

自硬性安定材の固化体の動的強度・変形特性

山口大学工学部	正会員	○山本	哲朗
山口大学大学院	学生会員	伊達	明彦
山口大学大学院	学生会員	松下	英次
山口大学大学院	学生会員	梶川	美緒
ライト工業(株)	正会員	半田	斌

1. まえがき 沈埋工法の一つにベントナイト安定液を供給しつつ地盤掘削を行い、埋設管を固定させた後、安定液中にセメントを添加する工法がある。本研究ではこの自硬性安定液の固化体の動的強度・変形特性を実験的に調べた結果を述べる。

2. 安定液作製方法 表-1 に安定液の作製に用いられたベントナイトの物理定数を示す。ベントナイト安定液である固化スラリーは、以下の方法で作製した。まず、水 10ℓに対してベントナイト 750 g を添加し、攪拌後 1 日放置させた安定液を作製した。この安定液に、水 6.72ℓとセメント（高炉セメント B 種）10 kg を攪拌したセメントスラリー、急硬材（ソーダ灰）200 g を加え、養生させたものを固化体とした。

3. 実験結果および考察 管の周囲を覆う固化体自体について繰返し三軸試験をはじめとする各種の要素実験を行い、それらの結果から固化体の強度・変形特性を調べた。

表-2 は一軸圧縮試験から得られた一軸圧縮強度  $q_u$  と破壊時の圧縮ひずみ  $\epsilon_f$  を示す。この表より材齢が大きくなるほど一軸圧縮強度が増加していることが分かる。 $\epsilon_f$  はいずれも 1% 程度であり、材齢による差異はほとんど見られない。

表-3 は静的三軸試験から得られた各供試体の粘着力  $c_{cu}$  と内部摩擦角  $\phi_{cu}$  を示す。この表から、材齢が 7-14 日にかけて粘着力が増加し、材齢 14-28 日にかけては内部摩擦角が増加していることが分かる。これは、高炉セメントの水和反応形態によるものと考えられる。高炉セメントの水和には、セメントクリンカーの水和とスラグの水和の 2 種類あり、スラグの水和は前者の水和で生成される  $Ca(OH)_2$  との反応であり、この反応は速度が遅く、初期には強度の上であまり現れない。そのため、材齢 7-14 日では前者の水和による強度のみが発現し、材齢 14-28 日ではスラグの潜在水硬性が発揮され、さらに強度が発揮したものと考えられる。その結果、上述のように粘着力および内部摩擦角の増加といった形で強度増加が現れたものと思われる。

表-1 ベントナイトの物理定数

		Bentonite
Specific gravity	$G_s$	2.576
Uniformity coefficient	$U_c$	—
Average grain size	$D_{50}$ (mm)	—
Maximum grain size	$D_{max}$ (mm)	0.075
Liquid limit	$w_L$ (%)	432.7
Plastic limit	$w_P$ (%)	65.4
Plasticity index	$I_P$	367.3
Clay content	$F_{clay}$ (%)	83.9
Fines contents	$FC$ (%)	100

表-2 一軸圧縮強度

Curing time (day)	7	14	28
$q_u$ (kPa)	100.3	264.3	563.9
$\epsilon_f$ (%)	0.95	1.06	0.93

表-3 静的三軸強度定数

Curing time (day)	7	14	28
$c_{cu}$ (kPa)	60.8	92.1	92.1
$\phi_{cu}$ (deg.)	20.7	19.6	40.6

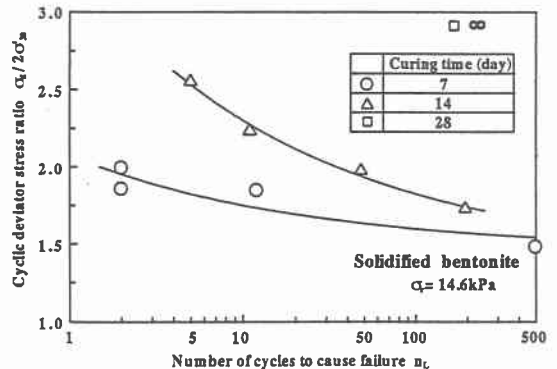


図-1 繰返しせん断強度曲線



写真-1(a) 材齢7日

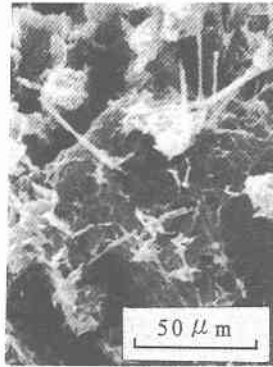


写真-1(b) 材齢14日



写真-1(c) 材齢28日

図-1は繰返し三軸試験より得られた繰返しせん断強度曲線を表す。この図から、材齢が増加するにつれて強度が増加していることが分かる。また、材齢28日の供試体(□印)は破壊を生じていない。いずれの供試体もn=20での応力比(繰返しせん断強度)が1.7以上での破壊を生じており、豊浦標準砂のそれは0.2程度であることから見ても固化体自体は十分な耐震性を持っていると判断することができる。

図-2は固化体の $G/G_0$ と $\gamma$ の曲線をn=10の場合について示す。この図からせん断ひずみの増加に伴うせん断弾性係数比の減少の割合は、材齢によらずほぼ同一の曲線を示している。なお、 $\gamma=10^{-6}$ での $G_0$ は養生日数=7、14、28日の供試体の場合、それぞれ12.72、14.66、17.24MPaである。

図-3は固化体の減衰定数とせん断ひずみの曲線をn=10の場合について示す。図からせん断ひずみが大きくなるにつれて減衰定数が増加することが分かる。その増加は、材齢の違いによって差異はほとんどない。

走査型電子顕微鏡(SEM)を用いて、固化体供試体の土粒子構造や生成相を観察した。供試体は、養生日数が7、14、28日の固化体を粉碎したものであり、それぞれの場合を写真-1(a)、(b)、(c)に示す。これらの写真から、材齢14、28日の供試体表面には高炉セメントの水和生成物として、針状のエトリンガイト( $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O$ )が観察される。エトリンガイトが生成すると、土粒子構造が密になり、凝結、硬化が促進される。このため、材齢が大きくなるほど静的・動的圧縮強度が増加したものと考えられる。

4. まとめ ベントナイト安定液固化体は非常に大きな繰返しせん断強度を有しており、地震時に固化体そのものが破壊する可能性はきわめて低く、耐震性は充分であることが明らかになった。

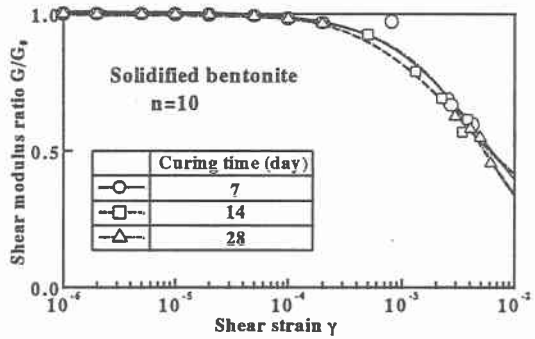


図-2 せん断剛性とせん断ひずみの関係

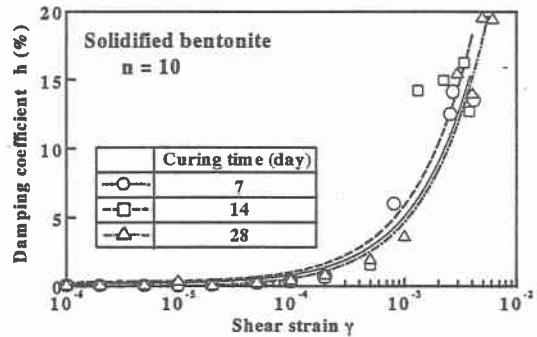


図-3 減衰定数とせん断ひずみの関係