

函体推進・けん引工法における周辺縁切り部材の自動制御施工事例

植村技研工業株式会社 正会員 ○山下 康彦
同上 正会員 中村 智哉
長電建設株式会社 杉山 享寛

1. はじめに

線路下または道路下において供用中の上部交通を遮断せず、非開削で土被り浅く施工可能なアンダーパス構築法の一つとして、アール・アンド・シー工法や SFT 工法に代表される函体推進・けん引工法が挙げられる。本工法は、古くから鉄道下を中心に広く立体交差事業に用いられており様々な実施形態がある。基本的な工程として横断部の線路や道路および切羽防護を目的とした箱形ルーフ（角型鋼製エレメント）を推進・けん引する函体（ボックスカルバート）外縁にあわせて横断区間全長に配置した後に、本体構造となる函体を箱形ルーフ後端部に据え付け、箱形ルーフを押し抜きながら函体を計画位置に設置する置換工法である。防護工となる箱形ルーフを地山に残さないことから土被り浅く施工可能な事の特徴とする。

箱形ルーフと函体が地山中を移動する影響は、函体と地山の間に縁切り材となる鋼板をフリクションカットプレート（以下、FC プレート）として介在させ、函体推進・けん引時の摩擦抵抗の低減を図るとともに地山の水平変位を抑制する。FC プレートには函体移動の摩擦による引張力が作用するため、発進側の坑口で固定する必要がある。FC プレートの固定方法は施工規模や地形条件などにより選択される。

本報告は、近年用いられている固定法の一つである FC プレートの移動量を計測し、リアルタイムでその動きを抑制する自動制御方式（Auto jack control system 以下、AJCS）による施工事例を報告するものである。

2. 工事の概要

工事名称：平成 26 年度防災・安全交付金（街路）事業 長野電鉄長野線立体交差化工事

工事場所：（都）高田若槻線長野桐原～吉田 長野電鉄長野線桐原駅～信濃吉田駅間

事業者：長野県

発注者：長野電鉄株式会社

施工者：長電建設株式会社

工 期：平成 25 年 12 月 25 日～平成 29 年 6 月末

内、SFT 工法（箱形ルーフ工～函体推進工）平成 27 年 2 月～平成 28 年 3 月

本工事は、長野市北部と長野市中心部を結ぶ幹線道路である都市計画道路高田若槻線のうち、未着手区間であった長野吉田高校東交差点から桐原交差点までの全長約 900m を長野県が整備する事業において、長野電鉄長野線との交差部に、1 層 4 径間のボックスカルバート（図-1）を構築する工事である。外幅 24.4m、外高さ 7.7m の現場製作の RC 構造物を、土被り F.L.-0.66m の浅い位置に、鉄道交差部全長 42.0m の内、11.604m を非開削施工工法である SFT 工法で施工した。

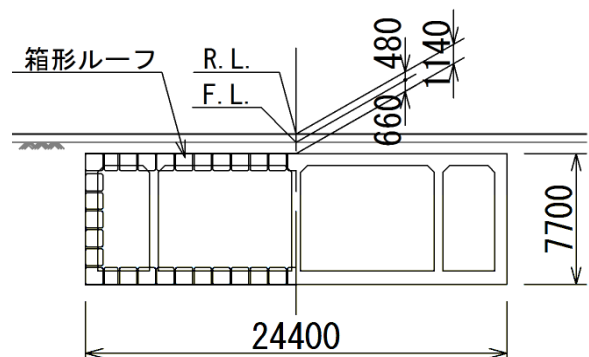


図-1 ルーフ配置・函体正面図

Construction example of Auto Control System of Friction Cut Plate Fixation in Box culvert propulsion and pull method, Yasuhiko Yamashita (Uemura engineering Co.,Ltd), Tomoya Nakamura (Uemura engineering Co.,Ltd), Takahiro Sugiyama (Nagaden Kensetsu Co.,Ltd)

3. 工法の概要

(1) SFT 工法概要

SFT 工法とは、シンプルで切羽のないトンネル構築工法を意味する Simple and Face-Less Method of Construction of Tunnel の略称であり、アール・アンド・シー工法の改良工法である。

図-2 の概要図に示すように、箱形ルーフと FC プレート（Face Plate）を横断区間全長にわたり函体外形に合わせた位置に配置し箱形ルーフ内側の土砂を取り囲み閉合する。その後箱形ルーフと函体とを接続して一体化して到達側へ押し抜くものである。なお、函体推進時の FC プレートは箱形ルーフと分離して発進側の坑口に固定し、函体押抜き時の外周地山縁切り材となる。押し抜いた箱形ルーフは到達立坑内で解体するとともに内包した土砂をまとめて排土するので、工法名のとおりの横断区間で切羽掘削なく施工できることを特徴とする。

本現場では、長さ 12.0m（3m×4 本）の箱形ルーフを 56 列で矩形配置（図-1）し、この箱形ルーフ群と函体を一体化して推進した。

(2) AJCS 概要

このシステムは、図-3 に示すように FC プレートの水平変位を計測するストロークセンサー、油圧ポンプ、電磁弁式操作盤、FC プレート制御ジャッキおよび統括する制御パソコンにより構成される。

FC プレート自動制御は、パソコンで設定された電磁弁式操作盤により、各制御ジャッキにかかる圧力の定（低）圧状態⇔高圧状態を、ストロークセンサーの計測結果によって判定し、あらかじめ設定した管理値を超えた変位が発生した場合に、自動的に高圧制御へ切り替わるにより行われる。

ここでの高圧状態とは、FC プレート上の死荷重から想定される FC プレートの引き戻しに必要な圧力、定（低）圧状態とは、引き戻さない範囲内の圧力で、かつ函体推進に追従して一定の引張力を FC プレートにかけ続け水平位置を保持するのに必要な圧力を示す。このように定（低）圧で水平位置を保持し、管理値を超える変位が発生した場合は高圧で引き戻した後に定（低）圧状態に戻ることを繰り返す（図-4）。なお、FC プレートを制御する一次管理値は施工規模・現場条件により任意で設定を行う。

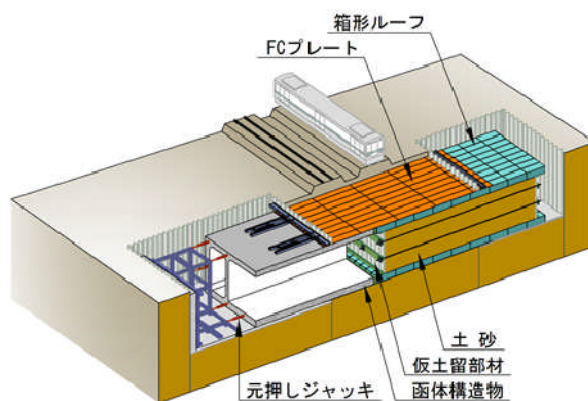


図-2 SFT 工法概要図（推進形式）

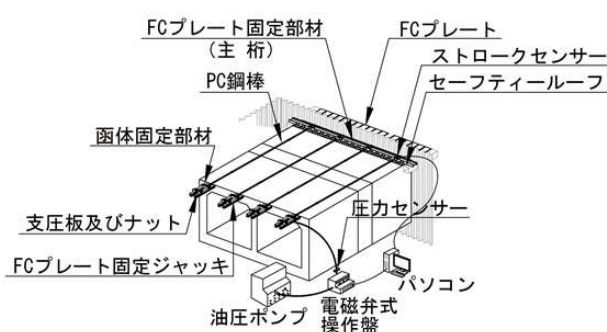


図-3 自動制御システム概要図

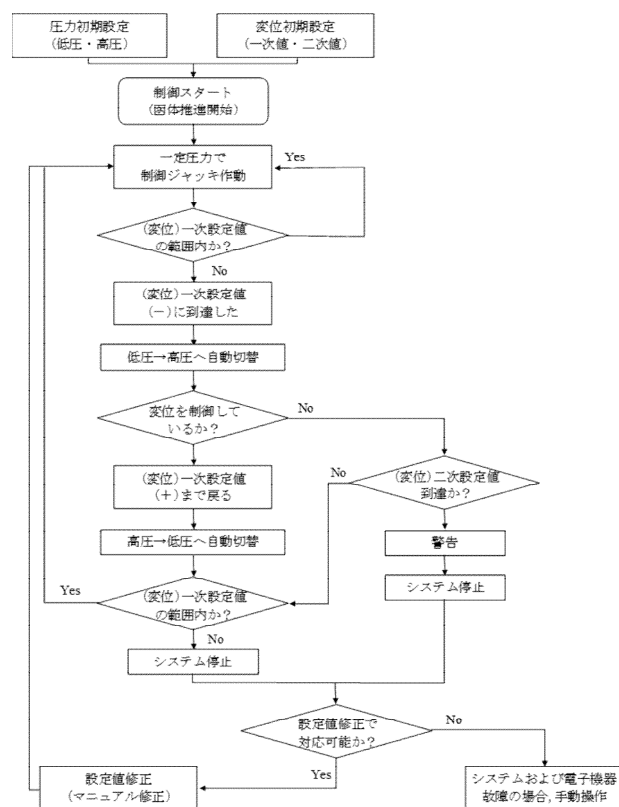


図-4 FC 自動制御フロー

4. AJCS の実施結果

(1) AJCS の設備

本現場では、FC プレートの端部を主桁材で横つなぎに一体化し、その主桁を函体上後部に配置した 6 箇所 の FC プレート制御ジャッキで引き戻す構造とした。6 箇所のジャッキは、長野方 2 箇所・中央部 2 箇所・須坂方 2 箇所の 3 系統 (J1~J3) で独立し、それぞれ異なる圧力と動きで制御できる回路となっており、制御ジャッキ位置と対応した D1~D6 の 6 箇所の水平変位計測結果に基づいて制御される (図-5)。

(2) AJCS の設定

① 一次管理値

FC プレートを保持する定(低)圧状態から引き戻す高圧状態に切り替わる一次管理値は、当該路線の軌道整備基準値を参考に決定した。通りの軌道整備基準値が $\pm 7\text{mm}$ であることから、その約 50% を目標値として設定し $\pm 3\text{mm}$ を一次管理値とした。

② 定(低)圧設定値

定(低)圧設定値は、推進する函体上面の上載死荷重による摩擦抵抗力が FC プレートに引張力として作用するものとし、以下の計算式で求める。なお、算出値は表-1 に示す。

$$T = W \cdot A \cdot \mu$$

T : FC プレート引張力 (kN)

W : FC プレート上載死荷重 (kN/m^2)

A : 函体上面積 (m^2)

μ : 摩擦係数 (0.5 と仮定)

この想定される T (kN) を上回るような定(低)圧設定値を以下の計算式で求める。

$$T \leq P \times X \times k \times N$$

P : 必要引張力 (kN)

X : 定(低)圧設定値 (MPa)

k : 制御ジャッキ換算係数 (30.6)

N : 制御ジャッキ台数 (台)

制御ジャッキ台数 12 台より、 $X \geq 6.83$ (MPa) となり、実工事では、初期設定を 8MPa とし、進行に従い圧力調整し施工を行った。

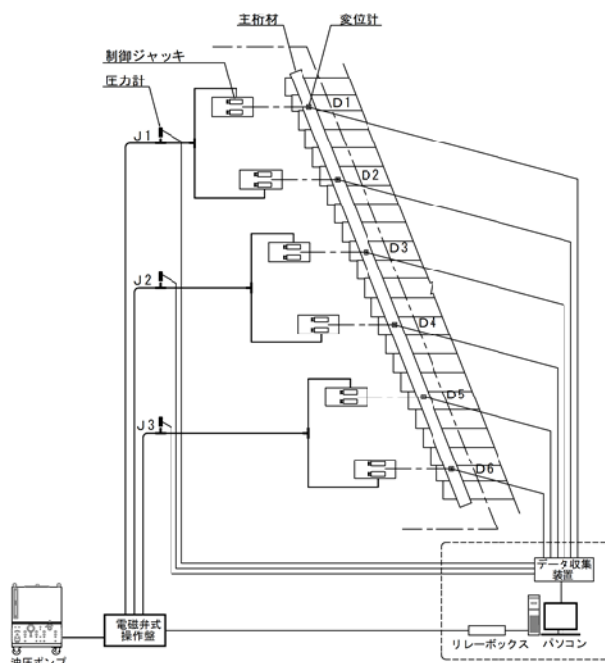


図-5 変位・圧力計測箇所

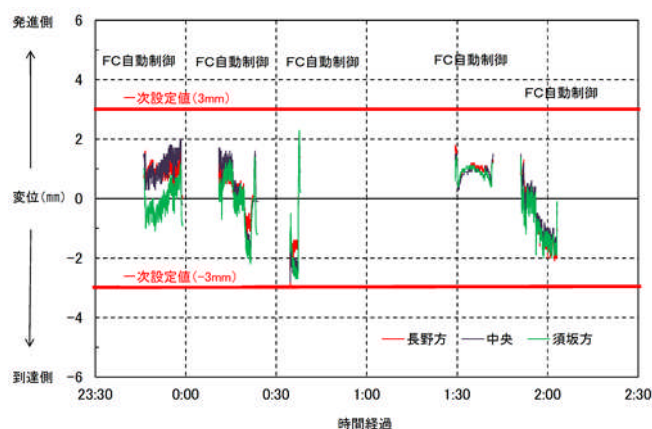


図-6 自動制御記録 (変位)

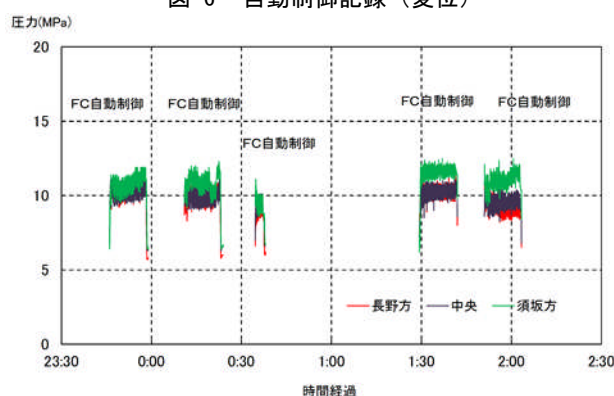


図-7 自動制御記録 (圧力)

表-1 FC プレート引張力算出値

	算出値	備考
上載死荷重 : W	20.56 kN/m^2	軌きょう上上載土
函体上面積 : A	243.56 m^2	幅22.4m×長9.993m
FCプレート引張力 : $T = 2,506.6 \text{ kN}$		

(3) AJCS の制御記録

図-6 および図-7 に推進日 2016/2/4 (夜) の AJCS の変位制御記録と圧力制御記録を示す。同図は、横軸に同じ時間軸 23:30～2:30 での変位と圧力の値を 1 回/秒毎にグラフ化したものである。変位は制御ジャッキ位置に対応した D1～D6、圧力は J1～J3 の 3 系統の計測結果を示す。グラフが中断している箇所は函体が動いていない時間帯を示す。この日は中断をはさみ 5 回に分けて推進を行い、このとき FC プレートの水平変位は縦軸に示した一次管理値±3mm の領域内であり、その圧力は 10MPa 前後で制御されている。また、高圧状態での引き戻しが無いことが確認できる。本現場では、2016/1/26～2016/2/6 の期間に延べ 11 日間函体推進を行ったが、他の推進日も同様に一次管理値±3mm (圧力 8～12MPa) の領域内で FC プレートを制御することができた。

(4) 軌道の水平変位状況

本現場では、函体推進期間中の軌間・水準・高低・通りによる軌道検査の他に軌道の横移動計測を補助的に行った。この計測は、AJCS による FC プレート制御の動きと軌道の水平移動とを補完する目的で行った。測定点は函体通過部上の上下線軌道に 5m 間隔で設定し、6 箇所/線×2 線の計 12 箇所とした (図-8)。

表-2 に、上り線 (推進日 2016/1/26) の計測結果の一例を示す。当該区間は直線区間であることから、あらかじめ線路平行方向に 190mm 離れの基準線を設定し、各測点の水平

変位はこの基準線からスケールで計測した。初期値は推進工着手前に行われた計測結果であり、実際の基準となる数値である。推進作業前と推進作業後は、その推進日の推進前後に計測した値であり、その差分を測点の動きとした。整理の都合上、上り線では 推進前>推進後 となる場合を正側 (発進側) への動き、推進前<推進後 となる場合を負側 (到達側) への動きとした。補助的に行った計測のため推進前後の値を取得できたのは、推進した 11 日間のうち 9 日分であった。

6 箇所/線×2 線×9 日の延 108 測点について移動量別に整理した結果を表-3 に示す。水平変位±3mm という設定で稼働した AJCS に対して、軌道の測点も約 80%が同±3mm の領域内に収まっていることから、AJCS による制御は一定の成果を得られたといえる。

5. おわりに

今回の報告では詳細な分析にはいたらなかったが、FC プレートの水平変位の結果と制御による引き戻しと個々の測点の動きの間にはまだ明確になっていない特性・傾向がある。介在している土被りや軌道構造、FC プレート自体の伸び、函体の方向修正や出来形そのものなど多岐の要因が考えられる。本現場の分析を進めるとともに他現場の実施工データを収集し、より良い施工につながるシステム改良を重ねる所存である。

最後に、函体推進時の貴重なデータを提供いただいた長電建設株式会社に厚くお礼申し上げます。

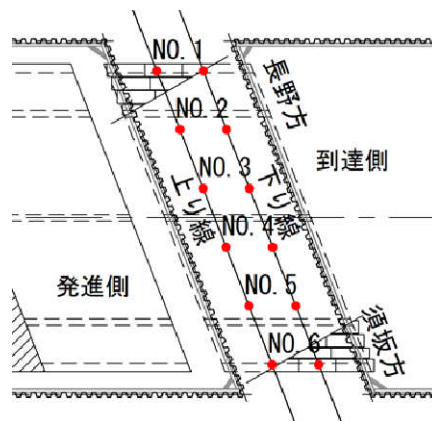


図-8 軌道水平移動計測箇所

表-2 上り線 水平移動計測結果

測 点	基準値 (mm)	初期値① (mm)	推進作業前 (mm)		推進作業後 (mm)		測点の動き 発←→到
			測定値②	①との差分	測定値	②との差分	
長野方	No.1	190	187	186	185	1	←
	No.2	190	180	179	180	-1	→
中央	No.3	190	180	181	182	-1	→
	No.4	190	184	184	186	-2	→
須坂方	No.5	190	180	180	182	-2	→
	No.6	190	186	185	185	0	0

表-3 移動量別 測点数の集計

測 点		移動量 (mm)							延計測点数
		← 発進側	移動量 (mm)					到達側 →	
		6<d	3<6≤d	0<d≤3	0	-3<d≤0	-6<d≤-3	d<-6	
長野方	No.1	0	1	5	5	6	1	0	18
	No.2	0	1	5	3	7	1	1	18
中央	No.3	0	1	5	3	8	1	0	18
	No.4	0	3	3	2	8	1	1	18
須坂方	No.5	0	3	6	0	8	0	1	18
	No.6	0	3	3	2	8	1	1	18
合計		0	12	27	15	45	5	4	108
割合 (%)		0.0	11.1	25.0	13.9	41.7	4.6	3.7	100 %
		11.1		80.6			8.3		100 %