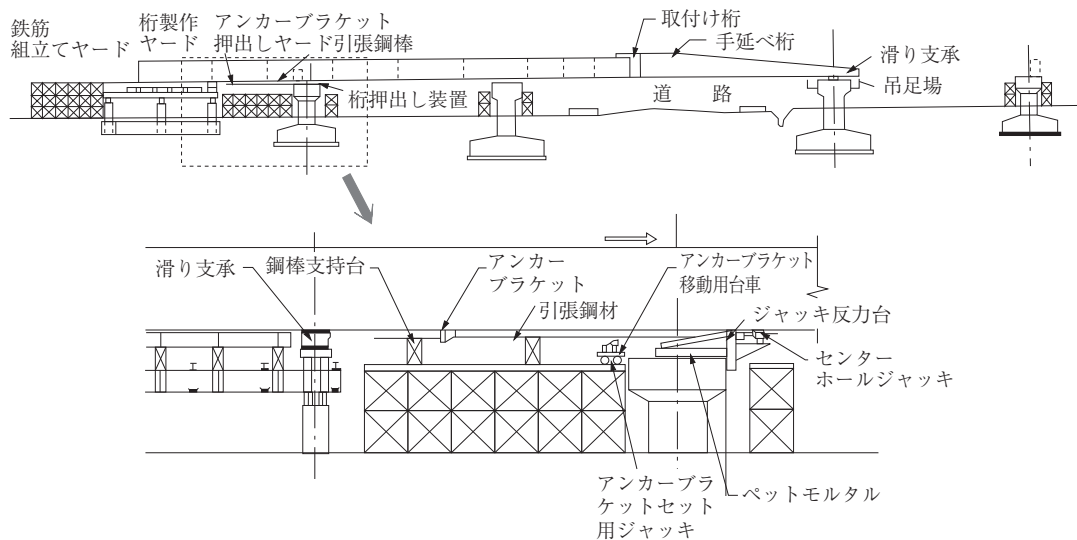


図 - 10 反力集中方式押し出し架設(引張棒方式)の押し出し設備概念図¹⁾

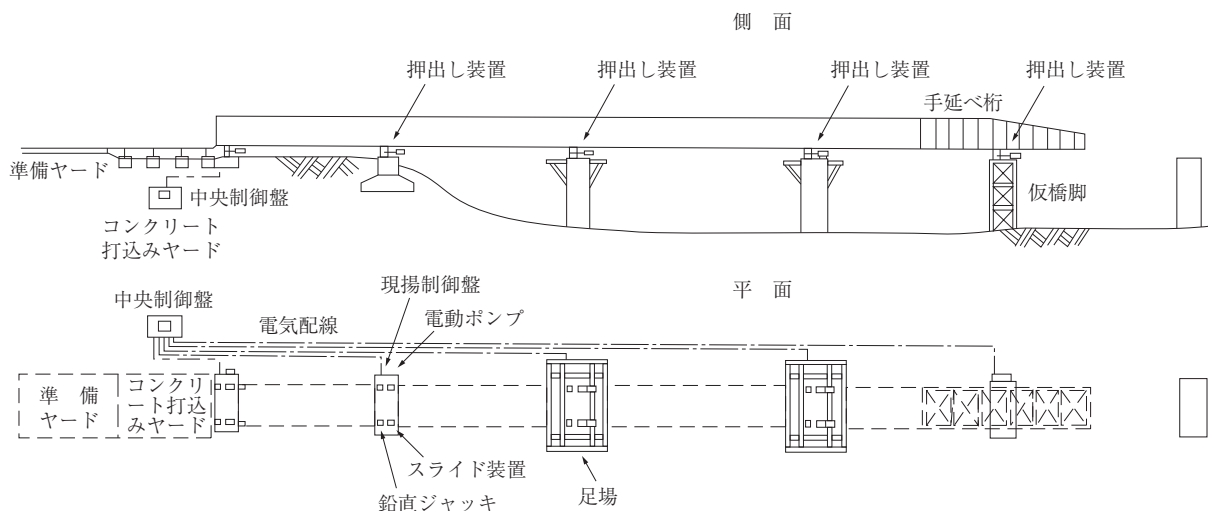


図 - 11 反力分散方式押し出し架設の押し出し設備概念図¹⁾

各橋台、橋脚および仮支柱に配置します。

この押し出し設備は、すべて中央制御盤に接続され、一箇所でも連動操作を行える機構になっており、反力管理も中央制御室で集中管理するシステムになっています(図-11)。

5.3 押し出し架設工法の留意事項

押し出し架設工法についての留意事項としては、次の事項があります。

- ① 架設中の各段階における本体桁の応力、変形および安定の検討を行うこと。とくに押し出し架設作業の初期の段階で、桁が前方に転倒しないことを確認するとともに、滑動に対しても安全な対策を講じる。
- ② 架設中の各段階における手延べ桁の応力、変形および継手耐力の安全性の検討を行うこと。
- ③ 仮支柱は、十分な強度と剛性のあるものを選定すること。また、仮支柱の基礎は十分な耐力を有すること。仮支柱が沈下したときは、滑り支承の高さ修正を行うこと。
- ④ 押し出し時の橋体の高さや押し出し方向の管理を行うこと。
- ⑤ 施工中の主桁断面力が施工段階とともに正負交替して大きく変化するため、一般に架設用のPC鋼材が必要となる。
- ⑥ 施工中の安全性を確保するため、原則として上り勾配で押し出す計画とするのがよい。

6. 練習問題

今回の講座のまとめとして、○×形式の練習問題を用意しましたので、チャレンジしてみてください(PC技士試験における過去問題を、一部アレンジして出題しています)。

- ① 固定支保工式架設の計画では、応力度とたわみ量を検討する必要があり、鉛直荷重に作業荷重(衝撃荷重を考慮)として3.5 kN/m²を加えて検討を行う。
- ② 移動支保工式架設工法は、大規模な多径間橋梁や都市

内高架橋の架設に適しており、適用支間長としては20～40 mが適当である。

- ③ 固定支保工式架設は、移動支保工式架設と異なり、支保工を解体することなく固定したまま次の径間に移動させていく工法である。
- ④ 移動作業車による張出し架設工法は、左右のバランスをとりながら行うため、左右の張出し長に極端な差を設ける必要がある場合には適用できない。
- ⑤ 張出し架設工法に関して、移動作業車による架設は移動式架設桁による架設より1ブロック長を長くできるため、急速施工が可能となる。
- ⑥ 押し出し架設工法では架設時と完成時の応力状態が大きく異なるため、架設時用のPC鋼材が必要である。
- ⑦ 押し出し架設工法では、押し出すための水平力が小さくなるように、原則として下り勾配で押し出す計画とする。

【演習問題の解答】

①○②○③×④×⑤×⑥○⑦×

7. おわりに

今回の講座では、場所打ち架設工法として、固定支保工式架設工法、移動支保工式架設工法、張出し架設工法および押し出し架設工法について解説しました。次回の講座では、PC橋の架設工法の最終回として、構造形式に適した架設工法例を説明します。

参考文献

- 1) プレストレストコンクリート工学会：プレストレストコンクリート技術，2013
- 2) プレストレストコンクリート技術協会：PC橋架設工法，2002
- 3) 日本道路協会：コンクリート道路橋施工便覧，1998

【2014年4月1日受付】