

講座

PC 橋梁の架設について
(その 4. 押出し架設工法)

1

はじめに

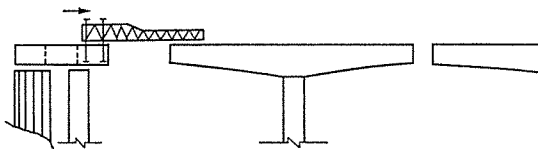
押出し工法は 1960 年初め西ドイツにおいて開発されたもので、橋台裏に設置した製作台において橋体ブロックを製作しながら押し出すという一連の作業の繰返しによって橋梁を完成させる架設工法である。

当初は、橋台裏で橋体をプレキャストセグメントとして製作し、橋梁全長をブロック工法で一体化して押し出すというものであったが、その後、この方法による橋台裏に必要なヤード面積確保の問題や、全ブロックの一体化に伴う作業性、経済性が検討され、1960 年代後半には現在の形の完全な押出し工法としての構想が整った。

このような発展の過程の中で完成された橋梁は、1962 年オーストリアの Ager 橋に始まり、主としてヨーロッパを中心に現在は多数の橋梁の完成をみる事ができる。

一方、我が国においては、1973 年（昭和 49 年）北海

○カンチレバー工法による橋梁の側径間部の施工



○アーチ補剛桁の押し出し施工

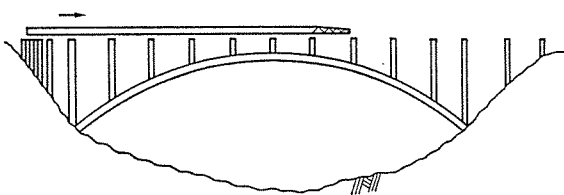


図-1 押出し工法と他の工法の組合せ

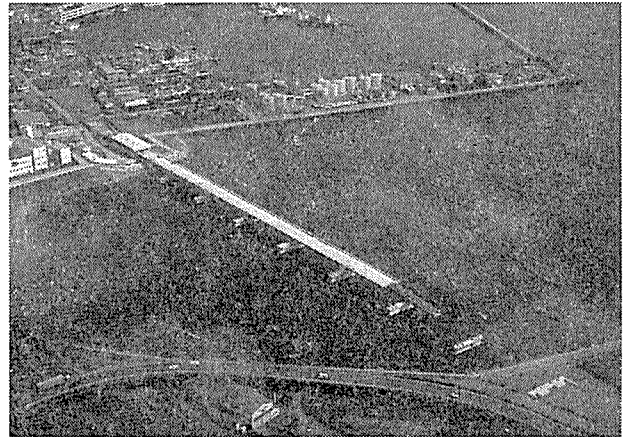


写真-1 施工中の全景写真

道庁の手によって幌崩大橋が完成されて以来、道路橋、鉄道橋において 50 橋を越える施工実績がある。

これは、ヨーロッパから技術導入された押出し工法の特長を充分把握し、その技術の開発と改善工夫にたゆまぬ努力を傾注した結果であり、我が国独自の技術による押出し架設も考案されるに至った。

最近では、図-1 に示すような他の工法と複合されて採用されるなどその適用方法も多様化してきており、本工法の安全性、施工性、経済性等の有利性をもった高度技術としての期待も大きくなっている。

ここでは、我が国で施工されている押出し工法の特長と方式の種類を記述し、施工上の留意点について若干の説明を加える。

2

押出し工法の特長

押出し工法は、高い安全性と優れた施工性を有した橋梁の架設工法として広く認められており、ここにその特長をいくつかの観点から記述してみる。

(1) 適用対象

押し出し工法は、一種の張出し架設であることから、当初は、深い谷を横断する多径間連続桁橋の架設工法として用いられていた。しかし、最近では道路、鉄道を跨ぐ高架橋、桁下の地形条件等の制約によって他の工法が適用され難い橋梁に適用されている。また適用支間長としては、40~60 m が適当となっている。

(2) 架設要領

橋台後方の製作ヤードに十分な広さとある程度の設備をもつ製作台を設置し、この製作台で橋桁を 10~15 m のブロックとして製作し、既設ブロックに新設ブロックを順次打ち継ぎながら押し出すことにより橋梁を完成させる。架設中は、橋体の移動により反力支持点が逐次変化するため橋体の各断面には交番する断面力が生じ、特に橋体先端部は片持ち構造となるため断面力が卓越する。この断面力を低減するために橋体先端に鋼製の手延べ桁を取り付けている。

(3) 押し出し工法の安全性、施工性、省力化

i) 橋体ブロック製作について

橋体は通常長さ 10 m 程度のブロックとして製作される。製作台は上屋を設けた作業場とすることが多く、工場並みの桁製作が継続的に行うことができる。この場合、製作台での作業は最も施工しやすい状態で、単純な作業に分解され、一定要員による同一作業の繰返しとなる。ブロック製作から押し出し作業に至る 1 サイクル標準工程は表-1 のとおりである。

また、製作ヤード内における作業の利点としては、

- ① 鉄筋、PC 鋼材、型枠、支保工、生コンクリート等の資材の搬入が容易となり作業性が良い。
- ② 型枠の転用回数も多く機械化が図れることもでき、

組立て、脱型が早くなって効率的で経済性も向上する。

- ③ 気象条件に左右されることなく、雨天、冬期も一連の作業がスムーズに遂行でき、施工管理や品質管理も行き届き、工程管理も良好である。
- ④ 一定箇所での単純作業となるため省力化が図れ、生産性も向上し、労務管理も行き届く。

このような視点から、押し出し工法はブロック工法の利点を生かした、省力化、効率化、高品質化を図った架設工法であるといえる。

ii) 橋体の押し出し作業について

押し出し作業は、製作ヤード内、橋台、橋脚等の反力台に押し出し装置を設置し、この押し出し装置を作動することによって押し出し作業が遂行される。また、架設時の騒音、振動等の公害もなく、桁下空間の交通規制や地形条件の制約をうけることなく円滑に作業が進み、無公害で安全性の高い架設が行える。また、押し出し作業の滑り支承を本沓使用とすれば本沓据付け作業が皆無となり、極めて効率的となる。

3

各種押し出し工法の特徴

押し出し工法は、押し出し装置によって橋体を移動して架設する方法であるが、その方法も押し出し装置によって特徴があり、我が国で開発されたものもある。

(1) T.L. 式押し出し工法

1960年代、Fritz Leonhardt 博士により考案され、ヨーロッパを中心にソ連、米国と発展してきた。我が国に技術導入されたのは、1973 年幌崩大橋の建設工事においてであった。その後新幹線を始めとしてその有用性が

表-1 1 サイクル標準工程表 (1 ブロック 15~20 m, 2 主桁の場合)

作業内容		日数									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
①	外型枠	セット	■								
	底型枠	脱型								■	
②	下床版	配筋	■	■							
		鋼棒		■	■						
③	ウェブ	配筋	■	■	■						
		鋼棒		■	■						
④	内型枠	セット			■	■					
		脱型								■	■
⑤	上床版	配筋				■	■				
		鋼棒					■	■			
⑥	コンクリート打設						■	■			
⑦	養生							■	■	■	
⑧	鋼棒緊張									■	
⑨	押し出し、横方向移動									■	

◇講 座◇

認められ、道路橋等への需要が拡大し、押し出し工法の適用に拍車がかげられた。

i) 押し出し装置

桁の規模に応じて1~複数の橋台あるいは橋脚（我が国の実績は1箇所が主流）上に押し出し装置を設ける。橋体は水平力によって押し出されるが、そのとき垂直および水平ジャッキの操作で桁本体に推力を伝達させて押し出す方法と水平ジャッキの推力を引張棒を経て桁本体に伝達させて押し出す方法があり、いずれも1箇所での水平

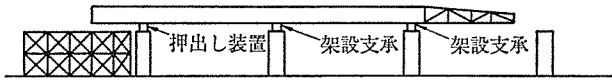


図-2 集中方式による押し出し装置の配置

力を与える方法で反力集中方式となっているところに大きな特徴がある（図-2, 3）。

その他の反力台としての橋脚あるいは仮支柱には滑り支承を設けて、その上を滑らせて押し出す方式となっている。この滑り支承は、図-4のようにステンレス鋼板と桁本体の間に、摩擦が小さく（摩擦係数 0.03 程度）

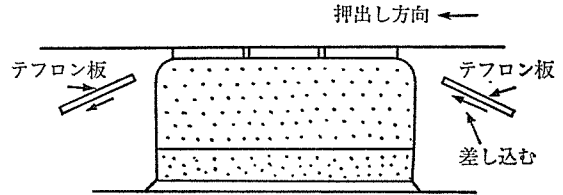
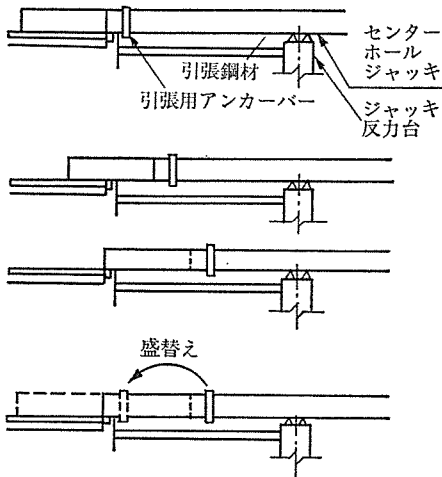


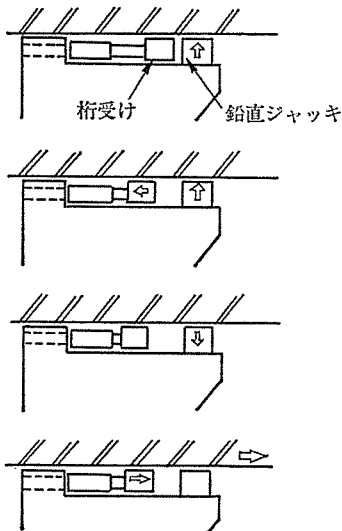
図-4 滑り支承

●引張棒方式



- ① 引張鋼材を水平ジャッキ（センターホールジャッキ）で引張り、主桁を前方に押し出す
- ② ①の作業を続ける
- ③ 1ブロック長の押し出しが完了したら……
- ④ 次のブロックのコンクリートを打設し、アンカーバー（またはブラケット）を盛り替え、次の押し出し準備をする

●鉛直水平ジャッキ方式

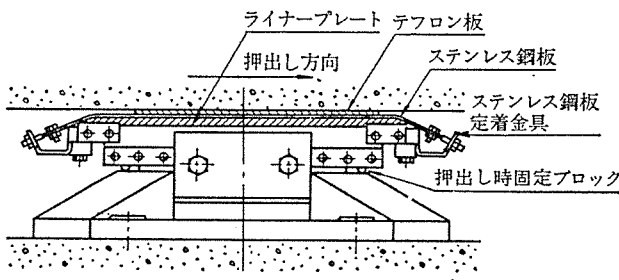


- ① 鉛直ジャッキを作動して桁受けブロックの反力を抜く
- ② 水平ジャッキのストロークを戻す
- ③ 水平ジャッキのストロークが戻りきったら、鉛直ジャッキを縮めて反力を桁受けブロックに移す
- ④ 水平ジャッキを作動して桁を押し出す

(注) 図中の桁受けブロックと鉛直ジャッキの位置を入れ替える方法も行われる。

図-3 水平力の与え方

押し出し施工時



押し出し完了時

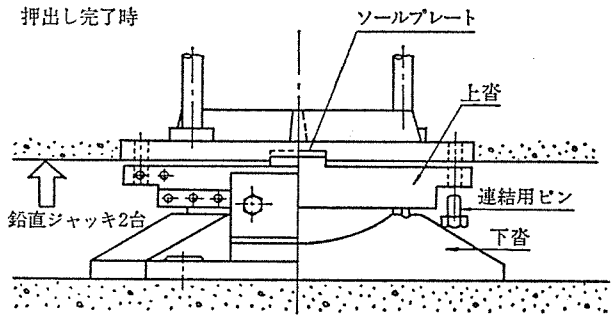


図-5 兼 用 沓

なるようにテフロン加工された滑り板を挿入して滑らすことによって桁を移動させる仕組となっている。また、この滑り支承には、図-5 のように本沓構造を滑り支承として利用する兼用沓方式もある。これは、BP 沓の上沓上面に架設用のステンレス鋼板を張り、従来の滑り支承と同じ機能をさせるもので、押し出し架設後、桁をジャッキアップして架設材を取り、桁に先行して埋め込まれているソールプレートと上沓を締結して本沓とする方式である。

(2) SSY 式押し出し工法

SSY 式押し出し工法は、T.L. 式押し出し工法が反力集中方式であったのに対して反力分散方式をとっているところ

ろに大きな特徴がある(図-6)。すなわち、複数の橋台、橋脚上に押し出し装置を設置して、この装置によって橋体に水平力を与えて押し出す方法である。

SSY 式押し出し工法に用いる押し出し装置は、鉛直ジャッキ、滑り板と滑り架台が一体となって組み込まれている水平ジャッキが一組として構成され、橋台、橋脚、仮支柱等の各反力台に設置され、この鉛直ジャッキと水平ジャッキの作動により桁本体を送り出す方法である。こ

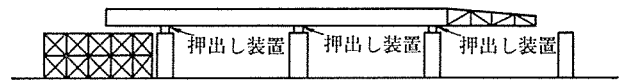


図-6 分散方式による押し出し装置の配置

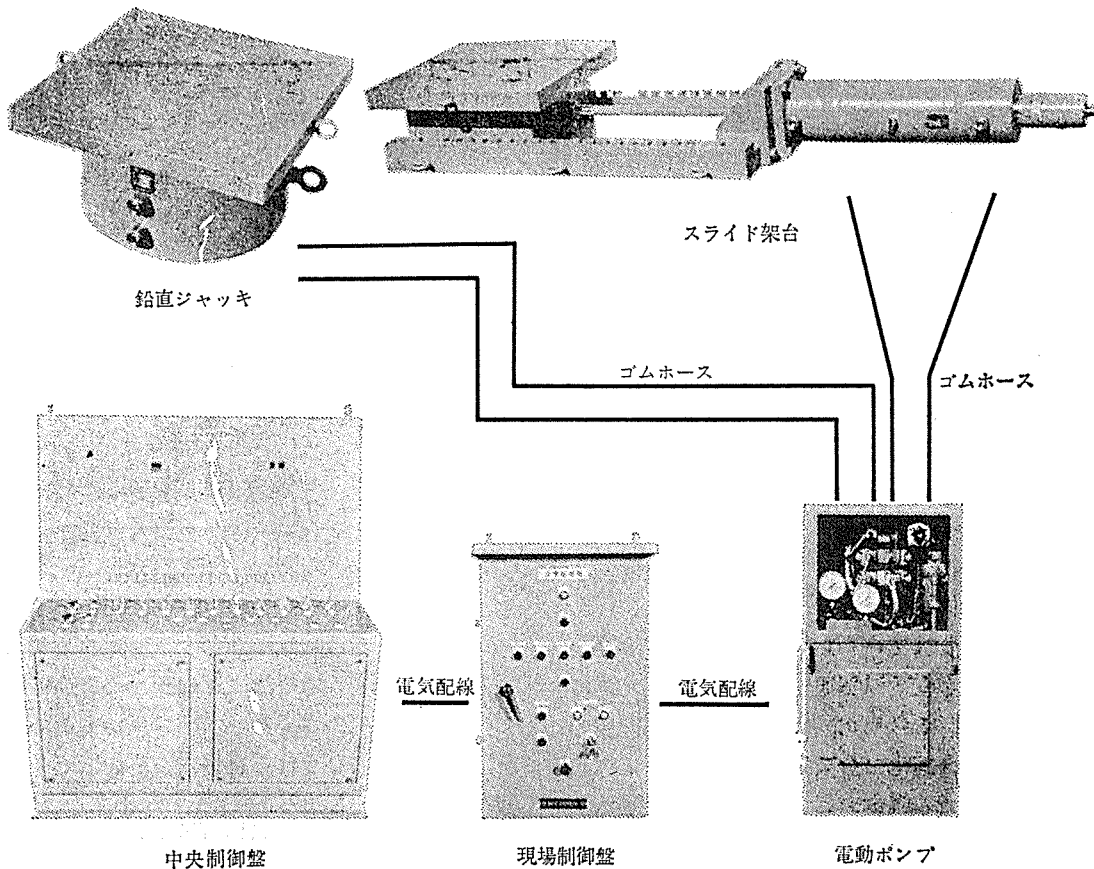


図-7 SSY 式桁送り出し装置

◇講 座◇

これらの鉛直ジャッキと水平ジャッキは互いに連動されており、さらに各反力台のジャッキもすべて連動され、その作動は一箇所の中央制御盤により管理される（図-7, 8, 9）。また、SSY 式押し出し工法では本沓の「あとセッ

ト」という作業を省略するために考案された「KS 工法」がある。

本工法の要領は、「SSY 式押し出し装置」のスライドプレート部分を本沓に置き換えて、図-10 に示すように

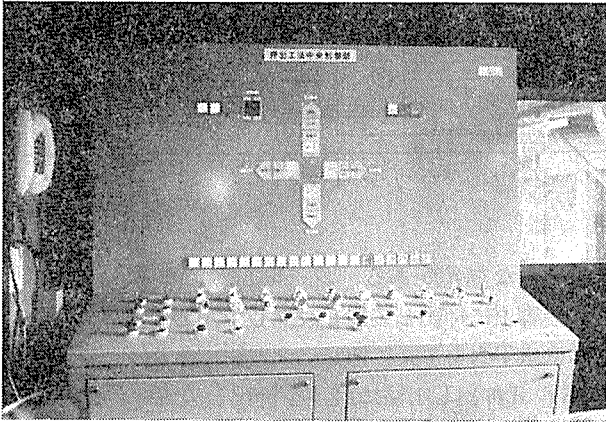


写真-2 中央制御盤

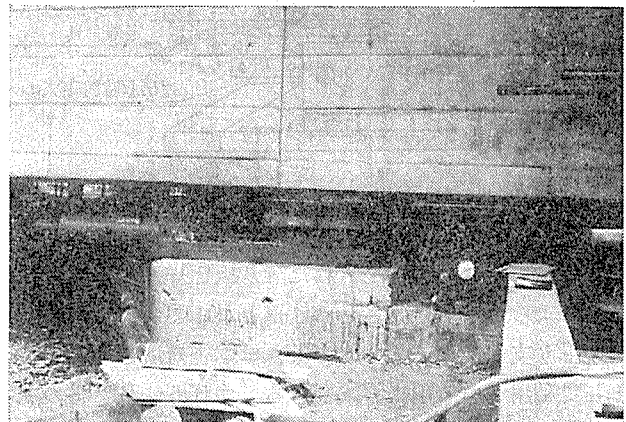


写真-3 SSY 工法押し出し装置

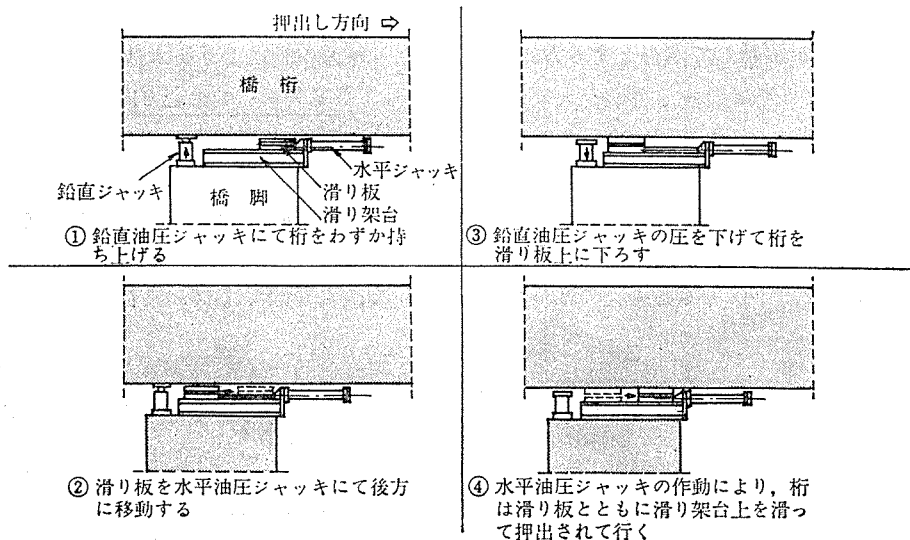


図-8 SSY 式桁送り出し装置の操作要領

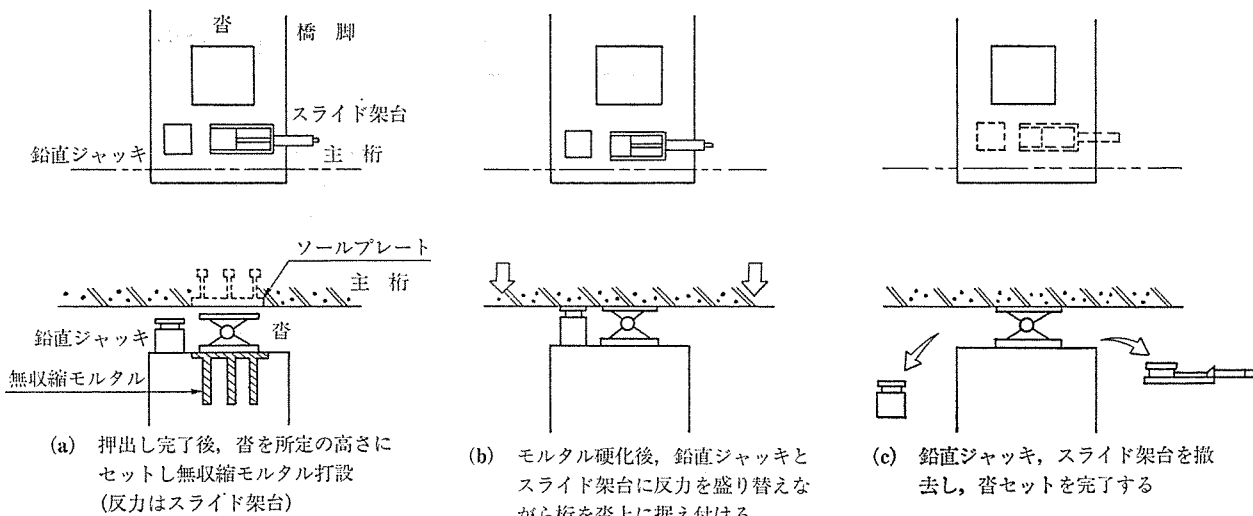


図-9 SSY 式押し出し工法の本沓セット要領

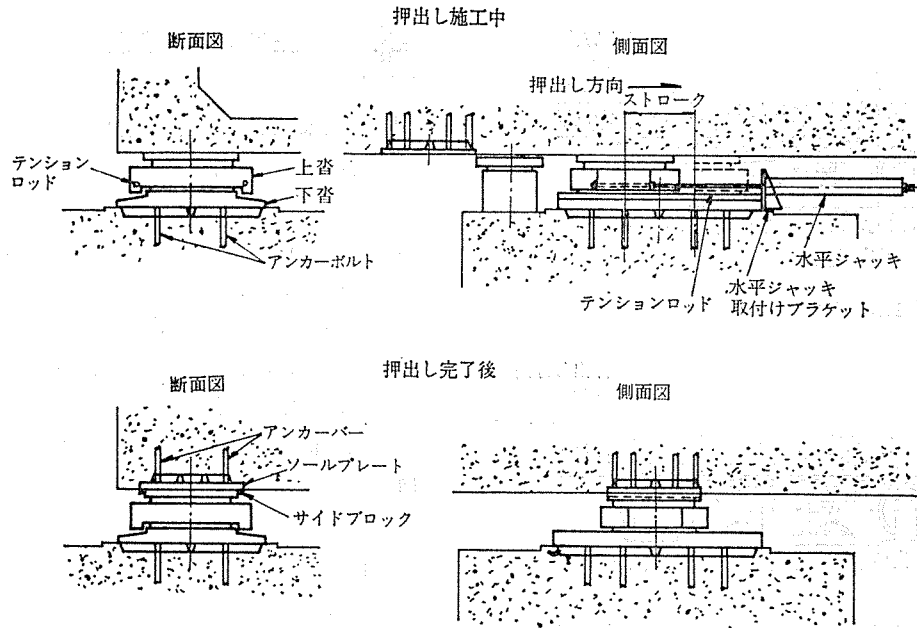


図-10 KS 工法の要領図

表-2 各押し工法の機能別の方式の組合せ

押し工法の呼び名	支持装置		滑動の方式	押し力の加え方	押し方向修正方式	工法略称
	材質	設置, 撤去				
集中引張方法 (集中方式)	コンクリート	仮設により橋脚頭部に設置し, 使用後撤去の後, 橋脚を後埋め	テフロンとゴムの複合板による。人力により挿入を繰り返す	特定の橋脚をアンカーとした集中方式	横方向ガイドによる簡易修正方法による	T.L. 工法
分散押し方式 (分散方式)	鋼	仮設により橋脚頭部に設置し, 使用後撤去する。装置高が小さく後埋めは一般に不要	装置に内蔵されたテフロン板が前後に滑動する	各橋脚の水平ジャッキにより水平力を加える分散方式	すべり装置の据付け位置の修正による (簡易修正方法)	SSY 工法
本沓利用の集中方式	鋼	本沓上に滑動のためのステンレス板を設け使用後同板を撤去し, 桁と沓を固定する	テフロンとゴムの複合板による。人力により沓上面と桁の間へ挿入を繰り返す	集中方式	横方向ガイドによる簡易修正方法	T.L. 工法
本沓利用の分散方式	鋼	正規に沓を据え付け, 押し終了後, 桁と沓を固定装置により固定する	本沓の滑動機能を拡大したもので, 上沓が前後に滑動する	各橋脚の水平ジャッキによる分散方式	横方向の位置修正は水平ジャッキによる	KS 工法 (SSY 工法)
本沓利用集中方式	鋼	正規に沓を据え付け, 押し終了後, 桁と沓を固定装置により固定する	本沓上にガイド板を設置し, この上を桁が載荷されたスライドリボンが滑動する	橋脚付近に設けた水平ジャッキにより集中的に押すが, 分散も可能	横方向の位置修正は水平ジャッキおよびガイド装置による	RS 工法

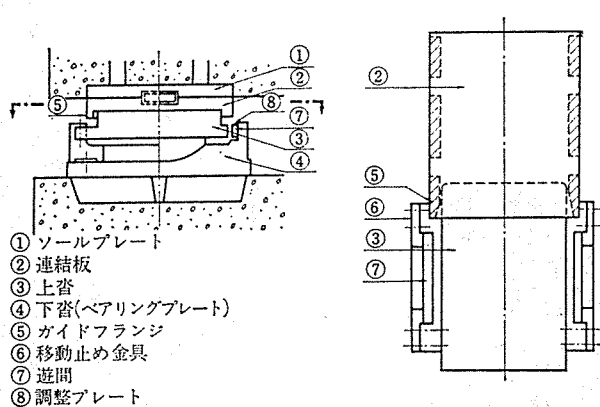


図-11 RS 支 承

鉛直ジャッキと水平ジャッキにより橋体を前方に送り出していくものである。

(3) RS 式押し工法

RS 式押し装置における, RS 支承は滑り沓兼用型支承 (図-11) であり, 上沓の上面にテフロン板を設置したサポートプレートを固定し, 架設時の滑り沓の機能を果たす構造となっている。架設完了後このサポートプレートを取りはずし, 本沓を一体化して支承の機能を果たす構造となっている (図-12)。

表-2 に各種工法の総括比較を示す (“PC 橋架設工法総覧” 技報堂より抜粋)。

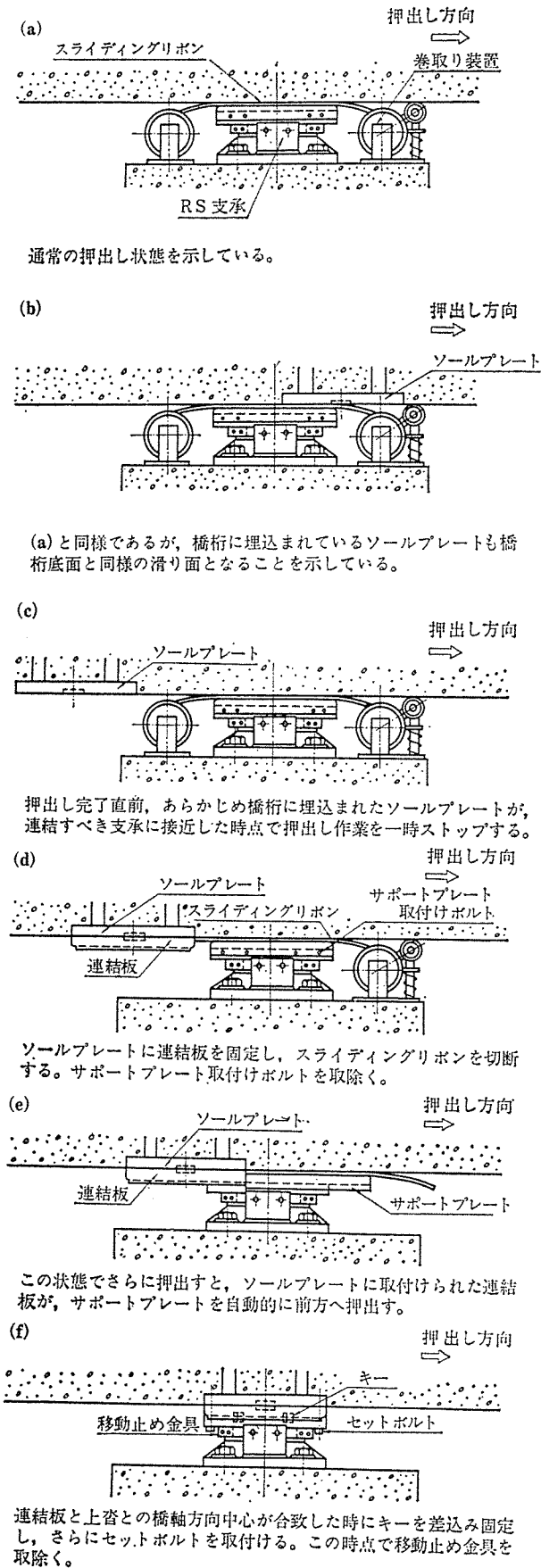


図-12 RS 工法押し出要領と本沓セット要領

4

施工上の留意点

(1) 橋梁線形条件への対応

i) 曲線桁への対応

通常、桁の押し出線形は、押し出中の軌道のシフト量をなくすために単円または直線とすることが多く、そのときの橋面線形と押し出線形のシフト量は張出し床版長で調整することによって対応している(図-13)。

押し出方向は、押し出線形の接線方向とすることが多く、橋桁が所定の軌道からずれたときは、押し出装置の方向修正や横方向ガイドを設けて方向の修正を行う(図-14)。

この場合の押し出最小半径としては、一般にスパン長の5倍程度が必要とされている。

また、高速道路の加速車線部分などの拡幅をもった橋

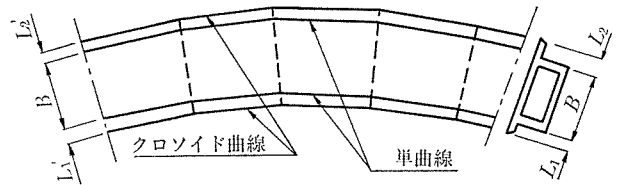


図-13 橋面線形と押し出線形とのシフト量の対処

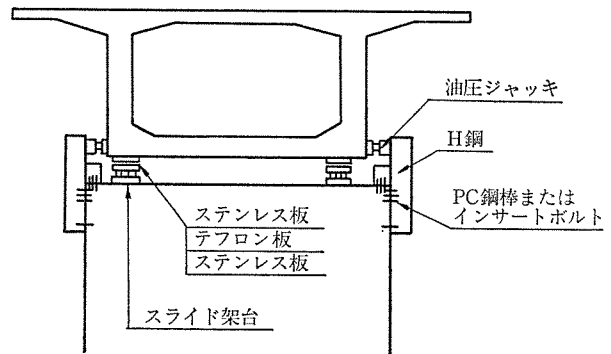


図-14 横方向ガイド

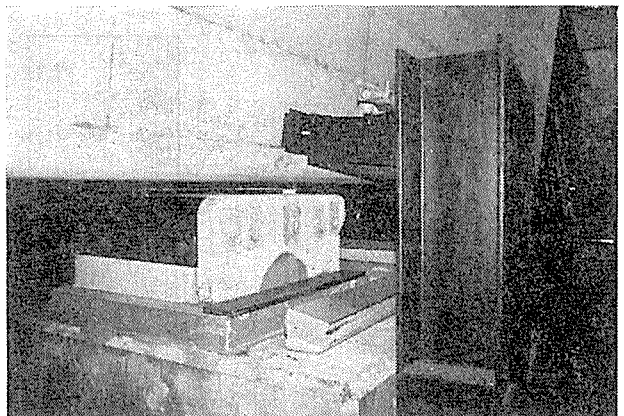


写真-4 横方向および沓

梁にも架設が可能である(図-15)。

ii) 縦断勾配への対応

SSY 工法においては、鉛直ジャッキと水平ジャッキは水平に設置され、水平ジャッキには縦断勾配に合わせたテーパー板を使用する。押し出し可能な縦断勾配は、テ

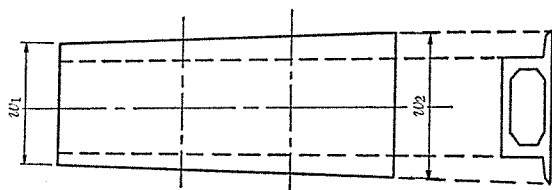


図-15 拡幅をもった橋桁(施工例)

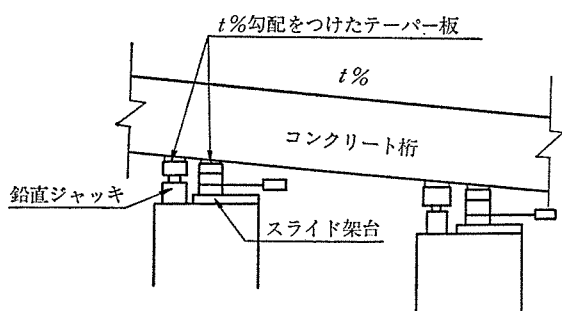


図-16 縦断勾配への対応

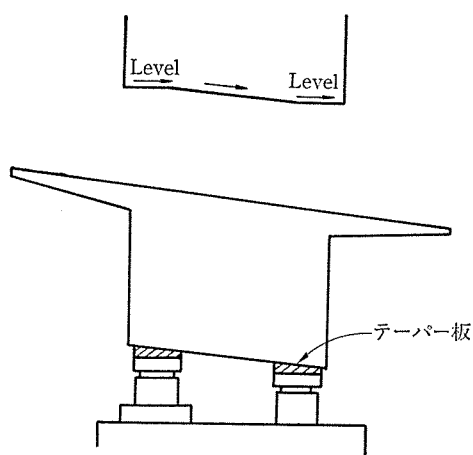


図-17 横断勾配への対応

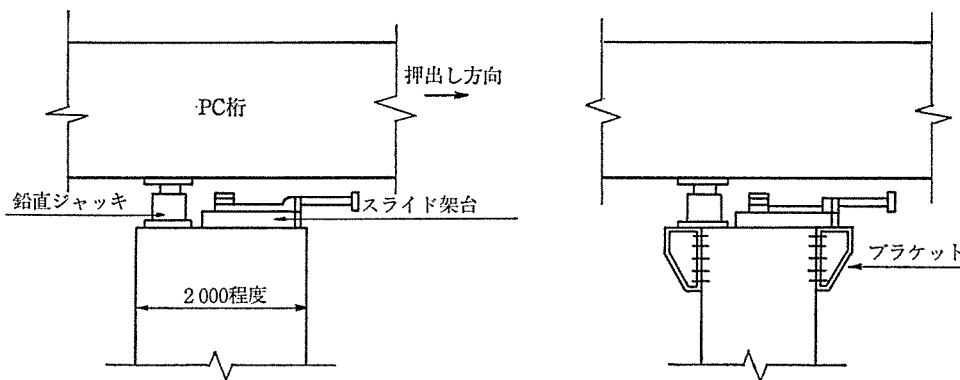


図-18 SSY 工法による反力台作業スペース

ーパー板と桁下面の摩擦および鉛直ジャッキのストロークと水平ジャッキの1回の水平移動量から決定される(図-16)。

T.L. 工法では、各反力台の滑り沓が橋桁下面の勾配に合わせて設置されるため、桁下面と滑り沓の摩擦の関係により押し出し可能な縦断勾配が決定される。

iii) 横断勾配への対応

横断勾配についても縦断勾配と同様に対処する。必要に応じて、押し出し装置の接する橋桁下面に図-17のようにレベル区間を設けて対処することもある。

(2) 反力台の作業スペース

SSY 式押し出し装置は、各反力台に鉛直ジャッキと水平ジャッキを設置するため、その設置に必要な十分な広さが必要となり、橋脚では橋軸方向に2m程度の幅が必要である。場合によっては、ブラケットや仮支柱により作業スペースを確保することが必要となる(図-18)。T.L. 式押し出し工法では、ジャッキ設置箇所には広いスペースが必要となるが、他の反力台は滑り沓の設置のみであるため比較的狭いスペースでよい。

また、各反力台の桁下空間は、押し出し装置の撤去や押し出し作業、本沓据付け等の作業に必要な空間を確保することが必要である。

(3) 主桁製作ヤードの設置位置とその形状

主桁製作ヤードには、資材の搬入、型枠の設置、鋼材の組立て、コンクリートの打設および養生、PC 鋼材の緊張など一連の作業を効率よく行うことのできる設備が必要で、その設備は主桁製作台、型枠、鋼材組立台、上屋設備、荷役設備が標準とされている。

主桁製作ヤードの一般的な配置は図-19に示すとおりであるが、主桁製作台から橋台までの控え長は、第1径間部に仮支柱等を設置してこれに換えることがある。この場合は、側径間部もヤードとして利用するため橋台裏のヤード長さは短くてよいという利点があるが、図-20に示すように仮支柱等仮設備が多く必要となる。

また、主桁製作ヤードは1箇所限定するのではな

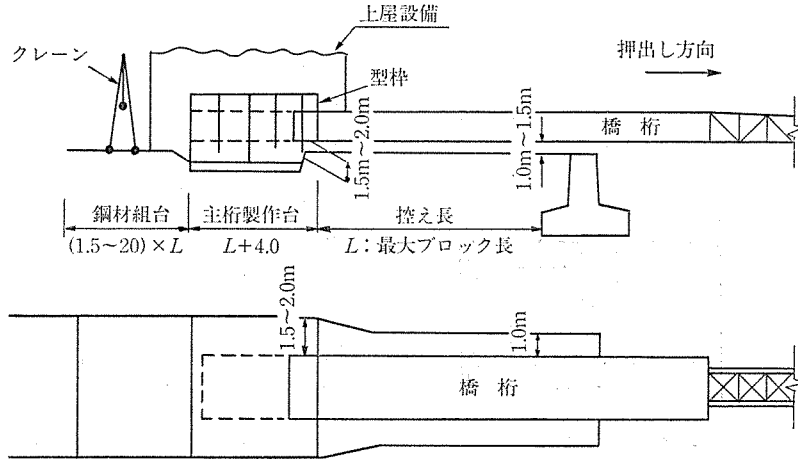


図-19 標準的な主桁製作ヤード

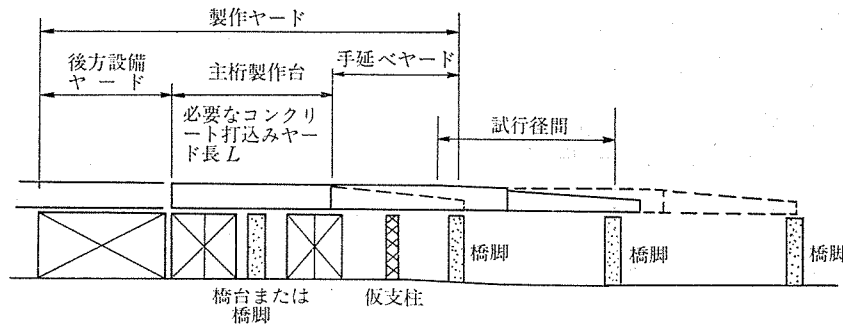


図-20 側径間をヤードとして利用する場合

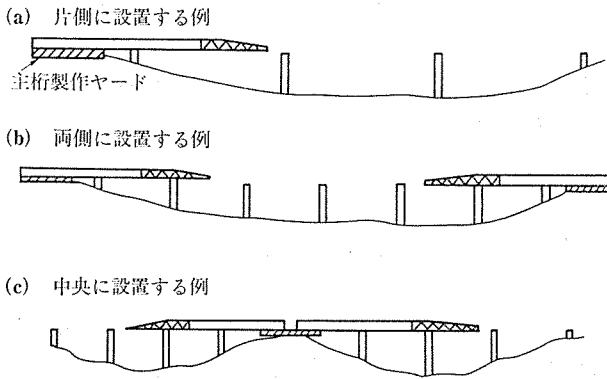


図-21 主桁製作ヤードの例

く、橋梁の規模、地形、工期に応じて、図-21 のように複数の桁製作台を設けることも有利となることがある。

(4) 主桁製作ヤードの位置を決定するうえでの控え長の決定

主桁製作ヤードの一部である控え長は、押し出し架設初期の転倒防止、地覆・高欄等の橋面工の一部を控え長部分で施工する場合の必要長さ、コンクリートの所定の強度が発揮されるまでの養生期間をとるための長さ等を考慮して決定されるもので、一般には1ブロック長以上とされている。



写真-5 主桁製作台および型枠

転倒防止による控え長は、一般に図-22により決定されている。

(5) 主桁製作台の計画

主桁製作台の位置および方向は、架設する橋梁の縦断線形および平面線形を考慮して定め、工事中の荷重に対して、有害な変形、沈下を生じない構造とし、作業性の良い機能を有するものでなければならない。

(6) 鋼材組立て台の計画

鋼材組立て作業は、主桁製作台上での主桁製作と並行して行われ、一連の作業と連続性をもった作業とするた

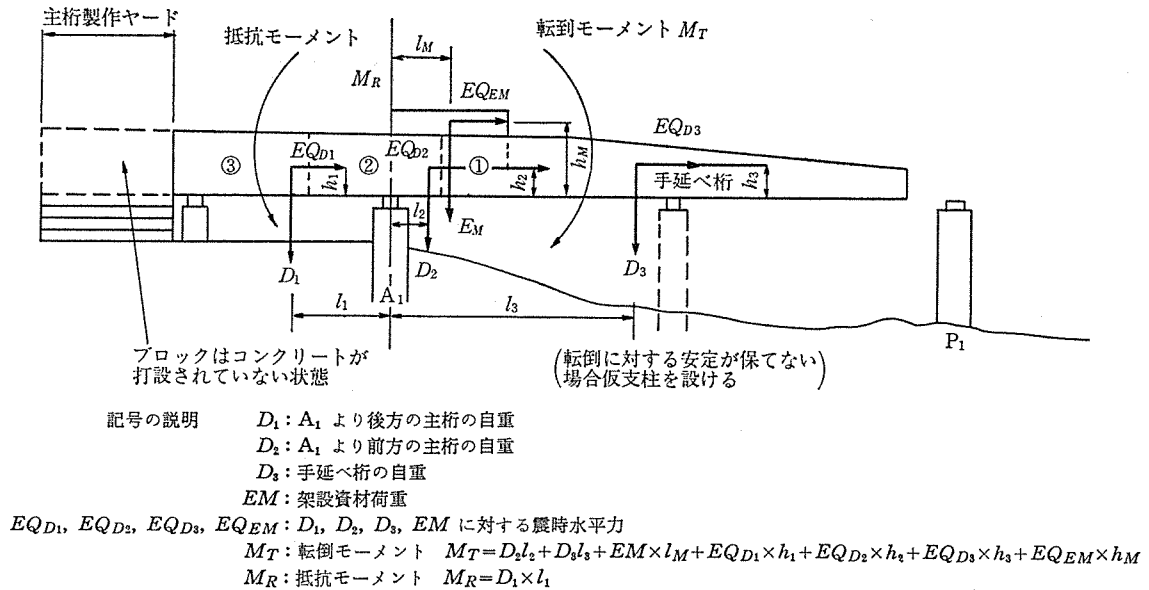


図-22 桁の転倒の検討

めに、鋼材組立て台は、主桁製作台の後方に設置し、その長さは最大ブロック長の1.5倍程度とするのが良い。

(7) 上屋設備の計画

上屋設備は、主桁製作台あるいは鋼材組立て台をおおう設備で、雨天作業を可能にする。上屋の長さは1ブロック長程度で、固定式あるいは移動できる構造とすることが多い。

また、上屋設備は、立地条件、気象条件等を考慮して、風荷重等の外荷重に対して十分安全な構造とするとともに、クレーン設備等を取り付ける場合は、その荷重や衝撃に対して安全な構造としなければならない。

(8) 手延べ桁

手延べ桁は、押し出し架設中の張出しモーメントを減少させる目的で桁先端部に取り付けるものである。

組立ては、橋台背面と主桁製作台間の控え長区間、あるいは、第一径間部に支保工または仮受台で行うのが一般的である。

手延べ桁の断面形状は、I断面および箱断面が代表的で、その長さは最大スパン長の60~80%が適当とされている。

手延べ桁と主桁の連結方法は、主桁先端に突き合せて連結する突合せ方式と主桁の上部に固定する上載せ方式の方法がある(図-23)。

(9) 本沓セット時の反力調整

押し出し工法では、橋体を計画高さに維持して移動させ、本沓セットは、あらかじめ橋桁にセットされた上沓ソールプレートに下沓部を取り付け、下沓を無収縮モルタル等で固定することにより本沓セットを完了するのが一般的である。

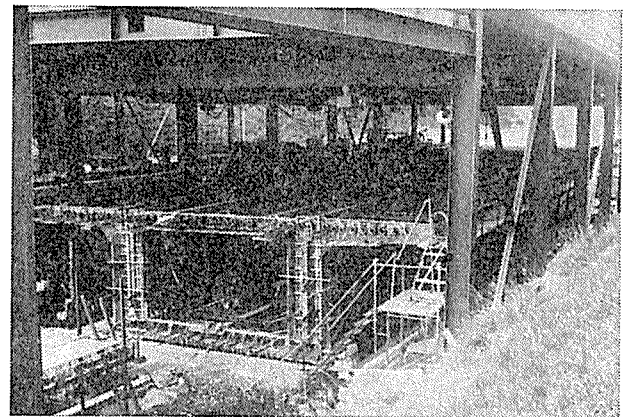
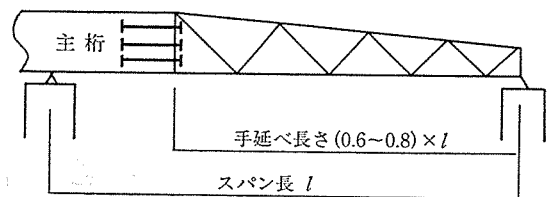


写真-6 上屋設備と製作ヤード

突合せ方式



上載せ方式

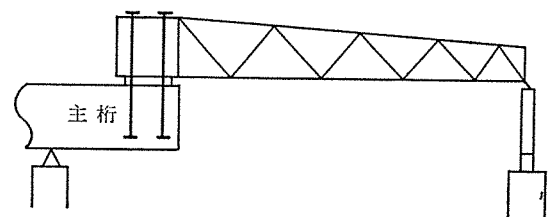


図-23 橋桁と手延べ桁の連結方式

◇講 座◇

しかし、実情では橋台や橋脚の沈下、橋桁の出来形等により計画高さに押し出されることは難しく、本沓セット時には反力調整を行って所定の沓反力となるように高さ調整を行うことがある。この場合は、適当な方法を用いた適切な施工計画と施工管理が必要となる。

(10) 架設時の管理

橋体は押出し装置により移動されるため、押出し架設中はこの押出し装置の管理が最も重要な作業となる。押出し装置は橋体の重量を支持し、その反力が数トンから1000トン近くまで変化する。支持台はその荷重に十分な強度をもち安全な構造とすることはもちろんであるが、万一支持点の沈下が生じて柔軟に対応できる構造とするなどの配慮が必要である。特にブロック製作ヤード上の反力支持台は、一般に直接地上に支持させる場合が多く、最初のブロックを製作・脱枠したときのコンクリート重量は反力支持台に集中載荷されることになるので、沈下を起すことがある。このような場合は、沈下がある程度完了した時点でジャッキ等に高さ調整用のライナープレート等を用いて橋体を所定の高さに修正して押出し作業を行うなどの対策が必要である。押出し架設中は支持点の反力バランス、高さ、方向等が施工計画どおりになっているかどうかを常に管理するとともに、異常が生じた場合はただちに押出し作業を中止し、その原因を取り除き安全を確認して再開しなければならない。

押出し作業時に特に留意する点をまとめると概ね以下に示す3点に集約できる。

- ① 橋体の高さや押出し方向の管理。
- ② 転倒に対して安全な支持構造とするとともに滑動に対しても安全な対策を講じる。
- ③ 押出し架設の管理場所が各橋脚等に分かれているので、相互の連絡、移動が容易となるように常に情報伝達を行って全員一致の安全対策による押出し架

設を遂行する。

5

おわりに

従来の工法では対応しにくいとされていた支間40～60mのプレストレストコンクリート橋梁に適した架設工法として注目されている押出し工法は、以上のような種々の特長と有利性をもった工法として広く認識され実用化されている。しかし、架設方法が一種の張出し工法であるがゆえに制約をうける設計上の課題がある。最適桁高(スパン比1/15～1/18)の問題やそれによる上部工反力が下部工に与える影響、上部工の架設中に必要なプレストレストとして導入されるPC鋼材量等による経済性の課題である。それらの課題に対応するためには、コンクリート材料の軽量化や機械化による省力化、工期短縮を図るとともに、設計基準や積算基準の見直し等の方策を講じる等、押出し工法の経済化への技術開発・研究とその環境づくりが重要である。桁下空間の地形的・社会的制約を受けない架設工法として、高い安全性を有した押出し工法の特長を十分発揮して、より一層発展するためには、特にこうした視点での努力が必要不可欠と思われる。

このような観点で、押出し工法の特長と施工時の留意点を紹介したつもりである。今後の橋梁計画の際の一助として参考にして戴ければ幸甚である。

【記：板井栄次*1，仙洞田将行*2，中村一樹*3，
長尾徳博*4，理崎好生*5】

*1 住友建設(株)

*2 興和コンクリート(株)

*3 オリエンタルコンクリート(株)

*4 富士ピー・エス・コンクリート(株)

*5 ピー・エス・コンクリート(株)

講座の内容について

講座部会

PC橋梁の架設についての講座を第29巻第3号より続けてきました。

第1回、固定支保工架設工法(第29巻第3号)

第2回、プレキャスト桁架設工法(第29巻第4号)

第3回、張出し架設工法(第29巻第5号)

第4回、押出し架設工法(本号)

今回の第5回は、大型移動支保工による架設工法

(その1)(第30巻第1号)、第6回は、大型移動支保工による架設工法(その2)(第30巻第2号)となっており、最終回はその他として、特殊架設工法を計画しております。以上をもちましてPC橋梁の架設工法についてはおわりとなります。読者の皆様の講座に対する御意見をどしどし編集委員会におよせください。