

大村湾海成粘土のセメント固化反応に関する微視的観察

長崎大学工学部

正会員 後藤恵之輔

正会員 山中 稔

同上

学生員○富永 恵介

学生員 張 寶山

長崎県工業技術センター

田中 稔

1. はじめに

長崎県大村湾に堆積する海成粘土と、同県内に位置する雲仙・普賢岳の火山性土石流堆積物の有効利用を目的として、これまでに著者は、両者混合物のセメント固化実験を行い、海中構造物への適用性を検討してきた。その結果として、大村湾内の実海域において実海域養生固化実験を実施したところ、同じ配合条件で作成した供試体にも係わらず、夏期(8月)に配合し養生したものと、冬期(11月)に配合し養生したものとでは、一軸圧縮強さにおいて夏期養生の方が、約2倍大きな強度を示した¹⁾。本研究では、この固化強度の違いが何に起因するかを検討するために、①フミン酸含有量、②養生温度の違いに着目して実験を行った。また、養生温度の違いによるセメント固化反応の相違を確認するために、走査型電子顕微鏡(SEM)により固化体の表面観察を行った。

2. 試料及び物理試験結果

固化実験に使用した海成粘土及び土石流堆積物は、日本統一分類法により、それぞれCH(高液性限界の粘土)、SG-V(火山灰質土まじり礫質砂)に分類される。

表-1に、海成粘土の物理試験結果を示す。海底面に堆積し軟弱ではあるが、一般的なヘドロより含水比は小さい値を示している。

3. フミン酸含有量の測定

フミン酸含有量と一軸圧縮強さとは、負の相関関係があると言われている²⁾。今回の測定に用いた海成粘土試料のフミン酸含有量が、試料採取から練混作業までの期間が異なることから変化していることが懸念されたために、後述する各養生温度毎の海成粘土試料のフミン酸含有量を測定した。測定の結果、どの試料もフミン酸含有量は0.4%程度と等しい結果が得られた。また、この程度の差では固化強度の低下にはほとんど影響が無い²⁾と考えられる。

4. 固化強度に及ぼす養生温度の影響

1) 実験方法

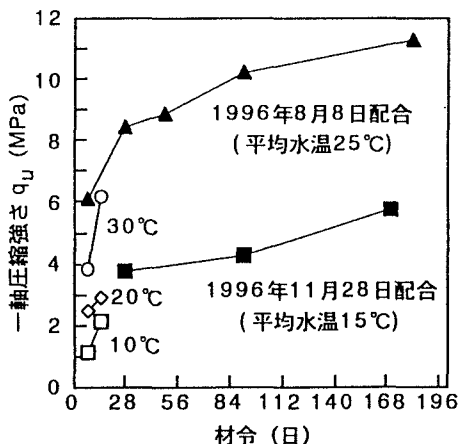
表-2に、配合条件を示す。土石流堆積物、海成粘土及び固化材を二軸ミキサーで十分に混合した後、直径10cm、高さ20cmのプラスチック製のモールドに入れ、バイブレーターにより、振動を加えながら気泡を十分に除去して成型を行った。供試体の養生方法は、成型から1週間まで10℃、20℃、30℃一定の環境養生で、その後1週間は環境養生時と同じ水温での水浸養生(水道水)とした。供試体本数は1条件3本とした。

表-1 海成粘土の物理試験結果

飽和単位堆積重量	γ_{sat} (gf/cm ³)	1.39
土粒子密度	ρ_s (g/cm ³)	2.75
自然含水比	w (%)	120.3
pH		7.5
液性限界	w _L (%)	51.5
塑性限界	w _P (%)	27.1
塑性指数	I _p	24.4

表-2 供試体配合条件

固化材	普通ポルトランドセメント
配合比 (重量比)	堆積物:ヘドロ:固化材 =60:25:15
水セメント比	W/C=2.17
堆積物 (重量比)	粒径16~4mm:40% 粒径4mm以下:60%

図-1 一軸圧縮強さ q_u と材令の関係

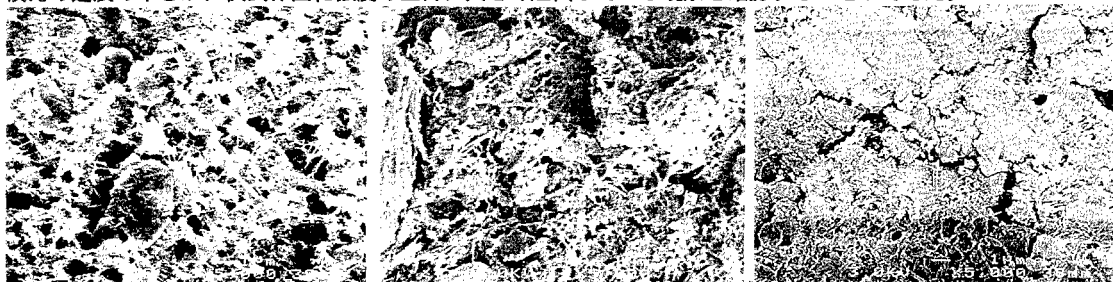
2) 結果及び考察

図一に、養生温度10℃、20℃、30℃における一軸圧縮強さ q_u と材令(7日、14日)との関係を示す。養生温度が高くなるにしたがい、強度 q_u は上昇していることが分かる。特に材令14日で比較すれば、養生温度30℃の q_u は、20℃のそれより約2.1倍も大きい値を呈している。また同図には、同じ配合条件で作成した供試体にも係わらず、養生時期により固化強度が大きく異なる結果となった実海域養生実験の結果('96.8.8配合及び'96.11.28配合時の q_u)¹⁾を併記しているが、実海域の水温を考慮して比較すれば、室内での20℃養生の q_u が若干低い傾向にはあるが、室内養生実験と実海域養生実験での固化強度の結果がほぼ良く一致していることが分かる。このことから、養生温度の違いが固化強度に大きく影響したものと考えられる。

5. 顕微鏡観察

養生温度と固化強度は正の相関があることが、前述のように明らかとなったが、これを確認するために走査型電子顕微鏡(SEM)を用いて固化体の観察を行った。固化材として用いた普通ポルトランドセメントは、水和反応により凝結・硬化し、その際さまざまな水和生成物が生成されるが、反応が進むにつれエトリンガイト結晶(針状結晶)からモノサルフェート水和物(六角板状)へ転化することが知られている³⁾。そこで今回の電子顕微鏡撮影では、主にエトリンガイト結晶からモノサルフェート水和物への転化に注目して、養生温度と固化反応の関係について検討を行った。

写真一(a)~(c)に、各温度で7日間環境養生後における固化供試体表面の電子顕微鏡写真を示す。写真一(a)では、長さ1ミクロンほどのエトリンガイト結晶の生成が確認できる。養生温度が20℃である写真一(b)では、エトリンガイト結晶が2ミクロンほどに成長し、水和反応が進んでいることが分かる。さらに、養生温度が30℃と最も高い写真一(c)においては、すでにエトリンガイト結晶がモノサルフェート水和物へ転化し始めており、写真一(a)及び写真一(b)と比較すれば、明らかに間隙が水和物で密に詰まっていることが分かる。すなわち、養生温度が上昇するにしたがい、エトリンガイト結晶の数が多くなるとともに結晶が長くなり、さらにモノサルフェート水和物への転化も早くなる傾向にあることが分かった。したがって、養生温度の上昇による固化反応の進展の早さが、供試体固化強度の上昇に大きく起因している現象を確認することができた。



(a) 養生温度10℃

(b) 養生温度20℃

(c) 養生温度30℃

写真一 固化供試体表面の電子顕微鏡写真

(いずれも7日養生後、倍率：5000倍、スケール：1μm)

6. まとめ

以上の結果から、海成粘土と土石流堆積物をセメントにより固化した場合、固化強度は養生温度に大きく影響を受けることが、室内固化実験及び電子顕微鏡観察の結果から、明らかとなった。また、実験に用いた海成粘土試料のフミン酸含有量は少なかったことから、固化強度にはほとんど影響を与えなかったものと判断できた。

参考文献

- 1) 山中・後藤・平井他；固化処理した大村湾海成粘土の実海域養生実験，平成8年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集，Ⅲ- 59，pp.484-485，1997.3
- 2) 久楽・三木・岡田；土中のフミン酸が土質改良効果に及ぼす影響，土木技術資料，Vol.26，No.8，pp.405-410，1984.
- 3) 無機マテリアル学会編；セメント・セッコウ・石灰ハンドブック，pp.190-203，1995.