

論文概要

推進工事において、推進路線の地盤中にメタンガス等の可燃性ガスが存在する場合がある。そのため、メタン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方法が一般に行われてきたが、坑内にメタンガスを存在させるという安全性に問題があった。

そこで、掘削土を流体輸送で連続排土できる泥水式掘進機を採用し、管列の継手部には特殊シールを充填してメタンガスを坑内に侵入させない新防爆型推進工法が開発されている。

本報告では、安全性を重視した新防爆型推進工法の概要と曲線を含む推進工事の施工例を述べる。

1. はじめに

大津市では、昭和37年に中心市街地の浸水対策を目的として、県内の市町村に先駆けて下水道事業に着手した。その後、琵琶湖の水質汚濁が深刻になり、水質保全と生活環境の改善のため、汚

水整備を重点施策として実施してきた。

このような中、平成9年8月の集中豪雨により、北部地域を中心に多大な被害が発生した。これを契機に浸水対策にも精力的に取り組んできたところであり、本事業もその一環である。

不動川と熊野川との間に位置する尾花川排水区は、西側山間部の流入が大きく、既設水路が度々氾濫し、市役所を含む周辺地域を浸水させている。また、当該地域は既成市街地で道路にも多くの埋設物があり、かつ京阪電鉄石坂線を横断する必要がある。このため、推進工法により伏越構造の雨水管を埋設し、浸水被害の解消を図ったものである。

今回の工事は、平成13年度より着手した本事業の最終区間にあたり、推進路線部には可燃性ガスであるメタンガスが存在するという厳しい条件下の工事であった。

2. 工事概要

2-1. 工事概要

工 事 名 : 平成17年度 尾花川雨水幹線
管渠築造工事 その2

施工場所 : 大津市御陵町地内

工 法 : アルティミット泥水式防爆型
推進工法

工事内容 :

管 径 1,650mm

推進延長 L = 385.000m

曲線推進 R = 100m

CL = 76.358m

土 質 : 礫混りシルト・粘土

土かぶり : 4.3 ~ 6.5 m

地下水位 : GL - 1.8 m

(図 - 1 推進路線図、図 - 2 縦断図)

2 - 2 . 施工環境

本工事区間では、事前の土質調査報告書（尾花川雨水幹線土質調査委託報告書）により可燃性ガスであるメタンガスの存在が確認されていた。

2 - 2 - 1 . メタンガス調査

事前を実施されたメタンガス調査より、その測定結果について報告する。

図 - 3 に調査位置平面図、表 - 1 に地中ガス測定結果を示す。上流側に位置する No.5、No.8 においては、メタンガス濃度が 100%LEL (5VOL%) 以上になっているとともに、5 ~ 10KN/m² の圧力も観測されている。(図 - 3、表 - 1)

2 - 2 - 2 . メタンガスの危険性

メタンガスの爆発範囲は、空気中の濃度が約 5VOL% ~ 15VOL% で火源があると爆発し、濃度約 9.5VOL% で最大の爆発力となる。濃度 5VOL% 以下もしくは 15VOL% 以上では爆発しないで、火源の回りで青炎を放って燃焼する。

最も激しい爆発では、爆発圧 700KN/m²、爆発温度 2000° C となる。爆発に至らず燃焼した場合でも、火炎を吸い込んで死亡した事例がある。無毒であるが濃厚になると酸素欠乏による呼吸困難や窒息も懸念される。

メタンガスの爆発は、周辺住民や施工者の安全性を脅かす要因となる。特に当工事の推進区間には京阪電鉄線下を急曲線(R = 100 m)で横断していくことから推進管継手部の曲線外側が大きく開口してメタンガスが侵入しやすくなることや、市役所等の重要施設が隣接していることから、ガス爆発が与える社会的影響は非常に大きなものになると考えられる。

このため、メタンガスに対する最善の安全性を確保した防爆対策技術が必要となる。

3 . 防爆型推進施工の課題と対策

従来実施されてきた防爆対策は、掘進機や推進管内にメタンガスが侵入しても、爆発や火災が起きないように発火源となる機器類やスイッチ類を防爆構造とする方法が用いられてきた。しかし、設備費用が非常に高価となることや坑内にメタンガスが存在するという安全性に問題がある。炭坑では、発火源が作業服の静電気からメタンガス爆発を誘発したという事例もある。

このため、防爆対策として、前記した従来技術の防爆方法と、「坑内への可燃性ガス侵入を遮断する」方法を基本方針として比較検討した。

推進施工中に、坑内にメタンガスが侵入する経路としては以下の2点が考えられ、その侵入防止技術の検討・対策を行った。

- ・ 掘削土砂の搬出による侵入
- ・ 推進管継手部からの侵入

3 - 1 . 掘進工法の選定

推進工法には、開放型の刃口式推進工法と密閉型の泥水式推進工法、土圧式推進工法、泥濃式推進工法に大別される施工方法がある。これらの工法を、推進施工時に坑内に爆発性雰囲気があったくない安全な環境とする条件を「防爆仕様」として、以下に比較検討をおこなった。

3 - 1 - 1 . 刃口式推進工法

刃口式推進工法は、先端の切羽が開放されており、土中にあるメタンガスが掘削土砂とともに大量に管内に取込まれる可能性があり、本工事で設定した「防爆仕様」に適合しない。

3 - 1 - 2 . 泥濃式推進工法（土圧式推進工法）

泥濃式や土圧式は、切羽部は隔壁によって遮断された密閉構造となっているが、掘削土砂を排土バルブやスクリュウコンベヤから掘進機後方の大気圧下に一旦排出する構造となっていることから、推進管内に大量にメタンガスを取込む可能性が高くなる。特に、掘進機内付近にメタンガスが滞留することになるため、本工事の「防爆仕様」に適合しない。「防爆仕様」と同等とするためには、掘進機の機器類やスイッチ類の防爆改造が必要となる。これに対して、推進管継手部からの侵入は、排泥バルブ等からの掘削土砂排出に比べて比較的少ないと考えられることから、エアーカーテンや換気設備の対応で本工事の「防爆仕様」に適合する領域に入ってくると考えられる。ただし、この領域はエアーカーテン等で仕切られた推進管内だけであり、掘進機内についてはメタンガスが存在してお

り、本工事の「防爆仕様」の領域に入らない。

3 - 1 - 3 . 泥水式推進工法

泥水式は、切羽部は隔壁によって遮断された密閉構造となっており、掘削土砂は送泥水に混入して排泥管内を流体輸送しながら坑外に連続搬出する循環管路となっている。したがって、掘進機内や推進管内にメタンガスが漏れることはなく、本工事の「防爆仕様」に適合する。また、送排泥管の接続作業時も機内バイパスで循環させることによりメタンガスを完全に除去できる。しかしながら、前項と同様に推進管継手部からのメタンガスの管内侵入が考えられるため、その対策が必要となる。

3 - 1 - 4 . 推進工法の決定

上記比較検討の結果、掘削方式は本工事の「防爆仕様」から判断すると、泥水式が安全性で優れていることは明らかであった。また、泥濃式（土圧式）が、掘進機の防爆対策に高価な改造費用が必要となるのに対して、泥水式では改造を必要としないことから経済性でも泥水式が有利となり、掘削方式として「泥水式推進工法」を採用した。

泥水式掘進機は、発進立坑付近の土質調査結果からシルトに角礫が混入していることから、コーンクラッシャを装備した礫対応型を選定した。

（写真 - 1）

3 - 2 . 推進管継手部の防爆対策

メタンガスのもう1つの侵入防止技術として、推進管継手部からの侵入防止技術がある。

推進工法は、推進管列の後端を油圧ジャッキで押し込むことによって、掘進機や推進管を地中に埋設していく方法で、推進管を溶接やボルトで結合する場合を除き、推進管継手部の目地は負荷（推進力）を受け、絶えず伸縮している状態にある。このため、推進作業中の推進管継手部からのメタンガス侵入が最も懸念された。また、本工事においては、メタンガスの存在が確認された推進路線の到達側に急曲線（R=100m）が設定されており、曲線外側の目地の開きが大きくなることから、万全の防爆対策が必要となった。

3 - 2 - 1 . T S シール材の採用

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、気密性に関しては実証されておらず、メタンガスの侵入には不安を残している。

このため、本工事では止水ゴム輪とは別に継手部に気密性・水密性に優れた T S シールを採用した。(写真 - 2)

曲線区間は、管継手部の上下に設置するセンブラリングの計算ソフトにより、継手部の目地の伸縮量を算出して、図 - 4 に示すように密閉構造となるように T S シールを先行充填した。T S 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する弾性力と復元力に優れた特殊ゴムである。(図 - 4)

3 - 2 - 2 . T S シール材の特長

T S シール材の特長を以下に示す。

- ・強力な弾性力と粘着性

強力な弾性力と粘着性を有しており、接合目地が 1 ~ 2mm 程度で、優れたクッション効果と密封機能を発揮する。

- ・優れた復元性

推進圧力がかかると強力な弾性力によって、大きく変形して管接合部の隙間を完全に密封する。推進圧力が少なくなると、当初の形に戻ろうとする復元力がある。このため、推進工事のように推進管継手部が常時伸縮している条件には最適なシール材である。

- ・高品質の充填

シール材は、推進管の製造工場にて充填するため、品質にバラツキのない確実な充填施工ができる。

- ・自由な形状選定

シール材の形状が自由であり、現場の施工条件にあったシール材の形状選定ができる。

3 - 3 . ガス検知システムの設置

前記の基本となる防爆対策技術により、掘進機内および推進管内にはメタンガスが侵入することなく、安全な推進施工が可能となる。しかしながら、本工事は到達側の曲線区間の土質に高濃度のメタンガスが存在することから、より安全性を確保するためにガス検知システムを設置した。

本検知システムは、メタンガス、硫化水素ガス、

一酸化炭素ガス、酸素等の濃度を表示し、労働安全衛生規則に規定された常時監視機能を有した定置式システムである。(写真 - 4)

ガス検知システムの設置位置は、図 - 5 に示すように、掘進機内、切羽から 100m (中押し部)、200m、300m 地点と発進立坑内の 5 箇所に計画し、24 時間の監視体制をとった。(図 - 5)

4 . 推進施工計画

4 - 1 . 総推進力

本工事の推進力は、後で紹介するアルティミット工法技術の一つである U L I S (自動滑材注入システム) を採用したことから、アルティミット工法協会の推力算定式を採用した。総推進力 $F = 5,435 \text{ kN}$ となっており、元押し設備としては、総推進力に余裕を持った油圧ジャッキの配置をした。

4 - 2 . 中押設備

当推進区間の所要推進力は $5,435 \text{ kN}$ 、これに対する支圧壁背面の支持力は $5,970 \text{ kN}$ と算定され、数値上では元押ジャッキのみで推進可能との算定結果となった。

しかしながら、推進路線に京阪電鉄線の横断があること、また、土質条件が腐植土を含む軟弱なシルト・粘土層であること等から、推進休止中の地山の締め付けの発生が予測された。前記のように所要推進力に対して、支圧壁背面の支持力に余裕がないため、締め付けによる推進抵抗の増加は、大きなトラブルに発展することが懸念される。

このため、当工事においては、中押設備を1段を下記装備で計画した。

・油圧ジャッキ

500kN×300st×10台

計 5000kN

4 - 3 . U L I S (自動滑材注入システム)

土質は、礫混りシルト・粘土で、曲線半径 R = 100mを含む長距離推進である。このため、主な推進抵抗となる推進管外周と土との摩擦抵抗を低減するために、管外周に滑材を注入する U L I S (自動滑材注入システム) を採用した。

(図 6)

U L I S は、一定間隔ごとに推進管壁周面に設置した注入孔から、注入箇所・注入時間等を自動制御しながら滑材を注入するシステムであり、推進時における管内作業の無人化が図れ、推進力の低減とともに作業員の安全性が確保できる。

また、本システムにより管外周に高粘性の滑材であるアルティ K を均等に充填することによって、管外周面に滑材膜を形成してメタンガスの侵入を抑制する効果も見込める。

4 - 4 . センプラカーブシステム

本推進路線には、曲線推進が含まれていることから、掘進機が造成したトンネル軌道に推進管を追従させるセンプラカーブシステムを採用した。

センプラカーブシステムは、推進管の継手部の上下または左右対称位置に、推力伝達材 (センプラリング) を設置し、曲線区間でも推進力の伝達

を管の中央部分で行い、管を掘進機の造成した曲線軌道に正確に追従させる機能を有している。センブラリングには、塑性領域の広い低発泡ポリスチレンが用いられている。

センブラリングの設計にあたっては、設置する位置での推進力の大きさと推進管の折れ角により、種類、発泡倍率、設置面積、厚さが決定される。

5．推進工法の施工

5 - 1．初期推進

発進立坑からの初期発進段階では、メタンガス調査結果のとおり、発進立坑内に設置した検知器でメタンガスが検出されることはなかった。土質調査結果のとおり、当初はシルトに角礫が混入した土質となっており、選定した礫対応型の掘進機で効率の良い推進施工ができた。(写真 - 3)

5 - 2．曲線管理

推進区間の到達手前には、京阪電鉄線や県道47号線下を横断していく厳しい条件の曲線区間($R = 100\text{ m}$)がある。

曲線維持は、推進管の継手部上下の中央部分に設置したセンブラリングが、掘進機が造成した曲線軌道に追従するように塑性変形して、自由に推進管を後続させていくことから、管内に入って開口調整等の作業を行う必要がない。

曲線区間の測量時間の短縮、省力化のために、推進中の姿勢監視はジャイロコンパスによる方位角表示をリアルタイムにおこない、掘進機および推進管の精度測量は自動測量システムを採用した。

自動測量システムは、管体内の可視距離をつなぐ位置に自動追尾トータルステーションを複数箇所設置し、お互いの位置を自動計測し、これらのデータをパソコンで演算して短時間で掘進機位置を検出するシステムである。

防爆型で長距離・急曲線推進という厳しい施工条件での本工事で、測量時間の大幅な短縮が図られ非常に有効であった。

5 - 3 . 到 達

後半は土質調査結果のとおり、シルト分、腐食物を全体に混入した砂質シルトと変化してきたが、慎重な掘削土量管理を行うことによって、京阪電鉄石坂線下の横断時にも軌道に影響を与えることもなく、推進施工を完成させた。

推進施工中は、掘進機によって掘削された土砂はチャンバ内から管内で開放されることなく、流体輸送によって坑外へと連続排土されることや、推進管継手部に設置したT Sシールによって継手部が密閉された状態となって、掘進機内、推進管内および発進立坑内に設置したメタンガス検知システムが一度も作動することなく、安全に推進施工を完了した。

推進精度は前記した測量システムやセンブラカーブシステム等により、計画線からの誤差が右10mm、上20mmと高精度な結果を得ることができた。

推進力は、シルト・腐植土と推進管外周面が締め付けられやすい土質条件であったが、初期発進時からULISによる滑材注入を実施して、設計

総推進力 $F = 5,435 \text{ kN}$ を下回る $4,600 \text{ kN}$ で到達した。(写真 - 5)

到達立坑内では、掘進機到達前に探り穴を穿孔し、メタンガスの存在を簡易防爆検知機で確認した。その結果、地下水とともに高濃度のメタンガスが検出された。これは、掘進機到達時に掘進機外周地盤の崩壊を防止する目的で実施した地盤改良のための薬液注入時に、土砂の間隙から押し出されたメタンガスを含む地下水が、到達立坑の鋼矢板背面に残留していたためと考えられる。

対策として、探り穴から残留メタンガスを取り除き、到達立坑内も換気を行って状況を見た。1昼夜の期間をおいた後、メタンガス測定を行い、安全を確認して到達土留壁の撤去をおこない、掘進機を到達立坑内に回収した。

6. あとがき

本工事は、尾花川排水区の氾濫による浸水被害の解消を図るための雨水管埋設で、推進路線の土質に存在するメタンガスの対策が重要な課題となっていた。

そこで、ガス爆発による社会的影響の大きさを考慮して、従来行われていた坑内発火源を防爆改造する方法から、本文で報告した坑内への可燃性ガス侵入を遮断する新防爆型推進方法を採用し、実施した。本推進工事では、掘削された土砂をチャンバ内から管内で開放することなく流体輸送で連続排土する泥水方式の採用と、路線に曲線区間があり、絶えず屈曲して目地部が前後に伸縮開口する管継手部に充填したTSシールとにより、メ

タンガスが管内などに侵入することなく無事工事を終了できたことで、その効果は実証できたものとする。

推進工事による防爆型推進工法についての事例は数少ないが、本工事で採用した技術は、安全性を重視した経済的な推進工法として有効性が認められ、今後、同じような施工条件での防爆型推進工法やシールド工法に寄与するものとする。

参考文献

- 1) 岡村道夫：長距離・急曲線に対応した防爆型推進工法、月刊推進技術、Vol.18 No.6、P53～59、2004.6



写真 - 1 礫対応泥水式掘進機



写真 - 2 TSシール充填状況



写真 3 掘進機発進状況



写真 4 可燃性ガス検知器



写真 - 5 掘進機到達状況



図 - 1 平面図

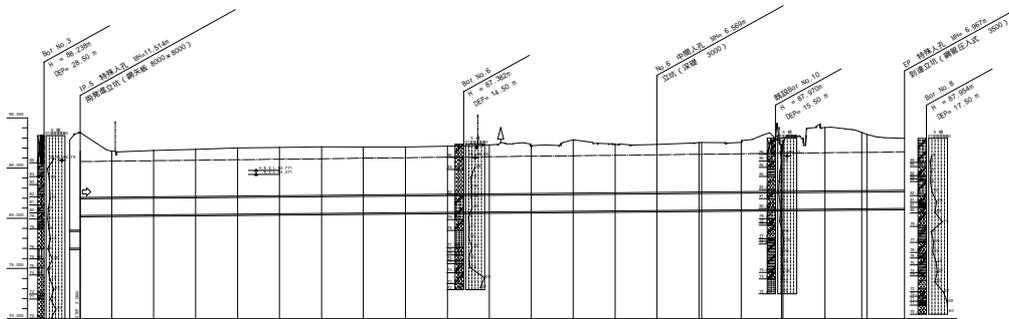


図 2 縦断面図



図 3 メタンガス調査位置図

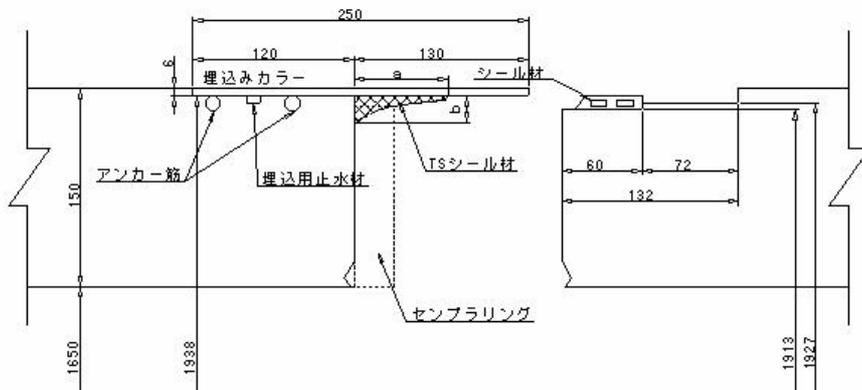


図 - 4 TSシール出来形標準図

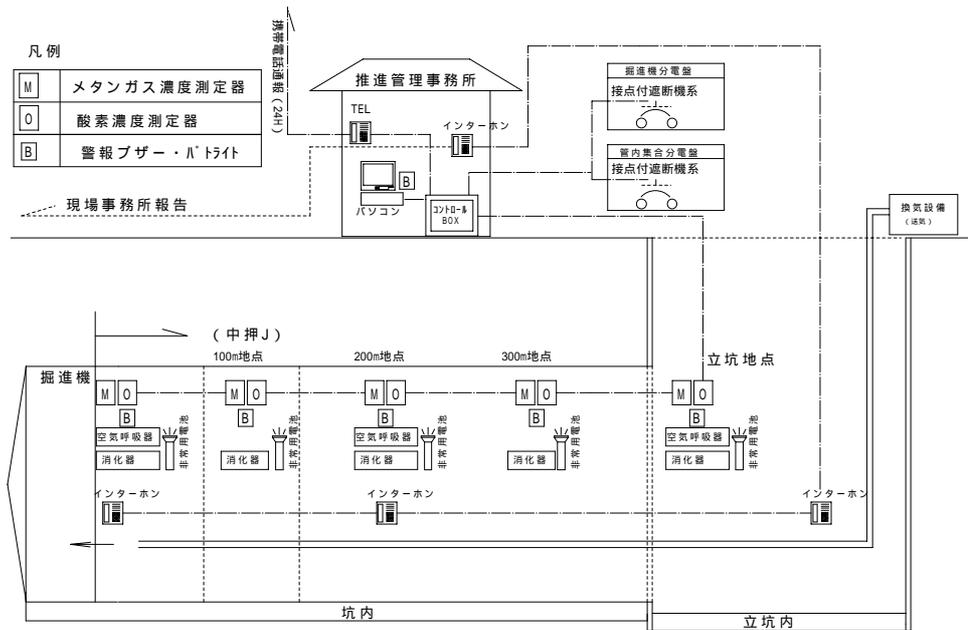


図 - 5 ガス検知管理仕様図

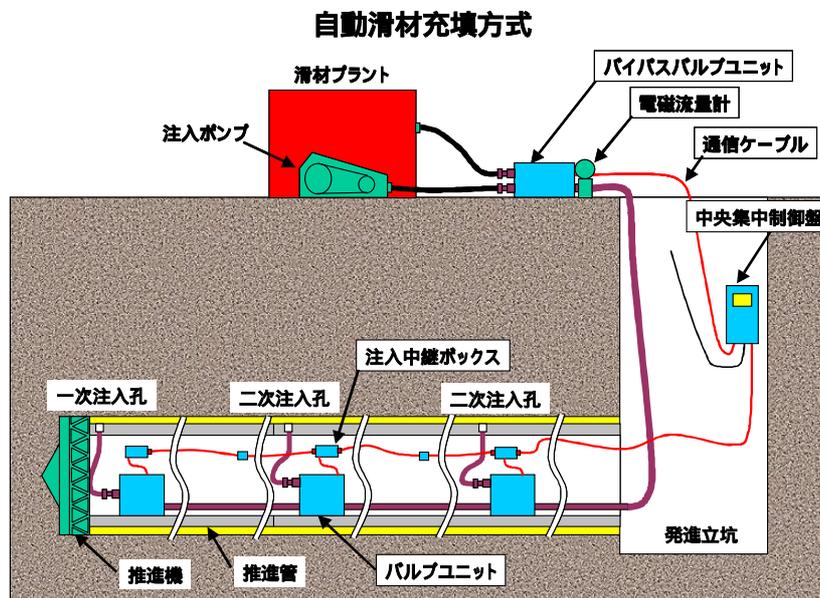


図 - 6 滑材注入（一系統方式）

單位 %LEL				
経過時間	N o 1	N o 3	N o 5	N o 8
1 分	4	0	1 0 0 以上	1 0 0 以上
5 分	4	0	1 0 0 以上	1 0 0 以上
1 0 分	4	0	1 0 0 以上	1 0 0 以上
1 5 分	4	0	1 0 0 以上	1 0 0 以上
2 0 分	4	0	1 0 0 以上	1 0 0 以上
2 5 分	4	0	1 0 0 以上	1 0 0 以上
3 0 分	4	0	1 0 0 以上	1 0 0 以上
翌 朝	4	0	1 0 0 以上	1 0 0 以上

表 - 1 地中ガス測定結果