

泥水式防爆型推進工法

Slurry type Explosionproof pipejacking method.

機動建設工業(株) 技術本部技術開発部

岡村 道夫

KIDOH CONSTRUCTION CO.,LTD. Technical Head Quarter

Michio Okamura

要 旨

推進施工において、推進路線の地盤中にメタンガスなどの可燃性ガスが賦存する場合がある。そのため、可燃性ガスが掘進機や管内に侵入しても、爆発や火災が発生しないように機器類を防爆改造して使用する方法が一般に行なわれていたが、施工コストが増加するという問題があった。

アルティミット泥水式防爆型推進工法は、コスト縮減を達成する防爆対策として「如何にして、坑内への可燃性ガスの侵入を防ぐか」を目的として、掘進機及び管内へ可燃性ガスを侵入させない技術を開発した。

Abstract

Occasionally, the soil contains combustible gases like methane along the alignment of pipejacking construction. Equipment used in the site had to be explosionproofed in the conventional way of tunneling construction .

Problem was that it forced clients to take considerable expenses .

We developed the a technique that stops combustible gases come into the tunneling machine or jacking pipes to make the construction safe and cheap .

1 . はじめに

地中には有機物の腐敗・発酵により発生した無色・無臭のメタンガス等の可燃性ガスが存在することは古くから知られている。メタンガスは、平地部では地下水中に容存するか、遊離ガスとして賦存していることが多い。

メタンガスが賦存する地層を推進工法やシールド工法で掘進した場合、メタンガスは地下水圧等の圧力から解放されて、自由面(トンネル内)に向かって噴き出そうとする。

事前調査等で地盤中に可燃性ガスが検出された場合は、原則として推進路線の見直しや埋設深さの変更が検討される。しかし、それができない場合には、十分な防爆対策を検討して実施されているのが現状である。一般的に行なわれている防爆対策は、掘進機や坑内設備の発火源を抑えるために、機器類やスイッチ類を防爆構造とする方法が採用されていた。この方法は設備が非常に高価となることや坑内に可燃性ガスを存在させているという点に問題がある。

今回、これらの課題を解決するために、坑内に可燃性ガスを侵入させることなく、コスト縮減可能な防爆推進技術を開発した。

以下、本技術の内容と施工事例について紹介する

2 . 防爆型推進工法の基本方針

アルティミット泥水式防爆型推進工法は、「掘進機や推進管内に侵入した可燃性ガス」に対する防爆設備対策ではなく、「掘進機や推進管内に侵入しようとする可燃性ガスを完全に遮断する」ことを基本としている。従って、掘進機や推進管内の発火源である設備の防爆改造は必要としない。

3 . 適応管径

下水道推進用鉄筋コンクリート管の場合
呼び径 800mm ~ 3000mm

4 . 工法技術

4 - 1 . 基本防爆対策技術

可燃性ガスの賦存が認められる地層を推進施工する場合の基本的な防爆対策として、安全性、施工性、経済性を考慮して、下記の対策技術を採用する。

(1) . 泥水工法の採用

泥水工法は、掘進機の前方を隔壁で密閉し、隔壁より前方に加圧泥水を圧入させて切羽面を泥水圧にて保持し、掘削土砂を加圧泥水の環流によって坑外に連続して流体輸送する方式である。

掘削土砂は掘進機及び推進管内で外気に触れることなく確実に搬出されるため、掘進機内にメタンガス等の可燃性ガスが侵入することはなく、従来のように坑内の機器類を防爆改造する必要はなくなる。

(2) . 泥水式掘削管理システム

掘進機による掘削土砂の取込み過ぎや取込み不足は、地盤沈下や隆起を招来し管周辺の地盤を乱す。地盤の乱れによって、地中に賦存するメタンガス等は気圧の変化に従い、急に膨張して切羽や坑内に侵入しようとする。

泥水式掘削管理システムを採用することによって、掘進機の適正な掘削土量が管理され、地盤を乱すことなく安定した切羽面を維持し地中環境を保全しながらメタンガス等の発生を抑制する。(写真 - 1 参照)

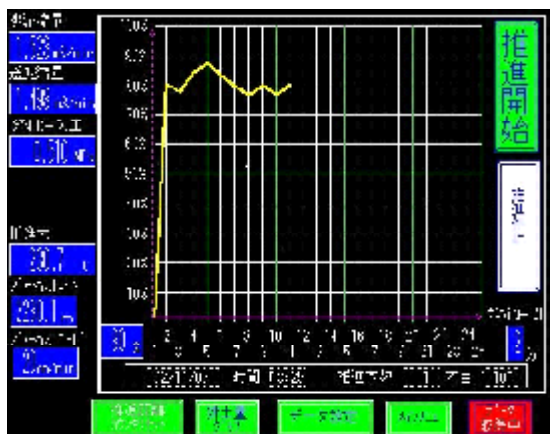
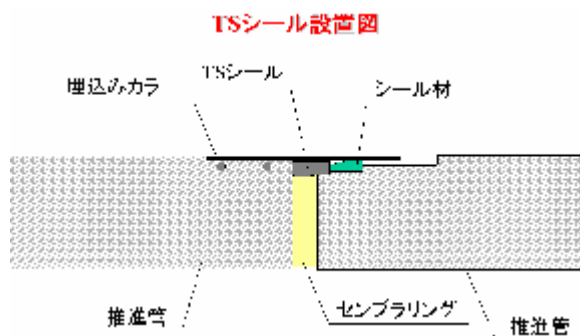


写真 - 1 掘削管理モニタ画面

(3) . 防爆型推進管

推進管は外圧強さ、許容耐荷力、継手性能等組み合わせが可能な管材として、(社)日本下水道協会により認定されている。通常、継手部に用いられているシール材である止水ゴム輪は、水密性に優れ止水には効果を発揮するが、耐気性にはその効果が実証されておらず、メタンガス等の侵入には不安を残す。

このため、本工法では、止水ゴム輪とは別に継手部に耐気性・耐水性に優れたTSシール材を充填することによって、メタンガス等の侵入を遮断する。TSシール材は、水酸基末端液状ポリブタジエンゴムを主成分として、強力な弾性力と粘着力、優れた復元力を有して管継手部からのメタンガス等の侵入を防止する。また、工場における良質な充填管理が行なえるという特徴を有している。(図 - 1 参照)



(4) . 立坑の土留壁

発進・到達立坑において、鋼矢板等のように継手部を有する構造の立坑の場合には、セクション部からメタンガス等が侵入し、立坑内に滞留する。

このため、矢板セクション部分からのメタンガス等の侵入を防止するために、矢板セクション部に防水シールを施し、立坑内へのメタンガス等や地下水の侵入を遮断する。

(5) . 発進・到達坑口壁

推進中、管外周に沿って地下水とともにメタンガス等が立坑内に侵入する可能性が高い。このため、坑口壁は止水ゴムの二重構造を基本とする。また、土質条件や施工条件によっては、その二重ゴムの中に充填材を注入することで遮水性を向上させる方法も採用する。

(6) . 発進・到達区間の地盤改良

発進区間・到達区間は、鏡切り等に発火源を必要とするため、通常の溶液型の薬液注入では、メタンガス等を地中の間隙に取り込んだまま地盤改良されるため、非常に危険な状態となる。

このため、発進区間と到達区間は、地盤を薬剤と攪拌混合して地盤内にメタンガス等を残さず、遮水性を向上させる置換工法を採用する。

4 - 2 . 予備防爆対策技術

前記した基本防爆対策技術により、掘進機内及び推進管内に可燃性ガスを侵入させることなく、安全な推進施工を提供する。しかし、施工条件等によって、より安全性を確保したい場合や不測の状況に対して対処できる予備防爆対策技術を採用する。

(1) . 坑内換気設備

万が一の可燃性ガスの侵入に備え、「ずい道工

事等における換気技術指針」(建設業労働災害防止協会)に基づき換気計算を行ない、所定の換気量を確保する。換気方式は、作業立坑よりの送気方式で検討する。

(2) . 管理体制の確立

監視装置

可燃性ガスの侵入に備え、掘進機内及び管内にメタンガス濃度、酸素濃度、一酸化炭素濃度の定置式自動計測器・警報機(通信システムも含む)を設置する。設置間隔は約 100m 前後を基本とする。特に発火源となる中継ポンプ、注入中継ボックス位置に設置できるよう配慮する。

メタンガスの爆発範囲濃度は、約 5～15VOL%であり、爆発範囲濃度以下での警報、送電遮断できるように対応する。

予備電源の設置

自動検知警報装置及び通話装置は、常に正常の運転状態を保つように予備電源(バッテリー等)を設ける。

避難用具の設置

自動検知警報装置により、坑内動力、照明設備等の電源が自動遮断される可能性があり、掘進機内、推進管の中間、発進立坑内に空気呼吸器や消火器、懐中電灯を設置する。

(3) . 管内灯

管内灯

基本的には可燃性ガスの坑内侵入遮断を原則として対策されており、防爆改造を必要としない。安全性を考慮して、簡易防爆蛍光灯(防水タイプ)の採用が勧められる。

非常灯

万が一に管内自動遮断機が作動した場合、管内の換気状況等を形態測定器で確認に入管する際に、管内の照明がなくなるために、防爆改造の非常灯を設置する。設置間隔は約 50m 前後を基本とする。

(図 - 2 参照)

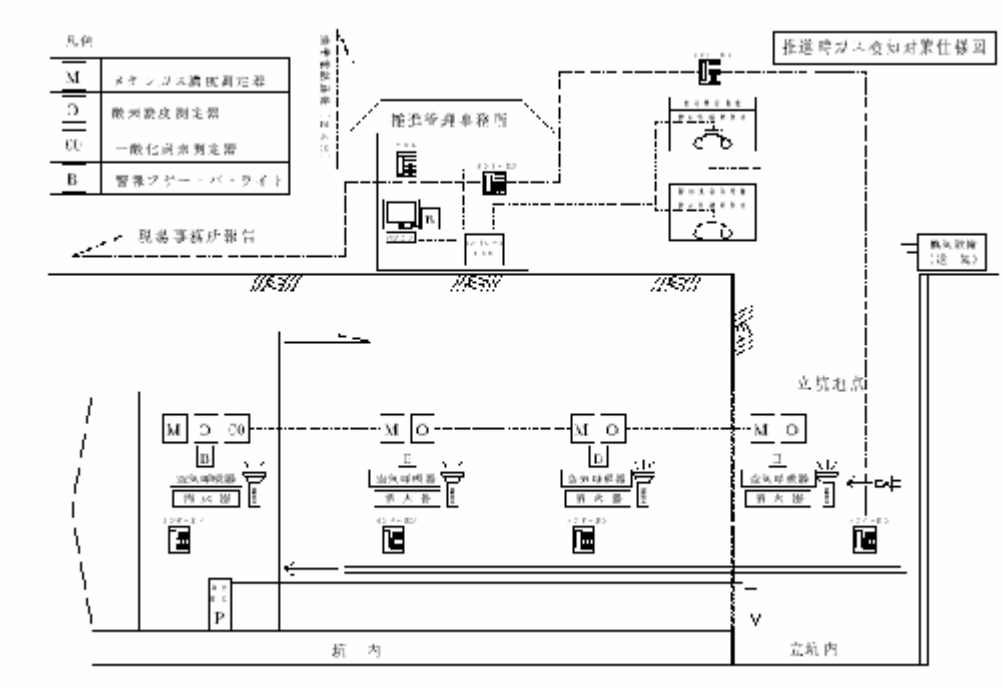


図 - 2 推進時ガス検知対策仕様図

(4) . 自動滑材充填システム(U L I S)

U L I S の採用によって、一定間隔毎に推進管周面に設置した注入孔から、注入箇所、注入時間、注入圧力等を自動制御しながら滑材注入でき、推進時における管内作業の無人化が図られ、作業員の安全性が確保できる。また、推進管の外周面には、高粘性の滑材であるアルティKやアルティクレイが均等に充填され、推進管継手部からの可燃性ガスの侵入を抑制する。

(5) . 自動測量装置

曲線推進工事において、推進管内に自動追尾式トータルステーションを複数配置し、互いの位置を自動計測して、そのデータをパソコンで演算することで掘進機の位置を正確に把握でき、管内作業の省力化が図れる。

(6) . 開口制限装置

急曲線推進工事では、曲線区間で推進力の外側分力によって推進管列が外側にふくれやすく、1ヶ所の継手部で目地が大きく開口することがあり、地下水とともに可燃性ガスの侵入が懸念される。

このため、合成管に開口制限装置を装備し、目地開口長を許容値以内に制限することで、正確な計画曲線を形成するとともに、可燃性ガスの侵入を確実に遮断する。

5 . 特 長

(1) . 掘進機内への侵入防止

泥水方式のため、地下水や地盤内に溶け込んだ可燃性ガスをそのまま切羽部から坑外の処理プラントまで送り、外気に開放する。泥土圧方式や泥濃方式と違い、開放部がないため掘進機内や管内に可燃性ガスが侵入しない。

(2) . 推進管継手部からの侵入防止

掘進機屈曲部や推進管継手部に、シ - ル材(T S シ - ル)を先行シ - ルして、可燃性ガスの侵入を防止する。これにより、掘進機と管内の防爆設備が不要となり、コスト縮減が可能となる。

(3)管内作業の無人化

掘進機操作、掘削土量管理、滑材注入、管内測量などが遠隔操作で自動化し、掘進時の管内作業が無人化できる。

6 . 施工事例

6 - 1 . 工事概要

本工事は、下水管路を住宅が密集する狭い曲がりくねった道路下から、交通量の多い国道2号線下をS字の急曲線で斜めに横断していくという非常に難しい条件下の長距離・急曲線推進工事である。

また、事前の土質調査では、地中に多くの可燃性ガスであるメタンガスが賦存していることが確認され、細心の注意をはらった防爆対策の検討が求められた。

工事場所： 大阪市内

工 法： 泥水式アルティミット工法

管 径： 1 6 5 0 mm

推進延長： 5 0 0 m(1 スパン)

曲線条件： 9 連曲線 R = 150m(7 箇所)

R = 70m(2 箇所)

土質条件： 砂、シルト、粘土

土 被 り： 8.96 ~ 7.33m

地 下 水： 多い

(図 - 3、写真 - 2 参照)

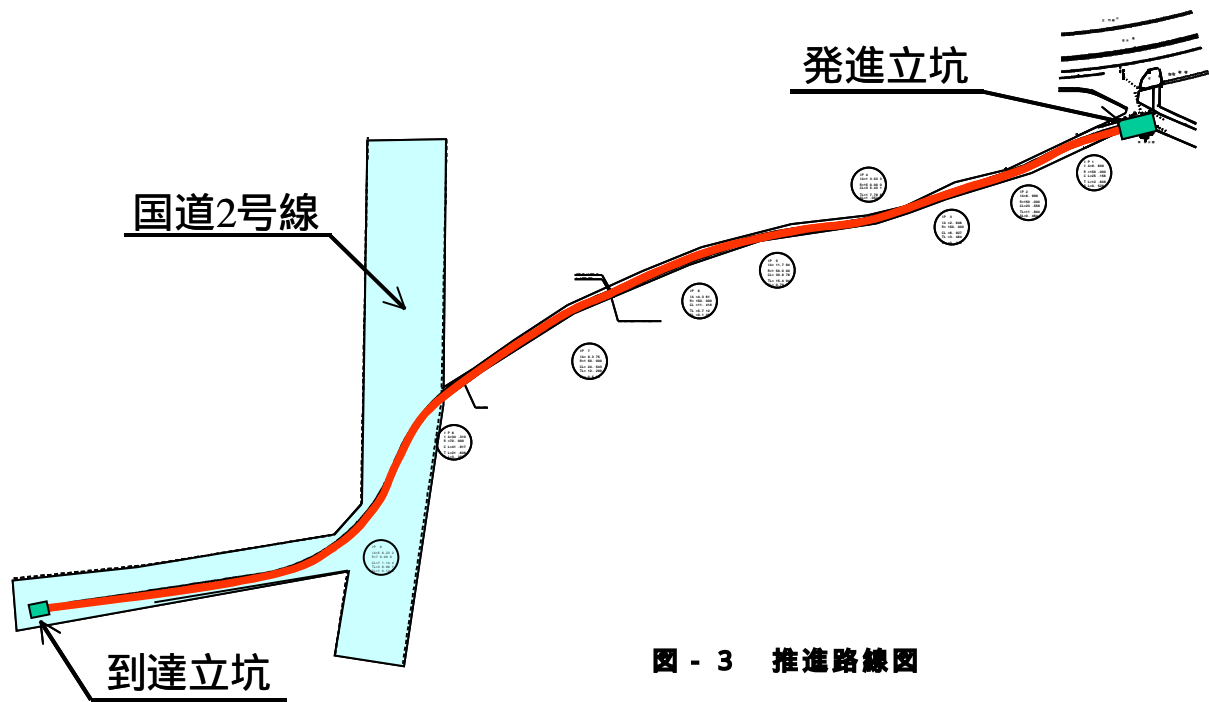


図 - 3 推進路線図



写真 - 2 国道2号線下の推進線形

6 - 2 . 地質条件及び調査

(1) . 地質状況

大阪平野内における代表的な沖積層の構成は、沖積上部層(粘性土層、砂質土層)、沖積中部粘土層、沖積下部砂質土層と続き、それ以深より洪積層となり天満砂礫層となる。この沖積中部粘土層は、梅田層とも呼ばれ非常に厚い層厚で広範囲にわたって分布している粘性土層で、過去において地盤沈下の問題となった主たる対象土層である。

この梅田層にあたる厚い粘性土層は、現在においても圧密が進行する非常に軟弱な地盤である。また、本層内には貝殻片が比較的多く確認されていることより、有機物が混入されていることが推定される。従って、メタンガスが生成されやすい土層であり、層内にはメタンガスが賦存状態にあると考えられる。

本工事は、大阪市の西部にあたる西淀川区内に位置し、周辺には左門殿川、神崎川の河口付近で、大阪湾にも隣接した地域で三角州性低地が広く分布している。地層構成は、盛土直下よりメタンガスの賦存が考えられる梅田層が分布する地域であり、事前にメタンガス調査が実施された。

(2) . メタンガス調査

本工事に先立ち、計画管路付近でメタンガスの有無を確認するため、簡易測定を実施した。実施した調査報告によると、表 - 1 に示すように、全測定点でメタンガスの存在が確認され、特にNo . 2 ~ No . 4 の3 地点に関しては、100(%LEL)以上の濃度が確認された。また、同時に測定した酸素については、No . 4 の濃度が非常に低い値となっていた。(表 - 1 参照)

表-1 メタンガス簡易測定結果

調査位置	項目	単位	洗淨作業中	揚水作業中	5分後	10分後	15分後	1時間後	12時間後
No. 1	メタン	(%LEL)	0	0	0	0	0	0	28
	酸素	(VOL%)	20.8	20.9	20.8	20.9	20.9	20	20.7
No. 2	メタン	(%LEL)	0	0	0	0	0	3	>100
	酸素	(VOL%)	20.9	20.9	20.8	20.9	20.9	20.9	16.4
No. 3	メタン	(%LEL)	1	1	1	1	1	29	>100
	酸素	(VOL%)	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	20.8	18.4
No. 4	メタン	(%LEL)	0	1	1	1	1	15	>100
	酸素	(VOL%)	21	20.7	20.7	20.8	20.9	20.3	6.6

6 - 3 . 防爆対策

本工事の特長は、推進延長が長く、曲線ヶ所が9ヶ所と連続する推進工事であり、推進中は推進工法用管の目地部が常に伸縮稼働している状態にある。このため、「如何にして坑内への可燃性ガスの侵入を防ぐか」の防爆対策として、以下の2点に重点を置いて検討を行なった。

掘削残土搬出時の侵入

推進工法用管継手部からの侵入

(1) . 泥水掘進機の採用

工法の選定にあたっては、本工事の施工条件である長距離で急曲線を含む9連曲線施工が可能ならぬ、防爆対策が行なえることを条件に検討を行なった。

大中口径推進工法は、掘削方法、切羽の安定方法、土砂の搬出方法等によって、刃口推進工法、泥水式推進工法、土圧式推進工法、泥濃式推進工法に大別される。

これらの工法を防爆対策で比較した場合、刃口推進工法は、先端の切羽が開放されており、土圧式・泥濃式推進工法は、切羽部が密閉式となっているが、掘削土砂がスクリュウコンベアや排土バルブから掘進機後方の大気圧下に一度排土される構造になっており、本工事の防爆対策として「可燃性ガスの坑内侵入を防ぐ」という主旨に適さない。

このため、工法としては、表 - 2 の各項目の検討も含め、坑内に可燃性ガスの侵入することのない泥水式推進工法が最適であるとの判断に至った。結果、掘進機としては、長距離・急曲線対応のアルティミット専用掘進機(DH-K)を採用した。(写真 - 3 泥水掘進機)



写真 - 3 泥水掘進機(DH-K)

(2) . 推進管継手部の対策

推進作業中、坑内への可燃性ガスの侵入が最も懸念されるのは、推進管継ぎ手部からである。前記したように、本工事の路線は曲線(9ヶ所)が多く設定されており、推進管継手部の目地が絶えず伸縮している状態にある。従って、推進管継手部からの可燃性ガス侵入に対しては、万全の対策を行なった。

通常、継手部に用いられているシール材であるゴム輪は、水密性に優れ止水性には効果を発揮するが、耐気性の効果に関しては実証されていないのが現状である。

このため、防爆対策技術として耐気性に優れたTSシール材を採用した。センブラリング計算ソフトにより、継手部の目地の伸縮量を算出して、継手部構造が密封構造となるようにTSシール材を先行シーリングした。

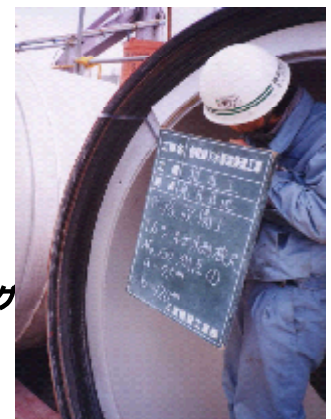


写真 - 4
TSシールの
先行シーリング

(3) . 他の防爆対策

他に、下記の予備防爆対策を実施した。

滑材充填システム及び注入滑材

推進力の低減を目的とする推進用滑材を管と地山の間にも万遍なく注入することによって、滑材膜を形成させて可燃性ガスが坑内に侵入してくることを防止するため、自動滑材充填システム及び高粘性で希釈性の少ない中性滑材(アルティ - K)を採用した。

防爆型非常用管内灯の設置

緊急用に管内には、所定の間隔で防爆型の非常用管内灯を計画した。

換気設備の強化

早期方式を採用。 200mm、90m³/min

推進工法の遠隔操作

中央管理システムで、自動滑材充填システムなどを遠隔操作し、推進中の管内作業をなくし、推進停止時の管理保全作業のみとした。

(4) . 監視対策

可燃性ガスの早期発見のために、自動ガス検知システム及び自動通知システムを採用し、24時間の監視体制を実施した。自動ガス検知システムは、掘進機から後方に100mピッチに配置し、発火源を持つ中継ポンプ等の推進設備機器をシステムに隣接するよう計画した。

以下に、監視対策の一環として下記の設備を設置した。

空気呼吸器及び酸素濃度測定器

坑内動力自動遮断システム

警報器

通信装置

6 - 4 . 施工結果

推進施工で、本工事は「可燃性ガスの坑内侵

入を防止すること」を主旨として、侵入防止技術の採用や管理体制の強化に努めた結果、推進工事開始から終了まで、作業中に坑内に可燃性ガスを検知することなく、無事工事を完成させることができた。当初、最も懸念された推進管の継手部からの可燃性ガスの漏れがなかったことは、耐気性に優れたTSシールの効果によるものと思われる。



写真 - 5 曲線部管内状況

7 . あとがき

以上、今回「坑内発火源を防爆構造とする」方法から「坑内への可燃性ガス侵入を防止する」方法に重点を置いて行なった防爆対策は、坑内への可燃性ガスの侵入が一切なく無事工事を終了したことで、その効果を実証できた。

作業服の静電気から引火した過去の爆発事例からも明らかなように、掘進機や管内に侵入しようとする可燃性ガスを完全に遮断する方法は、理論的にも優れた対策方法と考えられ、今後のより安全で確実な防爆システムとして、一つの指針になるものと思われる。

今後は、安全性を重視した防爆型推進システムの確立を図り、地中ライフラインの普及発展に貢献していく所存である。