

# ソイルセメントのセメント含有量試験への塩酸溶解熱法の適用

久保 博 川地 武

## Application of Hydrochloric Acid Dissolution Heat Method for Determination of Cement Content in Soil-Cement

Hiroshi Kubo Takeshi Kawachi

### Abstract

A method using the heat of dissolution of hydrochloric acid was tested to develop a simple and quick method for determining the cement content of soil-cement. The following results were obtained and a testing method based on the results was proposed.

① The temperature rise ( $\Delta T$ ) on adding hydrochloric acid to a sample has a high correlation with cement content and is influenced by the type of cement and the concentration of hydrochloric acid, 6N being found as suitable as the concentration of hydrochloric acid.

② The value of  $\Delta T$  is furthermore influenced by the water content of the soil and the time elapsed after mixing soil and cement.

### 概 要

ソイルセメントのセメント含有量を簡易迅速に試験するため、塩酸溶解熱法の適用を検討した。その結果、以下のことを明らかにし、これらを考慮した試験方法を作成した。

① ソイルセメントに塩酸を添加した際の上昇温度 ( $\Delta T$ ) は、ソイルセメントのセメント含有量と高い相関を示し、セメントの種類、塩酸の濃度にも影響された。そして、塩酸濃度は、6N が適している。

② 塩酸を添加した際の上昇温度は、ソイルセメントに用いた土の含水比、および土とセメントを混合した後の経過時間によっても影響される。

## 1. まえがき

セメントを混合して土の工学的性質を改善するセメント安定処理工法は、近年、例えばアクアソイル工法<sup>1)</sup>や事前混合処理工法<sup>2)</sup>のように施工法・添加材・処理土性状などに特徴的な工法の開発もあり、用途がますます拡大している。このセメント安定処理工法では、品質管理の一つとして、セメント混合後間もない処理土を試料採取し、セメントが所定量かつ均一に混合されているかを試験することが重要であり、よく行われる。

ところで、セメントがカルシウムを一定比率で多量含むことから、処理土のセメント含有量は、塩酸溶解-キレート滴定法、塩酸溶解-原子吸光法などによってカルシウムを分析して求められることが多い。これらの化学的方法は、高精度であるが、比較的多くの設備・時間・熟練を要する短所がある。特に現場での試験などでは、精度は±5%程度であれば許容され、むしろ簡易性と迅

速性を切望されることが多い。

他方、神田<sup>3)</sup>は、まだ固まらないコンクリートの水セメント比測定に、コンクリートからふるい分けたモルタル中のセメント量を塩酸溶解熱法で測定する方法を開発した。また、喜田・齊藤<sup>4)</sup>は、この方法が生コンクリートの品質管理に有効なことを述べている。しかし、塩酸溶解熱法をセメント処理土(以下、ソイルセメントともいう)に適用した例は、見られない。

そこで、ソイルセメントのセメント含有量の簡易迅速試験法の確立を目指し、本研究では砂質土主体のソイルセメントを対象に塩酸溶解熱法の適用を検討した。

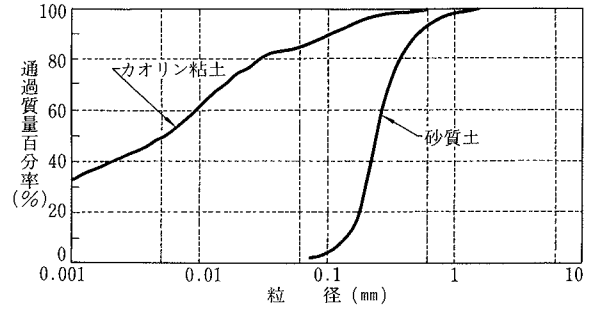
## 2. 使用材料と試験方法

### 2.1 使用材料

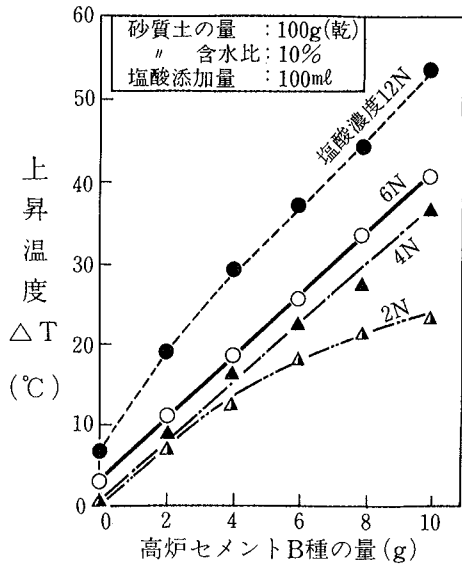
2.1.1 土 砂質土(山砂)とカオリン土を用いた。それぞれの物理的性状などを表-1、また粒径加積曲線を図-1に示す。

表一 使用土の性状

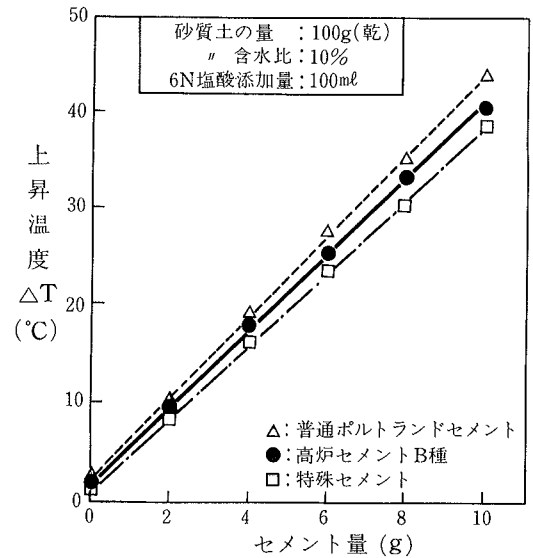
試料土	含水比 (%)	土粒子密度 (g/cm <sup>3</sup> )	液性限界 (%)	塑性限界 (%)	吸水率 (%)	均等係数
砂質土(千葉県富津)	7	2.71	—	—	1.6	2.0
カオリン土(岐阜県)	1.3	2.66	41	12	—	—



図一 使用土の粒径加積曲線



図二 ドライ状ソイルセメントにおける高炉セメント B 種の量と上昇温度の関係



図三 ドライ状ソイルセメントにおける各種セメントの量と上昇温度の関係

2.1.2 セメント 主に高炉セメント B 種を用い、比較として普通ポルトランドセメント、特殊セメント（スラグ含有量の多いタイプ）も用いた。

2.1.3 水 ウォーターフロントでの工事を想定し、スラリー状ソイルセメントの混練水として、人工海水（八潮産業㈱製；アクアマリン）を用いた。

2.2 試験方法

2.2.1 ソイルセメント試料の作製 試料は、「ドライ状ソイルセメント」と「スラリー状ソイルセメント」である。前者は、所定含水比の砂質土 100 g (炉乾燥質量) 当り、セメントを 0~10 g 混合して作製した。また、後者は、乾燥質量ベースで砂質土 100 g 当りカオリン土を 8 g、人工海水を 40 g 混合して作製したスラリーに、セメントを内割で 0~10% 混合して作製した。

なお、ドライ状ソイルセメントは、含水比の比較的低い砂質土にセメントを混合したパサパサ状のもので、事前混合処理工法においてベルトコンベア乗継ぎ部で混合され水中投入されるものである。一方、スラリー状ソイルセメントは、細粒分をかなり含む土にセメントと比較的多量の水を混合した流動状のもので、アクアソイル工法などにおいてポンプ打設されるものである。

2.2.2 塩酸溶解熱の測定 室温と平衡温度 ( $T_0$ °C) にした 300 ml デュア瓶に試料を所定量入れた。これに、

$T_0$ °C の塩酸 100 ml を添加し、棒状留点温度計を取付けたガラス棒で 30 秒間攪拌した。最高温度 ( $T_1$ °C) を読み、上昇温度  $\Delta T = T_1 - T_0$  (°C) を求めた。

3. 結果と考察

3.1 ドライ状ソイルセメントの場合

3.1.1 塩酸濃度の検討 砂質土 100 g (乾燥質量) に高炉セメント B 種を 0~10 g 混合した試料に、各種濃度の塩酸をそれぞれ 100 ml 添加した。セメント量と上昇温度の関係を図一に示す。

上昇温度は、セメント量および塩酸濃度とともに増大した。また、セメント 0 g (すなわち土のみ) で、塩酸濃度 2N と 4N はほとんど温度上昇せず、6N と 12N は 3~6°C 温度上昇した。このことは、高濃度の塩酸を加えると、土中水による希釈熱が生ずることを示唆する。また、2N 塩酸が上に凸の曲線を示したのは、セメント量の多い領域で塩酸量の不足を生じたためと考えられる。

図二で両者の関係は、4~12N 塩酸の場合、直線的であり、特に 6N では、より直線的であった。神田<sup>4)</sup>の方法では、試料 200 ml を水 800 ml で希釈した後に濃塩酸(約 12N) 500 g を添加する。一方、本法では、6N 塩酸でも

試料に直接添加することによって十分に発熱し、セメント量に比例して温度上昇した。また、6N 塩酸は、12N 塩酸に比べて添加時の塩化水素ガス発生が少ないという扱い上の利点があった。以上のことから、本法では濃度 6N が適切と判断され、以下、6N 塩酸を用いた。

**3.1.2 セメントの種類および銘柄の影響** 3種のセメントについて、セメント量と上昇温度の関係を図-3に示す。

上昇温度は、各セメントともセメント量にほぼ比例して増大した。従って、本法は、基本的に各セメントに適用可能と考えられる。また、上昇温度は、普通ポルトランドセメント>高炉セメント B種>特殊セメントの順で、セメント種によって異なった。従って、検量線は、セメント種ごとに作成する必要がある。

つぎに、セメント安定処理では高炉セメント B種がよく使われることから、その銘柄の影響を調べた結果を図-4に示す。銘柄による温度差は、測定精度(約1°C以内)よりも小さく、銘柄の影響は小さかった。なお、温度差1°Cは、セメント0.2~0.3gに相当し、これはセメント量5gの場合、含有量として誤差4~6%に相当し、ここでの目標(誤差5%以内)をほぼ満足した。

図-5は、セメントの塩酸溶解熱を考察するため、各種材料(粉末)に6N塩酸を加えた際の上昇温度を測定した結果を示す。セメントの主成分がカルシウムであることから、酸化カルシウムCaOと水酸化カルシウムCa(OH)<sub>2</sub>について測定した結果、単位質量当りの上昇温度は、CaOで7.8°C/g、Ca(OH)<sub>2</sub>で5.2°C/gであった。両者の比 $5.2/7.8=0.67$ は、CaO/Ca(OH)<sub>2</sub>モル比 $=56/74=0.76$ よりも小さかった。このことは、単位質量当りの上昇温度が、カルシウムの酸化物から水酸化物への変化に伴って低減することを示唆し、セメントの粉末と水和物との上昇温度の差とも関連すると推察される。

また、セメントの上昇温度は、普通ポルトランドセメントで5.3°C/g、高炉セメント B種で4.6°C/g、特殊セメントで4.1°C/gであった。これらと上記CaOの上昇温度との比は、それぞれ $5.3/7.8=0.68$ 、 $4.6/7.8=0.59$ 、 $4.1/7.8=0.53$ になる。これらの比は、それぞれのセメントのCaO含有量約64%、約55%、約46%と近似した。従って、セメントの上昇温度は、セメントのカルシウム含有量と相関が高いと推察される。

なお、水と塩酸の比熱をそれぞれ1.0 cal/g、0.79 cal/g、石灰とセメントの比熱を0.2 cal/gとし、容器の熱容量を7 cal/°Cとして、6N塩酸添加に伴う発熱量(概略値)を算出した結果、CaOで約730 cal/g、Ca(OH)<sub>2</sub>で約490 cal/g、高炉セメント B種で約430 cal/gであった。

**3.1.3 土の含水比および経過時間の影響** セメント混合前の土の含水比と上昇温度の関係を図-6に示す。上昇温度は、含水比5%から10%ではほとんど変わらないが、含水比10%から20%では1~3°C減少した。このことは、含水比に伴って試料の熱容量が増大するためと考えられる。従って、本法では、含水比を適切なレベル

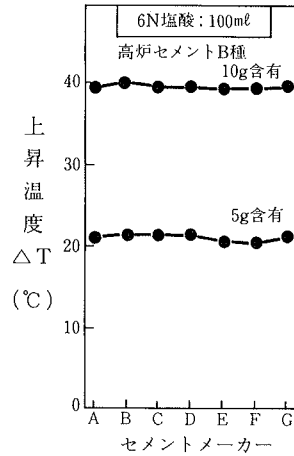


図-4 ドライ状ソイルセメントにおけるセメント銘柄の比較

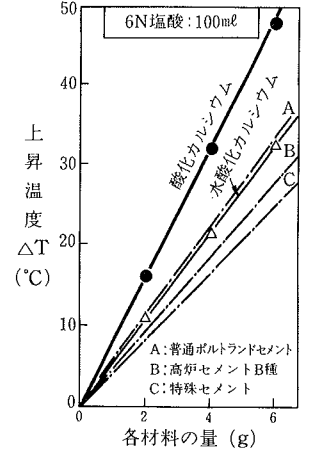


図-5 各種の石灰およびセメントの量と上昇温度の関係

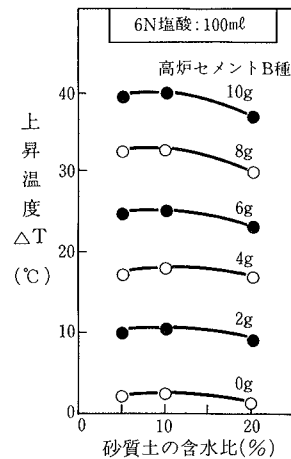


図-6 ドライ状ソイルセメントにおける土の含水比と上昇温度の関係

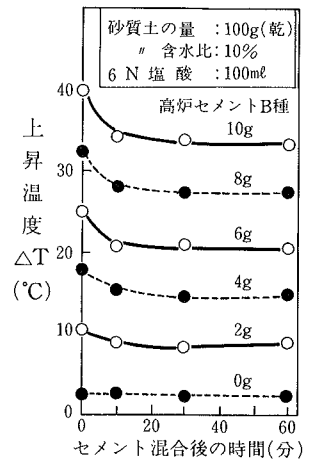


図-7 ドライ状ソイルセメントにおける経過時間と上昇温度の関係

で分割し、それぞれの検量線が必要である。

また、セメント混合後の経過時間と上昇温度の関係を図-7に示す。上昇温度は、0~10分で、セメント量が多いほど顕著に減少した。また、上昇温度は、10~60分の範囲でほぼ一定であった。従って、当試料の場合、セメント混合後10~60分間に試験することが適切である。但し、この時間は、土の含水比にも影響されるので、あらかじめ試験しておく必要がある。

**3.2 スラリー状ソイルセメントの場合**

**3.2.1 セメント量と上昇温度の関係** 2.2.1に述べた配合で作製したスラリー状ソイルセメントについて、各種セメントの量と塩酸添加による上昇温度の関係を図-8に示す。上昇温度は、各セメントとも、セメント量にほぼ比例して増大した。このことは、塩酸溶解熱法がスラリー状ソイルセメントに対しても基本的に適用可能であることを示唆する。

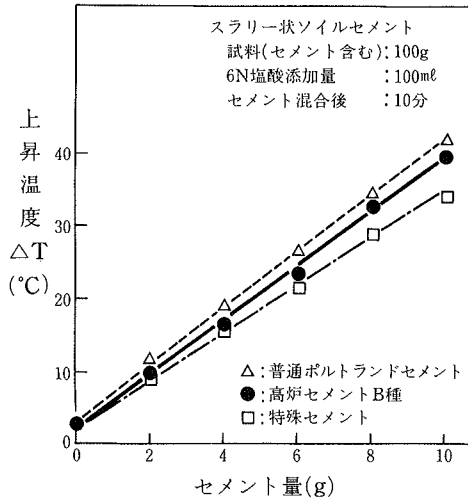


図-8 スラリー状ソイルセメントにおける各種セメントの量と上昇温度の関係

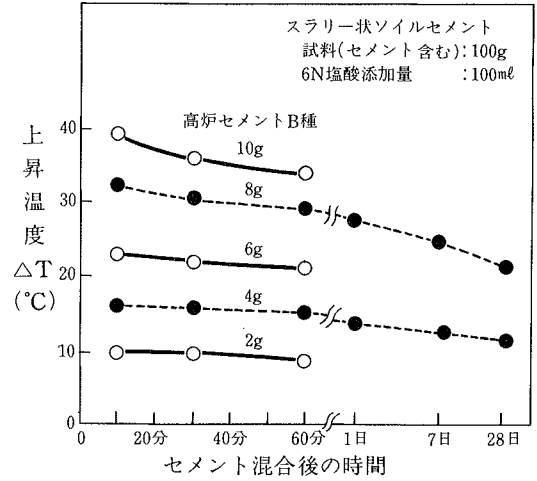


図-9 スラリー状ソイルセメントの経過時間と上昇温度の関係

3.2.2 経過時間の影響 高炉セメントB種を用いたスラリー状ソイルセメントについて、セメント混合後の経過時間と上昇温度の関係を図-9に示す。同図には、参考までに1~28日経過の結果も示す。上昇温度は、経過時間とともに減少した。従って、本法をスラリー状ソイルセメントに適用する場合、セメント混合後の経過時間を一定にすることに注意し、それと同じ条件の検量線が必要になる。なお、経過時間は、作業性などから30分を標準とするのが良いと考えられる。

### 3.3 セメント含有量試験方法

以上の結果をもとに作成したソイルセメントのセメント含有量試験方法を図-10に示す。本法を大規模ソイルセメント海面埋立て工事のミキサー混合性能調査に適用した。その結果、本法は、目標とした±5%の精度を有し、簡易迅速試験法として満足できる方法であった。

## 4. まとめ

混合後間もないソイルセメントのセメント含有量試験に塩酸溶解熱法を検討し、下記の知見を得て、本法が簡易迅速試験法として有用なことを明らかにした。

① ドライ状ソイルセメントでは、塩酸添加による上昇温度は、セメント量と高い相関を示し、セメントの種類、塩酸濃度にも影響された。塩酸濃度は、6Nが適切であった。また、上昇温度は、含水比、セメント混合後の時間が大きく異なる場合、これらにも影響され、このことを考慮した検量線を用いる必要がある。

② スラリー状ソイルセメントでも、上記と同様の現象が認められ、本法を基本的に適用できることが明らかになった。但し、この場合、セメント混合後の時間の影響がより一層大きいことを考慮する必要がある。

### 参考文献

1) 喜田, 久保, 漆原, 増田: アクアソイル工法に関する研究(その1) アクアソイルの性状と現場施工例, 大林組技術

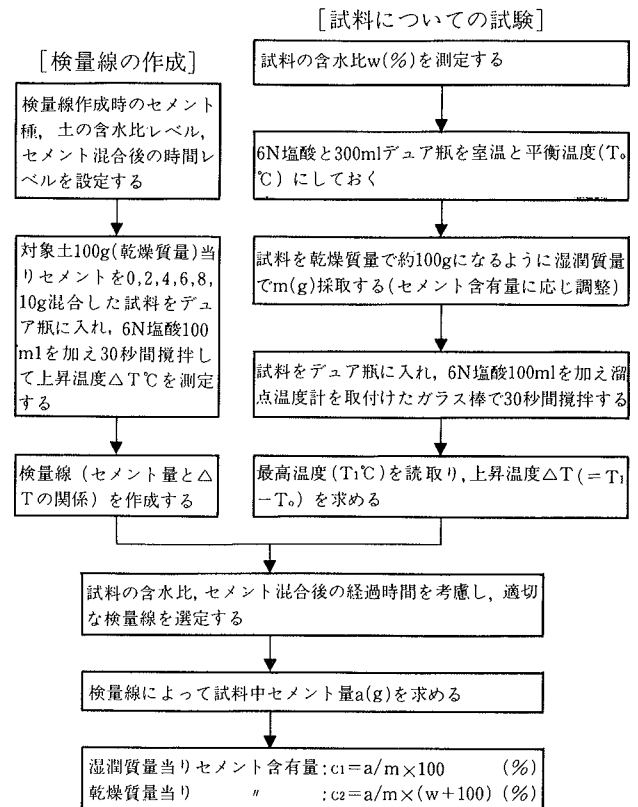


図-10 試験方法の概要

研究所報, No. 34, p. 47~51, (1987)

2) 善: 液状化対策としての事前混合処理工法の開発, 土と基礎, Vol. 38, No. 6, p. 27~32, (1990)  
 3) 神田: まだ固まらないコンクリートの水セメント比の測定方法, 土木学会論文報告集, No. 193, p. 115~123, (1971)  
 4) 喜田, 斎藤: まだ固まらないコンクリートの品質判定法に関する研究(その1), 大林組技術研究所報, No. 15, p. 98~102, (1977)