

(54) 新幹線上空でのPC桁橋(石橋こ線橋)の一括押し出し施工について

住友建設(株) 川田建設(株) 共同企業体	正会員	○古賀友一郎
東日本旅客鉄道(株) 建設工部構造技術センター	正会員	小林 薫
東日本旅客鉄道(株) 東京工事事務所 立体交差		細川 義夫
住友建設(株) 川田建設(株) 共同企業体		大西 敏彦

1. はじめに

石橋こ線橋は、日本道路公団が事業化を進めている、北関東自動車道・上三川高架橋の、JR東北新幹線・東北線・貨物線上空に位置する96m区間である。当工区は日本道路公団 東京建設局 宇都宮工事事務所が事業主体となり、東日本旅客鉄道株式会社 東京工事事務所が設計監理を行っている。

上三川高架橋は全長1378.6mあり、P24からP27までが橋長227mの3径間連続PCラーメン箱桁橋である。

この橋りょうは東側P27からP26を越えた131mをJHによる片持ち張出し施工、西側P24からP25を越えた96mを押し出し施工とし、1つの橋りょうを東西から別々の方法で施工し、閉合する。

石橋こ線橋は、世界でも最高水準の安全性を誇る新幹線上空での押し出し施工となるため、施工条件が厳しく制限された。特に押し出し施工時間が短く、今までにない押し出し速度が要求され、押し出し中のトラブル等により休止する事は一切許されない。そのため予め考え得る問題点について検討を行った。

本論文では、その検討結果、今年2月末に行った下り線の押し出し施工結果と、今回営業新幹線上での桁架設時地震力の考え方を新たにして、設置した地震水平力対抗装置について報告する。

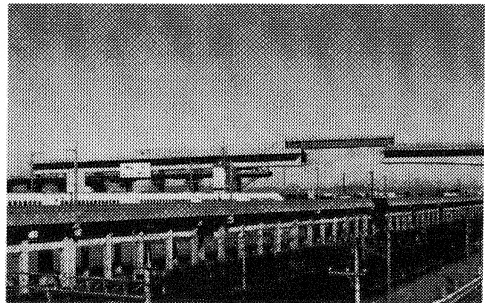


写真-1 第2夜間押し出し終了

2. 橋梁諸元

橋 種: PC 道路橋
 道路規格: 第1種2級B
 構造形式: 3径間連続ラーメン箱桁橋
 橋 長: 227.0m
 支間割: 49.3+110.0+66.3m
 有効幅員: 10.0+10.0m
 桁 高: 3.8m(押し出し施工部は等桁高)
 勾 配: 縦断 3%~-3%
 : 横断 2%

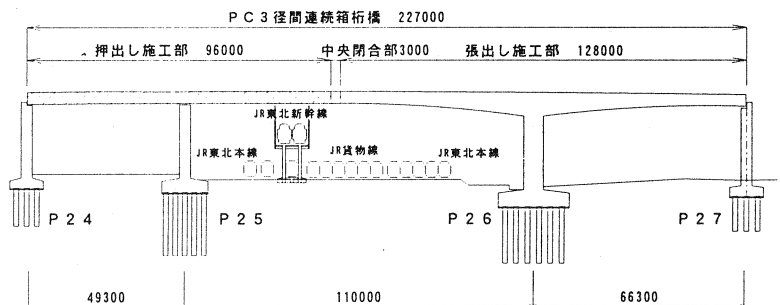


図-1 全体一般図

平面線形: ∞

荷 重: B 活荷重

3. 施工概要

3-1 架設条件

- 1) 主桁製作は手延べ桁を含めJR営業線近接影響範囲外のP22からP25の間で行う。
- 2) 施工方法は一括押し出しとし、営業線上での作業を極力少なくするため、壁高欄、落下物防止柵等の橋面工は施工の後、桁を押し出すこととする。

- 3) 全押し出し長 75.25m の内、JR 営業線上の 61.75m は 3 夜間 で押し出す。
- 4) 3 夜間の押し出し施工はいずれも線路閉鎖時間の 170 分間とする。
- 5) 地震力に対しては常に P23, 24, 25 のいずれか 2 支点で抵抗出来る構造とする。

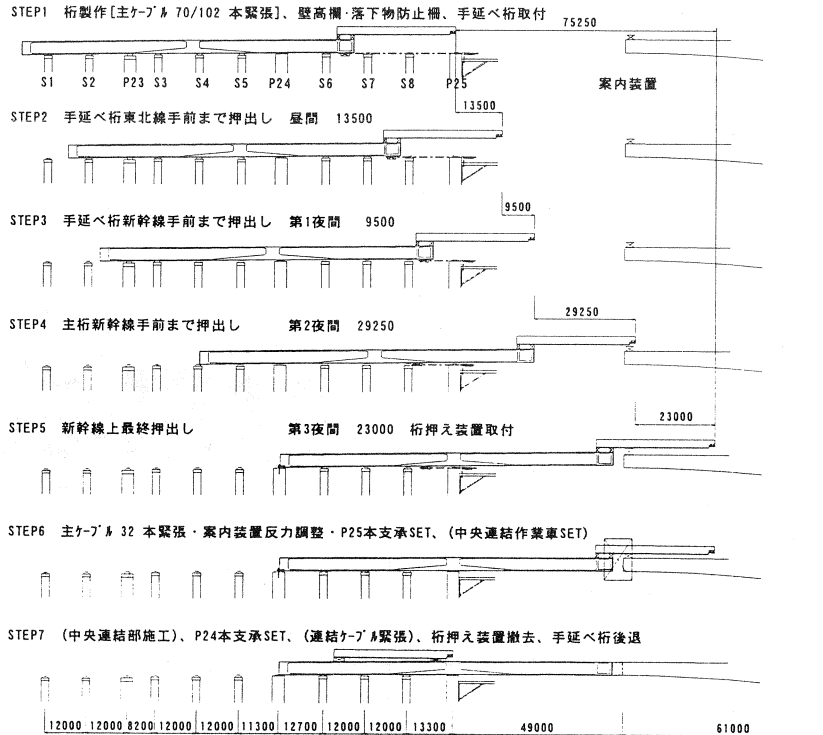


図-2 施工 STEP 図 ()内は JH の施工による

3-2 架設概要

P22 から P25 までの主桁施工ヤードでは押し出し施工時の仮支点と兼用で、P23, 24, 25 を含め、スパンが 12m 前後になるように高さ 20m 程度の仮支柱を組み立てた。各仮支柱上と P23, 24, 25 の橋脚上には全て滑り支承を設置し、P25 橋脚に設置した 370t ジャッキで主桁底板に取り付けられたアンカーブラケットを押し出す構造としている。

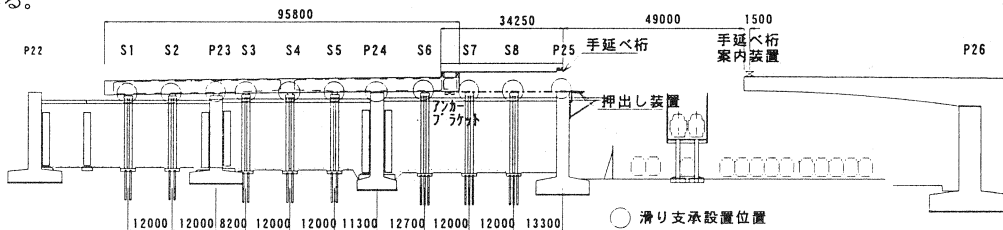


図-3 施工概要図

仮支柱と各橋脚は水平材で連結し、押し出し時の P25 におけるジャッキ反力を P24, 23 へ分散させている。またこの水平材は、主桁施工時の支保工梁としても利用している。押し出しジャッキ・ポンプは故障等に備え 2 台ずつ用意した。この押し出しシステムは、今回の押し出しに合わせ従来の 3 倍の早さに改造している。

手延べ桁は上乘せ式で 34.25m の長さである。張出し桁の先端には、手延べ桁の乗り上げを円滑に行うためにジャッキで上下動の出来る案内装置を設置した。

4. 施工時の検討

4-1 押し時間

1夜間170分の最長押し量は、第2夜間の29.25mで、必要となる押しし速度は、10.3m/hである。そのため今回の押しシステム(写真-2)は、11.5m/hの高速運転を有するものとした。しかし第2夜間はP25支点への桁の乗り上げ(写真-3)があり、その前後は押しし速度を低速にしなければならぬ。すると実際の押しし速度は平均して10.9m/hとなり、余裕時間が9分程しか無く、トラブル等による休止は許されない。

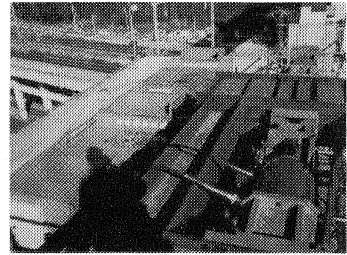


写真-2 押ししジャッキ・ポンプ

4-2 滑り支承

主桁全重量は3000t程度あるが、P24とP25支点到、押し施工時の仮支点としてはこれまでの事例に無い大きな反力(P24=1850tf, P25=2500tf)が作用する。そのためそれぞれ以下の対策を講じた。

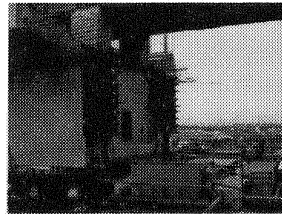
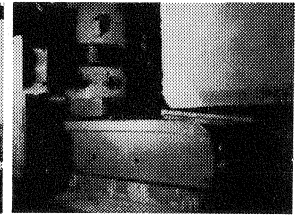


写真-3 P25 支点乗り上げ直前



乗り上げ状況

P24の滑り支承は、1850tfの反力を左右2支点で受け持つのにL×W×H=2300×600×200mm

の構造寸法(設計支圧応力度120kgf/cm²)が必要となる。下部工との取り合いから、高さが200mmとなるため、滑り支承の本体を細径の鉄筋でフープ状に細かく(@100)配筋し、設計強度500kgf/cm²のコンクリートで製作した。

P25の滑り支承を同様に考えるとその橋軸方向長さは3.0mになる。以下の理由で従来のコンクリート製滑り支承ではなく、鋼製滑り支承の使用を検討した。

- 1)反力が今までの実績(約1600t)を遥かに越えて大きく、今までの設計手法では対応が難しいと判断した。
- 2)3.0mに及ぶ長い滑り支承上に、均一な支圧が掛かるのは難しく、設計で想定した以上の支圧応力度が発生すると、滑り支承、主桁、橋脚等に損傷を与え、それが押し施工に支障を来す可能性が高いと考えられた。
- 3)P25支点上では、押し出されるに従い大きくなる桁のたわみから、回転角が生じる。また押し後本支承へ盛り替える前に行う、主ケーブル緊張や、案内装置反力調整により、同様に回転角が生じる。これらにより2)と同様に支圧の偏りが生じ、上部、下部構造物、滑り支承、押し作業に支障を来すと考えられた。
- 4)狭い橋脚上に、押し後主桁にセットされるP25本支承が仮置きされているため、滑り支承の横幅を広くとれず、その支圧面積を変えずに橋軸方向長さを短くすることが出来ない。

以上より滑り支承を従来の剛体とするのではなく、上沓と下沓に分け、ゴムを挿む形で回転および桁のふりくを吸収する構造とした。またこの構造を採用することで、より均等な支圧応力度が得られると考え、設計支圧応力度を200kgf/cm²に上げて、滑り支承の橋軸方向長さを2.15mとした。

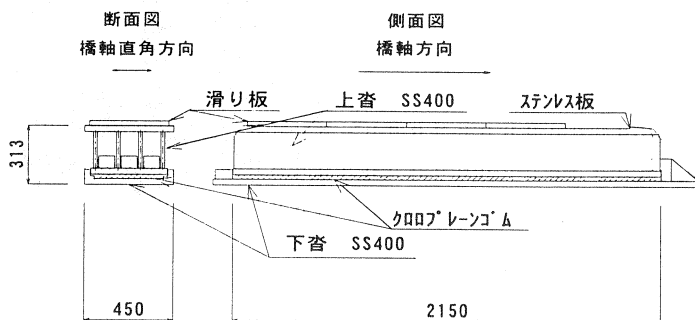
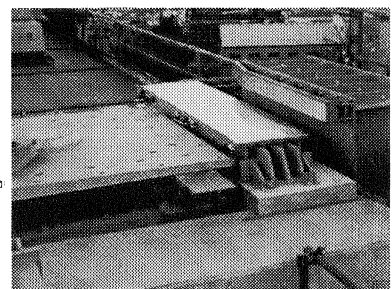


図-4 P25 滑り支承



P25 橋脚上に隙間無く本支承と滑り支承を配置

滑り支承の設計支圧応力度を、実績のない 200kgf/cm² とするため、さらに次の2点の対策を講じた。

- 1) P25 脚頭部のコンクリート強度を 240 から 400kgf/cm² に変更するとともに、滑り支承を配置する付近は細径(D16)の鉄筋を縦横 100mm ピッチで配筋補強した。
- 2) 滑り板が 200kgf/cm² の支圧応力度で使用された実績が無いため、高支圧下での滑り性能を実験により確認

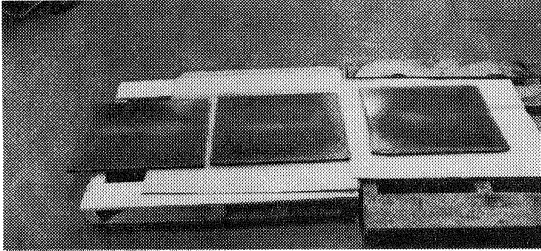


写真-4 滑り性能実験後の滑り板

は表層部のテフロン材がはらみ出している。

した。現場での荷重の偏りを考慮し 400kgf/cm² の支圧応力度まで上げて行った実験の結果、素材の磨耗と変形がかなり大きくなるが、滑り特性は急激に悪化しないことが確認された。このため従来の滑り板を使用することにし、その数量を多めに用意する事とした。

写真-4 は左より支圧応力度 120,180,400kgf/cm² で実験したものであり、一番右の滑り板(400kgf/cm²)

4-3 揚げ越し

通常、桁の押し出しは、一直線上、もしくは一定 R(半径)ライン上で行う。そのため揚げ越しを考慮する事は困難であった。石橋こ線橋の場合は、押し出し桁先端のたわみを考慮した点と、高さが決まっている P24、P25 の3点を結ぶ同一円(R=47000)を、P24 の後方 P22 まで延長し、それを主桁の製作線形とする事により、押し出し縦断線形とする事により、主桁の揚げ越しを考慮することが出来た。ただ押し出し桁先端のたわみを考慮するとき次々の2点が問題となった。

- 1) 壁高欄を先行施工することによる、図心位置のとりかた、10m ピッチに目地の入った高欄剛性の考え方。
- 2) 主桁コンクリートの実強度と設計強度の違いによるヤング係数の違い。

さらに、最も時間的余裕のない押し出し第2夜間に、支障無く手延べ桁が張出し桁に乗り

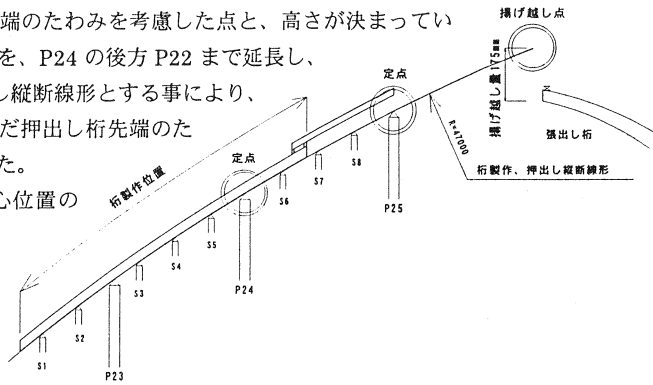


図-5 桁製作、押し出し縦断線形

り上げなければならないため、目標点は多少高めを目指す事にした。そして図心位置については主桁単体の状態を使用し、壁高欄、落下物防止柵は荷重として考慮した。コンクリートのヤング係数も従来の設計基準強度ヤング係数を使用した。これらにより押し出し桁先端での総揚げ越し量は 175mm となった。

4-4 中央閉合前後の反力バランスについて

押し出し施工が終了して、張出し桁との中央閉合が終了するまでの1ヶ月間、P24 支点の反力が小さいため、支点の浮き上がりを防止し、中央閉合施工時の安全性を確保する目的で、主桁と P24 橋脚を鉛直に剛結する「桁押さえ装置」(写真-5)を設置した。

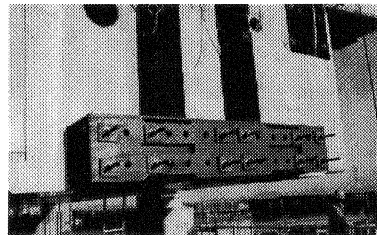


写真-5 桁押さえ装置

4-5 張出し桁先端での反力管理

押し出し桁は、押し出しが進むに従って手延べ桁を介して、張出し桁に荷重を預けなければならない。一方張出し桁は 330tf 程度までしか荷重を受け持てない。このため手延べ桁の先端が張出し桁に乗り上げる第2夜間の終了時から第3夜間は、張出し桁にかかる反力管理を行うこととした。

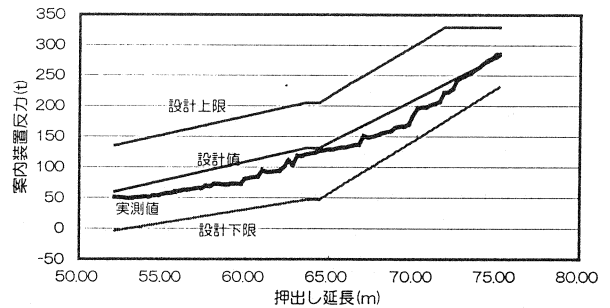
施工に際して、押し出し中常に反力が分かる様、張出し桁に写真-6のような手延べ桁案内装置を設置した。この下にはジャッキがセットされており、手延べ桁の下面レールがこのダブルローラーの上に乗せると、反力は案内装置・ジャッキを介して張出し桁に伝わる構造になっている。ジャッキは水平力が作用してもシリンダーが噛み込まないように改造し、使用した。



写真-6 手延べ桁案内装置

下り線の押し出し施工では、表-1により反力管理を行った。反力が下限値に近づいてくると、押し出しジャッキのわずかな盛り替え時間を利用して、案内装置の反力調整を行っている。最終的に設計通りの反力となるよう調整を行った結果、張出し桁のたわみも設計通りの値となり、押し出し桁と220mmの段差がついた。(写真-7)

表-1 案内装置反力管理グラフ



この後、押し出し桁は残り32本の主ケーブル(押し出し前に70本緊張済み)を緊張することで、張出し桁に荷重を預ける必要がなくなる。そこで再び案内装置の反力調整を行い、その荷重状態が、手延べ桁荷重を張出し桁と分配するだけの、中央閉合前設計荷重状態となる。そして押し出し桁と、張出し桁の段差が無い状態(写真-8)で中央閉合が出来た。

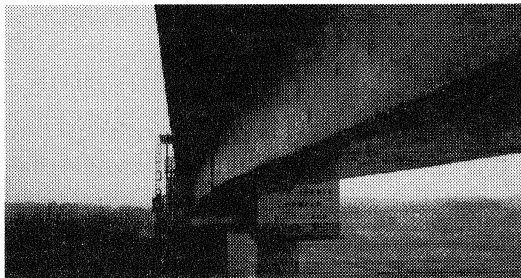


写真-7 押し出し施工直後 張出し桁との段差有り

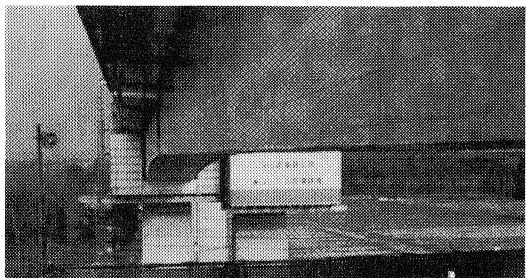


写真-8 残主ケーブル緊張・案内装置反力調整後 段差無し

5. 地震水平力対抗装置

従来架設中の地震力として震度法レベルの1/2を考慮していたが、今回は営業新幹線上での桁架設として地震に対する考え方を新たにし、大きく次の2つに分け、地震水平力対抗装置を設置した。

1)列車が運行している状態(主桁の押し出しはされていない状態)

- ・大規模地震(保耐レベル)の1/2の地震力に対して構造物が崩壊、倒壊しない。
- ・中規模地震(震度法レベル)に対して部材が弾性範囲内にあるものとする。

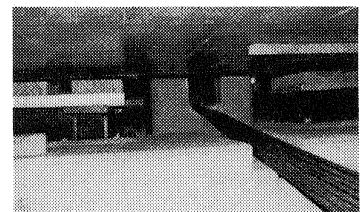


写真-9 P25鋼角ストッパー

この考え方が適用されるのは、各夜間押し出しの間の昼間と、押し出しが終了してから、張出し桁と中央閉合が完了するまでの間約1ヶ月間である。これについては写真-9のように予め橋脚にセットしてある鋼角ストッパーを、所定の位置に来た桁の開口部に引き上げる形で、地震に抵抗するものとした。

2)列車が運行していない状態（主桁押出し中）

・中規模地震（震度法レベル）に対して部材が弾性範囲内にあるものとする。

押出し中は、各橋脚を利用して、主桁の両側を鋼材で挟む形で地震力に抵抗するものとした。鋼材はPC鋼棒で橋脚に緊結した。（写真-10）またこの對抗装置は、押出し中の桁の進行方向を決める（桁との隙間を調整する事で）重要な役割を果たした。

地震水平力對抗装置は P23, 24, 25 それぞれに設置し、常にいずれか2支点で支えるものとした。制限値は降伏点としている。

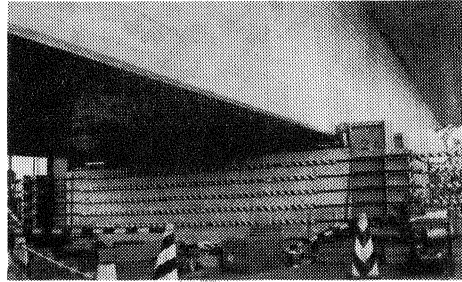


写真-10 P24 直角方向對抗装置

6. 下り線の押出し施工

夜間押出し前に JR 線に掛かる手前 13.5m を数回に分けて施工し、押出しジャッキ 1 ストロークの長さ、その所用時間、各支点の反力、滑り板を挿入する枚数と、その時の押出し力、主桁が支点に乗り上げるときの手順・時間等を確認した。そして最も寒い今年の 2 月 26, 27, 28 日の真夜中に下り線の押出し施工を行った。3 日間とも気温は低いものの天候には恵まれ、列車の運行にも支障が無く、予定通りの時間に押出しが始った。押出し中は、押出し力、時間、押出し量、桁のたわみ、P25 滑り支承の沈下計測、張出し桁案内装置の反力、オートレベルによる仮支柱の沈下計測を行った。そして全ての情報を 1 箇所に集約し、リアルタイムに設計値と比較する、情報化施工システムを採用して、より安全な施工に努めた。その結果、3 日間とも機材のトラブルを含め、ほとんど何事もなく所定の時間内に押出し作業を終えられた。桁のたわみ・進行方向、各支点の反力、案内装置での反力ともほぼ設計通りの結果となった。押出し力も全体を通じて 120t~190t の間で推移し、その動摩擦係数は $\mu=0.32$ 程であった。

7. おわりに

本工事は、特殊な施工条件、厳しい制限の中 10.3m/h（主桁の支点乗り上げが無ければ 11.5m/h）という例のない高速の押出し速度を達成した。これは、従来の 3 倍の速度に改善された押出しシステムや、押出し作業を休止しないための、いくつかの創意工夫によるものである。P25 で採用した上杓、下杓分離型の滑り支承は、今までにない 2500t の大きな反力と、押出し中に生じる支点の回転、200kgf/cm² の高い設計支圧応力度、という特殊な条件の中、支障無く主桁を押出せたことで、これからの押出し施工の幅を広げるものと思われる。また今回のようにバネ値の低い支点へ、手延べ桁が乗り上げる場合に、通常分散押出し方式で行われている、支点での反力管理を、集中押出し方式にも導入したことで、高速の押出し施工が可能となり、高精度な桁閉合が行えた。揚げ越しにおいても、2 定点と揚げ越し点を結ぶ斬新な考え方と mm 単位の施工管理が、下り線の良好な結果を生んでいる。

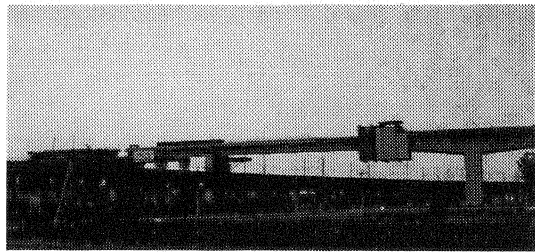


写真-11 平成 11 年 5 月

現在は今年秋口予定の押出しに向けて、上り線施工の最盛期である。写真-11 は、奥が中央閉合の終了した下り線、手前上り線、東北新幹線をはさんで左が主桁製作中の石橋こ線橋。右が日本道路公団により張出し施工中の P26 橋脚である。

最後に、この路線の計画からここまでの間に、携わってきた多くの方々に下り線の施工結果報告と、上り線の押出しを案内すると共に、ご協力いただいた、またいただく関係各位に謝意を表す次第である。