

九州電力(株)総合研究所 正員 是石俊文・正員 〇杉田英明・清国三朗

1. まえがき

エアームタルは、トンネル覆工背面と地山との間を填充する注入材料として最近盛んに用いられており、水力発電所の圧力隧道においても施工されている。エアームタルは一般に、流動性、注入性が高く、貧配合でも満足な注入が行なわれて従来のモルタルでは注入し得なかったような微細な割れ目にも注入が可能で、地山を十分に改良することができると考えられている。しかし、多量の空気泥を含むので、製造・運搬・圧送注入などの過程での品質変動に注意する必要があると考えられ、透水性が大きいことから考えて圧力隧道の覆工裏込に施工する場合、止水効果あるいは耐久性について、十分検討されるべきであろう。また、起泥剤の種類・銘柄によって起泥・練り混ぜのシステムに違いがあるので、利用に当たってこの点も注意する必要がある。こうした諸問題のなかで、起泥剤として洗剤系およびたん白系を用いたエアームタルについて、いくつかの配合の強度や長時間練り混ぜた場合の品質の変化などについて検討したので、その一部を報告する。

表1 セメントの物理試験結果

比重	粉末度	凝 結			安定度	70-	圧縮強度 (kg/cm ²)			曲げ強度 (kg/cm ²)			
		ブレン	88μ残水	量			始発	終結	3日	7日	28日	3日	7日
3.15	3140	2.0	27.9	2-44	3-48	良	244	130	230	425	32.1	48.1	69.7

2. 材料

2.1 起泥剤

起泥剤には洗剤系としてFC剤を、たん白系としてMP剤およびGF剤を用いた。

2.2 セメント、混和材

セメントは普通ポルトランドセメント(麻生セメント(株)田川工場製品)を用いた。その品質を表1に示す。混和材としてフライアッシュを20%(F₄+F₅)用いた。フライアッシュは九電産業(株)製品で、その品質を表2に示す。

2.3 細骨材

細骨材は筑後川産の川砂と福岡県糸島郡産の山砂とを80:20で混合して用いた。その品質および粒度を表4, 5に示す。

表2 フライアッシュの化学成分・物理的性質

化学成分	物理的性質		単位水	圧縮強度比(%)				曲げ強度比(%)						
SiO ₂ 水分 loss (%)	比重	比量 (%)	44% 比量 (%)	3日	7日	28日	91日	3日	7日	28日	91日			
60.0	0.25	0.37	2.23	3,280	11.2	92.7	83	76	76	93	87	84	82	94

表3 細骨材の物理試験結果

細骨材種別	採取場所	比重	吸水量	単位容積重量	洗い試験で失われる重量百分率	安定性損失重量百分率	有機不純物
川砂	福岡県浮羽郡筑後川産	2.500	2.35	1,598	1.45	2.85	良
山砂	福岡県糸島郡前原町	2.585	1.15	1,511	2.07	2.67	良
川砂+山砂 80:20	—	2.517	2.11	1,681	1.57	2.81	良

表4 細骨材粒度

細骨材 種 別	各フルヒ止まる量の重量百分率 (%)								粗粒率 F.M
	5.0 ^{mm}	2.5	1.2	0.6	0.3	0.15	0	計	
川 砂	1.0	8.1	21.4	35.7	26.1	6.6	1.1	100	2.98
	1.0	9.1	30.5	66.2	92.2	98.9	100.0	—	
山 砂	—	0.1	0.2	1.7	22.0	73.6	2.4	100	1.24
	—	0.1	0.3	2.0	24.0	97.6	100.0	—	
川砂+山砂	—	5.14	16.60	31.64	23.86	21.72	1.04	100	2.56
80:20	—	5.14	21.74	53.38	77.24	98.96	100.0	—	

表 5 洗剤系・たん白系起泡剤を用いたエア-モルタルの配合

気泡 剤名	設計 空気量 (%)	F/ C+F (%)	W/ C+F (%)	(C+F):S	単 位 量							起泡 剤量 (%)	フ ロ ー 値		空気量 (%)	単位容 積重量 (kg/m³)	モルタル 温度 (℃)	圧縮強度(%)		28 日
					セメント (C)	フライ アッシュ (F)	C+F (W)	川 砂 (S ₁)	山 砂 (S ₂)	S ₁ +S ₂	kg/m³		流下法 (秒)	コン法 (mm)				σ _y	σ ₂₈	
FC	40	20	77	1:3.52	192	48	240	185	676	169	845	5.0	22.2	230	37.5	1,396	28.1	21	28	3.326
													20.9	236	36.0	1,428	26.5	21	32	3.012
													21.9	243	37.5	1,420	25.9	21	30	3.048
FC	30	20	96	1:4.10	192	48	240	230	786	197	983	1.3	25.2	188	30.0	1,471	27.0	12	25	3.087
													24.0	198	32.5	1,516	26.6	16	30	3.747
													22.8	221	29.0	1,560	26.2	18	32	3.853
FC	20	20	115	1:4.67	192	48	240	276	897	224	1,121	0.3	25.8	193	21.0	1,668	27.6	13	28	3.901
													23.3	207	21.0	1,698	26.7	17	31	4.538
													22.9	222	20.0	1,731	26.5	19	38	4.596
MP	40	20	98	1:3.0	192	48	240	235	574	143	717	44.5	22.9	215	36.8	1,200	12.5	3.2	8.5	—
	30	20	103	1:3.9	192	48	240	247	753	188	941	40.0	26.0	214	33.8	1,334	14.5	5.2	10.9	—
	20	20	113	1:4.7	192	48	240	271	907	227	1,134	21.2	22.0	216	23.0	1,659	12.3	7.7	25.5	—
GF	40	20	110	1:2.7	192	48	240	264	522	131	653	0.6	22.4	229	40.0	1,208	18.1	6.5	14	1.877
													21.4	230	40.0	1,232	18.8	6.7	14	1.659
													22.4	223	40.0	1,221	19.2	5.8	14	1.879
GF	30	20	115	1:3.7	192	48	240	276	703	176	879	0.5	21.9	222	28.8	1,449	18.1	7.7	18	2.549
													22.6	215	30.0	1,444	18.8	7.9	19	2.802
													21.4	216	30.0	1,457	19.7	7.3	18	2.462
GF	20	20	125	1:4.5	192	48	240	300	860	215	1,075	0.4	21.9	214	22.5	1,599	18.7	9.3	21	3.678
													20.5	221	22.5	1,615	18.5	7.9	17	3.172
													20.6	213	22.5	1,634	19.3	9.0	20	3.307

(*) 1 起泡剤量はFC配合は(C+F)×%, MP配合は $\frac{1}{m^3}$, GF配合は(C+F)×% である。

3. 配合および練り混ぜ

試験に用いた配合は、起泡剤2種(3銘柄)、設計空気量20,30,40%, 流下時間(1,725 ccロートを用いた) 20±3秒とした。その配合を表5に示す。

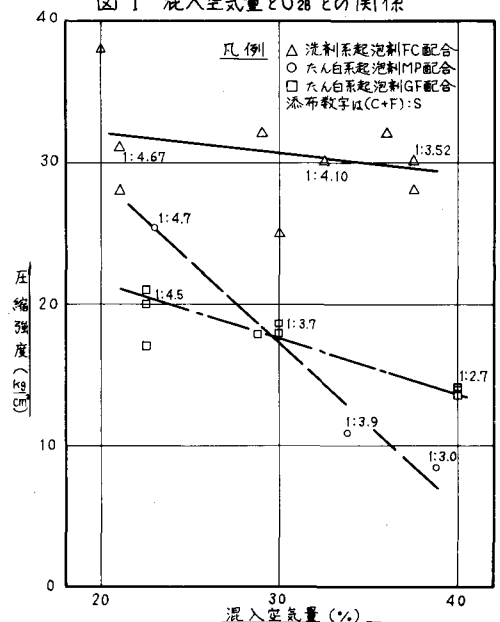
3.1 洗剤系起泡剤FCを用いた配合の練り混ぜ

FC剤配合の練り混ぜには0.12 m³練りの可傾式コンクリートミキサー(回転速度27rpm)を用いた。材料投入と練り混ぜ時間は、最初に水とFC剤とを投入して1分間、次に砂を投入して2分間、最後にセメントおよびフライアッシュを投入して1分間、計4分間とした。

3.2 たん白系起泡剤MPを用いた配合の練り混ぜ

MP配合の特色はプレフォーミング方式にある。本研究ではまず、普通のモルタルを上記可傾式コンクリートミキサーで練っており(練り混ぜ時間3分)

図 1 混入空気量とσ₂₈との関係



その上に自動発泡装置（MP液と圧縮空気とで物理的に一定サイズの独立起泡を生成する）で製造された泡（単位容積重量 35 % ρ_{it} ）の所定量を計量投入し 1 分間練り混ぜた。

3.3 たん白系起泡剤 GF を用いた配合の練り混ぜ

GF 配合の練り混ぜには、特殊な攪拌羽根を持った小型高速モルタルミキサー（容積 50 lit，回転数 270 r.p.m.）を用いた。同一配合を可傾式コンクリートミキサーで練り混ぜた場合の空気量は約 50 % 程度に低下した。材料投入と練り混ぜは、最初に水と砂とを投入して 1 分間、次に GF 剤を投入して 2 分間、最後にセメントおよびフライ

アッシュを投入して 1 分間、計 4 分間とした。

4. 起泡剤の種類と圧縮強度との関係

洗剤系およびたん白系起泡剤を用いたエアモルタルについて材令 28 日の圧縮強度を比較すると図 1 のとおりである。空気量 20～40 % の範囲内では洗剤系起泡剤を用いた配合の方

が、たん白系起泡剤を用いた配合 2 種よりも大きい結果が得られた。

洗剤系とたん白系とは、起泡の機構が異なるので、それぞれの気泡の独立性、セメント粒子による消泡度、抱砂力などに差があると考えられ、この様な結果となったと思われる。

5. 輸送時におけるエアモルタルの品質変化

生コンクリートプラントで可傾式コンクリートミキサーを用いて製造したエアモルタルをアジテートカーで注入現場まで輸送する場合、品質が変化すると考えられる。本研究では前述の可傾式コンクリートミキサーで長時間練り混ぜた場合の空気量、単位容積重量、圧縮強度などの変化を練り混ぜ時間 20、40、60、80 分について測定した。その結果を図 2、3 に示す。練り混ぜ時間が長い程 2 次気泡の混入が行われて空気量が増大し、80 分間の練り混ぜ後の空気量は最初の空気量の 120～207 % に達し、単位容積重量および強度の低下をもたらした。この傾向は洗剤系起泡剤を用いる場合によく認められるようである。実際には、大型のアジテートカーで輸送されるので、品質変化はこれ程著しくはないと思われるが、配合設計、品質管理上輸送時の品質変化に注意する必要があると

図 2 練り混ぜ時間と空気量の変化との関係

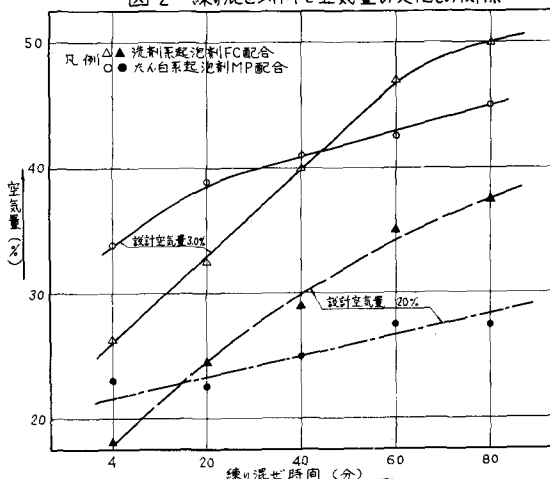
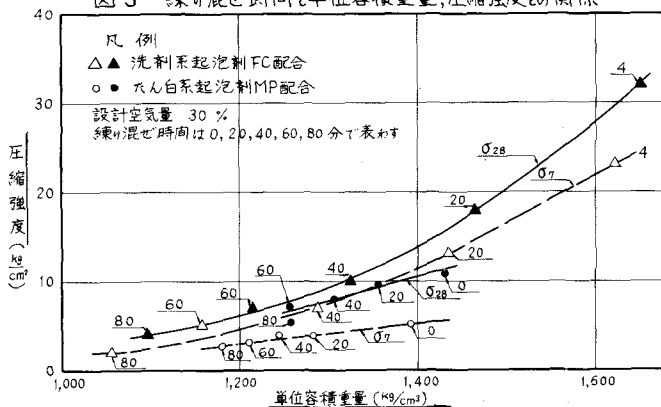


図 3 練り混ぜ時間と単位容積重量、圧縮強度との関係



考えられる。

6. 静弾性係数

本研究の配合のエアーマルタルの静弾性係数は、 $3.0 \sim 5.0 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$ で図4に示すように、圧縮強度とほぼ直線的な関係がみられるようである。

7. むすび

洗剤系およびたん白系起泡剤を用いたエアーマルタルに関する本研究の範囲内で考えるとつぎのようなことがいえると思われる。

7.1 洗剤系とたん白系起泡剤とは起泡の機構に違いがあるので、生コンクリートプラントなどで可傾式コンクリートミキサーを用いてエアーマルタルを製造する場合は、洗剤系起泡剤を用いるのが便利である。たん白系起泡剤を用いる場合は、別に発泡機を設備して気泡を計量する必要が生じたり（MP配合）、あるいは起泡力がやや低下する（GF配合）ことが考えられる。

7.2 空気量を20～40%， $(C+F):S = 1:2.7 \sim 1:4.7$ の砂マルタルでは、洗剤系起泡剤を用いた配合の方がたん白系起泡剤を用いた配合よりもやや大きい強度が得られた。

7.3 生コンクリートプラントで可傾式コンクリートミキサーを用いて製造したエアーマルタルをポンプ車で注入現場まで輸送する場合、品質が変化すると考えられる。たとえば空気量は輸送時間が長い程空気量が増加する傾向を示し、これが単位容積重量および強度の低下という結果を示すものと考えられるので配合設計、品質管理上この点に注意する必要があると考えられる。

なお、洗剤系とたん白系との起泡剤について、気泡の独立性、セメント粒子による消泡度、抱砂力、耐久性、圧送後の材料分離などの諸点でみられる違いについては、今後検討を進める予定である。

参考文献 1) 養原，トンネル裏込め材料としてのエアーマルタルについて；九州建設施工管理研究会。

2) 大浜，玉置，エアーマルタルの配合とその利用に関する研究；土木学会第25回年次学術講演集 オ5部。

3) 古寺，エアーマルタルクワウケング；信工技術NO. 1，1962，10。

4) 古寺，新しい道裏込め注入におけるエアーマルタル工法，鉄道土木，オ4巻，オ9号。

図4 静弾性係数と圧縮強度との関係

