



概要

工事名称/工期：[1期工事] 東九州道(清武～北郷間)芳ノ元トンネル新設工事/2007年10月30日～2012年3月31日 [管理工事] 東九州道(清武～北郷)芳ノ元トンネル管理その他工事/2012年3月22日～2013年3月31日
 [2期工事] 東九州道(清武～北郷)芳ノ元トンネル新設(二期)工事/2013年1月19日～2016年7月31日
 [3期工事] 東九州道(清武～北郷)芳ノ元トンネル北新設(三期)工事/2016年3月10日～2018年6月29日
 発注者：国土交通省九州地方整備局 施工者：五洋建設 施工場所：宮崎県宮崎市清武町今泉～同市鏡洲
 主な工事内容：高規格道路の2車線トンネル構築 工事延長：トンネル部1298.6m(トンネル全長1880.0m)
 トンネル断面積：完成内空断面積93.5㎡(掘削断面積140.0㎡)
 施工方法：山岳工法(NATM) /補助ベンチ付き全断面工法、中央導坑先進補助ベンチ付き全断面工法

受賞：国土交通省九州地方整備局「優良施工業者(工事部門)」(2019年)

芳ノ元トンネル

地山性状、特定有害物質、地すべり、可燃性ガス 四重苦の地山相手に、形状・工法見直しへ



Yoshinomoto Tunnel
芳ノ元トンネル

トンネル工事では想定外の事態に見舞われることが多い。宮崎県内の山岳地帯に計画された芳ノ元トンネルは、その典型例。掘削当初から切羽は不安定で、特定有害物質の検出や可燃性ガスの発生に苦慮した。五洋建設では坑内の変位や応力を計測し、それを基にトンネル形状や工法の見直しを提案。工事開始から貫通まで3期10年の長きにわたる難工事を無事に乗り切った。

2009年6月。掘削開始から1年余りで、芳ノ元トンネルの工事は一時中断に追い込まれた。

原因の一つは、トンネルの底面にあたるインバートの埋戻土を点検のために掘り起こしたところ、吹付けコンクリートにひび割れが発生していたこと。トンネルに変位が生じていた。

土木本部土木技術部の大森禎敏は「盤ぶくれが、原因。トンネル全体で沈下が起きているから、その反力で盛り上がった」と分析する。もともと地山の支持力が弱い一方、大きな地山荷重が作用していることが、坑内の計測結果から明らかになっていた。

その問題が、ここでひび割れという形で露わになった。

また、掘削土に土壌汚染対策法で定める「特定有害物質」が含まれていることも発覚した。

現場からの排出土は発注者の異なる別の現場で盛土材として利用されていた。発注者の要請を基に盛土材の安全性を確認する試験を1年後に実施すると、掘削開始時の試験と異なり、土壌溶出量基準を上回るヒ素などが検出されたのである。

そこに追い打ちをかけるように発覚したのは、メタンを主成分とする可燃性ガスの噴出だ。

この現場では切羽の安定を確保する狙いで掘削

■当工事の事業概要

芳ノ元トンネルを含む清武～日南間が開通することによって、宮崎市と日南市との間の時間短縮、異常気象時の通行規制の回避、救急救命施設へのアクセス性向上、周遊観光の実現・地場産業の強化といった事業効果が見込まれる

面から地山にボルトを打設する鏡ボルトを用いていた。その削孔中にガスが噴出したため成分を調べたところ、メタンを主成分とする可燃性ガスであることが明らかになったのである。

これらの事象に対応するにはトンネル形状の変更や工法の見直しなど、根本的な対策が求められていた。

さらに、地山性状、有害物質、可燃性ガスに加え、地すべりの事実も明らかになった。発注者の国土交通省九州地方整備局は、有識者で構成する検討会を設置し、「四重苦」の対策工検討に乗り出すことになる。

◎弱い支持力に大きな荷重でひび割れ発生

芳ノ元トンネルは、北九州市と鹿児島市との間を結ぶ東九州自動車道の清武～日南間に位置する延長28kmの区間にある2車線の道路トンネルだ。全長は1880m。計画域には、宮崎県南部に分布する日南層群と呼ばれる地層が広く分布している。

日南層群は主に砂岩と泥岩で構成される地層で、それらが整然と重なる互層と地すべりで乱された混在層に分かれる。計画段階ではこの互層が多くを占めるとみられていたが、いざ掘削を始めると、混在層の存在が目立ってくる。

掘削開始直後から混在層が続き、切羽は安定を

欠いた。地山が悪く、トンネル部分が沈下するため、支保部材である吹付けコンクリートはすぐひび割れた。「とりわけ強烈だったのは、掘削開始から約1カ月後のこと。トンネルの上半が一晩で10cm以上沈下し、吹付けコンクリートに断面方向にひびが入った」。大森は驚きを隠さない。

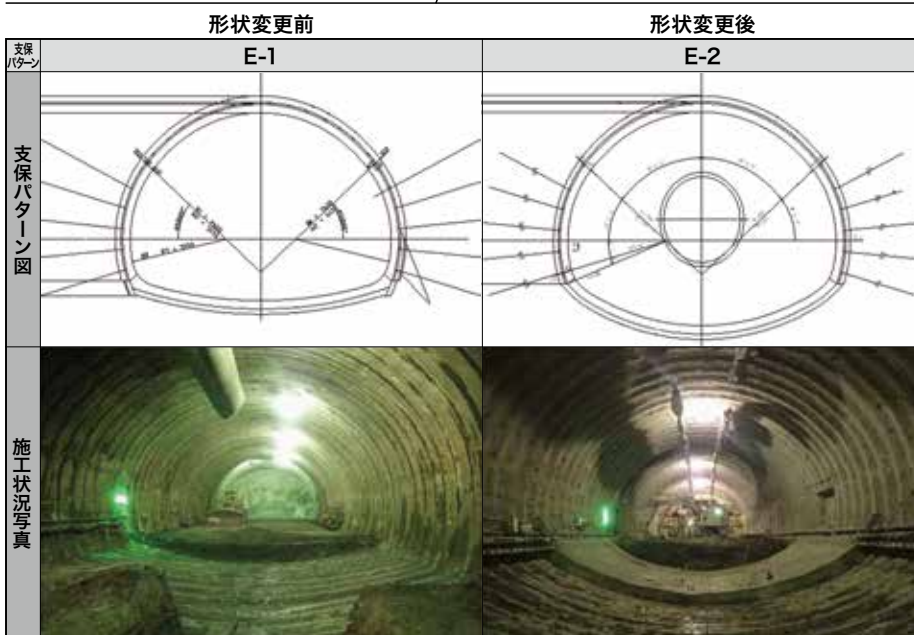
ただ、こうした万一の事態にも備えていた。トンネルの変位・沈下量や支保部材にかかる応力を計測しておくことを、応札時に提案していたのである。執行役員、四国支店長の河上清和は「変状の原因を突き止めるには、これらの計測は不可欠」と強調する。

現場ではこれらの計測結果を基に、ひび割れの発生原因を地山の支持力の弱さと荷重の大きさにあると判断。発注者と協議したうえで、掘削直後にインバートにコンクリートを吹き付け、トンネル断面を真円に近い形に仕上げる早期断面閉合で対処することに決めた。そうすることで、地山荷重への抵抗力を高めようとしたのである。

ところが、この地山には常識が通用しなかった。大森は「通常、トンネルを掘り進んで土かぶりが増えても、ある地点から先は、荷重は安定するもの。しかし計測結果を見ると、この現場では土かぶりが増えた分、それが荷重としてのしかかっていることが分かった」と指摘する。

TEC 01 軟弱地山のトンネル施工

断面形状見直し、中央導坑を先進



この現場では、地山の支持力が小さく、荷重が重くしかかることから、掘削後はトンネルの変位・変形に悩まされた。その問題にはまず、断面形状を見直すことで対策した。左の図の「形状変更前」と「形状変更後」を見比べると分かるように、変更後は底面にあたるインバートをさらに掘り下げ、断面をより真円に近づけている。こうすることによって、荷重への耐力を高めた。もう一つの対策は、中央導坑を先行して掘り進めることである。「形状変更後」の支保パターン図にも示されているように、中央に半径2mの導坑を組み込んだ。この導坑の掘削を先行することで鏡面が補強され、切羽の安定を図ることができた。また導坑の変形を基に必要な本坑支保工の構造を数値解析で割り出すことも可能になった。



掘削開始から1カ月で吹付けコンクリートにひび割れが生じた。トンネル天端の沈下量を計測していたため、その沈下速度を算出したところ、地山の支持力の弱さと地山荷重の大きさが発生原因と考えられた。左写真は本坑での切羽崩壊の様子

全社を挙げて課題を克服し、難工事を乗り切る

特殊な地山ともなれば、通常の支保工では荷重に耐えられなくなる。そこで吹付けコンクリートには強度2倍の高強度コンクリートを、支保工用のH鋼には引張耐力1.5倍の高張力鋼を用いることで、荷重増に備えた。

◎滑動中の地すべりが11カ所で見つかる

この地山はもう一つ、トンネル工事の大敵ともいえる重大な問題を抱えていた。地すべりである。発覚のきっかけは、地山のひび割れだ。

掘削開始以降、施工地上部の山肌に広がるみか

ん畑に水を送るパイプが破断するという苦情が寄せられていた。現地には、長さ数m、深さ20～30cmに達するひび割れがいくつも生じていた。

切羽との距離は数百m。土かぶりは70mにも達する。「これだけ離れているなら、トンネル工事の影響ではない」。大森はそう信じたかった。

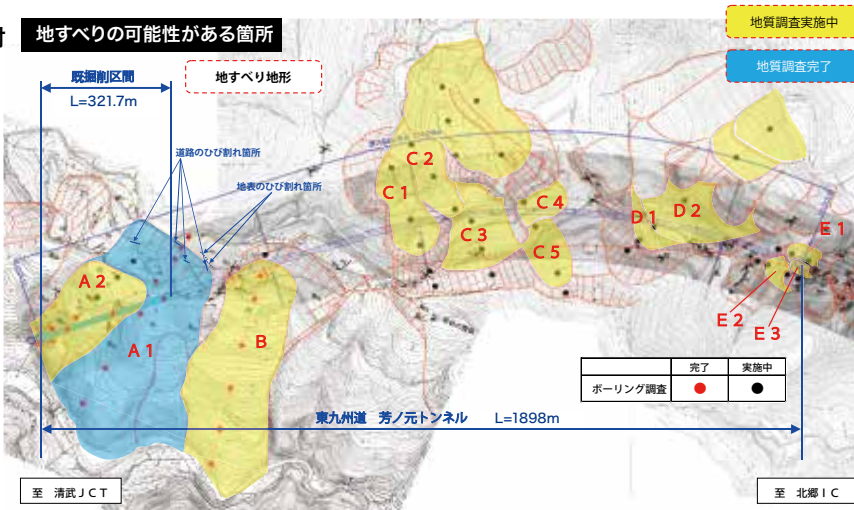
しかし、トンネル掘削を中断しても、地表面に設置した観測点の斜面方向への移動が確認された。その後、さらに調査を進めると、滑動中の地すべりが11カ所を確認された。

トンネルの断面形状や掘削工法、そして支保工の

■芳ノ元トンネル周辺の地すべり対策

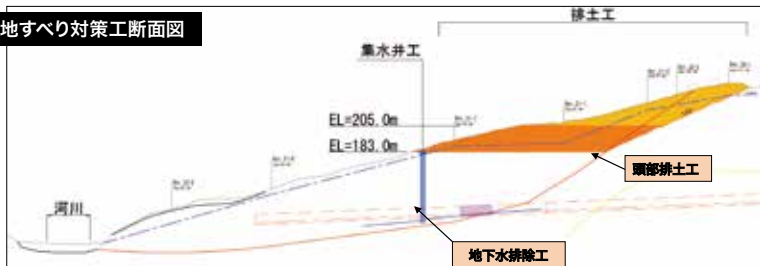
地すべり対策工法の検討

地すべりの滑動が確認されたのを受け、発注者である国土交通省九州地方整備局は2010年11月に有識者で構成する検討会を設置し、対策を検討。地すべりの可能性のある箇所を抽出するために空中写真による地形判読と現地踏査を実施した結果、芳ノ元トンネル周辺に地すべり地形を有する箇所を13カ所（右図A1～E3）確認した



大雨に伴う変位の傾向があり、地下水位の上昇を抑制する「地下水排除工」に $+\alpha$ の対策工が必要となった。対象となる地すべりブロックが大きいため、工法の組み合わせによる比較検討を行った結果、経済性や施工性などに優れた「頭部排土工+地下水排除工」が採用された

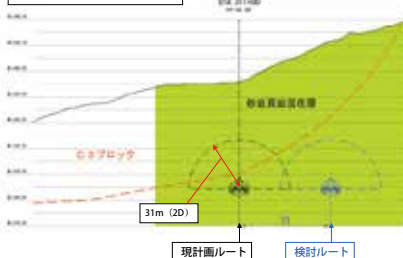
地すべり対策工断面図



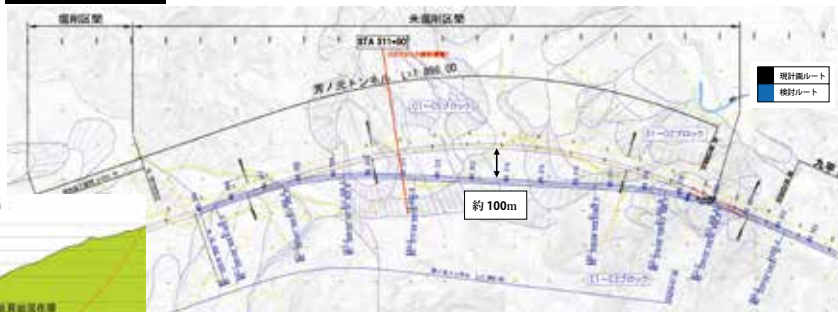
軟弱地盤を避けたルートの変更

未掘削区間のうちトンネルと地すべり面が一番近接するCブロックにおいて、数値解析の結果を受けて「砂岩頁岩互層」を含む層を避けるルートに変更した

C3ブロック: STA311+00m



線形変更平面図



解析上の必要分離は約27m。一般的にトンネル断面の約2倍が確保できれば問題ないとされているため、約31mの分離を確保した

構造をどのように見直すべきか、当社は発注者側に提案していった。トンネルの変位・沈下量や支保部材にかかる応力を計測していたことが、ここでも役立った。

特定有害物質の溶出対策には環境事業部の知恵を借りた。同部の中村勝俊は「掘削土を盛土材として用いる現場は決まっていたため、それを前提に考えられる対策工を提案した」と話す。

工事再開は2011年11月。地山荷重への耐力を高めるため、インバートを1m深く掘り下げ、断面を真円により近づける形状に改めた。掘削方法は、基本は変わらないものの、中央に半径2mの調査導坑を長さ200mほどにわたって先行して掘り進める工法を採用した。支保工の構造は数値解析を基に割り出し、必要な剛性を確保した。

監理技術者として携わっていた九州支店の渡邊伸弘は「導坑を先行して掘り進めることで、本坑切羽の安定性が増した。また中央導坑で特定有害物質の有無を事前に確認できるうえに、ガス抜き効果も期待できた」と、提案した工法のメリットを説く。

特定有害物質の溶出対策として採用された工法は2つ。掘削土に不溶化材を混合する不溶化工法と、掘削土を盛り立てる盛土箇所の最下段に事前に設けた吸着層で溶出を食い止める吸着層工法だ。吸着層工法の適用で、排出土を使用する現場での盛土工事まで追加工事で請け負った。

●1期工事の経験生かし2期以降も受注

これらの対策内容は2期以降の工事で標準仕様になっていく。2期工事開始は2013年1月。続く3期

工事開始は2016年3月である。これら全ての工事を当社が単独受注するに至る。

当社では中央導坑の変形を基に2期工事で必要な支保工の構造を数値解析で割り出すなど、1期工事再開後の経験を提案に生かした。また可燃性ガスの常時モニタリング装置や通常の6倍の換気能力を持たせるための設備を提案するなど、安全管理にも念を入れた。

発注者側では並行して地すべり対策を実施した。掘削済みの区間では、地山を掘削し排土することで荷重を減らし、排水ボーリングによって地下水位を下げ、地すべり滑動を抑制。未掘削の区間では、地すべりの影響を受けないようにトンネル線形を見直し、西側に最大100mずらした。

3期工事の完了は2018年6月。難工事を受注し乗り切れた背景には、環境事業部をはじめ、社内のネットワークがある。1期・2期工事で特定工事所長を務めた中国支店の藍澤正直は、「担当してきた工事の中で最も課題の多い現場だった。それでも乗り越えられたのは、社内の多くの助けがあったからだ」と、当時を思い起こす。

全社を挙げて取り組んだ芳ノ元トンネルの工事。河上はこう総括する。「掘れないのは地山が悪いからではなく、そこを掘るためのやり方が悪いからだ。この現場は、常識を超える悪条件の中、施工方法を徹底的に探求し、勇気を持って挑戦することで工事を無事に完了できた」。

東九州自動車道の清武～日南間は、2022年度の開通を控えている。

TEC 02 | 環境保全と安全管理

掘削土の不溶化対策と吸着層工法で、有害物質溶出を止める



特定有害物質溶出対策の一つとして採用された不溶化工法の様子。右2点：可燃性ガス対策の換気設備と坑内に設置されたガス検知システムのモニター



この現場では、土壌汚染対策法に定める「特定有害物質」や可燃性ガスの問題も発生した。掘削土は別の現場で盛土材として用いるため、この現場内で不溶化材を混合し、特定有害物質の溶出を抑え込んでから別の現場に搬出するという対策（左写真）と、盛土材として用いる場所に吸着層を設け、それによって溶出を食い止めるという対策の2つが採用された。また可燃性ガスに関しては2期工事以降、右の写真のように通常の6倍の換気能力を持たせるための設備と常時モニタリングの装置を現場に導入する対策が採用された。