

VI-175

シールド掘進用ガス予知方法および装置の開発

東京都 水道局設計第二課 正員 原田行夫
 (株)物理計測コンサルタント 正員 山下武男

1. はじめに

平成5年2月1日、東京都江東区越中島のシールド工事でメタンガス爆発による死傷事故が発生した。原因は、シールド通過時に高濃度遊離ガスが賦存するドーム状地層に遭遇し、シールド坑内に噴出したガスが引火爆発したものと推察されている。

また、現在でもガス爆発防止対策は、ガスが坑内に侵入してから検知するものが主体で『ガスを停滞させない』こと、さらに万一停滞した場合でも『着火源を作らない』ことが基本となっている。

このため、地山のガス賦存層の接近を『事前予知』し、シールド掘進作業におけるガス爆発防止対策として安全性を飛躍的に向上させる必要があった。

2. 開発の経緯

平成6年3月、江東区夢の島においてボーリング調査によるメタンガス噴出事例に基づき、石油探査技術である物理検層法、泥水検層法等の9種類の現場試験を実施した。

特に、泥水検層法では被圧遊離メタンガス（以下、フリーガスと言う）の兆候を顕著に捉え、泥水検層法がメタンガスの検知に有効手法であることを確認した。

当開発のガス予知装置は、泥水検層法に着目したもので、泥水シールド工法の排泥中に含有する可燃性ガスを連続的に測定し、地層に含有するメタンの『事前予知』を目的とするものである。

3. 新技術の社会的需要

シールド工法では、従来のボーリング孔によるメタンガス調査では数に限りがあるとともに、スポット状に賦存する高濃度メタンガスの状態把握は難しいのが現状である。

このため、下記の要因によって新技術が要求されている。

- ①シールドのガス爆発を契機に、平成6年度労働安全衛生規則に関する法律（第371条～）が強化され、新たなガス爆発防止技術が求められている。
- ②可燃性ガスの湧出は、石油系、石炭系、水溶性天然ガス系、有機・腐食土層系に賦存し、我が国の多くの都市がガス発生危険地域となっている。
- ③シールド工法が一般化し件数は増加しつつあるが、従来のポイント的調査では路線全体のガス賦存状態の把握が不十分である。

4. 測定原理

4.1 地層ガスの性質

メタンガスは加圧条件下では地層空隙中の水に溶存し、そのガス濃度が飽和値を越えると遊離してフリーガスとなる。

図-1に示すようにDuan et al¹⁾によると、3気圧で温度15℃時のメタンガス溶解度は、大気圧換算で地下水1Kℓにつき0.12m³のメタンガスが溶解していることを意味する。

即ち、地山の間隙率を40%と仮定した場合、1m³当たり約4.8%の地層ガス濃度を有することとなり、地層ガス濃度が4.8%を越える場合、フリーガスの存在の可能性があると見える。

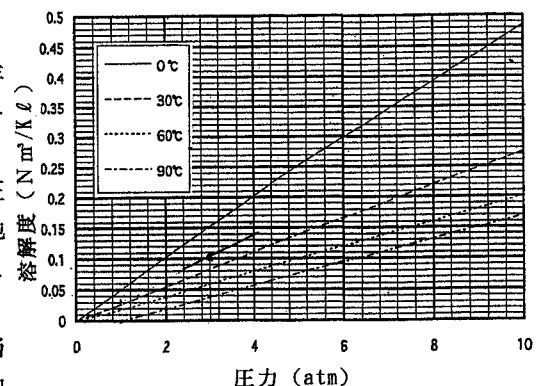


図-1 メタンガスの純水に対する溶解度

4.2 地層ガスの予知方法

泥水シールド工法で切削された土砂は、地層中の溶存ガスと共に循環泥水（排泥）に混入する。

このため、『泥水ガス濃度』を泥水単位容積当たりの溶存ガス量（大気圧換算容積百分率）と定義した場合、単位掘削体積中に含まれる溶存ガス量『地層ガス濃度』は泥水ガス濃度と下記の関係が得られる。

$$\text{地層ガス濃度 (\%)} \times \text{掘削体積 (m}^3/\text{min)} = \text{泥水ガス濃度 (\%)} \times \text{泥水循環量 (m}^3/\text{min)}$$

したがって、泥水ガス濃度が判定できれば、次式から地層ガス濃度が求められる。

$$\text{地層ガス濃度 (\%)} = \text{泥水ガス濃度 (\%)} \times \text{泥水循環量 (m}^3/\text{min)} / \text{掘削体積 (m}^3/\text{min)} \quad \text{----- (1)}$$

いま、排泥管中に泥水中の溶存ガスを連続的に採取する「ガストラップ」を設け、集めたガスを一定量の空気と混合し、その混合ガスをガス濃度分析器によって『測定ガス濃度』を測定する。

ただし、この連続的な採取方法は、泥水中の溶存ガス全量を採取することが不可能なため、別途に排泥水をサンプリングし完全に脱ガスして溶存ガス量を定量化する必要がある。

以上のことから、泥水ガス濃度の測定はサンプリング時の溶存ガス量と対比し『脱ガス効率係数（A）』を求めて下記の関係を把握する。

$$\text{泥水ガス濃度 (\%)} = \text{測定ガス濃度 (\%)} \times A \quad \text{----- (2)}$$

上記(1)および(2)の関係式を用いて、測定ガス濃度から地層ガス濃度を算出する。

5. 開発装置

本予知装置は加圧された排泥管に直接接続し、高速の排泥流から効率的に溶存ガスを分離採取し、かつリアルタイムに連続的なガス濃度の検出が可能な装置である。

図-2は、泥水流の流速を減少させ、同時に土砂を分流させるバイパス管構造の「ガストラップ装置」で、バイパス管には一定量の空気を注入する空気注入口と、その気泡と泥水中の溶存ガスの混合ガスを集めるガストラップがある。

本装置の集ガスキャップの容積は100cc程度で、キャップ内泥水面の上・下限の差を10mm以下に調整できるのが特長でガスキャップ内にガスを貯留しやすく、かつ採取しやすい構造とした。

また、集めた混合ガスは一定流量に調整されて分析器に送られ、測定データは掘進速度や排泥量等の掘進データを勘案して泥水ガス濃度、地層ガス濃度を演算する。さらに、ガス濃度（測定値）が規定値を越えた場合は警報を発することも可能である。

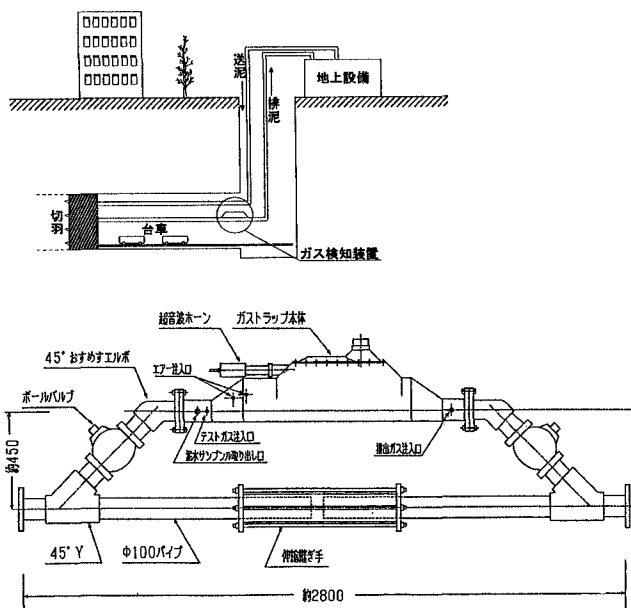


図-2 シールド掘進用ガス予知装置概念図

6. あとがき

開発したメタンガス予知装置は、ガストラップの位置決め検討、さらに管内下流側に設けたバルブの開閉による管内圧力の調整、また管内圧力に応じた管内水位の設定等の各種シュミレーション実験を終えて満足する結果を得ることができた。今後は実用化を目的に現場実証実験を行いたい。