

VI-4

地すべり地形の未固結地山における山岳トンネルの設計

北海道開発コンサルタント(株)	正員	岡田	正之
北海道小樽土木現業所		三木	雅司
北海道小樽土木現業所		米山	晋司
北海道開発コンサルタント(株)	正員	鷹田	雅弘
北海道開発コンサルタント(株)	正員	重清	浩司
北海道開発コンサルタント(株)	正員	佐藤	崇彦

1. はじめに

道道小樽環状線は小樽市塩谷の一般国道5号から天狗山、毛無山の麓を通り小樽市新光町の一般国道5号へ戻る延長約13.5kmの環状道路である。望洋台トンネルはその一部で小樽市朝里川温泉近郊に位置する延長401mの2車線道路トンネルであり、現在山岳工法で建設中である(図-1)。



図-1 現地位置図

掘削対象地山は軟弱で、また土被りが全体に薄い。事前の調査結果から起点側坑口付近は地すべり地形と考えられトンネル掘削により地すべりを誘発する可能性の高いことが判明した。このため、掘削に先立ち抑止杭および集水井による地すべり対策工を施工するとともに、計測により地山挙動を監視しながらトンネルを掘進することとした。

本報告では当トンネルの設計の内、地すべり対策と掘削工法の選定の考え方および現在までの計測結果の概要について述べる。

2. 地形・地質概要

トンネル計画路線箇所は、標高150m前後の丘陵地帯で、起伏の乏しい地形を呈し、周辺には多数の地すべり地形が認められる。地質は、深度15mまではN値が10~15回の崖錐堆積物(Tc)および土砂状化した火山礫凝灰岩~凝灰角礫岩(Lt~Tb)、その下位には比較的締まった岩滓凝灰岩~砂岩(St~Ss)および凝灰角礫岩が分布する。

起点側坑口から約170m間には特に地すべりの影響を受け、しかも地山は全体に酸化、風化を著しく受け極めて脆弱な状態となっている。主な掘削対象地山の変形係数は70~250kgf/cm²程度と推定された。起点側坑口付近の地質縦断面図を図-2に示す。

Design of Tunnel through Unconsolidated Ground under Landslide Area by NATM

By Masayuki OKADA, Masashi MIKI, Shinji YONEYAMA, Masahiro TAKADA, Kouji SIGEKIYO, and Takahiko SATO

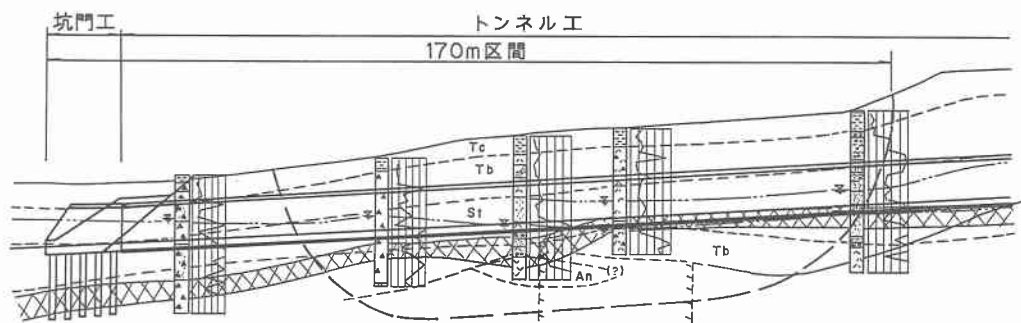


図-2 地質縦断面図

3. 設 計

3. 1 地すべり対策工

地すべり地形は、現在滑動している形跡は認められないものの、本トンネルはこの地すべり地帯に直交する形で計画されていることおよび地山が極めて脆弱であることから、トンネル掘削による影響によって地すべりを誘発することが懸念された。そのためトンネル掘削に先立ち適切な地すべり対策が必要と考えられた。

起点坑口部の地すべりブロックは、安定解析の結果、現況の安全率を $F_s=1.00$ とした場合、トンネルの掘削にともない安全率が $F_s=0.93$ まで低下することが分かった。

地すべり対策としては一般に排土工および押え盛土工が考えられるが、これらは、他の地すべりブロックへの影響が大きく、またアンカー工はすべり角度が全体に緩いことから効果が少ないと考えられた。したがって、当トンネルでは地すべり対策工として、抑止杭および地下水排除工がもっとも有効と判断し、採用した。抑止杭については、本地すべりが「繰返し後退型」であることから、下方ブロックの滑動を考慮し抑え杭として設計した。また、地下水排除工についてはトンネル区間全体にわたりほぼ並行に集水井を設置することにより、水位の低下を図ることとした。トンネル掘削により低下した安全率は、地下水排除工により $F_s=1.01$ 、抑止杭によりさらに $F_s=1.20$ まで高めるものとした。

地すべり対策工の平面図を図-3に示す。

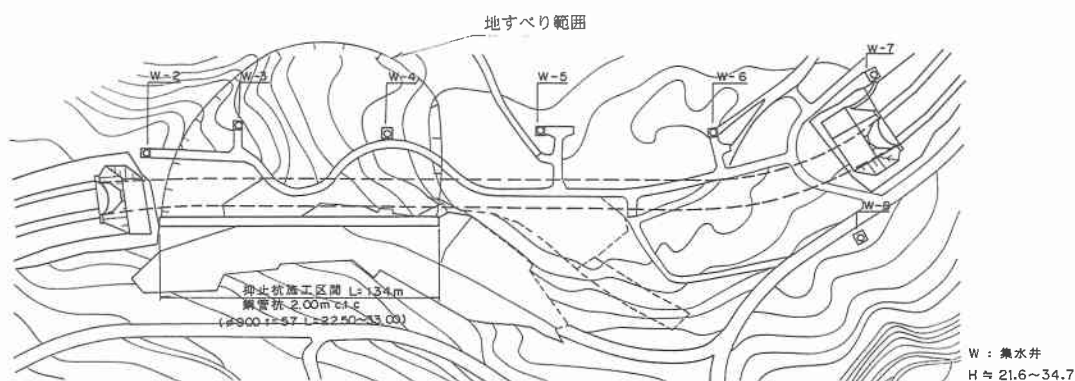


図-3 地すべり対策工平面図

3. 2 トンネル掘削工法の選定

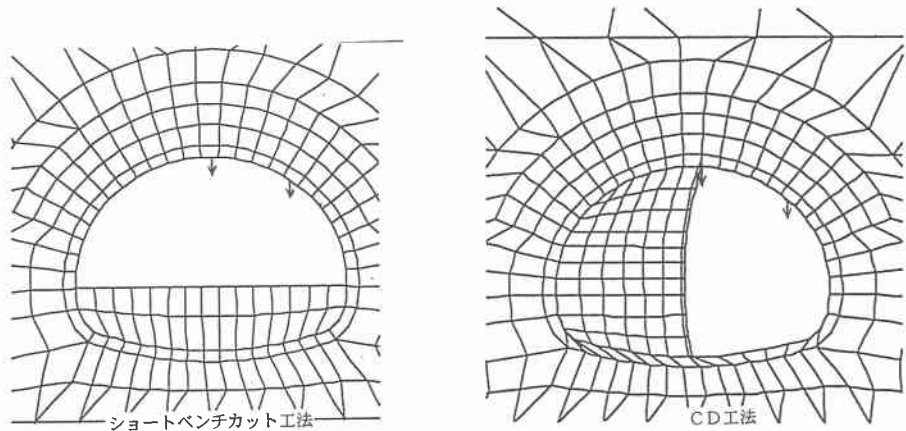
山岳トンネル工法を採用するにあたっての技術課題として

- ①地すべり地帯での掘削であり、地すべりへの影響が考えられる。
- ②地山がきわめて脆弱で土被りが薄く切羽の安定性が問題となる。
- ③掘削断面が扁平で比較的断面が大きい。

などが挙げられた。通常のショートベンチカット工法を採用した場合、切羽の安定性確保が困難なことおよび、相当な地山変形が予想され周辺地すべりに対し悪影響を及ぼす可能性が高いと判断された。したがって、切羽の安定効果があり変形抑止効果の高い中壁分割掘削工法（以下CD工法と称す）およびショートベンチカット工法に長尺先受け工法等の剛な補助工法を併用した場合の2案について比較することとした。

比較検討には有限要素法解析（二次元弾塑性）を用いた。解析モデルを図－4に示す。これより、ショートベンチカット工法では、剛な先受け工による補助工法を併用した場合でも掘削断面が大きいことから、さほど地山変形の抑制効果が得られない。これに対し、CD工法により加背割を小さくした方が有利になることが分かる。この結果から本トンネルにおいてはCD工法を採用することとした。なお分割数が4分割の場合には地山変位が 24cm まで抑えられることが分かるが、さらに変位量を抑えるため、図－5に示すように機械掘削が可能な範囲の6分割として変位量を 20cm 以下に抑えるよう計画した。

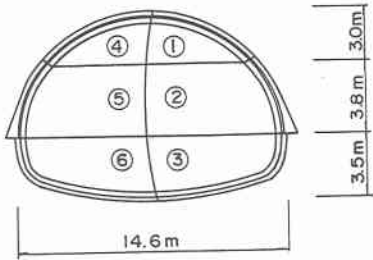
掘削は谷側である右半断面を先進杭として計画した。掘削幅が狭く、施工機械のすれ違いが困難であることから、上、中、下段の各加背は交互併進とした。また、ベンチ長は、上・中段を 2.7m（3×0.9m）、中・下段を上段切羽より、20m とし、左側（後進坑）掘削は、右側上半切羽より 30m 後方より行う計画とした。



図－4 解析モデル図

表－1 有限要素法解析結果（変位）（単位：cm）

		天 端	上半45°
CD工法	6分割	19	13
	4分割	24	17
ショートベンチ カット工法	補助工法あり	37	30
	補助工法なし	41	34



図－5 加背割図

4. 計測

4. 1 計測概要

坑外での計測機器の配置を図-6に、トンネル内での計器の配置を図-7に示す。計測項目については一般的な計測Bの他、地すべりに対しては、地表面沈下、傾斜計、伸縮計、抑止杭応力計を設置し、自動計測により連続的のデータを取り、地山変位挙動をリアルタイムで把握することとした。

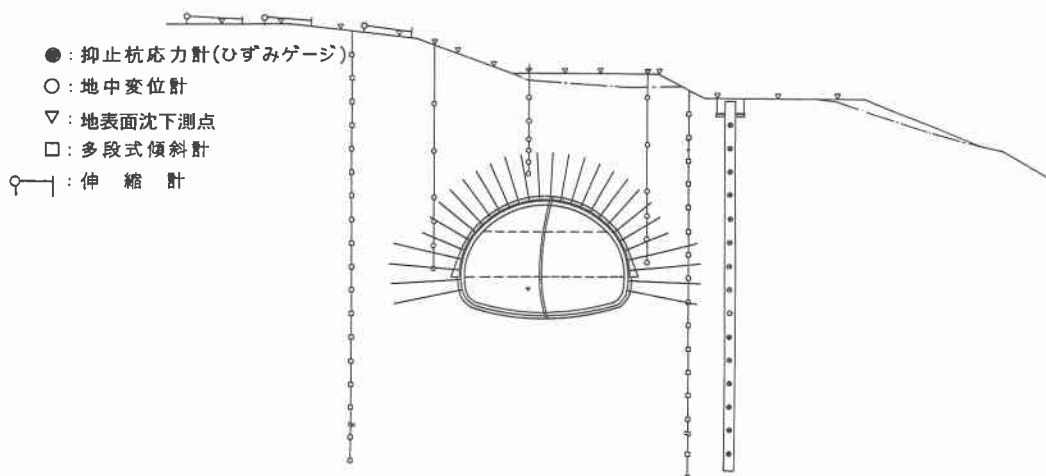


図-6 坑外計器配置図

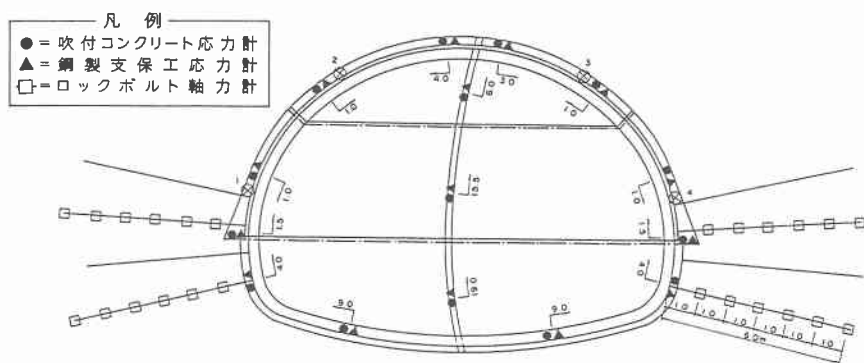


図-7 坑内計器配置図

4. 2 計測結果の概要

起点側坑口部について、現在（後進坑掘削終了時点）までの計測結果の概要を以下に示す。

(1) 地表面沈下

トンネル中心線上の地表面沈下の計測結果を図-8に示す。各断面における後進坑掘削終了時の沈下量は30～110mmである。図中には先行沈下量と先行沈下発生時の切羽位置も示した。

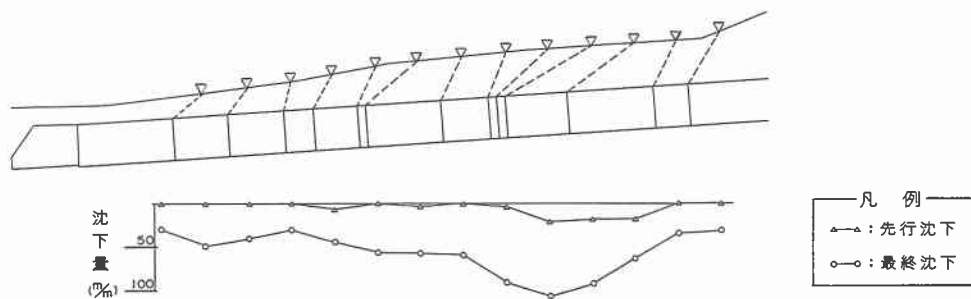


図-8 トンネル中心線上の地表面沈下

図より、沈下が発生し始めるのは、切羽が $0.1D \sim 1.3D$ (D : トンネル掘削幅 $\approx 15\text{m}$) 後方に近づいた時点であることが分かる。この内、地山が当初の予想より軟質で地表面沈下が大きく発生した SP1750~1770 間では先行沈下が全沈下量の 20%~30%発生しており、また切羽が、 $0.7 \sim 1.3D$ 近づいた時点で沈下が始まっている。その他の区間では、先行沈下量は少なく、沈下の発生も切羽が $0.1 \sim 0.3D$ 程度近づいた時点で始まっている。SP1780 での地表面沈下の横断分布を図-9に示す。沈下は、先進坑掘削時点で50%以上発生していた。切羽到達時の地表面沈下のコンター図を図-10に、切羽通過後のコンター図を図-11に示す。図より、先進坑到達によりトンネル断面の範囲内での沈下が卓越する、いわゆる共下がり現象が見られる。そして、その後の切羽の進行とともに沈下の範囲は横断方向にはあまり拡大せず、むしろトンネル掘進方向にのみ広がってゆくように見受けられる。

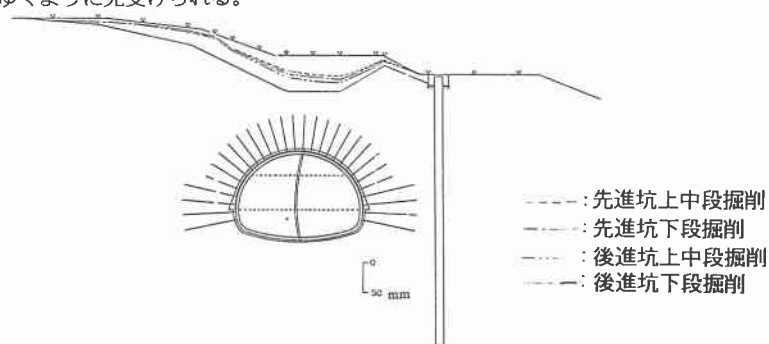


図-9 地表面沈下横断分布図 (SP1780)

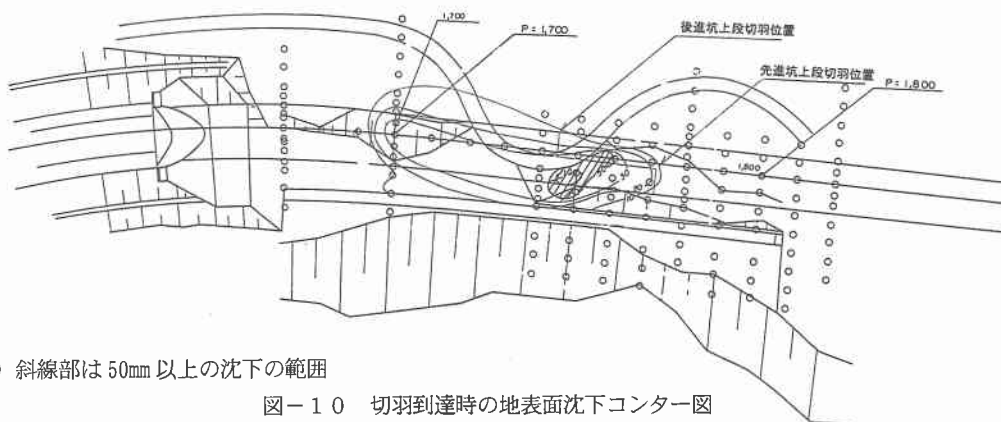
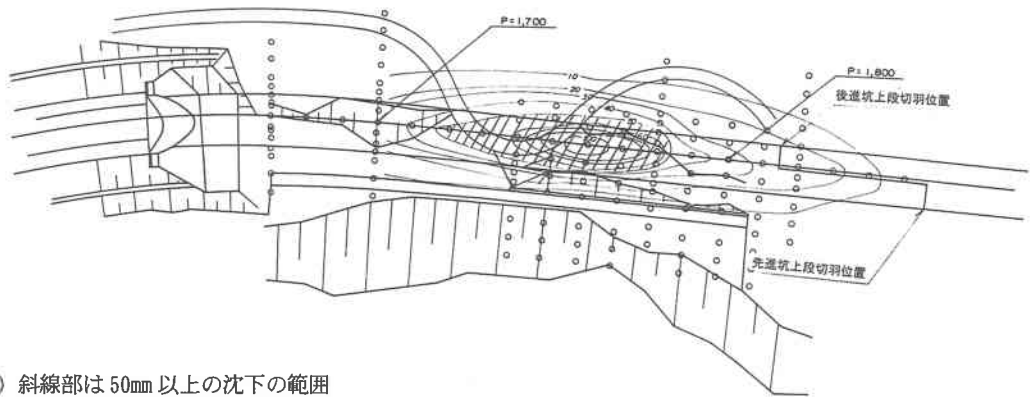


図-10 切羽到達時の地表面沈下コンター図



注) 斜線部は50mm以上の沈下の範囲

図-1 11 切羽通過後の地表面沈下コンター図

(2) 支保部材の応力

坑内B計測の後進坑掘削終了時点での結果の一例を表-2に示す。各支保部材とも許容値以内に収まっており、支保部材には大きな断面力は発生していない。

表-2 坑内B計測結果

(a) 吹付けコンクリート応力			(b) ロックボルト軸力計測結果		
断面	発生箇所	計測値(kgf/cm ²)	断面	発生箇所	計測値(ton)
SP. 1700	先進坑側アーチ肩部	20(圧縮)	SP. 1700	先進坑中段打設部	4
SP. 1780	先進坑側アーチ肩部	54(圧縮)	SP. 1780	先進坑下段打設部	12

(3) 地すべり挙動

傾斜計および伸縮計では地表沈下に伴うと思われる地表面付近での微小な変位しか計測されていない。また、抑止杭についてもわずかな曲げモーメントがトンネル付近に発生しているのみである。現在までは当初、懸念されていたような、トンネル掘削に伴う地すべり挙動の発生は認められない。

5. あとがき

地すべり地形の未固結土砂地山におけるトンネルについて、その事前対策、掘削工法、これまでの計測結果について述べた。掘削時、当初予想していたものよりも一部で大きな地山挙動を示したが、これまでのところトンネルは安定していると考えられる。今回報告した計測結果は後進坑掘削終了時点でのデータに基づいているが、現在もトンネルを鋭意施工中であり、今後さらに計測データや解析結果をとりまとめ、次の機会に報告する所存である。

最後に、今回本報文をまとめるに当たりご協力いただいた関係各位に対し深謝する。