

解説

安全確保

可燃性ガス発生場所における安全確保の施策



よしだ けいそう
吉田 桂三
機動建設工業(株)
土木本部技術課長

1 はじめに

地中を掘削して管路を敷設するトンネル工事では、事前土質調査を行い地盤や施工条件にあった工法を選定して設計・立案します。しかし、私は十分な事前土質調査などトンネル工事に関して言えばありえないことだと思っています。事前土質調査は、設計段階において施工条件や設計数量の数値を算出するためのものであるとも言えるからです。一概には言えませんが、推進工事の場合はシールド工と比較して路線延長が短いことから、立坑築造箇所の調査も兼ねて土質調査を行うことが一般的です。そして技術者が過去の経験や実績を踏まえて地質想定断面図を作成します。これが設計の根拠となるのです。大袈裟に言えば、事前土質調査を実施する位置が施工条件等で少し離れた箇所で行うと、施工する土質条件は異なるものになる可能性もあるということです。地質は同じであっても地下の断層は思っているよりも上下しています。場所によれば全く違う地質になることもあります。つまり推進工事は他の工種と違って無事に工事を完遂するために必要な情報が少ない作業であると言

えます。推進工事の管理者はそういった想定外の事象が発生する可能性があることを念頭に日々の安全管理や施工管理を行う必要があります。

2 推進工事における可燃性ガス対策の検討

可燃性ガス対策を検討するうえで、第一に可燃性ガスの特性をよく理解しておく必要があります。単に爆発する気体であるという認識で対策を講じても特性をよく理解していなければ十分とは言えません。そして第二に推進工事の作業環境がどういった異なる性質をもつものか再認識する必要があります。可燃性ガスの特性を推進工事の作業環境に当てはめた時に、どういった危険が存在しているか知るためにも重要です。第三に推進工事の作業特性にあった施策を講じる必要があります。そして立案した施策を各作業員に周知して作業することが最も重要です。せっかく講じた施策も現場の作業員が理解していなければ全く意味が無いからです。

3 推進工事における可燃性ガス対策の立案手順

(1) 可燃性ガスの特性を理解する

- (2) 推進工事の作業環境および特性を再認識する
- (3) (1)と(2)の特性を踏まえて有効な手段を立案する
- (4) 立案した施策を実行できるように現場で作業する全ての人員に周知徹底する

以下に立案手順に準じて解説します。

(1) 可燃性ガスの性質

可燃性ガスとは継続的に燃焼する性質のある気体のことをそう呼びます。可燃性ガスの代表的なものとしてはメタンガス(CH₄)が有名ですが、その他にエタンやブタンを含む石油系ガス、水溶性天然ガス等たくさんの種類があります。

推進工事で問題とされる可燃性ガスはやはりメタンガスになります。なぜなら地中に溶存する可燃性ガスのほとんどが、主に有機物や腐植土を含む層から発生するメタンガスであるためです。そしてメタンガスの特異性質がトンネル工事現場では非常に厄介な存在となります。

【メタンガス(CH₄)の特異性質】

- ①無色、無味、無臭であり吸引しても無害であるために人の五感ではガスの存在に気が付きません。
- ②比重が空気よりも軽いため高所に

停滞します。停滞した濃度の低いメタンガスは蓄積されることによりメタンレアを形成して爆発濃度まで高まる恐れがあります。そして爆発性状は9.5vol%で最大700kN/m²、爆発温度は2,000℃にも達すると言われて

③気存性物質であるが水に対しても可溶性であるために地下水圧に比例して溶解度が増します。

④爆発範囲は5vol%から15vol%ですが、その範囲外であっても引火を引き起こして気中の酸素濃度を著しく低下させます。

(2) 推進工事の作業環境および特性

都市トンネル工事は大別してシールド工法と推進工法に分けられますが、切羽の保持機構や掘削土砂の輸送方式を比較しても大きな違いはありません。大きな違いと言えば坑道築造方式にあります。シールド工法では築造した坑道を反力に推し進めていく手法を採用していますが、推進工法では発進立坑から坑道全てを推し進めていく手法で行います。

作業性の大きな違いは、第一にシールド工法では坑道内に分割式の覆工材料を運搬して坑道内面から組み立てます。それに対して推進工事では発進立坑内に一体型の覆工材（推進管）を設置する必要があります。第二にシールド工法では掘進していく過程に追従して坑道部が整形できるのに対して、推進工事の場合は常に坑道部全域に可とう部（推進管目地部）を必要とします。

【シールド工法と推進工法の作業比較】

①覆工材料

シールド工法→分割式セグメント。
掘進機後方（坑道先端位置）で組立を行う

推進工法→一体型の推進管。発進立坑（坑道最後方位置）で据え付ける。

②坑道築造方式

シールド工法→掘進作業に追従して

坑道部分を整形することができる。

推進工法→貫通する迄は坑道全域に可とう部（目地）が存在する。

(3) 推進工事における可燃性ガス対策

可燃性ガス対策は、国が定めた労働安全衛生法（労働安全衛生規則）を参考に立案された「トンネル工事における可燃性ガス対策技術基準」（大阪市建設局発行）を基準に推進工事の作業環境および特性を懸案して施策しました。

技術基準資料では、管理基準値（管理基準濃度）を定めて必要な管理対策実施要項を決定しています。

実施した現場では管理基準濃度（Ⅰ）に適用されていたために適用条項6項目において計画実施しました。

第5条「工法検討」

推進工事の場合は坑道内が閉所であり、発進立坑以外は密閉された空間での作業環境となります。換気対策を実施していても坑道内部にメタンガスが侵入することは当然好ましい環境ではありません。同様に坑道内で作業することも極力避けるべきです。ましてや危険範囲内（機内作業）で作業を行うこと

は最適仕様とは言えません。

したがって「工法検討」の安全基準として①掘進機周辺の無人化②坑道内無排土方式が最低限必要となります。

以上の条件を満たす工法として「遠隔操作式の泥水式推進工法」を選定しました。泥水式推進工法は流体輸送方式を採用しているため、機内（坑道内）で一次排土の必要が無く循環泥水の流体輸送にて直接坑外へ排土されます。また切羽圧力の変動が少なく、泥水膜形成過程のガス抜き効果もあると言われています。

また坑道内の無人化対策として「遠隔掘進管理システム」（ジャイロ方位計測・液圧レベル監視・自動測量管理システム）と「自動滑材充填システム」を推奨しています。

【実施策】

工法選定：泥水加圧式（遠隔操作システム、坑内無排土方式）

無人化対策：遠隔掘進管理システム（ジャイロ方位計測、液圧レベル監視、自動測量管理システム）自動滑材注入システム

表－1 管理基準濃度の決定

①	管理基準濃度（Ⅰ）	検出濃度 5%以上
②	管理基準濃度（Ⅱ）	検出濃度 1.5%以上5%未満
③	管理基準濃度（Ⅲ）	検出濃度 1.5%未満0.5%以上

表－2 管理基準濃度の選定

区分	適用条項	実施内容	備考
管理基準濃度（Ⅰ）	第5条「工法検討」 第6条「危険範囲」 第7条「換気計画」 第8条「検知計画」 第9条「防爆設備」 第10条「安全計画」	①最適仕様を選択 ②防爆エアーカーテン方式 ③CH ₄ 希釈換気 ④定置式・携帯式検知 ⑤防爆構造を採用 ⑥作業規制の実施	過半の区間で検出された場合に適用し、局部的検出の場合は（Ⅱ）に準じる
管理基準濃度（Ⅱ）	第5条「工法検討」 第7条「換気計画」 第8条「検知計画」 第10条「安全計画」	①最適仕様を選択 ③CH ₄ 希釈換気 ④定置式・携帯式検知 ⑥作業規制の実施	噴出が予測される場合には（Ⅰ）に準じる
管理基準濃度（Ⅲ）	第7条「換気計画」（呼気量換気）、第8条「検知計画」（定置式検知等）、第10条「安全計画」を必要により検討・実地		0.5%未満は原則的に除外

第6条「危険範囲」

技術基準資料では「危険範囲」の検討で防爆エアカーテン方式を推奨しています。防爆エアカーテン方式とは坑道内で「危険区域」から「非危険区域（安全区域）」に可燃性ガスが流入しないシステムになっています。坑道内を区分することにより防爆改造範囲を限定する手法です。

本来ならば、坑道内は発進立坑を除き全ての坑道内を「危険区域」として防爆改造機器を導入することが、最も安全な手法であると言えますが現実的ではありません。防爆設備の定義とは「防爆対策の目的を確保できる機能、耐圧性、耐久性を有するもの」とあります。簡単に言えば仮に爆発しても耐える構造の容器内に収めてしまう方法（耐圧防爆改造）と発火源を容器内に収めてガスが侵入しないように改造する方法（例：油入防爆、内圧防爆等々）とに分けられます。掘進機のみならず多くの設備機器が必要とされるトンネル工事では発火源は無数にあります。動力・通信ケーブル等、照明機器、通信機器、静電気、そして鉄と鉄が接触しただけでも発火源となります。そういった意味合いからも坑道内を区分する「エアカーテン方式」とは、実に利にかなったものと言えます。

しかしながら推進工事の作業特性を踏まえると、防爆エアカーテン方式は決して現実的ではありません。「エアカーテン方式」では、坑道内の気流を切羽部に向けるように機械的に発生させます。そして切羽部から排気管を通して坑外へ排出する方式です。すなわち坑道内では切羽部が負圧となっていることが前提なので、換気システムを停止するとバックドラフト（逆流）が発生します。したがって連続換気システムが原則となります。しかしながら推進工事では連続換気を行うことは現実的では

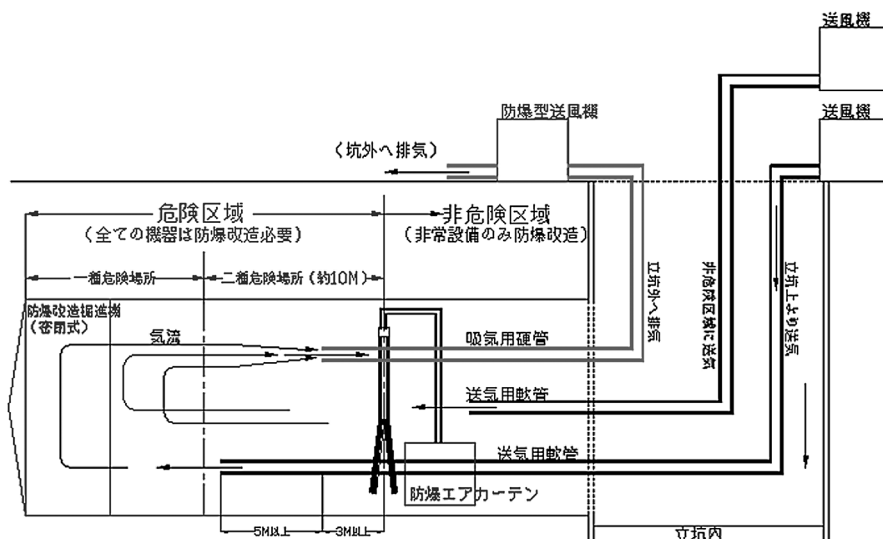


図-1 エアカーテン方式概要図

ないと言えます。なぜならば覆工材（推進管）が一体型を使用しているからです。物理的には3本の風管をバイパス構造にして切り替えることや、坑道内の送風機を連続運転可能になるよう切替動力設備を設置することは可能です。しかし防爆対策用換気風量は大容量を必要とするために、口径の大きな風管をバイパス構造にして作業を実施するにはおそらく覆工材料（1本あたりの推進管長を短くする）を変更して作業空間を確保する必要があると思われます。

第二にシールド工事の相違点として言えることは、貫通するまで坑道内全域に可とう部（目地）が存在することです。可とう部については、各メーカーが水密性試験を実施して保証されていますが、気密性に関しては保証されていません。

メタンガスの特異性質として人の五感では感じ取ることができないことや、停滞した濃度の低いメタンガスが蓄積されることによりメタンレアを形成して爆発濃度迄高まる恐れがあるとされています。推進管路の可とう部は距離が伸びるに連れて増えていきます。低濃度のガスが蓄積されないと言い切れません。

上記の問題を踏まえると、推進工事では「非危険区域」を限定することは難しいと言えます。従って坑道内に侵入する可燃性ガスを抑制するしか手段が無いとも言えます。そこで推進工事の防爆安全対策として、坑道内全ての可とう部に気密性シール材（TSシール）を加工することでガスの侵入を抑制して全坑道内「非危険区域」とする施策を採用しました。

【実施策】

危険範囲：「全坑道内非危険区域」

TSシール加工箇所：全推進管目地部、

掘進機中折れ部、中押管

第7条「換気計画」

換気計画を立案するうえで、坑道内の「危険区域」と「非危険区域」では必要坑内風速換気基準が異なります。推進工事の防爆安全対策では、「危険区域」を設けることができないことから坑内無排土方式と気密性シール材を施策することを前提に全坑道内「非危険区域」としました。「非危険区域」内での必要坑内風速は0.2～0.3m/s以上とされています。これは、メタンレアを形成させないための最低坑内風速です。「非危険区域」ならば換気が必要無いと勘

違いされがちですが、これはエアカーテン方式の「非危険区域」にも必要とされる換気風速です。すなわち可燃性ガスが発生する特異環境下でのトンネル工事では最低限必要な換気基準とも言えます。

【実施策】

換気計画：最低風速0.3m/s以上

換気装置：可変風量型換気設備（送気方式）

第8条「検知計画」

推進工事では坑道内が密閉空間になるため、メタンガスのような特異性質を持つ気体には特に注意が必要です。推進工事の覆工材料（推進管）はシールドセグメントと比較して凹凸部は少なくなります。しかし目地や中押管等存在しないわけではありません。すなわち濃度の低い値が計測された時点で細心の注意を払う必要があります。

可燃性ガス発生場所でのガス検知計画は原則として、定置式と携帯式の併用が標準とされています。そして「検知→記録→警報」を一貫して行う集中管理方式、検知等の管理は専任者が行うことと明記されています。実際の現場では異常ガス濃度が検知されると警報を発し、危険濃度まで上がると自動的に坑道内の発火源（防爆改造されていない機器）が遮断されるシステムを追加しました。定置式設置箇所は技術基準書に準じて「掘進機テール部」、「坑道内100m毎」、「その他必要箇所（発進立坑、泥水処理プラント他）」としました。定置式検知器と警報装置については特別明記されてはいませんが、異常濃度が検出された場合でも継続検知ができるように防爆改造機器を使用する必要があります。携帯式検知は原則として定置式で管理できない箇所（定置式の間部、凹凸箇所等）を定期的に測定して記録（3年間保存）しました。携帯式検知は常に複数人で実施するこ

表－3 作業規制基準

作業規制	規制－Ⅰ	規制－Ⅱ	規制－Ⅲ	備考
メタン濃度（％）	0.25～0.5	0.5以上	1.5以上	
規制要旨	火気作業を禁止し、関係者に周知徹底する。注意灯を点滅する。	全作業を中止し、かつ、作業員を避難させる	非常用設備の電源を除き送電を停止する、工事関係者全員を避難させる	①希釈濃度は0.25%以下 ②酸素濃度が18%以下の場合は規制－Ⅲ扱い ③規制－Ⅲ措置後の再入坑は換気・検知・安全確認を行う
措置と対策	①発生源調査 ②測定頻度を増す ③換気設備等を点検する	①発生源調査 ②測定頻度を増す ③換気設備等の総点検	①残入坑者の点検・確認 ②入坑禁止 ③換気検知対策等再検討	

とも必要です。

【実施策】

定置式ガス検知システム

測定ガス種類：酸素、メタン（検知器および警報器は防爆改造仕様）

測定頻度24時間連続、自動記録頻度4回/日、（3年間保存）

集中管理方式「検知→記録→警報（1）→警報（2）→自動発火源遮断器作動」

※警報（1）：CH₄濃度5%LEL（0.25vol％）以上 警報ブザー継続

警報（2）：CH₄濃度30%LEL（1.5vol％）以上

携帯式ガス検知装置

測定ガス種類：酸素、メタン

測定頻度：作業開始、休憩後再開時、作業終了時（手記記録3年間保存）

検知場所：発進立坑支保工下、泥水プラント凹凸箇所

定置式検知器中間部、中押管

掘進機凹凸箇所選定、施工中に危険と認識した箇所は追加

第9条「防爆設備」

可燃性ガスの抑制および坑内無排土方式を前提として全坑道内「非危険区域」とした場合に必要とされる防爆改造設備は、異常ガス検知時に自動発火源遮断器に連動しない機器と緊急避難設備が該当します。

【実施策】

非常用管内灯：自動遮断器作動により

管内照明が停電した場合に坑外退避用の照明が必要 @50m

自動定置式検知器（全箇所）、自動警報器（ハットライト）

坑道内通話装置：坑道内の異常ガス調査時に必要

避難器具：防爆用懐中電灯

第10条「安全計画」

安全計画とは「工事施工にさきだち、警報、避難計画、安全教育、防爆施設の維持管理について計画するもの」と明記されています。そして「メタンガス等の可燃性ガスの存在が確認された場合の作業規制基準」も明確に記載されています。

「検知計画」の集中管理方式で自動化した基準値は、上記の作業規制基準をもとに自動化したものです。維持管理とはこういった防爆対策設備機器が常に正常に作動するように管理を行うためのものです。防爆安全設備機器は全体的に連動しているため、正常に作動しなければ意味がありません。

火源対策とは坑道内の設備および作業に必要な器具等から発火源を洗い出して規制基準を整えるための対策です。

避難計画とは異常警報発生時に作業場全体の行動を統一化することが必要です。避難に必要な緊急避難器具（設置箇所の検討等）の整備も避難計画と言えます。そして緊急時の連絡体制を明確化することも必要です。

最後に安全教育・訓練とはこれらの対策を現場に従事する全ての人間に周知して行動させるための訓練です。

(4) 立案した施策を実行できるように現場に従事する全ての人間に周知徹底する

防爆対策は特殊な環境化での作業であることを現場で働く全ての作業員に対して周知することが最も重要と考えます。如何なる防爆機器改造、作業規制そして様々な対策を講じても実行できなければ意味がありません。文字で書くことは簡単ですがこれが最も難しいとも言えます。そういった面に対して工夫することも必要と言えるでしょう。

乗込み教育や避難訓練、現場内での掲示物等で周知させることも必要です。しかし何事も無く毎日の作業が進むに連れて人は慣れてしまいます。そのためにも毎日のKY活動で繰り返し取り上げていくことも有効ですが、時折時間を作って実際の事故事例を紹介していくことで実際に自分達の身に起こりうる可能性がある危険下での作業ということを自覚させる環境作りも重要かもしれません。

4 最後に

今回取り上げた防爆対策は、メタンガスの特異性と推進工事における作業環境の特性を踏まえて有効であると思われる施策を紹介させていただきました。施策の中で特に重要視した部分は、「集中管理計画」と「安全計画」でした。

これは如何なる想定外の出来事が起きても安全に作業できる環境作りが最も重要であると判断したからです。もちろん「工法検討」や「ガスの侵入抑制」、「換気設備」は重要対策です。しかし想定外の異常ガスを検知した場合でも作業場内に警報を発して周知させること、そして自動的に発火源を遮断することで危険要因を断つことが避難時には重要であると考えました。例えば誤報検知であっても周知徹底する必要があります。想定外の原因調査は安全が確保された後に行えば良いのです。

今回参考にさせていただきました「トンネル工事における可燃性ガス対策技術基準」(大阪市建設局発行)にも記載されていますが、「非危険区域内」の作業環境でも防爆対策が必要な特異な環境下では様々な対策、規制基準が必要であると読み取れます。すなわちト

ンネル工事では想定外のことが起こりうる環境下での作業であることを理解されているからだと思われます。

今回「可燃性ガス発生場所における安全確保の施策」に着目して有効とされる安全対策を紹介させていただきましたが、防爆対策のみならず常に推進工事では地上と異なる想定外の事象が発生する危険な作業環境下にあることをよく理解していただき今後の安全確保の施策としてご参考にしていただけたら幸いです。

○お問い合わせ先

機動建設工業(株)

<http://www.kidoh.co.jp>

技術本部

〒553-0003

大阪市福島区福島4-6-31 機動ビル

Tel : 06-6458-6183

Fax : 06-6545-0274

関東支店

〒101-0035

東京都千代田区神田紺屋町38

エスポワールビル6階

Tel : 03-5289-4771

Fax : 03-5294-1281