

## 新しい押出しシステムを採用した三日月橋の施工

足立 八三\*1・下井 孝雄\*2・益子 博志\*3・牧野 光\*4

### はじめに

三日月橋は、一般国道1号の名古屋市中川区下之一色町～同区富田町の一級河川新川に架かる橋梁である。昭和8年に架設された現橋（鋼橋）は、架設後約60年が経過し、近年、下部工・床版・主桁などの損傷、老朽化が著しいことから抜本対策として早急に架替えが必要となった。

新橋は、共同溝が新川をシールド単独で渡る分離計画と、橋梁と一体で渡る計画について比較検討し、経済性に優れる一体橋梁案を採用し、現橋上流側に架け替えることとなった。上部構造は、共同溝の必要空間を確保することから、隔壁を一切設けない4径間連続PC箱桁橋が採用された。

本橋の架設地点は、民家・商店が密集する地区であり、取付け道路付近の架設ヤードが制限されたことか



写真-1 完成写真

ら、施工方法として押出し工法が選定された。

本橋の特徴は、3室箱桁に4つの押出し装置を設けて押出し施工することから、新しい押出しシステムであるARC工法（アーク工法：Active Reaction Control System）を採用して施工を行ったことである。

本報告は、このARC工法を中心に上部工の施工概要について報告するものである。

### 1. 工事概要

工事名：平成3年度1号三日月橋上部工工事

施工箇所：名古屋市中川区下之一色町～富田町

発注者：建設省中部地方建設局

名古屋国道工事事務所

道路規格：第3種1級

構造形式：4径間連続PC箱桁橋

橋格：1等橋

橋長：153.400 m

支間：4@38.000 m

幅員：12.250 m

架設工法：押出し工法（ARC工法）

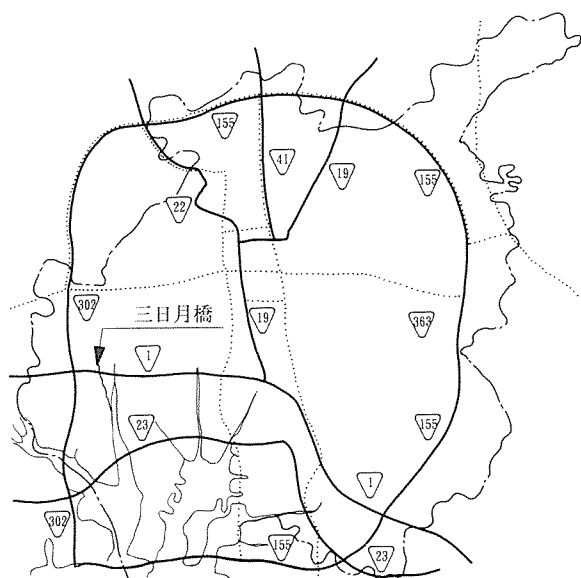


図-1 橋梁位置図

\*1 Hachizo ADACHI：建設省 中部地方建設局名古屋国道工事事務所工務課 課長

\*2 Takao SIMOI：建設省 中部地方建設局名古屋国道工事事務所 建設監督官

\*3 Hiroshi MASHIKO：住友建設(株) 土木設計部第2設計課 課長

\*4 Hikaru MAKINO：住友建設(株) 名古屋支店



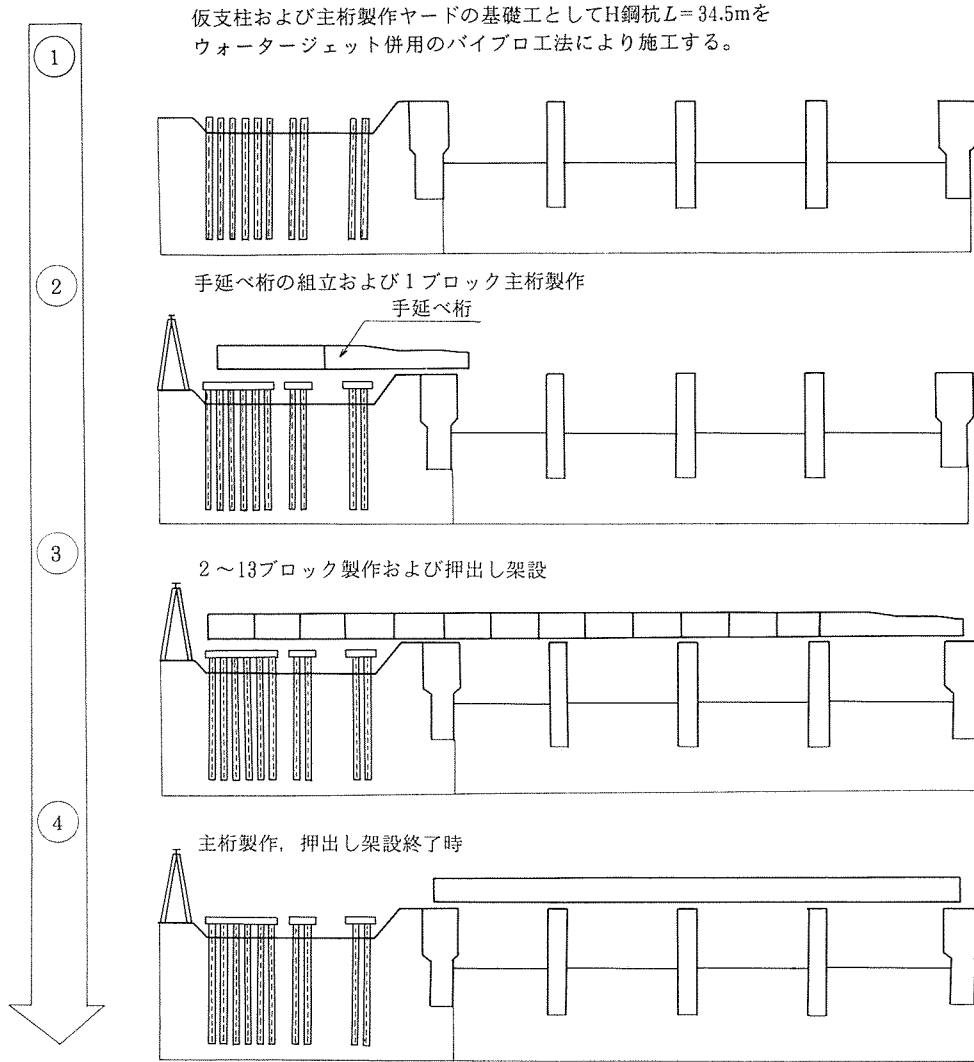


図-4 上部工の施工順序

本橋の全体一般図, 断面形状をそれぞれ図-2および図-3に, 上部工の施工順序を図-4に示す。

## 2. 押し施工

### 2.1 施工方法の比較検討

本橋の押し架設方法として, 表-1に示すような2案の比較検討を行った。

第1案は, 押し工法として一般に行われているように橋軸直角方向に2つの押し装置を設け, 隔壁のない構造を補強するため, 鋼製ストラットを配置して施工する案である。この方法は, 各主桁の軸方向応力, せん断力などの分配が均等にならず, 床版の橋軸直角方向応力も大きくなることから, 主桁および床版に補強が必要である。また, 主桁と材質の異なる鋼製ストラットを用いることから, 主桁部材・鋼製ストラットにコンクリートのクリープ・乾燥収縮などの影響が生じる。このため, 主桁や鋼製ストラットの応力値を設計値と合致させるよ

表-1 押し施工方法の比較案

	第1案	第2案
概		
要	<ul style="list-style-type: none"> <li>箱桁内に鋼製ストラットを設置し, 外ウェブ直下に押し装置を設け, 2点支持にて押し施工する案である。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>箱桁の各々のウェブ直下に押し装置を設け, 4点支持にて押し施工する案である。</li> </ul>
案の特徴	<p>(長所)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>施工中の反力の算出は容易である。</li> </ul> <p>(短所)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>施工中の支持条件が完成系と異なるため, 施工のために補強すべき箇所が多い。</li> <li>ストラットの応力管理が困難である。</li> <li>鋼製ストラットの設置・撤去作業があるため工程が延びる。</li> <li>鋼製ストラットの設置・撤去の作業性が悪い。</li> </ul>	<p>(長所)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>施工中の支持条件が完成系と同じになるため, 施工のために補強すべき箇所が少ない。</li> <li>標準工程で施工可能である。</li> <li>通常の多室箱桁と同様, 作業性はよい。</li> </ul> <p>(短所)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>施工中4点の反力を算出する必要がある。</li> <li>ストラットの応力管が困難である。</li> <li>押し装置が1つの橋脚に4つ必要となる。</li> </ul>

うな施工および施工管理が困難であることが予想された。

第2案は、橋軸直角方向に4つの押し装置を設け施工する案である。この方法は、架設時と完成時の構造系の支持条件が同じになることから、第1案に比べ合理的である。しかし、本橋のように橋軸直角方向に近接して4つの押し装置を設置した場合、隣りあう装置位置での桁下面のわずかな出来形誤差により、装置上で桁を浮き上がらせる状態が考えられ、桁の応力値に大きな影響を及ぼすことが予想された。

そこで、本橋においては、この問題点への対応が可能で、押し施工の一層の自動化・省力化を図ることができる工法として、常時主桁反力を自動制御可能なARC工法を採用し、橋軸直角方向に4つの押し装置を設置して施工を行うこととした。

2.2 ARC工法

従来の押し工法は、分散方式と集中方式に大別される。前者は、各橋脚上に設置した鉛直ジャッキおよび水平ジャッキ・スライド装置等により押しを行うのに対し、後者は、水平ジャッキを1点に設置し各橋脚上には滑り支承を設けて押しを行う。これらの工法では、桁下面の不陸などに対してはいずれも手作業で鉄板や薄ベニヤを挿入することにより不陸の調整を行うものである。

一般の押し施工では、こうした方法で問題なく施工を行うことができるが、本橋のように高精度で高さを管理する必要がある場合には、各押し装置間の高さを制御する機構がないため対応が困難である。

ARC工法は、分散方式の押し工法においてスライド装置上にスライドジャッキを設置し、反力の受替を機械的に行うことにより、高精度な管理を可能にするとともに、反力調整作業を自動化した工法である(図-5、写真-2)。

ARC工法の施工要領を図-6に示す。まず、スライドジャッキで支持した状態の主桁を約50cm押し出

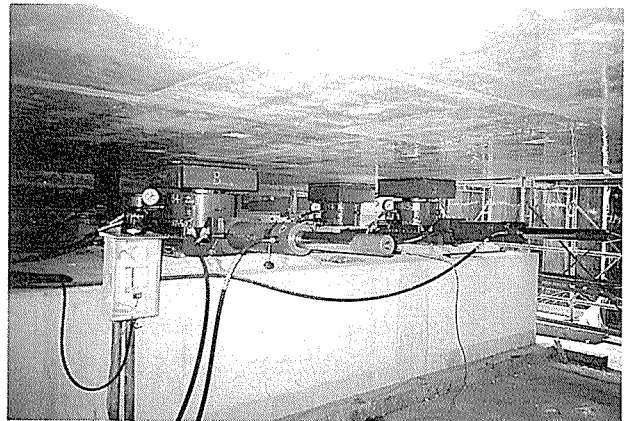


写真-2 ARC押し装置

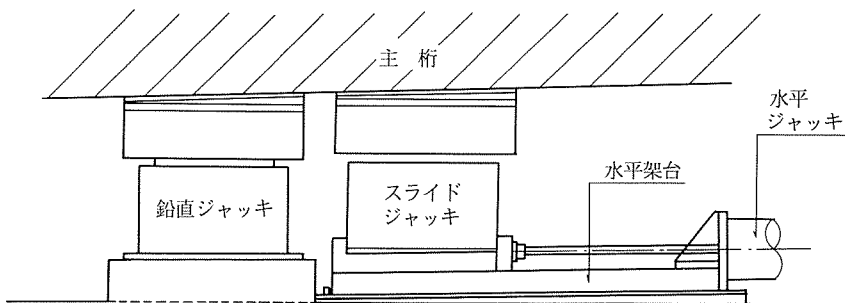


図-5 ARC押し装置概要図

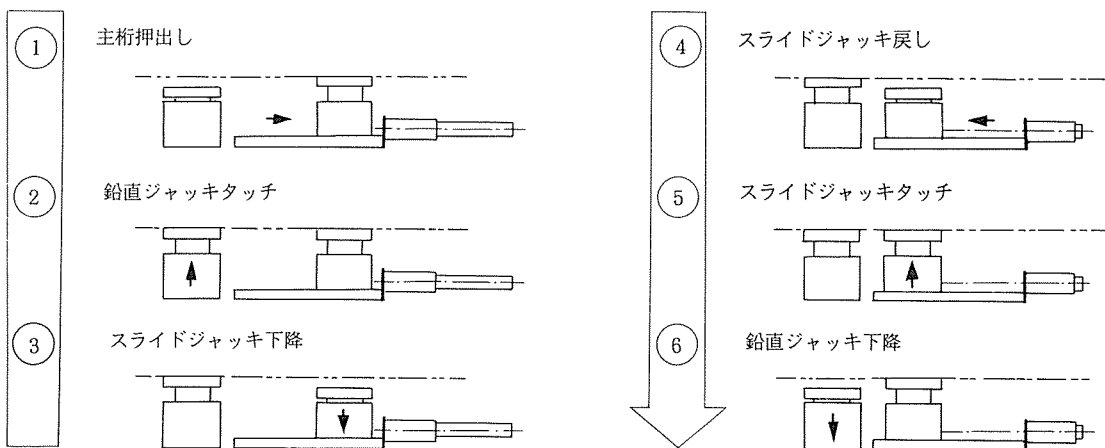


図-6 ARC工法の施工要領

◇工事報告◇

す。次に、鉛直ジャッキを設計反力値でジャッキアップする。この作業により、スライドジャッキに作用している桁のほとんどの反力は、鉛直ジャッキに受け替えられ、スライドジャッキの反力は小さな値となる。この状態でスライドジャッキをジャッキダウンすることにより、鉛直ジャッキにほぼ設計反力値が作用することになる。

こうして、スライドジャッキより鉛直ジャッキに反力を受け替えた後、スライドジャッキを押し出し開始状態へ戻す。その後、スライドジャッキを設計反力値でジャッキアップし、鉛直ジャッキをジャッキダウンすることで1回の押し出し作業を完了する。この一連の作業を自動的に繰り返すことにより押し出し施工を行う。

このように、ARC工法では発生している反力の受替えを機械的かつ自動的に行うことに特徴があり、このシステムの導入により桁下面の誤差を吸収し、桁を上下させることなく押し出し施工が可能になる。

2.3 施工時の設計

ARC工法を採用した場合、桁下面の不陸などを吸収するため、従来工法に比べ比較的精度良く押し出し施工を行えるものと考えられる。しかし、機械的に反力の受替えを行う可能性も考えられたため、本橋を施工するにあたり、反力値に誤差の生じる要因を分析した。本橋において反力誤差の生じる要因として考えられるのは、以下の項目である。

- ① ウェブおよび下床版厚の変化による4つの支持点における反力分担率の変化
- ② ジャッキ圧の精度
- ③ ジャッキ盛換え時に生じる反力の変化

これらの要因により生じる反力誤差のうち、①および②については解析や実験により確認することが可能である。

そこで、こうした手法により確認された反力誤差を用いて、主桁各部の応力解析を行い、解析された応力値を設計に反映させることとした。

(1) 反力誤差の設定

押し出し架設時の反力値は押し出しの状況により刻々と変化する。各々の装置における反力値を精度良く把握するには、FEM解析等により順次構造系を変化させて求める方法があるが、計算量が膨大となるためあまり現実的ではない。このため、施工時反力値は棒解析により算出した反力値をウェブ厚比で分配した値とすることとした。そこで、代表的なケースとして架設時の支点上に支点断面がある場合と支間断面がある場合の2つの解析ケースについてFEM解析を実施し、棒解析のウェブ厚比により算出した反力値と比較することにより実反力との差を算定した。

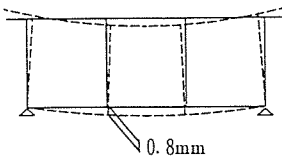
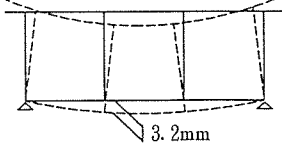
解析結果を表-2に示すが、支点断面では、棒解析のウェブ厚比による反力分担率に対し、FEM解析結果では±18%程度の差が生じることが明らかになった。このように大きな差が生じる要因は、支点上の下床版厚が桁高3.6mに対し1.0mと非常に厚いため、下床版がせん断力を分担しているためと考えられる。

また、ジャッキ圧試験では圧力計と実際のジャッキ圧力との誤差は、±5%程度以内で十分管理可能と判断された。

これらに加え、ジャッキ受替え時の誤差を勘案し、反力誤差の最大値を個々のジャッキにおいて±30%に設定した。

なお、油圧ポンプを内ウェブ・外ウェブどうしで連動する計画としたことから、内ウェブ・外ウェブどうしの反力値は同一となる。このため、反力誤差の設定においては、となりあう内・外のウェブ間の反力誤差を設定す

表-2 P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub> 橋脚位置における反力・変形解析結果

反力解析結果	P <sub>1</sub>	外ウェブ	架設中の支点上に支点断面			架設中の支上に支間断面		
			FEM解析		棒解析 反力分担率 (%)	FEM解析		棒解析 反力分担率 (%)
			反力値 (tf)	反力分担率 (%)		反力値 (tf)	反力分担率 (%)	
		内ウェブ	328.0	48.1	56.3	335.6	53.1	55.6
		外ウェブ	354.5	51.9	43.8	297.1	46.9	44.4
	P <sub>2</sub>	外ウェブ	363.0	48.1	56.3	398.8	53.2	55.6
		内ウェブ	392.1	51.9	43.8	350.2	46.8	44.4
変形解析結果 (FEM)			2点支持とした場合の変形量  0.8mm			2点支持とした場合の変形量  3.2mm		
			・内ウェブのみを支持点とした場合も同様な結果となった。			・内ウェブのみを支持点とした場合も同様な結果となった。		

※ ただし、棒解析による分担率はウェブ厚比を%で表したものである。

ることとした。

(2) 架設時の設計

設定した反力誤差が生じた場合の主桁の各部材の設計は、以下の方針にて行った。

- ① 主桁の曲げおよびせん断に対しては、曲げモーメント最大点およびせん断力最大点に着目して FEM 解析を実施し、棒解析との比較を行うことにより断面力の割増し係数を算出し、割増した断面力により検討する。
- ② 押し出し架設時のせん断の検討は、桁下面の不陸などによる発生せん断力の増分を考慮し、架設時割増しを行わないのが一般的である。しかし、本橋においては、反力誤差を考慮した検討を行うため、架設時割増しを考慮する。
- ③ 上・下床版に発生する曲げに対しては、床版に発生する橋軸直角方向曲げモーメントに対し補強を行う。

上記方針に基づいて検討した結果を以下に示す。

- 1) FEM 解析結果により反力誤差が主桁の曲げ応力に影響する範囲は、支点から桁高の 2~3 倍程度であり、その他の断面では平面保持が成立していることから、曲げに対する補強は負の曲げモーメントに対してのみ行った。
- 2) せん断および床版の曲げについても反力誤差の影響範囲は桁高の 2~3 倍程度であった。このため、架設中の支点付近に着目した補強を全橋にわたり行った。なお、せん断については、架設時割増しを考慮したことから特別な補強が必要のない結果となった。

2.4 押し出し管理

本橋に採用した押し出し施工管理システムを図-7に、システム配線系統図を図-8に示す。本橋の押し出し作業は、図のようにすべて中央制御室に設けられたパソコンおよび中央制御盤で集中制御を行っている。すなわち、

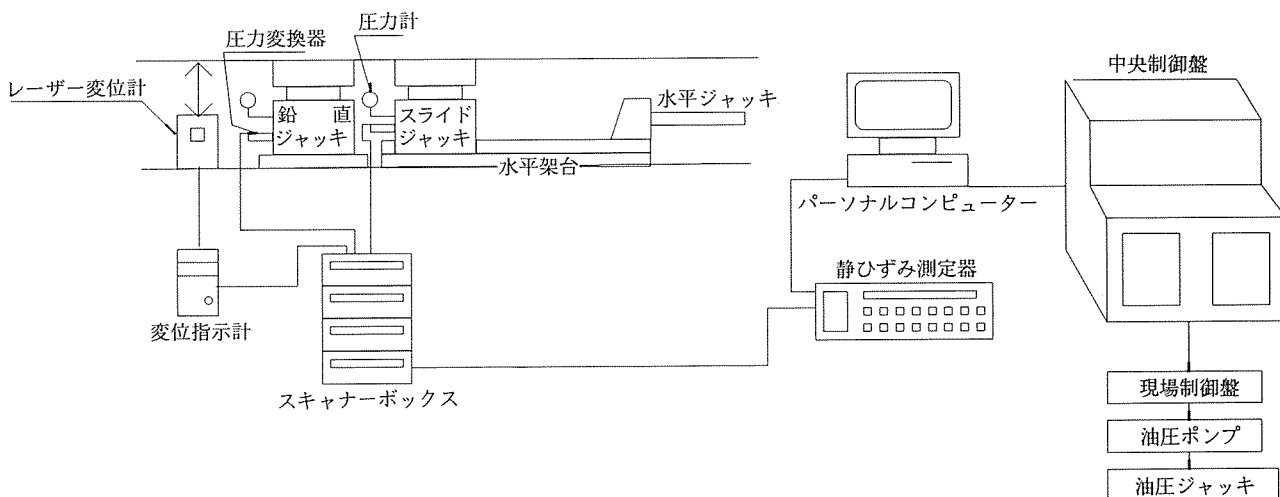


図-7 施工管理システム

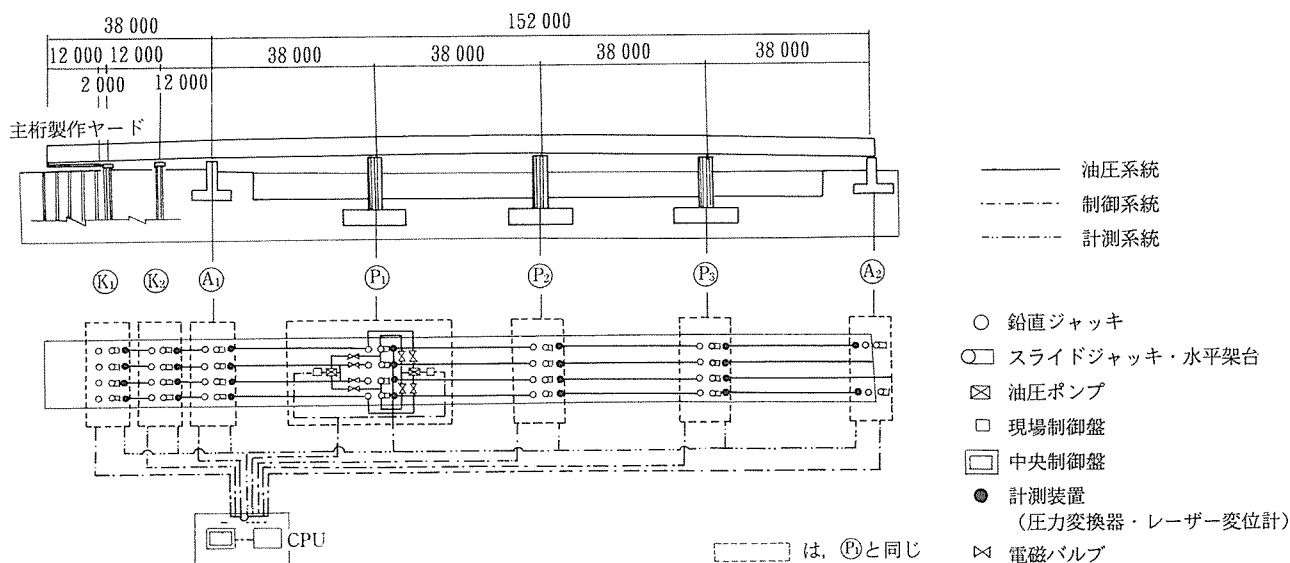


図-8 システム配線系統図

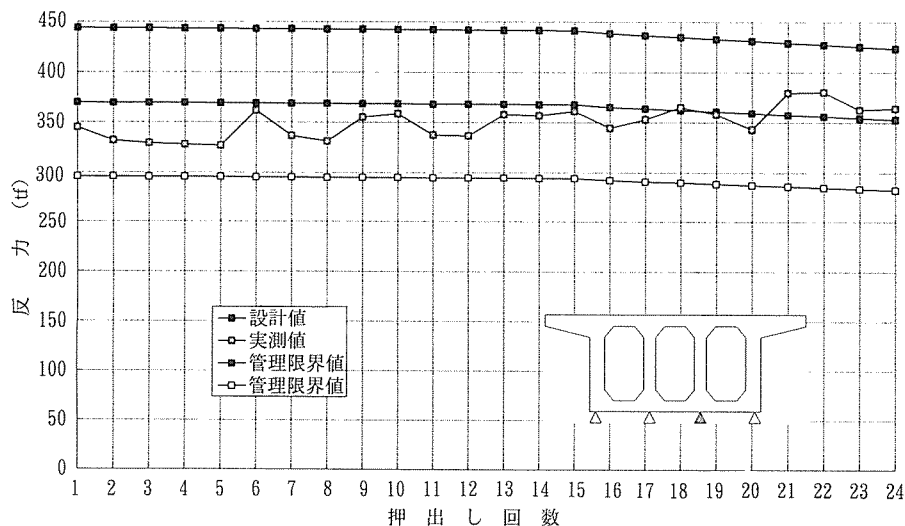


図-9 押出し作業中の反力管理例 (12ブロック施工時)



写真-3 中央制御室内のパソコンと中央制御盤

あらかじめ各支点の設計反力値をディスクに保管しておき、パソコンからの指示で各々の油圧ポンプの圧力設定を行い、圧力変換器によりリアルタイムな反力計測を行うシステムを採用している。また、本システムでは反力の計測管理を主とし、補助的にレーザー変位計によって主桁底面を計測する変位管理も実施するダブルチェック方式を採用した。

これらの計測データは、リアルタイムで写真-3に示す中央制御室のパソコンに表示されるため、押出し管理は中央制御室においてのみ行えば良く、各橋脚上には装置の監視員を配置するだけで押出しを行うことができた。

12ブロック施工時の内ウェブにおける反力管理例を図-9に示す。本システムの個々のジャッキにおける反力管理は、架設時の設計で考慮した設計上許容される最大反力誤差 $\pm 30\%$ に対し、反力誤差の目標管理限界値として $\pm 20\%$ を設定し施工を行ったが、良好な反力の推移で施工を行うことができた。

なお、本橋では従来トランシットにより行っていた押出し方向計測を省力化・集中管理する目的で、橋軸直角方向の計測をレーザー発光器および電子スタッフを採用して行った。計測結果は中央制御室に転送されるため、中央制御室で管理・修正指示を行いながら施工することができた。

#### あとがき

本文では三日月橋上部工工事のARC工法による施工について報告した。近年PC橋の分野において、押出し工法は、施工箇所の地勢や土地利用状況などの制約条件に対し有利である点、作業の単純化や省力化が図れ一種のプレキャストセグメントとして高品質なコンクリートが期待できる点などからクローズアップされている。

本事例では、ウェブ間隔が小さく隔壁のない構造であることから、FEM解析などにより主桁に生じる諸応力を考慮し、反力誤差管理限界を設定して管理を行ったが、通常の広幅員多室箱桁橋の場合には、本システムの採用により特別な検討を行うことなく対応可能と考えられる。この点については今後の検討課題として残されるが、本橋で採用したARC工法は、押出し作業をさらに自動化・省力化したものであり、反力も任意に設定できることから、一般的な桁橋はもちろんのこと、斜橋の押出しへの適用も期待できる工法である。本報告が、今後橋梁を計画するうえでの一助となれば幸いである。

最後に、本工事の設計施工に当たり、貴重な御助言、御指導をいただいた関係各位に深く感謝する次第である。

【1994年3月28日受付】