

## ベントナイト系泥水の固化利用に関する研究

Study on Solidification and Utilization of Bentnite Slurry

三木 五三郎\*・龍岡 文夫\*\*・上地 治実\*\*

Gosaburo MIKI, Fumio TATSUOKA and Harumi UECHI

泥水掘削工法などにおける使用済みベントナイト系泥水の固化処理および、再利用について、省資源、廃棄物利用という観点から次のような実験を行った。まず、製鉄所から廃棄されるスラグを固化材として用いて泥水を固化する。この場合、スラグに対するアルカリ刺激剤とその有効性を調べる。固化処理上の土木材料としての利用法を考える。この事をふまえて3年間研究した結果次の事がわかった。固化材としてスラグを用いた場合は、普通ポルトランドセメントを用いた場合より少量で、安定した高い強度の固化処理が出来る。スラグに対するアルカリ刺激剤は、石灰と水ガラスを同時に添加した方が有効である。泥水に可塑性ゲル(本文参照)を与える事により、水に希釈されず、限定注入が可能で裏込め材に最適なグラウトとして利用できる。

## 1. ま え が き

近年、泥水シールド工法や連続地中壁工法などの泥水掘削工法では、ベントナイトを安定液として用いている。そして掘削後のベントナイト廃泥水の処理方法として、脱水処理や固化処理が行われている。このようなベントナイト泥水の固化材としては、通常、普通ポルトランドセメントが用いられているが、本研究では、普通ポルトランドセメントのかわりに、製鉄所から廃棄される水砕スラグを固化材として用いることにより、経済的で安定した処理を行おうとするものである。また、これらのベントナイト泥水等に、可塑性ゲル(自重による流動はないが加圧すれば容易に流動する)という性質を与えてそのままの状態に注入するこれまでにない新しい注入工法を開発した。可塑性ゲルグラウトは、地下水に希釈されにくく、限定注入が可能で、しかも早期に地山程度の強度が得られやすい等、裏込め材として要求される性質をすべてかねそなえたグラウトであり、ベントナイト泥水等の廃泥水を再利用しようとするものである。

## 2. スラグを固化材として用いた場合の固化処理について

## 2-1 実験方法

表-1の配合でベントナイト泥水を作成し、A, B, C, Dの各泥水に対して固化実験を行った。なお、CMCは添加剤として用い、テフローは分散材として用いた。また、スラグに対するアルカリ刺激剤として、苛性ソーダ、水ガラス(JIS 3号品)、普通ポルトランドセメント、

\* 東京大学名誉教授

\*\* 東京大学生産技術研究所 第5部

表-1 泥水名と配合

泥水名	配	合
A	ベントナイト5%	
B	"	+CMC 0.1%
C	"	+テフロー 0.15%
D	"	+CMC+テフロー

消石灰微粉末を用いた。以下に実験手順を記す。

i). ミキサーに水、ベントナイト、テフロー、CMCの順に表-1の割合で混合(10分間)し、24時間放置して膨潤させる。ii). i)で用意した泥水に、表-2に示した量のスラグとアルカリ刺激剤を添加し、それを容量750ccの直方体のスチール容器に移し、密閉養生する。iii). ii)で作られた試料についてペネトロメータにより、材令3日、5日、7日、21日の強度をとる。iv). iii)の結果をもとに固化効果の高いアルカリ刺激剤を用いて、径5cm、高さ10cmの円柱型モールドに供試体を打ち込み、24時間後に脱型して、水温を一定に保った水槽で養生し、養生日数と、一軸圧縮強度の関係を調べる。

## 2-2 実験結果および考察

## A) 各種アルカリ刺激剤添加による固化効果

各種アルカリ刺激剤を添加した時の配合と固化形状を表-2に示す。その結果より次のことがわかった。

i) 水ガラスを刺激剤として単独で用いても固化はみられない。ii) 添加剤を単独で使用する場合、数日で強度を得る事は期待出来ない。iii) テフローやCMCが加わると、固化効果が低下する。iv) 水ガラスと石灰を同時に添加すると固化効果が顕著である。

## B) アルカリ刺激剤として石灰と水とガラスを同時に

添加した場合の固化効果について

縦軸に一軸圧縮強度、横軸に石灰の添加量を取り、スラグ量  $100 \text{ kg/m}^3$ ,  $150 \text{ kg/m}^3$ ,  $200 \text{ kg/m}^3$  のそれぞれの場合に、水ガラスの  $\text{m}^3$  当たり添加量を 0.5%, 1.0%, 1.5%, 2.0% と変えたときの関係を図-1 に示す。その結果より、石灰/水ガラス比 =  $K$  とおくと、i)  $K = 1.5 \sim 2.0$  付近で初期強度が高く出ている。ii) スラグの量が多くなる程、強度のピークが高い。iii) 水ガラスが 0.5% ~ 2.0% の範囲については、 $K$  が一定であれば、

表-2 配合と固化状況

泥水名	アルカリ刺激剤	材 令			記 号
		3日	7日	21日	
A	イ	■	■	■	■ 流動状 □ 流流動しない程度 ▲ 若干の固化 △ 羊かん状 ● 1 kgf/cm <sup>2</sup> 程度 ⊙ 2~4 kgf/cm <sup>2</sup> 程度 ⊗ 5 kgf/cm <sup>2</sup> 程度
	ロ	■	▲	▲	
	ハ	□	△	⊙	
	ニ	▲	●	⊗	
B	イ	■	■	■	イ. 水ガラス ロ. 苛性ソーダ 0.5% ハ. 消石灰 3% ニ. セメント 3% ホ. イナハ(本固化法) (スラグ量 $200 \text{ kg/m}^3$ )
	ロ	■	□	□	
	ハ	■	□	△	
	ニ	□	△	⊙	
C	イ	■	■	■	
	ロ	■	■	□	
	ハ	■	■	△	
	ニ	□	△	⊙	
D	イ	■	■	■	
	ロ	■	■	□	
	ハ	■	■	□	
	ニ	■	▲	△	
	ホ	●	⊙	⊗	

材令 3日  
 ○ 水砕スラグ  $200 \text{ kg/m}^3$   
 □ " 150  
 △ " 100

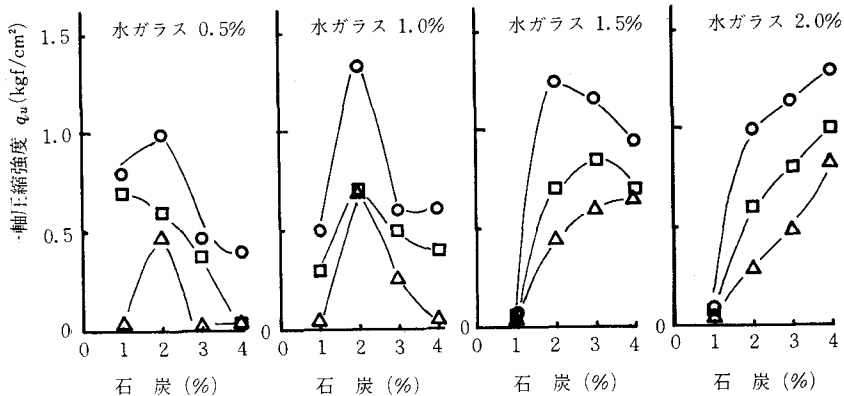


図-1 アルカリ刺激剤添加量と固化強度

スラグ量の違いによる強度差はあるが、水がガラスの濃度変化はあまりみられない。

C) 固化材として、普通ポルトランドセメントを用いた場合

スラグのかわりにセメントを固化材として用いた場合、打ち込み後24時間後の脱型が固難であったので、48時間後に脱型して水中養生を行い、材令5日で比較を行った。この場合のアルカリ刺激剤は、石灰と水ガラスを用い、水ガラス添加率が1%~4%の範囲で、 $K = 1.5 \sim 3.0$  に調整し、一軸圧縮試験を行った。その結果、セメントを固化材として用いた時、 $200 \text{ kg/m}^3$  で  $q_u = 0.3 \text{ kgf/cm}^2$ ,  $300 \text{ kg/m}^3$  で  $q_u = 0.7 \text{ kgf/cm}^2$  となり、これは、スラグの場合に比べて、およそ1/4と1/7にそれぞれ相当する。以上の事より、一般に、スラグは、水ガラスおよび苛性ソーダ、セメント、消石灰のいずれのアルカリ刺激剤のもとでも、潜在水硬性反応を起こし、早朝に硬化する。しかし、これにベントナイト泥水が存在すると、必ずしも硬化するとは限らない。また、泥水中に有機物(フミン酸等)が含まれると固化効果は低下するが、水ガラスと石灰を一定の割合で組み合わせた刺激剤を使用すれば、スラグは顕著に潜在水硬性反応を示して早期に固化すると思われる。

3. ベントナイト系泥水に可塑性ゲルを与えて再利用する方法について

3-1 実験方法

現場廃泥水は、ベントナイトのみならずかなりの粘土分を含んでいると予想される。そこで本実験においては試料土として、ベントナイト(メッシュ200)、海成粘土( $W_L = 120\%$ ,  $W_P = 49\%$ ,  $I_P = 71\%$ )でそれぞれ泥水を作成した。固化材として、普通ポルトランドセメント、セラメント200、セラメント400、セラメント600、セラ

表-3 スラグ置換率表

試料名	W/C (100%)		記号		
	セメント	スラグ	A	B	C
CEMENT	100	0	○	—○—	●
CELA-2	80	20	△	—△—	▲
CELA-4	60	40	□	—□—	■
CELA-6	40	60	◇	—◇—	◆
CELA-8	20	80	▽	—▽—	▼

表-4 配合表

配合名	A 液					B
	W/C (kg)	B (kg)	C (kg)	W (l)	W/WC	
BM-3	900	—	—	686	0.76	3
BX-5	150	70	—	875	5.83	5
BY-3	200	70	—	880	4.40	3
BY-4	200	70	—	870	4.35	4
BY-5	200	70	—	860	4.30	5
BZ-5	250	70	—	845	3.38	5
CX-0	150	—	300	769	5.88	—
CX-5	150	—	300	719	5.54	5
CY-0	200	—	300	753	4.32	—
CY-3	200	—	300	723	4.18	3
CY-5	200	—	300	703	4.08	5
CZ-0	250	—	300	737	3.40	—
CZ-5	250	—	300	687	3.20	5

W/C: セメント (またはセメント+スラグ量)  
 B: ベントナイト量 C: 粘土量  
 W: 水量 Ag: 水ガラス添加率

メント 800, 可塑剤として水ガラス (JIS 3号品) を用意した。表-3 は, 固結材中のスラグの置換率を示し, それぞれに対して表-4 に示す配合で供試体を作成し, 一軸圧縮試験を行った。

3-2 実験結果

表-4 に示すそれぞれの配合において, B液 (可塑剤) を 3% ~ 6% 添加することによってベントナイト泥水や粘土泥水に対して可塑性ゲルを与える事が出来た。また, その固化強度については, 図-2 ~ 4 に, 材令と一軸圧縮強度の関係を示す。図-2 は, 表-4 に示した CY-0 の配合の場合である。これによると, 粘土泥水の固化には, セラメント 800 が最も有効であり, セラメントを用いた場合においては,  $q_u$ -養生日数曲線の傾きは小さく, 長期においても, その伸びは, 大きな期待は出来ない。また, 全体的に固化材の中にスラグが含まれている方が, セメント単独で用いるよりも固化効果がある。図

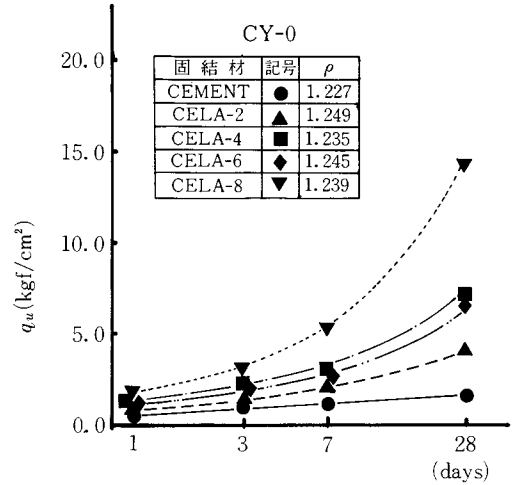


図-2 粘土泥水の固化強度

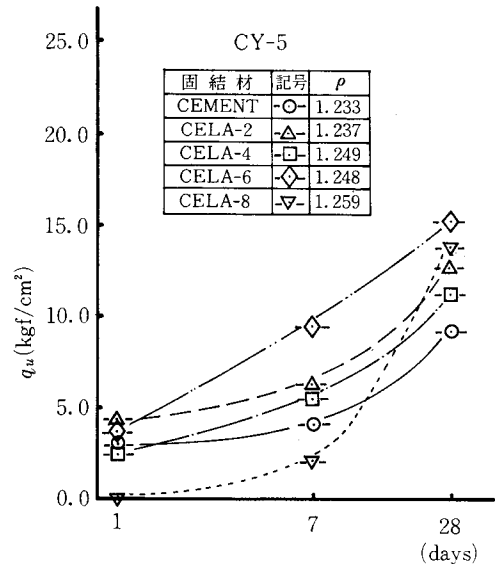


図-3 可塑剤を添加した場合の粘土泥水の固化強度

一3 は表-4 の CY-5 配合の供試体における一軸圧縮試験結果を示す。これは, CY-0 の配合に, 可塑剤を添加して, 可塑性ゲルを与えた場合の結果である。この場合のゲルタイムは, 2秒 ~ 30秒程度であり, スラグの置換率が大きいほど, ゲルタイムは遅延され, ゲル強度も弱い。CY-0 に比べて, CY-5 の配合が 2 ~ 3 倍の固化強度が得られた。これは, 可塑剤と, セラメントに含まれる石灰分が共に, スラグに対してアルカリ刺激剤として反応するためと考えられる。また, セラメント 800 に関しては, セラメント分が少ないため, 石灰 / 水ガラス比すなわち,  $K$  が 1.5 ~ 2 の範囲からずれたためと考えられる。図-4 は, 表-4 の BY-5 の配合についての結果である。この図より, セラメント 400, セラメント 600 を用いた供試体の各材令における強度は高く, 安定して

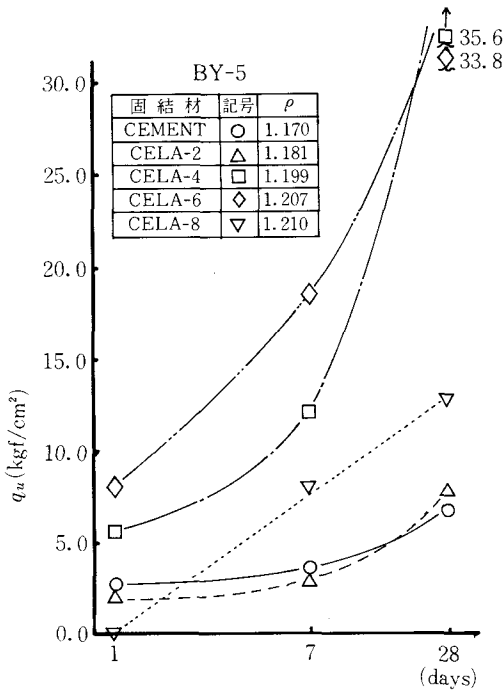


図-4 ベントナイト泥水の固化強度

いる。また、残りのものについても、安定した増加傾向がみられる。以上の事より、スラグを用いた泥水の固化に関しては、スラグとセメントおよび水ガラス等のアルカリ刺激剤との比が、初期強度においては大きな影響を及ぼす事がわかったが、残念ながら今回はその最適配合

をつかむにいたらなかった。また、可塑性ゲルに関しては、可塑性剤（水ガラス）の添加量が少ないほどゲルタイムは速くなるがゲル強度は弱くなる。そして、ゲル化しているため、水に希釈されず、水ガラスと石灰の刺激によって、スラグが潜在水硬性反応を示して、早期的にも、長期的にも、安定した高い強度が得られる。それにもっと注目すべき事は、廃泥水をグラウトとして再利用できるということにある。

#### 4. 結 論

- i) ベントナイト泥水の固化において、スラグを固化材として使い、スラグに対する刺激剤として、石灰と水ガラスを一定の割合で添加する事が有効である。
- ii) 刺激剤である石灰と水ガラスの比  $K = \text{石灰} / \text{水ガラス}$  の最適値は 1.5 ~ 2.0 である。
- iii) 固化材としてスラグを用いた場合、セメントを用いた場合に比べて、少量で安定した高い強度が得られる。
- iv) 泥水と固化剤を混合した液に、水ガラスを 3 ~ 6 % 添加する事により簡単に可塑性ゲルを作ることができる。
- v) 廃泥水に可塑性ゲルを与える事により、水に希釈されず、材料分離のないグラウトとして再利用できる。
- vi) 可塑性ゲル強度は、ポンプ圧送が可能な範囲にあり、グラウトとして充分施工可能である。

(1981年3月16日受理)

