

V—19

E S A 工法による北見駅構内横断地下道の設計・施工について

国鉄・札幌工事局 高橋紀彦・堀 勲・近間靖志

はじめに

北見駅周辺は、国鉄石北本線で駅前市街地と駅裏鉄南地区に二分され、東西1.5 kmもの間横断交通路がなく非常に不便をきたしており、この南北の連絡通行の不便を解消するため北見市の進めている「鉄南土地区画整理事業」の一環として北見駅構内に横断地下道を、新工法のE S A（無限自走前進）工法を用いて設計・施工した。

I 設計概要

1. 地下道の構造

構造形式	鉄筋コンクリートラ
	メンボックス
基礎	直接基礎
設計荷重	線路交差部 KS-16
	取付部 TL-20
幅員	5.5m（有効幅5.0m）
高さ	3.2m（有効高2.5m）
延長	100m（線路交差部53m）

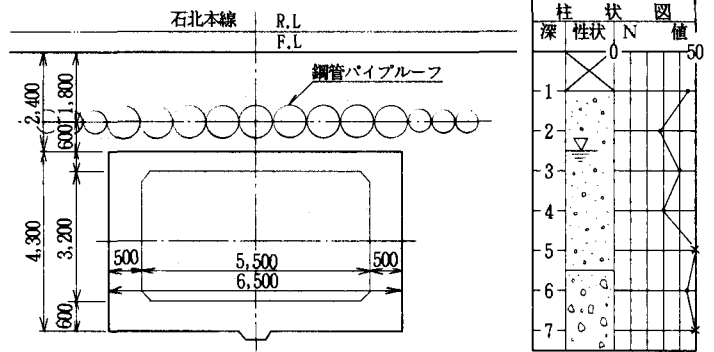


図-1 函体断面および地質状況

2. 地質概要

北見駅周辺の地質は、古第三紀漸新世の栄森層を基盤として、上部に第四紀洪積世の軽石流堆積物及び沖積層が分布しており、地下道の施工部分の地層は、地表面下1.0 mは路盤盛土の中砂・中砂レキが主であり、それ以下は沖積層の河床堆積物ないし段丘堆積物の砂レキである。レキの径は、平均3 cmの円レキ・垂円レキが70%以上混入し、最大レキ20 cm N値40程度がよく締まった透水性の高い地層である。また、地下水位は地表から-2.5 mと比較的高い。

3. 線路交差部の施工法の選定

本工事の施工法の選定にあたり、北見駅構内と言う特殊条件の中で1日平均140本（石北本線・池北線・その他入換含む）の列車を完全に運行させながら工事を進めるため、地下トンネル工法のうちURT工法・パイプルーフ工法・フロンテジャッキング工法・機械化メッセル工法・E S A工法について、工事の安全性・施工性・経済性・工期等から総合的に比較検討した結果、最新工法のE S A工法を採用することにした。

4. E S A工法（無限自走前進工法）の原理

E S A工法は、Endless Self Advancing工法の略称で、その自走前進の原理は「尺取虫」が移動するとき、尾を固定して頭を前進させ、頭を固定して尾を引き寄せて前進するのと同様に似ている。E S A工法の最小単位は、3個の完成トンネル函体（以下、函体と記す。）であり、その3函体間に推進ジャッキをセットし、さらに3個の函体をまとめて連結するP C鋼材の前端に定着具、後端に

ESA ジャッキをセットして自走前進機構を構成する。

各函体の前進は、残り2個の函体を反力に行う。すなわち第1函体は、後続する2個の函体を反力に用い第1・2函体間の推進ジャッキによりジャッキストロークだけ第1函体が押し出される。〈1・2行程〉次に第2函体はPC鋼材に連結された前後の第1・3函体を反力に用い、第2・3函体間の推進ジャッキによって第2函体を押し出す。〈3行程〉最後に第3函体は第1・2函体を反力に用い、第3函体最後尾のESA ジャッキによってPC鋼材をたぐり寄せるようにして、第3函体を前方に押し出す。〈4行程〉さらに、函体数が4、5、6・・・と増加する場合、増加した各函体間に推進ジャッキを増設し、常に最後部の3個の函体はPC鋼材・定着具・推進ジャッキ・ESA ジャッキで自走前進できるようにする。従って、函体数が無限に増加しても各函体は残りの2個以上の函体の反力を利用して無限に自走前進が可能となる。

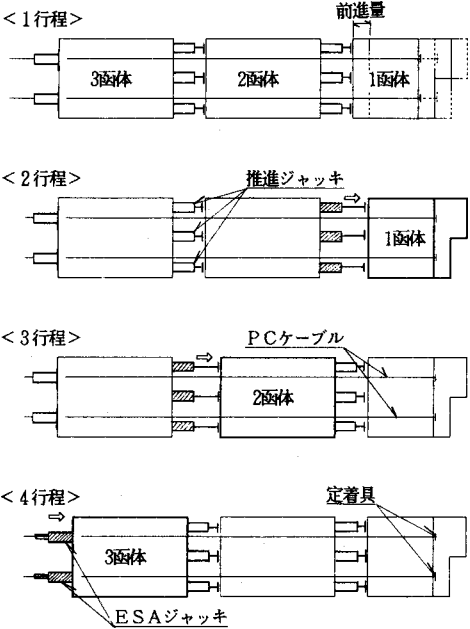


図-2 ESA工法の略図

5. 函体推進の設計

1). 各函体の推進力

$$Pa = (Pi + Pii + Piii) \times S$$

Pa : 推進力 Pi : 函体の摩擦抵抗力 (土とコンクリート 88.9t/m 鋼とコンクリート 69.8t/m)
Pii : 刃口の貫入抵抗力 (513 t)
Piii : フェイスジャッキによる抵抗力 (96 t)
S : 安全率 (1.3)

第1函体 $Pa = (88.9t \times 3.2m + 69.8t/m \times 3.0m + 513t + 96t) \times 1.3 = 1430t$

以下、第2～6函体 1020t 第7函体 1030t となる。

2). 各函体の反力

前記の推進力に対する反力として、すでに貫入した函体の引抜抵抗力と函体の発進台の摩擦抵抗力を考慮する。

Pb: 函体の引抜抵抗力 (実抵抗力の90%)
Pc: 函体と発進台との摩擦抵抗力 (函体自重に摩擦係数0.6 を乗じた値)

各 函 体 Pa・Pb・Pc	第1函体	第2～ 6函体	第7函体
Pa（推 進 力）	1,430t	1,020t	1,030t
Pb（函体の引抜抵抗力）	—	710t	720t
Pc（函体と発進台との摩擦抵抗力）	60t	120t	140t

表-1 各推進力・引抜抵抗力・摩擦抵抗力

6. ESA工法の設計

本工事では、全体を7函体に分割して発進基地内で場所打ちにより函体を製作し、線路下交差部 53mをESA工法で施工し、取付部を含めると横断地下道全体は延長約100mとなる。

ESA工法の施工順序は、図-3のとおりである。発進基地の長さは経済性・工期等種々の条件により35m とし、7函体を2回に分けて1～3段階で施工した。

1). 第1段階

第1～3 函体の掘進終了までである。なお 第1段階では函体を地中に貫入させるための初期反力が不足するため、本工事

では導坑を掘削し、あ <1段階>

らかじめ P C ケーブル

を導坑内及び第1～4

函体内を通して、第4

函体背面に定着具を取

付け到達基地に反力設

備を設け、E S A ジャ

ッキ8台を設置して到

達基地から反力不足を

補う方法を採用し、さ

らに導坑にガイド溝を

設けることにより函体

掘進時の精度を向上さ

せ、又 水抜坑として

も利用した。但し、こ

の導坑を利用して初期

反力を補う方法は、あ

る程度函体が地中に貫

入した後、貫入した函

体の引抜き抵抗力和発

進台の摩擦抵抗力が推

進力を上回った時点で

撤去する。

反力設備の E S A ジャ

ッキ台数は次による。

(表-1 参照)

・ 第2～4 函体の発進台での摩擦抵抗力

$$120 \text{ t} \times 3 \text{ 函体} = 360 \text{ t}$$

・ 反力設備の必要 E S A ジャッキ台数

$$1420 \text{ t} - 360 \text{ t} = 1060 \text{ t}$$

$$1060 \text{ t} / 150 \text{ t/台} = 7.1 \approx 8 \text{ 台}$$

第4 函体の掘進では、反力設備の E S A ジャッキだけでは偏ったけん引力しか得られないため 第3 函体貫入終了までに E S A ジャッキ4 台を第4 函体背面に移設する必要がある。反力設備の E S A ジャッキ4 台が反力設備として不要になり第4 函体背面に移設できるには、第3 函体が x m 土中に貫入した時であるとしたら

$$1020 \text{ t} - (120 \text{ t} + 120 \text{ t} \times (8 \text{ m} - x \text{ m}) / 8 \text{ m} + 710 \text{ t} \times x \text{ m} / 8 \text{ m} + 600 \text{ t}) = 0$$

$$(3 \text{ 函体 } P_i) (4 \text{ 函体 } P_{iii}) (3 \text{ 函体 } P_{iii}) (3 \text{ 函体 } P_{ii}) (E S A \text{ ジャッキ})$$

$x = 2.4 \text{ m}$ よって 第3 函体が土中に 2.4 m 掘進した時 E S A ジャッキ4 台は第4 函体背面に移設できる。

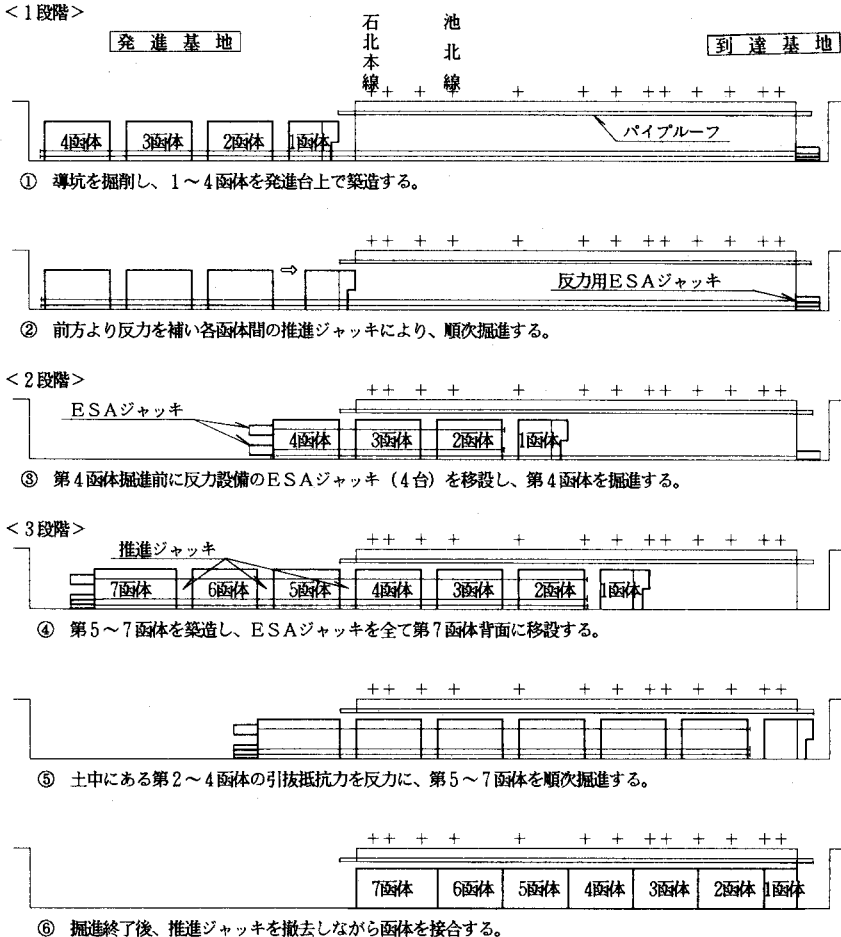


図-3 施工順序図

2). 第2段階

E S A ジャッキ 4 台移設後 第 4 函体掘進終了までである。反力設備の残り 4 台の E S A ジャッキが不要となり撤去できる時は、第 4 函体が x m 土中に貫入した時であるとしたら

$$1020t - (120t \times (8m - x) / 8m + 710t + 710t \times x / 8m) = 0$$

$x = 2.6m$ 第 4 函体が土中に 2.6m 掘進した時 E S A ジャッキは全て不要となる。

第 2 段階で、E S A 工法の最小単位は完成する。

3). 第3段階

第 4 函体が完全に土中に掘進した後、同じ発進台上で第 5～7 函体を築造し 順次掘進して最後に各函体間の推進ジャッキを撤去しながら各函体を接合するまでである。

第 3 段階は、反力設備で使用していない E S A ジャッキを全て第 7 函体背面に移設し 第 2～7 函体を連結する。この時 必要とする E S A ジャッキの台数は第 7 函体掘進のための 8 台 (1200 t) であり、反力として土中の函体の引抜抵抗力を考慮する場合 ジャッキ台数による 1200 t が限界である。但し 1200 t 有効な状態になるには、他函体の引抜抵抗力の総和が 1200 t 以上あることが条件となり 第 2～4 函体が土中にある時 引抜抵抗力 (表-1) は $710t \times 3 \text{ 函体} = 2130t > 1200t$ となるから第 5～7 函体の掘進には支障ないことがわかる。

また、第 5 函体以後の掘進が進むにつれ第 2・3 函体の引抜抵抗力は不要となり、P C ケーブルの定着具を第 2 函体以後に移設可能である。

II. 施工概要

1. 実掘進速度

前記したように 第 3 段階で第 5 函体以後の掘進が進むにつれ定着具の移設が可能であるが、実際の施工では工期や経済性から第 2 函体前面の定着具は移設しないで施工した。

E S A 工法による工事は、当初心配していた函体掘進に必要な反力不足、大規模な湧水等もなく順調に進み、施工体制は昼夜 2 交替で行い 58 年 3 月掘進を完了した。実掘進速度 (人力掘削) は、1 日平均約 1.0m であった。

2. 施工中における問題点と対策

1). 鋼管パイプルーフの沈下

函体の掘進を始めてから 20m 掘進した時点で、線路防護工として施工した鋼管パイプルーフが発進基地側で沈下をおこし軌道路盤が若干沈下した。この原因は、パイプルーフ推進時に周囲の地層が多少乱されるため、パイプルーフ下端と函体間の土砂が函体掘進の際、掘進方向に圧密され空隙が生じたため通過列車荷重により函体後端部の方から沈下が発生したと思われる。

この間隔保持対策として、H 鋼を鋼管下に舟型に加工し、函体上部にはビニール砂袋を発進基地側から補充し対処した。なお 函体掘進時における刃先部で切羽の崩落による鋼管パイプルーフの底面が露出する肌落ちは本工事では発生しなかった。

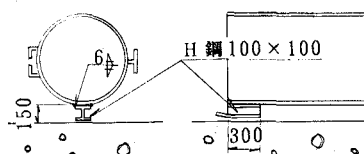
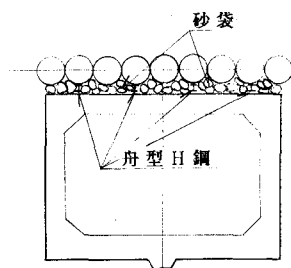
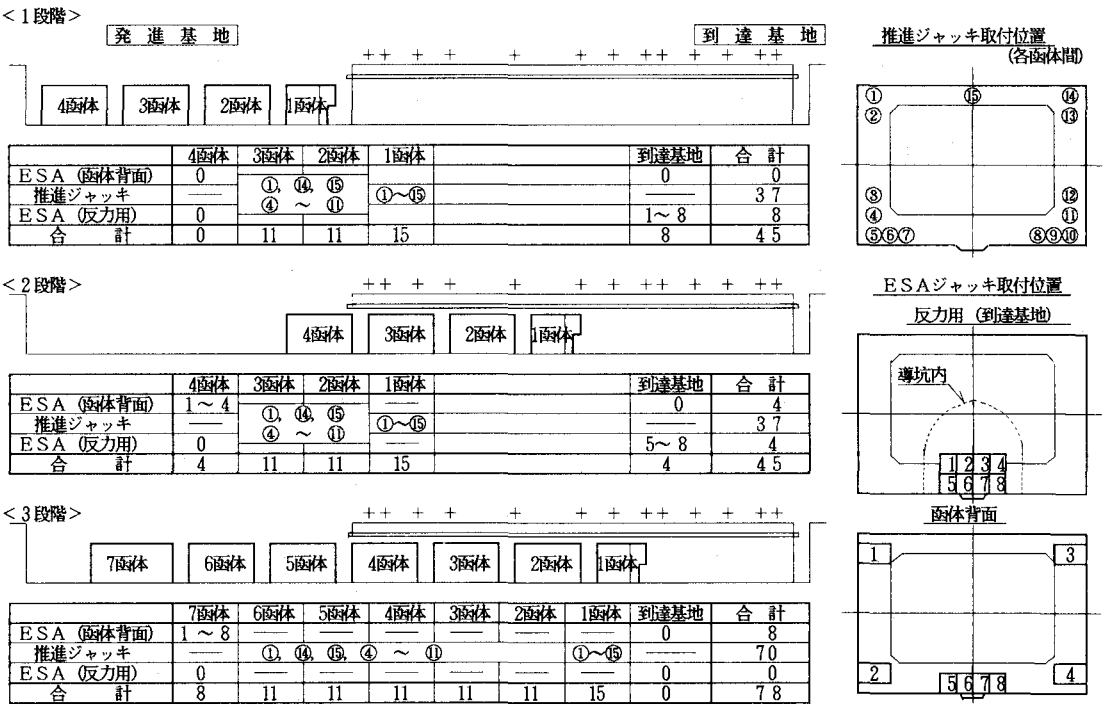


図-4 H鋼によるパイプルーフ沈下防止

2). 函体の補強

函体の掘進時、多大な圧入応力により第1函体及び第2函体前部の推進ジャッキ支圧板付近に多くのクラックが生じた。函体の支圧板付近にはあらかじめ補強鉄筋を考慮していたが、1400 t以上もの分散集中荷重（反力）が加わり、設計時の諸荷重より大きな施工時の反力の不均衡が生じる（例えば、刃口の右側に大きな転石が掘進中に当たると左側の刃口が先行し、函体全体に“ねじれ”等が発生する。）このため、第1・2函体は函体断面の周辺応力の設計だけでなくコンクリートの強度を含めた函体延長方向の検討が必要と思われる。

本工事のジャッキ台数及び配置は、図－5のとおりである。



図－5 ジャッキ台数及び配置

3. 函体推進力について

函体を前進させるためには、先頭函体刃口の貫入抵抗と函体周面摩擦抵抗力を上回る推進力及び反力を有しなければならない。推進力・反力に不足が生じると函体の掘進が不可能になり、掘進ができなくなるので設計の段階から若干の余裕を持って計画するのが望ましい。

本工事の設計推進力・最大推進抵抗力及び推進抵抗力は、図－6のとおりである。

4. 工事工程

表－2 参照

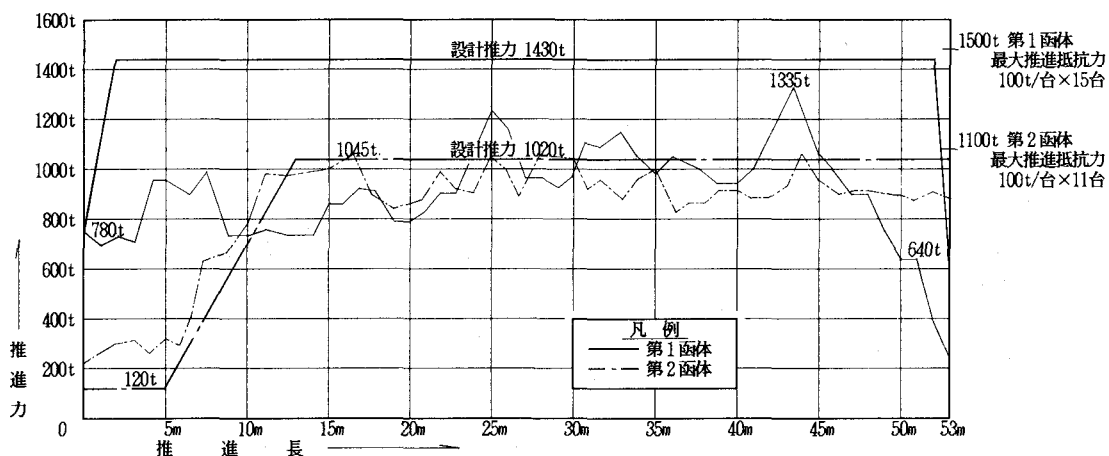


図-6 第1・2函体推進記録

施 工 区 分	工 事 種 別	5 6 年 度												5 7 年 度												5 8 年 度												記 事																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
		7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
国 鉄	支 障 物 移 設	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〇

表-2 工事工程

あとがき

E S A工法による線路下横断地下道の施工は、既に長野県長野駅構内で133.5 mの施工例があり、道内では北見駅構内横断地下道が初めての採用となった。

昭和56年7月北見市と協定締結後、昭和58年8月に工事を完了させ同年11月1日使用開始することができたのは関係各位の御指導と工事関係者の不斷の努力の結果であり、本報告書をまとめるに当たり深く感謝するとともに、今後各地で施工される地下横断構造物の参考になることを期待するものである。