

財団法人 日本塗料検査協会

東支部 検査部 櫻井 剛

西支部 検査部 松本 倫毅

1. はじめに

JIS A 6021:2000 に規定されている建築用塗膜防水材料は、主に鉄筋コンクリート造建築物の屋根及び外壁などの防水工事に用いる材料であり、アクリルゴム系、ウレタンゴム系、クロロプレンゴム系などがある。これら防水材料の性能は試験片の仕上がりや養生期間などにより、大きく左右されることが経験的にわかっている。特に試験片の仕上がりについては顕著であり、気泡を含んだ試験片は性能が著しく低下する場合がある。そこで、試験片作製時に脱泡を行った場合と行わなかった場合で、性能にどの程度の差が生じるのか検証することにした。防水材料として求められる性能として、引張性能、温度依存性、劣化処理後の引張性能、伸び時の劣化性状など多くの項目が規定されているが、今回の検証では、基本性能である引張性能について調べることとした。

2. 脱泡について

JIS A 6021:2000 建築用塗膜防水材料 6. 試験 6.2 試験片及び試験体の作製方法 6.2.1 試験片の作製 a) では、試験片の作製において、「型枠に気泡が入らないように、製造業者の指定する方法によって、均一に充てん又は塗布する。」と記されている。この「気泡が入らないように」とは、充てん又は塗布する際に、空気を巻き込まないように作製するという意味であるが、塗布する防水材料自体に空気を含んでいる場合、いくら慎重に試験片を作製しても、気泡を含んだ試験片になってしまうのは明白である。よって、気泡のない試験片を作製する際、防水材料が空気を含んでいる場合は、あらかじめ脱泡して（空気を取り除いて）から試験片を作製する必要がある。

脱泡方法は主に2種類あり、1つは防水材料を真空（減圧）状況下におくことで気泡を取り除く「真空脱泡」で、もう1つは防水材料をミキサーで高速回転させることにより気泡を取り除く「回転式脱泡」である。本検証では、一切の脱泡処理を行っていない「無脱泡」と「真空脱泡」、「回転式脱泡」、また、その両方の脱泡を行った「回転式脱泡+真空脱泡」の4種類の脱泡条件の違いによる、引張性能（引張強さ、破断時の伸び率）への影響を調べた。

3. 試験方法

3.1 防水材料の種類

今回使用した防水材料は、これまで試験を行ってきた経験上、最も気泡の影響を受けやすいアクリルゴム系（一成分形エマルジョンタイプ）とし、4種類の防水材料（試料A～D）について検証を行った。

3.2 脱泡方法

3.2.1 回転式脱泡

防水材料を均一に攪拌してから専用のプラスチック容器に取り、自転・公転方式ミキサーにより脱泡した。このミキサーは、防水材料の入った容器を自転させながら、ある半径をもって公転させることにより、大きな遠心力を連続的に発生させ、防水材料の中に存在する気泡を押し出す原理となっている。ミキサーはTHINKY自転・公転方式スーパーミキサー「あわとり練太郎」ARE-250を使用し、その外観を写真1、2に示す。また、脱泡条件を表-1に示す。



写真1 回転式脱泡機

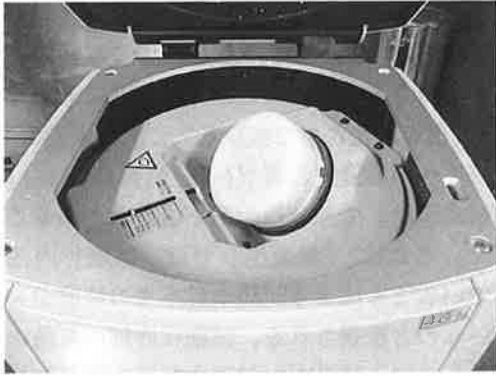


写真2 回転式脱泡機（回転部）

表-1 回転式脱泡の条件

公転速度	2200rpm
自転速度	60rpm
脱泡時間	3分間×2回

3.2.2 真空脱泡

防水材を均一に攪拌してからプラスチックのカップに取り、それを真空状況下に約5分間置くことにより脱泡を行った。真空ポンプはULVAC MINIVAC PD-102を使用し、その外観を写真3に示す。

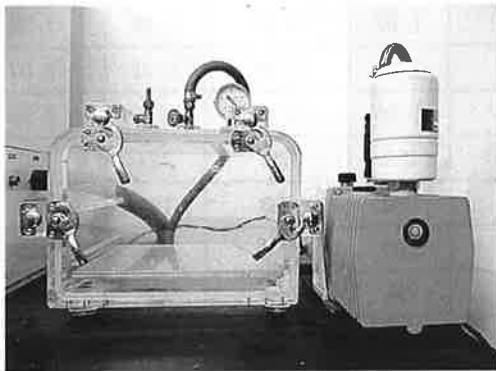


写真3 真空脱泡機

3.3 試験片作製

脱泡処理を行った防水材を、JIS A 6021 6.2.1 試験片の作製により、乾燥膜厚が約1mmになるように型枠に均一に充てんし、JIS K 6251に規定するダンベル状3号形に打ち抜いて試験片とした。なお、養生条件は以下の通りとした。

脱型前：温度 $23 \pm 2^\circ\text{C}$ 、相対湿度 $50 \pm 10\%$ （以下、「標準状態」と言う。）で24時間後、 $40 \pm 2^\circ\text{C}$ で24時間。

脱型後： $40 \pm 2^\circ\text{C}$ で48時間後、標準状態で24～72時間。

3.4 引張性能

3.4.1 引張強さ

JIS A 6021 6.3 引張性能 6.3.2 試験方法 a) 引張強さにより、試験片が破断に至るまでの最大引張力を求め、次の式により引張強さを算出した。また、使用した試験機および試験条件を表-2に、試験機の外観を写真4に示す。

$$T_B = \frac{P_B}{A}$$

T_B ：引張強さ (N/mm^2)

P_B ：最大引張力 (N)

A ：試験片の断面積 (mm^2)



写真4 引張試験機

表-2 引張試験機および試験条件

引張試験機	精密万能試験機 SHIMADZU AG-I 250kN SHIMADZU AG-I 100kN
伸び計	非接触伸び計 SHIMADZU DVE-201
引張速度	200mm/min

3.4.2 破断時の伸び率

JIS A 6021 6.3 引張性能 6.3.2 試験方法 b) 破断時の伸び率により、試験片が破断した時の標線間距離を測定し、次の式により破断時の伸び率を算出した。伸びの測定には表-2に示した伸び計を使用し、その外観を写真5に示す。

$$E = \frac{L-20}{20} \times 100$$

E ：破断時の伸び率 (%)

L ：破断時の標線間距離 (mm)

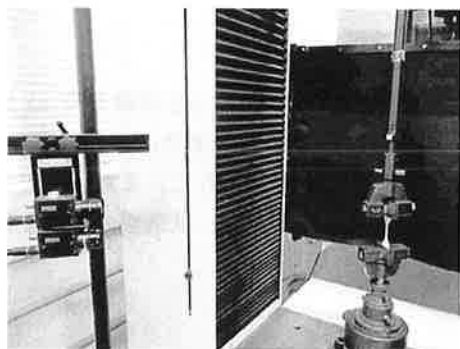


写真5 伸び計

4. 脱泡の有無による引張性能への影響

脱泡の有無により、引張性能にどのような違いが生じるかを調べるために、4種類（試料A～D）の防水材料について「無脱泡」および「回転式脱泡」の試験片を作製し、引張性能の試験を行った。試験結果を表-3に示す。

表-3よりA～Dの防水材料について「無脱泡」および「回転式脱泡」の2条件で作製した試験片を用いて引張性能試験を行うとA～Dのいずれの試料においても「無脱泡」と「回転式脱泡」で試験結果に影響が認められた。特に伸び率への影響が顕著であり、試料Aでは「無脱泡」と「回転式脱泡」で伸び率が約2倍も差があることが確認された。これは、「無脱泡」では、試験片内部に気泡を含んでいることにより、防水材料本来の性能が発揮されていないものと推察される。試験片内部の気泡の有無を確認するために、試料Aの試験片断面を顕微鏡にて観察した。試験片断面の様子を写真6、7に示す。

写真6、7より、「無脱泡」の試験片断面には気泡が確認されたが、「回転式脱泡」の試験片断面には気泡は確認されなかった。よって、「無脱泡」では試験片内部に気泡を含むことがあり、材料本来の性能を発揮するためには、気泡を何らかの脱泡処理で取り除く必要がある。

表-3 「無脱泡」および「回転式脱泡」による試料A～Dの引張性能

試験項目	No.	試料A		試料B		試料C		試料D		
		無脱泡	回転式脱泡	無脱泡	回転式脱泡	無脱泡	回転式脱泡	無脱泡	回転式脱泡	
引張性能	引張強さ N/mm ²	1	1.15	1.48	1.09	1.20	1.97	2.46	2.36	2.60
		2	1.14	1.51	1.12	1.19	1.92	2.47	2.43	2.58
		3	1.18	1.49	1.09	1.21	1.98	2.44	2.51	2.57
		平均	1.16	1.49	1.10	1.20	1.96	2.46	2.40	2.58
	伸び率 %	1	264	490	320	386	257	344	224	287
		2	285	538	307	379	262	393	181	310
		3	268	536	309	369	250	398	209	215
		平均	272	521	312	378	256	378	205	271

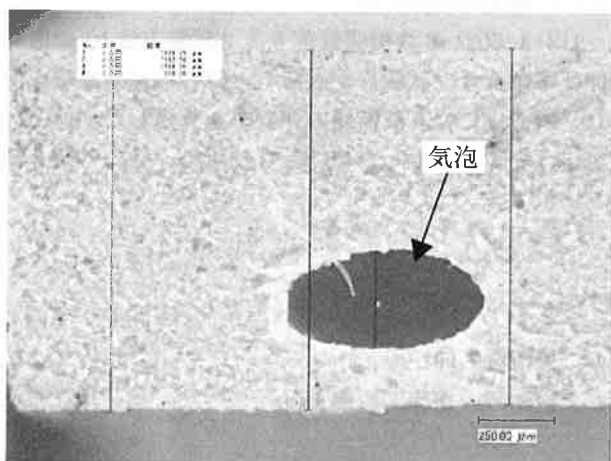


写真6 「無脱泡」の試験片断面

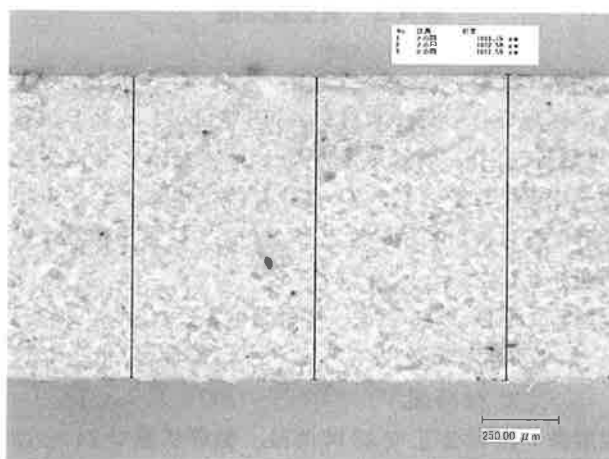


写真7 「回転式脱泡」の試験片断面

5. 脱泡条件の引張性能への影響

表-3の試験結果より、脱泡をしないと良好な引張性能が得られない防水材があることが確認できた。次に、表-3に示した試料A~Dのうち最も差の大きかった試料Aについて脱泡条件が引張性能に及ぼす影響について、分散分析を用い詳細に検討することとした。脱泡条件（「無脱泡」、「回転式脱泡」、「真空脱泡」、「回転式脱泡+真空脱泡」）、測定者（a、b）、繰り返しを分析要因とした。測定者（a、b）とは、同一試料から作製した試験片を異なる試験所（支部）、引張試験機、試験者で行ったことを示す。なお、分散分析の有意水準は5%としている。

5.1 脱泡条件の引張強さへの影響

5.1.1 分散分析〔その1〕

表-3では比較的作業性の良い「回転式脱泡」を行った場合の試験結果を示したが、更に良好な脱泡効果が期待される2条件（「真空脱泡」、「回転式脱泡+真空脱泡」）を加えて検討した結果を以下に示す。なお、各要因の水準数は脱泡条件4、測定者2、繰り返し数3とした。

表-4 脱泡条件の違いによる試料Aの引張強さ (N/mm²)

脱泡条件	測定者	n 1	n 2	n 3	平均
無脱泡	a	1.15	1.14	1.18	1.16
	b	1.12	1.11	1.06	1.10
回転式脱泡	a	1.48	1.51	1.49	1.49
	b	1.42	1.48	1.50	1.47
真空脱泡	a	1.47	1.52	1.51	1.50
	b	1.49	1.51	1.49	1.50
回転式脱泡+真空脱泡	a	1.53	1.50	1.50	1.51
	b	1.47	1.46	1.47	1.47

表-5 分散分析結果

分散分析表		
要因	分散比	F境界値
脱泡条件	266.311	4.757
測定者	9.006	5.987
繰り返し	0.445	5.143
脱泡条件×測定者	1.186	4.757
脱泡条件×繰り返し	0.887	4.284
測定者×繰り返し	0.107	5.143
計		

「無脱泡」、「回転式脱泡」、「真空脱泡」、「回転式脱泡+真空脱泡」の脱泡4条件の解析によると、引張強さは脱泡条件の影響を大きく受けることがわかった。4条件のうち、「無脱泡」の場合が最も引張強さが低く、本試料においては何らかの脱泡処理を行う事が望ましい事が分散分析の結果からも示された。また、各要因の交互作用はいずれも認められなかった。

5.1.2 分散分析〔その2〕

5.1.1では「無脱泡」を含む脱泡4条件について検討したが、「無脱泡」は最も引張強さが低く、試験片内部に気泡を含んでいることにより材料本来の性能が発揮されていない恐れがある。そこで、「無脱泡」を除いた脱泡条件3種類の影響を検討した。なお、各要因の水準数は脱泡条件3、測定者2、繰り返し数3とした。

表-6 脱泡条件の違いによる試料Aの引張強さ (N/mm²)

脱泡条件	測定者	n 1	n 2	n 3	平均
回転式脱泡	a	1.48	1.51	1.49	1.49
	b	1.42	1.48	1.50	1.47
真空脱泡	a	1.47	1.52	1.51	1.50
	b	1.49	1.51	1.49	1.50
回転式脱泡+真空脱泡	a	1.53	1.50	1.50	1.51
	b	1.47	1.46	1.47	1.47

表-7 分散分析結果

分散分析表		
要因	分散比	F境界値
脱泡条件	1.273	6.944
測定者	6.769	7.709
繰り返し	1.734	6.944
脱泡条件×測定者	1.524	6.944
脱泡条件×繰り返し	1.881	6.388
測定者×繰り返し	0.392	6.944
計		

「無脱泡」を含む解析では脱泡条件の影響を大きく受けたが、「無脱泡」を解析因子から除くと脱泡条件及び測定者の影響を受けないことが示された。

5.1.3 まとめ

「無脱泡」を含む解析では脱泡条件の影響を受けたが、「無脱泡」を除くと脱泡条件の影響を受けない。即ち、本試料は脱泡を行う必要があることが分散分析の結果から分かった。脱泡3条件には大きな差が認められないため、比較的作業性の良い「回転式脱泡」を行うことで良好な結果が得られることが示唆された。

5.2 脱泡条件の伸び率への影響

5.2.1 分散分析〔その1〕

次に引張強さと同様に脱泡条件が伸び率に及ぼす影響についても検討した。各要因と水準は引張強さと同様、脱泡条件4、測定者2、繰り返し数3とした。

「無脱泡」を含む解析では引張強さ同様、脱泡の影響を大きく受ける。「無脱泡」、「回転式脱泡」、「真空脱泡」、「回転式脱泡+真空脱泡」の4水準のうち、引張強さと同様に「無脱泡」の場合が最も伸び率の値が低い。また、各要因の交互作用は認められなかった。

表-8 脱泡条件の違いによる試料Aの伸び率(%)

脱泡条件	測定者	n 1	n 2	n 3	平均
無脱泡	a	264	285	268	272
	b	316	196	180	231
回転式脱泡	a	490	538	536	521
	b	589	614	510	571
真空脱泡	a	492	523	497	504
	b	602	522	559	561
回転式脱泡 +真空脱泡	a	546	494	573	538
	b	587	607	486	560

表-9 分散分析結果

分散分析表		
要因	分散比	F境界値
脱泡条件	62.595	4.757
測定者	1.388	5.987
繰り返し	1.207	5.143
脱泡条件×測定者	1.488	4.757
脱泡条件×繰り返し	0.395	4.284
測定者×繰り返し	2.984	5.143
計		

5.2.2 分散分析 [その2]

5.2.1では「無脱泡」を含む脱泡の有無で検討したが、引張強さと同様「無脱泡」は試験片内部に気泡を含んでいることにより材料本来の性能が発揮されていない恐れがある。そこで「無脱泡」を除いた脱泡条件による影響を検討した。各要因と水準は引張強さと同様、脱泡条件3、測定者2、繰り返し数3とした。

表-10 脱泡条件の違いによる試料Aの伸び率(%)

脱泡条件	測定者	n 1	n 2	n 3	平均
回転式脱泡	a	490	538	536	521
	b	589	614	510	571
真空脱泡	a	492	523	497	504
	b	602	522	559	561
回転式脱泡 +真空脱泡	a	546	494	573	538
	b	587	607	486	560

表-11 分散分析結果

分散分析表		
要因	分散比	F境界値
脱泡条件	0.193	6.944
測定者	3.523	7.709
繰り返し	0.477	6.944
脱泡条件×測定者	0.214	6.944
脱泡条件×繰り返し	0.295	6.388
測定者×繰り返し	1.785	6.944
計		

「無脱泡」を含む解析では脱泡条件の影響を受けたが、「無脱泡」を解析因子から除くと引張強さと同様、脱泡条件の影響を受けないことが示された。

5.2.3 まとめ

「無脱泡」を含む解析では脱泡条件の影響を受けたが、「無脱泡」を解析因子から除くと、引張強さと同様、脱泡条件の影響を受けないことがわかった。即ち、本試料は脱泡を行う必要があることが分散分析の結果から分かった。脱泡3条件には大きな差が認められないため、比較的作業性の良い「回転式脱泡」を行うことで良好な結果が得られることが示唆された。

6. まとめと今後の課題

今回の検討で、アクリルゴム系建築用塗膜防水材の試験片作製において、引張強さ、伸び率ともに脱泡の有無が試験結果に影響を及ぼすことがわかった。「無脱泡」では試験片作製時に気泡を含んでしまう試料があるが、本検討に供したいずれかの脱泡を行うことにより、引張強さおよび伸び率において良好な結果が得られた。また、「回転式脱泡」、「真空脱泡」、「回転式脱泡+真空脱泡」の脱泡3水準の検証試験では、脱泡条件による差が認められなかった。しかし、「真空脱泡」では減圧中に試料表面に若干の皮張の発生が確認されたため、脱泡処理後に皮を取り除く必要がある。よって、脱泡条件は作業性が良く、他の脱泡条件と同様の試験結果の得られる「回転式脱泡」が好ましい。JIS規格に規定されているように、試験片の作製方法は製造業者の指定する方法によることが基本だが、製造業者より脱泡についての指定がない場合は、試験片作製時に「回転式脱泡」を行うことにより良好な試験結果が得られることがわかった。

JIS A 6021の試験方法には、脱泡以外で試験結果に影響を与えると思われる要因が見受けられる。一例を挙げれば、養生の期間、膜厚などである。養生は脱型後に40±2℃で48時間、標準状態で4時間以上と規定されているが、この標準状態の4時間以上という記述は試験を行ううえで非常に曖昧であり、また、膜厚についても約1mmと規定されているだけである。これらは試験結果に十分影響を与える要因と思われ、これらの影響について今後の課題として検討を行いたい。

以上