

# BATシステムによる土中メタンガスの定量的調査法の開発

柳浦 良行<sup>1</sup>・豊岡 義則<sup>2</sup>・友清 悟<sup>3</sup>

<sup>1</sup>正会員 工修 基礎地盤コンサルタンツ (株) 関西支社 (〒550-0011 大阪府大阪市西区阿波座1-11-14)

<sup>2</sup>基礎地盤コンサルタンツ (株) 技術開発部 商品開発室 (〒102-8220 東京都千代田区九段北1-11-15)

<sup>3</sup>基礎地盤コンサルタンツ (株) 関西支社 (〒550-0011 大阪府大阪市西区阿波座1-11-14)

地盤中に存在するメタンガスの調査法は確立されておらず、多種多様な方法が取られており、その多くは「土中メタンガスの有る、無し」の定性的評価に留まっている。本研究では、より実際に近いメタンガスの定量的評価を行うため、BATシステム(スウェーデンのB. A. Torstenssonが開発したシステム)を応用して、被圧不活性状態で土中メタンガスを採取する方法を開発した。さらに採取されたガスの分析結果を検討することにより、土中での存在状態を、土中水溶存ガスと土中空隙遊離ガスに分けて定量評価する方法を考案し、地下工事などへの応用を図ったものである。

*Key Words : methane in soil, gas sampling system using BAT system, environmental geotechnics*

## 1. はじめに

近年の基礎工事、圧気工事、シールド・山岳トンネル工事等の地下開発は、多様化する種々の需要に答えるべく大規模化し、かつ大深度に及ぶことが多くなってきている。これらの地下開発の際に懸念される問題の一つに有害ガスがある。有害ガスの中には二オイの強いものもあるが、一酸化炭素やメタンなどのように無臭ガスでは、その汚染を早急に察することは難しいために、ガス中毒で倒れたり、ガス爆発を起こしたりして、大惨事を招くことも多い<sup>1)</sup>。

このようなメタンガスによる事故を未然に防ぐには、工事に先立つ事前土質調査において、メタンガスの有無、工事を実施した場合の湧出状況(位置、湧出量等)を的確に把握し、必要な安全対策工を講じる必要がある。

しかし、土中に存在するメタンガスの調査は主にボーリング孔を利用して行われているが、その調査法は確立されておらず、孔内水揚水時の孔内ガス濃度測定法、孔内水採取法、気液分離法、等の多種多様な方法が取られており、その多くはメタンガスの定性的評価に留まっている。有害ガスの定量的評価を困難とする原因としては、調査ボーリングなどによるガス採取作業時にガスの一部が土中から放出されてしまうこと、採取されたガスの定量的評価法が確立されていないこと、などがある。より

経済的かつ安全な対策工を設計施工するためには、これらの問題点を解決したより実際に近い定量的調査法の研究開発が必要である。

本論文は、これらの問題点を解決するため、今まで地下水採取の一方法と考えられていたBATシステム<sup>2)</sup>を土中メタンガス採取へ応用する方法を開発し、地下工事などへの応用を図ったものである。本研究で開発された土中メタンガス調査法は、従来の方法に比較してより実際に近い定量的調査法であるとともに、一本のボーリング孔で多深度の調査、透水性の悪い粘性土での調査等も可能である特徴を有している。

## 2. 土中メタンガスの性質、発生要因および地盤内での存在状態

### (1) メタンガスの一般的性質

本論文で対象とするメタンガスは、平野部の建設現場において土砂地盤から発生するガスであり、その一般的性質は表-1の通りである。

表-1 メタンガスの一般的性質

メタン	Methane 分子式 CH <sub>4</sub> 別名：沼気、坑気		
分子量	0℃ 1気圧 1 mol の容積	1m <sup>3</sup> の重量	0℃ 1気圧空気 1に対する比重
16.03	22.36 l/mol	0.7168 kg	0.5545
1気圧での 水への溶解度	温度(℃)	15	20
	ヘンリ定数 (atm/mol)	3.28E+4	3.66E+4
危険の種類	爆発、発火点：537℃、爆発限界：5～15vol%		
性質	可燃性、無色、無味、無臭、酸素と結合して爆発の危険あり		
症状	呼吸困難、眠気、酸素欠乏の症状を呈す。		

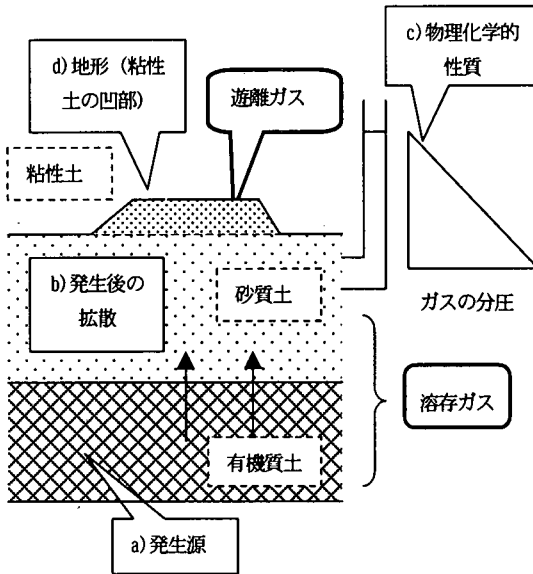


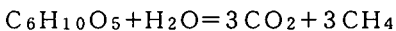
図-1 メタンガスの生成と存在環境

### (2) 土中メタンガスの生成と存在環境

土中メタンガスの生成とその後の地盤中での存在環境を整理すると以下のように考えられる<sup>9)</sup>。

#### a) 発生源

微生物学より有機物が酸素の無い状態で嫌気性の細菌などにより次のように分解されメタンガスや炭酸ガスが発生することが知られており<sup>9)</sup>、メタンの発生量は土中の有機物量と関係する。



#### b) 発生後の拡散

メタンは発生後、土中水に溶存ガスとして、土中空隙

に遊離ガスとして存在すると考えられ、その拡散は透水性に関係すると考えられる。

#### c) メタン自体の物理化学的性質

物理化学よりメタンガスの地下水への溶解は「ガスの分圧が大きいほど」、「温度が低いほど」大きくなる<sup>9)</sup>ことが知られている<sup>9)</sup>。

#### d) 地形

メタンが存在している砂・砂礫層の上位には透水・透気性の悪い粘性土層が存在する 경우가多く、この粘性土層の凹部に圧縮された遊離メタンが、存在する<sup>9)</sup>場合が多い<sup>9)</sup>。

### (3) 土中メタンガスの地盤内での存在状態

図-1に示すようにメタンは有機質土層の中か、不透水層に覆われた砂層の中の地下水(液相)に溶存ガスとして存在することが多く、地下水がメタンの飽和濃度を越えた場合には遊離ガスとして土中の空隙(気相)に存在すると考えられている<sup>9)</sup>。

なお、溶存ガス、分離ガスおよび遊離ガスは以下のように定義する。

- ・溶存ガス：地下水(液相)に溶存しているガス。
- ・分離ガス：溶存ガスが人工的な圧力低下に伴い地下水(液相)から土中の空隙(気相)に分離したガス。
- ・遊離ガス：地下水中(液相)でメタン量が圧力、温度で決まる飽和濃度を越えたため、土中の空隙(気相)に存在するガス。

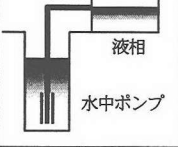
### 3. 従来の調査法の問題点の整理

従来の土中メタンガス調査法としては、表-2に示すように揚水後の孔内ガス濃度測定法、孔内水採取法および気液分離法などがあり、問題点は以下の通りである。

#### (1) 共通の問題点

- ・観測孔は一般にボーリングにより設置されるため採取深度をボーリングする時に、また観測孔設置後に孔内を水洗いする(泥水を清水に入れ替える)時に、ガスの一部(特に遊離ガス)が土中から放出してしまい採取地点の自然状態が変化する可能性がある。
- ・孔内ガス濃度測定法以外是一本の観測孔で一深度の観測しかできず、不経済である。
- ・上述の観測孔水洗い時に多量の泥水を廃棄物処理しなければならず、環境への負荷が増大するため、環境問題に対する配慮が足りない調査方法である。

表-2 従来の代表的土中メタンガス調査法

調査法	概要図	評価法		
		定性的 ガスの有無の判定	定量的	
			地下水への溶存ガスの確認	気相への遊離・分離ガスの確認
濃孔度内測ガ定手法		可能	不可能	測定できるが精度に問題あり
採孔取内法水		可能	測定できるが精度に問題あり	不可能
気液分離法		可能	測定できるが精度に問題あり	測定できるが精度に問題あり

ように、孔内のガス濃度は孔内水面から孔口に向かって減少する傾向にあり、孔口では一番濃度の薄いガスを測定していることになる。従って、孔口である基準以上のガス濃度があれば設計施工に反映することは可能であるが、基準以上の濃度が無い場合、特に最近の大深度地下工事に関連する調査では孔口までメタンガスが上昇するのに時間がかかり、かつ濃度が薄まるため判断に悩むことが多い。

また、観測孔の孔口を密閉して放置した後、孔口の濃度を測定する方法も用いられている。しかし、この方法も孔口と孔内水位上面との間で、濃度分布は複雑に変化することが考えられ、測定された濃度が、現場でどのような条件の場合に発生するのか、判断するのが困難である。

### (3) 孔内水採取法

観測孔内の地下水を採取し、地下水の溶存ガス濃度を試験室内でガスクロマトグラフを用いて分析する方法である。

問題点としては、多くの採水器が採水地点の圧力を維持できない構造であり、地上に回収した時、採水器内の圧力が低下し、大気圧に相当する土中メタンガスしか採取した地下水に溶存できなくなり、溶存できないガスは大気中に放出してしまい、実際より溶存ガス濃度を小さく測定する可能性があることである。

### (4) 気液分離法

観測孔内に水中ポンプを設置し、地下水を揚水し地上でタンクに一時的に液相（地下水）と気相を溜めて採取し、それぞれガスクロマトグラフで分析する方法である。

一見、液相と気相のガス濃度が分かるため良いように思われるが、以下のような問題点がある。①水中ポンプを使用するため地下水に圧力変化を与えてしまうので、どのような圧力条件下でのガス濃度が明らかでないこと、②実際の地下工事に応用するためには、単位当たりの地下水から圧力・温度変化でどの程度のガスが発生するかを知る必要があるのに対し、流動する液相上に溜まった気相内のガスが何 $m^3$ の液相から発生したのかわからないこと。

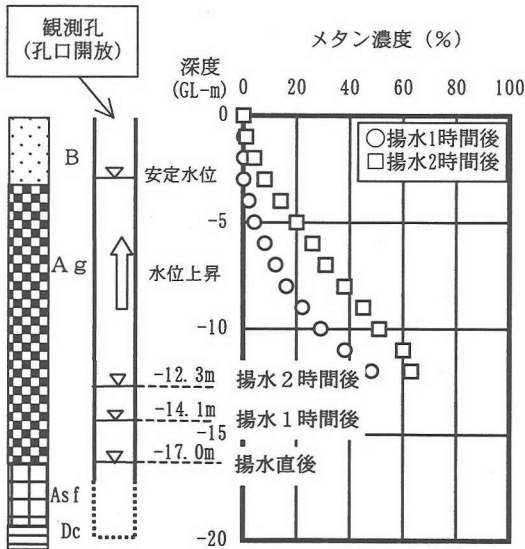


図-2 測定管内のメタンガスの濃度分布の実測例

### (2) 揚水後の孔内ガス濃度測定法

観測孔内の水位を降下させた後、孔口で地下水から圧力低下に伴い分離した分離ガスの濃度をガス検知機を用いて測定する方法であり、土中メタンガス調査の中で最も簡単かつ安価な方法である。

問題点としては、孔口を開放した場合、図-2<sup>8)</sup>に示す

## 4. BATシステムを応用した土中メタンガスの新しい現地調査法

柳浦らは<sup>9)</sup>、土中メタンガス採取時のガス放出を最小限にするには、従来のように採取深度までのボーリング、孔内洗浄による周辺地盤の水位低下を行うことなく、採取装置を直接採取深度まで押し込むことが必要と考え、地下水採取等の一方法と考えられていたBATシステム

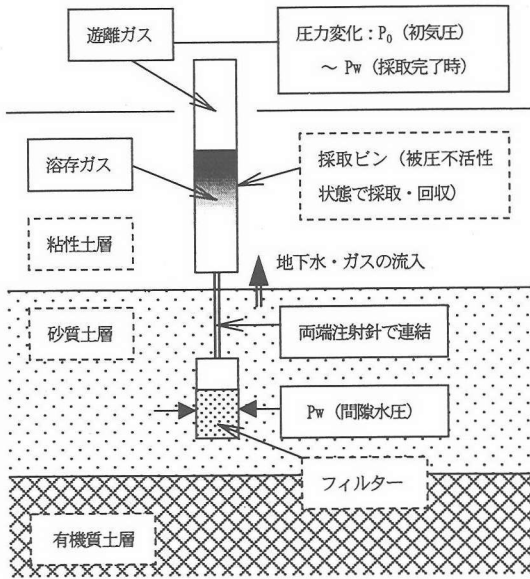


図-3 土中メタンガス採取の原理

を土中メタンガス採取に応用（以下BAT法と略称）することを考案した。

#### (1) BAT法による土中メタンガス採取の原理

図-3に示すように土中メタンガスは土中に設置されたフィルターを通して、地下水とともに採取ピン内に、採取ピン内圧力 $P_0$ と地盤中の間隙水圧 $P_w$ との圧力差により大気と接すること無く採取され、最終的には $P_0$ は $P_w$ と等しくなり原位置の圧力状態を保持したまま密閉状態で地上に回収され（被圧不活性状態）、試験室で分析される。

採取～分析までのピン内の圧力、採取ガスのモル数変化の概念を図-4に示す。採取後のガスの「分析」は採取時の圧力( $P_w$ )と異なり大気圧( $P_a$ )条件下で一般に行われるが、同図から判るように、BAT法では採取ガス全体のモル数は変化しないが、ピン内の圧力の変化に応じて液相中の溶存ガス量、気相中の分離ガス量、遊離ガス量の割合が変化することが判る。

従来の調査法は同図の「分析」の過程においては、以下のように位置づけられよう。

- ・孔内ガス濃度測定法：分離ガスが測定孔の孔口で薄まった濃度を測定していることに相当する。
- ・孔内水採取法：大気圧に相当する溶存ガス濃度を測定していることに相当する。
- ・気液分離法：採取圧力が不明であるため、「分析」付近に対応する「溶存ガス+分離ガス」の概略濃度を測定していることに相当する。

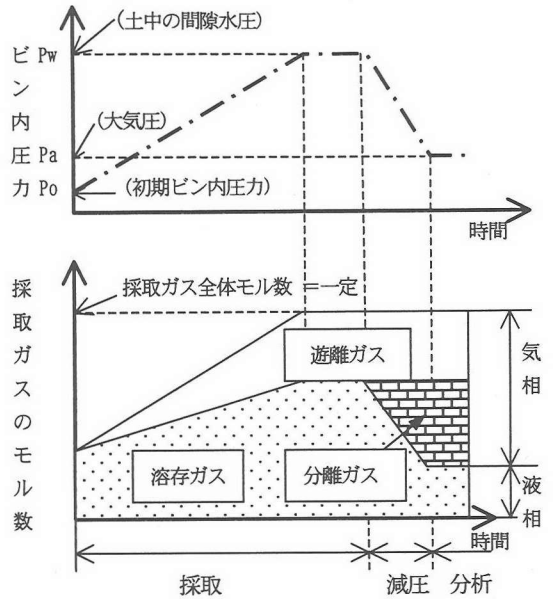


図-4 採取～分析におけるピン内のメタンガスのモル数の変化

また、BATシステムにおいてはフィルターを用いているため、その目詰まりが問題になる。この目詰まりにより単純に採取時間が長くなるだけなのか、あるいは採取されるメタンガスに何らかの影響を与えるのか、今のところ良く判らない。実測値としては、後述する図-11(b)に示すように、自然状態で採取を続ける限り、メタンガス濃度に大きな影響を与えていないため、現状では採取時間が長くなるだけと考えている。長時間のモニタリングにおいて、目詰まりが著しい場合には、採取ピンの中に水を入れ圧力をかけて、フィルターチップに水を圧入し、洗浄を行うことも可能である。

メタンガスの測定精度を向上するには、第1にメタンを空気中に漏らさないようにサンプリングを行うこと、第2に分析を適切に行なうことが重要と考えられる。

BATシステムにおいて、前者の問題点に対しては、前述のように地盤中の間隙水圧を低下させない自然状態で採取が可能であり、採取されたガスを空気中に漏らすことなく（モル数を変化させない）分析装置まで運搬している。後者の問題については、適用法律（例えば労働安全衛生規則など）および採取されたガスの濃度に応じて、適切なガスのキャリブレーションを行ったガスクロマトグラフで分析を実施している。

#### (2) 採取機器

図-5に示すBATシステムの採取装置の主な機器の概要は以下の通りである。

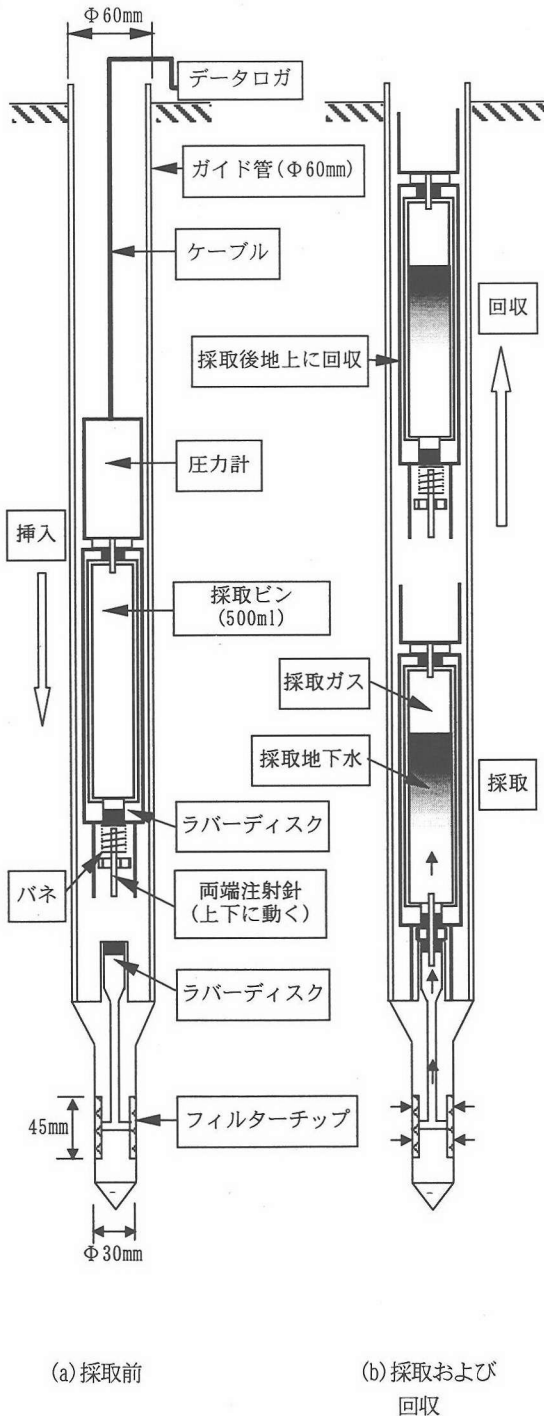


図-5 主な採取機器および採取手順

a) フィルターチップ

フィルターチップは、採取装置の先端にあり、フィルターを通して地下水と共にガスを採取する部分であり、採取に先立ちガイド管と共に採取位置に設置される。上部にはラバーディスクで蓋がしてあるため、ガイド管内に地下水およびメタンガスが流入することは無い。

b) ガイド管

ケーシングパイプやガス管が用いられ、ケーシングパイプの場合にはパイプ内に水が漏れないように接合部にはOリングが装着する場合もある。

c) 採取器

先端に上下に動く両端針があり、その上部には両口にラバーディスクを装着した採取ビンがある。この採取器を圧力計と共に所定深度に設置された「フィルターチップ+ガイド管」の中に挿入し、先端部に達したら採取器の自重で両端針がフィルターチップと採取ビンのラバーディスクを貫通し、フィルターチップと採取ビンは連結されビン内 ( $P_0$ ) と土中 ( $P_w$ ) の圧力差で採取される。採取後は採取器を引上げることにより、両端針はフィルターチップと採取ビンから離れ、採取ビン内に採取された地下水、メタンガスは採取地点の圧力を維持しながら、密閉状態で地上に回収される。

d) 圧力計

圧力計は採取ビンと注射針を会して連結し、採取ビン内の圧力を測定することにより、土中メタンガスの採取状況のモニタリングを行うことができる。

(3) 採取・分析手順および評価

このBATシステムによる有害ガスの採取、分析および評価の流れを図-6に示す。

a) フィルターチップの設置

調査ボーリングと併用して「フィルターチップ+ガイド管」を図-7に示すように孔内水位が土中の間隙水圧より低くならないように注意しながらボーリング孔底から採取深度まで押し込んで設置する。このことにより、従来のように採取深度までのボーリングおよび孔内洗浄による孔内の水位低下を行う必要が無いため、土中メタンガスの採取中のガス放出は最小限にできる。

土中のメタンガスは、通常土中の間隙水圧と平衡を保っているため、上述のように土中の圧力を低下させない限り採取中にガス放出が生じることは少ないと考えられる。

b) 採取ビンの準備

採取前に分析精度を上げるため、採取ビン内の空気を単一成分のHeに置換し、設定されたビン内圧力 $P_0$ より、その量を把握する。採取後に分析に必要な50~100ml程度の気相部が確保できるように、ビン内圧力は採取地点の間隙水圧から設定する。置換ガスとしてHeを選定したのは以下の理由からである。

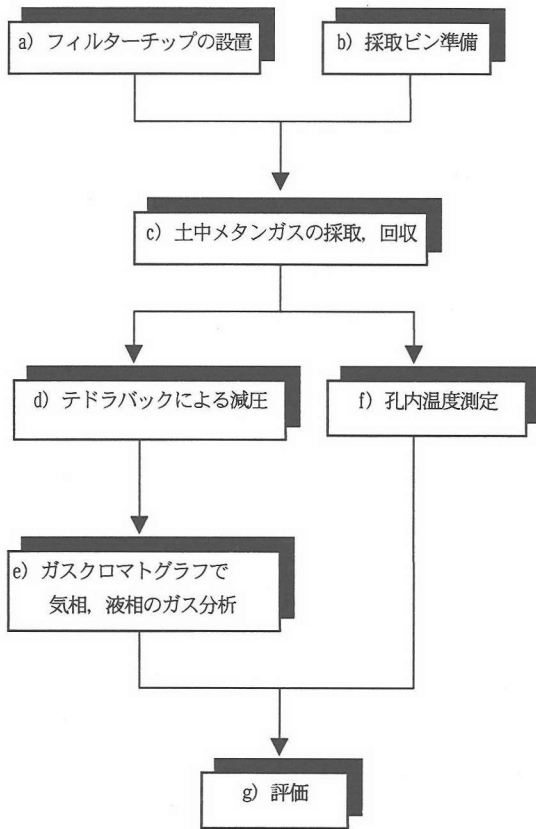


図-6 有害ガスの採取、分析および評価手順

- ・空気中、水中にほとんど存在しない。
- ・ガスクロ等の分析におけるキャリアガスと同一であること。
- ・純粋ガスとして市場で得やすいこと。
- ・水への溶解度がひくいこと。

c) 土中メタンガスの採取、回収

「採取ピン+圧力計」をガイド管内を降下させ、両端注射針を用いてフィルターチップと採取ピンを連結させて採取した後、採取ピンを地上へ回収する。前述したように、採取ピン内は外気に触れること無く土中の間隙と接続でき、ガス採取完了時には、採取ピン内は土中の間隙水圧 $P_w$ と等しい圧力となることから、「土中での地下水とメタンガスの気液平衡状態と等しい条件で採取ピン内も気液平衡状態を保持できる」ため、被圧不活性状態で採取、回収される。

d) テドラバックによる減圧

採取ピン内は大気圧より高い圧力となることが多いため、大気圧下で分析を行うガスクロマトグラフで図-4に

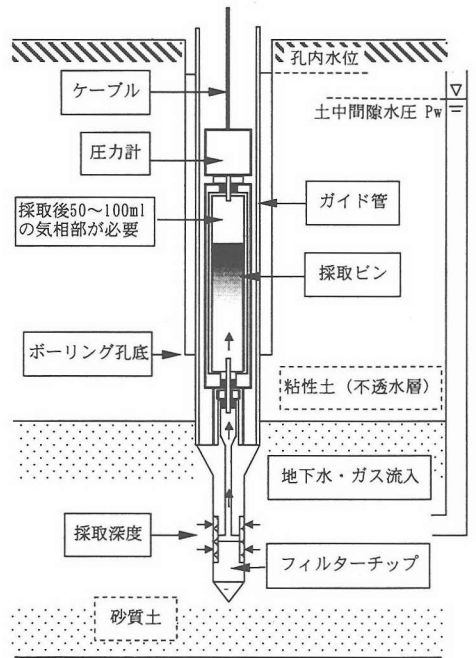


図-7 BAT法による地盤中での採取状況

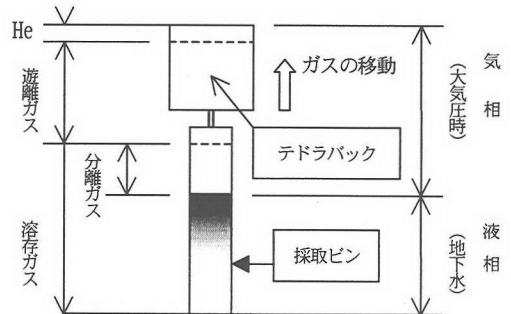


図-8 テドラバックを用いた採取ピン内の減圧後

示す採取ガス全体のモル数を変化させない条件を満足させるためには、図-8に示すような「テドラバック」を採取ピンに連結してガスの一部を移動させ、採取ピンおよびテドラバック内の圧力を大気圧まで減圧させる必要がある。この減圧時に多くの場合、図-8のようにもともと液相中に溶存していた溶解ガスの一部は、気相中に分離するが、外気とは接触しないため、メタンガスの絶対量は変化しない。

### e) ガスクロマトグラフで気相、液相のガス分析

図-8に示す採取ビン内の圧力（テドラバック使用前）を圧力計で測定したのち、試験室内にて液相、気相の種類、濃度をガスクロマトグラフ法（通常1気圧条件）にて分析する。

これらの測定・分析より求めるパラメータは以下のとおりである。

- ・採取ビン内の圧力測定；気相中のメタン分圧 $p_i$
- ・液相中のガスクロマトグラフ分析； $p_i$ に対する液相中の溶存メタンガス量 $V_{LG}$ (ml)
- ・気相中のガスクロマトグラフ分析； $p_i$ に対する気相中のメタンガス量 $V_{GG}$ (ml)、全気相量 $V_G$ (ml)

### f) 土中温度の測定

土中温度の測定は、温度検層を原則とするが、測定深度が浅い場合には経験的に $T_a=15\sim 20^\circ\text{C}$ 程度で推定しても実用的には問題ない。

### g) 評価方法

液相への溶存ガス量は、式(1)のようにヘンリーの法則に従い、気相の圧力、温度により変化する。したがって、採取深度の圧力、温度でメタンガスの地下水（液相中）への飽和濃度 $X_i$ が決まり、気液相内に存在するメタンガス全体のモル分率 $M_i$ （式(2)参照）と比較し、 $M_i > X_i$ の場合には図-9に示すように溶存できないガスは遊離ガスとして土中の空隙（気相）に存在すると考えた。この遊離ガスの気相中での濃度 $m_i$  (vol%) は式(3)で示される。

$$p_i = H \times X_i \quad (1)$$

$$M_i = \frac{(V_{GG} + V_{LG}) / 22400}{(\rho_w \times V_L / 18) + (V_{GG} + V_{LG}) / 22400} \quad (2)$$

$$m_i \text{ (vol\%)} = V_{GG} \times 100 / (V_G - V_{He}) \quad (3)$$

ここで、 $X_i$ ：飽和濃度（モル分率）

$H$ ：ヘンリー定数（atm/mol）

$p_i$ ：気相中でのメタンガスの分圧(atm)

$M_i$ ：気液相内のメタンガス全体の濃度（モル分率）

$m_i$ ：気相中のメタンガス体積濃度（vol%）

$V_{GG}$ ： $p_i$ に対する気相中のメタンガス量(ml)

$V_G$ ： $p_i$ に対する全気相量(ml)

$V_{LG}$ ： $p_i$ に対する液相中の溶存メタンガス量(ml)

$V_L$ ：全液相量(ml)

$\rho_w$ ：水の密度（g/ml）

$V_{He}$ ： $p_i$ に対する採取ビン中に残留しているHeガス量（ml）

22400：1気圧でガス1モル当たり容量（ml）

18：水1モル当たりの質量（g）

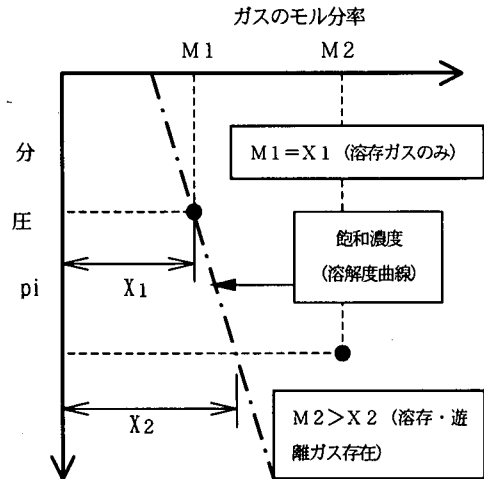


図-9 ガスの存在状態の判定

## 5. 現地計測例

### (1) 現地計測例1

現地計測例1<sup>7)</sup>は、滋賀県の湖西地域でのシールド工事に先立って実施された調査である。調査地周辺には、図-10に示すように、スクモ層（Ap層）と呼ばれるメタンの発生源となる有機質粘性土が広く分布しており、地下工事を行う場合にメタンガス対策が設計・施工上大きな問題となる地域である。シールドはメタンが地下水に溶存ガスとして存在する可能性のある $D_s g$ 層内を通過するため、同層内のガスの有無およびその量が問題であった。溶存ガスがある場合にはシールド通過および立坑施工に伴う地下水低下によりガスが発生するため、工事前に揚水試験を行い、ガスの発生状況を調査した。揚水に伴い発生するメタンガスの濃度、溶存量の経時変化をBAT法と他の採取法（孔内ガス濃度測定法、孔内水採取法）と比較した結果を図-11に示す。なお、図-10に示すように孔内ガス濃度測定、孔内水採取は揚水孔から、BAT法は別孔から採取・分析した。

図-11(a)は孔内ガス濃度測定法とBAT法での気相内のメタン濃度の変化を示すが、地下水位の低下と共にメタン濃度は上昇するが、BAT法の方が値は大きい。これは前述したように孔内ガス濃度測定法では、孔口のガス濃度を測定するため、孔内の拡散現象により薄まって測定されるのに対し、BAT法では地下水から圧力の減少に伴って発生する分離ガスを精度良く捕獲できるためと考えられる。

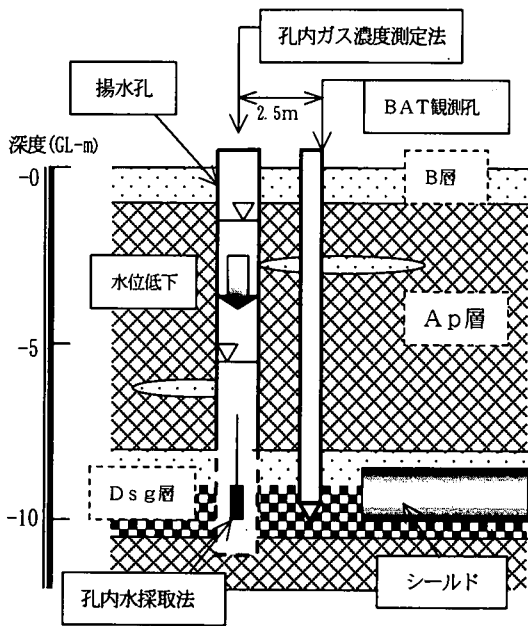
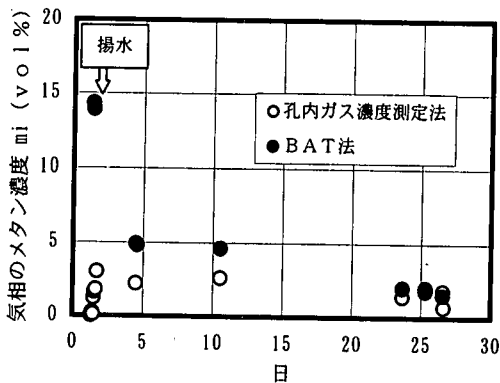
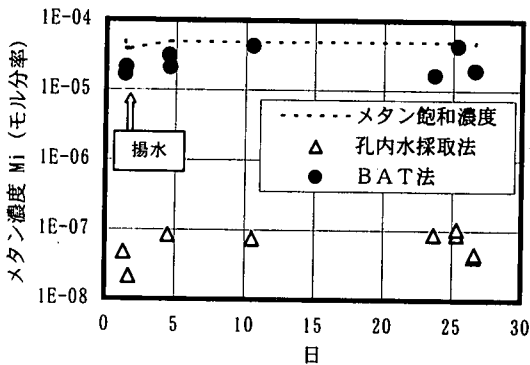


図-10 シールド工事に伴うメタンガス測定例



(a) 気相中のメタンガス濃度の経時変化



(b) 採取直後の土中メタンガス濃度の経時変化

図-11 地下水低下に伴うメタンガス発生量の経時変化 (文献7)の図-4を再整理)

図-11(b)は孔内水採取法とBAT法の採取直後の圧力における溶存ガス濃度の変化を示すが、飽和濃度 $X_i$ は地下水の低下とともに低下する。水位の低下にも関わらず、BAT法ではメタンガス全体のモル分率 $M_i$ は変化せず、 $X_i$ に近い値を示し、現地の地下水にはほぼ飽和濃度のガスが溶けこんでいることが判る。孔内水採取法では、採水深度の圧力が地上で維持できず、地上に回収した時点でガスが大気中に放出してしまうため、測定溶存ガス量が少ないと考えられる。

実際の工事においては、この調査結果に基づき排気設備を準備し、防爆仕様でシールドマシン等を設計・施工したため、工事は支障なく終了した。排気設備を設けたため、工事中に坑内でメタンは、ほとんど測定されなかった。しかし、従来のガス調査を行いメタン発生の予測ができなかった近傍の他工区では、工事中にメタンが発生し、事故にはいたらなかったが、その対策に工期と費用を要した。

この例から判るようにメタンがある場合、工事中には排気設備を設けることが多く、調査時のメタンガス濃度と直接比較することは一般に困難である。しかし、調査時にガス噴出の無かった(経験的に遊離ガスは少ない)当現場において、地下水の飽和濃度に近いメタンガスを採取できたことは、BAT法が採取中のガス放出の少ないより実際に近い定量的評価法であることを示している。

## (2) 現場計測例2

現場計測例2<sup>7)</sup>は、大阪湾岸でのケーソン工事に先立って実施された調査である。調査地周辺には図-12に示すように若干の有機質分を含有するAc層が存在し、このAc層内をケーソンが通過するため、メタンの存在が考えられるAs, Asc, およびDsgのみならず、Ac層内でのメタン発生も問題となった。孔内ガス濃度測定法以外の従来の方法では各測定深度毎に観測孔を設ける必要があり、不経済になる。また、孔内ガス濃度測定法では、Ac層の透水性が悪く現場透水試験ができないと同じように、実務上は測定不可能である。

BAT法は一本のボーリング孔を用いて多深度のメタンガスの測定が可能であった。その測定結果を図-13に示す。測定結果に加え、飽和濃度 $X_i$ のラインも同時に示したが、GL-7m付近の砂層では、メタンの量が $X_i$ を超えているため、砂層に遊離ガスが存在することを示唆しており、実際調査ボーリング時点でも、水位低下に伴う若干のガスの吹き上げがあった。この例から判るようにBAT法は、他の方法のように採取深度毎に観測孔を設ける必要がないため、早く(2時間~3日/1深度)かつ経済的に有害ガスの調査が可能であることが判る。この工事においても、十分な排気設備と防爆対策を施工したため、工事中のケーソン内でメタンガスはほとんど測定されなかった。



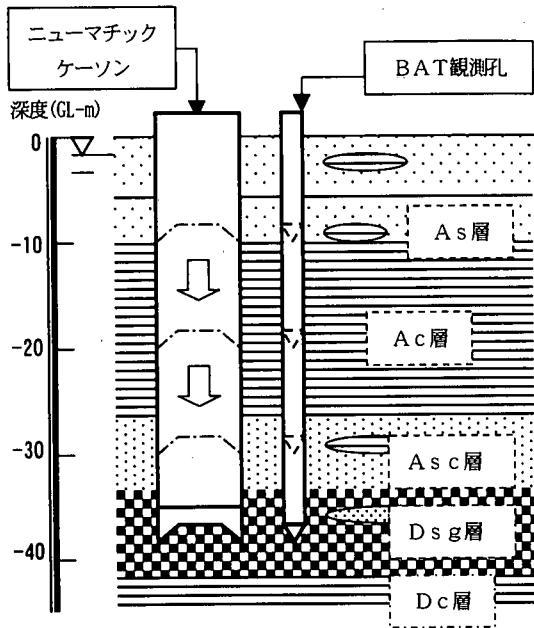


図-12 ケーソン工事に伴うメタンガス測定例

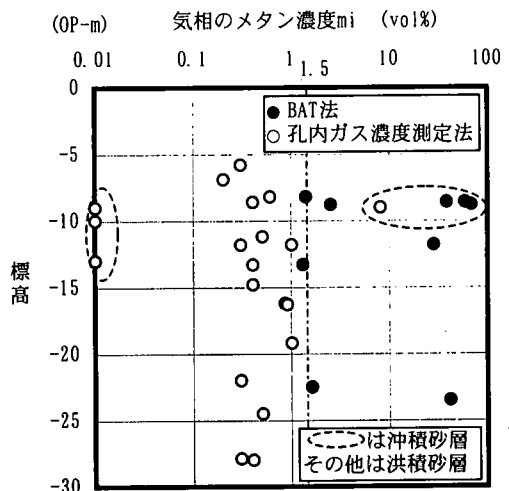


図-14 BAT法と孔内ガス濃度測定法の測定比較例

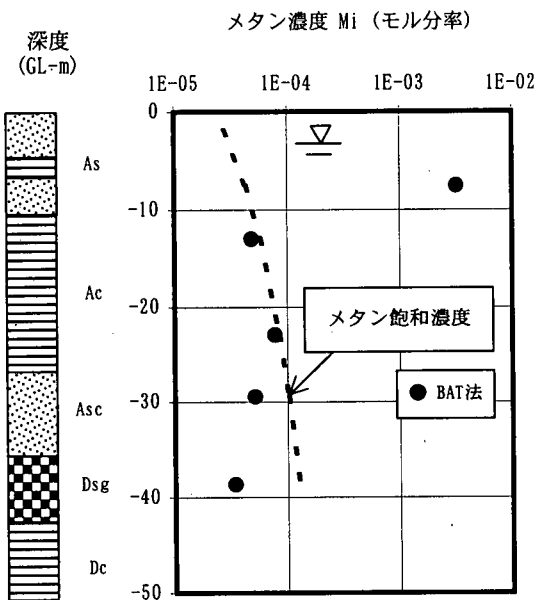


図-13 1本のボーリング孔で多深度のメタンガスを調査した例 (文献7) 図-5を再整理)

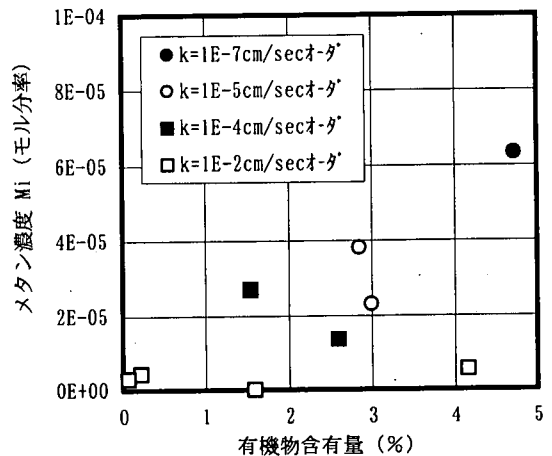


図-15 メタンガス濃度と有機物含有量、透水係数の関係

### (3) 現場計測例3

現場計測例3<sup>10)</sup>は、大阪府の河内平野内で実施されたシールド工事に先立つメタンガス調査である。調査結果を図-14に示すが、BAT法に比較し、従来の孔内ガス

濃度測定法は濃度が低く測定されていることが判る。これは現地計測例1と同様な理由と考えられる。

メタンの抑制値としてトンネル標準示方書(シールド工事編)<sup>11)</sup>に従い「1.5%」を適用した場合、BAT法ではほとんど1.5%を上回りガス対策が必要と判断され、実際に排気設備と防爆対策が実施された。しかし、孔内ガス濃度測定法では1.5%を下回り、過去工事中にメタンガスの発生が報告されている河内平野<sup>12)</sup>において、このまま設計・施工を行った場合に安全衛生管理上問題が多いと考えられる一例である。

#### (4) 現場計測例 4

現場計測例 4<sup>3)</sup>は、メタン発生要因と考えられる「有機物含有量」と発生後の拡散に寄与すると考えられる「透水係数」とをBAT法を用いて測定されたメタン濃度との関係で整理したものであり、その結果を図-15に示す。ここでメタン濃度は、気液相内に存在するメタン全体のモル分率 $M_i$ に相当するため、測定時の条件（圧力・深度）に関係なく、各採取地点で一定値となる。同図より、メタンガスの土中における存在状態を整理すると以下のことが判る。

- ・「有機物含有量が多くなる」ほど土中の気相・液相中に含まれるメタンガス濃度は高くなる傾向にある。
- ・「透水性が悪い」ほど土中の気相・液相中に含まれるメタンガスの濃度は高くなる傾向にある。

## 6. 結論

本研究は、BATシステムを応用して土中メタンガスの有効な採取分析方法を開発し、実際の地盤への適用性について考察を行ったものである。開発された土中メタンガスの採取、分析および評価方法は以下のような特徴等を有している。

- (1) 所定深度までボーリングを行わずフィルターチップを押し込んで設置し、かつ従来のようにボーリング孔内の洗浄を行う必要がないため、採取時にメタンガスガスの土中からボーリング孔内、地表への漏出を最小限にできる。
- (2) 採取ピンは外気に触れることなく土中の間隙と接続し、原位置状態を保持しながら（被圧不活性状態）地下水、メタンガスの採取、回収および運搬が可能である。分析時には採取されたメタンガス全体のモル数を変化させない状態での分析が可能である。
- (3) 採取前後の土中および採取ピン内の圧力を直接測定できるため、採取された有害ガスの評価の精度を高めることができる。
- (4) 一本のボーリング孔を用いて多深度での土中メタンガス調査が可能である。
- (5) 透水性の悪い粘性土でも土中メタンガス調査が可能である。
- (6) 「フィルターチップ+ガイド管」を土中に設置しておけば何度でも採取でき、地盤環境のモニタリングが可能である。
- (7) 有機物含有量が多くなるほど、透水性が悪いほど、土中の気相・液相中に含まれるメタンガス濃度は高くなる傾向が見られる。

この方法を用いて数多くの土中メタンガスの調査を実施したが、従来の孔内ガス濃度測定法、孔内水採取法、気液分離法に比較し、高いメタンガス濃度を検出し（特に気相部の濃度）、その工事の安全対策に対し有効性が実証された。今後は、さらに多くの計測現場で使用し、より詳細な土中メタンガスの採取、分析、評価方法の確立をめざす予定である。

## 参考文献

- 1) 逢坂 謙志：有害ガスと建設工事、地質と調査(2月号)、土木春秋社、pp. 6-13、1995。
- 2) 森 研二、丹下良樹、山下哲郎：BAT地下水モニタリングシステムによる透水試験、第19回土質工学研究発表会、pp. 143-144、1984。
- 3) 柳浦 良行、友清 悟：地下工事における土中メタンガスの発生要因と簡易判定法、土木学会第52回年次学術講演会、pp. 640-641、1997。
- 4) 福山 丈二：ごみ埋立地におけるガス発生、地質と調査(2月号)、土木春秋社、pp. 22-28、1995。
- 5) 化学工業協会編：改訂五版化学工学便覧、丸善（株）、pp. 58-59、1988。
- 6) 小松田 精吉、小山 準蔵、小田部 雄二：残留酸欠空気の発生事例に対する検討、第22回土質工学研究発表会、pp. 29-30、1987。
- 7) 柳浦 良行、森田悠紀雄、坪田邦治、酒巻 章：BATシステムを利用した地下水溶存ガスの分析例、第23回土質工学研究発表会、pp. 137-138、1988。
- 8) 橋本 正、坂本 稔、高見 邦幸、長屋 淳一：帯水層中のメタンガス濃度の調査法について、第27回土質工学研究発表会、pp. 213-214、1992。
- 9) 中西浩一郎：溶解度の理論と計算、講談社サイエンスフィク p. 22、1982。
- 10) 大阪府土木部：BATシステムを応用した土中有害ガスの調査・評価法、公共事業を推進するための新しい技術報告集、pp. 39-40、1996。
- 11) 土木学会：トンネル標準示方書（シールド工法編）・同解説、p. 229、1996。
- 12) 土質工学会関西支部、関西地質調査業協会：新編大阪地盤図、コロナ社、pp. 25-26、1987。

(1997. 11. 13受付)

## DEVELOPMENT OF QUANTITATIVE EVALUATION METHOD FOR UNDERGROUND METHANE GAS USING BAT SYSTEM

Yoshiyuki YAGIURA ,Yoshinori TOYOOKA and Satoru TOMOKIYO

Investigation method of underground methane gas is under development and only qualitative analysis is available so far. This paper presents the results of our study for the quantitative evaluation of underground methane gas, applying BAT Sampling System which was developed by B.A.Torstensson, Sweden. In our study, we 1) collected underground gas in an artesian, inactivated condition as is the condition in the ground, 2) quantitatively evaluated the concentrations of the gas both in water and air and 3) applied this sampling system to the underground work.