

特集

押出し工法

プレストレストコンクリート押出し工法

町 田 富 士 夫*

1. 序

プレストレストコンクリート橋梁の建設にとって、架設工法は極めて重要な意味を持っている。PC 桁の場合には、むしろ架設工法によって設計が決まってしまうと言える。反面、現場の作業空間、施工条件に対し、融通性に欠けるとも言える。新工法として押出し工法がわが国に紹介されたのもつい昨今のように思えるが、今回特集号が出されることとなった。これは、舶来の技術を十分消化吸収し、日本的な改良、工夫が積み重ねられて、いくつかの特許工法も生まれ、押出し工法による施工例も各種合計数十例の多きに達し、ようやく新工法が定着したためと思う。誠に結構なことで、かくして、従来工法と相俟って PC 橋の適用範囲がますます拡大されるものと思われる。

押出し工法は、支間 100 m、全長 600 m といった程度まで適用可能と言われている。橋台裏の一定した製作台で橋桁ブロックを製作し押出すという同一作業の繰返しを、週サイクルで続けることによって長大橋を完成するわけである。これは、おおげさに言うと建設事業の革命である。労働集約的な PC 工事を言わば装置産業化したものと言うことができる。一定の要員で曜日ごとに定められた作業を行うことになり、品質管理が容易に行われ、また結果的に高度の作業が期待され、生産性が高められると評価されている。

2. 押出し工法の発展小史

西ドイツのバウル氏とレオンハルト博士の基本構想から 1960 年代に発展したと言われる。当初の考えは橋台裏の一定個所で長さ 10 m 程度のプレキャストセグメントを製作し、ブロック工法的に橋梁全長を PC ケーブルで緊張し一体化して押出すというものであった。この考えによる最初の橋梁がオーストリアのザルツブルグとリンツ間の自動車道路の Ager 橋の計画である。これは 1959 年着工 1962 年完成した全長 280 m、4 径間連続、最大支間 85 m、桁高 4.5 m の箱桁橋で、1 セグメントブロック長は 8.5 m、目地コンクリート 0.5 m から成る。

* 国鉄構造物設計事務所所長

押出し工法の次の飛躍は、ベネゼエラの Caroni 河橋で、全長 500 m で 1962 年に完成している。最大支間 96 m、桁高 5.4 m の 6 径間連続橋であり、国際コンペに勝って採用となり、両氏の設計が脚光を浴びた。ここでも橋台裏製作台で 1 ブロック長 9.2 m、目地 0.4 m とし、ブロック工法により全橋梁を連結したあと押出している。この際、鋼製手延べ桁をつけ、補助用支柱を橋脚間に設置している。

ここで注目すべきことは、1964 年 8 月に F. Leonhardt 博士、W. Andrä 博士、W. Baur の 3 氏が西独の特許を申請し、1967 年 3 月 30 日には特許の公告 (No. 1237603) がなされている。特許の範囲は、「(1) 長大構造物、特に鋼橋、PC 橋の製作法に関して、架設地点の外側で、全長を同時に連結する代わりに、構造物のセグメントブロックを順次製作し、互いに連結し前方に押出す。押出し後、既設ブロックに型枠を固定してコンクリートを打継ぐ。(2) 製作したブロックを押出すには、ジャッキを用い、このジャッキを引張用鋼棒および連結構造上にのせたブロックに連結する。(3) ポリテトラ弗化エチレン (テトロン) 層を備えた滑り支承を用い順次、前方に押出す」といった範囲である。

この時点ですでに従来の方法から脱皮している。すなわち、桁全長を橋台裏で正しい位置に製作、据付けるためには、橋長が長くなると不経済となる。それは、押出し時の移動用軌道面が橋桁下面であるため掘削工費が嵩み、さらに押出し後に埋戻し締固める必要がある。また、全橋長を一体化するに当り、個々のブロックを正確に並べること、目地の施工等に手間を要することからコスト高となる。そこで対策として、1 セグメントごとに打設と押出しを繰返し行うこととしている。すなわち、押出し工法の構想がここに完全な形を整えたといえることができるのである。

かくして、1965 年、両氏によりオーストリアの Kufstein 市に全長 450 m の Inn 河橋が建設された。これは最長径間 102 m の 5 径間連続箱桁橋で、標準ブロック長は 25.6 m、セグメントの全数は 17 個、橋脚間に 2 本の仮支柱を設け、手延べ桁を取付けた本格的押出し工法であり、その効果を発揮できたものと言える。この方式 (VSL 方式) の建設は 1976 年末までに 80 橋、幅員 12 m

橋に換算して 25 km にも達し、いずれも成功している。フレシネー方式等国内で 20 連が施工されているので、総施工件数は現在優に 150 連を超えている。

わが国では室蘭市外の幌崩大橋が 1973 年 5 月に北海道庁の手により VSL 方式で初めて完成した。全長 170 m、最大径間 60 m の 3 径間連続箱桁橋、幅 10.7 m、桁高 3 m の一等橋であり、橋脚高さは 38 m ある。

鉄道橋としては 1976~77 年に猿ヶ石川橋梁がある。全長 390 m、PC 箱桁支間 30 m の 6~7 径間連続桁 2 連からなる。

押出し工法の架設時応力に対し、鋼橋でいう帆柱方式の補強すなわちステー方式が 1967~69 年にフランスの Boivre 橋 ($l=287$ m)、Luc 橋 ($l=279$ m) があり、架設時の平衡を保つためカウンタウエイトとして錘りを載せて架設したフランスの Champigny 橋がある。

セグメントブロックの分割すなわち 1 ブロック長についてみると、初期は 10 m 以下が多いのであるが、工期短縮のため次第に大型化し、現在では 7 日サイクルを守ることで 15~30 m 程度が最も経済的であるとされている。

押出し速度も操作をスピーディにする工夫がなされ、ジャッキによる場合 2~3 m/hr.、ケーブル引張方式では 8~16 m/hr. と早くなっている。わが国の RS 方式ではジャッキ方式ながらこれに劣らない速度が期待される。

桁の据付けには押出し時に用いる滑り沓に本沓を改良して使用するの各方式とも新しい工夫が加えられている。

軟弱地盤の連続桁式高架に対し押出し工法を適用する場合、あるいは耐震的に振動性状を同一にするため橋脚基礎を同形にしたい場合などでは、従来からの 1 か所で押出す集中方式よりも、わが国で考案された分散方式による方が適用し易く有利な新方式と言える。

最近、鉄道橋のうち道路、鉄道等との立体交差箇所とか特に施工条件が厳しい場合での適用例が著しく増加している。これは、押出し工法の持つ特長として安全性が極めて高いことが認識評価されたためである。

なお、押出し工法という名前は簡便であるがやや不明確である。ドイツ語の原義はタクト式押出し工法であり、名がよく意図するところを表わしている。すなわちタクト式というのは組立て、修理工場等でたくさんの部品を流れ作業的に円滑に組立ててゆく方式をさし、全体があたかもオーケストラが一人指揮者のタクトに合わせているかのごとき作業方式を言うのであり、桁の製作と架設が極めて無駄なくタクトに合わせて進められる施工法を意味している。

3. 押出し工法の特長

3.1 概 説

当初、深い谷を横断する多径間連続桁橋の架設工法として多く用いられた。しかし最近では道路、鉄道を跨ぐ多径間高架橋にも適用されている。橋の形状は直線桁のみならず曲線桁の施工例もある。断面は箱形断面、一般には 1 室箱形断面が多く、まれにダブル T 断面のものもある。橋梁の幅員が 10 m 程度の場合には 1 室箱形断面が経済的な断面であり、また架設中応力に対しては橋軸に圧縮応力を与え支点反力に対応し易い利点がある。押出し施工中には鋼製手延べ桁を先端に設けることにより足場が不要となるのが一般であり、場合によっては一部仮支柱を設けて例外的な架設時応力を減少させたり、錘りを載せて施工中のバランスを改善したり、その都度工夫をしている。橋台裏に製作ヤードを十分の広さとある程度の設備をもつ製作台を設けることにより、気象条件に左右されず品質管理の行き届いた工場並みの桁製作を行うことができる。この場合資材の運搬等が比較的容易となるのが普通である。押出し作業の滑り支承を本沓使用とすれば仮設作業が皆無となり極めて安全な架設工法となる。このような押出し工法の特長から長大橋の建設が、下部工は別として、連続桁の架設は橋台裏での桁製作と押出し作業という単純な作業に分解され、その繰返しによって可能となった。一定要員による同一作業の繰返しなので、生産性は向上し十分経済的になる要素がある。架設時の騒音、振動等公害はほとんどない。

かくして建設された橋梁は連続桁橋であり、水平線を強調した景観を呈し美観上も好ましいものである。

3.2 押出し工法の安全性

(1) コンクリート桁製作の安全性

PC 桁の現場製作は、初期にはコンクリート強度を確保するためスランプの小さい硬練りコンクリートを用いたために複雑な鉄筋、シースの間に打設コンクリートが回り難く、ポーラスな豆板等による失敗例があった。現在では、むしろ軟練りコンクリートを用い材料的には解決されたと言えよう。しかし、現場製作である PC 橋にとって、コンクリート打設は最大の注意をもって計画的に、しかも良い作業環境で施工することが望ましいのである。その意味で製作台を 1 か所とし集中的に強化することの安全に対する意味は大きい。

(2) 架設の安全性

架設工法について、当初、河川橋梁にあっては不時の洪水に遭い支保工基礎が洗掘され被害を受けたこともあり、乾水期の施工でも仮設備を十分に堅固に計画すること、プレファブ工法で工期を短縮するなどの対策が考え

られた。プレファブ工法は初期には奥羽本線米代川橋梁、全長 170m (3 径間) のごとく全足場式であったが、洪水など架設時の安全性を高めるためプレキャストブロック工法が開発された。山陽新幹線加古川橋梁、全長 500m (3 径間連続箱桁 3 連) は張出し式ブロック工法による例である。この場合、継目はエポキシ目地とし鉄筋補強によりフルプレストレスで連結しているが、鉄筋が通っていない。この点からみると押出し工法は足場が不要でしかもブロック工法の利点をもつものであり、特にセグメントは順次打継いでゆくために目地部がなく欠点が排除されたことになり、この点でも安全度が高いと言える。

いわゆるキャンチレバー架設では吊足場内で打込み養生など一切の作業ができるのであるが、モルタルペーストや足場移動時等に落下物の絶無を期して、都市部での施工時の配慮は大変なものようである。押出し工法のごとく、完全に現場直上作業がないこと、すなわち完成品を押出してゆくことは周囲に対して極めて安全な施工方法と言える。特に滑り支承として本杓を利用する場合には仮設備の取付け撤去が全くないのでさらに安全性が高いと言える。しかし、現場労働者が行うことであり不慣れな訓練とともに事故防止は最大のテーマであろう。

3.3 セグメントブロック製作

橋台裏の広場を製作台として集約し、天候に左右されぬよう屋根をかけ小規模コンクリートブロック工場程度の設備として、セグメントブロックを製作するのは大きな特長と言える。従来、土木工事、特に明り工事では、コンクリート打設は毎日現場が移動するため、支保工、段取り、小運搬設備等が変化するが、押出し工法では、桁断面、桁高が一定で、一定個所での一定断面の施工となり、同一作業の繰返しとなる。高所でもなく、地平の橋台裏製作ヤードでの最も施工し易い状態でのコンクリート工が可能である。

以下利点となる事項を列挙すると、①鉄筋、PC 鋼線、型枠支保工、生コンクリート等工事事用資材の運搬が容易である。②型枠の転用回数が多い。③型枠の組立て、脱型が早い。④本緊張は架設後に行うのでクリープ等の損失を小さくできる。⑤気象条件に左右されず、雨天・冬期も比較的容易に施工できる。⑥型枠の機械化が容易に可能である。⑦出来ばえがよく精度が高い。⑧品質管理、⑨工程管理、⑩労務管理が行届き、⑪生産性が高まり、結果として急速施工、経済性といった押出し工法の利点が発揮できる。

プレキャストブロック工法の場合は、製品の品質が高いことによる利点とあらかじめブロックを製作しストックして組立て架設の急速化を図っているが、打継目が弱

点として残ること、作業が不連続となること、および施工精度、特に測量に高い精度が求められる問題が多いのであるが、押出し工法ではこれらの問題点を解決している。

3.4 省力化

技能労働者の不足は建設業界の悩みの種である。トンネル工事、ケーソン工事等が敬遠されるのは環境衛生上の問題と思うが、最近では鉄筋工が著しく不足しているとのことである。この技能労働者不足の万年的逼迫は建設業に機械化を強く促している。テレスコピックな型枠、鉄筋のブロック化等々がある。また、いたずらに専門化して多くの職種が小間切れる必要となるよりは、合理化の一方法として、複雑な作業を単純化して同一人が複数の職種を兼ねられるようにすることは優れた考えと言える。押出し工法ではたかだか 15 人程度のグループでセグメントの製作、緊張、押出し架設と、大橋梁上部工の製作架設を一定要員の同一グループが一貫して最後まで建設に従事するので、容易に作業に熟達し極めて高い生産性を発揮できるものと考えられるのである。

3.5 押出し工法の経済性

都市内の騒音公害があまり注目されない頃、すなわち昭和 40 年頃までは道路、鉄道との交差のごとく作業空間、作業時間の制限される個所では線路閉鎖間合の数時間内に架設する必要があり、鋼桁をいろいろの工夫をこらして使ってきた。その場合、橋梁が軽いこと、分割した架設、組立て等が自由にできる利点があり、短時分の間合工事を上手に利用することができた。

重量の極めて大きい PC 桁を架設するには、クレーンの吊りとなるが、安全性に疑問があり間合時間を十分取る必要がある。通常では鋼製工事桁をまず架設して、縦取りして所定位置に横移動据付けといった作業を繰返すこととなり、取扱いに便利になるよう多主桁方式となり、前述のごとく断面的にも施工時間が小間切れに限定され不経済となる。

押出し工法では、列車間合に合わせて作業が可能なので、列車通過時のみを避けて押出す。このため列車の運行状況は常に把握して作業を行うことが必要である。工事のために列車運転を中止したり、時刻を上げ下げしたり、そのための広報、はては代行輸送等が不必要となり大きな利益がある。

PC 桁架設作業に限定しても、その多くの特長、特に安全性、セグメントブロック製作の合理性、省力化が可能であり、高生産性のため経済的と考えられる。

1977年、フランクフルトの東にある西独国道の Mainflingen の Main 橋 (全長 756m, 最大支間 133m, 3 径間連続箱桁) の架設に際し、工事費を半減した。この

場合押し出し架設によったが、中央スパンは仮支柱を立てずに帆柱式のステイ方式として両岸から押し出し、中央で直結したもので施工誤差は数 cm であった。なお、当初の原案は、最大スパン 133 m を鋼桁とし、側径間 74 m を PC 桁とした従来形式のものであった。押し出し施工案は最低入札で 7 百万ドル (約 15 億円) であり、ENR 紙から工費を半減したと紹介されている。

4. 今後の展望

押し出し工法は確立されてからようやく 15 年程度、比較的早期にわが国に導入され、10 年足らずであるが、最初の一つずつ経験と検討を重ね、次第に認識を深めるとともに、施工へ研究結果を反映し、今や桁橋の施工には多くの実績を持つに至った。

現場製作し押し出し架設するこの工法の特長から、経済的な適用範囲も次第に拡大し、わが国のごとく人口が多く、地形、地質が複雑で人家が連続と散在するような所では、極めて有用な建設工法となったのである。

(1) 基準の制定

押し出し工法という新しい工法も日本的な工夫が重ねられつつ発展し、工法として定着し、一応、各種のデータが蓄積された。架設時の許容応力、製作台、仮支柱、手延べ桁等仮設物の基準その他設計および施工の基準を制定する時期にきたと思われる。特に、工法の適用方、安全対策等も明確にしておく必要がある。

基準に則ることによって、設計施工の標準化が進み、生産性が増大し、適用範囲が広まってゆく。その結果、経済的にも有利となり、さらに競争力が増し新たな需要が喚起されるといった好ましい効果が期待されよう。

(2) 安全性の確保

理論的にも実際上も安全性は他の工法に比し極めて高い。押し出し工法のこの特性は製作と架設のバランスがとれて保たれているとも言えるので、生産性を上げる様々の努力は品質管理の良いセグメントブロックを継ぎ足し緊張し押し出すといった施工管理のレベルを向上することでなければならないし、桁断面が箱形断面とは異なるような場合にもその施工の安定性が十分検討されねばならない。

安全性が高いとの理由で採用される事例は、大都市の

交通対策、都市計画等では今後大いに増加するものと思う。都市機能を一時的にせよ低下させることは大きな損失であり不可能な場合もありうるからである。今後安全に対する厳しい要請と評価は時代の趨勢でありますますます強まるであろう。しかし安全に対する投資は常にペイするものである。

(3) 適用の拡大

騒音、振動等公害が少なく保守の手がかからない橋梁と言えばコンクリート橋が好ましいとなるが、製作、架設の作業空間が制限される都市高架橋に対し、従来は鋼構造がその融通性のゆえに多用されている。足場が不要で安全にかつ工期も短く建設でき、また連続桁とするため桁高、径間比も小さくすることが可能な PC 押し出し工法にとって、都市高架は大きな市場となるのではなからうか。

(4) 長大橋

押し出し工法としては最大径間 100 m 程度は可能なので、長大桁橋の施工は可能である。しかし、桁橋の限界も鉄道橋では 120 m 程度とされ、それ以上となると橋梁死荷重を軽減できる斜長橋、トラス橋になろう。

鋼トラス橋では、自走式橋梁トロの開発により長大トラスの縦取り架設は従来に比し安全かつ容易に作業ができるようになった。押し出し工法のテフロンによる摩擦力軽減の考え方は逆に摩擦を利用した自力走行である。鋼橋の場合とは比較にならぬほど重量が大なる長大 PC 橋となるとやはり、押し出し工法の原点に帰り、橋台裏で 1 パネルごと継ぎ足しその分だけ押し出すのがよからう。この作業が 1 週で可能としたら、施工速度としても十分競争できるし、長大橋への夢が開けるものと思う。

(5) むすび

PC 桁の設計製作は、現場の施工方法と表裏一体のものである。PC 押し出し工法は、製作と架設を含めて総合的に能率化を図るものである。今までの努力によって開発された新工法が、着実に根をおろし普及し、さらに発展することを期待し、そのため原則どおりゆっくりとしかし確実に前進を続けるものと思う。

本特集号がその一里塚となり、ますますの PC 構造物の発展を祈るものである。