

## 小土被り未固結地山における横坑・本坑交点部補強工の設計と施工

前田建設工業(株) 正会員 ○羽間 義晃, 北岡 英基

## 1.はじめに

本トンネルは延長約 2,500m を山岳トンネル NATM 工法により構築するものである。トンネル延長の約 1/3 箇所には横坑を配置し、起終点に向けて掘削した。横坑と本坑交点部は切土造成地直下で土被り約 14m, 地質は地表からトンネル天端付近までは砂質土, 側壁は粘性土, 底盤は礫質土であり、いずれも第四紀洪積層の段丘堆積物で構成される。

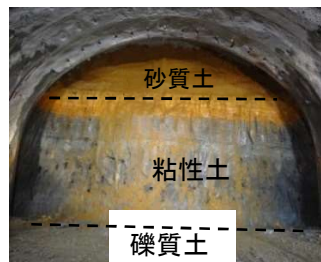


図-1.1 交点部の地質

上記地質構造より、本坑接続時は小土被りと同様の挙動(地山アーチが形成されず、地表部までゆるみが発達し、脆性的な破壊)となり、一般的な

門型鋼材補強は困難と予想された。そこで掘削に伴う応力を周辺地山および支保工に負担、分散させてゆるみ発達を抑制する補強工法を設計・施工した。

## 2. 交点部補強設計

## 2.1 補強設計の概要

横坑と本坑交点部付近の平面を図-2.1 に示す。

交点部の設計は、本坑に横坑の開口が発生することによる①本坑影

響範囲の補強と②開口部の補強で検討した。検討項目を表-2.1 に示す。

2.2 影響範囲の補強

## 2.2.1 影響範囲の設定

交点部は、開放面積が大きいので、ゆるみ荷重の増大や応力集中によりトンネルや周辺地山が不安定化する。

応力集中の影響範囲として、[土木学会 トンネルの補強工法 2009 年版]から図-2.1 の範囲を設定した。

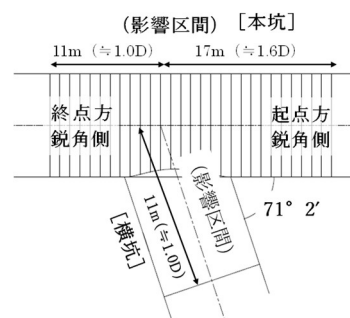


図-2.1 交点部平面

表-2.1 検討項目一覧

項目	検討内容
影響範囲の補強	影響範囲の設定 支保ランクアップ
開口部の補強	ゆるみ荷重の設定 横坑の補強設計 ゆるみ荷重の伝達方法の設計

(起点側(鋭角側):本坑トンネル径の 1.6 倍, 終点側(鈍角側):1.0 倍, 横坑側:1.0 倍)

## 2.2.2 支保ランクアップ

## (1) 荷重強度の割り増し

トンネル交点部では交差するエッジ部の応力集中が問題となる。交差角度とスプリングエッジの応力集中係数との関係を図-2.2 に示す。

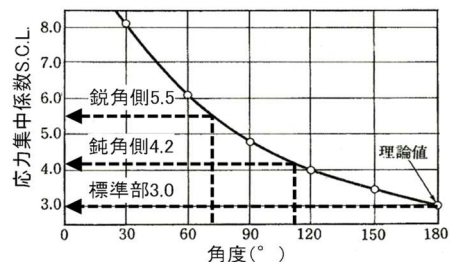


図-2.2 交差角度とスプリングエッジの応力集中

標準部の応力集中係数 3.0 に対し、起点側は 1.8 倍 (5.5 ÷ 3.0), 終点側は 1.4 倍 (4.2 ÷ 3.0) となる。交点部から遠ざかるにつれ応力が小さくなると考え、影響範囲内の平均応力度の割増は以下とした。

$$\{1.0 + (1.4+1.8) \div 2\} \div 2 = 1.3 \text{ 倍}$$

## (2) 支保工のランクアップ

割増係数をもとに支保工のランクアップを実施した。

表-2.2 支保構造一覧

支保名称	標準部	影響範囲	備考
鋼製支保工	H-125	H-150	39.65/30.0
	A=30.0cm <sup>2</sup>	A=39.65cm <sup>2</sup>	=1.32倍
吹付コンクリート	15cm	20cm	20/15=1.33倍
ロックボルト	14本	19本	19/14=1.36倍

## 2.3 開口部の補強概念

開口部では、本坑に作用する荷重が横坑支保工へと伝達される。そこで、①本坑に作用する荷重(Pv)と横坑へ作用する荷重(P1)を算定する。②横坑の支保工内圧(P2)と横坑ロックボルトせん断力(P3)で P1 を負担する補強設計を実施する。続いて、③P1 が横坑へ荷重伝達できるよう本坑側の補強設計を実施する。補強概念を図-2.3 に示す。

キーワード 横坑交点部, 小土被り, 高速・高剛性ボルトシステム

連絡先 〒541-8529 大阪府中央区久太郎町 2-5-30 前田建設工業(株) 関西支店 TEL: 06-6243-2383

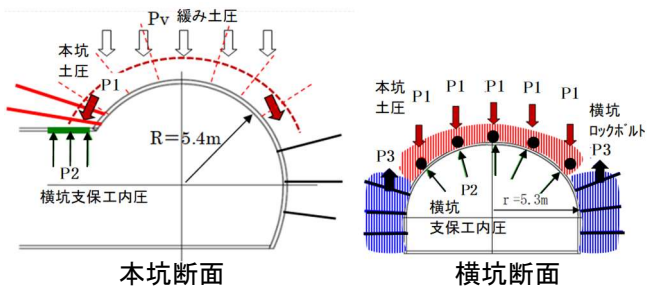


図-2.3 本坑・横坑の補強概念

本坑に作用する荷重 ( $P_v$ ) をテルツァギの緩み土圧の式から算出した。

$$P_v = \frac{B(\gamma - 2c/B)}{2K \cdot \tan\phi} [1 - \exp(-2K \cdot D/B \cdot \tan\phi)]$$

$$= 149.5 (\text{kN/m}^2)$$

$$P_1 = P_v \times R = 149.5 \times 5.4 = 807 (\text{kN/m}^2)$$

### 2.3.2 横坑の補強設計

横坑では、 $P_1 < P_2 + P_3$  となる補強設計を実施する。横坑天端付近の砂質土は過圧密状態で高含水比だが、透水係数は  $10^{-6} \sim 10^{-7} \text{m/s}$  であり、注入による浸透改良効果および自立性は低い。

一般的に横坑に荷重をかけない架台設置が多く用いられるが、地質条件から即時性が要求され、適用が困難である。そこで、本坑側の荷重を支える支保工を増設

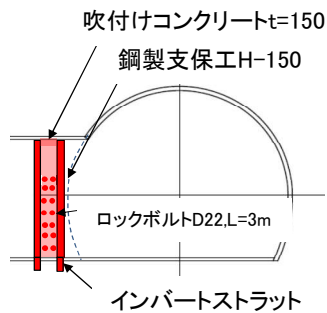


図-2.4 横坑補強概要

(H-150, 吹付コンクリート 150mm) することとし、これを横坑支保工内圧 ( $P_2 = 572.8 \text{kN/m}^2$ ) として設計した。

横坑ロックボルト(片側)が負担するせん断力  $P_3$  は  $P_3 = (P_1 - P_2) \times r = (807 - 572.8) \times 5.3 = 1241 (\text{kN})$  となるため、横坑ロックボルトを 14 本増設した。

### 2.3.3 ゆるみ荷重伝達方法の設計

横坑補強支保工は本坑支保を直接受けることができないため、本坑荷重 ( $P_1$ ) を本坑側ロックボルトを介して確実に伝達させねばならない。本坑側ロックボルトには  $P_1$  を負担できるせん断抵抗力が必要となる。ロックボルト必要本数は次のとおり算出される

$$\text{必要本数} = P_1 / \text{せん断耐力}$$

SD345, D22 のロックボルトのせん断耐力は一般的に 92kN であるため、必要本数は 9 本となるが、図-2.3 に示す範囲に過多であるため高剛性ボルトを採用した。

実施工では掘削時の緩み抑制、ロックボルトの即効性・地山定着が必要となるため、自穿孔 ( $\phi 50.8 \text{mm}$ : せん断耐力 234kN) による注入式(高強度シリカレジン: 高速・高剛性ボルトシステム)を採用し、1m 当り 3~4 本配置した。

### 3. 施工

小断面の横坑から本坑へ順次断面を拡幅しながら掘削し、本坑断面に到達後作業スペースを確保するため終点方へ掘削を進めた。本坑 30m 掘削後、反転して起点方へ断面を切り広げながら横坑部分を接続した。

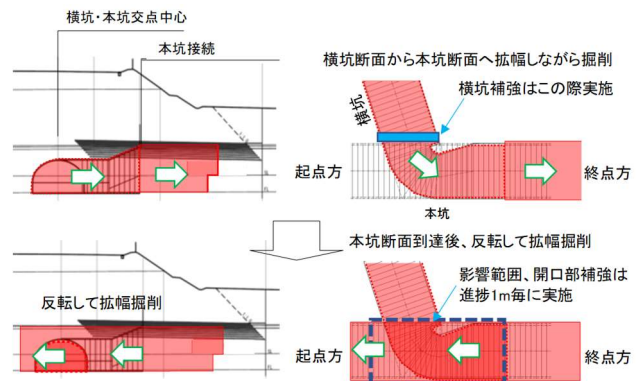


図-3.1 横坑・本坑施工順序図

本坑切り広げ時には、砂質土部の不安定化を防止するために瞬結吹付コンクリートを採用した。また、脚部不安定化防止のため一次インバートを採用した。補強ロックボルトおよび瞬結吹付コンクリートの効果を得るために、横坑開口部の鋼製支保工を一次的に建て込み、瞬結吹付コンクリートおよび補強ロックボルトの施工完了後に撤去した。

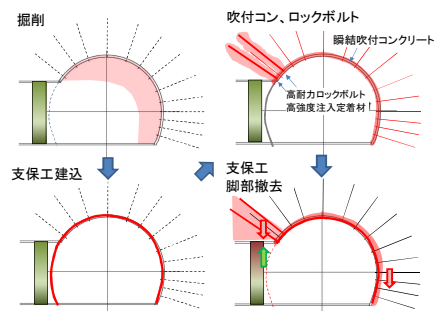


図-3.2 本坑切り広げフロー

### 4. おわりに

横坑・本坑交点部について、応力状況予測と補強の設計を行った結果、追加対策が必要ない最も安定した状態である管理レベルの掘削が可能となった。



図-4 交点接続状況

小土被り且つ注入による地山改良等の効果が得られず、脆性破壊の懸念される場合、本稿の設計方法が有効と考えられる。