

長尺鋼管先受け工における先行変位対策とその抑制効果

Measures against Preceding Settlement and the Control Effect by Forepoling

佐々木郁夫^{*1} 飯屋謙一^{*1}
Ikuo Sasaki Kenichi Kariya
相原和之^{*1} 森英二郎^{*1}
Kazuyuki Aihara Eijirou Mori

【キーワード】長尺鋼管先受け工 都市部山岳工法 低土被り

1. はじめに

オランダ坂トンネルは、全国でも有数な坂の町として知られる長崎市の特異な斜面を利用した土地利用状況にある住宅密集地の下を、上下線2本の双設トンネルで施工するものである。本報告は、環境影響対策の一つである地表面沈下抑制を目的として、採用した長尺鋼管先受け工について三次元解析による地表面沈下予測と、計測データをフィードバックして追加した補助工法の効果について述べる。また、対象地山が土石流堆積物を主体とした火山円礫岩層で、長尺鋼管先受け工の長尺削孔に困難を極め、発生したトラブルに対して改良した削孔システムについてもあわせて報告する。

2. 施工概要

長崎県出島バイパスの中心となるオランダ坂トンネルは、上り線が全長2,923.0m、下り線が2,966.5mの自動車専用道路の双設トンネルである。トンネルルート周辺は丘陵から山地地形をなし、第1種住居地域および第



写真 1 起点側坑口土地利用状況

種中高層住居専用地域として古い家屋が建ち並んでいる（写真1）。また、上下水道、ガス管などのライフラインが埋設されており、老朽化しているものも見られる。このほか、地表面には利用されている井戸が多数存在し、事前調査の段階では浅井戸から深井戸まで含めて約700箇所を対象に水文調査を行っている。このような土地利用状況の中で、起点側坑口付近は病院・商業用施設・マンションが密集しており、観光地としても来訪者が多いことから、本トンネルは上下線共に終点側からの同時かつ先行変位片押しで施工された。

3. 地形・地質

3.1 地形

本トンネルの地形は終点側から450m地点の最大土被り130mを過ぎると急に土被りが低くなる。特にNo.6+47付近からは土被りが2D（トンネル掘削径D=11.3m）以下となり、No.2+21まで1D程度の地形が続き、その後坑口に向けては最小土被り7mまで低下する（図1）。

3.2 地質

本トンネルの地質は、新生代第三紀鮮新世から第四期更新世の長崎火山岩類に属する。火山円礫岩層は、未固結から半固結状態の基質部に一軸圧縮強度が150MPa以上で礫径が数cmから3m程度の礫が混在する。また、低土被り区間では、火山円礫岩層の上部には土石流堆積物や湖沼堆積物が層厚数十cmから数m範囲で堆積している。

そのうち、土石流堆積層は風化が顕著な礫混じり土砂と半固結状態のシルト質砂礫からなり、 N 値は 10 から 20 程度である。また、湖沼堆積層は砂混じり粘土と礫混じり粗砂からなり、軟弱で N 値が 5 以下の部分も存在し、透水性は小さく土石流堆積層と火山円礫岩層の間に挟まった形で分布する。この湖沼堆積層が遮水層となり民家の浅井戸の利用を可能にしているともいえる。図 2 に起点側低土被り区間の地質断面図を示す。

4. 計測計画

本トンネルは、住宅密集地を低い土被りで掘削することから、既設構造物やガス管、上下水道などのライフラインを管理対象とした計測計画が必要となる。本トンネ

ルの計測計画を策定するにあたり、計測範囲は従来の研究や類似事例から低土被り区間を 2D 以下と定義し、この範囲について重点的に計測管理することとして計画した。計測項目については、住宅密集地で空き地が少なく、測点を任意に選定することが困難であったが、歩道や民地を利用し可能な限り測定結果を評価しやすい測点を選定した。また、低土被り区間では各種対策工の評価を行うにあたり、先行変位の把握が重要となることから、トンネル天端部に先行ボーリングを行い水平傾斜計（以下、坑内水平傾斜計）を設置した。坑内水平傾斜計は約 40m を一測線とし、低土被り区間の全延長 450m 間に 20 測線設置した。坑内計測工の設置状況を図 3 に示す。

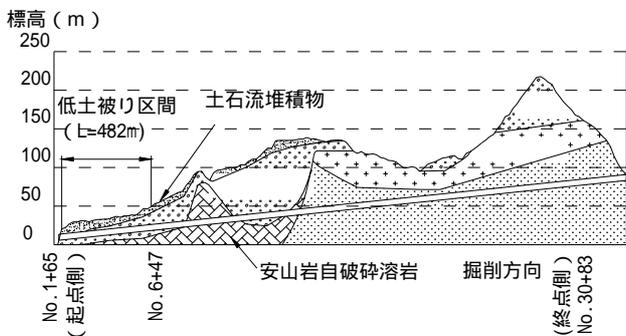


図-1 オランダ坂トンネル地質縦断面図

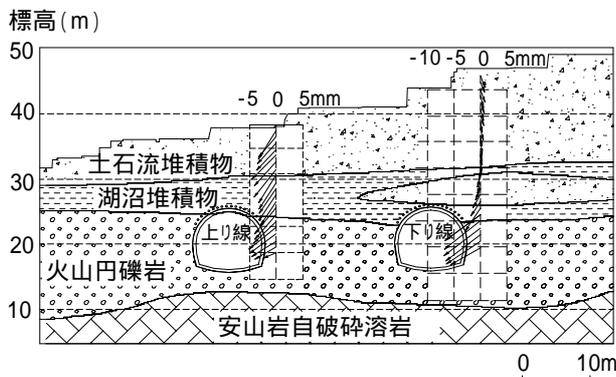


図-2 地質断面図 (No. 4+76)

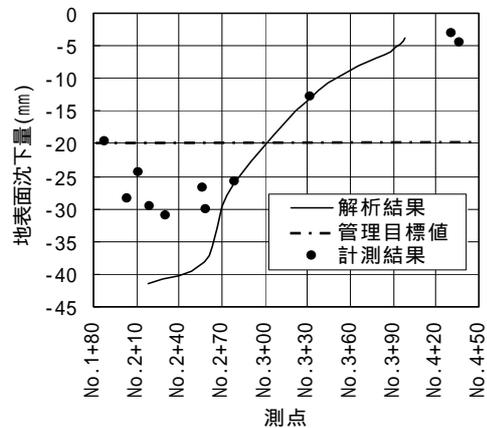


図-4 地表面沈下量解析値と測定値の比較

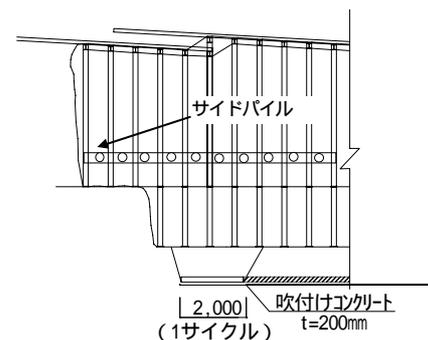


図-5 サイドパイル打設およびインパート吹付け施工図

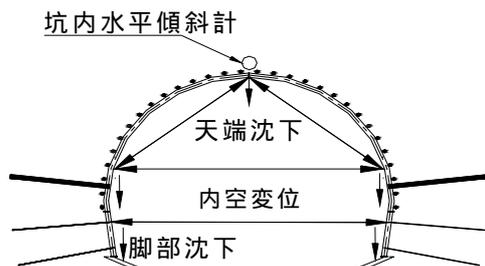


図-3 坑内計測工配置図

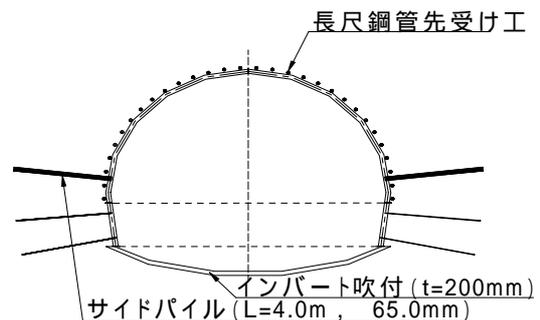


図-6 補助工法図

5. 三次元解析による地表面沈下の予測

本トンネルの地形、地質条件を対象に長尺鋼管先受け工の梁効果をモデル化した三次元大変形差分解析を行い、起点側坑口から 415m の区間で地表面沈下量の予測を行った¹⁾。図 4 に解析によって得られた予測地表面沈下量を示す。この図から、No.3+00 付近から起点側坑口に向けて、現場において定められた管理基準値（ガスを対象とした）の最も高い注意レベルの 20mm を超えていることがわかる。これは、双方のトンネルの中心間距離および地山強度比が小さくなったことが原因と考えられる。また、坑口部では 40mm 程の地表面沈下量が予測され、長尺鋼管先受け工の地山変形抑制効果のみでは地表面沈下量を管理目標値以内に抑制することが困難で、他の補助工法と併用する必要があると考えた。

6. 施工

前章で示した解析結果および図 2 の坑外地中変位測定において、トンネル側壁部から地表面までが同じように沈下する、いわゆる共下がり現象が発生しており、鋼管が受けた先行荷重を早期に支持する必要があるとの判断から、インバート吹付けによる早期閉合およびサイドパイル打設による脚部沈下対策を実施した。施工状況を図 5、図 6 に示す。

次に、硬軟の差が激しい火山円礫岩層に長尺で削孔しながら鋼管を打設するには、多くの困難が予想されたことから、以下の検討を行った。

一般に、長尺鋼管先受け工の削孔打設方式は、削孔ツールによりトップハンマー方式とダウンザホールハンマー方式に分けられる。トップハンマー方式は、粘性土から軟岩まで適用地盤の範囲は広いが、直接鋼管を打撃するため、硬質地盤に遭遇した場合は削孔不能となる。また、ダウンザホールハンマー方式は、鋼管内に挿入したエアハンマーによって削孔する方式で、礫径の大きな

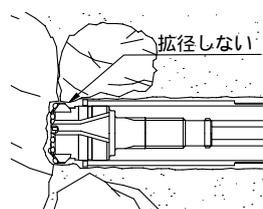


図-7 硬軟の差が激しく拡径しない状況

砂礫や巨礫混じり土に適用される²⁾。したがって、本トンネルでは、ダウンザホールハンマー方式を採用した。

ビットのタイプには、拡径する方法により数種類のタイプがあるが、ここでは最も効率的に削孔できるビットのタイプを判断するため、押し付けることにより拡径する 2 翼タイプのビットとビットが偏芯し拡径するタイプを比較した。本トンネルの地山は、N 値が 5 以下の基質部に硬質で礫径が 3m 以下の礫が数多く混入していることから、図 7 に示すように礫とビットの状態によっては、いずれのタイプのビットも完全に拡径しないことが判明した。この場合、外管（長尺鋼管）となるケーシングトップのビットは破損または変形するため、長尺鋼管先受けの圧入は困難となる。また、硬軟の差が激しく頻繁に礫が出現することから、スライムが小石状になりビットが縮径しない状況も発生した。これらの状況から、本トンネルの地山には拡径ビットの使用は不適当と判断し、ロストタイプのビット（以下、ロストビット）を検討した。

ロストビットは、先行するパイロットビットと後行するロストビットから構成される。パイロットビットは削孔後に回収するが、ロストビットは地山に存置となる。ビットのチップの形状やパイロットビットとロストビットの面積比および固定方法などを変化させ、数種類について試験施工を行った。以下に摘出した問題点を示す。

ロストビットとケーシングトップの間隔が狭く、ストロークがとれず打撃が不十分となる。

ロストビットの強度不足またはパイロットビットの接合不備のためロストビットが欠落する。

礫に対応するため、ボタンビットを使用したダウンザホールハンマー方式を採用したが、粘土層に遭遇した場合ウォーターウェイが閉塞する。

スライムがたまり、削孔不能となる。

ノミ下がりが遅く、削孔時間が極端に長い。

これらの問題に対して、次の対応策を採用した（図 7）。

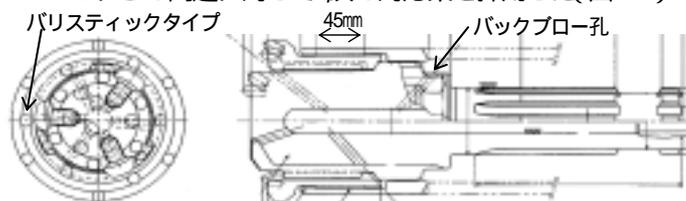


図-8 ロストビット詳細図

て、変位抑制がより効果的であったことを示している。

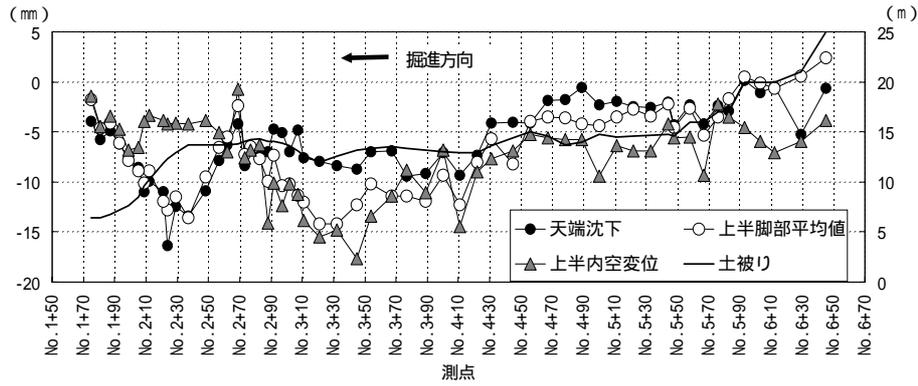


図-9 坑内変位計測図

ロストビットとケーシングトップの間は、ダウンザホールハンマーのストロークを45mm確保する。ロストビットとパイロットビットの固定は、スプリングを使用した内側固定とする。ビットのチップの形状は、ポタンタイプとスパイクタイプの間であるバリスティックタイプを使用する。バックブローの数を9箇所を増やし、角度を小さくした。また、ダウンザホールハンマーにチョーク加工を施し、排土パイパスを設けた。

今回は、「いかにスライムを排土するか」が削孔の可否を決定する重要な要素であったと考えられる。また、ロストビットの強度と耐久性については、経済性を含め今後の課題となった。

7. 沈下抑制対策工の効果

7.1 断面早期閉合および脚部沈下対策の効果

坑内変位計測のうち、天端沈下と上半脚部沈下および上半内空変位の測定結果を図9に示す。No.3+16から実施したインバート吹付けによる早期閉合とNo.2+78から実施したサイドパイル打設による脚部沈下対策工により、No.4+50付近から増加傾向にあった脚部沈下量と内空変位量は、No.3+21から減少傾向を示し、No.2+69ではともに5mm以内まで減少した。これは、早期閉合により切羽掘削後の変位が早期に収束した効果と、上半支保工建込み後にサイドパイルを打設することにより、鋼管が受ける先行荷重を上半支保工から下半支保工へ、さらにインバート吹付け閉合に至るまで、スムーズに荷重伝達され

7.2 先行変位抑制効果

坑内水平傾斜計の観測データをもとに、切羽掘削以前の変位の発生状況に着目した。その結果、長尺鋼管先受け工の削孔時に発生する天端付近の地中沈下量が、1シフトの施工につき5mm程度発生することが判明した(図10)³⁾。切羽が到達するまでには、少なくとも2シフトの長尺鋼管先受け工の施工により、10mm程度の沈下量が発生していることから、できるだけ先行地山を緩めない方法が必要とされた。これらのことから、長尺鋼管先受け施工時の削孔により出来るだけ地山を乱さない、または乱された地山を改良する目的として、長尺鋼管先受けの注入材をセメント系から浸透性の優れたウレタン系に変更した。図10において注入材の違いによる地中沈下量を比較すると、No.2+68のセメント系注入材を使用した区間では、切羽位置が-10mで6mm、-2mで4mmの地中沈下量が発生しており、これに対しNo.2+20のウレタン系注入材を使用した区間では、同位置で1mmと3mmに減少している。これは、ウレタン系注入材のほうがセメント系注入材に比較して浸透性が良いため周辺地山の

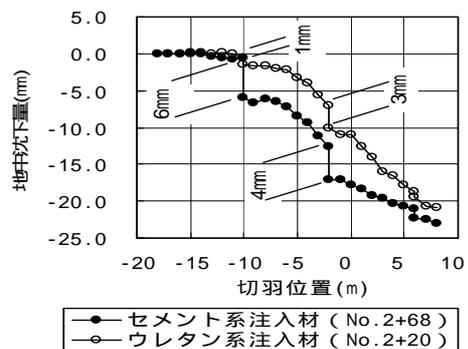


図-10 注入材の違いによる地中沈下量の差

強度が改良されたことと、注入材の早期強度の発現により、次工程の長尺鋼管先受けの削孔による地山の損傷に抑止効果があったためと考えられる。しかしながら切羽通過後の沈下量はNo.2+20のほうが大きく、全体沈下量はいずれも20mm程度となっている。これは、土被りが

徐々に小さくなっていくとともに地山強度が劣化する過程の中で、地山のアーチ作用が得られずトンネル上部の全土荷重を受けることにより発生した全体沈下量と考える。また、図9のNo.2+37から起点側坑口に向けての変位量の減少は、このような先行荷重を受けながら、複数の対策工の効果とトンネル上部の作用荷重の減少によるものと考えられる。

7.3 地表面沈下の測定結果

地表面沈下について、図4で示したように三次元解析で予測した値と測定値を比較してみると、No.2+80付近まではよく一致しているといえる。No.2+70から起点側坑口に向けて、解析予測値では30mmから40mmの沈下量に対して、測定値は25mmから30mm程度となっている。これは、解析上では長尺鋼管先受け工のみをモデル化しているため、解析予測値と測定値の差がインバート吹付けによる早期閉合とサイドパイル打設による脚部沈下対策工の効果と考えられる。管理目標値の20mmを上回った箇所については、管理者との協議により切羽到達前に事前にガス管の埋設換えを行い、ガス管接合部に発生したひずみを解放する方法で対処した。

8. おわりに

本論文では、土被りの小さいトンネルとして実際に都市部に構築されたオランダ坂トンネルを対象に三次元解析による周辺地山挙動の予測を行い、長尺鋼管先受け工だけでは地表面沈下抑制について不十分であることを示した。その結果、計測による情報をもとにインバート吹付けによる断面の早期閉合およびサイドパイル打設による脚部沈下対策を実施したほか、先行変位の抑制を目的に削孔方法の検討と対策を行った。

今後、長尺鋼管先受け工の変位抑制効果についてさらに研究を行うことにより、より精度の高い挙動予測と効果的かつ経済的な対策工が提案できると考える。

【参考文献】

- 1) 佐々木郁夫, 蔭 宇静, 棚橋由彦, 村里静則, 今長谷秀亮: 都市部トンネル施工における周辺地山挙動把握と環境影響評価に関する研究, 長崎大学工学部研究報告, 第32巻, 第59号, pp.157-159, 2002.
- 2) ジェオフロンテ研究会: トレヴィ工法トレヴィチューブ工法編, pp.4-5, 1999.
- 3) 佐々木郁夫, 川内野俊治, 横尾利春, 村里静則: 長崎の住宅密集地下を貫く(沈下対策編) 一般国道324号出島バイパスオランダ坂トンネル-, トンネルと地下, Vol.34, No.10, pp.17-23, 2003