

## R &amp; C工法 F Cプレート自動制御技術の実用化

## Practicable Auto Control System of Friction Cut Plate Fixation in R&amp;C Method

J R 北海道 ○正員 吉野伸一 (Shinichi Yoshino)  
 正員 山根進吉 (Shinkichi Yamane)  
 (株) 奥村組 田中秀和 (Hidekazu Tanaka)  
 古川 誠 (Makoto Hurukawa)

## 1. まえがき

J R 石北線をアンダーパスする都市計画道路東四丁目通りは、鉄道により分断された都市内交通アクセス・環境を向上させるために、北海道が計画した幅員20mの新設道路であり、都市拠点整備事業（北見市主体）と共に面的な整備が進められている。

鉄道交差部は、国道39号線までの取り付け距離が短いため、計画構造物の土被りを極力小さくする必要があった。また、当地は寒冷地であり漏水や結氷の問題から構造物には高い品質が要求されるため、施工性の優劣を考慮する必要があった。

本工事では構造物としての信頼性、施工の実績、軌道への影響等を総合的に判断しアール・アンド・シー工法（以下 R & C 工法という）を採用した。この工法は、縁切り用の鋼板（以下、F C プレートという）を載置した矩形のパイプルーフを函体外形に合わせて土中に推進設置し、F C プレートを立坑等に固定した後、パイプルーフ群の後端にセットした函体を掘進させることにより、ルーフと函体とを置換設置する施工法である。（図-1 参照）。

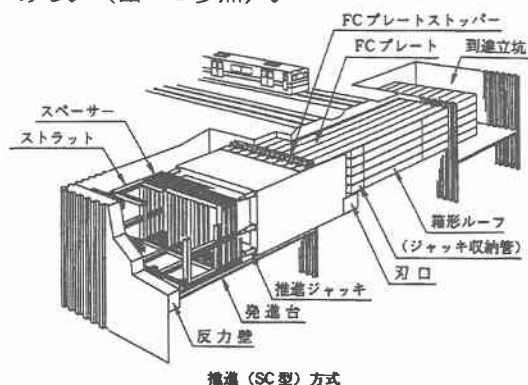


図-1 R &amp; C工法概念図

非開削の各種アンダーパス施工法は、軌道への影響が予想される立坑築造、地盤改良、エレメント（ルーフ）設置の3工種は全てに共通している。土中に設置したエレメントを本設利用する施工法に対し、R & C 工法は函体を仮設のエレメントと置換するため1工程多い。これはメンテナンスフリーの良質なストックを得るために不可欠であるが、鉄道営業政策上から列車徐行に関する制限が厳しくなりつつある現在では、函体の移動により生じる F C プレートの絶対変位量を極

力小さくすることが求められている。

本工事では、移動する函体を反力とし、F C プレート固定部の変位量を計測・制御することで、軌道の通り狂いを抑制する方法を実施し、所期の成果を得たのでここに報告する。

## 2. 工事の概要

## (1) 構造物

片側2車線歩道付きの都市計画道路を供するため、構造物は全幅20.5m全高8mの大断面1層3径間ボックスカルバートである。横断部は立坑仮土留壁間が16.2m、構造物長は17.35mの1ブロックとした。



図-2 工事全体平面図

交差部から取り付け部の国道までは直線距離110mと短いため、取り付け部・横断部に R = 60m の曲線を入れ、6.99%の道路縦断勾配を確保している。

鉄道との交差角度は曲線の接線方向として76.4度となった。このため推進されるボックス端部も同じ斜角形状とした。（図-2 参照）

## (2) 立地条件

工事箇所は北見駅構内東端に位置し、引き上げ線を含む3線がある。計画構造物の土被りは施工基面より0.30mであり、地質は地表より0.5m位までが炭ガラ等の埋土層、その下が砂および砂礫層である。地下水位は施工基面下3.1~3.5mの深さとなっている。なお、旭川方には内空断面積3.2㎡のレンガ積み暗渠が残されており、函体掘進時にこれを撤去することとなっていた。

## (3) 立坑工・地盤改良工

地下水が多いことから仮土留壁は鋼矢板Ⅲ型とし、土留支保工はグラウンドアンカーを用いた。発進立坑の

平面形状は計画道路線形に合わせ、不等辺の五角形となった。

立坑底盤からの湧水に対しては、立坑掘削底面下に薬液注入工により遮水層を形成することとした。同様に、軌道下についても函体設置位置の外側に遮水ゾーンを薬液注入工により設置した。

(4) R & C 工法設備

箱形ルーフ配置形式は、掘進切羽の側面が完全に防護でき、立坑幅も小さくできる門型とした。砂礫地盤は遮水されると崩壊性が高く、既設構造物撤去に伴う振動等に対して、本形式が最も安全が高いと考えた(図-3 参照)。

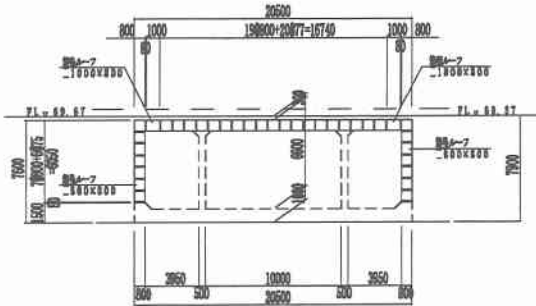


図-3 函体横断面・ルーフ配置断面図

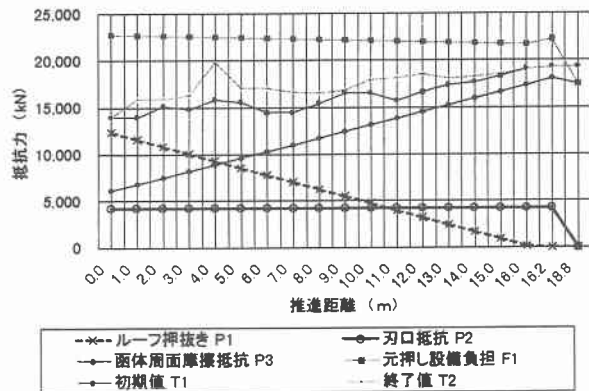


図-4 推進抵抗力推移図

函体推進設備は元押しのみとし、2,000kNジャッキ18台の36,000kNとした。ルーフ設置から函体推進までは長期間となることから箱形ルーフと地山との付着力を切断するため、函体推進に先立ちルーフを個別に数十センチメートル推進した。ただし、これは刃口が立坑内に位置する間に行った。

設備推力は計算した推進抵抗力に若干の余裕を考慮したものであり、実際の抵抗力も概ね予想した範囲内にあった。(図-4 参照)

3. F C プレートの固定法

(1) F C プレートの固定法の形式

F C プレート固定工は、ルーフや函体の移動により直上の軌道が横移動することを防ぐ重要な工種であり、従来は以下の3形式が実施されてきた。<sup>\*注1</sup>

- ①大桁方式
- ②タイロッド方式
- ③ジャッキ牽引方式

①は F C プレート端を曲げ剛性の大きな桁材に定着

させ、この両端を立坑の土留壁等に支持させるものであるが、函体幅に比例して支点反力も大きくなるため、土被りが浅い場所では土留壁の水平方向変位を小さく抑えることが困難となる。

②は F C プレート端を定着させた桁材を、立坑背面の土留壁等にタイロッドを介して固定させるものであるが、函体長が長くなるとタイロッド長も長くなり、その伸び量も大きくなる外、立坑での資機材搬入出等の作業性にも難点がある。

③は函体をけん引する場合等に用いられていたが、ジャッキの作動を目視・手動としていたもので、作動量の誤差や時間的遅れ等、信頼性に乏しい。

本工事では上記③の方式をシステムチックに発展させたものであり、函体移動量に伴う F C プレート固定桁の変位量をリアルタイムに検知し、マイコン制御により、ジャッキを相当量作動させ、固定桁の変位を管理・制御する方式である。以下にその概要を示す。

(2) 新システムの概要

今回採用した装置は、F C プレート固定桁の位置を決める油圧ジャッキの反力を函体に取り、油圧ジャッキの伸張方向を函体推進方向とは逆にして(ジャッキを押す方向で用いるため)自動調整するものである。原理は、F C プレートの変位量をワイヤー式ストローク計でリアルタイムに監視し、変位量が規定値を超えるとマイコン制御により油圧回路のアンロードリリーフ弁と電磁弁を作動させ制御ジャッキを作動させるものであり、主要設備は操作・制御盤、油圧ポンプユニット、制御ジャッキにより構成される。

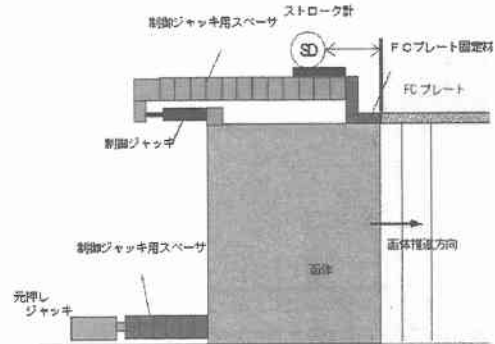


図-5 F C プレート固定自動制御概念図



写真-1 F C プレート固定工全景

本工事において採用した方式の概念および施工状況

を図－５、写真－１に示す。函体推進（＝ルーフ押し出し）時の鉛直死荷重は 3,800kN（ＦＣプレートを含む）あり、ＦＣプレートと函体との摩擦係数を0.33とした水平方向反力は 1,250kN（側部土砂のせん断抵抗を無視）となる。これは、ＦＣプレート固定桁の水平方向の分布荷重として 61kN/mとなり、4箇所等で分に支持するものとすれば、1箇所当たりのジャッキ負担力は 310kNとなる。本工事においては負担力の余裕をとり、開発機の転用を考慮したことから、1箇所当たり 490kN（50tf）×1000mmストロークのジャッキ2台を装備した。

#### 4．新システムの実施結果

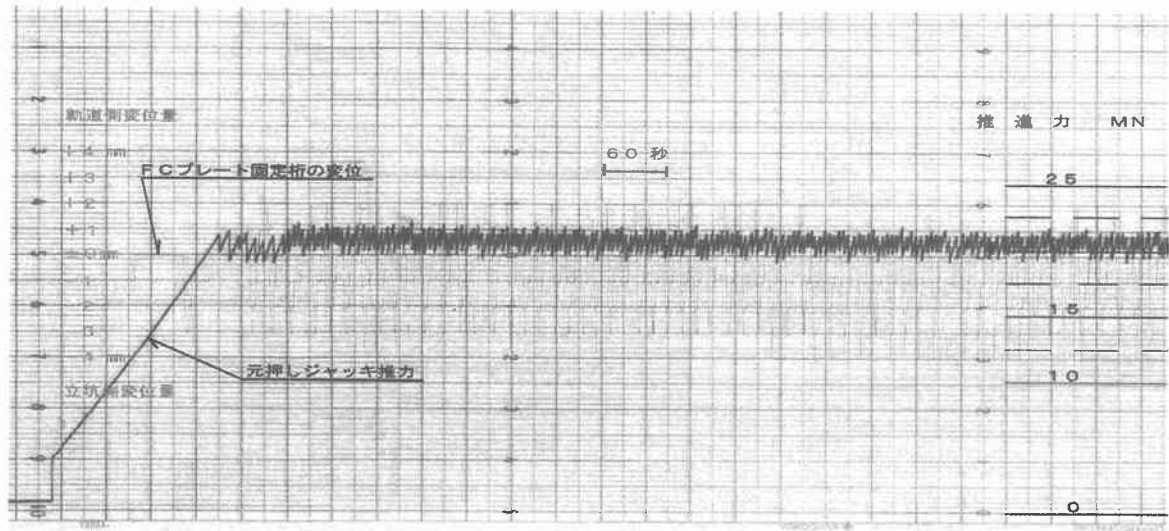
##### (1) 自動制御の施工状況

図－６に函体推進および制御ジャッキの作動記録紙の写しを示す（11月20日分、到達直前）。函体推進ジャッキが加圧され始めても、反力鋼材等の遊間が解消するまでは函体は前進しない。函体推進の元押しジャ

ッキが小刻みに変動（1,500kN幅）しているのは函体が脈動するように断続的な前進（ノッキングと呼ぶ）をしていることを示している。

データはまだ解析中であるが、ノッキングは3秒から6秒毎に発生し、4秒／回が平均であった。その1回のノッキングにより函体は1.00～1.30mm前進している。また、その発生回間隔は函体の進捗と共に短くなり、増大する函体推力に比例し、1回のノッキングにより進む距離は逆に減少していた。代表的な施工日の記録を表－１に示す。

ＦＣプレート制御ジャッキは＋2～－3mm（線路側への変位を＋、立坑背面側を－）の域内で伸縮している状況が示されている。＋1mmでも制御が始まっている部分もあるが、これは4箇所ある計測箇所の内、記録紙にピックアップしているのが1箇所過ぎないためである。なお、制御設定値は外側2列は＋3～－3mm、内側は＋3～－4mmとした。



図－６ ジャッキ制御記録図

|       |               |       |       |       |       |       |       |       |       |       |     |                |
|-------|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|----------------|
| 10/23 | 推進回数          | 計     | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9   | 平均             |
|       | 制御回数          | 359   | 148   | 24    | 31    | 32    | 124   | *     | *     | *     | *   | 8.47 sec/回     |
|       | ノッキング回数       | 688   | 147   | 106   | 98    | 70    | 267   | *     | *     | *     | *   | 4.42 sec/回     |
|       | 作動時間(min)     | 50.7  | 13.4  | 5.4   | 6.3   | 5.0   | 20.6  | *     | *     | *     | *   | 1.26 推進mm/ノック回 |
|       | 制御頻度 sec/回    | 5.43  | 13.50 | 12.19 | 9.38  | 9.97  | *     | *     | *     | *     | *   |                |
|       | ノッキング頻度 sec/回 | 5.47  | 3.06  | 3.86  | 4.29  | 4.63  | *     | *     | *     | *     | *   |                |
| 11/17 | 推進回数          | 計     | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9   | 平均             |
|       | 制御回数          | 393   | 46    | 166   | 35    | 99    | 47    | *     | *     | *     | *   | 12.15 sec/回    |
|       | ノッキング回数       | 1158  | 120   | 394   | 86    | 419   | 139   | *     | *     | *     | *   | 4.12 sec/回     |
|       | 作動時間(min)     | 79.6  | 7.3   | 30.6  | 5.5   | 25.6  | 10.6  | *     | *     | *     | *   | 1.13 推進mm/ノック回 |
|       | 制御頻度 sec/回    | 9.52  | 11.06 | 9.43  | 15.52 | 13.53 | *     | *     | *     | *     | *   |                |
|       | ノッキング頻度 sec/回 | 3.65  | 4.66  | 3.84  | 3.67  | 4.58  | *     | *     | *     | *     | *   |                |
| 11/20 | 推進回数          | 計     | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9   | 平均             |
|       | 制御回数          | 419   | 27    | 32    | 31    | 80    | 14    | 141   | 42    | 19    | 33  | 12.90 sec/回    |
|       | ノッキング回数       | 1489  | 75    | 105   | 149   | 347   | 56    | 434   | 132   | 78    | 113 | 3.63 sec/回     |
|       | 作動時間(min)     | 90.1  | 7.5   | 7.9   | 7.9   | 18.7  | 3.5   | 24.5  | 8.4   | 3.7   | 8.0 | 1.06 推進mm/ノック回 |
|       | 制御頻度 sec/回    | 16.67 | 14.81 | 15.29 | 14.03 | 15.00 | 10.43 | 12.00 | 11.68 | 14.55 |     |                |
|       | ノッキング頻度 sec/回 | 6.00  | 4.51  | 3.18  | 3.23  | 3.75  | 3.39  | 3.82  | 2.85  | 4.25  |     |                |

表－１ ジャッキ制御記録集計表

制御ジャッキの作動する頻度は、1回当たり5～16秒（表－１参照）と大きな変動がある。これは、函体推進速度と制御ジャッキ作動速度との関係およびＦＣプレート上の軌道の支持状態に関係するものであり、装

置が安定して作動し、軌道の通り狂い発生が抑制できた函体推進後半は小さくなっている。

##### (2) 軌道の通り狂い発生状況

軌道の通り狂いは、構造物センターを中心に10m毎

に測定点を設定し、軌道3線で15点を計測した。函体推進開始当初は推進中（ジャッキ加圧時）に軌道の通り狂いが発生し、推進終了後もその変位が戻らないことがあった（0～6mm）。

その値は、センターからの離れや1回当たりの推進量に比例するものでなく、推進方向の位置（各軌道）毎にも異なるなど複雑であり、明確な特性・傾向は認められなかった。軌道の通り狂いの発生・制御状況を図-7に示す。装置の改良（プログラム上、下記②の対策）等を進めた推進後半は軌道の通り狂いが抑えられていることが表されている。

本工事での軌道の通り狂いの発生原因として以下の事項が挙げられる。

#### ① F Cプレート上の土砂が慣性力で移動する

函体移動時のノッキングによりF Cプレート上の土砂等が慣性力で移動し、仮土留壁の変形、地山・バラ

スト体が塑性変形を生じ復元できなかった。

#### ② 初期載荷時の誤差累積

列車通過時に函体推進を一時停止する等の場合に、F Cプレート固定桁は制御設定域内の任意点に止まっており、線路側に位置していた場合はその位置から上記①の現象が発生した。

#### ③ F Cプレート固定桁の局部的変形

固定桁は支持スパンに対し十分な曲げ剛性を得るべく計画されたが、F Cプレートを溶接定着した桁材（H形鋼）のフランジ部が変形した。

なお、従来のF Cプレート固定法による軌道通り狂い量は、J R北海道管内のこれまでの施工例中、固定桁の支持条件の悪い場合において5mmから十数mm程度の値が発生している（桁式、タイロッド式）。

また、発表されている他社の事例では数十mmの事例もある。\*注2

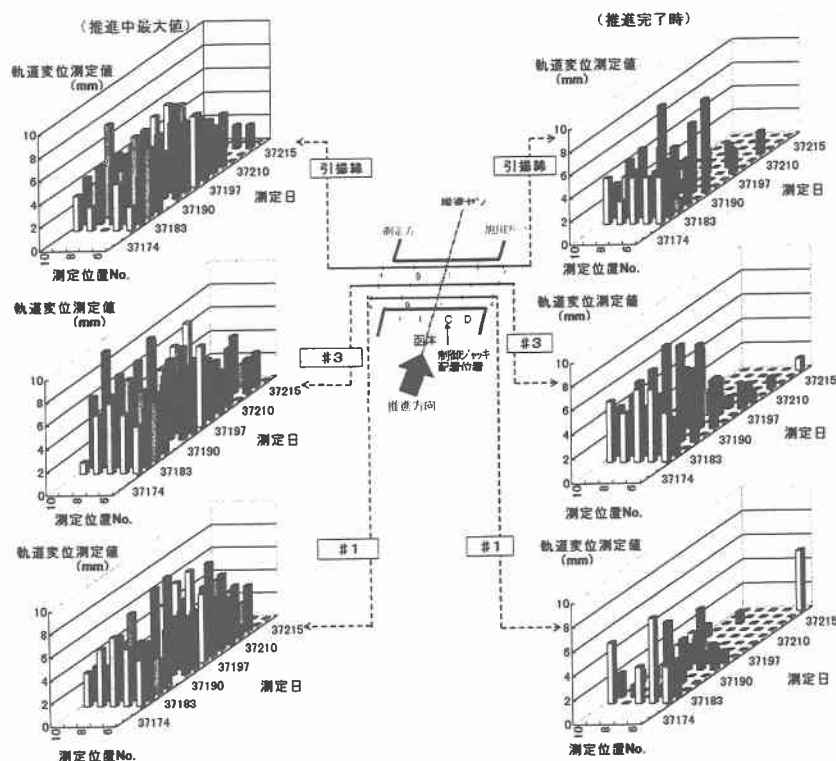


図-7 軌道の通り狂い発生状況図

#### 5. 考察

本工事箇所は寒冷地であることから、アンダーパス工事後の路盤凍上防止にも留意し、箱形ルーフ施工時等に線路下の支障物撤去と共に路盤材を透水性の良いバラストに置き換えた。このため土被りが小さく鉛直加重が少ない上に、F Cプレートと接する土砂は付着力が乏しく滑りやすい状態にあったと考えられる。

本工事の軌道変位は、本工事後半での延べ105測点で5mmが2点という実績であり、本方式がR & C工法工事において有用であることを実証したものと言える。

勿論、本方式を今後適用・普及するにおいては、

- ・立坑仮土留壁の補強
- ・線路間の道床バラスト余盛り
- ・枕木間および土留壁との木製ストラット幅止め

等、F Cプレート上の水平方向拘束力の強化（一体化）と共に、制御ジャッキシステムの機能をより向上させ、信頼性を高めることが求められる。

本方式はその特質から、函体幅やブロック長が大きい場合、特に盛土部での施工のように函体上床位置が地表から大きく突出している場合に有効であり、保線作業時間の確保が難しい高速・過密線区で効果を発揮することが期待される。

了

#### 参考文献

- 1) 線路下横断工法連載講座小委員会：連載講座線路下横断工法(4)、トンネルと地下 Vol.32 No.1、2001
- 2) J R 東日本：線路下横断構造物の計画及び施工法の選定の手引き、p.126、1995