

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

目 次

§ 1. 概 説	添35 - 3
§ 2. 事前調査	添35 - 4
§ 3. メタンガスの性質	添35 - 7
§ 4. 防爆対策の概要	添35 - 10
§ 5. トンネル工法の適性	添35 - 13
§ 6. 防爆対策計画	添35 - 17
§ 7. 参考資料	添35 - 25

§ 1. 概 説

第1条 適用範囲

本基準は、本市建設局が発注するシールド工事、機械推進工事、刃口推進工事に適用する。

(解 説)

可燃性ガスには、メタンガス（ CH_4 ）の他にエタンやブタンを含む石油系ガス、メタンが主成分の石炭系ガス、水溶性天然ガスがある。大阪平野で検出されるのは、ほとんどが湖沼や河川の埋め立て跡等の、有機物や腐食土を含む層から発生するメタンガスである。その代表的な事例が、東大阪市から大阪市の東南部（平野区他）を西南端とする旧河内湖の周縁部にみられる。

一方、本市建設局の調査では、さきの平野区、東住吉区をはじめ、大正区、此花区、都島区、鶴見区でも検出されており、さらに最近の調査でも、淀川区、東淀川区で検出している。このように、有機物の分解によって発生するメタンガスは、図-1に示すように、大阪市の全域に点在すると考えられる。

本基準は、このような実情から、メタンガスに代表される可燃性ガスに起因する、シールド工事、機械推進工事（セミシールド工事）、刃口推進工事（以下、これらを総称して「トンネル工事」という。）の事故防止を図るため、その調査、設計、施工管理の技術基準を示すものである。

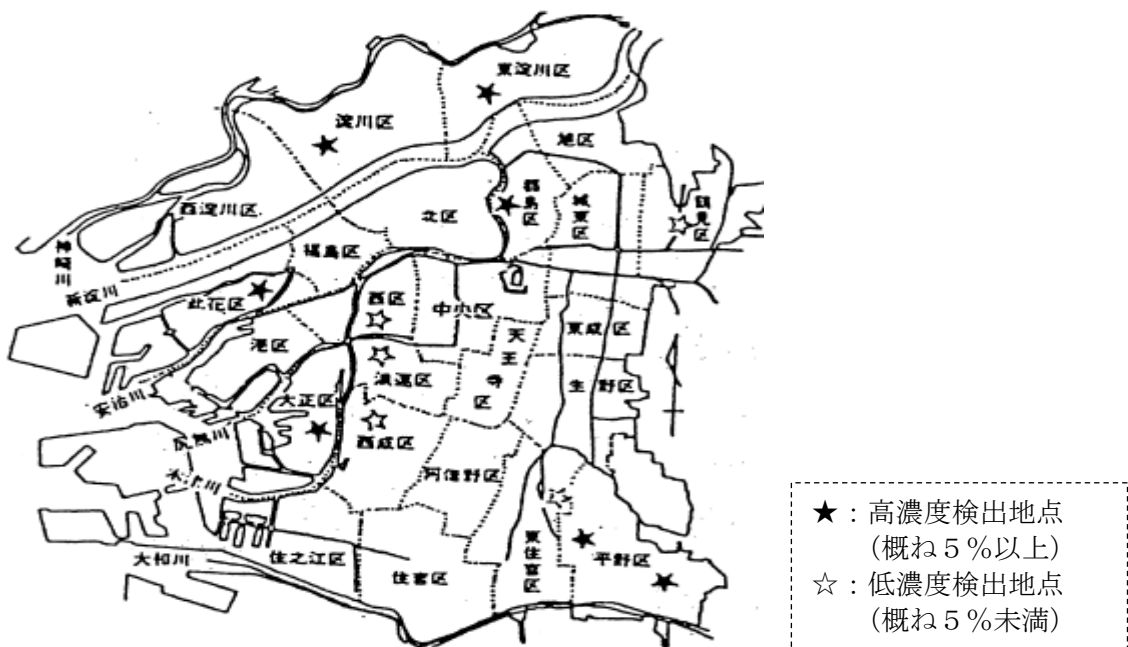


図-1 メタンガスの検出位置（建設局の調査実績）

§ 2. 事前調査

第2条 事前調査

トンネル工事の設計及び施工計画のために行う土質調査は、原則としてメタンガス等の可燃性ガスの調査を行うものとする。

(解説)

大阪平野におけるメタンガス (CH_4) は、そのほとんどが有機物の分解作用により生じたものであるため、発生場所を特定することは困難である。このため、トンネル工事の設計及び施工計画のために行う土質調査は、原則的にメタンガス等の可燃性ガスの調査を行うものとした。

メタンガスの調査は、原則として土質調査時に土質調査の調査孔 (通常、@100m~@200m 間隔) を用いて簡易測定法で行い (以下、この調査を「予備調査」という。)、予備調査でメタンガスが検出された場合に本調査を行う。

1. メタンガスの存在位置

メタンガスは、空気よりも軽く、かつ水溶性であるため、地中における存在位置は、図-2 に示すように横ね次の3点となる。

- ① 腐食土の間隙に、気体ガスまたは水溶性ガスとして存在
- ② 不透水層の下面凸部に、遊離ガスまたは水溶性ガスとして存在
- ③ 地下水流のほとんどない透水層中に水溶性ガスとして溶存

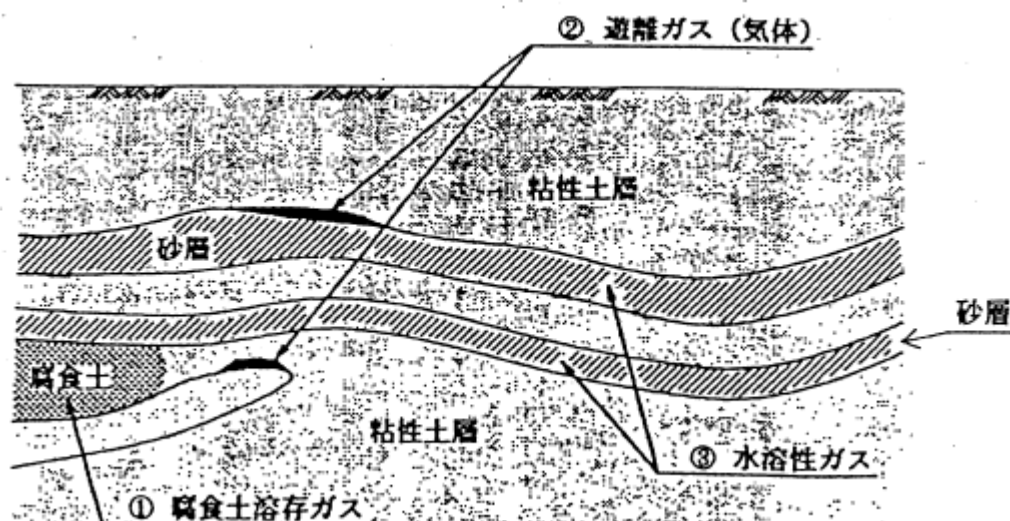


図-2 メタンガスの存在位置

2. メタンガスの調査

(1) 調査法の分類

メタンガスの調査法は、おおむね表-1のとおりとなる。

表-1 メタンガスの調査法

種別	項目	資料採取	試験	調査精度等	備考
調査法 (A)	調査孔より採気	採気試料を室内分析試験 (ガスクロマトグラフ法)	通常は両調査法を併用する。室内試験の調査精度は高い		
調査法 (B)	調査孔より採水	採水試料を室内分析試験 (ガスクロマトグラフ法)			
調査法 (C)	試料土を採取	試料土を室内分析試験 (ガスクロマトグラフ法)	特別な場合にのみ実施	本基準では適用除外	

なお、調査法 (C) は、シンウォールサンプリングで試料土を採取し、試料土中のメタンガスの溶存濃度を調査する方法であるが、調査実績が少ないため、本基準ではこれを除外する。

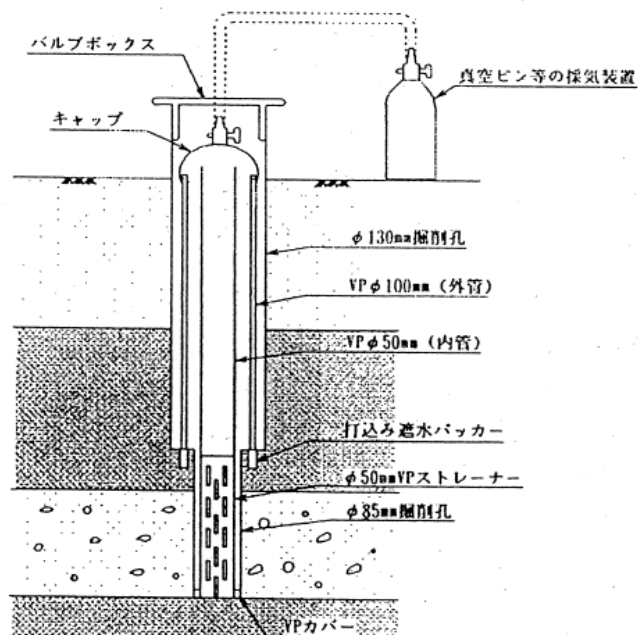


図-3 二重管式調査孔 (試料採気)

(2) 試料の採取

図-3に示すように、所定の深さまで削孔し、調査深さにスリット加工をした内管を挿入する。内管の洗浄後、ポンプで調査深さまで孔内の水位を下げ、調査位置にガス検知器を挿入し簡易測定法で検知する。

簡易測定の実施後、内管の上部にキャップを施し、原則としてキャップ設置の翌日 (12hr ~24hr 後) に、簡易測定法でメタンガスの測定を行い、メタンガスが検出された場合には、

室内分析試験を行うための試料を採取する。

- ① 調査法 (A) の試料採取…孔内の貯留ガスを真空瓶等で採取する。
- ② 調査法 (B) の試料採取…図-4のように、圧力保持式採水器で、調査探さの孔内地下水を採取する。

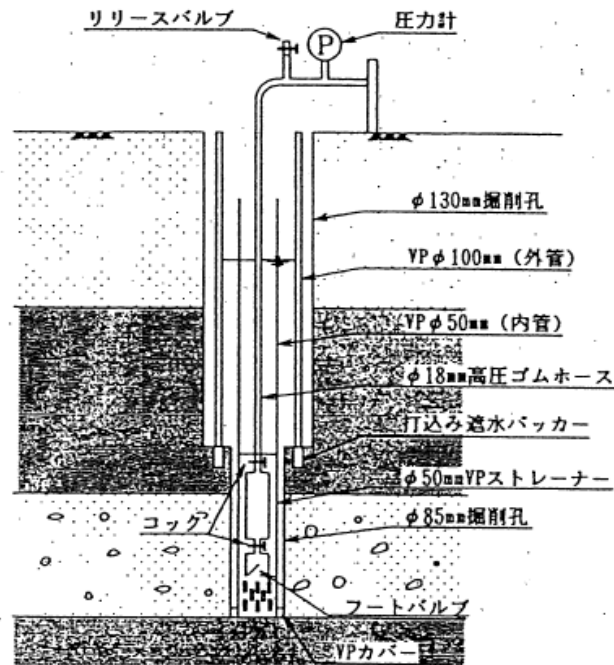


図-4 試料採水

(3) 検出濃度の判定

検出濃度の判定は、調査法 (A) または調査法 (B) で採取した試料の室内分析試験の値とし、現位置で行う簡易測定法は、メタンガスの存在有無を判定する目安とする。

室内分析試験は、原則としてガスクロマトグラフ法によるものとし、同法の概要を図-5に示す。

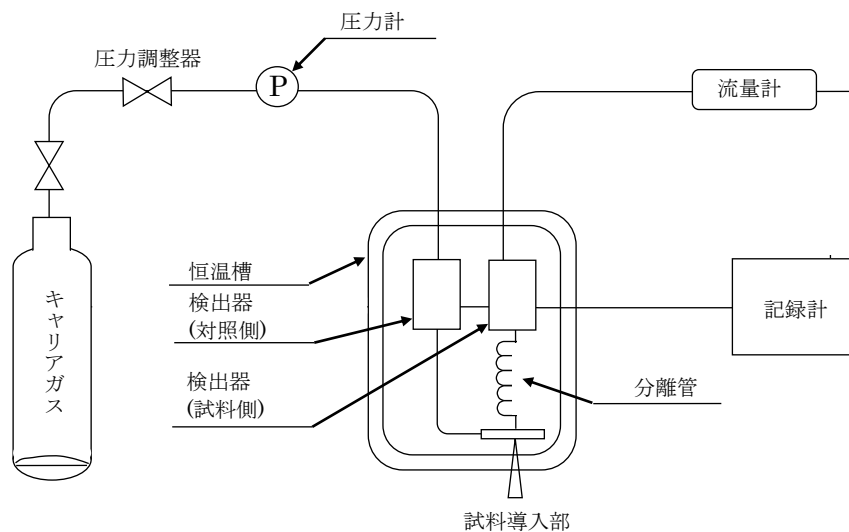


図-5 ガスクロマトグラフ法

3. 予備調査と本調査

(1) 予備調査

予備調査は、土質調査時に土質調査の調査孔を用いて簡易測定法で行う。簡易測定法でメタンガスが検出された場合に本調査を行う。

(2) 本調査

- ① 土質調査の調査孔を用いて、採気法「調査法（A）」と採水法「調査法（B）」を併用してメタンガスの調査を行う。
- ② 土質調査の調査孔が@200m以上の場合には、調査孔の midpoint で①と同様の調査を行い、標準調査間隔を@100mとする。
- ③ 標準調査間隔で、メタンガスが検出される調査点と検出されない調査点がある場合、あるいは近接する調査孔で発生状態が異なる場合には、調査間隔@50m程度の追加調査を行う。

(3) 調査深度

調査の対象深さは、図-6に示すように、計画トンネル（外径=D）を中心にして、計画トンネルの上部へD、下部へDの3Dの範囲内を標準とする。

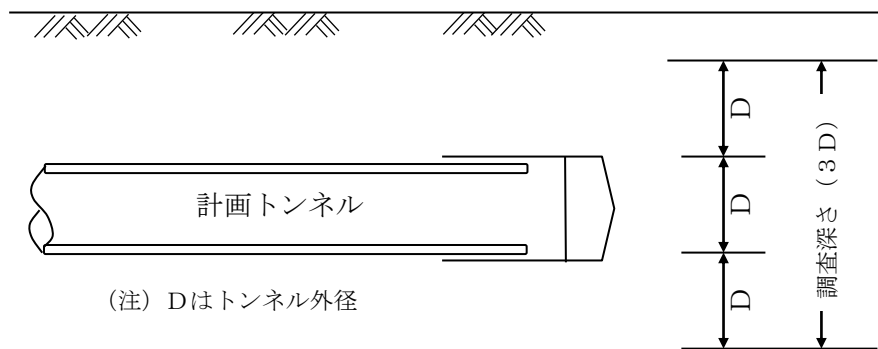


図-6 調査の深さ

§ 3. メタンガスの性質

第3条 管理基準濃度

事前調査等により、掘進地山並びにこの近傍の地山に、管理基準濃度以上のメタンガスが検出された場合に、本基準の第4条から第10条を通用する。

(解説)

メタンガスの爆発下限界は、次の「1. メタンガスの基本的な性質」に示すように、「気中濃度約5%」である。一方、労働安全衛生規則389条の8では、「可燃性ガスの爆発下限濃度の30%以上(1.5%)」を坑内労働者の安全確保の観点から法制上の坑内危険濃度としている。

本基準はこれらの値にしたがい、防爆計画の管理基準値(管理基準濃度)を次のとおりとした。

- 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

しかし、メタンガスの検出濃度には、調査及び試験の誤差、調査と実際の違い、あるいはガスの発生状態の違い等から、かなりのバラツキがある。また、地山のメタンガスがどの程度坑内へ流入するのかも、個々の条件により大きく異なる。

このため、管理基準濃度（Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ）の取扱いについては、総合的な見地から検討するものとし、表-4（第4条）に実務上の適用区分を示す。

1. メタンガスの基本的な性質

- (1) 無色、無臭、無毒のガスで、比重は空気比 0.555 と軽い。
- (2) 水溶性に富み、溶解度は圧力に比例する。
- (3) 爆発範囲は、空気中の濃度が約 5%～15%で火源があると爆発し、濃度約 9.5%で最大の爆発力となる。
- (4) 濃度 5%以下もしくは 15%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。可燃性ガスの一般的な特性を表-2に示す。

表-2 可燃性ガスの特性

可燃性ガス		メタン	エタン	プロパン	ブタン	アセチレン
		CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	C ₂ H ₂
分子量		16.0	30.1	44.1	58.1	26.0
単位体積質量 kg/m ³ 〔0℃ 101.3kPa(760mmHg)〕		0.716	1.356	2.020	2.453	1.170
対空気比重		0.555	1.049	1.560	2.090	0.909
爆発限界 濃度 Vol%	下 限 界	5.0	3.0	2.1	1.8	2.5
	上 限 界	15.0	12.4	9.5	8.4	81.0
	理論混合比	9.47	5.64	4.02	3.12	
発熱火炎温度 ℃		1,963	1,971	1,977	1,982	
発火温度 ℃		632	472	504	430	305
高発熱量 kcal/Nm ³		9,520	16,850	24,160		13,832

2. メタンガスの発生状態

(1) 浸 出 (Exudation)

ガスが掘削面から一様に湧出する状態をいい、もっとも一般的な現象である。通常は、経時とともに湧出量は減少する。泄出ともいう。

(2) 噴 出 (Blower)

地中の空洞や断層等の多量にガスが蓄積されている箇所を、ボーリング等で穿孔すると、蓄積されているガスは局部的かつ継続的に湧出する。このような現象を噴出という。

(3) 突 出 (Out Blast)

わずかの徴候のあと、突然、多量の高圧ガスが岩盤を押し出して、破碎して出てくる状態をいう。大阪平野の岩盤層は、深度 650m 程度（大阪地盤図）となるため、実務的には縁のない現象である。

3. 高濃度ガスの留意点

「メタンガスは、爆発範囲を超える濃度では燃焼し、さらに濃度が増すと酸素が不足して燃焼もしない」とされているが、現在の防爆対策は、換気・希釈を基本的な対策としているため、高濃度ガスは危険濃度として扱うのが妥当である。

大阪平野における地中のメタンガスも、50%を超え 100%近い溶存濃度を検出することも珍しくないが、換気によって坑内のメタンガスが爆発範囲の濃度に希釈される状態が想定される。このため、管理基準濃度の下限値のみを定め、管理基準値よりも高濃度の場合は、危険側として扱うこととした。

一方、「1. (2)」で述べたように、メタンガスの溶解度は、ほぼ水圧に比例するため、埋設深度の深いトンネルほど、防爆対策は慎重を期する必要がある。

4. 燃焼と爆発

燃焼とは、「物質が酸化反応により火炎を伴う現象で、火炎の伝播速度が音波速度よりも遅い場合」をいう。一方、「火炎の伝播速度が音波速度を超えると、火炎面の直前に衝撃波を生じ反応速度が著しく速くなる」、この現象を爆発という。爆発の燃焼速度を爆速、爆発時に生じる圧力を爆圧といい、メタンガスの爆圧は 700kN/m^2 (70tf/m^2) 前後とされている。

ちなみに、“なにわ大放水路”のトンネル設計は、全土被り重量を採用しているが、その設計土圧は 500kN/m^2 (50tf/m^2) 強にすぎない。セグメントリングが内圧に対して、ほとんど耐力を有しない点を併せ考えると、坑内爆発で覆工が破壊されるのは当然の現象といえる。また、土被りの小さいトンネルでは、坑内爆発の影響が地上にまで及ぶ懸念もある。

燃焼や爆発を起こすには、「物質、酸素、火源」の3条件が必要であるが、このうち坑内の酸素濃度は、酸素欠乏症等防止規則第5条（換気）で下限値 18%（通常、20.93%）を順守すべく定められているため、防爆対策の基本は、物質にあたるメタンガスを爆発範囲以下に希釈、あるいは事前のガス抜き等により除去するか、火源となる電源やスイッチ類を防爆構造とすることになる。

5. 坑内爆発の被害

坑内でガス爆発が起きると、爆発の高熱で急膨張した空気は衝撃波となる。シールド工事では、一方が切羽で閉塞状態となっているため、衝撃波は立坑方向に伝播する。トンネルの爆発事故で、覆工等が破壊されるのは、これらの衝撃波が主原因とされているが、その他にも次の

ような被害が生じる。

- ① 戻り … 衝撃波の後方・切羽側が真空状態となるため、衝撃波が衰えた後に、“戻り”と称される逆方向の圧力波が生じ、覆工等を破壊させる。
- ② 爆炎 … 火炎温度 2,000℃前後の爆炎により、坑内火炎、人身事故が生じる。
- ③ 跡ガス … 坑内のガス爆発では、酸素量が不足するため、メタンガスは不完全燃焼を起し、一酸化炭素、水素、水蒸気を生じる。この爆発後に発生するガスを跡ガスといい、坑内労災の主原因となる。表-3に跡ガスの成分を示す。

表-3 跡ガスの成分

原ガス (%)			跡ガス (%)					
CH ₄	CH ₄ 以外の可燃性ガス	O ₂	CO ₂	O ₂	CO	H ₂	CH ₄	N ₂
7.0	0.14	19.10	6.61	5.84	0.14	0.06	0.08	87.28
10.0	0.21	18.46	7.59	0.68	0.68	0.48	0.06	90.68
12.1	0.25	17.98	5.80	0.27	4.38	3.37	0.15	86.03

§ 4. 防爆対策の概要

第4条 防爆対策の基本

事前調査等で、掘進断面またはこの近傍の地山に、メタンガスが検出された場合、「第3条、管理基準濃度」に基づいて必要な措置を講じること。

(解説)

事前調査等で、掘進断面またはこの近傍の地山に、メタンガスが検出された場合、原則的には、トンネル路線の見直しや埋設探さの変更を検討し、これらにより難しい場合に、防爆対策を検討するのが妥当である。

防爆対策の検討は、「第3条、管理基準濃度」に基づいて、次の対策を適宜組合わせ立案・実施する。

1. 防爆対策の概要

(1) 工法選定

シールド工法では、泥水式と泥土圧式の比較、ズリ出し方法、裏込め注入法、テールシールドの構造、セグメント継手等の止水法について、総合的な観点から比較検討を行う必要がある。

(「第5条、工法の検討」を参照)

(2) 地山のガス抜き

地山のガス抜きとは、地山のガスをボーリング等で人工的に抜取ること、坑内から施工する場合と坑外・地上から行う場合がある。ここでいうガス抜きとは、広義のそれで、薬液注入工法やデイープウェル工法等の地下水位低下工法が採用される。

薬液注入工法は、土の隙間に注入材を充填して、掘進断面とこの近傍の地山からガスを強制的に排除する方法で、地下水位低下工法は、同位置から地下水とともにガスを強制的に排除する方法である。

地山のガス抜きは、ガスの発生源を処置する根本的な対策となり、本市建設局の施工実績（全断面注入）でも成果を挙げているが、工費が高くなることや地盤沈下等の弊害が避けられないため、シールド工法や機械推進工法では、局部的な対策に制限すべきである。

(3) 坑内の換気計画

通常、坑内換気量は、最大入坑人員に 1 人当りの呼気量に乗じて求めるが、メタンガスが検出された場合には、坑内のメタンガスを安全な濃度に希釈するため、呼気量から求めた換気設備を増強する。

換気の方法には、送気式、排気式、送排気併用方式があるが、メタンガスが検出された場合には、原則として送排気併用方式を基本仕様として換気計画を立てる。

なお、換気はメタンガスの坑内滞留を防ぐ目的を併せもつが、坑内滞留は、セグメントの形状に大きく影響される。

図-7に示すように、「RCセグメント（平板形）→RCセグメント（中子形）→鋼製セグメント」の順にセグメント内面の凹凸が大きくなりトンネル上半部にガスが滞留する。推進工事の鉄筋コンクリート管は、これらより坑内滞留は少ない。（「第7条、換気計画」を参照）

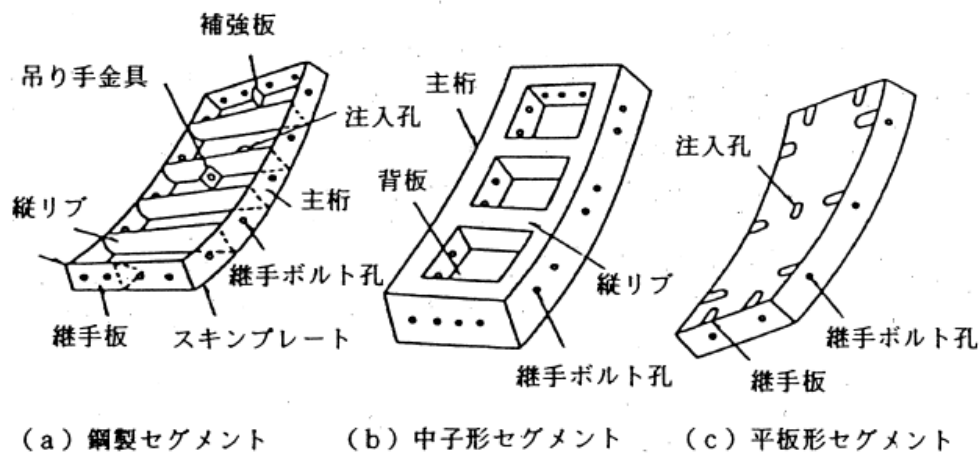


図-7 セグメントの分類

(4) メタンガスの検知

メタンガスの検知とは、坑内のガスの濃度や滞留箇所を測定することで、防爆対策の基本的な事項となる。検知法は、固定計器で計測する定置式と、検定員が行う携帯式に分れる。

通常、一定間隔に設置された検知器で、坑内のガス濃度を自動的に検知し、検知値を中央監視室へ伝送して集中管理を行う。しかし、自動検知では、セグメントの凹部やシールド機後方設備等の滞留ガスの検知が困難であるため、手動検知器で滞留ガスの検知を行う

必要がある。前者を定置式、後者を携帯式と称し、原則的にはこれを併用する。（「第 8 条、検知計画」を参照）

(5) 防爆設備

シールド機ならびに坑内設備の発火源を抑えるために、スイッチ類や照明類を防爆構造とするもので、シールド機の製作後または製作中の仕様変更が生じないように、シールド機の仕様検討の段階でこれらの対策を確定しておく必要がある。（「第 9 条、防爆設備」を参照）

2. 管理基準濃度の適用

管理基準濃度による標準的な実施内容を、表－4 に要約する。

表－4 管理基準濃度の適用

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 ③：CH 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 ③：CH 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・実施		0.5%未満は原則的に除外

3. 刃口推進工事

刃口推進工事は切羽が開放状態であるため、地山のメタンガスが切羽から坑内へ容易に入り込む。このため、刃口推進工法では、切羽保持の補助工法との見合いで地山のガス抜きを行い、かつ、管理基準濃度（Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ）に基づき、必要な措置を講じるものとする。

地山のガス抜き工事は、「効果検討→試験工事（効果確認）→地山ガス抜き工（効果確認）」を実施し、かつ、推進工事中もメタンガスの濃度変化等を追跡調査しなくてはならない。

なお、効果検討とは工学的な机上検討を、効果確認とは現位置試験を各々指す。また、試験工事とは、試験注入や揚水試験のことである。

§ 5. トンネル工法の適性

第5条 工法の検討

掘進地山並びにこの近傍の地山に、メタンガスが存在する場合、シールド工法は次の仕様を標準とする。

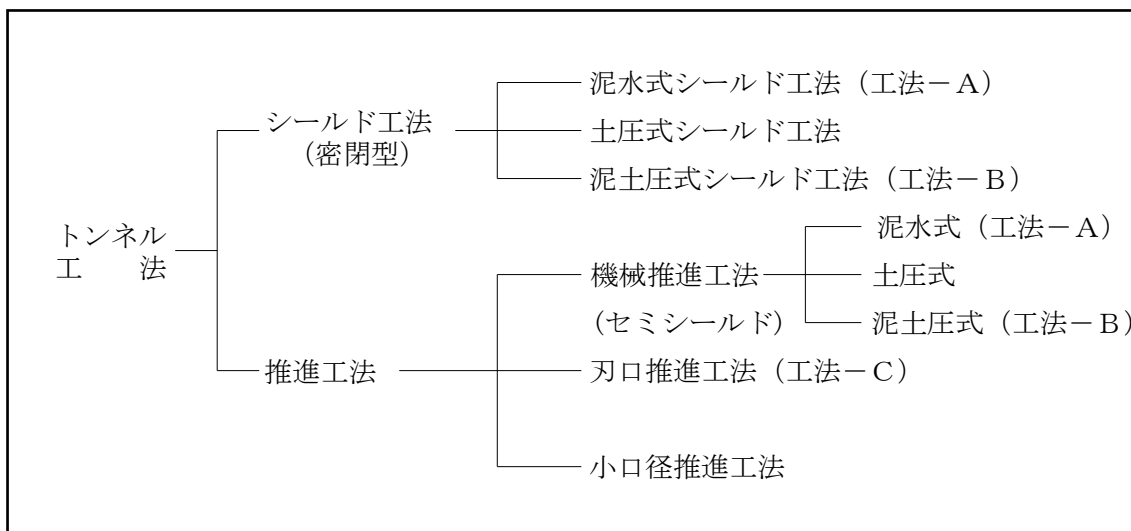
- (1) ズリ出しは、パイプ圧送方式とする。
- (2) テールシールドは、多段式・自動給脂方式とする。
- (3) 裏込め注入は、同時注入方式または即時注入方式とする。

(解説)

1. 工法の分類

本市建設局で採用する、一般的なトンネル工法を表-5のとおり要約し、代表的な工法の概要を図-8・9・10に示す。

表-5 工法の分類



注：工法-A・B・Cは、表-7で比較検討

図-8 泥水式シールド工法

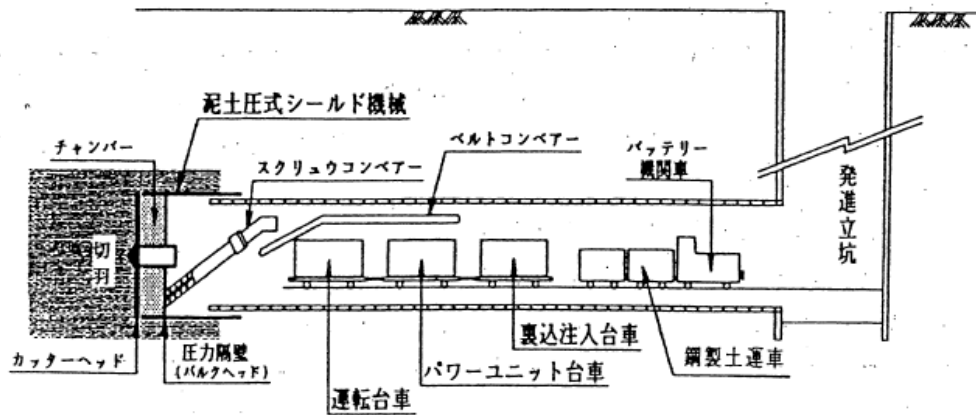


図-9 泥土圧式シールド工法

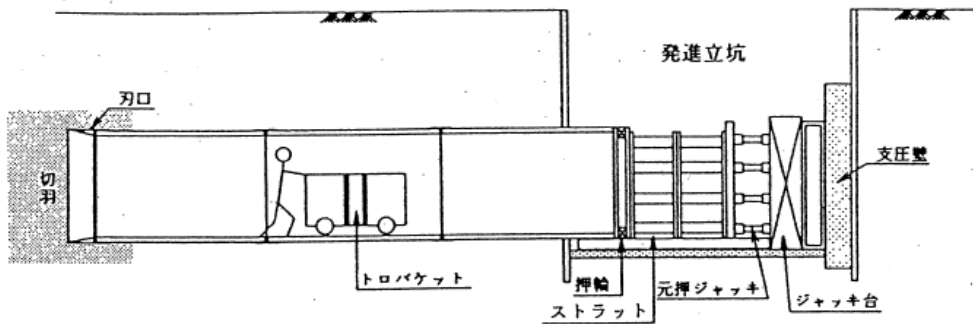


図-10 刃口推進工法

2. 坑内のガス発生源

(1) ブリ出し時の発散

本市建設局の標準仕様である土圧式シールド工法のブリ（掘削土）搬出方法は、軌道方式（図-11）とパイプ圧送方式（図-12）に大別される。

軌道方式は、ブリを鋼製土運車に露出して積載・搬出するため、ブリに含まれるメタンガス等が坑内に発散される。パイプ圧送方式は、土砂フィーダー、中継ポンプを密閉型にすると、ブリを半流動体でパイプ輸送するため、伸縮管の盛替え時に少量のブリが坑内に露出される程度となる。



図-11 軌道方式

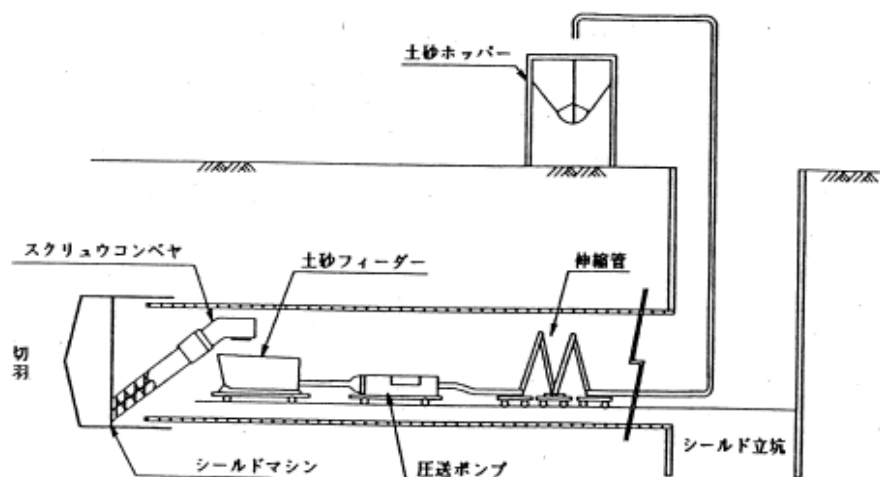


図-12 パイプ圧送方式

通常、土圧式シールド工法は軌道方式を、泥土圧式シールド工法は、軌道方式またはパイプ圧送方式を、施工条件により採用しているが、メタンガス等が存在する地山では、パイプ圧送方式を標準仕様とするのが妥当である。しかし、均等係数の小さい砂礫地盤では圧送の適否を検討する必要がある。

泥水式シールド工法は、すべてパイプ圧送方式としているため、伸縮管の盛替え時と中継ポンプからの漏出が懸念される程度である。

(2) テール部の漏出

密閉型シールドは、圧力隔壁（バルクヘッド）で地山圧力を遮断しているため、基本的には気密構造となっている。しかし、テール部はテールクリアランスの範囲内で、セグメントリングが可動状態にあるため、水密性・気密性が劣り、ここからの漏水・漏気は避けられない。このため、メタンガス等が存在する地山では、テール部からの漏水等に伴い水溶性または気化ガスが坑内に漏出する。

テール部からの漏出を抑制するには、テールグリスの給脂頻度を密にする等、テールシールの維持管理を適切に行うことが必須条件となるが、長距離・大深度トンネルでは、テールシールを多段式（3段程度）とし、かつ、自動給脂方式を採用する必要がある。

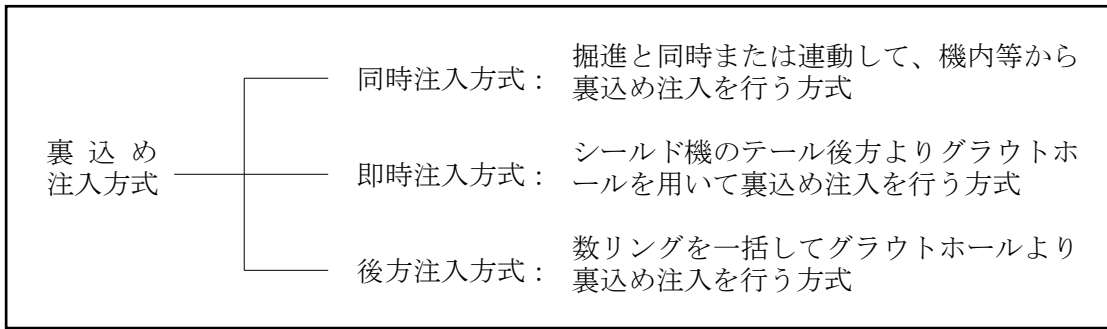
(3) 一次覆工からの漏出

一次覆工を終えた坑内のセグメント継手やグラウトホールからの漏水を無くすることは困難である。このため、漏水に伴い地山の水溶性ガスが坑内に流入する。また、掘進地山に遊離ガスが介在する場合には、透気係数（透水係数の100倍程度）とのかかわりでメタンガスが容易に坑内へ流入する。

一次覆工からの漏出は、テールボイドの裏込め注入方法の適否と、セグメントリングのシール性に支配されるが、施工時の漏水は、より前者に支配される。

裏込め注入の方法は、注入時期の違いにより表-6のように区分されるが、テールボイドを放置しない同時注入方式が最適となる。

表-6 シールド工法の裏込め注入方式



セグメントリングのシール性は、水膨潤シール材を採用することで、ほぼ確保できるが、必要によりセグメントコーキング工、ボルト孔の止水工、あるいは逆止弁付きグラウトホールを採用する。

3. 工法の適性

泥水式シールド工法は、切羽の全面に泥膜を造成して掘進するため、一種のガス抜き効果が期待でき、メタンガスへの適性は高いとされている。泥土圧式シールド工法もこれに近い効果が生じると推定される。しかし、泥膜造成の実体が不確かなため、通常は、これらの工法を採用しても、他の措置・対策を実施している。

一方、ズリの搬出については、軌道方式よりもパイプ圧送方式が坑内発散が少ないため、泥水式シールド工法またはパイプ圧送方式を用いた泥土圧式シールド工法の適性が高い。これらを表-7に要約する。

表-7 工法別の適性

	概要	切羽	テール部	ズリ搬出	坑内
(工法-A) 泥水式シールド工法	地上のプラントとチャンバーを、2系統の管路で連結し泥水を循環 切羽は、切羽土圧よりも高い泥水圧で保持 ズリは、パイプ圧送の流体輸送	泥膜造成過程のガス抜き効果は期待できるが、通常はこれを加味しない	工法によるテールシールの特徴はない 多段式あるいは自動給脂が有効	パイプ圧送による流体輸送を行うため、坑内への発散はほぼ回避できる	工法による特徴はなし 同時注入方式、水膨潤シール材が有効
(工法-B) 泥土圧式シールド工法	掘進と並行して添加材を切羽に注泥し、ズリを半流動体とする 切羽は、切羽土圧よりも高いチャンバー圧で保持 ズリは、軌道方式またはパイプ圧送方式を選択	添加材のガス抜き効果は皆無ではないが、通常はこれを加味しない	工法-Aに同じ	軌道方式では、坑内発散の懸念あり パイプ圧送方式では工法-Aと同じ効果が可能	工法-Aに同じ

(工法-C) 刃口推進工法	鉄筋コンクリート管推進と切羽掘削を繰り返す管渠布設法 地山が開放されるため、通常、補助工を併用	切羽のガスは坑内流出するが、補助工で抑制可能 断気時、揚水停止時の、管接合部からのガス漏出が懸念	牽引方式、軌道方式では坑内発散の懸念あり	管接合部の漏水・漏気の懸念あり
------------------	--	---	----------------------	-----------------

§ 6. 防爆対策計画

<p>第6条 危険範囲の区分</p> <p>坑内の危険場所の区分は、原則として防爆エアーカーテン装置により行う。</p> <p>(1) 防爆エアーカーテン装置から切羽側を危険場所とし、危険場所内の設備は防爆仕様とする。</p> <p>(2) 防爆エアーカーテン装置から坑口側は非危険場所とし、非危険場所内の設備は、原則として非常用設備を防爆仕様とする。</p> <p>ただし、防爆エアーカーテン装置による危険範囲の区分が困難な場合等は、別途に検討する。</p>
--

(解 説)

エアーカーテンは、もともとエアコンの熱源保持のために、室内外の空気を遮断する目的で用いられていたものを、近年、トンネル工事に応用したものである。

シールド工事では、シールド機後方の適当な位置に防爆エアーカーテン（循環ファン）を設置し、循環ファンの吹き出すトンネル断面方向の空気層（粘性空気流）で側風に耐向させ、この空気層・エアーカーテンのコアンダ効果で坑内の空気を二分する。通常、防爆エアーカーテンから切羽側は危険場所として防爆仕様とするが、防爆エアーカーテンから坑口側は非危険場所として扱い、非常用の坑内電話、照明、警報ベルとその電源のみを防爆仕様とする。

本基準では、密閉型シールドを前提に、検知・警報を適切に行うことにより、防爆エアーカーテン方式で所期の目的を確保できるものと判断し、経済性も考慮して防爆エアーカーテン方式を標準とした。

しかし、防爆エアーカーテン方式の施工実績は乏しく、不確定要素があるため、この方式では防爆効果が確保されないと判断される場合等に、全面防爆を前提にした検討の余地を残した。また、セグメント内径2m以下の小口径トンネルでは、換気方法とその効果等についての詳細検討が必要である。防爆エアーカーテン方式は、次を標準に図-13のとおり設置する。

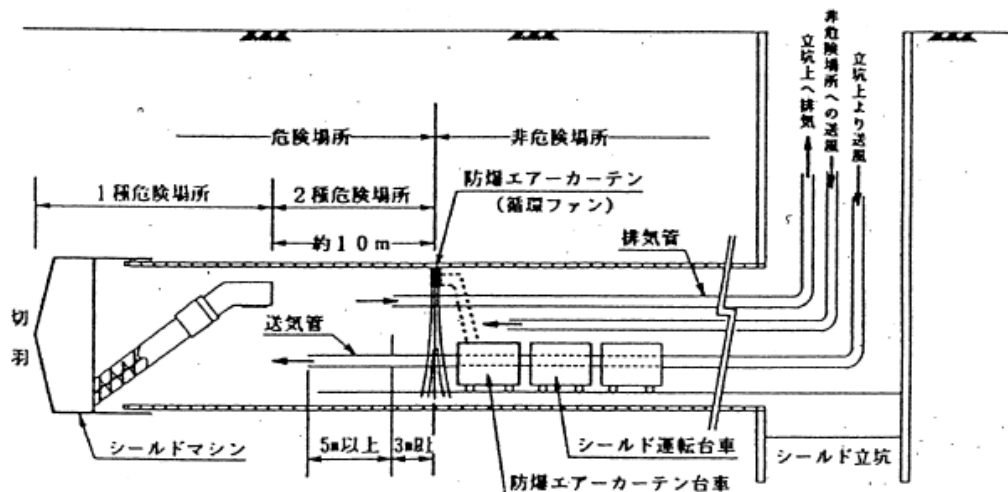


図-13 防爆エアーカーテン方式の概要

(1) 危険場所の区分

防爆エアーカーテン方式では、防爆エアーカーテンを境界に危険場所と非危険場所に区分し、危険場所をさらに1・2種場所に分けるが、シールド工事に関する、危険場所の分類等については特に定めがないため、「工場電気設備防爆指針」（労働省産業安全研究所）を準用するものとし、その要旨を表-8に示す。

表-8 危険場所の分類

危険区分	状態	トンネルにおける例
0種場所	危険雰囲気、通常の状態に連続、または長時間連続して存在する場所	メタンガスが吹き出している場所
1種場所	通常の状態において、危険雰囲気を生成する恐れのある場所	メタンガスが停滞し、危険な濃度となる恐れのある場所
2種場所	異常な状態において、危険雰囲気を生成する恐れのある場所	換気装置が故障し、ガス滞留により危険な濃度となる恐れのある場所

(2) 坑内換気の方法

防爆エアーカーテン方式の坑内換気は、排気方式を前提にしているが、その排気効果は、通常、排気風管の吸込口から風管内径の2倍程度の範囲内とされている。このため、危険場所からエアーカーテンを経て地上まで排気し、地上から危険場所に向けて送気する送排気併用方式を原則とする。（「第7条・換気計画」を参照）

(3) 防爆エアーカーテンの位置

危険場所の空積を一定量範囲にしないと、危険場所の汚染空気が攪拌されない懸念があることや、シールド運転室を危険場所内に配置すると、シールド運転機器が防爆仕様となり複雑になること等を考慮し、防爆エアーカーテンの設置位置は、次を標準として計画する。

- ① シールド後方台車の前方・切羽側を原則とする。
- ② シールド機の後端から10m以上離れた位置で、シールド運転に支障のない位置とする。
- ③ 循環ファンと排気管の先端が近すぎると、危険場所の汚染空気が車風状態となり換気効

果が損なわれる。このため両者には3m以上の離隔をとる。

④ 排気管の先端と送気管の先端が近すぎると、危険場所の汚染空気が攪拌されないため、両者には5m以上の離隔をとる。

⑤ 送気管の影響範囲は、通常、風管内径の5倍程度とされている。このため、送気管の先端は、できるだけ圧力隔壁（刃口推進では切羽）の近くまで伸ばすこと。

なお、長尺スクリーコンベアを装着する場合には、前項を加味して循環ファンの設置位置等を検討する。

2. 坑内の換気計画

第7条 換気計画

坑内の換気方法は、送排気併用方式を標準とし、メタンガスを安全な濃度に希釈すること。

(解説)

図-13に示すように、防爆エアーカーテン方式では、危険場所の汚染空気を排気方式で地上まで排気し、排気量に相当する空気量を送気方式で補充しているため、換気は送排気併用方式が前提となる。

坑内換気は、メタンガスを安全な濃度に希釈・拡散できるだけの換気量が必要であるが、必要換気量を算定するには、メタンガスの坑内への漏出量や、安全な希釈濃度等を定めなくてはならない。しかし、密閉型シールドに関する、これらの取扱い方法が一般化されていないため、ここでは標準の値を示すにとどめ、実施計画の策定に際しては、総合的に検討するものとした。

(1) 入坑者の呼気量

入坑者の呼気量は、通常、 $3\text{ m}^3/\text{分}/\text{人}$ としているが、メタンガスが存在する地山では $10\text{ m}^3/\text{分}/\text{人}$ ($50\text{ m}^3/\text{分以上}$) とする。

(2) 坑内への漏出量

地山のメタンガスが、どの程度坑内へ漏出するかは、換気計画を立案するうえで重要な課題である。一般的には、全面開放状態の切羽を想定し、地山のメタンガスが全量坑内へ漏出すると仮定する場合が多い。しかし、密閉型シールドでは、その漏出箇所が特定できること等から、本基準では、メタンガスの発生状態により使い分けるものとする。

ただし、刃口推進工事には原則として100%を適用する。

- ① 浸出がほとんど推測される場合 … 切羽の溶存量の50%
- ② 噴出が予測される場合 … 切羽の溶存量の100%
- ③ 特別な事由がある場合等 … 切羽の溶存量の100%

坑内への漏出量とこれに見合う必要換気量の算定は、これらの値を用いて、一般に認知さ

れている手法で行う。

(3) 希釈濃度と坑内風速

メタンガスの法令上の坑内濃度は、「第3条」のとおり1.5%であるが、換気計画では、これ以下に希釈目標濃度（ α ）を設定する必要がある。また、希釈濃度は坑内風速（ V ）と密接な関係がある。

一般的には、 $\alpha = 0.25\% \sim 0.50\%$ 、 $V = 0.2\text{m/S} \sim 1.0\text{m/S}$ としているが、本基準では、希釈濃度は「第10条、安全計画」との見合いで、坑内風速は危険場所の違いにより、次のとおり取扱うこととした。

- ① 坑内の希釈濃度 … $\alpha = 0.25\%$
- ② 坑内風速（非危険場所） … $V = 0.2\text{m/S} \sim 0.3\text{m/S}$
- ③ 坑内風速（危険場所） … $V = 1.0\text{m/S}$

坑内風速については諸説あるが、通常、メタンレアー（メタン層）の分散・消滅は、風速 $0.7\text{m/S} \sim 1.0\text{m/S}$ で顕著になるとされているので、危険場所に限り坑内風速 $V = 1.0\text{m/S}$ を確保するものとした。

なお、換気運転は、特別な事由がない限り停止してはならない。

3. ガスの検知計画

第8条 ガスの検知計画

坑内のメタンガスの検知は次による。

- (1) 定置式と携帯式の併用を標準とする。
- (2) 原則として集中管理方式を採用すること。
- (3) 検知等の管理は専任の者が行うこと。

(解 説)

坑内のガス検知は、定置式で「検知→記録→警報」を一貫して行う集中管理方式が前提となるが、後方台車設備付近や、トンネル上半部のセグメント凹部に滞留するメタンガスは、定置式では検知できないことが多い。このため、これらの坑内滞留箇所は、携帯式（手動検知）で補完しなくてはならない。

本基準では、図-14、表-9のとおり定置式と携帯式の併用を原則とし、メタンガスの検知・管理は、専任者を充てることとした。また、携帯式検知は、常時、複数者で行うことを原則とする。

なお、坑内の火気作業は原則的に禁止し、やむを得ず火気作業を行う場合には、専任者の立会いのもとで、作業前と作業中の検知及び管理を行う必要がある。

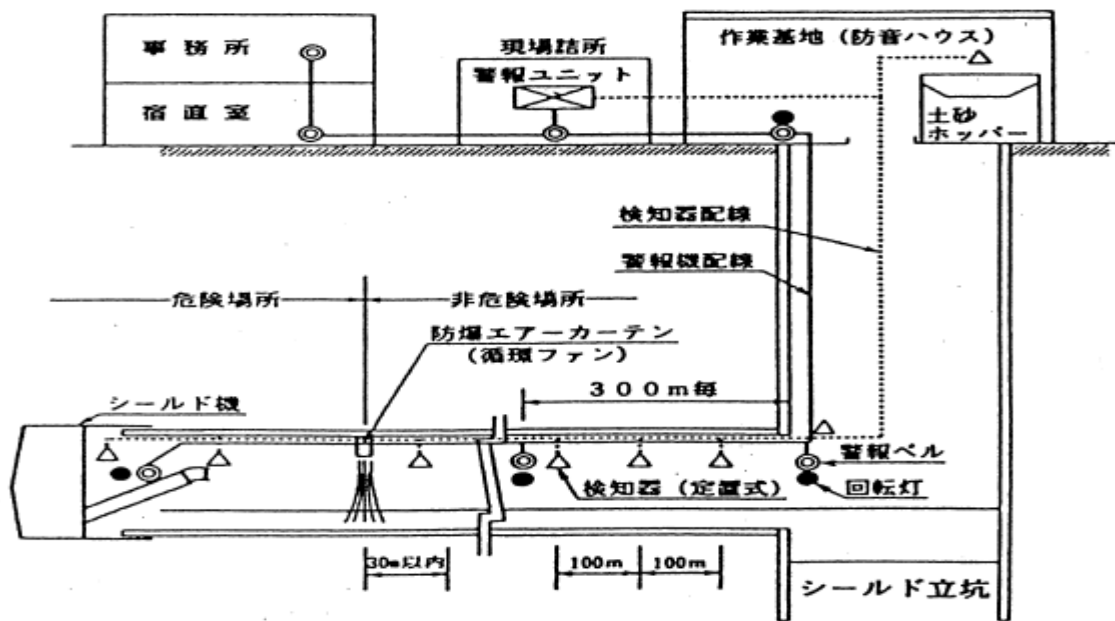


図-14 検知・警報計画図 (土圧式シールド)

表-9 メタンガスの測定箇所

測定法	測定箇所	測定頻度	備考
定置式	①：テール部及び排土部 ②：一般坑内@100m ③：その他必要箇所	連続検知を行い、警報、記録を合わせて行う	原則として、立坑下部、地上プラントにも設置
携帯式	①：定置式の間中部 ②：後方台車部 ③：セグメント凹部等	作業開始前及びその他、所定の記録紙に記録	原則として、漏水箇所は定期的実施

注：記録の保存は3箇年とする。(労働安全規則第603条2)

4. 防爆設備

第9条 防爆設備

防爆設備は、防爆対策の目的を確保できる機能、耐圧性、耐久性を有すること。

(解説)

防爆対策の基本は、メタンガス等の爆発・燃焼物質の排除(ガス抜き)あるいは希釈(換気)と、火源となるエレクトラスイッチ等を防爆構造にすることにある。

(1) 防爆仕様の検討

防爆構造の種類を表-10に、防爆仕様の実施例を表-11に各々示すが、実施に際しては、メタンガス等の濃度、シールド機の基本仕様(電気・油圧駆動の別等)、トンネル規模等を総合的に検討しなくてはならない。

表-10 防爆構造の種類

種類	構造の概要
耐圧防爆構造	全閉塞構造で、機器ないで爆発が生じても容器が爆圧に耐え、かつ、外部の爆発性ガスに引火しない構造
油入防爆構造	電気機器の火花・アークの発生部分を油中に納め、爆発性ガスに引火する恐れのない構造
内圧防爆構造	機器内に空気等の保護気体を圧入して、爆発性ガスの侵入を防ぐようにした構造
安全増防爆構造	運転中に火花、アーク、過熱を生じやすい部分を、構造的に特に安全度を増した構造
本質安全防爆構造	運転中あるいは短絡等の事故時に発生する火花、アーク、熱により引火しないことが試験により確認された構造
特殊防爆構造	前5項以外で、爆発性ガスへの引火を防止できることが、試験等によって確認された構造

表-11 防爆仕様の実施例

シールド工事に必要な防爆設備			対策例				
設備種別	危険度	設備機器名	防爆構造				
			本質安全	耐圧	内圧	油入	安全増
シールド機	1種危険場所	電気制御機器 ジャッキ速度検出器 照明器具 CH ₄ 、O ₂ 濃度検出器 警報器	○	○			
第1後続設備		エレクター操作盤 ベルトコンベヤ ホイスト ウインチ プロペラファン 排水用水中ポンプ 裏注用圧力電送器 〃 電磁流量検出器 〃 モルタルポンプ車 シールド用ポンプユニット	○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○			○
第2後続設備	2種危険場所	自動裏込注入装置 主配電設備 変圧器 通信設備（常用） 〃 （非常用） ベビーコンプレッサー バッテリー機関車 照明器具	○	○ ○ ○			○ ○ ○ ○ ○ ○ ○

(2) 非常用設備

防爆エアーカーテンから立坑側の一般坑内は、非危険場所として扱うため、一般坑内設備は非防爆仕様とするが、非常時の通報・避難・警報設備は、防爆仕様で別系統電源とする。

非常用の設備は、本市建設局「下水道施設工事共通仕様書」に準拠して、次の設置間隔を標準とし、これに付帯する設備も防爆仕様とする。

- ① 坑内電話 … 防爆仕様で@300m間隔、別系統電源
- ② 非常灯 … 防爆仕様で@ 50m間隔、別系統電源
- ③ 警報ベル … 防爆仕様で@300m間隔、別系統電源

なお、非常用設備のケーブル類は、原則として不燃性材質とする。

5. 安全計画

第10条 安全計画

工事施行にさきだち、警報・避難計画、安全教育、防爆施設の維持管理方法等について計画すること。

(解説)

事前調査等により、掘進地山にメタンガス等の可燃性ガスの存在が確認された場合には、通常の工事施工計画書とは別に、「可燃性ガス防災対策計画書」を作成し、当該事故の防止に努めなくてはならない。

(1) 火源対策

未燃焼状態から燃焼状態に移る現象を発火現象といい、発火現象を引き起こす口火を発火源という。発火源の種類としては、摩擦熱、電気火花、静電気、高温表面と裸火がある。また、自然発火には、断熱圧縮や自然発熱等がある。

坑内爆発を防ぐには、これらについても対処しなくてはならないが、主なものを列挙すると次のとおりである。

- ① 裸火…たばこ、マッチ、ライター、懐炉、コンロ、ストーブ、非防爆懐中電灯、ヘッドランプ、カメラのフラッシュ等が挙げられる。入坑者には、これらの坑内への持込みを禁止・徹底しなくてはならない。
- ② 火花…資材の摩擦・衝突から生じる火花は発火源となる。ピックハンマーの衝撃や、鋼車の車輪とレールの摩擦等が代表的な事例である。これらについても、散水、脱輪防止等の措置が必要である。
- ③ 静電気…静電気も発火源となるため、換気用風管の材質選定等が必要となる。これらの対策とともに、坑内火気作業時の順守事項等について計画する。

(2) 作業規制基準

坑内のメタンガス濃度を測定し、表-11に基づいて作業規制等を行うものとする。

表-11 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%以下の場合には規制-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	

(3) 緊急時の連絡体制等

緊急時の連絡体制、広報体制、救護方法等については、「大阪市道路工事調整協議会・保安部会」の規定に準拠するものとする。

なお、緊急時に入坑者が確認できない場合があるので、入出坑者の明示を日頃から徹底する。

(4) 安全教育・訓練

一般労働者災害の防止と合わせて、坑内爆発の防止と緊急時の連絡体制・救護方法等について、定期的に教育・訓練を行う。

(5) その他

防爆対策に関する施設の、日常点検、定期性能検査等の維持管理方法、故障時の対策等について計画する。

§ 7. 参考資料

1. 施工実績（シールド工事の防爆対策）

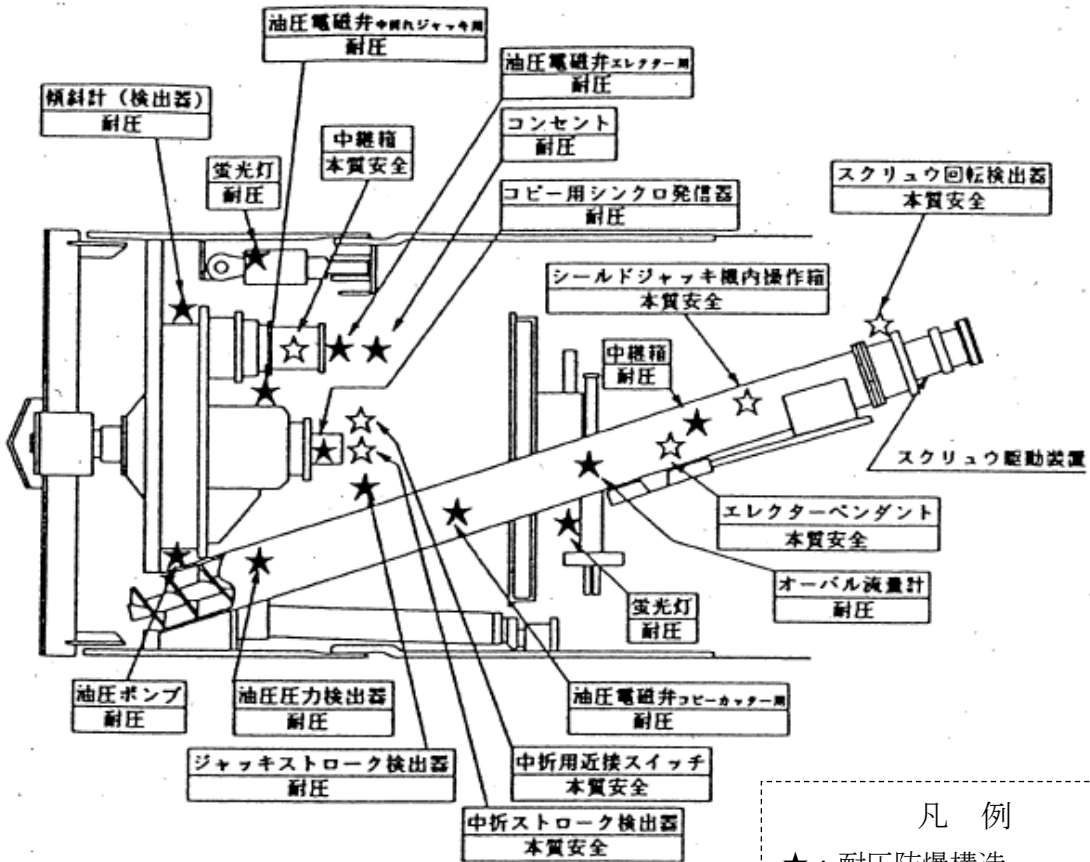
	工事名称 工事場所	施工 年度	工 事 概 要 トンネル工法	土 質 土被り	可燃性ガス対策 (防 爆 対 策)
1	喜連～湯里 幹線（1） 平野区	S50. 3 ～ S53. 8	D=2200 mm、L=854m ST セグメント、t=183 mm 開放手掘り式シールド	砂 シルト 粘 土 4m～6m	①：全断面注入 ②：通常換気 ③：検知(定置式・携帯式) ④：電気機器防爆
2	喜連～湯里 幹線（3） 平野区	S52.12 ～ S54.10	D=1500 mm、L=461m ST セグメント、t=93 mm 土圧式シールド	砂 シルト 粘 土 4m	①：全断面注入 ②：通常換気 ③：検知(定置式・携帯式) ④：電気機器防爆
3	長吉～出戸 六反幹線 （1） 平野区	S53. 9 ～ S54.12	D=2500 mm、L=344m ST セグメント、t=125 mm 開放手掘り式シールド	砂 シルト 粘 土 5m～6m	①：全断面注入 ②：通常換気 ③：検知(定置式・携帯式) ④：電気機器防爆
4	長吉～出戸 六反幹線 （3） 平野区	S53. 9 ～ S55. 7	D=1650・2000 mm L=695m ST セグメント、t=100 mm 開放手掘り式シールド	砂 シルト 粘 土 4m～5m	①：全断面注入 ②：通常換気 ③：検知(定置式) ④：電気機器防爆
5	長吉出戸 地区（1） 平野区	S53. 9 ～ S55. 4	D=1500 mm、L=421m ST セグメント、t=100 mm 開放手掘り式シールド	砂 シルト 粘 土 4m～6m	①：全断面注入 ②：通常換気 ③：検知(定置式) ④：電気機器防爆
6	長吉長原東 地区（1） 平野区	S53. 9 ～ S55. 6	D=2400 mm、L=581m ST セグメント、t=125 mm 開放手掘り式シールド	砂 シルト 粘 土 4m～5m	①：全断面注入 ②：通常換気 ③：検知(定置式・携帯式) ④：電気機器防爆
7	西野田～恩 貴島送水管 此花区	S58. 1 ～ S60. 4	D=1500 mm、L=1,105m ST セグメント、t=125 mm 土圧式シールド	砂 シルト 粘 土 10m	①：全断面注入 ②：通常換気 ③：検知(定置式・携帯式) ④：電気機器防爆
8	三軒屋～千 島第2幹線 大正区	S58.10 ～ S61. 3	D=3750 mm、L=945m ST セグメント、t=150 mm 土圧式シールド	砂 シルト 5m～9m	①：全断面注入 ②：通常換気 ③：検知(定置式) ④：坑内機器防爆

9	八幡屋幹線 (その4) 港区	H18.10 ～ H20.8	D=2,200mm L=530m 推進用ヒューム管 泥濃式推進工法	砂 シルト 粘性土 4m～5m	①：防爆用エアーカーテン ②：希釈用換気 ③：検知(定置式・携帯式) ④：推進機の防爆構造
10	佃～大和田 幹線 (その1) 西淀川区	H19.3 ～ H20.8	D=2,800mm L=1770m RCセグメント t=225mm 泥土圧式シールド	砂 砂礫土 シルト 粘性土 8m～24m	①：防爆用エアーカーテン ②：希釈用換気 ③：検知(定置式・携帯式) ④：推進機の防爆構造
11	深江～中浜 幹線 (その1-3) 城東区	H17.11 ～ H19.10	D=5,000mm L=1560m RCセグメント t=300mm 泥土圧式シールド	砂 砂礫土 シルト 粘性土 23m～31m	①：希釈用換気 ②：検知(定置式・携帯式)
12	佃幹線 (その2) 西淀川区	H24.3 ～ H25.12	D=1,800mm L=1130m 推進用ヒューム管 泥濃式推進工法	砂 粘性土 6m～7m	①：防爆用エアーカーテン ②：希釈用換気 ③：検知(定置式・携帯式) ④：推進機の防爆構造
13	北浜～逢阪 貯留管(その1) 北区～天王 寺区	H24.2 ～ H27.8	D=5,000mm L=1560m RCセグメント t=300mm 泥土圧式シールド	砂 粘性土 31m～49m	①：希釈用換気 ②：検知(定置式・携帯式) ③：推進機の防爆構造
14	新今里～寺 田町幹線 (その3) 生野区	H24.2 ～ H27.8	D=5,000mm L=3380m RCセグメント t=300mm 泥土圧式シールド	砂 粘性土 20m～25m	①：防爆用エアーカーテン ②：希釈用換気 ③：検知(定置式・携帯式) ④：推進機の防爆構造
15	諏訪第3幹 線 (その1) 城東区	H17.11 ～ H19.10	D=1,200mm L=245m 推進用ヒューム管 泥濃式推進工法	粘性土 4m	①：希釈用換気 ②：検知(定置式・携帯式) ③：推進機の防爆構造

注1：Dは仕上り内径、S Tは鋼製を示す。

注2：②の通常換気とは、入坑者の呼気量から求めた換気を示す。

2. 防爆仕様シールド機 (淀の大放水路・φ3480 mm 泥土圧式)



凡 例
 ★ : 耐圧防爆構造
 ☆ : 本質安全防爆構造

