



I S S N 0386-5878

土木研究所資料第3595号

土 木 研 究 所 資 料

セメントベントナイト(CB)グラウトに関する 基礎的実験

平成10年 9 月

建設省土木研究所
ダム部フィルダム研究室

Copyright © (1998) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W.R.I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

セメントベントナイト(CB)グラウトに関する 基礎的実験

フィルダム研究室 室 長 吉田 等
主任研究員 山口 嘉一
研 究 員 佐藤 弘行
交流研究員 石川 浩行^{*)}
交流研究員 阿部 義宏^{**)}

要 旨

ダム基礎グラウチングにおいては、セメントグラウトの安定性を高めるためにベントナイトがしばしば添加される。しかし、電解質溶液中ではベントナイトの膨潤機能が抑制されるため、ベントナイトをセメント懸濁液と混合する前に十分に膨潤させておかなければならない。一般に、事前膨潤時間としては24時間が採用され、現場では事前膨潤専用の設備を設けなければならない。

本研究においては、ダム基礎グラウチングの合理化を目的に、事前膨潤時間、攪拌方法の違いや膨潤促進剤(SAM)の添加がセメントベントナイト(CB)グラウトの物性に与える影響について、室内試験により明らかにした。

キーワード：ダム基礎、グラウチング、セメントベントナイト(CB)グラウト、室内試験

^{*)} 交流研究員在職期間(平成8年10月1日から平成10年3月31日まで)

^{**)} 交流研究員在職期間(平成6年10月1日から平成8年3月31日まで)

ま え が き

ダム基礎グラウチングは、基礎岩盤内の割れ目などの空隙に注入材料を充填することにより、主として遮水性の改良を目的に実施される。注入材料には、その耐久性、経済性等を考慮してセメントを主材としたセメントグラウトが用いられる¹⁾。また、注入目的や注入対象岩盤性状に応じて、セメントグラウトの均質性、安定性、流動性を改善するためにベントナイトや分散剤などの添加剤が加えられる。

セメントグラウトの主たる添加剤の一つであるベントナイトは、数百万年から約 2 億年前の火山噴火による火山灰を起源とする堆積物が長年の地球化学的な変化を受けて生成した天然粘土で、粘土鉱物中最大の表面活性と膨潤性を有しているモンモリロナイトを主成分としている。そのため、ベントナイトをセメントグラウトに添加すると、ベントナイトがセメントグラウトの余剰水をその結晶層間内に取り込むことで膨潤してセメント粒子の沈降を抑制する²⁻⁵⁾ことにより、安定性に優れたセメントグラウトが形成される。このベントナイトを添加したセメントグラウトは、一般にセメントベントナイトグラウト (Cement-Bentonite Grout: CB グラウト) と呼ばれている。しかし、ベントナイトは、電解質溶液中ではその膨潤機能が著しく抑制される^{6,7)}。そのため、高濃度の電解質を含む懸濁液であるセメントグラウトにベントナイトを乾燥状態で直接混合すると、ベントナイトの膨潤機能が抑制され、結果として CB グラウトの均質性、安定性といった特徴が損なわれる。したがって、CB グラウトを製造する際には、セメントグラウトと混合する前にベントナイトを水中で十分膨潤 (以下、事前膨潤と呼ぶ) させてから混合するのが一般的である²⁻⁵⁾。事前膨潤時間としては 24 時間 (1 日) を採用する事例が多い。しかし、ベントナイトの特性 (種類)、事前膨潤時間あるいは攪拌方法の違いが CB グラウトの物性に与える影響については、明確な形で解明されていないのが現状である。

一方、平成 9 年 4 月には「公共工事コスト縮減に関する行動指針」が関係閣僚会議で決定され、これに連動して建設省は具体的な行動計画を策定した。この行動計画の中で、ダムにおける合理的なグラウチング技術の開発が重点課題の一つに挙げられている⁸⁾。CB グラウトの製造には、通常セメントグラウト作製用ミキシングプラントのほかに、ベントナイトを事前膨潤させるための設備が必要となる。これらの設備とは、ベントナイトをスラリー (懸濁液) 化するプラント、これを所定の時間膨潤させるための貯蔵タンク、さらにミキシングプラントまで輸送するためのポンプおよび配管などである。このため、CB グラウトを使用する際には、通常セメントグラウトに比べて、設備費や要員の増加といった問題が生じる。さらに、24 時間という長い事前膨潤時間のために、ベントナイトスラリーの貯蔵設備が大規模になる。これらの問題を、コスト縮減の観点から合理的に解決するためには、ベントナイトの種類、事前膨潤時間およびベントナイトスラリー作製時の攪拌方法の違いが CB グラウトの特性に与える影響を分析し、使用するベントナイトに応じた適切な事前膨潤時間および攪拌方法を決定する必要がある。また、最近、電解質溶液中でもベントナイトの膨潤性を高める膨潤促進剤 (Swelling Activation Material: SAM)⁷⁾が開発されており、これの CB グラウトへの適用性を検討する必要がある。つまり、SAM の添加により、セメントグラウト中においても十分なベントナイトの膨潤が確保できれば、ベントナイトを事前膨潤させるための設備を設ける必要がなくなり、結果としてグラウチングの合理化が達成されることとなる。

参考文献

- 1) 建設省河川局開発課監修：グラウチング技術指針・同解説、(財) 国土開発技術研究センター、89p.、1983年 11 月.
- 2) 坪井直道：薬液注入工法の実際、鹿島出版会、第 2 版、pp.58-66、1976 年 7 月.
- 3) Weaver, K.: *Dam Foundation Grouting*, ASCE, pp.32-33, 1991.
- 4) Houlsby, A. C.: *Construction and Design of Cement Grouting*, John Wiley & Sons, pp.66-67, 1990.
- 5) Deere, D. U.: Cement-bentonite grouting for dams, *Grouting in Geotechnical Engineering*, ASCE, pp.279-300, 1992.
- 6) Norrish, K. and Quirk, J. P.: Crystalline swelling of montmorillonite, Use of electrolytes to control swelling, *Nature*, Vol.173, No.4397, pp.255-256, 1954.
- 7) 高橋 聡、鳥山君彦、近藤三二、嘉門雅史：多膨潤性ベントナイトの開発、第 30 回土質工学研究発表会講演集、pp.187-190、1995 年 7 月.
- 8) 上阪恒雄：コスト縮減におけるダム事業の技術的課題、土木技術資料、Vol.39、No.10、pp.18-19、1997 年 10 月.

目 次

まえがき	i
参考文献	ii
目次	iii
1. 研究の目的	1
2. 試験方法	2
2.1 試験材料	2
2.2 試料の作製方法	6
2.2.1 試料の種類	6
2.2.2 試料の作製方法	7
2.3 試験方法	14
2.3.1 ブリージング率試験	14
2.3.2 ファンネル粘度試験	15
2.3.3 回転粘度計による粘度試験	17
2.3.4 一軸圧縮試験	19
2.3.5 透水試験	20
参考文献	23
3. 試料の試験配合と試験条件	24
3.1 試料の配合比	24
3.2 試験条件と試料の試験配合	25
参考文献	29
4. 試験結果	30
4.1 ベントナイトの事前膨潤時間を変化させた試験	30
4.2 攪拌方法を変化させた試験	74
4.3 膨潤促進剤を添加した試験	114
5. 考察	211
5.1 ベントナイトの事前膨潤時間を変化させた試験	211
5.2 攪拌方法を変化させた試験	224

5.3 膨潤促進剤を添加した試験.....	230
5.3.1 膨潤促進剤の種類による比較.....	230
5.3.2 ベントナイトの添加率による比較.....	240
5.3.3 ベントナイトの種類による比較.....	245
5.3.4 水比による比較.....	253
5.3.5 膨潤促進剤の効果.....	258
参考文献	259
6. 結論.....	260

1. 研究の目的

本研究の目的は、ダム基礎グラウチング合理化のための研究の一環として、以下の項目に着目してセメントベントナイトグラウト（Cement-Bentonite Grout : CB グラウト）の物性を室内試験により明らかにすることにある。

- (1) ベントナイトスラリーの事前膨潤時間の違いが CB グラウトの物性に与える影響
- (2) CB グラウト作製時の攪拌方法の違いが CB グラウトの物性に与える影響
- (3) 膨潤促進剤（Swelling Activation Material: SAM）の CB グラウトに対する効果の評価

2. 試 験 方 法

2.1 試験材料

CB グラウトの作製に使用した材料は、普通ポルトランドセメント、ベントナイト、溶媒（水）、膨潤促進剤である。各材料の物性を以下に示す。

(1) 普通ポルトランドセメント(C)

普通ポルトランドセメントは、表-2.1 に示すように、秩父小野田（株）製の JIS 規格（JIS R5210-1986）に適合したものを使用した。

表-2.1 普通ポルトランドセメントの物性

	JIS 規格	使用材料
比重	—	3.16
比表面積 (cm ² /g)	2500 以上	3300
凝結水量 (%)	—	27.4
始発 (h-min)	60min 以上	2h-24min
終結 (h-min)	10h 以下	3h-25min
安定性	良	良
圧縮強度 (N/mm ²) 1日	—	—
3日	6.86 以上	15.89
7日	14.71 以上	26.67
28日	29.42 以上	42.07
水和熱 7日	—	77.2
(cal/g) 28日	—	89.0
酸化マグネシウム (%)	5.0 以下	1.6
三酸化硫黄 (%)	3.0 以下	2.0
強熱減量 (%)	3.0 以下	1.7
全アルカリ (%)	0.75 以下	0.65
塩化物イオン (%)	0.02 以下	0.007

(2) ベントナイト(Bt)

ベントナイトは、粘土鉱物であるモンモリロナイトを主成分とし、水を吸収して膨潤する性質を持った粘土である。市販されているベントナイトは、鉱床産地やメッシュ番号（ベントナイトをふるい分けするとき使用される網ふるいの呼び寸法）で分類されている。一般的にメッシュ番号の大きいもの（細粒分含有率が高いもの）ほど膨潤度合いが大きくなると考えられており、実際に細粒分含有率はベントナイトの膨潤度合いに影響を与える。しかし、ベントナイトの膨潤度合いを決定する要因は、このほかにも鉱物組成や含有イオンの種類と量など、多岐にわたっている。したがって、ベントナイトの膨潤度合いを定量的に評価するには、これらすべての要因を含めて評価できるベントナイトの液性限界および膨潤力を指標に採用するのが適当であると考えられる。そこで、本試験では、ベントナイトの膨潤度合いがCBグラウトに与える影響についても検討するため、市販されているベントナイトから膨潤力および液性限界が異なる7種類を選択した。表-2.2に、使用したベントナイトの物性を示す。

表-2.2 ベントナイトの物性

銘柄 (記号)	浅間印 (As)	スパーグレイ (Sc)	赤城印 (Ak)	榛名印 (Hr)	穂高印 (Ht)	K (K)	G (G)
産地	群馬県	米国	群馬県	群馬県	群馬県	群馬県	群馬県
メーカー	豊順鉱業	豊順鉱業	豊順鉱業	豊順鉱業	豊順鉱業	豊順鉱業	豊順鉱業
呼称粒度 (メッシュ番号) *	300	250	250	200	300	※※	※※
含水比 (%)	9.8	9.3	6.4	6.0	5.4	5.6	11.9
嵩密度 (g/cm ³)	0.420	0.705	0.570	0.905	0.450	750	0.570
乾式フルイ残査(53 μm) (%)	6.3	43.2	7.5	18.2	7.2	42.7	34.7
湿式フルイ残査(44 μm) (%)	2.8	5.1	7.4	22.9	0.6	18.5	36.1
膨潤力 (ml/2g)	22.0	23.0	13.0	8.0	16.0	8.0	4.0
pH (2%)	10.23	10.02	10.44	10.41	10.36	9.99	5.72
導電率 (μS/cm, 2%)	505	381	612	522	591	270	85
1N-CH ₃ COONH ₄ による 浸出カチオン (meq/100g)							
Mg ²⁺	10.1	4.8	6.7	5.2	7.5	7.0	7.3
Ca ²⁺	82.0	27.0	114.7	115.2	77.7	97.5	23.0
Na ⁺	59.3	62.4	77.3	71.7	88.6	28.9	0.5
K ⁺	3.6	1.3	4.5	5.0	6.0	2.8	2.3
Total	155.0	95.5	203.2	197.1	179.8	136.2	33.1
陽イオン交換容量 (meq/100g)	70.1	64.8	73.1	75.5	89.0	38.7	28.0
メチレンブルー吸着量 (mmol/100g)	56	78	54	43	60	34	29
化学組成 (%)							
SiO ₂	70.80	67.4	67.31	67.60	68.35	65.44	68.71
TiO ₂	0.12	0.16	0.21	0.20	0.18	0.40	0.51
Al ₂ O ₃	13.05	17.25	14.77	13.60	14.49	12.77	12.51
Fe ₂ O ₃	1.97	3.64	2.16	2.13	2.17	3.68	4.38
MgO	1.91	1.73	1.78	1.58	1.99	1.67	1.22
CaO	2.49	1.36	2.22	3.28	2.09	3.24	1.03
Na ₂ O	1.64	1.75	2.73	2.54	2.20	1.32	0.78
K ₂ O	0.40	0.38	1.31	1.11	0.90	2.02	2.70
Ig loss	6.66	5.37	6.51	7.74	6.76	7.52	7.60
Total	99.04	99.04	99.01	99.78	99.13	98.06	99.44
粒度分布 (%, 通過質量百分率)							
5 μm	84.7	89.5	66.4	48.4	74.5	53.3	48.0
2 μm	73.6	82.9	58.0	43.0	64.9	39.7	33.5
1 μm	66.5	79.6	46.4	35.5	53.2	30.3	25.7
液性限界 (%)	481	576	292	241	343	142.6	72.1
塑性限界 (%)	55.0	61.0	49.3	36.9	49.3	35.2	32.7
鉱物組成 (X線回折) ※※※	M ₁ Q ₂ Cr ₇ Ca	M ₁ Q ₂ Cr	M ₁ Q ₂ Cr ₇ Ca, Cl ₁ I	M ₁ Q ₂ Cr ₇ Ca, Cl ₁ I	M ₁ Q ₂ Cr ₇ Ca, Cl ₁ I	M ₁ Q ₂ Cr ₇ Ca	M ₁ Q ₂ Cr

* 200 メッシュは 75 μm フルイ、250 メッシュは 63 μm フルイ、300 メッシュは 53 μm フルイに相当する。

※※ 試作品のため規格を設定していない。

※※※ M:モンモリロナイト、Q:クォーツ、Cr:クリストバライト、Ca:カルサイト、Cl:クリノプチロライト、I:イライト。

(3) 溶媒(水)

試料を作製する溶媒(水)の温度は、粘性などの試料の物性に影響を与えるため、水道水を 20℃に養生したものを使用した。

(4) 膨潤促進剤(SAM: Swelling Activation Material)

ベントナイトは、セメントと水を混合したセメントグラウトのような電解質溶液中では、その膨潤機能が著しく低下する。

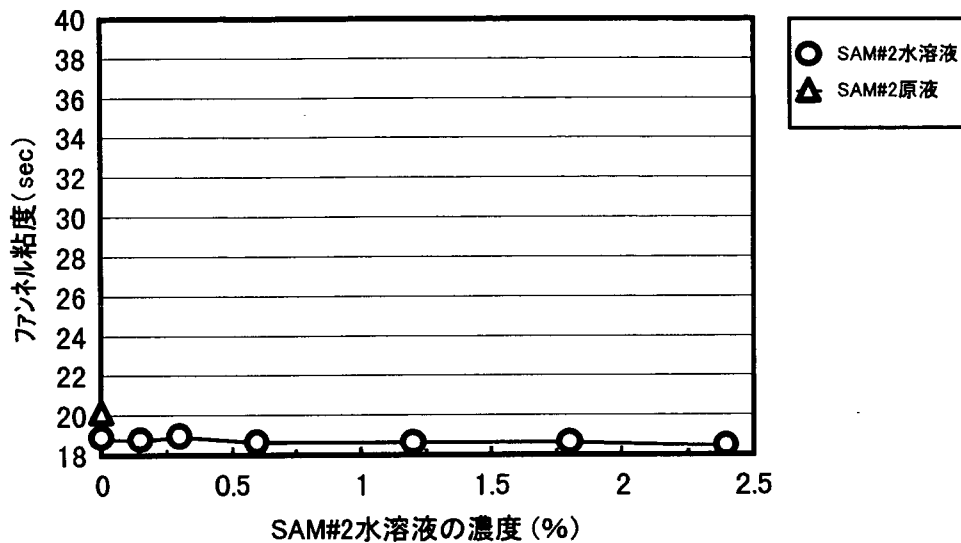
そこで、ダム基礎グラウチングで CB グラウトを作製するときは、ベントナイトを水中で事前膨潤させてからセメントグラウトと混合する方法をとっている。このとき、ベントナイトの事前膨潤時間は、24 時間とする例が多い²⁾。膨潤促進剤 (SAM : Swelling Activation Material、配合では S と略記) は、電解質溶液中でのベントナイトの膨潤機能を活性化させるために開発された物質 (低級ジオールの炭酸エステル的一种) である³⁾。SAM には、粉末状の SAM#1 と液体状の SAM#2 の 2 種類がある。この 2 種の SAM の物性は、表-2.3 に示すとおりである。このうち、試験で主に用いた SAM#2 の原液と水溶液の 20℃での粘度を表-2.4 に、SAM#2 水溶液の濃度に対するファンネル粘度および回転粘度計による 20℃での粘度を、それぞれ図-2.1(a)、(b)に示す。なお、水溶液の濃度は、3 章で示す CB グラウトの物性試験における SAM の添加率の設定に対応するものとした。図に示すように、SAM#2 水溶液の粘度は、本試験で設定した SAM の添加率の範囲では濃度に関係なくほぼ一定値を示すとともに、その粘度は水 (ファンネル粘度:18.4sec、回転粘度計による粘度:2mPa・s) よりも若干高い程度である。したがって、SAM#2 水溶液の粘度が CB グラウトの粘度に与える影響はかなり小さいと考える。

表-2.3 SAM の物性

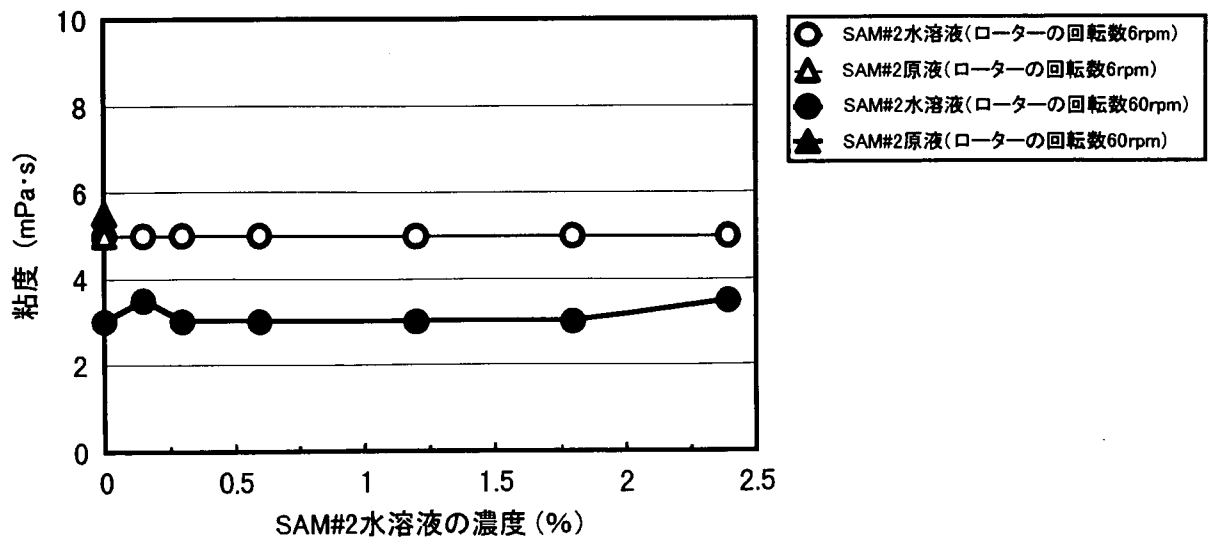
	SAM#1	SAM#2
純度 (%)	99 以上	99 以上
常温の状態	無色無臭の固体	無色無臭の液体
溶媒分類	非プロトン性高極性	非プロトン性高極性
液性	中性	中性
分子量	88	102
沸点 (°C)	238	242
融点 (°C)	36.5	-54.5
比重	1.321(40°C)	1.200
比誘電率	90.36(40°C)	64.95
双極子モーメント (D)	4.87	4.98
溶解性	水、アルコールに溶	水、アルコールに溶
毒性	無し	無し

表-2.4 SAM#2の原液と水溶液の粘度

SAM#2の混合量	SAM#2水溶液の濃度 (%)	ファンネル粘度 (sec)	粘度 (mPa·s)	
			ローターの回転数6rpm	ローターの回転数60rpm
S=100%	100	20.2	5.0	5.5
S/Bt=0%相当	0	18.9	5.0	3.0
S/Bt=6.25%相当	0.15	18.8	5.0	3.5
S/Bt=12.5%相当	0.3	19.0	5.0	3.0
S/Bt=25%相当	0.6	18.7	5.0	3.0
S/Bt=50%相当	1.2	18.6	5.0	3.0
S/Bt=75%相当	1.8	18.6	5.0	3.0
S/Bt=100%相当	2.4	18.5	5.0	3.5



(a) ファンネル粘度



(b) 粘度

図-2.1 SAM#2の原液と水溶液の粘度

2.2 試料の作製方法

2.2.1 試料の種類

試験は、SAM は添加せずベントナイトの事前膨潤時間を変化させた試験、SAM は添加せずに攪拌方法を変化させた試験、SAM を添加してその効果の評価を主目的とした試験の 3 種類に大別できる。試料の作製方法は、試験目的に応じたものを採用した。その詳細について、以下に説明する。

(1) ベントナイトの事前膨潤時間を変化させた試験

ベントナイトの事前膨潤時間が CB グラウトの物性に与える影響を評価するため、試料は SAM を添加せず、ベントナイトの事前膨潤時間を 0～72hr に変化させて作製した。

(2) 攪拌方法を変化させた試験

攪拌方法が CB グラウトの物性に与える影響を評価するため、SAM は添加せず、回転数の異なる 2 種類のミキサーを用いて試料を作製した。

ベントナイトと水の混合攪拌の際に、ハミルトンビーチミキサー（回転数 11000rpm）を用いた試料を「CB グラウト#1」、ディスパー（回転数 300rpm）を用いた試料を「CB グラウト#2」と記して区別する。

(3) 膨潤促進剤を添加した試験

試料は、SAM の CB グラウトに対する添加効果を評価することを主目的に、試験用試料と対照用試料の 2 種類を準備した。

試験用試料は、ベントナイトを事前膨潤しないで SAM を添加した CB グラウト（以下、「SAM 添加 CB」と記す）、対照用試料は、ダム基礎グラウチングで一般的に用いられているベントナイトを 24 時間事前膨潤させて SAM を添加せずに作製した CB グラウト（以下、「コントロール」と記す）とした。また、SAM 添加 CB のうち、SAM#1 を添加したものを「SAM#1 添加 CB」、SAM#2 を添加したものを「SAM#2 添加 CB」と記して区別する。

2.2.2 試料の作製方法

試料の作製には、回転数および攪拌容量の異なるハミルトンビーチミキサーとディスパーの 2 種類のミキサーを使用した。2 種類のミキサーの外観を写真-2.1 に、仕様を表-2.5 に示す。必要量は少ないが粘性が高いベントナイト溶液の作製には、ベントナイトが団粒化して不均質な試料にならないように、攪拌容量は小さいが回転数が高く攪拌効率の高いハミルトンビーチミキサーを用いた。ハミルトンビーチミキサーの容量ではその必要量が不足するセメントグラウトの作製およびセメントグラウトとベントナイト溶液の作製には、ディスパーを使用した。なお、ハミルトンビーチミキサーおよびディスパーを使用して作製した試料は、いずれも外観上均一に攪拌されていることを確認した。

表-2.5 使用したミキサーの仕様

ミキサー	容量※	回転数	製造元
ハミルトンビーチミキサー	600ml 以下	11,000rpm	Fann Instrument 製
ディスパー	3,000ml 以上	300rpm	浅田鉄工製

※ 本試験の試料の配合における使用可能な容量

(1) ベントナイトの事前膨潤時間を変化させた試験

ベントナイト（以下、記号 Bt と記す）の事前膨潤時間を変化させた試験の試料の作製フローを図-2.2 に示し、以下に作製方法を説明する。

【ベントナイト溶液の作製】

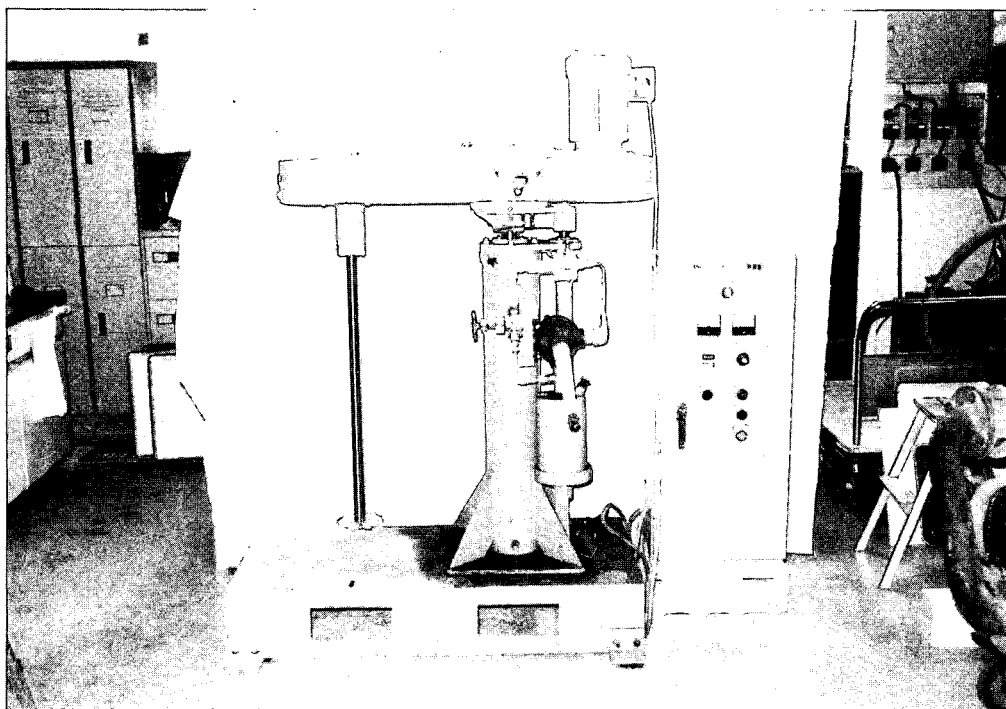
- ① 所定量の水とベントナイトをハミルトンビーチミキサーに加え 25 分間ミキシングし、ベントナイトを事前膨潤させるため所定時間（0～72hr）静置する。ただし、ベントナイトと水の混合比は現場での実績が多い 10%（重量比 W:Bt=10:1）とした。

【セメントグラウトの作製】

- ② ベントナイト溶液の静置が完了する時間（0～72hr）にあわせて、ディスパーに所定量のセメントと水を投入し、5 分間ミキシングする。

【ベントナイト溶液とセメントグラウトの混合】

- ③ セメントグラウトが入ったディスパーに、ベントナイトの事前膨潤が完了したベントナイト溶液を投入し、5 分間ミキシングする。ただし、ベントナイト溶液は、ディスパーに投入する直前にハミルトンビーチミキサーにより 1 分間ミキシングする。



(a) デイスパー



(b) ハミルトンビーチミキサー

写真-2.1 ミキサーの外観

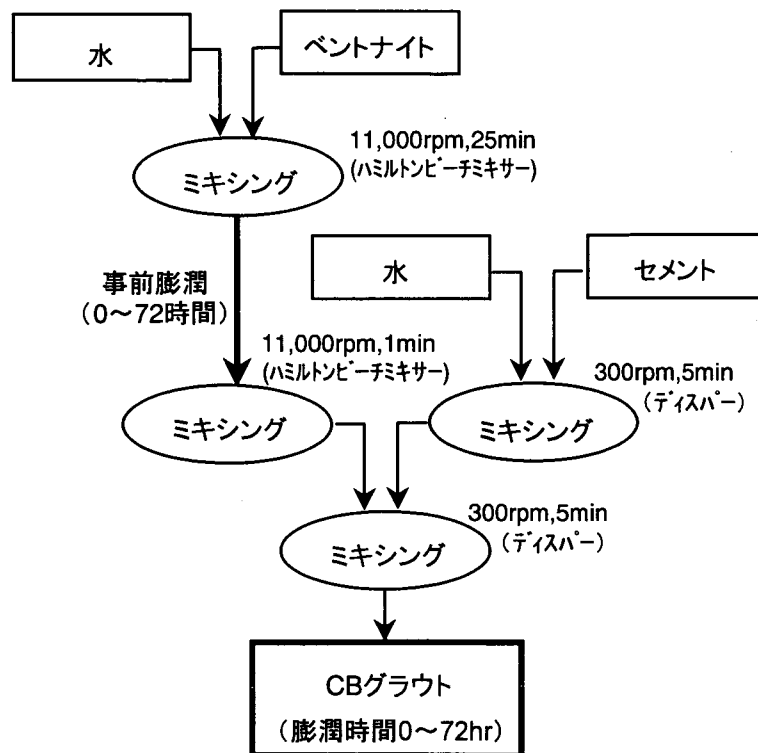


図-2.2 事前膨潤時間を変化させた試料の作製方法

(2) 攪拌方法を変化させた試験

ベントナイトの攪拌方法を変化させた試験の試料の作製フローを図-2.3 に示し、以下に作製方法を説明する。

【ベントナイト溶液の作製】

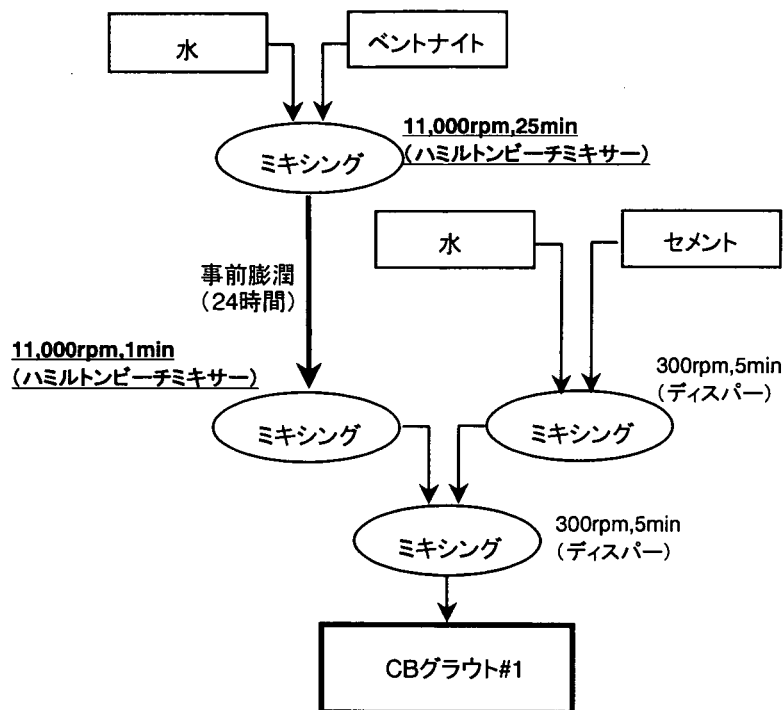
- ① 所定量の水とベントナイトを、回転数の異なる2種類のみキサー、つまりハミルトンビーチみキサー（回転数 10000rpm）とディスパー（回転数 300rpm）で25分間ミキシングし、ベントナイトを事前膨潤させるため24時間静置する。ただし、ベントナイトと水の混合比は現場での実績が多い10%（重量比 W:B=10:1）とした。

【セメントグラウトの作製】

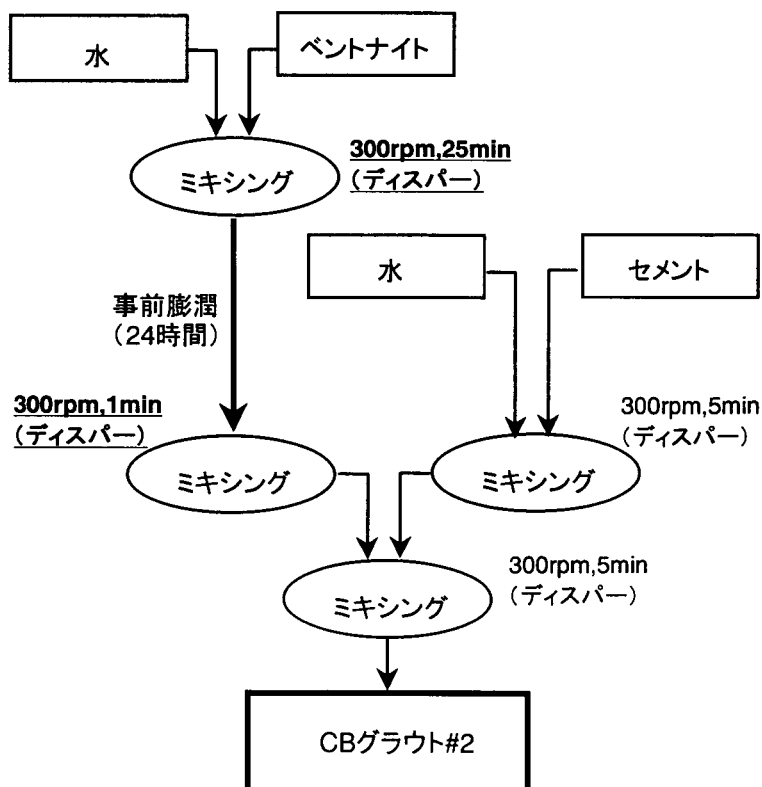
- ② ベントナイト溶液の静置が完了する時間（24hr）にあわせて、ディスパーに所定量のセメントと水を投入し、5分間ミキシングする。

【ベントナイト溶液とセメントグラウトの混合】

- ③ 事前膨潤させたベントナイト溶液とセメントグラウトをディスパーに加え、5分間攪拌する。ただし、ベントナイト溶液は、ディスパーに投入する直前に、ベントナイト溶液の作製に用いたみキサーにより1分間ミキシングする。



(a) CB グラウト#1 の作製方法



(b) CB グラウト#2 の作製方法

図-2.3 攪拌方法を変化させた試料の作製方法

(3) 膨潤促進剤を添加した試験

(a) SAM 添加 CB の作製

SAM 添加 CB の作製フローを図-2.4(a)に示し、以下に作製方法を説明する。

- ① 所定量の水と SAM (#1 あるいは#2) をディスポーに投入し、1 分間ミキシングする。
- ② ディスポーに所定量のベントナイトを加え、さらに 25 分間ミキシングする。
- ③ 最後に、所定量のセメントを加え、5 分間ミキシングする。

(b) コントロールの作製

コントロールの作製フローを図-2.4(b)に示し、以下に作製手順を説明する。

【ベントナイト溶液の作製】

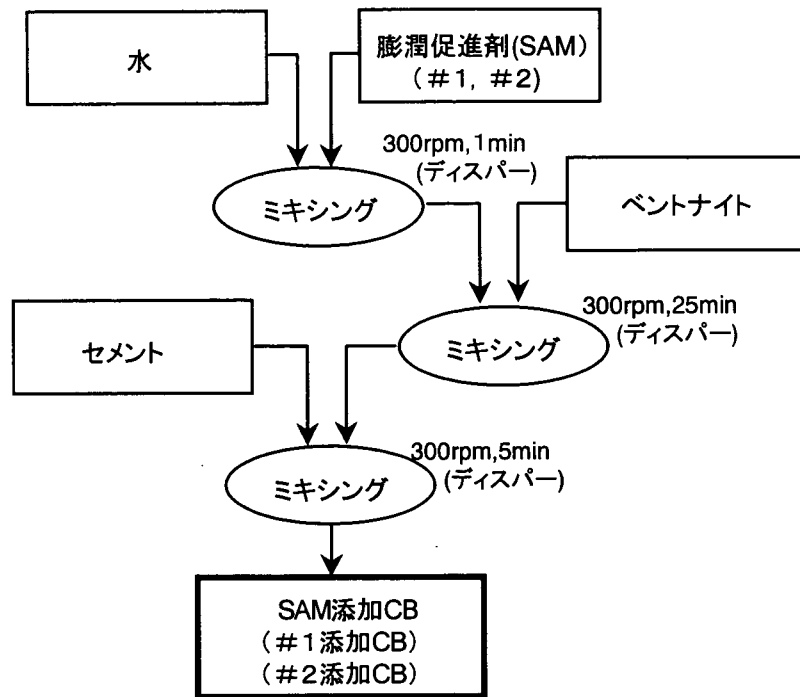
- ① 所定量の水とベントナイトをハミルトンビーチミキサーに加えて 25 分間ミキシングし、ベントナイトを事前膨潤させるため 24 時間静置する。ただし、ベントナイトと水の混合比は現場での実績が多い 10% (重量比 $W:Bt=10:1$) とした。

【セメントグラウトの作製】

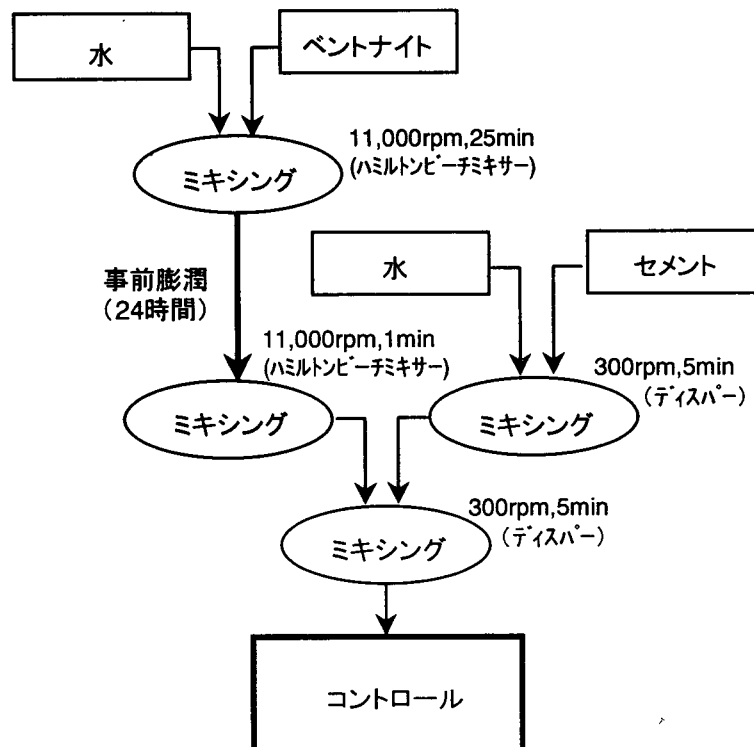
- ② ベントナイト溶液の静置が完了する時間 (24hr) にあわせて、ディスポーに所定量のセメントと水を投入し、5 分間ミキシングする。

【ベントナイト溶液とセメントグラウトの混合】

- ③ セメントグラウトが入ったディスポーに、ベントナイトの事前膨潤が完了したベントナイト溶液を投入し、5 分間ミキシングする。ただし、ベントナイト溶液は、ディスポーに投入する直前にハミルトンビーチミキサーにより 1 分間ミキシングする。



(a) SAM 添加 CB の作製方法



(b) コントロールの作製方法

図-2.4 膨潤促進剤を添加した試料の作製方法

2.3 試験方法

2.3.1 ブリージング率試験

土木学会基準「PC グラウト試験方法 (JSCE-1986) のブリージング率試験方法」⁴⁾に基づき、試料作製から 1、3、24 時間後のブリージング率を測定した。

(1) 試験用器具

容量 1000cc のメスシリンダー

長さ 50cm 以上直径 5cm のポリエチレン製袋

(2) 試験

- ① ポリエチレン製袋の中に試料を空気が混入しないように、500cc 程度入れ、袋の上端を結ぶ。
- ② 水を 400cc 入れたメスシリンダーの中に、静かに袋を挿入する。
- ③ メスシリンダー中の水面と試料面が一致するまで袋を下げ、このときの読みから 400cc を差し引くことにより試料の体積 $V(\text{cc})$ を求める。
- ④ 袋を取り出し、これをつるして静置する。
- ⑤ 測定時間が、1 時間を経過したら、再び袋を水が 400cc 入ったメスシリンダーの中に静かに入れ、試料のブリージング水と CB グラウトとの境界面とメスシリンダーの水面が一致するまで袋を下げ、このときの読みから V を差し引くことにより試料のブリージング水の体積 $B_1(\text{cc})$ を求める。
- ⑥ 測定時間が 3、24 時間においても、⑤と同様にしてそれぞれ B_3 、 B_{24} を求める。

(3) 計算方法

ブリージング率は、次式によって算出した。

$$\text{1時間後のブリージング率(\%)} = \frac{B_1}{V} \times 100 \quad (2.3.1)$$

$$\text{3時間後のブリージング率(\%)} = \frac{B_3}{V} \times 100 \quad (2.3.2)$$

$$\text{24時間後のブリージング率(\%)} = \frac{B_{24}}{V} \times 100 \quad (2.3.3)$$

ここに、 B_1 : 1時間後のブリージング水の体積(cc)

B_3 : 3時間後のブリージング水の体積(cc)

B_{24} : 24時間後のブリージング水の体積(cc)

V : 試料の体積(cc)

2.3.2 ファンネル粘度試験

泥水試験法⁵⁾を参考に、図-2.5 および写真-2.2 に示すファンネル粘度計で試料の作製直後、および1、2、3時間後の試料のファンネル粘度を測定した。なお、20℃の水のファンネル粘度は18.4secであった。

(1) 試験用器具

ファンネル粘度計 (容量 500ml)
ストップウォッチ
ビーカー (容量 1,000ml) 4 個
ガラス棒

(2) 試験

- ① 試料を測定回数分の4個のビーカーに分けて入れる。
- ② そのうちの1つを作製直後の測定用とし、その他の3個は所定時間が経過するまで静置しておく。
- ③ ファンネル粘度計の流出口を指で押さえ、作製直後の測定用試料 500ml を粘度計の上から静かに入れる。
- ④ 流出口を押さえている指を離し、試料が全部流出するまでの時間 (sec) をストップウォッチで計測し、ファンネル粘度とする。
- ④ 所定の時間 (1、2、3 時間) 経過後、それぞれ静置しておいた試料をガラス棒で静かに 1 分間程度かき混ぜ、③～④の手順を繰り返し、ファンネル粘度を測定する。

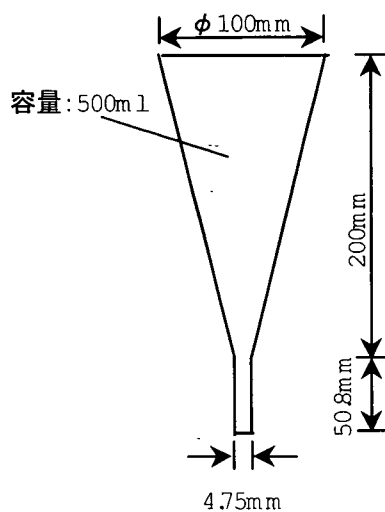


図-2.5 ファンネル粘度計の形状

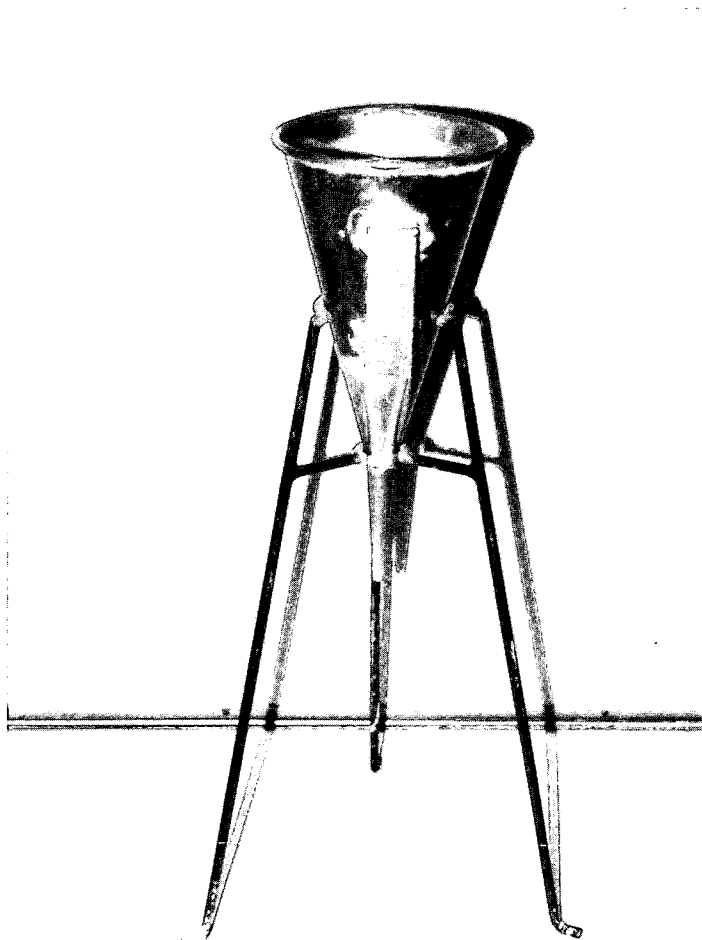


写真-2.2 ファンネル粘度計の外観

2.3.3 回転粘度計による粘度試験

表-2.6 および写真-2.3 に示す回転粘度計（単一円筒回転軸粘度計）を用い、試料の作製直後、1、2、3 時間後の粘度測定を行った。なお、粘度測定における粘度計のローター（回転円筒）回転数は、6rpm と 60rpm の 2 種類とした。

(1) 試験用器具

回転粘度計

ビーカー（500ml）4 個

ガラス棒

(2) 試験

- ① 試料を計測回数分の 4 個のビーカーに分けて入れる。
- ② そのうちの 1 つを作製直後の測定用とし、その他の 3 個は所定時間が経過するまで静置する。
- ③ 作製直後の測定用試料をガラス棒で静かにかき混ぜ、試料が静止するのを待つ。
- ④ ビーカーを回転粘度計の所定の位置に設置し、ローターを試料内の規定位置まで下げる。
- ⑤ ローターを 6rpm で回転させ、1 分後の指示値（粘度）を読みとる。
- ⑥ ローターを止めて、試料が静止するのを確認し、試料をガラス棒で静かにかき混ぜ、ローターの回転数を 60rpm にして、1 分後の指示値（粘度）を読みとる。
- ⑦ 所定の時間（1、2、3 時間）経過後、試料をガラス棒で静かに 1 分間程度かき混ぜ、④～⑦の手順で計測を繰り返し、粘度を求める。

なお、この方法により求めた粘度は、見掛け粘度であるが、以下では単に粘度と呼ぶ。

表-2.6 回転粘度計の仕様

名 称	製造元	型 式	回転円筒の回転数	測定上限値
回転粘度計	東機産業（株）	BL 型	6,12,30,60rpm	10000mPa・s（60rpm） 100000mPa・s（6rpm）

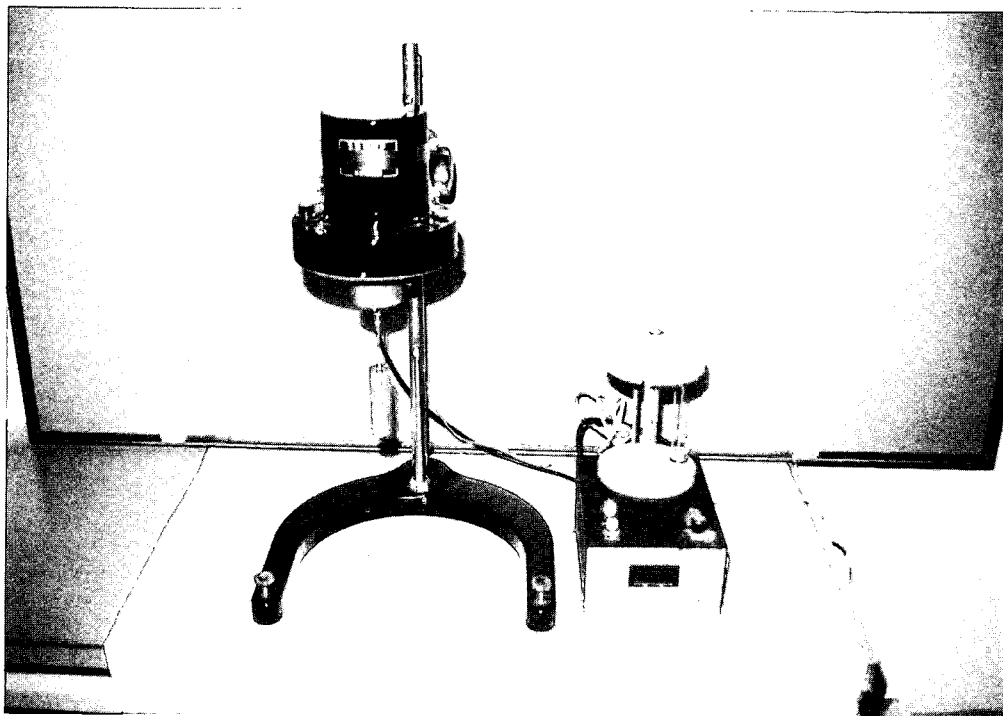


写真-2.3 回転粘度計の外観

2.3.4 一軸圧縮試験

土木学会基準「PC グラウト試験方法 (JSCE-1986) の強度試験方法」⁹⁾にしたがって、材令 3、7、28 日の一軸圧縮強さを測定した。

(1) 試験用器具

① 供試体作製

長さ 50cm 以上、直径 5cm のポリエチレン製袋または JIS A1132「コンクリート強度試験用供試体の作り方」⁷⁾に適合する型枠

② 一軸圧縮試験

圧縮試験機 (島津製作所製 オートグラフ AG-10TD)

ノギス

計量器

(2) 試験

- ① 試料を袋 (型枠) に高さ約 20cm になるまで、静かに流し込む。なお、ブリージング率の大きい配合の試料については、その大きさに応じて流し込む量を調整した。
- ② 袋 (型枠) の中に混入した空気を取り除く。袋を使用する場合はその上端を結び、所定の材令まで袋を恒温室 (20℃) につるして養生する。また、型枠を使用する場合は恒温水槽 (20℃) で養生する。
- ③ 養生後、固化試料を袋 (型枠) から取り出し、その上下端を切断して長さ 10cm にし、さらに端面を整形して供試体を作製する。
- ④ 供試体の直径、長さをノギスで、質量を計量器で測定し、湿潤密度を算出する。
- ⑤ 供試体を圧縮試験機に設置し、軸方向の変位速度を 4mm/min で供試体が破壊するまで荷重をかけて、最大荷重を記録する。

(3) 計算方法

一軸圧縮強さは、次式により算出する。

$$q_u = \frac{4P}{\pi D^2} \quad (2.3.4)$$

ここに、 q_u ：一軸圧縮強さ (N/mm²)

P：最大荷重 (N)

D：供試体の直径 (mm)

2.3.5 透水試験

土質工学会基準「土の透水試験方法 (JSF T311-1990)」⁸⁾に準拠し、材令 28 日の供試体について、透水試験を行った。

(1) 試験用器具

変水位透水試験装置 (図-2.6、写真-2.4 参照)

型枠 (内径 105mm、高さ 30mm)

(2) 試験

- ① 試料を内径 105mm、高さ 30mm の型枠に流し込み、28 日間水中養生 (20℃) する。なお、ブリージング率の大きい配合の試料については、その大きさに応じて型枠の高さと流し込む量を調整した。
- ② 固化試料を型枠から取り出し、両端面を整形して供試体とする。供試体の質量、直径、高さを測定し、供試体の湿潤密度を測定後、透水セルに設置する。
- ③ セル圧を 0.05N/mm²にし、脱気水で供試体を飽和させる。
- ④ 背圧を 0.05N/mm²とし、セル圧を 0.15N/mm²に上げ、給水スタンドパイプから供試体へ脱気水を一定時間流し、測定開始および測定終了時の給排水スタンドパイプの水位を読む。なお、動水勾配は 10~20 の範囲とした。
- ⑤ ④の操作を 5 回繰り返す。なお、透水係数は、5 回の平均値を記録した。透水試験終了後にセルから供試体を取り出し、質量、直径、長さを測定し、湿潤密度を計算する。

(3) 計算方法

また、透水係数は、次式により計算した。

$$k = \frac{a_{in} \cdot a_{out} \cdot L}{A \cdot t(a_{in} + a_{out})} \ln \frac{h_1}{h_2} \quad (2.3.5)$$

ここに、
k : 透水係数 (cm/s)
t : 測定時間 (s)
L : 供試体の長さ (cm)
A : 供試体断面積 (cm²)
a_{in} : 給水スタンドパイプの断面積 (cm²)
a_{out} : 排水スタンドパイプの断面積 (cm²)
h₁ : 測定開始時の水位差 (cm)
h₂ : 測定終了時の水位差 (cm)

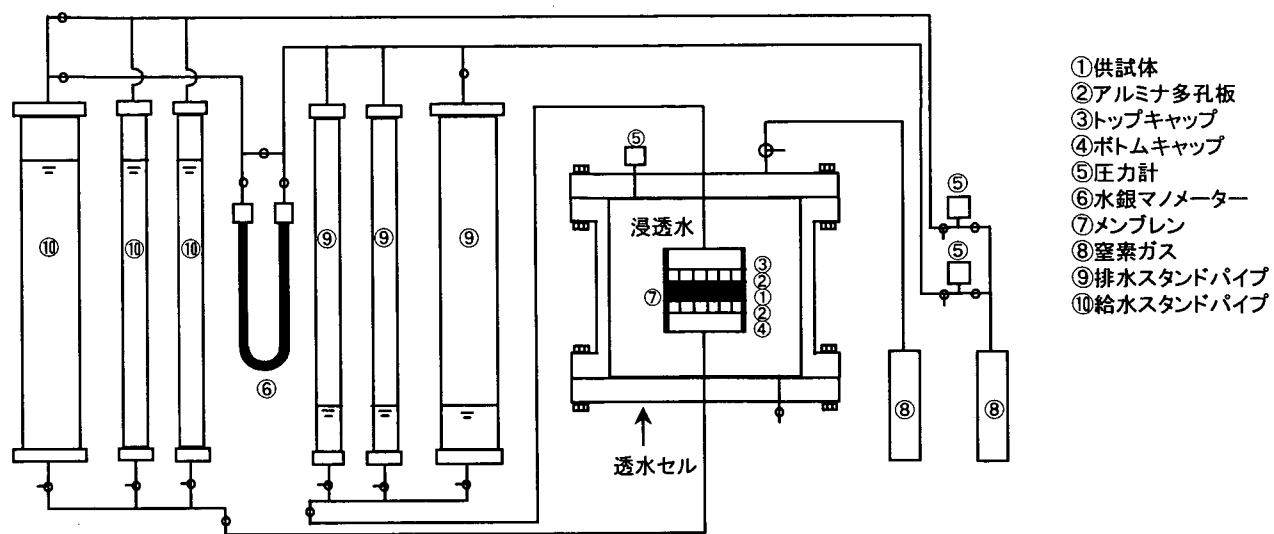


図-2.6 変水位透水試験装置の構成

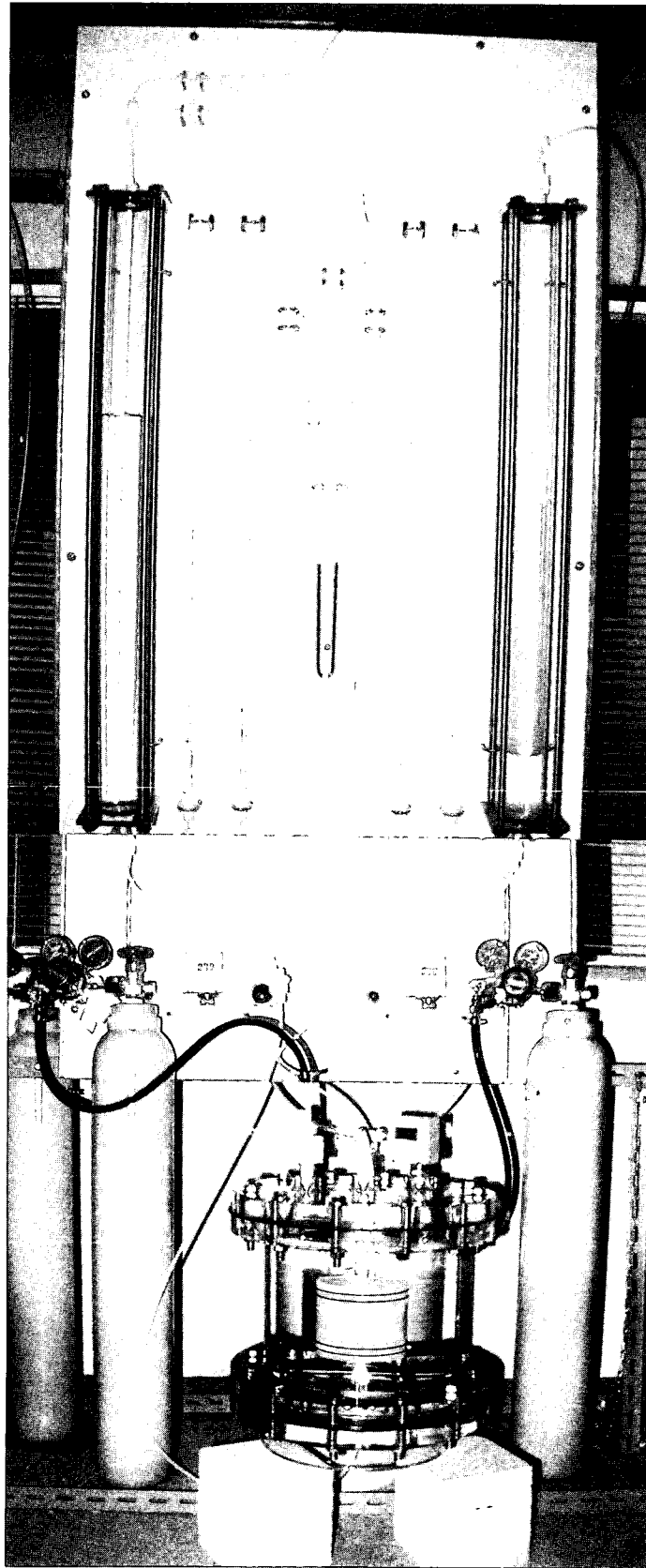


写真-2.4 変水位透水試験装置の外観

参考文献

- 1) 高橋 聡、近藤 三二、嘉門 雅史：ベントナイトのコンシステンシー限界、土のコンシステンシーに関するシンポジウム発表論文集、土質工学会、pp.103-106、1995 年 1 月。
- 2) 建設省河川局開発課監修：グラウチング技術指針・同解説、(財)国土開発技術研究センター、pp.29-30、1983 年 12 月。
- 3) 高橋 聡、鳥山 君彦、近藤三二、嘉門 雅史：多膨潤性ベントナイトの開発、第 30 回土質工学研究発表会講演集、pp.187-190、1995 年 7 月。
- 4) 土木学会コンクリート委員会編集：コンクリート標準示方書基準編、土木学会、pp.332-333、1991 年 9 月。
- 5) 沖野 文吉：ボーリング用泥水、技報堂出版(株)、第 1 版、第 2 刷、pp.100-101、1986 年 1 月。
- 6) 土木学会コンクリート委員会編集：コンクリート標準示方書基準編、土木学会、pp.333-334、1991 年 9 月。
- 7) 土木学会コンクリート委員会編集：コンクリート標準示方書基準編、土木学会、pp.320-321、1991 年 9 月。
- 8) 土質試験法編集委員会編集：土質試験の方法と解説、(社)土質工学会、pp.271-286、1990 年 3 月。

3. 試料の試験配合と試験条件

3.1 試料の配合比

ベントナイト（以下、記号 Bt と記す）の混合量は、基本的に、ダム基礎グラウチングでの実績を調査した結果（図-3.1 参照）、その実績が最も多いセメント（以下、記号 C と記す）質量の 5%（質量比 $Bt/C=0.05$ ）とした。ただし、ベントナイトの添加率が SAM（以下、記号 S と略記する場合がある）の効果に与える影響を検証する試験では、 $Bt/C=10\%$ の混合比も採用した。

SAM の適切な添加率の範囲を把握するために、 $S/Bt=0\sim100\%$ の範囲で試験を行った。ただし、SAM の添加率は、 $S/Bt=0\sim25\%$ の範囲は細かく、 $S/Bt=25\sim100\%$ の範囲は粗く設定し、 $S/Bt=0, 6.25, 12.5, 25, 50, 75, 100\%$ の 7 段階とした。

水比（以下、 $W/(Bt+C)$ と記す）は、ベントナイトの添加によってグラウトの安定性がかなり改善される $W/(Bt+C)=200\%$ を試験の基本とした。ただし、水比が CB グラウトの物性および SAM の添加効果に与える影響を検証する場合には、ダム基礎グラウチングでの配合切り替えりを参考にして、100、200、400、600、800、1000%の 6 段階を実施した。

本試験での水比の定義は、CB グラウトに SAM を添加しない場合には $W/(Bt+C)$ であり、CB グラウトに SAM を添加する場合には $(W+S)/(Bt+C)$ である。しかし実際には、 $(W+S)/(Bt+C) \div W/(Bt+C)$ でもあり、これ以降の水比の表示は、便宜上両試料とも同じ $W/(Bt+C)$ とする。

表-3.1 に、試料の試験配合の一覧を示す。

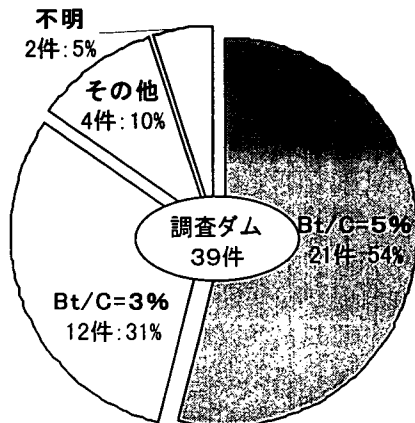


図-3.1 ベントナイトの混合比の実績

表-3.1 試験配合の一覧

ベントナイトの混合比 (Bt/C)	5、10%
SAM の添加率 (S/Bt)	0、6.25、12.5、25、50、75、100%
水比 (W/(Bt+C))	100、200、400、600、800、1000%

3.2 試験条件と試料の試験配合

表-3.2(a)、(b)、(c)にそれぞれ、ベントナイトの事前膨潤時間を変化させた試験、攪拌方法を変化させた試験、SAM の効果評価を主目的とした試験についての試験条件および各検討項目に応じた試験ケースの組み合わせを示す。なお、表中のベントナイトの記号と製品名の対応については、表-2.2 に示すとおりである。以下に、試験条件と検討項目の詳細について説明する。

(1) ベントナイトの事前膨潤時間を変化させた試験

ベントナイトの事前膨潤時間が CB グラウトの物性に与える影響を検証するため、表-3.2(a)のようにベントナイトの事前膨潤時間を設定した。つまり、ベントナイト As を用いた場合は 3、6、12、24、48、72 時間の 6 種類、ベントナイト Ak および Hr を用いた場合は 0、1、2、3、6、12、24、48、72 時間の 9 種類とし、また水比は 200、400、600%に変化させて試験を実施した。

(2) 攪拌方法を変化させた試験

ベントナイトと水の攪拌方法が CB グラウトの物性に与える影響を把握するため、ベントナイトと水の攪拌にハミルトンビーチミキサーとディスパーの 2 種類のミキサーを用いた試験を実施した。

また攪拌方法の違いによる評価のほか、以下の 2 点に着目した検討を行った。各検討項目に対応する試験ケースは表-3.2(b)に示す。

- ① ベントナイトの膨潤力（種類）による影響
- ② 水比 ($W/(Bt+C)$) による影響

(3) 膨潤促進剤を添加した試験

膨潤促進剤 (SAM) を CB グラウトに添加する効果を検証するため、試料の試験配合は、表-3.2(c)に示す 18 ケース設定した。これら 18 ケースの試験のうちベントナイトを添加しないケース 36 を除く 17 ケースについては、SAM を添加した CB グラウト (SAM 添加 CB) の対照用試料としてベントナイトを 24 時間事前膨潤させ SAM を添加しない CB グラウト (コントロール) の試験も併せて実施した。コントロールの配合は、SAM を添加しないことを除いて、各試験での SAM 添加 CB と同一配合とした。

また、全 18 ケースの試験結果について、SAM の効果の評価のほか、以下の 4 点に着目した検討を行うこととし、各検討項目に対応する試験ケースを表-3.2(c)に示す。

- ① ベントナイトの添加率による影響
- ② 膨潤促進剤 (SAM) の種類による影響
- ③ ベントナイトの膨潤力（種類）による影響
- ④ 水比 ($W/(Bt+C)$) による影響

表-3.2 試験条件と試験結果の検討

(a)ベントナイトの事前膨潤時間を変化させた試験

試験ケース	試験配合				試験結果の検討に対応するケース		
	ベントナイト			水比※2	ベントナイトの事前膨潤 時間による影響	水比による比較	ベントナイトの膨潤力によ る比較
	種類	添加率※1	膨潤時間				
1	As	5%	0、3、6、12、24、48、72hr	200%	○	○	○
2	As	5%	0、3、6、12、24、48、72hr	400%	○	○	○
3	As	5%	0、3、6、12、24、48、72hr	600%	○	○	○
4	Ak	5%	0、1、2、3、6、12、24、48、72hr	200%	○	○	○
5	Ak	5%	0、1、2、3、6、12、24、48、72hr	400%	○	○	○
6	Ak	5%	0、1、2、3、6、12、24、48、72hr	600%	○	○	○
7	Hr	5%	0、1、2、3、6、12、24、48、72hr	200%	○	○	○
8	Hr	5%	0、1、2、3、6、12、24、48、72hr	400%	○	○	○
9	Hr	5%	0、1、2、3、6、12、24、48、72hr	600%	○	○	○

※1 ベントナイト(Bt)のセメント(C)に対する質量比：(Bt/C)

※2 水(W)のセメント(C)とベントナイト(Bt)の合計質量に対する質量比：(W/(Bt+C))

表-32 試験条件と試験結果の検討

(b) 攪拌方法を変化させた試験

試験ケース	試験配合				試験結果の検討に対応するケース		
	ベントナイト			水比※ ²	攪拌方法の差による影響	ベントナイトの膨潤力による影響	水比による影響
	種類	添加率※ ¹	膨潤時間				
10	As	5%	24hr	200%	○	○	○
11	Sc	5%	24hr	200%	○	○	
12	Ak	5%	24hr	200%	○	○	
13	Hr	5%	24hr	200%	○	○	
14	Ht	5%	24hr	200%	○	○	
15	As	5%	24hr	100%	○		○
16	As	5%	24hr	400%	○		○
17	As	5%	24hr	600%	○		○
18	As	5%	24hr	800%	○		○

※1 ベントナイト(Bt)のセメント(C)に対する質量比：(Bt/C)

※2 水(W)のセメント(C)とベントナイト(Bt)の合計質量に対する質量比：(W/(Bt+C))

表-32 試験条件と試験結果の検討

(c) 膨潤促進剤を添加した試験

試験 ケース	試験配合					試験結果の検討に対応するケース				
	ベントナイト		膨潤促進剤		水比※3	膨潤促進剤 の効果	ベントナイトの添加 率の影響	膨潤促進剤の種 類の影響	ベントナイトの膨潤力 による影響	水比による影響
	種類	添加率※1	種類	添加率※2						
19	As	5%	#1	0、6.25、12.5、25、50、75、100%	200%	○	○	○		
20	As	5%	#2	0、6.25、12.5、25、50、75、100%	200%	○	○	○	○	○
21	As	10%	#1	0、6.25、12.5、25、50、75、100%	200%	○	○	○		
22	As	10%	#2	0、6.25、12.5、25、50、75、100%	200%	○	○	○		
23	As	5%	#2	0、6.25、12.5、25、50、75、100%	100%	○				○
24	As	5%	#2	0、6.25、12.5、25、50、75、100%	400%	○				○
25	As	5%	#2	0、6.25、12.5、25、50、75、100%	600%	○				○
26	As	5%	#2	0、6.25、12.5、25、50、75、100%	800%	○				○
27	As	5%	#2	0、6.25、12.5、25、50、75、100%	1000%	○				○
28	Sc	5%	#2	0、6.25、12.5、25、50、75、100%	200%	○			○	
29	Ak	5%	#2	0、6.25、12.5、25、50、75、100%	200%	○			○	
30	Hr	5%	#2	0、6.25、12.5、25、50、75、100%	200%	○			○	
31	Ht	5%	#2	0、6.25、12.5、25、50、75、100%	200%	○			○	
32	K	5%	#2	0、6.25、12.5、25、50、75、100%	200%	○			○	
33	G	5%	#2	0、6.25、12.5、25、50、75、100%	200%	○			○	
34	Ht	5%	#2	0、6.25、12.5、25、50、75、100%	100%	○				○
35	Ht	5%	#2	0、6.25、12.5、25、50、75、100%	400%	○				○
36	—	—	—	—	100、200、400、600、800、1000%				○	

※1 ベントナイト(Bt)のセメント(C)に対する質量比：(Bt/C)、※2 膨潤促進剤(S)のベントナイト(Bt)に対する質量比：(S/Bt)

※3 水(W)のセメント(C)とベントナイト(Bt)の合計質量に対する質量比:CB グラウトにSAM を添加しない場合には $W/(Bt+C)$ 、CB グラウトにSAM を添加する場合には $(W+S)/(Bt+C)$ である。

参考文献

- 1) 建設省河川局開発課監修：グラウチング技術指針・同解説、(財)国土開発技術研究センター、pp.33-37、1983年12月.

4. 試験結果

4.1 ベントナイトの事前膨潤時間を変化させた試験

ベントナイトの事前膨潤時間を変化させた試験（ケース1～9）の試験結果を以下に説明する。

(1) ケース1(試験条件 Bt:As、 $W/(Bt+C)=200\%$ 、 $Bt/C=5\%$)

ケース1の試験結果の一覧を表-4.1に、CBグラウトの各種物性の変化を図-4.1(a)～(f)に示す。

① ブリージング率

試料のブリージング率は、1時間後と3時間後ではかなりの差があるが、3時間後と24時間後の差は小さい。したがって、試料中の粒子の沈降は、その大部分が試料作製から3時間で発生し、24時間後に完了するものとする。

24時間後のブリージング率は、事前膨潤時間が0～48時間の試料では15%程度を示し、事前膨潤時間が72時間の試料では他の試料に比べて2%程度大きくになっている。しかし、その差が非常に小さいので、試料の安定性は、事前膨潤時間に関係なく同程度であるとする。

② ファンネル粘度

試料作製直後のファンネル粘度は、事前膨潤0時間を除いて、いずれも25sec程度を示す。また、試料作製3時間後では、事前膨潤0時間を除いて、いずれも34sec程度の一定値を示す。

③ 粘度（ローターの回転数6rpm）

試料作製直後の粘度は、事前膨潤0時間では900mPa・s、事前膨潤1時間では410mPa・sを示すが、事前膨潤が6時間以上では500mPa・s程度の一定値を示す。また、試料作製から3時間後の粘度は、事前膨潤を3および6時間とした試料が他の試料に比べ大きい、事前膨潤が12時間以上ではほぼ一定値を示す。

④ 粘度（ローターの回転数60rpm）

試料作製直後の粘度は、事前膨潤0時間を除いて、いずれも400mPa・s程度を示す。また、試料作製3時間後では、事前膨潤0および3時間を除いて、いずれも600mPa・s程度の一定値を示す。

⑤ 一軸圧縮強さおよび湿潤密度

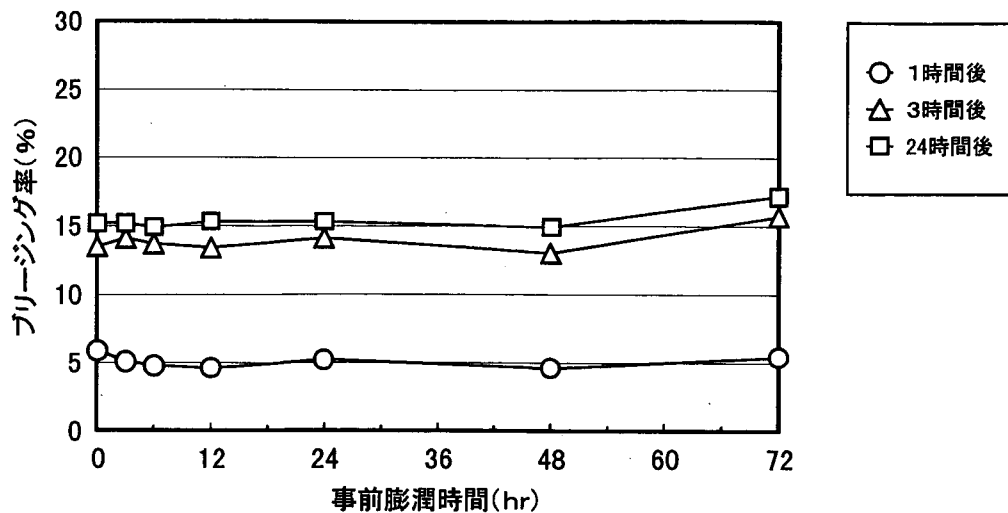
材令3日の一軸圧縮強さは、事前膨潤0時間を除いて、いずれも600kN/m²程度の一定値を示す。また、材令28日では、事前膨潤0時間を除いて、いずれも2500kN/m²程度の一定値を示す。

湿潤密度は、同材令では、若干ばらつきはあるものの、事前膨潤時間に関係なく同程度を示しているとする。したがって、試料の均質性は、事前膨潤時間に関係なく同程度であるものとする。

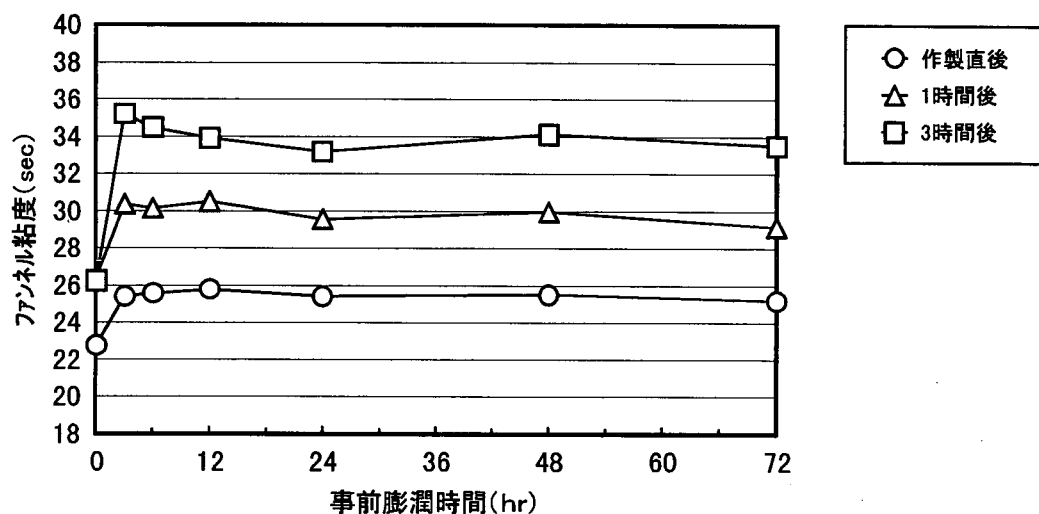
表-4.1 ケース1の試験結果 (Bt:As,W/(Bt+C)=200%,Bt/C=5%)

		膨潤時間 (hr)						
		0	3	6	12	24	48	72
ブリージング率 (%)	1時間後	5.9	5.1	4.8	4.6	5.2	4.6	5.4
	3時間後	13.5	14.1	13.7	13.4	14.1	13.0	15.7
	24時間後	15.2	15.2	14.9	15.3	15.3	14.9	17.2
ファンネル粘度 (sec)	作製直後	22.8	25.4	25.6	25.8	25.4	25.5	25.2
	1時間後	26.4	30.3	30.1	30.5	29.6	30.0	29.1
	2時間後	27.3	36.1	35.5	34.6	34.3	34.0	33.6
	3時間後	26.3	35.2	34.5	33.9	33.2	34.1	33.5
粘度 (ローター回転数:6rpm) (mPa・s)	作製直後	900.0	410.0	515.0	505.0	505.0	530.0	530.0
	1時間後	725.0	800.0	875.0	760.0	990.0	850.0	1025.0
	2時間後	1175.0	1775.0	1700.0	1400.0	1700.0	1525.0	1150.0
	3時間後	1200.0	2275.0	2400.0	1700.0	1300.0	1625.0	1675.0
粘度 (ローター回転数:60rpm) (mPa・s)	作製直後	295.0	425.0	435.0	440.0	417.0	427.0	392.5
	1時間後	450.0	390.0	440.0	460.0	420.0	440.0	470.0
	2時間後	440.0	460.0	520.0	500.0	490.0	520.0	500.0
	3時間後	500.0	480.0	570.0	610.0	590.0	580.0	550.0
一軸圧縮強さ (kN/m ²)	材令3日	255	588	539	608	588	686	637
	材令7日	637	1481	1451	1412	1147	1314	1500
	材令28日	1089	2618	2491	2795	2344	2579	2501
湿潤密度 (g/cm ³)	材令3日		1.384	1.376	1.376	1.382	1.381	1.397
	材令7日		1.392	1.375	1.407	1.379	1.371	1.392
	材令28日	1.384	1.412	1.383	1.391	1.377	1.391	1.390
透水係数(cm/sec)	材令28日							
湿潤密度(g/cm ³)	材令28日							

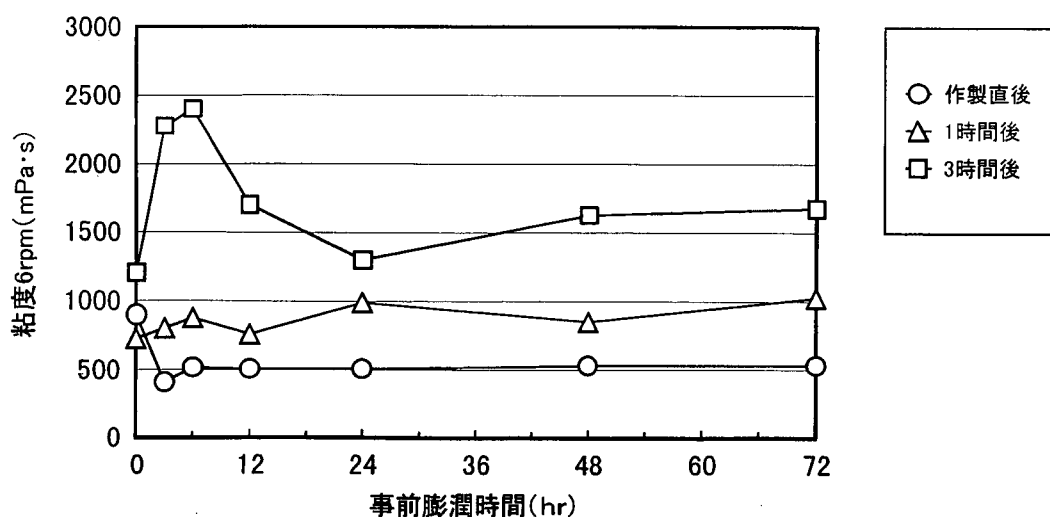
注) 空欄は試験を実施していないことを示し、測定値の「-」は測定限界を示す。



(a) プリージング率

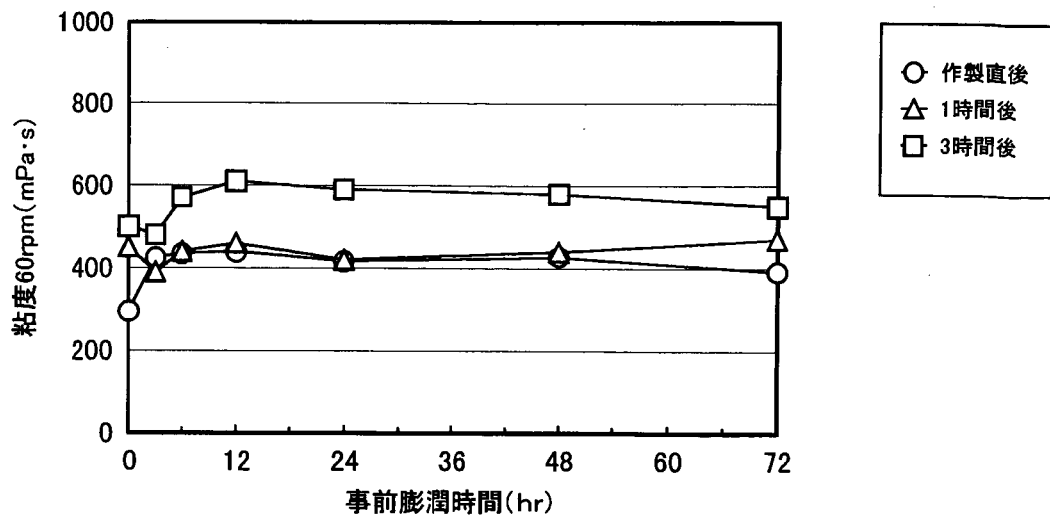


(b) ファンネル粘度

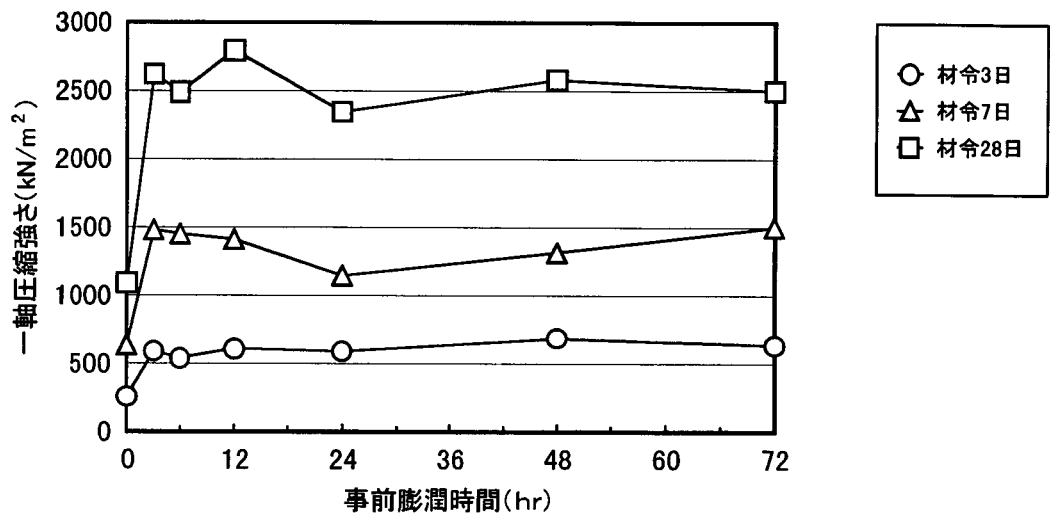


(c) 粘度(ローターの回転数6rpm)

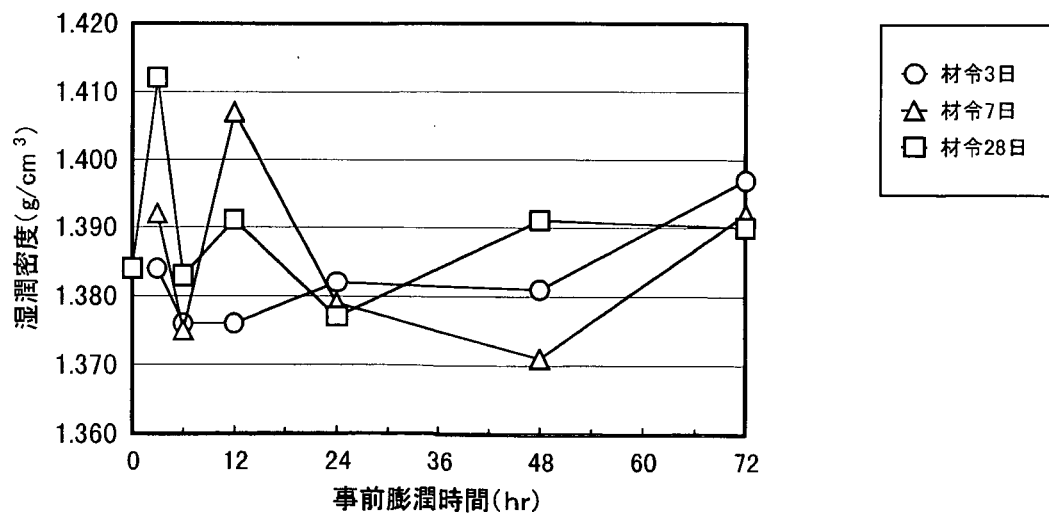
図-4.1 ケース1の試験結果(Bt:As,W/(Bt+C)=200%,Bt/C=5%)



(d) 粘度(ローターの回転数60rpm)



(e) 一軸圧縮強さ



(f) 湿潤密度

図-4.1 ケース1の試験結果(Bt:As,W/(Bt+C)=200%,Bt/C=5%)

(2) ケース 2(試験条件 Bt:As、W/(Bt+C)=400%、Bt/C=5%)

ケース 2 の試験結果の一覧を表-4.2 に、CB グラウトの各種物性の変化を図-4.2(a)~(h)に示す。

① ブリージング率

試料のブリージング率は、1 時間後と 3 時間後ではかなりの差があるが、3 時間後と 24 時間後の差は小さい。したがって、試料中の粒子の沈降は、その大部分が試料作製から 3 時間で発生し、24 時間後に完了するものとする。

24 時間後のブリージング率は、事前膨潤 0 時間を除いて、いずれの試料も 44%程度の一定値を示す。

② ファンネル粘度

試料作製直後のファンネル粘度は、事前膨潤 0 時間を除いて、いずれも 20.5sec 程度の一定値を示す。

また、試料作製 3 時間後では、事前膨潤 0 時間を除いて、いずれも 22sec 程度の一定値を示す。

③ 粘度 (ローターの回転数 6rpm)

試料作製直後の粘度は、事前膨潤 0 時間を除いて、いずれも 330mPa・s 程度の一定値を示す。また、試料作製 3 時間後では、事前膨潤 0 および 3 時間を除いて、いずれも 300~350mPa・s 程度を示す。

④ 粘度 (ローターの回転数 60rpm)

試料作製直後の粘度は、事前膨潤 0 時間を除いて、いずれも 60~70mPa・s 程度を示す。また、試料作製 3 時間後では、事前膨潤 0 時間を除いて、いずれも 100mPa・s 程度の一定値を示す。

このように、3 種類の粘度 (ファンネル粘度、ローターの回転数 6rpm、ローターの回転数 60rpm) の結果から、試料の粘度は、事前膨潤 0 時間を除いて、同等測定時間であればベントナイトの事前膨潤時間に関係なくほぼ一定値を示すことがわかる。

⑤ 一軸圧縮強さおよび湿潤密度

材令 3 日の一軸圧縮強さは、事前膨潤 0 時間を除いて、いずれも 200~300kN/m²程度を示す。また、材令 28 日では、事前膨潤 0 時間を除いて、いずれも 800~900kN/m²程度を示す。このように、同材令における一軸圧縮強さは、事前膨潤 0 時間を除いて、ほぼ一定値を示す。

湿潤密度は、同材令では、若干ばらつきはあるものの、事前膨潤 0 時間を除いて、いずれも 1.30~1.35g/cm³程度を示す。

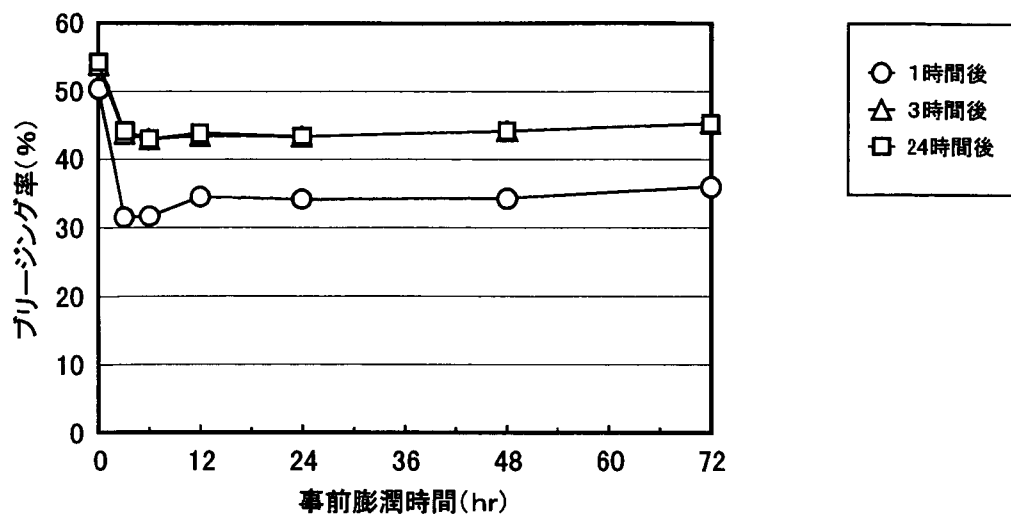
⑥ 透水係数および湿潤密度

透水係数および湿潤密度は、若干ばらつきはあるものの、前者が事前膨潤時間 72hr の試料を除いて、 $4.4\sim 8.9\times 10^{-6}$ cm/sec 程度を示し、後者が 1.32~1.33g/cm³程度を示す。

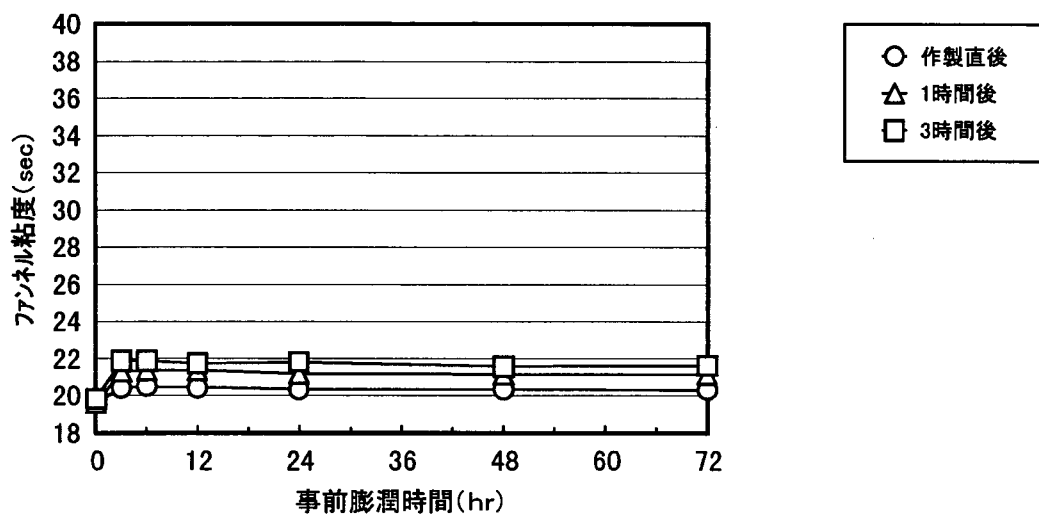
表-4.2 ケース2の試験結果 (Bt:As,W/(Bt+C)=400%,Bt/C=5%)

		膨潤時間 (hr)						
		0	3	6	12	24	48	72
ブリージング率 (%)	1時間後	50.4	31.5	31.6	34.5	34.1	34.3	36.0
	3時間後	53.8	43.8	43.0	43.5	43.4	44.2	45.3
	24時間後	54.2	44.2	43.0	43.9	43.4	44.2	45.3
ファンネル粘度 (sec)	作製直後	19.6	20.5	20.5	20.5	20.3	20.4	20.3
	1時間後	19.6	21.3	21.4	21.4	21.2	21.2	21.2
	2時間後	19.8	22.0	22.0	22.0	21.8	21.8	21.8
	3時間後	19.8	21.9	21.9	21.7	21.8	21.6	21.6
粘度 (ローター回転数:6rpm) (mPa・s)	作製直後	185.0	330.0	355.0	355.0	315.0	315.0	330.0
	1時間後	185.0	365.0	330.0	380.0	365.0	365.0	385.0
	2時間後	245.0	305.0	295.0	335.0	365.0	310.0	300.0
	3時間後	295.0	275.0	300.0	330.0	345.0	315.0	320.0
粘度 (ローター回転数:60rpm) (mPa・s)	作製直後	36.0	69.0	70.5	72.5	59.0	60.0	62.0
	1時間後	52.0	99.0	86.5	80.0	84.5	80.5	90.0
	2時間後	74.5	110.0	102.5	105.0	105.0	100.0	100.0
	3時間後	42.5	115.0	100.0	102.5	102.5	97.5	100.0
一軸圧縮強さ (kN/m ²)	材令3日	284	216	226	255	275	235	226
	材令7日	500	431	461	481	500	441	431
	材令28日	1118	853	873	912	941	834	853
湿潤密度 (g/cm ³)	材令3日	1.363	1.304	1.309	1.310	1.328	1.310	1.329
	材令7日	1.373	1.327	1.321	1.334	1.326	1.320	1.312
	材令28日	1.367	1.319	1.322	1.318	1.334	1.328	1.347
透水係数(cm/sec)	材令28日		6.9×10 ⁻⁶	8.9×10 ⁻⁶	6.5×10 ⁻⁶	6.2×10 ⁻⁶	4.4×10 ⁻⁶	1.4×10 ⁻⁶
湿潤密度(g/cm ³)	材令28日		1.326	1.324	1.328	1.330	1.335	1.333

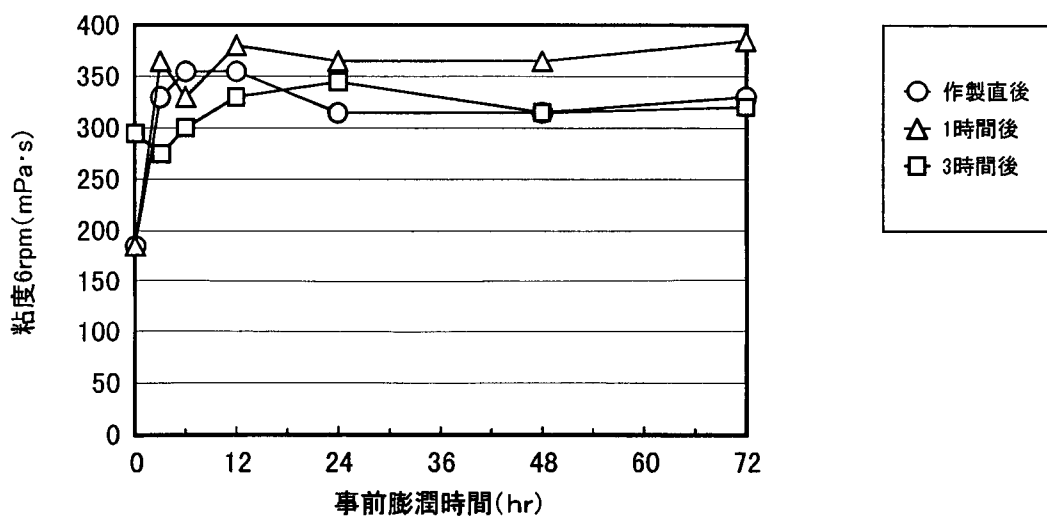
注) 空欄は試験を実施していないことを示し、測定値の「-」は測定限界を示す。



(a) フリージング率

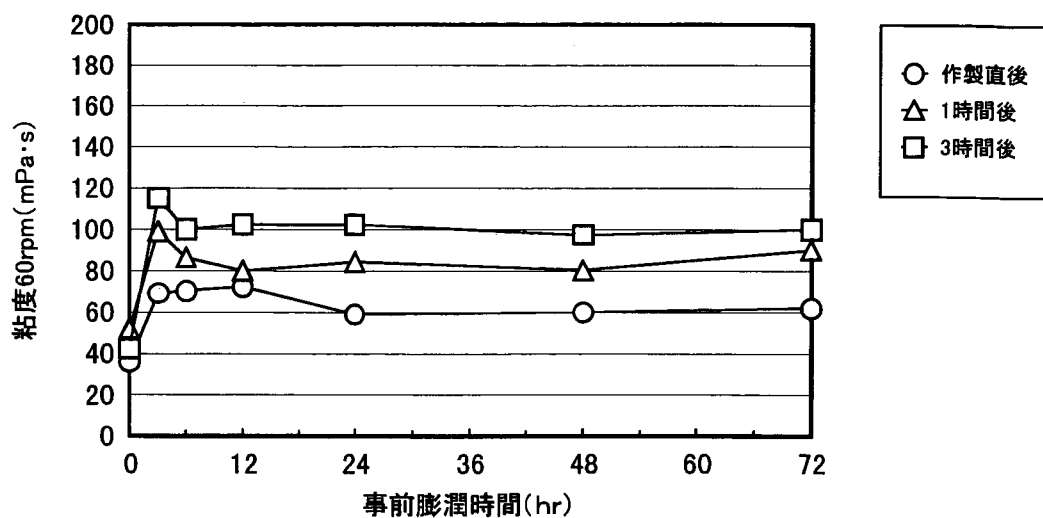


(b) ファンネル粘度

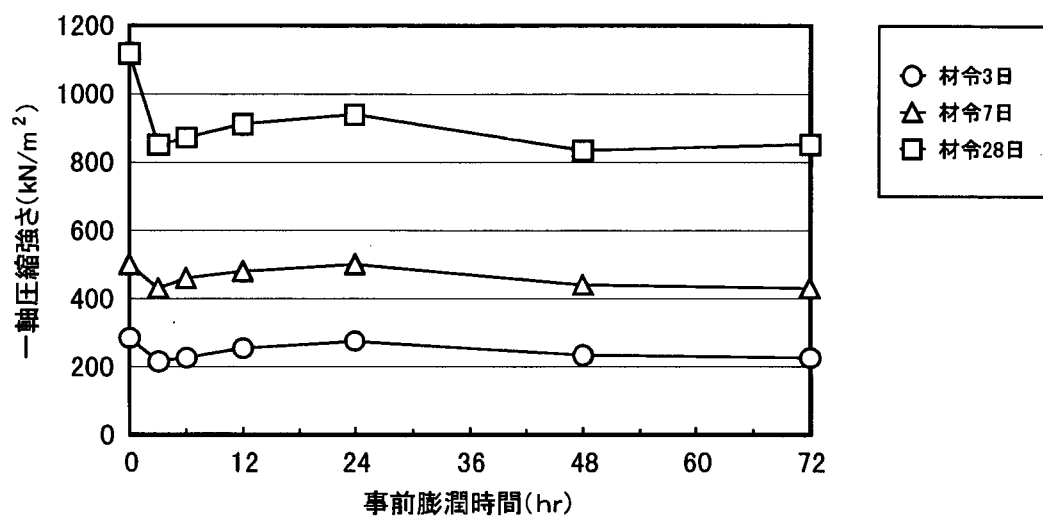


(c) 粘度(ローターの回転数6rpm)

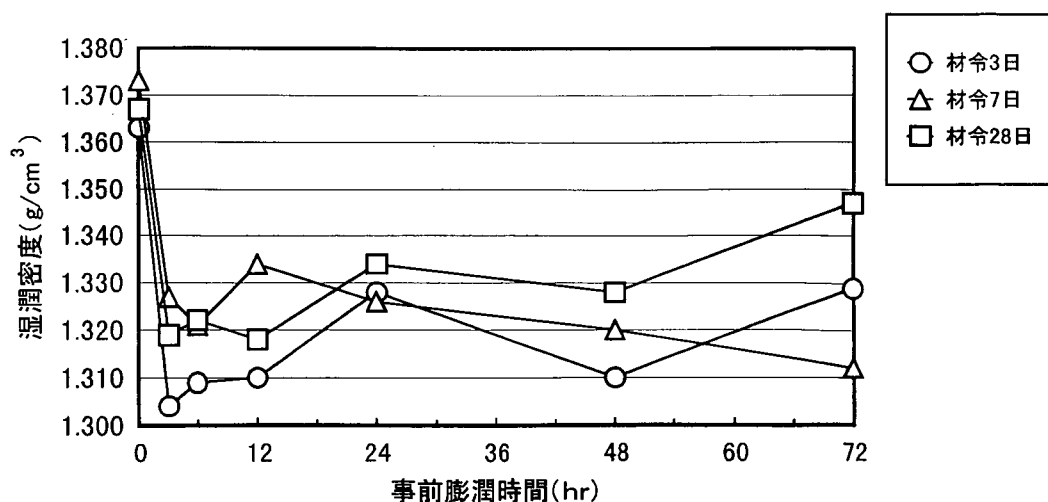
図-4.2 ケース2の試験結果 (Bt:As,W/(Bt+C)=400%,Bt/C=5%)



(d) 粘度(ローターの回転数60rpm)



(e) 一軸圧縮強さ



(f) 湿潤密度

図-4.2 ケース2の試験結果(Bt:As,W/(Bt+C)=400%,Bt/C=5%)

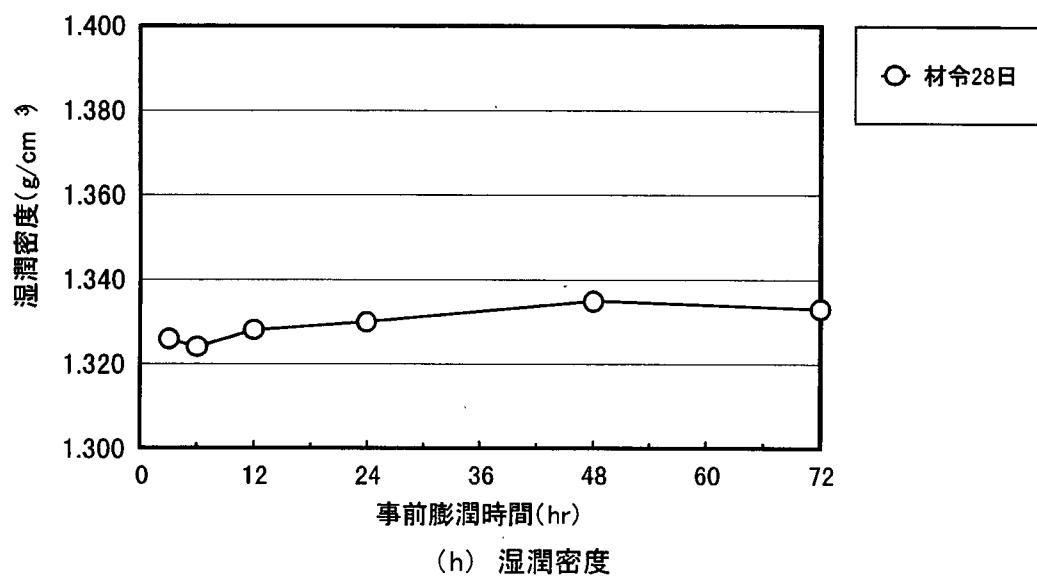
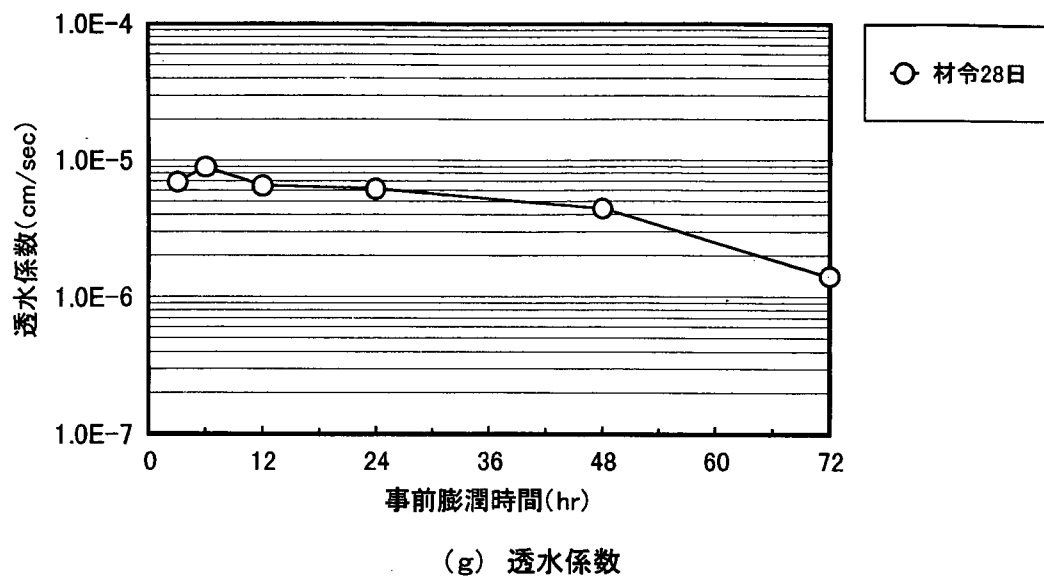


図-4.2 ケース2の試験結果 (Bt:As,W/(Bt+C)=400%,Bt/C=5%)

(3) ケース 3(試験条件 Bt:As、W/(Bt+C)=600%、Bt/C=5%)

ケース 3 の試験結果の一覧を表-4.3 に、CB グラウトの各種物性の変化を図-4.3(a)~(h)に示す。

① ブリージング率

試料のブリージング率は、1 時間後と 24 時間後の差が小さいので、試料中の粒子の沈降はその大部分が試料作製から 1 時間で発生し、24 時間後にすべて完了するものと考ええる。

24 時間後のブリージング率は、事前膨潤時間 0 時間を除いて、いずれも 60%程度の一定値を示す。

② ファンネル粘度

試料作製直後のファンネル粘度は、いずれも 19.7sec 程度の一定値を示す。また、試料作製 3 時間後では、いずれも 20.4sec 程度の一定値を示す。

③ 粘度 (ローターの回転数 6rpm)

試料作製直後の粘度は、事前膨潤 3 時間では 115mPa・s、事前膨潤 72 時間では 80mPa・s を示し、事前膨潤 0 時間を除いて減少する傾向にある。また、試料作製 3 時間後では、事前膨潤 3 時間では 195mPa・s、事前膨潤 72 時間では 150mPa・s を示し、事前膨潤 0 時間を除いて減少する傾向にある。しかし、いずれも事前膨潤時間による差は小さいので、試料の粘度は同程度であると考ええる。

④ 粘度 (ローターの回転数 60rpm)

試料作製直後の粘度は、事前膨潤 3 時間では 24.5mPa・s、事前膨潤 72 時間では 18mPa・s を示し、事前膨潤 0 時間を除いて、減少する傾向にある。しかし、事前膨潤時間による差は小さいので、試料の粘度は同程度であると考ええる。また、試料作製 3 時間後では、いずれも 50mPa・s 程度を示す。

以上のように、3 種類の粘度 (ファンネル粘度、ローターの回転数 6rpm、ローターの回転数 60rpm) の結果から、試料の粘度は、事前膨潤 0 時間を除いて、同等測定時間であればベントナイトの事前膨潤時間に関係なく、ほぼ一定値を示すことがわかる。

⑤ 一軸圧縮強さおよび湿潤密度

材令 3 日の一軸圧縮強さは、事前膨潤時間 0 時間を除いて、いずれの試料も 100~130kN/m² 程度を示す。また、材令 28 日では、事前膨潤 0 時間を除いて、いずれも 400kN/m² 程度の一定値を示す。このように、同材令における一軸圧縮強さは、事前膨潤 0 時間を除いて、事前膨潤時間に関係なく一定値を示す。

湿潤密度は、同材令では、若干ばらつきはあるものの、事前膨潤 0 時間を除いてほぼ同程度を示していると考ええる。

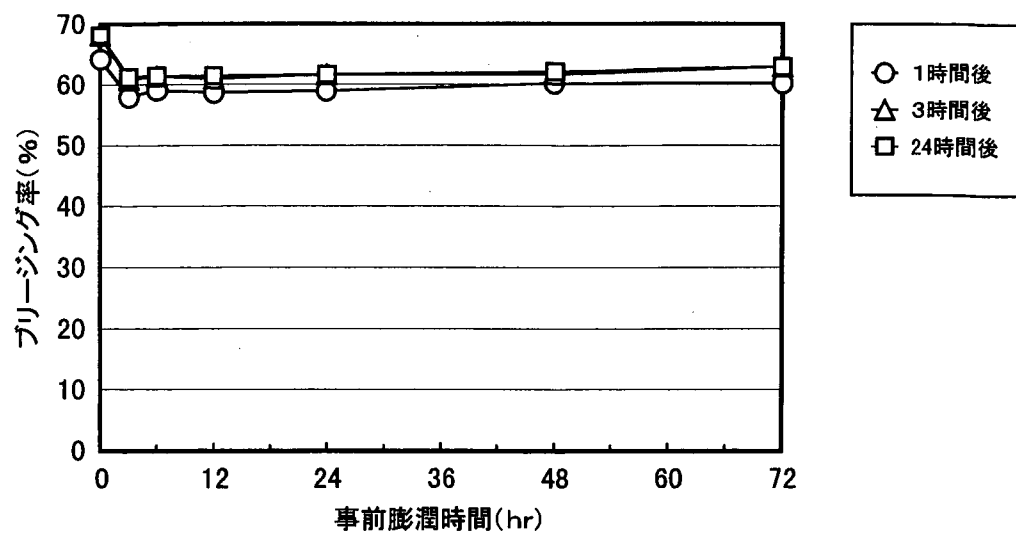
⑥ 透水係数および湿潤密度

試料の透水係数および湿潤密度は、若干ばらつきはあるものの、前者が $1\sim 2\times 10^{-5}$ cm/sec 程度を示し、後者が 1.28~1.30g/cm³ 程度を示す。

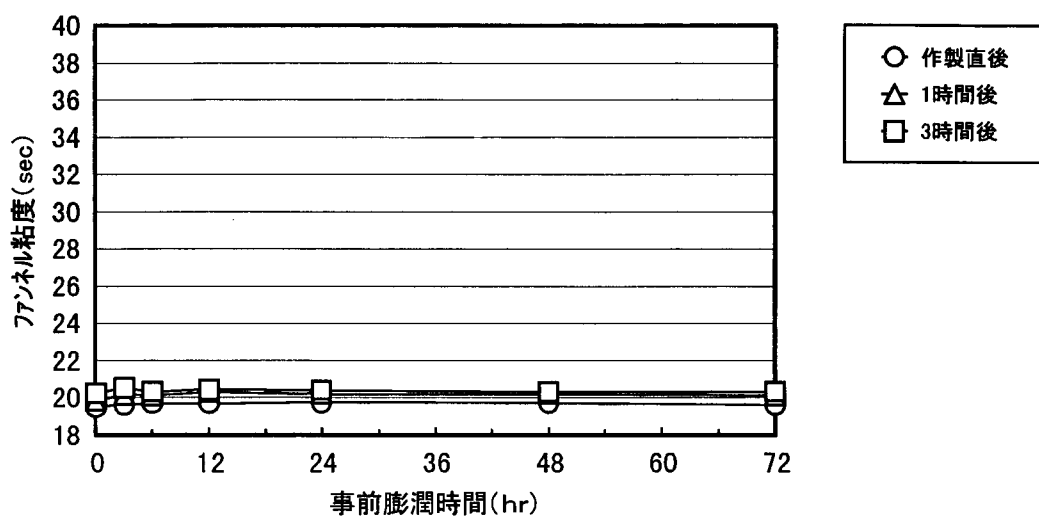
表-4.3 ケース3の試験結果 (Bt:As,W/(Bt+C)=600%,Bt/C=5%)

		膨潤時間 (hr)						
		0	3	6	12	24	48	72
ブリージング率 (%)	1時間後	64.2	58.0	59.0	58.6	58.9	60.1	60.2
	3時間後	68.1	60.8	61.3	60.9	61.6	61.6	62.9
	24時間後	68.1	61.2	61.3	61.3	61.6	62.0	62.9
ファンネル粘度 (sec)	作製直後	19.5	19.6	19.7	19.7	19.8	19.7	19.6
	1時間後	19.9	20.2	20.1	20.3	20.2	20.2	20.1
	2時間後	20.1	20.5	20.4	20.5	20.5	20.4	20.4
	3時間後	20.2	20.5	20.3	20.5	20.4	20.3	20.3
粘度 (ローター回転数:6rpm) (mPa·s)	作製直後	55.0	115.0	100.0	105.0	110.0	100.0	80.0
	1時間後	95.0	175.0	140.0	140.0	145.0	120.0	130.0
	2時間後	170.0	195.0	155.0	180.0	180.0	165.0	160.0
	3時間後	225.0	195.0	170.0	195.0	175.0	175.0	150.0
粘度 (ローター回転数:60rpm) (mPa·s)	作製直後	15.5	24.5	24.5	23.5	23.5	21.0	18.0
	1時間後	24.0	38.5	33.0	35.5	36.0	32.0	30.5
	2時間後	41.0	56.0	45.0	47.5	46.5	42.5	40.5
	3時間後	56.0	54.5	45.5	48.0	50.5	44.5	51.5
一軸圧縮強さ (kN/m ²)	材令3日	206	118	108	127	127	118	118
	材令7日	481	216	216	206	226	216	196
	材令28日	961	422	392	402	422	422	412
湿潤密度 (g/cm ³)	材令3日	1.365	1.288	1.305	1.297	1.289	1.295	1.306
	材令7日	1.367	1.302	1.301	1.297	1.304	1.297	1.304
	材令28日	1.400	1.299	1.295	1.298	1.301	1.295	1.310
透水係数(cm/sec)	材令28日		1.1×10 ⁻⁵	2.1×10 ⁻⁵	1.2×10 ⁻⁵	1.9×10 ⁻⁵	1.5×10 ⁻⁵	9.6×10 ⁻⁶
湿潤密度(g/cm ³)	材令28日		1.301	1.281	1.299	1.296	1.283	1.301

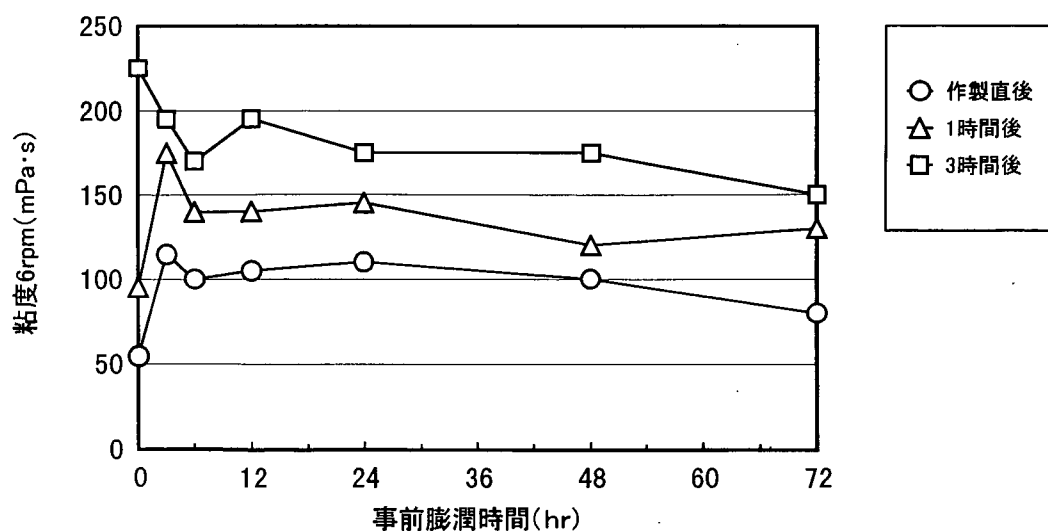
注) 空欄は試験を実施していないことを示し、測定値の「-」は測定限界を示す。



(a) ブリージング率

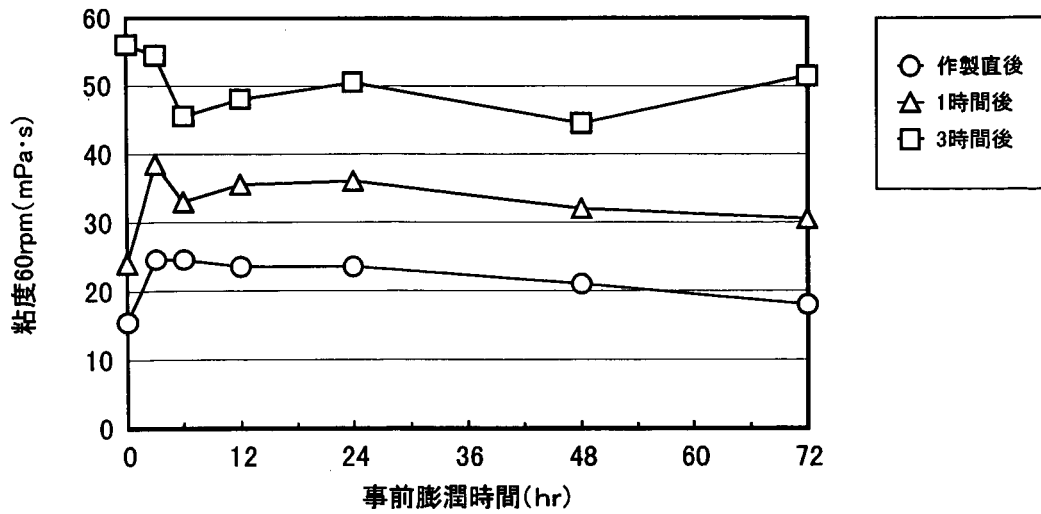


(b) ファンネル粘度

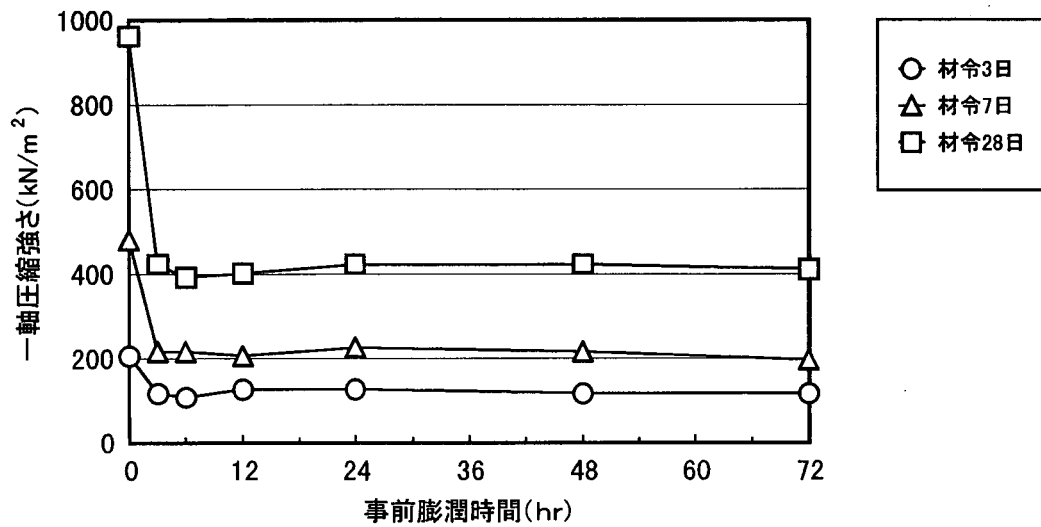


(c) 粘度(ローターの回転数6rpm)

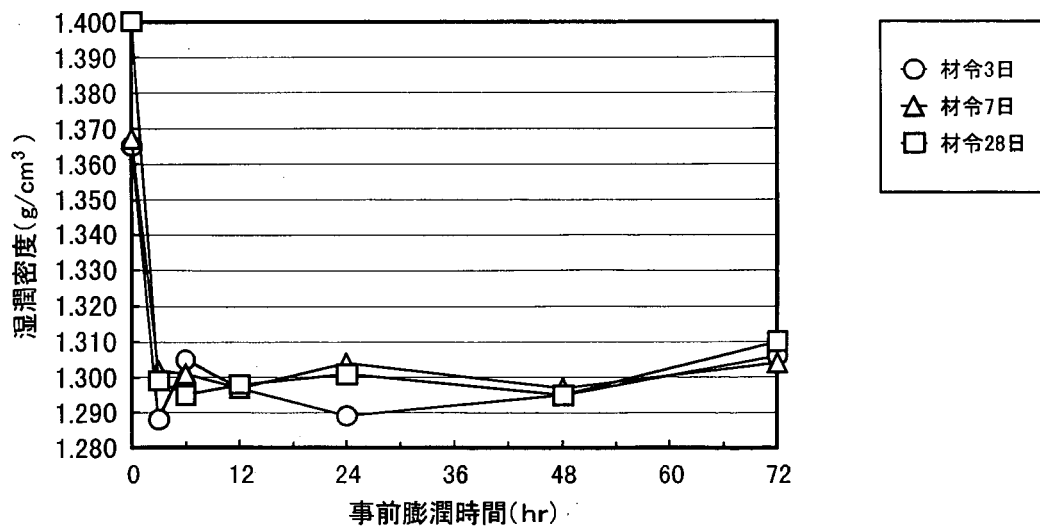
図-4.3 ケース3の試験結果(Bt:As,W/(Bt+C)=200%,Bt/C=5%)



(d) 粘度(ローターの回転数60rpm)

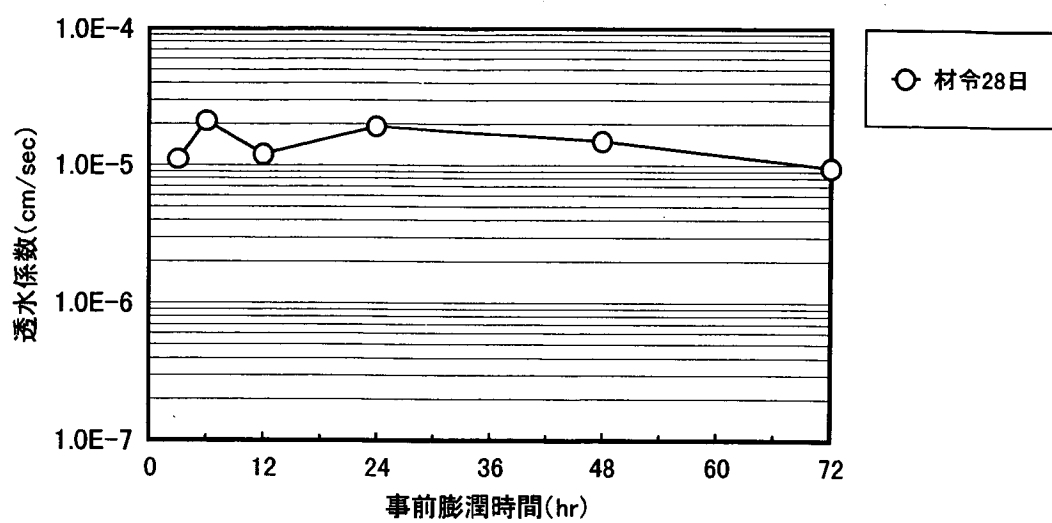


(e) 一軸圧縮強さ

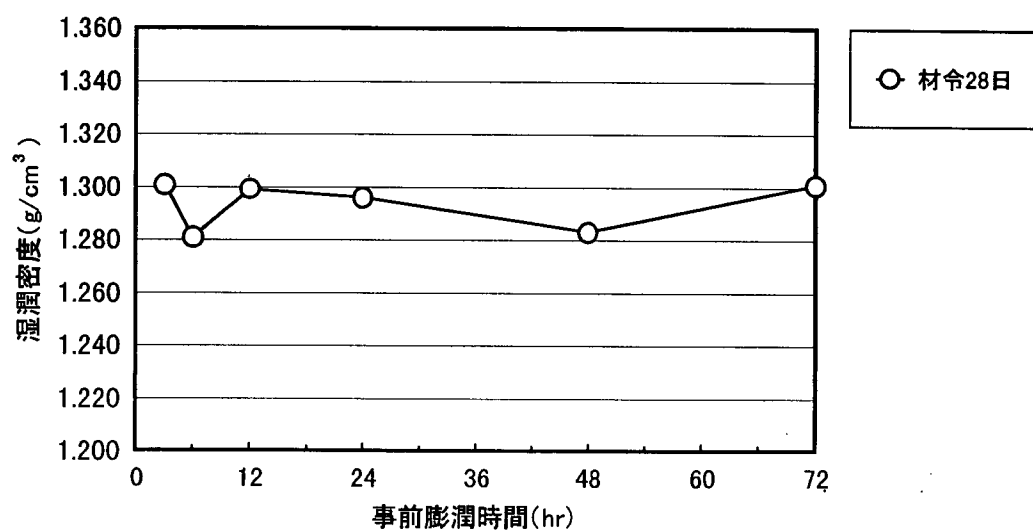


(f) 湿潤密度

図-4.3 ケース3の試験結果(Bt:As,W/(Bt+C)=200%,Bt/C=5%)



(g) 透水係数



(h) 湿潤密度

図-4.3 ケース3の試験結果(Bt:As,W/(Bt+C)=600%,Bt/C=5%)

(4) ケース 4(試験条件 Bt: Ak、 $W/(Bt+C)=200\%$ 、 $Bt/C=5\%$)

ケース 4 の試験結果の一覧を表-4.4 に、CB グラウトの各種物性の変化を図-4.4(a)~(h)に示す。

① ブリージング率

試料のブリージング率は、3 時間後と 24 時間後の差が小さいので、試料中の粒子の沈降はその大部分が試料作製から 3 時間で発生し、24 時間後にすべて完了するものと考える。

24 時間後のブリージング率は、事前膨潤 0 時間では 23.8%、事前膨潤 72 時間では 19.3%を示し、事前膨潤時間の経過に伴い減少する傾向にある。しかし、その差は 3%程度と非常に小さく、試料の安定性は、事前膨潤時間に関係なく同程度であると考ええる。

② ファンネル粘度

試料作製直後のファンネル粘度は、いずれも 23~24sec 程度を示す。また、試料作製 3 時間後では、いずれも 27~28sec 程度を示す。

③ 粘度 (ローターの回転数 6rpm)

試料作製直後の粘度は、事前膨潤 0 時間では 565mPa·s、事前膨潤 72 時間では 650mPa·s を示し、事前膨潤時間の経過に伴い増加する傾向にある。また、試料作製 3 時間後では、事前膨潤 0 時間では 595mPa·s、事前膨潤 72 時間では 700mPa·s を示し、事前膨潤時間の経過に伴い増加する傾向にある。しかし、いずれも事前膨潤時間による差は小さいので、試料の粘度は同程度であると考ええる。

④ 粘度 (ローターの回転数 60rpm)

試料作製直後の粘度は、いずれも 340~370mPa·s 程度を示す。また、試料作製 3 時間後では、事前膨潤 0 時間では 457.5mPa·s、事前膨潤 72 時間では 570mPa·s を示し、事前膨潤時間の経過に伴い増加する傾向にある。しかし、事前膨潤時間による差は小さいので、試料の粘度は同程度であると考ええる。

以上のように、3 種類の粘度 (ファンネル粘度、ローターの回転数 6rpm、ローターの回転数 60rpm) の結果から、試料の粘度は、同等測定時間であればベントナイトの事前膨潤時間に関係なくほぼ一定値を示すものと考ええる。

⑤ 一軸圧縮強さおよび湿潤密度

材令 3 日の一軸圧縮強さは、いずれも 600~700kN/m² 程度を示す。また、材令 28 日では、いずれも 2200~2400kN/m² 程度を示す。このように、同材令における一軸圧縮強さは、事前膨潤時間に関係なくほぼ一定値を示す。

湿潤密度は、同材令では、若干ばらつきはあるものの、事前膨潤時間に関係なく同程度を示す。したがって、試料の均質性は、事前膨潤時間に関係なく同程度であるものと考えられる。

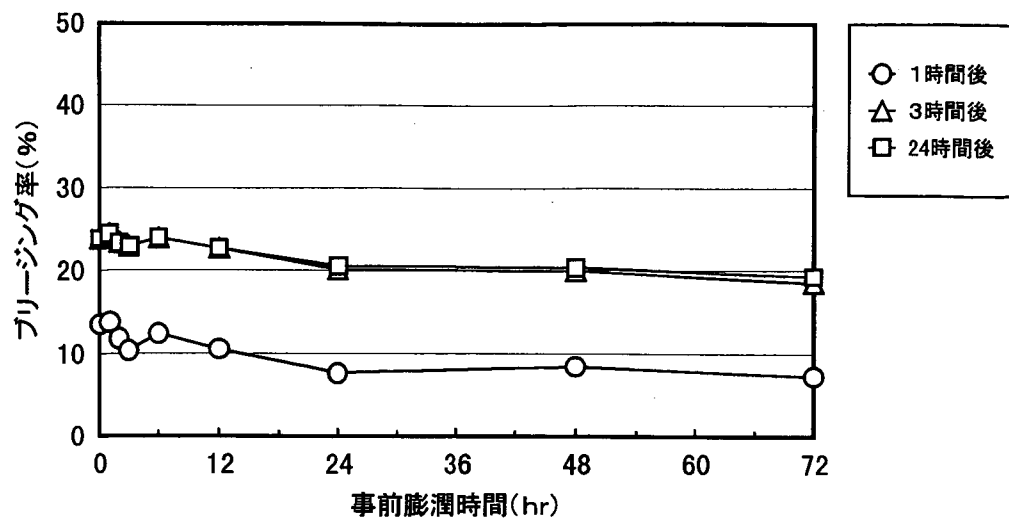
⑥ 透水係数および湿潤密度

透水係数および湿潤密度は、若干ばらつきはあるものの、前者が $3.8 \times 10^{-7} \sim 1.5 \times 10^{-6}$ cm/sec の 1 オーダ以内の範囲に収まり、後者が 1.40~1.42g/cm³ 程度を示す。したがって、試料の均質性は、ベントナイトの事前膨潤時間に関係なく、同程度であると考ええる。

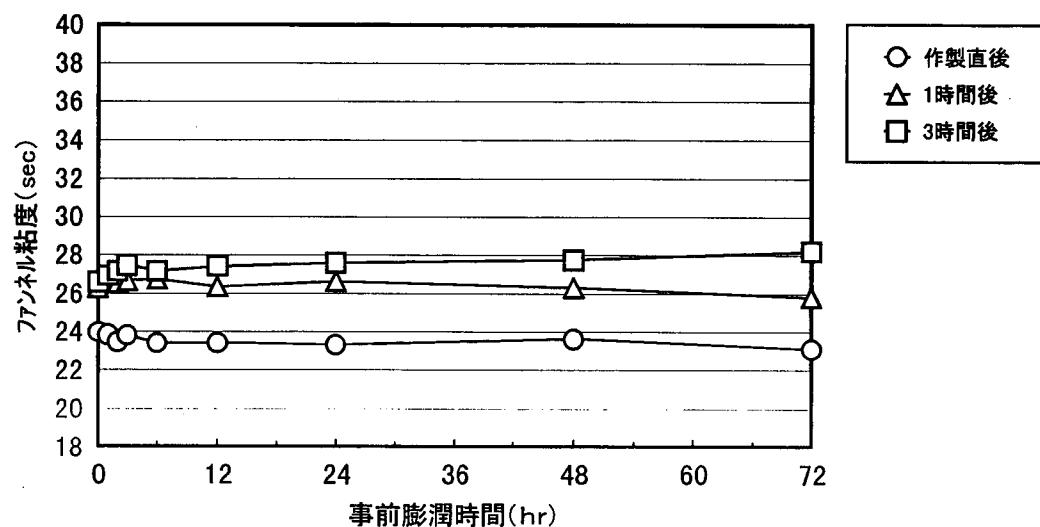
表-4.4 ケース4の試験結果(Bt:Ak,W/(Bt+C)=200%,Bt/C=5%)

		膨潤時間 (hr)								
		0	1	2	3	6	12	24	48	72
ブリージング率 (%)	1時間後	13.5	13.8	11.8	10.4	12.4	10.5	7.6	8.4	7.2
	3時間後	23.8	24.4	23.3	22.9	23.9	22.7	20.1	19.9	18.5
	24時間後	23.8	24.4	23.3	22.9	23.9	22.7	20.5	20.3	19.3
ファンネル粘度 (sec)	作製直後	24.0	23.9	23.5	23.8	23.4	23.4	23.3	23.7	23.1
	1時間後	26.3	26.8	26.5	26.7	26.8	26.3	26.6	26.3	25.8
	2時間後	27.8	27.8	27.8	27.8	28.0	27.6	28.1	27.8	28.3
	3時間後	26.6	26.9	27.2	27.5	27.2	27.4	27.6	27.8	28.2
粘度 (ローター回転数:6rpm) (mPa·s)	作製直後	565.0	560.0	560.0	570.0	585.0	590.0	620.0	605.0	650.0
	1時間後	615.0	695.0	670.0	720.0	720.0	715.0	700.0	675.0	660.0
	2時間後	680.0	645.0	630.0	715.0	690.0	700.0	705.0	745.0	725.0
	3時間後	595.0	590.0	620.0	625.0	650.0	680.0	670.0	690.0	700.0
粘度 (ローター回転数:60rpm) (mPa·s)	作製直後	350.0	337.5	357.5	367.5	365.0	355.0	370.0	352.5	365.0
	1時間後	410.0	417.5	427.5	417.5	457.5	440.0	485.0	482.5	490.0
	2時間後	440.0	475.0	475.0	485.0	480.0	495.0	500.0	520.0	540.0
	3時間後	457.5	485.0	482.5	485.0	500.0	510.0	530.0	550.0	570.0
一軸圧縮強さ (kN/m ²)	材令3日	647	618	628	598	598	667	647	696	706
	材令7日	1265	1226	1255	1177	1196	1255	1285	1344	1334
	材令28日	2187	2216	2206	2314	2363	2285	2295	2314	2403
湿潤密度 (g/cm ³)	材令3日	1.397	1.393	1.389	1.395	1.400	1.398	1.394	1.398	1.389
	材令7日	1.402	1.391	1.392	1.394	1.390	1.394	1.388	1.397	1.388
	材令28日	1.406	1.401	1.404	1.407	1.403	1.415	1.401	1.404	1.404
透水係数(cm/sec)	材令28日	1.5×10^{-6}	9.8×10^{-7}	6.8×10^{-7}	7.9×10^{-7}	1.3×10^{-6}	9.5×10^{-7}	5.6×10^{-7}	3.9×10^{-7}	3.8×10^{-7}
湿潤密度(g/cm ³)	材令28日	1.416	1.411	1.411	1.414	1.407	1.404	1.406	1.410	1.412

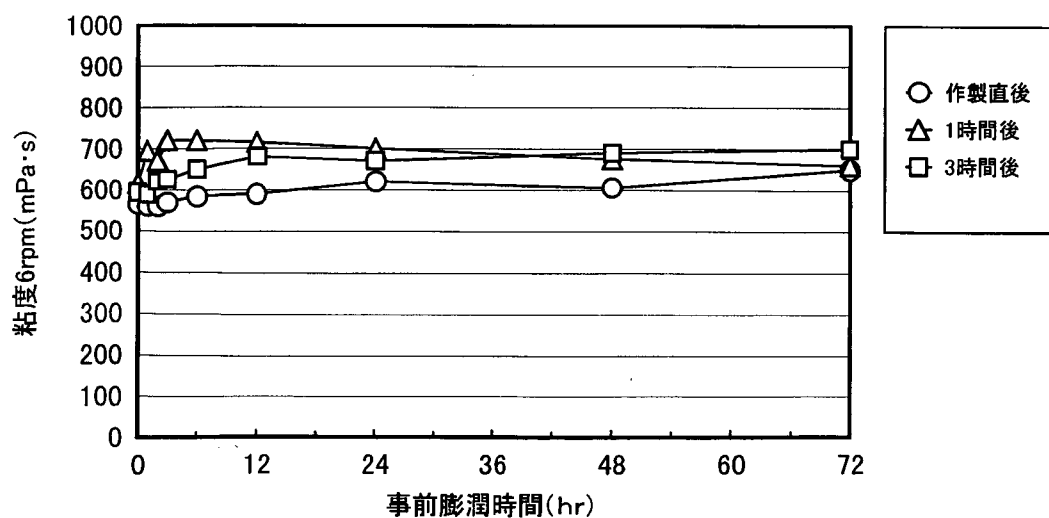
注) 空欄は試験を実施していないことを示し、測定値の「-」は測定限界を示す。



(a) フリージング率

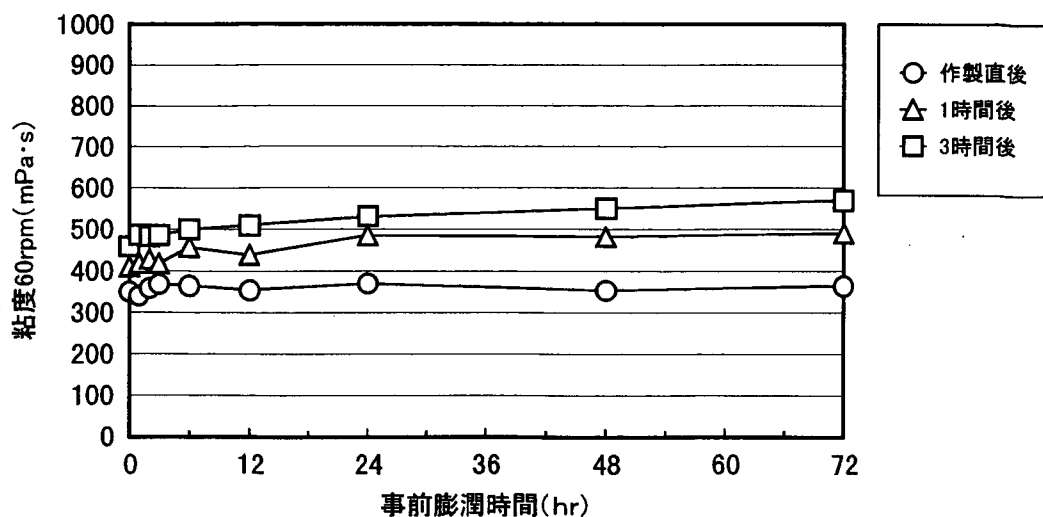


(b) ファンネル粘度

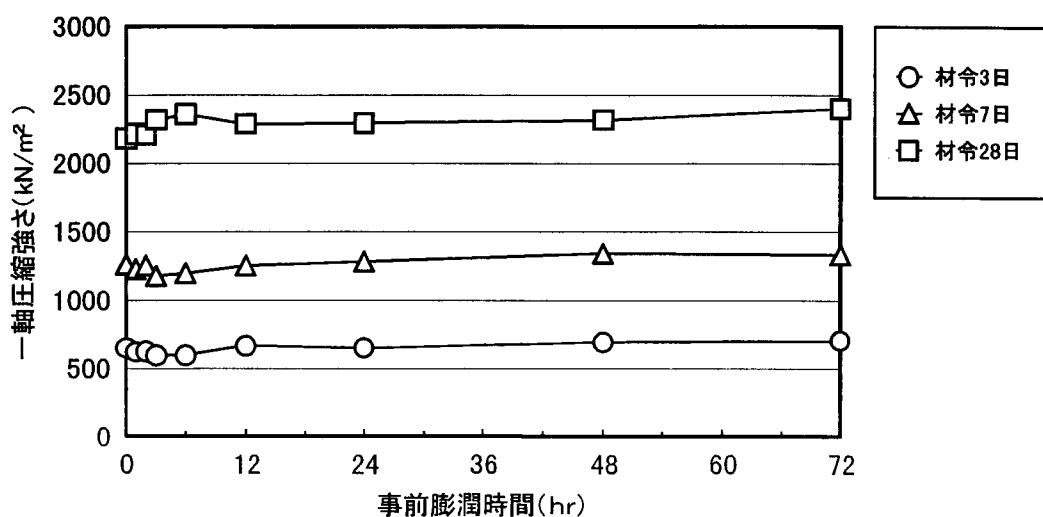


(c) 粘度(ローターの回転数6rpm)

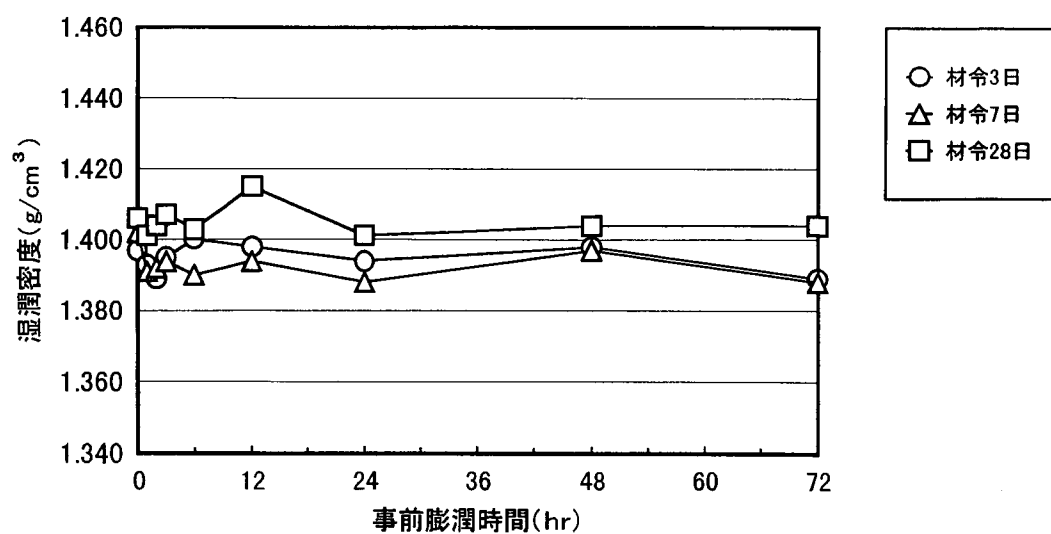
図-4.4 ケース4の試験結果(Bt:Ak,W/(Bt+C)=200%,Bt/C=5%)



(d) 粘度(ローターの回転数60rpm)



(e) 一軸圧縮強さ



(f) 湿潤密度

図-4.4 ケース4の試験結果 (Bt: Ak, W/(Bt+C)=200%, Bt/C=5%)

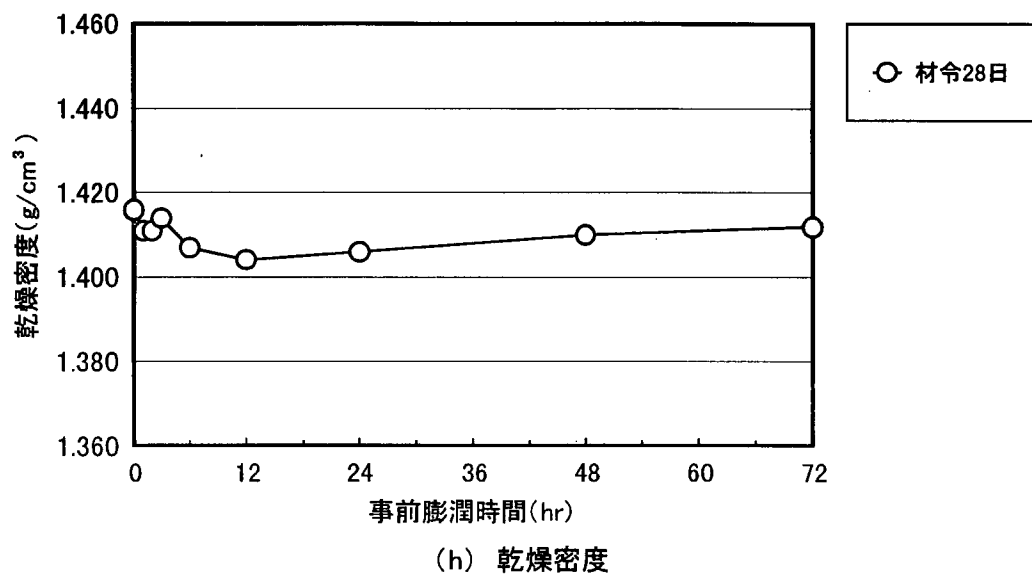
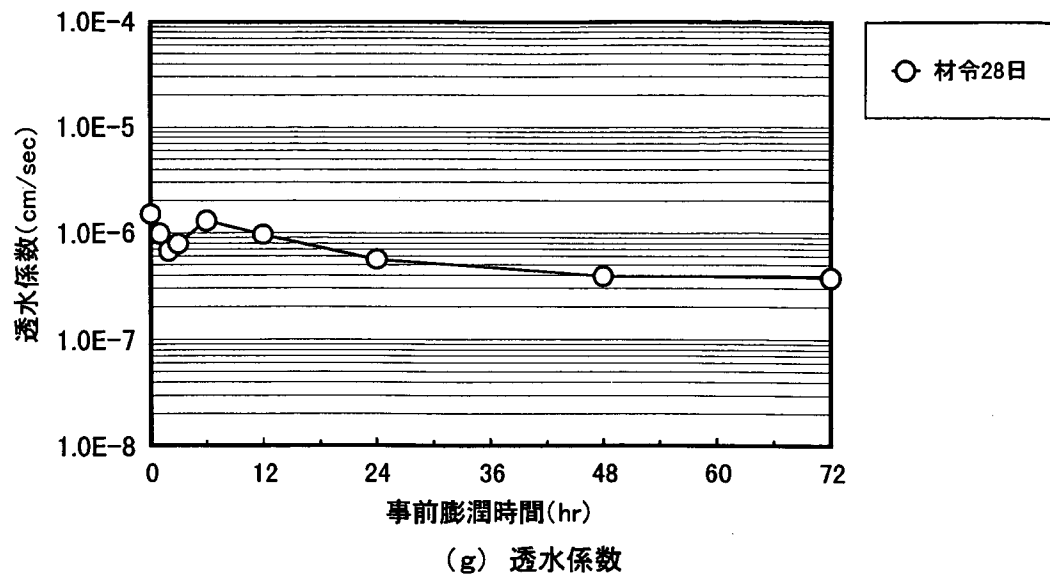


図-4.4 ケース4の試験結果(Bt:Ak,W/(Bt+C)=200%,Bt/C=5%)

(5) ケース 5(試験条件 Bt: Ak、 $W/(Bt+C)=400\%$ 、 $Bt/C=5\%$)

ケース 5 の試験結果の一覧を表-4.5 に、CB グラウトの各種物性の変化を図-4.5(a)~(h)に示す。

① ブリージング率

試料のブリージング率は、3 時間後と 24 時間後の差が小さいので、試料中の粒子の沈降はその大部分が試料作製から 3 時間で発生し、24 時間後にすべて完了するものとする。

24 時間後のブリージング率は、いずれの試料も 50%程度の一定値を示す。したがって、試料の安定性は、事前膨潤時間に関係なく同程度であるとする。

② ファンネル粘度

試料作製直後のファンネル粘度は、いずれも 20sec 程度の一定値を示す。また、試料作製 3 時間後では、いずれも 21sec 程度の一定値を示す。

③ 粘度 (ローターの回転数 6rpm)

試料作製直後の粘度は、いずれも $270\sim 330\text{mPa}\cdot\text{s}$ 程度を示す。また、試料作製 3 時間後では、いずれも $300\sim 370\text{mPa}\cdot\text{s}$ 程度を示す。

④ 粘度 (ローターの回転数 60rpm)

試料作製直後の粘度は、いずれも $58\sim 66\text{mPa}\cdot\text{s}$ 程度を示す。また、試料作製 3 時間後では、いずれも $55\sim 68\text{mPa}\cdot\text{s}$ 程度を示す。

以上のように、3 種類の粘度 (ファンネル粘度、ローターの回転数 6rpm、ローターの回転数 60rpm) の結果から、いずれの測定方法においても、試料の粘度は、同等測定時間であればベントナイトの事前膨潤時間に関係なく、一定値を示すことがわかる。

⑤ 一軸圧縮強さおよび湿潤密度

材令 3 日の一軸圧縮強さは、いずれも $450\sim 510\text{kN/m}^2$ 程度を示す。また、材令 28 日では、いずれも 1500kN/m^2 程度の一定値を示す。

湿潤密度は、同材令では、若干ばらつきはあるものの、事前膨潤時間に関係なく同程度を示す。したがって、試料の均質性は、事前膨潤時間に関係なく同程度であるものと考えられる。

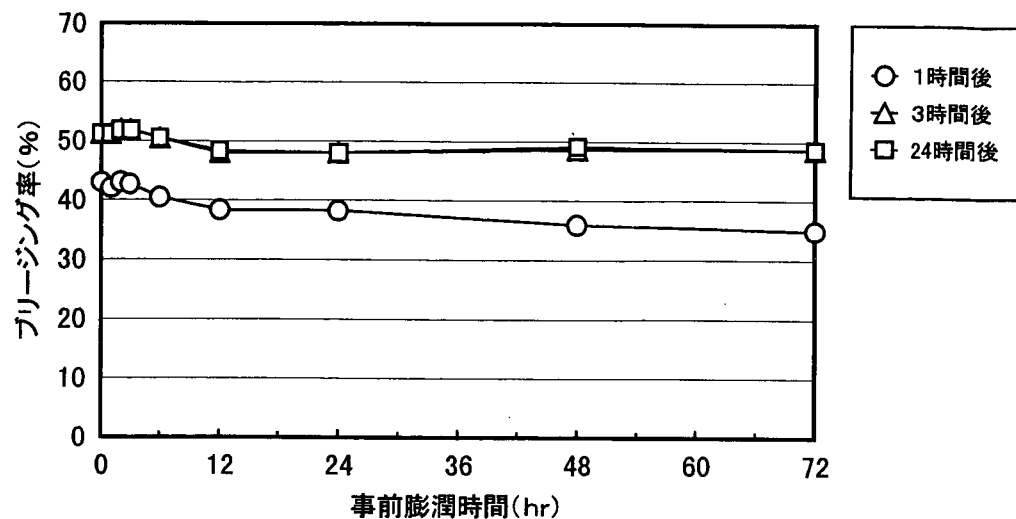
⑥ 透水係数および湿潤密度

試料の透水係数および湿潤密度は、若干ばらつきはあるものの、前者が $2\sim 5\times 10^{-6}\text{cm/sec}$ 程度、後者が 1.35g/cm^3 程度を示す。したがって、試料の均質性は、ベントナイトの事前膨潤時間に関係なく、同程度であるとする。

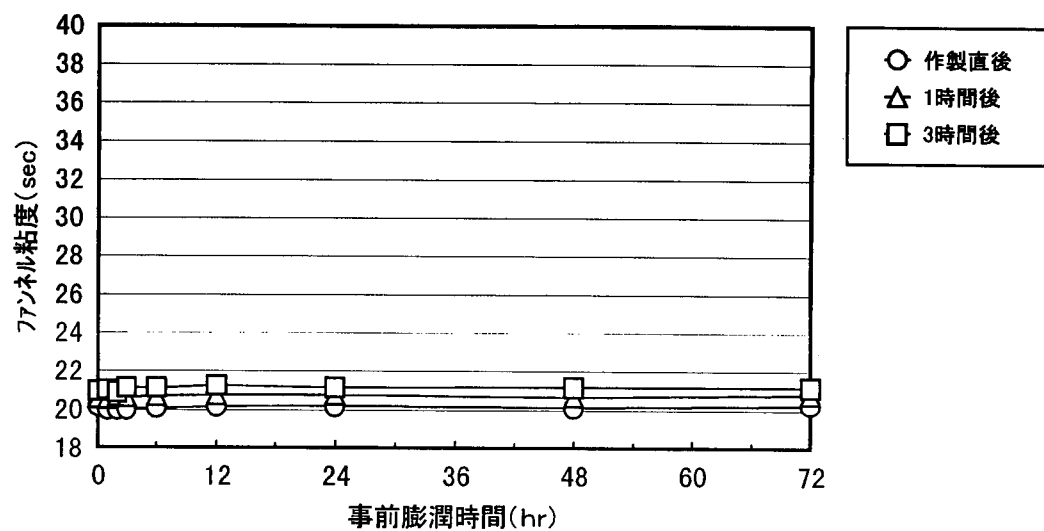
表-4.5 ケース5の試験結果(Bt:Ak,W/(Bt+C)=400%,Bt/C=5%)

		膨潤時間 (hr)								
		0	1	2	3	6	12	24	48	72
ブリージング率 (%)	1時間後	42.9	42.0	43.0	42.6	40.5	38.4	38.2	35.9	34.9
	3時間後	51.2	51.2	51.8	51.8	50.4	48.0	48.0	48.6	48.6
	24時間後	51.2	51.2	51.8	51.8	50.4	48.4	48.0	49.0	48.6
ファンネル粘度 (sec)	作製直後	20.2	20.0	20.0	20.0	20.1	20.2	20.2	20.1	20.2
	1時間後	20.6	20.5	20.7	20.6	20.7	20.8	20.8	20.7	20.8
	2時間後	21.0	21.0	20.9	21.2	21.2	21.2	21.3	21.3	21.3
	3時間後	20.9	21.0	20.9	21.1	21.1	21.3	21.2	21.2	21.2
粘度 (ローター回転数:6rpm) (mPa·s)	作製直後	270.0	285.0	280.0	290.0	290.0	315.0	315.0	310.0	325.0
	1時間後	295.0	300.0	305.0	310.0	295.0	330.0	355.0	340.0	370.0
	2時間後	300.0	310.0	315.0	335.0	325.0	325.0	355.0	360.0	340.0
	3時間後	320.0	305.0	300.0	335.0	330.0	370.0	350.0	350.0	355.0
粘度 (ローター回転数:60rpm) (mPa·s)	作製直後	58.0	59.5	66.0	65.0	64.0	65.5	65.5	65.0	64.5
	1時間後	76.5	81.5	84.0	85.0	86.5	93.0	90.0	91.5	91.0
	2時間後	67.5	62.5	70.0	62.5	72.5	75.0	70.0	65.0	75.0
	3時間後	55.0	57.5	57.5	55.0	57.5	60.0	62.5	67.5	62.5
一軸圧縮強さ (kN/m ²)	材令3日	490	451	461	461	441	481	510	441	481
	材令7日	951	873	892	902	892	883	824	824	794
	材令28日	1579	1549	1510	1471	1481	1520	1530	1500	1432
湿潤密度 (g/cm ³)	材令3日	1.356	1.353	1.353	1.358	1.356	1.359	1.349	1.344	1.340
	材令7日	1.360	1.353	1.356	1.360	1.361	1.359	1.357	1.349	1.344
	材令28日	1.367	1.363	1.357	1.364	1.353	1.357	1.352	1.351	1.349
透水係数(cm/sec)	材令28日	3.1×10 ⁻⁶	4.4×10 ⁻⁶	2.2×10 ⁻⁶	3.8×10 ⁻⁶	1.9×10 ⁻⁶	3.2×10 ⁻⁶	3.5×10 ⁻⁶	3.9×10 ⁻⁶	5.1×10 ⁻⁶
湿潤密度(g/cm ³)	材令28日	1.358	1.356	1.361	1.354	1.356	1.353	1.351	1.348	1.348

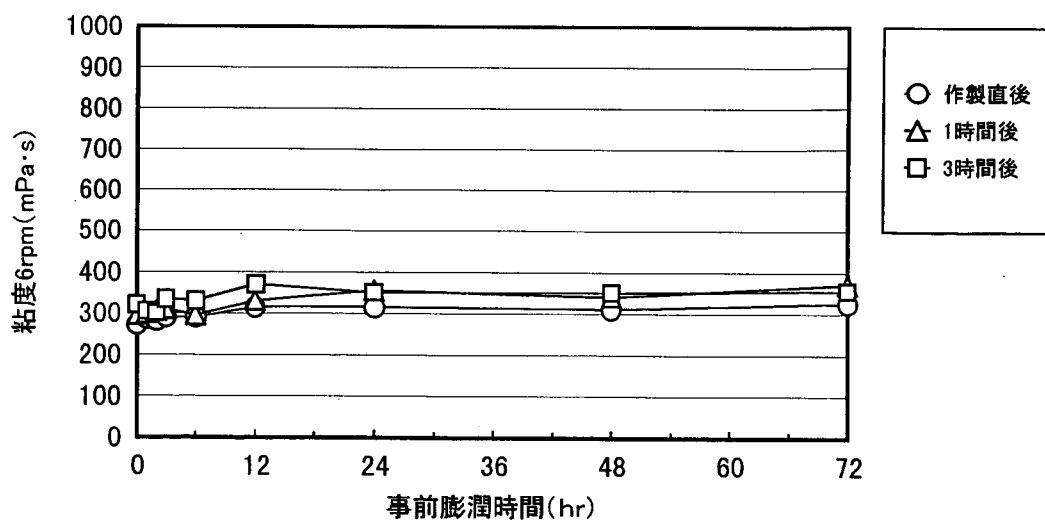
注) 空欄は試験を実施していないことを示し、測定値の「-」は測定限界を示す。



(a) フリージング率

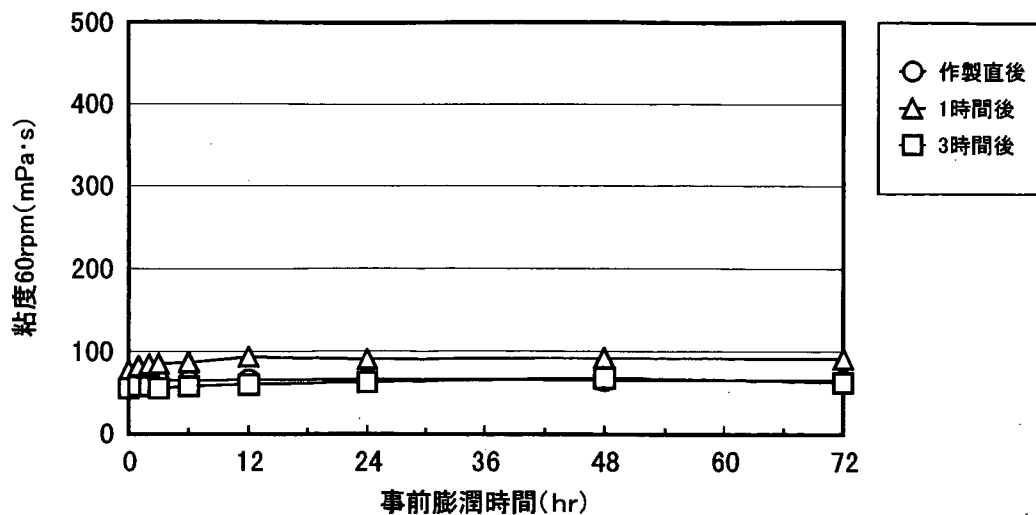


(b) ファンネル粘度

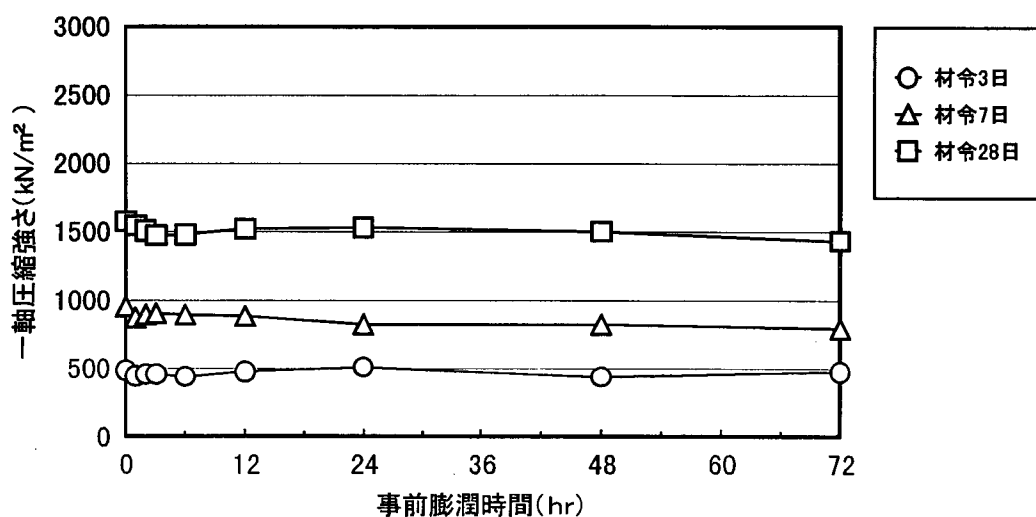


(c) 粘度(ローターの回転数6rpm)

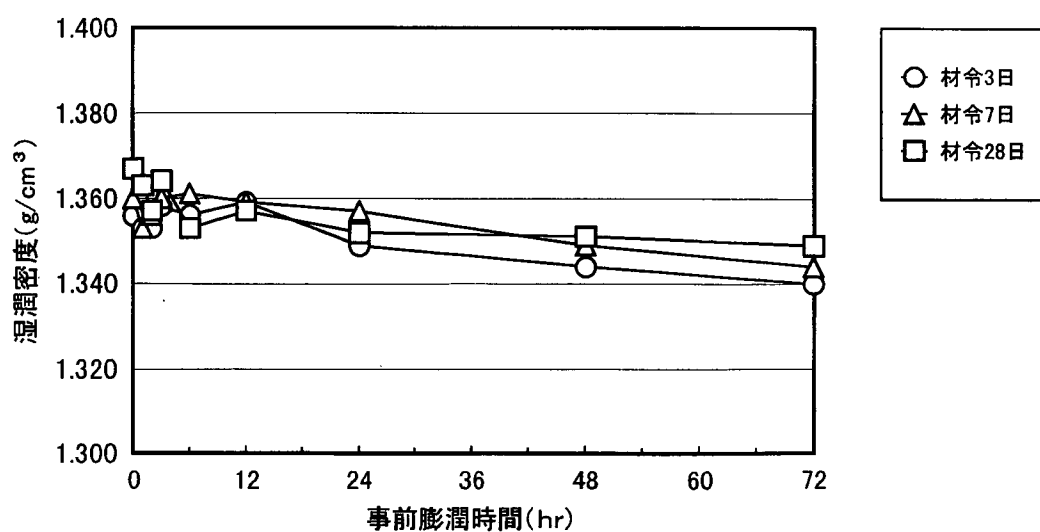
図-4.5 ケース5の試験結果(Bt:Ak,W/(Bt+C)=400%,Bt/C=5%)



(d) 粘度(ローターの回転数60rpm)



(e) 一軸圧縮強さ



(f) 湿潤密度

図-4.5 ケース5の試験結果(Bt:Ak,W/(Bt+C)=400%,Bt/C=5%)

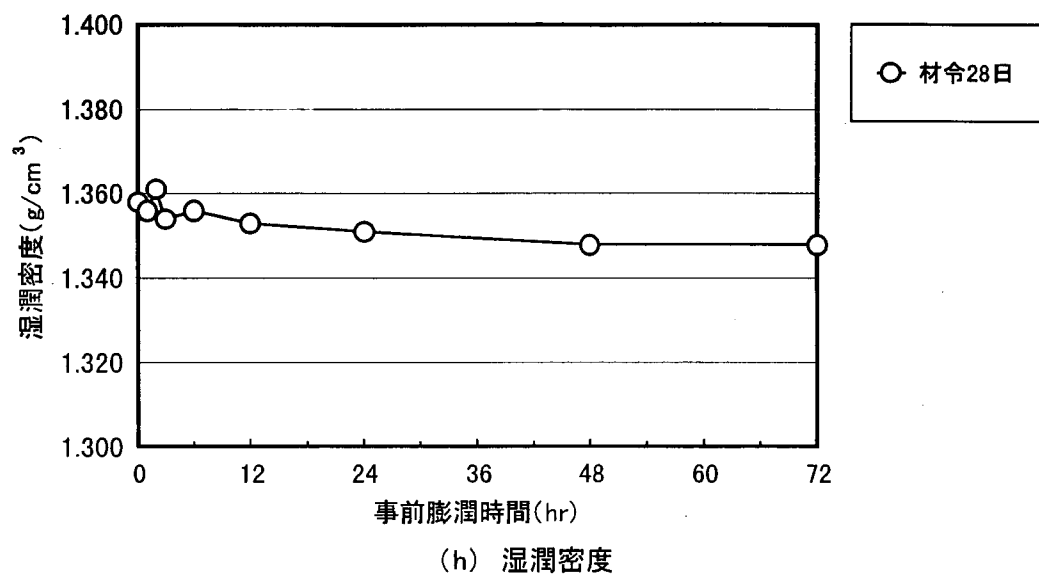
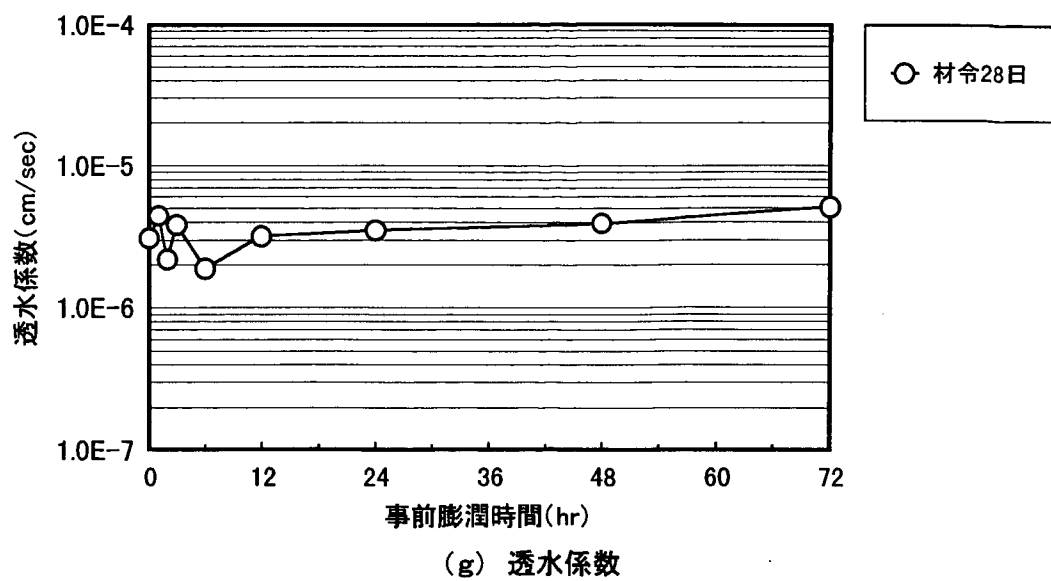


図-4.5 ケース5の試験結果(Bt:Ak,W/(Bt+C)=400%,Bt/C=5%)

(6) ケース 6(試験条件 Bt: Ak、 $W/(Bt+C)=600\%$ 、 $Bt/C=5\%$)

ケース 6 の試験結果の一覧を表-4.6 に、CB グラウトの各種物性の変化を図-4.6(a)～(h)に示す。

① ブリージング率

試料のブリージング率は、1、3、24 時間後の差が小さいので、試料中の粒子の沈降はその大部分が試料作製から 1 時間で発生し、24 時間後にすべて完了するものと考ええる。

24 時間後のブリージング率は、いずれの試料も 62～65%程度を示す。したがって、試料の安定性は、事前膨潤時間に関係なく同程度であると考ええる。

② ファンネル粘度

試料作製直後のファンネル粘度は、いずれも 19.5sec 程度を示す。また、試料作製 3 時間後では、いずれも 20.5sec 程度の一定値を示す。

③ 粘度 (ローターの回転数 6rpm)

試料作製直後の粘度は、いずれも 80～100mPa・s 程度を示す。また、試料作製 3 時間後では、いずれも 210～250mPa・s 程度を示す。

④ 粘度 (ローターの回転数 60rpm)

試料作製直後の粘度は、いずれも 20～24mPa・s 程度を示す。また、試料作製 3 時間後では、いずれも 64～70mPa・s 程度を示す。

以上のように、3 種類の粘度 (ファンネル粘度、ローターの回転数 6rpm、ローターの回転数 60rpm) の結果から、いずれの測定方法においても、試料の粘度は、同等測定時間であればベントナイトの事前膨潤時間に関係なく、一定値を示すことがわかる。

⑤ 一軸圧縮強さおよび湿潤密度

材令 3 日の一軸圧縮強さは、いずれも 170～300kN/m² 程度を示す。また、材令 28 日では、いずれも 1000～1300kN/m² 程度を示す。このように、試料の同材令における一軸圧縮強さは、事前膨潤時間に関係なくほぼ同程度を示す。

湿潤密度は、同材令では、若干ばらつきはあるものの事前膨潤時間に関係なく同程度を示す。したがって、試料の均質性は、事前膨潤時間に関係なく同程度であるものと考ええる。

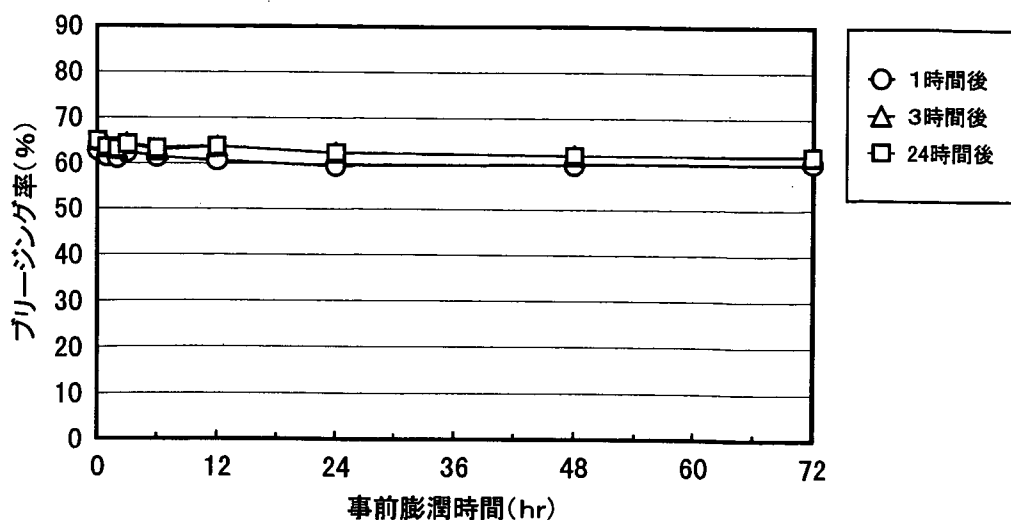
⑥ 透水係数および湿潤密度

試料の透水係数および湿潤密度は、若干ばらつきはあるものの、前者が $3.2 \times 10^{-6} \sim 1.1 \times 10^{-5} \text{cm/sec}$ の 1 オーダ以内の範囲に収まり、後者が 1.31～1.33g/cm³ 程度を示す。したがって、試料の均質性は、ベントナイトの事前膨潤時間に関係なく、同程度であると考ええる。

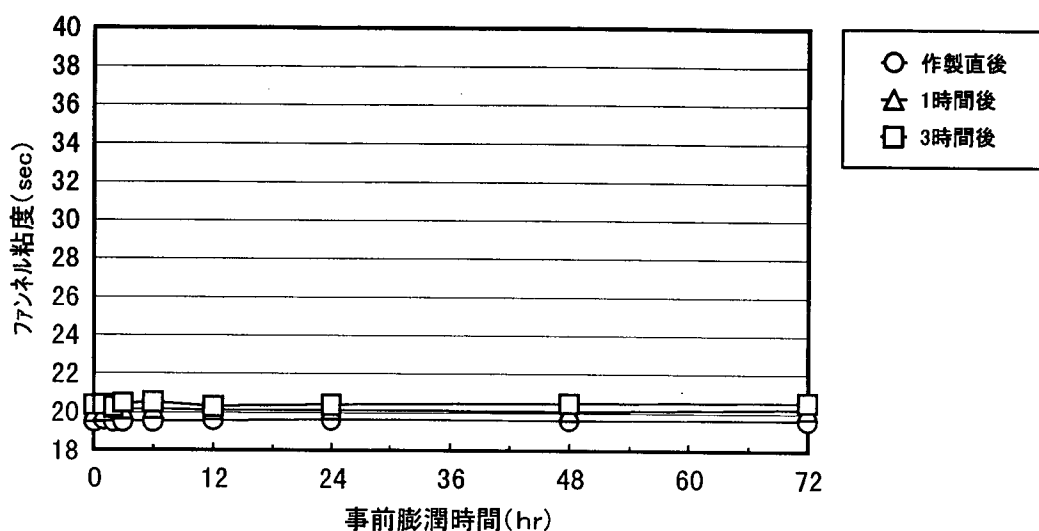
表-4.6 ケース6の試験結果(Bt:Ak,W/(Bt+C)=600%,Bt/C=5%)

		膨潤時間 (hr)								
		0	1	2	3	6	12	24	48	72
ブリージング率 (%)	1時間後	62.9	61.5	61.1	62.4	61.4	60.5	59.5	59.9	60.1
	3時間後	64.8	63.5	63.0	64.3	62.9	63.6	62.3	61.9	61.7
	24時間後	64.8	63.5	63.0	64.3	63.3	63.6	62.3	61.9	61.7
ファンネル粘度 (sec)	作製直後	19.5	19.6	19.5	19.5	19.5	19.6	19.6	19.6	19.6
	1時間後	20.0	20.0	20.2	20.1	20.2	20.1	20.1	20.1	20.2
	2時間後	20.3	20.4	20.4	20.6	20.5	20.4	20.5	20.5	20.6
	3時間後	20.4	20.4	20.3	20.5	20.5	20.3	20.4	20.5	20.6
粘度 (ローター回転数:6rpm) (mPa・s)	作製直後	80.0	95.0	85.0	100.0	90.0	95.0	95.0	95.0	80.0
	1時間後	145.0	155.0	160.0	165.0	160.0	145.0	165.0	160.0	165.0
	2時間後	210.0	210.0	230.0	200.0	220.0	200.0	205.0	220.0	200.0
	3時間後	245.0	230.0	215.0	220.0	225.0	210.0	230.0	215.0	230.0
粘度 (ローター回転数:60rpm) (mPa・s)	作製直後	21.0	22.0	22.5	22.5	23.0	22.0	23.5	20.0	21.0
	1時間後	36.5	41.5	42.5	40.5	42.0	38.0	41.5	41.5	38.5
	2時間後	55.0	58.5	60.5	57.5	58.5	53.0	58.5	60.0	55.5
	3時間後	64.5	65.0	65.5	67.0	69.0	60.0	69.0	69.5	63.5
一軸圧縮強さ (kN/m ²)	材令3日	255	294	284	196	186	177	275	343	245
	材令7日	569	657	598	569	579	716	539	647	539
	材令28日	1108	1206	1177	1255	1030	1344	1079	1059	932
湿潤密度 (g/cm ³)	材令3日	1.335	1.332	1.327	1.323	1.327	1.327	1.317	1.328	1.321
	材令7日	1.332	1.327	1.332	1.332	1.322	1.329	1.323	1.326	1.318
	材令28日	1.338	1.333	1.329	1.338	1.336	1.338	1.325	1.327	1.332
透水係数(cm/sec)	材令28日	7.0×10^{-6}	1.0×10^{-5}	1.1×10^{-5}	4.0×10^{-6}	3.2×10^{-6}	4.3×10^{-6}	1.1×10^{-5}	1.1×10^{-5}	1.0×10^{-5}
湿潤密度(g/cm ³)	材令28日	1.329	1.325	1.324	1.331	1.333	1.326	1.319	1.308	1.312

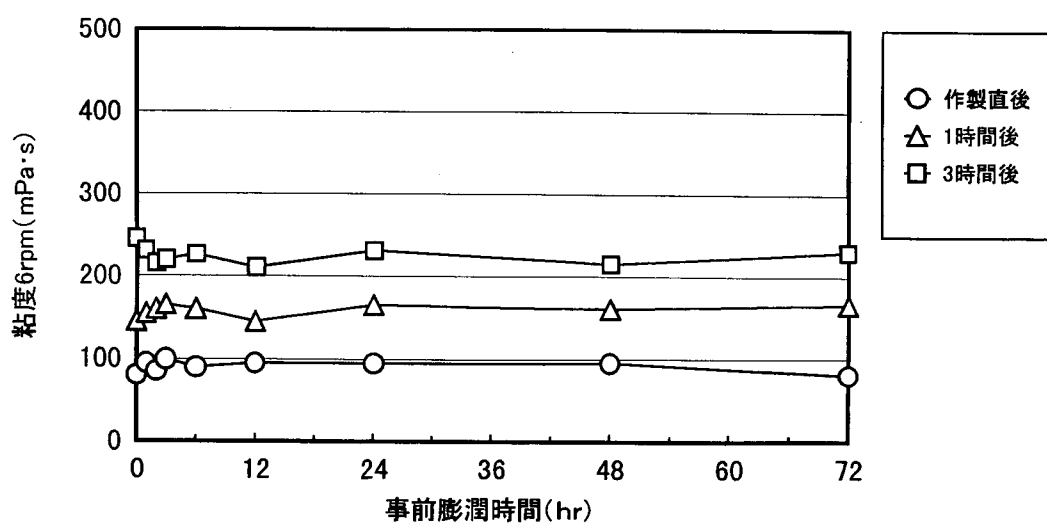
注) 空欄は試験を実施していないことを示し、測定値の「-」は測定限界を示す。



(a) プリージング率

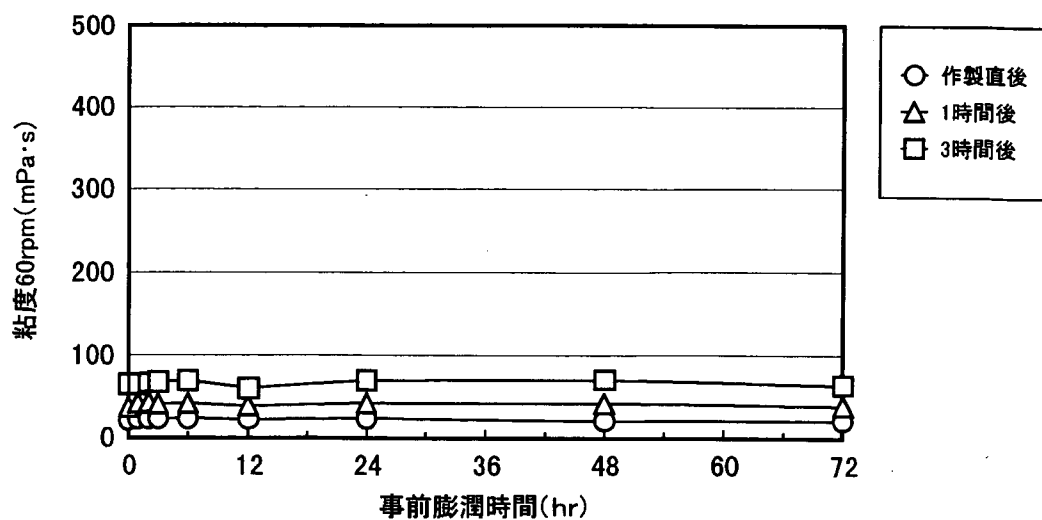


(b) ファンネル粘度

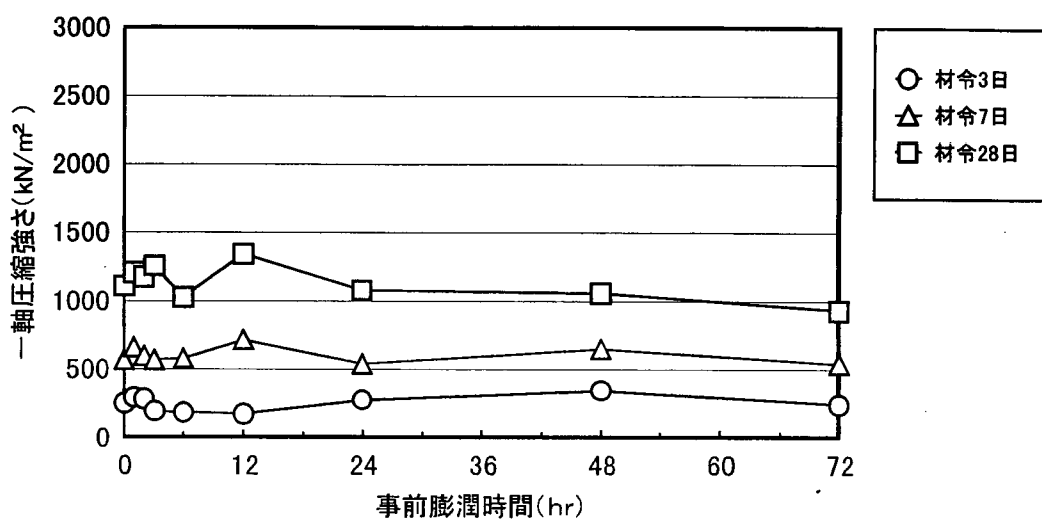


(c) 粘度(ローターの回転数6rpm)

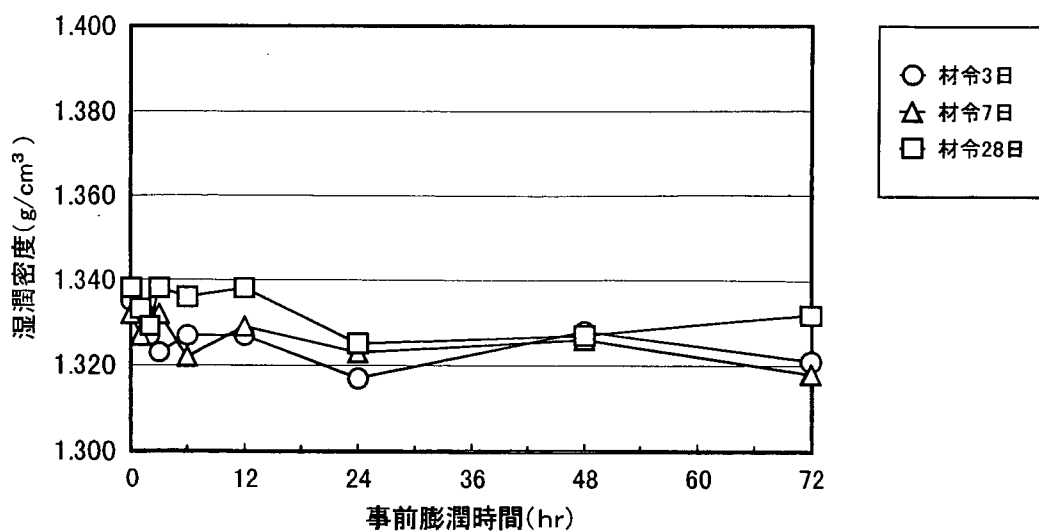
図-4.6 ケース6の試験結果(Bt:Ak,W/(Bt+C)=600%,Bt/C=5%)



(d) 粘度(ローターの回転数60rpm)



(e) 一軸圧縮強さ



(f) 湿潤密度

図-4.6 ケース6の試験結果(Bt:Ak,W/(Bt+C)=600%,Bt/C=5%)

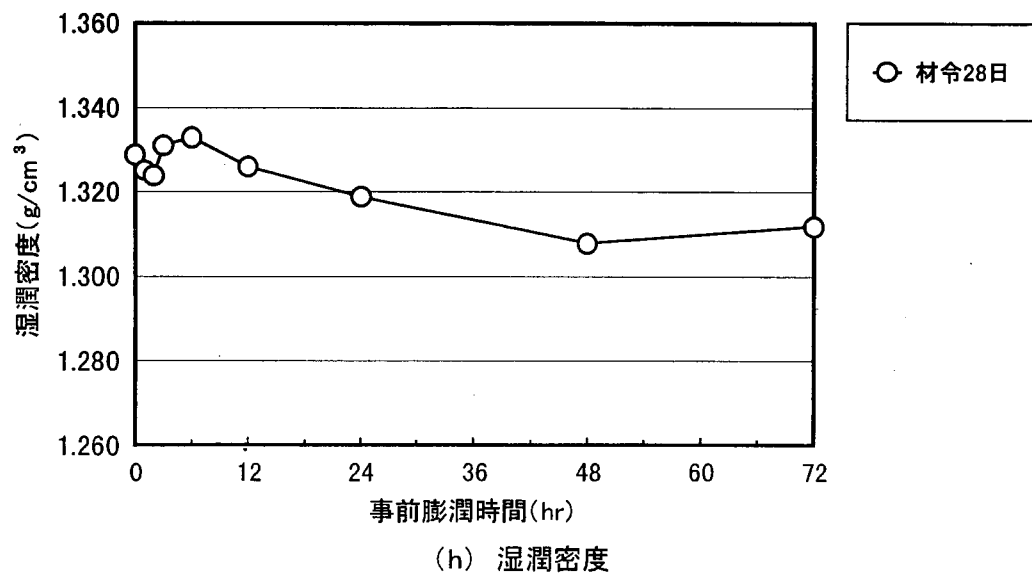
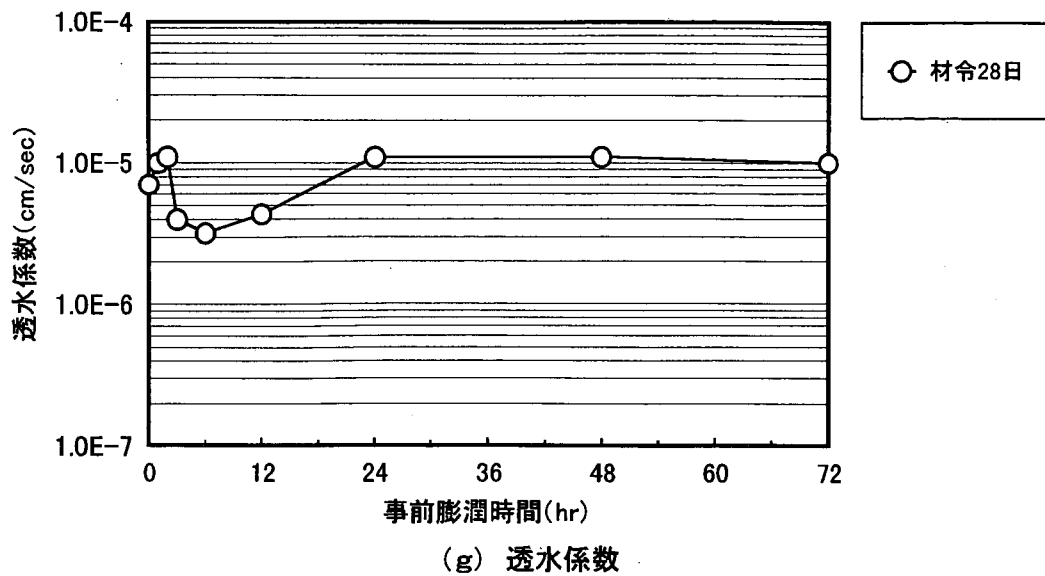


図-4.6 ケース6の試験結果(Bt:Ak,W/(Bt+C)=600%,Bt/C=5%)

(7) ケース 7(試験条件 Bt:Hr、W/(Bt+C)=200%、Bt/C=5%)

ケース 7 の試験結果の一覧を表-4.7 に、CB グラウトの各種物性の変化を図-4.7(a)~(h)に示す。

① ブリージング率

試料のブリージング率は、3 時間後と 24 時間後の差が小さいので、試料中の粒子の沈降はその大部分が試料作製から 3 時間で発生し、24 時間後にすべて完了するものとする。

24 時間後のブリージング率は、事前膨潤 0 時間では 27%、事前膨潤 72 時間では 24%を示し、事前膨潤時間の経過に伴い減少する傾向にある。しかし、その差は 3%程度と非常に小さく、試料の安定性は、事前膨潤時間に関係なく同程度であるとする。

② ファンネル粘度

試料作製直後のファンネル粘度は、いずれも 24sec 程度の一定値を示す。また、試料作製 3 時間後では、いずれも 28sec 程度の一定値を示す。

③ 粘度 (ローターの回転数 6rpm)

試料作製直後の粘度は、事前膨潤 0 時間では 430mPa・s、事前膨潤 72 時間では 540mPa・s を示し、事前膨潤時間の経過に伴い増加する傾向にある。また、試料作製 3 時間後では、事前膨潤 0 時間では 660mPa・s、事前膨潤 72 時間では 720mPa・s を示し、事前膨潤時間の経過に伴い増加する傾向にある。

しかし、いずれも事前膨潤時間による差は小さいので、試料の粘度は同程度であるとする。

④ 粘度 (ローターの回転数 60rpm)

試料作製直後の粘度は、いずれも 300mPa・s 程度の一定値を示す。また、試料作製 3 時間後では、事前膨潤 0 時間では 400mPa・s、事前膨潤 72 時間では 477.5mPa・s を示し、事前膨潤時間の経過に伴い増加する傾向にある。しかし、事前膨潤時間による差は小さいので、試料の粘度は同程度であるとする。

以上のように、3 種類の粘度 (ファンネル粘度、ローターの回転数 6rpm、ローターの回転数 60rpm) の結果から、試料の粘度は、同等測定時間であればベントナイトの事前膨潤時間に関係なく、ほぼ一定値を示すことがわかる。

⑤ 一軸圧縮強さおよび湿潤密度

材令 3 日の一軸圧縮強さは、いずれも 530~640kN/m² 程度を示す。また、材令 28 日では、いずれも 2500kN/m² 程度の一定値を示す。このように、同材令における一軸圧縮強さは、事前膨潤時間に関係なくほぼ一定値を示す。

湿潤密度は、同材令では、若干ばらつきはあるものの事前膨潤時間に関係なく同程度を示す。したがって、試料の均質性は、事前膨潤時間に関係なく同程度であるものと考えられる。

⑥ 透水係数および湿潤密度

試料の透水係数および湿潤密度は、若干ばらつきはあるものの、前者が $6.6 \times 10^{-7} \sim 1.1 \times 10^{-6} \text{cm/sec}$ の 1 オーダ以内の範囲に収まり、後者が $1.42 \sim 1.45 \text{g/cm}^3$ 程度を示す。したがって、試料の均質性は、ベントナイトの事前膨潤時間に関係なく、同程度であるとする。

表-4.7 ケース7の試験結果 (Bt:Hr,W/(Bt+C)=200%,Bt/C=5%)

		膨潤時間 (hr)								
		0	1	2	3	6	12	24	48	72
ブリージング率 (%)	1時間後	11.7	11.7	11.2	11.5	10.2	10.5	9.2	9.3	9.8
	3時間後	26.6	25.5	26.1	25.4	24.8	25.0	24.5	23.9	23.6
	24時間後	27.0	25.9	26.1	25.8	25.2	25.4	24.9	24.3	24.0
ファンネル粘度 (sec)	作製直後	24.2	24.1	23.8	23.6	23.6	23.7	23.4	23.4	23.5
	1時間後	25.4	25.8	25.7	25.6	25.5	25.2	25.6	25.6	25.4
	2時間後	26.4	26.4	26.6	27.0	27.0	27.1	27.5	27.5	27.1
	3時間後	26.9	26.7	27.0	27.1	27.1	27.4	28.0	28.0	27.5
粘度 (ローター回転数:6rpm) (mPa・s)	作製直後	430.0	455.0	485.0	480.0	505.0	540.0	525.0	535.0	540.0
	1時間後	550.0	545.0	545.0	575.0	545.0	570.0	560.0	555.0	580.0
	2時間後	590.0	605.0	630.0	635.0	640.0	660.0	665.0	670.0	685.0
	3時間後	660.0	620.0	640.0	675.0	630.0	695.0	655.0	730.0	720.0
粘度 (ローター回転数:60rpm) (mPa・s)	作製直後	275.0	295.0	315.0	315.0	310.0	300.0	317.5	307.5	305.0
	1時間後	332.5	335.0	352.5	352.5	355.0	352.5	355.0	372.5	382.5
	2時間後	370.0	375.0	375.0	385.0	397.5	395.0	385.0	400.0	422.5
	3時間後	400.0	407.5	427.5	430.0	447.5	447.5	460.0	472.5	477.5
一軸圧縮強さ (kN/m ²)	材令3日	627	539	519	529	637	559	578	578	568
	材令7日	1352	1294	1274	1284	1235	1225	1352	1352	1343
	材令28日	2577	2558	2470	2577	2509	2558	2548	2538	2489
湿潤密度 (g/cm ³)	材令3日	1.430	1.430	1.428	1.428	1.434	1.438	1.434	1.436	1.435
	材令7日	1.445	1.442	1.441	1.441	1.445	1.446	1.440	1.436	1.439
	材令28日	1.461	1.456	1.450	1.448	1.448	1.446	1.446	1.443	1.437
透水係数(cm/sec)	材令28日	1.1×10 ⁻⁶	1.2×10 ⁻⁶	1.3×10 ⁻⁶	8.1×10 ⁻⁷	7.7×10 ⁻⁷	1.0×10 ⁻⁶	7.2×10 ⁻⁷	8.3×10 ⁻⁷	6.6×10 ⁻⁷
湿潤密度(g/cm ³)	材令28日	1.438	1.441	1.438	1.445	1.451	1.441	1.424	1.416	1.425

注) 空欄は試験を実施していないことを示し、測定値の「-」は測定限界を示す。

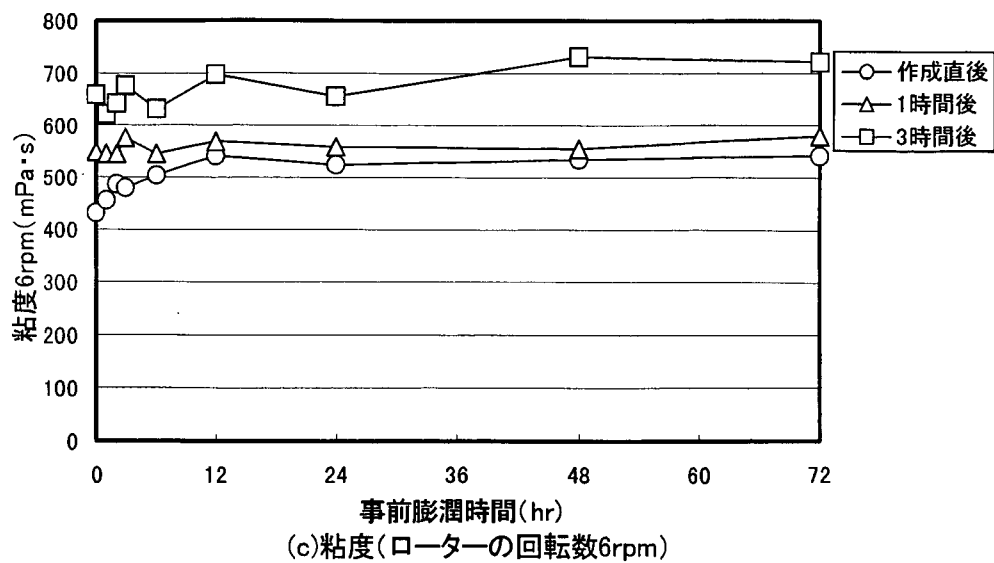
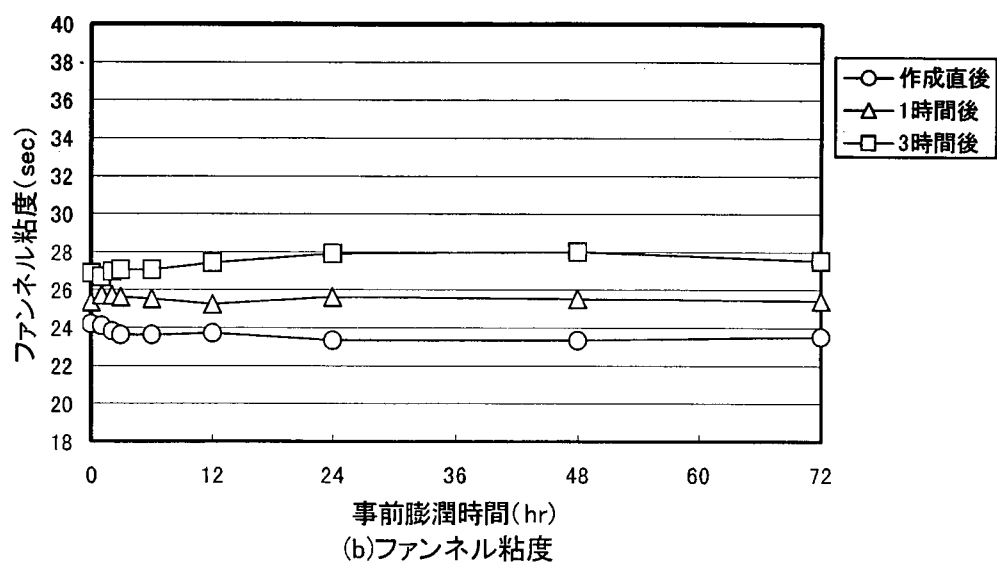
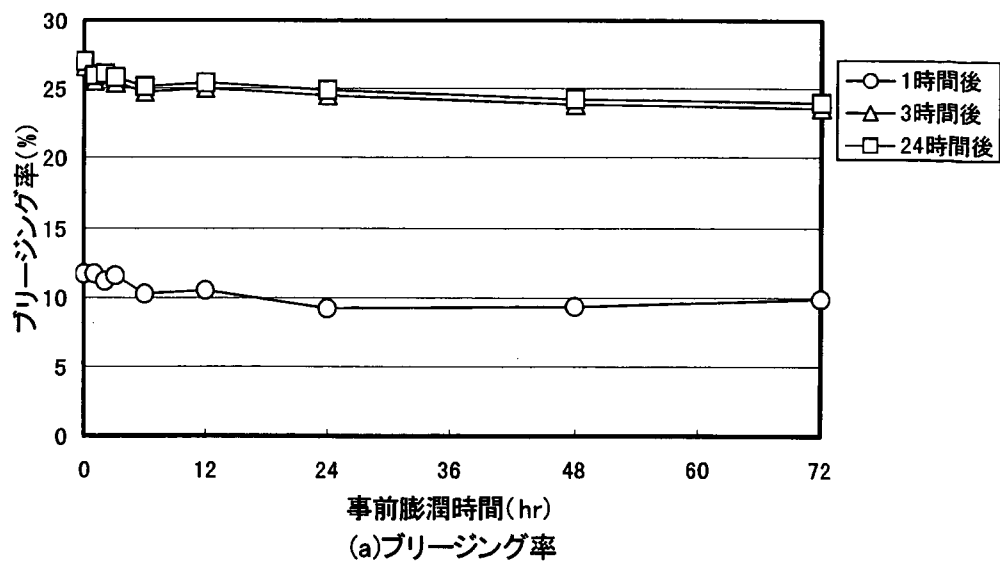
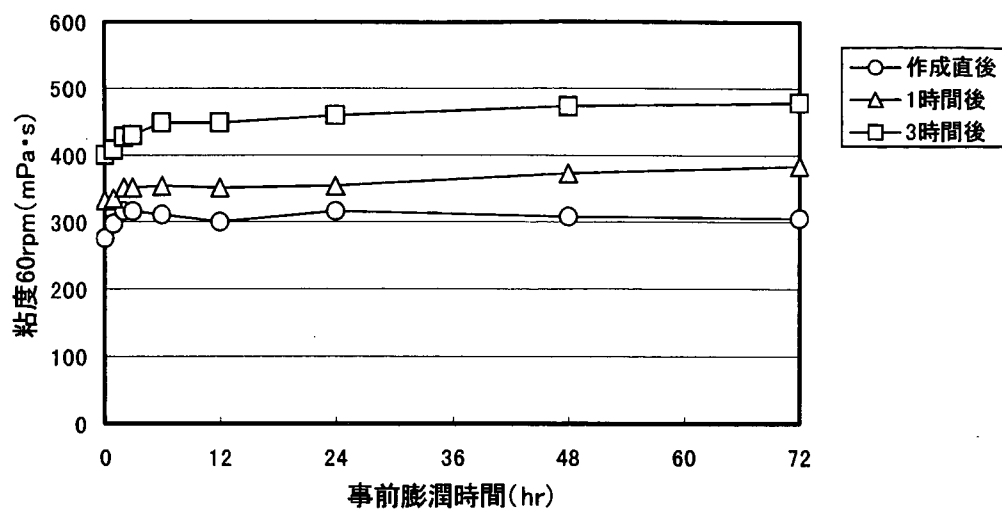
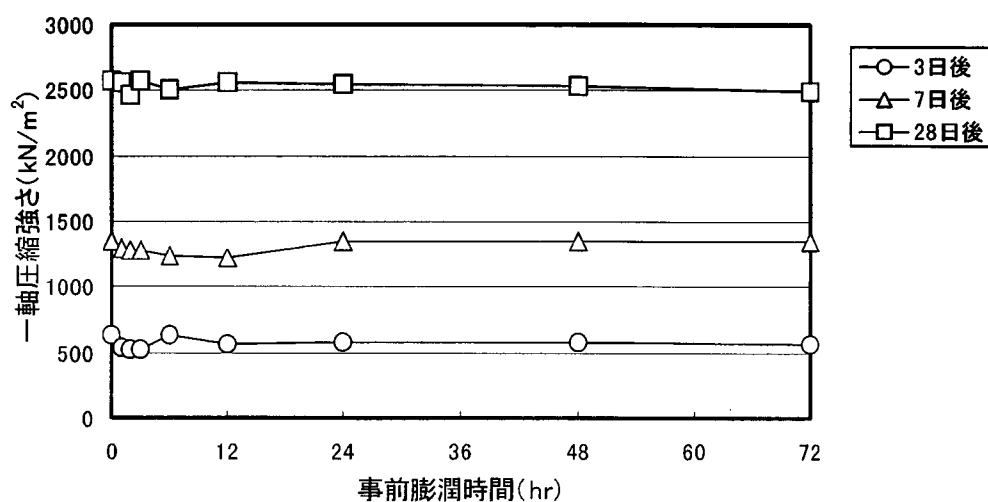


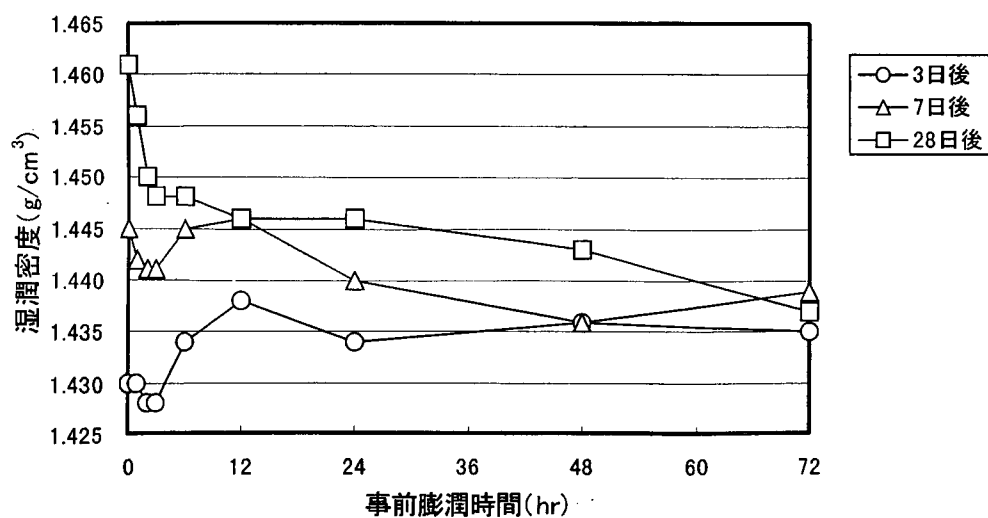
図-4.7 ケース7の試験結果 (Bt:Hr, W/(Bt+C)=200%, Bt/C=5%)



(d) 粘度(ローターの回転数60rpm)



(e) 一軸圧縮強さ



(f) 湿潤密度

図-4.7 ケース7の試験結果 (Bt:Hr, W/(Bt+C)=200%, Bt/C=5%)

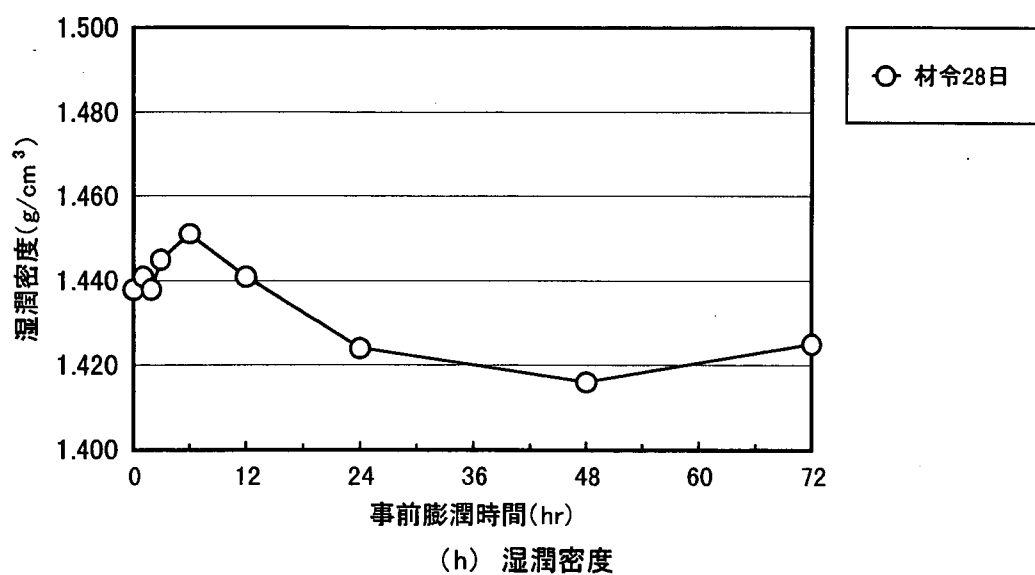
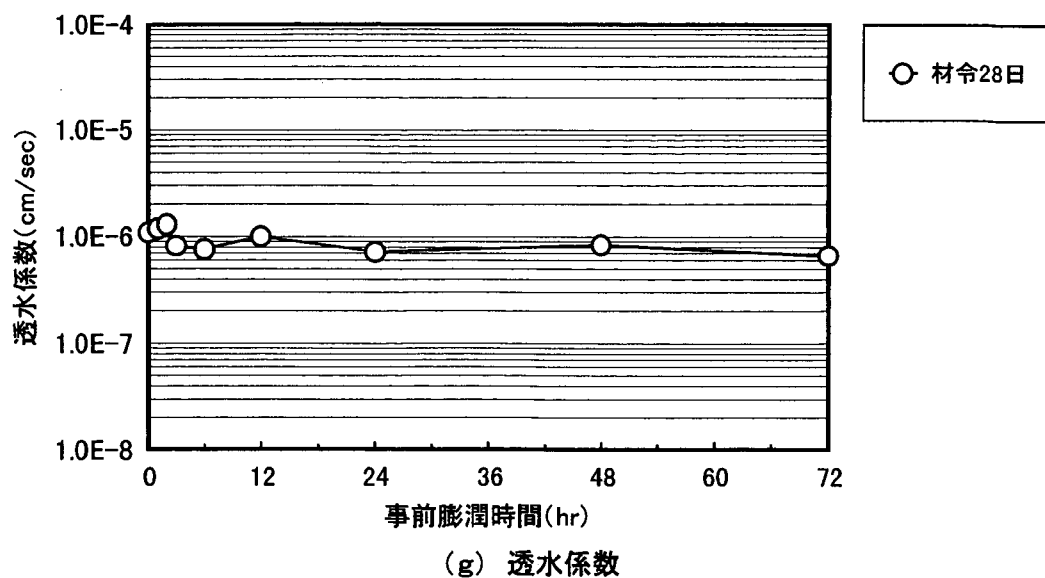


図-4.7 ケース7の試験結果(Bt:Hr,W/(Bt+C)=200%,Bt/C=5%)

(8) ケース 8(試験条件 Bt:Hr、W/(Bt+C)=400%、Bt/C=5%)

ケース 8 の試験結果の一覧を表-4.8 に、CB グラウトの各種物性の変化を図-4.8(a)~(h)に示す。

① ブリージング率

試料のブリージング率は、3 時間後と 24 時間後の差が小さいので、試料中の粒子の沈降はその大部分が試料作製から 3 時間で発生し、24 時間後にすべて完了するものとする。

24 時間後のブリージング率は、いずれも 50%程度の一定値を示す。したがって、試料の安定性は、事前膨潤時間に関係なく同程度であるとする。

② ファンネル粘度

試料作製直後のファンネル粘度は、いずれも 20~21sec 程度を示す。また、3 時間後では、21.0sec 程度の一定値を示す。

③ 粘度 (ローターの回転数 6rpm)

試料作製直後の粘度は、いずれも 290mPa・s 程度の一定値を示す。また、試料作製 3 時間後では、いずれも 260~320mPa・s 程度を示す。このように、試料の粘度は、いずれの測定時間においても、事前膨潤時間に関係なく同程度を示す。

④ 粘度 (ローターの回転数 60rpm)

試料作製直後の粘度は、いずれも 53~61mPa・s 程度を示す。また、試料作製 3 時間後では、いずれも 55~62.5mPa・s 程度を示す。このように、試料の粘度は、いずれの測定時間においても、事前膨潤時間に関係なく同程度を示す。

以上のように、3 種類の粘度 (ファンネル粘度、ローターの回転数 6rpm、ローターの回転数 60rpm) の結果から、いずれの測定方法においても、試料の粘度は、同等測定時間であればベントナイトの事前膨潤時間に関係なく、一定値を示すことがわかる。

⑤ 一軸圧縮強さおよび湿潤密度

材令 3 日の一軸圧縮強さは、いずれも 400kN/m²程度の一定値を示す。また、材令 28 日では、いずれも 1350kN/m²程度の一定値を示す。このように、試料の同材令における一軸圧縮強さは、事前膨潤時間に関係なくほぼ一定値を示す。

湿潤密度は、同材令では、若干ばらつきはあるものの事前膨潤時間に関係なく同程度を示す。したがって、試料の均質性は、事前膨潤時間に関係なく同程度であるものと考えられる。

⑥ 透水係数および湿潤密度

試料の透水係数および湿潤密度は、若干ばらつきはあるものの、前者が $3.6 \times 10^{-6} \sim 1.4 \times 10^{-5}$ cm/sec の 1 オーダ以内の範囲に収まり、後者が 1.35g/cm³ 程度を示す。したがって、試料の均質性は、ベントナイトの事前膨潤時間に関係なく、同程度であるとする。

表-4.8 ケース8の試験結果 (Bt:Hr,W/(Bt+C)=400%,Bt/C=5%)

		膨潤時間 (hr)								
		0	1	2	3	6	12	24	48	72
ブリージング率 (%)	1時間後	41.3	43.3	42.7	40.7	40.6	41.5	40.6	41.8	39.4
	3時間後	52.0	52.0	51.8	51.2	51.2	51.0	51.0	51.0	50.8
	24時間後	52.0	52.0	51.8	51.6	51.6	51.4	51.4	51.0	50.8
ファンネル粘度 (sec)	作製直後	20.4	20.5	20.4	20.4	20.3	20.5	20.4	20.3	20.4
	1時間後	20.6	20.6	20.7	20.8	20.7	20.8	20.7	20.7	20.7
	2時間後	20.9	21.1	21.0	21.0	21.0	21.2	21.1	21.0	21.0
	3時間後	21.1	21.1	21.1	21.1	21.1	21.1	21.0	21.1	21.0
粘度 (ローター回転数:6rpm) (mPa・s)	作製直後	290.0	305.0	285.0	295.0	285.0	295.0	285.0	290.0	300.0
	1時間後	305.0	295.0	335.0	315.0	330.0	335.0	330.0	330.0	335.0
	2時間後	260.0	290.0	280.0	305.0	295.0	315.0	315.0	325.0	320.0
	3時間後	265.0	280.0	305.0	295.0	310.0	320.0	305.0	295.0	295.0
粘度 (ローター回転数:60rpm) (mPa・s)	作製直後	57.5	58.5	59.0	61.0	59.0	58.5	56.0	56.5	53.5
	1時間後	77.5	77.5	77.5	82.5	76.5	78.0	73.5	74.5	71.5
	2時間後	92.0	98.0	94.5	96.5	98.0	95.0	91.0	96.0	92.5
	3時間後	60.0	65.0	62.5	62.5	62.5	60.0	57.5	62.5	55.0
一軸圧縮強さ (kN/m ²)	材令3日	402	392	402	392	392	421	421	412	402
	材令7日	794	774	813	784	784	755	774	794	764
	材令28日	1362	1323	1421	1343	1392	1352	1294	1323	1392
湿潤密度 (g/cm ³)	材令3日	1.378	1.373	1.367	1.368	1.371	1.367	1.370	1.371	1.371
	材令7日	1.379	1.381	1.370	1.370	1.377	1.379	1.373	1.376	1.371
	材令28日	1.377	1.373	1.381	1.375	1.380	1.376	1.372	1.377	1.372
透水係数(cm/sec)	材令28日	3.6×10^{-6}	5.5×10^{-6}	6.0×10^{-6}	6.0×10^{-6}	1.3×10^{-5}	9.4×10^{-6}	1.4×10^{-5}	1.0×10^{-5}	1.0×10^{-5}
湿潤密度(g/cm ³)	材令28日	1.363	1.374	1.377	1.349	1.352	1.355	1.353	1.351	1.354

注) 空欄は試験を実施していないことを示し、測定値の「-」は測定限界を示す。

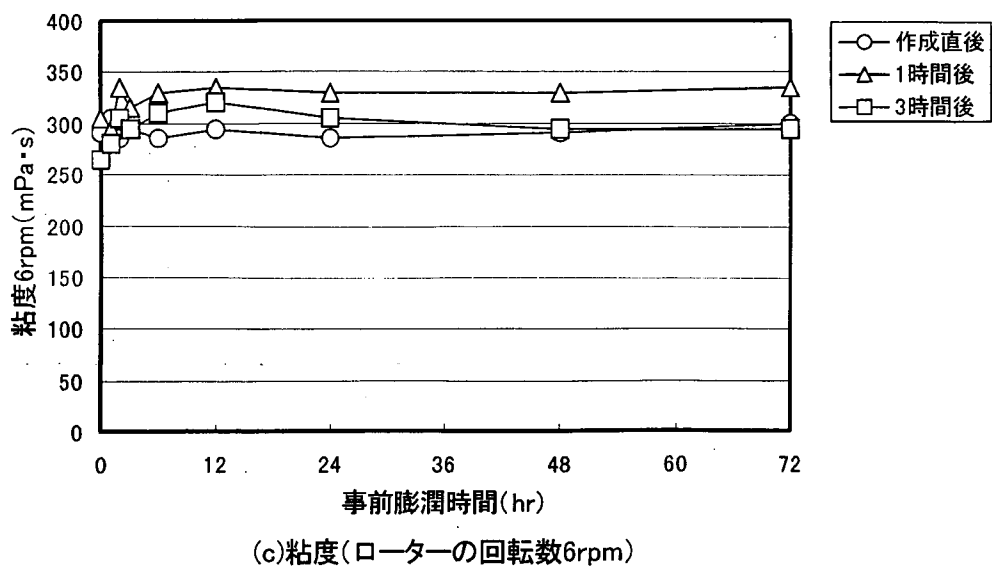
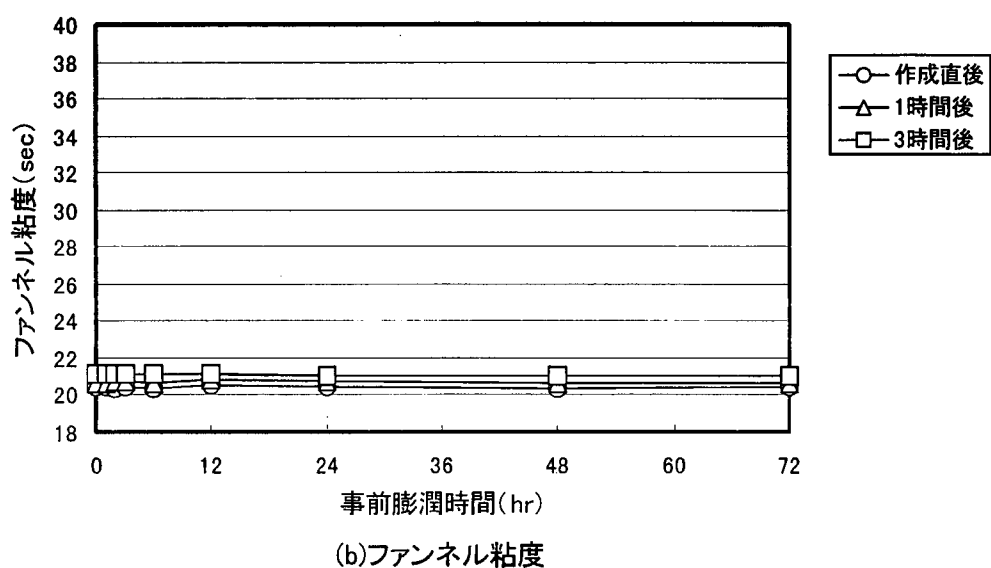
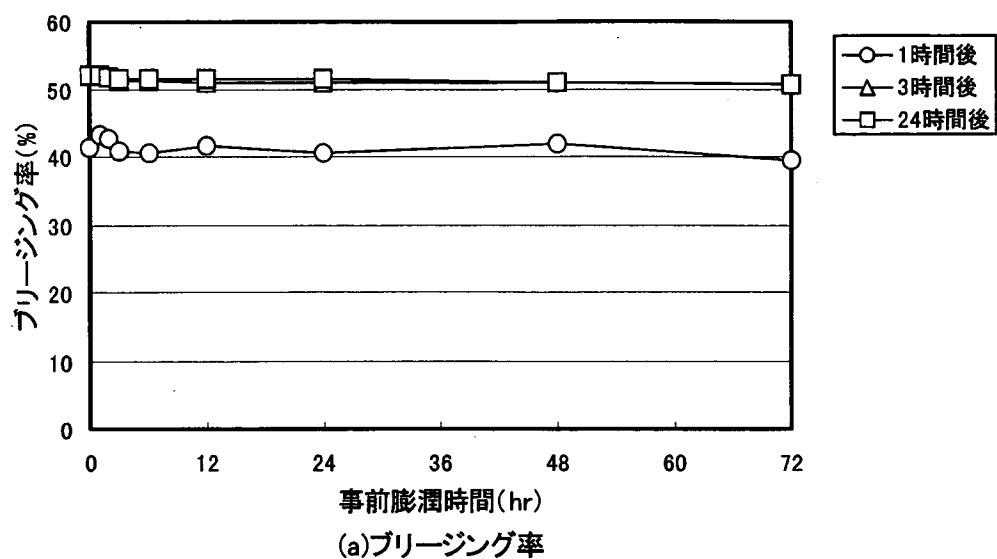
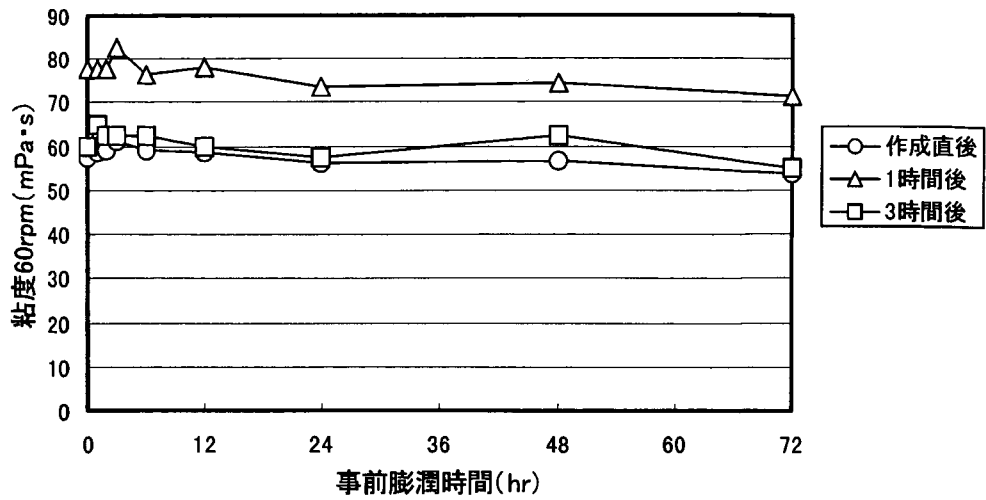
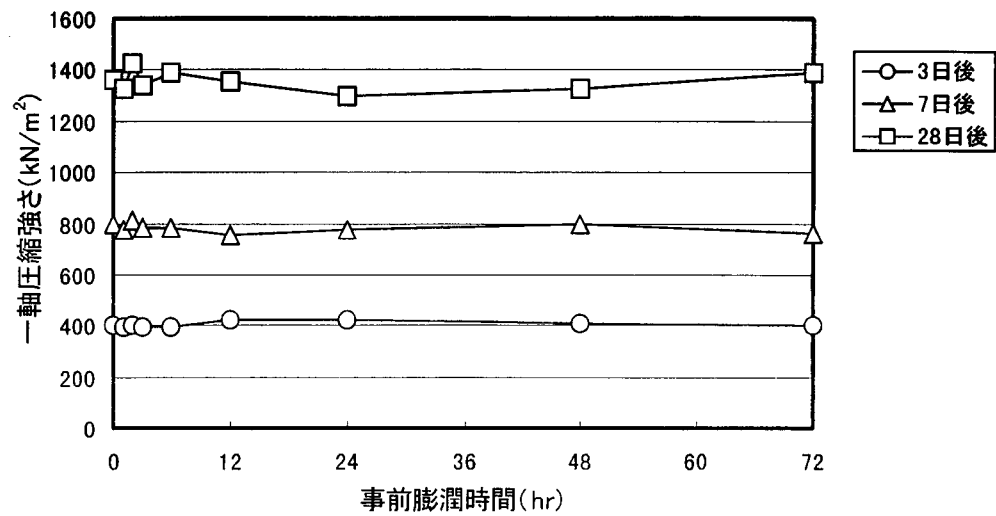


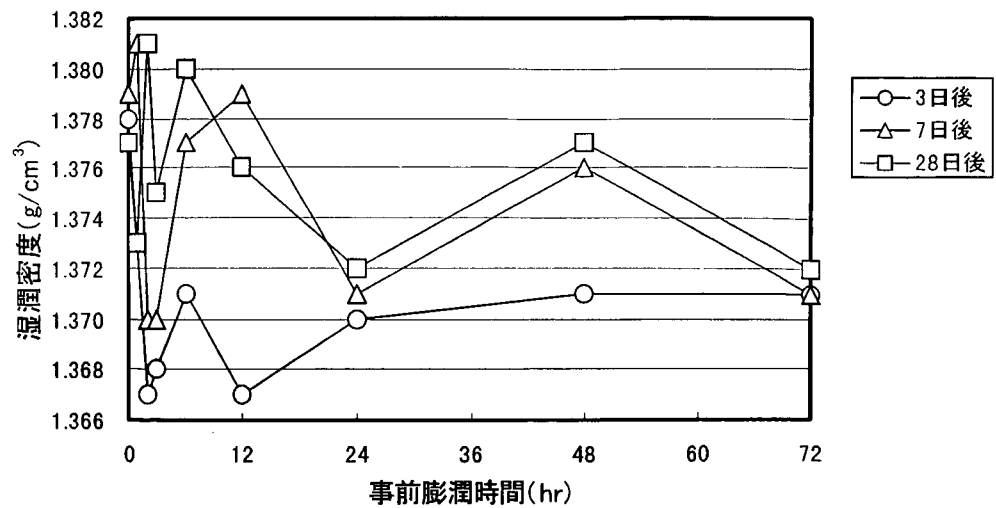
図-4.8 ケース 8 の試験結果 (Bt:Hr, W/(Bt+C)=400%, Bt/C=5%)



(d) 粘度(ローターの回転数60rpm)



(e) 一軸圧縮強さ



(f) 湿潤密度

図-4.8 ケース 8 の試験結果 (Bt:Hr, W/(Bt+C)=400%, Bt/C=5%)

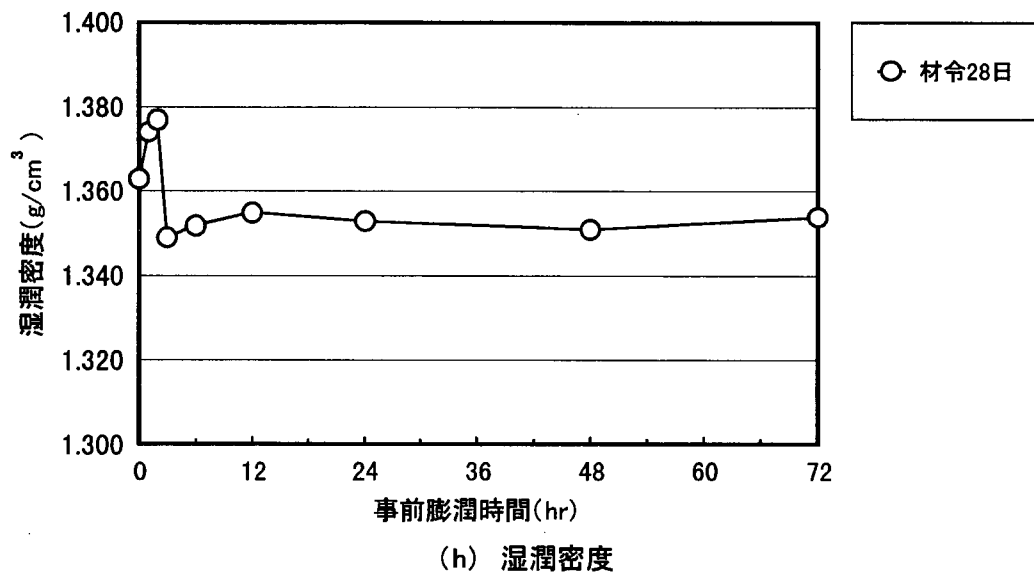
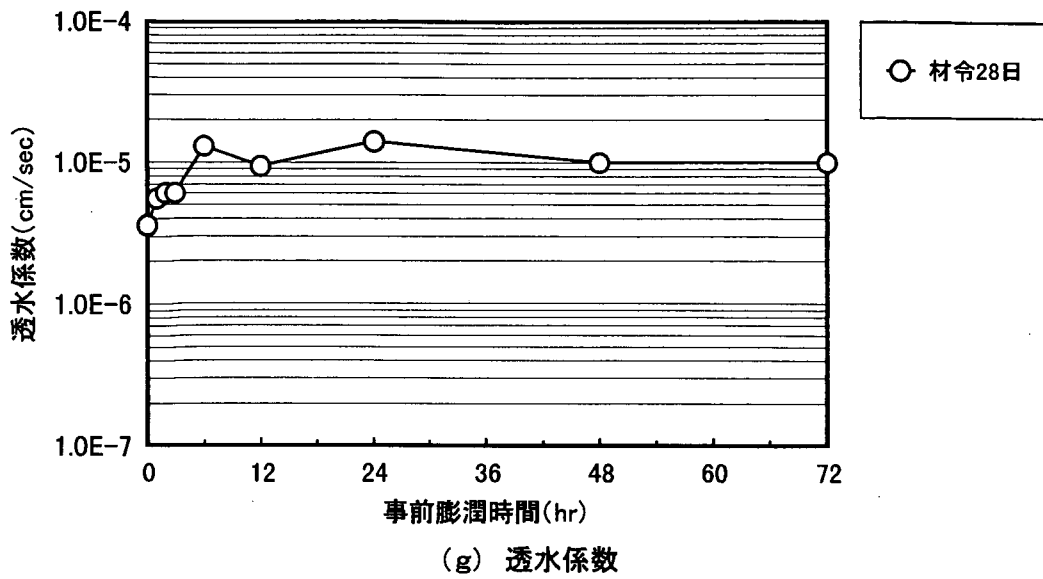


図-4.8 ケース8の試験結果 (Bt:Hr,W/(Bt+C)=400%,Bt/C=5%)

(9) ケース 9(試験条件 Bt:Hr、W/(Bt+C)=600%、Bt/C=5%)

ケース 9 の試験結果の一覧を表-4.9 に、CB グラウトの各種物性の変化を図-4.9(a)~(h)に示す。

① ブリージング率

試料のブリージング率は、1、3、24 時間後の差が小さいので、試料中の粒子の沈降はその大部分が試料作製から 1 時間で発生し、24 時間後にすべて完了するものと考える。

24 時間後のブリージング率は、いずれも 65%程度の一定値を示す。したがって、試料の安定性は、事前膨潤時間に関係なく同程度であると考ええる。

② ファンネル粘度

試料作製直後のファンネル粘度は、いずれも 20sec 程度の一定値を示す。また、試料作製 3 時間後では、いずれも 20.5sec 程度の一定値を示す。

③ 粘度 (ローターの回転数 6rpm)

試料作製直後の粘度は、いずれも 65~85mPa・s 程度を示す。また、試料作製 3 時間後では、いずれも 190mPa・s 程度の一定値を示す。このように、試料の粘度は、いずれの測定時間においても、事前膨潤時間に関係なく同程度を示す。

④ 粘度 (ローターの回転数 60rpm)

試料作製直後の粘度は、いずれも 18~20mPa・s 程度を示す。また、試料作製 3 時間後では、いずれも 55~65mPa・s 程度を示す。このように、試料の粘度は、いずれも測定時間においても、事前膨潤時間に関係なく同程度を示す。

以上のように、3 種類の粘度 (ファンネル粘度、ローターの回転数 6rpm、ローターの回転数 60rpm) の結果から、いずれの測定方法においても、試料の粘度は、同等測定時間であればベントナイトの事前膨潤時間に関係なく、一定値を示すことがわかる。

⑤ 一軸圧縮強さおよび湿潤密度

材令 3 日の一軸圧縮強さは、いずれも 200kN/m²程度の一定値を示す。また、材令 28 日では、いずれも 680~770kN/m² 程度を示す。このように、同材令における一軸圧縮強さは、事前膨潤時間に関係なくほぼ一定値を示す。

湿潤密度は、同材令では、若干ばらつきはあるものの事前膨潤時間に関係なく同程度を示す。したがって、試料の均質性は、事前膨潤時間に関係なく同程度であるものと考えられる。

⑥ 透水係数および湿潤密度

試料の透水係数および湿潤密度は、若干ばらつきはあるものの、前者が $1.2 \times 10^{-3} \sim 1.7 \times 10^{-3}$ cm/sec の 1 オーダ以内の範囲に収まり、後者が 1.32~1.33g/cm³ 程度を示す。したがって、試料の均質性は、ベントナイトの事前膨潤時間に関係なく、同程度であると考ええる。

表-4.9 ケース9の試験結果 (BtHr,W/(Bt+C)=600%,Bt/C=5%)

		膨潤時間 (hr)								
		0	1	2	3	6	12	24	48	72
ブリージング率 (%)	1時間後	62.2	62.5	62.1	62.1	62.7	62.8	62.3	61.9	61.6
	3時間後	64.5	64.0	64.5	64.4	64.7	64.4	64.7	63.9	63.9
	24時間後	64.9	64.4	64.5	64.4	64.7	64.4	64.7	64.3	63.9
ファンネル粘度 (sec)	作製直後	19.8	19.7	19.9	19.8	19.6	19.7	19.8	20.0	20.1
	1時間後	20.2	20.1	20.1	20.1	20.1	20.1	20.1	20.1	20.1
	2時間後	20.4	20.4	20.4	20.4	20.3	20.3	20.4	20.6	20.4
	3時間後	20.4	20.4	20.5	20.4	20.4	20.5	20.5	20.4	20.5
粘度 (ローター回転数:6rpm) (mPa·s)	作製直後	80.0	80.0	80.0	80.0	85.0	75.0	65.0	70.0	70.0
	1時間後	150.0	140.0	135.0	130.0	135.0	135.0	130.0	140.0	150.0
	2時間後	180.0	185.0	180.0	185.0	170.0	170.0	175.0	170.0	185.0
	3時間後	195.0	200.0	205.0	195.0	190.0	190.0	190.0	195.0	195.0
粘度 (ローター回転数:60rpm) (mPa·s)	作製直後	20.5	18.5	21.0	20.0	19.0	18.5	17.5	18.0	20.0
	1時間後	35.5	35.5	36.0	36.5	34.5	34.0	34.0	33.0	34.5
	2時間後	51.0	47.0	50.0	52.5	48.0	49.5	49.0	50.0	53.5
	3時間後	56.0	54.5	58.5	56.5	54.5	55.0	57.0	58.5	64.5
一軸圧縮強さ (kN/m ²)	材令3日	225	206	176	167	176	196	176	496	167
	材令7日	412	431	431	412	392	372	382	402	343
	材令28日	755	715	706	735	774	686	686	696	686
湿潤密度 (g/cm ³)	材令3日	1.342	1.340	1.341	1.336	1.340	1.337	1.340	1.330	1.341
	材令7日	1.341	1.346	1.343	1.345	1.339	1.337	1.341	1.338	1.343
	材令28日	1.343	1.342	1.346	1.349	1.345	1.342	1.336	1.335	1.336
透水係数(cm/sec)	材令28日	1.2×10 ⁻⁵	1.2×10 ⁻⁵	1.6×10 ⁻⁵	1.6×10 ⁻⁵	1.6×10 ⁻⁵	1.4×10 ⁻⁵	1.4×10 ⁻⁵	1.4×10 ⁻⁵	1.7×10 ⁻⁵
湿潤密度(g/cm ³)	材令28日	1.325	1.325	1.322	1.329	1.330	1.325	1.324	1.328	1.326

注) 空欄は試験を実施していないことを示し、測定値の「-」は測定限界を示す。

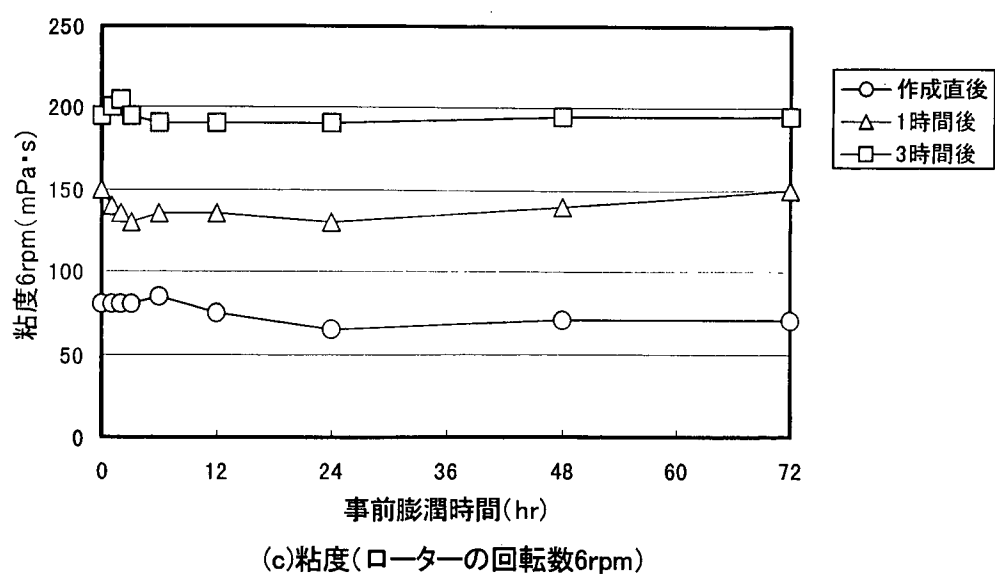
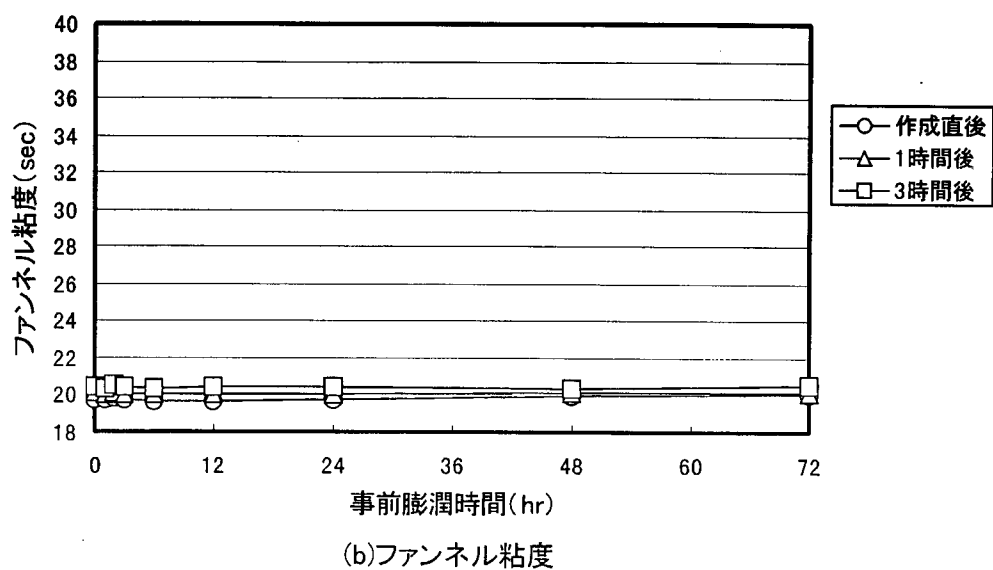
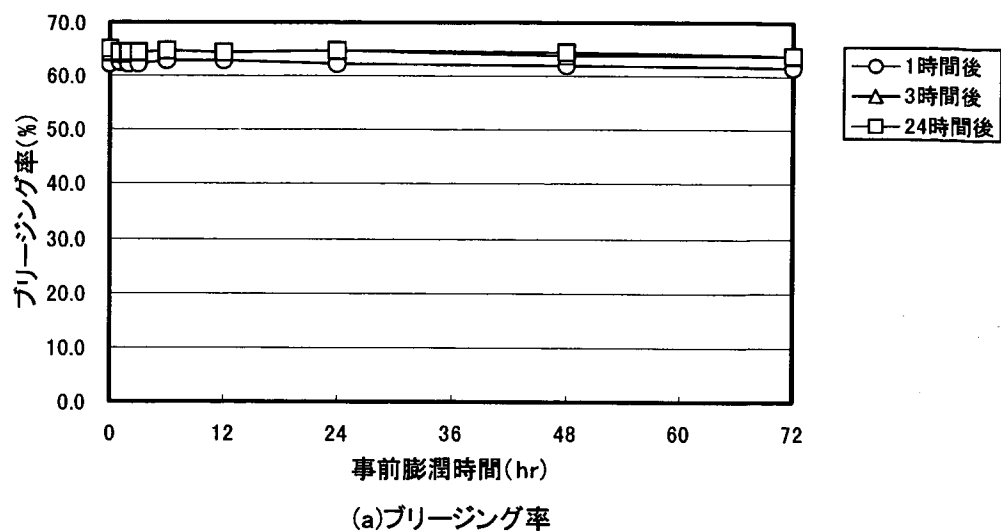
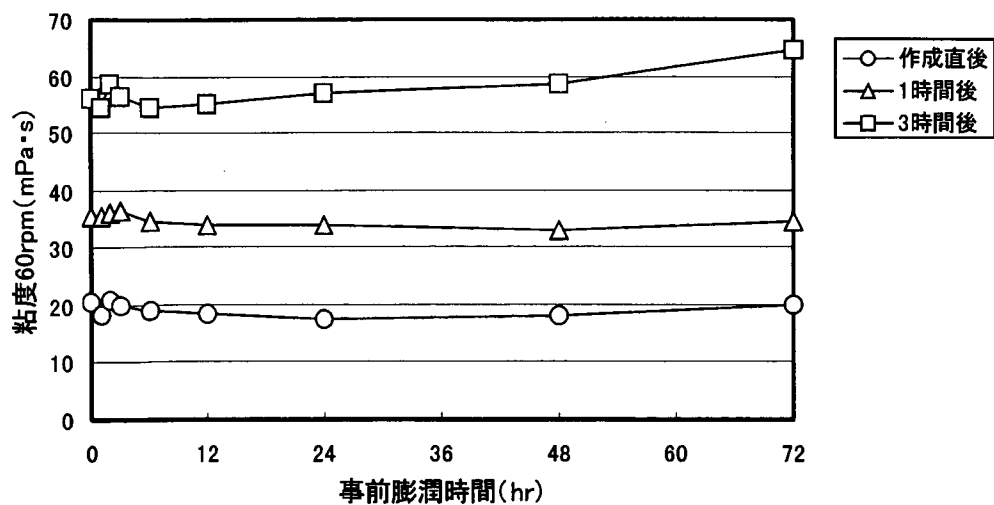
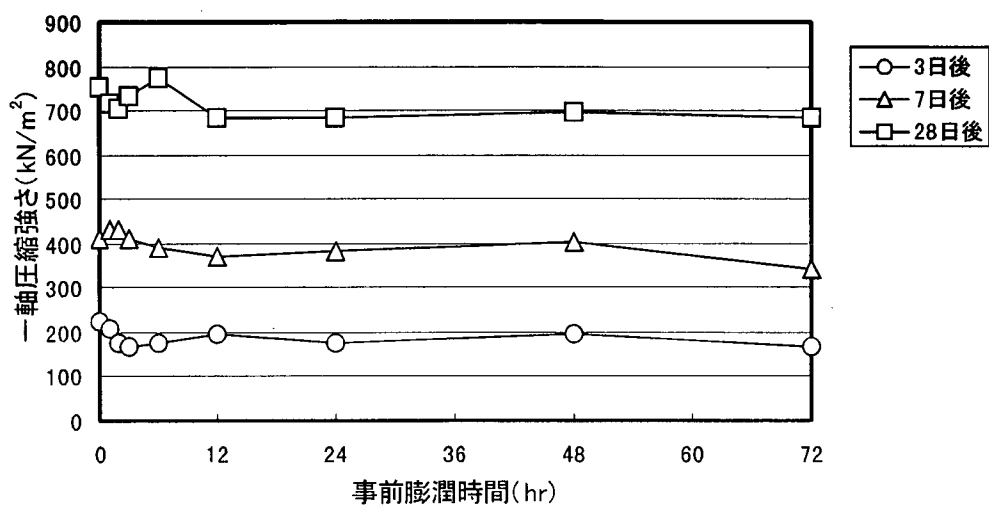


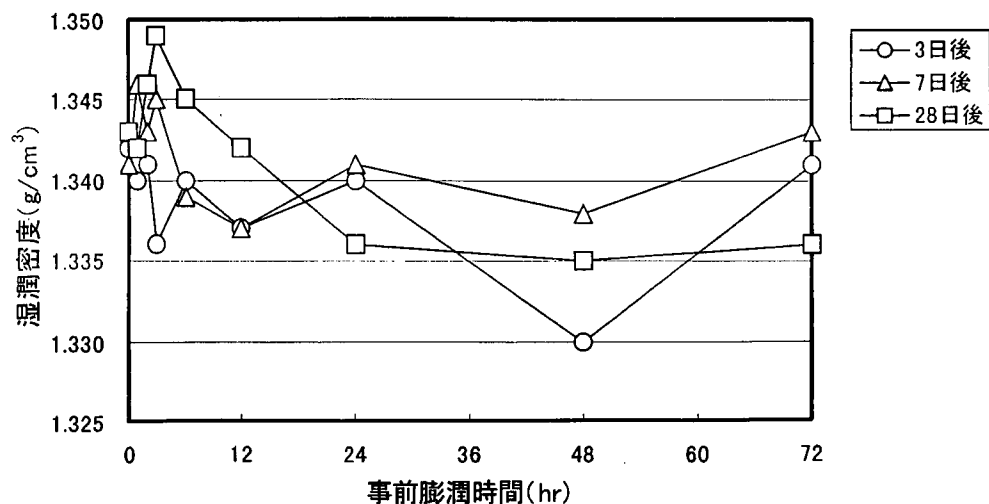
図-4.9 ケース 9 の試験結果 (Bt:Hr, W/(Bt+C)=600%, Bt/C=5%)



(d) 粘度 (ローターの回転数 60rpm)



(e) 一軸圧縮強さ



(f) 湿潤密度

図-4.9 ケース 9 の試験結果 (Bt:Hr, W/(Bt+C)=600%, Bt/C=5%)

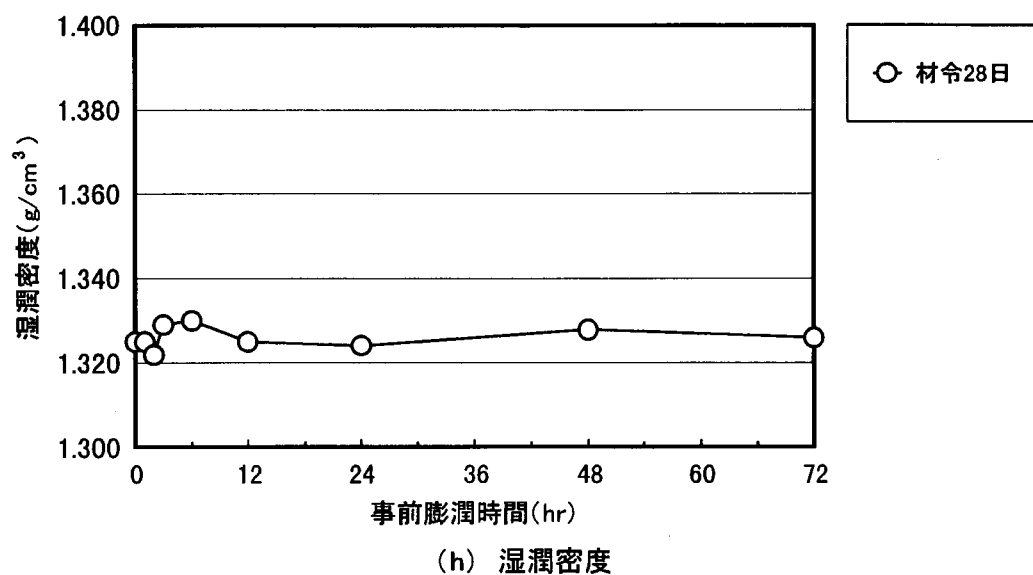
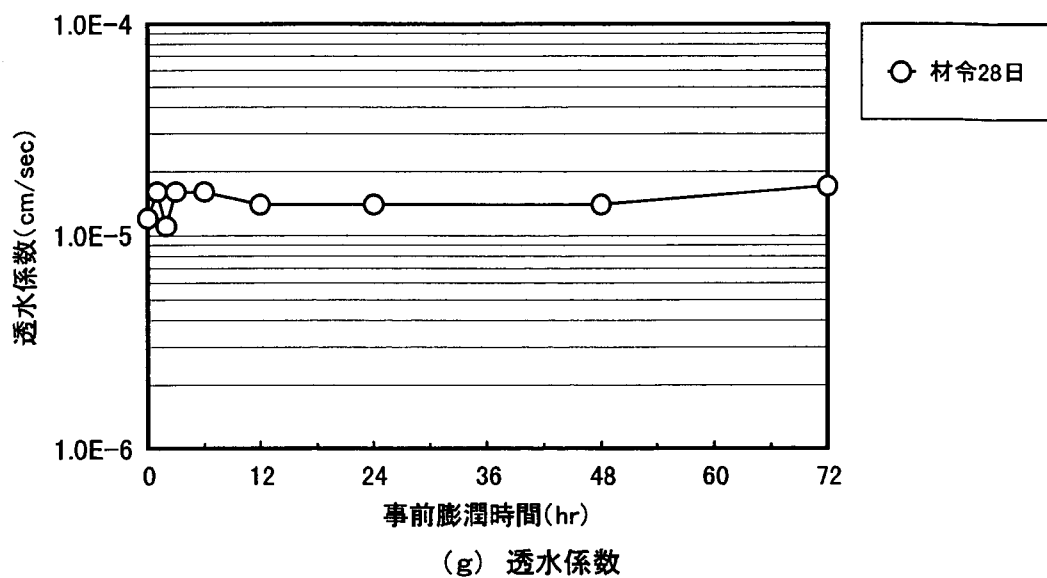


図-4.9 ケース9の試験結果(Bt:Hr,W/(Bt+C)=600%,Bt/C=5%)

4.2 攪拌方法を変化させた試験

攪拌方法を変化させた試験（ケース 10～18）の試験結果を以下に説明する。

また、透水試験については、材令 28 日の結果を 2 種類の攪拌方法で比較するだけであるため、透水係数とその試料の湿潤密度に関する図は省略する。

(1) ケース 10(試験条件 Bt: As (膨潤力 22ml/2g)、 $W/(Bt+C)=200\%$ 、 $Bt/C=5\%$)

ケース 10 の試験結果の一覧を表-4.10 に、CB グラウトの各種物性の変化を図-4.10(a)～(f)に示す。

① ブリージング率

試料のブリージング率は、1 時間後と 3 時間後ではかなりの差があるが、3 時間後と 24 時間後の差は小さい。したがって、試料中の粒子の沈降は、その大部分が試料作製から 3 時間で完了するものと考えられる。

24 時間後のブリージング率は、CB グラウト#1 では 11.5%、CB グラウト#2 では 14.1%を示しており、CB グラウト#1 の方が若干安定性が高い。またどの経過時間においても CB グラウト#1 の方が CB グラウト#2 よりも低い値を示しており、安定性が高いものと考えられる。

② ファンネル粘度

ファンネル粘度は時間が経過するにつれ両者ともに若干大きくなる。3 時間後で比較すると、CB グラウト#1 では 36.8sec、CB グラウト#2 では 28.0sec であり、CB グラウト#1 の方が 9 秒程度高い。また他の経過時間においても CB グラウト#1 の方が 2～7 秒程度大きく、CB グラウト#1 の方が粘性が高いと考えられる。

③ 粘度（ローターの回転数 6rpm）

CB グラウト#1 はその時間経過とともに 630 mPa・s から 850 mPa・s と大きくなり、CB グラウト#2 は 570 mPa・s から 775 mPa・s と大きくなる。またどの経過時間においても CB グラウト#1 の方が CB グラウト#2 よりも大きな値を示しており、その差は 50 mPa・s から 180 mPa・s 程度である。

④ 粘度（ローターの回転数 60rpm）

CB グラウト#1 はその経過時間とともに 490mPa・s から 610 mPa・s と大きくなり、CB グラウト#2 はその時間経過とともに 330mPa・s から 487.5mPa・s と大きくなる。またどの経過時間においても CB グラウト#1 の方が 60～150 mPa・s 程度高い値を示す。

⑤ 一軸圧縮強さおよび湿潤密度

どの材令においても、CB グラウト#1 の一軸圧縮強さの方が CB グラウト#2 よりも若干大きな値を示しているが、その差は小さいので一軸圧縮強さは両者ともに同程度であると考えられる。

試料の湿潤密度は、CB グラウト#1 では 7 日材令で大きくなり 28 日材令では若干小さくなるが、CB グラウト#2 では 7 日材令では小さくなり 28 日材令では若干大きくなる。しかし両者ともにその差は小さいので、湿潤密度はほぼ一定であると考えられる。

⑥ 透水係数および湿潤密度

28材令における試料の透水係数は、CB グラウト#1 が $7.8 \times 10^{-7} \text{cm/sec}$ 、CB グラウト#2 が $6.6 \times 10^{-7} \text{cm/sec}$ を示す。また 28 日材令における試料の湿潤密度は、CB グラウト#1 が 1.376g/cm^3 、CB グラウト#2 が 1.396g/cm^3 を示す。このように CB グラウト#2 の方が透水係数は若干低い値を示し湿潤密度は若干高い値を示すものの、両試料の差は小さいので、透水係数および湿潤密度はほぼ同程度であると考えられる。

表-4.10 ケース10の試験結果(Bt:As,W/(Bt+C)=200%,Bt/C=5%)

		As (膨潤力22ml/2g)	
		CBグラウト#1	CBグラウト#2
ブリージング率 (%)	1時間後	3.7	4.4
	3時間後	10.7	13.7
	24時間後	11.5	14.1
ファンネル粘度 (sec)	作製直後	27.2	24.5
	1時間後	33.5	26.6
	2時間後	34.7	27.7
	3時間後	36.8	28.0
粘度 (ローター回転数:6rpm) (mPa・s)	作製直後	630.0	570.0
	1時間後	775.0	605.0
	2時間後	800.0	725.0
	3時間後	850.0	775.0
粘度 (ローター回転数:60rpm) (mPa・s)	作製直後	490.0	330.0
	1時間後	500.0	422.5
	2時間後	520.0	465.0
	3時間後	610.0	487.5
一軸圧縮強さ (kN/m ²)	材令3日	725	539
	材令7日	1254	1098
	材令28日	2430	2185
湿潤密度 (g/cm ³)	材令3日	1.368	1.367
	材令7日	1.365	1.379
	材令28日	1.375	1.374
透水係数(cm/sec)	材令28日	7.8×10^{-6}	6.6×10^{-7}
湿潤密度(g/cm ³)	材令28日	1.376	1.396

注) 空欄は試験を実施していないことを示し、測定値の「-」は測定限界を示す。

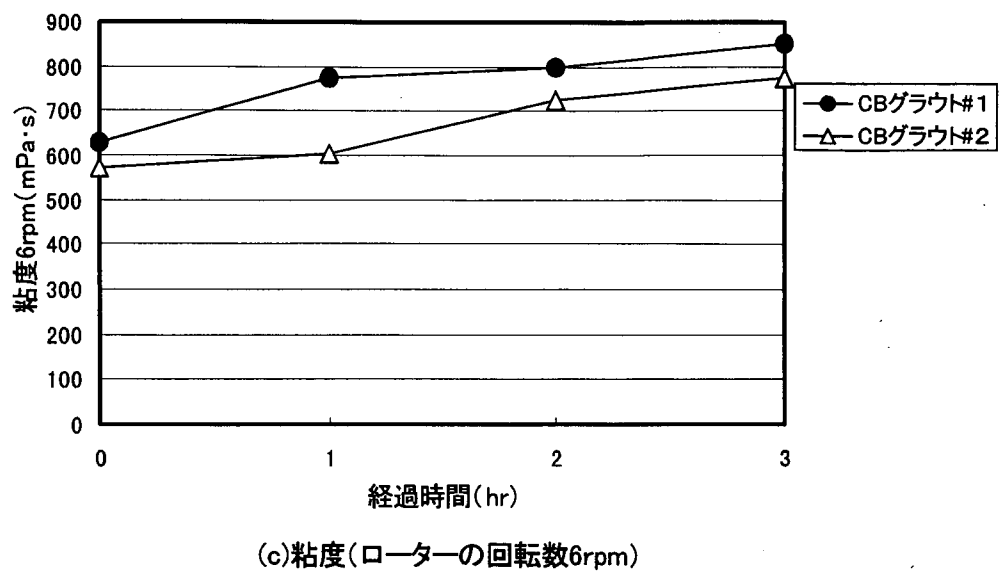
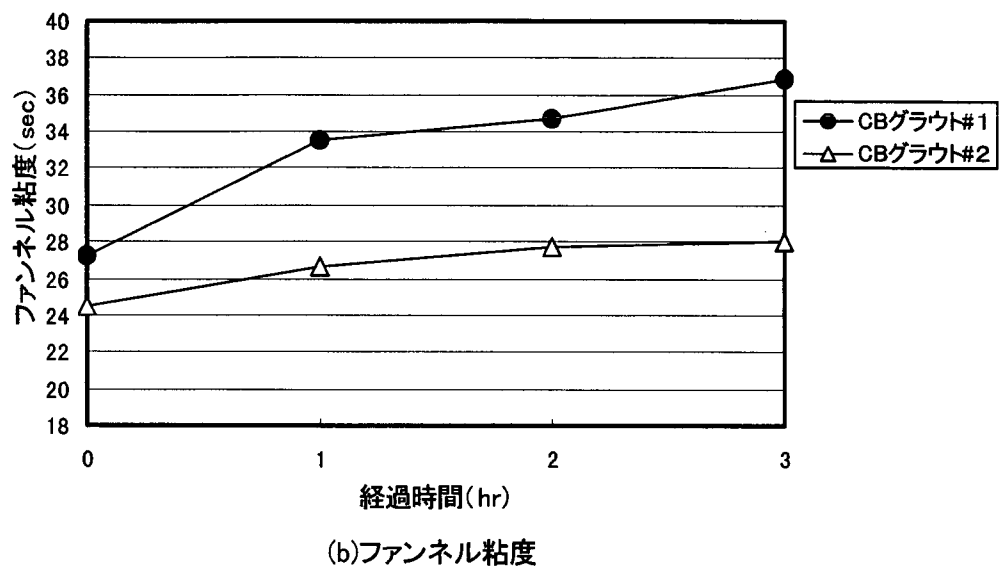
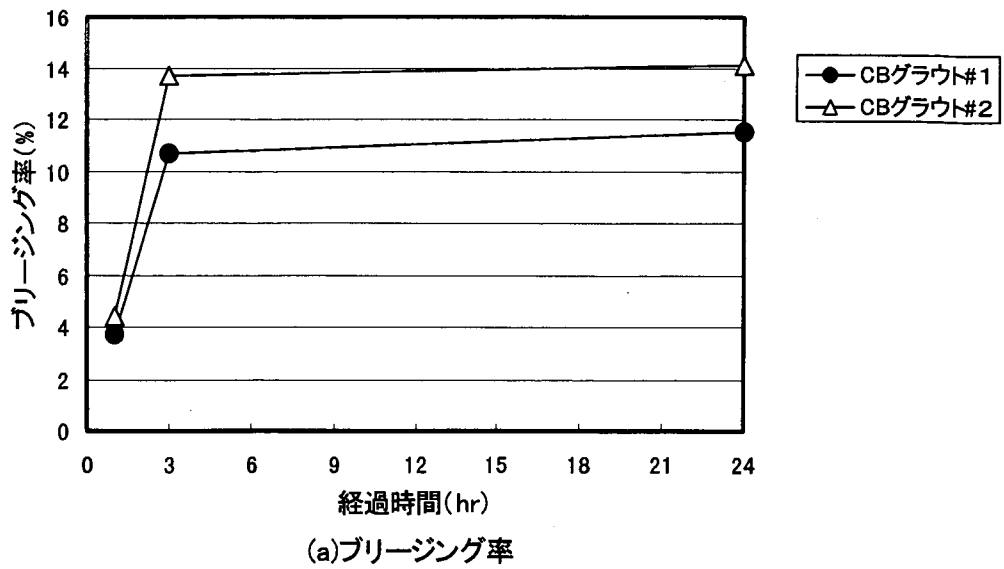
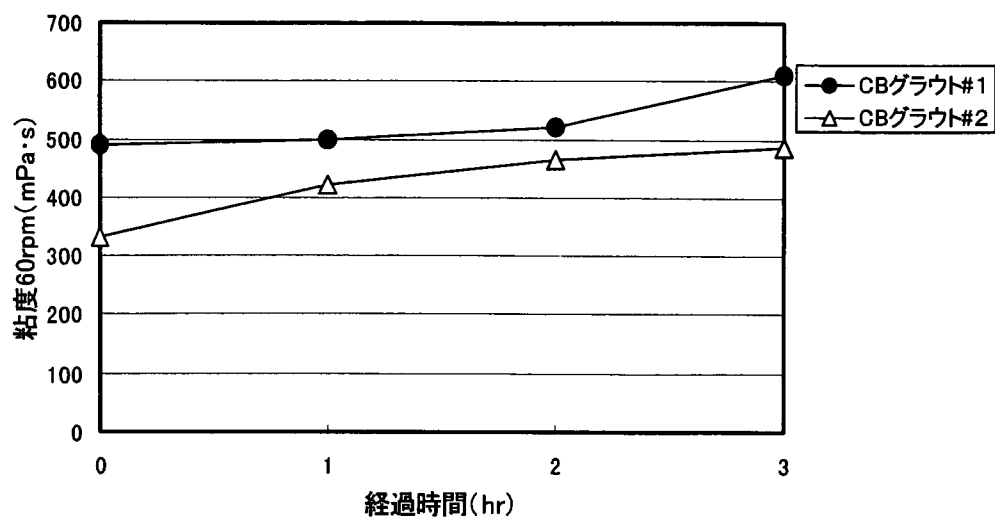
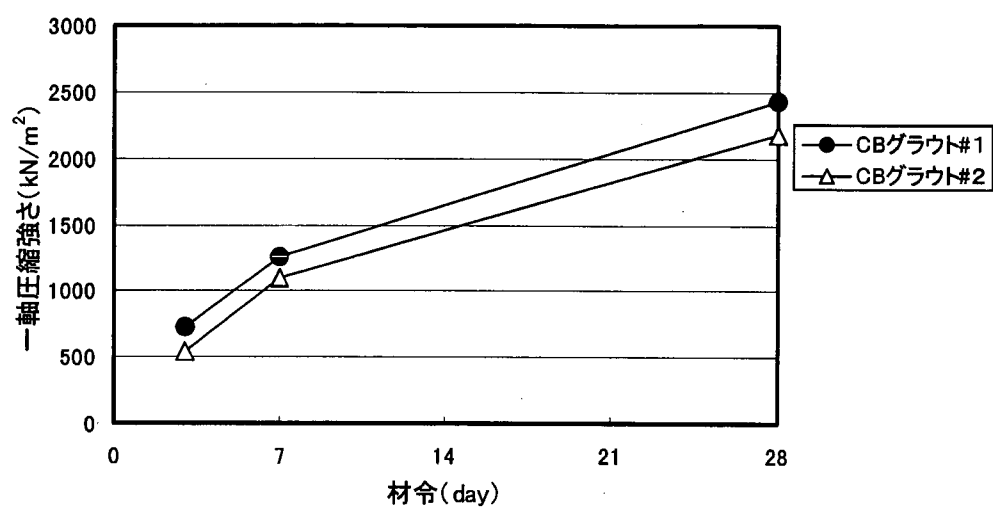


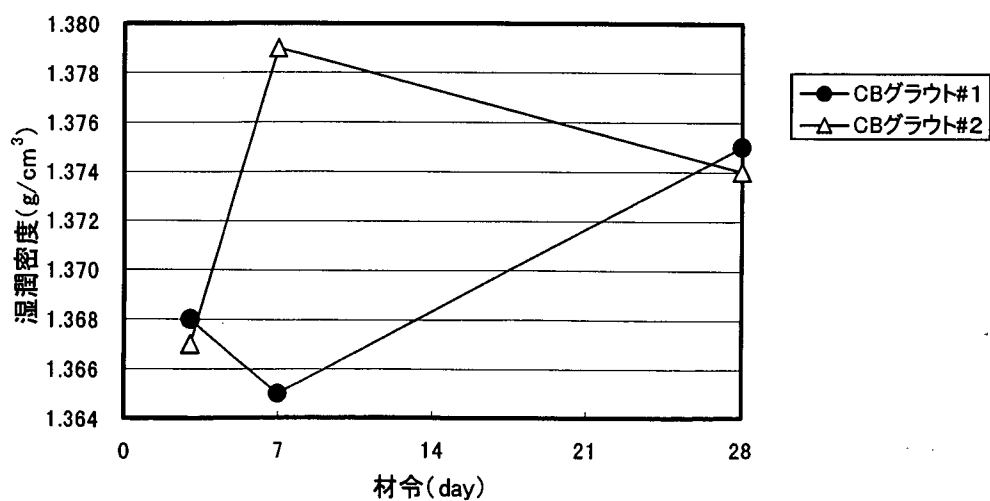
図-4.10 ケース 10 の試験結果 (Bt:As, W/(Bt+C)=200%, Bt/C=5%)



(d) 粘度 (ローターの回転数 60rpm)



(e) 一軸圧縮強さ



(f) 湿潤密度

図-4.10 ケース 10 の試験結果 (Bt:As, W/(Bt+C)=200%, Bt/C=5%)

(2) ケース 11(試験条件 Bt: Sc (膨潤力 23ml/2g)、W/(Bt+C)=200%、Bt/C=5%)

ケース 11 の試験結果の一覧を表-4.11 に、CB グラウトの各種物性の変化を図-4.11(a)~(f)に示す。

① ブリージング率

試料のブリージング率は、1 時間後と 3 時間後ではかなりの差があるが、3 時間後と 24 時間後の差は小さい。したがって、試料中の粒子の沈降は、その大部分が試料作製から 3 時間で完了するものと考えられる。

24 時間後のブリージング率は、CB グラウト#1 では 7.3%、CB グラウト#2 では 11.1%を示しており、CB グラウト#1 の方が若干安定性が高い。またどの経過時間においても CB グラウト#1 の方が CB グラウト#2 よりも低い値を示しており、安定性が高いものと考えられる。

② ファンネル粘度

ファンネル粘度は、CB グラウト#2 の作製直後と 1 時間後以外は計測不能であった。したがって、試料の粘性の評価は回転粘度計による粘度で行う。

③ 粘度 (ローターの回転数 6rpm)

CB グラウト#1 はその時間経過とともに 1075mPa・s から 2150mPa・s と大きくなり、CB グラウト#2 は 900mPa・s から 1325mPa・s と大きくなる。またどの経過時間においても CB グラウト#1 の方が CB グラウト#2 よりも大きな値を示しており、その差は 200mPa・s から 800mPa・s 程度である。

④ 粘度 (ローターの回転数 60rpm)

CB グラウト#1 はその経過時間とともに 850mPa・s から 1070 mPa・s と大きくなり、CB グラウト#2 はその時間経過とともに 520mPa・s から 680mPa・s と大きくなる。またどの経過時間においても CB グラウト#1 の方が 300~400 mPa・s 程度高い値を示す。

⑤ 一軸圧縮強さおよび湿潤密度

どの材令においても、CB グラウト#1 の一軸圧縮強さの方が CB グラウト#2 よりも小さな値を示しているが、その差は小さいので一軸圧縮強さは両者ともに同程度であると考えられる。

試料の湿潤密度は、CB グラウト#1、CB グラウト#2 とともに材令が長くなるにつれて減少していく。またどの材令においても CB グラウト#1 の方が CB グラウト#2 よりも小さな値を示す。しかし、その差は小さいので、湿潤密度はほぼ同程度と考えられる。

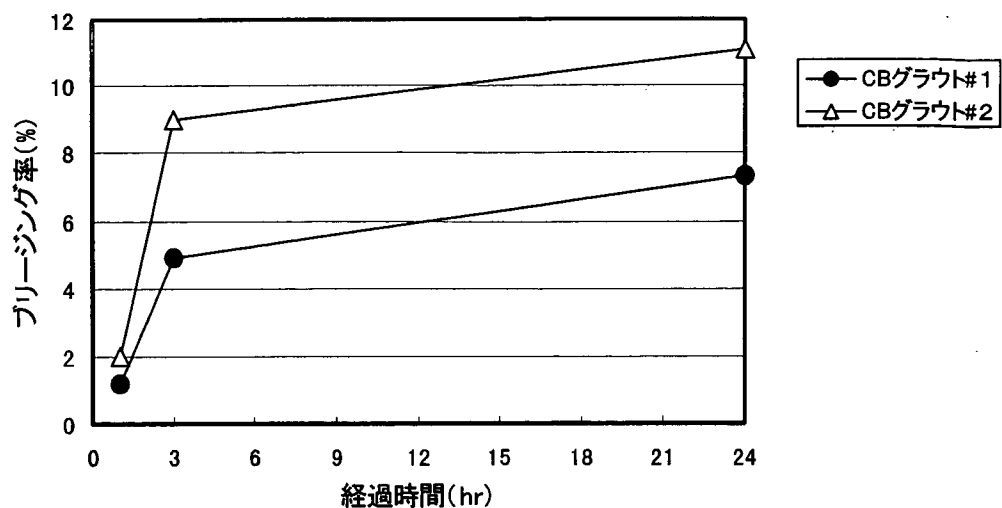
⑥ 透水係数および湿潤密度

28 日材令試料の透水係数は、CB グラウト#1 が 3.2×10^{-7} cm/sec、CB グラウト#2 が 4.5×10^{-7} cm/sec を示す。また 28 日材令の試料の湿潤密度は、CB グラウト#1 が 1.337 g/cm³、CB グラウト#2 が 1.344 g/cm³ を示す。このように両試料の差は小さいので、透水係数および湿潤密度はほぼ同程度であると考えられる。

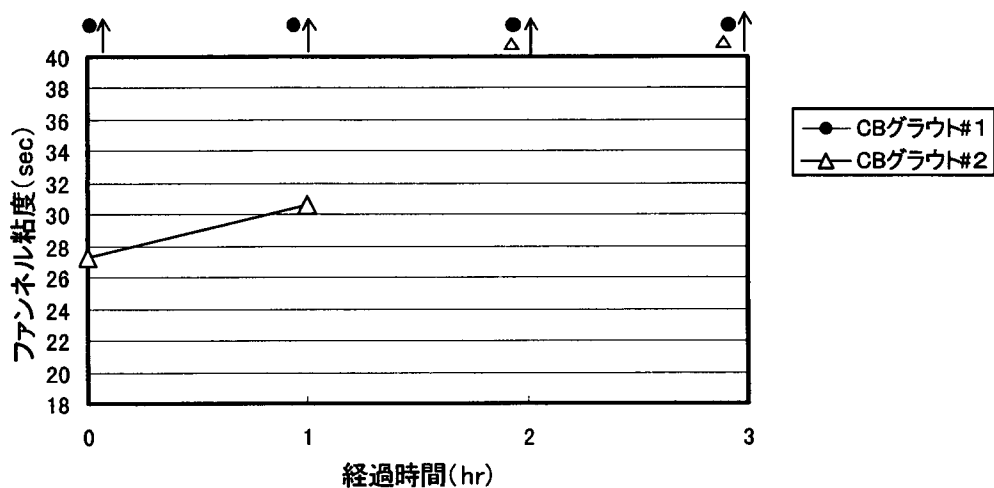
表-4.11 ケース11の試験結果(BtSc,W/(Bt+C)=200%,Bt/C=5%)

		Sc (膨潤力23ml/2g)	
		CBグラウト#1	CBグラウト#2
ブリージング率 (%)	1時間後	1.2	2.0
	3時間後	4.9	9.0
	24時間後	7.3	11.1
ファンネル粘度 (sec)	作製直後	-	27.3
	1時間後	-	30.7
	2時間後	-	-
	3時間後	-	-
粘度 (ローター回転数:6rpm) (mPa・s)	作製直後	1075.0	900.0
	1時間後	1550.0	975.0
	2時間後	1650.0	1150.0
	3時間後	2150.0	1325.0
粘度 (ローター回転数:60rpm) (mPa・s)	作製直後	850.0	520.0
	1時間後	860.0	570.0
	2時間後	950.0	660.0
	3時間後	1070.0	680.0
一軸圧縮強さ (kN/m ²)	材令3日	461	510
	材令7日	1000	1117
	材令28日	1725	1911
湿潤密度 (g/cm ³)	材令3日	1.343	1.380
	材令7日	1.335	1.376
	材令28日	1.324	1.344
透水係数(cm/sec)	材令28日	3.2×10 ⁻⁷	4.5×10 ⁻⁷
湿潤密度(g/cm ³)	材令28日	1.337	1.344

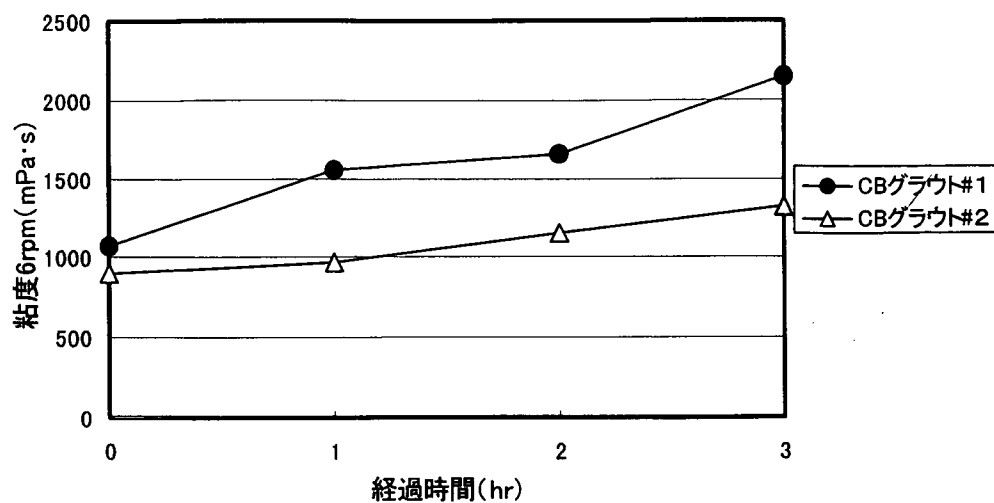
注) 空欄は試験を実施していないことを示し、測定値の「-」は測定限界を示す。



(a)ブリージング率

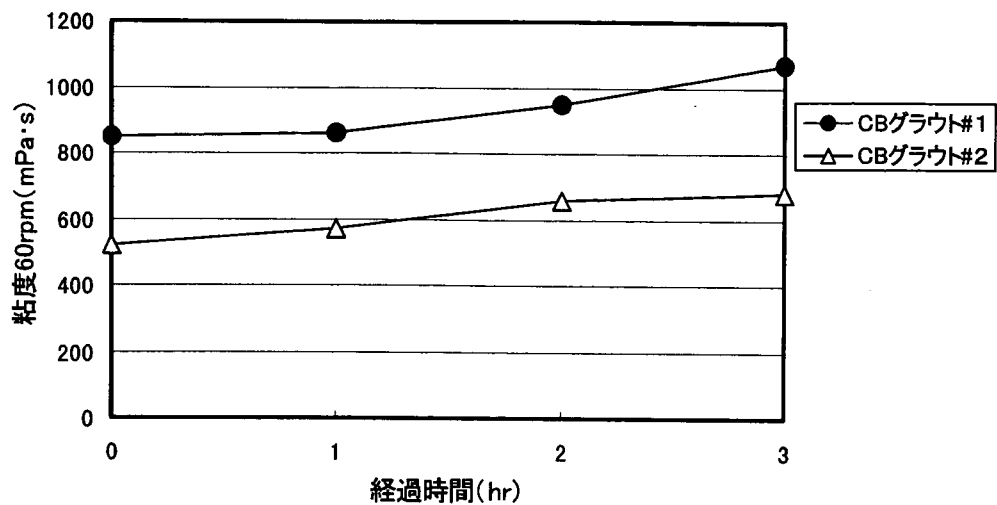


(b)ファンネル粘度

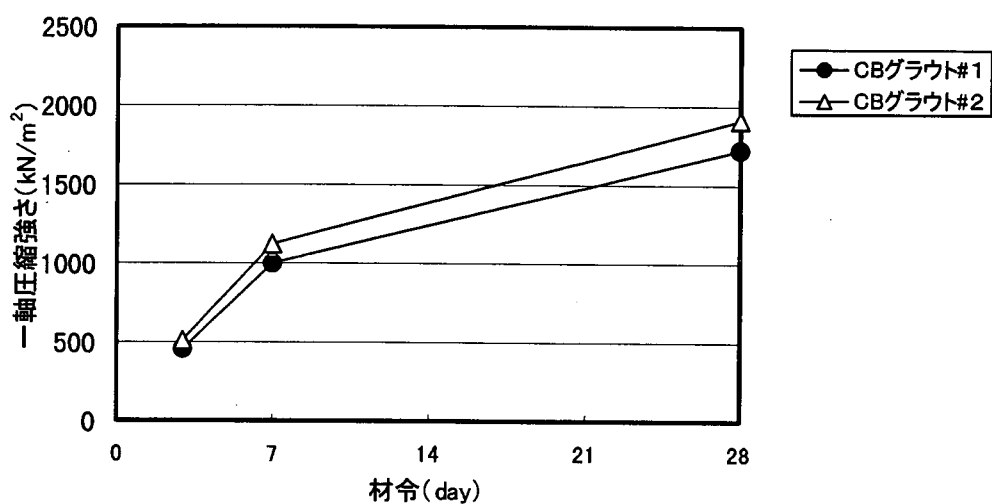


(c)粘度(ローターの回転数6rpm)

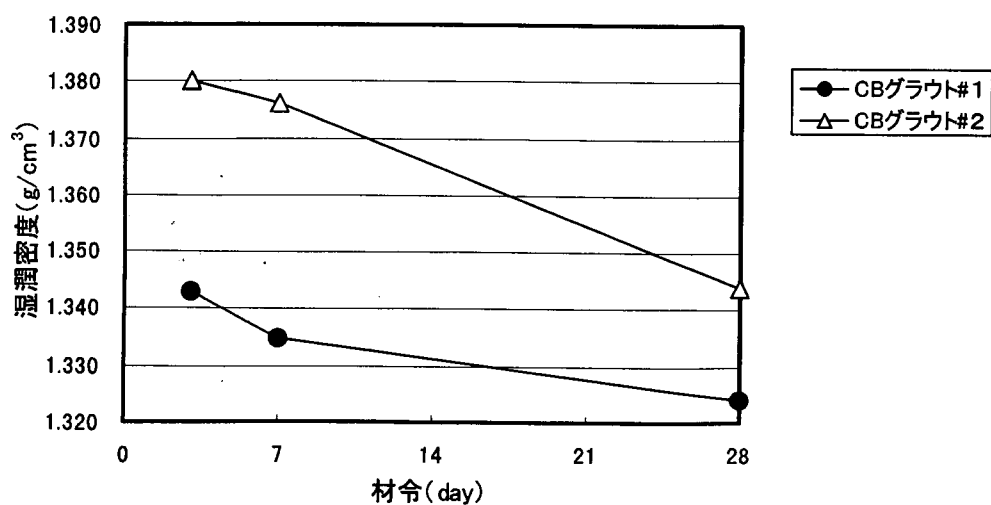
図-4.11 ケース 11 の試験結果 (Bt:Sc, W/(Bt+C)=200%, Bt/C=5%)



(d) 粘度 (ローターの回転数 60rpm)



(e) 一軸圧縮強さ



(f) 湿潤密度

図-4.11 ケース 11 の試験結果 (Bt:Sc, W/(Bt+C)=200%, Bt/C=5%)

(3) ケース 12(試験条件 Bt: Ak(膨潤力 13ml/2g)、W/(Bt+C)=200%、Bt/C=5%)

ケース 12 の試験結果の一覧を表-4.12 に、CB グラウトの各種物性の変化を図-4.12(a)~(f)に示す。

① ブリージング率

試料のブリージング率は、1 時間後と 3 時間後ではかなりの差があるが、3 時間後と 24 時間後の差は小さい。したがって、試料中の粒子の沈降は、その大部分が試料作製から 3 時間で発生し、24 時間後に完了するものとする。

24 時間後のブリージング率は、CB グラウト#1 では 21.6%、CB グラウト#2 では 25.9%を示しており、CB グラウト#1 の方が若干安定性が高い。

② ファンネル粘度

ファンネル粘度は経過時間とともに両者ともに若干大きくなる。3 時間後で比較すると、CB グラウト#1 では 28.8sec、CB グラウト#2 では 25.7sec であり、CB グラウト#1 の方が 3 秒程度高い。また他の経過時間においても CB グラウト#1 の方が 2~3 秒程度大きく、CB グラウト#1 の方が粘性が高いと考えられる。

③ 粘度 (ローターの回転数 6rpm)

CB グラウト#1、CB グラウト#2 とも時間経過とともに粘度は大きくなる。しかし、試料作製直後および 1 時間後では CB グラウト#1 の方が値が大きかったのに対し、3 時間後では CB グラウト#2 の方が大きくなる。

④ 粘度 (ローターの回転数 60rpm)

CB グラウト#1 はその経過時間とともに 337.5mPa・s から 457.5 mPa・s と大きくなり、CB グラウト#2 はその時間経過とともに 297.5mPa・s から 362.5mPa・s と大きくなり、どの経過時間においても CB グラウト#1 の方が 40~80 mPa・s 程度高い値を示す。

⑤ 一軸圧縮強さおよび湿潤密度

すべての材令において、CB グラウト#1 の一軸圧縮強さは CB グラウト#2 よりも高い傾向を示すが、その差は 100kN/m² から 200kN/m² 程度と小さい。そのため、一軸圧縮強さは両者ともに同程度であると考えられる。

試料の湿潤密度は、CB グラウト#1、CB グラウト#2 ともに材令に伴う差は小さいので、ほぼ一定であると考えられる。またすべての材令において、CB グラウト#1 の湿潤密度は CB グラウト#2 の湿潤密度よりも若干低くなっているが、その差は小さいので湿潤密度はほぼ同程度と考えられる。

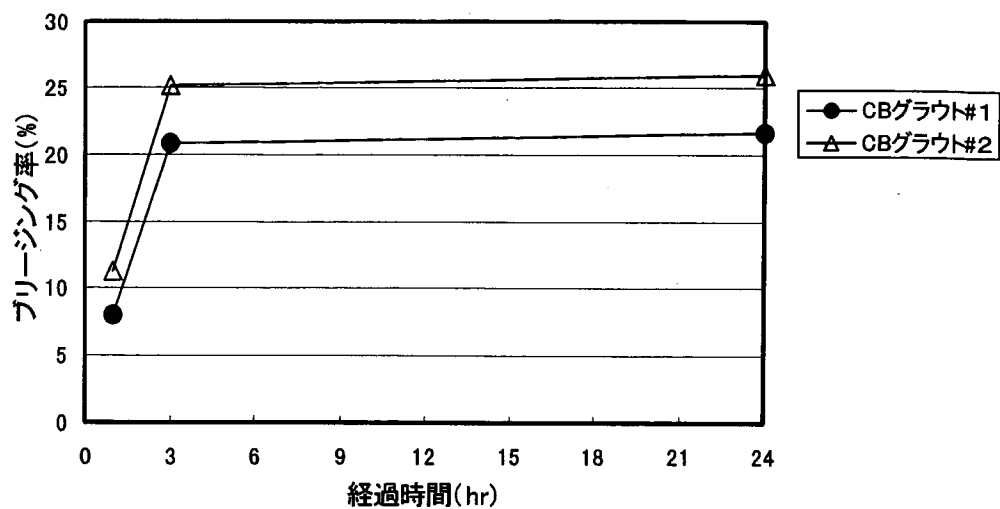
⑥ 透水係数および湿潤密度

28 日材令の試料の透水係数は、CB グラウト#1 が 8.6×10^{-7} cm/sec、CB グラウト#2 が 1.2×10^{-6} cm/sec を示す。また 28 日材令の試料の湿潤密度は、CB グラウト#1 が 1.420 g/cm³、CB グラウト#2 が 1.429 g/cm³ を示す。このように両試料の差は小さいので、透水係数および湿潤密度はほぼ同程度であると考えられる。

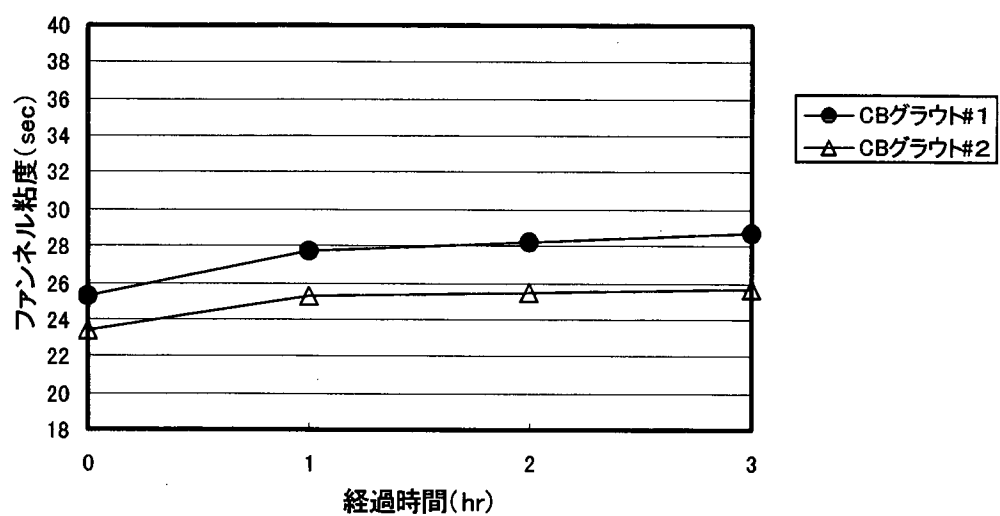
表-4.12 ケース12の試験結果(Bt:Ak,W/(Bt+C)=200%,Bt/C=5%)

		Ak (膨潤力13ml/2g)	
		CBグラウト#1	CBグラウト#2
ブリージング率 (%)	1時間後	8.0	11.3
	3時間後	20.8	25.1
	24時間後	21.6	25.9
ファンネル粘度 (sec)	作製直後	25.3	23.4
	1時間後	27.7	25.3
	2時間後	28.2	25.5
	3時間後	28.8	25.7
粘度 (ローター回転数:6rpm) (mPa・s)	作製直後	500.0	470.0
	1時間後	585.0	490.0
	2時間後	630.0	625.0
	3時間後	780.0	915.0
粘度 (ローター回転数:60rpm) (mPa・s)	作製直後	337.5	297.5
	1時間後	380.0	337.5
	2時間後	407.5	360.0
	3時間後	457.5	362.5
一軸圧縮強さ (kN/m ²)	材令3日	637	549
	材令7日	1303	1186
	材令28日	2283	2068
湿潤密度 (g/cm ³)	材令3日	1.396	1.417
	材令7日	1.420	1.430
	材令28日	1.406	1.430
透水係数(cm/sec)	材令28日	8.6×10^{-7}	1.2×10^{-6}
湿潤密度(g/cm ³)	材令28日	1.420	1.429

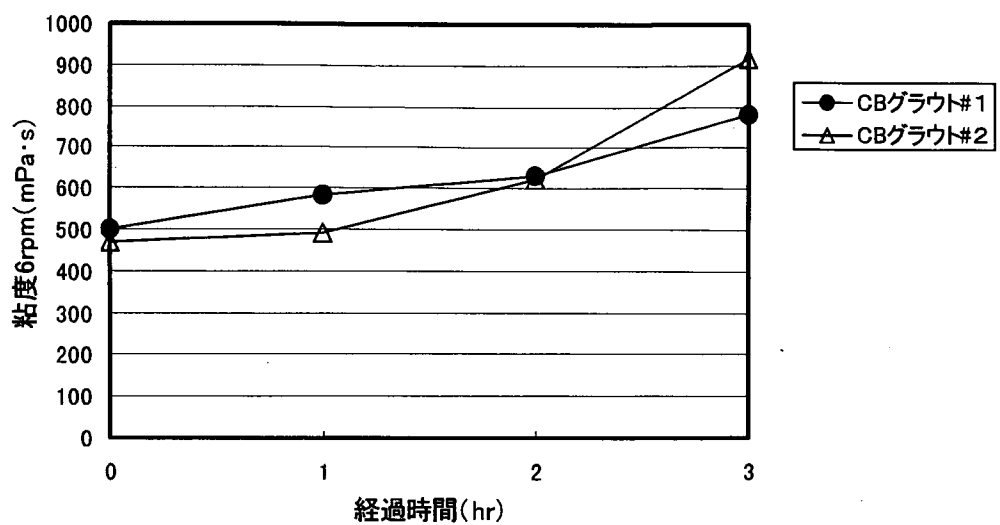
注) 空欄は試験を実施していないことを示し、測定値の「-」は測定限界を示す。



(a)フリージング率

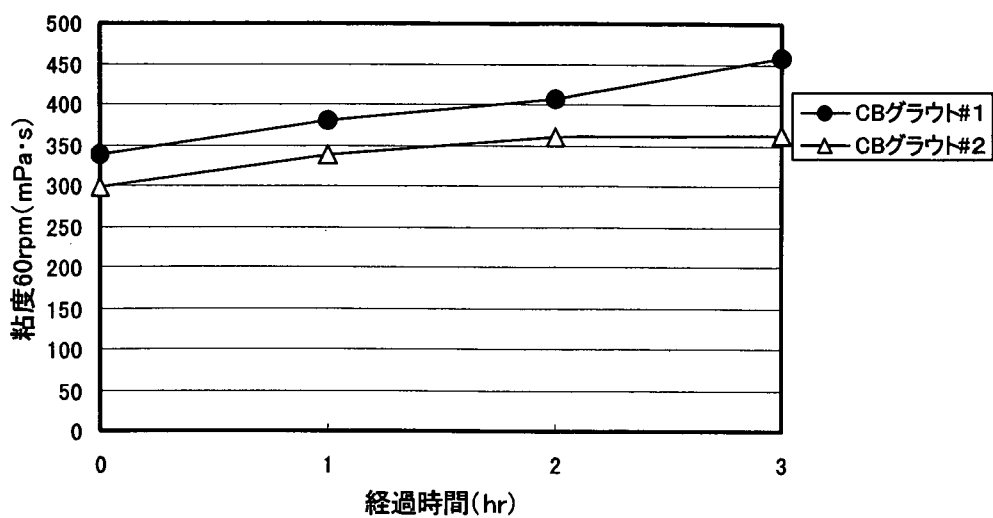


(b)ファンネル粘度

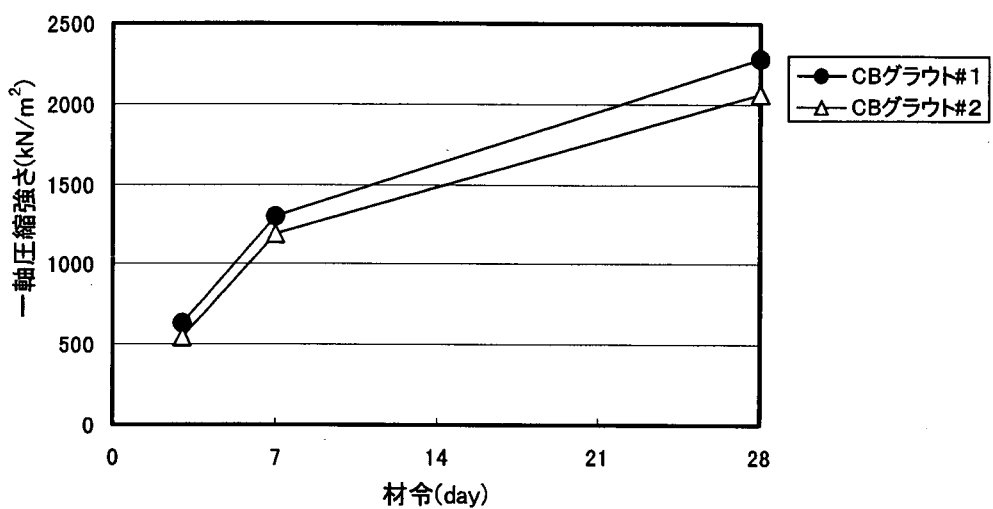


(c)粘度(ローターの回転数6rpm)

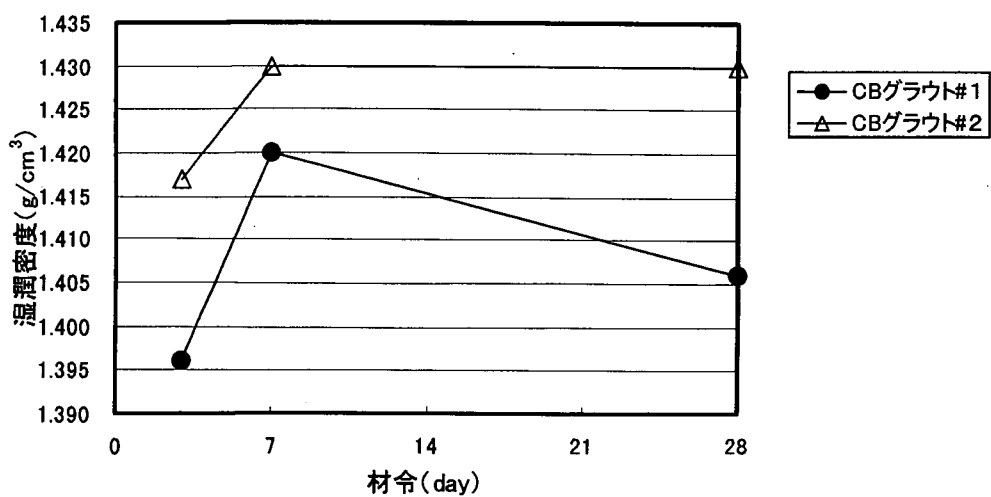
図-4.12 ケース 12 の試験結果 (Bt: Ak, W/(Bt+C)=200%, Bt/C=5%)



(d) 粘度 (ローターの回転数 60rpm)



(e) 一軸圧縮強さ



(f) 湿潤密度

図-4.12 ケース 12 の試験結果 (Bt: Ak, W/(Bt+C)=200%, Bt/C=5%)

(4) ケース 13(試験条件 Bt:H(膨潤力 8ml/2g)、W/(Bt+C)=200%、Bt/C=5%)

ケース 13 の試験結果の一覧を表-4.13 に、CB グラウトの各種物性の変化を図-4.13(a)~(f)に示す。

① ブリージング率

試料のブリージング率は、1 時間後と 3 時間後ではかなりの差があるが、3 時間後と 24 時間後の差は小さい。したがって、試料中の粒子の沈降は、その大部分が試料作製から 3 時間後に完了するものと考えられる。

24 時間後のブリージング率は、CB グラウト#1 では 22%程度、CB グラウト#2 では 27%程度を示しており、CB グラウト#1 の方が若干安定性が高い。

② ファンネル粘度

ファンネル粘度は時間経過とともに両者とも大きくなる。3 時間後で比較すると、CB グラウト#1 では 28.7sec、CB グラウト#2 では 24.6sec であり、CB グラウト#1 の方が 4 秒程度高い。また他の経過時間においても CB グラウト#1 の方が 2~4 秒程度大きく、CB グラウト#1 の方が粘性が高いといえる。

③ 粘度 (ローターの回転数 6rpm)

CB グラウト#1、CB グラウト#2 とも時間が経過するとともに粘度は大きくなる。しかし、試料作製直後および 1 時間後では CB グラウト#1 の方が大きいのに対し、2 時間後および 3 時間後では CB グラウト#2 の方が大きくなる。

④ 粘度 (ローターの回転数 60rpm)

CB グラウト#1 はその経過時間とともに 312.5mPa・s から 452.5 mPa・s と大きくなり、CB グラウト#2 はその時間経過とともに 237.5mPa・s から 347.5mPa・s と大きくなる。また、どの経過時間においても CB グラウト#1 の方が 80 mPa・s 程度高い値を示す。

⑤ 一軸圧縮強さおよび湿潤密度

CB グラウト#1 と#2 の一軸圧縮強さの材令による上昇傾向はほぼ同様であるが、CB グラウト#1 の一軸圧縮強さは CB グラウト#2 よりも 100kN/m² から 250kN/m² 程度小さい傾向を示す。

CB グラウト#1 の湿潤密度は材令によらずほぼ同程度であるが、CB グラウト#2 の湿潤密度は材令とともに若干低くなる傾向を示している。しかしその絶対値は小さいので、試料の湿潤密度は材令によらずほぼ一定であると考えられる。

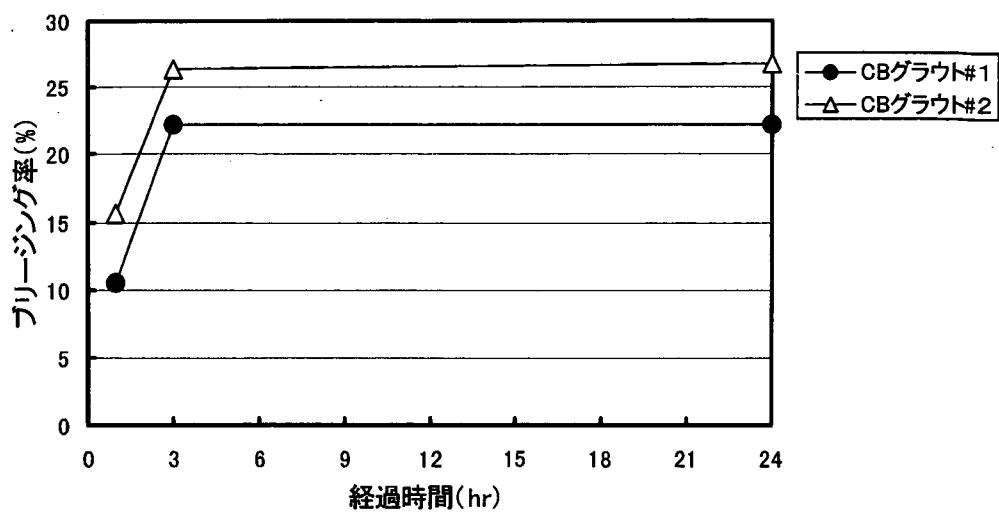
⑥ 透水係数および湿潤密度

28 日材令の試料の透水係数は、CB グラウト#1 が 2.8×10^{-6} cm/sec、CB グラウト#2 が 1.8×10^{-6} cm/sec を示す。また 28 日材令の試料の湿潤密度は CB グラウト#1 が 1.393 g/cm³、CB グラウト#2 が 1.407 g/cm³ を示す。このように CB グラウト#2 の方が透水係数は若干低く湿潤密度は若干高い傾向を示すが、両試料の差は小さいので、透水係数および湿潤密度はほぼ同程度であると考えられる。

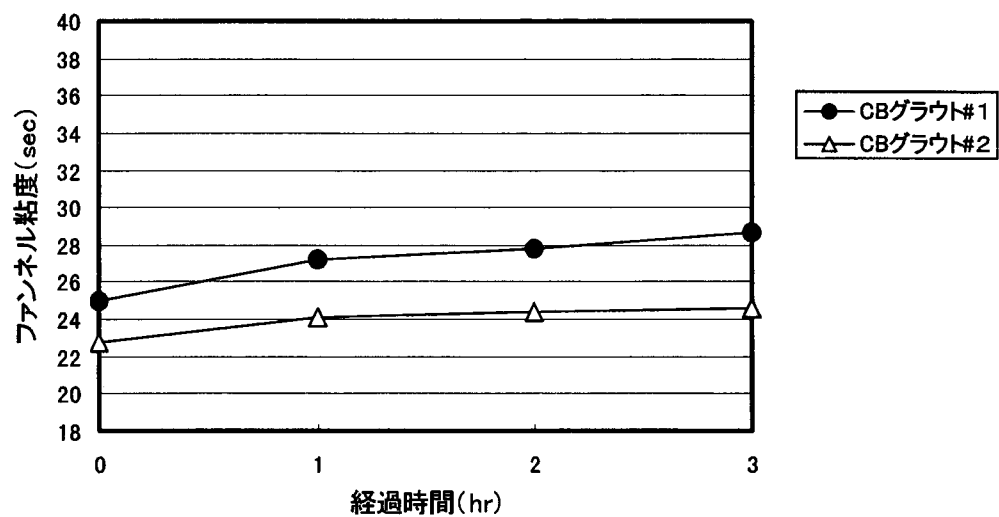
表-4.13 ケース13の試験結果(Bt:Hr,W/(Bt+C)=200%,Bt/C=5%)

		Hr (膨潤力8ml/2g)	
		CBグラウト#1	CBグラウト#2
ブリージング率 (%)	1時間後	10.5	15.6
	3時間後	22.2	26.4
	24時間後	22.2	26.8
ファンネル粘度 (sec)	作製直後	25.0	22.7
	1時間後	27.2	24.1
	2時間後	27.8	24.4
	3時間後	28.6	24.6
粘度 (ローター回転数:6rpm) (mPa・s)	作製直後	450.0	430.0
	1時間後	495.0	430.0
	2時間後	515.0	555.0
	3時間後	545.0	645.0
粘度 (ローター回転数:60rpm) (mPa・s)	作製直後	312.5	237.5
	1時間後	372.5	302.5
	2時間後	427.5	317.5
	3時間後	452.5	347.5
一軸圧縮強さ (kN/m ²)	材令3日	686	813
	材令7日	1274	1529
	材令28日	2705	2793
湿潤密度 (g/cm ³)	材令3日	1.417	1.444
	材令7日	1.413	1.445
	材令28日	1.419	1.432
透水係数(cm/sec)	材令28日	2.8×10 ⁻⁶	1.8×10 ⁻⁶
湿潤密度(g/cm ³)	材令28日	1.393	1.407

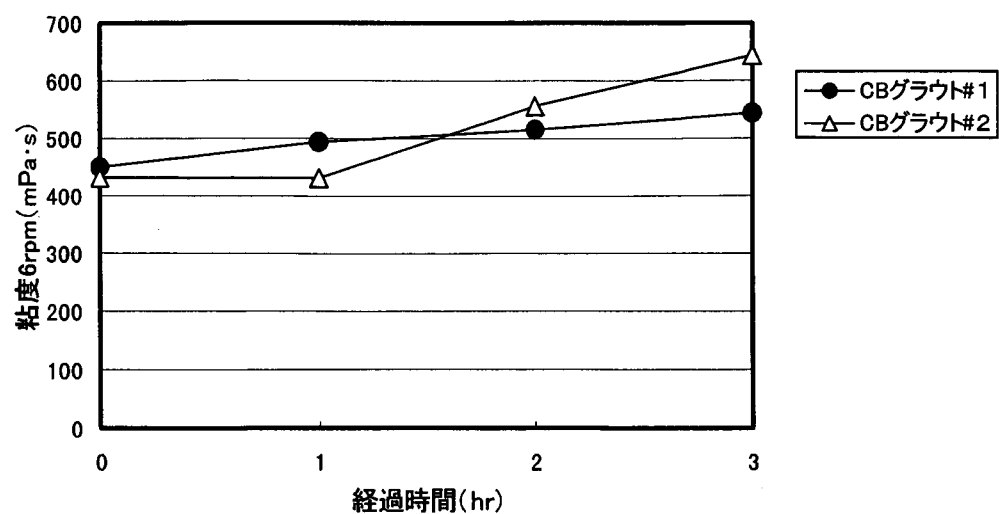
注) 空欄は試験を実施していないことを示し、測定値の「-」は測定限界を示す。



(a)フリージング率

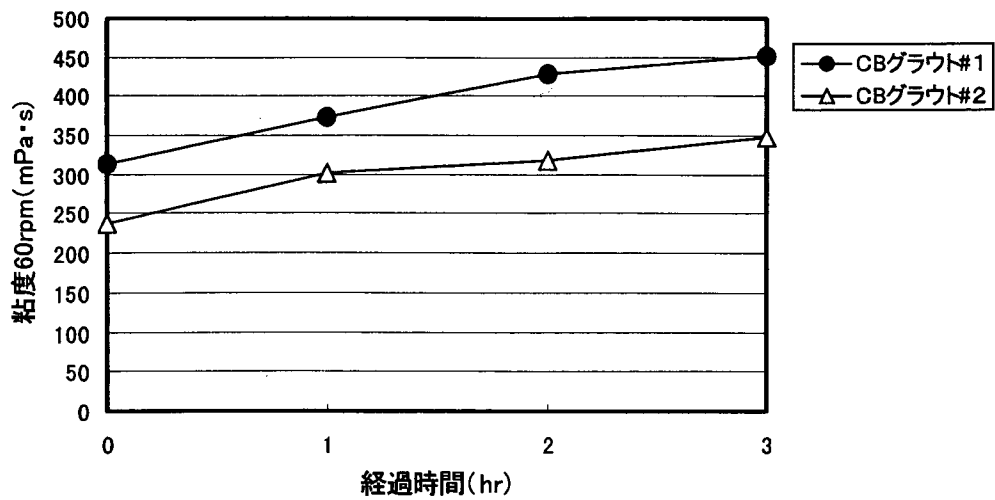


(b)ファンネル粘度

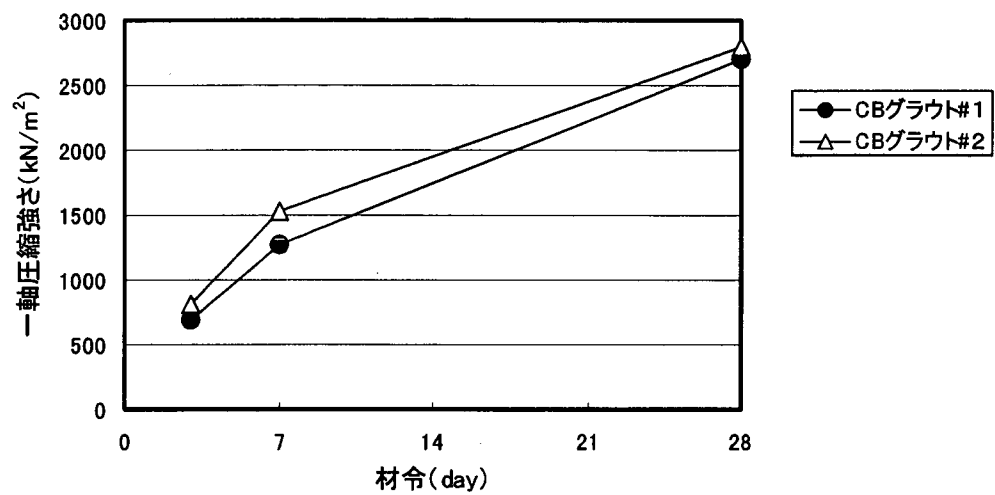


(c)粘度(ローターの回転数6rpm)

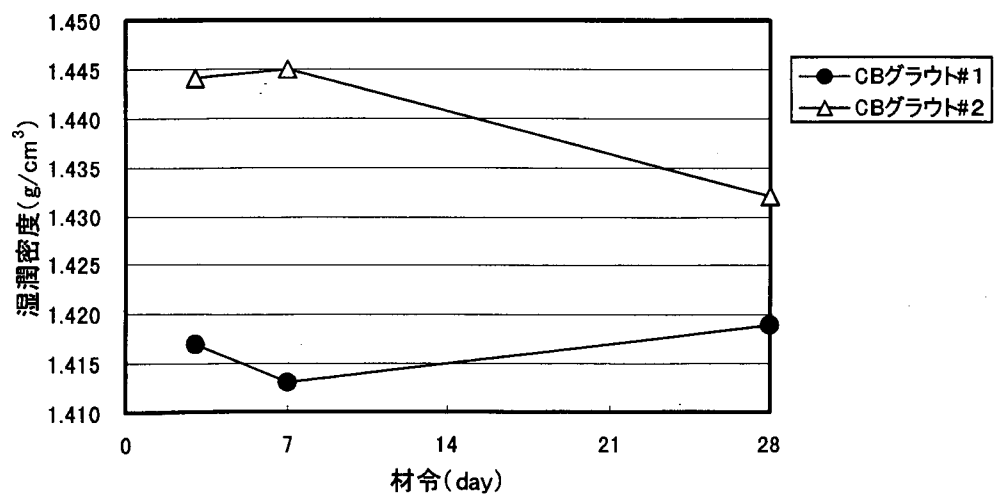
図-4.13 ケース 13 の試験結果 (Bt:Hr, W/(Bt+C)=200%, Bt/C=5%)



(d) 粘度 (ローターの回転数 60rpm)



(e) 一軸圧縮強さ



(f) 湿潤密度

図-4.13 ケース 13 の試験結果 (Bt:Hr, W/(Bt+C)=200%, Bt/C=5%)

(5) ケース 14(試験条件 Bt:Ht(膨潤力 16ml/2g)、W/(Bt+C)=200%、Bt/C=5%)

ケース 14 の試験結果の一覧を表-4.14 に、CB グラウトの各種物性の変化を図-4.14(a)~(f)に示す。

① ブリージング率

試料のブリージング率は、1 時間後と 3 時間後ではかなりの差があるが、3 時間後と 24 時間後の差は小さい。したがって、試料中の粒子の沈降は、その大部分が試料作製から 3 時間で発生し、24 時間後に完了するものと考ええる。

24 時間後のブリージング率は、CB グラウト#1 では 13.5%、CB グラウト#2 では 15.9%を示しており、CB グラウト#1 の方が若干安定性が高い。

② ファンネル粘度

ファンネル粘度は時間が経過するにつれ両者ともに若干大きくなる。3 時間後で比較すると、CB グラウト#1 では 35.5sec、CB グラウト#2 では 28.7sec 程度であり、CB グラウト#1 の方が 7 秒程度高い。また他の経過時間においても CB グラウト#1 の方が 1~4 秒程度大きく、CB グラウト#1 の方が粘性が高いと考えられる。

③ 粘度 (ローターの回転数 6rpm)

CB グラウト#1 はその時間経過とともに 665 mPa・s から 1475 mPa・s と大きくなり、CB グラウト#2 は 580 mPa・s から 715 mPa・s と大きくなる。またどの経過時間においても CB グラウト#1 の方が CB グラウト#2 よりも大きな値を示しており、その差は時間経過とともに 80 mPa・s 程度から 700 mPa・s 程度と大きくなる。

④ 粘度 (ローターの回転数 60rpm)

CB グラウト#1 はその経過時間とともに 470mPa・s から 530 mPa・s と大きくなり、CB グラウト#2 はその時間経過とともに 390mPa・s から 490mPa・s と大きくなる。またどの経過時間においても CB グラウト#1 の方が 30~80 mPa・s 程度高い値を示す。

⑤ 一軸圧縮強さおよび湿潤密度

どの材令においても、CB グラウト#1 の一軸圧縮強さは CB グラウト#2 とほぼ同じ値を示している。そのため、一軸圧縮強さは両者ともに同程度であると考えられる。

試料の湿潤密度は、CB グラウト#1、CB グラウト#2 とともに 7 日材令に大きくなり、28 日材令で若干小さくなるが、その差は小さいので、ほぼ一定であると考えられる。またどの材令においても CB グラウト#1 の方が若干小さいが、その差は小さいので両者の湿潤密度はほぼ同程度と考えられる。

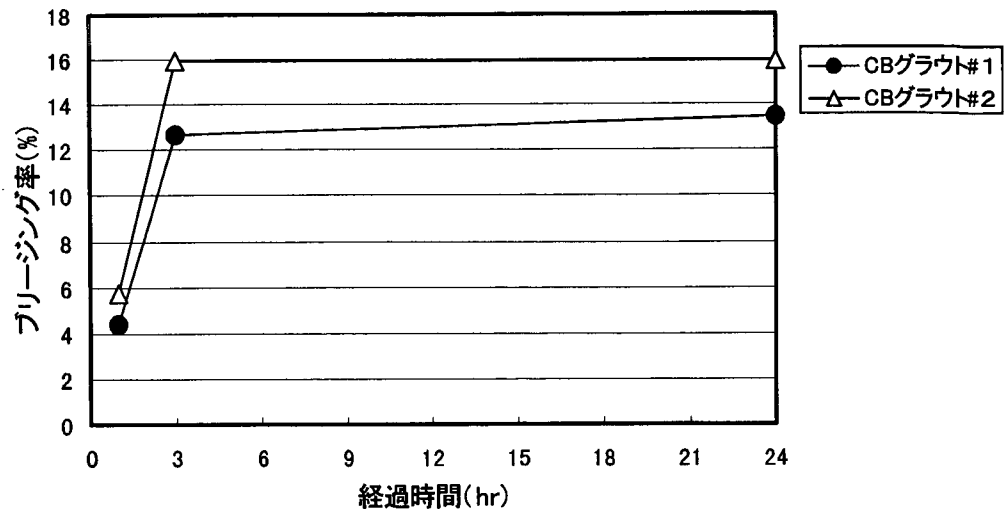
⑥ 透水係数および湿潤密度

28 日材令の試料の透水係数は、CB グラウト#1 が 7.0×10^{-7} cm/sec、CB グラウト#2 が 3.7×10^{-7} cm/sec を示す。また 28 日材令の試料の湿潤密度は CB グラウト#1 が 1.393 g/cm³、CB グラウト#2 が 1.411 g/cm³ を示す。このように CB グラウト#2 の方が透水係数は若干低く湿潤密度は若干高い値を示しているものの、両試料の差は小さいので、透水係数および湿潤密度はほぼ同程度であると考えられる。

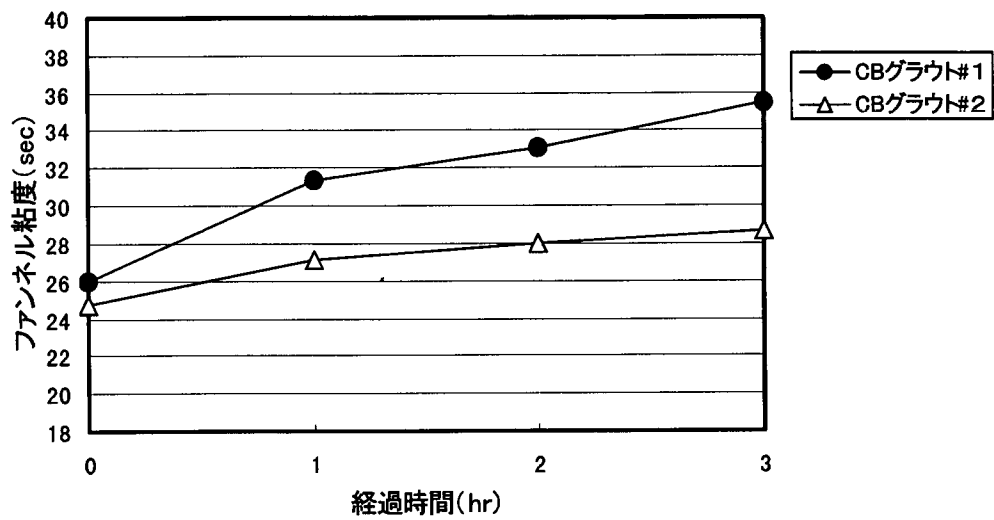
表-4.14 ケース14の試験結果(Bt:Ht,W/(Bt+C)=200%,Bt/C=5%)

		Ht (膨潤力16ml/2g)	
		CBグラウト#1	CBグラウト#2
ブリージング率 (%)	1時間後	4.4	5.7
	3時間後	12.7	15.9
	24時間後	13.5	15.9
ファンネル粘度 (sec)	作製直後	26.0	24.7
	1時間後	31.3	27.1
	2時間後	33.1	28.0
	3時間後	35.5	28.7
粘度 (ローター回転数:6rpm) (mPa・s)	作製直後	665.0	580.0
	1時間後	800.0	610.0
	2時間後	875.0	695.0
	3時間後	1475.0	715.0
粘度 (ローター回転数:60rpm) (mPa・s)	作製直後	470.0	390.0
	1時間後	472.5	430.0
	2時間後	490.0	460.0
	3時間後	530.0	490.0
一軸圧縮強さ (kN/m ²)	材令3日	627	627
	材令7日	1068	1088
	材令28日	2048	1862
湿潤密度 (g/cm ³)	材令3日	1.349	1.376
	材令7日	1.371	1.387
	材令28日	1.366	1.371
透水係数(cm/sec)	材令28日	7.0×10 ⁻⁷	3.7×10 ⁻⁷
湿潤密度(g/cm ³)	材令28日	1.393	1.411

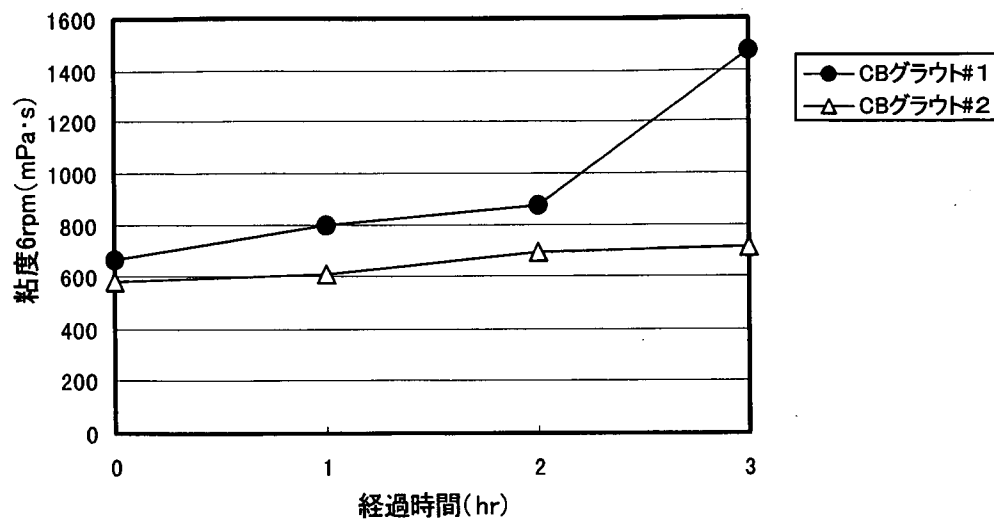
注) 空欄は試験を実施していないことを示し、測定値の「-」は測定限界を示す。



(a)ブリージング率

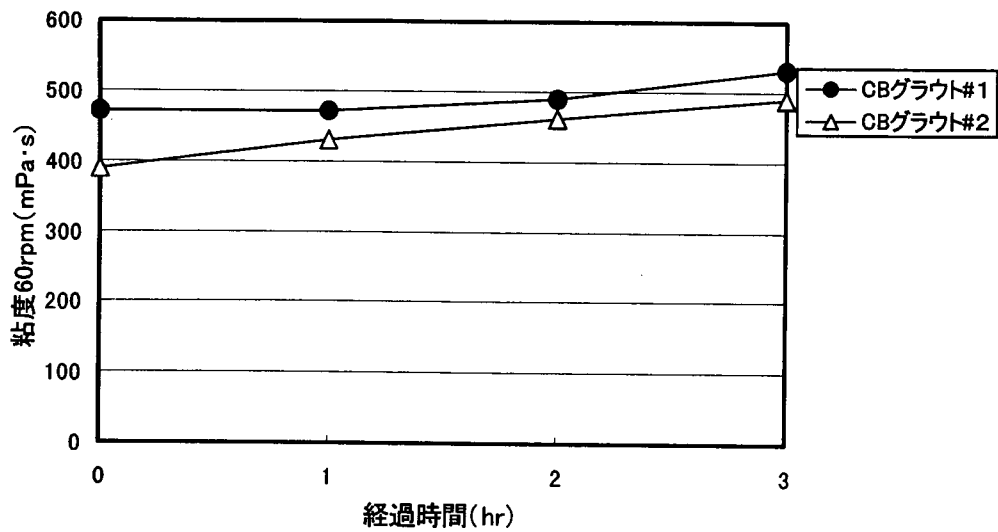


(b)ファンネル粘度

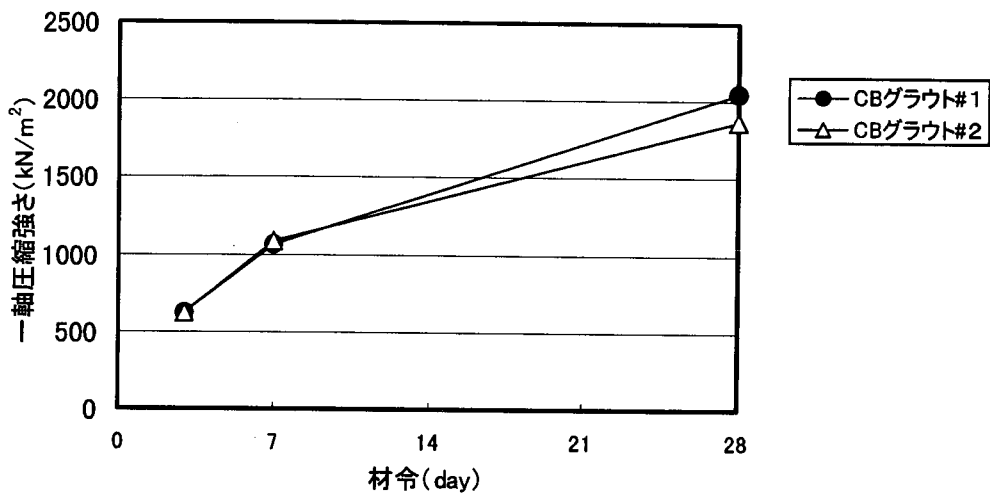


(c)粘度(ローターの回転数6rpm)

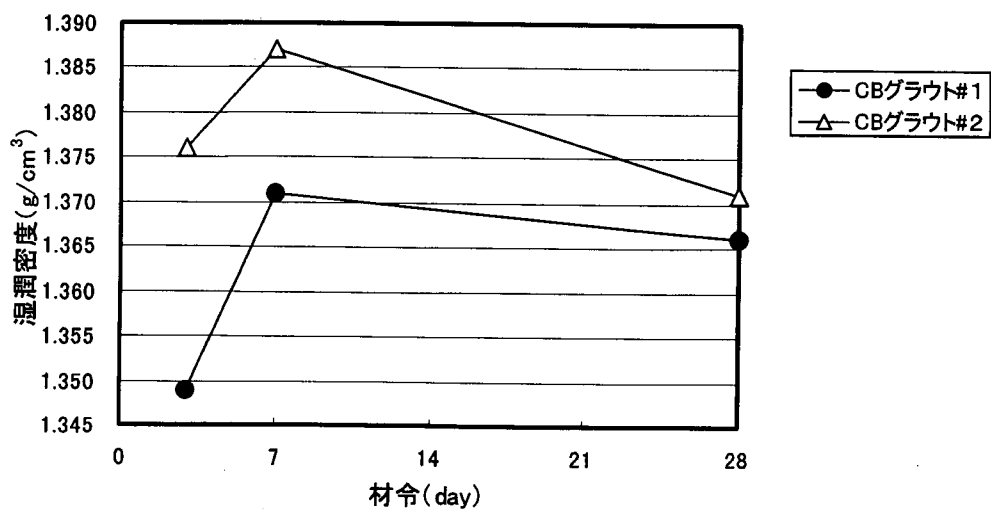
図-4.14 ケース 14 の試験結果 ($Bt:Ht, W/(Bt+C)=200\%$, $Bt/C=5\%$)



(d) 粘度 (ローターの回転数 60rpm)



(e) 一軸圧縮強さ



(f) 湿潤密度

図-4.14 ケース 14 の試験結果 (Bt:Ht, W/(Bt+C)=200%, Bt/C=5%)

(6) ケース 15(試験条件 Bt: As (膨潤力 22ml/2g)、W/(Bt+C)=100%、Bt/C=5%)

ケース 15 の試験結果の一覧を表-4.15 に、CB グラウトの各種物性の変化を図-4.15(a)~(f)に示す。

① ブリージング率

試料のブリージング率は、1 時間後と 3 時間後では差があるが、3 時間後と 24 時間後の差は小さい。したがって、試料中の粒子の沈降は、その大部分が試料作製から 3 時間で完了するものと考えられる。

24 時間後のブリージング率は、CB グラウト#1 では 1.1%、CB グラウト#2 では 2.7%を示しており、CB グラウト#1 の方が若干安定性が高い。しかしその差は小さいので、CB グラウト#1 と CB グラウト#2 の安定性はほぼ同程度であると考えられる。

② ファンネル粘度

ファンネル粘度は両方ともに全経過時間において計測不能であった。したがって、試料の粘性の評価は回転粘度計による粘度で行う。

③ 粘度 (ローターの回転数 6rpm)

CB グラウト#1 はその時間経過とともに 14800mPa・s から 94000mPa・s と大きくなり、CB グラウト#2 は 5400mPa・s から 46500mPa・s と大きくなる。またどの経過時間においても CB グラウト#1 の方が CB グラウト#2 よりも大きな値を示しており、その差は 6200mPa・s から 47500mPa・s 程度である。

④ 粘度 (ローターの回転数 60rpm)

3 時間後の CB グラウト#1 は測定不能であった。CB グラウト#1 は経過時間とともに 3650mPa・s から 6000 mPa・s と大きくなり、CB グラウト#2 はその時間経過とともに 2800mPa・s から 5400mPa・s と大きくなる。またどの経過時間においても CB グラウト#1 の方が 800~2500 mPa・s 程度高い値を示す。

⑤ 一軸圧縮強さおよび湿潤密度

どの材令においても、CB グラウト#1 の一軸圧縮強さの方が CB グラウト#2 よりも大きな値を示しているが、その差は小さいので一軸圧縮強さは両者ともに同程度であると考えられる。

試料の湿潤密度は、CB グラウト#1 では 7 日材令では小さくなり 28 日材令では若干大きくなるが、CB グラウト#2 では 7 日材令では大きくなり 28 日材令では若干小さくなる。しかし両者ともにその差は小さいので、湿潤密度は経過時間によらずほぼ一定であると考えられる。また全ての材令において CB グラウト#1 の湿潤密度は CB グラウト#2 の湿潤密度よりも小さくなっている。しかし、その差は小さいので、湿潤密度はほぼ同程度と考えられる。

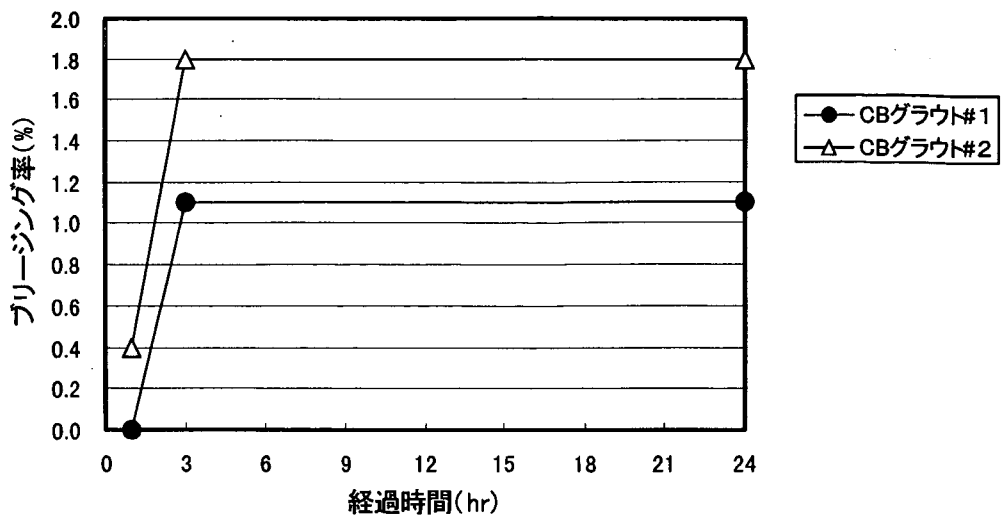
⑥ 透水係数および湿潤密度

28 日材令の試料の透水係数は、CB グラウト#1 が 2.4×10^{-9} cm/sec、CB グラウト#2 が 1.0×10^{-9} cm/sec を示す。また 28 日材令の試料の湿潤密度は CB グラウト#1 が 1.593 g/cm^3 、CB グラウト#2 が 1.589 g/cm^3 を示す。このように両試料の差は小さいので、透水係数および湿潤密度はほぼ同程度であると考えられる。

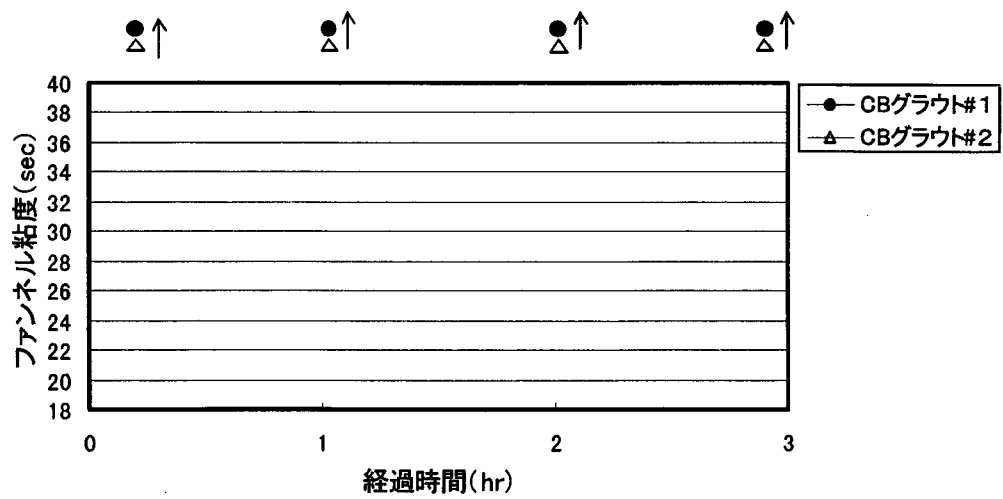
表-4.15 ケース15の試験結果(BtAs,W/(Bt+C)=100%,Bt/C=5%)

		W/(Bt+C)=100%	
		CBグラウト#1	CBグラウト#2
ブリージング率 (%)	1時間後	0.0	0.4
	3時間後	1.1	2.7
	24時間後	1.1	2.7
ファンネル粘度 (sec)	作製直後	-	-
	1時間後	-	-
	2時間後	-	-
	3時間後	-	-
粘度 (ローター回転数:6rpm) (mPa・s)	作製直後	14800.0	5400.0
	1時間後	18600.0	12400.0
	2時間後	64500.0	32000.0
	3時間後	94000.0	46500.0
粘度 (ローター回転数:60rpm) (mPa・s)	作製直後	3650.0	2800.0
	1時間後	4250.0	2950.0
	2時間後	6000.0	3550.0
	3時間後	-	5400.0
一軸圧縮強さ (kN/m ²)	材令3日	3420	2920
	材令7日	6811	5645
	材令28日	8849	8389
湿潤密度 (g/cm ³)	材令3日	1.547	1.550
	材令7日	1.546	1.554
	材令28日	1.548	1.554
透水係数(cm/sec)	材令28日	2.4×10 ⁻⁹	1.0×10 ⁻⁹
湿潤密度(g/cm ³)	材令28日	1.593	1.589

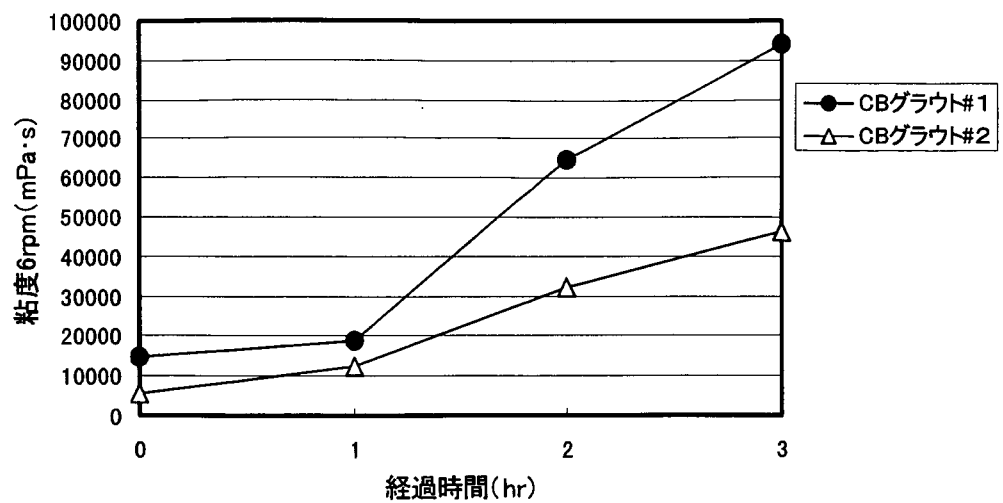
注) 空欄は試験を実施していないことを示し、測定値の「-」は測定限界を示す。



(a)ブリージング率

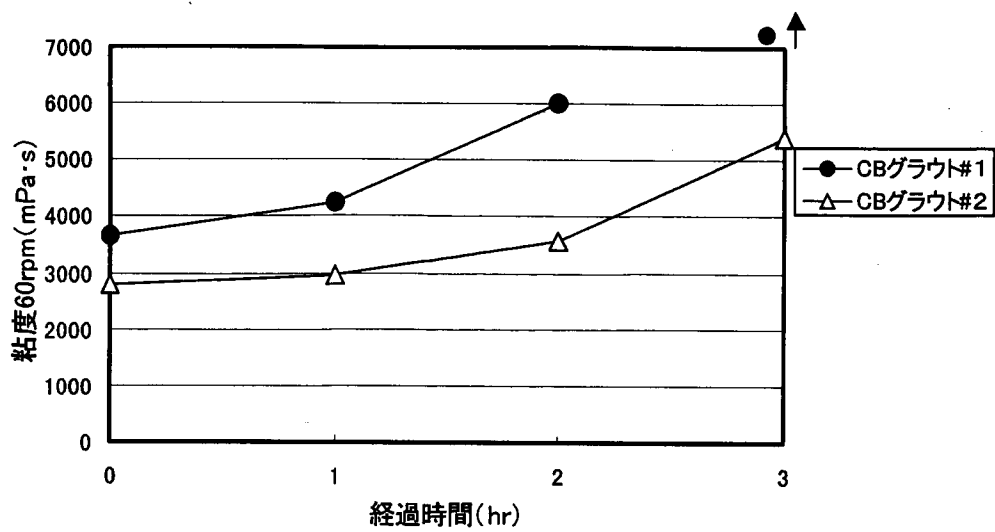


(b)ファンネル粘度

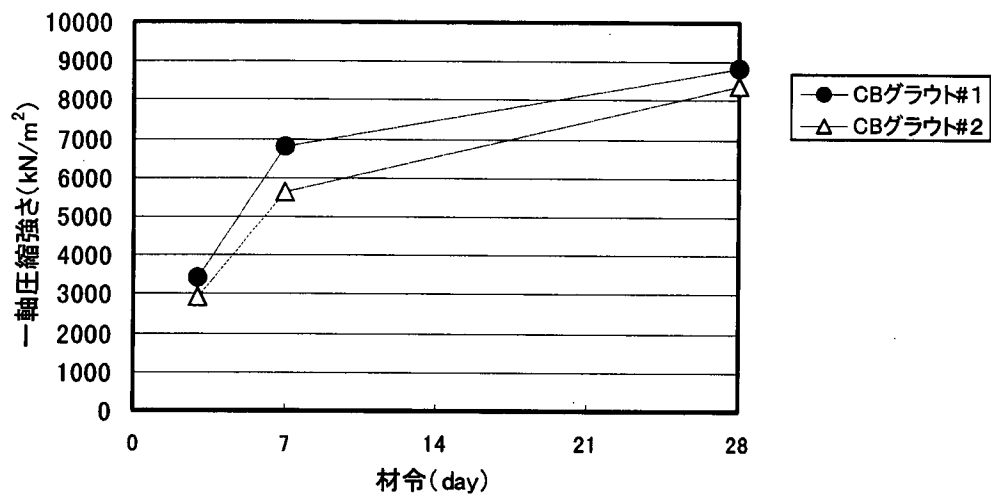


(c)粘度(ローターの回転数6rpm)

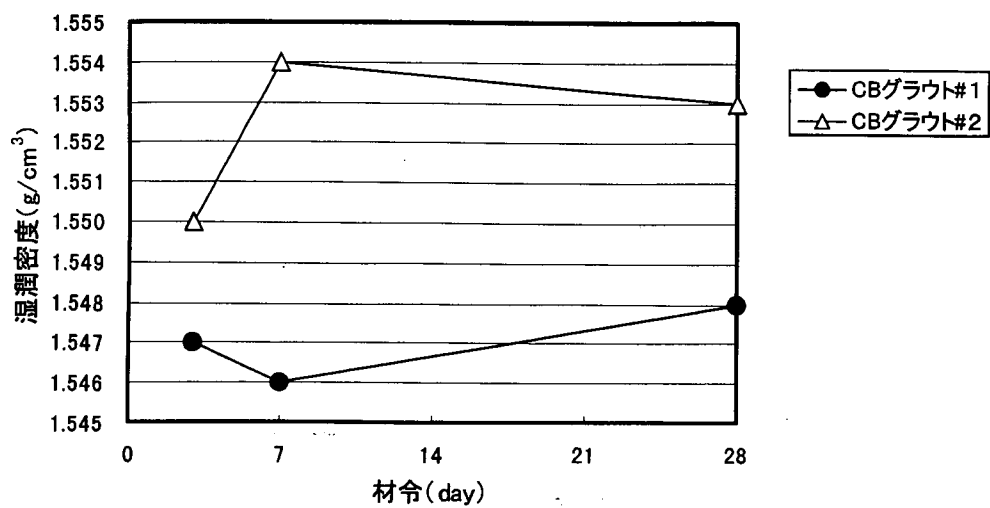
図-4.15 ケース 15 の試験結果 (Bt:As, W/(Bt+C)=100%, Bt/C=5%)



(d) 粘度 (ローターの回転数60rpm)



(e) 一軸圧縮強さ



(f) 湿潤密度

図-4.15 ケース 15 の試験結果 (Bt:As, W/(Bt+C)=100%, Bt/C=5%)

(7) ケース 16(試験条件 Bt:As(膨潤力 22ml/2g)、 $W/(Bt+C)=400\%$ 、 $Bt/C=5\%$)

ケース 16 の試験結果の一覧を表-4.16 に、CB グラウトの各種物性の変化を図-4.16(a)~(f)に示す。

① ブリージング率

試料のブリージング率は、1 時間後と 3 時間後では差があるが、3 時間後と 24 時間後の差は小さい。したがって、試料中の粒子の沈降は、その大部分が試料作製から 3 時間で完了するものと考えられる。

24 時間後のブリージング率は、CB グラウト#1 では 46.0%、CB グラウト#2 では 51.4%を示しており、CB グラウト#1 の方が若干安定性が高い。また 1 時間後、3 時間後においても CB グラウト#1 の方が CB グラウト#2 よりも 5%から 10%程度ブリージング率が低い。

② ファンネル粘度

ファンネル粘度は時間が経過するにつれ両者ともに若干大きくなる。3 時間後で比較すると、CB グラウト#1 では 21.3sec、CB グラウト#2 では 20.6sec であり、CB グラウト#1 の方が 0.7 秒高い。また他の経過時間においても CB グラウト#1 の方が 0.5 秒程度大きく、CB グラウト#1 の方が若干粘性が高いと考えられる。

③ 粘度 (ローターの回転数 6rpm)

CB グラウト#1 はその時間経過とともに $365\text{mPa}\cdot\text{s}$ から $480\text{mPa}\cdot\text{s}$ と大きくなり、CB グラウト#2 は $255\text{mPa}\cdot\text{s}$ から $440\text{mPa}\cdot\text{s}$ と大きくなる。またどの経過時間においても CB グラウト#1 の方が CB グラウト#2 よりも大きな値を示しており、その差は $40\text{mPa}\cdot\text{s}$ から $110\text{mPa}\cdot\text{s}$ 程度である。

④ 粘度 (ローターの回転数 60rpm)

CB グラウト#1 はその経過時間とともに $60\text{mPa}\cdot\text{s}$ から $91\text{mPa}\cdot\text{s}$ と大きくなり、CB グラウト#2 はその時間経過とともに $45\text{mPa}\cdot\text{s}$ から $88\text{mPa}\cdot\text{s}$ と大きくなる。また 2 時間後では CB グラウト#1 の方が CB グラウト#2 よりも小さな値を示すが、他の経過時間では CB グラウト#1 の方が大きな値を示す。しかしその差はあまり大きくはない。

⑤ 一軸圧縮強さおよび湿潤密度

7 日後では CB グラウト#1 の方が大きな値を示しているが、3 日後と 28 日後では CB グラウト#1 の一軸圧縮強さの方が CB グラウト#2 よりも小さな値を示している。しかし、その差は小さいので一軸圧縮強さは両者ともに同程度であると考えられる。

試料の湿潤密度は、CB グラウト#1 では 7 日後に小さくなり 28 日後に若干大きくなるが、CB グラウト#2 では 7 日後に大きくなり 28 日後に若干小さくなる。しかし両者ともにその差は小さいので、湿潤密度は経過時間によらずほぼ一定であると考えられる。また全ての経過時間において CB グラウト#1 の湿潤密度は CB グラウト#2 の湿潤密度よりも小さくなっている。しかし、その差も大きいものではない。

⑥ 透水係数および湿潤密度

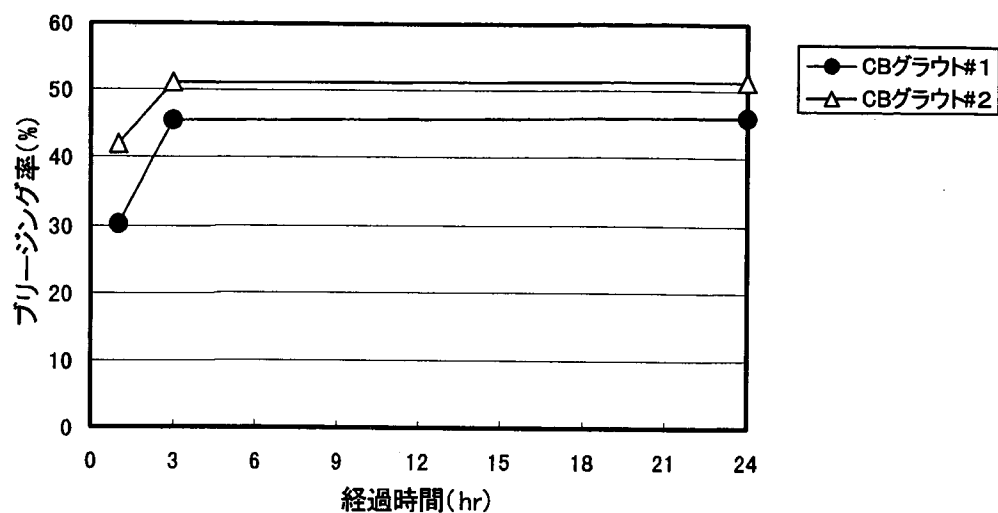
28 日材令の試料の透水係数は、CB グラウト#1 が $5.9 \times 10^{-6} \text{ cm/sec}$ 、CB グラウト#2 が $4.9 \times 10^{-6} \text{ cm/sec}$ を示す。また 28 日材令の試料の湿潤密度は CB グラウト#1 が 1.324g/cm^3 、CB グラウト#2 が 1.355g/cm^3

を示す。このように CB グラウト#2の方が透水係数は若干低い値を示し湿潤密度は若干高い値を示すものの、両試料の差は小さいので、透水係数および湿潤密度はほぼ同程度であると考えられる。

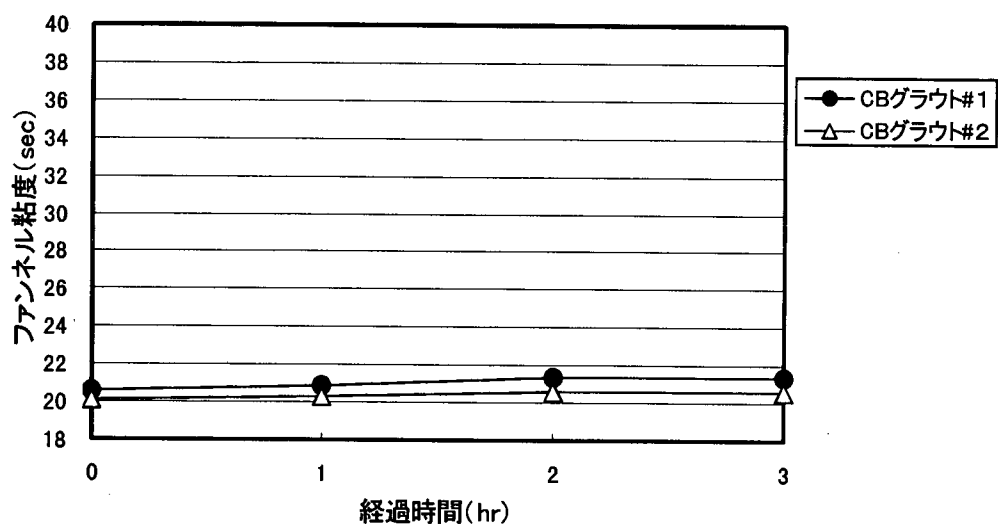
表-4.16 ケース16の試験結果(Bt:As,W/(Bt+C)=400%,Bt/C=5%)

		W/(Bt+C)=400%	
		CBグラウト#1	CBグラウト#2
ブリージング率 (%)	1時間後	30.2	41.9
	3時間後	45.6	51.0
	24時間後	46.0	51.4
ファンネル粘度 (sec)	作製直後	20.6	20.1
	1時間後	20.9	20.3
	2時間後	21.3	20.6
	3時間後	21.3	20.6
粘度 (ローター回転数:6rpm) (mPa・s)	作製直後	365.0	255.0
	1時間後	420.0	335.0
	2時間後	450.0	400.0
	3時間後	480.0	440.0
粘度 (ローター回転数:60rpm) (mPa・s)	作製直後	60.0	45.0
	1時間後	67.5	63.0
	2時間後	75.0	84.0
	3時間後	91.0	88.0
一軸圧縮強さ (kN/m ²)	材令3日	343	392
	材令7日	666	637
	材令28日	1166	1392
湿潤密度 (g/cm ³)	材令3日	1.329	1.353
	材令7日	1.336	1.351
	材令28日	1.339	1.350
透水係数(cm/sec)	材令28日	5.9×10 ⁻⁶	4.9×10 ⁻⁶
湿潤密度(g/cm ³)	材令28日	1.324	1.355

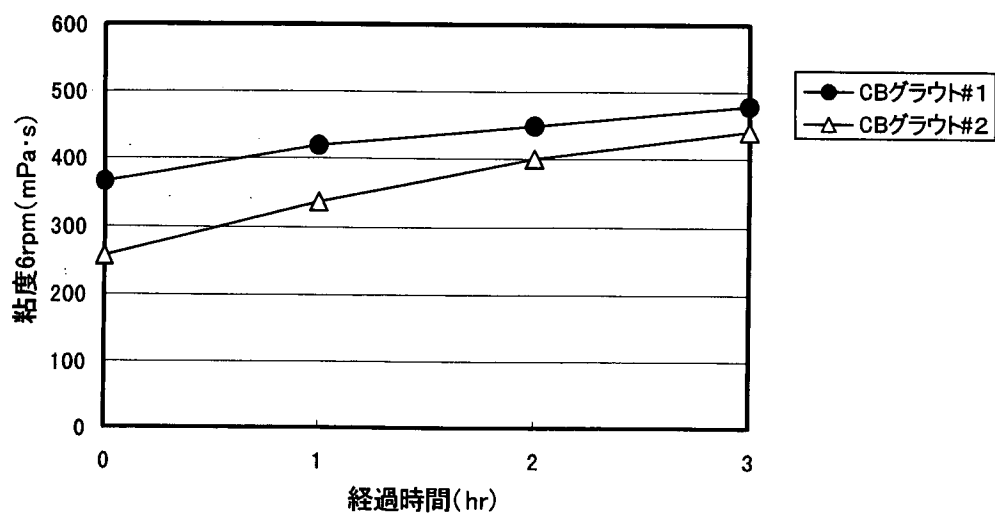
注) 空欄は試験を実施していないことを示し、測定値の「-」は測定限界を示す。



(a)フリージング率

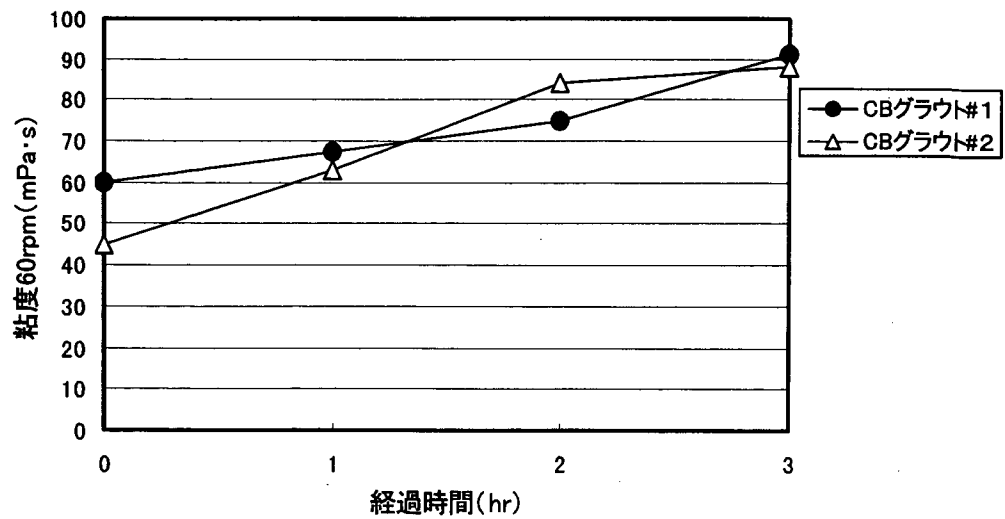


(b)ファンネル粘度

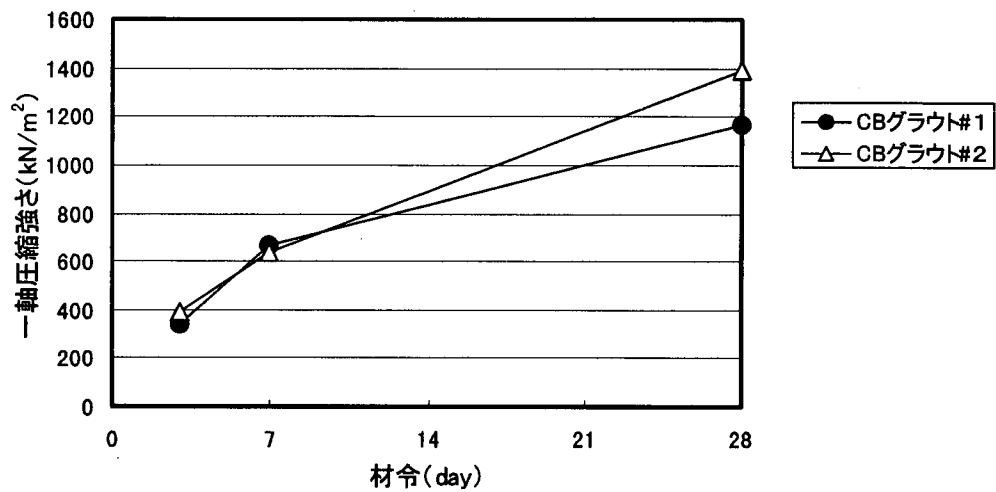


(c)粘度(ローターの回転数6rpm)

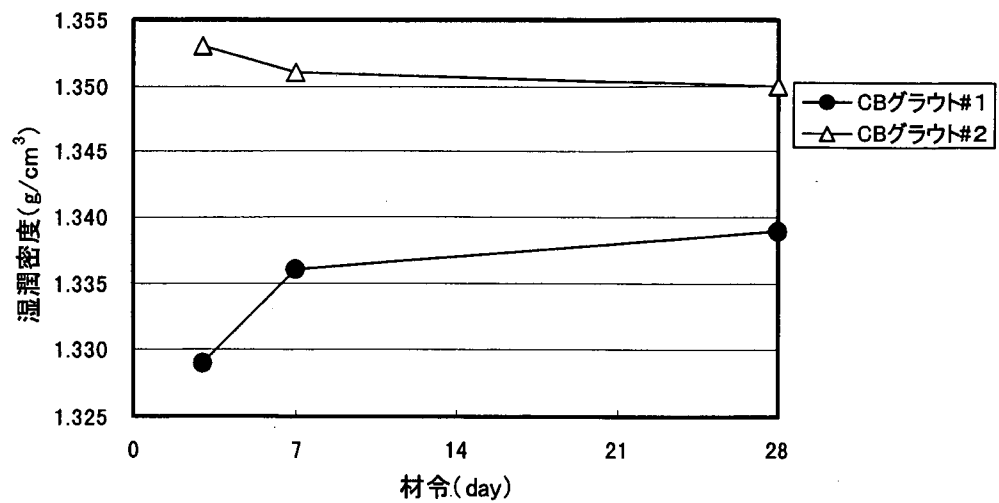
図-4.16 ケース 16 の試験結果 (Bt:As, W/(Bt+C)=400%, Bt/C=5%)



(d) 粘度 (ローターの回転数 60rpm)



(e) 一軸圧縮強さ



(f) 湿潤密度

図-4.16 ケース 16 の試験結果 (Bt:As, W/(Bt+C)=400%, Bt/C=5%)

(8) ケース 17(試験条件 Bt:As(膨潤力 22ml/2g)、W/(Bt+C)=600%、Bt/C=5%)

ケース 17 の試験結果の一覧を表-4.17 に、CB グラウトの各種物性の変化を図-4.17(a)~(f)に示す。

① ブリージング率

試料のブリージング率は、1 時間後と 3 時間後では差があるが、3 時間後と 24 時間後の差は小さい。したがって、試料中の粒子の沈降は、その大部分が試料作製から 3 時間で完了するものと考えられる。

24 時間後のブリージング率は、CB グラウト#1 では 62.7%、CB グラウト#2 では 65.4%を示しており、CB グラウト#1 の方が若干安定性が高い。また 1 時間後、3 時間後においても CB グラウト#1 の方が CB グラウト#2 よりも 3%程度ブリージング率が低い。

② ファンネル粘度

ファンネル粘度は時間が経過するにつれ両者ともに若干大きくなる。3 時間後で比較すると、CB グラウト#1 では 20.5sec、CB グラウト#2 では 20.1sec であり、CB グラウト#1 の方が 0.4 秒程度高い。また他の経過時間においても CB グラウト#1 の方が 0.4 秒程度大きく、CB グラウト#1 の方が若干粘性が高いと考えられるが、水のファンネル粘度が 18.4sec であることから、この水比では粘性の大小をファンネル粘度では厳密に議論できない可能性もある。

③ 粘度 (ローターの回転数 6rpm)

CB グラウト#1 はその時間経過とともに 80mPa・s から 200mPa・s と大きくなり、CB グラウト#2 は 35 mPa・s から 170mPa・s と大きくなる。またどの経過時間においても CB グラウト#1 の方が CB グラウト#2 よりも大きな値を示しており、その差は 15mPa・s から 50mPa・s 程度である。

④ 粘度 (ローターの回転数 60rpm)

CB グラウト#1 はその経過時間とともに 18mPa・s から 58 mPa・s と大きくなり、CB グラウト#2 はその時間経過とともに 12.5mPa・s から 47.5mPa・s と大きくなる。またどの経過時間においても CB グラウト#1 の方が CB グラウト#2 よりも大きな値を示しており、その差は 5 mPa・s から 10 mPa・s 程度である。しかしその差はあまり大きくはない。

⑤ 一軸圧縮強さおよび湿潤密度

どの材令においても、CB グラウト#1 の一軸圧縮強さの方が CB グラウト#2 よりも大きな値を示しているが、その差は小さいので一軸圧縮強さは両者ともに同程度であると考えられる。

試料の湿潤密度は、CB グラウト#1、CB グラウト#2 とともに材令が長くなるにつれて若干小さくなる。しかし両者ともにその差は小さいので、湿潤密度は経過時間によらずほぼ一定であると考えられる。また全ての経過時間において CB グラウト#1 の湿潤密度は CB グラウト#2 の湿潤密度よりも小さくなっているが、その差はあまり大きくはない。

⑥ 透水係数および湿潤密度

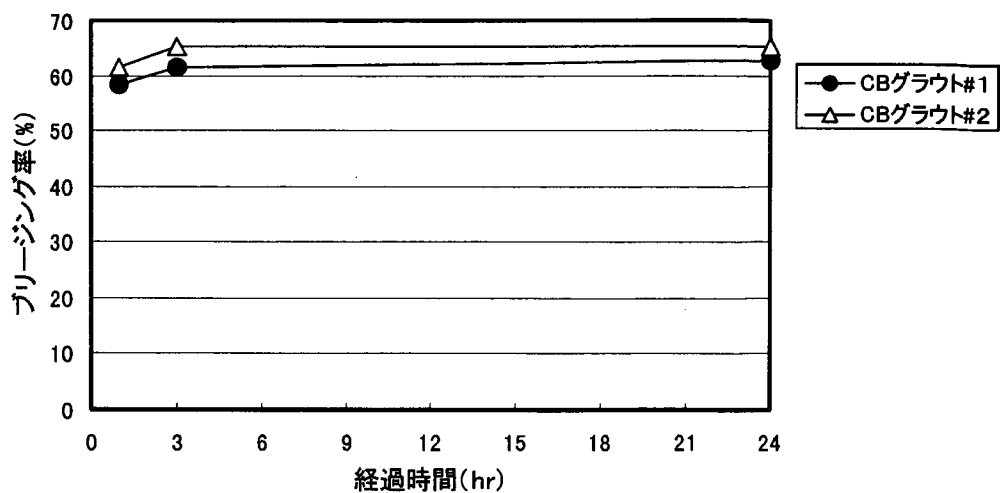
28 日材令の試料の透水係数は、CB グラウト#1 が $1.9 \times 10^{-5} \text{cm/sec}$ 、CB グラウト#2 が $1.2 \times 10^{-5} \text{cm/sec}$ を示す。また 28 日材令の試料の湿潤密度は CB グラウト#1 が 1.300g/cm^3 、CB グラウト#2 が 1.324g/cm^3 を示す。このように CB グラウト#2 の方が透水係数は若干低い値を示し湿潤密度は若干高い値を示す。

ものの、両試料の差は小さいので、透水係数および湿潤密度はほぼ同程度であると考えられる。

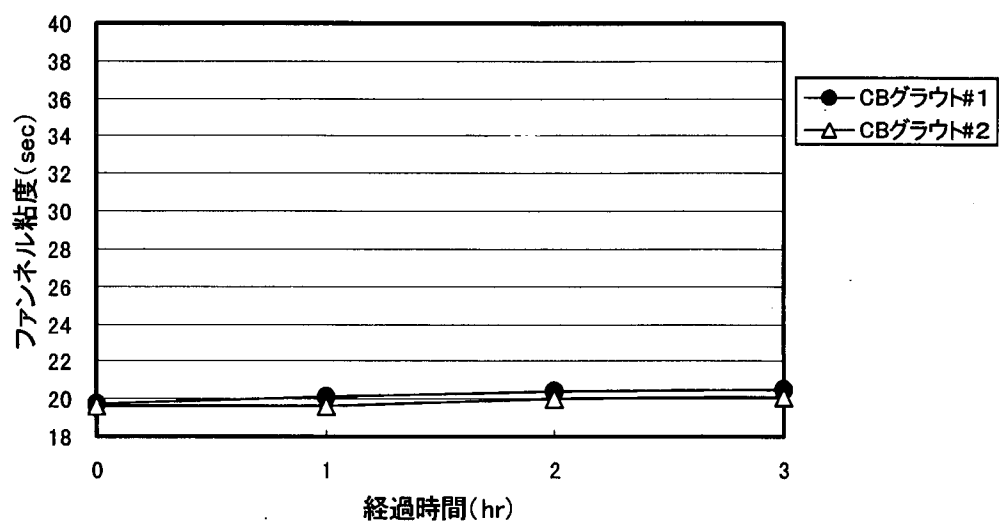
表-4.17 ケース17の試験結果(Bt:As,W/(Bt+C)=600%,Bt/C=5%)

		W/(Bt+C)=600%	
		CBグラウト#1	CBグラウト#2
ブリージング率 (%)	1時間後	58.3	61.4
	3時間後	61.5	65.4
	24時間後	62.7	65.4
ファンネル粘度 (sec)	作製直後	19.7	19.6
	1時間後	20.1	19.7
	2時間後	20.4	20.1
	3時間後	20.5	20.1
粘度 (ローター回転数:6rpm) (mPa・s)	作製直後	80.0	35.0
	1時間後	150.0	100.0
	2時間後	185.0	170.0
	3時間後	200.0	170.0
粘度 (ローター回転数:60rpm) (mPa・s)	作製直後	18.0	12.5
	1時間後	32.0	23.5
	2時間後	47.5	40.0
	3時間後	58.0	47.5
一軸圧縮強さ (kN/m ²)	材令3日	108	118
	材令7日	235	216
	材令28日	470	372
湿潤密度 (g/cm ³)	材令3日	1.305	1.324
	材令7日	1.296	1.320
	材令28日	1.296	1.317
透水係数(cm/sec)	材令28日	1.9×10 ⁻⁵	1.2×10 ⁻⁵
湿潤密度(g/cm ³)	材令28日	1.300	1.324

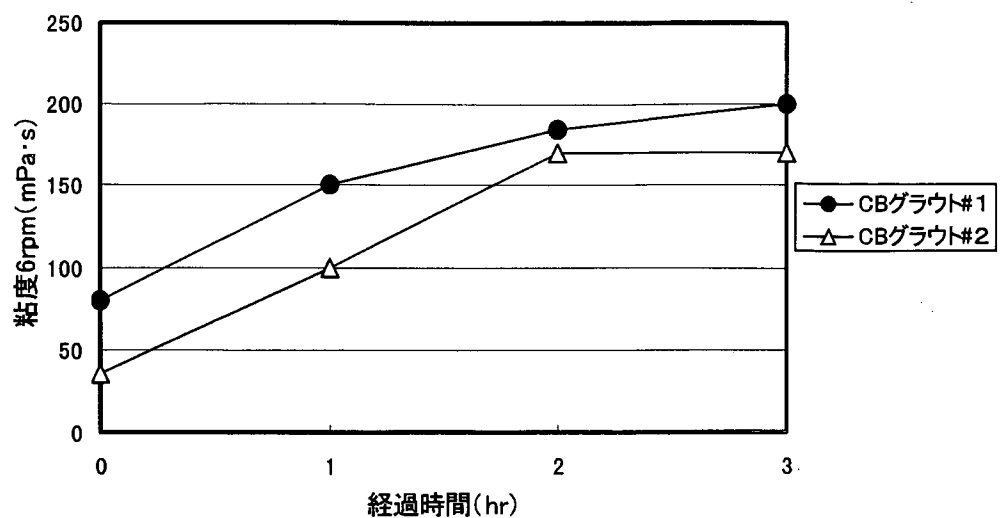
注) 空欄は試験を実施していないことを示し、測定値の「-」は測定限界を示す。



(a)ブリージング率

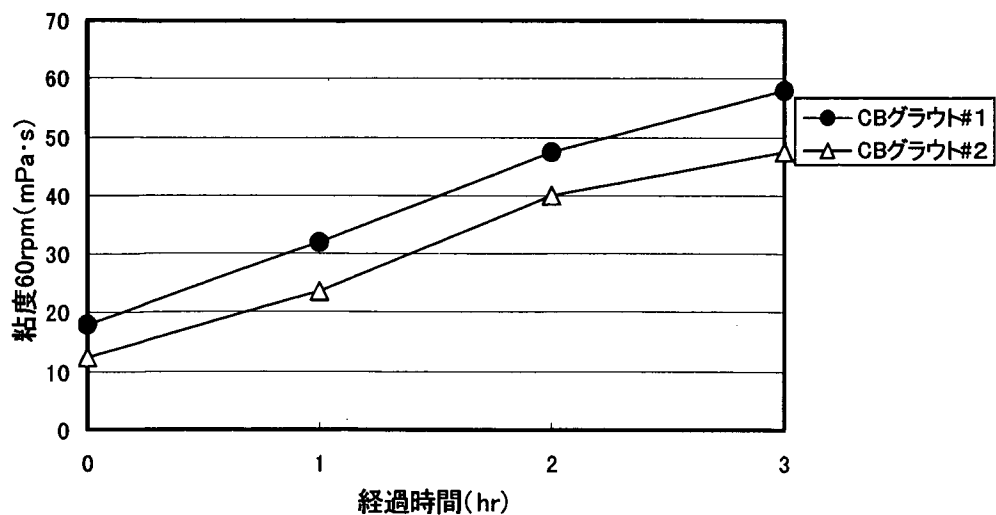


(b)ファンネル粘度

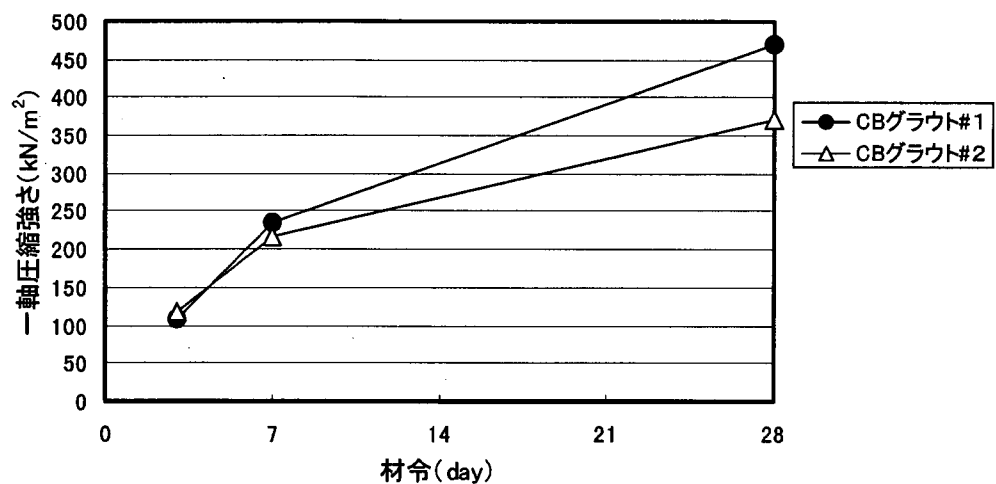


(c)粘度(ローターの回転数6rpm)

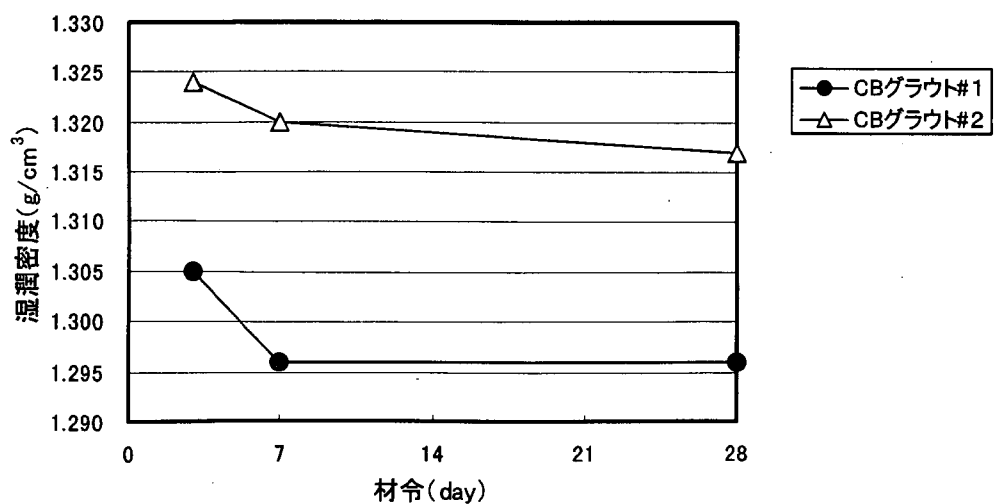
図-4.17 ケース 17 の試験結果 (Bt:As, W/(Bt+C)=600%, Bt/C=5%)



(d)粘度(ローターの回転数60rpm)



(e)一軸圧縮強さ



(f)湿潤密度

図-4.17 ケース 17 の試験結果 (Bt:As, W/(Bt+C)=600%, Bt/C=5%)

(9) ケース 18(試験条件 Bt:As (膨潤力 22ml/2g)、 $W/(Bt+C)=800\%$ 、 $Bt/C=5\%$)

ケース 18 の試験結果の一覧を表-4.18 に、CB グラウトの各種物性の変化を図-4.18(a)~(f)に示す。

① ブリージング率

試料のブリージング率は、1 時間後と 3 時間後では差があるが、3 時間後と 24 時間後の差は小さい。したがって、試料中の粒子の沈降は、その大部分が試料作製から 3 時間で完了するものと考えられる。

24 時間後のブリージング率は、CB グラウト#1 では 68.8%、CB グラウト#2 では 70.9%を示しており、CB グラウト#1 の方が若干安定性が高い。また 1 時間後、3 時間後においても CB グラウト#1 の方が CB グラウト#2 よりも 2%程度ブリージング率が低い。

② ファンネル粘度

ファンネル粘度は時間が経過するにつれ両者ともに若干大きくなる。3 時間後で比較すると、CB グラウト#1 では 20.2sec、CB グラウト#2 では 19.9sec であり、CB グラウト#1 の方が 0.3 秒高い。また他の経過時間においても CB グラウト#1 の方が 0.2 秒程度大きく、CB グラウト#1 の方が若干粘性が高いと考えられるが、水のファンネル粘度が 18.4sec であることから、この水比では粘性の大小をファンネル粘度では厳密に議論できない可能性もある。

③ 粘度 (ローターの回転数 6rpm)

CB グラウト#1 はその時間経過とともに $40\text{mPa}\cdot\text{s}$ から $140\text{mPa}\cdot\text{s}$ と大きくなり、CB グラウト#2 は $25\text{mPa}\cdot\text{s}$ から $125\text{mPa}\cdot\text{s}$ と大きくなる。またどの経過時間においても CB グラウト#1 の方が CB グラウト#2 よりも大きな値を示しており、その差は $15\text{mPa}\cdot\text{s}$ から $20\text{mPa}\cdot\text{s}$ 程度である。

④ 粘度 (ローターの回転数 60rpm)

CB グラウト#1 はその経過時間とともに $11\text{mPa}\cdot\text{s}$ から $38.5\text{mPa}\cdot\text{s}$ と大きくなり、CB グラウト#2 はその時間経過とともに $8.5\text{mPa}\cdot\text{s}$ から $32.5\text{mPa}\cdot\text{s}$ と大きくなる。またどの経過時間においても CB グラウト#1 の方が CB グラウト#2 よりも大きな値を示しており、その差は $3\text{mPa}\cdot\text{s}$ から $6\text{mPa}\cdot\text{s}$ 程度である。しかしその差はあまり大きくはない。

⑤ 一軸圧縮強さおよび湿潤密度

一軸圧縮強さは、どの経過時間においても、CB グラウト#1 と CB グラウト#2 はほとんど同じ値を示す。

試料の湿潤密度は、CB グラウト#2 は時間経過につれて若干大きくなるが、CB グラウト#1 は 7 日後若干増加した後、28 日後には減少する。しかし両者ともにその差は小さいので、湿潤密度は経過時間によらずほぼ一定であると考えられる。また全ての経過時間において CB グラウト#1 の湿潤密度は CB グラウト#2 の湿潤密度よりも小さくなっているが、その差はあまり大きくはない。

⑥ 透水係数および湿潤密度

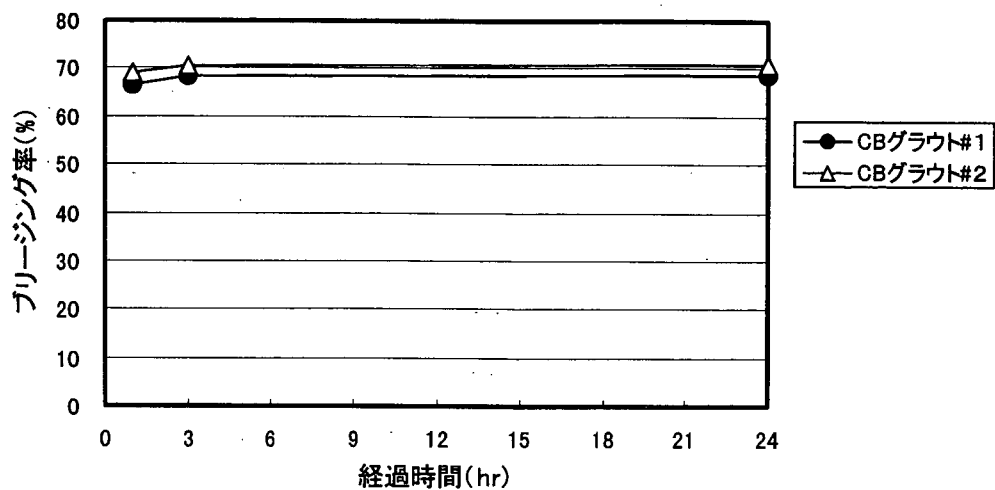
28 日材令の試料の透水係数は、CB グラウト#1 が $1.5\times 10^{-5}\text{cm/sec}$ 、CB グラウト#2 が $9.4\times 10^{-6}\text{cm/sec}$ を示す。また 28 日材令の試料の湿潤密度は CB グラウト#1 が 1.289g/cm^3 、CB グラウト#2 が 1.318g/cm^3 を示す。このように CB グラウト#2 の方が透水係数は若干低い値を示し湿潤密度は若干高い値を示す。

ものの、両試料の差は小さいので、透水係数および湿潤密度はほぼ同程度であると考えられる。

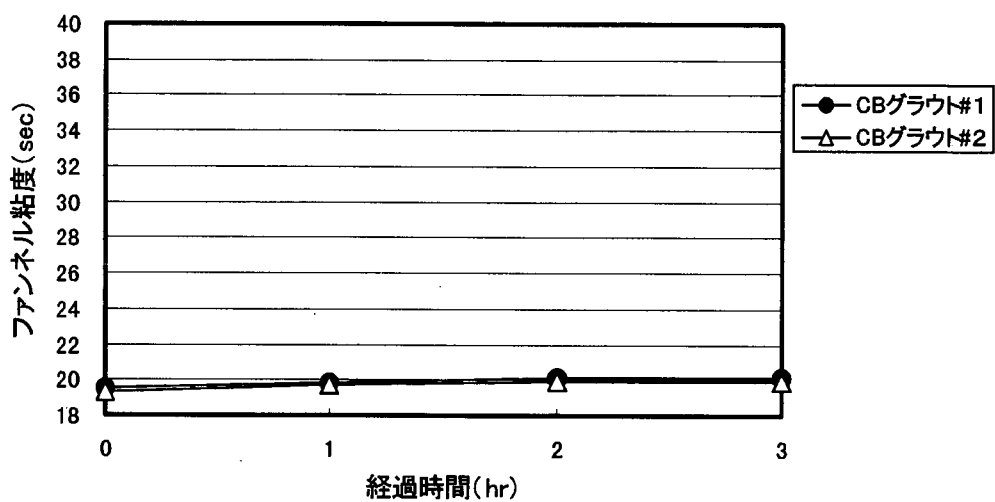
表-4.18 ケース18の試験結果(Bt:As,W/(Bt+C)=800%,Bt/C=5%)

		W/(Bt+C)=800%	
		CBグラウト#1	CBグラウト#2
ブリージング率 (%)	1時間後	66.4	69.0
	3時間後	68.4	70.5
	24時間後	68.8	70.9
ファンネル粘度 (sec)	作製直後	19.5	19.3
	1時間後	19.9	19.7
	2時間後	20.1	19.9
	3時間後	20.2	19.9
粘度 (ローター回転数:6rpm) (mPa・s)	作製直後	40.0	25.0
	1時間後	80.0	60.0
	2時間後	115.0	105.0
	3時間後	140.0	125.0
粘度 (ローター回転数:60rpm) (mPa・s)	作製直後	11.0	8.5
	1時間後	21.5	17.5
	2時間後	33.0	26.5
	3時間後	38.5	32.5
一軸圧縮強さ (kN/m ²)	材令3日	69	69
	材令7日	157	147
	材令28日	274	284
湿潤密度 (g/cm ³)	材令3日	1.293	1.293
	材令7日	1.297	1.302
	材令28日	1.284	1.303
透水係数(cm/sec)	材令28日	1.5×10 ⁻⁵	9.4×10 ⁻⁶
湿潤密度(g/cm ³)	材令28日	1.289	1.318

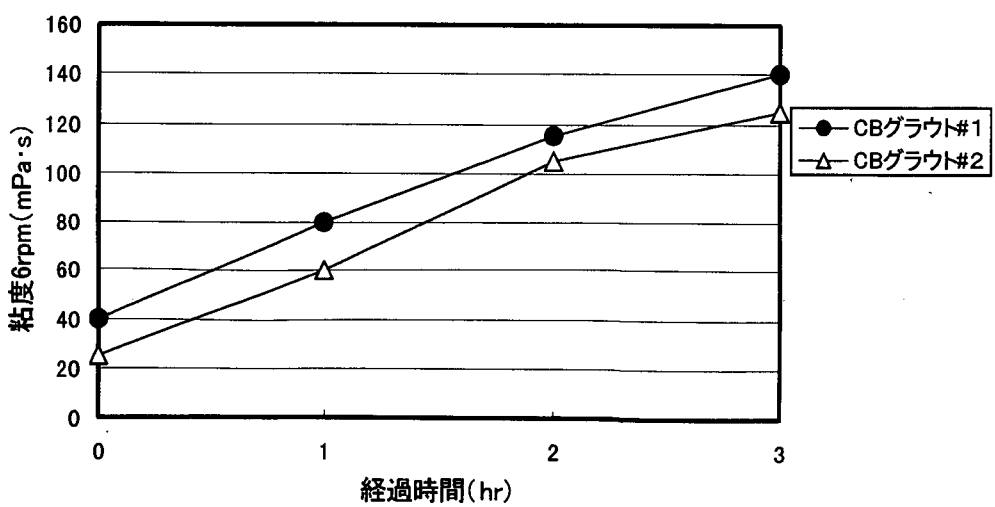
注) 空欄は試験を実施していないことを示し、測定値の「-」は測定限界を示す。



(a)ブリージング率

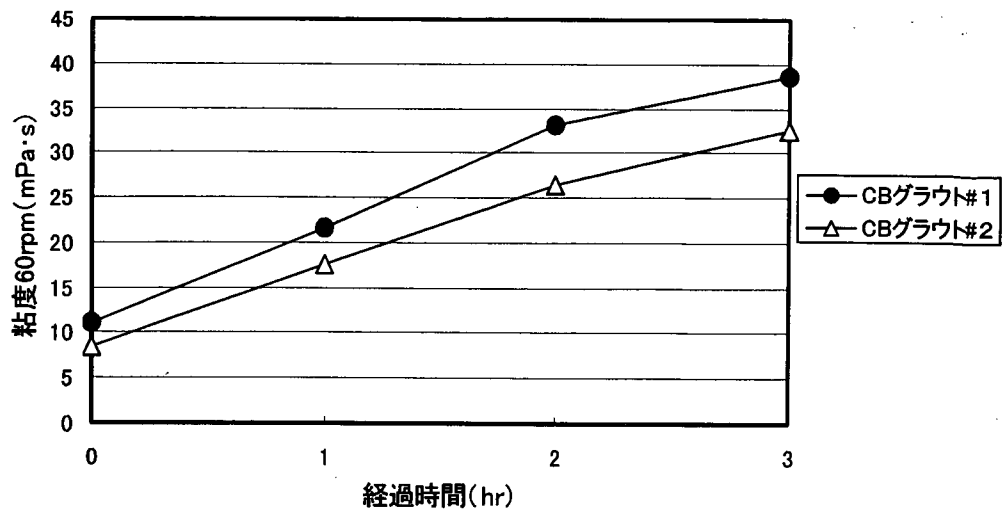


(b)ファンネル粘度

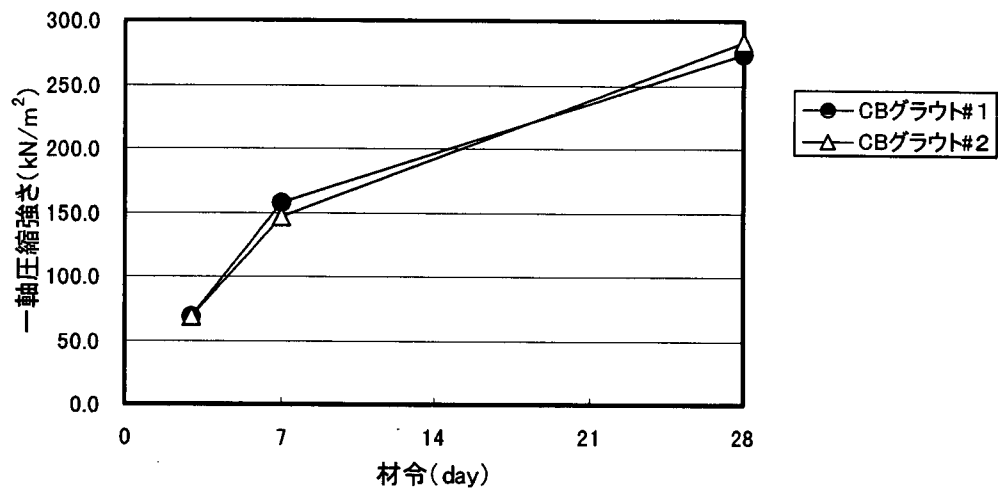


(c)粘度(ローターの回転数6rpm)

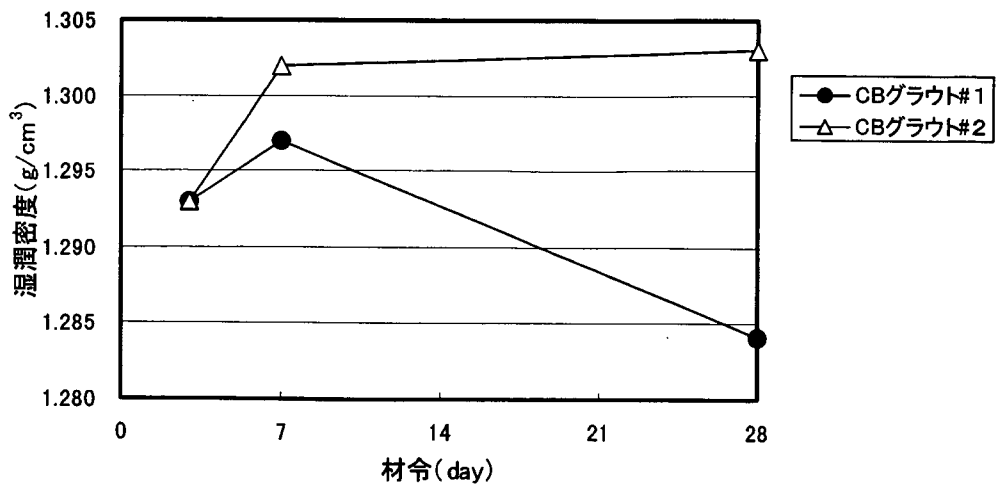
図-4.18 ケース 18 の試験結果 (Bt:As, W/(Bt+C)=800%, Bt/C=5%)



(d) 粘度 (ローターの回転数 60rpm)



(e) 一軸圧縮強さ



(f) 湿潤密度

図-4.18 ケース 18 の試験結果 (Bt:As, W/(Bt+C)=800%, Bt/C=5%)

4.3 膨潤促進剤を添加した試験

膨潤促進剤を添加した試験（ケース 19～36）の試験結果を以下に説明する。

(1) ケース 19(試験条件 Bt:As、S:#1、W/(Bt+C)=200%、Bt/C=5%)

ケース 19 の試験結果の一覧を表-4.19 に、コントロールおよび SAM 添加 CB の各種物性の変化を図-4.19(a)～(f)に示す。

① ブリージング率

SAM#1 添加 CB のブリージング率は、1 時間後では SAM#1 の添加率 10%程度で最小となる。ブリージング率がほぼ収束する 3 時間後および 24 時間後では、SAM#1 の添加率が 25%程度でブリージング率が最小となる。このように、SAM#1 の添加率には最適な値が存在するものと考えられる。

次に、SAM#1 添加 CB とコントロールを 24 時間後のブリージング率で比較する。SAM#1 添加 CB は、SAM=0%のとき（SAM を添加しないとき）コントロールよりも 2%程度大きく、その値が最小となる SAM=25%のときコントロールよりも 2%程度小さくなる。3 時間後についても、同様の傾向が認められる。このように、ブリージング率の大小関係は、SAM=25%<コントロール<SAM=0%となる。しかし、上述のようにその差が極めて小さいので、実用上の差はないと考える。

② ファンネル粘度

SAM#1 添加 CB のファンネル粘度は、時間経過とともに大きくなる傾向を示す。また、各経過時間におけるファンネル粘度は、SAM の添加率増加に伴い若干小さくなる傾向を示す。ただし、SAM=100%のときのファンネル粘度は、ほかの SAM 添加率に比べて、時間経過による増加が大きくなっている。

次に、SAM#1 添加 CB とコントロールを比較する。SAM=0%の SAM#1 添加 CB（SAM を添加しない CB グラウト）は、どの経過時間においてもコントロールよりもファンネル粘度が小さい。その差は、コントロールが 3 時間後にはファンネル粘度の測定限界（40sec 程度）を超えるなど時間経過とともに極端に大きくなる。また、SAM=6.25%以上の SAM#1 添加 CB（SAM を添加した CB）についても、同様の傾向を示す。このように、ファンネル粘度における粘性比較では、コントロールよりも SAM#1 添加 CB の方が小さい傾向を示す。

③ 粘度（ローターの回転数 6rpm）

SAM#1 添加 CB の粘度は、どの経過時間においてもばらつきが多く、一定の傾向を示していない。また、コントロールについても、1 時間後の粘度よりも 3 時間後の粘度の方が小さくなるなど、経過時間に伴う増加傾向が見られない。このように、この試験ケースにおけるローターの回転数を 6rpm として測定した粘度は、どの試料もばらつきが多いため、各試料の粘性の比較および評価には適していないものとする。

④ 粘度（ローターの回転数 60rpm）

SAM#1 添加 CB の試料作製直後の粘度は、SAM の添加率増加に伴う低減傾向を示す。また、時間経過によって、個々の試料の粘度は高くなるが、SAM の添加率増加に伴う粘度の低減傾向は、試料作製

直後と同様である。

SAM#1 添加 CB とコントロールの粘度を比較する。SAM=0% (SAM を添加しない) の試料は、どの経過時間においてもコントロールよりも低い。また、SAM=6.25%以上の SAM#1 添加 CB についても、SAM=0%と同様、どの経過時間および添加率においてもコントロールよりも低い。特に、試料作製直後において、安定性が最も高い SAM=25%のとき、その粘度は 180.0mPa・s であるのに対し、コントロールでは 433.0mPa・s であり、SAM#1 添加 CB の方が 250mPa・s 程度低くなっている。以上のように、CB グラウトに SAM を添加することによって、その粘性は低下するものと考ええる。

⑤ 一軸圧縮強さおよび湿潤密度

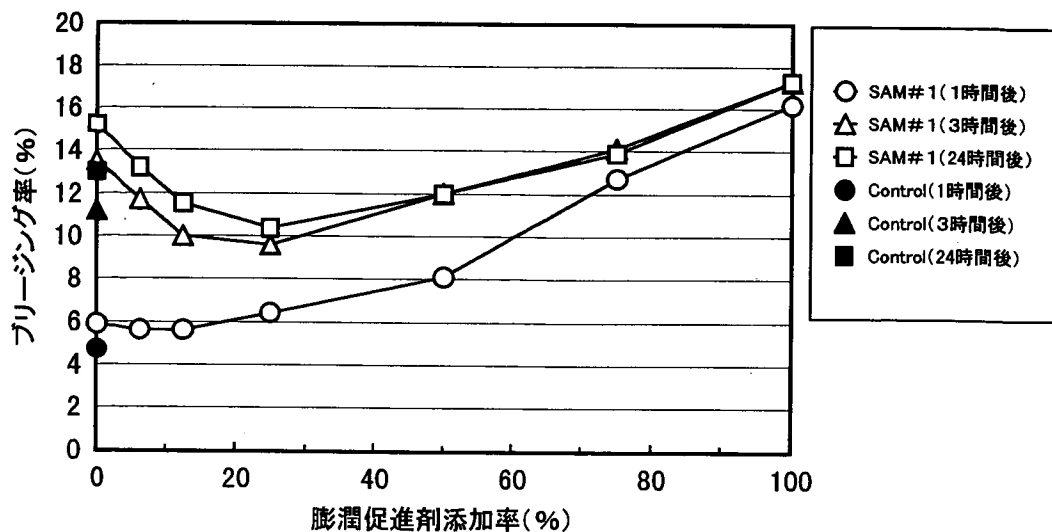
SAM#1 添加 CB の材令 3 日の一軸圧縮強さは、若干ばらつきはあるがどの試料も 300kN/m² 程度を示し、SAM の添加率による差はほとんどみられない。しかし、材令 28 日になると、SAM=0%の試料が SAM を添加した試料 (SAM=6.25%以上) よりも 500kN/m² 程度小さくなる。特に、SAM の添加率が 6.25~25% の試料は、SAM=0%の試料よりも湿潤密度が小さいのにも関わらず、一軸圧縮強さは大きくなっている。これは、SAM=0%では不均質であった試料が、SAM を添加することによって均質化したものと考えられる。

SAM#1 添加 CB とコントロールを比較する。材令 28 日において、SAM=0%の試料は 1089kN/m²、コントロールは 1412kN/m² であり両試料の差は 400kN/m² 程度となっている。このときの両試料の湿潤密度に大きな差はないことから、SAM=0%の試料よりもコントロールの方が、試料の均質性が高いものと考ええる。また、SAM=6.25%以上の SAM#1 添加 CB は、ばらつきはあるが概ね 1600kN/m² 程度を示す。これは、コントロールと比較すると 200kN/m² 程度の小さな差である。したがって、SAM=6.25%以上の SAM#1 添加 CB とコントロールの強度上の差は、小さいものと考ええる。

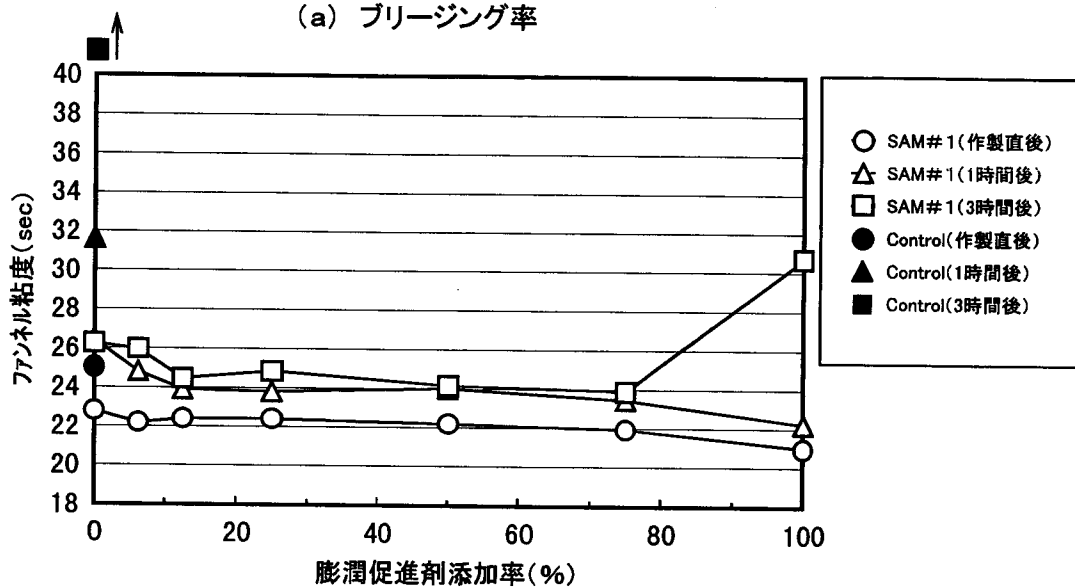
表-4.19 ケース19の試験結果(BtAs,S:#1,W/(Bt+C)=200%,Bt/C=5%)

		SAM添加率 (%)							
		0	6.25	12.5	25	50	75	100	Control
ブリージング率 (%)	1時間後	5.9	5.6	5.6	6.4	8.1	12.7	16.2	4.7
	3時間後	13.5	11.7	10.0	9.6	12.0	14.1	17.3	11.2
	24時間後	15.2	13.2	11.5	10.4	12.0	13.9	17.3	13.0
ファンネル粘度 (sec)	作製直後	22.7	22.2	22.4	22.4	22.2	21.9	21.0	25.1
	1時間後	26.4	24.8	23.9	23.8	24.0	23.5	22.2	31.6
	2時間後	27.3	26.7	25.2	24.7	24.7	24.3	24.9	36.4
	3時間後	26.3	26.0	24.5	24.8	24.1	23.9	30.7	—
粘度 (ローター回転数:6rpm) (mPa・s)	作製直後	900.0	1325.0	1225.0	1125.0	875.0	375.0	250.0	595.0
	1時間後	725.0	800.0	625.0	2300.0	1325.0	1475.0	650.0	2200.0
	2時間後	1175.0	1575.0	2050.0	1400.0	1800.0	1050.0	575.0	2950.0
	3時間後	1200.0	1150.0	2550.0	1325.0	1450.0	1275.0	1225.0	1500.0
粘度 (ローター回転数:60rpm) (mPa・s)	作製直後	295.0	195.0	170.0	180.0	145.0	93.0	70.0	433.0
	1時間後	450.0	327.5	320.0	280.0	270.0	145.0	120.0	520.0
	2時間後	440.0	402.5	327.5	310.0	297.5	167.0	154.0	590.0
	3時間後	500.0	400.0	357.5	297.5	270.0	210.0	273.0	620.0
一軸圧縮強さ (kN/m ²)	材令3日	255	333	373	255	216	353	412	275
	材令7日	637	775	804	677	1314	922	883	637
	材令28日	1089	1569	1618	1294	1471	1814	1638	1412
湿潤密度 (g/cm ³)	材令3日								1.382
	材令7日								1.379
	材令28日	1.384	1.377	1.363	1.370	1.371	1.380	1.393	1.377
透水係数(cm/sec)	材令28日								
湿潤密度(g/cm ³)	材令28日								

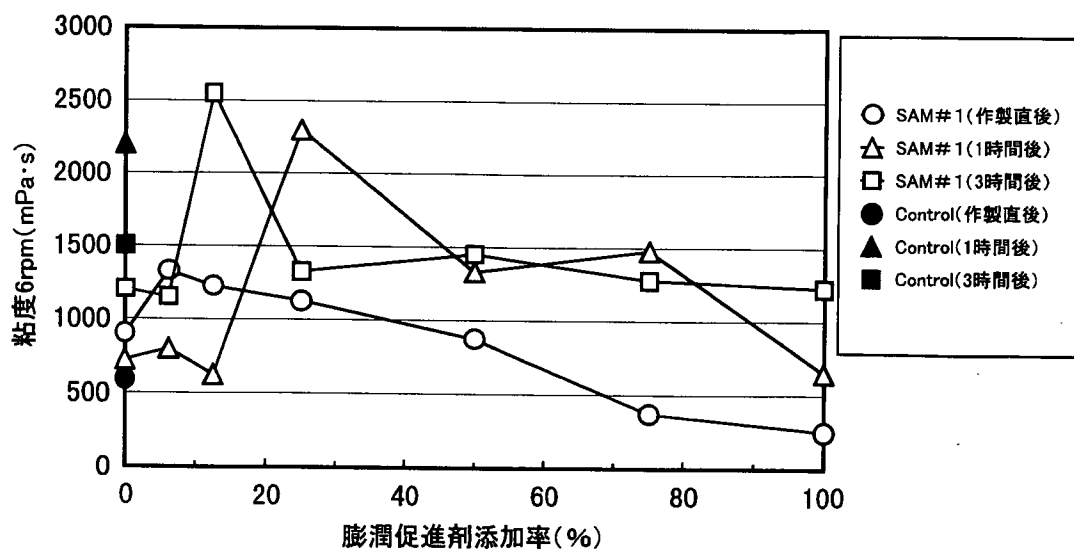
注) 空欄は試験を実施していないことを示し、測定値の「-」は測定限界を示す。



(a) フリージング率

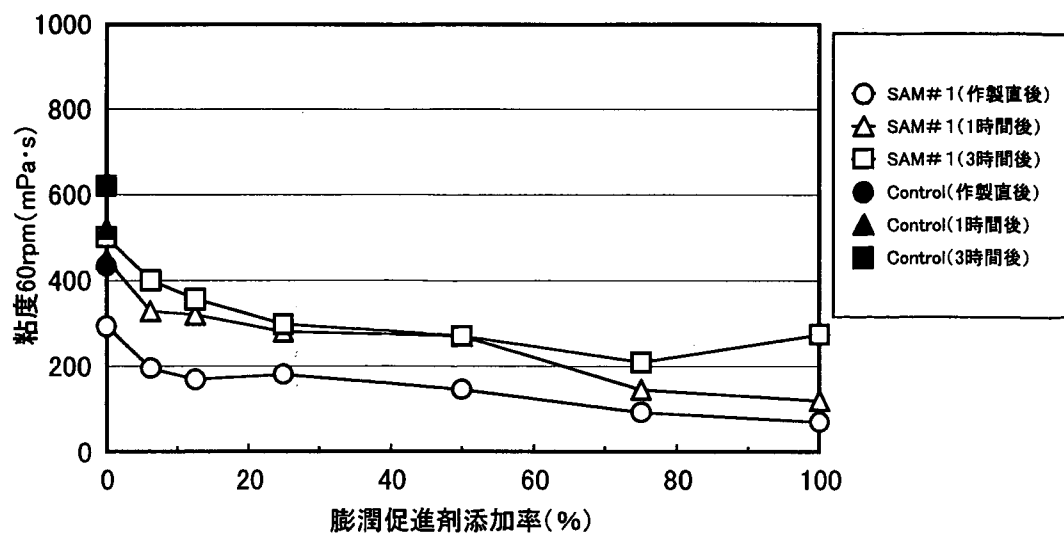


(b) ファンネル粘度

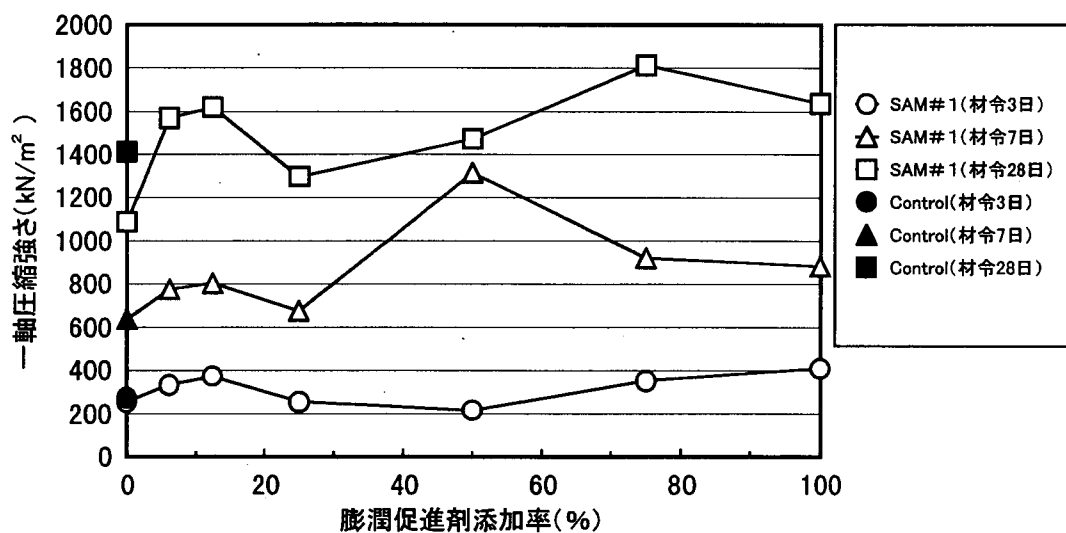


(c) 粘度 (ローターの回転数6rpm)

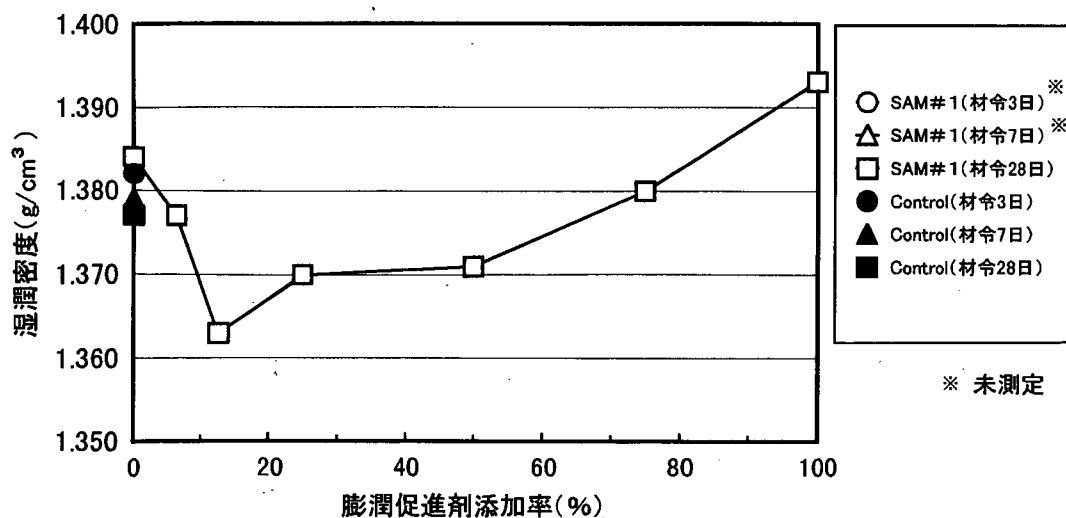
図-4.19 ケース19の試験結果 (Bt:As,S:#1,W/(Bt+C)=200%,Bt/C=5%)



(d) 粘度 (ローターの回転数60rpm)



(e) 一軸圧縮強さ



※ 未測定

(f) 湿潤密度

図-4.19 ケース19の試験結果 (Bt:As,S:#1,W/(Bt+C)=200%,Bt/C=5%)

(2) ケース 20(試験条件 Bt:As、S:#2、W/(Bt+C)=200%、Bt/C=5%)

ケース 20 の試験結果一覧を表-4.20 に、コントロールおよび SAM 添加 CB の各種物性の変化を図-4.20(a)~(h)に示す。

① ブリージング率

SAM#2 添加 CB のブリージング率は、試料作製から 1 時間後のとき、SAM の添加率に関係なくどの試料も 5%程度を示す。その後、3 時間後および 24 時間後では、SAM#2 添加 CB のブリージング率は、SAM の添加率が 0~25%に変化するときその増加に伴い小さくなる。しかし、SAM の添加率をそれ以上増加させても、ブリージング率は変化せずほぼ一定値 (8%) を示す。このことから、SAM の添加率には、最適値が存在すると考える。

次に、24 時間後のブリージング率について、SAM#2 添加 CB とコントロールを比較する。コントロールのブリージング率は、SAM#2 添加 CB のうち SAM=0% (SAM を添加しない) 試料よりも 2%程度小さく、SAM=6.25%の試料とは同程度 (13%) を示す。さらに、SAM の添加率が 12.5%以上になると、コントロールよりも SAM#2 添加 CB の方が最大 6%程度小さくなる。このように、SAM の添加率増加によって、SAM#2 添加 CB の 24 時間後のブリージング率は、コントロールのそれよりも小さくなり、SAM の添加による安定性改善の効果は明らかであるが、添加率が 12.5%以上になると SAM の増加に対してその効果はほとんどないことがわかる。

② ファンネル粘度

SAM#2 添加 CB の試料作製直後のファンネル粘度は、SAM の添加率の変化に関係なく、23 秒程度を示す。1 時間後、3 時間後では、その時間経過とともに試料の個々の粘度は増加するが、SAM の添加率増加に対する傾向は、若干ばらつきはあるが試料作製直後と同様、どの試料も同程度の値を示す。

SAM=0%の試料とコントロールを比較すると、試料作製直後では、前者が 22.8sec、後者が 25.1sec であり、両試料の差は 2sec 程度であるが、3 時間後には前者が 26.3sec であるのに対し、後者は 40sec を越える測定限界となり、時間経過とともにその差は大きく広がる傾向を示す。SAM=6.25%以上の SAM#2 添加 CB とコントロールについても同様な傾向がうかがわれる。したがって、SAM の添加によって CB グラウトの粘性は全体的にコントロールより小さくなると考えられる。

③ 粘度 (ローターの回転数 6rpm)

SAM#2 添加 CB の粘度は、どの経過時間においてもばらつきが多く、SAM の添加率の増加に対する傾向も一定ではない。ただし、SAM=0%の試料と SAM=6.25%の試料を比較すると、どの経過時間においても前者の方が低くなっている。しかし、これは、ファンネル粘度および粘度 (ローターの回転数 60rpm) の結果とは、反対の傾向である。

また、コントロールの粘度は、試料作製から 1 時間後には一旦増加するが、3 時間後には 1 時間後よりも低下し、時間経過による一定の増加傾向はみられない。したがって、ケース 19 と同様、ローターの回転数を 6rpm としたときの粘度は、このケースの試料の粘性評価には適していないと考える。

④ 粘度（ローターの回転数 60rpm）

SAM#2 添加 CB の試料作製直後の粘度は、SAM の添加率が 0～12.5%に変化するとき、295～183mPa・s に低下するが、添加率をそれ以上増加させても変化せずほぼ一定値を示す。その後、1 時間後および 3 時間後では、個々の値はそれぞれ 200mPa・s 程度高くなるが、SAM の添加率に対する傾向は試料作製直後と同様、SAM の添加率が 12.5 および 25%以上で一定値を示す。このことから、ブリージング率と同様、CB グラウトの粘性に対する SAM の添加効果に最適値があり、このケースでは 12.5 ないし 25%付近であると考えられる。

⑤ 一軸圧縮強さおよび湿潤密度

SAM#2 添加 CB の材令 3 日における一軸圧縮強さは、SAM の添加率の増加に関係なく、若干ばらつきはあるもののどの試料も 300kN/m² 程度を示す。材令が進むとともに、個々の値は大きくなるのは当然であるが、SAM の添加率増加に対する一軸圧縮強さの変化傾向は異なる。材令 3 日ではどの試料も一定値を示すが、材令 28 日では SAM=0%が 1089kN/m² であるのに対して、SAM=6.25%以上が 1400～1600kN/m² 程度の一定値を示し、SAM を添加することによってその一軸圧縮強さは大きくなる傾向を示す。一方、湿潤密度は、これとは反対の傾向を示している

SAM#2 添加 CB とコントロールの一軸圧縮強さを比較すると、材令 3 日では両試料とも 300kN/m² 程度とほぼ同じである。しかし、材令 28 日では、コントロールと SAM=6.25%以上の試料とは同程度の値を示すのに対し、SAM=0%の試料はコントロールよりも 400kN/m² 程度小さな値を示す。また、試料の湿潤密度は、一軸圧縮強さの大きいコントロールの方が一軸圧縮強さの小さい SAM#2 添加 CB よりも大きくなっている。これらのことから、CB グラウトに SAM を添加することにより、その試料は均質化し、結果的に一軸圧縮強さが大きくなるものと考えられる。

⑥ 透水係数および湿潤密度

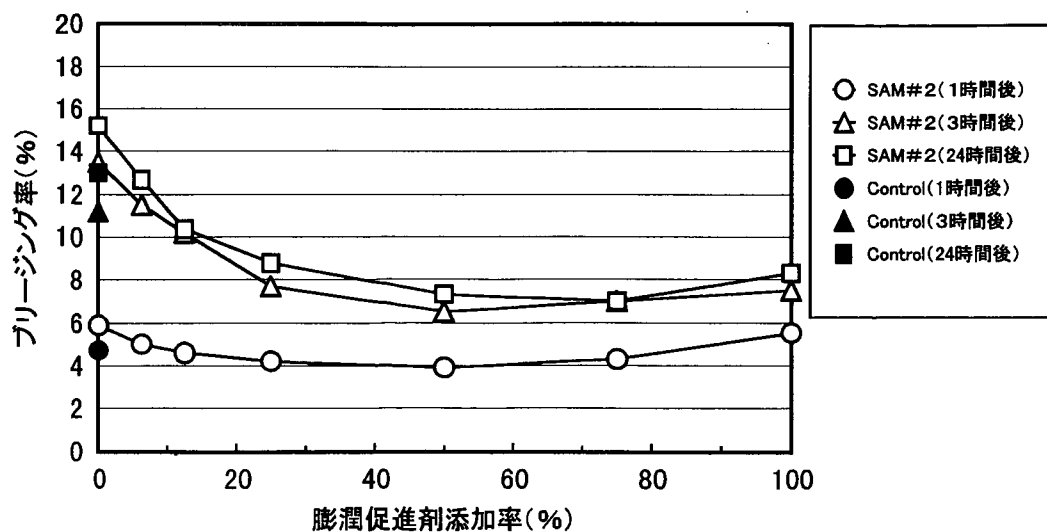
SAM#2 添加 CB の透水係数は、SAM の添加率が 0%のケースに対し 12.5%のケースの方が 1 オーダ程度大きくなり、さらに SAM の添加率を増加させても変化せず一定値を示す。また、湿潤密度は、SAM の添加率が 0～12.5%に増加するとき小さくなり、その後、SAM の添加率を増加させても変化せず一定値を示す。したがって、湿潤密度の小さい（大きい）試料ほど透水係数は高く（低く）なる傾向を示しており、これは一般的なセメント固化体が示す傾向と一致する。

一方、SAM#2 添加 CB とコントロールを比較する。SAM=0%の試料の透水係数は、コントロールに比べて若干小さく、湿潤密度は大きい。また、透水係数が一定値となる SAM=12.5%以上の SAM#2 添加 CB の透水係数は、コントロールに比べ、1 オーダ程度高くなり、湿潤密度は小さくなる。

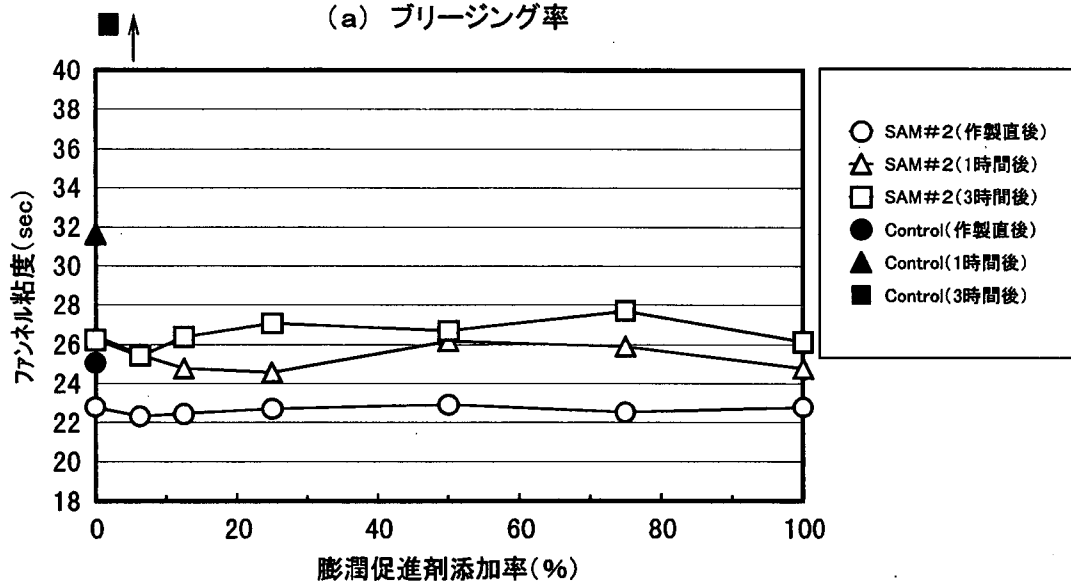
表-4.20 ケース20の試験結果(Bt:As,S:#2,W/(Bt+C)=200%,Bt/C=5%)

		SAM添加率 (%)							
		0	6.25	12.5	25	50	75	100	Control
ブリージング率 (%)	1時間後	5.9	5.0	4.6	4.2	3.9	4.3	5.5	4.7
	3時間後	13.5	11.5	10.2	7.7	6.5	7.0	7.5	11.2
	24時間後	15.2	12.7	10.4	8.8	7.3	7.0	8.3	13.0
ファンネル粘度 (sec)	作製直後	22.8	22.3	22.5	22.7	22.9	22.5	22.8	25.1
	1時間後	26.4	25.5	24.8	24.5	26.2	25.9	24.8	31.6
	2時間後	27.3	24.9	27.0	27.5	25.9	26.6	26.7	36.4
	3時間後	26.3	25.4	26.4	27.1	26.7	27.7	26.1	—
粘度 ローター回転数:6rpm (mPa・s)	作製直後	900.0	1400.0	1400.0	1325.0	1425.0	975.0	1175.0	595.0
	1時間後	725.0	1250.0	2475.0	2475.0	1875.0	2275.0	1425.0	2200.0
	2時間後	1175.0	1600.0	1800.0	3000.0	2175.0	2625.0	1775.0	2950.0
	3時間後	1200.0	1725.0	1325.0	2350.0	2375.0	2625.0	1200.0	1500.0
粘度 ローター回転数:60rpm (mPa・s)	作製直後	295.0	233.0	183.0	193.0	190.0	175.0	178.0	433.0
	1時間後	450.0	353.0	350.0	360.0	328.0	323.0	293.0	520.0
	2時間後	440.0	463.0	500.0	393.0	368.0	353.0	373.0	590.0
	3時間後	500.0	490.0	420.0	375.0	403.0	393.0	428.0	620.0
一軸圧縮強さ (kN/m ²)	材令3日	255	294	265	294	294	343	284	275
	材令7日	637	598	628	755	824	765	932	637
	材令28日	1089	1393	1559	1549	1402	1510	1677	1412
湿潤密度 (g/cm ³)	材令3日								1.382
	材令7日								1.379
	材令28日	1.384	1.372	1.355	1.346	1.353	1.348	1.349	1.377
透水係数(cm/sec)	材令28日	3.2×10^{-7}	9.5×10^{-7}	2.3×10^{-6}	1.9×10^{-6}	2.8×10^{-6}	4.0×10^{-6}	3.4×10^{-6}	6.2×10^{-7}
湿潤密度(g/cm ³)	材令28日	1.412	1.385	1.354	1.355	1.363	1.347	1.350	1.393

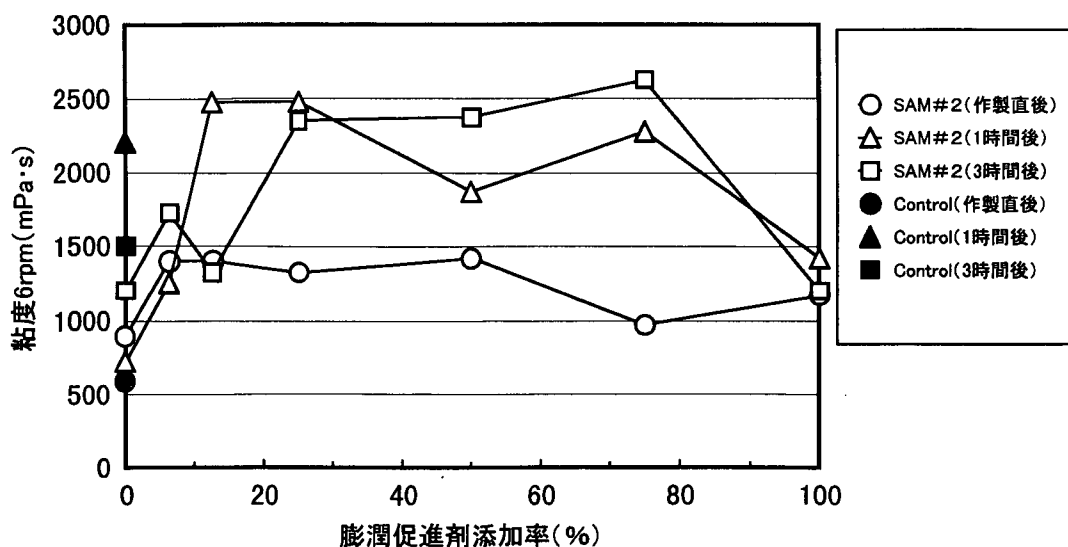
注) 空欄は試験を実施していないことを示し、測定値の「-」は測定限界を示す。



(a) フリージング率

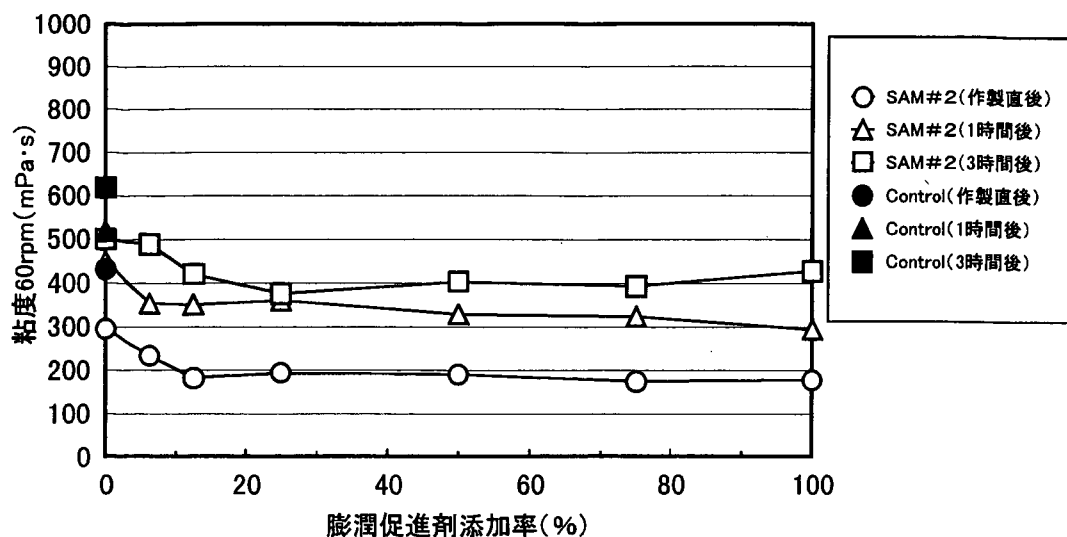


(b) ファンネル粘度

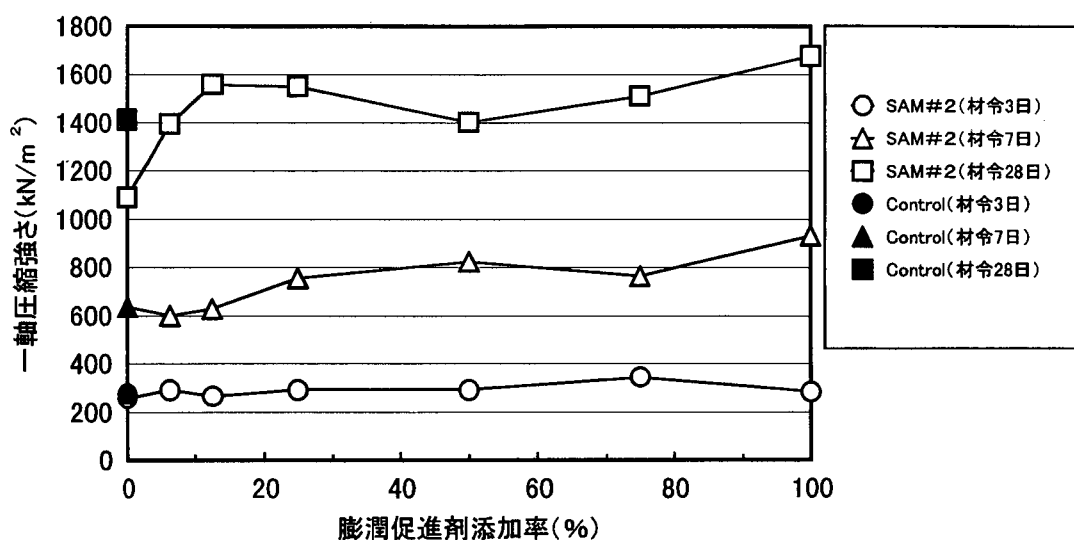


(c) 粘度 (ローターの回転数6rpm)

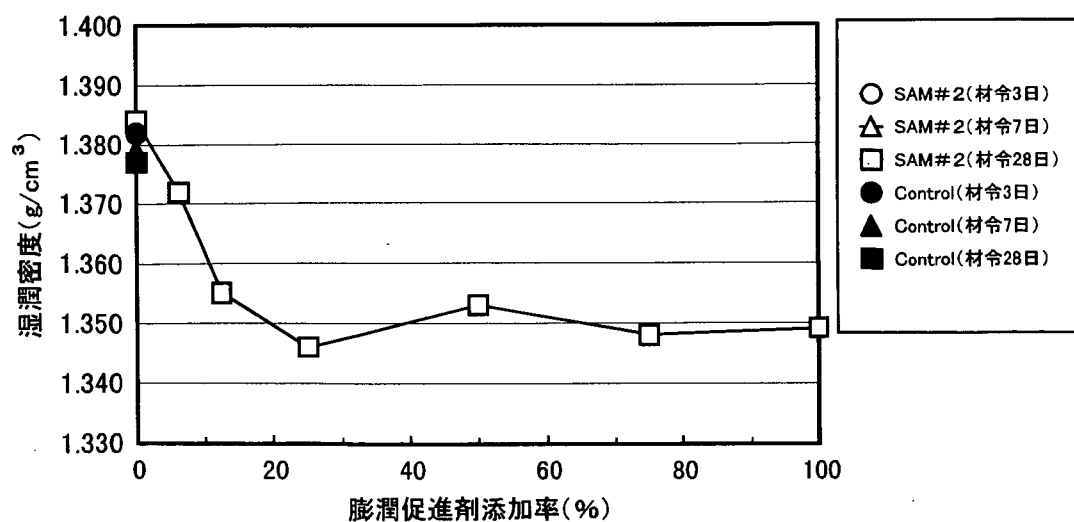
図-4.20 ケース20の試験結果 (Bt:As,S:#2,W/(Bt+C)=200%,Bt/C=5%)



(d) 粘度 (ローターの回転数60rpm)

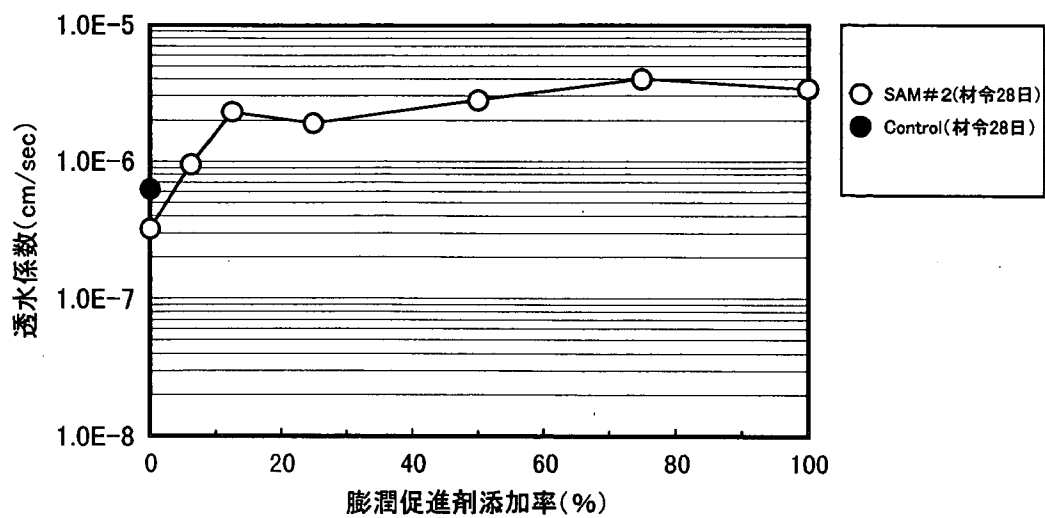


(e) 一軸圧縮強さ

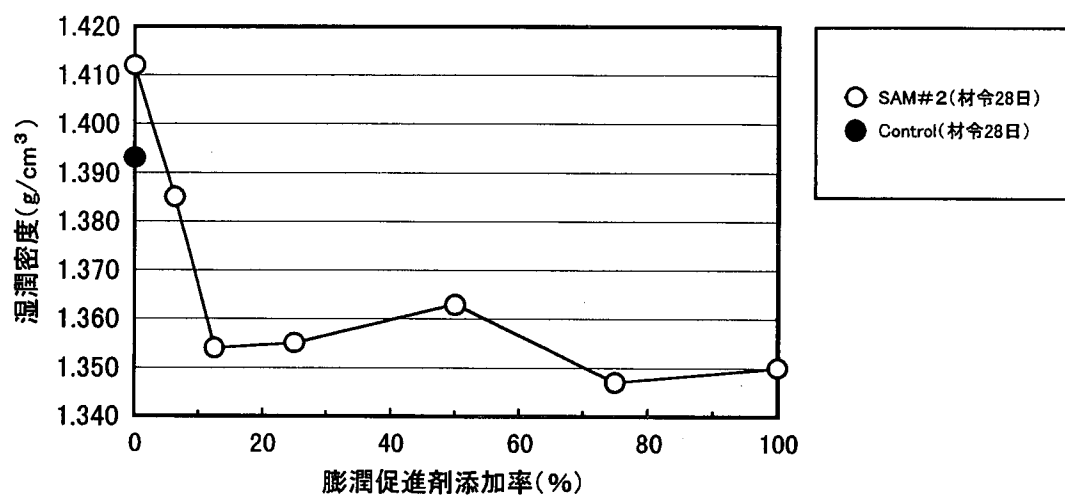


(f) 湿潤密度

図-4.20 ケース20の試験結果(Bt:As,S:#2,W/(Bt+C)=200%,Bt/C=5%)



(g) 透水係数



(h) 湿潤密度

図-4.20 ケース20の試験結果 (Bt:As,S:#2,W/(Bt+C)=200%,Bt/C=5%)

(3) ケース 21(試験条件 Bt:As、S:#1、W/(Bt+C)=200%、Bt/C=10%)

ケース 21 の試験結果一覧を表-4.21 に、コントロールおよび SAM 添加 CB の各種物性の変化を図-4.21(a)~(f)に示す。

① ブリージング率

SAM#1 添加 CB のブリージング率は、若干ばらつきはあるが、いずれも 5%以下と非常に小さい。

SAM=0%の試料とコントロールを比較すると、試料の経過時間に関係なく、両試料のブリージング率は 5%以下であるとともに、その差は 2%程度と非常に小さい。また、SAM=6.25%以上の試料とコントロールとを比較しても同様な傾向がうかがわれる。

② ファンネル粘度

SAM#1 添加 CB のファンネル粘度は、試料作製直後、SAM=100%を除いていずれも 27sec 程度を示す。その後、1、3 時間後にはほぼ全ての試料が測定限界以上となった。

また、コントロールは、試料作製直後から測定限界以上となった。そのため、コントロールと SAM#1 添加 CB のファンネル粘度を比較した場合、試料作製直後では SAM#1 添加 CB の方が低いといえるが、1 および 3 時間後の比較はできない。このケースにおける両試料の粘性比較は、ファンネル粘度ではできないので、回転粘度計による粘度比較の方が適している。

③ 粘度 (ローターの回転数 6rpm)

SAM#1 添加 CB の粘度は、試料作製直後、SAM の添加率が 25~50%のときに最小値 1700mPa・s 程度を示す。これは、この範囲以外の SAM#1 添加 CB と比較すると、500~1800mPa・s 程度低い値である。試料作製直後では、SAM の添加率によってこのような差がみられるが、3 時間後では、個々の試料の粘度は全体的に高くなるものの、SAM の添加率増加に伴う傾向は異なる。3 時間後の SAM#1 添加 CB は、SAM=75%のとき 2475mPa・s を示すが、このほかの試料は 12000mPa・s を示す。このように、SAM=75%の試料の粘度だけが極端に低く、他の試料は同程度の粘度を示す。

SAM=0%の試料とコントロールを比較する。両試料は、試料作製直後ではともに 2500mPa・s 程度を示すが、3 時間後にはコントロールの方が高くなり、SAM=0%は試料作製直後とあまり変化せずに 2600mPa・s を示すのに対し、コントロールは 44000mPa・s を示す。

このように、コントロールの粘度が時間経過とともに SAM=0%よりもかなり高くなるのは、コントロールの方がベントナイトの膨潤度合いが良好でその結果試料の均質性が高まったためと考える。一方、SAM#1 添加 CB は、SAM の添加による効果が明確に現れていない。

④ 粘度 (ローターの回転数 60rpm)

SAM#1 添加 CB の粘度は、試料作製直後、SAM の添加率が 6.25~75%のとき 400mPa・s 程度の一定値を示し、SAM の添加率が 100%の試料よりも 200mPa・s 程度低くなっている。経過時間が 3 時間になると、どの試料も粘性は高くなるが、その度合いは異なる。試料作製から 3 時間後にかけての粘度の増加量をみると、SAM=75%の試料は 250mPa・s 程度であるのに対し、これ以外の試料は 700mPa・s 程度となっており、SAM=75%の試料の粘度は他の試料に比べ極端に粘度が低くなっている。この傾向は、ロ

ーターの回転数が 6rpm のときと同様である。

SAM=0%の試料とコントロールを比較する。両試料は、試料作製直後のときコントロールの方が 600mPa・s 程度高いが、3 時間後には同程度の値を示す。これは、ローターの回転数が 6rpm の場合とは傾向が異なっている。また、SAM=6.25%以上の試料とコントロールを比較すると、試料作製直後ではコントロールの方が 800mPa・s 程度高いが、時間経過とともにその差は縮まり、3 時間後では SAM=75%を除き、100mPa・s 程度の差となっている。

ローターの回転数を 60rpm としたときの粘度では、このように SAM=75%の試料の粘度だけが他の試料と異なる傾向を示すものの、SAM の添加による効果が明確に現れていない。

⑤ 一軸圧縮強さおよび湿潤密度

SAM#1 添加 CB の材令 3 日の一軸圧縮強さは、若干ばらつきはあるものの、どの試料も 300～400kN/m² 程度を示す。材令 28 日になると、どの試料も 1800～1900kN/m² 程度を示し、材令 3 日同様 SAM の添加率の差による一軸圧縮強さの差は少ない。

コントロールと SAM#1 添加 CB を比較すると、同材令における両試料の差は小さいので、実用上両試料の差はほとんどないものとする。

表-4.21 ケース21の試験結果(Bt:As,S:#1,W/(Bt+C)=200%,Bt/C=10%)

		SAM添加率 (%)							
		0	6.25	12.5	25	50	75	100	Control
ブリージング率 (%)	1時間後	1.6	1.6	2.0	2.3	2.4	2.0	2.2	1.3
	3時間後	4.3	3.1	2.8	3.1	3.2	3.2	1.8	2.5
	24時間後	3.6	4.3	2.8	1.2	4.0	4.0	0.0	3.4
ファンネル粘度 (sec)	作製直後	28.4	27.0	27.5	27.3	26.8	26.4	-	-
	1時間後	-	-	-	-	-	34.1	-	-
	2時間後	-	-	-	-	-	-	-	-
	3時間後	-	-	-	-	-	-	-	-
粘度 (ローター回転数:6rpm) (mPa・s)	作製直後	2425.0	2350.0	2275.0	1725.0	1650.0	1825.0	3575.0	2625.0
	1時間後	1550.0	4100.0	2575.0	3175.0	2925.0	1900.0	3500.0	15100.0
	2時間後	3575.0	12900.0	12000.0	4925.0	11400.0	2925.0	10700.0	51500.0
	3時間後	2600.0	12000.0	10700.0	12700.0	12100.0	2475.0	14300.0	44000.0
粘度 (ローター回転数:60rpm) (mPa・s)	作製直後	740.0	452.5	432.5	382.5	360.0	360.0	640.0	1330.0
	1時間後	970.0	980.0	960.0	700.0	700.0	415.0	990.0	1350.0
	2時間後	1340.0	1170.0	1090.0	940.0	1120.0	690.0	1090.0	2000.0
	3時間後	1450.0	1180.0	1060.0	1070.0	1110.0	620.0	1310.0	1200.0
一軸圧縮強さ (kN/m ²)	材令3日	343	422	402	402	363	363	245	382
	材令7日	785	892	932	951	892	922	735	765
	材令28日	1873	2118	2020	1834	1922	1814	1540	1697
湿潤密度 (g/cm ³)	材令3日								
	材令7日								
	材令28日								
透水係数(cm/sec)	材令28日								
湿潤密度(g/cm ³)	材令28日								

注) 空欄は試験を実施していないことを示し、測定値の「-」は測定限界を示す。

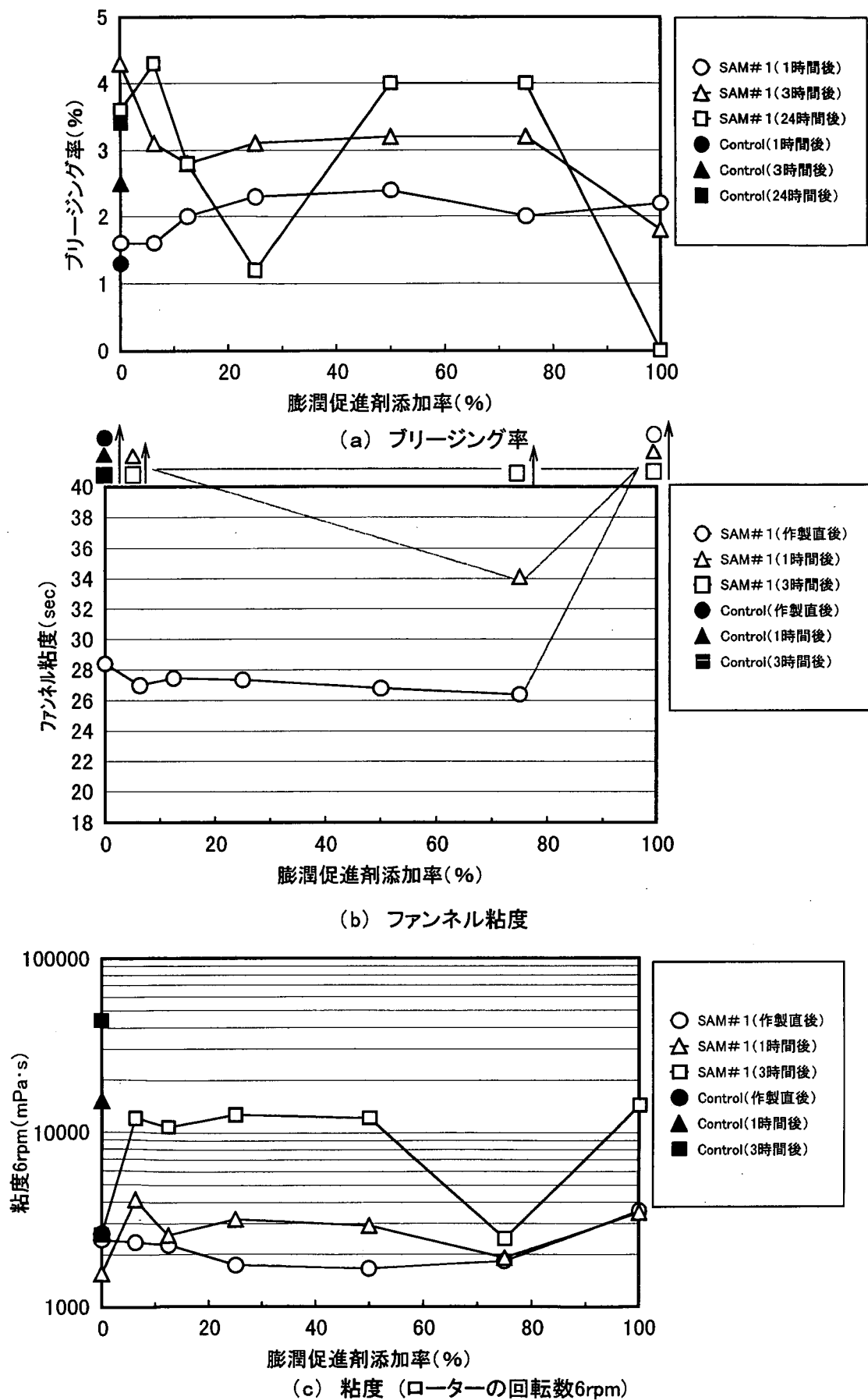


図-4.21 ケース21の試験結果 (Bt:As,S:#1,W/(Bt+C)=200%,Bt/C=10%)

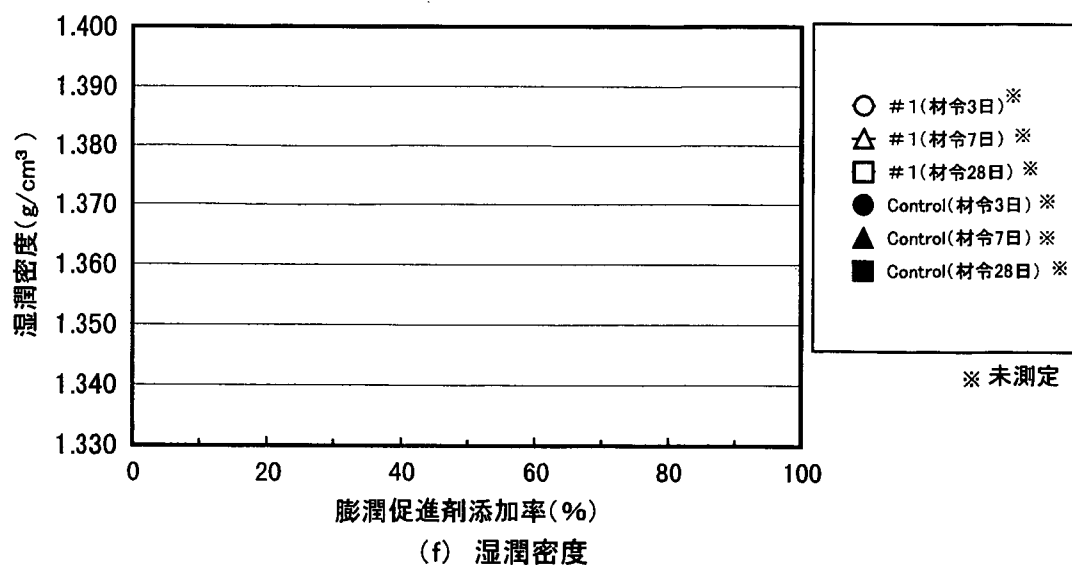
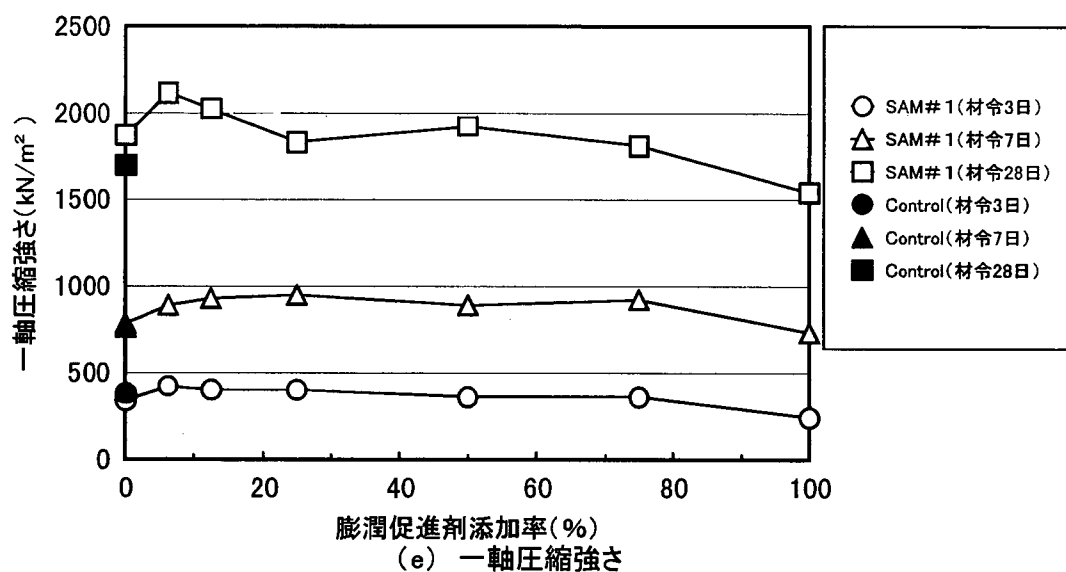
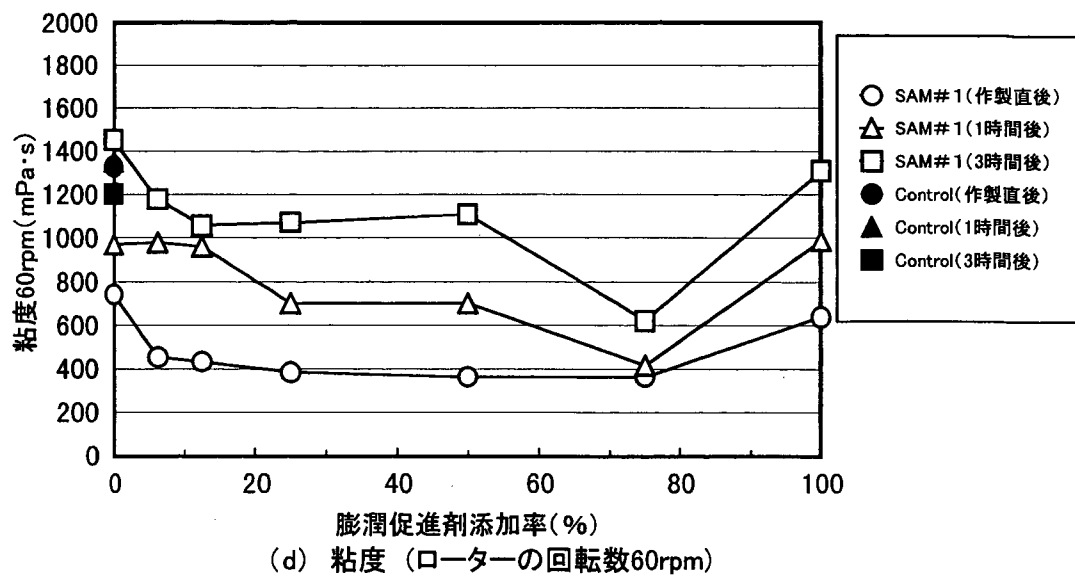


図-4.21 ケース21の試験結果 (Bt:As,S:#1,W/(Bt+C)=200%,Bt/C=10%)

(4) ケース 22(試験条件 Bt:As、S:#2、W/(Bt+C)=200%、Bt/C=10%)

ケース 22 の試験結果一覧を表-4.22 に、コントロールおよび SAM 添加 CB の各種物性の変化を図-4.22(a)~(f)に示す。

① ブリージング率

SAM#2 添加 CB のブリージング率は、時間経過とともに若干小さくなる傾向を示す。これは、ブリージング量を目視するとき、1 および 3 時間後では材料の粒子が浮遊した状態であったため、固体面と液体面との境界面の区別が困難であったことに起因するものと考ええる。粒子の沈降が完了した 24 時間後では、SAM=0%のブリージング率が 4%程度であるが、これ以外の試料のブリージング率は 0%である。したがって、SAM の添加によって試料の安定性はわずかながら改善されるが、その差は実用上大きくないと考ええる。

粒子の沈降が完了した 24 時間後のブリージング率で SAM=0%とコントロールを比較すると、両試料のブリージング率は同じ 3%程度なので、その差は認められない。また、SAM=6.25%以上の試料とコントロールを比較すると、前者が 0%であるのに対し、後者は 3%である。したがって、SAM#2 添加 CB の方が、若干安定性が高いが、その差は 3%と小さいので、両試料の実用上の差はないと考ええる。

② ファンネル粘度

SAM#2 添加 CB のファンネル粘度は、試料作製直後、SAM の添加率の増加にほぼ比例して高くなる傾向を示す。その後、1、3 時間後には、どの試料も測定限界以上となった。

また、コントロールは、試料作製直後から測定限界以上となった。そのため、コントロールと SAM#2 添加 CB のファンネル粘度を比較した場合、試料作製直後では SAM#2 添加 CB の方が低いといえるが、1 および 3 時間後の比較はできない。このケースにおける両試料の粘性比較は、回転粘度計による粘度比較の方が適している。

③ 粘度 (ローターの回転数 6rpm)

SAM#2 添加 CB の試料作製直後の粘度は、SAM=0%では 2425mPa・s、SAM=100%では 4075mPa・s を示し、SAM の添加率増加に伴い高くなる。試料作製 3 時間後では SAM=0%では 2600mPa・s、SAM=75%では 50000mPa・s、SAM=100%では測定限界以上を示し、SAM の添加率増加に伴い高くなる。

次に、コントロールと SAM#2 添加 CB を比較する。まず、SAM=0%の試料とコントロールを比較すると、前者は試料作製直後および 3 時間後の値がほとんど変化せず 2500mPa・s 程度を示すのに対し、後者は時間経過とともに粘度は高くなり、試料作製直後が 2625mPa・s、3 時間後が 44000mPa・s である。このことから、コントロールの方がベントナイトの膨潤が良好で試料の均質性が高いものと考ええる。また、SAM=6.25%以上の SAM#2 添加 CB とコントロールを比較する。SAM#2 添加 CB は SAM の添加率が 25%以下ではコントロールと同程度、SAM の添加率が 50%以上ではコントロールよりも最大 1500mPa・s 程度高い値を示す。このように、両試料の差は SAM の添加率によって異なる。

④ 粘度 (ローターの回転数 60rpm)

SAM#2 添加 CB の試料作製直後の粘度は、SAM=100%を除いて、いずれも 500~600mPa・s 程度を示

す。その後、3 時間後では若干ばらつきはあるものの、SAM の添加率増加に伴って高くなる傾向を示す。

次に、コントロールと SAM#2 添加 CB を比較する。試料作製直後の粘度は、SAM#2 添加 CB よりもコントロールの方が高い。しかし、3 時間後では両試料の大小関係は逆転している。

⑤ 一軸圧縮強さおよび湿潤密度

SAM#2 添加 CB の材令 3 日の一軸圧縮強さは、SAM の添加率増加にともなって若干小さくなるが、その差は 150kN/m^2 程度と小さいので、これらの試料はほぼ同等であると考ええる。また、材令 28 日における一軸圧縮強さについても同様な傾向がうかがえ、添加率の増減による一軸圧縮強さの差は最大 300kN/m^2 程度と小さい。したがって、一軸圧縮強さはほぼ一定と考える。

次に、SAM#2 添加 CB とコントロールを比較する。両試料の一軸圧縮強さの差は、材令 3 日のときに最大 130kN/m^2 、材令 28 日のときに最大 300kN/m^2 程度であり、どの材令においても小さい。したがって、両試料の一軸圧縮強さの差は実用上大きくないと考える。

以上のように、このケースにおける SAM の一軸圧縮強さに対する添加効果は、ほとんどないものと考ええる。

表-4.22 ケース22の試験結果(Bt:As,S:#2,W/(Bt+C)=200%,Bt/C=10%)

		SAM添加率 (%)							
		0	6.25	12.5	25	50	75	100	Control
ブリージング率 (%)	1時間後	1.6	2.0	2.0	0.8	0.0	0.0	0.0	1.3
	3時間後	4.3	2.8	2.4	1.2	0.8	0.0	0.0	2.5
	24時間後	3.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.4
ファンネル粘度 (sec)	作製直後	28.4	28.8	30.1	31.3	33.9	36.7	-	-
	1時間後	-	-	-	-	-	-	-	-
	2時間後	-	-	-	-	-	-	-	-
	3時間後	-	-	-	-	-	-	-	-
粘度 (ローター回転数:6rpm) (mPa・s)	作製直後	2425.0	2475.0	2825.0	2600.0	3025.0	3425.0	4075.0	2625.0
	1時間後	1550.0	4550.0	11600.0	12200.0	12000.0	14400.0	55000.0	15100.0
	2時間後	3575.0	13000.0	14400.0	12500.0	38500.0	35000.0	-	51500.0
	3時間後	2600.0	16200.0	31500.0	13100.0	60500.0	50000.0	-	44000.0
粘度 (ローター回転数:60rpm) (mPa・s)	作製直後	740.0	570.0	590.0	495.0	660.0	610.0	940.0	1330.0
	1時間後	970.0	980.0	1240.0	1380.0	1380.0	1110.0	2200.0	1350.0
	2時間後	1340.0	1410.0	1520.0	1520.0	1700.0	1820.0	-	2000.0
	3時間後	1450.0	1450.0	1890.0	1490.0	1630.0	1800.0	-	1200.0
一軸圧縮強さ (kN/m ²)	材令3日	343	392	402	412	294	255	255	382
	材令7日	785	883	853	961	794	755	735	765
	材令28日	1873	2040	1971	2001	1736	1628	1755	1697
湿潤密度 (g/cm ³)	材令3日								
	材令7日								
	材令28日								
透水係数(cm/sec)	材令28日								
湿潤密度(g/cm ³)	材令28日								

注) 空欄は試験を実施していないことを示し、測定値の「-」は測定限界を示す。

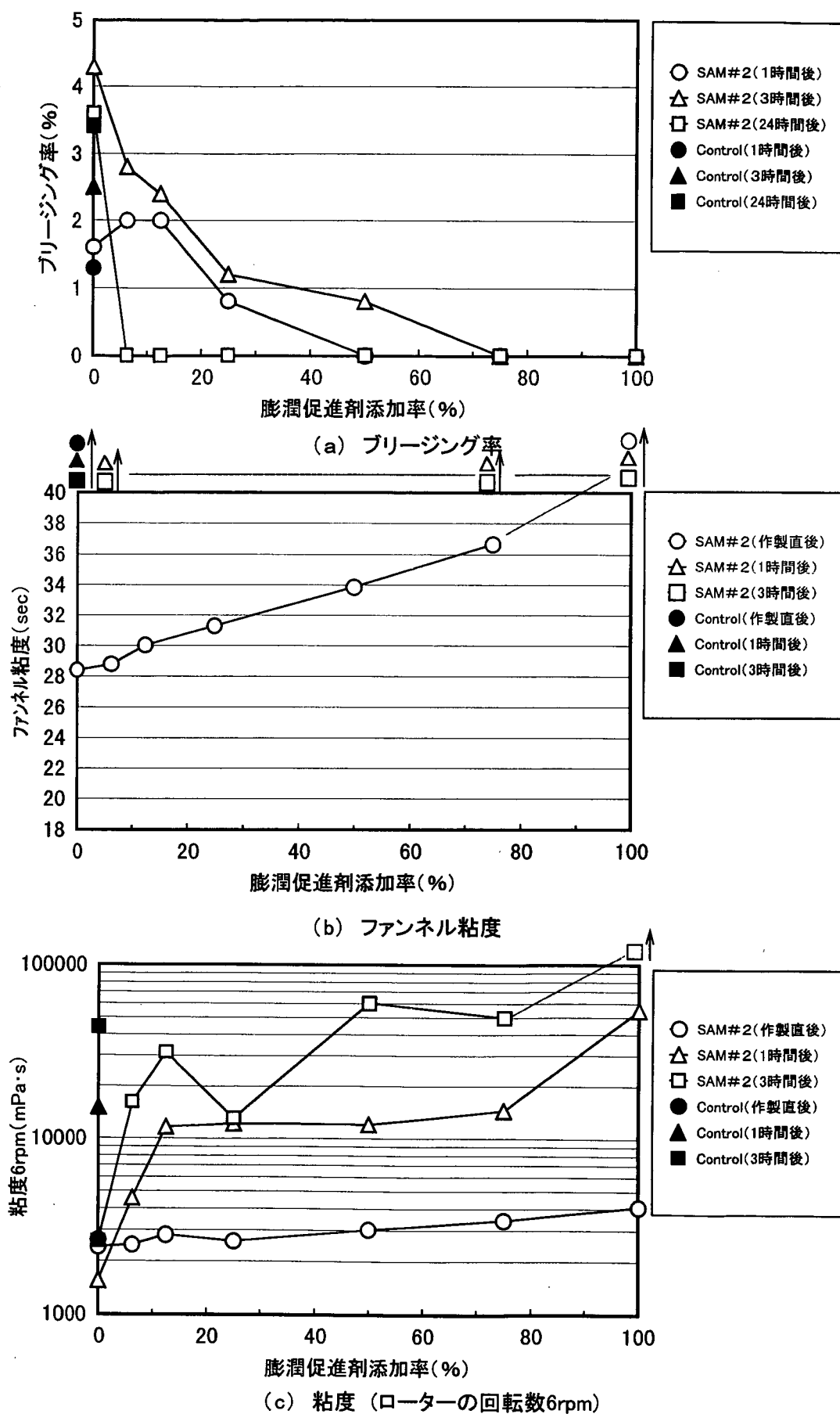
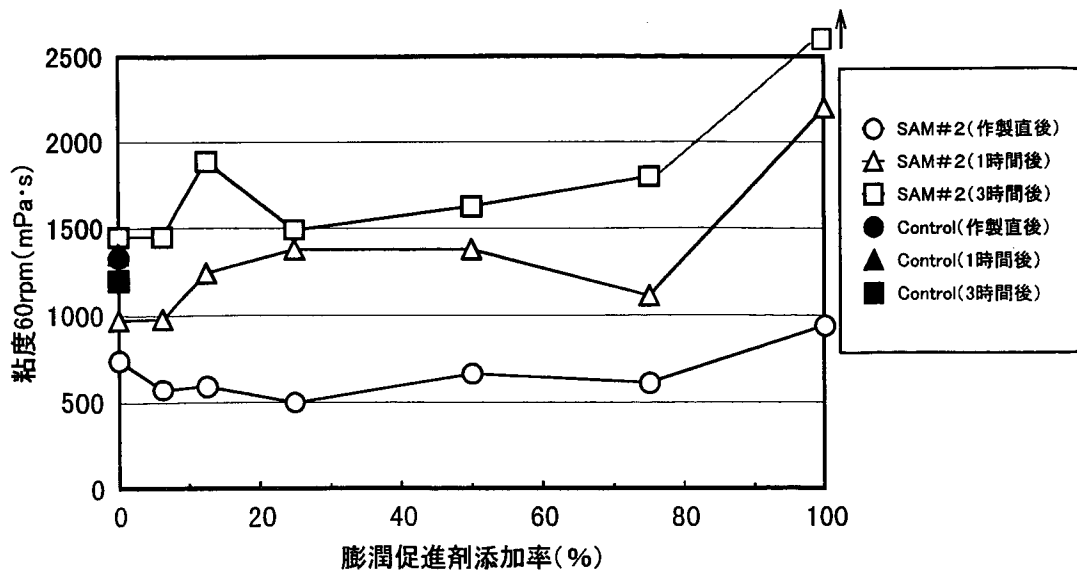
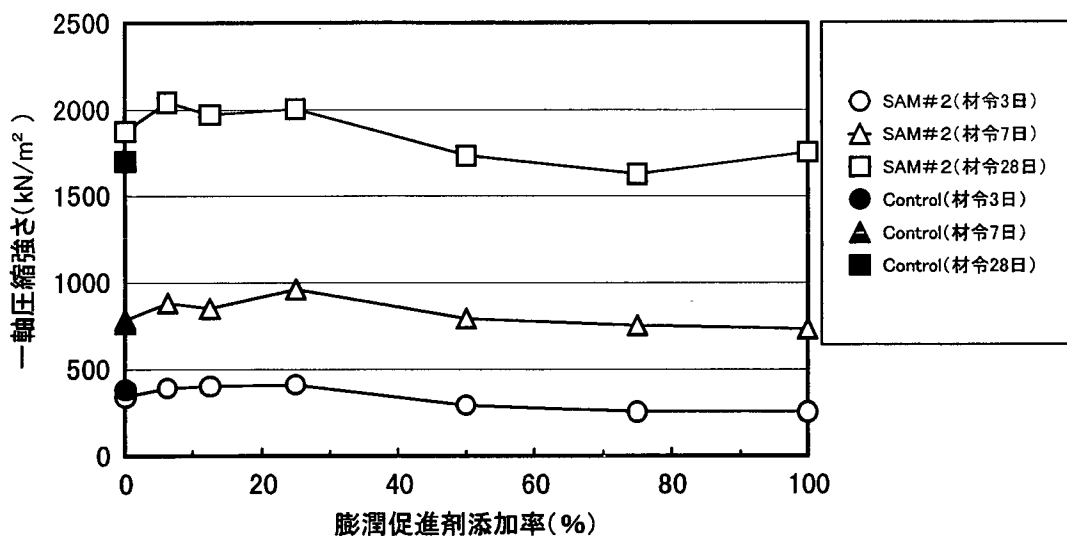


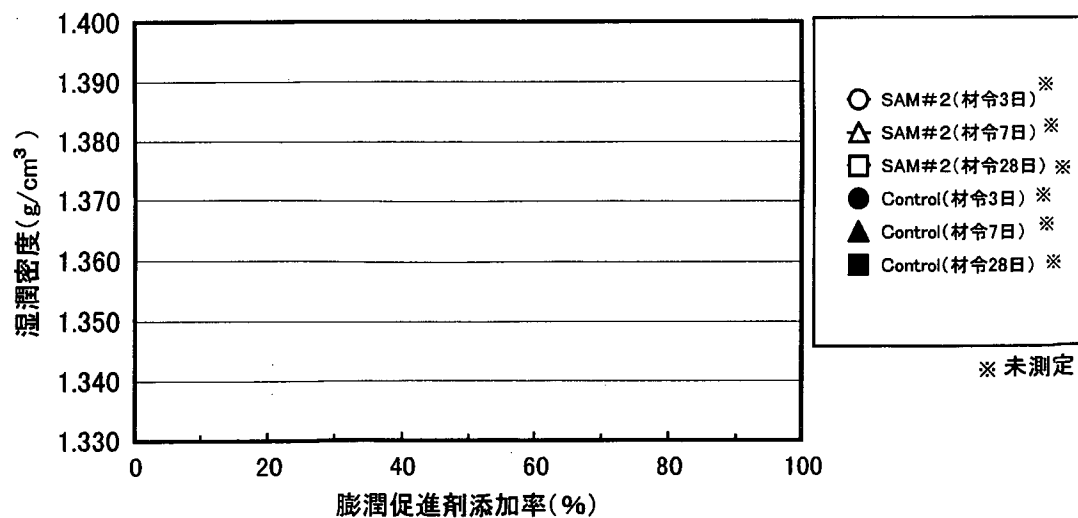
図-4.22 ケース22の試験結果 (Bt:As,S:#2,W/(Bt+C)=200%,Bt/C=10%)



(d) 粘度 (ローターの回転数60rpm)



(e) 一軸圧縮強さ



(f) 湿潤密度

図-4.22 ケース22の試験結果(Bt:As,S:#2,W/(Bt+C)=200%,Bt/C=10%)

(5) ケース 23(試験条件 Bt:As、S:#2、W/(Bt+C)=100%、Bt/C=5%)

ケース 23 の試験結果一覧を表-4.23 に、コントロールおよび SAM 添加 CB の各種物性の変化を図-4.23(a)~(h)に示す。

① ブリージング率

SAM#2 添加 CB のブリージング率は、SAM の添加率によっては時間経過とともに若干小さくなる傾向を示す。これは、ブリージング量を目視するとき、1 および 3 時間後では試料中の粒子が浮遊した状態であったため、固体面と液体面との境界面の区別が困難であったことに起因するものと考ええる。粒子の沈降が完了した 24 時間後のブリージング率は、SAM=0 および 6.25% のとき 4% 程度、SAM=12.5% 以上のとき 0% である。したがって、SAM を 12.5% 以上添加することにより、試料の安定性は改善されるが、このときの差は 4% 程度と小さい。

次に、SAM#2 添加 CB とコントロールを 24 時間後のブリージング率で比較する。SAM=0% の場合、両試料のブリージング率はともに 4% 程度なので、安定性の差はないと考える。また、SAM の添加率が 6.25% 以上の場合、両試料の差は最大 4% である。したがって、SAM の添加による安定性改善効果は、小さいものと考ええる。

② ファンネル粘度

ファンネル粘度は、試料作製直後からすべての試料で測定限界以上となった。したがって、試料の粘性の評価は、回転粘度計による粘度で行う。

③ 粘度 (ローターの回転数 6rpm)

試料作製直後の SAM#2 添加 CB の粘度は、SAM の添加率増加に伴って高くなる傾向を示す。SAM=25% を境に、それ以下の添加率での粘度の上昇度合いは緩く、それ以上の添加率での粘度の上昇度合いかなりきつくなっている。これは、試料作製直後だけではなく、1 および 3 時間後でも同様な傾向を示す。このように、SAM の添加率によって粘度の増加傾向が異なるが、粘度以外の物性において、これほど極端な差が見られていないことから考えると、粘性の低い SAM=25% 以下の試料の方がポンナビリティが高く、実用性が高いと考える。

一方、コントロールの粘度は、試料作製直後で 2300mPa・s であり、SAM#2 添加 CB のうち SAM=12.5% 以下の試料と同程度であり、SAM=25% 以上の試料よりも低い。したがって、SAM=12.5% 以下の SAM#2 添加 CB とコントロールはほぼ同等と評価できる。

④ 粘度 (ローターの回転数 60rpm)

SAM#2 添加 CB の粘度の増加は、SAM=25% を境に、それ以下の添加率での粘度の上昇度合いは緩く、それ以上の添加率での粘度の上昇は前者に比べてかなり急激になる。したがって、ローターの回転数が 6rpm の場合と同様、SAM=25% 以下の方が実用性が高いと考える。

一方、コントロールの粘度を SAM#2 添加 CB と比較すると、SAM の添加率が 25% を境に、その大小関係が大きく異なる。SAM=25% 以下では、コントロールと SAM#2 添加 CB の差は大きくはないが、SAM=75% 以上では、SAM#2 添加 CB の方が極端に粘度が大きくなっている。

⑤ 一軸圧縮強さおよび湿潤密度

材令 3 日の SAM#2 添加 CB の一軸圧縮強さは、若干ばらつきはあるものの、どの添加率においても 4000kN/m^2 程度を示す。しかし、材令 28 日の一軸圧縮強さは、SAM の添加率増加に伴って小さくなり、SAM=0%と 100%とを比較すると、 2000kN/m^2 程度の差となる。このとき、試料の湿潤密度も SAM の増加に伴って小さくなっている。

一方、コントロールの一軸圧縮強さは、どの材令においても SAM#2 添加 CB よりも小さく、材令 3 日では $1000\sim 2000\text{kN/m}^2$ 程度、材令 28 日では $1000\sim 3000\text{kN/m}^2$ 程度の差がある。このとき、コントロールの湿潤密度は、SAM#2 添加 CB と同程度あるいはそれよりも大きい。これらのことから、SAM#2 添加 CB はコントロールよりも、試料の均質性が高いものと考ええる。

⑥ 透水係数および湿潤密度

SAM#2 添加 CB の透水係数は、SAM の添加率に関係なく、どの試料も 10^{-9}cm/sec オーダで、SAM の添加率による大きな差はない。一方、コントロールも SAM#2 添加 CB と同じ 10^{-9}cm/sec オーダを示しており、試料の透水性におけるコントロールと SAM#2 添加 CB の差異は認められない。

表-4.23 ケース23の試験結果(Bt:As,S:#2,W/(Bt+C)=100%,Bt/C=5%)

		SAM添加率 (%)							
		0	6.25	12.5	25	50	75	100	Control
ブリージング率 (%)	1時間後	0.9	2.2	2.5	1.5	0.0	0.0	0.0	1.1
	3時間後	3.5	3.9	3.8	2.2	0.0	0.0	0.0	3.3
	24時間後	4.9	4.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.1
ファンネル粘度 (sec)	作製直後	-	-	-	-	-	-	-	-
	1時間後	-	-	-	-	-	-	-	-
	2時間後	-	-	-	-	-	-	-	-
	3時間後	-	-	-	-	-	-	-	-
粘度 (ローター回転数:6rpm) (mPa・s)	作製直後	1875.0	2525.0	2750.0	10200.0	35500.0	-	-	2300.0
	1時間後	3775.0	2950.0	3350.0	12200.0	79500.0	-	-	4975.0
	2時間後	2525.0	12800.0	11900.0	11700.0	-	-	-	11300.0
	3時間後	2625.0	4725.0	10600.0	7000.0	-	-	-	54000.0
粘度 (ローター回転数:60rpm) (mPa・s)	作製直後	1260.0	1030.0	910.0	960.0	1300.0	9650.0	9500.0	1430.0
	1時間後	1430.0	1090.0	980.0	1020.0	3450.0	-	-	4600.0
	2時間後	330.0	1280.0	1110.0	1140.0	3800.0	-	-	1930.0
	3時間後	318.0	1420.0	1270.0	960.0	5850.0	-	-	6600.0
一軸圧縮強さ (kN/m ²)	材令3日	4197	4178	4236	4148	3481	4717	4276	2638
	材令7日	7600	7669	7453	7169	6845	7875	7208	5109
	材令28日	11258	11258	11415	11778	10670	9915	9561	8296
湿潤密度 (g/cm ³)	材令3日	1.554	1.544	1.528	1.544	1.507	1.470	1.435	1.540
	材令7日	1.570	1.549	1.534	1.522	1.486	1.514	1.497	1.551
	材令28日	1.518	1.565	1.565	1.573	1.501	1.506	1.497	1.568
透水係数(cm/sec)	材令28日	1.6×10^{-9}	2.7×10^{-9}	4.8×10^{-9}	3.2×10^{-9}	5.4×10^{-9}	3.2×10^{-9}	3.4×10^{-9}	4.2×10^{-9}
湿潤密度(g/cm ³)	材令28日	1.588	1.578	1.561	1.541	1.550	1.551	1.574	1.580

注) 空欄は試験を実施していないことを示し、測定値の「-」は測定限界を示す。

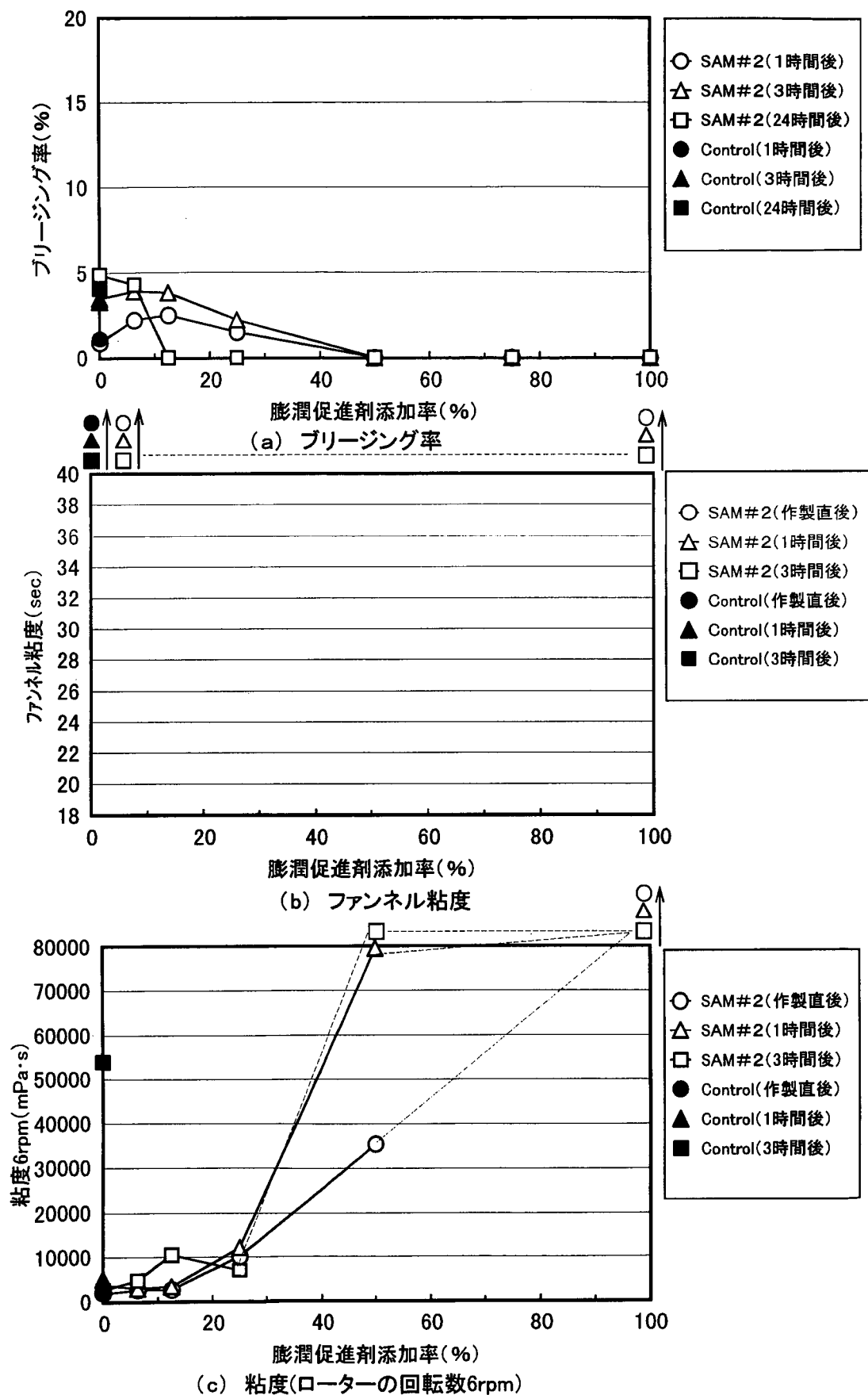
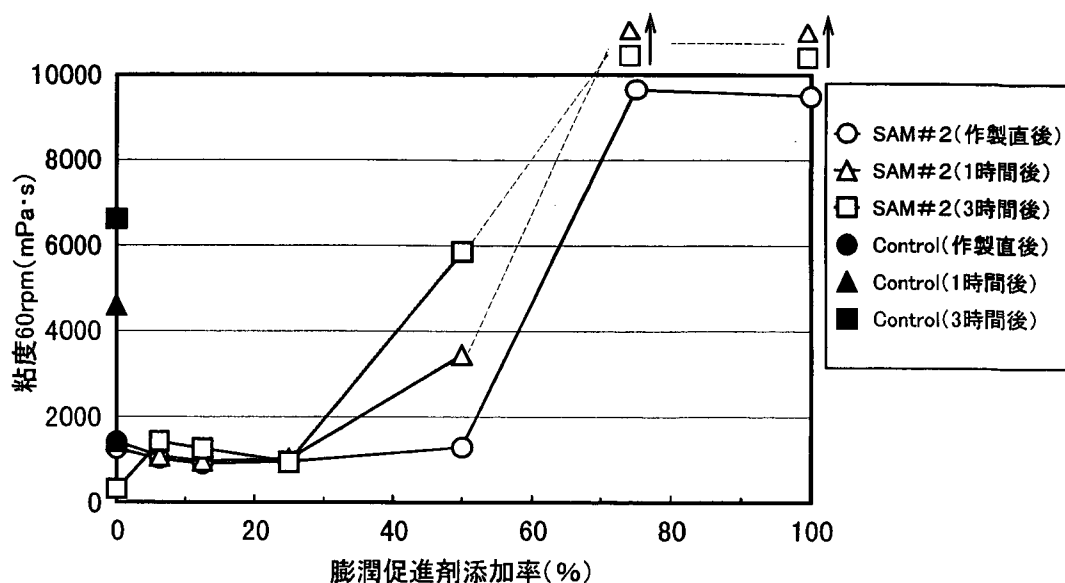
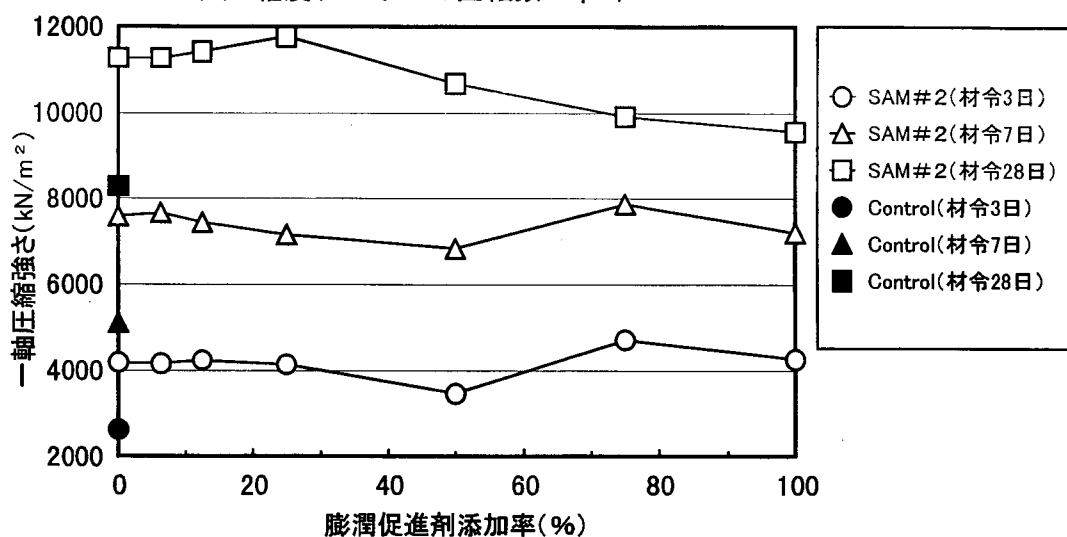


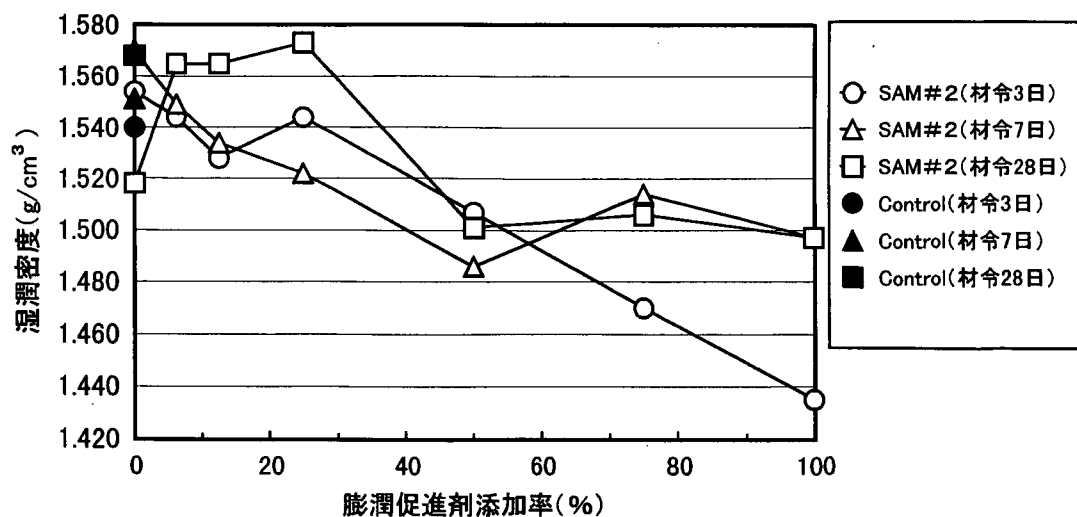
図-4.23 ケース23の試験結果(Bt:As,S:#2,W/(Bt+C)=100%,Bt/C=5%)



(d) 粘度(ローターの回転数60rpm)



(e) 一軸圧縮強さ



(f) 湿潤密度

図-4.23 ケース23の試験結果(Bt:As,S:#2,W/(Bt+C)=100%,Bt/C=5%)

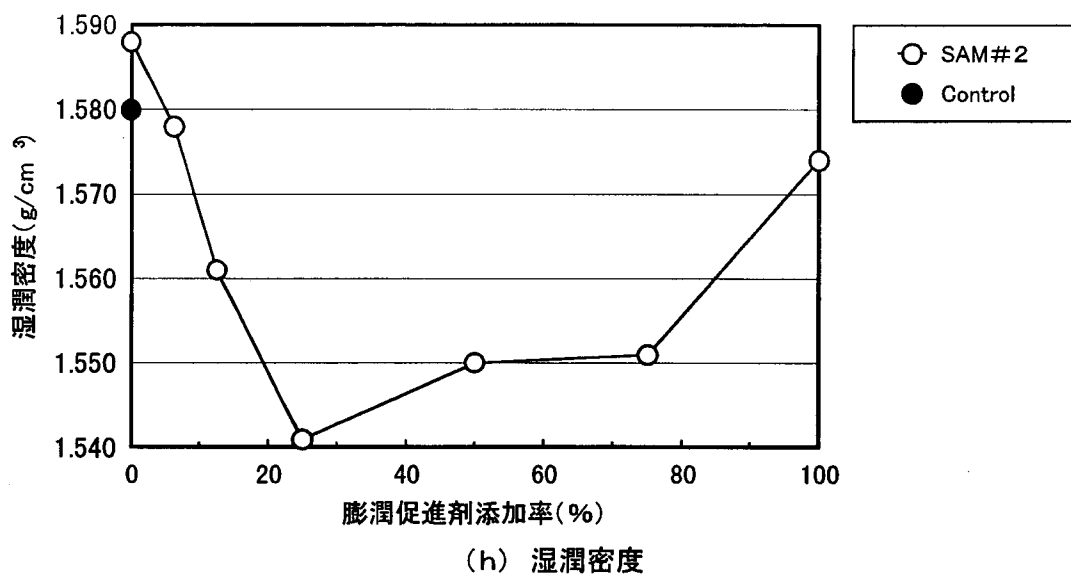
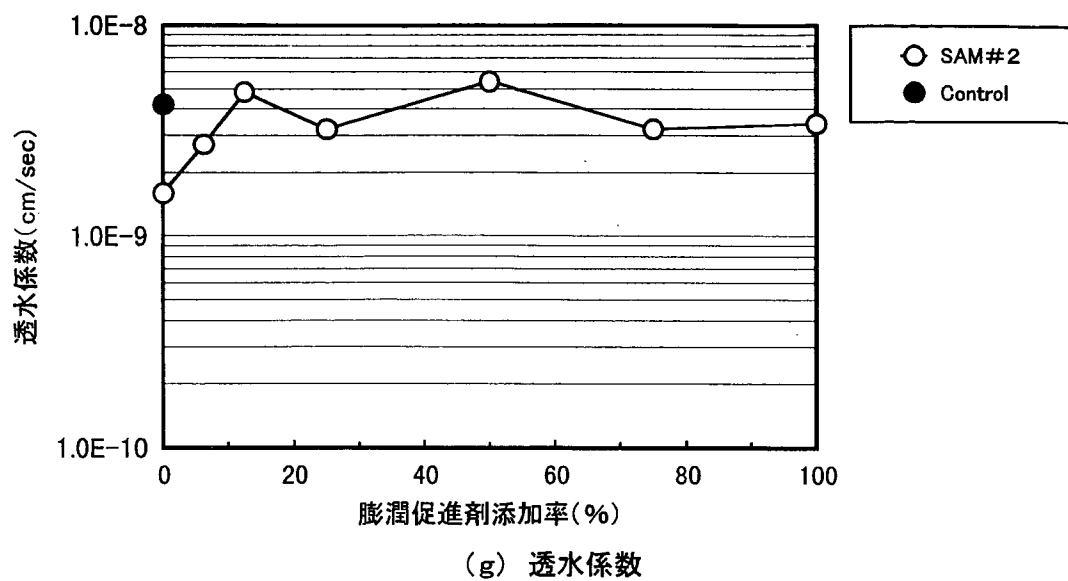


図-4.23 ケース23の試験結果 (Bt:As,S:#2,W/(Bt+C)=100%,Bt/C=5%)

(6) ケース 24(試験条件 Bt:As、S:#2、W/(Bt+C)=400%、Bt/C=5%)

ケース 24 の試験結果一覧を表-4.24 に、コントロールおよび SAM 添加 CB の各種物性の変化を図-4.24(a)~(h)に示す。

① ブリージング率

SAM#2 添加 CB のブリージング率は、1 時間後の値と 24 時間後の値との差が小さいことから、ブリージングは 1 時間以内でほぼ完了すると考えられる。24 時間後の SAM#2 添加 CB のブリージング率は、SAM の添加率が 0~50%の範囲ではその増加に伴って 54.2%から 42.8%に 12%程度減少するが、SAM の添加率が 50~100%の範囲ではその増加に伴って 42.8%から 45%に 2%程度増加する。後者の範囲でのブリージング率の増加量が 2%と小さいので、この範囲でのブリージング率は一定値であると考ええる。以上のことから、SAM の最適添加量は、25%~50%付近に存在するものと考えられる。

SAM#2 添加 CB とコントロールを比較する。24 時間後のブリージング率は、SAM=0%が 54.2%、コントロールが 45.9%であり、コントロールの方が 9%程度小さいのでベントナイトを事前膨潤する効果がみられる。一方、SAM=25%および 50%の 24 時間後のブリージング率は、46.3%および 42.8%であり、コントロールとほぼ同等であると考ええる。

② ファンネル粘度

試料作製直後の SAM#2 添加 CB は、時間経過とともに SAM の添加率が多い試料ほど粘度が高くなる度合いが若干大きくなる傾向が認められるものの、いずれも 19.5sec 程度から 21sec 程度の範囲にある。

SAM#2 添加 CB とコントロールの試料作製直後の粘度はほぼ同じであり、両試料の均質性は、ほぼ同等であると考えられる。ただし、水のファンネル粘度が 18.4sec であったことから、水比が 400%ぐらい薄くなると、ファンネル粘度による差が明確に議論できない可能性もある。

③ 粘度 (ローターの回転数 6rpm)

試料作製直後の SAM#2 添加 CB は、いずれも 175~245mPa・s 程度を示す。試料作製 3 時間後では、いずれも 42.5~100mPa・s 程度を示す。

SAM#2 添加 CB とコントロールを比較する。試料作製直後では、SAM#2 添加 CB が 200mPa・s 前後、コントロールが 295mPa・s なので、コントロールの方が若干粘度は高い。しかし、3 時間後では、SAM#2 添加 CB とコントロールはほぼ同程度の値を示す。

④ 粘度 (ローターの回転数 60rpm)

試料作製直後の SAM#2 添加 CB は、いずれも 29.5~44.0mPa・s を示し、SAM の添加率に関係なく同程度と考える。しかし、3 時間後では、SAM=0%の試料の粘度増加は 6.5mPa・s と小さいが、SAM=6.25%以上の試料の粘度はそれよりもかなり大きく 88~100mPa・s 程度の一定値を示し、SAM を添加した試料の方が粘度増加が大きくなる傾向を示す。このことから、SAM を添加することによって、ベントナイトの膨潤度合いが多くなり、試料の均質性が高くなったものと考ええる。

SAM#2 添加 CB とコントロールを比較する。試料作製直後の粘度は、SAM=0%が 36.0mPa・s、コント

ロールが 53.0mPa・s であり、その差は小さい。しかし、3 時間後では、前者が 42.5mPa・s、後者が 87.5mPa・s となり、時間経過とともにコントロールと SAM=0%の粘度の差が広がっていることから、試料のベントナイトの膨潤度合いはコントロールの方が大きいものとする。一方、SAM=6.25%以上の試料とコントロールとでは、同等経過時間における粘度はほぼ同じ値を示していることから、両試料のベントナイトの膨潤度合いは同程度であるとする。

⑤ 一軸圧縮強さおよび湿潤密度

SAM#2 添加 CB の材令 3 日の一軸圧縮強さは、いずれも 200kN/m² 程度を示す。また、材令 28 日では、いずれも 800~1100kN/m² 程度を示す。しかしその差は小さいので、SAM#2 添加 CB の一軸圧縮強さは SAM の添加率に関係なく同程度であるとする。

SAM#2 添加 CB とコントロールを比較する。コントロールの一軸圧縮強さは、材令 3 日で 200kN/m²、材令 28 日で 800kN/m² であり、同材令の SAM#2 添加 CB と同程度となっている。また、湿潤密度は、SAM#2 添加 CB の方に若干ばらつきがあるものの、コントロールと比べて大きな差ではない。以上のことから、コントロールと SAM#2 添加 CB の試料の均質性は、両試料とも同程度あるとする。

⑥ 透水係数および湿潤密度

SAM#2 添加 CB の透水係数は、いずれも 10⁻⁶cm/sec オーダを示す。一方、コントロールは、1.3×10⁻⁵cm/sec を示しており、SAM#2 添加 CB よりも若干透水性が高い。

湿潤密度は、SAM#2 の添加率が 0~12.5%の範囲ではコントロールの方が高いが、SAM#2 の添加率が 25%以上では、両者の差はほとんどない。

表-4.24 ケース24の試験結果(Bt:As,S:#2,W/(Bt+C)=400%,Bt/C=5%)

		SAM添加率 (%)							
		0	6.25	12.5	25	50	75	100	Control
ブリージング率 (%)	1時間後	50.4	50.0	49.0	44.3	41.3	43.9	44.2	41.3
	3時間後	53.8	52.8	51.0	45.5	42.0	44.3	44.6	45.9
	24時間後	54.2	52.8	51.0	46.3	42.8	44.7	45.0	45.9
ファンネル粘度 (sec)	作製直後	19.6	20.0	19.8	19.9	19.5	19.6	19.4	19.8
	1時間後	19.6	20.0	20.2	20.7	20.3	20.4	20.4	20.1
	2時間後	19.8	20.4	20.4	20.6	20.8	21.0	21.0	20.4
	3時間後	19.8	20.5	20.4	20.8	20.8	21.0	21.1	19.9
粘度 (ローター回転数:6rpm) (mPa・s)	作製直後	185.0	220.0	235.0	240.0	195.0	195.0	175.0	295.0
	1時間後	185.0	240.0	290.0	295.0	315.0	335.0	335.0	320.0
	2時間後	245.0	290.0	275.0	285.0	365.0	365.0	340.0	360.0
	3時間後	295.0	340.0	350.0	315.0	300.0	370.0	410.0	360.0
粘度 (ローター回転数:60rpm) (mPa・s)	作製直後	36.0	41.0	44.0	40.0	32.5	31.0	29.5	53.0
	1時間後	52.0	49.5	67.5	77.5	88.0	82.5	81.5	98.0
	2時間後	74.5	67.0	79.0	80.0	85.0	92.5	95.0	100.0
	3時間後	42.5	95.0	91.0	91.0	100.0	87.5	87.5	87.5
一軸圧縮強さ (kN/m ²)	材令3日	284	196	196	167	206	186	167	167
	材令7日	500	490	461	431	490	461	392	431
	材令28日	1118	1010	853	824	794	794	755	775
湿潤密度 (g/cm ³)	材令3日	1.363	1.352	1.320	1.333	1.304	1.301	1.279	1.312
	材令7日	1.373	1.360	1.340	1.323	1.304	1.326	1.325	1.336
	材令28日	1.367	1.374	1.336	1.340	1.289	1.302	1.310	1.331
透水係数(cm/sec)	材令28日	3.4×10 ⁻⁶	3.9×10 ⁻⁶	4.5×10 ⁻⁶	7.2×10 ⁻⁶	8.1×10 ⁻⁶	5.5×10 ⁻⁶	6.8×10 ⁻⁶	1.3×10 ⁻⁵
湿潤密度(g/cm ³)	材令28日	1.335	1.323	1.308	1.299	1.295	1.292	1.295	1.296

注) 空欄は試験を実施していないことを示し、測定値の「-」は測定限界を示す。

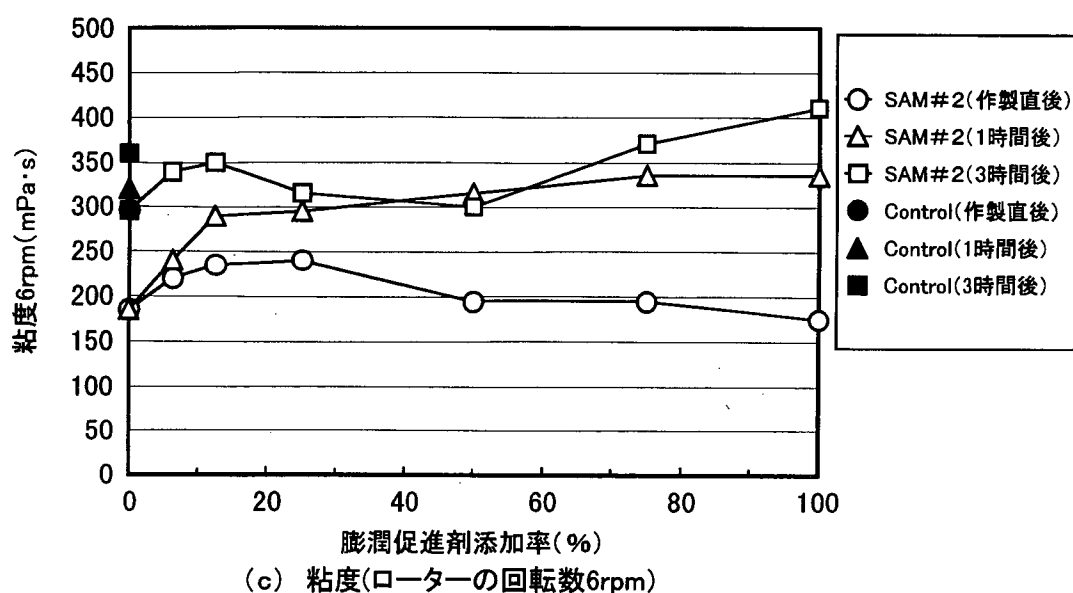
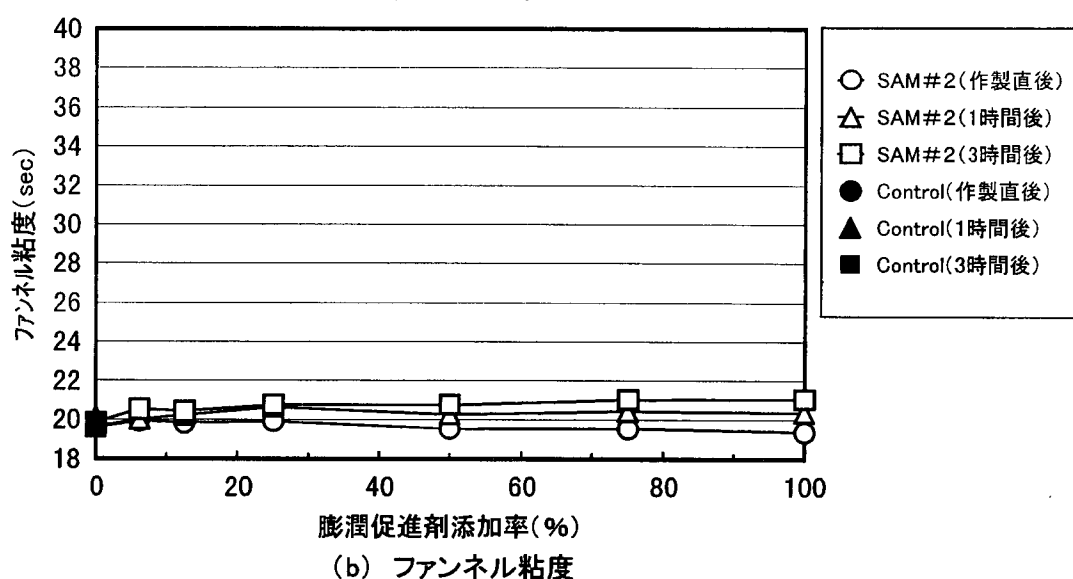
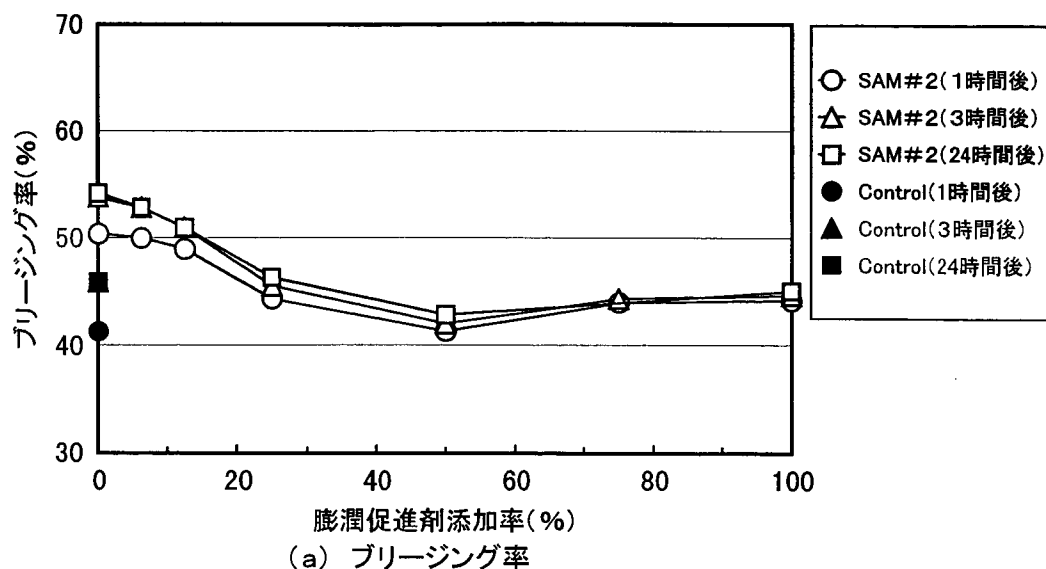
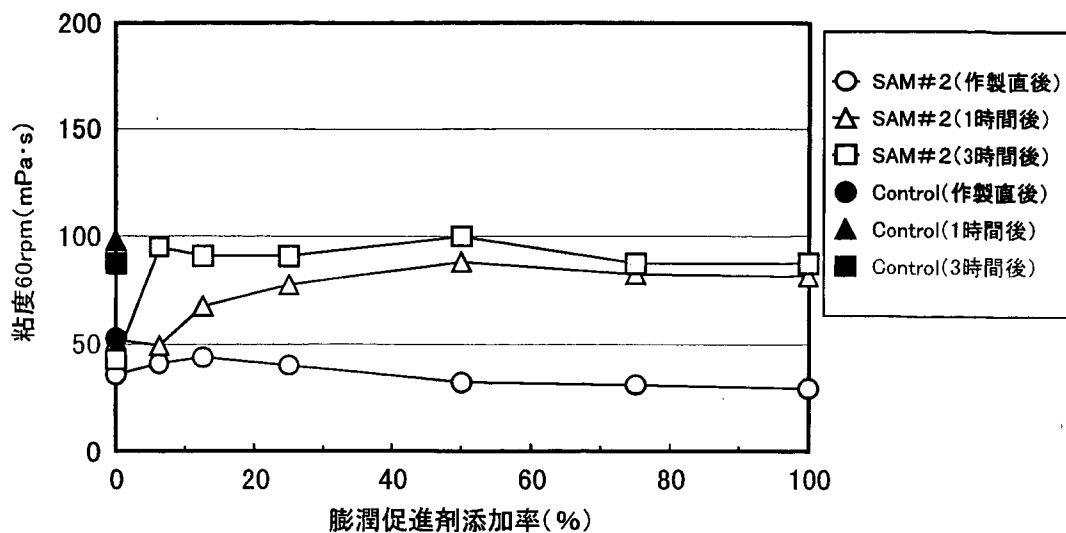
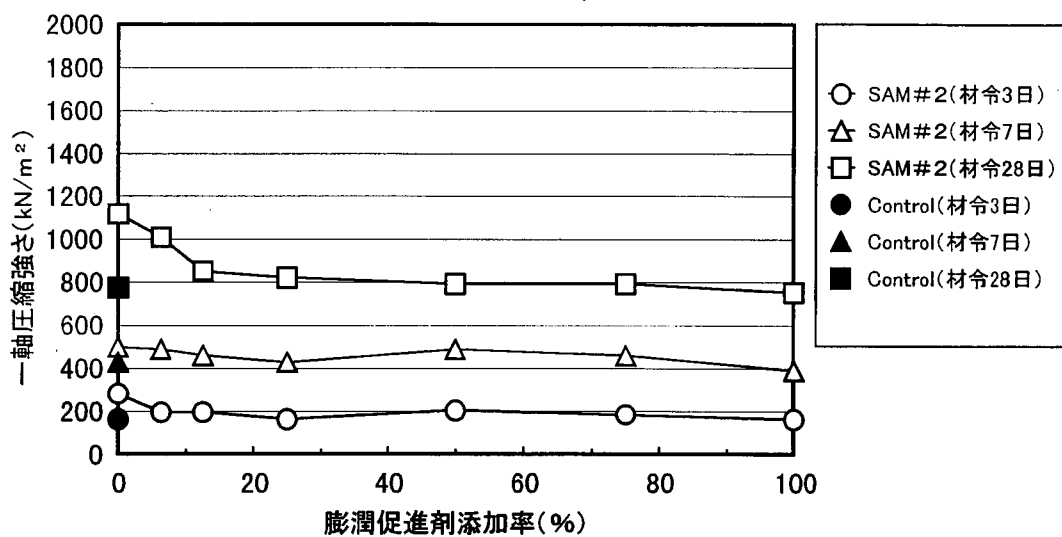


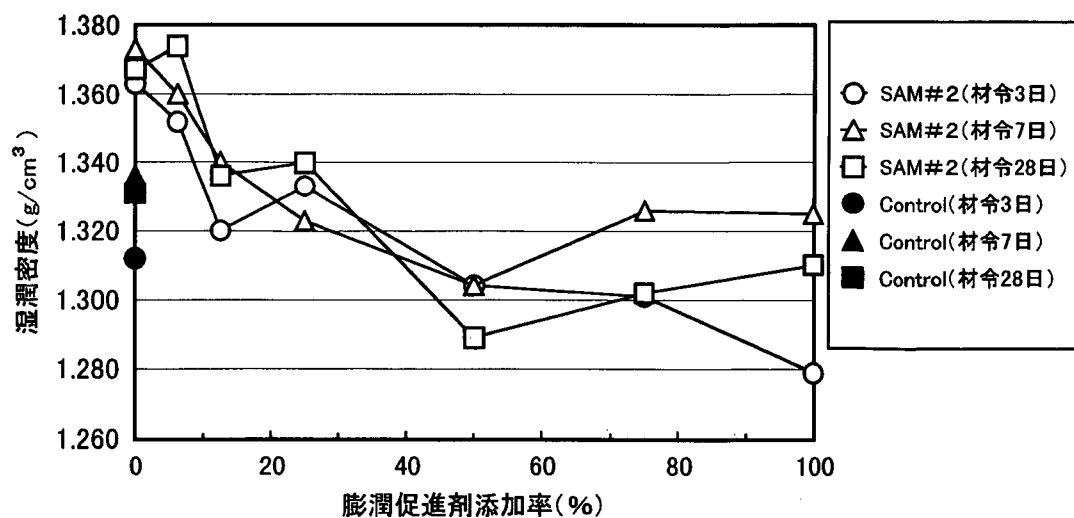
図-4.24 ケース24の試験結果(Bt:As,S:#2,W/(Bt+C)=400%,Bt/C=5%)



(d) 粘度(ローターの回転数60rpm)



(e) 一軸圧縮強さ



(f) 湿潤密度

図-4.24 ケース24の試験結果 (Bt:As,S:#2,W/(Bt+C)=400%,Bt/C=5%)

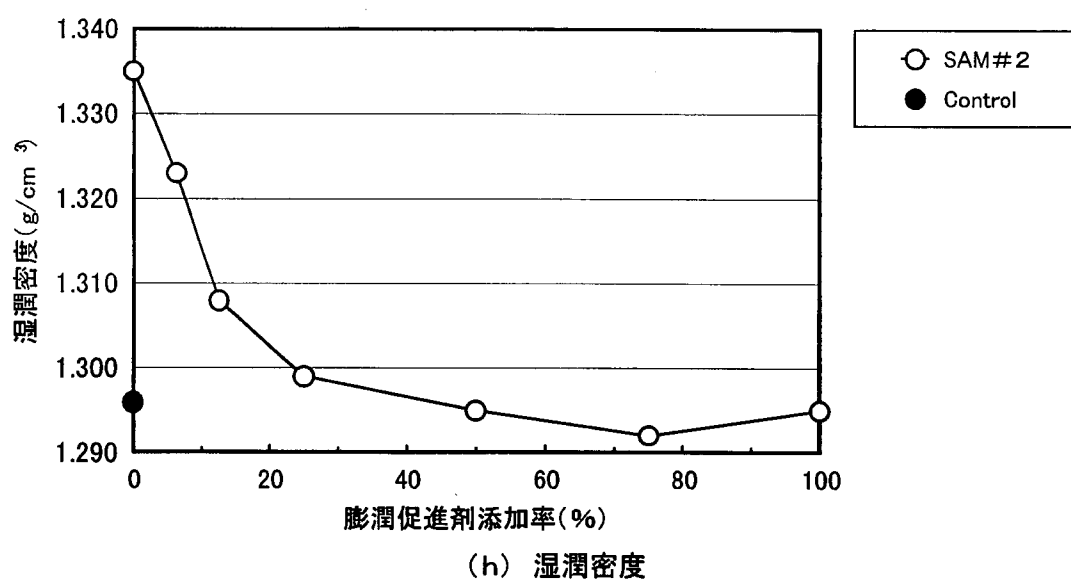
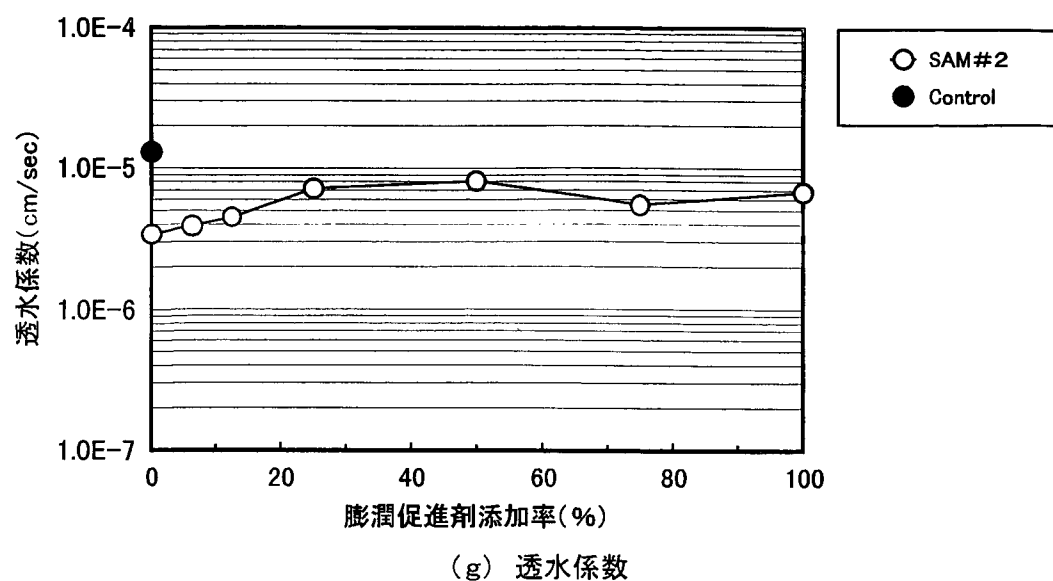


図-4.24 ケース24の試験結果 (Bt:As,S:#2,W/(Bt+C)=400%,Bt/C=5%)

(7) ケース 25(試験条件 Bt:As、S:#2、W/(Bt+C)=600%、Bt/C=5%)

ケース 25 の試験結果一覧を表-4.25 に、コントロールおよび SAM 添加 CB の各種物性の変化を図-4.25(a)~(h)に示す。

① ブリージング率

SAM#2 添加 CB のブリージング率は、1 時間後の値と 24 時間後の値との差が小さいことから、ブリージングは 1 時間以内でほぼ完了すると考えられる。24 時間後の SAM#2 添加 CB のブリージング率は、SAM の添加率増加に伴って 68.1%から 58.5%に 10%程度減少する。このとき、ブリージング率の減少度合いは、SAM=25%以上になるとその勾配が緩くなっている。したがって、添加剤として適当な量でかつ CB グラウトの安定性改善に対しても効果がある SAM の最適添加率は、25%付近に存在するものと考えられる。

SAM#2 添加 CB とコントロールを比較する。24 時間後のブリージング率は、SAM=0%が 68.1%、コントロールが 59.2%であり、コントロールの方が 9%程度小さいのでベントナイトを事前膨潤する効果がみられる。一方、SAM=25%および 50%の 24 時間後のブリージング率は、62.6%および 61.2%であり、コントロールよりも 2~3%程度の低減なので、コントロールと SAM=25%および 50%における SAM#2 添加 CB の安定性は、ほぼ同等であると考ええる。

② ファンネル粘度

試料作製直後の SAM#2 添加 CB は、いずれも 19.5sec 程度を示す。また、3 時間後では、いずれも 20sec 程度を示す。このように、SAM#2 添加 CB は、SAM の添加率に関係なく、同程度の均質性を有するものと考えられる。

SAM#2 添加 CB とコントロールを比較する。試料作製直後でも、3 時間後においても、両試料ともに 20sec 程度を示す。したがって、両試料の均質性は、ほぼ同等であると考えられる。ただし、水のファンネル粘度が 18.4sec であったことから、水比が 600%ぐらいになると、ファンネル粘度による差が明確に議論できない可能性もある。

③ 粘度 (ローターの回転数 6rpm)

試料作製直後の SAM#2 添加 CB は、いずれも 45~65mPa・s 程度を示す。また、試料作製 3 時間後では、いずれも 200~265mPa・s 程度を示す。したがって SAM#2 添加 CB は、SAM の添加率に関係なく同程度の均質性を有するものと考えられる。

SAM#2 添加 CB とコントロールを比較する。試料作製直後では、SAM#2 添加 CB が 45~65mPa・s、コントロールが 115mPa・s なので、コントロールの方が若干粘度は高い。しかし、試料作製 3 時間後では SAM#2 添加 CB とコントロールは同程度の値を示す。

④ 粘度 (ローターの回転数 60rpm)

試料作製直後の SAM#2 添加 CB の粘度は、いずれも 13mPa・s 程度を示す。また、3 時間後では、いずれも 60mPa・s 程度を示す。

SAM#2 添加 CB とコントロールを比較する。試料作製直後の粘度は、SAM=0%が 15.5mPa・s、コント

ロールが $21.5\text{mPa}\cdot\text{s}$ であり、その差は小さい。また、3 時間後では、 $\text{SAM}=0\%$ が $56\text{mPa}\cdot\text{s}$ 、コントロールが $76.5\text{mPa}\cdot\text{s}$ であり、いずれの時間経過においても両試料の粘度には明確な差がみられない。また、 $\text{SAM}=6.25\%$ 以上の試料とコントロールとでは、同等経過時間における粘度はほぼ同じ値を示している。したがって、コントロールおよび $\text{SAM}\#2$ 添加 CB は、同程度の均質性を有するものと考ええる。

⑤ 一軸圧縮強さおよび湿潤密度

$\text{SAM}\#2$ 添加 CB の材令 3 日の一軸圧縮強さは、いずれも $100\sim 200\text{kN/m}^2$ 程度を示す。しかし、材令 28 日では、 $\text{SAM}=25\%$ 以下の試料が 900kN/m^2 程度、 $\text{SAM}=50\%$ 以上の試料が 500kN/m^2 程度を示す。このとき、試料の湿潤密度も一軸圧縮強さの小さい試料ほど小さくなっている。したがって SAM の最適添加率は、 25% 程度であると考えられる。

$\text{SAM}\#2$ 添加 CB とコントロールを比較する。材令 3 日の一軸圧縮強さは、 $\text{SAM}=0\%$ が 206kN/m^2 、コントロールが 88kN/m^2 であり、材令 28 日の一軸圧縮強さは、 $\text{SAM}=0\%$ が 961kN/m^2 、コントロールが 520kN/m^2 となり、コントロールよりも $\text{SAM}=0\%$ の方が大きくなっている。また、両試料の湿潤密度を比較すると、 $\text{SAM}=0\%$ の方がコントロールよりも湿潤密度が大きいので、一般的なセメント固化体の傾向と一致する。ただし、この差は、材令 28 日において 460kN/m^2 程度と小さいので、両試料の均質性に関しては同程度と考える。また、 $\text{SAM}=6.25\%$ 以上の試料とコントロールを比較すると、 $\text{SAM}=0\%$ で比較した結果とよりもその差は小さく、均質性は同程度であると考ええる。

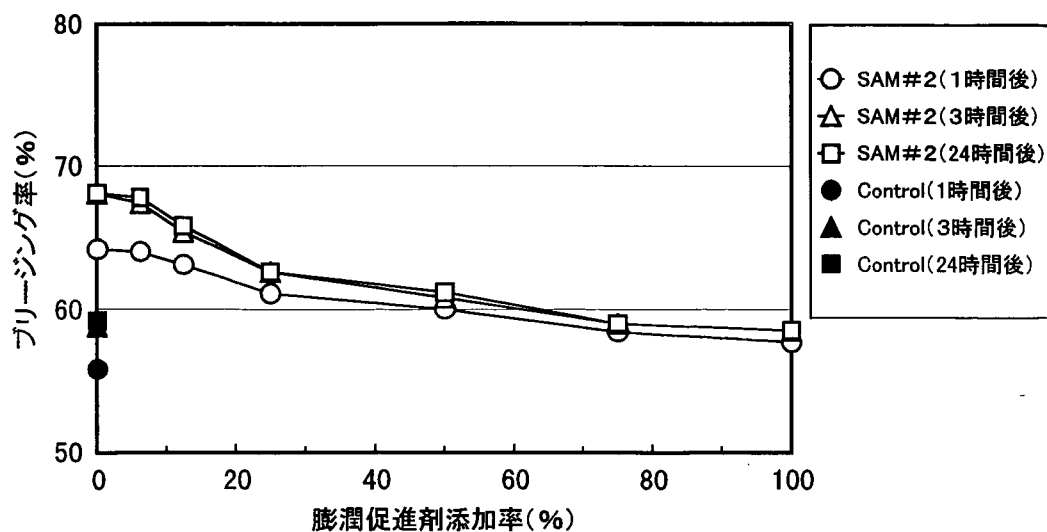
⑥ 透水係数および湿潤密度

$\text{SAM}\#2$ 添加 CB の透水係数は、 $\text{SAM}=0\%$ が 10^{-7}cm/sec オーダと若干低いことを除き、この他の試料は 10^{-6}cm/sec オーダーを示し、 SAM の添加率増加による大きな差はみられない。また、コントロールの透水係数は、 $2.8\times 10^{-6}\text{cm/sec}$ と $\text{SAM}=6.25\%$ 以上の試料と同程度を示す。このように、試料の透水性は、同程度を示すコントロールおよび $\text{SAM}=6.25\%$ 以上の試料よりも $\text{SAM}=0\%$ の方が低くなる。

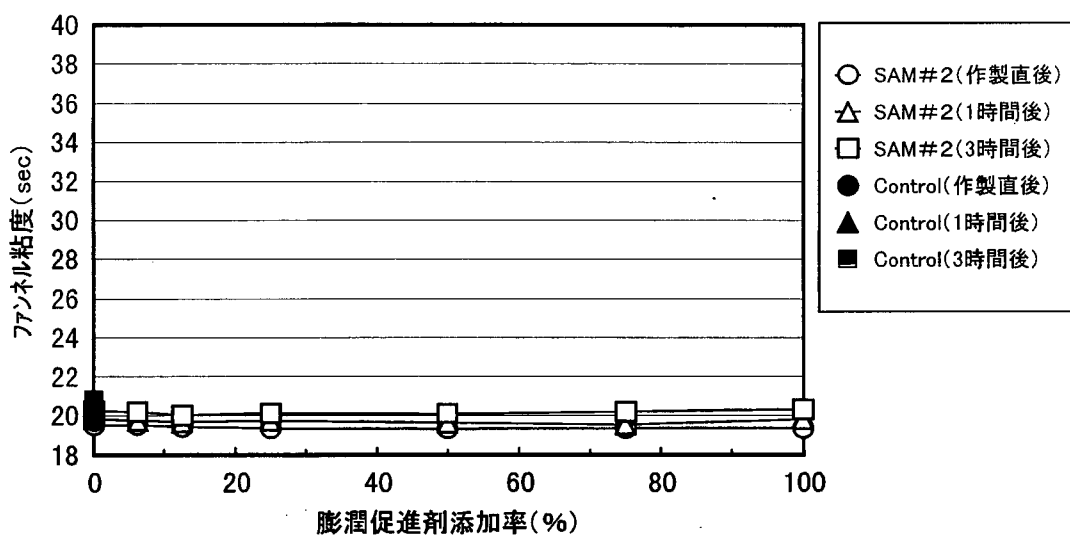
表-4.25 ケース25の試験結果(Bt:As,S:#2,W/(Bt+C)=600%,Bt/C=5%)

		SAM添加率 (%)							
		0	6.25	12.5	25	50	75	100	Control
ブリージング率 (%)	1時間後	64.2	64.0	63.1	61.1	60.0	58.4	57.7	55.8
	3時間後	68.1	67.4	65.4	62.6	60.8	59.0	58.5	58.8
	24時間後	68.1	67.8	65.8	62.6	61.2	59.0	58.5	59.2
ファンネル粘度 (sec)	作製直後	19.5	19.5	19.4	19.4	19.3	19.4	19.4	19.8
	1時間後	19.9	19.7	19.7	19.7	19.6	19.5	19.8	20.5
	2時間後	20.1	20.0	20.1	20.1	19.9	20.1	20.3	20.8
	3時間後	20.2	20.2	20.0	20.1	20.1	20.2	20.3	20.8
粘度 (ローター回転数:6rpm) (mPa・s)	作製直後	55.0	45.0	45.0	60.0	50.0	65.0	60.0	115.0
	1時間後	95.0	105.0	125.0	145.0	125.0	130.0	140.0	190.0
	2時間後	170.0	165.0	180.0	195.0	175.0	175.0	240.0	215.0
	3時間後	225.0	230.0	220.0	225.0	200.0	225.0	265.0	230.0
粘度 (ローター回転数:60rpm) (mPa・s)	作製直後	15.5	13.5	13.0	13.5	13.0	13.0	13.0	21.5
	1時間後	24.0	26.0	28.0	34.5	27.0	26.5	31.5	47.0
	2時間後	41.0	42.5	47.0	54.5	46.0	47.5	63.5	71.5
	3時間後	56.0	56.5	58.0	61.5	57.0	62.5	69.0	76.5
一軸圧縮強さ (kN/m ²)	材令3日	206	177	157	118	127	118	118	88
	材令7日	481	461	422	353	284	294	304	255
	材令28日	961	961	902	735	530	530	530	520
湿潤密度 (g/cm ³)	材令3日	1.365	1.337	1.316	1.305	1.308	1.327	1.339	1.301
	材令7日	1.367	1.350	1.333	1.297	1.314	1.316	1.306	1.295
	材令28日	1.400	1.371	1.346	1.323	1.314	1.312	1.314	1.284
透水係数(cm/sec)	材令28日	7.3×10^{-7}	2.4×10^{-6}	6.3×10^{-6}	3.9×10^{-6}	7.8×10^{-6}	6.3×10^{-6}	5.5×10^{-6}	2.8×10^{-6}
湿潤密度(g/cm ³)	材令28日	1.399	1.396	1.367	1.348	1.327	1.322	1.332	1.301

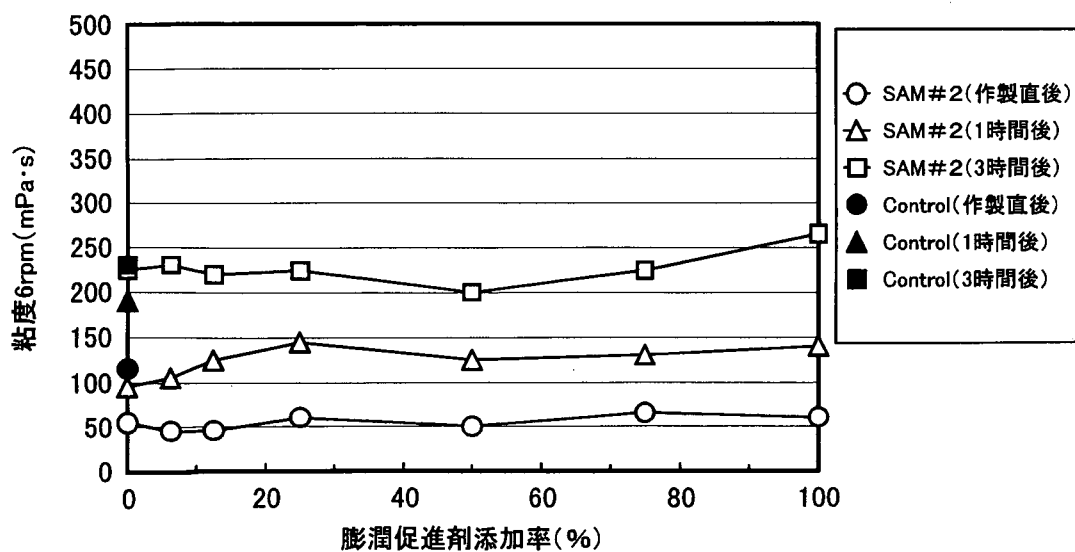
注) 空欄は試験を実施していないことを示し、測定値の「-」は測定限界を示す。



(a) フリージング率

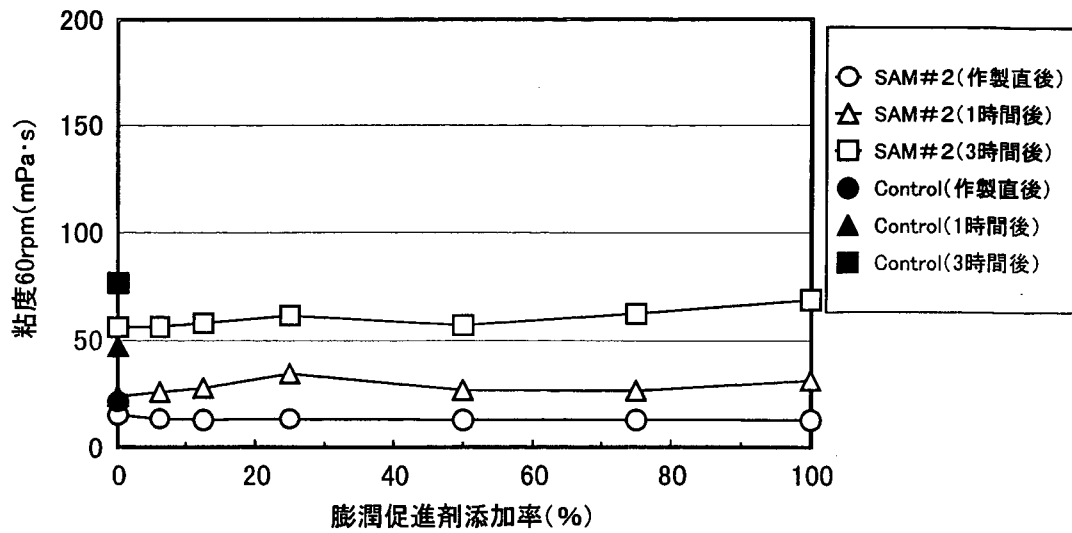


(b) ファンネル粘度

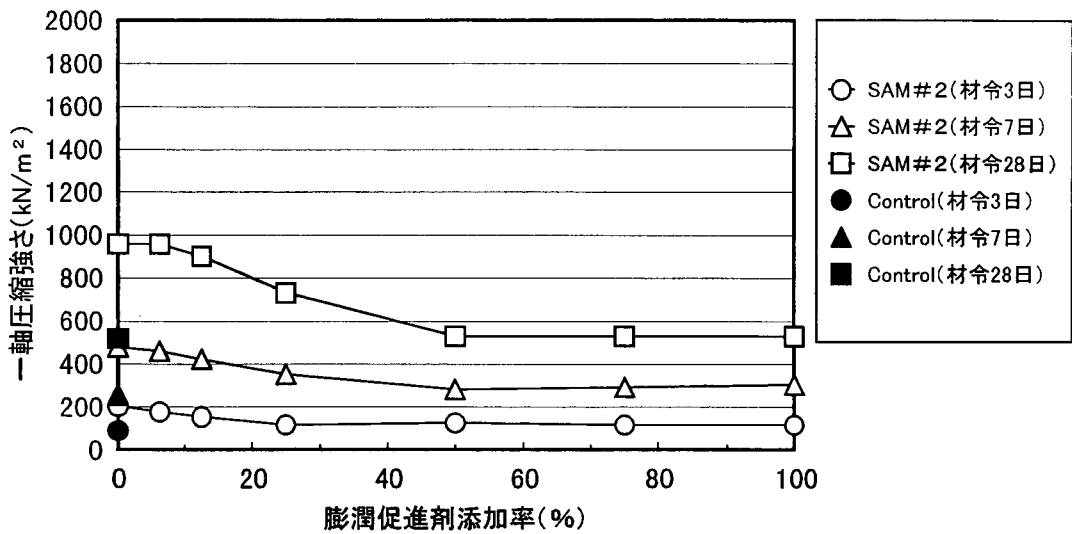


(c) 粘度(ローターの回転数6rpm)

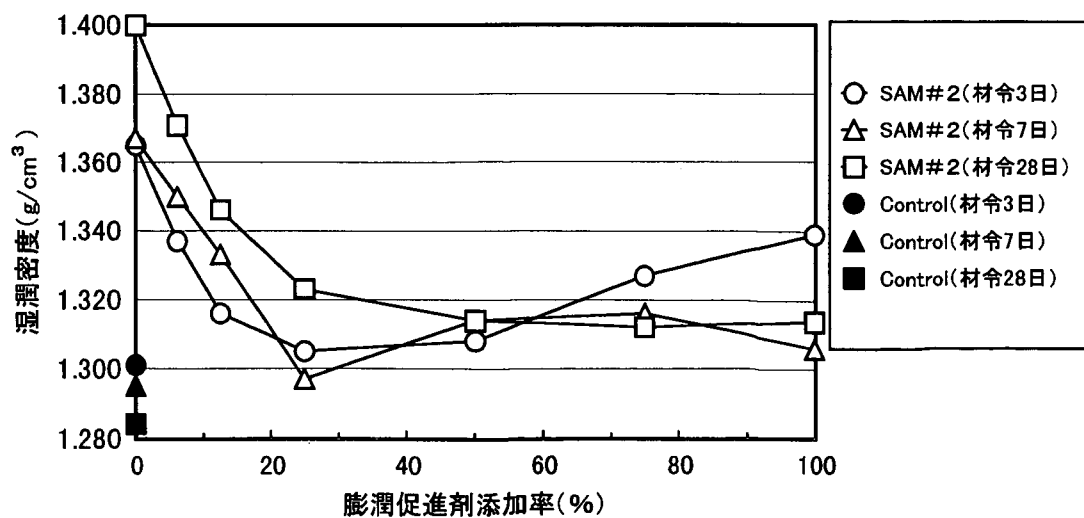
図-4.25 ケース25の試験結果(Bt:As,S:#2,W/(Bt+C)=600%,Bt/C=5%)



(d) 粘度(ローターの回転数60rpm)



(e) 一軸圧縮強さ



(f) 湿潤密度

図-4.25 ケース25の試験結果(Bt:As,S:#2,W/(Bt+C)=600%,Bt/C=5%)

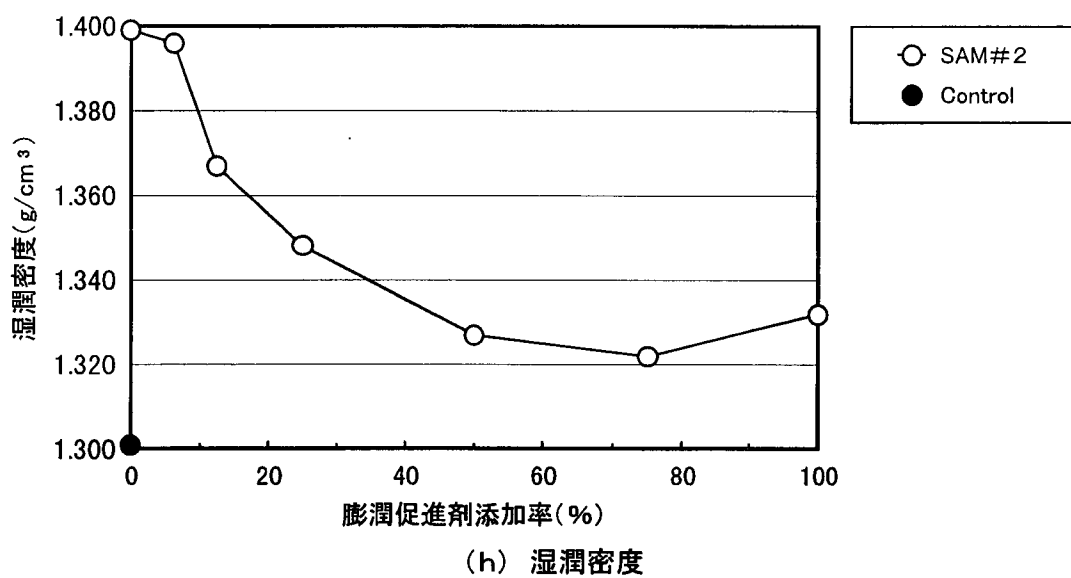
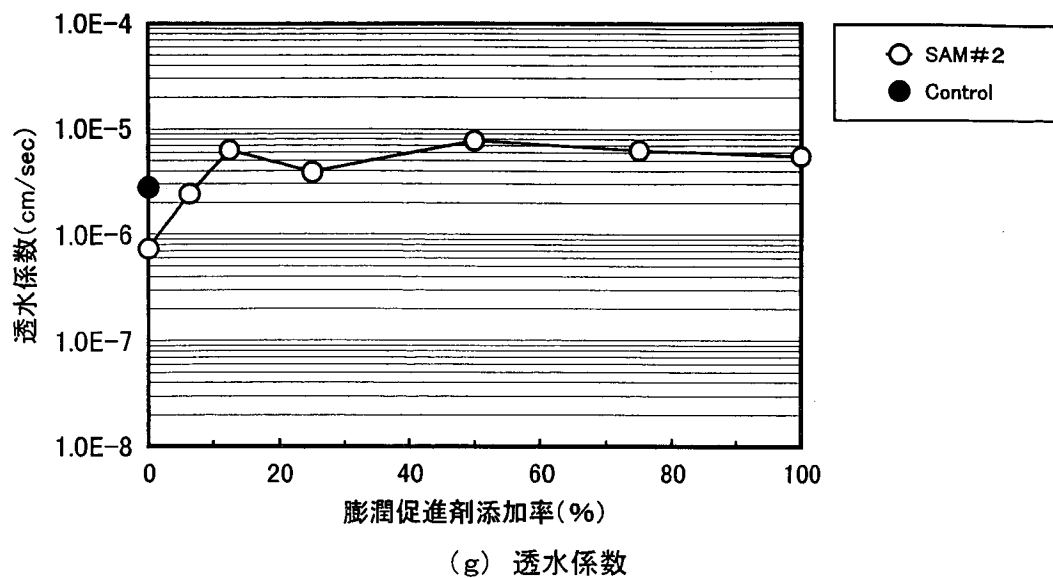


図-4.25 ケース25の試験結果 (Bt:As,S:#2,W/(Bt+C)=600%,Bt/C=5%)

(8) ケース 26(試験条件 Bt:As、S:#2、W/(Bt+C)=800%、Bt/C=5%)

ケース 26 の試験結果一覧を表-4.26 に、コントロールおよび SAM 添加 CB の各種物性の変化を図-4.26(a)~(h)に示す。

① ブリージング率

SAM#2 添加 CB のブリージング率は、1 時間後の値と 24 時間後の値の差が小さいことから、ブリージングは 1 時間以内でほぼ完了すると考えられる。24 時間後の SAM#2 添加 CB のブリージング率は、SAM の添加率増加に伴って小さくなるが、その変化量は 8%程度と小さい。したがって、SAM#2 添加 CB の安定性は、SAM の添加率によって大きく変化せずどの試料も同程度であると考ええる。

SAM#2 添加 CB とコントロールを比較する。24 時間後のブリージング率は、SAM=0%が 74.1%、コントロールが 66.8%であり、コントロールの方が小さいが、その差が 7%程度である。また、SAM の添加率の増加によりその差は小さくなっている。

② ファンネル粘度

SAM#2 添加 CB は、いずれも 19~20sec 程度を示す。このように、SAM#2 添加 CB は、経過時間や SAM の添加率に関係なく、同程度の粘度を有するものと考ええる。

SAM#2 添加 CB とコントロールを比較する。試料作製直後でも、3 時間後においても、試料の粘度が同程度あることから推定すると、試料の均質性は、SAM の添加の有無およびベントナイトの事前膨潤による差異はないと考える。ただし、水のファンネル粘度が 18.4sec であったことから、水比が 800% ぐらい薄くなると、ファンネル粘度による差が明確に議論できない可能性もある。

③ 粘度 (ローターの回転数 6rpm)

SAM#2 添加 CB は、試料作製直後でいずれも 30mPa・s 程度、3 時間後でいずれも 150mPa・s 程度を示す。このように、SAM の添加率による粘度変化はみられないので、どの試料も同程度の均質性を有するものと考ええる。

SAM#2 添加 CB とコントロールを比較する。試料作製直後では、SAM#2 添加 CB が 30mPa・s 程度、コントロールが 50mPa・s なので、コントロールの方が若干粘度は高い。また、3 時間後においても、SAM#2 添加 CB が 150mPa・s 程度、コントロールが 165.0mPa・s であり、いずれの経過時間においてもコントロールの方が高い。しかし、その差は 20mPa・s 程度と小さいので、両試料の粘度はほぼ同じと考える。

④ 粘度 (ローターの回転数 60rpm)

SAM#2 添加 CB は、試料作製直後でいずれも 10mPa・s 程度、3 時間後でいずれも 30~40mPa・s 程度を示す。このように、SAM の添加率による粘度変化は小さいので、どの試料も同程度の均質性を有するものと考ええる。

SAM#2 添加 CB とコントロールを比較する。試料作製直後では、SAM#2 添加 CB がいずれも 10mPa・s 程度、コントロールが 14mPa・s であり、3 時間後では、SAM#2 添加 CB がいずれも 30~40mPa・s 程度、コントロールが 44mPa・s であり、いずれの経過時間においても同程度の粘度を示す。

⑤ 一軸圧縮強さおよび湿潤密度

SAM#2 添加 CB の一軸圧縮強さは、材令 3 日では、SAM=0%で 177kN/m^2 、SAM=100%で 108kN/m^2 を示し、材令 28 日では、SAM=0%で 647kN/m^2 、SAM=100%で 431kN/m^2 を示し、SAM の添加率に伴い若干小さくなる傾向を示す。一方、湿潤密度をみると、一軸圧縮強さの大きい試料ほど湿潤密度も大きくなっており、一般的な固化体と一致する傾向を示す。このように、SAM の添加率が小さい試料ほど緻密で固い試料となる傾向はみられるが、その差は小さいので、SAM#2 添加 CB の均質性は、SAM の添加率に関係なく同程度であると考ええる。

SAM#2 添加 CB とコントロールを比較する。SAM=0%とコントロールは、材令 3 日ではほとんど差がないが、材令 28 日では、SAM=0%が 647kN/m^2 、コントロールが 304kN/m^2 であり、SAM=0%の方が若干大きくなっている。湿潤密度は、コントロールよりも SAM=0%の方が大きくなっている。このことは、SAM=6.25%以上の試料とコントロールを比較しても同様な傾向である。したがって、他の試験ケースの結果とこのケースの結果から推定すると、コントロールは、SAM=0%の試料および SAM=6.25%以上の試料よりも均質性が低い傾向がみられる。しかし、その差の絶対値が他の試験ケースと比べ極めて小さいので、試料の均質性にはほとんど差がないものと考ええる。

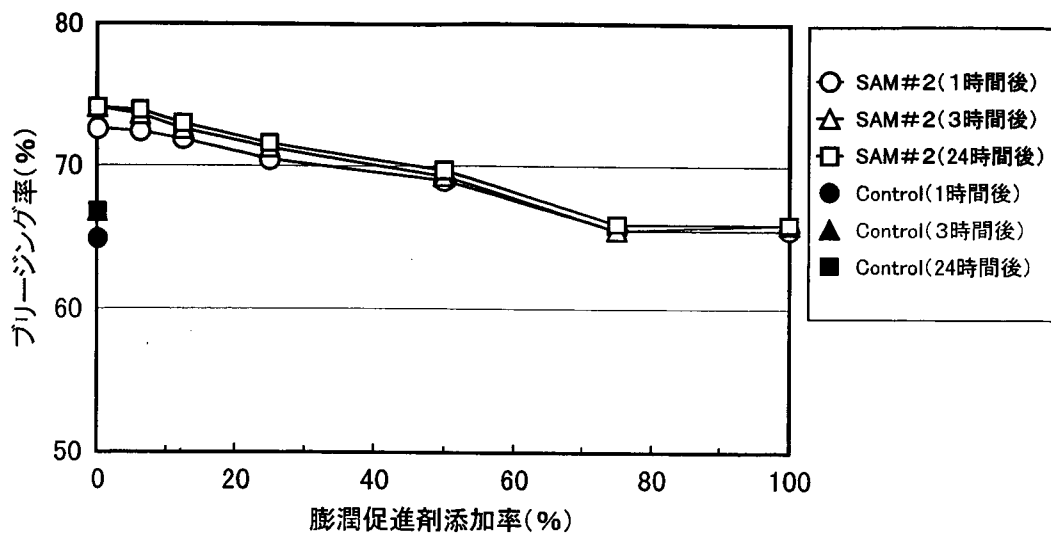
⑥ 透水係数および湿潤密度

SAM#2 添加 CB の透水係数は、SAM=50%以上の試料では 10^{-5}cm/sec オーダを示すが、これらの試料よりも一軸圧縮強さおよび湿潤密度が高かった SAM=0~25%試料は 10^{-6}cm/sec オーダである。一方、コントロールは $3.4 \times 10^{-5}\text{cm/sec}$ であり、SAM#2 添加 CB よりもコントロールの方が透水性は高い。また、湿潤密度についても、この傾向を裏付けるように、透水係数の高い試料ほどその湿潤密度が小さくなっている。したがって、コントロールの試料の均質性は若干低くなるが、透水係数以外の物性比較結果を併せて考慮すると、試料の均質性には大きな差はないと考ええる。

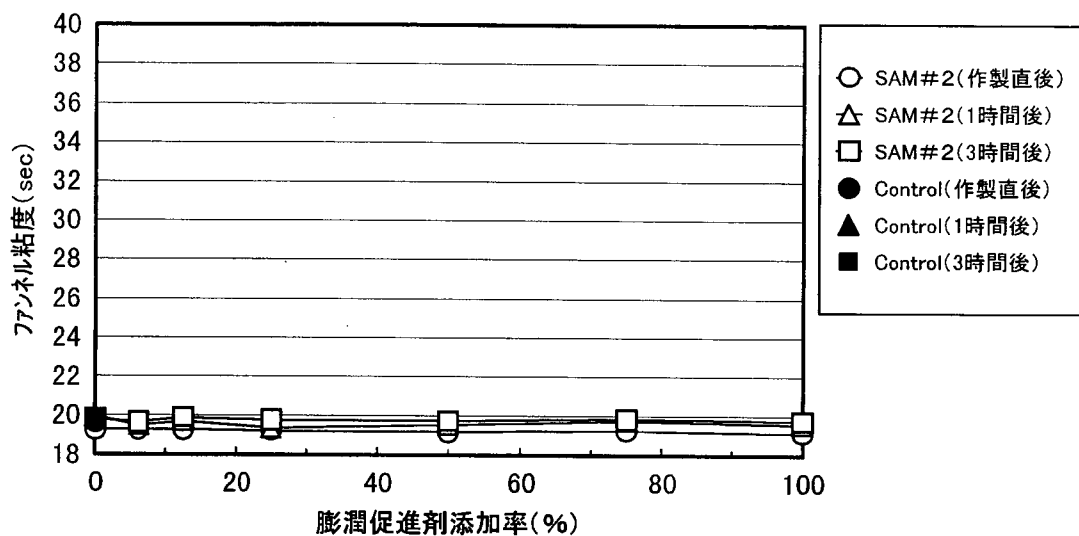
表-4.26 ケース26の試験結果(Bt:As,S:#2,W/(Bt+C)=800%,Bt/C=5%)

		SAM添加率 (%)							
		0	6.25	12.5	25	50	75	100	Control
ブリージング率 (%)	1時間後	72.6	72.4	71.9	70.5	69.0	65.5	65.5	64.9
	3時間後	74.1	73.6	72.6	71.3	69.3	65.5	65.9	66.8
	24時間後	74.1	73.9	73.0	71.6	69.7	65.9	65.9	66.8
ファンネル粘度 (sec)	作製直後	19.3	19.3	19.3	19.2	19.2	19.3	19.1	19.6
	1時間後	19.9	19.5	19.7	19.4	19.5	19.7	19.6	19.9
	2時間後	20.1	19.7	19.5	19.8	19.7	19.9	19.9	20.2
	3時間後	19.8	19.7	19.9	19.8	19.7	19.9	19.7	19.8
粘度 (ローター回転数:6rpm) (mPa・s)	作製直後	35.0	35.0	30.0	25.0	25.0	25.0	30.0	50.0
	1時間後	80.0	85.0	90.0	90.0	90.0	90.0	75.0	115.0
	2時間後	125.0	105.0	110.0	115.0	140.0	140.0	125.0	150.0
	3時間後	150.0	125.0	125.0	140.0	150.0	155.0	150.0	165.0
粘度 (ローター回転数:60rpm) (mPa・s)	作製直後	11.0	10.5	9.5	9.0	8.5	8.5	9.0	14.0
	1時間後	18.5	19.0	20.0	19.5	21.5	22.5	18.0	28.0
	2時間後	29.0	26.0	28.0	29.0	34.0	35.5	33.5	39.5
	3時間後	32.0	30.5	32.0	33.0	38.5	39.5	39.0	44.0
一軸圧縮強さ (kN/m ²)	材令3日	177	147	147	127	137	98	108	59
	材令7日	304	304	304	275	275	216	235	137
	材令28日	647	657	637	598	510	461	431	304
湿潤密度 (g/cm ³)	材令3日	1.348	1.314	1.334	1.307	1.272	1.284	1.302	1.275
	材令7日	1.335	1.326	1.315	1.306	1.293	1.275	1.266	1.267
	材令28日	1.331	1.327	1.325	1.317	1.283	1.293	1.287	1.274
透水係数(cm/sec)	材令28日	3.2×10 ⁻⁶	3.1×10 ⁻⁶	4.0×10 ⁻⁶	8.3×10 ⁻⁶	1.3×10 ⁻⁵	2.3×10 ⁻⁵	3.4×10 ⁻⁵	3.4×10 ⁻⁵
湿潤密度(g/cm ³)	材令28日	1.347	1.357	1.344	1.324	1.318	1.289	1.271	1.266

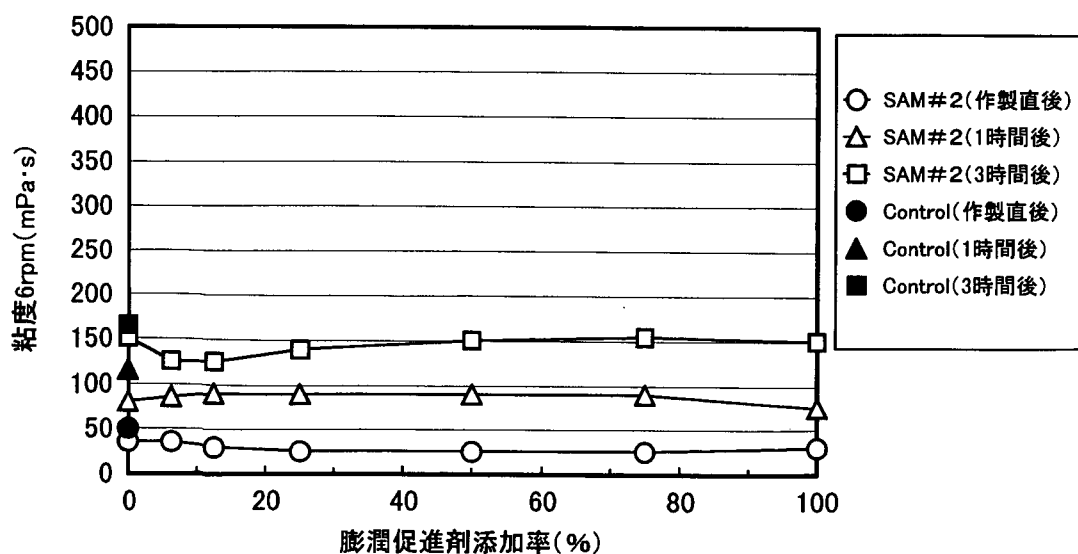
注) 空欄は試験を実施していないことを示し、測定値の「-」は測定限界を示す。



(a) ブリージング率

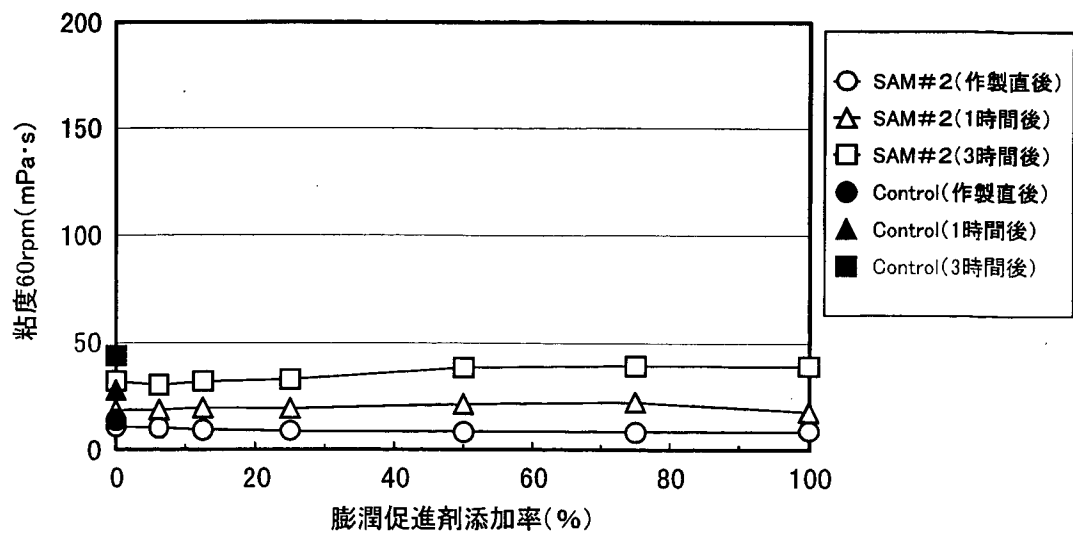


(b) ファンネル粘度

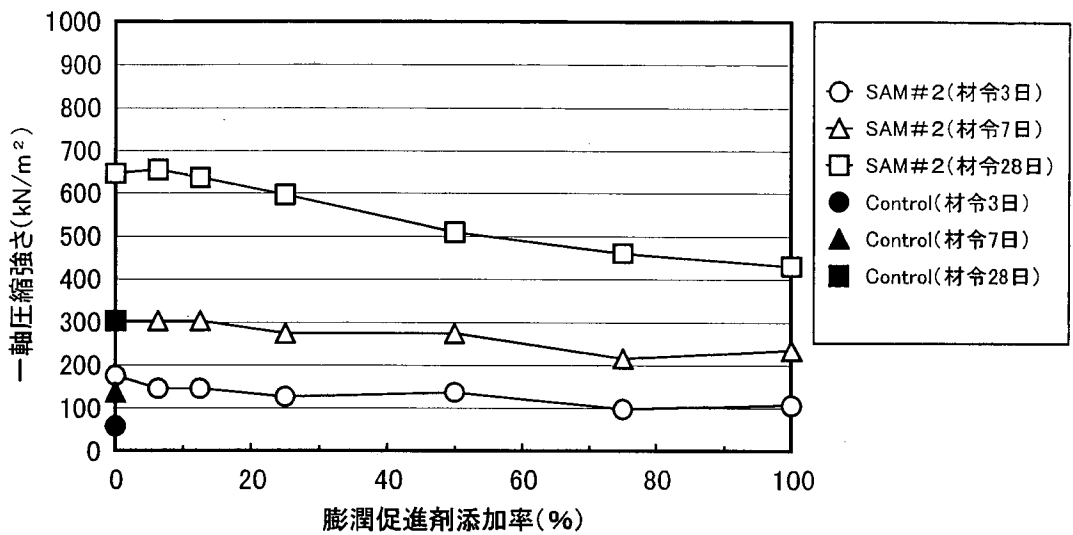


(c) 粘度(ローターの回転数6rpm)

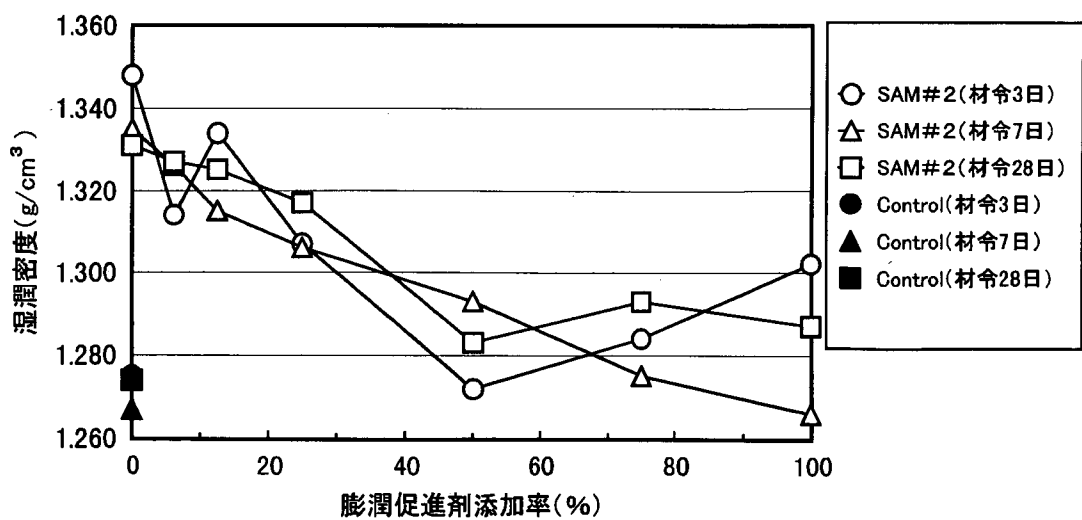
図-4.26 ケース26の試験結果(Bt:As,S:#2,W/(Bt+C)=800%,Bt/C=5%)



(d) 粘度(ローターの回転数60rpm)



(e) 一軸圧縮強さ



(f) 湿潤密度

図-4.26 ケース26の試験結果(Bt:As,S:#2,W/(Bt+C)=800%,Bt/C=5%)

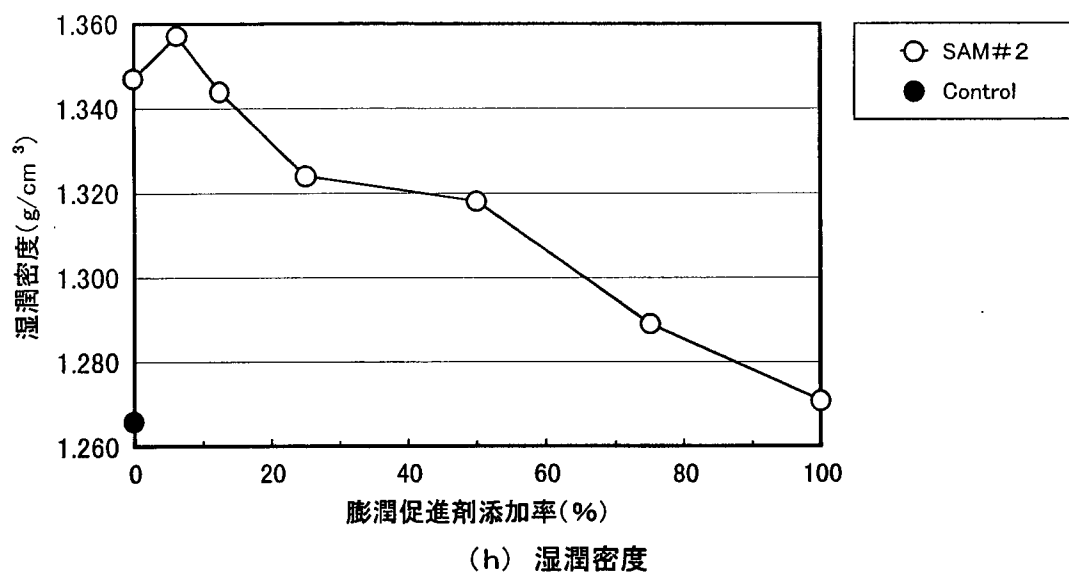
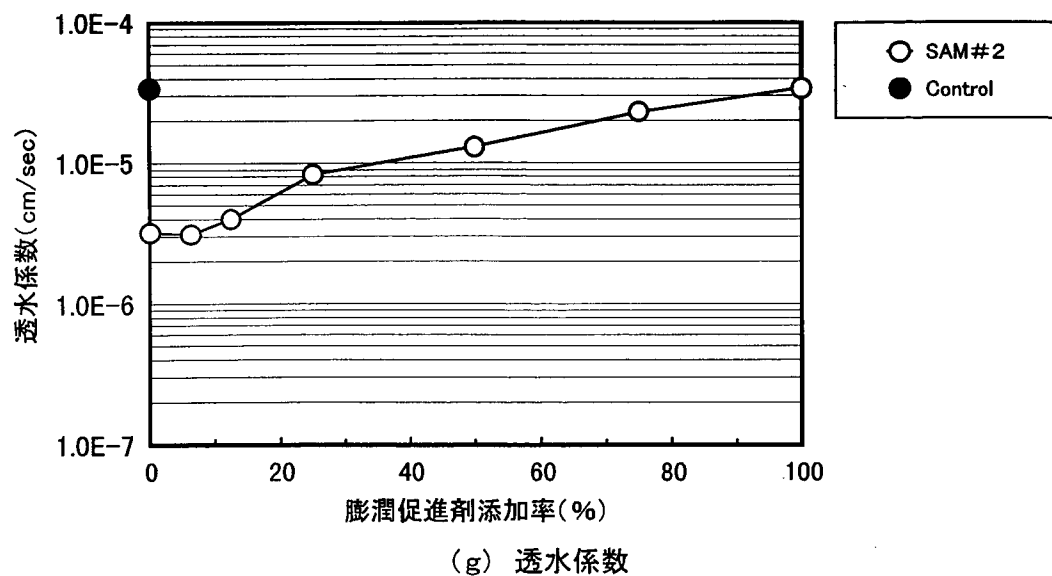


図-4.26 ケース26の試験結果 (Bt:As,S:#2,W/(Bt+C)=800%,Bt/C=5%)

(9) ケース 27(試験条件 Bt:As, S:#2, W/(Bt+C)=1000%, Bt/C=5%)

ケース 27 の試験結果一覧を表-4.27 に、コントロールおよび SAM 添加 CB の各種物性の変化を図-4.27(a)~(h)に示す。

① ブリージング率

SAM#2 添加 CB のブリージング率は、1 時間後の値と 24 時間後の値の差が小さいことから、ブリージングは 1 時間以内ではほぼ完了すると考えられる。SAM#2 添加 CB のブリージング率は、SAM の添加率増加に伴って小さくなるが、その変化量は 7%程度と小さい。したがって、SAM#2 添加 CB の安定性は、SAM の添加率によって変化せずどの試料も同程度であるとする。

SAM#2 添加 CB とコントロールを比較する。24 時間後のブリージング率は、SAM=0%が 78.2%、コントロールが 71.6%であり、コントロールの方が小さいが、その差が 7%程度と小さいので両試料の安定性は同程度であるとする。また、SAM=6.25%以上の試料とコントロールを比較しても、SAM の添加率の増加によりその差が小さくなるので、両試料の安定性は同程度であるとする。

② ファンネル粘度

試料作製直後の SAM#2 添加 CB は、いずれも 19sec 程度を示す。また、3 時間後では、いずれも 19.5sec 程度を示す。このように、SAM#2 添加 CB は、SAM の添加率に関係なく、同程度の粘度を有するものとする。

SAM#2 添加 CB とコントロールを比較する。試料作製直後では、両試料ともに 19sec 程度を示し、3 時間後では、19.5sec を示す。したがって、同等測定時間における試料の粘度が同程度あることから、試料の均質性は、SAM の添加の有無およびベントナイトの事前膨潤による差異はなく、どの試料も同程度の粘度を有するものとする。ただし、水のファンネル粘度が 18.4sec であったことから、水比が 1000% ぐらい薄くなると、ファンネル粘度による差が明確に議論できない可能性もある。

③ 粘度 (ローターの回転数 6rpm)

SAM#2 添加 CB は、試料作製直後ではいずれも 10~30mPa・s 程度を示し、3 時間後ではいずれも 105~140mPa・s 程度を示す。しかし、その差は小さいので、同程度の均質性を有するものとする。

SAM#2 添加 CB とコントロールを比較する。試料作製直後では、SAM#2 添加 CB が 10~30mPa・s 程度、コントロールが 25mPa・s であり、3 時間後では、SAM#2 添加 CB が 105~140mPa・s 程度、コントロールが 105mPa・s である。いずれの経過時間においてもコントロールと SAM#2 添加 CB は同程度の粘度を示すので、試料の均質性は、SAM 添加の有無およびベントナイトの事前膨潤による差異はなく、どの試料も同程度であるとする。

④ 粘度 (ローターの回転数 60rpm)

SAM#2 添加 CB は、試料作製直後ではいずれも 10mPa・s 以下を示し、3 時間後ではいずれも 25mPa・s 程度を示す。したがって、SAM の添加率に関係なくどの試料も同程度の均質性を有するものとする。

SAM#2 添加 CB とコントロールを比較する。試料作製直後では、SAM#2 添加 CB はいずれも 10mPa・s 以下、コントロールは 8.5mPa・s を示し、3 時間後では、SAM#2 添加 CB はいずれも 25mPa・s 程度、

コントロールは $28.5\text{mPa}\cdot\text{s}$ を示す。いずれの経過時間においてもコントロールと SAM#2 添加 CB は同程度の粘度を示すので、試料の均質性は、SAM 添加の有無およびベントナイトの事前膨潤による差異はなく、どの試料も同程度であると考ええる。

⑤ 一軸圧縮強さおよび湿潤密度

SAM#2 添加 CB の一軸圧縮強さは、材令 3 日では、SAM の添加率増加に伴い 118kN/m^2 から 88kN/m^2 に若干小さくなる傾向を示し、材令 28 日では、一旦上昇した後、小さくなる傾向を示す。一方、湿潤密度をみると、一軸圧縮強さの大きい試料（SAM の添加率が少ない試料）ほど湿潤密度も大きく（固化体が密）になっており、一般的な固化体と一致する傾向を示す。

SAM#2 添加 CB とコントロールを比較する。材令 3 日では SAM=0% が 118kN/m^2 、コントロールが 39kN/m^2 を示し、材令 28 日では、SAM=0% が 422kN/m^2 、コントロールが 167kN/m^2 を示し、SAM=0% の方が大きくなっている。湿潤密度は、コントロールよりも SAM=0% の方が若干大きくなっている。一方、SAM=6.25% 以上の試料とコントロールを比較した場合においても、上述のような傾向がうかがえる。したがって、他の試験ケースの結果とこのケースの結果から推定すると、コントロールは、SAM=0% の試料および SAM=6.25% 以上の試料よりも均質性が低い傾向がみられる。しかし、各物性の差が他の試験ケースと比べ極めて小さいので、試料の均質性にはほとんど差がないものと考ええる。

⑥ 透水係数および湿潤密度

SAM#2 添加 CB の透水係数は、若干ばらつきはみられるものの、全体的にどの試料も $1\times 10^{-5}\text{cm/sec}$ 前後を示す。透水係数のばらつきと同様、湿潤密度においても 1.32g/cm^3 を中心に若干ばらつきがみられる。一方、コントロールは $1.2\times 10^{-6}\text{cm/sec}$ を示し、SAM#2 添加 CB と比べるとその透水性は 1 オーダ程度低くなる。したがって、コントロールの透水性は、SAM#2 添加 CB よりも低くなるが、透水係数以外の物性比較結果を併せて考慮すると、試料の均質性には大きな差はないと考える。

表-4.27 ケース27の試験結果(Bt:As,S:#2,W/(Bt+C)=1000%,Bt/C=5%)

		SAM添加率 (%)							
		0	6.25	12.5	25	50	75	100	Control
ブリージング率 (%)	1時間後	77.9	77.9	77.5	76.3	75.6	73.6	72.1	70.8
	3時間後	78.2	78.6	77.9	76.7	75.9	73.6	72.1	71.6
	24時間後	78.2	79.0	77.9	76.7	75.9	73.6	72.1	71.6
ファンネル粘度 (sec)	作製直後	19.3	19.1	19.2	19.0	19.0	19.1	19.0	19.4
	1時間後	19.4	19.2	19.3	19.3	19.4	19.5	19.4	19.7
	2時間後	19.5	19.4	19.4	19.5	19.3	19.7	19.7	19.8
	3時間後	19.6	19.4	19.5	19.5	19.6	19.6	19.5	19.8
粘度 (ローター回転数:6rpm) (mPa・s)	作製直後	30.0	30.0	25.0	15.0	10.0	10.0	20.0	25.0
	1時間後	100.0	75.0	60.0	55.0	40.0	60.0	55.0	90.0
	2時間後	145.0	120.0	105.0	110.0	100.0	115.0	105.0	110.0
	3時間後	140.0	135.0	135.0	105.0	110.0	115.0	110.0	105.0
粘度 (ローター回転数:60rpm) (mPa・s)	作製直後	10.0	9.0	8.5	7.0	5.0	6.0	7.0	8.5
	1時間後	18.5	16.5	15.5	15.5	11.0	15.0	14.5	19.0
	2時間後	30.0	25.0	22.5	22.0	19.5	23.5	25.0	29.0
	3時間後	27.5	27.0	26.0	25.5	24.5	26.5	27.0	28.5
一軸圧縮強さ (kN/m ²)	材令3日	118	127	118	108	118	88	88	39
	材令7日	196	235	245	226	235	167	167	78
	材令28日	422	500	539	549	490	373	333	167
湿潤密度 (g/cm ³)	材令3日	1.294	1.307	1.300	1.280	1.294	1.250	1.255	1.257
	材令7日	1.294	1.307	1.302	1.308	1.282	1.269	1.264	1.259
	材令28日	1.307	1.309	1.315	1.298	1.296	1.261	1.256	1.241
透水係数(cm/sec)	材令28日	8.8×10^{-6}	6.2×10^{-6}	9.0×10^{-6}	1.5×10^{-6}	7.8×10^{-6}	2.0×10^{-5}	1.5×10^{-5}	1.2×10^{-6}
湿潤密度(g/cm ³)	材令28日	1.328	1.333	1.311	1.340	1.305	1.314	1.313	1.280

注) 空欄は試験を実施していないことを示し、測定値の「-」は測定限界を示す。

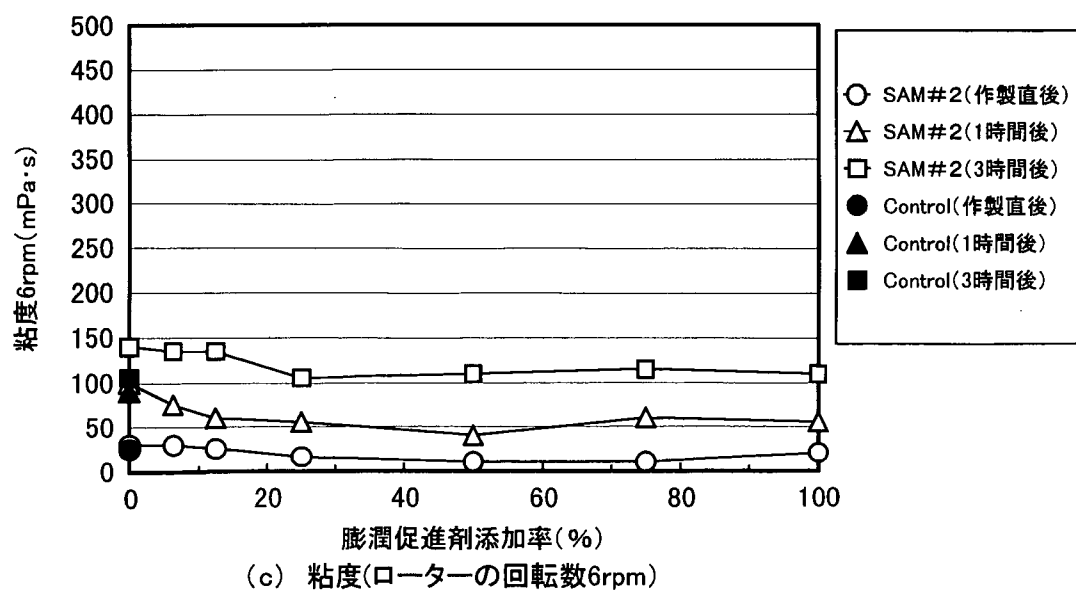
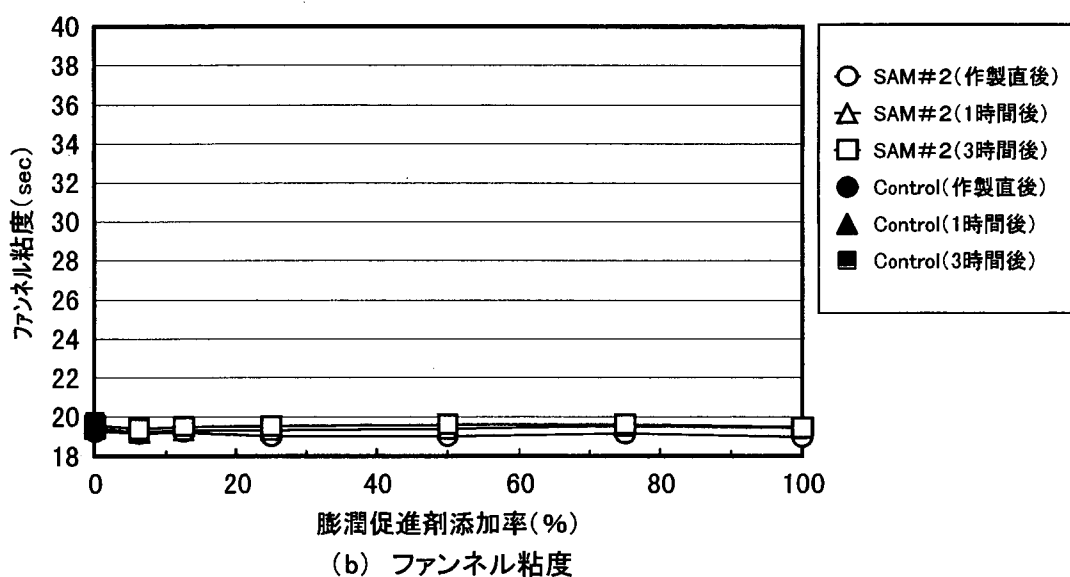
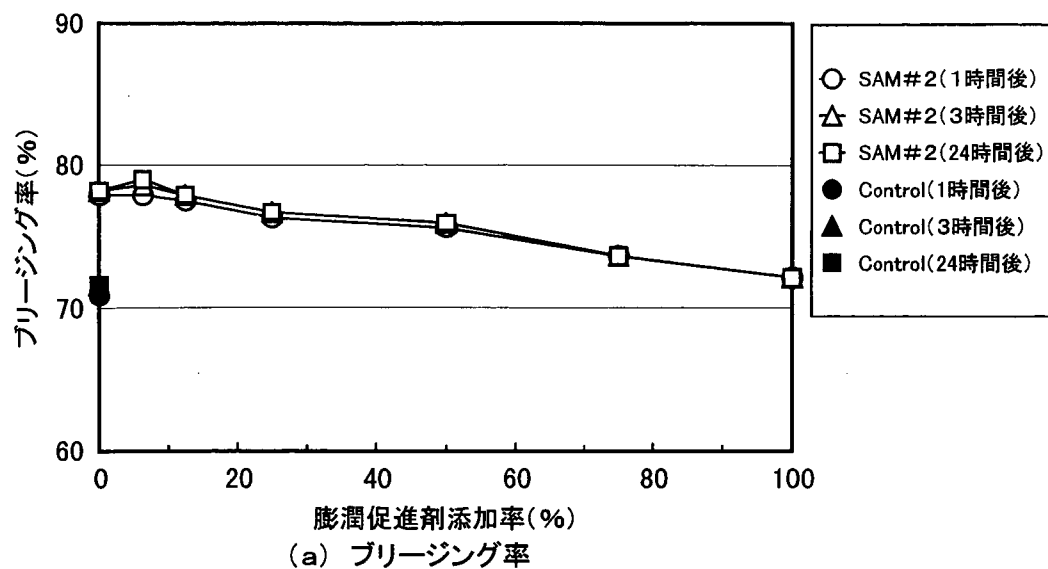
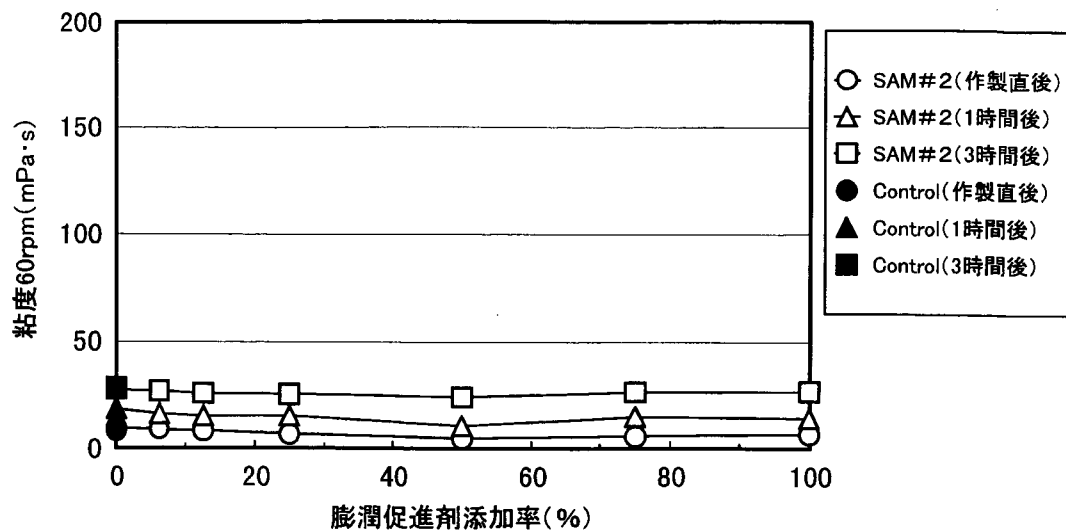
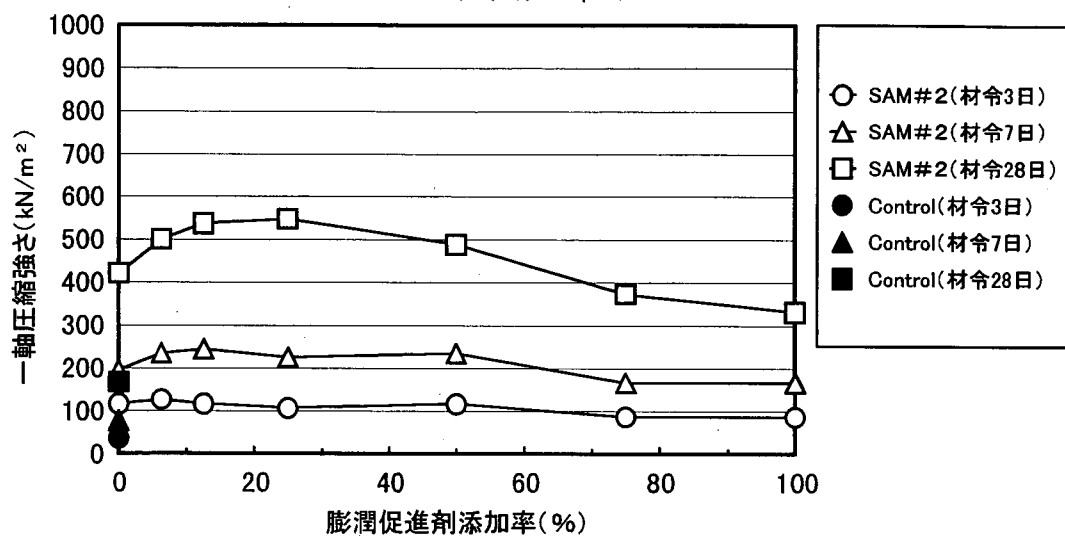


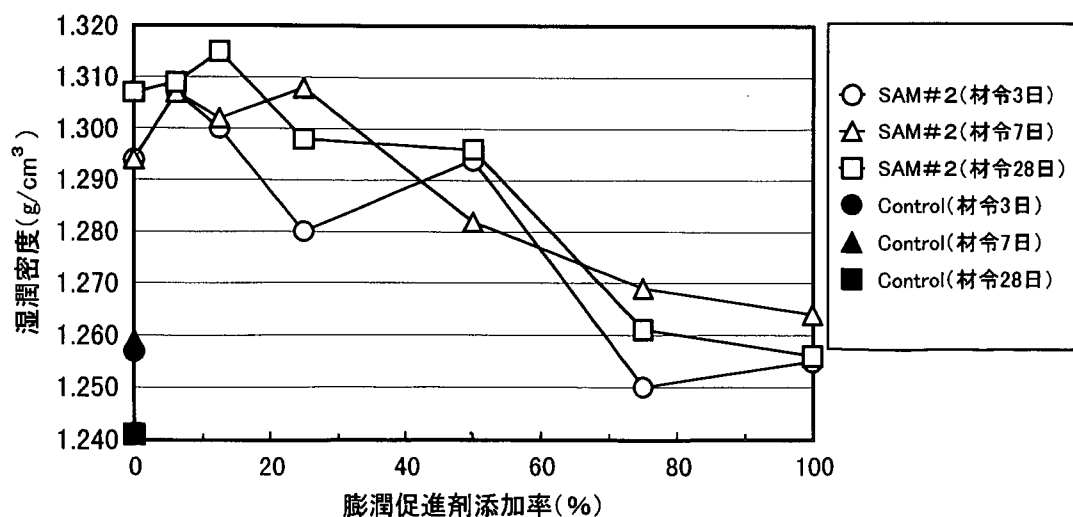
図-4.27 ケース27の試験結果 (Bt:As,S:#2,W/(Bt+C)=1000%,Bt/C=5%)



(d) 粘度(ローターの回転数60rpm)



(e) 一軸圧縮強さ



(f) 湿潤密度

図-4.27 ケース27の試験結果(Bt:As,S:#2,W/(Bt+C)=1000%,Bt/C=5%)

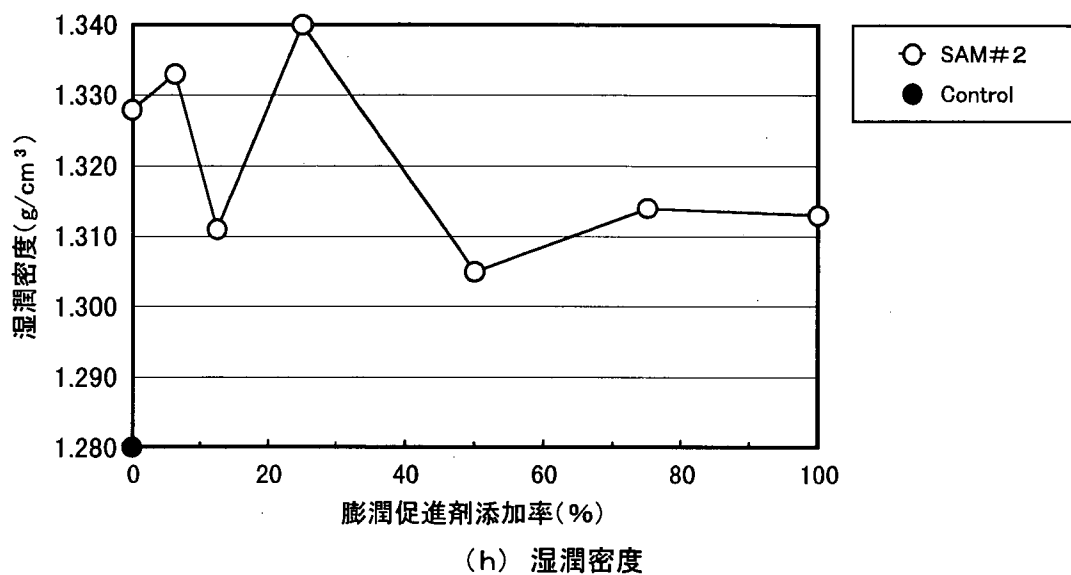
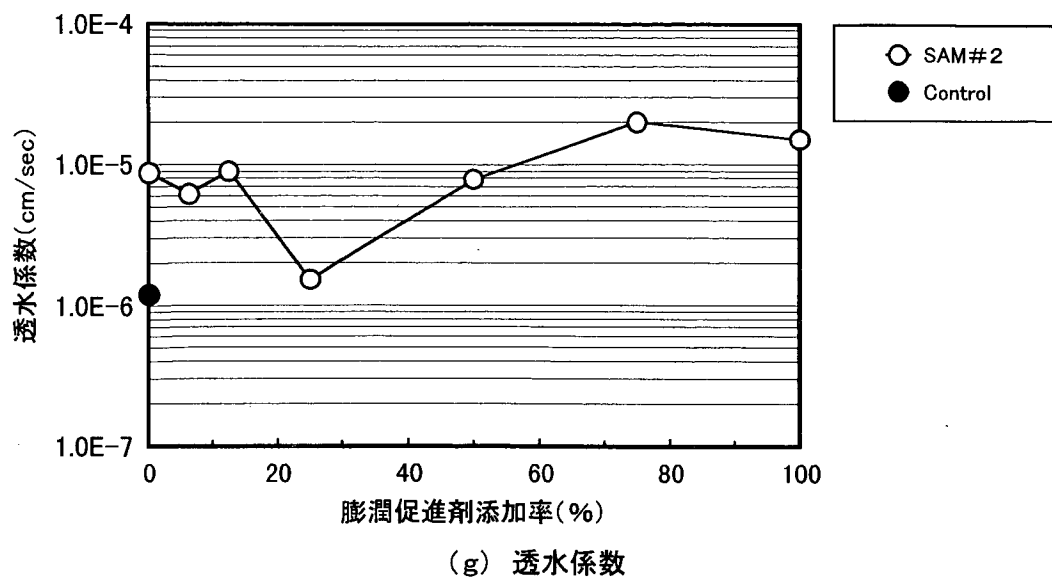


図-4.27 ケース27の試験結果 (Bt:As,S:#2,W/(Bt+C)=1000%,Bt/C=5%).

(10) ケース 28(試験条件 Bt: Sc, S: #2, W/(Bt+C)=200%, Bt/C=5%)

ケース 28 の試験結果一覧を表-4.28 に、コントロールおよび SAM 添加 CB の各種物性の変化を図-4.28(a)~(f)に示す。

① ブリージング率

SAM#2 添加 CB のブリージング率は、SAM の添加率の増加に伴い 1 時間後と 24 時間後の値の差が小さくなる。SAM#2 添加 CB の 24 時間後のブリージング率は、SAM の添加率増加に伴って 7.9%~0% に変化する。しかし、その差はいずれも 8%以下と小さい。

SAM#2 添加 CB とコントロールを比較する。24 時間後のブリージング率は、SAM=0%が 7.9%、コントロールが 12.7%であり、コントロールの方が大きく、SAM の添加率の増加に伴いその差はさらに大きくなる。

② ファンネル粘度

ファンネル粘度は、試料作製直後にはすべての試料で測定可能であったが、3 時間後にはすべての試料で測定限界以上となったため、試験結果の評価は試料作製直後のみを対象に行う。

SAM#2 添加 CB の試料作製直後のファンネル粘度は、SAM の添加率が 0~25%に増加するとき 29.9~25.7sec に低下するが、SAM の添加率が 25~100%に増加するとき 25.7~34.9sec と増加する。このように、SAM の添加率増加に対するファンネル粘度は、SAM=25%で最小値になるような傾向を示す。

③ 粘度 (ローターの回転数 6rpm)

SAM#2 添加CB の試料作製直後の粘度は、SAMの添加率の増加に伴い漸増する。このとき、SAM=6.25%から SAM=100%の試料は 2000~3900mPa・s 程度を示すが、SAM=0%の試料は 825mPa・s である。このことから、SAM を添加しない試料のベントナイトの膨潤度合いは、SAM を添加した試料よりもかなり小さいものと考えられる。一方、各添加率における試料の粘度の経時変化をみると、SAM の添加率が高い試料ほど経過時間に対する粘度の増加量が多い。特に、SAM=75%および 100%の試料については、SAM=50%以下の試料に比べ極端に増加している。グラウトの粘度が極端に高くなると、グラウトのポンパビリティに影響を与えることを考慮すると、SAM の実用的な添加率は SAM=50%以下であると考ええる。

SAM#2 添加 CB とコントロールを比較する。試料作製直後では、SAM=0%が 825mPa・s、コントロールが 1825mPa・s であり、コントロールの方が 1000mPa・s 程度高い。3 時間後では、SAM=0%が 2750mPa・s、コントロールが 3400mPa・s であり、こちらもコントロールの方が 1700mPa・s 程度高くなっている。このように、いずれの経過時間においてもコントロールの粘度が高くなっているため、試料のベントナイトの膨潤度合いは、コントロールの方が高いものとする。一方、SAM=6.25%以上の試料とコントロールを比較すると、試料作製直後では、SAM=6.25%以上の試料の方がコントロールよりも粘度が 500~2000mPa・s 程度高い。3 時間後においても SAM=6.25%以上の試料の方が粘度が高いが、SAM=50%以上の試料は時間経過によって粘度が極端に高くなっているため、両試料の差は SAM の添加率が高い試料ほど広がる傾向がある。前述のとおり、SAM#2 添加 CB の最適な添加率を 50%以下とし、これら

の試料とコントロールを比較すると、いずれの経過時間においても $SAM=6.25\sim 50\%$ の試料の粘度の方がコントロールよりも高い。したがって、試料のベントナイトの膨潤度合いは、コントロールよりも $SAM=6.25\sim 50\%$ の試料の方が高いものとする。以上のように、 $SAM\#2$ 添加 CB とコントロールを比較すると、試料のベントナイトの膨潤度合いは、 $SAM=0\% < \text{コントロール} < SAM=6.25\sim 50\%$ なので、ベントナイトの膨潤度合いから考察される試料の均質性についても、ベントナイトの膨潤度合いと同じ大小関係になると考えられる。

④ 粘度（ローターの回転数 60rpm）

$SAM\#2$ 添加 CB の試料作製直後の粘度は、 $SAM=12.5\%$ および 25% の試料が最も低い $400\text{mPa}\cdot\text{s}$ 程度を示し、その他の $SAM=0, 6.25, 50, 75, 100\%$ の試料は $630\sim 730\text{mPa}\cdot\text{s}$ 程度を示す。 $SAM=12.5\%$ および 25% の試料が他の試料に比べ粘度が低くなる傾向は、ファンネル粘度の結果と一致し、 SAM の最適添加率の存在がうかがわれる。3 時間後の試料の粘度は、 SAM の添加率の増加に伴い高くなる傾向を示し、 SAM の添加率が多い試料ほど試料作製直後からの粘度増加が大きくなっている。これは、ローターの回転数を 6rpm とした場合の結果と同様であるので、極端な粘度の増加はポンパビリティを低下させてしまうことを考慮すると、試料の粘度が試料作製直後は低く時間経過とともに徐々に高くなる $SAM=12.5\%$ および 25% が最適な添加率であるとする。

$SAM\#2$ 添加 CB とコントロールを比較する。試料作製直後では、 $SAM=0\%$ が $760\text{mPa}\cdot\text{s}$ 、コントロールが $495\text{mPa}\cdot\text{s}$ であり、コントロールの方が $260\text{mPa}\cdot\text{s}$ 程度低い。3 時間後では、 $SAM=0\%$ が $1210\text{mPa}\cdot\text{s}$ 、コントロールが $970\text{mPa}\cdot\text{s}$ であり、こちらもコントロールの方が $240\text{mPa}\cdot\text{s}$ 程度低くなっている。このように、いずれの経過時間においてもコントロールの粘度が低くなっている。一方、 $SAM=6.25\%$ 以上の試料のうち、 SAM の添加率が最適と考えられる $SAM=12.5\%$ および 25% の試料とコントロールを比較する。試料作製直後では、両試料とも同程度の粘度を示すが、3 時間後では、 $SAM=12.5\%$ および 25% の試料がコントロールよりも $300\sim 600\text{mPa}\cdot\text{s}$ 程度高くなる。したがって、 $SAM=12.5\%$ については、試料の作製直後の粘度が同程度すなわち両試料の均質性が同程度であり、3 時間後の粘度も大きな差はないものとする。

⑤ 一軸圧縮強さおよび湿潤密度

$SAM\#2$ 添加 CB の一軸圧縮強さは、材令 3 日では、いずれも $300\sim 400\text{kN/m}^2$ と同程度を示す。材令 28 日では、 SAM の添加率増加に伴い若干小さくなるが、その差は 300kN/m^2 程度と小さい。一方、試料の湿潤密度は、 SAM の添加率増加に伴い若干小さくなっているが、材令によらず SAM の添加率に応じた値を示す。

$SAM\#2$ 添加 CB とコントロールを比較する。 $SAM=0\%$ とコントロールは、材令 3 日では前者が 431kN/m^2 、後者が 363kN/m^2 であり、材令 28 日では、前者が 1667kN/m^2 、後者が 1638kN/m^2 であり、いずれの材令においても同程度である。また、湿潤密度は、コントロールの方が若干大きいとその差は小さい。したがって、 $SAM=0\%$ とコントロールの均質性は、同程度であるとする。一方、 $SAM=6.25\%$ 以上の試料とコントロールを比較した場合においても、一軸圧縮強さに大きな差はない。

表－4.28 ケース28の試験結果 (Bt:Sc,S:#2,W/(Bt+C)=200%,Bt/C=5%)

		SAM添加率 (%)							
		0	6.25	12.5	25	50	75	100	Control
ブリージング率 (%)	1時間後	2.1	1.6	1.6	2.0	1.2	0.8	0.0	4.0
	3時間後	5.4	4.7	4.4	4.0	2.4	0.8	0.0	10.4
	24時間後	7.9	6.7	6.5	5.2	3.2	0.0	0.0	12.7
ファンネル粘度 (sec)	作製直後	29.9	27.7	26.6	25.7	29.2	32.3	34.9	28.0
	1時間後	-	-	-	-	-	-	-	33.4
	2時間後	-	-	-	-	-	-	-	-
	3時間後	-	-	-	-	-	-	-	-
粘度 (ローター回転数:6rpm) (mPa・s)	作製直後	825.0	2375.0	2850.0	2050.0	2350.0	3150.0	3900.0	1825.0
	1時間後	2550.0	3350.0	3400.0	3250.0	3075.0	13600.0	13800.0	950.0
	2時間後	3775.0	3425.0	3950.0	5000.0	8100.0	24500.0	38500.0	1575.0
	3時間後	2750.0	4175.0	4900.0	13700.0	14500.0	42000.0	45000.0	3400.0
粘度 (ローター回転数:60rpm) (mPa・s)	作製直後	760.0	640.0	392.5	387.5	630.0	690.0	730.0	495.0
	1時間後	1030.0	880.0	780.0	800.0	1270.0	1470.0	1660.0	710.0
	2時間後	1180.0	1290.0	1170.0	960.0	1510.0	1760.0	1950.0	860.0
	3時間後	1210.0	1220.0	1240.0	1590.0	1990.0	3250.0	4200.0	970.0
一軸圧縮強さ (kN/m ²)	材令3日	431	412	353	294	490	402	324	363
	材令7日	971	814	824	824	971	951	785	941
	材令28日	1667	1667	1589	1461	1530	1383	1373	1638
湿潤密度 (g/cm ³)	材令3日	1.326	1.322	1.313	1.301	1.290	1.276	1.221	1.361
	材令7日	1.355	1.335	1.321	1.331	1.286	1.268	1.221	1.387
	材令28日	1.349	1.326	1.338	1.321	1.303	1.271	1.239	1.360
透水係数(cm/sec)	材令28日								
湿潤密度(g/cm ³)	材令28日								

注) 空欄は試験を実施していないことを示し、測定値の「-」は測定限界を示す。

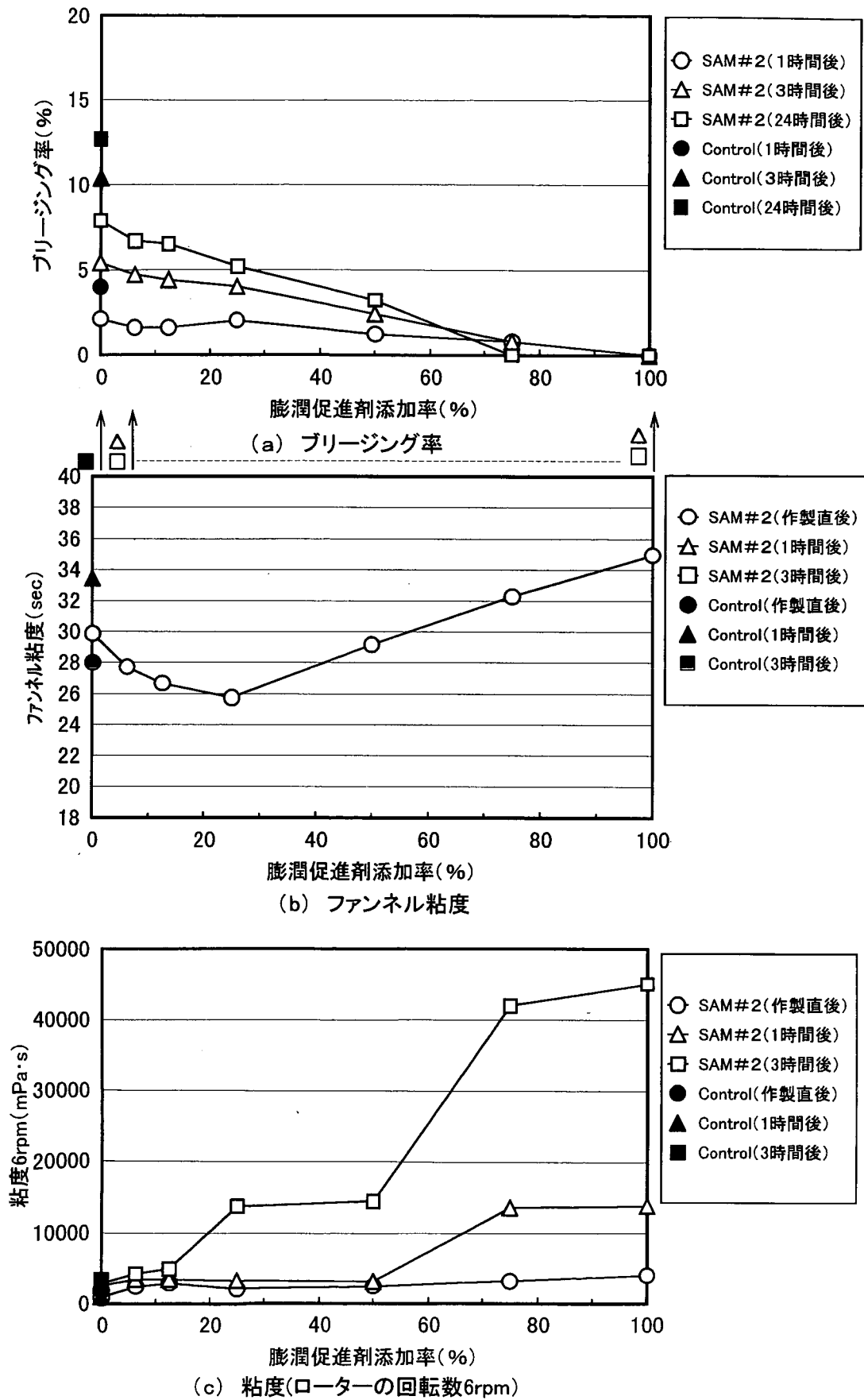
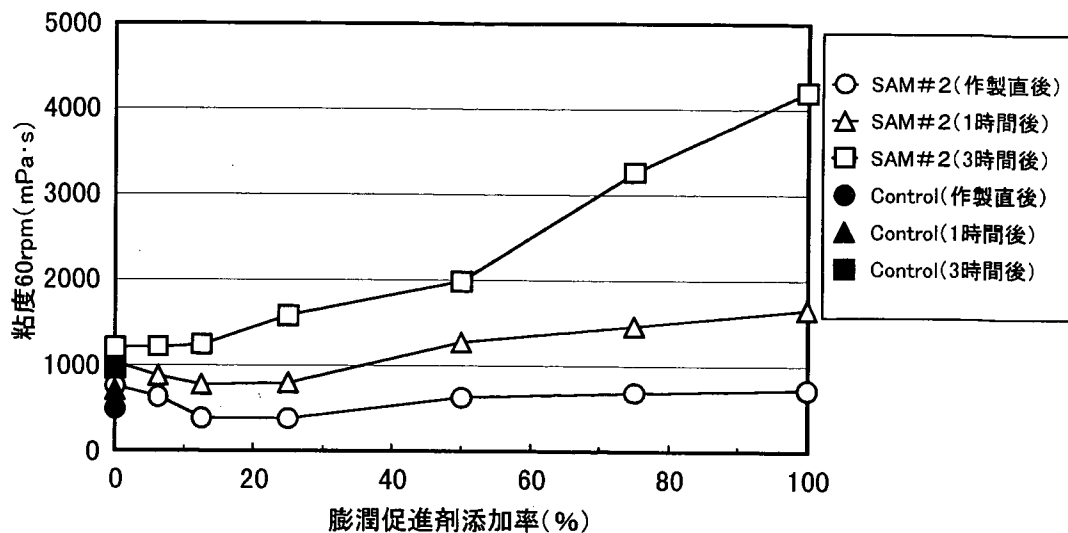
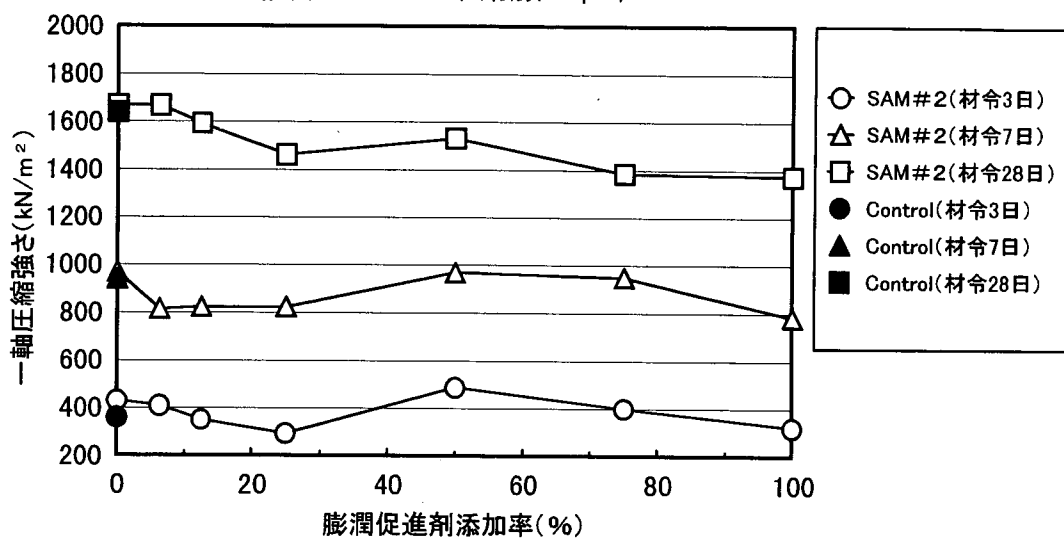


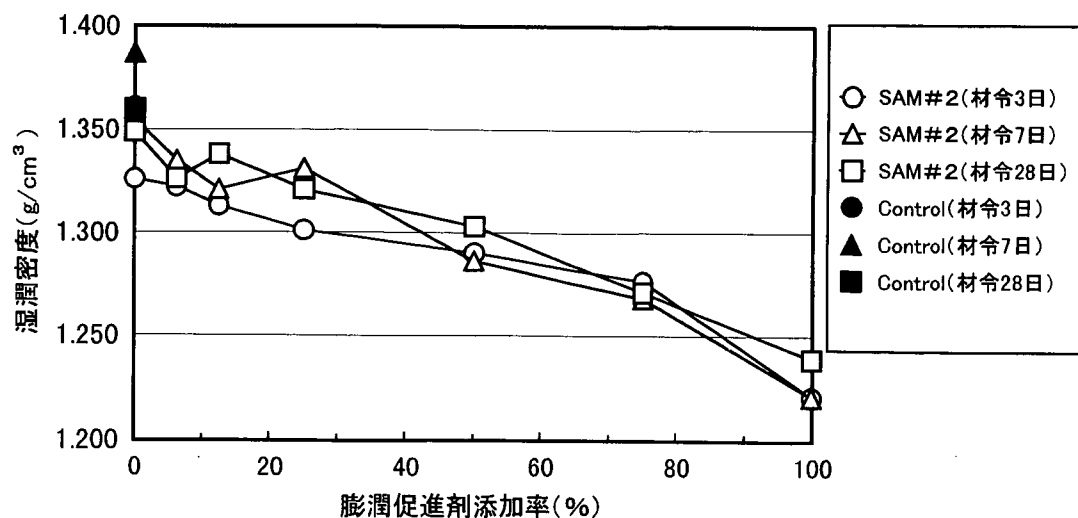
図-4.28 ケース28の試験結果(Bt:Sc,S:#2,W/(Bt+C)=200%,Bt/C=5%)



(d) 粘度(ローターの回転数60rpm)



(e) 一軸圧縮強さ



(f) 湿潤密度

図-4.28 ケース28の試験結果(Bt:Sc,S:#2,W/(Bt+C)=200%,Bt/C=5%)

(11) ケース 29(試験条件 Bt: Ak, S: #2, W/(Bt+C)=200%, Bt/C=5%)

ケース 29 の試験結果一覧を表-429 に、コントロールおよび SAM 添加 CB の各種物性の変化を図-4.29(a)~(f)に示す。

① ブリージング率

SAM#2 添加 CB のブリージング率は、時間経過に関係なく SAM の添加率に対して一定傾向を示すとともに、3 時間後と 24 時間後の差が小さいことから、試料の粒子の沈降は 3 時間程度で完了するものと考えられる。SAM#2 添加 CB の 24 時間後のブリージング率は、SAM=0%が 27.4%と最も大きく、その後 SAM=6.25~50%に増加するとき一度 24.0~12.7%に低減し、SAM=50~100%に増加するとき再び 12.7~20.8%に増加する。したがって、安定性が最も高まる SAM の最適添加率は、25~50%の間にあると考える。

SAM#2 添加 CB とコントロールを比較する。24 時間後のブリージング率は、SAM=0%が 27.4%、コントロールが 20.4%を示し、コントロールの方が 7%程度小さい。したがって、ベントナイトを事前膨潤させたコントロールの方が安定性が高いことがわかる。一方、ブリージング率が最も小さくなる SAM=25%および 50%の試料では、ブリージング率が 17.6%および 14.8%であり、コントロールの方が 3~6%程度大きくなる。したがって、SAM を添加することにより、ベントナイトを事前膨潤させるよりも、安定性が高まるものと考ええる。

② ファンネル粘度

SAM#2 添加 CB の試料作製直後のファンネル粘度は、SAM=0%のとき 22.4sec と最も高く、SAM=6.25%以上の試料ではいずれも 21sec 程度の一定値を示す。また、3 時間後では、SAM=0%の試料は粘度が高くなり試料作製直後と同程度の 22.2sec であるが、SAM=6.25%以上の試料は、SAM の添加率増加に伴い粘度の増加量は、どの試料も 1~4sec 程度大きくなる。このように、SAM を添加しない SAM=0%の試料は、時間経過による粘度の増加がないが、SAM を添加した SAM=6.25%以上の試料は、時間経過によって粘度が増加する。したがって、SAM を添加することによって、試料中のベントナイトの膨潤度合いが高まったものと考ええる。

SAM#2 添加 CB とコントロールを比較する。コントロールは、試料作製直後が 23.3sec、3 時間後が 28.8sec を示す。コントロールは、いずれの時間においても SAM=0%よりも粘度が高いこと、時間経過による粘度増加が見られることから、SAM を添加しない試料よりもベントナイトの膨潤度合いが高いものと考ええる。一方、SAM を添加した SAM=6.25%以上の試料と比較すると、コントロールは、いずれの時間においても粘度が高いこと、時間経過による粘度増加量が大きいことから、SAM を添加するよりもベントナイトの膨潤度合いが若干高いものと考ええる。

③ 粘度 (ローターの回転数 6rpm)

SAM#2 添加 CB の試料作製直後の粘度は、いずれも 500~900mPa・s 程度を示す。また、3 時間後では、SAM=50%の試料の粘度が他の試料より極端に高くなるなど、SAM の添加率に対して一定傾向を示さない。

④ 粘度（ローターの回転数 60rpm）

SAM#2 添加 CB の試料作製直後の粘度は、SAM=0～12.5%に増加するとき 255～152.5mPa・s に低下し、SAM=12.5%以上ではほぼ一定値を示す。また、3 時間後においては、SAM=12.5～100%ではほぼ一定値を示す。このように、SAM=0～6.25%の試料と SAM=12.5～100%の試料を比較すると、前者の方が粘度が高く、ベントナイトの膨潤度合いが高い傾向がある。しかし、ブリージング率の結果では、SAM=0～12.5%の試料の安定性は、SAM=25%および 50%の試料よりも低いので、SAM=0～12.5%の粘度が高くなっているのは、試料の粒子が団粒化しその結果粘度が高くなったためと考えられる。以上のことから、SAM#2 添加 CB の均質性が高まる SAM の添加率は、25 から 50%付近に存在すると考える。

SAM#2 添加 CB とコントロールを比較する。試料作製直後では、SAM=0%が 255mPa・s、コントロールが 322.5mPa・s であり、3 時間後では、前者が 427.5mPa・s、コントロールが 490mPa・s であり、いずれの経過時間においてもコントロールの方が高いがその差は小さい。したがって、両試料の粘度の差は、ほとんどないものとする。しかし、試料の均質性については、ブリージング率試験の結果のとおり、コントロールの方が高いものとする。一方、最適な添加率と考えられる SAM=25 および 50%の試料とコントロールを比較すると、いずれの経過時間においても、コントロールの粘度の方が高いが、その差は 170～200mPa・s 程度と小さい。また、ブリージング率においても、両試料の差は小さいので、両試料の均質性は同程度であるとする。

⑤ 一軸圧縮強さおよび湿潤密度

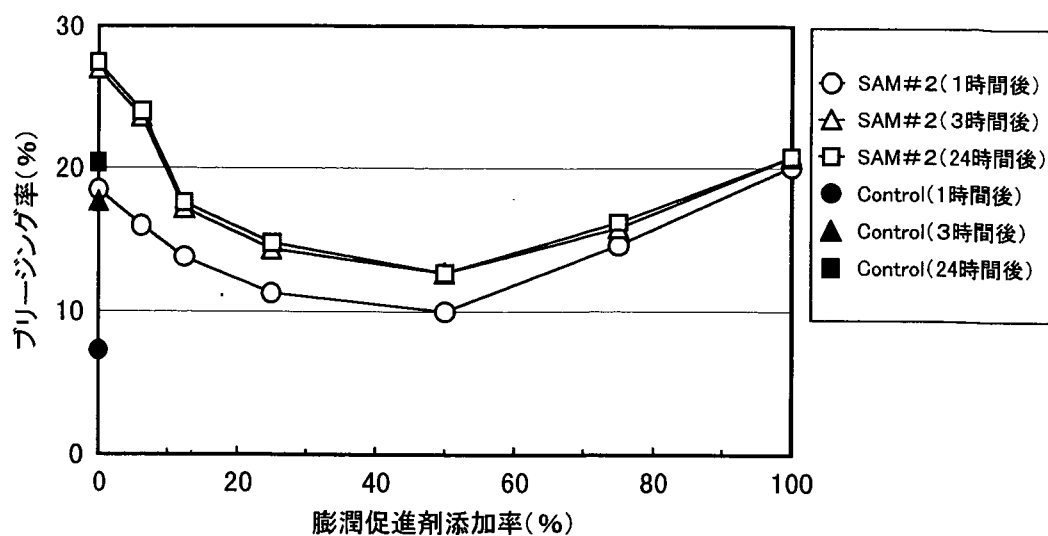
SAM#2 添加 CB の一軸圧縮強さは、材令 3 日では、いずれも 500～600kN/m² 程度を示す。材令 28 日では、いずれも 1900～2600kN/m² 程度を示す。一方、試料の湿潤密度は、SAM=0 および 6.25%の試料が他の試料に比べ大きくなっているが、一軸圧縮強さは他の試料と同程度である。

SAM#2 添加 CB とコントロールを比較する。コントロールの一軸圧縮強さは、いずれの材令においても、SAM を添加しない SAM=0%と SAM を添加した SAM=6.25%以上の試料と同程度である。また、湿潤密度では、コントロールは、SAM=0 および 6.25%の試料と同程度であり、SAM=12.5%以上の試料についてもその差は小さいので、コントロールは SAM#2 添加 CB とほぼ同程度の均質性を有するものとする。

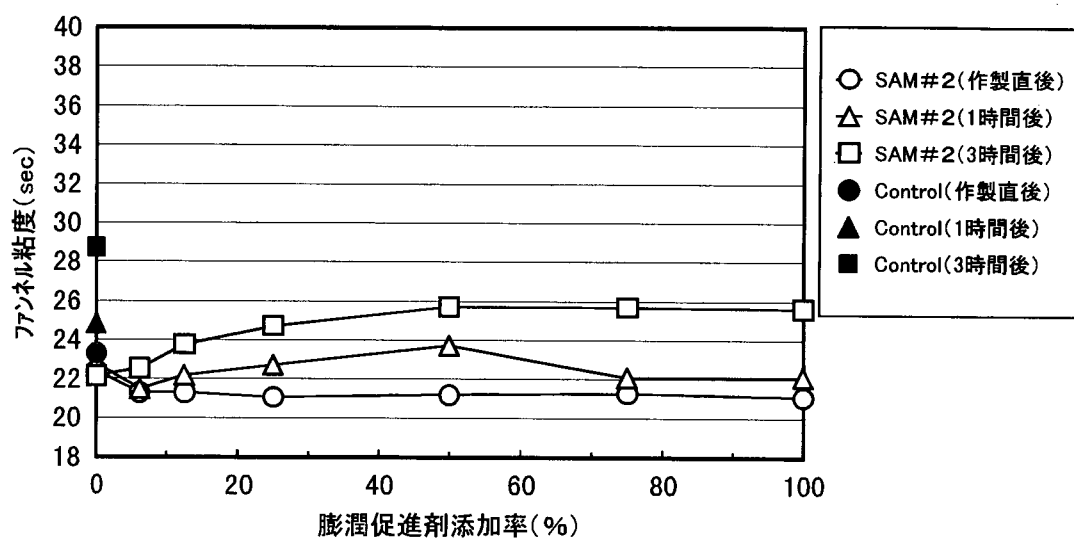
表-4.29 ケース29の試験結果(Bt:Ak,S:#2,W/(Bt+C)=200%,Bt/C=5%)

		SAM添加率 (%)							
		0	6.25	12.5	25	50	75	100	Control
ブリージング率 (%)	1時間後	18.5	16.0	13.8	11.3	10.0	14.6	20.1	7.3
	3時間後	27.0	23.6	17.2	14.4	12.7	15.8	20.8	17.7
	24時間後	27.4	24.0	17.6	14.8	12.7	16.2	20.8	20.4
ファンネル粘度 (sec)	作製直後	22.4	21.3	21.3	21.1	21.2	21.3	21.1	23.3
	1時間後	22.8	21.5	22.2	22.7	23.7	22.1	22.1	24.8
	2時間後	22.3	22.2	24.0	23.9	24.5	23.6	24.2	26.8
	3時間後	22.2	22.5	23.8	24.7	25.7	25.7	25.6	28.8
粘度 (ローター回転数:6rpm) (mPa・s)	作製直後	515.0	625.0	495.0	725.0	895.0	740.0	775.0	545.0
	1時間後	570.0	700.0	635.0	1275.0	950.0	950.0	650.0	905.0
	2時間後	800.0	650.0	1100.0	1775.0	2425.0	1400.0	950.0	900.0
	3時間後	1350.0	800.0	1675.0	2300.0	3500.0	1175.0	625.0	2925.0
粘度 (ローター回転数:60rpm) (mPa・s)	作製直後	255.0	205.0	165.0	152.5	142.5	120.0	112.5	322.5
	1時間後	325.0	297.5	285.0	225.0	290.0	230.0	190.0	452.5
	2時間後	452.5	367.5	310.0	272.5	345.0	265.0	262.5	500.0
	3時間後	427.5	330.0	297.5	275.0	327.5	287.5	295.0	490.0
一軸圧縮強さ (kN/m ²)	材令3日	569	647	637	530	520	539	559	618
	材令7日	1167	1275	1177	1216	1147	1442	1589	1412
	材令28日	2285	2265	2246	1893	1961	2501	2599	2314
湿潤密度 (g/cm ³)	材令3日	1.406	1.414	1.376	1.361	1.366	1.380	1.376	1.406
	材令7日	1.418	1.421	1.386	1.400	1.392	1.385	1.417	1.421
	材令28日	1.436	1.426	1.382	1.387	1.394	1.366	1.404	1.442
透水係数(cm/sec)	材令28日								
湿潤密度(g/cm ³)	材令28日								

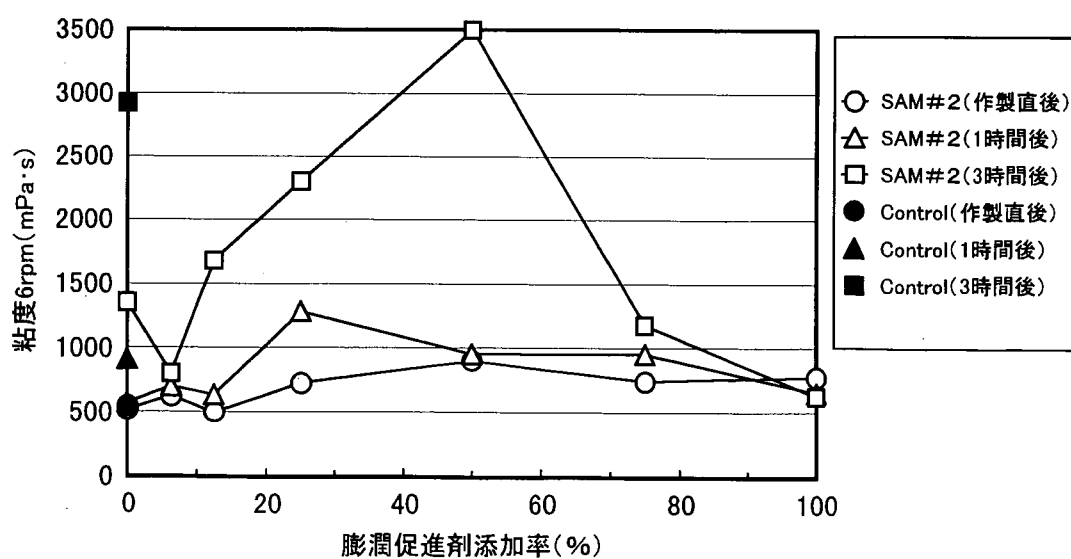
注) 空欄は試験を実施していないことを示し、測定値の「-」は測定限界を示す。



(a) フリージング率

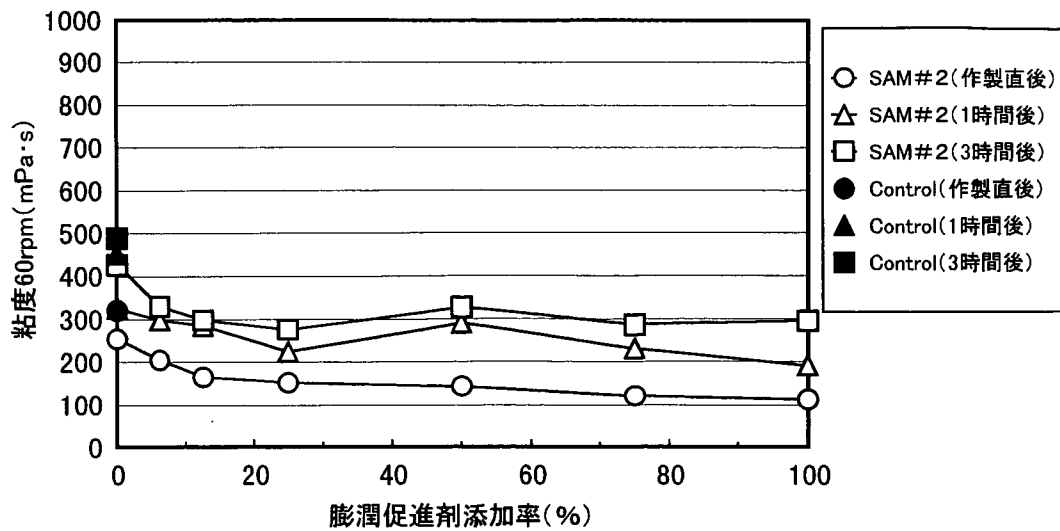


(b) ファンネル粘度

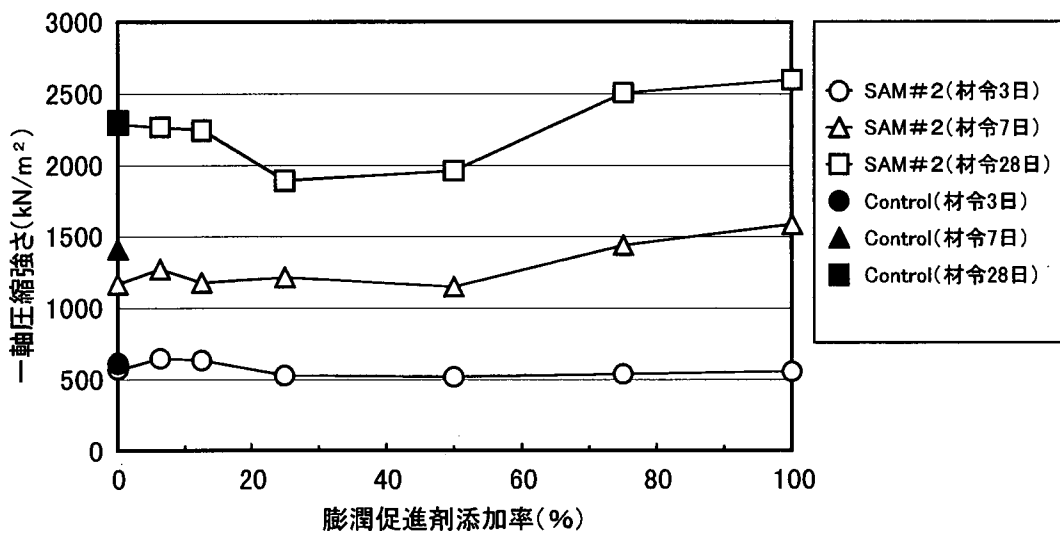


(c) 粘度(ローターの回転数6rpm)

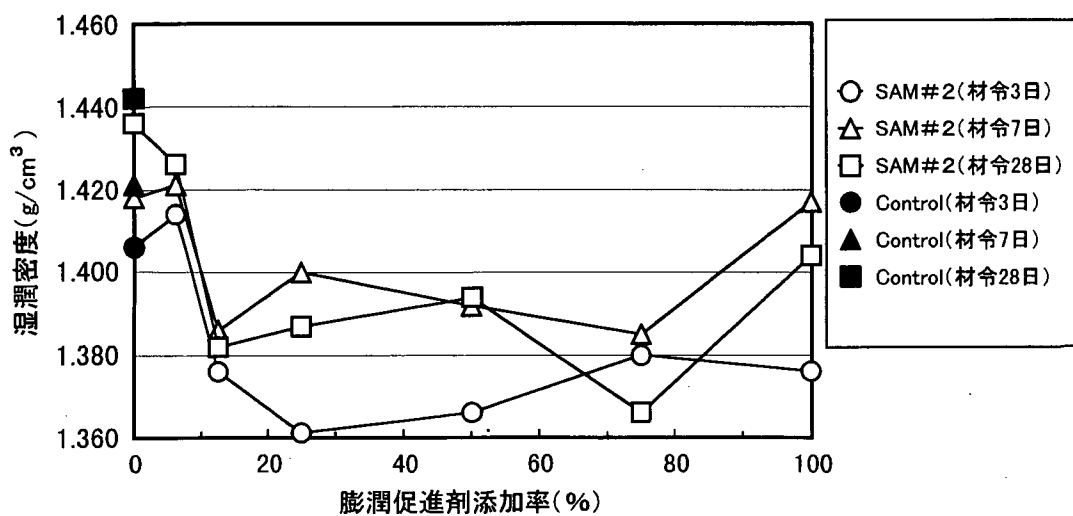
図-4.29 ケース29の試験結果(Bt:Ak,S:#2,W/(Bt+C)=200%,Bt/C=5%)



(d) 粘度(ローターの回転数60rpm)



(e) 一軸圧縮強さ



(f) 湿潤密度

図-4.29 ケース29の試験結果(Bt:Ak,S:#2,W/(Bt+C)=200%,Bt/C=5%)

(12) ケース 30(試験条件 Bt:Hr, S:#2, W/(Bt+C)=200%, Bt/C=5%)

ケース 30 の試験結果一覧を表-4.30 に、コントロールおよび SAM 添加 CB の各種物性の変化を図-4.30(a)~(f)に示す。

① ブリージング率

SAM#2 添加 CB のブリージング率は、3 時間後から 24 時間後にかけてはほとんど変化しないので、試料の粒子の沈降は 3 時間程度で完了するものと考えられる。SAM#2 添加 CB の 24 時間後のブリージング率は、SAM=0%が 25.5%と最も大きく、SAM の添加率が 0~25%に増加するときその増加に伴い 25.5~10.8%に減少し、その後 SAM=25~100%では 10%程度の一定値を示す。このことから、SAM の添加によって試料の安定性は改善されるとともに、その最適添加率はブリージング率が一定値を示し始める 25%程度であると考ええる。

SAM#2 添加 CB とコントロールを比較する。24 時間後のブリージング率を比較すると、SAM=0%が 25.5%、コントロールが 25.9%であるので、両試料の安定性は同程度であると考ええる。また、ブリージング率が一定値を示し始める SAM=25%の試料では、ブリージング率は 10%程度であり、コントロールよりも 16%程度小さい。したがって、ベントナイトを事前膨潤させるよりも SAM を添加した方が、試料の安定性はより改善されるものと考えられる。

② ファンネル粘度

SAM#2 添加 CB の試料作製直後のファンネル粘度は、SAM=0%のとき 23.4sec と最も高く、SAM の添加率が 0~25%に増加にするととき 21sec 程度にまで低下するが、その後 SAM の添加率が 25~100%に増加するときには一定値を示す。これに対し、3 時間後の粘度は、SAM の添加率の増加に伴い、25.4~28.0sec に増加する。いずれの測定時間においても、SAM の添加率による粘度の差は小さいので、試料の粘度は添加率に関係なく同程度であると考ええる。

SAM#2 添加 CB とコントロールを比較する。コントロールと SAM=0%の試料は、いずれの経過時間においても同程度の値を示す。一方、SAM を添加した SAM=6.25%以上の試料とコントロールを比べると、試料の粘度は、試料作製直後ではコントロールが高く、3 時間後では若干ばらつきはあるが全体的に SAM=6.25%以上の試料の方が高い。しかし、その差はいずれの経過時間においても小さいので、両試料の粘度は同程度であると考ええる。

③ 粘度 (ローターの回転数 6rpm)

SAM#2 添加 CB の試料作製直後の粘度は、SAM の添加率増加に伴い若干高くなる傾向を示すが、その差は小さい。これに対し、3 時間後の粘度は、SAM の添加率の増加に伴い 725~3075mPa・s に増加する。このことから、ベントナイトの膨潤度合いは、SAM の添加率増加に伴って、高くなる傾向がうかがえる。

SAM#2 添加 CB とコントロールを比較する。SAM=0%とコントロールの粘度は、試料作製直後では前者が 680mPa・s、後者が 360mPa・s であり、3 時間後では前者が 725mPa・s、後者が 900mPa・s である。このように、両試料の大小関係は経過時間で反対の傾向を示すが、その差は小さいので両試料の粘度

は同程度であると考え。一方、SAM=6.25%以上の試料の粘度は、いずれの時間においてもコントロールよりも高く、かつ時間経過による増加量がコントロールよりも大きい。このことから、ベントナイトの膨潤度合いは、SAMの添加により、高くなる傾向がうかがえる。

④ 粘度（ローターの回転数 60rpm）

SAM#2 添加 CB の試料作製直後の粘度は、SAM=0~25%に増加するとき 242.5~162.5mPa・s に低下し、その後 SAM=25~100%に増加するときはほぼ一定値 150mPa・s を示す。また、3 時間後においては、SAM=12.5~100%ではほぼ一定値となる。このように、試料作製直後では、SAM=0~12.5%の試料と SAM=25~100%の試料を比較すると、SAM=0~12.5%の方が粘度が高いため、SAM=25~100%よりもベントナイトの膨潤度合いが高い傾向がある。しかし、ブリージング率の結果では、SAM=0~12.5%の試料の安定性は、SAM=25%以上の試料よりも低いので、SAM=0~12.5%の粘度が高くなっているのは、試料の粒子が団粒化しその結果粘度が高くなったためと考える。以上のことから、SAM#2 添加 CB の均質性が高まる SAM の添加率は、25%以上であると考え。

SAM#2 添加 CB とコントロールを比較する。試料作製直後では、SAM=0%が 242.5mPa・s、コントロールが 302.5mPa・s を示し、3 時間後では、SAM=0%が 300.0mPa・s、コントロールが 490mPa・s を示し、いずれの経過時間においてもコントロールの方が高い。また、ブリージング率の結果では、両試料にはほとんど差がなかったことから、粘度が若干高いコントロールの方が SAM=0%よりもベントナイトの膨潤度合いが高いものと考え。

⑤ 一軸圧縮強さおよび湿潤密度

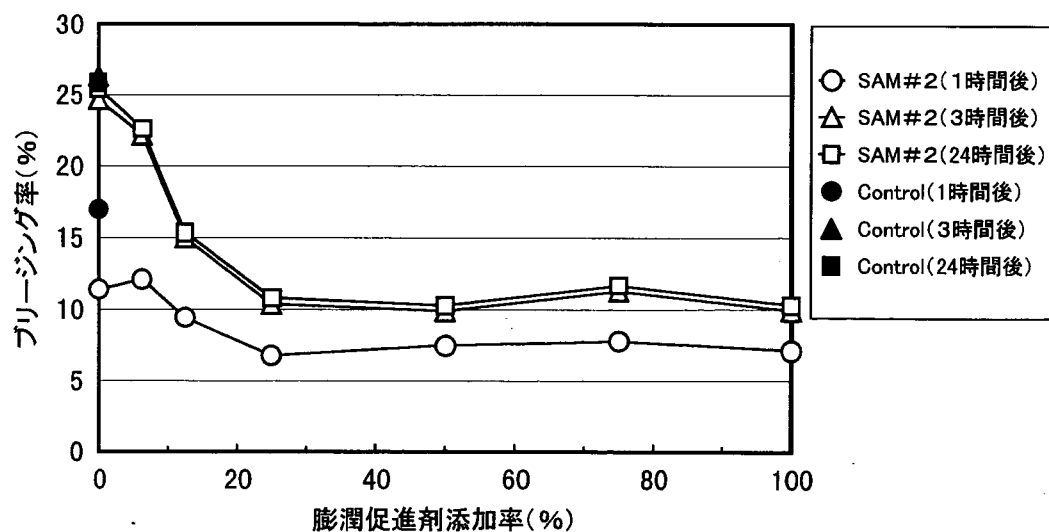
SAM#2 添加 CB の材令 3 日における一軸圧縮強さは、SAM=0~25%に増加するとき 608~343kN/m² に低下し、その後 SAM=25~100%に増加するときはほぼ一定値 400mPa・s を示す。材令 28 日では、SAM の添加率増加に伴う低減傾向がより明瞭になり、SAM=0~25%に増加するときには 2442~1461kN/m² に低下し、その後 SAM=25~100%に増加すると 1500kN/m² 程度を示す。

SAM#2 添加 CB とコントロールを比較する。コントロールと SAM=0%の試料は、材令 3 日ではどちらも 600kN/m² 程度、材令 28 日ではどちらも 2400kN/m² 程度であり、いずれの材令においても同程度の強度を有する。また、両試料の湿潤密度は、一軸圧縮強さと同様、いずれの材令においても同程度を示すことから、両試料の均質性は同程度であると考え。一方、SAM=25%以上の試料とコントロールを比べると、いずれの材令においても、コントロールの方が一軸圧縮強さ、湿潤密度ともに大きい。

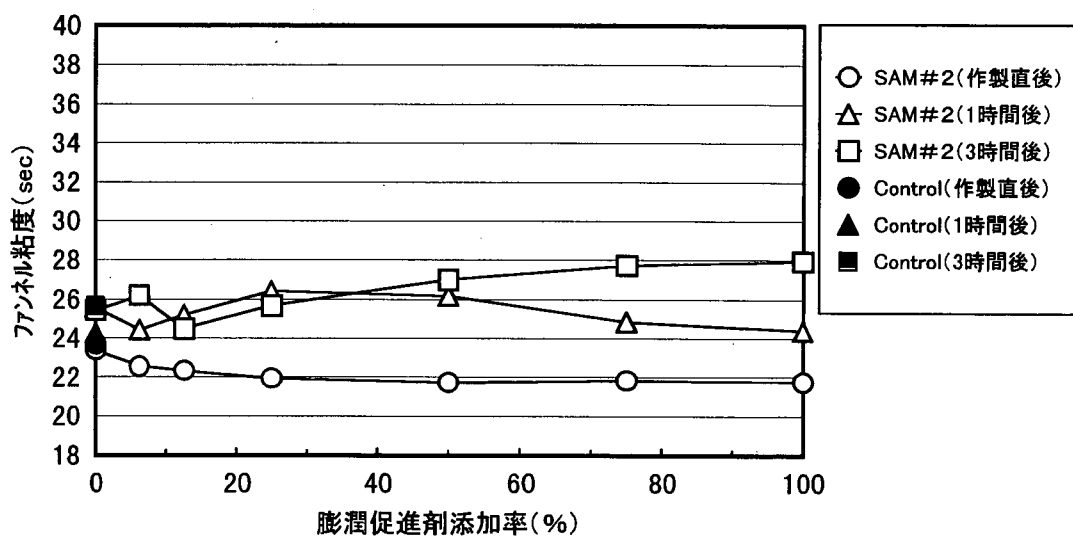
表-4.30 ケース30の試験結果(Bt:Hr,S:#2,W/(Bt+C)=200%,Bt/C=5%)

		SAM添加率 (%)							
		0	6.25	12.5	25	50	75	100	Control
ブリージング率 (%)	1時間後	11.4	12.1	9.4	6.8	7.5	7.8	7.1	17.0
	3時間後	24.7	22.2	15.0	10.4	9.9	11.3	9.9	26.3
	24時間後	25.5	22.6	15.4	10.8	10.3	11.7	10.3	25.9
ファンネル粘度 (sec)	作製直後	23.4	22.6	22.3	22.0	21.7	21.8	21.8	23.7
	1時間後	25.6	24.4	25.2	26.4	26.2	24.9	24.4	24.2
	2時間後	25.0	25.7	24.9	26.5	27.2	27.0	27.1	26.7
	3時間後	25.4	26.2	24.5	25.7	27.0	27.7	28.0	25.6
粘度 (ローター回転数:6rpm) (mPa・s)	作製直後	680.0	1000.0	775.0	875.0	1025.0	960.0	945.0	360.0
	1時間後	625.0	850.0	825.0	2275.0	3450.0	2200.0	1225.0	640.0
	2時間後	775.0	900.0	1450.0	1900.0	3225.0	2125.0	1250.0	1250.0
	3時間後	725.0	950.0	1650.0	2125.0	2725.0	3025.0	3075.0	900.0
粘度 (ローター回転数:60rpm) (mPa・s)	作製直後	242.5	230.5	207.5	162.5	152.5	150.0	140.0	302.5
	1時間後	355.0	347.5	270.0	310.0	315.0	302.5	255.0	332.5
	2時間後	320.0	410.0	357.5	345.0	290.0	305.0	357.5	492.5
	3時間後	300.0	342.5	327.5	337.5	380.0	335.0	332.5	490.0
一軸圧縮強さ (kN/m ²)	材令3日	608	608	431	343	431	422	402	628
	材令7日	1245	1275	1108	941	902	824	990	1334
	材令28日	2442	2108	1952	1461	1422	1667	1716	2334
湿潤密度 (g/cm ³)	材令3日	1.428	1.392	1.331	1.319	1.347	1.338	1.325	1.444
	材令7日	1.406	1.393	1.353	1.345	1.331	1.331	1.339	1.434
	材令28日	1.432	1.433	1.389	1.355	1.323	1.327	1.347	1.430
透水係数(cm/sec)	材令28日								
湿潤密度(g/cm ³)	材令28日								

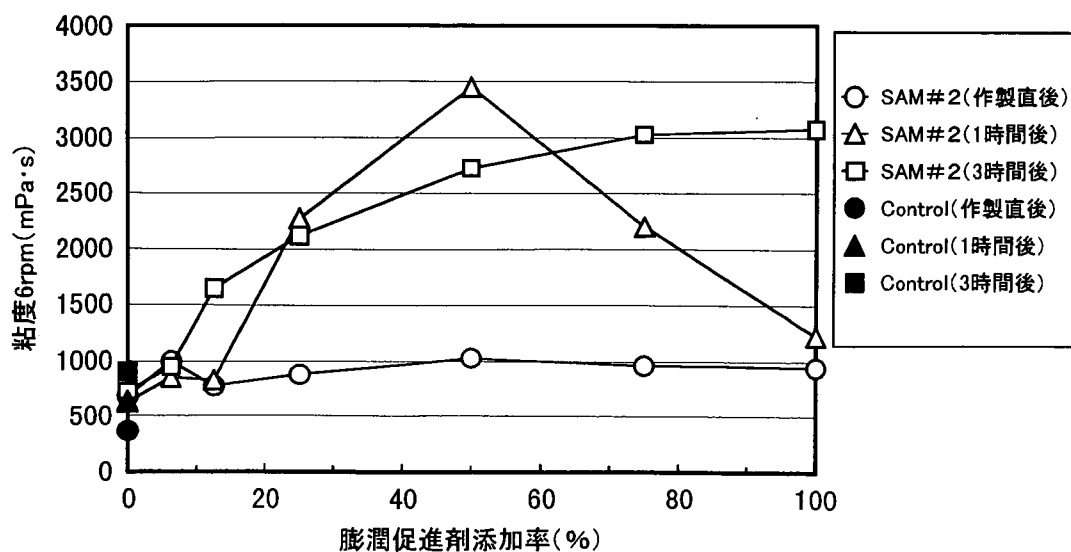
注) 空欄は試験を実施していないことを示し、測定値の「-」は測定限界を示す。



(a) フリージング率

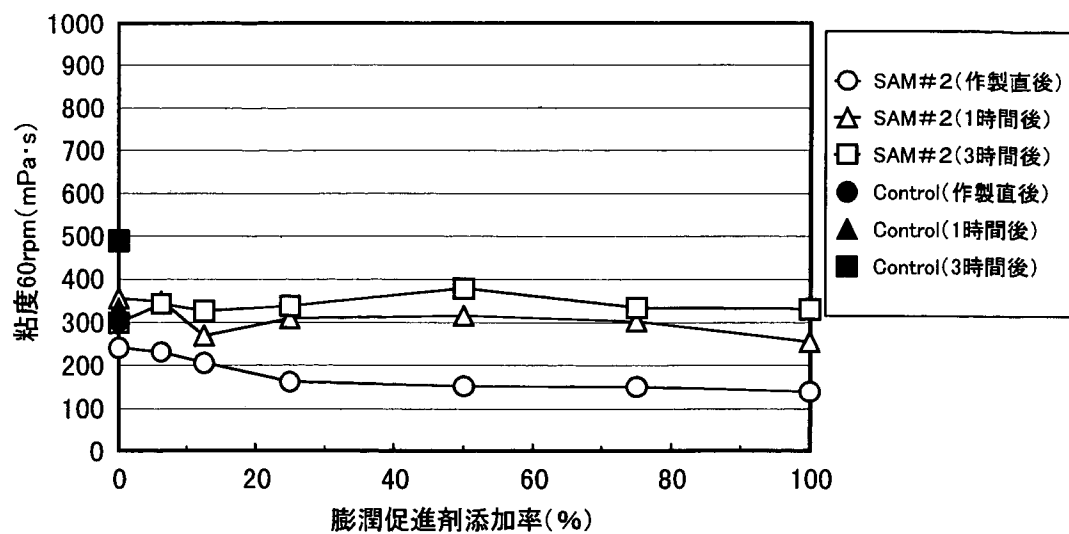


(b) ファンネル粘度

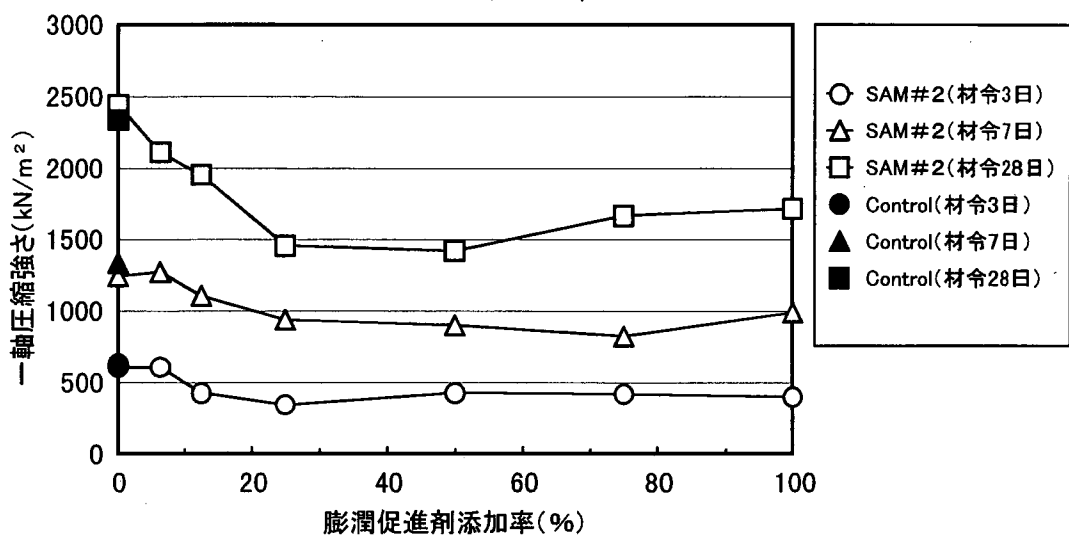


(c) 粘度(ローターの回転数6rpm)

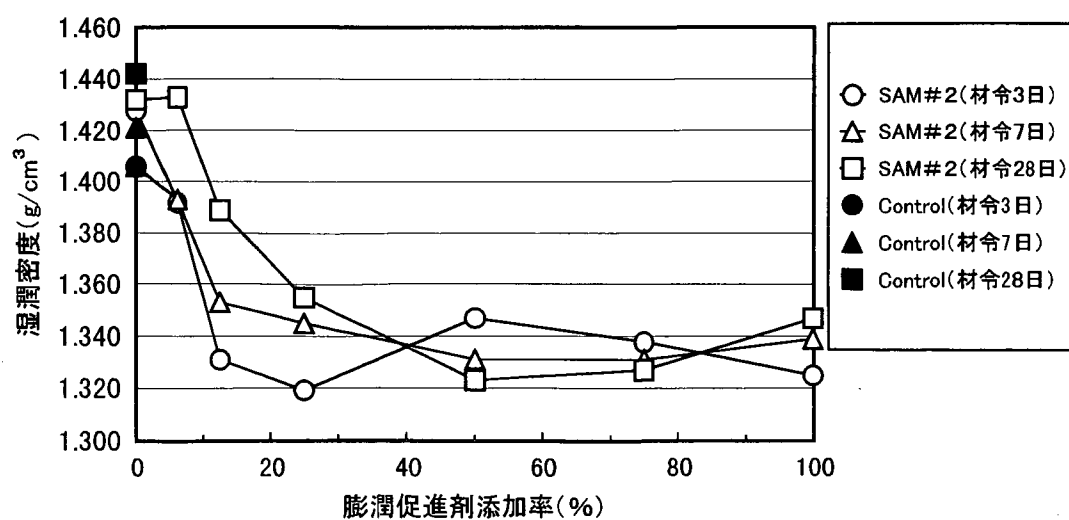
図-4.30 ケース30の試験結果(Bt:Hr,S:#2,W/(Bt+C)=200%,Bt/C=5%)



(d) 粘度(ローターの回転数60rpm)



(e) 一軸圧縮強さ



(f) 湿潤密度

図-4.30 ケース30の試験結果(Bt:Hr,S:#2,W/(Bt+C)=200%,Bt/C=5%)

(13) ケース 31(試験条件 Bt:Ht, S:#2, W/(Bt+C)=200%, Bt/C=5%)

ケース 31 の試験結果一覧を表-4.31 に、コントロールおよび SAM 添加 CB の各種物性の変化を図-4.31(a)~(f)に示す。

① ブリージング率

SAM#2 添加 CB のブリージング率は、SAM の添加率の増加に伴い 3 時間後と 24 時間後の値の差が全体的に小さいので、粒子の沈降は 3 時間程度でほぼ完了するものと考える。SAM#2 添加 CB の 24 時間後のブリージング率は、SAM=0 および 6.25% のとき、それぞれ 14.6 および 12.5% を示し、SAM=12.5 ~100% のとき、5~8% 程度を示す。したがって、SAM=12.5% 以上を添加することにより、試料の安定性は若干高まるものと考える。

SAM#2 添加 CB とコントロールを比較する。24 時間後のブリージング率は、SAM=0% が 14.6%、コントロールが 14.5% を示し、両試料の安定性は同程度であると考える。また、SAM=12.5% 以上の試料の 24 時間後のブリージング率は、5~8% 程度であり、コントロールよりも 6~9% 程度小さい。したがって、ベントナイトを事前膨潤するよりも SAM を添加することにより、安定性が高まるものと考える。

② ファンネル粘度

SAM#2 添加 CB の試料作製直後の粘度は、いずれも 22.5sec 程度を示す。3 時間後の粘度は、SAM の添加率増加に伴い高くなり、SAM=0% が 33.1sec であるが、SAM=75、100% では測定限界以上に達する。このように、SAM の添加率が高い試料ほど、粘度の経時変化量が多くなる。

SAM#2 添加 CB とコントロールを比較する。試料作製直後では、SAM=0% が 22.5sec、コントロールが 27.3sec を示し、3 時間後では、SAM=0% が 33.1sec、コントロールが 39.0sec を示す。このように、いずれの経過時間においても、SAM=0% の試料よりもコントロールの方が高い。一方、SAM=6.25% 以上の試料は、3 時間後では、SAM=6.25~50% の試料はコントロールよりも低く、SAM=75、100% の試料はコントロールよりも高くなる。

③ 粘度 (ローターの回転数 6rpm)

SAM#2 添加 CB の試料作製直後の粘度は、SAM=0~12.5% では 500~700mPa·s 程度、SAM=25~100% では 1200~1700mPa·s 程度を示す。3 時間後では、SAM=100% が極端に低下していることを除き、SAM=0~25% が 3000mPa·s 程度、SAM=50~75% が 6000~6800mPa·s 程度を示す。全体的傾向としては、SAM=0~25% よりも SAM=50~100% の方が高く、経時変化による粘度の増加量も多くなる傾向がみられ、ファンネル粘度の結果とほぼ一致する。

SAM#2 添加 CB とコントロールを比較する。試料作製直後では、SAM=0% が 555mPa·s、コントロールが 695mPa·s を示し、3 時間後では、SAM=0% が 3525mPa·s、コントロールが 2555mPa·s を示し、時間経過とともに、両試料の大小関係は異なる。しかし、このケースの全体的な傾向では、両試料の差は小さいと考えられる。一方、SAM=6.25% 以上の試料は、SAM=6.25~25% と SAM=50~100% でコントロールに対する大小関係が異なり、いずれに経過時間においても、SAM=6.25~25% の範囲ではコントロールと同程度、SAM=50~100% の範囲ではコントロールよりも高くなる。

④ 粘度（ローターの回転数 60rpm）

SAM#2 添加 CB の試料作製直後の粘度は、SAM=0～12.5%ではその増加に伴い 450～297.5mPa・s に低下するが、SAM=25～100%では 300mPa・s 程度の一定値を示す。3 時間後の粘度は、SAM=0～12.5%では低下し、SAM=25～100%では一定値を示す。

SAM#2 添加 CB とコントロールを比較する。試料作製直後では、SAM=0%が 450mPa・s、コントロールが 472.5mPa・s を示し、3 時間後では、SAM=0%が 690mPa・s、コントロールが 730mPa・s を示し、いずれの経過時間においても同程度を示す。一方、SAM=6.25%以上の試料では、いずれの経過時間においてもコントロールよりも低い値を示す。

⑤ 一軸圧縮強さおよび湿潤密度

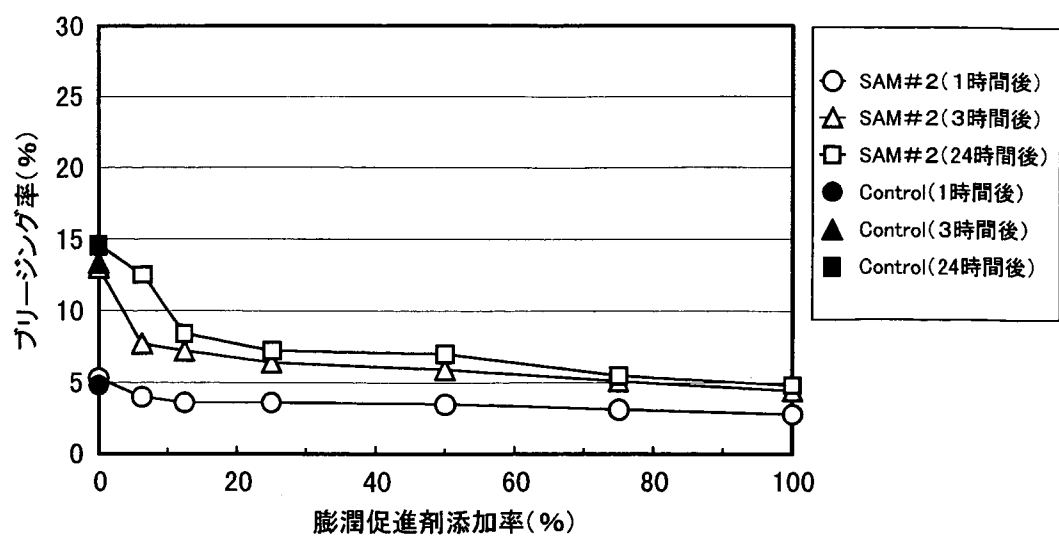
SAM#2 添加 CB の一軸圧縮強さは、材令 3 日でいずれも 300～450kN/m² 程度、材令 28 日でいずれも 1400～1700kN/m² 程度を示し、SAM の添加率に関係なく一定値を示す。一方、試料の湿潤密度は、SAM=0～12.5%では SAM の添加率増加に伴い若干小さくなるが、その後 SAM=12.5～100%では一定値を示す。このように、湿潤密度が小さいにも関わらず、一軸圧縮強さは同程度を示している。

SAM#2 添加 CB とコントロールを比較する。両試料の一軸圧縮強さは、いずれの材令においても同程度を示す。このとき、試料の湿潤密度は、SAM=0%とコントロールは同程度であるものの、SAM=12.5%以上の試料はコントロールよりも小さい。したがって、SAM=0%とコントロールの均質性は、同程度であると考えられる。

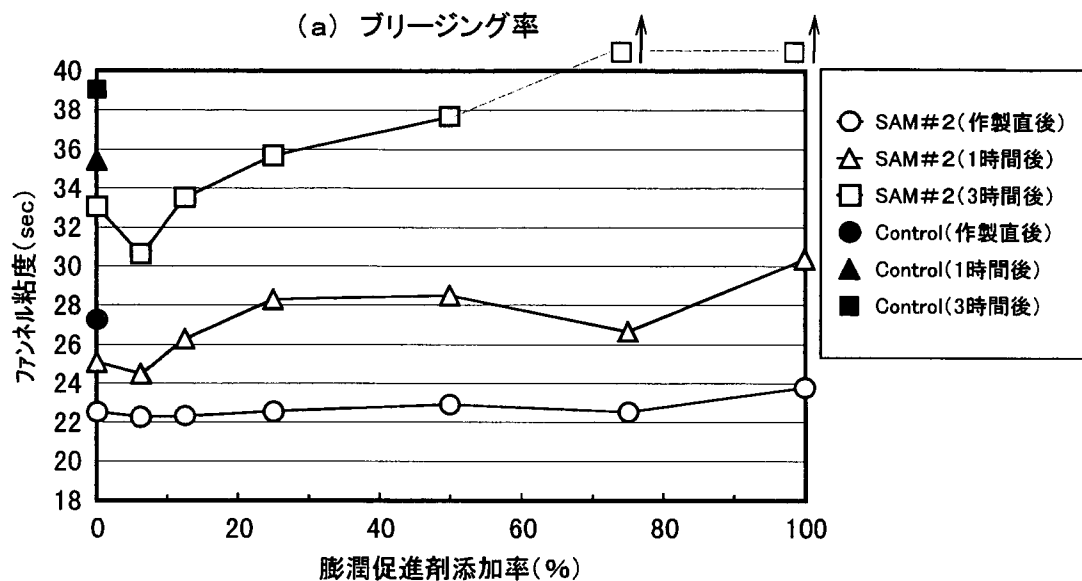
表-4.31 ケース31の試験結果(Bt:Ht,S:#2,W/(Bt+C)=200%,Bt/C=5%)

		SAM添加率 (%)							
		0	6.25	12.5	25	50	75	100	Control
ブリージング率 (%)	1時間後	5.3	4.0	3.6	3.6	3.5	3.1	2.8	4.8
	3時間後	13.0	7.7	7.2	6.4	5.9	5.1	4.4	13.3
	24時間後	14.6	12.5	8.4	7.2	7.0	5.5	4.8	14.5
ファンネル粘度 (sec)	作製直後	22.5	22.3	22.3	22.6	22.9	22.5	23.8	27.3
	1時間後	25.1	24.5	26.3	28.3	28.5	26.7	30.4	35.4
	2時間後	30.1	29.2	32.1	34.8	33.7	—	—	40.8
	3時間後	33.1	30.6	33.5	35.7	37.7	—	—	39.0
粘度 (ローター回転数:6rpm) (mPa·s)	作製直後	555.0	705.0	730.0	1250.0	1700.0	1525.0	1350.0	695.0
	1時間後	1450.0	1425.0	1550.0	1975.0	1975.0	1750.0	1575.0	2250.0
	2時間後	1800.0	2900.0	3350.0	4200.0	5400.0	7600.0	2300.0	4000.0
	3時間後	3525.0	3025.0	3075.0	3250.0	6000.0	6800.0	2900.0	2550.0
粘度 (ローター回転数:60rpm) (mPa·s)	作製直後	450.0	390.0	297.5	322.5	292.5	265.0	262.5	472.5
	1時間後	500.0	430.0	452.5	460.0	480.0	510.0	450.0	490.0
	2時間後	510.0	500.0	470.0	510.0	510.0	560.0	480.0	530.0
	3時間後	690.0	640.0	580.0	570.0	520.0	700.0	640.0	730.0
一軸圧縮強さ (kN/m ²)	材令3日	441	382	441	363	382	294	294	402
	材令7日	951	941	932	883	1000	794	785	951
	材令28日	1687	1520	1589	1559	1579	1579	1373	1667
湿潤密度 (g/cm ³)	材令3日	1.370	1.359	1.330	1.301	1.331	1.333	1.329	1.372
	材令7日	1.362	1.376	1.343	1.320	1.352	1.352	1.318	1.372
	材令28日	1.381	1.344	1.347	1.307	1.328	1.333	1.317	1.403
透水係数(cm/sec)	材令28日								
湿潤密度(g/cm ³)	材令28日								

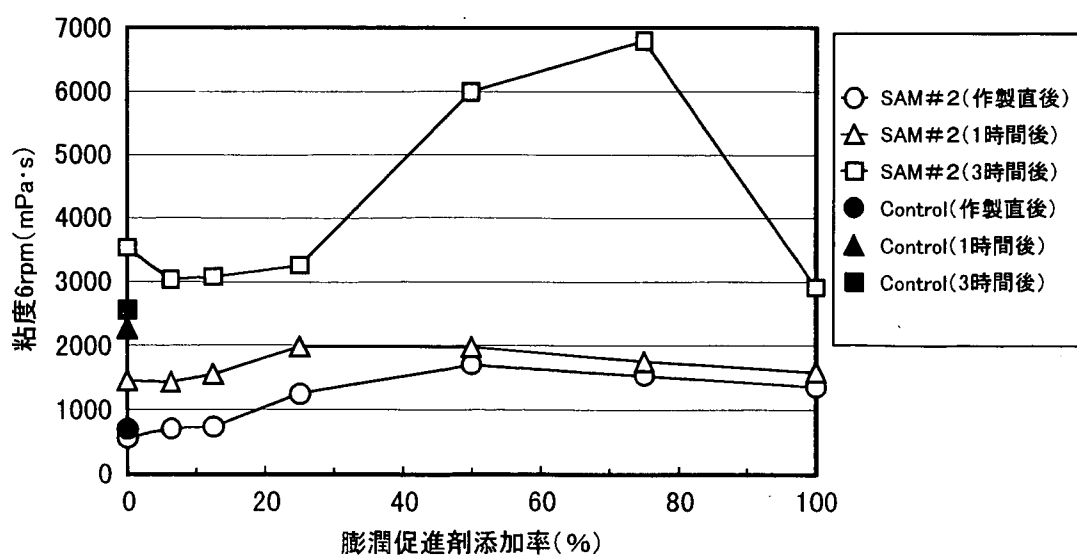
注) 空欄は試験を実施していないことを示し、測定値の「-」は測定限界を示す。



(a) フリージング率

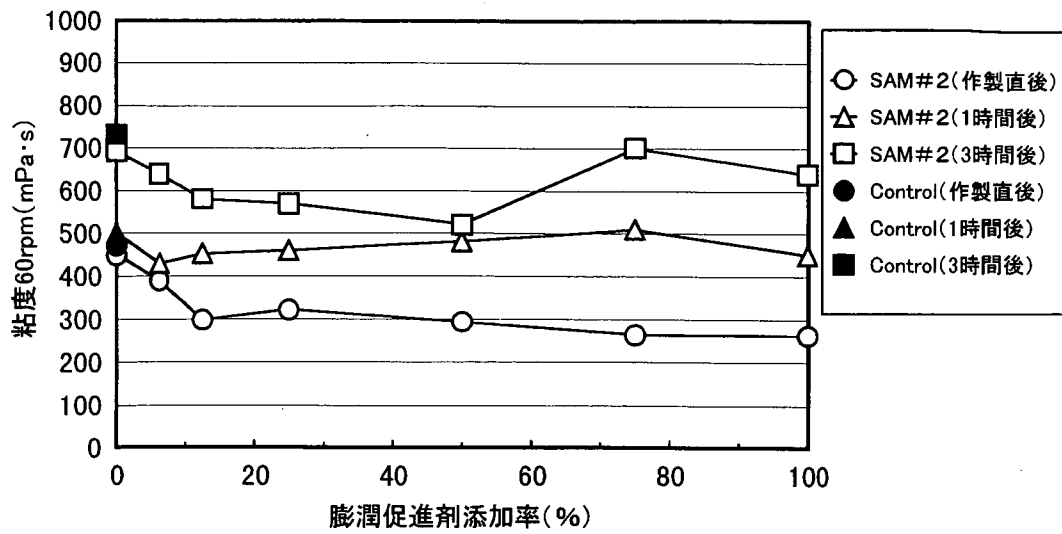


(b) ファンネル粘度

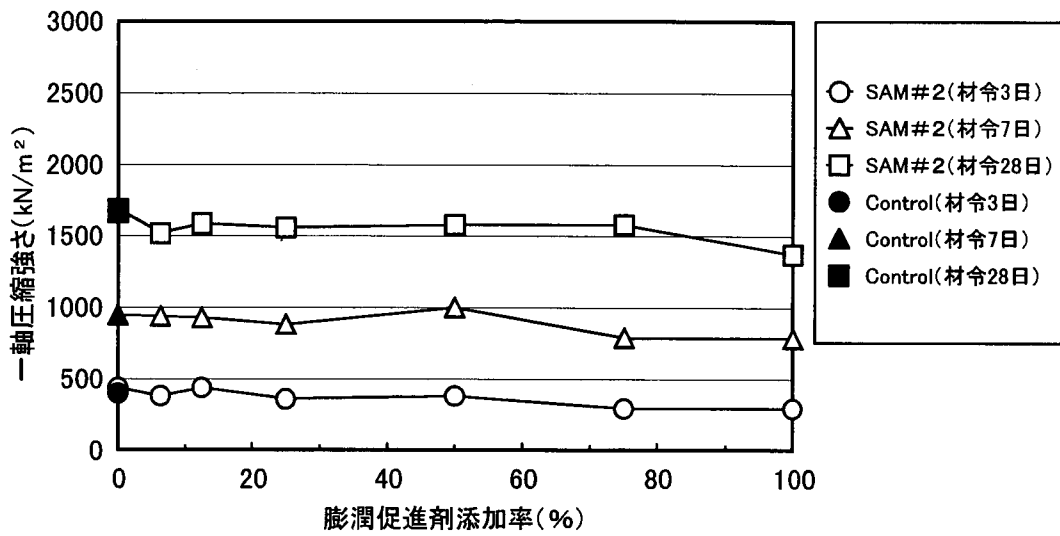


(c) 粘度(ローターの回転数6rpm)

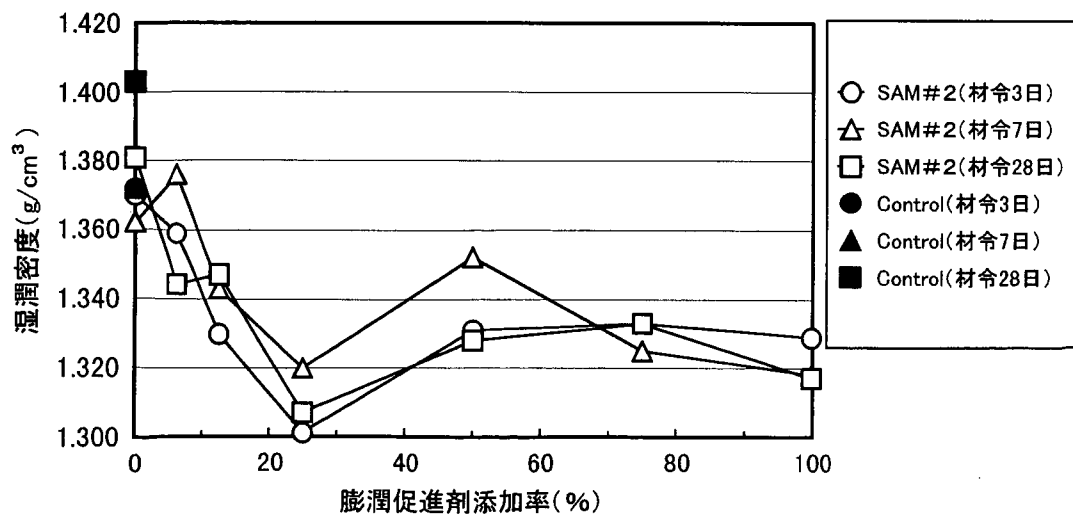
図-4.31 ケース31の試験結果 (Bt:Ht,S:#2,W/(Bt+C)=200%,Bt/C=5%)



(d) 粘度(ローターの回転数60rpm)



(e) 一軸圧縮強さ



(f) 湿潤密度

図-4.31 ケース31の試験結果(Bt:Ht,S:#2,W/(Bt+C)=200%,Bt/C=5%)

(14) ケース 32(試験条件 Bt:K, S: #2, W/(Bt+C)=200%, Bt/C=5%)

ケース 32 の試験結果一覧を表-4.32 に、コントロールおよび SAM 添加 CB の各種物性の変化を図-4.32(a) ~ (h) に示す。

① ブリージング率

SAM#2 添加 CB のブリージング率は、1、3、24 時間後の値が同程度であることから、粒子の沈降は、試料作製からほぼ 1 時間で完了するものと考ええる。24 時間後のブリージング率は、SAM の添加率増加に伴い減少する。特に、SAM=0~25% の範囲においてその傾向が顕著であり、ブリージング率は 42.7% ~ 12.8% になる。また、SAM=25~100% の範囲では、これに比べて緩やかな減少傾向を示し、ブリージング率は 12.8~3.6% に減少する。

SAM#2 添加 CB とコントロールを試料作製 24 時間後で比較する。コントロールは、SAM=0% よりも 6% 程度小さいが、SAM=25%~100% の試料よりは 20~30% 大きい。このように、コントロールは、SAM を添加しない試料とは同程度の安定性を示すが、SAM=25%~100% の試料よりは安定性が低い。すなわち、SAM#2 添加 CB は、SAM の添加率増加に伴いその安定性が高まるとともに、コントロールよりも高い安定性を示す。しかし、これは、SAM の添加によって試料が均質になった結果ではないことが、粘度、一軸圧縮強さの結果から推察される。これについては、一軸圧縮強さの項で述べる。

② ファンネル粘度

SAM#2 添加 CB のファンネル粘度は、試料作製直後では SAM の添加率に関係なく、20.5~21.0sec の一定値を示す。そして、どの試料も 1 時間後に最大値を示した後、3 時間後には低下するが、SAM の添加率の増加に伴い、高くなる傾向を示す。

SAM#2 添加 CB とコントロールを比較する。試料作製直後の粘度では、SAM=0% の試料が 20.9sec、コントロールが 21.5sec を示し、3 時間後では、SAM=0% が 20.9sec、コントロールが 22.4sec を示し、いずれの経過時間においてもあまり差がない。3 時間後では、SAM=6.25~25% の試料はコントロールと同程度であるが、SAM=50~100% の試料は経時変化による粘度の増加量が多いのでコントロールよりもかなり高くなる。

③ 粘度 (ローターの回転数 6rpm)

SAM#2 添加 CB の粘度は、試料作製直後では SAM の添加率増加に伴い若干高くなる傾向を示す。そして、どの試料も 1 時間後に最大値を示した後、その後低下し 3 時間後には 1 時間後よりも低くなる。

SAM#2 添加 CB とコントロールを比較する。試料作製直後では、SAM=0% が 495mPa·s、コントロールが 520mPa·s を示し、3 時間後では、SAM=0% が 635mPa·s、コントロールが 825mPa·s を示し、いずれの経過時間においてもコントロールの方が若干高くなる。一方、SAM=6.25% 以上の試料は、試料作製直後ではコントロールよりも若干高い。しかし、3 時間後では、SAM=75、100% の試料がコントロールと同程度であるのに対し、SAM=6.25~50% の試料はコントロールよりも低くなる。

④ 粘度 (ローターの回転数 60rpm)

SAM#2 添加 CB の粘度は、いずれも SAM の添加率増加に伴い若干高くなる傾向を示す。そして、1

時間後に最大値を示した後、その後低下し 3 時間後には試料作製直後とほぼ同じ値を示す。これまでのケースでは CB グラウトの粘度は、経過時間とともに上昇していたが、このケースではこれまでと異なった傾向を示す。

SAM#2 添加 CB とコントロールを比較する。試料作製直後では、SAM=0%が 87mPa・s、コントロールが 80mPa・s を示し、3 時間後では、SAM=0%が 94.5mPa・s、コントロールが 140.0mPa・s を示し、試料作製直後では同程度であるが、時間経過によってコントロールの方が若干高くなる。

SAM#2 添加 CB の粘度は、コントロールが時間経過とともに上昇するのに対し、1 時間後よりも 3 時間後の方が低下するなど、一般的とは言えない状況がみられる。これらの要因については、他の物性との比較検討を行うことによって、一軸圧縮強さの項で考察する。

⑤ 一軸圧縮強さおよび湿潤密度

SAM#2 添加 CB のうち SAM=0、6.25%の試料とコントロールは、同材令における一軸圧縮強さおよび湿潤密度が同程度であり、かつ経時変化による強度の増加量が同程度である。一方、SAM=12.5~100%の試料の一軸圧縮強さは、材令 28 日で SAM=0、6.25%の試料およびコントロールに比べ 1/2~1/5 程度になっている。一軸圧縮強さや湿潤密度が SAM=12.5%付近を境に大きく変化するのは、他の物性と同様な傾向である。このように、このケースの CB グラウトの物性が SAM の添加率の変化によって大きく変化する要因を以下に考察する。

ベントナイト K は、実験用に膨潤力を小さくして試作したものであり、他のベントナイトに比べ細粒分が少なく粗粒分が多い。SAM が作用する粘度鉱物モンモリロナイトの含有量も少ない。したがって、SAM の添加による CB グラウトの物性改善効果は、他のベントナイトに比べて小さくなるものと考えられる。しかし、ブリージング率は、SAM の添加によってかなり小さくなっている。これは、ベントナイトの膨潤が改善されるとともに、ベントナイトやセメントの粒子がグラウト全体として均質に混合された結果ではなく、実際には、粒子径の大きなベントナイトの粗粒部分やセメント粒子が沈降し、その上部にベントナイトの細粒部分が浮遊している分離状態ではないかと考える。この結果、粘度が経時的に上昇せず、一軸圧縮強さが極端に低下したものと考ええる。

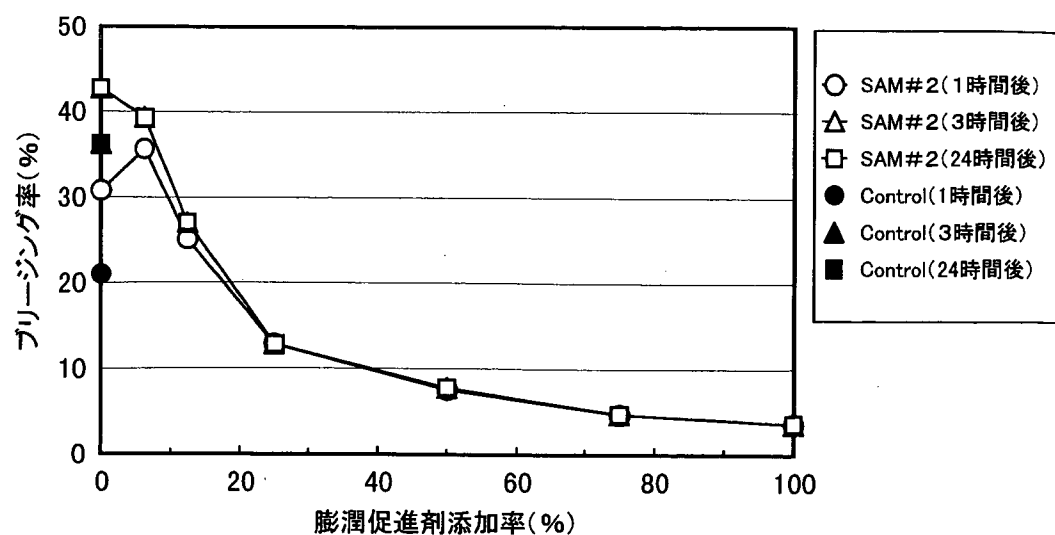
⑥ 透水係数および湿潤密度

SAM#2 添加 CB の透水係数は、SAM=0~12.5%のとき 10^{-8} および 10^{-7} cm/sec オーダを、SAM=25~100%のとき 10^{-6} cm/sec オーダを示す。また、湿潤密度は、SAM=25~100%よりも SAM=0~12.5%の方が大きい。また、コントロールは、SAM=0~12.5%の試料と同程度の値を示し、SAM=25~100%の試料よりも湿潤密度が高く透水性が低い。

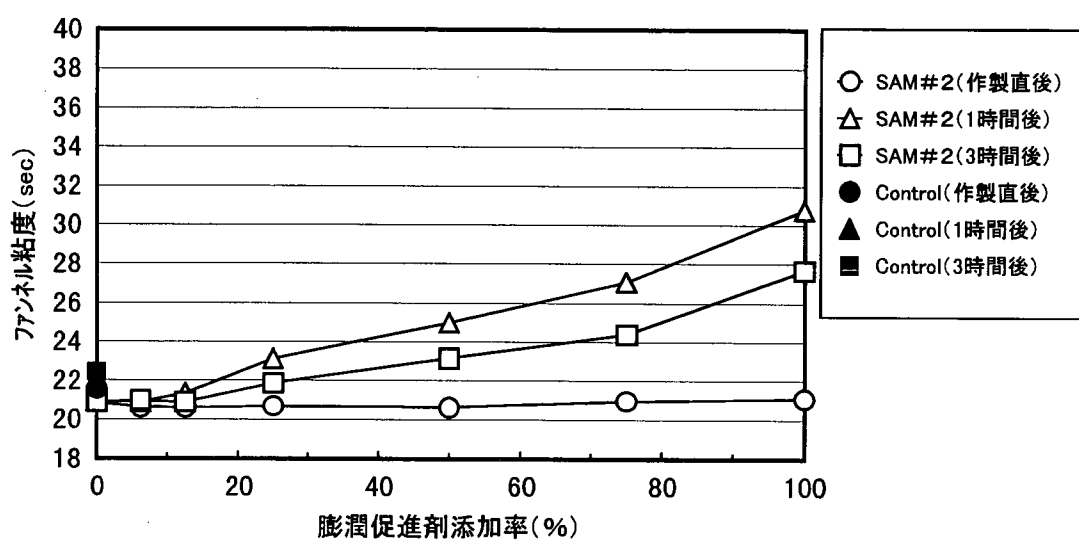
表-4.32 ケース32の試験結果 (Bt:K,S:#2,W/(Bt+C)=200%,Bt/C=5%)

		SAM添加率 (%)							
		0	6.25	12.5	25	50	75	100	Control
ブリージング率 (%)	1時間後	30.8	35.7	25.0	12.8	7.5	4.7	3.6	21.0
	3時間後	42.7	39.4	27.0	12.8	7.8	4.7	3.6	36.2
	24時間後	42.7	39.4	27.0	12.8	7.8	4.7	3.6	36.2
ファンネル粘度 (sec)	作製直後	20.9	20.6	20.6	20.7	20.6	21.0	21.1	21.5
	1時間後	20.9	20.9	21.3	23.1	25.0	27.1	30.8	22.1
	2時間後	21.0	20.9	21.1	22.4	23.6	25.5	28.5	22.4
	3時間後	20.9	20.9	20.9	21.9	23.2	24.4	27.7	22.4
粘度 (ローター回転数:6rpm) (mPa・s)	作製直後	495.0	495.0	575.0	560.0	625.0	670.0	695.0	520.0
	1時間後	605.0	620.0	695.0	665.0	830.0	1400.0	1700.0	525.0
	2時間後	645.0	650.0	645.0	650.0	800.0	920.0	1075.0	640.0
	3時間後	635.0	630.0	625.0	620.0	625.0	835.0	945.0	825.0
粘度 (ローター回転数:60rpm) (mPa・s)	作製直後	87.0	85.5	84.0	87.5	99.0	125.0	135.0	80.0
	1時間後	100.0	98.5	100.0	105.0	142.5	180.0	200.0	97.5
	2時間後	100.0	102.5	95.0	91.0	107.5	135.0	167.5	102.5
	3時間後	94.5	92.5	84.5	84.5	93.0	110.0	137.5	140.0
一軸圧縮強さ (kN/m ²)	材令3日	2001	1726	1098	530	431	481	441	1863
	材令7日	4619	4070	2687	1236	863	853	883	4089
	材令28日	8130	7845	4374	2079	1432	1432	1530	6865
湿潤密度 (g/cm ³)	材令3日	1.553	1.542	1.461	1.365	1.340	1.339	1.333	1.507
	材令7日	1.570	1.541	1.468	1.378	1.337	1.334	1.336	1.543
	材令28日	1.556	1.552	1.455	1.388	1.351	1.334	1.334	1.549
透水係数(cm/sec)	材令28日	4.3×10 ⁻⁷	9.8×10 ⁻⁸	3.2×10 ⁻⁷	3.3×10 ⁻⁶	3.5×10 ⁻⁶	4.6×10 ⁻⁶	7.1×10 ⁻⁶	1.9×10 ⁻⁷
湿潤密度(g/cm ³)	材令28日	1.522	1.519	1.437	1.383	1.385	1.366	1.378	1.502

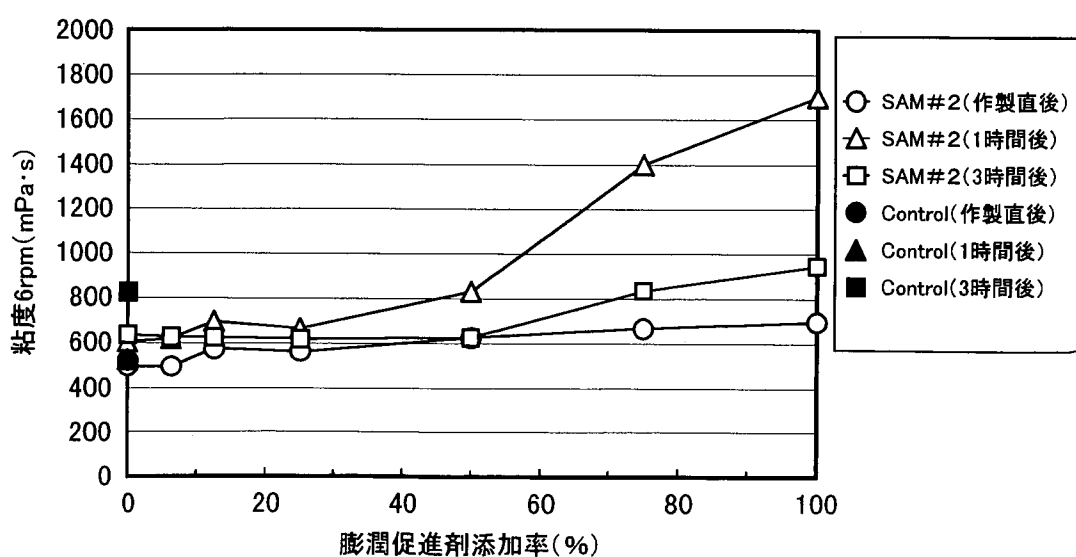
注) 空欄は試験を実施していないことを示し、測定値の「-」は測定限界を示す。



(a) フリージング率

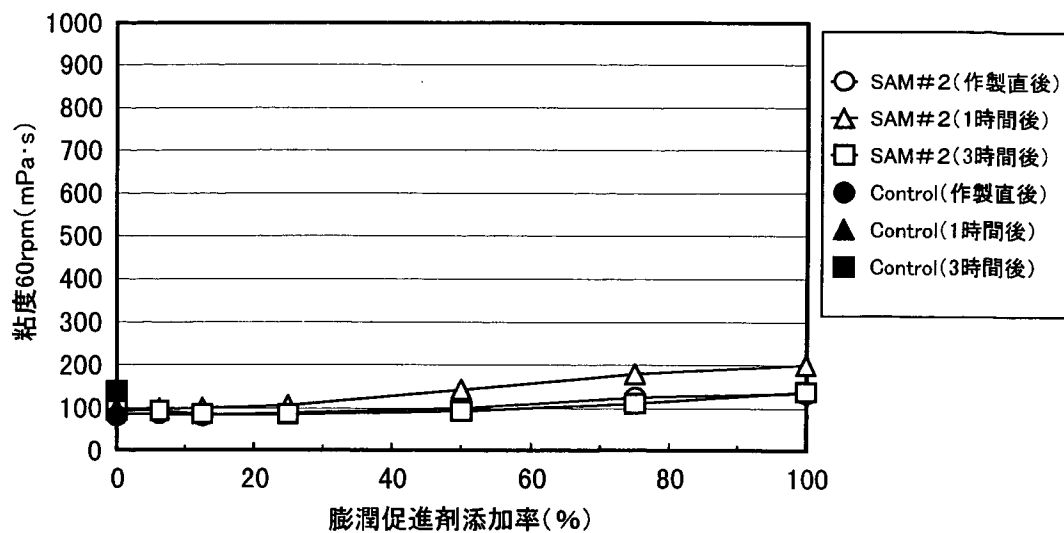


(b) ファンネル粘度

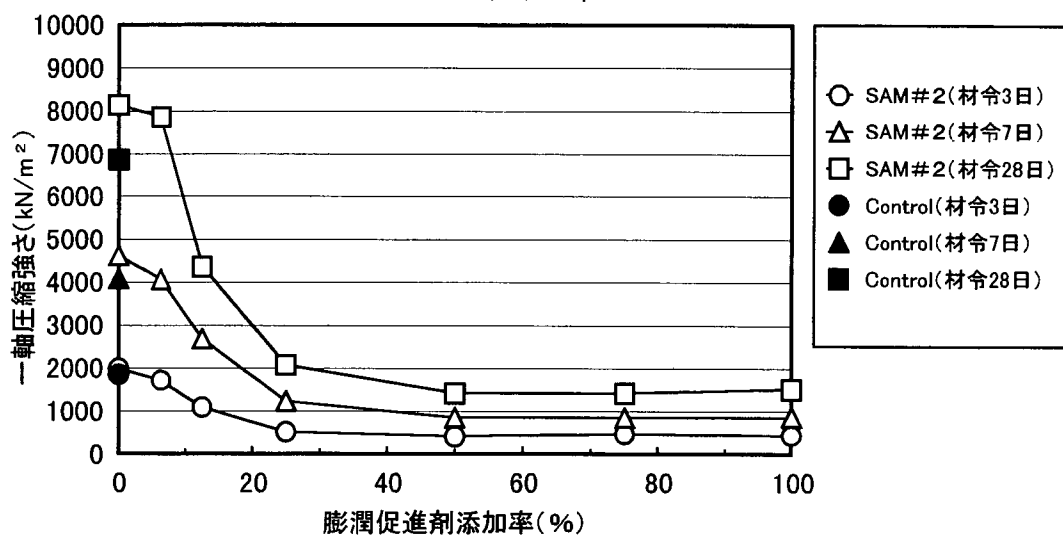


(c) 粘度(ローターの回転数6rpm)

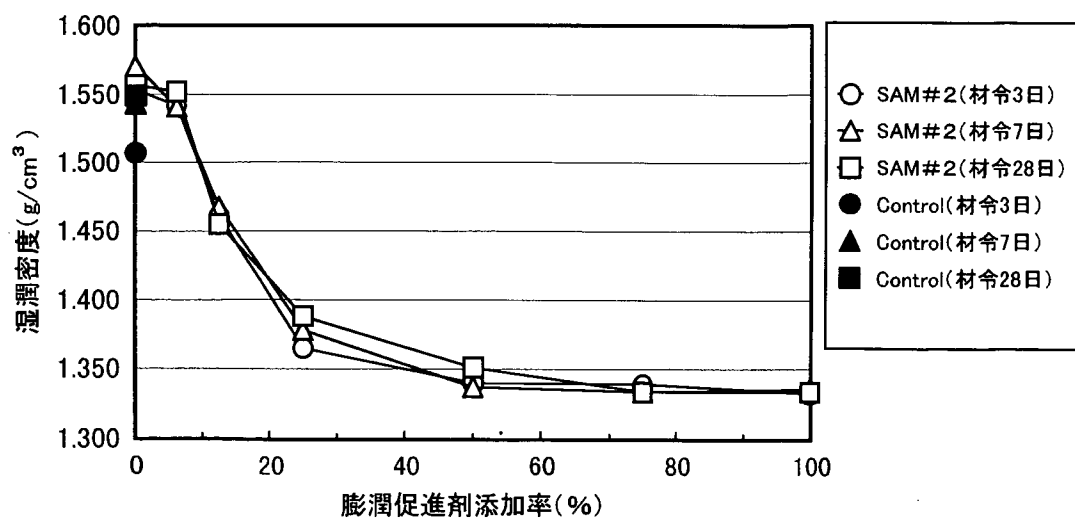
図-4.32 ケース32の試験結果(Bt:K,S:#2,W/(Bt+C)=200%,Bt/C=5%)



(d) 粘度(ローターの回転数60rpm)



(e) 一軸圧縮強さ



(f) 湿潤密度

図-4.32 ケース32の試験結果(Bt:K,S:#2,W/(Bt+C)=200%,Bt/C=5%)

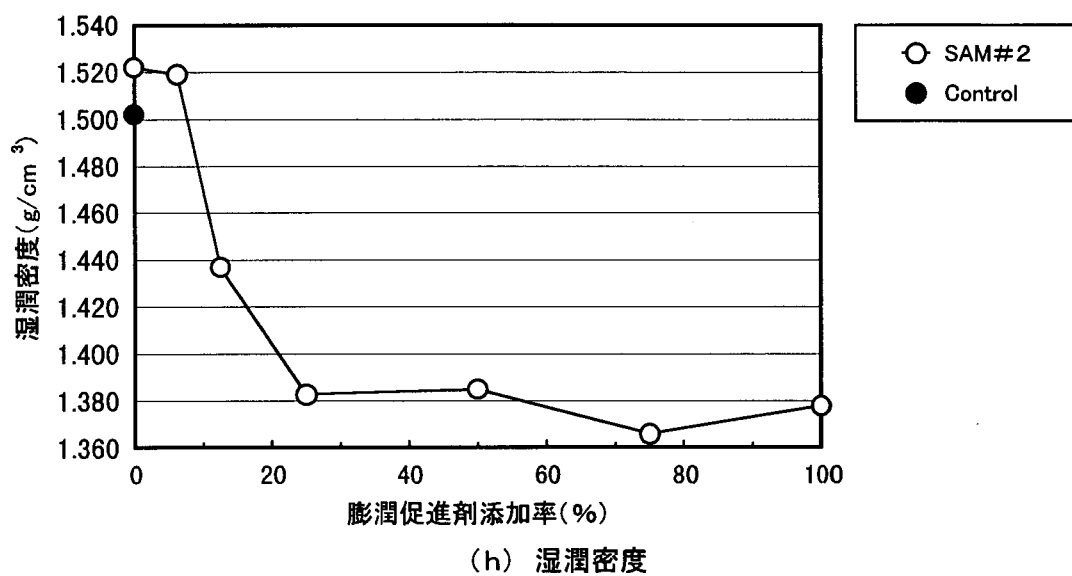
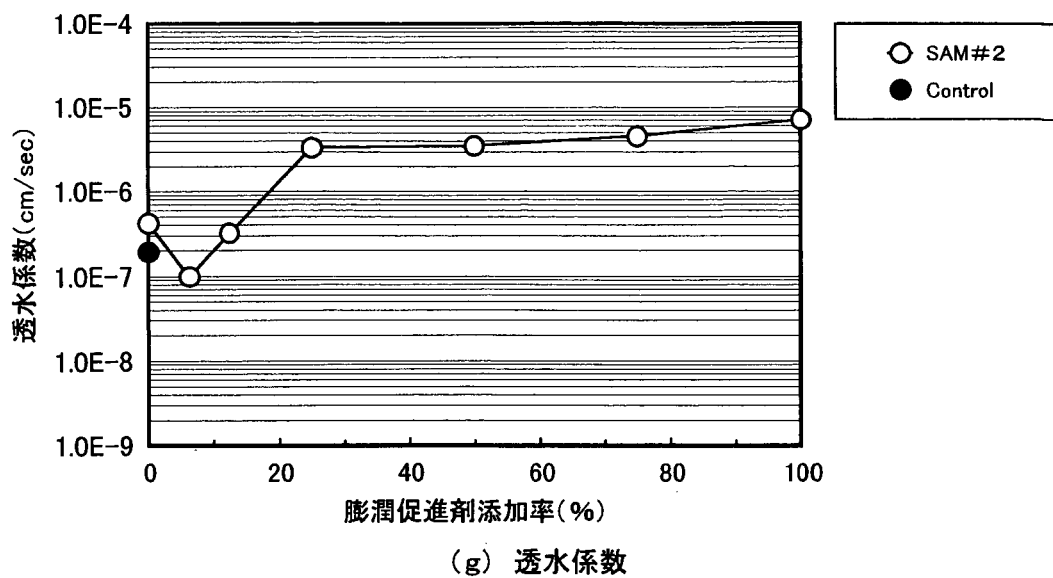


図-4.32 ケース32の試験結果 (Bt:K,S:#2,W/(Bt+C)=200%,Bt/C=5%)

(15) ケース 33(試験条件 Bt:G、S:#2、W/(Bt+C)=200%、Bt/C=5%)

ケース 33 の試験結果一覧を表-4.33 に、コントロールおよび SAM 添加 CB の各種物性の変化を図-4.33(a)~(f)に示す。

① ブリージング率

SAM#2 添加 CB のブリージング率は、1、3、24 時間後の値が同程度であることから、粒子の沈降は、試料作製からほぼ 1 時間で完了するものと考ええる。24 時間後のブリージング率は、SAM の添加率増加に伴い減少する。特に、SAM=0~25%の範囲においてその傾向が顕著であり、ブリージング率は 57.6%~25.4%になる。また、SAM=25~100%の範囲では、これに比べて緩やかな減少傾向を示し、ブリージング率は 25.4~11.9%に減少する程度である。

SAM#2 添加 CB とコントロールを試料作製 24 時間後で比較する。コントロールのブリージング率は、1 時間後を除き、SAM=0%と同程度である。

このように、SAM#2 添加 CB は、SAM の添加率増加に伴いその安定性が高まり、コントロールよりも高い安定性を示す。

② ファンネル粘度

SAM#2 添加 CB のファンネル粘度は、SAM の添加率増加に伴い若干高くなる傾向を示す。

SAM#2 添加 CB とコントロールを比較する。コントロールの試料作製直後の粘度は、SAM=0、6.25%の試料と同程度であるが、SAM=12.5%以上の試料よりも小さい。また、コントロールは、時間経過による粘度の上昇が認められない。

③ 粘度 (ローターの回転数 6rpm)

SAM#2 添加 CB の試料作製直後の粘度は、SAM の添加率増加に伴い若干高くなる傾向を示す。そして、どの試料も 1 時間後に最大値を示した後、3 時間後には作製直後よりも低下する。

SAM#2 添加 CB とコントロールを比較する。コントロールの試料作製直後の粘度は、SAM=0、6.25%と同程度、SAM=12.5%以上の試料よりも低い。

このように、SAM#2 添加 CB は、時間経過によって一旦上昇した粘度が低下する状況がうかがえる。

④ 粘度 (ローターの回転数 60rpm)

SAM#2 添加 CB の試料作製直後の粘度は、SAM の添加率増加に伴い若干高くなる傾向を示す。そして、どの試料も 1 時間後に最大値を示した後、3 時間後には 1 時間後よりも低くなる。

SAM#2 添加 CB とコントロールを比較する。コントロールの試料作製直後の粘度は、SAM=0、6.25%と同程度、SAM=12.5%以上の試料よりも低い。また、コントロールの粘度は時間経過によらずほぼ一定である。

このように、SAM#2 添加 CB は、コントロールよりも高い粘度を示すが、時間経過によって一旦上昇した粘度が低下する状況がうかがえる。

⑤ 一軸圧縮強さおよび湿潤密度

SAM#2 添加 CB のうち SAM=0、6.25%の試料とコントロールは、同材令における一軸圧縮強さおよび

び湿潤密度の差は小さく、かつ経時変化による強度の増加量も同程度である。一方、SAM=12.5~100%の試料の一軸圧縮強さは、これらの試料よりも小さく、材令 28 日で SAM=0、6.25%の試料およびコントロールに比べ 1/2~1/5 程度になっている。このように、一軸圧縮強さや湿潤密度が SAM=12.5%付近を境に極端に変化するのは、他の物性と同様な傾向である。

ベントナイト G は、ベントナイト K と同様、実験用に膨潤力を小さくして試作したものであり、他の市販のベントナイトに比べて、細粒分が少なく粗粒分が多く、SAM が作用する粘度鉱物モンモリロナイトの含有量も少ない。したがって、SAM の添加による CB グラウトの物性改善効果は、小さくなるものと考えられる。しかし、ブリージング率は、SAM の添加によってかなり小さくなっている。これは、ベントナイトの膨潤が改善されるとともに、ベントナイトやセメントの粒子がグラウト全体として均質に混合された結果ではなく、実際には、粒子径の大きなベントナイトの粗粒部分やセメント粒子が沈降し、その上部にベントナイトの細粒部分が浮遊している分離状態ではないかと考える。この結果、粘度が経時的に上昇せず、一軸圧縮強さが極端に低下したものとする。

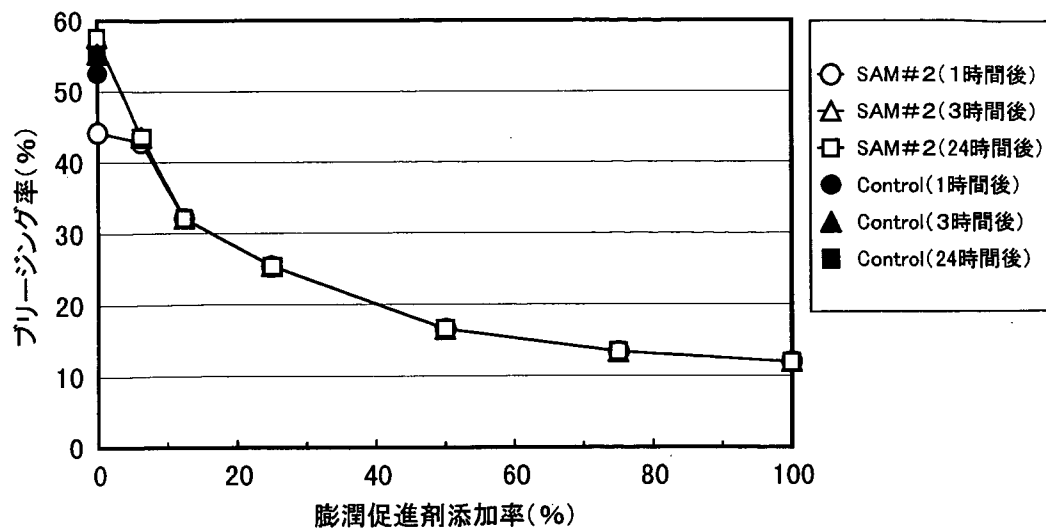
⑥ 透水係数および湿潤密度

SAM#2 添加 CB の透水係数は、SAM=0、6.25%のとき 10^{-8} および 10^{-7} cm/sec オーダを、SAM=12.5~100%のとき 10^{-6} cm/sec オーダを示す。湿潤密度は、SAM=12.5~100%よりも SAM=0~6.25%の方が大きい。また、コントロールは、SAM=0、6.25%の試料と同様の傾向を示し、SAM=12.5~100%の試料よりも湿潤密度が高く透水性が低い。

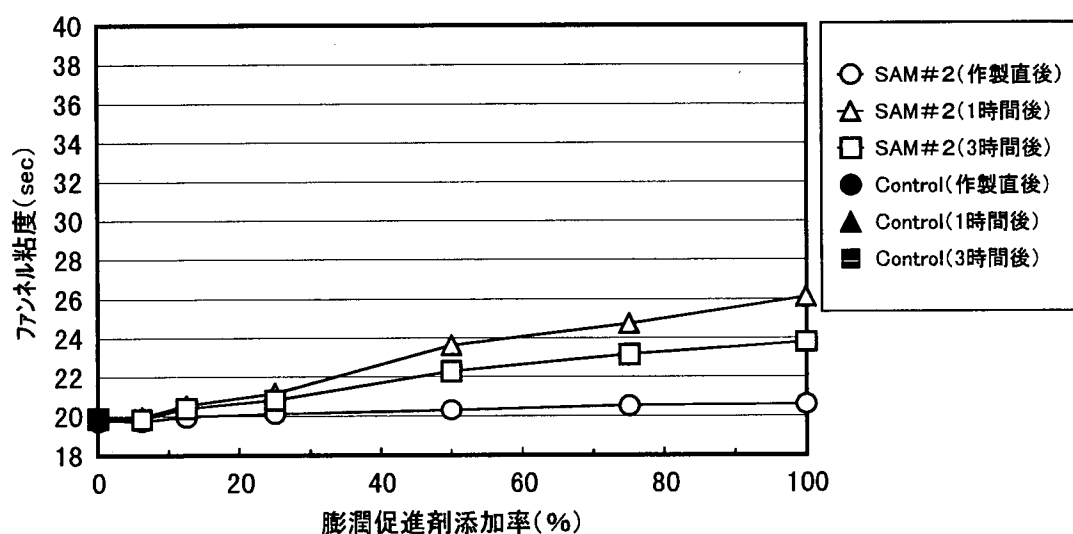
表-4.33 ケース33の試験結果(Bt:G,S:#2,W/(Bt+C)=200%,Bt/C=5%)

		SAM添加率 (%)							
		0	6.25	12.5	25	50	75	100	Control
ブリージング率 (%)	1時間後	44.3	42.8	32.1	25.4	16.5	13.4	11.9	52.5
	3時間後	57.6	43.6	32.1	25.4	16.5	13.4	11.9	55.3
	24時間後	57.6	43.6	32.1	25.4	16.5	13.4	11.9	55.3
ファンネル粘度 (sec)	作製直後	19.8	19.7	20.0	20.1	20.3	20.5	20.6	19.8
	1時間後	19.9	19.9	20.5	21.2	23.6	24.7	26.1	19.9
	2時間後	19.9	19.9	20.5	20.8	22.7	23.8	24.4	19.9
	3時間後	19.9	19.8	20.4	20.8	22.3	23.2	23.8	19.9
粘度 (ローター回転数:6rpm) (mPa·s)	作製直後	30.0	105.0	295.0	305.0	335.0	350.0	340.0	80.0
	1時間後	35.0	120.0	425.0	485.0	545.0	630.0	665.0	80.0
	2時間後	30.0	150.0	290.0	315.0	400.0	410.0	420.0	70.0
	3時間後	35.0	135.0	190.0	230.0	300.0	285.0	310.0	70.0
粘度 (ローター回転数:60rpm) (mPa·s)	作製直後	12.5	20.5	43.0	46.0	58.5	58.5	60.5	19.0
	1時間後	13.0	21.5	52.5	63.0	92.5	95.0	97.5	18.5
	2時間後	13.0	25.5	39.5	43.5	58.5	61.5	64.5	19.0
	3時間後	12.5	23.5	29.0	37.0	46.0	49.5	52.5	18.5
一軸圧縮強さ (kN/m ²)	材令3日	2599	2010	1040	726	726	559	520	3109
	材令7日	5619	4286	2471	2040	1265	1098	1040	5727
	材令28日	10552	9807	4599	3442	2471	2216	2010	10219
湿潤密度 (g/cm ³)	材令3日	1.728	1.576	1.475	1.452	1.388	1.373	1.364	1.680
	材令7日	1.715	1.577	1.489	1.464	1.392	1.380	1.373	1.696
	材令28日	1.751	1.598	1.508	1.473	1.401	1.382	1.374	1.703
透水係数(cm/sec)	材令28日	2.4×10 ⁻⁸	1.2×10 ⁻⁷	1.1×10 ⁻⁶	3.8×10 ⁻⁶	7.3×10 ⁻⁶	6.2×10 ⁻⁶	1.3×10 ⁻⁵	2.4×10 ⁻⁸
湿潤密度(g/cm ³)	材令28日	1.790	1.587	1.461	1.416	1.417	1.412	1.415	1.747

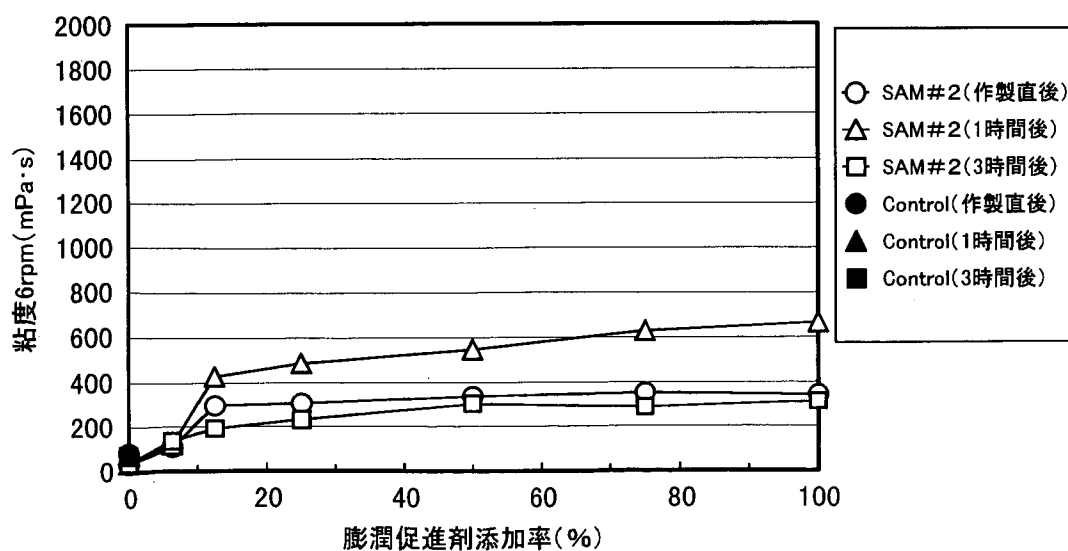
注) 空欄は試験を実施していないことを示し、測定値の「-」は測定限界を示す。



(a) ブリッジング率

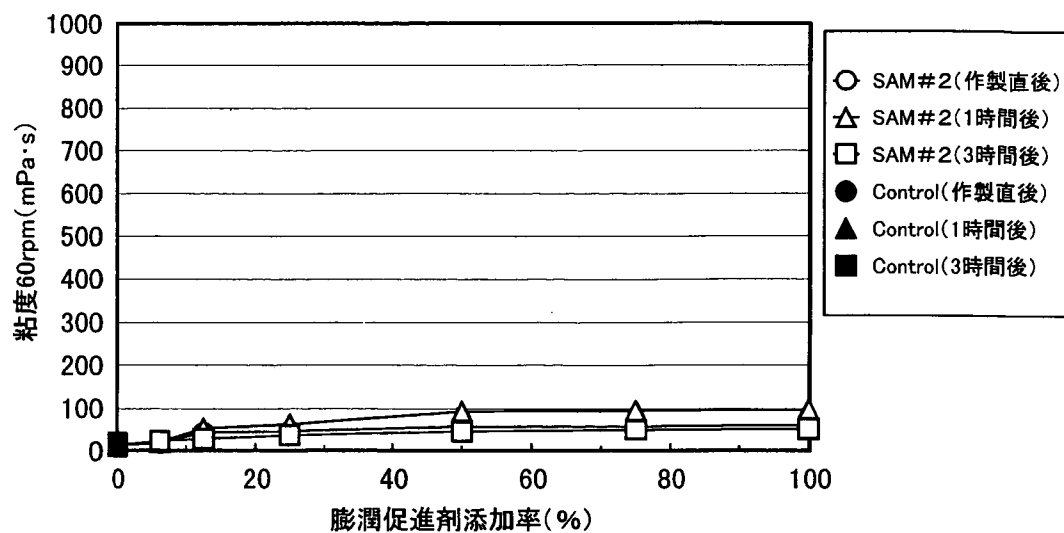


(b) ファンネル粘度

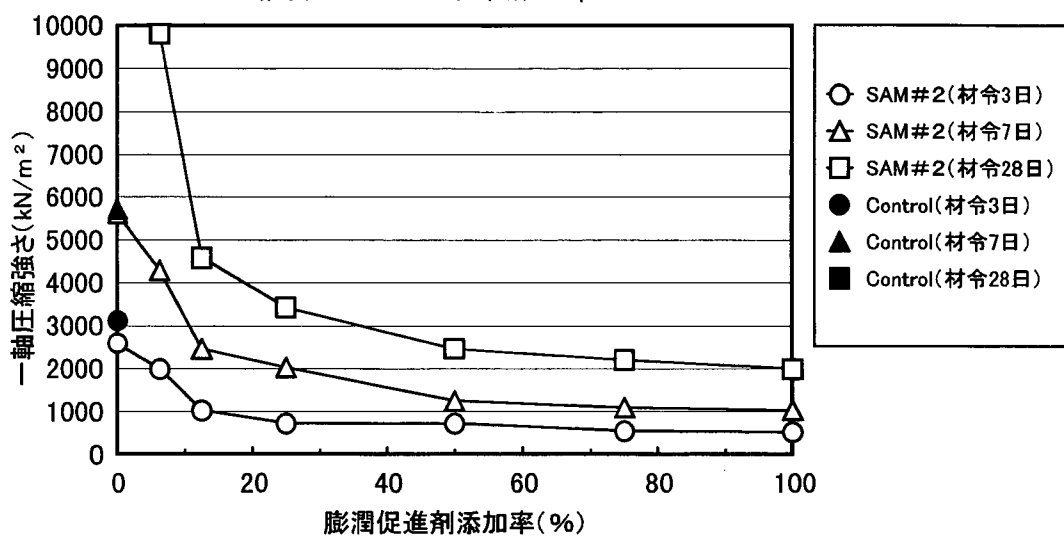


(c) 粘度(ローターの回転数6rpm)

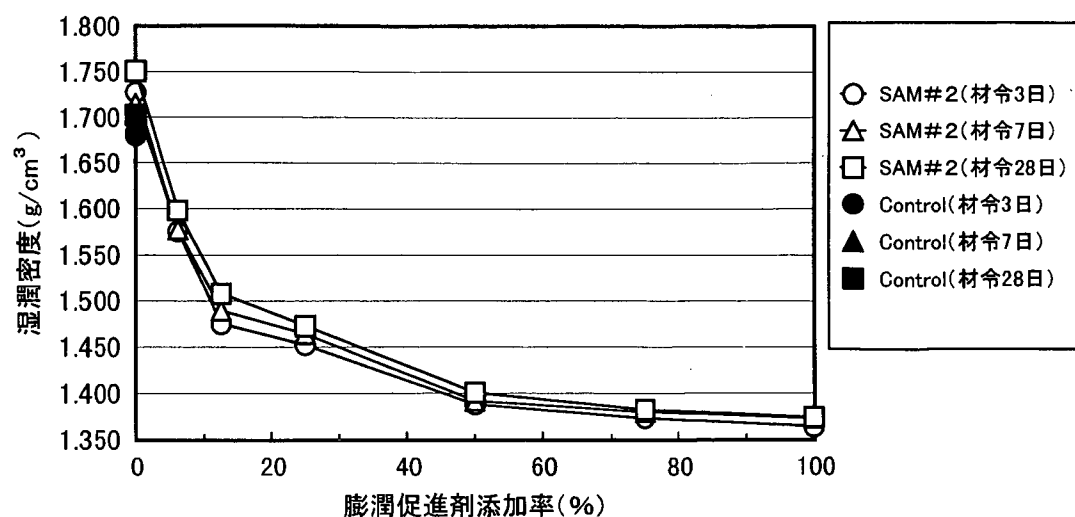
図-4.33 ケース33の試験結果(Bt:G,S:#2,W/(Bt+C)=200%,Bt/C=5%)



(d) 粘度(ローターの回転数60rpm)



(e) 一軸圧縮強さ



(f) 湿潤密度

図-4.33 ケース33の試験結果(Bt:G,S:#2,W/(Bt+C)=200%,Bt/C=5%)

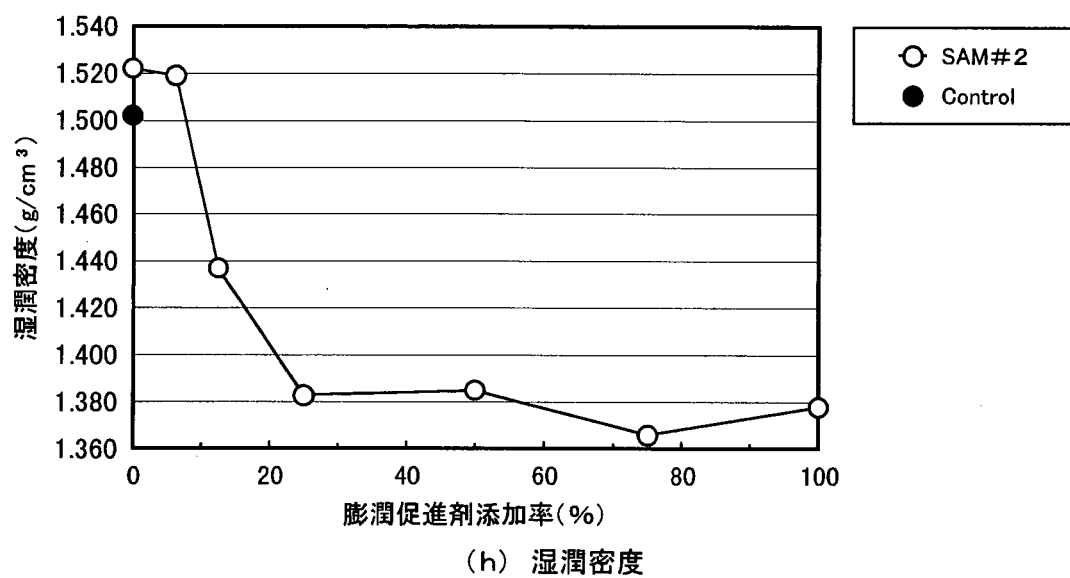
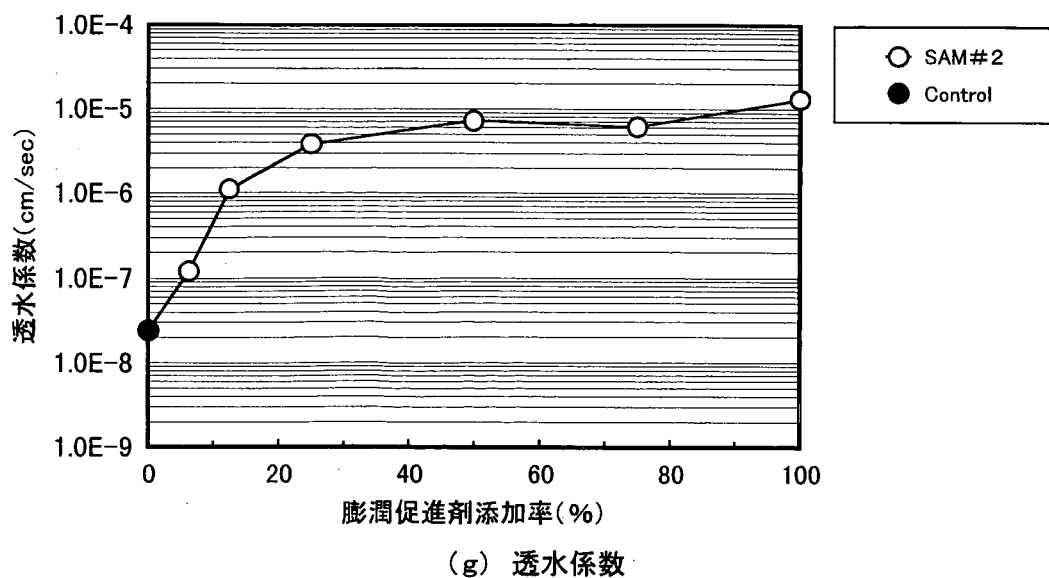


図-4.33 ケース33の試験結果 (Bt:G,S:#2,W/(Bt+C)=200%,Bt/C=5%)

(16) ケース 34(試験条件 Bt:Ht, S:#2, W/(Bt+C)=100%, Bt/C=5%)

ケース 34 の試験結果一覧を表-4.34 に、コントロールおよび SAM 添加 CB の各種物性の変化を図-4.34(a)~(f)に示す。

① ブリージング率

1、3 時間後の測定では、固体面と液体面との境界面の区別が困難であったため、それらのブリージング率は、24 時間後よりも若干大きくなることがあった。しかし、いずれの試料もブリージング率は 5% 未満と小さい。

SAM#2 添加 CB の 24 時間後のブリージング率は、SAM=0%が 3.8%、SAM=6.25%以上の試料が 0%を示し、SAM を添加することにより若干安定性は改善される。しかし、いずれも 4%以下と小さいので、同程度の安定性を有しているものとする。

SAM#2 添加 CB とコントロールを試料作製 24 時間後で比較する。コントロールのブリージング率は極めて小さく、SAM=6.25%以上の試料と同じである。SAM=0%の試料は 3.8%なので、コントロールの方が若干小さい。

② ファンネル粘度

SAM#2 添加 CB のファンネル粘度は、いずれの測定時間においても測定限界以上となった。したがって、試料の粘性の評価は、回転粘度計による粘度で行う。

③ 粘度 (ローターの回転数 6rpm)

SAM#2 添加 CB の試料作製直後の粘度は、SAM の添加率が 0~25%に増加するとき 3150~2350mPa・s に低下し、SAM の添加率が 50~100%に増加するとき 4300~10700mPa・s に上昇する。その後、時間経過とともに試料の粘度はそれぞれ高くなり、その増加量は、SAM の添加率が大きい試料ほど大きくなる。

コントロールと SAM#2 添加 CB を比較する。コントロールの粘度は、試料作製直後が 7100mPa・s、3 時間後が 44500mPa・s であり、時間経過とともに高くなる。一方、SAM=0%の試料は、試料作製直後が 3150mPa・s、3 時間後が 3675mPa・s であり、いずれの測定時間においてもコントロールよりも小さく、かつ時間経過による粘度の上昇もかなり小さい。したがって、ベントナイトの膨潤度合いは、SAM を添加しない試料よりもコントロールの方が大きいものとする。SAM=50~100%の試料は、試料作製直後ではコントロールと同程度を示すが、1 時間後と 3 時間後ではコントロールよりもかなり高くなる。このように、SAM の添加率が大きい試料ほど粘度の経時変化がコントロールに比べ大きくなる。

④ 粘度 (ローターの回転数 60rpm)

SAM#2 添加 CB の試料作製直後の粘度は、SAM の添加率が 0~25%に増加するとき 1210~850mPa・s に若干低下し、SAM の添加率が 50~100%に増加するとき 1070~1190mPa・s に若干上昇するが、ほぼ一定と見なせる。時間経過とともに試料の粘度はそれぞれ高くなり、その増加量は、SAM の添加率が大きい試料ほど大きくなる。

コントロールと SAM#2 添加 CB を比較する。コントロールの粘度は、試料作製直後が 1950mPa・s、3

時間後が 6000mPa・s であり、時間経過とともに高くなる。一方、SAM=0%の試料は、試料作製直後が 1210mPa・s、3 時間後が 1220mPa・s であり、いずれの測定時間においてもコントロールよりも小さく、かつ時間経過による粘度の上昇も小さい。したがって、ベントナイトの膨潤度合いは、SAM を添加しない試料よりもコントロールの方が大きいものとする。また、SAM=6.25~12.5%の試料は、いずれの時間においてもコントロールよりも低く、SAM=25%の試料は、コントロールと同程度の経時変化を示し、SAM=50~100%の試料は、試料作製直後ではコントロールよりも若干小さいが、3 時間後ではコントロールよりもかなり高くなる。したがって、コントロールのベントナイトの膨潤度合いは、SAM=6.25~12.5%の試料よりも大きく、SAM=25%と同程度であるとする。

⑤ 一軸圧縮強さおよび湿潤密度

SAM#2 添加 CB の一軸圧縮強さは、いずれの材令においても、SAM の添加率に関係なく同程度を示し、コントロールとも同程度である。

SAM#2 添加 CB の湿潤密度は、SAM=0,6.25%が若干高い値を示すが、SAM=12.5%以上ではほぼ一定の値を示す。また材令による差はあまり見受けられない。

表-4.34 ケース34の試験結果 (Bt:Ht,S:#2,W/(Bt+C)=100%,Bt/C=5%)

		SAM添加率 (%)							
		0	6.25	12.5	25	50	75	100	Control
ブリージング率 (%)	1時間後	0.8	0.4	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4
	3時間後	2.9	1.6	1.2	0.4	0.0	0.0	0.0	1.1
	24時間後	3.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ファンネル粘度 (sec)	作製直後	-	-	-	-	-	-	-	-
	1時間後	-	-	-	-	-	-	-	-
	2時間後	-	-	-	-	-	-	-	-
	3時間後	-	-	-	-	-	-	-	-
粘度 (ローター回転数:6rpm) (mPa・s)	作製直後	3150.0	3075.0	2700.0	2350.0	4300.0	6800.0	10700.0	7100.0
	1時間後	1900.0	10000.0	27000.0	40000.0	-	-	-	14200.0
	2時間後	1900.0	10700.0	39500.0	43500.0	-	-	-	19600.0
	3時間後	3675.0	19400.0	39000.0	62000.0	-	-	-	44500.0
粘度 (ローター回転数:60rpm) (mPa・s)	作製直後	1210.0	770.0	800.0	850.0	1070.0	1240.0	1190.0	1950.0
	1時間後	1340.0	1140.0	1140.0	1800.0	-	-	-	4200.0
	2時間後	1360.0	3650.0	3850.0	5000.0	-	-	-	4150.0
	3時間後	1220.0	3650.0	5100.0	7000.0	-	-	-	6000.0
一軸圧縮強さ (kN/m ²)	材令3日	2530	2677	2658	2962	3011	3109	2550	3148
	材令7日	6041	6443	6394	5884	5688	5374	4835	6541
	材令28日	10846	11582	11386	9091	7120	7463	7384	8855
湿潤密度 (g/cm ³)	材令3日	1.548	1.545	1.487	1.472	1.529	1.516	1.449	1.537
	材令7日	1.554	1.551	1.489	1.524	1.530	1.510	1.518	1.565
	材令28日	1.585	1.578	1.505	1.515	1.512	1.523	1.533	1.535
透水係数(cm/sec)	材令28日								
湿潤密度(g/cm ³)	材令28日								

注) 空欄は試験を実施していないことを示し、測定値の「-」は測定限界を示す。

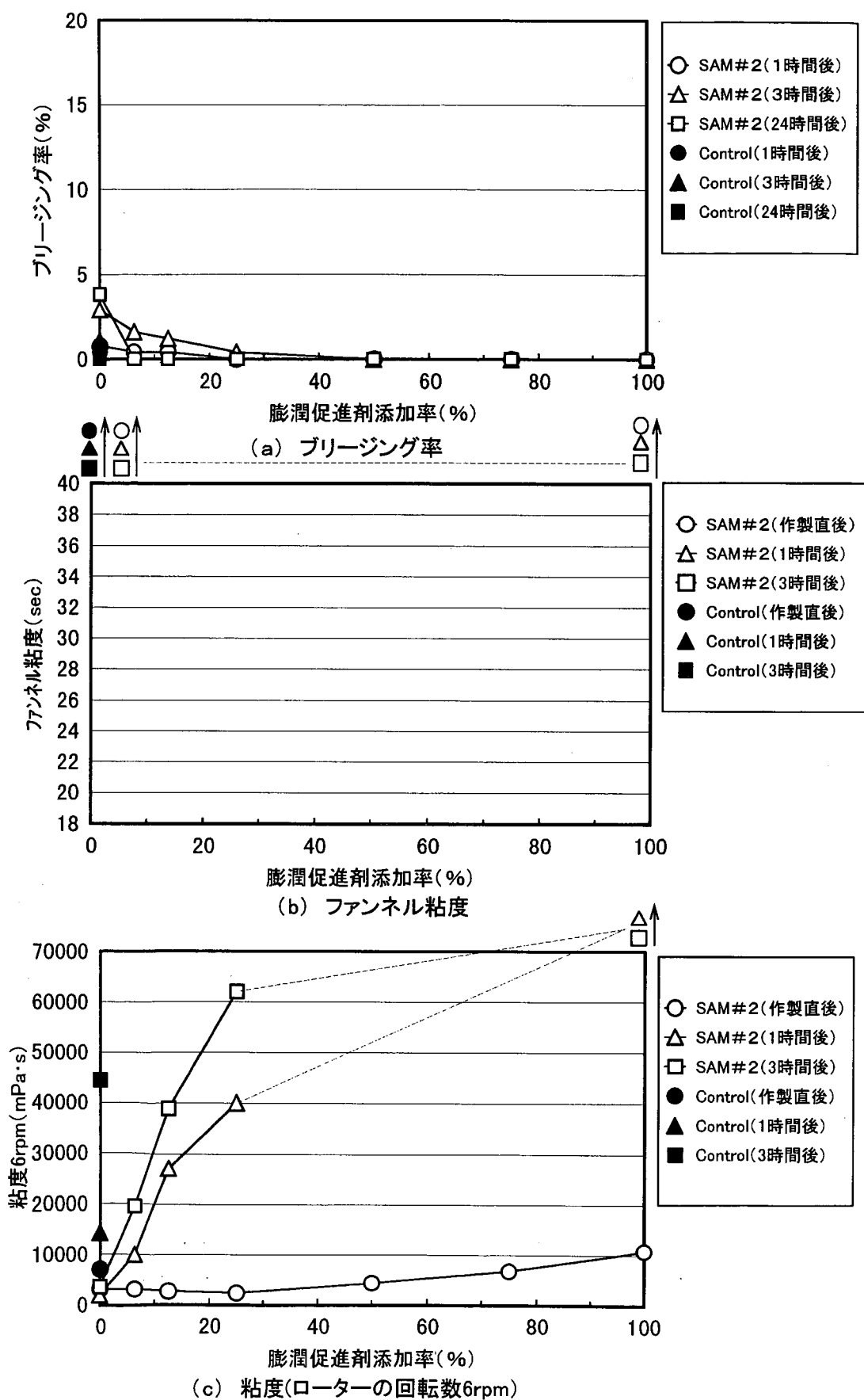
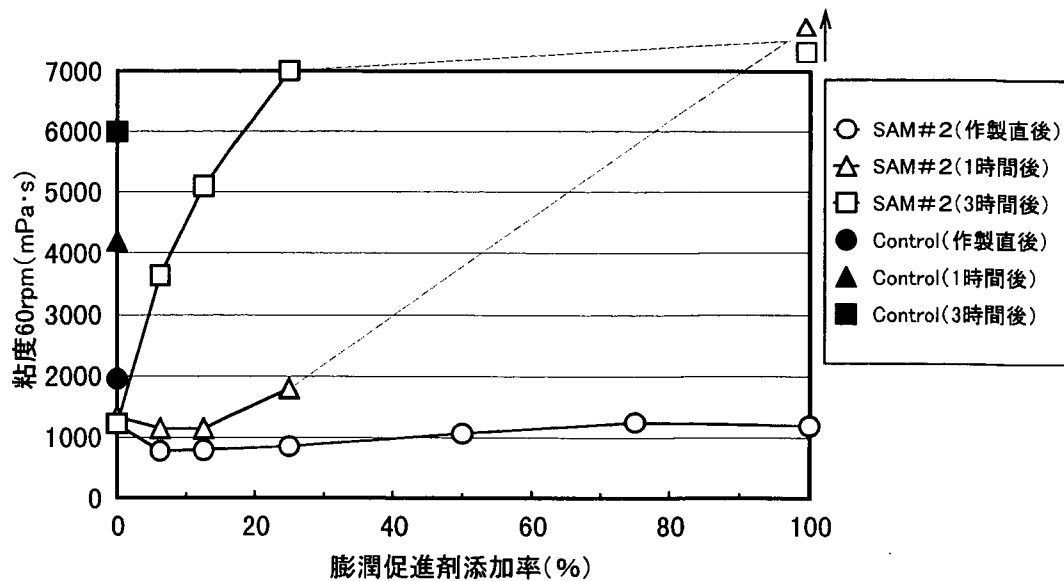
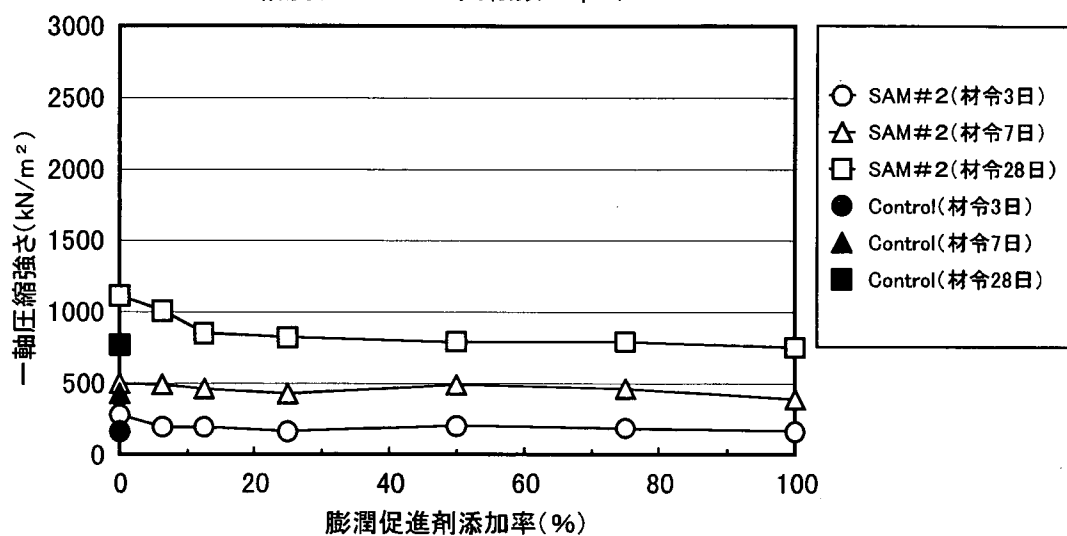


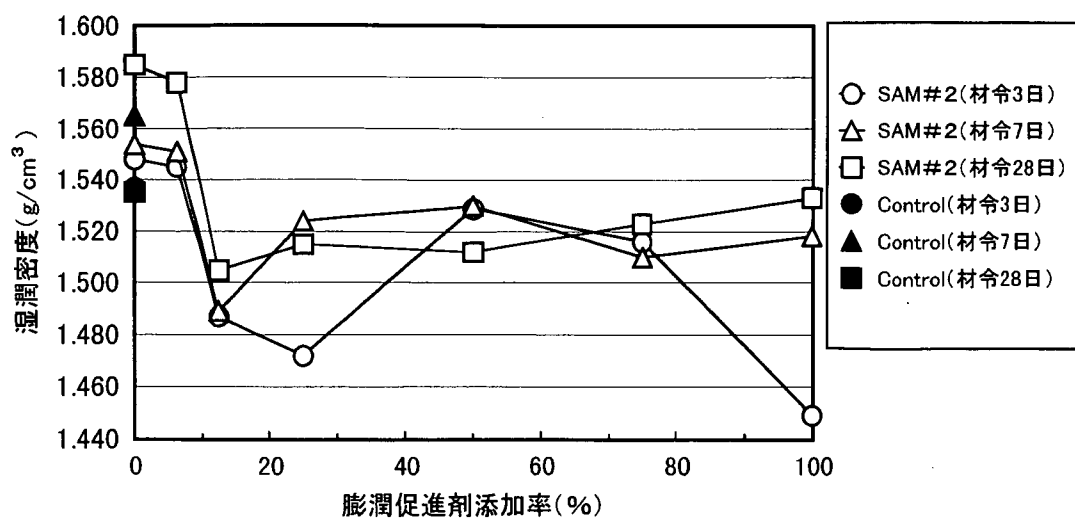
図-4.34 ケース34の試験結果 (Bt:Ht,S:#2,W/(Bt+C)=100%,Bt/C=5%)



(d) 粘度(ローターの回転数60rpm)



(e) 一軸圧縮強さ



(f) 湿潤密度

図-4.34 ケース34の試験結果 (Bt:Ht,S:#2,W/(Bt+C)=100%,Bt/C=5%)

(17) ケース 35(試験条件 Bt:Ht, S:#2, W/(Bt+C)=400%, Bt/C=5%)

ケース 35 の試験結果一覧を表-4.35 に、コントロールおよび SAM 添加 CB の各種物性の変化を図-4.35(a)~(f)に示す。

① ブリージング率

SAM#2 添加 CB のブリージング率は、3 時間後と 24 時間後の値が同程度なので、試料中の粒子の沈降は 3 時間でほぼ完了しているものと考ええる。24 時間後のブリージング率は、SAM の添加率増加に伴い、55.7~42.7%に低下する。その低下傾向は、SAM の添加率が 0~25%に増加するとき 10%程度小さくなるが、SAM の添加率が 50~100%に増加するときの減少量は 3%以下と小さい。したがって、試料の安定性が改善される SAM の最適添加率は、25%程度であると考ええる。

SAM#2 添加 CB とコントロールを比較する。コントロールの 24 時間後のブリージング率は、45.1%であり、SAM=0%に比べ 10%程度、SAM=6.25、12.5%に比べ 5%程度小さいので、試料の安定性は、ベントナイトを 24 時間事前膨潤させる方が高まるものと考えられるが、SAM=25~100%とは同程度のブリージング率を示し、両試料の安定性は同程度であると考ええる。

② ファンネル粘度

試料作製直後及び 1 時間後の SAM#2 添加 CB は、いずれも 20sec 程度を示す。3 時間後では、SAM の添加率増加に伴い若干高くなる傾向がうかがわれる。

SAM#2 添加 CB とコントロールを比較する。試料作製直後では、SAM#2 添加 CB が 20sec 程度、コントロールが 21.1sec なので、実用上大きな差はないと考ええる。ただし、水のファンネル粘度が 18.4sec であったことから、水比が 400%ぐらい薄くなると、ファンネル粘度による差が明確に議論できない可能性もある。

③ 粘度 (ローターの回転数 6rpm)

SAM#2 添加 CB の試料作製直後の粘度は、SAM の添加率が 0~12.5%に増加するときその増加に伴い高くなるが、SAM の添加率が 12.5%以上になると一定値を示す。しかし、SAM#2 添加 CB の 3 時間後の粘度は、SAM の添加率が 0~25%に増加するときその増加に伴い減少し、SAM の添加率が 50%以上になると漸増傾向を示す。このように、SAM の添加率増加に対する SAM#2 添加 CB の粘度は、時間経過とともにその傾向が異なる。これは、ファンネル粘度およびローターの回転数が 60rpm の粘度とは異なった傾向である。

SAM#2 添加 CB とコントロールを比較する。コントロールの粘度は、いずれの経過時間においても SAM#2 添加 CB よりも高い。

④ 粘度 (ローターの回転数 60rpm)

SAM#2 添加 CB の試料作製直後及び 1 時間後の粘度は、若干ばらつきはあるものの、どの試料も同程度を示す。しかし、3 時間後の粘度は、SAM の添加率増加に伴い若干高くなる傾向を示す。

SAM#2 添加 CB とコントロールを比較する。コントロールの試料作製直後の粘度は 67.5mPa・s であり、SAM#2 添加 CB に比べ 20~30mPa・s 程度高い。しかし、3 時間後の粘度は、コントロールよりも

SAM#2 添加 CB の方が高い。このように、コントロールと SAM#2 添加 CB の粘度の大小関係は、経過時間によって異なる。

⑤ 一軸圧縮強さおよび湿潤密度

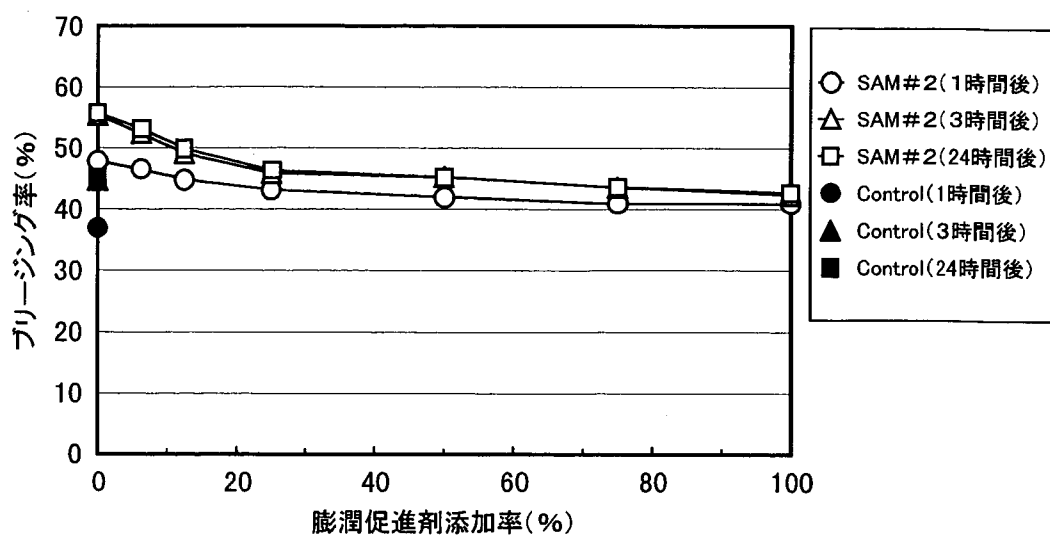
SAM#2 添加 CB の一軸圧縮強さは、材令ごとに、いずれも一定の値を示す。

湿潤密度は、SAM の添加率増加に伴い小さくなる傾向を示す。SAM の添加率が多い試料ほどその湿潤密度が小さいにも関わらず、一軸圧縮強さは同程度を示す。したがって、試料の均質性は、SAM の添加によって若干高まるものと考ええる。

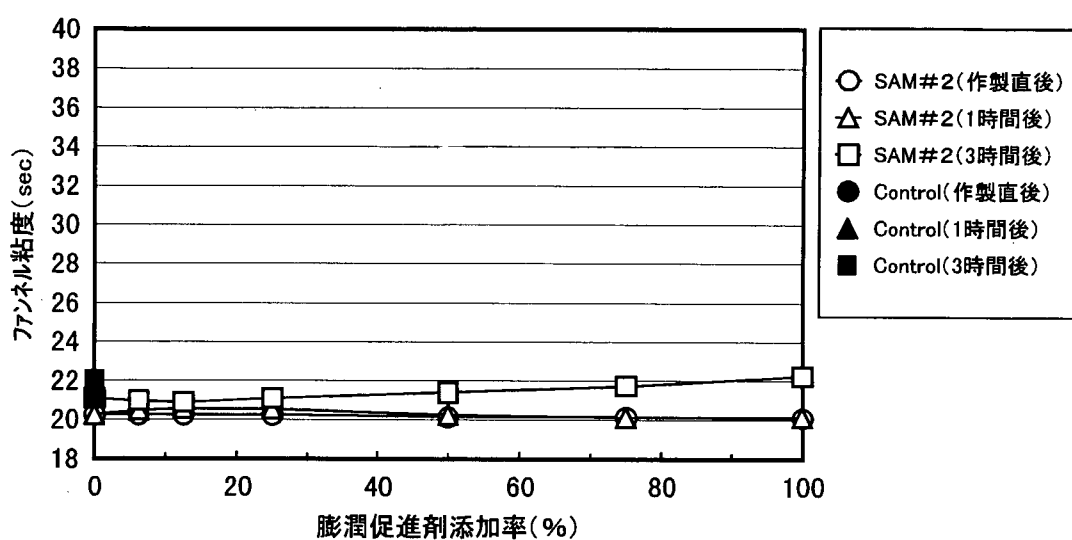
表-4.35 ケース35の試験結果(Bt:Ht,S:#2,W/(Bt+C)=400%,Bt/C=5%)

		SAM添加率 (%)							
		0	6.25	12.5	25	50	75	100	Control
ブリージング率 (%)	1時間後	47.8	46.5	44.8	43.1	42.0	40.9	40.8	36.9
	3時間後	55.3	52.3	49.0	45.8	45.2	43.6	42.3	44.7
	24時間後	55.7	53.1	49.8	46.2	45.2	43.6	42.7	45.1
ファンネル粘度 (sec)	作製直後	20.3	20.2	20.3	20.3	20.1	20.1	20.1	21.1
	1時間後	20.2	20.5	20.6	20.5	20.3	20.1	20.1	21.5
	2時間後	20.7	20.7	20.8	20.9	21.0	21.2	21.2	21.9
	3時間後	21.1	21.0	20.9	21.1	21.4	21.7	22.3	22.1
粘度 (ローター回転数:6rpm) (mPa·s)	作製直後	205.0	240.0	280.0	270.0	280.0	300.0	295.0	370.0
	1時間後	290.0	375.0	375.0	465.0	375.0	360.0	355.0	480.0
	2時間後	355.0	465.0	460.0	495.0	485.0	320.0	390.0	565.0
	3時間後	545.0	545.0	455.0	385.0	365.0	430.0	465.0	595.0
粘度 (ローター回転数:60rpm) (mPa·s)	作製直後	36.0	43.5	48.5	45.5	43.5	46.0	41.0	67.5
	1時間後	56.0	70.0	69.0	72.0	67.0	54.5	52.5	100.0
	2時間後	81.5	90.5	91.0	95.0	102.5	102.5	137.5	97.5
	3時間後	102.5	90.0	100.0	132.5	142.5	150.0	157.5	95.0
一軸圧縮強さ (kN/m ²)	材令3日	186	186	147	157	137	157	186	157
	材令7日	431	490	441	441	441	461	490	392
	材令28日	843	892	883	912	951	951	990	745
湿潤密度 (g/cm ³)	材令3日	1.366	1.354	1.334	1.315	1.311	1.316	1.307	1.358
	材令7日	1.358	1.348	1.341	1.327	1.321	1.303	1.322	1.324
	材令28日	1.379	1.372	1.341	1.336	1.327	1.319	1.324	1.322
透水係数(cm/sec)	材令28日								
湿潤密度(g/cm ³)	材令28日								

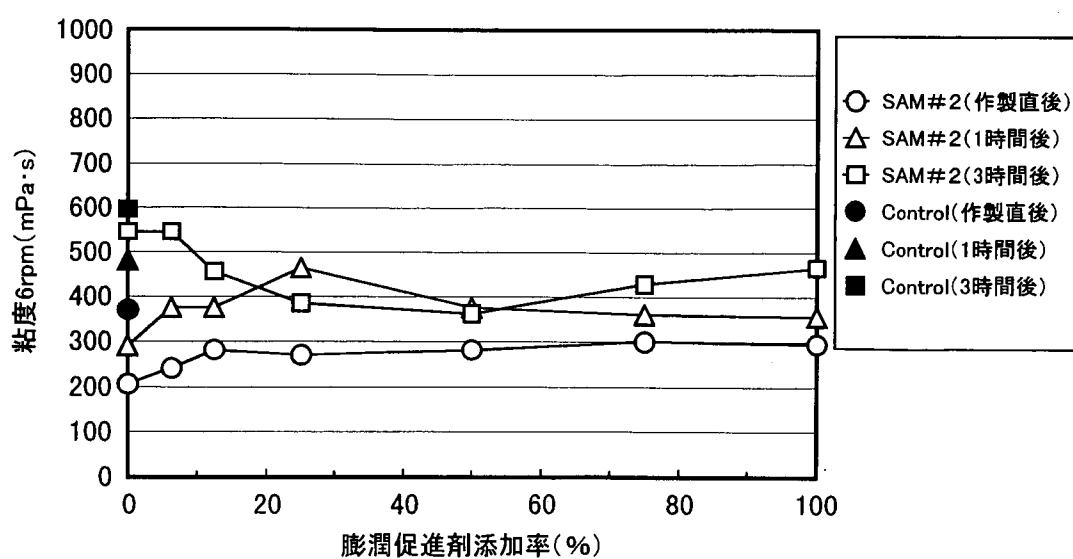
注) 空欄は試験を実施していないことを示し、測定値の「-」は測定限界を示す。



(a) ブリージング率

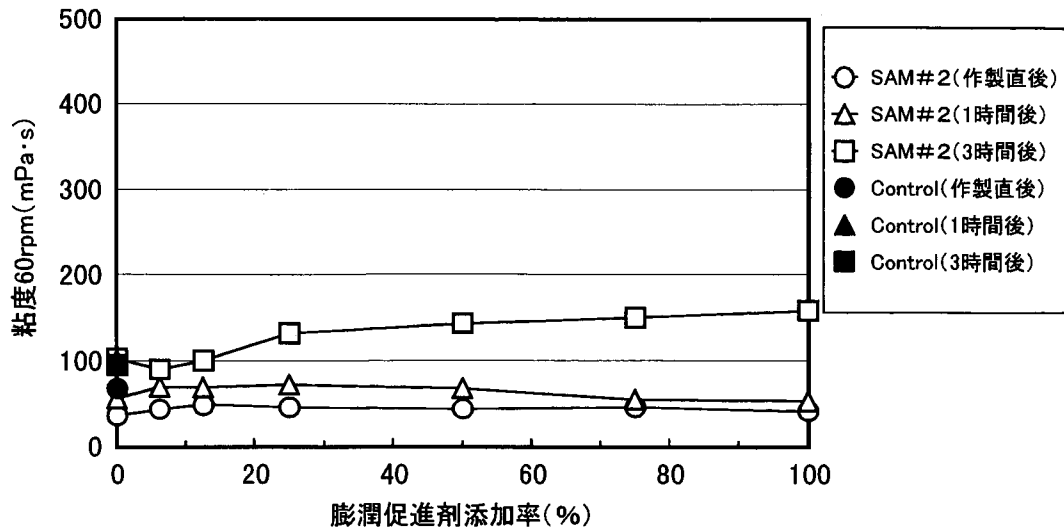


(b) ファンネル粘度

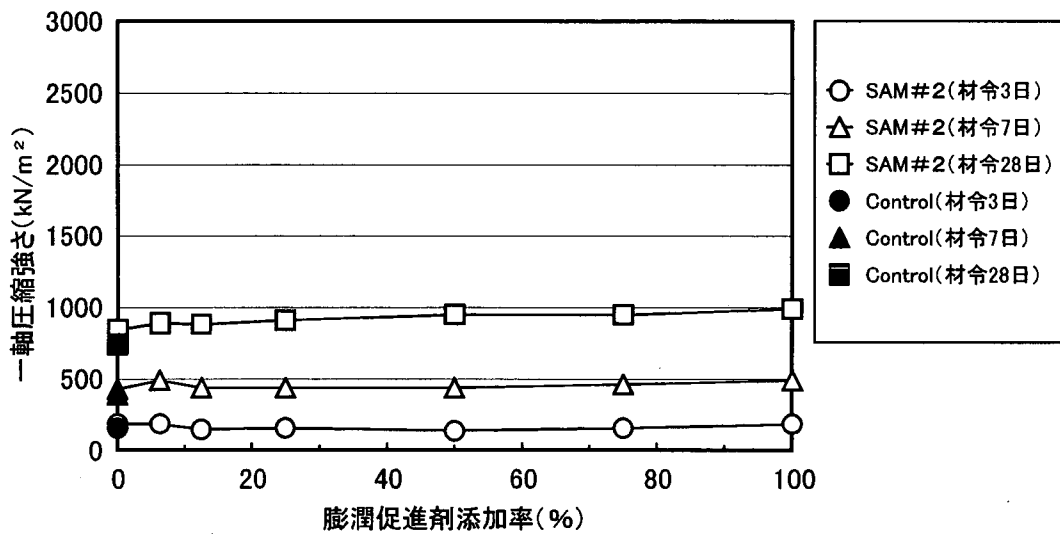


(c) 粘度(ローターの回転数6rpm)

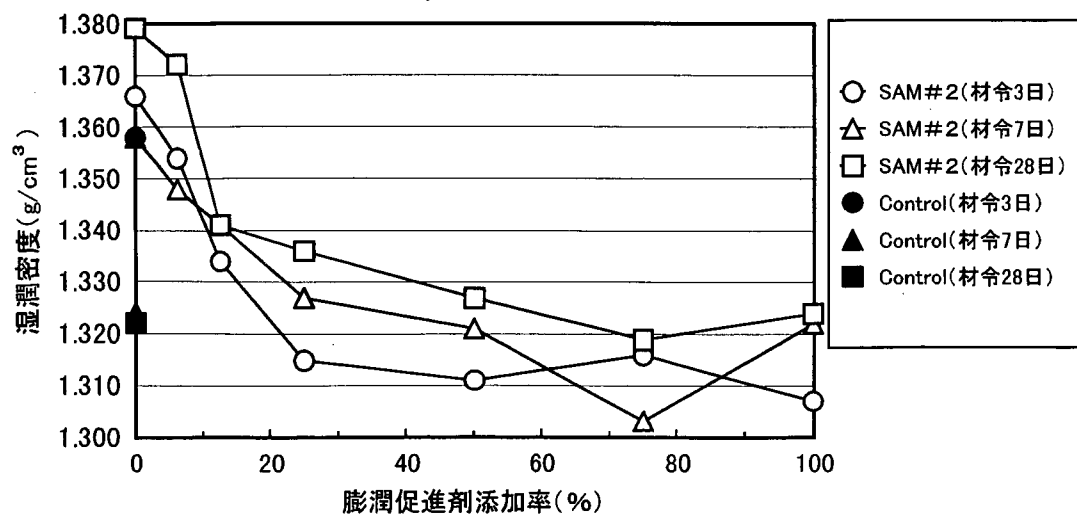
図-4.35 ケース35の試験結果(Bt:Ht,S:#2,W/(Bt+C)=400%,Bt/C=5%)



(d) 粘度(ローターの回転数60rpm)



(e) 一軸圧縮強さ



(f) 湿潤密度

図-4.35 ケース35の試験結果(Bt:Ht,S:#2,W/(Bt+C)=400%,Bt/C=5%)

(18) ケース 36(試験条件 $W/(B+C)=100,200,400,600,800,1000\%$ 、 $B/C=0\%$)

ケース 36 では、ベントナイトを添加しないセメントグラウトの試験を実施した。その試験結果一覧を表-4.36 に、各種物性の変化を図-4.36(a)~(f)に示す。

① ブリージング率

試料のブリージング率は、いずれの水セメント比においても、3 時間後と 24 時間後の値が同程度である。また、水セメント比が 400%以上の試料のブリージング率は、1 時間後と 3 時間後の値についても同程度である。したがって、試料中の粒子の沈降は、水セメント比が大きいものほど早く、いずれの水比においても試料作製から 3 時間程度で完了するものと考ええる。

水セメント比に対するブリージング率の変化を 24 時間後のブリージング率でみると、試料のブリージング率は、水セメント比の増加に伴い大きくなる。特に、水セメント比が 100%から 400%に増加する間で、この傾向は顕著に現れる。一方、水セメント比が 600%、800%、1000%に増加するとき、ブリージング率は、若干増加する傾向を示すが、90%程度で収束する傾向を示す。

② ファンネル粘度

試料作製直後のファンネル粘度は、 $W/C=100\%$ の試料が 21.7sec、 $W/C=200\%$ の試料が 19.7sec、 $W/C=400\sim1000\%$ の試料が 19sec 程度である。このように、試料の粘度は、 W/C が 100~200%に増加するとき低下傾向を示すが、 W/C が 400%以上になると変化せず一定値を示す。なお、水のファンネル粘度は 18.4sec である。

また、ファンネル粘度の経時変化は、 $W/C=100\%$ では若干みられるが、 $W/C=200\%$ 以上ではほとんどみられない。

③ 粘度 (ローターの回転数 6rpm)

試料作製直後の粘度は、 $W/C=100\%$ で 415mPa·s、 $W/C=200\%$ で 45mPa·s、 $W/C=400\sim1000\%$ で 5mPa·s を示す。このように、試料の粘度は、 W/C が 100~200%に増加するとき顕著な低下傾向を示すが、 W/C が 400%以上になると変化せず一定値を示す。また、粘度の経時変化は、ほとんどみられない。

④ 粘度 (ローターの回転数 60rpm)

試料作製直後の粘度は、 $W/C=100\%$ で 76mPa·s、 $W/C=200\%$ で 14.5mPa·s、 $W/C=400\sim1000\%$ で 4~5mPa·s を示す。このように、試料の粘度は、 W/C が 100~200%に増加するとき顕著な低下傾向を示すが、 W/C が 400%以上になると変化せず一定値を示す。また、粘度の経時変化は、ほとんどみられない。

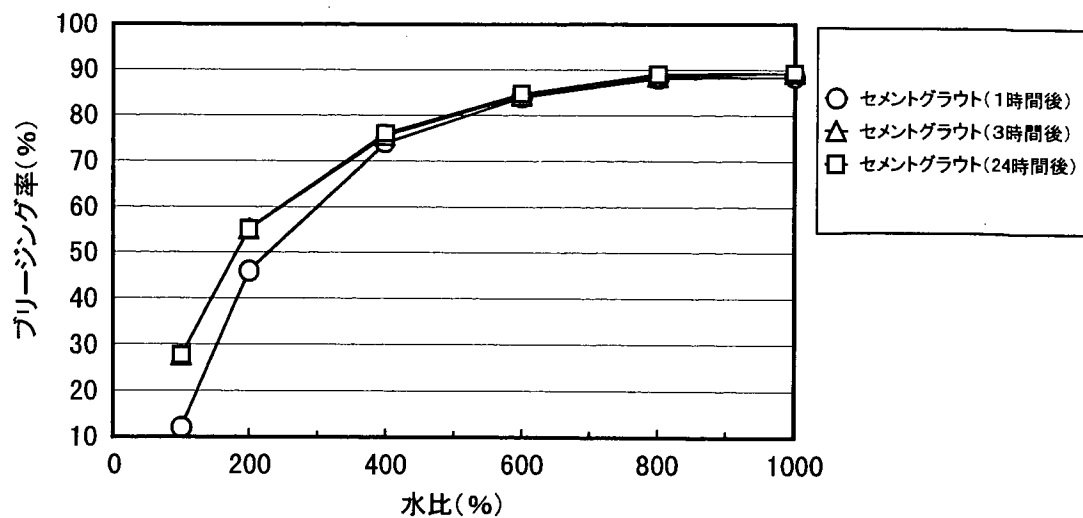
⑤ 一軸圧縮強さおよび湿潤密度

水セメント比に対する試料の一軸圧縮強さは、いずれの材令においてもほぼ同様な傾向を示す。一軸圧縮強さは、 W/C が 100~400%に増加するときには減少し、 W/C が 400~800%に増加するときには一定値を示し、さらに W/C が 800~1000%に増加するときには再度減少する。このように、水セメント比に対する一軸圧縮強さの変化傾向は、水セメント比に対する湿潤密度の変化傾向と一致する。

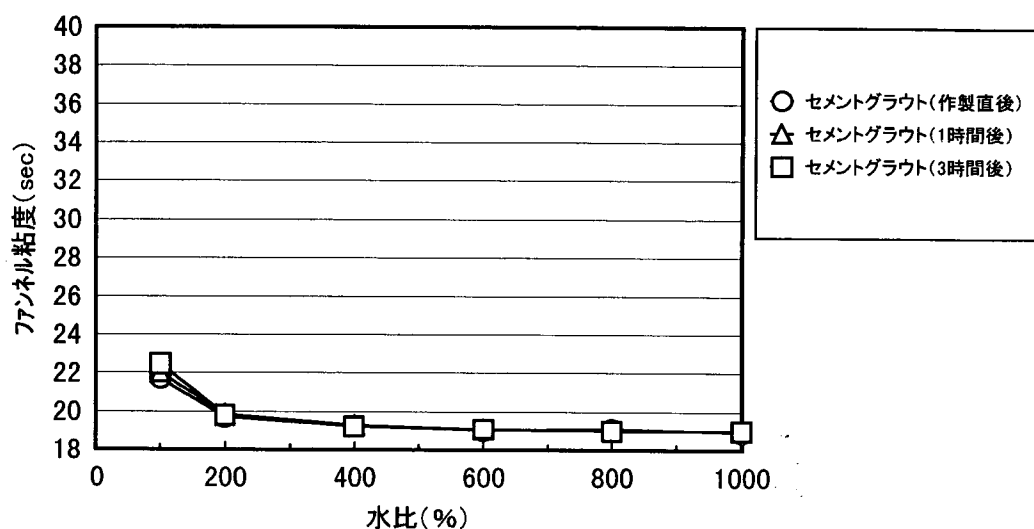
表-4.36 ケース36の試験結果(ベントナイトおよびSAMは無添加)

		水セメント比 (%)					
		100	200	400	600	800	1000
ブリージング率 (%)	1時間後	12.0	46.0	73.9	83.9	88.1	88.4
	3時間後	27.6	55.2	75.5	84.3	88.5	89.2
	24時間後	27.6	55.2	75.9	84.6	88.9	89.2
ファンネル粘度 (sec)	作製直後	21.7	19.7	19.2	19.0	19.1	18.9
	1時間後	22.0	19.9	19.3	19.1	19.0	19.0
	2時間後	21.5	19.9	19.3	19.2	19.0	19.0
	3時間後	22.5	19.8	19.2	19.1	19.0	19.0
粘度 (ローター回転数:6rpm) (mPa·s)	作製直後	415.0	45.0	5.0	5.0	5.0	5.0
	1時間後	445.0	50.0	5.0	5.0	5.0	5.0
	2時間後	420.0	45.0	10.0	10.0	5.0	5.0
	3時間後	420.0	45.0	5.0	10.0	15.0	10.0
粘度 (ローター回転数:60rpm) (mPa·s)	作製直後	76.0	14.5	5.0	4.0	4.0	4.0
	1時間後	84.0	16.0	5.0	4.0	3.5	3.5
	2時間後	78.0	15.0	5.5	4.5	4.5	4.0
	3時間後	76.5	14.5	5.5	5.0	4.5	3.0
一軸圧縮強さ (kN/m ²)	材令3日	4727	1922	1402	1471	1069	765
	材令7日	9061	4952	3364	3256	3197	1981
	材令28日	16769	10885	7247	6914	6727	4599
湿潤密度 (g/cm ³)	材令3日	1.784	1.695	1.646	1.645	1.642	1.568
	材令7日	1.787	1.699	1.665	1.651	1.639	1.585
	材令28日	1.769	1.707	1.671	1.667	1.659	1.585
透水係数(cm/sec)	材令28日						
湿潤密度(g/cm ³)	材令28日						

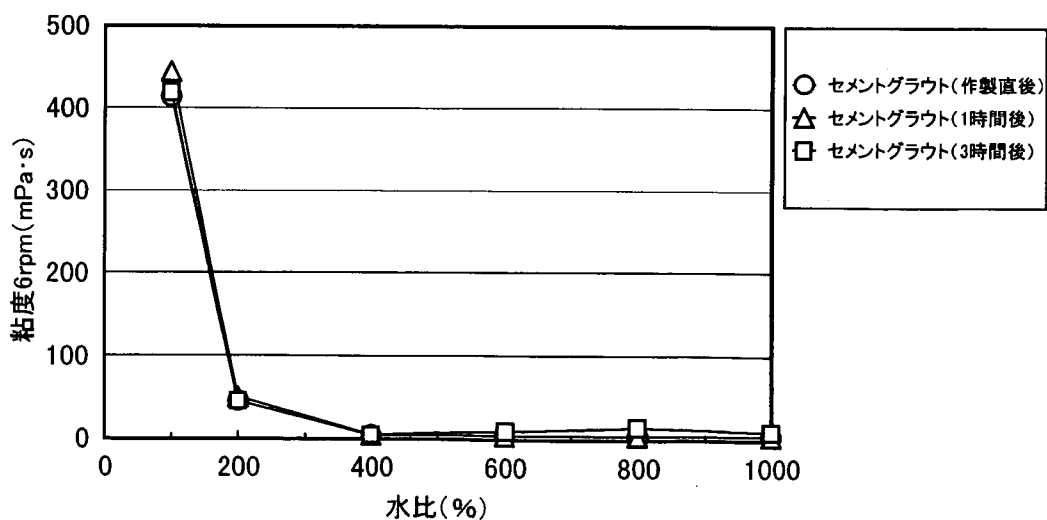
注) 空欄は試験を実施していないことを示し、測定値の「-」は測定限界を示す。



(a) ブリージング率

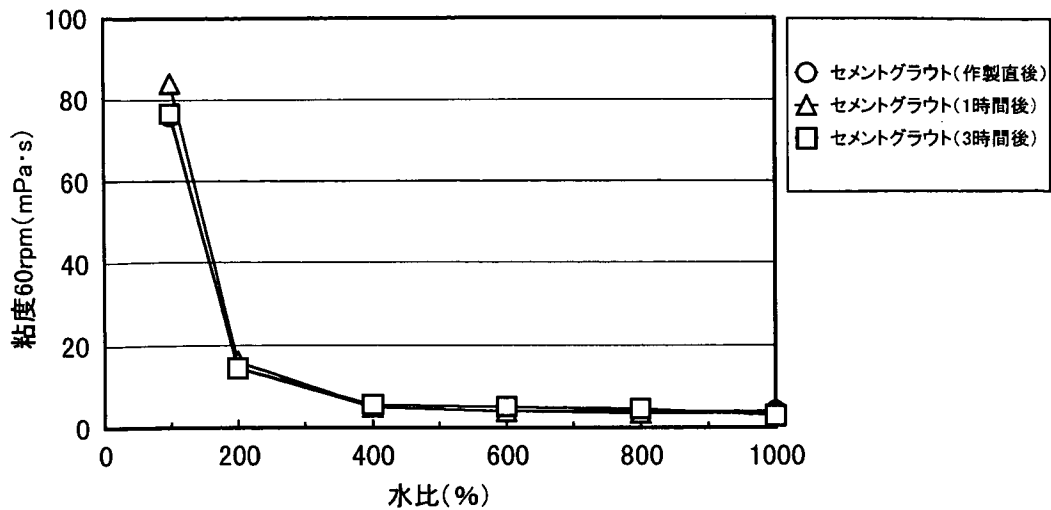


(b) ファンネル粘度

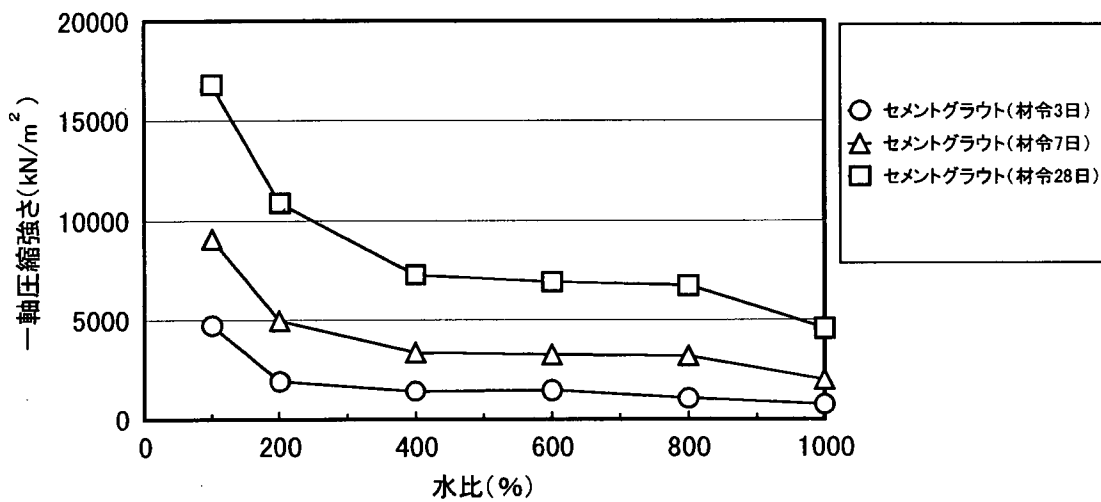


(c) 粘度(ローターの回転数6rpm)

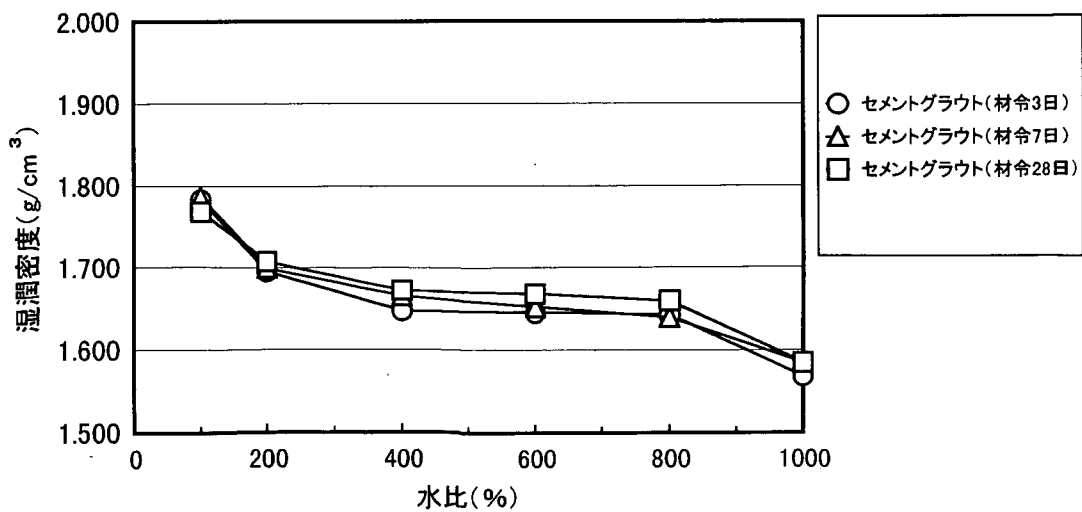
図-4.36 ケース36の試験結果($W/(Bt+C)=100,200,400,600,800,1000\%$, $Bt/C=5\%$)



(d) 粘度(ローターの回転数60rpm)



(e) 一軸圧縮強さ



(f) 湿潤密度

図-4.36 ケース36の試験結果(W/(Bt+C)=100,200,400,600,800,1000%,Bt/C=5%)

5. 考 察

5.1 ベントナイトの事前膨潤時間を変化させた試験

CB グラウトは、ベントナイトの吸水膨潤作用により、セメントグラウトに比べて安定性や粘性が高まることを特徴とする。ベントナイトの吸水膨潤作用は電解質溶液中では抑制されるため、この液層であるセメントグラウトと粉体のまま直接混合すると、ベントナイトの膨潤が阻害され結果的に CB グラウトの特徴を損なうことになる。そこで、CB グラウトを作製するときは、粉体のまま直接混合せずに、ベントナイトを水中で 24 時間膨潤（事前膨潤）させてからセメントグラウトと混合する方法が一般的に採用されている。しかし、ベントナイトの事前膨潤時間が CB グラウトの物性に及ぼす影響については、明確に解明されていないのが現状である。

ここでは、ベントナイトの事前膨潤時間が CB グラウトの物性に与える影響を、①CB グラウトの水比、②ベントナイトの膨潤力、の 2 つの角度から検討する。この検討のために整理した実験ケースは、比較的膨潤力の大きい (22ml/2g) ベントナイト As を用いて水比を変化させたケース 1、2、3、膨潤力の小さい (13ml/2g) ベントナイト Ak を用いて水比を変化させたケース 4、5、6、の計 6 ケースである。なお、この 6 ケースのベントナイトの添加率は $Bt/C=5\%$ 、水比は試験ケースごとに $W/(Bt+C)=200, 400, 600\%$ としたものである。また、ベントナイトの事前膨潤時間としては、両ベントナイトを用いた試験での共通する膨潤時間である 0、3、6、12、24、48、72 時間の結果を用いた。比較検討項目は、ブリージング率、粘度（ローターの回転数 60rpm）、一軸圧縮強さの 3 種類とした。試験結果の一覧を表-5.1、5.2 に、各 CB グラウトのブリージング率、粘度、一軸圧縮強さの変化をそれぞれ図-5.1~5.4 に示す。また、ベントナイトの水中膨潤による粘度の経時変化を、ベントナイト溶液 ($Bt:W=1:10$) を用いて測定した。ベントナイト溶液の作製方法は、CB グラウト作製におけるベントナイトと水の混合方法と同様とした。測定項目は、回転粘度計による粘度（ローターの回転数 6rpm、60rpm）、ファンネル粘度、API レオメータによる粘度とした。その結果の一覧を表-5.4 に、CB グラウトの粘度測定方法と対応する回転粘度計による粘度の経時変化を図-5.5 に示す。

なお、グラフの見やすさの関係上、膨潤力の小さい (8ml/2g) ベントナイト Hr を用いた試験ケース 7、8、9 の結果は表のみに示し（表-5.3、表-5.4 参照）、ベントナイトの事前膨潤時間の CB グラウトの物性に与える影響は、ベントナイト As (22ml/2g) と Ak (13ml/2g) を用いた試験ケースのみで検討を行う。

(1) ベントナイト As(膨潤力 22ml/2g)を用いた場合

図-5.1 より、粒子の沈降は試料作製から 3 時間程度でその大部分が完了していることがわかる。粒子の沈降が完全に完了したと考えられる 24 時間後のブリージング率をみると、試料のブリージング率は、 $W/(Bt+C)=200\%$ の場合ではベントナイトの事前膨潤時間に関係なく 15%程度を示す。しかし、 $W/(Bt+C)=400\%$ の場合ではベントナイトの事前膨潤時間が 0 時間のとき 54.2%であるが 3 時間以上になると 44%程度になり、 $W/(Bt+C)=600\%$ の場合では事前膨潤時間が 0 時間のとき 68.1%であるが 3 時間以上になると 61%程度になる。このように、試料のブリージング率は、水比が 200%のときにはベントナイトの

事前膨潤時間に関係なく同程度であるが、水比が 400、600%のときにはベントナイトを 3 時間以上事前膨潤するとブリージング率が 7~10%程度小さくなる。したがって、水比によって若干差はあるが、CB グラウトの安定性は、ベントナイトの事前膨潤時間が 3 時間程度までは高まるが、事前膨潤時間を 3 時間以上としても安定性は変化しないものとする。

図-5.2 より、試料作製直後の粘度は、 $W/(Bt+C)=200\%$ の場合ではベントナイトの事前膨潤時間が 0 時間のとき $295\text{mPa}\cdot\text{s}$ を示すが、ベントナイトの事前膨潤時間が 3 時間以上のとき $400\sim 440\text{mPa}\cdot\text{s}$ 程度の一定値を示す。また、 $W/(Bt+C)=400\%$ の場合ではベントナイトの事前膨潤時間が 0 時間のとき $36\text{mPa}\cdot\text{s}$ を示すが、ベントナイトの事前膨潤時間が 3 時間以上のとき $60\sim 73\text{mPa}\cdot\text{s}$ 程度の一定値を示す。 $W/(Bt+C)=600\%$ の場合では、ベントナイトの事前膨潤時間が 0 時間のとき $15.5\text{mPa}\cdot\text{s}$ を示すが、ベントナイトの事前膨潤時間が 3 時間以上のとき $18\sim 25\text{mPa}\cdot\text{s}$ 程度の一定値を示す。このように、事前膨潤時間が 0 時間の試料の粘度は、水比による程度の差は認められるが、事前膨潤を 3 時間以上とした試料の粘度に比べ低くなる傾向がみられる。CB グラウトの粘性は、ベントナイトの膨潤量が多い試料ほど高くなる傾向があるので、ここでのベントナイトの膨潤量は、事前膨潤しない試料よりも 3 時間程度事前膨潤させた試料の方が多いものとする。

図-5.3 より、材令 28 日の一軸圧縮強さは、 $W/(Bt+C)=200\%$ の場合ではベントナイトの事前膨潤時間が 0 時間のとき 1089kN/m^2 であるが、3 時間以上になると $2300\sim 2600\text{kN/m}^2$ 程度と大きくなる。 $W/(Bt+C)=400\%$ の場合ではベントナイトの事前膨潤時間が 0 時間のとき 1118kN/m^2 であるが 3 時間以上になると $800\sim 900\text{kN/m}^2$ 程度と若干小さくなり、 $W/(Bt+C)=600\%$ の場合では事前膨潤時間が 0 時間のとき 961kN/m^2 であるが 3 時間以上になると 400kN/m^2 程度と小さくなる。このように、試料の一軸圧縮強さは、水比が 200%のときにはベントナイトを事前膨潤した方が大きい、水比が 400、600%のときにはベントナイトを事前膨潤しない方が大きくなる。一方、事前膨潤しない試料と事前膨潤を 3 時間以上した試料の湿潤密度を図-5.4 により比較すると、水比が 200%の場合では同程度であるが、水比が 400、600%の場合では事前膨潤した試料よりも事前膨潤しない試料のほうが大きい。セメント系固化体は、一般的に配合が同一であれば湿潤密度が大きな試料ほどその一軸圧縮強さは大きくなる。ここでは、水比が 400、600%の場合では一般的な固化体と同様な傾向であるが、水比が 200%の場合では、ベントナイトを事前膨潤しない試料は、ベントナイトを事前膨潤した試料と同程度の湿潤密度を有するが、一軸圧縮強さが小さくなっている。これは、ベントナイトを事前膨潤しない試料がベントナイトを事前膨潤させた試料に比べ、固化体の均質性が低下しているためだと考える。

図-5.5 より、ローターの回転数が 6rpm の場合、ベントナイト溶液の粘度は、事前膨潤時間が 0~24 時間までは膨潤時間が長くなるとともに低下し、24 時間以上になると一定値を示す。特に、事前膨潤時間が 0 時間から 3 時間に変化するとき急激に低下する。また、ローターの回転数が 60rpm の場合、ベントナイト溶液の粘度は、事前膨潤時間が 0 時間から 3 時間に変化するとき低下し、その後は一定値を示す。このように、ベントナイト溶液の粘度の経時変化が CB グラウトの増加傾向に対して減少傾向になるのは、ベントナイトの膨潤が不足しているベントナイト溶液（事前膨潤時間が 3 時間以下のベントナイト溶液）は、全体的に均質になっておらず、見掛け上粘度が高くなっているものとする。

以上のように、ベントナイト As (膨潤力 22ml/2g) を用いた CB グラウトの物性は、ベントナイトを事前膨潤しないと若干不均一で安定性が低下するが、ベントナイトを 3 時間事前膨潤することで均質性、安定性が高まり、それ以上長い事前膨潤時間を採用した場合と変わらなくなるものと考えられる。これは、ベントナイト溶液の粘度変化の傾向と一致する。したがって、膨潤力の大きいベントナイト As を用いた場合には、事前膨潤時間を 3 時間とするのが適当であると考ええる。

(2) ベントナイト Ak(膨潤力 13ml/2g)を用いた場合

図-5.1 より、粒子の沈降は試料作製から 3 時間程度でほぼ完了している。粒子の沈降が完全に完了したと考えられる 24 時間後のブリージング率をみると、試料のブリージング率は、 $W/(Bt+C)=200\%$ の場合では 20~24% 程度、 $W/(Bt+C)=400\%$ の場合では 48~52% 程度、 $W/(Bt+C)=600\%$ の場合では 62~65% 程度を示す。このように、試料のブリージング率は、いずれの水比においても若干ばらつきはあるもののベントナイトの事前膨潤時間に関係なく同程度の値を示す。したがって、ベントナイト Ak を用いた CB グラウトの安定性は、設定した水比の範囲では、ベントナイトの膨潤時間に関係なく同程度であると考ええる。

図-5.2 より、試料作製直後の粘度は、 $W/(Bt+C)=200\%$ の場合では 340~370mPa・s 程度、 $W/(Bt+C)=400\%$ の場合では 58~66mPa・s 程度、 $W/(Bt+C)=600\%$ の場合では 20~24mPa・s 程度を示す。このように、試料の作製直後の粘度は、いずれの水比においても若干ばらつきはあるもののベントナイトの事前膨潤時間に関係なく同程度の値を示す。

図-5.3 より、材令 28 日における一軸圧縮強さは、 $W/(Bt+C)=200\%$ の場合では 2200~2400kN/m² 程度、 $W/(Bt+C)=400\%$ の場合では 1400~1600kN/m²mPa・s 程度、 $W/(Bt+C)=600\%$ の場合では 1000~1300kN/m² 程度を示す。このように、一軸圧縮強さは、いずれの水比においても若干ばらつきはあるもののベントナイトの事前膨潤時間に関係なく同程度の値を示す。また、図-5.4 により、同材令における試料の湿潤密度は、ベントナイトの事前膨潤時間に関係なく同程度である。したがって、同材令における湿潤密度と一軸圧縮強さが一致しているので、一般的なセメント固化体と同様な傾向である。したがって、試料の均質性は、ベントナイトの膨潤時間に関係なく同程度であると考ええる。

図-5.5 より、ベントナイト溶液の粘度は、ローターの回転数が 6rpm の場合ではベントナイトの膨潤時間に関係なく一定値を、またローターの回転数が 60rpm の場合でもベントナイトの膨潤時間に関係なく一定値を示す。このように、ベントナイト溶液の粘度がベントナイトの事前膨潤時間に対して一定値を示しているのは、ベントナイトの膨潤がベントナイト溶液の作製時（ベントナイトと水の混合が完了した時）にほぼ完了しているためだと考える。

以上のように、ベントナイト Ak (膨潤力 13ml/2g) を用いた CB グラウトは、ベントナイトの事前膨潤時間に関係なく、安定性、粘性、強度とも同程度の物性を有する。これは、ベントナイト溶液の粘度が膨潤時間によって変化しないことと一致する。これらのことから、ベントナイト Ak の膨潤は、本試験のような混合方法を採用した場合、ベントナイトと水を混合した時点でほぼ完了しており、その後セメントグラウトと混合しても CB グラウトの物性に与える影響はほとんどないものと考ええる。

(3) CB グラウトにおけるベントナイトの事前膨潤時間の影響

(1)、(2)で示したとおり、ベントナイトの事前膨潤時間が CB グラウトの物性に与える影響は、用いるベントナイトの膨潤力で変化する。膨潤力の小さいベントナイト Ak を用いた CB グラウトの物性は、ベントナイトを事前膨潤してもほとんど変化しない。しかし、膨潤力の大きいベントナイト As を用いた CB グラウトは、ベントナイトを事前膨潤しないと若干不均質で安定性が低下するが、3 時間程度事前膨潤することにより均質性、安定性が高まる。このように、CB グラウトの物性が安定するベントナイトの必要事前膨潤時間は、ベントナイトの膨潤力が大きいほど長くなる。また、CB グラウトの物性は、次の 5.2 節からも示されるように、試料の混合方法によっても変化する。上記の結果は、あくまで本試験における混合方法を採用した場合のものである。したがって、現場におけるベントナイトの事前膨潤時間は、現場での混合方法を用いて、本試験と同様な試験方法で CB グラウトの物性を確認して設定することが必要である。

表-5.1 事前膨潤時間を変化させたCBグラウトの物性(Bt:As, Bt/C=5%)

			ベントナイトの事前膨潤時間 (hr)						
			0	3	6	12	24	48	72
ブリージング率 (%)	1時間後	W/(Bt+C)=200%	5.9	5.1	4.8	4.6	5.2	4.6	5.4
		W/(Bt+C)=400%	50.4	31.5	31.6	34.5	34.1	34.3	36.0
		W/(Bt+C)=600%	64.2	58.0	59.0	58.6	58.9	60.1	60.2
	3時間後	W/(Bt+C)=200%	13.5	14.1	13.7	13.4	14.1	13.0	15.7
		W/(Bt+C)=400%	53.8	43.8	43.0	43.5	43.4	44.2	45.3
		W/(Bt+C)=600%	68.1	60.8	61.3	60.9	61.6	61.6	62.9
	24時間後	W/(Bt+C)=200%	15.2	15.2	14.9	15.3	15.3	14.9	17.2
		W/(Bt+C)=400%	54.2	44.2	43.0	43.9	43.4	44.2	45.3
		W/(Bt+C)=600%	68.1	61.2	61.3	61.3	61.6	62.0	62.9
ファンネル粘度 (sec)	作製直後	W/(Bt+C)=200%	22.8	25.4	25.6	25.8	25.4	25.5	25.2
		W/(Bt+C)=400%	19.6	20.5	20.5	20.5	20.3	20.4	20.3
		W/(Bt+C)=600%	19.5	19.6	19.7	19.7	19.8	19.7	19.6
	1時間後	W/(Bt+C)=200%	26.4	30.3	30.1	30.5	29.6	30.0	29.1
		W/(Bt+C)=400%	19.6	21.3	21.4	21.4	21.2	21.2	21.2
		W/(Bt+C)=600%	19.9	20.2	20.1	20.3	20.2	20.2	20.1
	2時間後	W/(Bt+C)=200%	27.3	36.1	35.5	34.6	34.3	34.0	33.6
		W/(Bt+C)=400%	19.8	22.0	22.0	22.0	21.8	21.8	21.8
		W/(Bt+C)=600%	20.1	20.5	20.4	20.5	20.5	20.4	20.4
	3時間後	W/(Bt+C)=200%	26.3	35.2	34.5	33.9	33.2	34.1	33.5
		W/(Bt+C)=400%	19.8	21.9	21.9	21.7	21.8	21.6	21.6
		W/(Bt+C)=600%	20.2	20.5	20.3	20.5	20.4	20.3	20.3
粘度 ローター回転数:6rpm (mPa・s)	作製直後	W/(Bt+C)=200%	900.0	410.0	515.0	505.0	505.0	530.0	530.0
		W/(Bt+C)=400%	185.0	330.0	355.0	355.0	315.0	315.0	330.0
		W/(Bt+C)=600%	55.0	115.0	100.0	105.0	110.0	100.0	80.0
	1時間後	W/(Bt+C)=200%	725.0	800.0	875.0	760.0	990.0	850.0	1025.0
		W/(Bt+C)=400%	185.0	365.0	330.0	380.0	365.0	365.0	385.0
		W/(Bt+C)=600%	95.0	175.0	140.0	140.0	145.0	120.0	130.0
	2時間後	W/(Bt+C)=200%	1175.0	1775.0	1700.0	1400.0	1700.0	1525.0	1150.0
		W/(Bt+C)=400%	245.0	305.0	295.0	335.0	365.0	310.0	300.0
		W/(Bt+C)=600%	170.0	195.0	155.0	180.0	180.0	165.0	160.0
	3時間後	W/(Bt+C)=200%	1200.0	2275.0	2400.0	1700.0	1300.0	1625.0	1675.0
		W/(Bt+C)=400%	295.0	275.0	300.0	330.0	345.0	315.0	320.0
		W/(Bt+C)=600%	225.0	195.0	170.0	195.0	175.0	175.0	150.0
粘度 ローター回転数:60rpm (mPa・s)	作製直後	W/(Bt+C)=200%	295.0	425.0	435.0	440.0	417.0	427.0	392.5
		W/(Bt+C)=400%	36.0	69.0	70.5	72.5	59.0	60.0	62.0
		W/(Bt+C)=600%	15.5	24.5	24.5	23.5	23.5	21.0	18.0
	1時間後	W/(Bt+C)=200%	450.0	390.0	440.0	460.0	420.0	440.0	470.0
		W/(Bt+C)=400%	52.0	99.0	86.5	80.0	84.5	80.5	90.0
		W/(Bt+C)=600%	24.0	38.5	33.0	35.5	36.0	32.0	30.5
	2時間後	W/(Bt+C)=200%	440.0	460.0	520.0	500.0	490.0	520.0	500.0
		W/(Bt+C)=400%	74.5	110.0	102.5	105.0	105.0	100.0	100.0
		W/(Bt+C)=600%	41.0	56.0	45.0	47.5	46.5	42.5	40.5
	3時間後	W/(Bt+C)=200%	500.0	480.0	570.0	610.0	590.0	580.0	550.0
		W/(Bt+C)=400%	42.5	115.0	100.0	102.5	102.5	97.5	100.0
		W/(Bt+C)=600%	56.0	54.5	45.5	48.0	50.5	44.5	51.5
一軸圧縮強さ (kN/m ²)	材令3日	W/(Bt+C)=200%	255	588	539	608	588	686	637
		W/(Bt+C)=400%	284	216	226	255	275	235	226
		W/(Bt+C)=600%	206	118	108	127	127	118	118
	材令7日	W/(Bt+C)=200%	637	1481	1451	1412	1147	1314	1500
		W/(Bt+C)=400%	500	431	461	481	500	441	431
		W/(Bt+C)=600%	481	216	216	206	226	216	196
	材令28日	W/(Bt+C)=200%	1089	2618	2491	2795	2344	2579	2501
		W/(Bt+C)=400%	1118	853	873	912	941	834	853
		W/(Bt+C)=600%	961	422	392	402	422	422	412
湿潤密度 (g/cm ³)	材令3日	W/(Bt+C)=200%		1.384	1.376	1.376	1.382	1.381	1.397
		W/(Bt+C)=400%	1.363	1.304	1.309	1.310	1.328	1.310	1.329
		W/(Bt+C)=600%	1.365	1.288	1.305	1.297	1.289	1.295	1.306
	材令7日	W/(Bt+C)=200%		1.392	1.375	1.407	1.379	1.371	1.392
		W/(Bt+C)=400%	1.373	1.327	1.321	1.334	1.326	1.320	1.312
		W/(Bt+C)=600%	1.367	1.302	1.301	1.297	1.304	1.297	1.304
	材令28日	W/(Bt+C)=200%	1.384	1.412	1.383	1.391	1.377	1.391	1.390
		W/(Bt+C)=400%	1.367	1.319	1.322	1.318	1.334	1.328	1.347
		W/(Bt+C)=600%	1.400	1.299	1.295	1.298	1.301	1.295	1.310

注) 空欄は試験を実施していないことを示し、測定値の「-」は測定限界を示す。

表-5.2 事前膨潤時間を変化させたCBグラウトの物性 (Bt/Ak, Bt/C=5%)

			ベントナイトの事前膨潤時間 (hr)								
			0	1	2	3	6	12	24	48	72
ブリージング率 (%)	1時間後	W/(Bt+C)=200%	13.5	13.8	11.8	10.4	12.4	10.5	7.6	8.4	7.2
		W/(Bt+C)=400%	42.9	42.0	43.0	42.6	40.5	38.4	38.2	35.9	34.9
		W/(Bt+C)=600%	62.9	61.5	61.1	62.4	61.4	60.5	59.5	59.9	60.1
	3時間後	W/(Bt+C)=200%	23.8	24.4	23.3	22.9	23.9	22.7	20.1	19.9	18.5
		W/(Bt+C)=400%	51.2	51.2	51.8	51.8	50.4	48.0	48.0	48.6	48.6
		W/(Bt+C)=600%	64.8	63.5	63.0	64.3	62.9	63.6	62.3	61.9	61.7
	24時間後	W/(Bt+C)=200%	23.8	24.4	23.3	22.9	23.9	22.7	20.5	20.3	19.3
		W/(Bt+C)=400%	51.2	51.2	51.8	51.8	50.4	48.4	48.0	49.0	48.6
		W/(Bt+C)=600%	64.8	63.5	63.0	64.3	63.3	63.6	62.3	61.9	61.7
ファンネル粘度 (sec)	作製直後	W/(Bt+C)=200%	24.0	23.9	23.5	23.8	23.4	23.4	23.3	23.7	23.1
		W/(Bt+C)=400%	20.2	20.0	20.0	20.0	20.1	20.2	20.2	20.1	20.2
		W/(Bt+C)=600%	19.5	19.6	19.5	19.5	19.5	19.6	19.6	19.6	19.6
	1時間後	W/(Bt+C)=200%	26.3	26.8	26.5	26.7	26.8	26.3	26.6	26.3	25.8
		W/(Bt+C)=400%	20.6	20.5	20.7	20.6	20.7	20.8	20.8	20.7	20.8
		W/(Bt+C)=600%	20.0	20.0	20.2	20.1	20.2	20.1	20.1	20.1	20.2
	2時間後	W/(Bt+C)=200%	27.8	27.8	27.8	27.8	28.0	27.6	28.1	27.8	28.3
		W/(Bt+C)=400%	21.0	21.0	20.9	21.2	21.2	21.2	21.3	21.3	21.3
		W/(Bt+C)=600%	20.3	20.4	20.4	20.6	20.5	20.4	20.5	20.5	20.6
	3時間後	W/(Bt+C)=200%	26.6	26.9	27.2	27.5	27.2	27.4	27.6	27.8	28.2
		W/(Bt+C)=400%	20.9	21.0	20.9	21.1	21.1	21.3	21.2	21.2	21.2
		W/(Bt+C)=600%	20.4	20.4	20.3	20.5	20.5	20.3	20.4	20.5	20.6
粘度 ローター回転数:6rpm (mPa・s)	作製直後	W/(Bt+C)=200%	565.0	560.0	560.0	570.0	585.0	590.0	620.0	605.0	650.0
		W/(Bt+C)=400%	270.0	285.0	280.0	290.0	290.0	315.0	315.0	310.0	325.0
		W/(Bt+C)=600%	80.0	95.0	85.0	100.0	90.0	95.0	95.0	95.0	80.0
	1時間後	W/(Bt+C)=200%	615.0	695.0	670.0	720.0	720.0	715.0	700.0	675.0	660.0
		W/(Bt+C)=400%	295.0	300.0	305.0	310.0	295.0	330.0	355.0	340.0	370.0
		W/(Bt+C)=600%	145.0	155.0	160.0	165.0	160.0	145.0	165.0	160.0	165.0
	2時間後	W/(Bt+C)=200%	680.0	645.0	630.0	715.0	690.0	700.0	705.0	745.0	725.0
		W/(Bt+C)=400%	300.0	310.0	315.0	335.0	325.0	325.0	355.0	360.0	340.0
		W/(Bt+C)=600%	210.0	210.0	230.0	200.0	220.0	200.0	205.0	220.0	200.0
	3時間後	W/(Bt+C)=200%	595.0	590.0	620.0	625.0	650.0	680.0	670.0	690.0	700.0
		W/(Bt+C)=400%	320.0	305.0	300.0	335.0	330.0	370.0	350.0	350.0	355.0
		W/(Bt+C)=600%	245.0	230.0	215.0	220.0	225.0	210.0	230.0	215.0	230.0
粘度 ローター回転数:60rpm (mPa・s)	作製直後	W/(Bt+C)=200%	350.0	337.5	357.5	367.5	365.0	355.0	370.0	352.5	365.0
		W/(Bt+C)=400%	58.0	59.5	66.0	65.0	64.0	65.5	65.5	65.0	64.5
		W/(Bt+C)=600%	21.0	22.0	22.5	22.5	23.0	22.0	23.5	20.0	21.0
	1時間後	W/(Bt+C)=200%	410.0	417.5	427.5	417.5	457.5	440.0	485.0	482.5	490.0
		W/(Bt+C)=400%	76.5	81.5	84.0	85.0	86.5	93.0	90.0	91.5	91.0
		W/(Bt+C)=600%	36.5	41.5	42.5	40.5	42.0	38.0	41.5	41.5	38.5
	2時間後	W/(Bt+C)=200%	440.0	475.0	475.0	485.0	480.0	495.0	500.0	520.0	540.0
		W/(Bt+C)=400%	67.5	62.5	70.0	62.5	72.5	75.0	70.0	65.0	75.0
		W/(Bt+C)=600%	55.0	58.5	60.5	57.5	58.5	53.0	58.5	60.0	55.5
	3時間後	W/(Bt+C)=200%	457.5	485.0	482.5	485.0	500.0	510.0	530.0	550.0	570.0
		W/(Bt+C)=400%	55.0	57.5	57.5	55.0	57.5	60.0	62.5	67.5	62.5
		W/(Bt+C)=600%	64.5	65.0	65.5	67.0	69.0	60.0	69.0	69.5	63.5
一軸圧縮強さ (kN/m ²)	材令3日	W/(Bt+C)=200%	647	618	628	598	598	667	647	696	706
		W/(Bt+C)=400%	490	451	461	461	441	481	510	441	481
		W/(Bt+C)=600%	255	294	284	196	186	177	275	343	245
	材令7日	W/(Bt+C)=200%	1265	1226	1255	1177	1196	1255	1285	1344	1334
		W/(Bt+C)=400%	951	873	892	902	892	883	824	824	794
		W/(Bt+C)=600%	569	657	598	569	579	716	539	647	539
	材令28日	W/(Bt+C)=200%	2187	2216	2206	2314	2363	2285	2295	2314	2403
		W/(Bt+C)=400%	1579	1549	1510	1471	1481	1520	1530	1500	1432
		W/(Bt+C)=600%	1108	1206	1177	1255	1030	1344	1079	1059	932
湿潤密度 (g/cm ³)	材令3日	W/(Bt+C)=200%	1.397	1.393	1.389	1.395	1.400	1.398	1.394	1.398	1.389
		W/(Bt+C)=400%	1.356	1.353	1.353	1.358	1.356	1.359	1.349	1.344	1.340
		W/(Bt+C)=600%	1.335	1.332	1.327	1.323	1.327	1.327	1.317	1.328	1.321
	材令7日	W/(Bt+C)=200%	1.402	1.391	1.392	1.394	1.390	1.394	1.388	1.397	1.388
		W/(Bt+C)=400%	1.360	1.353	1.356	1.360	1.361	1.359	1.357	1.349	1.344
		W/(Bt+C)=600%	1.332	1.327	1.332	1.332	1.322	1.329	1.323	1.326	1.318
	材令28日	W/(Bt+C)=200%	1.406	1.401	1.404	1.407	1.403	1.415	1.401	1.404	1.404
		W/(Bt+C)=400%	1.367	1.363	1.357	1.364	1.353	1.357	1.352	1.351	1.349
		W/(Bt+C)=600%	1.338	1.333	1.329	1.338	1.336	1.338	1.325	1.327	1.332

注) 空欄は試験を実施していないことを示し、測定値の「-」は測定限界を示す。

表-5.3 事前膨潤時間を変化させたCBグラウトの物性(Bt:Hr, Bt/C=5%)

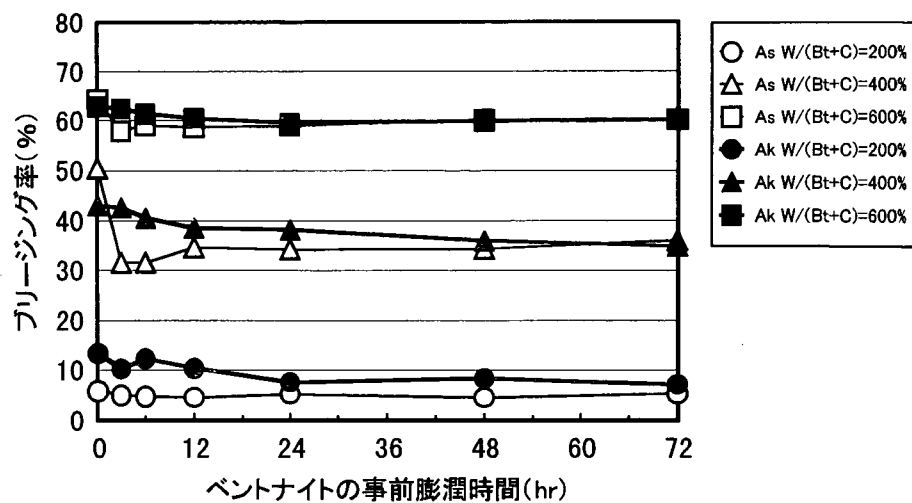
			ベントナイトの事前膨潤時間 (hr)								
			0	1	2	3	6	12	24	48	72
ブリージング率 (%)	1時間後	W/(Bt+C)=200%	11.7	11.7	11.2	11.5	10.2	10.5	9.2	9.3	9.8
		W/(Bt+C)=400%	41.3	43.3	42.7	40.7	40.6	41.5	40.6	41.8	39.4
		W/(Bt+C)=600%	62.2	62.5	62.1	62.1	62.7	62.8	62.3	61.9	61.6
	3時間後	W/(Bt+C)=200%	26.6	25.5	26.1	25.4	24.8	25.0	24.5	23.9	23.6
		W/(Bt+C)=400%	52.0	52.0	51.8	51.2	51.2	51.0	51.0	51.0	50.8
		W/(Bt+C)=600%	64.5	64.0	64.5	64.4	64.7	64.4	64.7	63.9	63.9
	24時間後	W/(Bt+C)=200%	27.0	25.9	26.1	25.8	25.2	25.4	24.9	24.3	24.0
		W/(Bt+C)=400%	52.0	52.0	51.8	51.6	51.6	51.4	51.4	51.0	50.8
		W/(Bt+C)=600%	64.9	64.4	64.5	64.4	64.7	64.4	64.7	64.3	63.9
ファンネル粘度 (sec)	作製直後	W/(Bt+C)=200%	24.2	24.1	23.8	23.6	23.6	23.7	23.4	23.4	23.5
		W/(Bt+C)=400%	20.4	20.5	20.4	20.4	20.3	20.5	20.4	20.3	20.4
		W/(Bt+C)=600%	19.8	19.7	19.9	19.8	19.6	19.7	19.8	20.0	20.1
	1時間後	W/(Bt+C)=200%	25.4	25.8	25.7	25.6	25.5	25.2	25.6	25.6	25.4
		W/(Bt+C)=400%	20.6	20.6	20.7	20.8	20.7	20.8	20.7	20.7	20.7
		W/(Bt+C)=600%	20.2	20.1	20.1	20.1	20.1	20.1	20.1	20.1	20.1
	2時間後	W/(Bt+C)=200%	26.4	26.4	26.6	27.0	27.0	27.1	27.5	27.5	27.1
		W/(Bt+C)=400%	20.9	21.1	21.0	21.0	21.1	21.2	21.1	21.0	21.0
		W/(Bt+C)=600%	20.4	20.4	20.4	20.4	20.3	20.3	20.4	20.6	20.4
	3時間後	W/(Bt+C)=200%	26.9	26.7	27.0	27.1	27.1	27.4	28.0	28.0	27.5
		W/(Bt+C)=400%	21.1	21.1	21.1	21.1	21.1	21.1	21.0	21.1	21.0
		W/(Bt+C)=600%	20.4	20.4	20.5	20.4	20.4	20.5	20.5	20.4	20.5
粘度 ローター回転数:6rpm (mPa・s)	作製直後	W/(Bt+C)=200%	430.0	455.0	485.0	480.0	505.0	540.0	525.0	535.0	540.0
		W/(Bt+C)=400%	290.0	305.0	285.0	295.0	285.0	295.0	285.0	290.0	300.0
		W/(Bt+C)=600%	80.0	80.0	80.0	80.0	85.0	75.0	65.0	70.0	70.0
	1時間後	W/(Bt+C)=200%	550.0	545.0	545.0	575.0	545.0	570.0	560.0	555.0	580.0
		W/(Bt+C)=400%	305.0	295.0	335.0	315.0	330.0	335.0	330.0	330.0	335.0
		W/(Bt+C)=600%	150.0	140.0	135.0	130.0	135.0	135.0	130.0	140.0	150.0
	2時間後	W/(Bt+C)=200%	590.0	605.0	630.0	635.0	640.0	660.0	665.0	670.0	685.0
		W/(Bt+C)=400%	260.0	290.0	280.0	305.0	295.0	315.0	315.0	325.0	320.0
		W/(Bt+C)=600%	180.0	185.0	180.0	185.0	170.0	175.0	175.0	170.0	185.0
	3時間後	W/(Bt+C)=200%	660.0	620.0	640.0	675.0	630.0	695.0	655.0	730.0	720.0
		W/(Bt+C)=400%	265.0	280.0	305.0	295.0	310.0	320.0	305.0	295.0	295.0
		W/(Bt+C)=600%	195.0	200.0	205.0	195.0	190.0	190.0	190.0	195.0	195.0
粘度 ローター回転数:60rpm (mPa・s)	作製直後	W/(Bt+C)=200%	275.0	297.5	315.0	315.0	310.0	300.0	317.5	307.5	305.0
		W/(Bt+C)=400%	57.5	58.5	59.0	61.0	59.0	58.5	56.0	56.5	53.5
		W/(Bt+C)=600%	20.5	18.5	21.0	20.0	19.0	18.5	17.5	18.0	20.0
	1時間後	W/(Bt+C)=200%	332.5	335.0	352.5	352.5	355.0	352.5	355.0	372.5	382.5
		W/(Bt+C)=400%	77.5	77.5	77.5	82.5	76.5	78.0	73.5	74.5	71.5
		W/(Bt+C)=600%	35.5	35.5	36.0	36.5	34.5	34.0	34.0	33.0	34.5
	2時間後	W/(Bt+C)=200%	370.0	375.0	375.0	385.0	397.5	395.0	385.0	400.0	422.5
		W/(Bt+C)=400%	92.0	98.0	94.5	96.5	98.0	95.0	91.0	96.0	92.5
		W/(Bt+C)=600%	51.0	47.0	50.0	52.5	48.0	49.5	49.0	50.0	53.5
	3時間後	W/(Bt+C)=200%	400.0	407.5	427.5	430.0	447.5	447.5	460.0	472.5	477.5
		W/(Bt+C)=400%	60.0	65.0	62.5	62.5	62.5	60.0	57.5	62.5	55.0
		W/(Bt+C)=600%	56.0	54.5	58.5	56.5	54.5	55.0	57.0	58.5	64.5
一軸圧縮強さ (kN/m ²)	材令3日	W/(Bt+C)=200%	627	539	519	529	637	559	578	578	568
		W/(Bt+C)=400%	402	392	402	392	392	421	421	412	402
		W/(Bt+C)=600%	225	206	176	167	176	196	176	196	167
	材令7日	W/(Bt+C)=200%	1352	1294	1274	1284	1235	1225	1352	1352	1343
		W/(Bt+C)=400%	794	774	813	784	784	755	774	794	764
		W/(Bt+C)=600%	412	431	431	412	392	372	382	402	343
	材令28日	W/(Bt+C)=200%	2577	2558	2470	2577	2509	2558	2548	2538	2489
		W/(Bt+C)=400%	1362	1323	1421	1343	1392	1352	1294	1323	1392
		W/(Bt+C)=600%	755	715	706	735	774	686	686	696	686
湿潤密度 (g/cm ³)	材令3日	W/(Bt+C)=200%	1.430	1.430	1.428	1.428	1.434	1.438	1.434	1.436	1.435
		W/(Bt+C)=400%	1.378	1.373	1.367	1.368	1.371	1.367	1.370	1.371	1.371
		W/(Bt+C)=600%	1.342	1.340	1.341	1.336	1.340	1.337	1.340	1.330	1.341
	材令7日	W/(Bt+C)=200%	1.445	1.442	1.441	1.441	1.445	1.446	1.440	1.436	1.439
		W/(Bt+C)=400%	1.379	1.381	1.370	1.370	1.377	1.379	1.373	1.376	1.371
		W/(Bt+C)=600%	1.341	1.346	1.343	1.345	1.339	1.337	1.341	1.338	1.343
	材令28日	W/(Bt+C)=200%	1.461	1.456	1.450	1.448	1.448	1.446	1.446	1.443	1.437
		W/(Bt+C)=400%	1.377	1.373	1.381	1.375	1.380	1.376	1.372	1.377	1.372
		W/(Bt+C)=600%	1.343	1.342	1.346	1.349	1.345	1.342	1.336	1.335	1.336

注) 空欄は試験を実施していないことを示し、測定値の「-」は測定限界を示す。

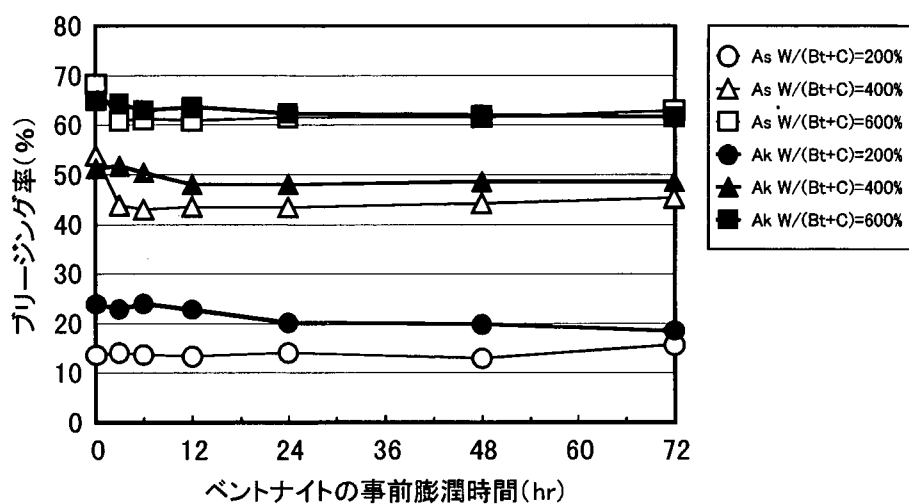
表-5.4 膨潤時間を変化させたベントナイト溶液の粘度(Bt/W=10%)

粘度		ベントナイト	ベントナイトの膨潤時間 (hr)								
			0	1	2	3	6	12	24	48	72
ローター回転数:6rpm(mPa・s)		As	172.0			80.0	65.0	61.0	48.0	50.0	50.0
		Ak	18.0	20.0	20.0	18.0	17.0	17.0	20.0	20.0	18.0
		Hr	15.0	15.0	19.0	18.0	19.0	18.0	18.0	21.0	20.0
ローター回転数:60rpm(mPa・s)		As	45.5			35.6	33.5	33.1	30.3	30.7	30.8
		Ak	10.0	10.4	11.5	11.3	12.0	13.0	13.5	14.0	14.1
		Hr	9.5	10.0	10.4	10.1	10.5	10.5	10.6	10.9	11.0
ファンネル粘度(sec)		As	25.9			27.2	27.5	27.8	28.0	28.2	28.5
		Ak	22.5	23.1	23.2	23.6	23.7	24.2	24.4	24.8	24.9
		Hr	21.9	22.3	22.4	22.4	22.6	22.6	22.7	22.8	22.8
APIレオメータによる測定	見掛粘度(mPa・s)	As	10.6			11.5	11.6	12.4	11.8	13.0	13.0
		Ak	6.0	6.3	6.8	7.3	7.5	7.8	8.3	8.8	8.8
		Hr	6.3	6.9	7.0	6.9	7.3	7.3	7.3	7.2	7.3
	塑性粘度(mPa・s)	As	9.5			10.2	10.3	11.2	10.6	12.2	12.0
		Ak	5.5	5.5	6.0	6.5	7.0	7.0	7.5	8.0	8.0
		Hr	6.0	6.8	6.9	6.8	7.0	7.0	7.0	6.9	7.0
	降伏値(lb/100ft ²)	As	2.2			2.6	2.6	2.4	2.4	1.6	2.0
		Ak	1.0	1.5	1.5	1.5	1.0	1.5	1.5	1.5	1.5
		Hr	0.5	0.2	0.1	0.2	0.5	0.5	0.5	0.6	0.5
	ゲルストレングス(lb/100ft ²)	As	0.1			0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
		Ak	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
		Hr	1.0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5

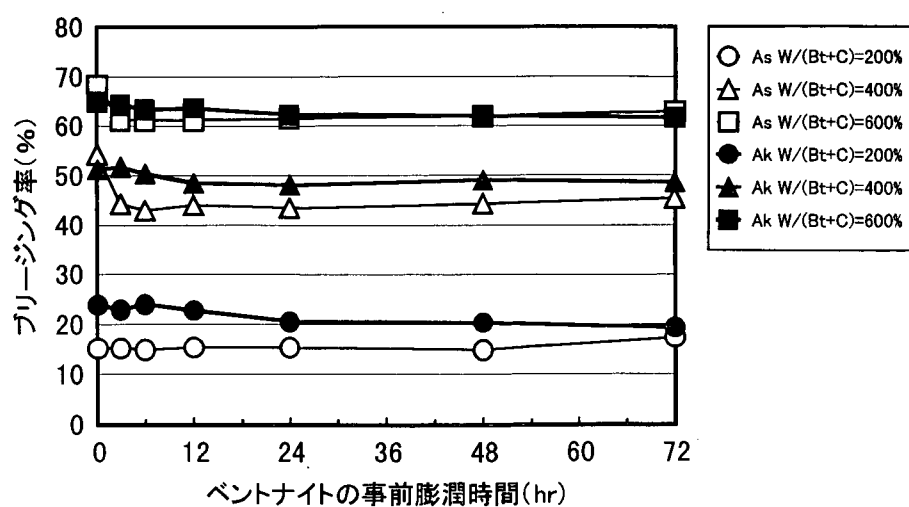
注) 空欄は試験を実施していないことを示し、測定値の「-」は測定限界を示す。



(a) 1時間後

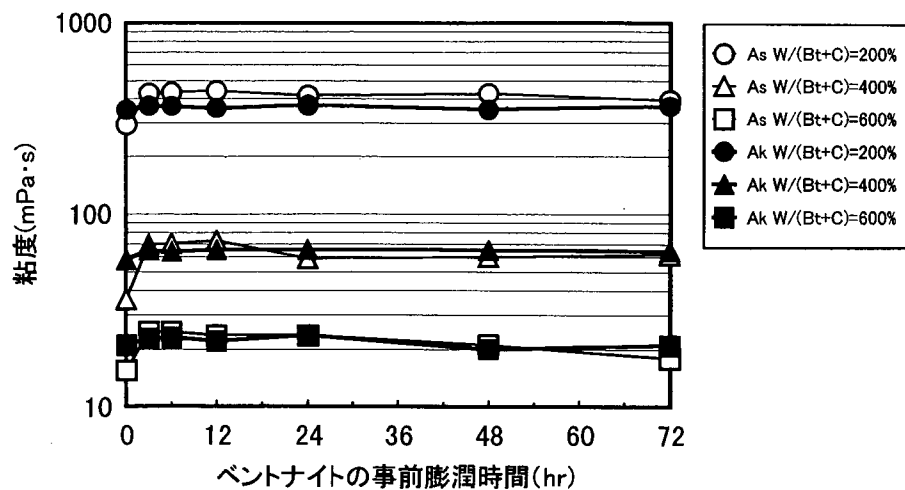


(b) 3時間後

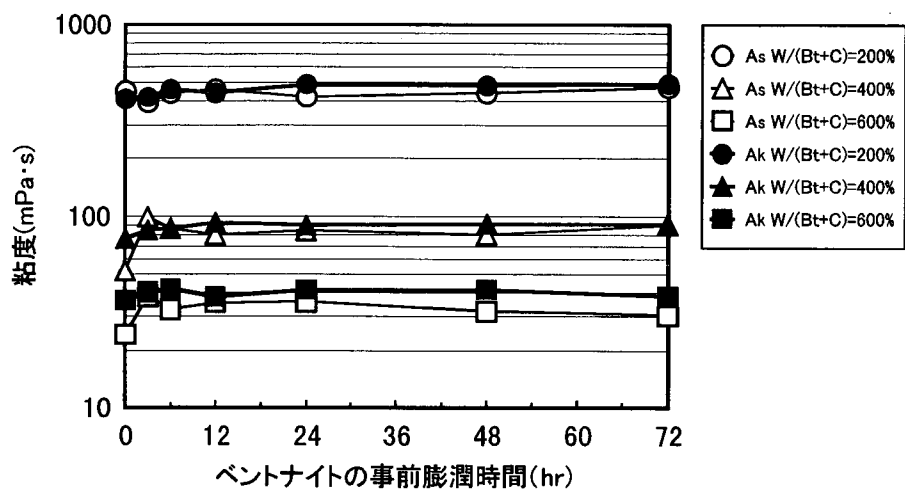


(c) 24時間後

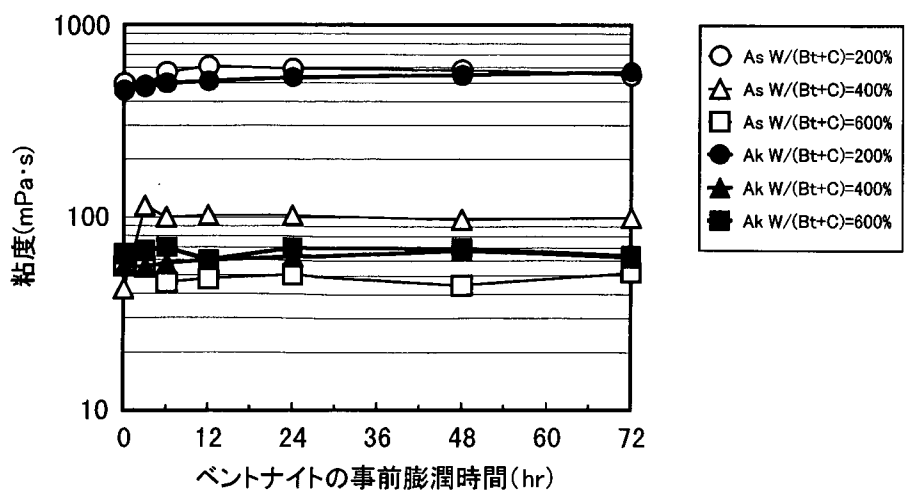
図-5.1 ベントナイトの事前膨潤時間によるCBグラウトのプリージング率



(a) 試料作製直後

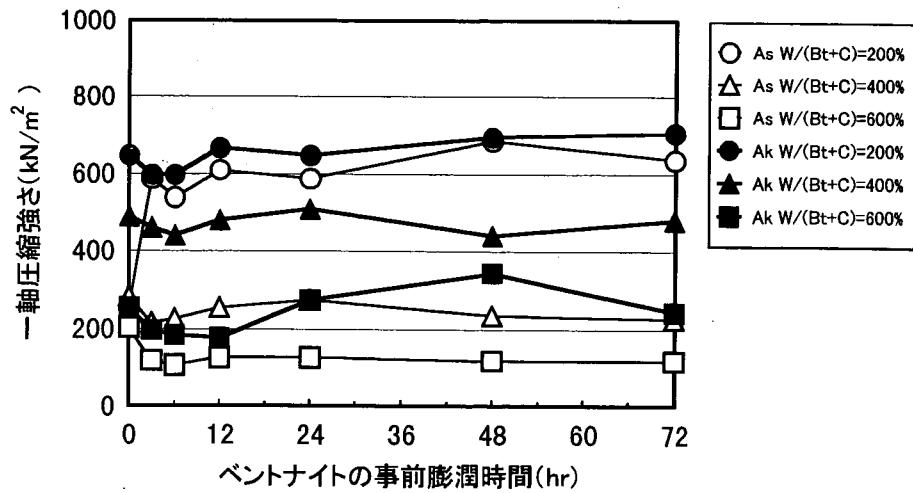


(b) 1時間後

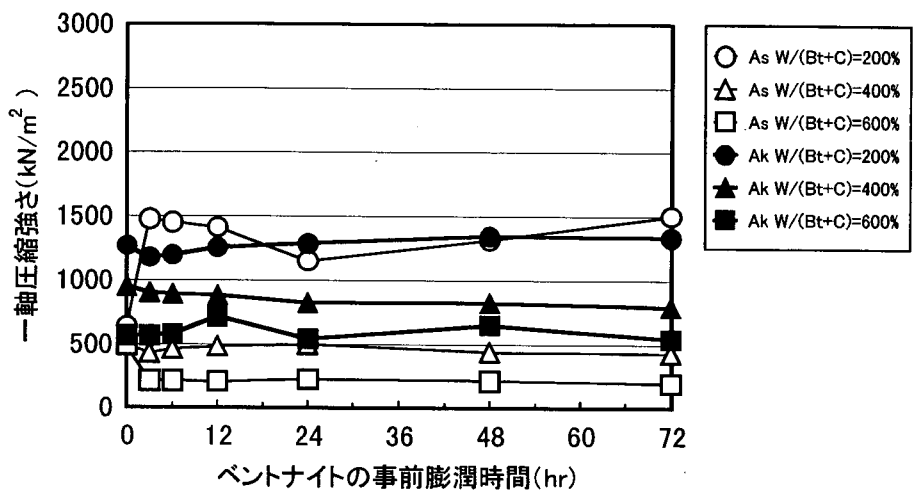


(c) 3時間後

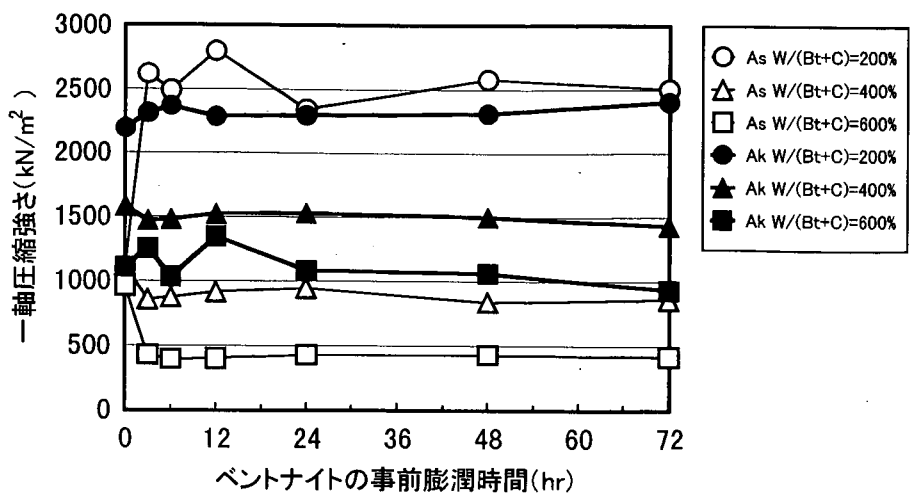
図-5.2 ベントナイトの事前膨潤時間によるCBグラウトの粘度



(a) 材令3日

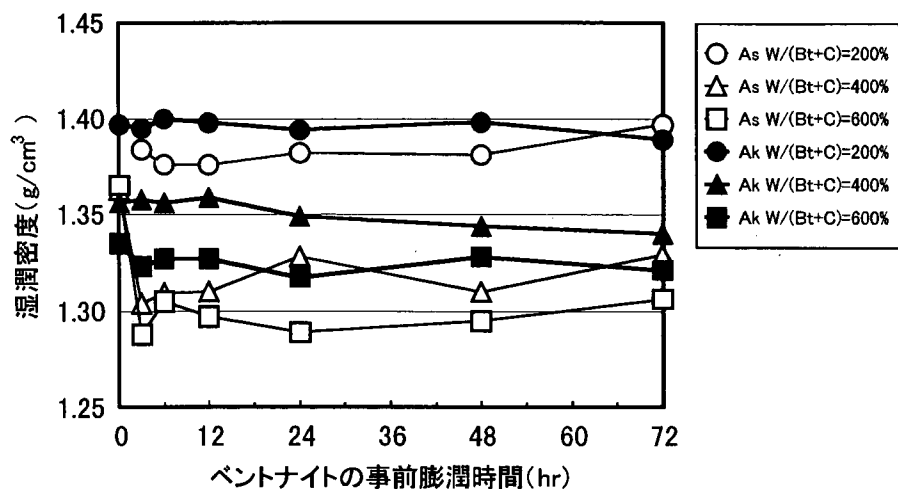


(b) 材令7日

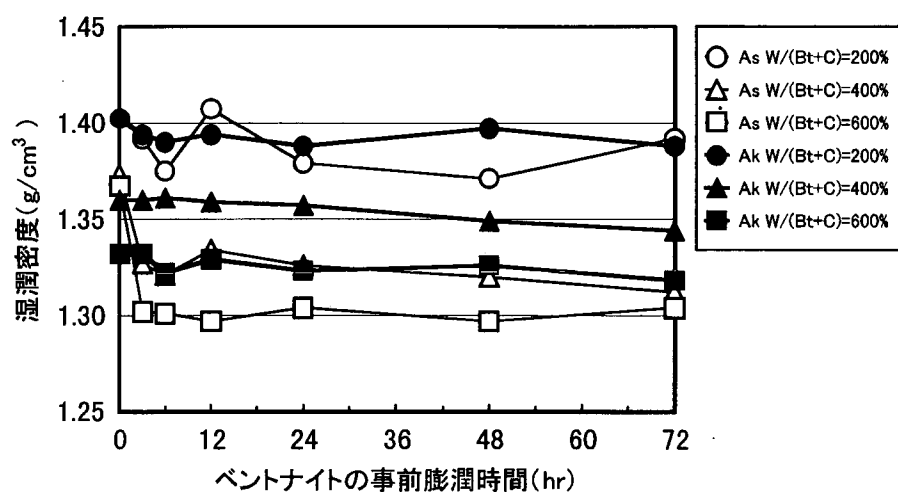


(c) 材令28日

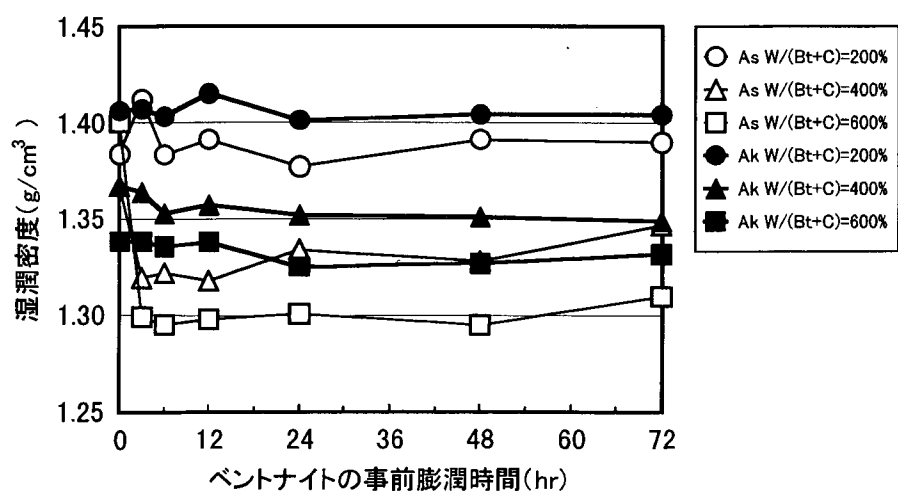
図-5.3 ベントナイトの事前膨潤時間によるCBグラウトの一軸圧縮強さ



(a) 材令3日



(b) 材令7日



(c) 材令28日

図-5.4 ベントナイトの事前膨潤時間によるCBグラウトの湿潤密度

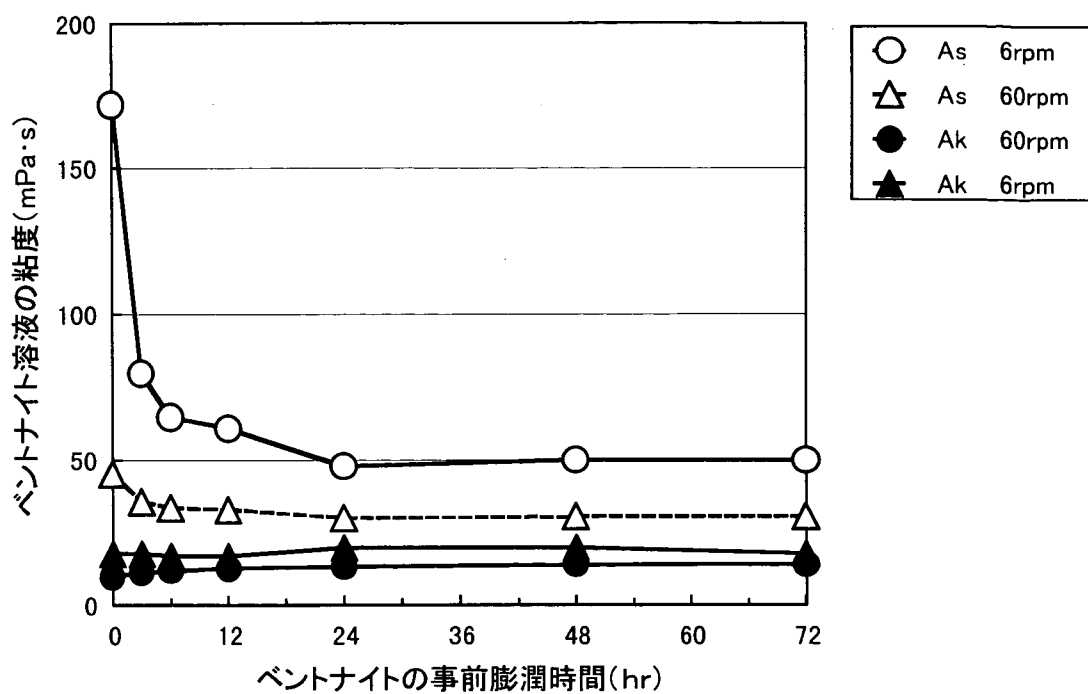


図-5.5 ベントナイト溶液の粘度の経時変化(Bt=10%)

5.2 攪拌方法を変化させた試験

ベントナイトの吸水膨潤作用は電解質溶液中では抑制される。そのため、CB グラウトを作製する際には、ベントナイトの粉体とセメントグラウトとを直接は混合せずに、ベントナイトと水を攪拌した後、セメントグラウトと攪拌することにより CB グラウトを作製している。しかし、ベントナイトの攪拌方法の違いが CB グラウトの物性に与える影響については解明されていない。そこで、回転数の異なる 2 種類のミキサーを用いてベントナイト溶液を作製することにより、攪拌方法の影響を検討する。つまり、ベントナイト溶液を作製する際に、回転数の高いハミルトンビーチミキサー (10000rpm) を用いた試料 (CB グラウト#1) と、回転数の低いディスパー (300rpm) を用いた試料 (CB グラウト#2) で試験を行い、比較検討した。

またここでは、ベントナイトの攪拌方法が CB グラウトの物性に与える影響を、①ベントナイトの膨潤力、②CB グラウトの水比、の 2 つの角度から検討する。ベントナイトの膨潤力の違いによる攪拌方法の影響を検討するため、実験ケース 10、11、12、13、14 の試験結果を整理した。これらの実験は、水比を $W/(Bt+C)=200\%$ 、ベントナイトの添加率を $Bt/C=5\%$ とし、ベントナイトの種類と攪拌方法を変化させて実施したものである。また CB グラウトの水比の違いによる攪拌方法の影響を検討するため、実験ケース 10、15、16、17、18 の試験結果を整理した。これらの実験は、ベントナイトを As (膨潤力 22ml/2g)、ベントナイトの添加率を $Bt/C=5\%$ とし、それぞれ水比を 100、200、400、600、800% に変え、各々の水比について攪拌方法を変化させて実施したものである。

比較検討する試験結果の項目は、ブリージング率 (24 時間後)、粘度 (ローターの回転数 60rpm、試料作製直後)、一軸圧縮強さ (材令 28 日) の 3 種類とした。試験結果の一覧を表-5.5 と表-5.6 に、各 CB グラウトのブリージング率、粘度、一軸圧縮強さの変化をそれぞれ図-5.6 と図-5.7 に示す。

(1) ベントナイトの種類による比較

図-5.6(a)より、CB グラウト#1、CB グラウト#2 とともに、膨潤力が増加するにつれ、ブリージング率は減少する。CB グラウト#1 と CB グラウト#2 を比較すると、ベントナイトの膨潤力の大小に関係なく、CB グラウト#1 のブリージング率は CB グラウト#2 のブリージング率よりも小さな値を示す。CB グラウト#1 のブリージング率の CB グラウト#2 に対する比は、膨潤力が 23ml/2g の場合を除き、ほぼ 0.8 程度となっている。

図-5.6(b)より、CB グラウト#1、CB グラウト#2 とともに、膨潤力が増加するにつれ粘度は増加する傾向にある。CB グラウト#1 と CB グラウト#2 を比較すると、ベントナイトの膨潤力の大小に関係なく、CB グラウト#1 の粘度は CB グラウト#2 の粘度よりも大きな値を示す。CB グラウト#1 の粘度の CB グラウト#2 に対する比は、1.1~1.6 程度である。

図-5.6(c)より、一軸圧縮強さは、ベントナイトの種類によって CB グラウト#1 と CB グラウト#2 の大小関係が逆転するケースもあるが、その比はベントナイトの膨潤力に関係なくほぼ 1 を示している。よって一軸圧縮強さは、CB グラウト#1、CB グラウト#2 とともに同程度であると考えられる。

(2) 水比による比較

図-5.7(a)より、CB グラウト#1 のブリージング率は CB グラウト#2 のブリージング率よりも小さな値を示す。CB グラウト#1 の CB グラウト#2 に対する比は、 $W/(B+C)=100\%$ の時は 0.6 程度であるが、水比が増加するにつれて 1 に漸近していく。

図-5.7(b)より、CB グラウト#1 の粘度は、水比に関係なく CB グラウト#2 の粘度よりも大きな値を示す。また、CB グラウト#1 と CB グラウト#2 の差は水比の増加とともに小さくなるが、CB グラウト#1 の粘度の CB グラウト#2 の粘度に対する比は水比によらずほぼ一定の値を示す。

図-5.7(c)より、一軸圧縮強さは、ベントナイトの種類によって CB グラウト#1 と CB グラウト#2 の大小関係が逆転するケースもあるが、その比がベントナイトの膨潤力に関係なくほぼ 1 を示している。よって一軸圧縮強さは、CB グラウト#1、CB グラウト#2 とともに同程度であると考えられる。

(3) CB グラウトにおけるベントナイトの攪拌方法

(1) および (2) より、ベントナイト溶液が外観上均一に作製された場合でも、ベントナイトの膨潤力および CB グラウトの水比に関係なく、CB グラウトの物性にはミキサーの回転数の違いによる差異が認められた。ベントナイトの膨潤力を変化させたケースによると、CB グラウトはベントナイトと水を混合するときに回転数の高いミキサーを用いること (CB グラウト#1) によって、一軸圧縮強さは変わらないものの、粘性が増し、安定性が高くなる。また、水比を変化させたケースによると、CB グラウトは、膨潤力を変化させた場合と同様に攪拌時間一定の条件下で回転数の高いミキサーを用いた方が、ブリージング率は低く、粘度は高くなっており、ベントナイトの膨潤度合いが増し、その結果として安定性が高まるものと推察される。

しかし、CB グラウトの物性は、回転翼の形状 (溶液のせん断方法) 等によっても変化するものと考えられる。実際、現場では種々のミキサーが使用されている。しかし、今回の室内試験結果から現場の状況を定量的に考察することは難しい。そのため、現場においてもミキサーの種類および回転数とグラウトの物性との関係を把握する必要があると考えられる。

表-5.5 ベントナイトの膨潤力によるCBグラウトの物性(W/(Bt+C)=200%, Bt/C=5%)

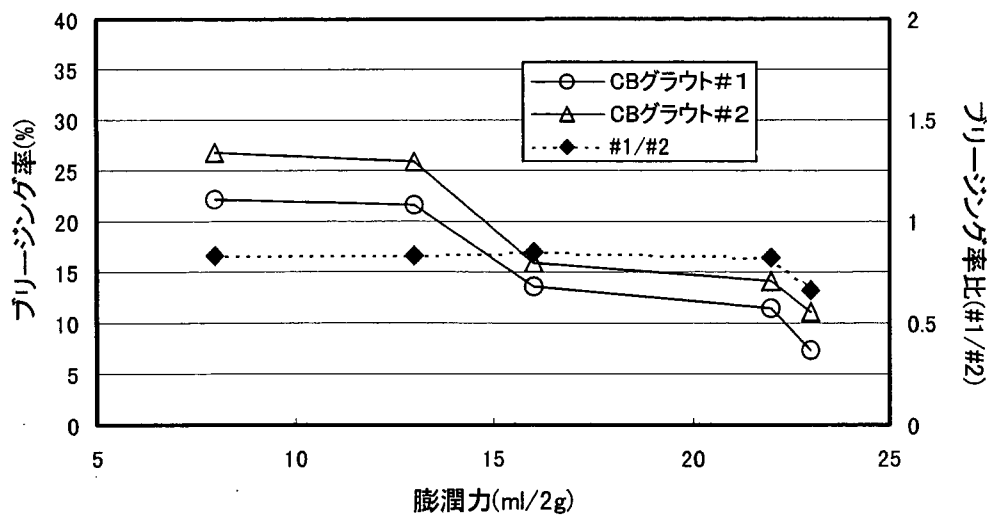
			As	Sc	Ak	Hr	Ht
			膨潤力22ml/2g	膨潤力23ml/2g	膨潤力13ml/2g	膨潤力8ml/2g	膨潤力16ml/2g
ブリージング率 (%)	1時間後	CBグラウト#1	3.7	1.2	8.0	10.5	4.4
		CBグラウト#2	4.4	2.0	11.3	15.6	5.7
	3時間後	CBグラウト#1	10.7	4.9	20.8	22.2	12.7
		CBグラウト#2	13.7	9.0	25.1	26.4	15.9
	24時間後	CBグラウト#1	11.5	7.3	21.6	22.2	13.5
		CBグラウト#2	14.1	5.7	25.9	26.8	15.9
ファンネル粘度 (sec)	作製直後	CBグラウト#1	27.2	-	25.3	25.0	26.0
		CBグラウト#2	24.5	27.3	23.4	22.7	24.7
	1時間後	CBグラウト#1	33.5	-	27.7	27.2	31.3
		CBグラウト#2	26.6	30.7	25.3	24.1	27.1
	2時間後	CBグラウト#1	34.7	-	28.2	27.8	33.1
		CBグラウト#2	27.7	-	25.5	24.4	28.0
粘度 ローター回転数:6rpm (mPa・s)	作製直後	CBグラウト#1	630.0	1075.0	500.0	450.0	665.0
		CBグラウト#2	570.0	900.0	470.0	430.0	580.0
	1時間後	CBグラウト#1	775.0	1550.0	585.0	495.0	800.0
		CBグラウト#2	605.0	975.0	490.0	430.0	610.0
	2時間後	CBグラウト#1	800.0	1650.0	630.0	515.0	875.0
		CBグラウト#2	725.0	1150.0	625.0	555.0	695.0
粘度 ローター回転数:60rpm (mPa・s)	作製直後	CBグラウト#1	490.0	850.0	337.5	312.5	470.0
		CBグラウト#2	330.0	520.0	297.5	237.5	390.0
	1時間後	CBグラウト#1	500.0	860.0	380.0	372.5	472.5
		CBグラウト#2	422.5	570.0	337.5	302.5	430.0
	2時間後	CBグラウト#1	520.0	950.0	407.5	427.5	490.0
		CBグラウト#2	465.0	660.0	360.0	317.5	460.0
一軸圧縮強さ (kN/m ²)	材令3日	CBグラウト#1	725	461	637	686	627
		CBグラウト#2	539	510	549	813	627
	材令7日	CBグラウト#1	1254	1000	1303	1274	1068
		CBグラウト#2	1098	1117	1186	1529	1088
	材令28日	CBグラウト#1	2430	1725	2283	2705	2048
		CBグラウト#2	2185	1911	2068	2793	1862
湿潤密度 (g/cm ³)	材令3日	CBグラウト#1	1.368	1.343	1.396	1.417	1.349
		CBグラウト#2	1.367	1.380	1.417	1.444	1.376
	材令7日	CBグラウト#1	1.365	1.335	1.420	1.413	1.371
		CBグラウト#2	1.379	1.376	1.430	1.445	1.387
	材令28日	CBグラウト#1	1.375	1.324	1.406	1.419	1.366
		CBグラウト#2	1.374	1.344	1.430	1.432	1.371

注) 空欄は試験を実施していないことを示し、測定値の「-」は測定限界を示す。

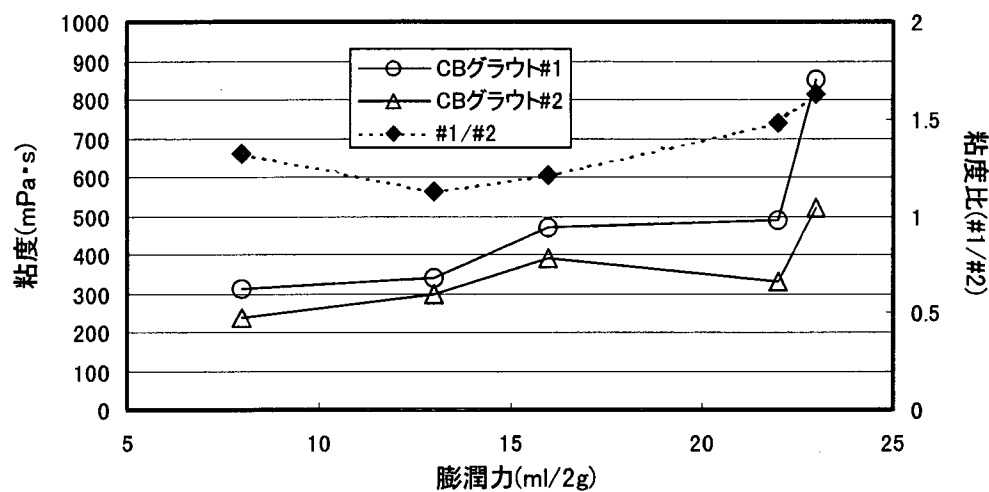
表-5.6 水比によるCBグラウトの物性(Bt:As, Bt/C=5%)

			水比W/(Bt+C)				
			100%	200%	400%	600%	800%
ブリージング率 (%)	1時間後	CBグラウト#1	0.0	3.7	30.2	58.3	66.4
		CBグラウト#2	0.4	4.4	41.9	61.4	69.0
	3時間後	CBグラウト#1	1.1	10.7	45.6	61.5	68.4
		CBグラウト#2	1.8	13.7	51.0	65.4	70.5
	24時間後	CBグラウト#1	1.1	11.5	46.0	62.7	68.8
		CBグラウト#2	1.8	14.1	51.4	65.4	70.9
ファンネル粘度 (sec)	作製直後	CBグラウト#1	-	27.2	20.6	19.7	19.5
		CBグラウト#2	-	24.5	20.1	19.6	19.3
	1時間後	CBグラウト#1	-	33.5	20.9	20.1	19.9
		CBグラウト#2	-	26.6	20.3	19.7	19.7
	2時間後	CBグラウト#1	-	34.7	21.3	20.4	20.1
		CBグラウト#2	-	27.7	20.6	20.1	19.9
	3時間後	CBグラウト#1	-	36.8	21.3	20.5	20.2
		CBグラウト#2	-	28.0	20.6	20.1	19.9
粘度 ローター回転数:6rpm (mPa・s)	作製直後	CBグラウト#1	14800.0	630.0	365.0	80.0	40.0
		CBグラウト#2	5400.0	570.0	255.0	35.0	25.0
	1時間後	CBグラウト#1	18600.0	775.0	420.0	150.0	80.0
		CBグラウト#2	12400.0	605.0	335.0	100.0	60.0
	2時間後	CBグラウト#1	64500.0	800.0	450.0	185.0	115.0
		CBグラウト#2	32000.0	725.0	400.0	170.0	105.0
	3時間後	CBグラウト#1	94000.0	850.0	480.0	200.0	140.0
		CBグラウト#2	46500.0	775.0	440.0	170.0	125.0
粘度 ローター回転数:60rpm (mPa・s)	作製直後	CBグラウト#1	3650.0	490.0	60.0	18.0	11.0
		CBグラウト#2	2800.0	330.0	45.0	12.5	8.5
	1時間後	CBグラウト#1	4250.0	500.0	67.5	32.0	21.5
		CBグラウト#2	2950.0	422.5	63.0	23.5	17.5
	2時間後	CBグラウト#1	6000.0	520.0	75.0	47.5	33.0
		CBグラウト#2	3550.0	465.0	84.0	40.0	26.5
	3時間後	CBグラウト#1	-	610.0	91.0	58.0	38.5
		CBグラウト#2	5400.0	487.5	88.0	47.5	32.5
一軸圧縮強さ (kN/m ²)	材令3日	CBグラウト#1	3420	725	343	108	69
		CBグラウト#2	2920	539	392	118	69
	材令7日	CBグラウト#1	6811	1254	666	235	157
		CBグラウト#2	5645	1098	637	216	147
	材令28日	CBグラウト#1	8849	2430	1166	470	274
		CBグラウト#2	8389	2185	1392	372	284
湿潤密度 (g/cm ³)	材令3日	CBグラウト#1	1.547	1.368	1.329	1.305	1.293
		CBグラウト#2	1.550	1.367	1.353	1.324	1.293
	材令7日	CBグラウト#1	1.546	1.365	1.336	1.296	1.297
		CBグラウト#2	1.554	1.379	1.351	1.320	1.302
	材令28日	CBグラウト#1	1.548	1.375	1.339	1.296	1.284
		CBグラウト#2	1.553	1.374	1.350	1.317	1.303

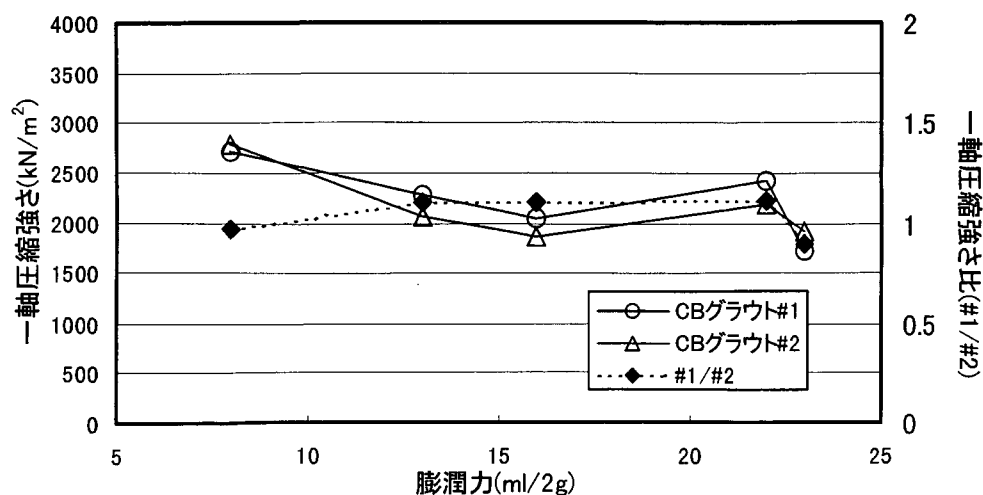
注) 空欄は試験を実施していないことを示し、測定値の「-」は測定限界を示す。



(a)ブリージング率

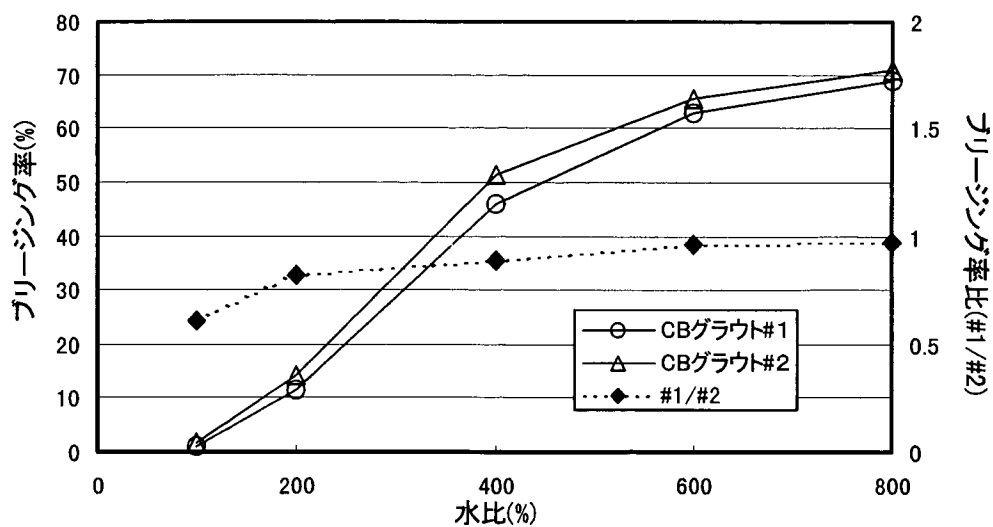


(b)粘度

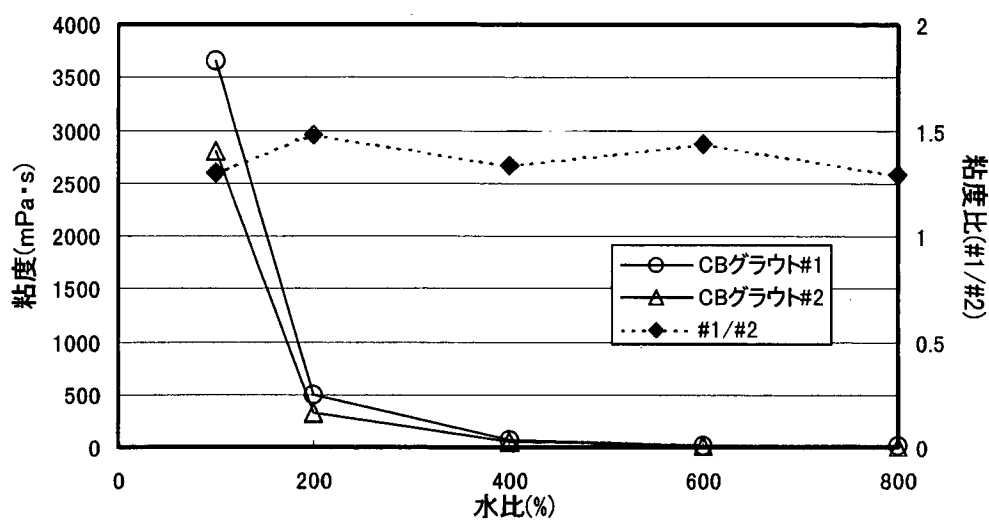


(c)一軸圧縮強さ

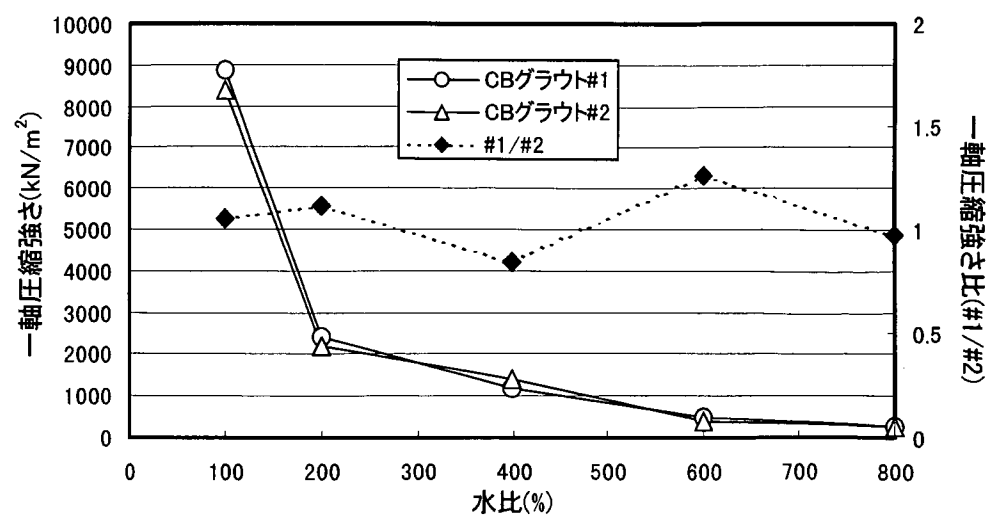
図-5.6 ベントナイトの膨潤力による物性値



(a)ブリージング率



(b)粘度



(c)一軸圧縮強さ

図-5.7 水比による物性値

5.3 膨潤促進剤を添加した試験

5.3.1 膨潤促進剤の種類による比較

膨潤促進剤 (SAM) は、粉末状の#1 と液体状の#2 の 2 種類がある。このうち、どちらの膨潤促進剤が CB グラウトの物性により有効的に作用するのかを検証するため、実験ケース 19~22 の試験結果を整理した。これらの実験は、SAM#1 および SAM#2 を用い、CB グラウトに用いるベントナイトの種類 (As) と水比 ($W/(Bt+C)$) 200%を変化させず、ベントナイトの添加率 (Bt/C) を 5%および 10%の 2 種類に変化させて実施したものである。比較検討する CB グラウトの物性は、ブリージング率、粘度 (回転粘度計、ローターの回転数 60rpm)、一軸圧縮強さの 3 項目とした。なお、粘度指標のうち回転粘度計のローター回転数 60rpm の測定結果を用いたのは、全試験ケースを通して最も安定した結果が得られたためである。

(1) $Bt/C=5\%$ の場合

試験結果の一覧を表-5.7 に、SAM#1 添加 CB、SAM#2 添加 CB およびコントロールの 3 種類の CB グラウトのブリージング率、粘度、一軸圧縮強さの膨潤促進剤添加率に対する変化をそれぞれ図-5.8~5.10 に示す。

図-5.8 によると、粒子の沈降は、各グラウトとも試料作製から 3 時間程度でほぼ完了していることがわかる。粒子の沈降が完全に完了したと考えられる 24 時間後のブリージング率をみると、SAM#2 添加 CB は、SAM の添加率増加とともにブリージング率が低下し、その低減傾向が収束する SAM の添加率が 12.5%以上の試料ではコントロールよりも小さくなる。一方、SAM#1 添加 CB のブリージング率は、SAM の添加率増加に対して一定の低減傾向を示さず、コントロールや SAM#2 添加 CB を上回るものが多い。

図-5.9 によると、SAM#1 添加 CB および SAM#2 添加 CB の粘度は、いずれの測定時間においても、コントロールよりも粘度が低いことがわかる。また、SAM#1 添加 CB と SAM#2 添加 CB の大小関係をみると、SAM の添加率が 0~25%の範囲では同程度である。しかし、50~100%の範囲では SAM#1 添加 CB の方が若干低くなっている。これは、この範囲における SAM#1 添加 CB のブリージング率が SAM#2 添加 CB よりも大きくなっていることから推察すると、SAM#1 添加 CB のベントナイトの膨潤度合いが SAM#2 添加 CB に比べ、小さいことに起因するものと考ええる。

図-5.10 によると、試料の一軸圧縮強さは、SAM=0%の試料が他の試料に比べ小さくなっていることを除き、どの試料も材令に応じて、SAM の添加率に関係なく同程度であることがわかる。

このように、SAM#1 添加 CB と SAM#2 添加 CB を比較すると、強度上の差異はほとんどない。しかし、ベントナイトの膨潤度合いは SAM#1 添加 CB よりも SAM#2 添加 CB の方が高く、その結果試料の安定性は、SAM#2 添加 CB の方が優れていると考える。

(2) $Bt/C=10\%$ の場合

試験結果の一覧を表-5.8 に、SAM#1 添加 CB、SAM#2 添加 CB およびコントロールの 3 種類の

CB グラウトのブリージング率、粘度、一軸圧縮強さの膨潤促進剤添加率に対する変化をそれぞれ図-5.11～5.13 に示す。

図-5.11 によると、粒子の沈降は、各グラウトとも試料作製から 1 時間程度ではほぼ完了していることがわかる。粒子の沈降が完全に完了したと考えられる 24 時間後のブリージング率をみると、いずれの試料も 4%以下と高い安定性を示し、安定性の差はほとんどないものとする。

図-5.12 によると、SAM#1 添加 CB および SAM#2 添加 CB の粘度は、いずれの測定時間においても、SAM#2 添加 CB の方が若干高いことがわかる。また、図-5.13 によると、試料の一軸圧縮強さは、どの試料も材令に応じて、SAM の添加率に関係なく同程度であることがわかる。

このように、ベントナイトの添加率が $Bt/C=10\%$ と高い場合、SAM#1 添加 CB と SAM#2 添加 CB は、粘度が若干異なることを除き、安定性、強度上の差がほとんどない。

(3) SAM#1 と SAM#2 の比較

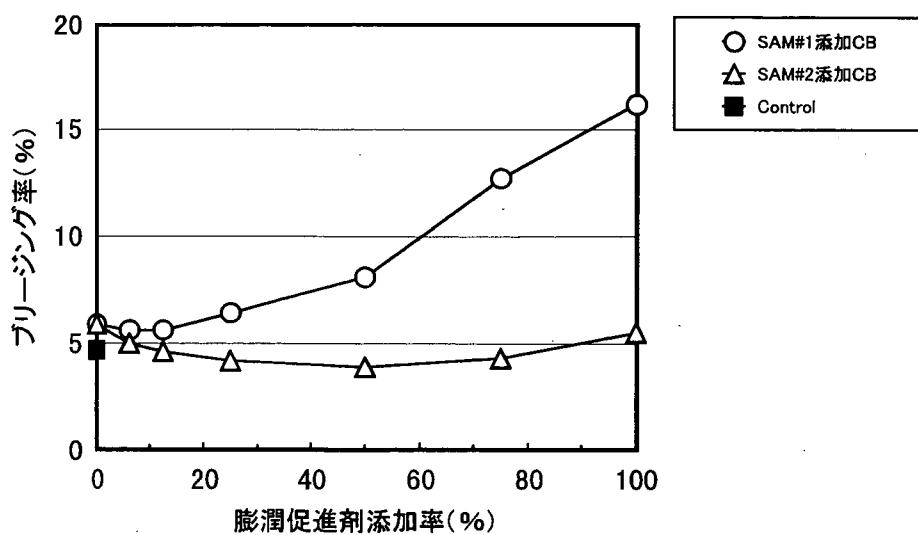
(1)および(2)の結果から、SAM#1 および SAM#2 の CB グラウトに対する添加効果は、ベントナイトの添加率によって異なることがわかった。つまり、CB グラウトの物性は、一般的な添加率である $Bt/C=5\%$ の場合では SAM#2 を添加する方が安定性が高くなり、添加率がかなり高い $Bt/C=10\%$ の場合では SAM#1 および SAM#2 による差異はほとんどない。 $Bt/C=10\%$ の場合、SAM の種類による物性の差がないのは、ベントナイトの添加量が $Bt/C=5\%$ の 2 倍とかなり多いことに起因するものとする。すなわち、グラウトの物性改善効果は、SAM の添加よりもベントナイトの添加量を増加させた方がかなり高かったためだと考える。

以上のことから、SAM の種類による差異は、ベントナイトの添加率を 10%としたときには明確に現れない。しかし、ダム基礎グラウティングにおける一般的なベントナイトの添加率 5%を採用した場合、CB グラウトの安定性は SAM#1 よりも SAM#2 の方が高くなる。したがって、CB グラウトの物性の改善効果は、SAM#1 よりも SAM#2 の方が高いものとする。

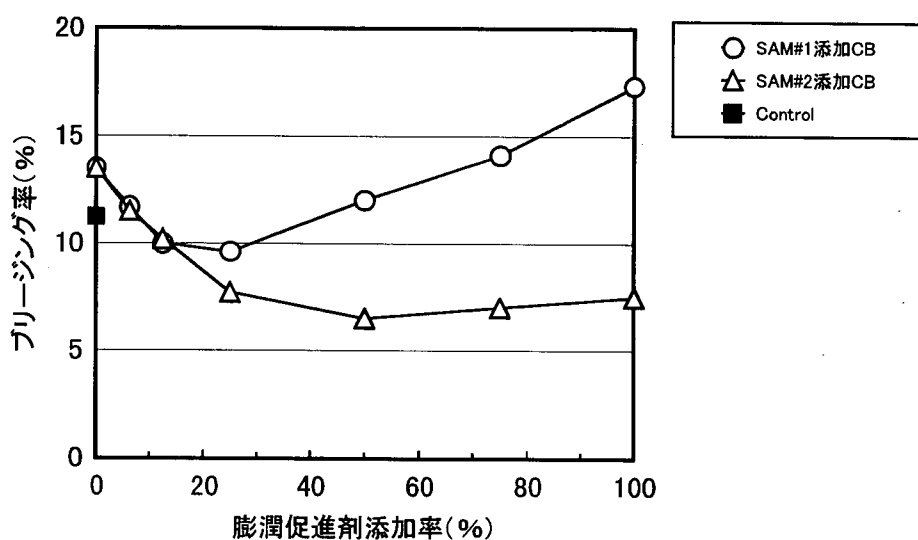
表-5.7 膨潤促進剤の種類によるCBグラウトの物性(Bt:As, W/(Bt+C)=200%, Bt/C=5%)

			SAM添加率(%)							
			0	6.25	12.5	25	50	75	100	Control
ブリージング率 (%)	1時間後	SAM#1添加CB	5.9	5.6	5.6	6.4	8.1	12.7	16.2	4.7
		SAM#2添加CB	5.9	5.0	4.6	4.2	3.9	4.3	5.5	4.7
	3時間後	SAM#1添加CB	13.5	11.7	10.0	9.6	12.0	14.1	17.3	11.2
		SAM#2添加CB	13.5	11.5	10.2	7.7	6.5	7.0	7.5	11.2
	24時間後	SAM#1添加CB	15.2	13.2	11.5	10.4	12.0	13.9	17.3	13.0
		SAM#2添加CB	15.2	12.7	10.4	8.8	7.3	7.0	8.3	13.0
ファンネル粘度 (sec)	作製直後	SAM#1添加CB	22.8	22.2	22.4	22.4	22.2	21.9	21.0	25.1
		SAM#2添加CB	22.8	22.3	22.5	22.7	22.9	22.5	22.8	25.1
	1時間後	SAM#1添加CB	26.4	24.8	23.9	23.8	24.0	23.5	22.2	31.6
		SAM#2添加CB	26.4	25.5	24.8	24.5	26.2	25.9	24.8	31.6
	2時間後	SAM#1添加CB	27.3	26.7	25.2	24.7	24.7	24.3	24.9	36.4
		SAM#2添加CB	27.3	24.9	27.0	27.5	25.9	26.6	26.7	36.4
	3時間後	SAM#1添加CB	26.3	26.0	24.5	24.8	24.1	23.9	30.7	-
		SAM#2添加CB	26.3	25.4	26.4	27.1	26.7	27.7	26.1	-
粘度 ローター回転数:6rpm (mPa・s)	作製直後	SAM#1添加CB	900.0	1325.0	1225.0	1125.0	875.0	375.0	250.0	595.0
		SAM#2添加CB	900.0	1400.0	1400.0	1325.0	1425.0	975.0	1175.0	595.0
	1時間後	SAM#1添加CB	725.0	800.0	625.0	2300.0	1325.0	1475.0	650.0	2200.0
		SAM#2添加CB	725.0	1250.0	2475.0	2475.0	1875.0	2275.0	1425.0	2200.0
	2時間後	SAM#1添加CB	1175.0	1575.0	2050.0	1400.0	1800.0	1050.0	575.0	2950.0
		SAM#2添加CB	1175.0	1600.0	1800.0	3000.0	2175.0	2625.0	1775.0	2950.0
	3時間後	SAM#1添加CB	1200.0	1150.0	2550.0	1325.0	1450.0	1275.0	1225.0	1500.0
		SAM#2添加CB	1200.0	1725.0	1325.0	2350.0	2375.0	2625.0	1200.0	1500.0
粘度 ローター回転数:60rpm (mPa・s)	作製直後	SAM#1添加CB	295.0	195.0	170.0	180.0	145.0	93.0	70.0	433.0
		SAM#2添加CB	295.0	233.0	183.0	193.0	190.0	175.0	178.0	433.0
	1時間後	SAM#1添加CB	450.0	327.5	320.0	280.0	270.0	145.0	120.0	520.0
		SAM#2添加CB	450.0	353.0	350.0	360.0	328.0	323.0	293.0	520.0
	2時間後	SAM#1添加CB	440.0	402.5	327.5	310.0	297.5	167.0	154.0	590.0
		SAM#2添加CB	440.0	463.0	500.0	393.0	368.0	353.0	373.0	590.0
	3時間後	SAM#1添加CB	500.0	400.0	357.5	297.5	270.0	210.0	273.0	620.0
		SAM#2添加CB	500.0	490.0	420.0	375.0	403.0	393.0	428.0	620.0
一軸圧縮強さ (kN/m ²)	材令3日	SAM#1添加CB	255	333	373	255	216	353	412	275
		SAM#2添加CB	255	294	265	294	294	343	284	275
	材令7日	SAM#1添加CB	637	775	804	677	1314	922	883	637
		SAM#2添加CB	637	598	628	755	824	765	932	637
	材令28日	SAM#1添加CB	1089	1569	1618	1294	1471	1814	1638	1412
		SAM#2添加CB	1089	1393	1559	1549	1402	1510	1677	1412
湿潤密度 (g/cm ³)	材令3日	SAM#1添加CB								1.382
		SAM#2添加CB								1.382
	材令7日	SAM#1添加CB								1.379
		SAM#2添加CB								1.379
	材令28日	SAM#1添加CB	1.384	1.377	1.363	1.370	1.371	1.380	1.393	1.377
		SAM#2添加CB	1.384	1.372	1.355	1.346	1.353	1.348	1.349	1.377

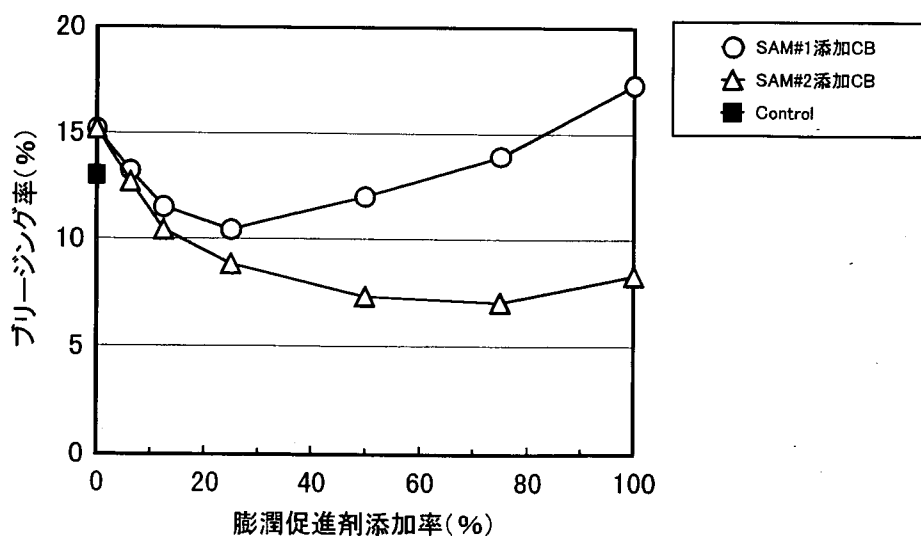
注) 空欄は試験を実施していないことを示し、測定値の「-」は測定限界を示す。



(a) 1時間後

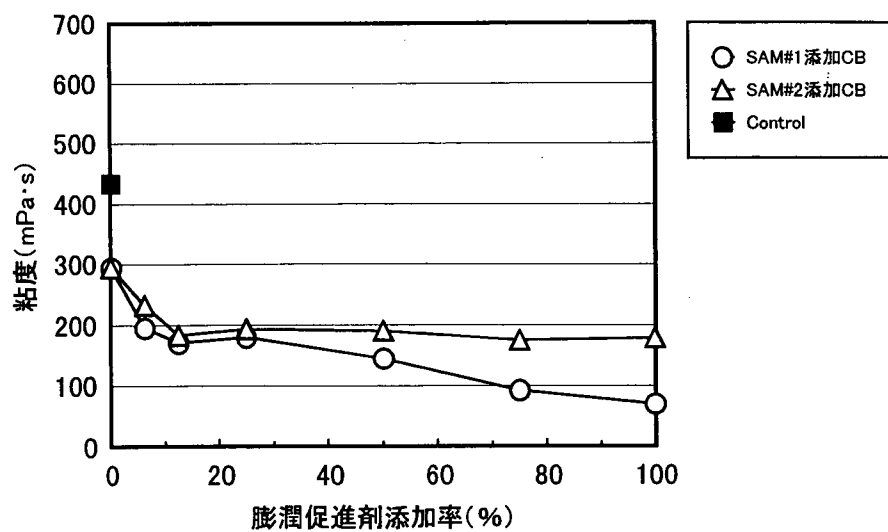


(b) 3時間後

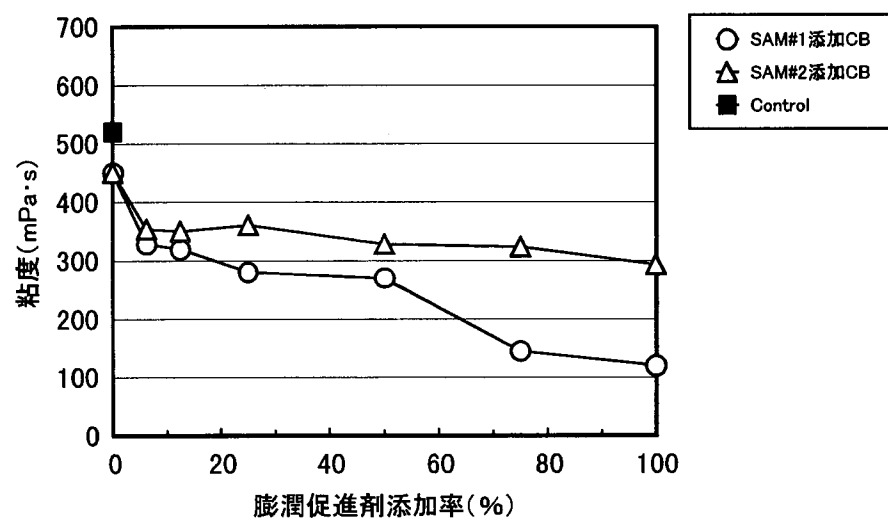


(c) 24時間後

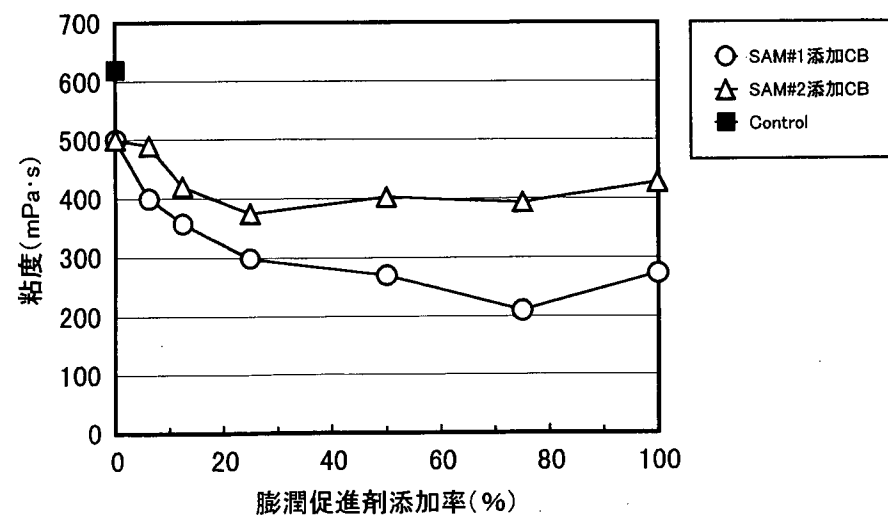
図-5.8 膨潤促進剤の種類によるCBグラウトのブリージング率(Bt/C=5%)



(a) 試料作製直後

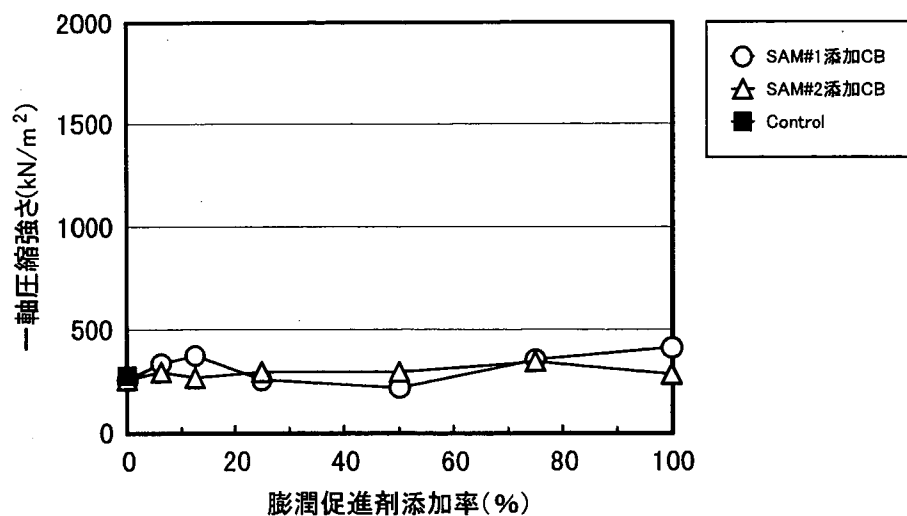


(b) 1時間後

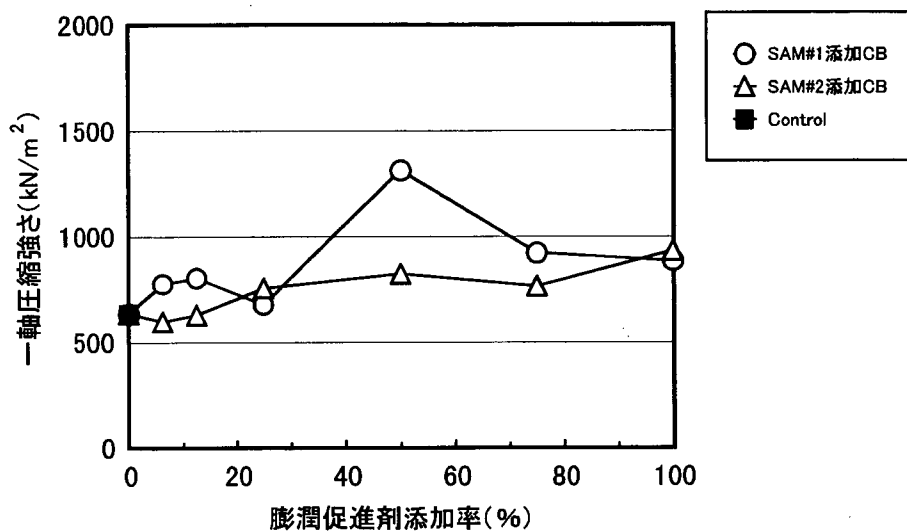


(c) 3時間後

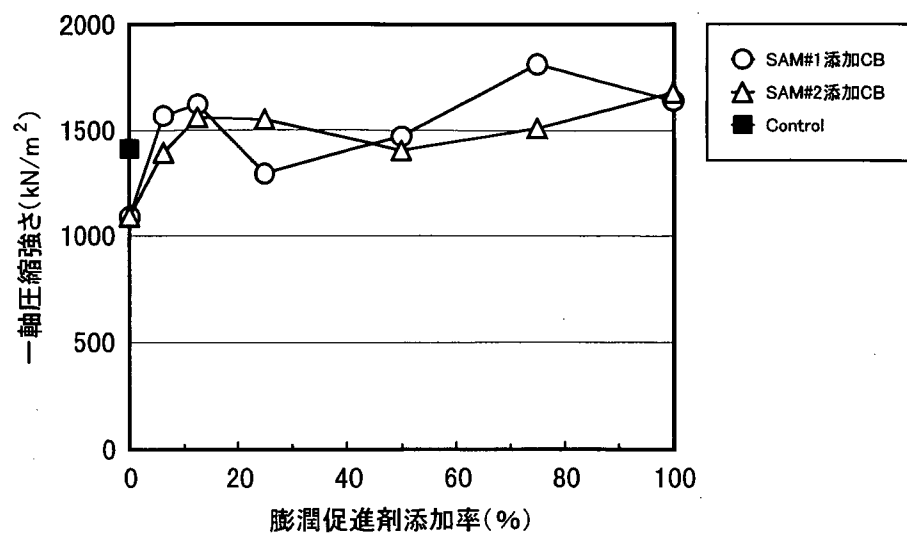
図-5.9 膨潤促進剤の種類によるCBグラウトの粘度(Bt/C=5%)



(a) 材令3日



(b) 材令7日



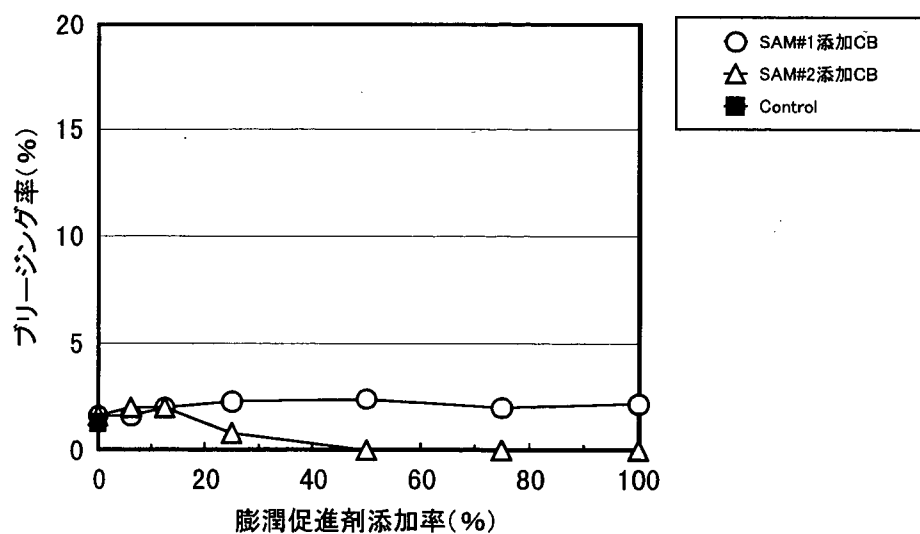
(c) 材令28日

図-5.10 膨潤促進剤の種類によるCBグラウトの一軸圧縮強さ(Bt/C=5%)

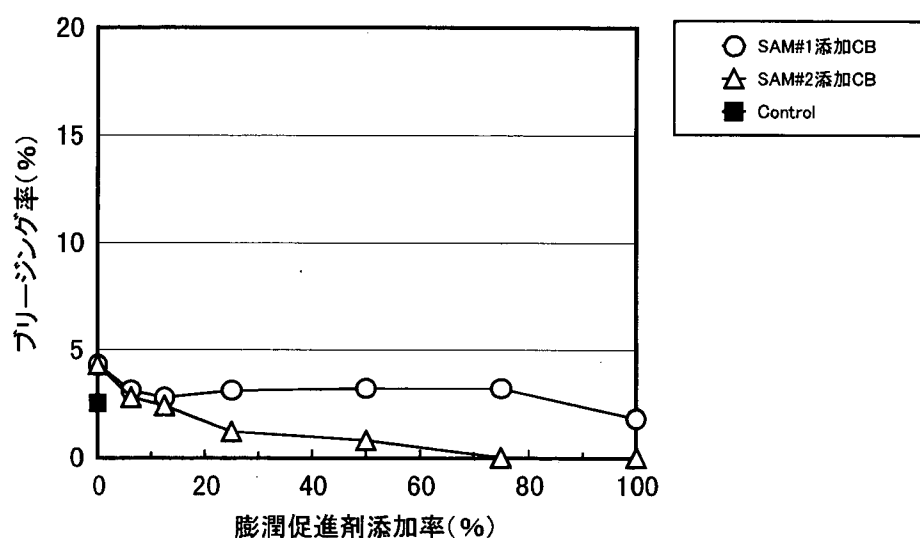
表-5.8 膨潤促進剤の種類によるCBグラウトの物性(Bt:As, W/(Bt+C)=200%, Bt/C=10%)

			SAM添加率(%)							
			0	6.25	12.5	25	50	75	100	Control
ブリージング率 (%)	1時間後	SAM#1添加CB	1.6	1.6	2.0	2.3	2.4	2.0	2.2	1.3
		SAM#2添加CB	1.6	2.0	2.0	0.8	0.0	0.0	0.0	1.3
	3時間後	SAM#1添加CB	4.3	3.1	2.8	3.1	3.2	3.2	1.8	2.5
		SAM#2添加CB	4.3	2.8	2.4	1.2	0.8	0.0	0.0	2.5
	24時間後	SAM#1添加CB	3.6	4.3	2.8	1.2	4.0	4.0	0.0	3.4
		SAM#2添加CB	3.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.4
ファンネル粘度 (sec)	作製直後	SAM#1添加CB	28.4	27.0	27.5	27.3	26.8	26.4	-	-
		SAM#2添加CB	28.4	28.8	30.1	31.3	33.9	36.7	-	-
	1時間後	SAM#1添加CB	-	-	-	-	-	34.1	-	-
		SAM#2添加CB	-	-	-	-	-	-	-	-
	2時間後	SAM#1添加CB	-	-	-	-	-	-	-	-
		SAM#2添加CB	-	-	-	-	-	-	-	-
	3時間後	SAM#1添加CB	-	-	-	-	-	-	-	-
		SAM#2添加CB	-	-	-	-	-	-	-	-
粘度 ローター回転数:6rpm (mPa・s)	作製直後	SAM#1添加CB	2425.0	2350.0	2275.0	1725.0	1650.0	1825.0	3575.0	2625.0
		SAM#2添加CB	2425.0	2475.0	2825.0	2600.0	3025.0	3425.0	4075.0	2625.0
	1時間後	SAM#1添加CB	1550.0	4100.0	2575.0	3175.0	2925.0	1900.0	3500.0	15100.0
		SAM#2添加CB	1550.0	4550.0	11600.0	12200.0	12000.0	14400.0	55000.0	15100.0
	2時間後	SAM#1添加CB	3575.0	12900.0	12000.0	4925.0	11400.0	2925.0	10700.0	51500.0
		SAM#2添加CB	3575.0	13000.0	14400.0	12500.0	38500.0	35000.0	-	51500.0
	3時間後	SAM#1添加CB	2600.0	12000.0	10700.0	12700.0	12100.0	2475.0	14300.0	44000.0
		SAM#2添加CB	2600.0	16200.0	31500.0	13100.0	60500.0	50000.0	-	44000.0
粘度 ローター回転数:60rpm (mPa・s)	作製直後	SAM#1添加CB	740.0	452.5	432.5	382.5	360.0	360.0	640.0	1330.0
		SAM#2添加CB	740.0	570.0	590.0	495.0	660.0	610.0	940.0	1330.0
	1時間後	SAM#1添加CB	970.0	980.0	960.0	700.0	700.0	415.0	990.0	1350.0
		SAM#2添加CB	970.0	980.0	1240.0	1380.0	1380.0	1110.0	2200.0	1350.0
	2時間後	SAM#1添加CB	1340.0	1170.0	1090.0	940.0	1120.0	690.0	1090.0	2000.0
		SAM#2添加CB	1340.0	1410.0	1520.0	1520.0	1700.0	1820.0	-	2000.0
	3時間後	SAM#1添加CB	1450.0	1180.0	1060.0	1070.0	1110.0	620.0	1310.0	1200.0
		SAM#2添加CB	1450.0	1450.0	1890.0	1490.0	1630.0	1800.0	-	1200.0
一軸圧縮強さ (kN/m ²)	材令3日	SAM#1添加CB	343	422	402	402	363	363	245	382
		SAM#2添加CB	343	392	402	412	294	255	255	382
	材令7日	SAM#1添加CB	785	892	932	951	892	922	735	765
		SAM#2添加CB	785	883	853	961	794	755	735	765
	材令28日	SAM#1添加CB	1873	2118	2020	1834	1922	1814	1540	1697
		SAM#2添加CB	1873	2040	1971	2001	1736	1628	1755	1697
湿潤密度 (g/cm ³)	材令3日	SAM#1添加CB								
		SAM#2添加CB								
	材令7日	SAM#1添加CB								
		SAM#2添加CB								
	材令28日	SAM#1添加CB								
		SAM#2添加CB								

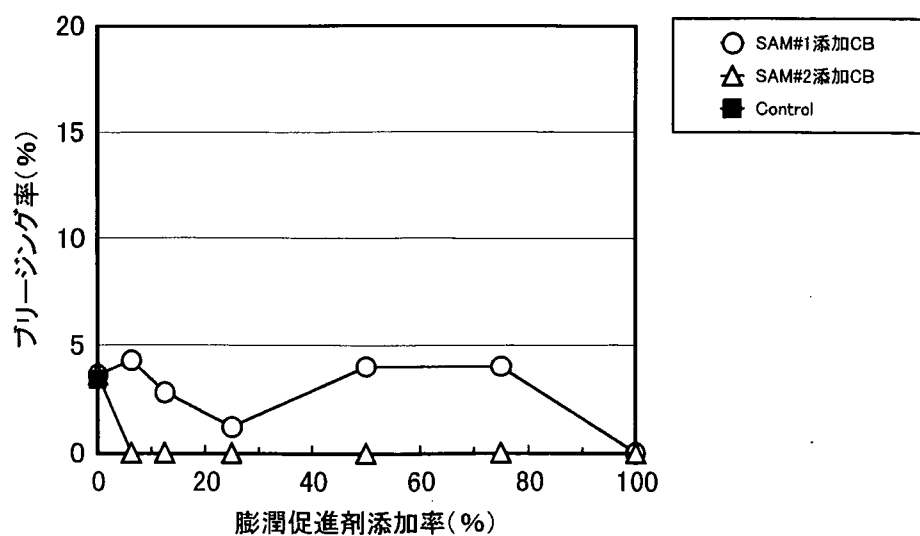
注) 空欄は試験を実施していないことを示し、測定値の「-」は測定限界を示す。



(a) 1時間後

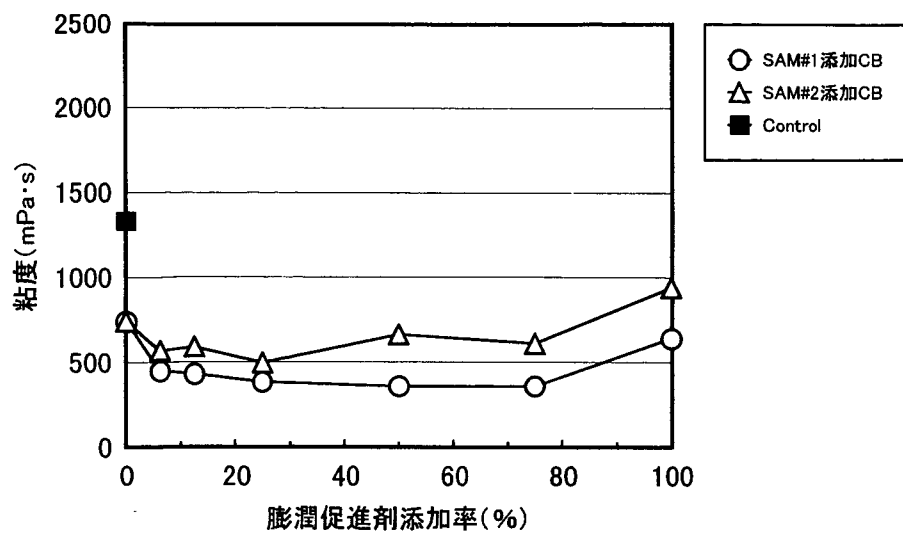


(b) 3時間後

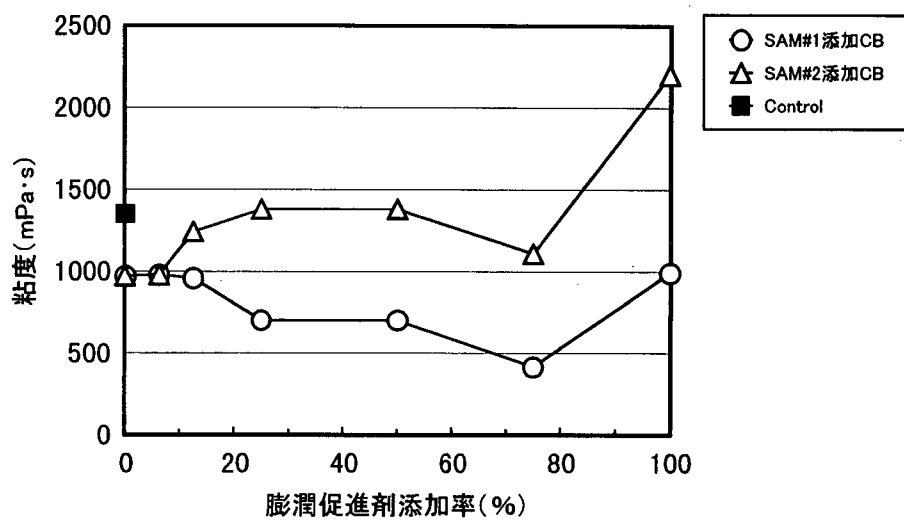


(c) 24時間後

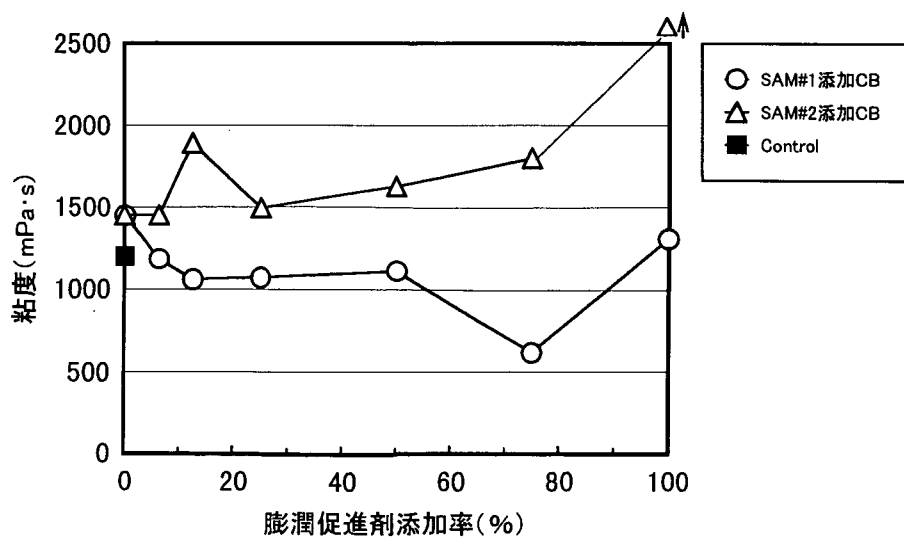
図-5.11 膨潤促進剤の種類によるCBグラウトのブリージング率(Bt/C=10%)



(a) 試料作製直後

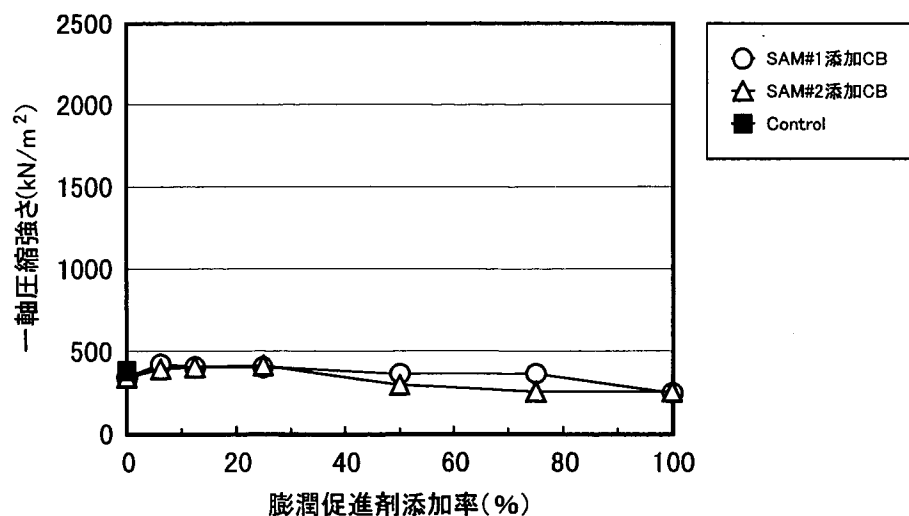


(b) 1時間後

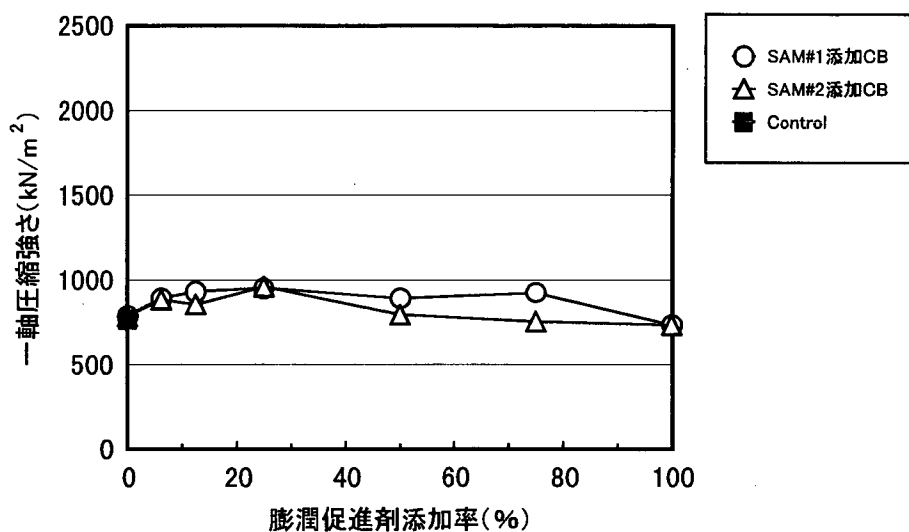


(c) 3時間後

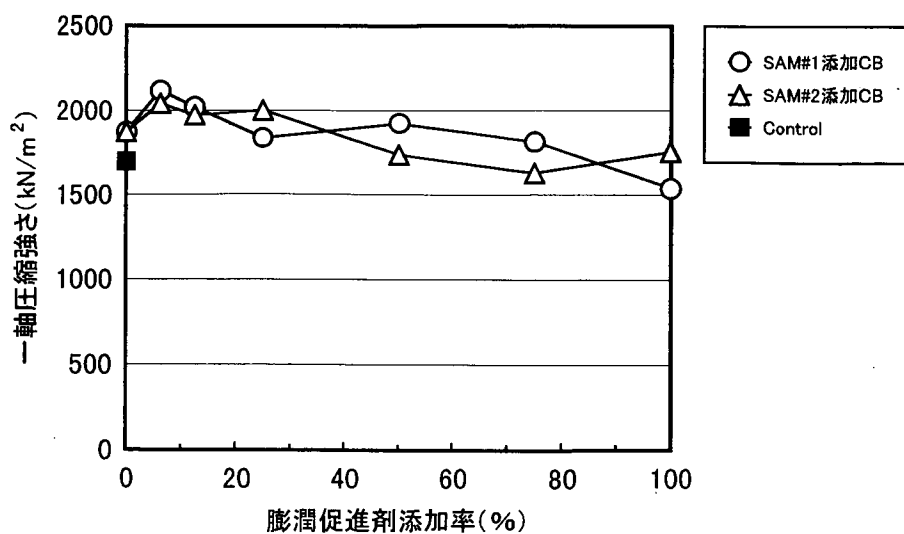
図-5.12 膨潤促進剤の種類によるCBグラウトの粘度(Bt/C=10%)



(a) 材令3日



(b) 材令7日



(c) 材令28日

図-5.13 膨潤促進剤の種類によるCBグラウトの一軸圧縮強さ(Bt/C=10%)

5.3.2 ベントナイトの添加率による比較

ベントナイトの添加率による SAM の添加効果を検証するため、ケース 20 およびケース 22 の結果を整理した。これらの実験は、SAM#2 を用い、ベントナイトの種類 (As) と水比 ($W/(Bt+C)$) 200%を変化させず、ベントナイトの添加率 (Bt/C) を 5%および 10%の 2 種類に変化させて実施したものである。なお、比較検討する CB グラウトの物性は、ブリージング率、粘度 (ローターの回転数 60rpm)、一軸圧縮強さの 3 項目とした。

試験結果の一覧を表-5.9 に、各ベントナイト添加率のコントロールを含めた 4 種類の CB グラウトのブリージング率、粘度、一軸圧縮強さの変化をそれぞれ図-5.14~5.16 に示す。

図-5.14 によると、粒子の沈降は、コントロールも含めて $Bt/C=5\%$ の試料が 3 時間後、 $Bt/C=10\%$ 試料が 1 時間後にほぼ完了していることがわかる。粒子の沈降が完全に完了したと考えられる 24 時間後のブリージング率で SAM#2 の添加効果について検証する。 $Bt/C=5\%$ の場合、SAM#2 添加 CB のブリージング率は、SAM の添加率増加に伴い低下し、SAM=25%程度で収束する傾向を示す。このとき、SAM#2 添加 CB のブリージング率は 8%程度、コントロールは 13.0%、SAM=0%は 15.2%である。したがって、SAM#2 を 25%以上添加した CB グラウトの安定性は、ベントナイトを 24 時間事前膨潤させた試料 (コントロール) よりも 5%程度、SAM を添加せずかつベントナイトを事前膨潤しない試料 (SAM=0%) よりも 7%程度改善されたことになる。一方、 $Bt/C=10\%$ の場合、試料のブリージング率は、いずれの試料も 4%以下であり、SAM の添加やベントナイトの事前膨潤の有無による安定性の大きな差はないものとする。これは、ベントナイトの添加量が一般的な添加率である $Bt/C=5\%$ の 2 倍の 10%とかなり多いことに起因していると考えられる。

図-5.15 によると、試料作製直後の粘度は、ベントナイトの添加率に関係なく、SAM#2 添加 CB よりもコントロールの方が高いことがわかる。また試料作製 3 時間後では、 $Bt/C=5\%$ の CB グラウトは、SAM の添加率に関係なくいずれもコントロールよりも低い、 $Bt/C=10\%$ の CB グラウトでは、ベントナイトの添加率に関係なく、いずれもコントロールよりも高くなる。

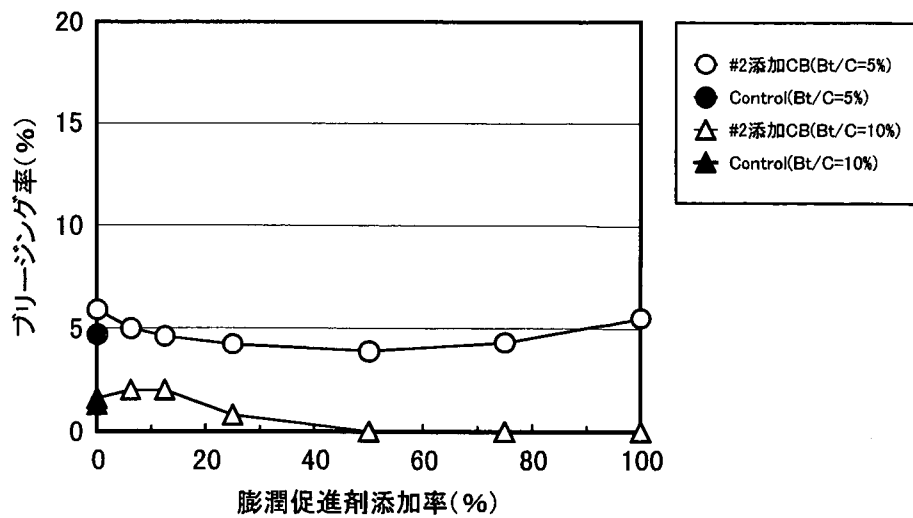
図-5.16 によると、同材令における試料の一軸圧縮強さは、ベントナイトの添加率に関係なく、どの試料も若干ばらつきはあるものの同程度を示す。したがって、CB グラウトの一軸圧縮強さは、今回設定した SAM の添加やベントナイトの事前膨潤の有無に関係なく、同程度であるとする。

以上のことから、SAM#2 添加 CB は、ベントナイトの添加率に関係なく、ブリージング率が低下するが、一軸圧縮強さは同程度を示す。一方、粘度に関しては、ベントナイトの添加率により異なる傾向を示す。また、 $Bt/C=5\%$ の CB グラウトでは、ブリージング率は SAM=25%程度で収束し、粘度と一軸圧縮強さは SAM=25%以上ではあまり変化がないことから、SAM=25%程度が最適値であるものと考えられる。

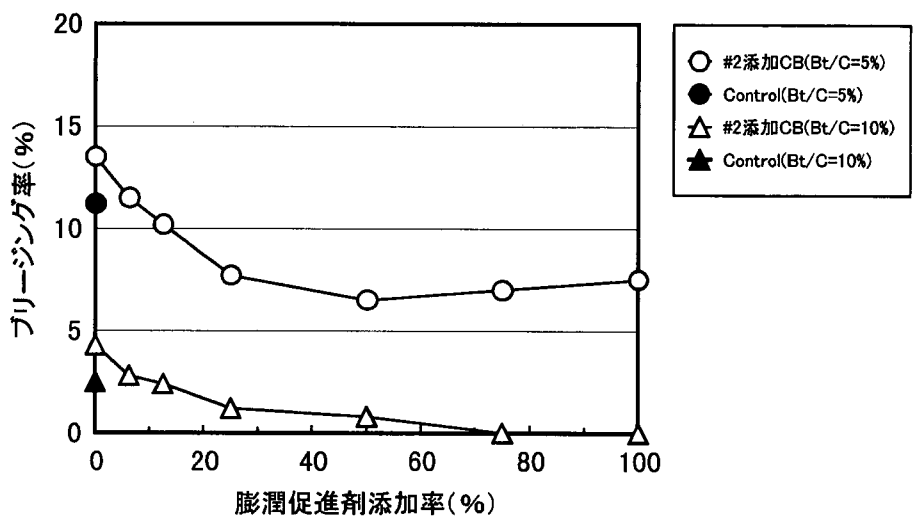
表-5.9 ベントナイトの添加率によるCBグラウトの物性(Bt:As, S:#2, W/(Bt+C)=200%)

			SAM添加率(%)							
			0	6.25	12.5	25	50	75	100	Control
ブリージング率 (%)	1時間後	Bt/C=5%	5.9	5.0	4.6	4.2	3.9	4.3	5.5	4.7
		Bt/C=10%	1.6	2.0	2.0	0.8	0.0	0.0	0.0	1.3
	3時間後	Bt/C=5%	13.5	11.5	10.2	7.7	6.5	7.0	7.5	11.2
		Bt/C=10%	4.3	2.8	2.4	1.2	0.8	0.0	0.0	2.5
	24時間後	Bt/C=5%	15.2	12.7	10.4	8.8	7.3	7.0	8.3	13.0
		Bt/C=10%	3.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.4
ファンネル粘度 (sec)	作製直後	Bt/C=5%	22.8	22.3	22.5	22.7	22.9	22.5	22.8	25.1
		Bt/C=10%	28.4	28.8	30.1	31.3	33.9	36.7	-	-
	1時間後	Bt/C=5%	26.4	25.5	24.8	24.5	26.2	25.9	24.8	31.6
		Bt/C=10%	-	-	-	-	-	-	-	-
	2時間後	Bt/C=5%	27.3	24.9	27.0	27.5	25.9	26.6	26.7	36.4
		Bt/C=10%	-	-	-	-	-	-	-	-
	3時間後	Bt/C=5%	26.3	25.4	26.4	27.1	26.7	27.7	26.1	-
		Bt/C=10%	-	-	-	-	-	-	-	-
粘度 ローター回転数:6rpm (mPa・s)	作製直後	Bt/C=5%	900.0	1400.0	1400.0	1325.0	1425.0	975.0	1175.0	595.0
		Bt/C=10%	2425.0	2475.0	2825.0	2600.0	3025.0	3425.0	4075.0	2625.0
	1時間後	Bt/C=5%	725.0	1250.0	2475.0	2475.0	1875.0	2275.0	1425.0	2200.0
		Bt/C=10%	1550.0	4550.0	11600.0	12200.0	12000.0	14400.0	55000.0	15100.0
	2時間後	Bt/C=5%	1175.0	1600.0	1800.0	3000.0	2175.0	2625.0	1775.0	2950.0
		Bt/C=10%	3575.0	13000.0	14400.0	12500.0	38500.0	35000.0	-	51500.0
	3時間後	Bt/C=5%	1200.0	1725.0	1325.0	2350.0	2375.0	2625.0	1200.0	1500.0
		Bt/C=10%	2600.0	16200.0	31500.0	13100.0	60500.0	50000.0	-	44000.0
粘度 ローター回転数:60rpm (mPa・s)	作製直後	Bt/C=5%	295.0	233.0	183.0	193.0	190.0	175.0	178.0	433.0
		Bt/C=10%	740.0	570.0	590.0	495.0	660.0	610.0	940.0	1330.0
	1時間後	Bt/C=5%	450.0	353.0	350.0	360.0	328.0	323.0	293.0	520.0
		Bt/C=10%	970.0	980.0	1240.0	1380.0	1380.0	1110.0	2200.0	1350.0
	2時間後	Bt/C=5%	440.0	463.0	500.0	393.0	368.0	353.0	373.0	590.0
		Bt/C=10%	1340.0	1410.0	1520.0	1520.0	1700.0	1820.0	-	2000.0
	3時間後	Bt/C=5%	500.0	490.0	420.0	375.0	403.0	393.0	428.0	620.0
		Bt/C=10%	1450.0	1450.0	1890.0	1490.0	1630.0	1800.0	-	1200.0
一軸圧縮強さ (kN/m ²)	材令3日	Bt/C=5%	255	294	265	294	294	343	284	275
		Bt/C=10%	343	392	402	412	294	255	255	382
	材令7日	Bt/C=5%	637	598	628	755	824	765	932	637
		Bt/C=10%	785	883	853	961	794	755	735	765
	材令28日	Bt/C=5%	1089	1393	1559	1549	1402	1510	1677	1412
		Bt/C=10%	1873	2040	1971	2001	1736	1628	1755	1697
湿潤密度 (g/cm ³)	材令3日	Bt/C=5%								1.382
		Bt/C=10%								
	材令7日	Bt/C=5%								1.379
		Bt/C=10%								
	材令28日	Bt/C=5%	1.384	1.372	1.355	1.346	1.353	1.348	1.349	1.377
		Bt/C=10%								

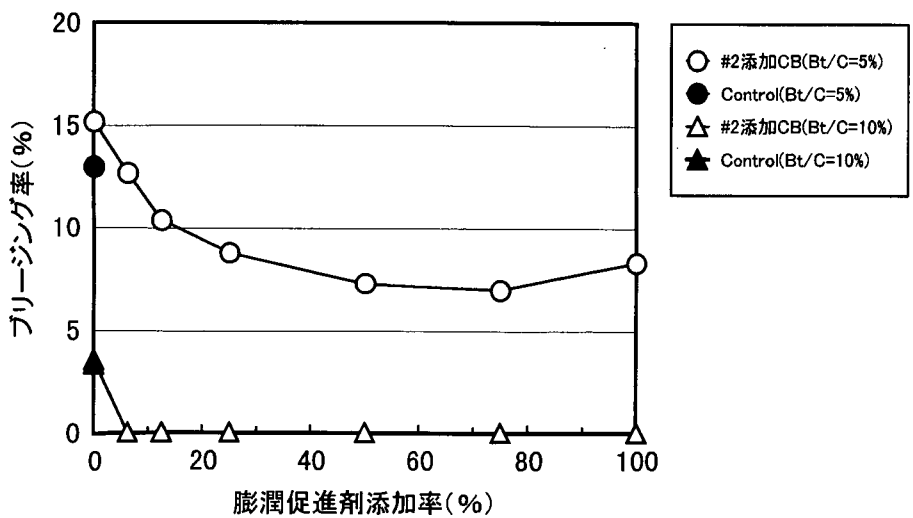
注) 空欄は試験を実施していないことを示し、測定値の「-」は測定限界を示す。



(a) 1時間後

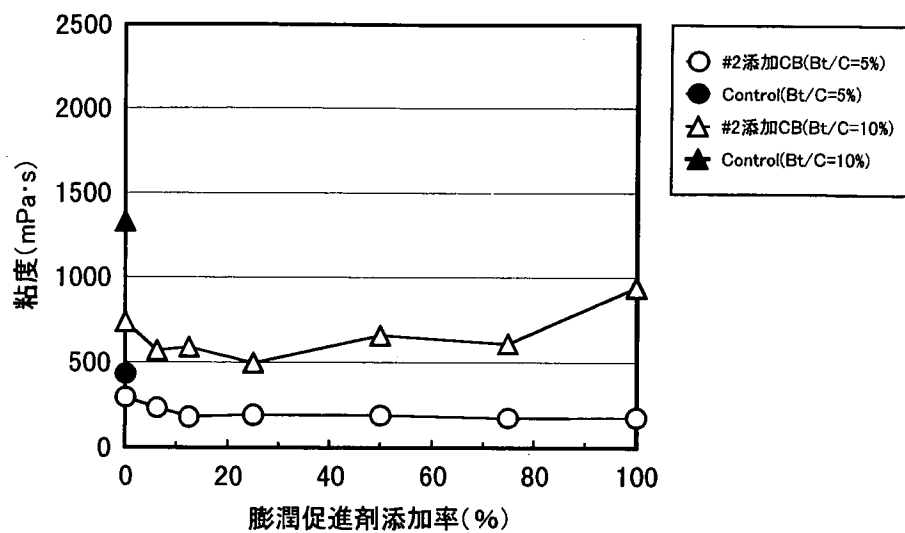


(b) 3時間後

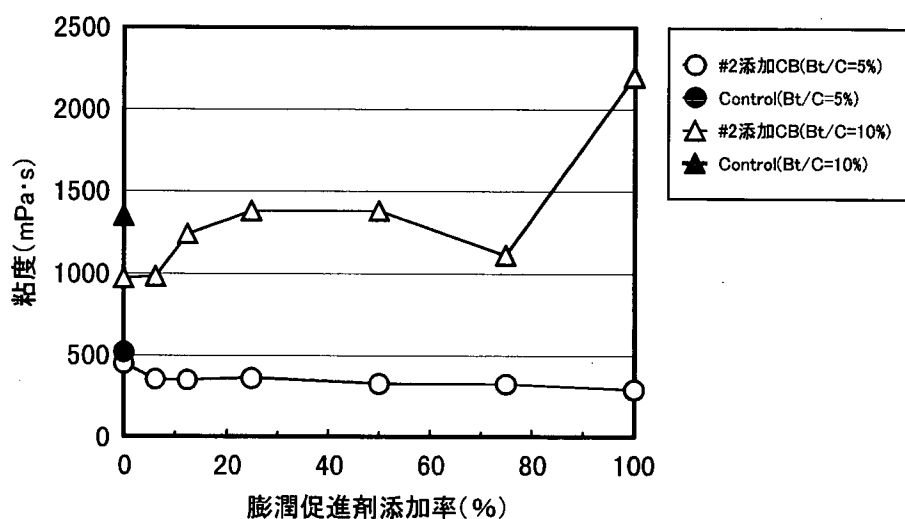


(c) 24時間後

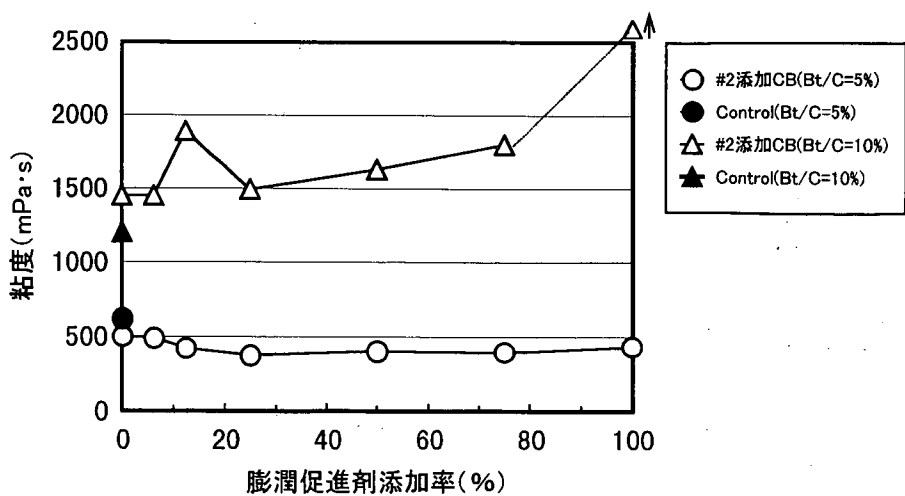
図-5.14 ベントナイトの添加率によるCBグラウトのブリージング率



(a) 試料作製直後

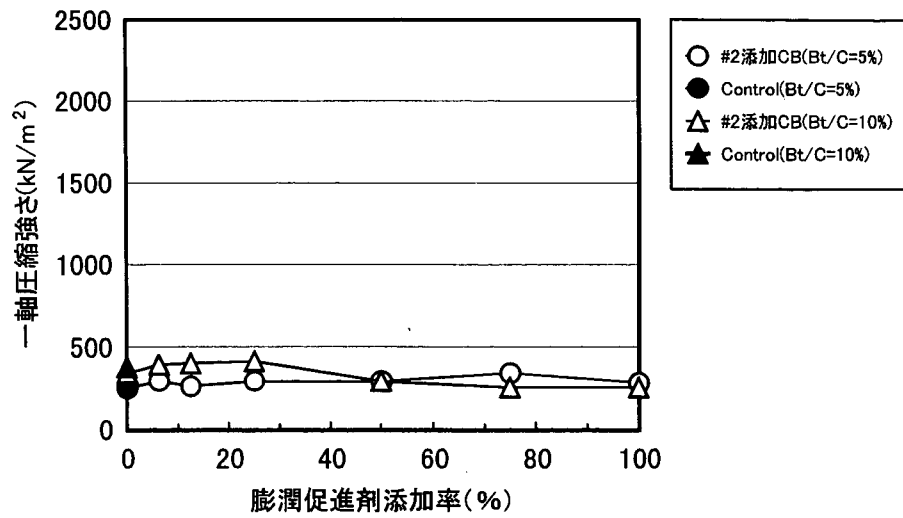


(b) 1時間後

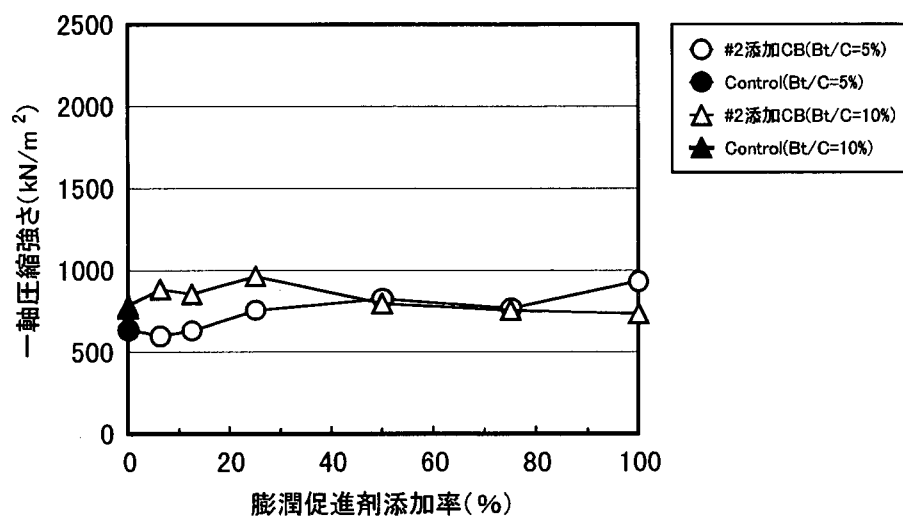


(c) 3時間後

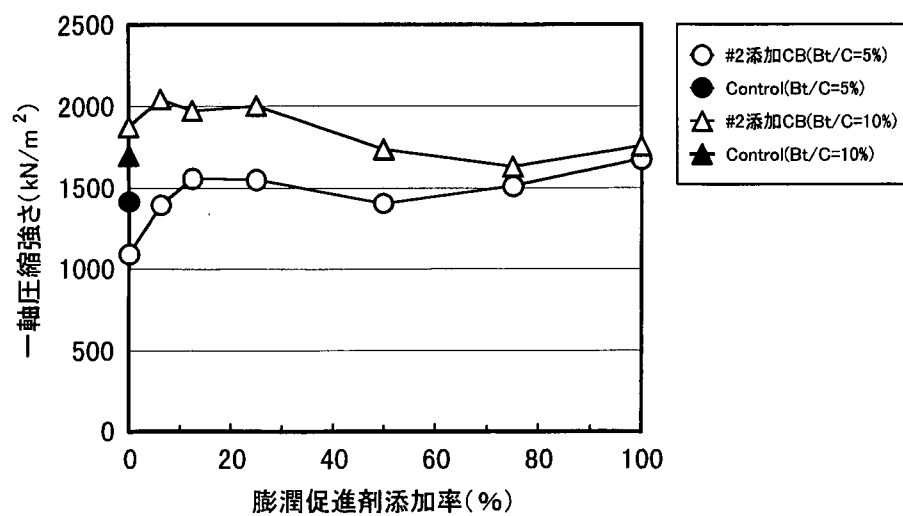
図-5.15 ベントナイトの添加率によるCBグラウトの粘度



(a) 材令3日



(b) 材令7日



(c) 材令28日

図-5.16 ベントナイトの添加率によるCBグラウトの一軸圧縮強さ

5.3.3 ベントナイトの種類による比較

市販されているベントナイトは、一般的にメッシュ番号（呼称粒度）で分類されることが多い。ベントナイトの原材料が同じであれば、メッシュ番号が大きいベントナイトほど細粒分含有率が高くなり、その結果ベントナイトの膨潤度合いは高くなる傾向がある。しかし、ベントナイトの膨潤度合いは、これ以外にも鉱物組成や含有イオン量などで変化するので、メッシュ番号が等しくてもベントナイトの膨潤度合いが等しいとは限らない。したがって、ベントナイトの種類による比較を定量的に行うためには、ベントナイトの膨潤度合いを指標に用いるのが妥当であると考えられる。ベントナイトの膨潤度合いを表す物性としては、液性限界および膨潤力^リなどが挙げられる。表-5.10 にベントナイトの物性を、図-5.17 に本試験で使用したベントナイトの液性限界と膨潤力の関係を示す。図のように、液性限界と膨潤力には高い正の相関性が認められる。したがって、両指標を用いても同様な検討内容になると考え、ここでは以下のベントナイトの種類による比較は、ベントナイトの膨潤力を指標に行うことにする。

ベントナイトの膨潤力の違いによる膨潤促進剤の効果を検証するため、実験ケース 20、28、29、30、31、32、33 の試験結果を整理した。これらの実験は、それぞれベントナイトの種類を変化させ、水比を $W/(Bt+C)=200\%$ 、ベントナイトの添加率を $Bt/C=5\%$ とし、SAM#2 を用いて実施したものである。なお、これらの結果を整理するにあたり、SAM#2 の添加率としては、0%と 4 章で示した全試験結果からほぼ SAM#2 の最適添加率と考えられる SAM=25%の結果を採用した。また、参考値としてベントナイトを添加しないセメントグラウトの値（実験ケース 36）を含めた。比較検討する試験結果の項目は、ブリージング率、粘度（ローターの回転数 60rpm）、一軸圧縮強さの 3 種類とした。試験結果の一覧を表-5.11 に、各 CB グラウトのブリージング率、粘度、一軸圧縮強さの変化をそれぞれ図-5.18～5.20 に示す。

図-5.18 によると、粒子の沈降は、いずれの試料も 3 時間後にほぼ完了していることがわかる。粒子の沈降が完了したと考えられる 24 時間後のブリージング率をみると、SAM=25%の SAM#2 添加 CB のブリージング率は、ベントナイトの膨潤力に関係なく、SAM=0%の試料やコントロールよりも小さくなる。その差は、ベントナイトの膨潤力が小さい（大きい）ほど大きく（小さく）なる。したがって、膨潤力の小さいベントナイトを用いた CB グラウトほど、膨潤促進剤による安定性の改善効果が高くなる傾向がうかがわれる。

図-5.19 によると、SAM=25%の試料作製直後の粘度をコントロールと比較すると、ベントナイトの膨潤力が 4ml/2g（ベントナイト G）および 8ml/2g（ベントナイト K）の場合では SAM=25%の方が 8～27mPa・s 程度高いが、ベントナイトの膨潤力が 8～23ml/2g（ベントナイト Hr、Ak、Ht、As、Sc）の場合ではコントロールの方が 108～240mPa・s 程度高くなる。同様に、SAM=25%の試料と SAM=0%の試料を作製直後の粘度で比較すると、ベントナイトの膨潤力が 4ml/2g（ベントナイト G）および 8ml/2g（ベントナイト K）の場合では SAM=25%の方が 1～34mPa・s 程度高いが、ベントナイトの膨潤力が 8～23ml/2g（ベントナイト Hr、Ak、Ht、As、Sc）の場合では SAM=0%のほうが 80～380mPa・s 程度高くなる。このように、SAM=25%の試料の粘度は、ベントナイトを

24 時間事前膨潤させた試料（コントロール）およびベントナイトを事前膨潤せず SAM も添加しない試料（SAM=0%）に比べ、ベントナイトの膨潤力が小さい場合には高く、ベントナイトの膨潤力が大きい場合には低くなる傾向がうかがわれる。

図-5.20 によると、各試料の一軸圧縮強さは、材令とともに大きくなる。膨潤力の小さいベントナイト（ベントナイト G 及び K）を用いた場合、SAM=0%とコントロールの一軸圧縮強さは、セメントグラウトの一軸圧縮強さとあまり差がないが、SAM=25%ではそれらよりもかなり小さな値を示す。一方、膨潤力の大きいベントナイト（ベントナイト Hr,Ak,Ht,As,Sc）を用いた場合、いずれもほぼ同程度の値を示す。また、SAM=25%だけで見ると、ベントナイトの膨潤力の増加に伴い、若干減少する傾向がある。これは、図-5.18 に示す膨潤力とブリージング率の関係と対応している。

以上のように、膨潤力が小さい場合は、ブリージング率と一軸圧縮強さにおいて、SAM=25%の物性値は SAM=0%とコントロールとは大きく異なる傾向を示す。一方、膨潤力が大きい場合、ブリージング率は SAM=25%が若干低く、一軸圧縮強さは SAM=0%やコントロールと同程度を示す。これは、膨潤力が小さい場合のコントロールの物性値がセメントグラウトと大差ないことから考えると、膨潤力が小さい場合は事前膨潤の効果はあまりなく SAM の効果はかなり高いが、膨潤力が大きくなるにつれて事前膨潤と SAM の効果の差が小さくなるためと考えられる。

表-5.10 ベントナイトの物性

銘柄	記号	メッシュ番号 (呼称粒度)	膨潤力 (ml/2g)	液性限界 (%)	塑性限界 (%)	粒度分布 (%、通過質量百分率)		
						5 μ m	2 μ m	1 μ m
スーパークレイ	Sc	250	23	576.0	61.0	89.5	82.9	79.6
浅間印	As	300	22	481.0	55.0	84.7	73.6	66.5
穂高印	Ht	300	16	343.0	49.3	74.5	64.9	53.2
赤城印	Ak	250	13	292.0	49.3	66.4	58.0	46.4
榛名印	Hr	200	8	241.0	36.9	48.4	43.0	35.5
K	K	※	8	142.6	35.2	53.3	39.7	30.3
G	G	※	4	72.1	32.7	48.0	33.5	25.7

※ 試作品のため規格を設定していない

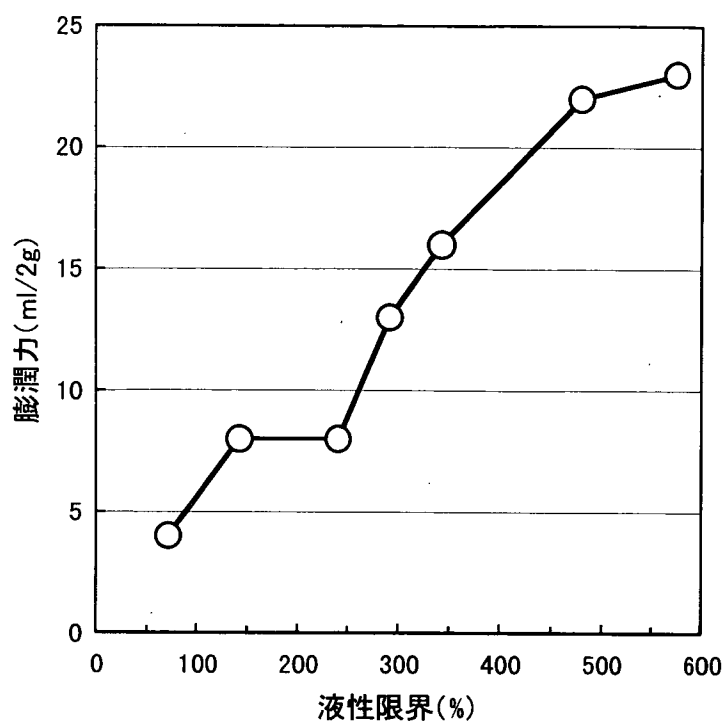
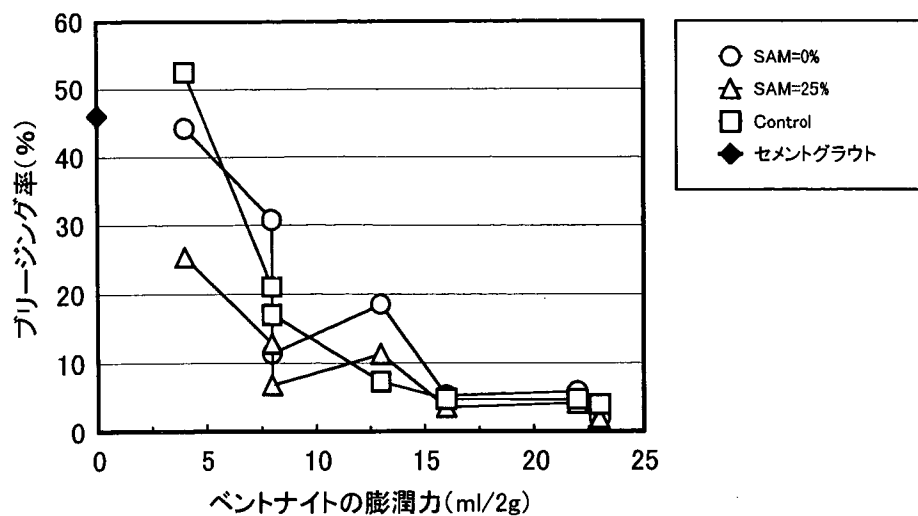


図-5.17 ベントナイトの液性限界と膨潤力の関係

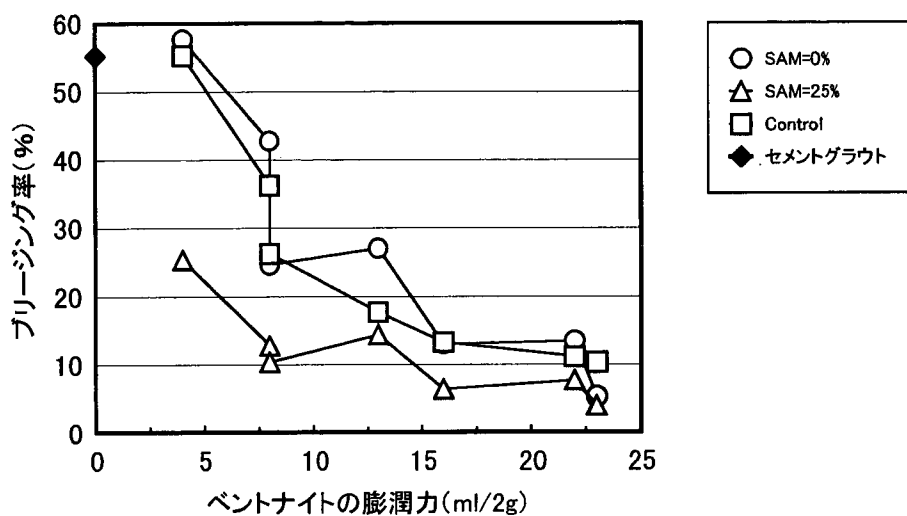
表-5.11 ベントナイトの膨潤力によるCBグラウトの物性(Bt/C=5%, S#2, W/(Bt+C)=200%)

			ベントナイトの膨潤力 (ml/2g)							セメントグラウト
			4	8	8	13	16	22	23	
ブリージング率 (%)	1時間後	SAM=0%	44.3	30.8	11.4	18.5	5.3	5.9	2.1	46.0
		SAM=25%	25.4	12.8	6.8	11.3	3.6	4.2	2.0	
		Control	52.5	21.0	17.0	7.3	4.8	4.7	4.0	
	3時間後	SAM=0%	57.6	42.7	24.7	27.0	13.0	13.5	5.4	55.2
		SAM=25%	25.4	12.8	10.4	14.4	6.4	7.7	4.0	
		Control	55.3	36.2	26.3	17.7	13.3	11.2	10.4	
	24時間後	SAM=0%	57.6	42.7	25.5	27.4	14.6	15.2	7.9	55.2
		SAM=25%	25.4	12.8	10.8	14.8	7.2	8.8	5.2	
		Control	55.3	36.2	25.9	20.4	14.5	13.0	12.7	
ファンネル粘度 (sec)	作製直後	SAM=0%	19.8	20.9	23.4	22.4	22.5	22.8	29.9	19.7
		SAM=25%	20.1	20.7	22.0	21.1	22.6	22.7	25.7	
		Control	19.8	21.5	23.7	23.3	27.3	25.1	28.0	
	1時間後	SAM=0%	19.9	20.9	25.6	22.8	25.1	26.4	-	19.9
		SAM=25%	21.2	23.1	26.4	22.7	28.3	24.5	-	
		Control	19.9	22.1	24.2	24.8	35.4	31.6	33.4	
	2時間後	SAM=0%	19.9	21.0	25.0	22.3	30.1	27.3	-	19.9
		SAM=25%	20.8	22.4	26.5	23.9	34.8	27.5	-	
		Control	19.9	22.4	26.7	26.8	40.8	36.4	-	
	3時間後	SAM=0%	19.9	20.9	25.4	22.2	33.1	26.3	-	19.8
		SAM=25%	20.8	21.9	25.7	24.7	35.7	27.1	-	
		Control	19.9	22.4	25.6	28.8	39.0	-	-	
粘度 ローター回転数:60rpm (mPa・s)	作製直後	SAM=0%	30.0	495.0	680.0	515.0	555.0	900.0	825.0	45.0
		SAM=25%	305.0	560.0	875.0	725.0	1250.0	1325.0	2050.0	
		Control	80.0	520.0	360.0	545.0	695.0	595.0	1825.0	
	1時間後	SAM=0%	35.0	605.0	625.0	570.0	1450.0	725.0	2550.0	50.0
		SAM=25%	485.0	665.0	2275.0	1275.0	1975.0	2475.0	3250.0	
		Control	80.0	525.0	640.0	905.0	2250.0	2200.0	950.0	
	2時間後	SAM=0%	30.0	645.0	775.0	800.0	1800.0	1175.0	3775.0	45.0
		SAM=25%	315.0	650.0	1900.0	1775.0	4200.0	3000.0	5000.0	
		Control	70.0	640.0	1250.0	900.0	4000.0	2950.0	1575.0	
	3時間後	SAM=0%	35.0	635.0	725.0	1350.0	3525.0	1200.0	2750.0	45.0
		SAM=25%	230.0	620.0	2125.0	2300.0	3250.0	2350.0	13700.0	
		Control	70.0	825.0	900.0	2925.0	2550.0	1500.0	3400.0	
粘度 ローター回転数:60rpm (mPa・s)	作製直後	SAM=0%	12.5	87.0	242.5	255.0	450.0	295.0	760.0	14.5
		SAM=25%	46.0	87.5	162.5	152.5	322.5	193.0	387.5	
		Control	19.0	80.0	302.5	322.5	472.5	433.0	495.0	
	1時間後	SAM=0%	13.0	100.0	355.0	325.0	500.0	450.0	1030.0	16.0
		SAM=25%	63.0	105.0	310.0	225.0	460.0	360.0	800.0	
		Control	18.5	97.5	332.5	452.5	490.0	520.0	710.0	
	2時間後	SAM=0%	13.0	100.0	320.0	452.5	510.0	440.0	1180.0	15.0
		SAM=25%	43.5	91.0	345.0	272.5	510.0	393.0	960.0	
		Control	19.0	102.5	492.5	500.0	530.0	590.0	860.0	
	3時間後	SAM=0%	12.5	94.5	300.0	427.5	690.0	500.0	1210.0	14.5
		SAM=25%	37.0	84.5	337.5	275.0	570.0	375.0	1590.0	
		Control	18.5	140.0	490.0	490.0	730.0	620.0	970.0	
一軸圧縮強さ (kN/m ²)	材令3日	SAM=0%	2599	2001	608	569	441	255	431	1922
		SAM=25%	726	530	343	530	363	294	294	
		Control	3109	1863	628	618	402	275	363	
	材令7日	SAM=0%	5619	4619	1245	1167	951	637	971	4952
		SAM=25%	2040	1236	941	1216	883	755	824	
		Control	5727	4089	1334	1412	951	637	941	
	材令28日	SAM=0%	10552	8130	2442	2285	1687	1089	1667	10885
		SAM=25%	3442	2079	1461	1893	1559	1549	1461	
		Control	10219	6865	2334	2314	1667	1412	1638	
湿潤密度 (g/cm ³)	材令3日	SAM=0%	1.728	1.553	1.428	1.406	1.370		1.326	1.695
		SAM=25%	1.452	1.365	1.319	1.361	1.301		1.301	
		Control	1.680	1.507	1.444	1.406	1.372	1.382	1.361	
	材令7日	SAM=0%	1.715	1.570	1.406	1.418	1.362		1.355	1.699
		SAM=25%	1.464	1.378	1.345	1.400	1.320		1.331	
		Control	1.696	1.543	1.434	1.421	1.372	1.379	1.387	
	材令28日	SAM=0%	1.751	1.556	1.432	1.436	1.381	1.384	1.349	1.707
		SAM=25%	1.473	1.388	1.355	1.387	1.307	1.346	1.321	
		Control	1.703	1.549	1.430	1.442	1.403	1.377	1.360	

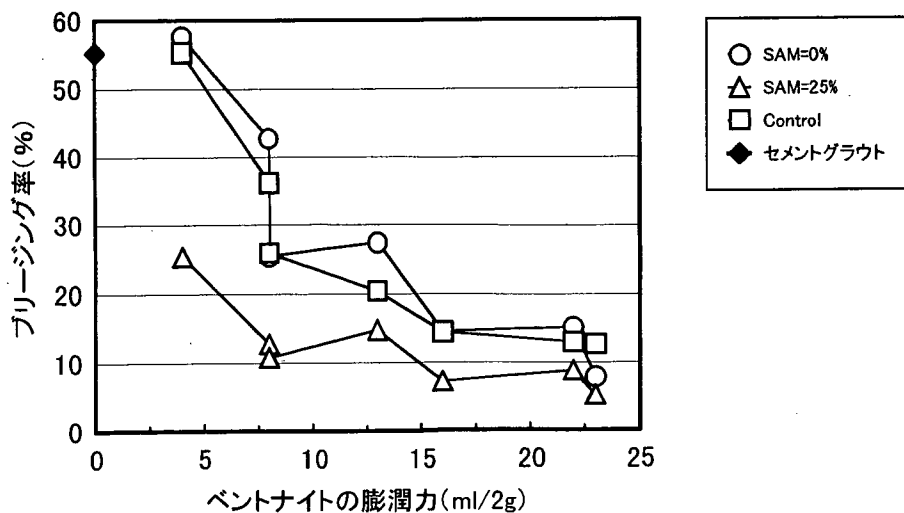
注) 空欄は試験を実施していないことを示し、測定値の「-」は測定限界を示す。



(a) 1時間後

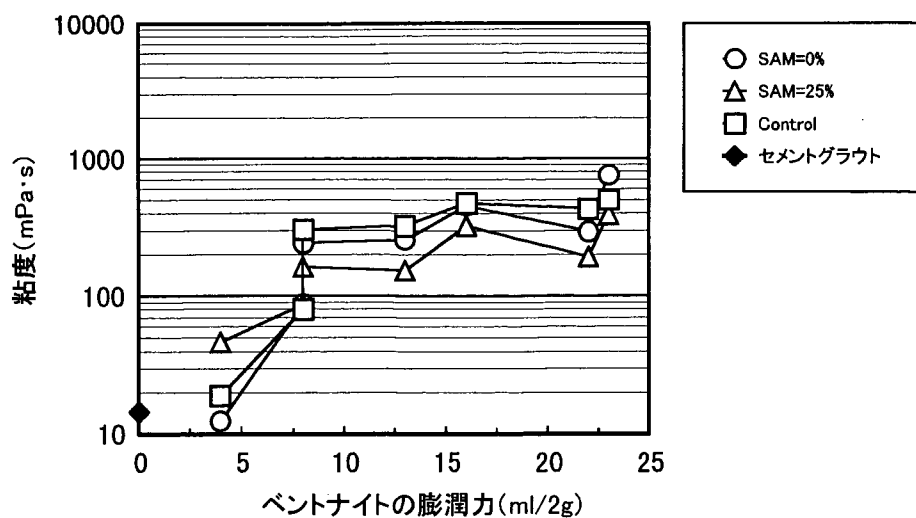


(b) 3時間後

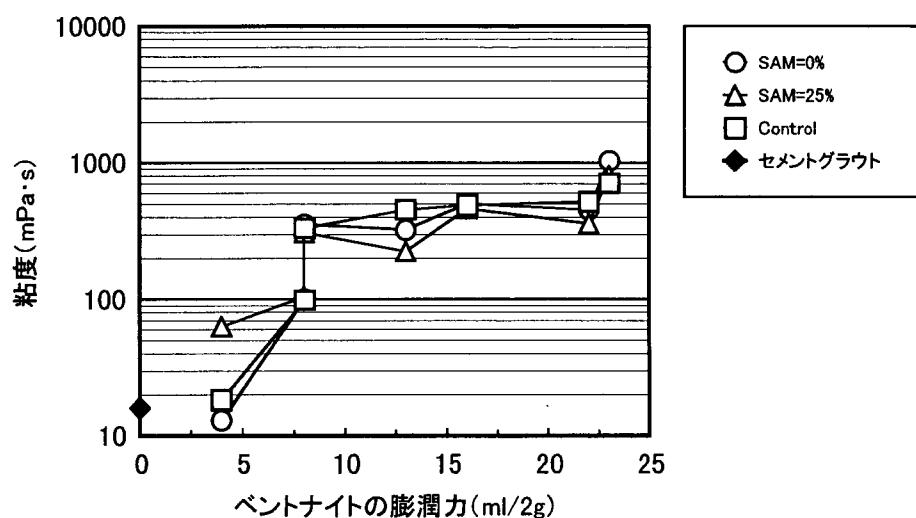


(c) 24時間後

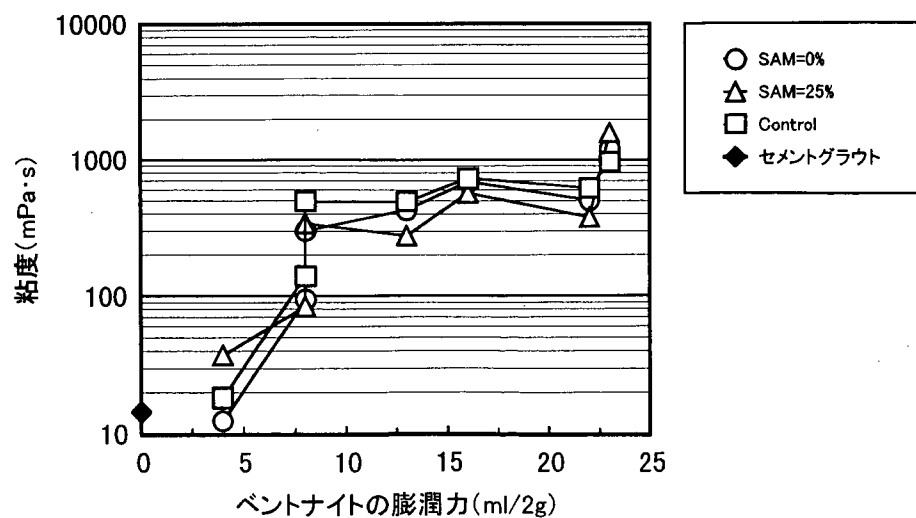
図-5.18 ベントナイトの膨潤力によるCBグラウトのブリージング率



(a) 試料作製直後

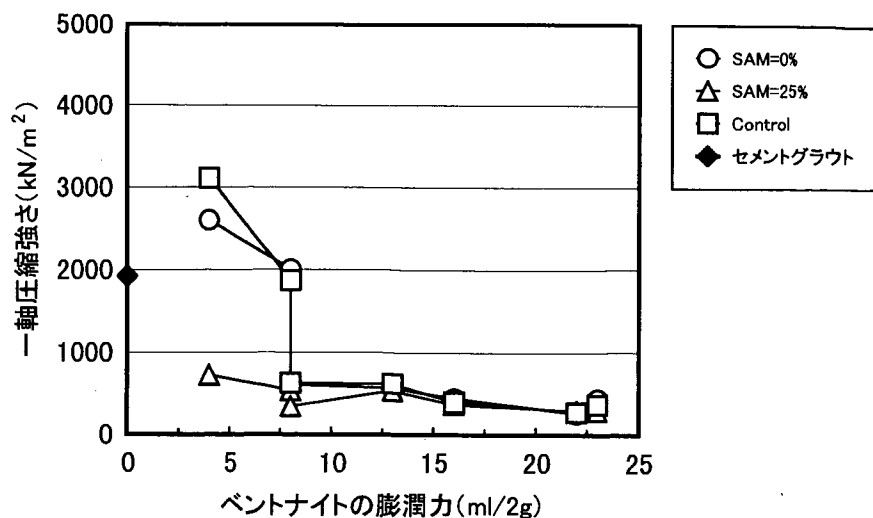


(b) 1時間後

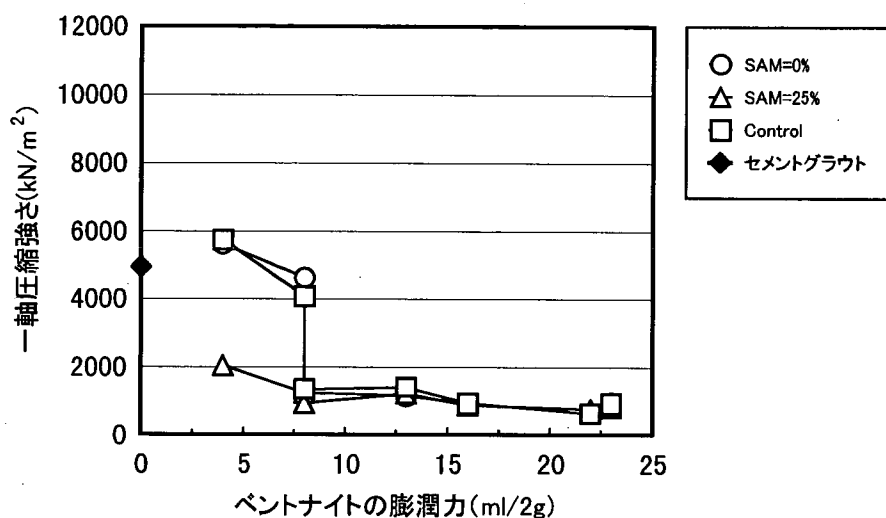


(c) 3時間後

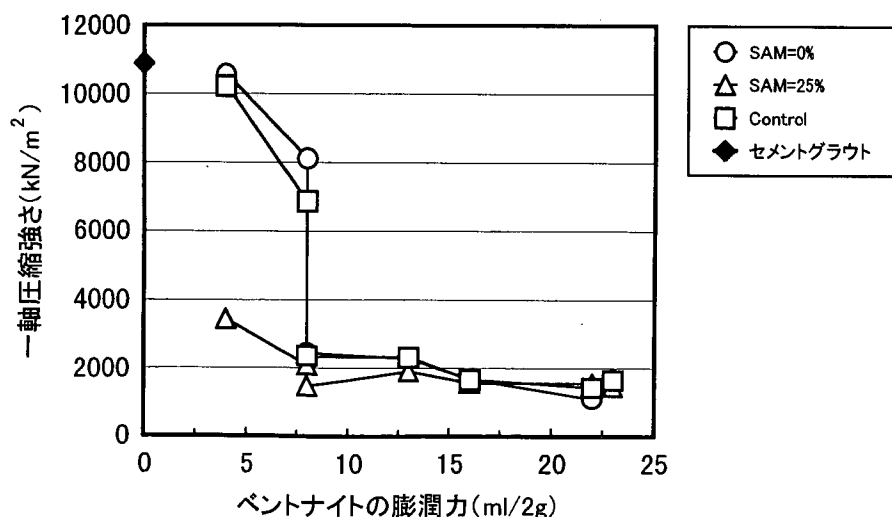
図-5.19 ベントナイトの膨潤力によるCBグラウトの粘度



(a) 材令3日



(b) 材令7日



(c) 材令28日

図-5.20 ベントナイトの膨潤力によるCBグラウトの一軸圧縮強さ

5.3.4 水比による比較

CB グラウトの水比を変化させた場合の膨潤促進剤の効果を検証するため、実験ケース 20、23、24、25、26、27 の試験結果を整理した。これらの実験は、ベントナイト As を 5% (=Bt/C) 添加した CB グラウトの水比をそれぞれ 100、200、400、600、800、1000%に変化させて実施したものである。なお、これらの結果を整理するのにあたり、SAM#2 の添加率は、前項同様 SAM=0%のほかに SAM=25%のものを採用した。比較検討項目は、ブリージング率、粘度（ローターの回転数 60rpm）、一軸圧縮強さの 3 種類とした。試験結果の一覧を表-5.12 に、ベントナイトを 24 時間事前膨潤させたコントロールも含めて各 CB グラウトのブリージング率、粘度、一軸圧縮強さの変化をそれぞれ図-5.21~5.23 に示す。

図-5.21 によると、ブリージング率の経時変化は、水比の大きな試料ほど小さく、粒子の沈降は、水比の大きい試料ほど早くなる傾向がうかがわれる。粒子の沈降が完了したと考えられる 24 時間後のブリージング率をみると、SAM#2 添加 CB のブリージング率は、SAM=25%の場合、水比が 100、200%のときにはコントロールよりも 5%程度小さく、水比が 400%のときには同程度、水比が 600、800、1000%のときにはコントロールよりも 5%程度大きくなる。このように、SAM を添加することによる CB グラウトの安定性改善効果は、水比が大きくなるとともに小さくなる傾向がうかがえる。しかし、SAM=25%試料とコントロールとのブリージング率の差は、いずれの水比においても数パーセントと小さいので、両者の安定性の差はほとんどないものとする。一方、SAM=25%と SAM=0%の試料を 24 時間後のブリージング率で比較すると、いずれの水比においても SAM=25%の方が若干小さくなる。したがって、ベントナイトを事前膨潤せず SAM も添加しない CB グラウトよりも、SAM を添加することによって、CB グラウトの安定性は若干改善されるものとする。

図-5.22 より、SAM=25%の試料作製直後の粘度をコントロールと比較すると、SAM=25%の粘度は、水比に関係なく、コントロールに比べ低くなる。しかし、この差については、ブリージング率の場合と同様、実用上大きな差ではないと考える。一方、SAM=25%の試料と SAM=0%の試料を試料作製直後の粘度で比較すると、水比に関係なく、SAM=25%の方が低くなる。しかし、コントロールと比較した場合と同様、この差は実用上大きな差ではないと考える。

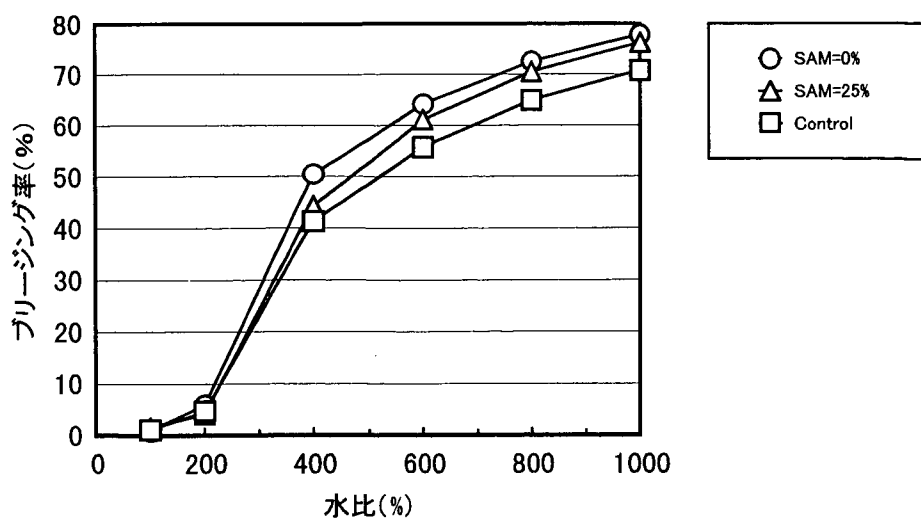
図-5.23 より、各試料の一軸圧縮強さは、材令とともに大きくなる。SAM=25%の試料とコントロールを材令 28 日の一軸圧縮強さで比較すると、SAM=25%の試料の一軸圧縮強さは、いずれの水比においてもコントロールよりも大きくなる傾向がうかがえる。一般的なセメント固化体は、ブリージング率が高い（小さい）試料ほどその密度が大きく（小さく）なり、結果的に一軸圧縮強さも大きく（小さく）なる。しかし、水比が同じであれば、SAM=25%の試料とコントロールのブリージング率は同程度であったので、SAM=25%の試料の一軸圧縮強さがコントロールよりも大きくなったのは、膨潤促進剤の添加により CB グラウトが均質化したことに起因するものと考えられる。

このように、ある程度膨潤力の高いベントナイトを用いた場合、SAM を 25%添加した CB グラウトは、ベントナイトを 24 時間事前膨潤させた CB グラウトに比べると、安定性はほとんど変化しないものの、試料の均一性が高まり一軸圧縮強さが大きくなるものと考えられる。

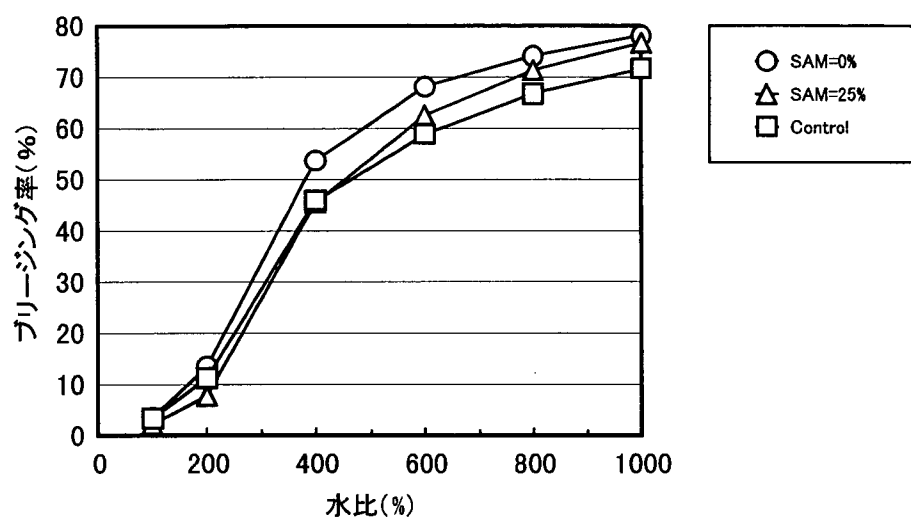
表-5.12 水セメント比によるCBグラウトの物性(Bt:As, S:#2, Bt/C=5%)

			水セメント比 W/C (%)					
			100	200	400	600	800	1000
ブリージング率 (%)	1時間後	SAM=0%	0.9	5.9	50.4	64.2	72.6	77.9
		SAM=25%	1.5	4.2	44.3	61.1	70.5	76.3
		Control	1.1	4.7	41.3	55.8	64.9	70.8
	3時間後	SAM=0%	3.5	13.5	53.8	68.1	74.1	78.2
		SAM=25%	2.2	7.7	45.5	62.6	71.3	76.7
		Control	3.3	11.2	45.9	58.8	66.8	71.6
	24時間後	SAM=0%	4.9	15.2	54.2	68.1	74.1	78.2
		SAM=25%	0.0	8.8	46.3	62.6	71.6	76.7
		Control	4.1	13.0	45.9	59.2	66.8	71.6
ファンネル粘度 (sec)	作製直後	SAM=0%		22.8	19.6	19.5	19.3	19.3
		SAM=25%		22.7	19.9	19.4	19.2	19.0
		Control		25.1	19.8	19.8	19.6	19.4
	1時間後	SAM=0%		26.4	19.6	19.9	19.9	19.4
		SAM=25%		24.5	20.7	19.7	19.4	19.3
		Control		31.6	20.1	20.5	19.9	19.7
	2時間後	SAM=0%		27.3	19.8	20.1	20.1	19.5
		SAM=25%		27.5	20.6	20.1	19.8	19.5
		Control		36.4	20.4	20.8	20.2	19.8
	3時間後	SAM=0%		26.3	19.8	20.2	19.8	19.6
		SAM=25%		27.1	20.8	20.1	19.8	19.5
		Control			19.9	20.8	19.8	19.8
粘度 ローター回転数:6rpm (mPa・s)	作製直後	SAM=0%	1875.0	900.0	185.0	55.0	35.0	30.0
		SAM=25%	10200.0	1325.0	240.0	60.0	25.0	15.0
		Control	2300.0	595.0	295.0	115.0	50.0	25.0
	1時間後	SAM=0%	3775.0	725.0	185.0	95.0	80.0	100.0
		SAM=25%	12200.0	2475.0	295.0	145.0	90.0	55.0
		Control	4975.0	2200.0	320.0	190.0	115.0	90.0
	2時間後	SAM=0%	2525.0	1175.0	245.0	170.0	125.0	145.0
		SAM=25%	11700.0	3000.0	285.0	195.0	115.0	110.0
		Control	11300.0	2950.0	360.0	215.0	150.0	110.0
	3時間後	SAM=0%	2625.0	1200.0	295.0	225.0	150.0	140.0
		SAM=25%	7000.0	2350.0	315.0	225.0	140.0	105.0
		Control	54000.0	1500.0	360.0	230.0	165.0	105.0
粘度 ローター回転数:60rpm (mPa・s)	作製直後	SAM=0%	1260.0	295.0	36.0	15.5	11.0	10.0
		SAM=25%	960.0	193.0	40.0	13.5	9.0	7.0
		Control	1430.0	433.0	53.0	21.5	14.0	8.5
	1時間後	SAM=0%	1430.0	450.0	52.0	24.0	18.5	18.5
		SAM=25%	1020.0	360.0	77.5	34.5	19.5	15.5
		Control	4600.0	520.0	98.0	47.0	28.0	19.0
	2時間後	SAM=0%	330.0	440.0	74.5	41.0	29.0	30.0
		SAM=25%	1140.0	393.0	80.0	54.5	29.0	22.0
		Control	1930.0	590.0	100.0	71.5	39.5	29.0
	3時間後	SAM=0%	318.0	500.0	42.5	56.0	32.0	27.5
		SAM=25%	960.0	375.0	91.0	61.5	33.0	25.5
		Control	6600.0	620.0	87.5	76.5	44.0	28.5
一軸圧縮強さ (kN/m ²)	材令3日	SAM=0%	4197	255	284	206	177	118
		SAM=25%	4148	294	167	118	127	108
		Control	2638	275	167	88	59	39
	材令7日	SAM=0%	7600	637	500	481	304	196
		SAM=25%	7169	755	431	353	275	226
		Control	5109	637	431	255	137	78
	材令28日	SAM=0%	11258	1089	1118	961	647	422
		SAM=25%	11778	1549	824	735	598	549
		Control	8296	1412	775	520	304	167
湿潤密度 (g/cm ³)	材令3日	SAM=0%	1.554		1.363	1.365	1.348	1.294
		SAM=25%	1.544		1.333	1.305	1.307	1.280
		Control	1.540	1.382	1.312	1.301	1.275	1.257
	材令7日	SAM=0%	1.570		1.373	1.367	1.335	1.294
		SAM=25%	1.522		1.323	1.297	1.306	1.308
		Control	1.551	1.379	1.336	1.295	1.267	1.259
	材令28日	SAM=0%	1.518	1.384	1.367	1.400	1.331	1.307
		SAM=25%	1.573	1.346	1.340	1.323	1.317	1.298
		Control	1.568	1.377	1.331	1.284	1.274	1.241

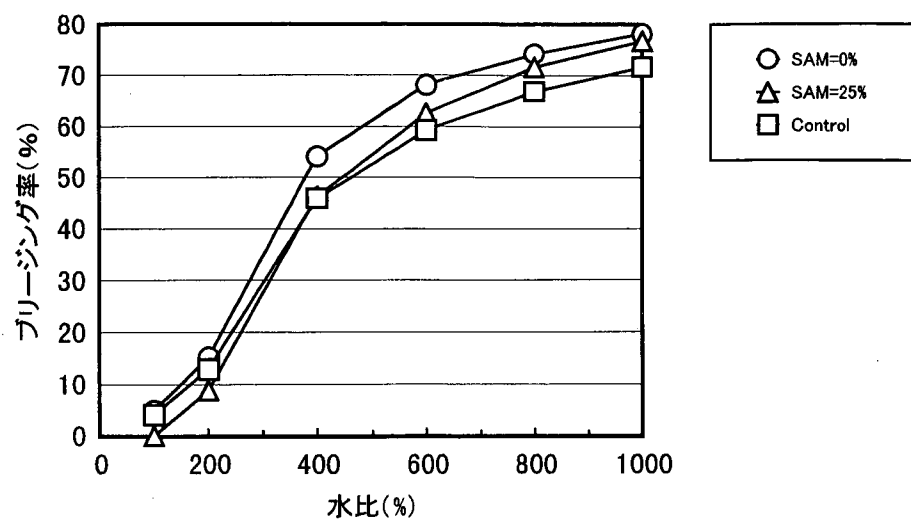
注) 空欄は試験を実施していないことを示し、測定値の「-」は測定限界を示す。



(a) 1時間後

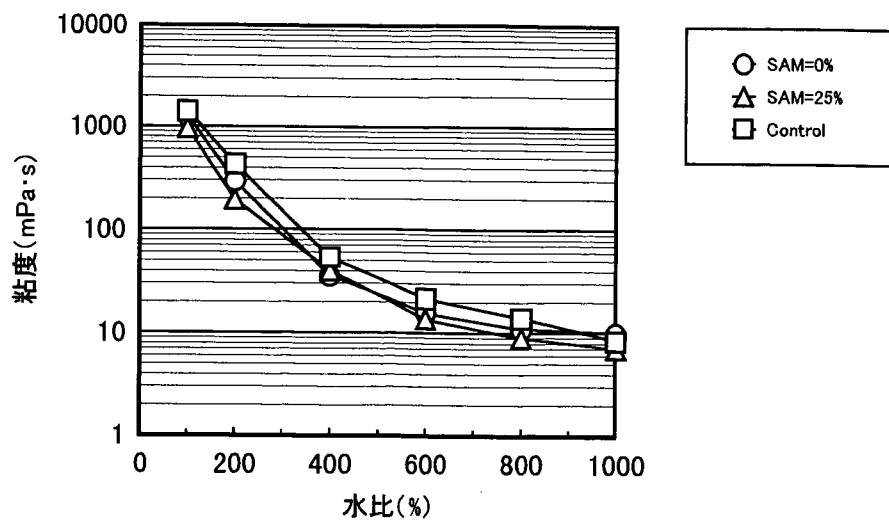


(b) 3時間後

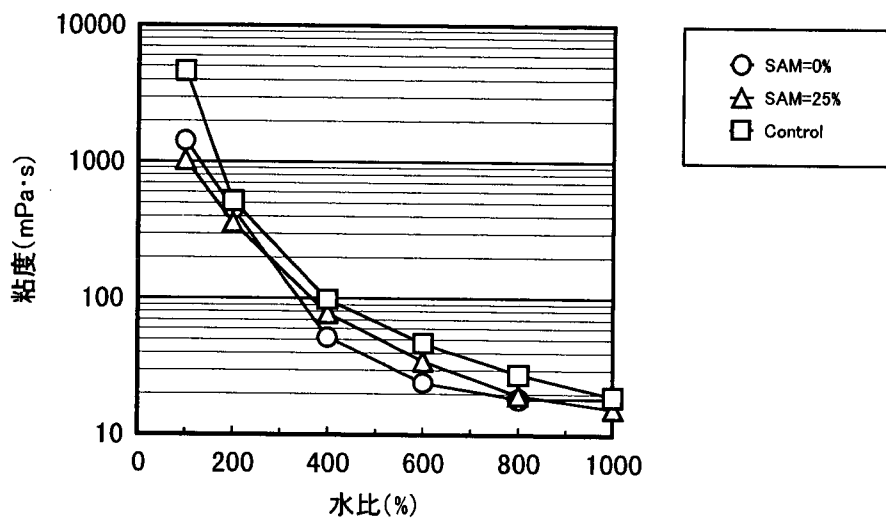


(c) 24時間後

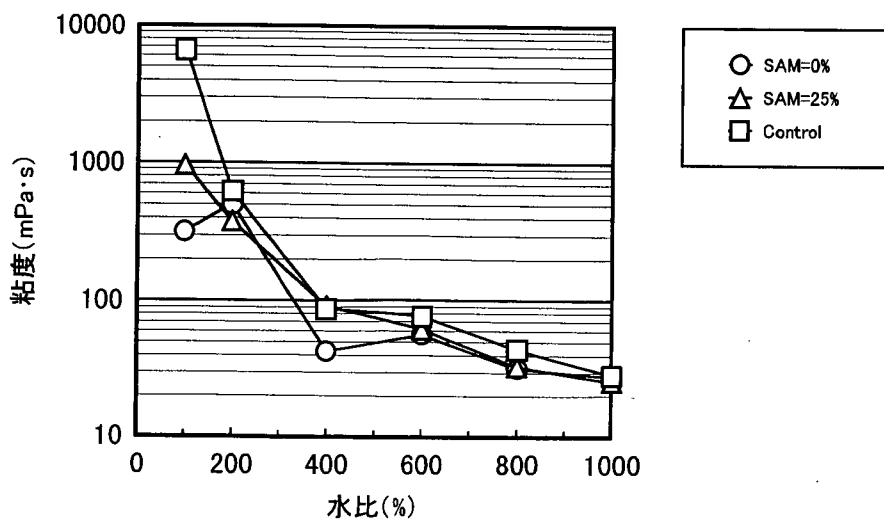
図-5.21 水比によるCBグラウトのブリージング率



(a) 試料作製直後

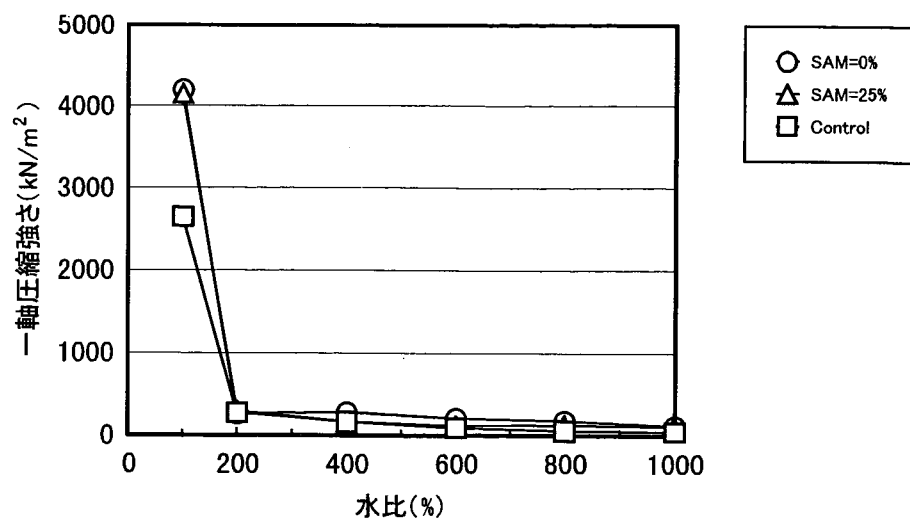


(b) 1時間後

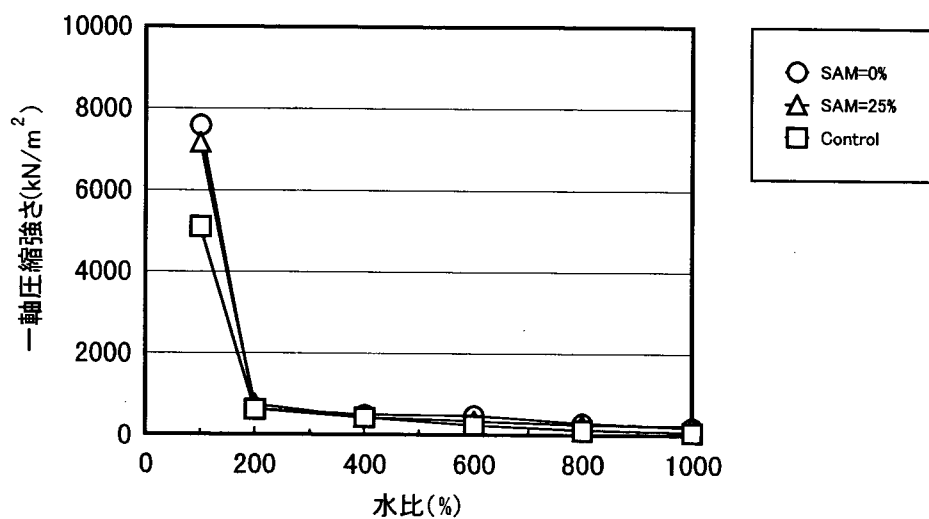


(c) 3時間後

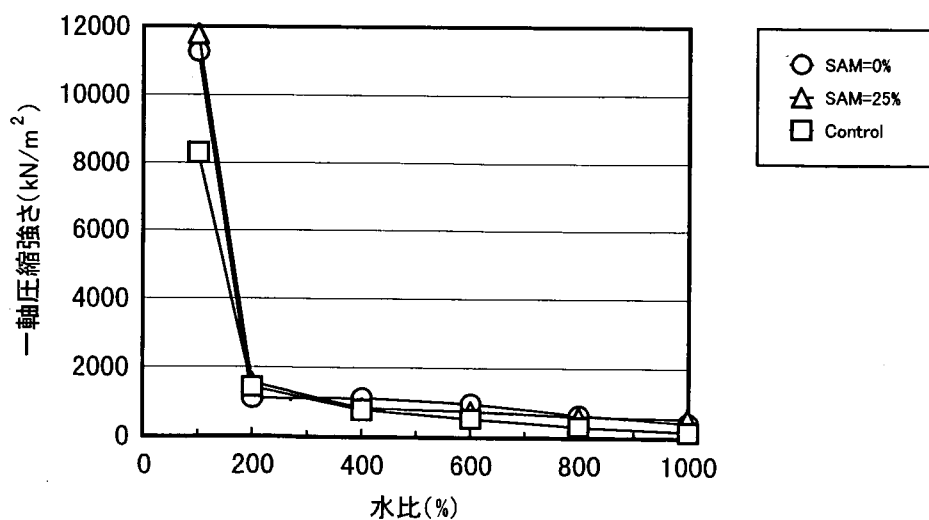
図-5.22 水比によるCBグラウトの粘度



(a) 材令3日



(b) 材令7日



(c) 材令28日

図-5.23 水比によるCBグラウトの一軸圧縮強さ

5.3.5 膨潤促進剤の効果

以下に、5.3.1～5.3.4 で得られた知見をとりまとめる。

- ① 膨潤促進剤は SAM#1 よりも SAM#2 の方が有効である。
- ② 膨潤促進剤は一般的なベントナイトの添加率である 5%のときに有効に作用する。
- ③ SAM#2 添加による CB グラウトの物性変化、特に改良効果は添加率 25%程度で限界となる。
- ④ CB グラウトの物性は、添加するベントナイトの膨潤力によって変化する。膨潤力の大きいベントナイトを用いた CB グラウトほど、その膨潤量が多くなるため安定性、粘性が高くなるが、一軸圧縮強さは小さくなる。
- ⑤ 添加率を 25%とした SAM#2 添加 CB は、水比が 200%の場合、ベントナイトの膨潤力によって程度の差はあるが、ベントナイトを 24 時間事前膨潤させた CB グラウト（コントロール）よりも、粘度および強度が低下するが安定性が若干高くなる。
- ⑥ 添加率を 25%とした SAM#2 添加 CB は、ある程度膨潤力の高いベントナイトを用いて水比を変化させたとき、水セメント比に関係なく、ベントナイトを 24 時間事前膨潤させた CB グラウトに比べ、同程度の安定性、粘性を示すとともに一軸圧縮強さが若干大きくなる。

このように、膨潤促進剤#2 を 25%添加した CB グラウトは、ベントナイトを 24 時間事前膨潤させて作製した CB グラウトに比べ、その安定性については同程度以上を示す。しかし、CB グラウトに用いるベントナイトの種類（膨潤力）によっては、膨潤促進剤の添加による強度低下がみられる。この点を十分に考慮し膨潤促進剤を利用すれば、CB グラウトの安定性を高めるだけではなく、現場におけるベントナイトの事前膨潤のための専用設備の必要性がなくなるという効果も期待できる。しかし一方で、CB グラウトの物性は、その作製方法によっても変化する。そのため、膨潤促進剤を CB グラウトに用いるときは、現場での CB グラウトの作製方法を用いた物性試験を事前に行い、膨潤促進剤の効果を確認する必要がある。

参考文献

- 1) 日本ベントナイト工業会編：日本ベントナイト工業会（JBAS）標準試験法、JBAS-104-77、pp.1-3、1977年

6. 結 論

CB グラウト (cement-bentonite grout) は、ベントナイトの吸水膨潤作用によって、セメントグラウトに比べて安定性、粘性が高くなる。CB グラウトは、この特徴を生かし透水性の高い割れ目が発達した岩盤の遮水性改良に用いられる。しかし、ベントナイトは、電解質溶液中ではその膨潤機能が低下するので、粉体のままセメントグラウトと混合して CB グラウトを作製すると、CB グラウトの本来の特徴を損なうことになる。そこで、ダム基礎グラウチングで CB グラウトを作製するときは、通常ベントナイトを水中で 24 時間膨潤（事前膨潤）させてからセメントグラウトと混合する方法を採用している。このため、ベントナイトの事前膨潤のための専用設備やその作製に伴う人員などが新たに必要となる。

ベントナイトの膨潤力は、同一原材料であればメッシュ番号が大きい、つまりふるい分けの目が細かいベントナイトほど膨潤力は高くなるが、実際にはその産地や含有鉱物の種類などにより膨潤力が異なる。ところが、CB グラウトに用いるベントナイトの膨潤力の規定は、一般的にメッシュ番号のみで行われる場合が多い。さらに、ベントナイトの膨潤力と CB グラウト物性の関係については、いまだ明確に解明されていない。

このため、本研究では、ベントナイトの事前膨潤時間が CB グラウトの物性に与える影響、ベントナイトスラリーの攪拌方法が CB グラウトの物性に与える影響、電解質溶液中においてもベントナイトの膨潤力を活性化させる膨潤促進剤 (SAM) の CB グラウトへの適用性、の 3 項目について検討した。以下に、得られた知見を示す。

(1) ベントナイトの事前膨潤時間が CB グラウトの物性に与える影響

- ① 膨潤力の小さいベントナイトを用いた場合、CB グラウトの物性は、ベントナイトの事前膨潤時間によってあまり変化しない。膨潤力の小さいベントナイトの膨潤は、水とベントナイトの混合が終了したときにほぼ完了していると考えられる。
- ② 膨潤力の大きいベントナイトを用いた場合、CB グラウトは、ベントナイトを事前膨潤しないときには若干不均質で安定性が低下するが、事前膨潤を 3 時間程度行うことにより均質性、安定性が高まる。また、事前膨潤時間をこれ以上長くしても、CB グラウトの物性はあまり変化しない。
- ③ ベントナイトを十分に膨潤させるために必要な膨潤時間は、膨潤力の大きなベントナイトほど 3 時間程度と長くなる。ベントナイトの膨潤度合いは、CB グラウトの物性に大きな影響を与えることから、ベントナイトの膨潤力に応じた最適な事前膨潤時間を設定する必要がある。

(2) ベントナイトの攪拌方法が CB グラウトの物性に与える影響

- ① ベントナイトの膨潤力によらず、回転数の大きなミキサーで攪拌した方が、ブリージング率は低く、粘度は高い値を示す。しかし、一軸圧縮強さに関しては、ベントナイトスラリーの攪拌方法の違いによる明確な差は見られなかった。
- ② 水比が小さい時は、回転数の大きなミキサーで攪拌した方がブリージング率は低い、水比が大き

くなるにつれ、ブリージング率は等しくなっていく。また粘度は、水比にかかわらず、回転数の大きなミキサーで攪拌した方が高い値を示す。また一軸圧縮強さに関しては攪拌方法による明確な差異は見受けられなかった。

(3) 膨潤促進剤 (SAM) の CB グラウトへの適用性

- ① SAM#1 (粉末)、SAM#2 (液体) の 2 種類の膨潤促進剤を比較した結果、SAM#1 を添加した CB グラウトよりも SAM#2 を添加した CB グラウトの方が安定性が高くなるので、SAM#1 よりも SAM#2 の方が有効である。
- ② SAM#2 の最適添加率は、25% ($=S/Bt$) 程度であると考えられる。
- ③ SAM#2 の添加率を 25% ($=S/Bt$) とした CB グラウトの物性値は、膨潤力の大小で異なる傾向を示す。膨潤力が小さい範囲では、SAM の効果は事前膨潤よりもかなり大きく、ブリージング率と一軸圧縮強さはコントロールよりもかなり低くなる。一方、膨潤力が大きい範囲では、事前膨潤と SAM の効果の差は小さくなるが、ブリージング率は SAM の方が若干小さい。
- ④ SAM#2 を膨潤力の比較的大きいベントナイトを用いた CB グラウトに添加した場合、この CB グラウトは、水比に関係なく、ベントナイトを事前膨潤させた CB グラウトに比べ、安定性、粘性は同程度であるが、強度は増加する。

以上のように、ベントナイトスラリーの事前膨潤時間と攪拌方法が CB グラウトの物性に与える影響を検討し、また膨潤促進剤 (SAM) が CB グラウトに対して有効に作用することを確認した。ベントナイトの膨潤力や CB グラウトの水比の変化に対する膨潤促進剤 (SAM#2) を添加した CB グラウトの物性変化を検討した結果、この CB グラウトを現場に適用することによりベントナイトの事前膨潤のための専用設備や人員の縮減が可能であると考えられる。一方、SAM を添加しない CB グラウトについても、ベントナイトの膨潤力に応じた事前膨潤時間を設定することにより、膨潤促進剤を添加したときと同様の効果が得られるものと考えられる。

本試験では試験方法を可能な限り現場レベルに近づけてはいるものの、現場で実際に使用されるミキサーや混合方法によっては、これらの結果と細かな点で差があるものとする。したがって、現場で CB グラウトを使用するときは、実際のグラウト製造設備を用いて作製した CB グラウトの物性試験を行い、合理的なベントナイトの事前膨潤時間や CB グラウトの作製方法を検討することが必要である。