

3次元レーザ測量データを活用した坑道内安全対策施設の検討

川崎地質(株) ○小林 優起、中山 健二、森口 安宏

1. はじめに

横須賀市追浜地区の貝山緑地内部に残る貝山地下壕は、第二次世界大戦末期に海軍が本土決戦に備え、機能移転を目的に築いた軍事施設である。同特殊地下壕は過去に不定期公開を行っていたが、2011年3月の東北地方太平洋沖地震による地震動で地下壕内部の一部区間に天端剥離崩壊が発生したことを契機に中断している。横須賀市は地盤工学会関東支部委員会による調査成果¹⁾を踏まえ、平成28年度に今後の地下壕公開に向けた検討資料を得る目的で、3次元レーザ測量²⁾や落石調査³⁾を行った。本稿は平成29年度に同点群データを活用して、坑道内部形状や危険箇所を抽出し、坑道内の安定性評価や安全対策施設の検討を行った事例報告である。

2. 貝山地下壕の概要

貝山周辺の地質は新第三紀上総層群野島層と浦郷層で構成され、そのうち貝山緑地には、凝灰質砂岩・凝灰質泥岩の不規則な互層を主体とする野島層が分布する。

貝山緑地の平面図を図-1に示す。

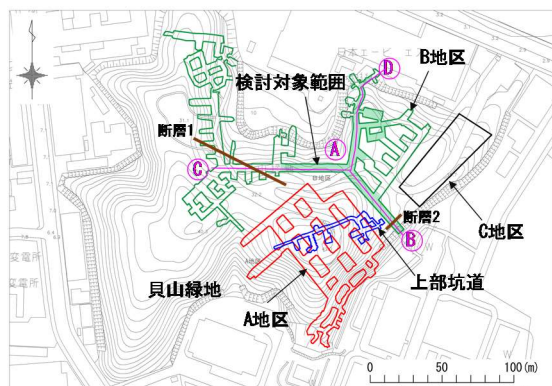


図-1 貝山地下壕平面図

貝山緑地の内部にはA地区、B地区、C地区、上部坑道の地下壕が存在する。A地区は丘陵南側に格子状で存在し、主坑道は最大幅12m、高さ10mを有するなど、最も規模が大きな地下壕である。B地区は丘陵北側に存在する直線状の坑道であり、内部には2箇所の分岐点(図-1中のA及びC)がある。主坑道は最大幅5.3m、高さ4.6mを有する。C地区は丘陵北東端に位置する格子状坑道であるが、安定上の問題を有するため坑口は塞がれている。この他、A地区上部に最大幅2.4m、高さ2.5mの坑道(上部坑道)が存在する。

なお、公開対象範囲はB地区を前提として検討した。

3. 内部調査及び3次元データによる安定性評価

(1) 内部調査による地質構造調査

地下壕内では、鍵層としてピンク色の火山灰層が確認

された(写真-1)。地層は全体的に北側に緩傾斜し、鍵層の上盤側は、凝灰質砂岩が主体で坑道断面形状も概ね均質である。一方、鍵層の下盤側は砂岩主体で、貝殻片を多量に含む砂層を挟み、厚さ10~20cm程度の凝灰質シルト岩を3層以上挟む互層状を呈する。また、天端や壁面には不整合面も確認された。硬さの異なる互層であるため、坑道断面形状は不均質で、坑道には過去の落石が点在する。

また、同範囲内には図-1に示す断層1と断層2が確認された。坑道奥の断層1は N50W25N の低角度な逆断層であり、鉛直・水平方向に3m以上の変位があることが、断層を跨いだ鍵層分布より確認された。なお、この断層1確認箇所周辺は2011年3月の東北地方太平洋沖地震で天端剥離崩壊(幅3m、長さ6m、厚さ20~30cm規模)が発生したことより最も不安定な区間であると位置づけられる。また、B地区坑口付近の断層2は N45E70E の逆断層であり、地層変位は30cm程度で、上部坑道の入口付近においても確認された。なお、断層2付近では、側壁に開口5mm程度のクサビ状亀裂が確認されている。



写真-1 鍵層とその周辺の地質構造

(2) 3次元点群データを利用した内部調査

3次元点群データを利用して、地質構造や、坑道内部形状及び各坑道間の離隔を調査し、不安定箇所を抽出した。

図-2は3次元点群データによるB地区の画像である。点群データからは地層の北向き傾斜状況が読み取れ、遊離石灰の分布や分岐点A付近には不整合面が認められた。同時に鍵層の分布、断層も併記した。

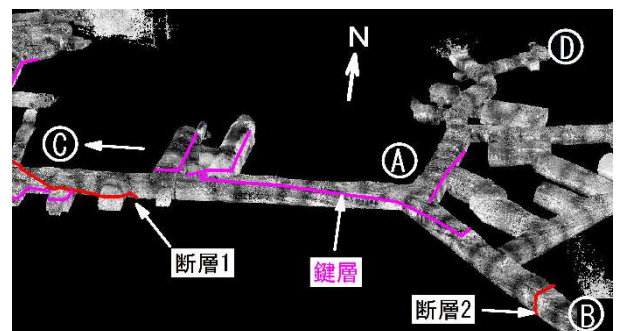


図-2 3次元点群データによる地質構造の把握(例)

B地区のA-C区間には、アーチ形状が崩れ、他区間と比較していびつな形状を示す区間があることが確認された(図-3)。断面①は正常なアーチ形状を示しているが、断面②付近は施工中に崩壊したと思われるような上に凸な形状を示している。

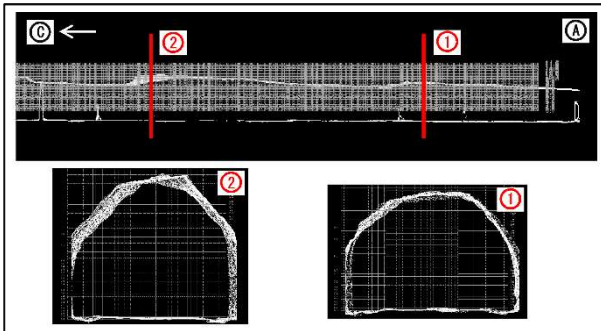


図-3 断面形状の調査(例)

坑道規模と離隔について表-1、図-4に示す。

表-1 坑道規模と離隔

地区名 坑道名	幅B、高さH	坑道間隔及び 他地区坑道との 離隔(m)	備考
A地区	B=5~10m H=5~8m 最大箇所 B=12m H=10m	坑道間隔 5.5~7.5m B地区との離隔 9~11.5m(水平) 上部坑道との離隔 12~17m(鉛直)	・主坑道が4列 ・これらをつなぐ横断坑道 があり基盤のような形状
A地区 2段空洞	B=5×8m H=4m	直下坑道との 離隔1.8m	
B地区	B=4.8~5.3m A-B区間 H=3.5~4.4m A-C区間 H=3.6~4.6m A-D区間手前側 H=3.4~3.8m	A地区との離隔 9~11.5m(水平) B地区との離隔 14.5m(斜め)	・内部に分岐点2箇所 ・主坑道に直交する横 坑が多数ある ・A-C区間の公開計画 範囲に最大H=4.6mとな るいびつな区間がある
上部坑道	B=1.5~2.4m H=1.9~2.5m	A地区との離隔 12~17m(鉛直) B地区との離隔 14.5m(斜め)	

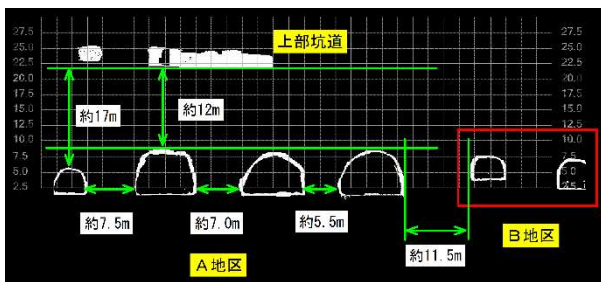


図-4 坑道の離隔調査(例)

一般に、トンネル坑口部の1~2D区間(D:坑道径)や低土被り区間(2D以下)では有効なアーチ構造が形成されないため不安定箇所として扱われる。本調査では、点群データに地形データを重ね合わせ、坑口区間と2D以下の低土被り区間の有無を確認した(図-5)。

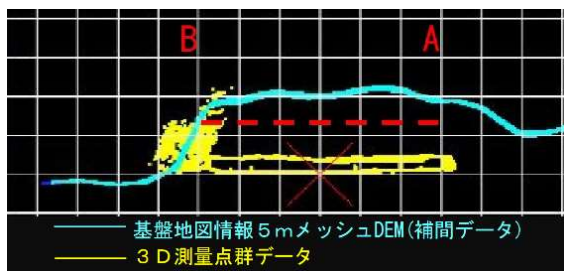


図-5 坑口付近における低土被り区間の調査(例)

(3)落石危険性の要因と安全対策の検討

本調査で実施した坑道内部調査によって、既存落石の崩落形態や大きさ、数量等を既往調査結果³⁾と合わせて整理した。過去の落石と、前述した地質構造および内部形状調査を踏まえて、落石の危険性として表-2に示す6つの要因を抽出し、安全対策の優先度を検討した。

表-2 落石要因と崩落タイプ

I	天端の層理面段差周辺・・・全域 【崩落タイプ：剥離崩落】
	砂岩・凝灰岩互層が分布しているため、地下壕天端は層理面となっており、所々に10~20cmの段差が生じている。このうち、風化・緩み等、安定性が低下している箇所では剥離崩落の可能性がある。
II	断層の周辺・・・A-C区間(非公開予定区間) 【崩落タイプ：剥離崩落】
	2011年の東北地方太平洋沖地震で天端崩落が生じた。付近には断層1(N50W25N)が通ることにより、低角度な断層周辺は特に安定度が低いことが示唆された。
III	鍵層周囲および下盤側・・・A-B、A-C区間 【崩落タイプ：剥離崩落】
	鍵層やその下盤の地層が天端付近に分布する区間では、特に天端層理面の段差が大きいため、過去の落石が多く規模も大きいことから、天端が上盤地層からなる区間よりも安定度が低いと考えられる。
IV	残存するノジュール・・・A-D区間の一部 【崩落タイプ：単体崩落】
	A-D区間では分岐点から20m区間の砂岩中において、φ20~30cmのノジュール(細粒岩が固まった楕円形の岩塊)が3箇所確認された。周辺にはこれが抜け落ちたくぼみも認められ、これらは将来に抜け落ちる可能性がある。
V	アーチ形状が崩れた断面区間・・・A-C区間の一部 【崩落タイプ：部分崩落】
	A-C区間ではアーチ形状が崩れた天井部凸型範囲が存在する。岩塊が残っていないことから施工中に崩壊があったと考えられる。地層は砂岩が主体であるが、鍵層周辺でもあることから安定度は相対的に低いと考えられる。
VI	クサビ状にえぐれた箇所 【崩落タイプ：部分崩落】
	側壁がクサビ状にえぐれた箇所が数箇所確認された。これらは人為的なものと想定される。

安全対策は、公開時の人的被害の防止を目的とするという前提のもと、表-2のうち天端に落石の危険性があるとされた区間において対策を行うこととした。鍵層が天端付近に分布し層理面の段差が著しい区間、アーチ形状が崩れている区間、および坑口の不安定箇所の計3区間に対して特に対策の優先度が高いと判断し、門型鋼製通路や吹付け工による安全対策施設の検討を行った。門型鋼製通路の設計においては3次元データを最大限活用し、天端高さや形状の変化を踏まえた外力条件の設定と構造計算、緩衝材の配置計画、施工計画を行った。なお、比較的安定したA-D区間でも一部の天端にノジュールが点在することから、この部分では直下のみ立ち入り禁止とするリスク回避対策を提案した。

4. おわりに

本調査では坑道内安全対策施設検討のために内部調査によって地質構造を明らかにし、3次元データを用いて不安定箇所の抽出、さらに対策工設計や施工計画の検討を行った。暗闇の坑道での現地調査には限界があるが同データは極めて有効であった。

《引用・参考文献》

- 1) 公益社団法人地盤工学会関東支部:土木史跡の地盤工学的分析・評価に関するシンポジウム, 2014.10
- 2) 横須賀市:貝山地下壕地上レーザー測量業務, 2017.2
- 3) 横須賀市:貝山地下壕地質解析等調査業務, 2017.3