

V-13

開削地下トンネルの新しい築造工法による施工例について

NTT北海道総合技術センタ 正 員 岡本 保幸

同 上 杉本 潔

同 上 本多 健児

同 上 佐藤 厚司

1. はじめに

開削工法による地下トンネル（電話ケーブル用トンネル）の躯体築造は、現場コンクリート打ち工法を主としてきたが、近年の①都市化の進展に伴う環境保全意識の高揚（周辺住民、道路交通への迷惑度の早期回避）、②トンネル断面の少容量化による構内作業の狭隘化、③特殊技能工（鉄筋工・形枠工）の雇用の困難化、等の問題を改善する目的として、躯体のプレキャスト化について検討した。その結果、プレキャスト化されたコンクリート製ボックスカルバートを用い、防水シートによる外防水工を施しながら、掘削溝内に設置したスライド用L形ガイド上を油圧ジャッキによりスライドさせる、新しい開削地下トンネルの築造工法を採用することとし、試行工事を実施したので報告するものである。

2. 工事概要

試行工事は、札幌市豊平区平岸の道々札幌環状線において約200mの区間を実施したものである。図-1に工事区間概要図を示す。

本工法は、工事ルート上に立坑を設け、門型クレーンによりボックスカルバートを立坑内に搬入し、掘削溝内の基礎コンクリート部に埋込んだスライド用L形ガイド上にセットし、ボルト接合及び防水工を施しながら油圧ジャッキにより順次スライドさせて敷設していくものである。

本工事場所においては、西方向に85個、170.0m、東方向に17個、34.0mのスライディング敷設を実施したものであり、図-2にボックスカルバートの敷設

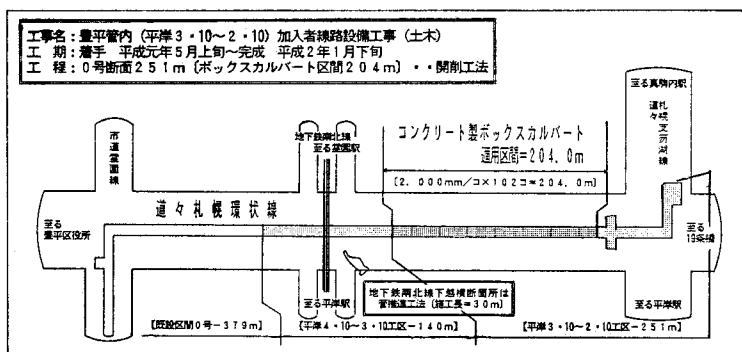


図-1 工事区間概要図

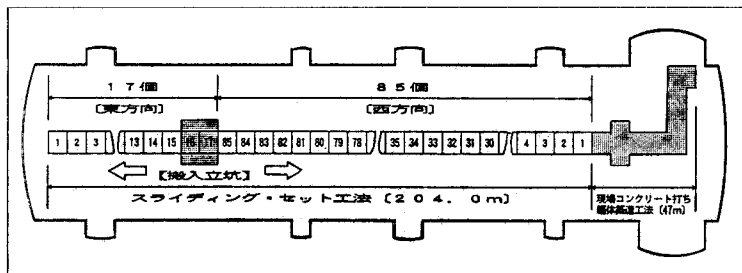


図-2 ボックスカルバートの敷設

An Example of Implementation by a New Construction Method of Underground Tunnel
by Yasuyuki Okamoto, Kiyoshi Sugimoto, Kenzi Honda And Sato Kohzi

施工図を示す。なお、躯体築造に使用したボックスカルバートの構造断面及び諸元は図-3に示すとおりであり、1個当たりの長さは2.0m、重量は6.55tある。

3. 構造断面

工場製作したボックスカルバートの構造断面の内法は、1.65m×2.10m×2.00mで部材厚は上下床板・側壁とも15cmである。

継手部の構造はインロウ方式（オス・メスタイプ）としボルトによる接合とした。なお、ボックスカルバート3個毎（6.0m間隔）の継手部には耐震用積層ワッシャを設置し、地震時の変移に対応できる構造とした。また、継手部の止水方法としてはボックスカルバートの端面にブチルゴムと水膨張性シールを張付け、ゴムの締付けと膨張によって水の侵入路を密閉する従来から用いられている方法と、今回採用した新しいボックスカルバートの敷設工法によって施工が可能となった防水シートによる外防水工を併用した。このため、ボックスカルバートの端部は全外周にわたり幅15cm、深さ5mmの防水シート貼付け用の凹みを付けた構造としてある。

外防水工に使用した防水シートは、ブチルゴム粘着テープと自着層付防水シートである。ブチルゴム粘着テープは、幅狭の薄いテープで伸縮性に富むことから接合部の目開きの目張り用として下貼りし、この上に加硫ゴムと非加硫粘着ブチルゴムからなる自着層付防水シートを上貼した。なお、目張り用ブチルゴム粘着テープの幅は継手部の目開きが数ミリ程度であるので5cmとし、自着層付防水シートはボックスカルバートとの密着性と下地変動を吸収させる必要があることから、その幅は30cmとした。図-4に継手構造及び止水方法を示す。

4. スライディング用設備

スライディング用設備としては、スライド用L形ガイド、スライド用金物及び立坑設備がある。スライド用L形ガイドは掘削溝内の基礎コンクリート部に埋込み設置し、この上をボルトにより接合連結されたボックスカルバートを連続的にスライディングするものである。このため、摩擦抵抗の低減が図れる材質で強度的には優れたものを使用する必要があることから、材質は鋼製とし、形状はL形とした。これは、スライディング時の横ゆれを抑制し、直進性を高めるとともに、市販の規格品のL形鋼を使用できるためである。

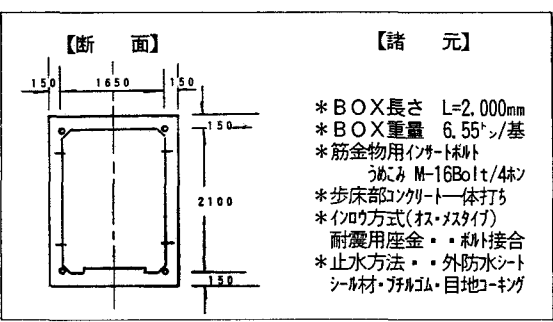


図-3 構造断面及び諸元

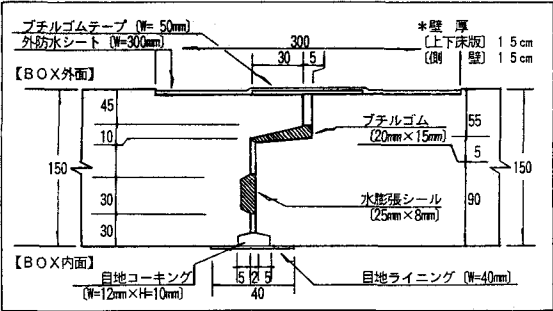


図-4 継手構造及び止水方法

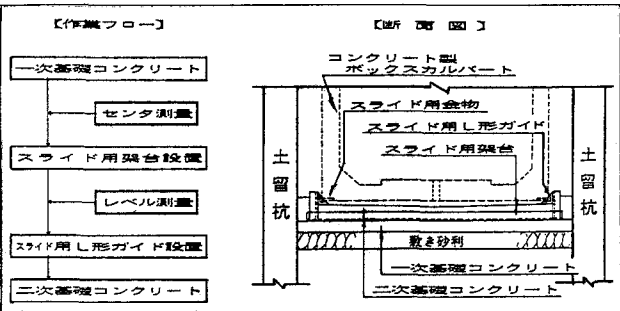


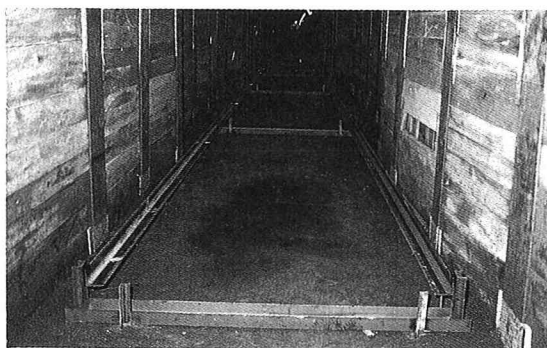
図-5 スライド用L形ガイド設置

る。写真－１にスライド用Ｌ形ガイドの施工状況、図－５にスライド用Ｌ形ガイドの設置図を示す。なお、スライド用Ｌ形ガイドの設置手順は、一次基礎コンクリート打設～センタ測量～スライド用架台設置～水準測量～スライド用Ｌ形ガイドの設置～二次基礎コンクリート打設である。この二次基礎コンクリート打設面はスライド用Ｌ形ガイド面よりいくぶん低くし、スライディング時の支障とならないように仕上げる。基礎コンクリートとボックスカルバート下床版との空隙部には、敷設完了後にあらかじめ軀体下床版に取付けてあるグラウトホールからエアモルタルを注入し、空隙充填を行う。

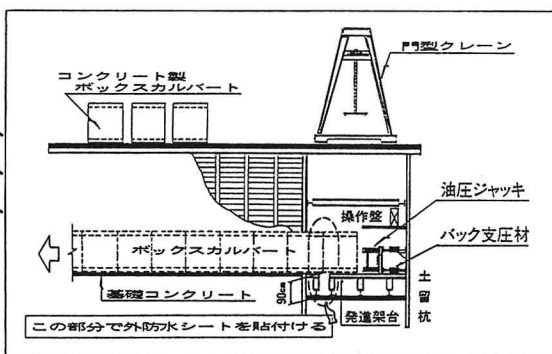
スライド用金物は、スライド用Ｌ形ガイドと接するボックスカルバート下床版隅角部の摩擦面に、軀体製作時にあらかじめ埋込んでおく銅板であり、摩擦抵抗の低減を主目的としているが、あわせて、欠け、ヒビワレ等の発生を防止し、これにより小さな油圧ジャッキ推力でスムーズな長距離スライディング敷設を可能とするものである。なお、スライド用金物は、市販の薄銅板に定着用鉄筋を溶接したもので、金物幅はスライド用Ｌ形ガイドのガイド幅と同程度、若しくはいくぶん広めとし、ボックスカルバート製作時に形枠内の下床版隅角部に配置し、軀体コンクリートを打設し埋込む。本工事では、西方向の85個、170.0m分のボックスカルバートにはスライド用金物を装備しているが、敷設長の短い、東方向の17個、34.0mについては、その必要とする油圧ジャッキ推力も自ずと小さなものとなるので、スライド用金物は装備してないコンクリート面とした。これにより、鉄と鉄、鉄とコンクリートという摩擦面の組み合わせの違いによる摩擦抵抗の差を検証することとした。

立坑設備には、ボックスカルバート搬入用の門型クレーン、スライディング用油圧ジャッキ、反力用バック支圧材及び発進用架台を設けた。油圧ジャッキはスライディングの必要最大推力を200ト(556.7ト×0.30～0.35)程度と想定し、50ト油圧ジャッキを4本装備した。これは、文献等の数値を参考としてスライディング時の摩擦抵抗値は0.30～0.35以下になると考えたものである。発進用架台はスライド用Ｌ形ガイドとは同一なレベルでセットし、スムーズな発進を可能とした。また、立坑内で外防水シートを貼付けるため、基礎コンクリートとは90cmの作業スペースを確保している。

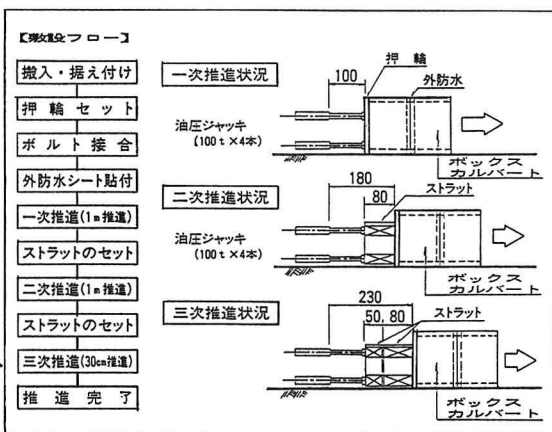
図－６に立坑設備の設置状況を示す。



写真－１ スライド用Ｌ形ガイドの施工状況



図－６ 立坑設備の設置状況



図－７ スライディング敷設フロー

5. スライディング敷設実施結果と考察

本敷設工法はスライド用L形ガイドとスライド用金物を用いることによって、スライディング時の摩擦抵抗を大きく低減し、小さなジャッキ推力で直進性に優れた長距離スライディング敷設を可能としたものである。

実施結果の摩擦係数を表-3に示す。これによると、スライド用金物を取付けたボックスカルバートのスライディング時の摩擦係数は0.18~0.31の範囲となっている。なお、油圧ジャッキ推力が最大となる85個目(170m)のスライドでは、スライド重量 556.7 tに対し137 tのジャッキ推力を示し、この時の摩擦係数は0.25である。また、スライド用金物を取付けていないボックスカルバートのスライディング時の摩擦係数は0.28~0.41の範囲を示しており、スライド用金物を取付けた場合に比べ大きい数値を示している。

文献による摩擦係数では、コンクリートと鉄の組み合わせによる摩擦係数は0.2~0.6の範囲にあるといわれている。これから判断して、スライド用金物を取付けていない場合の平均摩擦係数が0.36というのは妥当な数値といえる。また、鉄と鉄との組み合わせによる摩擦係数については、文献でその数値は明確にされていないが、コンクリートと鉄(0.2~0.6)、鉄と砂(0.3)の摩擦係数から判断して、相当に小さい数値になると想定したとおり、実施結果での平均摩擦係数は0.23と非常に小さい数値となっている。この実施結果から、スライド用金物を取付けた場合と取付けない場合の摩擦抵抗の比は1.6倍程度となり、スライド用金物を取付けたことによる摩擦抵抗の低減効果は非常に大きいものと判断できる。なお、スライディング時のジャッキ推力及びジャッキスピードは、各々の検出器からデータロギングシステムをかいしパソコンで処理し、個々のデータを管理記録したものである。

また、最も長くスライドさせたボックスカルバートは東方向のNo.1ボックスカルバートで、そのスライド距離は170.0mにも及んでいるが、敷設完了後の外防水シートの状況調査結果では、防水シートの破れ・メクレ・タワミ等及び継手部の欠け・ヒビワレ等はみうけられなかった。これは、スライド用L形ガイドとスライド用金物を用いることによって、スライディング時の摩擦抵抗を大きく低減しこれにより、小さなジャッキ推力で直進性に優れた施工ができたためと判断できる。表-1に文献による摩擦係数、表-2に平均摩擦係数、表-3に実施結果の摩擦係数を示す。

表-1 文献による摩擦係数

組 み 合 せ 材 料	摩 擦 係 数
コンクリートとコンクリート	0.5
コンクリートと 砂	0.4
コンクリートと 鉄	0.2~0.6
鉄 と 砂	0.3

*土木工学ハンドブック(土木学会編)及び
理化学便覧(共立出版)による

表-2 平均摩擦係数

鉄 と 鉄	0.227
コンクリートと 鉄	0.355

表-3 実施結果の摩擦係数

①スライド用金物あり【鉄と鉄】			
BOX 番 号	ジャッキ 推力 (t)	B O X 重 量 (t)	摩 擦 係 数
10	20	65.5	0.305
20	34	130.0	0.261
30	34	196.5	0.175
40	50	262.0	0.191
50	69	327.5	0.211
60	80	393.0	0.204
70	116	458.5	0.253
80	125	524.0	0.239
85	137	556.7	0.246

②スライド用金物なし【コンクリートと鉄】			
BOX 番 号	ジャッキ 推力 (t)	B O X 重 量 (t)	摩 擦 係 数
5	9	32.7	0.275
10	20	65.5	0.305
15	40	98.2	0.407

試行実施の結果から、本敷設工法(スライディング・セット敷設工法)に関し以下のことが言える。

スライド用L形ガイドとスライド用金物を用い、油圧ジャッキにより掘削溝内をスライディングさせる本敷設工法は、

- ①ボックスカルバート敷設のための占用スペースは、搬入・設置に要する立坑設備箇所のみとなることから道路交通等へ与える影響も少なく、施工環境上種々の条件を考慮しなければならない市街地道路での適用においては大きな効果が得られる。
- ②スライディング敷設なので、地下埋設物下の敷設も可能であるこれにより、支障物件としての切廻し移設作業も少なく、施工費の低減を図ることができる。
- ③スライディング敷設に要する掘削溝の作業幅は、スライド用L形ガイドの設置に支障とならない掘削幅で可能であり、その掘削余掘は10cmと従来工法に比べ 1/4 程度になることから、掘削・埋戻し土量の減少、しいては道路復旧幅の縮小等によっても施工費の低減を図ることができる。
- ④スライディング敷設としたことによって外防水シートによる止水対策が可能となり、継手部の漏水防止機能は著しく優れたものとなることから、設備としての製品品質の高度化が図れる。



写真-2 ボックスカルバート吊り上げ状況



写真-4 立坑内発進用架台設置状況



写真-3 立坑内及び防水シート施工状況

等の施工性、経済性及び防水性に優れた敷設工法である。写真－２にボックスカルバート吊り上げ状況、写真－３に立坑内及び防水シートの施工状況、写真－４に立坑内発進用架台設置状況を示す。

6. おわりに

今回の試行実施の結果、スライド用Ｌ形ガイドとスライド用金物を用いて摩擦抵抗の低減を図ることによって、防水シートによる外防水工を施した状態でボックスカルバートの長距離スライディング敷設が可能であることがわかった。

今後は、本試行実施の結果をもとに、曲線線形でのスライディング敷設及び施工性の向上等について検討加えて行くこととする。

《参考文献》

- 1) 下水道推進工法の指針と解説，社団法人 日本下水道協会
- 2) ＰＣボックスカルバート道路埋設指針，財団法人 国土開発技術研究センター
- 3) コンクリート標準示方書，土木学会
- 4) トンネル標準示方書（開削編）・同解説，土木学会