

## 「押し出し工法による PC 桁設計・施工の手引き」について

橋 田 敏 之\*

## 1. 概 要

国鉄では、1976年、東北新幹線「猿ヶ石川橋梁（スパン 30 m, 13 径間, 橋長 390 m, 複線箱桁）」において最初の押し出し工法による PC 橋の架設の試行を行った結果、安全性について高い評価を得たが、さらに支承部などについて安全性に関する工法の改良を加えることにより、東北新幹線「夕顔瀬川橋梁」（スパン 29.5+21+2×30+38+32+30 m, 橋長 212 m, 複線連続箱桁）ほか多数の主として鉄道線路、道路上空横断に押し出し工法が盛んに採用されるようになり、現在までのところ、計画および実施橋梁数はおよそ 40 橋、6 000 m に達する状況にある。

このような盛況は、新規に採用された工法としては異例のものであり、筆者はしばしばこの理由を問われることがある。

このような発展には幾つかの理由があげられるが、特に鉄道橋に限定して押し出し工法の特長にふれながら説明をこころみことにしたい。

橋梁の選定にあたっては、橋梁設定の基本条件（使用条件、自然条件、社会条件）に適合するように構造形式、架設工法が選定されることが要求される<sup>1),2)</sup>。

押し出し工法と橋梁設定の基本条件との関係を述べれば次のようになる。

第一の使用条件への適合性については、高い安全性とそれに由来し道路、鉄道線路上の橋梁架設に特別の交通規制を要さないため、交通規制に伴う施工監督が省力できること、経済性の面では PC T 桁に匹敵する経済性を有すること（多少の桁高制限のある 8 主 T 桁に比較し十分経済的になり得る）、また背の高い足場式支保工による場所打ち工法に比較しても経済的になり得る場合がある、軌道線形（曲線、縦断勾配）に対しても実用上十分な対応が可能である<sup>3)</sup>、ことをあげることができる。

第二の自然条件への適合性については、桁製作ヤードを架設場所より離すことができ、かつ狭いスペースに限定でき大型施工機械の使用を局限できるところから、場所打ち工法が高い支保工のため困難となる自然条件において、これらの条件を容易に克服することができる。

最近の実施例より具体的に押し出し工法の採用の条件をあげると次のようなものがある。

交通規制の困難な道路、鉄道線路上の橋梁、桁高制限が厳しく、ステーキング、型枠を用いた場所打ち工法の採用では、架設時において架道橋の建築限界が確保できない架道橋、河川の栈橋設置期間の制約を受け、そのため工事期間が不足する河川橋梁、場所打ちのための作業用通路がなく、かつ重機による架設が安全作業上好ましくない場合などである。

第三に社会的条件への適合性については、先にあげた押し出し工法の特長である高い安全性と製作場所と架設場所が分離できることに由来し、高い適合を示すことができる。すなわち、作業騒音、建設災害のおそれの多い桁の製作を住宅密集地より離すことができ、かつ桁製作場所に要する用地を局限できる。架設においては重機、大型クレーン類を使用しないため、住宅地、都市部などにおける適合性に優れるものと考えられることができる。

実橋においては、1 連の橋梁においてこれらの条件が複合して橋梁の設定条件として要求される場合も多く、そのような場合には押し出し工法の選定の必然性は極めて高いものとなるものである。

押し出し工法を施工する側からの特長は、型枠、支保工等の作業の省力化が顕著であり、作業は上屋の設置により全天候化が可能であるところから作業が計画どおり進展できるため、作業計画、工期、ひいては予算の管理が容易になり得る。

以上述べたように押し出し工法は、橋梁設定のための基本条件に対して高い適合性を有する工法ということができ、これらが最近における本工法の著増の理由の一部と考えられるのである。

1972年より着手した東北・上越新幹線においては、計画の前期において、着工の容易な長大河川橋梁の施工が多く実施されたが、最近においては架設が困難な道路・鉄道線路上の横断架設が集中して行われるようになった。従来、PC T 桁で計画されてきた橋梁が、交通規制、施工監督面などの制約より押し出し工法の改良による安全性の向上と相まって、押し出し工法による箱桁に計画変更したケースも少なくない。以上、二つの理由も最近において押し出し工法が急激に多く採用された大きな背景となって

\*日本国有鉄道構造物設計事務所主任技師

いるのである。

押出し工法は、以上に示したように橋梁設定条件への適合性に優れる反面、部材が架設時に押出し装置により種々の支持状態を経ることから、一般の架設工法に比較し、設計が繁雑であり、設計の細部の検討といえども安全性の確保に重要な影響をもつことになる。

また、増大する押出し工法による PC 桁の安全性、施工性の確保のため押出し工法に関する指針、手引きの要求が高まったため、昭和 55 年 3 月「押出し工法による PC 桁設計・施工の手引き」を取りまとめた。

本文では手引きの概要とその主要点についてふれて、押出し工法を理解する参考に供することとする。

なお本手引きは、総則、設計、施工の 3 章、全 33 条よりなり、末尾に参考資料として製作ヤード、仮設、押出し装置、押出し工法の説明等を収録している。

## 2. 「押出し工法による PC 桁設計・施工の手引き」の要点

この手引きは、押出し工法を用いて鉄道線路、道路などの重要な施設を乗り越す場合の PC 橋の設計・施工に適用するものとしている。したがって交通路などを越えない場合の押出し PC 桁に対しては、本手引きの安全に関する項目を緩和することができるものとした。

対象とする押出し桁の断面形状、スパン等については特に限定していない。

なお、( ) 内は手引きの条文を示している。

### 2.1 設計基本事項 (3 条)

橋梁計画の決定にあたって検討しなければならない基本事項を以下のように定めている。

#### (1) 押出し施工時の桁の安定

桁の安定を検討する場合は、一般に最も不安定な状態に関して、はね出し部に自重の 0.1 程度の鉛直荷重が作用しても回転に対して 1.2 以上の安全率を確保するようにした (図-1 参照)。

#### (2) 押出し施工時の安全性確認のためのスパン割り

押出し装置が円滑、確実に作動すること、手延べ桁および取付け部の安全性を確認すること、押出し作業に習熟するための押出しの試行ができるように、鉄道、道路などの上空を横断する径間の直前に試行に必要なスパン

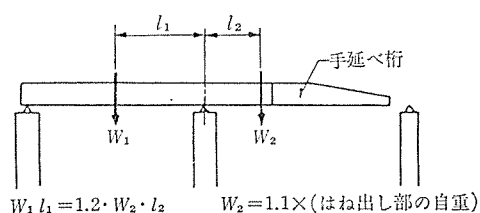


図-1 桁の安定

を設定することとした。したがって押出し工法の橋梁では、試行スパンの関係からも一般に 3 径間以上のスパン割りとするのが望ましい。

#### (3) 押出し施工時の桁の応力度

押出し施工時に支点が逐次変化し、それに応じて断面力が変動するため、押出し施工時の桁の応力度の検討は不可欠となる。

#### (4) 押出し施工時における地震時の安全

押出し桁は、架設期間が桁の製作期間に相当する比較的長期を要するため、押出し施工時においても特に地震の影響を考える必要がある。特に支承部の応力度、補強が十分であるかどうかの検討を行う必要があることを示している。また押出し施工時に地震の影響により桁が逸走しない装置としなければならないこと、押出し施工時の水平震度は、設計震度の 1/2 を考えることにした。

#### (5) 押出し方式の選定

押出し方式には、水平力の加え方により、大別して分散方式と集中方式があり、それぞれ独自の特徴がある。

分散方式は押出し施工時において支点となる位置にはすべて鉛直ジャッキと水平ジャッキを設置し、各支点が押出し機能を有するのに対し、集中方式は 1 個所に水平ジャッキを設置し桁を押し出す方式がとられている。

集中方式では、したがって水平力に対する反力台が特に必要となる。

#### (6) 押出し装置の配置位置

鉄道、道路上などを横断する場合における押出し設備の配置位置は、鉄道、道路上を短時間に連続して押し出すことができるように、また資材搬入路の有無、交通路などの近接状況、他工事との競合などを考慮して決定する必要があることを示した。

#### (7) 仮橋脚、手延べ桁等による押出し施工時の断面力の低減

押出し施工時に生ずる断面力に対して、一般に PC 鋼棒を配置するのであるが、手延べ桁、仮橋脚の設置、あるいは中央径間が大きく、かつ仮橋脚の設置ができないときは両側より押し出し、中央で接合するなどの方法により断面力の低減をはかり、完成時には不要な、施工時のための PC 鋼棒の使用量を減らすなどの総合的な検討を行うことが必要であることを示している。

#### (8) 地盤条件などより定まる構造形式

押出し施工、桁の経済性などの観点より、押出し桁は 3 径間以上の多径間連続桁が望ましいが、地盤変位の大きい軟弱地盤などでは連続構造として押し出し、押出し施工後切り離して単純桁とする場合、あるいは押出し装置の存置数や、押出し反力の制約より最大連続押し出し径間数が定まる場合があるので構造形式の検討が必要であ

ることを示した。

### 2.2 断面形状（4条）

押し出し工法では、断面形状は、一般に1室箱桁が大部分を占めているが、特別の条件のもとでは2室箱桁、中路桁、下路桁等の断面の使用例もかなりある。

桁の外形は一般に桁全長にわたって等しい形状とするのが、施工性、経済性の面から望ましいこと、また桁の断面形状は押し出し時のシュー位置および反力を考慮して定める必要があることを本文に示した。また断面細部については、支承の反力が下スラブに作用して過大な応力度が生じないようにハンチの大きさ、形状などを検討することが必要であることを示した（図-2）。

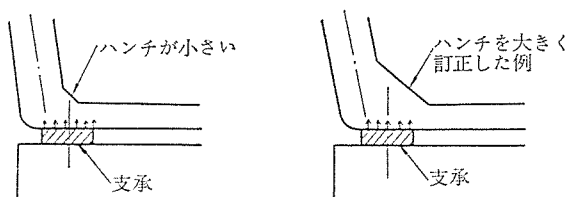


図-2 ハンチの形状

### 2.3 設計に関する要点

この手引きの設計に関する要点をあげれば、以下のようである。

#### (1) コンクリートのクリープ、乾燥収縮の取扱い（9条、16条）

後打ちブロックの架設用緊張材の緊張力が、先打ちブロックに配置されている緊張材にも導入できるように架設用 PC 鋼材の接合部構造（図-3）を用いることを原則とし、このような配慮により、クリープ、乾燥収縮による PC 鋼材の緊張力の減少量の算定に用いる緊張時のコンクリート材令は 10 日とみなして計算してよいこととした。また、押し出し施工が終了後に緊張される緊張力の

クリープ、乾燥収縮による減少量の算定は、押し出し最終径間で設計荷重作用時に最大応力度を生ずる位置のコンクリートブロックの材令を用いてよいこととした。

#### (2) 押し出し施工時の支点沈下の取扱い（10条）

主桁の設計においては、押し出し施工時の支点沈下の影響が主桁に生じないように支点高さの調整を行うことを原則と定め、そのため支点の沈下による設計断面力の割増しなどの配慮は行わないこととした。

押し出し施工時には、仮橋脚の沈下、受桁構造上に支点を有する桁の支点高さの変化などにより、押し出し桁の支点高さは、押し出しの進展にしたがって変動するものであるが、“高さ調整機能のある押し出し装置”を用い押し出し桁の支承高さの調整を行うことを原則と定めて、支点沈下に対する設計上の特別な補強は行わないこととしたのである。

#### (3) 許容応力度（11条）

設計荷重作用時のコンクリートの許容応力度は建造物設計標準の定める値とするが、押し出し施工時のコンクリートの許容曲げ引張応力度は、表-1 に示すように常時において、経済性の観点より  $\sigma_{ck} = 300 \sim 500 \text{ kg/cm}^2$  の範囲に対して  $8 \sim 12 \text{ kg/cm}^2$  の値を認めることとした。

押し出し施工時においても、地震の影響を考えると、 $\sigma_{ck} = 300 \sim 500 \text{ kg/cm}^2$  に対応し、 $25 \sim 35 \text{ kg/cm}^2$  の許容曲げ引張応力度を定めた。

仮設物の設計（仮橋脚、仮シュー、手延べ桁、桁製作ヤード支保工の設計）に用いる許容応力度に対しては永久構造物と同等の許容値を定め、また表-2 に示す割増し係数を定めた。さらに変位による押し出し桁への影響も考慮するものとした。

#### (4) 構造細目

シューの位置は、原則として主桁腹部下方に設けるも

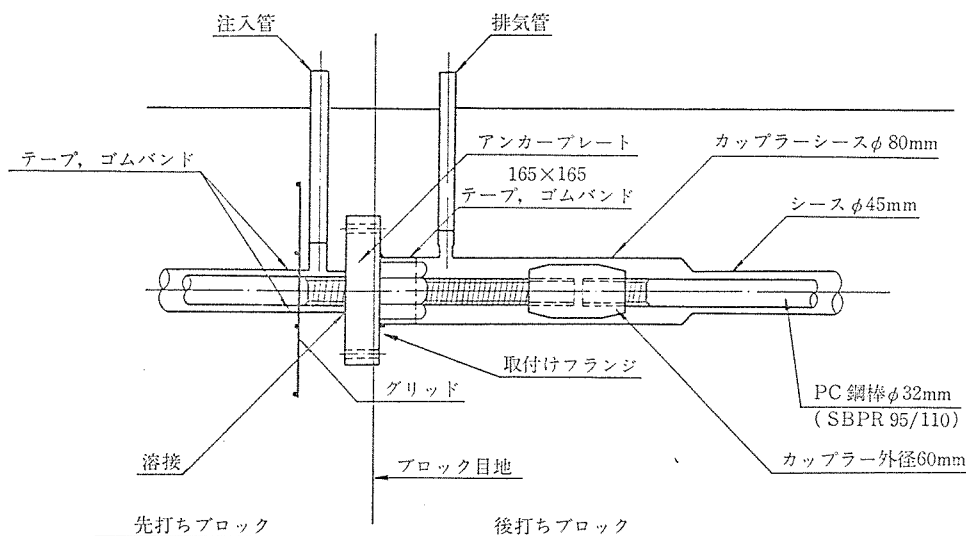


図-3 仮設用 PC 鋼棒の接合部構造

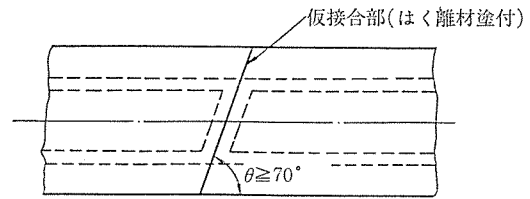
表一 主桁の設計に用いる許容応力度

適用範囲		$\sigma_{ck}$ (kg/cm <sup>2</sup> )		
		300	400	500
常 時	許容曲げ圧縮応力度 (kg/cm <sup>2</sup> )	140	180	200
	許容曲げ引張応力度 (kg/cm <sup>2</sup> )	-8	-10	-12
地 震 時	許容曲げ圧縮応力度 (kg/cm <sup>2</sup> )	150	200	250
	許容曲げ引張応力度 (kg/cm <sup>2</sup> )	-25	-30	-35

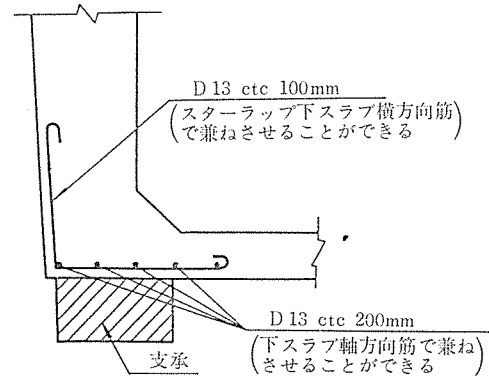
表二 仮設物の許容応力度の割増し係数

荷重の組合せ	割増し係数	
D	1.0	
D+W	1.2	
D+E	鋼 材	1.7
	鉄筋コンクリート	1.5

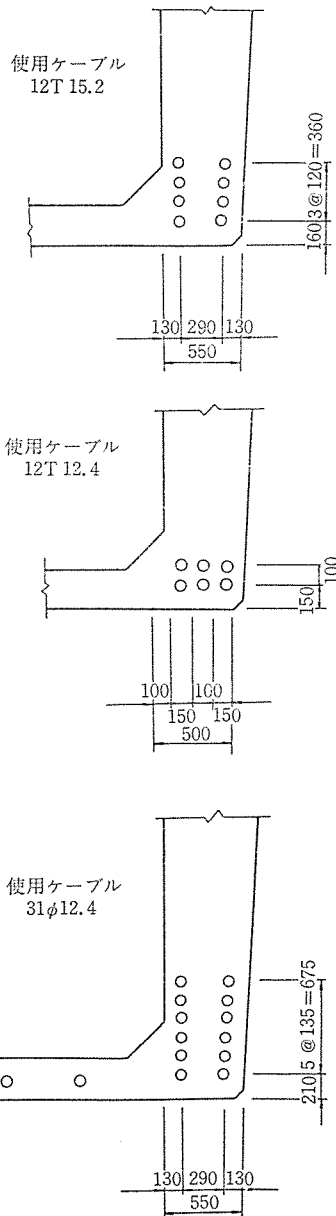
ここに、D: 死荷重, W: 風荷重, E: 地震荷重



図一五 ブロックの仮接合



図一六 受圧面の用心鉄筋



図一四 PC 押し出し桁の PC 鋼材の配置例

のとした。この理由は、シューからの反力を直接腹部に伝達することが合理的であることと、仮設用 PC 鋼材が実設計では主桁腹部以外に配置され、またストッパーも同様に腹部以外に配置されるため腹部下方がシュー配置位置として最も好ましいことと、桁を架設する橋脚上には押し出し装置として兼用シューの配置を定位 (26条 3 項) としているためシュー位置が必然的に主桁腹部下方となるのである (14条, 26条)。

PC 鋼材の配置 (15条) については、架設用 PC 鋼材について 4 項の注意をあげ、押し出し架設終了後の荷重に対して配置される PC 鋼材に対しては、シースのかぶり厚はシース外径の 1.5 倍か 100 mm のうち大きい値以上とし、あきに対しては次式 (省略) を満足しなければならないとした。なお、複線箱桁における代表的な PC ケーブルに対する配置の参考例を示した (図一四)。

単純桁構造の斜角箱桁を仮接合して押し出す工法における仮接合部斜角 (17条, 図一五)<sup>4)</sup> は、図一五に示す直線状の接合面の場合、70° までの斜角では接合面のずれが架設中に生じないので直線状の接合面で十分であるが、70°~65° の範囲では接合面にせん断キーを用いればよいことを示した。

用心鉄筋 (18条) として、押し出し施工時に一時的に支承位置となる主桁腹部下方には、図一六に示す用心鉄筋を配置するものとした。この用心鉄筋は、支圧補強に対して有効に作用することが期待できる。

## 2.4 施 工

### (1) 施工基本事項 (19条)

## 報 告

この手引きでは施工基本事項を以下のように定めた。

- ① 設計と施工の一致をはかる。
- ② 適切な施工管理を行う。

使用する押出し工法は第①項を満足する機能をもつ工法を選定し、その工法の機能を発揮する施工管理を行うものとする。

桁の製作と架設が交互に行われ、かつ支点位置が押出しの進行に従って逐次変化する押出し工法では、押出し作業において構造計算で想定した断面力と一致する施工が行われることが基本的に要求される。そのためには桁の製作誤差、形状を考慮し、押出し時の支点高さなどを管理しなければならないのである。

### (2) 押出し装置の機能 (26条)

押出し装置に要求される機能を次の4項に示すように定めている。

- ① 押出し装置は、桁を支持し、円滑に押し出し、かつ地震時に水平力が作用したとき桁の過走を防止する機能を有するものでなければならない。
- ② 押出し装置は、押出し時に、計算外のねじりおよび曲げモーメントを与えないよう押出し時の支承高さを調整できる機能を有するものでなければならない。
- ③ 本工法で桁を架設する橋脚上には、兼用シューを用いるものとする。
- ④ 仮シューは支保工、仮橋脚上に強固に固定し、仮シューに作用する地震時および押出し時の水平力に対し十分な安全度をもつものでなければならない。

第①項の過走防止機能は、押出し装置そのものに十分期待することが困難な場合には、異状事態において過走を防止できる装置を設ける必要があるのは当然のことである。

第②項は、押出し時の桁の支承高さを調整する機能が押出し工法では要求されることを示したものであり、現在実施されている工法では、本項を満足するためにはより一層の徹底した施工管理が要求される。できれば押出し装置の今後の一層の改良が望まれる。

第③項は、押出し桁が架設される橋脚上には兼用シューの使用を義務付けた条文である。兼用シューは、押出し架設機能を備えた支承で、桁完成時には本支承となる支承であって、兼用シューの採用によれば、シューの据付け位置を主桁腹部下方に設けることができ(14条に主桁腹部下方に設けることが義務付けられている)、かつ橋脚頭部上での押出し終了後のシューの据付け、切欠き部の後埋めコンクリート作業を廃止でき、安全性、施工性および経済性の面より有利となる。

### (3) 押出し装置の試験 (27条)

押出し装置は、使用にあたり装置の安全度を試験により確かめておかなければならない。押出しに際しては、押出し装置は正常に作動することを試運転等により事前に確かめることが必要であるが、ジャッキ等の機械部品は耐圧試験を実施し、十分な安全度を有していることを確認することが必要である。

### (4) 橋脚頭部等の足場 (28条)

「押出し作業において、押出し装置、資材および作業員の転落防止のため橋脚頭部、受桁などに、本設備による検査足場を押し出しに先立って設け、作業足場として使用することを検討しなければならない」と定めている。

### (5) 施工管理 (31~33条)

交路等の上空横断の場合の安全を確保するための押出し管理について定める重点事項は、下記のとおりである。

- ① 気象条件、列車の運転状況を確認する。
- ② 道路上を横断する場合は、道路管理者との協定による。
- ③ 試行スパンにおいて押出しの試行を行う。
- ④ 手延べ桁、主桁上およびその周辺に落下物がないことを確認する。
- ⑤ 交通路上の安全確保について適切な措置をとる。

## 3. あとがき

国鉄における最初の押出し工法によるPC桁、東北本線「猿ヶ石川橋梁」では、西独において開発されたオリジナルの押出し工法が適用された。その後の押出し橋は、特に安全性、施工性などの改善を目標に種々の検討を行ってきた。

その主要な改善点は、「兼用シューの開発」、「押出し時の安全管理」、「施工管理」、「スパン割りなどの設計基本事項」など多岐にわたっている。

しかしながら、押出し工法は使用され出してまだ数年のまったく新しい架設法であり、今後まだまだ改良の余地が多いものと考えている。現に手引きに示されていない有用な改善も行われつつある。

押出し工法をさらに安全で経済的な架設工法に発展させるために押出し装置、施工管理などに改良を加えて、なお一層の発達が展開されることを心から期待している。

### 参 考 文 献

- 1) 高橋浩二：鉄道高架橋の具備すべき基本的条件と構造形式の変遷に関する研究、鉄研報告第1082号
- 2) 橋田敏之：橋梁の設定条件と施工計画について——PC鉄道橋——、プレストレストコンクリート、Vol. 22, No. 3, 1980
- 3) 橋田敏之：押出し工法によるPC鉄道橋の設計施工、PC技術協会、1980年度講習会テキスト
- 4) 橋田敏之：PC押出し工法における仮接合斜角度の限界、構造物設計資料、No. 58