

第6回 防水シンポジウム資料 主催：日本建築学会 材料施工委員会

(2011年11月8日 日本建築会館)

Ⅲ. ウレタンゴム系塗膜防水における通気緩衝シートの性能と評価方法

1. はじめに
2. 通気緩衝シートの緩衝性能と評価方法
2. 1 通気緩衝シートの種類	
2. 2 実験に用いた通気緩衝シート	
2. 3 試験体の種類	
2. 4 緩衝性能の実験方法	
2. 5 実験結果	
2. 6 まとめ	
3. 通気緩衝シートの透気性能と評価方法の検討
3. 1 研究の背景	
3. 2 通気緩衝シートの脱気効果確認試験	
3. 3 通気緩衝シートの透気性能試験装置の開発	
3. 4 数値計算モデル	
3. 5 一般的に使用されている通気緩衝シートの透気試験	
3. 6 まとめ	

塗膜防水用補強布WG

主査 田中享二

幹事 野口秀夫

委員

清水市郎 橋田 浩 松尾隆士 高山勝行 吉田眞章 塚越雅幸

古澤洋祐 鈴木 博 若林秀幸 佐々木哲夫 濱田健治 中沢裕二

山本俊也 安達弘行 野口裕二 政田朋也 酒井興一 渡辺 光

楠 和也 島村浩行 河合俊三 吉野兼司 小関晋平 前川恵一

高橋 武 光井佳法 鎌田 進 福島章夫 広瀬隆行 池端周作

小林 仁 富岡賢一 増田紀彦 志村重顕 仲尾正人 川口知也

水野伸二

※オブザーバーを含む

1. はじめに

通気緩衝シートは、ウレタン塗膜防水の下側に敷設されるシート状の材料のことである。目的は下地の不具合、例えば下地のひび割れに対してその影響を緩和させること、または下地水分によるふくれ防止である。非常に使用目的のはっきりしたウレタン防水層の補助材料である。

しかし、はっきりした目的があるにもかかわらず、どのような性能が必要とされるのかが示されてこなかった。建築学会が出版している現行の JASS 8¹⁾においても、通気緩衝シートについては、下地ひび割れ追従性として、ひび割れの繰り返しに対して十分な抵抗性をもつこと、通気性としてふくれの低減効果が期待できる、といったきわめて定性的な記述にとどまっている。そのためと思われるが、多種多様な通気緩衝シートが品質に関する議論の無いまま実務で使われている。結果的にうまくいっているからそれで良いという考え方もあるが、これからは性能を明示しながら建物を造り込む時代である。当然防水層もその枠内にある。そうすると、それを構成する個々の材料にも、性能を前提とした品質や特性に関する事項が示されている必要がある。

このようなことを背景として、ここではあらためて通気緩衝シートの性能について取り上げた。

2. 通気緩衝シートの緩衝性能と評価方法

2.1 通気緩衝シートの種類

ここでは、緩衝性能について各種の通気緩衝シートを用いて実験を行って性能を把握すると共に、その実験に基づいた緩衝性能の評価方法について考察することにした。先ず、現在上市されている通気緩衝シートを、種別と特徴と張付け方法に分類したものを表 2.1 に示す。

表 2.1 通気緩衝シートの種別と特徴と張付け方法

種別		特徴	張付け方法
不織布 タイプ	孔なし	特殊加工した不織布などの表層と、通気層となる不織布の下層を積層している。	下地に接着剤を塗布して張り付ける。
	孔あき	特殊加工した不織布などの表層と通気層となる不織布の下層を積層され、一定間隔で全体に孔あき加工されている。	下地に接着剤を塗布して張り付けた後に、立上り用又は目止め用ウレタン防水材をシートの孔に充填して張付ける。
複合 タイプ	自着	特殊加工した表層フィルムなどに、改質アスファルト・不織布・プラスチック発泡体・プラスチックフィルム・ガラスクロス・ゴムシートなどを積層し、最下層に改質アスファルトやブチルゴムによる自着層を設けている。	下地にプライマー塗布後に直接張付ける。
	接着剤	特殊加工した表層フィルムなどに、改質アスファルト・不織布・プラスチック発泡体・プラスチックフィルム・ガラスクロス・ゴムシートなどを積層したもの。	下地に接着剤を塗布して張付ける。
	機械的 固定	特殊加工した表層フィルムなどに、改質アスファルト・不織布・プラスチック発泡体・プラスチックフィルム・ガラスクロス・ゴムシートなどを積層したもの。	下地にディスクとアンカーを用いて固定する。

通気緩衝シートは複数の素材を積み重ねて構成されているが、不織布タイプは二層で複合タイプは多層の積層により成り立っている。その積層方法にはエンボス、ハードエンボス、ヒートプレス、ニードルパンチ方法などがある。その積層方法を図 2.1 に示す。

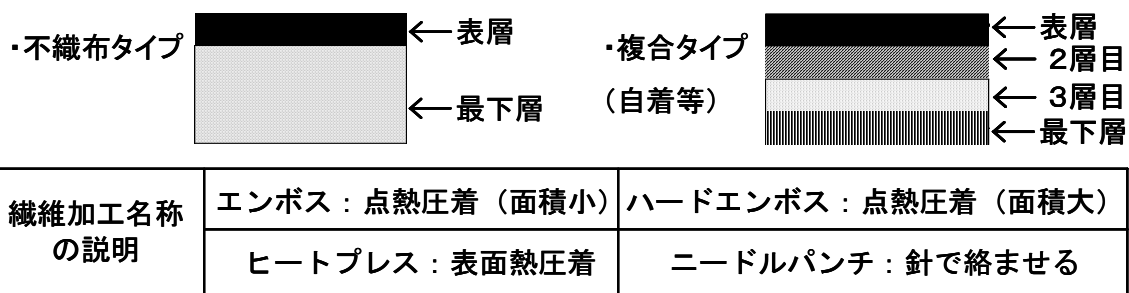


図 2.1 通気緩衝シート積層方法

2.2 実験に用いた通気緩衝シート

実験に用いた通気緩衝シートは、上市されている各種シートの中から形状・材質・積層内容を同じくするものを集約して代表的な13種類を採用した。使用したシートを写真2.1に示し、概要と積載内容を表2.2に示す。

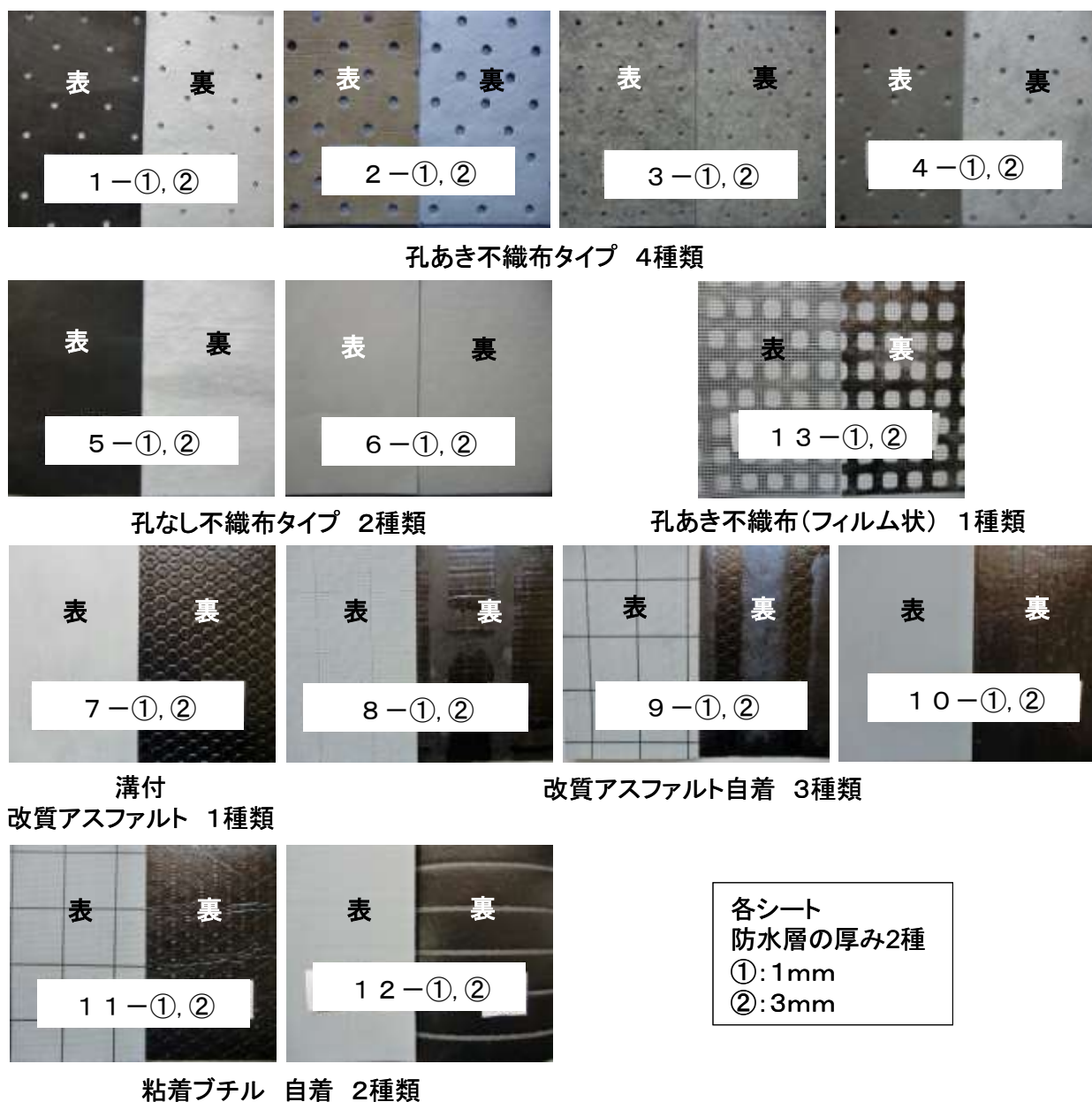


写真 2.1 使用した通気緩衝シートの表と裏

表 2.2 実験に用いた通気緩衝シートの概要と積層内容

通気緩衝シートの概要			積層内容						
記号	種別	形状・材質	表層	2層目	3層目	4層目	5層目	最下層	
1	不織布 タイプ	孔あき	孔あき不織布	EP不織布	—	—	—	—	ニードルパンチ不織布
2			孔あき不織布	NBRコーティング不織布	—	—	—	—	ニードルパンチ不織布
3			孔あき不織布	EP不織布	—	—	—	—	ニードルパンチ不織布
4			孔あき不織布	樹脂コーティング不織布	—	—	—	—	ニードルパンチ不織布
5		孔なし	孔なし不織布	EP不織布	—	—	—	—	ニードルパンチ不織布
6			孔なし不織布	ヒートプレス不織布	—	—	—	—	ニードルパンチ不織布
7	複合 タイプ	接着剤	溝付改質アス	ハードEP不織布	ガラスクロス	プラスチックフィルム	—	—	粘着改質アス※1
8		自着	改質アス	特殊塗料付フィルム	ポリエステルクロス	改質アスファルト	不織布	—	粘着改質アス※1
9			改質アス	特殊塗料付フィルム	ガラスクロス	—	—	—	粘着改質アス※1
10			改質アス	特殊塗料付フィルム	改質アスファルト	不織布	改質アスファルト	プラスチックフィルム	粘着改質アス※1
11			粘着フィルム	特殊塗料付フィルム	ガラスクロス	粘着フィルム※1	—	—	テープ状繊維織布
12			粘着フィルム	特殊塗料付フィルム	ガラスクロス	ニードルパンチ不織布	—	—	粘着フィルム※1
13	その他	孔あき	不織布 + 粘着クロス	自着ポリエステルクロス	EP不織布	—	—	—	穴あきプラスチックフィルム※2

通気層は網かけ部分で、※1は粘着層のない部分で通気する。 ※2は孔以外の部分で通気する。

なお、機械的固定に用いる複合タイプは、下地ムーブメントの影響を受けにくいので、今回の実験対象から外した。

2.3 試験体の種類

試験体は、13種類の通気緩衝シートにウレタン防水層の厚みが1mmと3mmのもの各1体と、その他に密着工法（14）の4体を加えた計30体を作製した。

密着工法は、ウレタン防水層の厚みが0.5mmで補強布が入っていないものを14-①、厚みが1.0mmで補強布が入って無いものを14-②、厚みが3.0mmで補強布が入って無いものを14-③、厚みが3.0mmで補強布が入っているものを14-④とした。試験体の一覧表を表2.3に示す。

表 2.3 試験体の一覧

シートの番号	試験体の記号	防水層の厚み(mm)	シートの番号	試験体の記号	防水層の厚み(mm)	シートの番号	試験体の記号	防水層の厚み(mm)
1	1-①	1	6	6-①	1	11	11-①	1
	1-②	3		6-②	3		11-②	3
2	2-①	1	7	7-①	1	12	12-①	1
	2-②	3		7-②	3		12-②	3
3	3-①	1	8	8-①	1	13	13-①	1
	3-②	3		8-②	3		13-②	3
4	4-①	1	9	9-①	1	14 密着 工法	14-①	0.5
	4-②	3		9-②	3		14-②	1
5	5-①	1	10	10-①	1		14-③	3
	5-②	3		10-②	3		14-④	3
14-①~③は補強布なし、14-④は補強布あり								

2.4 緩衝性能の実験方法

緩衝性能の評価方法として、JASS 8 のメンブレン防水層性能評価試験方法 (JASS 8 T-501) の 3.3 疲労試験に準拠して A 形試験体を作成して実験した。

(注：この試験方法の目的は、防水層下地の目地接合部、または下地に発生するクラックの動きに対する防水層の抵抗性を評価するものである。)

2.4.1 試験体の作成

試験体は 380×150×8mm のスレート板 (図 2.2) の上に通気緩衝シート (318~320×100mm) を張り付け、両端 (100×60mm) 補強布と立上がり用ウレタンで補強し、通気緩衝シートの上に平場用ウレタンを塗布する。ウレタン硬化後に長辺部を 5mm 幅で切り取り試験体を作製した。作製手順を図 2.3 に作製及び試験体取付けを写真 2.2~2.4 に示す。

・疲労試験用スレート板

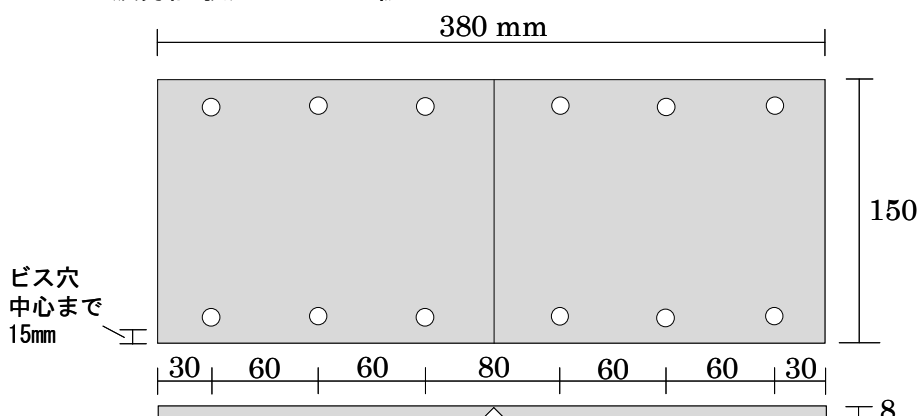
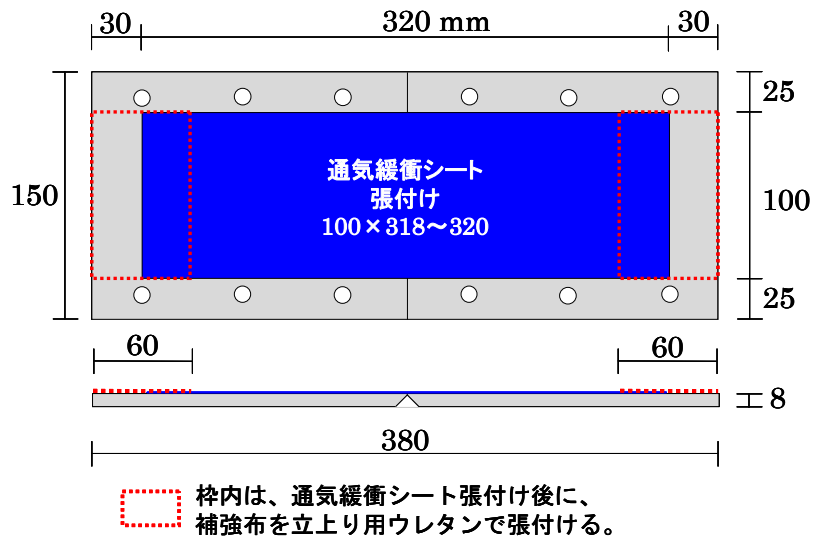
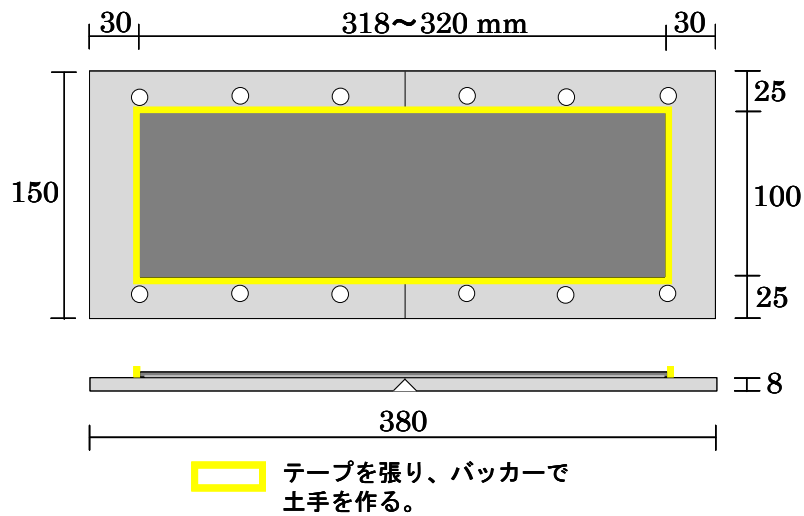


図 2.2 下地スレート板

・疲労試験体（下地：スレート板）の通気緩衝シート張付け範囲



・疲労試験体のウレタン塗布範囲



・疲労試験体の完成

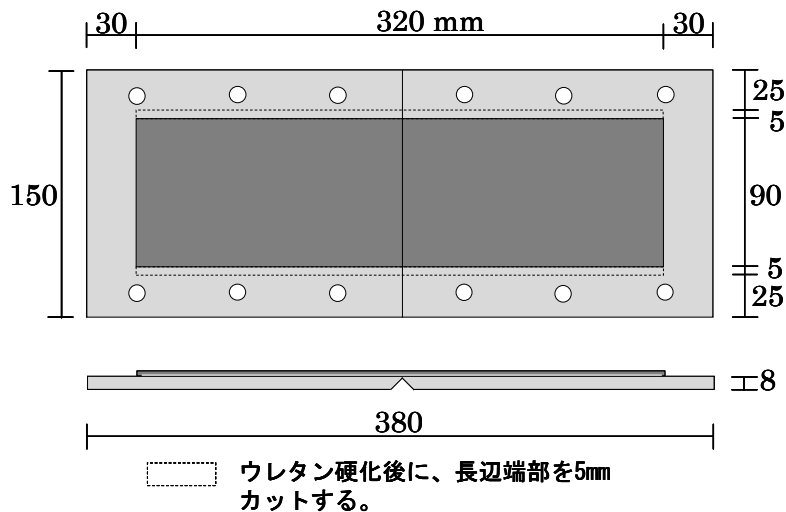
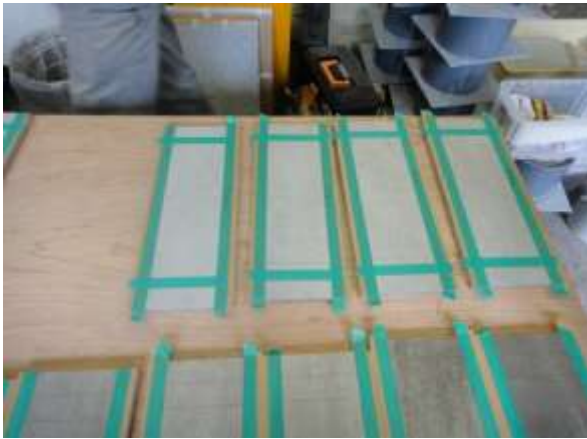
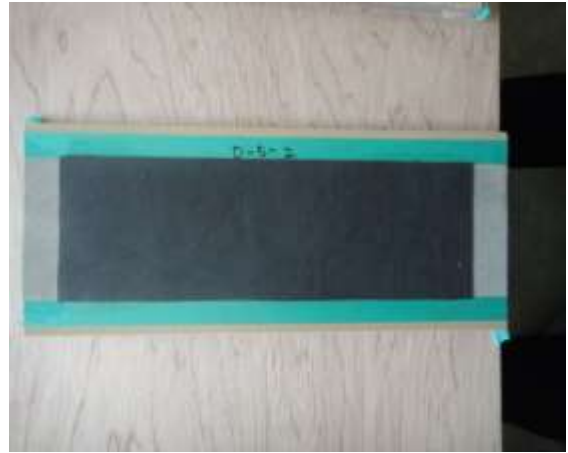


図 2.3 試験体の作製手順

1 養生



2 通気緩衝シートの張り付け



3 両端部の補強張り



4 ウレタン防水材塗布



写真 2.2 試験体の作製写真



写真 2.3 試験台に取付けられた試験体



写真 2.4 繰返し疲労試験体全景

2.4.2 試験工程

試験は工程Ⅰ（ムーブメント 0.5～1.0mm）→工程Ⅱ（ムーブメント 1.0～2.0mm）→工程Ⅲ（ムーブメント 2.0～5.0mm）の順で行うが、各工程では 20℃→60℃→-10℃の温度設定で 500 回の所定のムーブメントを繰り返した。試験工程を表 2.4 に示す。

表 2.4 繰返し疲労の試験工程

工程	Ⅰ			Ⅱ			Ⅲ		
ムーブメント (mm)	0.5～1.0			1.0～2.0			2.5～5.0		
ステップ	1	2	3	1	2	3	1	2	3
温度 (°C)	20	60	-10	20	60	-10	20	60	-10
繰返回数	500	500	500	500	500	500	500	500	500

※ その位置のムーブメントと温度で周期 10 分で 500 回行う。

試験工程の説明

- 1, ムーブメントの大きさ : 0.5～1.0 は小規模な現場打ち鉄筋コンクリートの屋根スラブ、1.0～2.0 は通常の現場打ち鉄筋コンクリートの屋根スラブやプレキャストコンクリート部材ならびに短い ALC パネルの接合部、2.5～5.0 は大型のプレキャストコンクリート部材ならびに長い ALC パネルの接合部に生じると予想されるひび割れを想定している。
- 2, 温度 : 60℃は夏期の直射日光下での露出防水を想定し、-10℃は我が国のほとんどの地域で試験データが必要とされる試験温度である。(外気温が-10℃以下になる地域ではステップ 3 を-20℃とし、0℃以下にならない地域ではステップ 3 を 0℃としてもよい)
- 3, 繰返し回数 : 防水層に与える下地ムーブメントの回数は1年間に 240～246 と仮定し、4500 回の繰返し回数は約 18 年の耐久性を想定している。(実際は経年により防水材料はその間に劣化するので、これより短い耐久性の評価となる)

《「JASS 8 T-501」の解説文からの抜粋引用》

2.5 実験結果

2.5.1 試験工程で起きた現象の分類

実験工程で起きた現象について、膜厚に関しては①膜厚減少・②破断に分類し、下地との付着に関しては③浮き・④剥がれに分類した。

代表的な現象を写真 2.5 に示す。



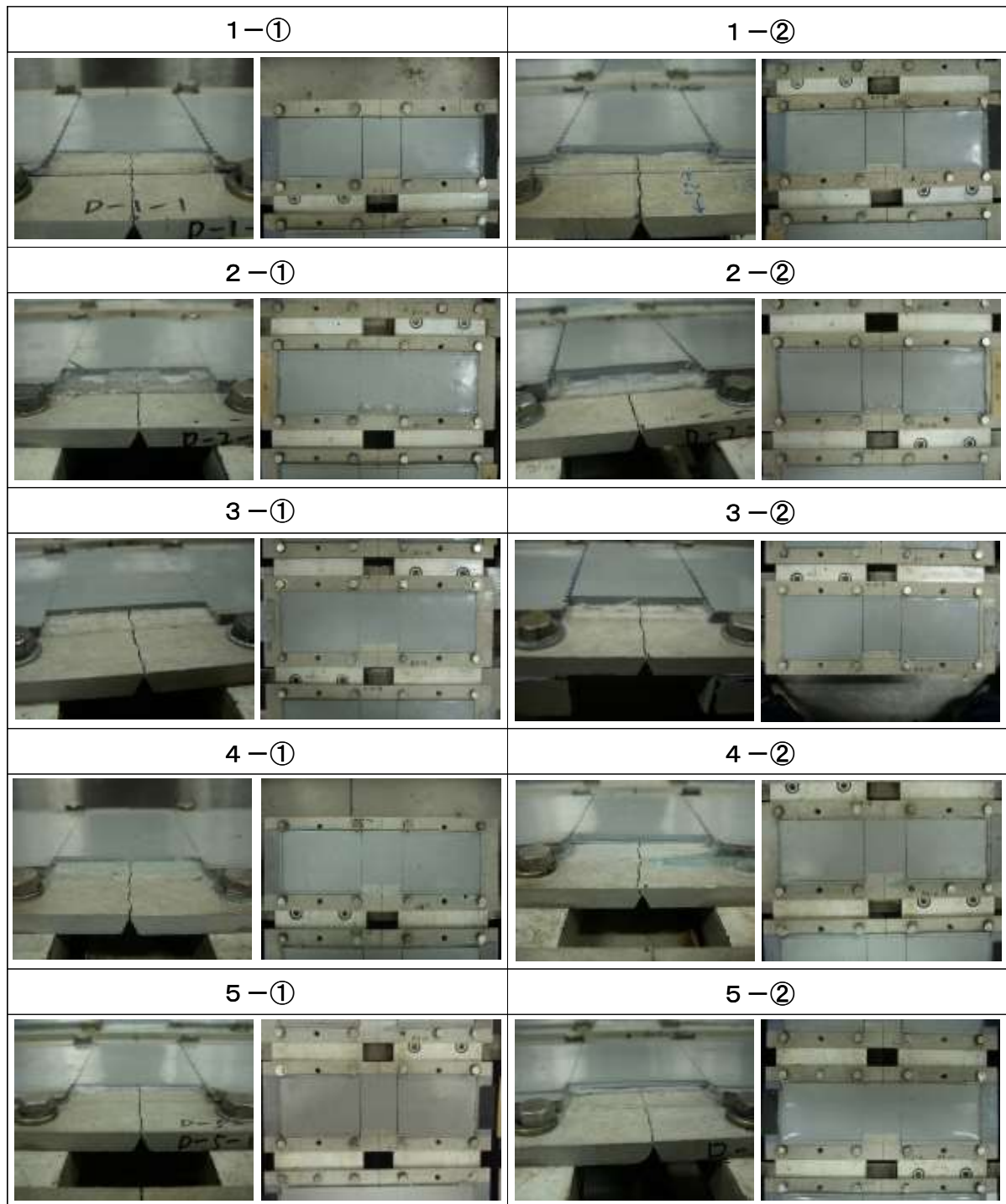
写真 2.5 代表的な①膜厚減少②破断③浮き④剥がれの現象

2.5.2 試験工程で判明した現象

























繰返し疲労試験の結果、各工程で起きた主な現象を写真 2.6 に示す。

写真 2.6 試験結果









工程 I (0.5~1.0) 終了時点



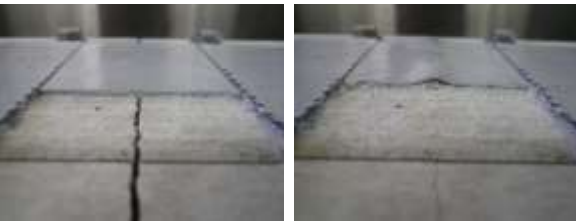

工程 I (0.5~1.0) 終了時点

6-①		6-②	
			
7-①		7-②	
			
8-①		8-②	
			
9-①		9-②	
			
10-①		10-②	
			
11-①		11-②	
			







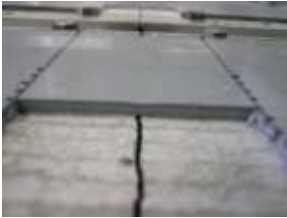

















工程 I (0.5~1.0) 終了時点

<p style="text-align: center;">1 2 - ①</p> 	<p style="text-align: center;">1 2 - ②</p> 
<p style="text-align: center;">1 3 - ①</p> 	<p style="text-align: center;">1 3 - ②</p> 
<p style="text-align: center;">1 4 - ① 膜厚減少</p>	<p style="text-align: center;">1 4 - ② 膜厚減少</p>
	
<p style="text-align: center;">1 4 - ③</p>	<p style="text-align: center;">1 4 - ④</p>
	

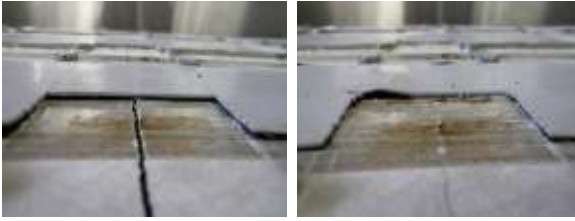











工程 II (1.0~2.0) 終了時点

<p style="text-align: center;">1 - ① 浮き</p> 	<p style="text-align: center;">1 - ②</p> 
---	---









工程Ⅱ (1.0~2.0) 終了時点

2-①		2-②	
			
3-① 浮き		3-②	
			
4-①		4-②	
			
5-① 浮き		5-②	
			
6-① 浮き		6-②	
			
7-① 浮き		7-② 浮き	
			



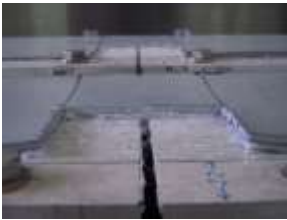









工程Ⅱ (1.0~2.0) 終了時点

8-① 剥がれ	8-② 剥がれ
	
9-① 剥がれ	9-②
	
10-① 浮き	10-②
	
11-① 浮き	11-②
	
12-① 浮き	12-②
	
13-①	13-②
	



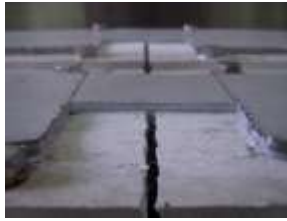





















工程Ⅱ (1.0~2.0) 終了時点

14-① 20°Cで破断		14-② 60°Cで破断	
			
14-③ 膜厚減少		14-④	
			













工程Ⅲ (2.5~5.0) 終了時点

1-① 剥がれ		1-② 剥がれ	
			
2-① 浮き		2-②	
			
3-① 60°Cで破断		3-② 膜厚減少	
			

工程Ⅲ (2.5~5.0) 終了時点

4-① 浮き		4-②	
			
5-① 剥がれ		5-② 剥がれ	
			
6-① 剥がれ		6-② 剥がれ	
			
7-① 剥がれ		7-② 剥がれ	
			
8-① 剥がれ		8-② 剥がれ	
			
9-① 剥がれ		9-② 剥がれ	
			

工程Ⅲ (2.5~5.0) 終了時点

<p>10-① 剥がれ</p>	<p>10-② 浮き</p>
	
<p>11-① 剥がれ</p>	<p>11-② 浮き</p>
	
<p>12-① 剥がれ</p>	<p>12-② 剥がれ</p>
	
<p>13-① 剥がれ</p>	<p>13-②</p>
	
<p>14-① 工程Ⅱ 20°Cで破断</p>	<p>14-② 工程Ⅱ 60°Cで破断</p>
	
<p>14-③ 膜厚減少</p>	<p>14-④ 膜厚減少</p>
	

5.3 試験結果の一覧

各現象を①膜厚減少②破断③浮き④剥がれ分類し、各試験体に当てはめた。

(○印は異常なしを表す)

各試験体の試験サイクル毎に現象を当てはめ一覧表を作成した。

一覧表を表 2.5 に示す。

表 2.5 試験結果一覧

ムーブメント (mm)	工程 1 0.5-1.0						工程 2 1.0-2.0						工程 3 2.5-5.0						
	20℃		60℃		-10℃		20℃		60℃		-10℃		20℃		60℃		-10℃		
試験体 記号	膜厚	付着	膜厚	付着	膜厚	付着	膜厚	付着	膜厚	付着	膜厚	付着	膜厚	付着	膜厚	付着	膜厚	付着	
不織布タイプ	1-①	○	○	○	○	○	○	○	③	○	③	○	③	○	④	○	④	○	④
	1-②	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	③	○	④	○	④
	2-①	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	③	○	③
	2-②	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	3-①	○	○	○	○	○	○	○	③	○	③	○	③	①	③	②	④	②	④
	3-②	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	①	○	①	○	①	○
	4-①	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	③	○	③
	4-②	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	③	○	○
	5-①	○	○	○	○	○	○	○	○	○	③	○	③	○	④	○	④	○	④
	5-②	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	③	○	④
	6-①	○	○	○	○	○	○	○	○	○	③	○	③	○	④	○	④	○	④
	6-②	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	③	○	④	○	④
	13-①	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	③	○	④	○	④
13-②	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
複合タイプ	7-①	○	○	○	○	○	○	○	③	○	③	○	③	○	④	○	④	○	④
	7-②	○	○	○	○	○	○	○	○	○	③	○	③	○	④	○	④	○	④
	8-①	○	○	○	○	○	○	○	③	○	③	○	④	○	④	○	④	○	④
	8-②	○	○	○	○	○	○	○	③	○	③	○	④	○	④	○	④	○	④
	9-①	○	○	○	○	○	○	○	③	○	③	○	④	○	④	○	④	○	④
	9-②	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	③	○	③	○	④
	10-①	○	○	○	○	○	○	○	○	○	③	○	③	○	④	○	④	○	④
	10-②	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	③	○	③	○	③
	11-①	○	○	○	○	○	○	○	③	○	③	○	③	○	④	○	④	○	④
	11-②	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	③	○	③
12-①	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	③	○	③	○	③	○	④	○	④
12-②	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	④	○	④
密着工法	14-①	①	—	①	—	①	—	②	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	14-②	①	—	①	—	①	—	①	—	②	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	14-③	○	—	○	—	○	—	○	—	○	—	①	—	①	—	①	—	①	—
	14-④	○	—	○	—	○	—	○	—	○	—	○	—	○	—	①	—	①	—

○：正常 ①：膜厚減少 ②：破断 ③：浮き ④：剥がれ

2.5.4 各現象の推定

試験結果の現象についての推定を図 2.4 に示す。

- ① 膜厚減少：繰返し疲労に対応できず ⇒ ムーブメント部の膜厚減少



- ② 破断：繰返し疲労に対応できず ⇒ ムーブメント部で破断



- ③ 浮き：シートの接着力が強いため ⇒ ムーブメント部で浮き（小面積）が発生、
ムーブメント真上に応力が集中 表面的には浮きが鮮明



- ④ 剥れ：シートの接着力不足による剥がれ ⇒ 幅広く剥がれた部分が伸びたため、
表面的には目立たない



図 2.4 事象についての推定

2.5.5 試験結果の評価

実験を行った結果、以下の知見が得られた。

- 1) 工程Ⅰの終了時では、通気緩衝工法（1-①～13-②）には何の現象も発生しなかった。密着工法ではウレタンの膜厚の薄い 14-①と 14-②には膜厚減少が起きた。
- 2) 工程Ⅱの終了時では、通気緩衝工法には一部に浮き・剥がれは起きているが膜厚減少・破断は起きていない。密着工法ではウレタンの膜厚の薄い 14-①と 14-②には破断が起き、厚い 14-①でも膜厚減少が起きた。
- 3) 工程Ⅲの終了時では、通気緩衝工法には一部に浮き・剥がれは起き、3-①は破断、3-②は膜厚減少が起きている。密着工法ではウレタンの膜厚の厚い 14-③は膜厚減少が進み 14-④も膜厚減少が起きた。
- 4) 通気緩衝シートは下地に発生したひび割れモーメントからウレタン防水層の膜厚減少・破断させない性能が明らかで、さらにウレタンの厚みが 1mm よりも 3mm の方が浮き・剥がれが起きにくい。

2.6 まとめ

緩衝性能の評価方法として、JASS 8 のメンブレン防水層性能評価試験方法（JASS 8 T-501）の 3.3 疲労試験方法を採用して、通気緩衝工法と密着工法の A 形試験体を作成して実験した結果、密着工法に比べて通気緩衝シートを採用することで『下地のひび割れにより発生する防水層への応力を緩和し、負担を軽減する』性能が再現され、緩衝性能の試験方法として有効であることが判った。その性能の判定基準としてはウレタンの膜厚を 3mm とし工程Ⅲ終了時に破断がないこととしたい。

3. 通気緩衝シートの透気性能と評価方法の検討

3.1 研究の背景

通気緩衝工法の普及により、以前には多発していたふくれの問題はかなり減少したが、この工法の要となる通気緩衝シートの通気性能については、材料が経験的に開発、使用されてきたという経緯のため、どのようなものが適切なのかという議論が充分ではなく、それを評価するための試験方法の開発、さらには品質基準の策定が望まれていた。

これを受けて、1986年版 JASS 8 に初めて試験方法²⁾が提案され、さらに1993年版 JASS 8 の解説のなかに品質基準(案)³⁾として通気緩衝シートの物性値が提示された。

具体的には図 3.1.1 に示すように、石綿スレート板を下地とし、通気緩衝シートを施工後、側面から圧力の漏洩がないように、シーリング処理を行い、その上に塗膜防水を施工する。図 3.1.2 に示すような試験装置を試験体に取り付け、10mmAq の圧力空気を試験体の送気口から送り、微小流量計により1分当たりの流出空気を読み取る。

しかし、この試験法は技術的に難しい点多々あり、試験結果が安定しない等の問題、また規格値の意味が明快ではない等の理由(“1分間の流出空気が170cm²の場合のシステムは、ふくれが生じていないという事例があり、参考となろう。”という記述のみ。)のため、それほど活用されないうまま2000年の改訂版からは、それが削除されてしまった。

しかし、近年補修改修工事の増加に伴い、さらに多種多様の通気緩衝シートが実務で使用されるようになり、再度、その評価とふくれ防止効果の検証が求められるようになった。また、ふくれ防止には、排気のための脱気筒を設置することも多いが、脱気筒の数や位置は、通気緩衝シートの通気性(透気性)のデータをもとに設計・設置される必要がある。残念ながら現状ではそれができておらず、経験的に25~100m²に一箇所程度という経験的な指示しか与えられていない。今後に期待されている合理的な脱気設計には、通気緩衝シートの通気性(透気性)の定量的評価が不可欠である。

これらを背景に、本章では通気性(透気性)を的確に測定しうる試験法を開発すること、またその結果を用いて通気緩衝シートの効果を考察することを目的とする。

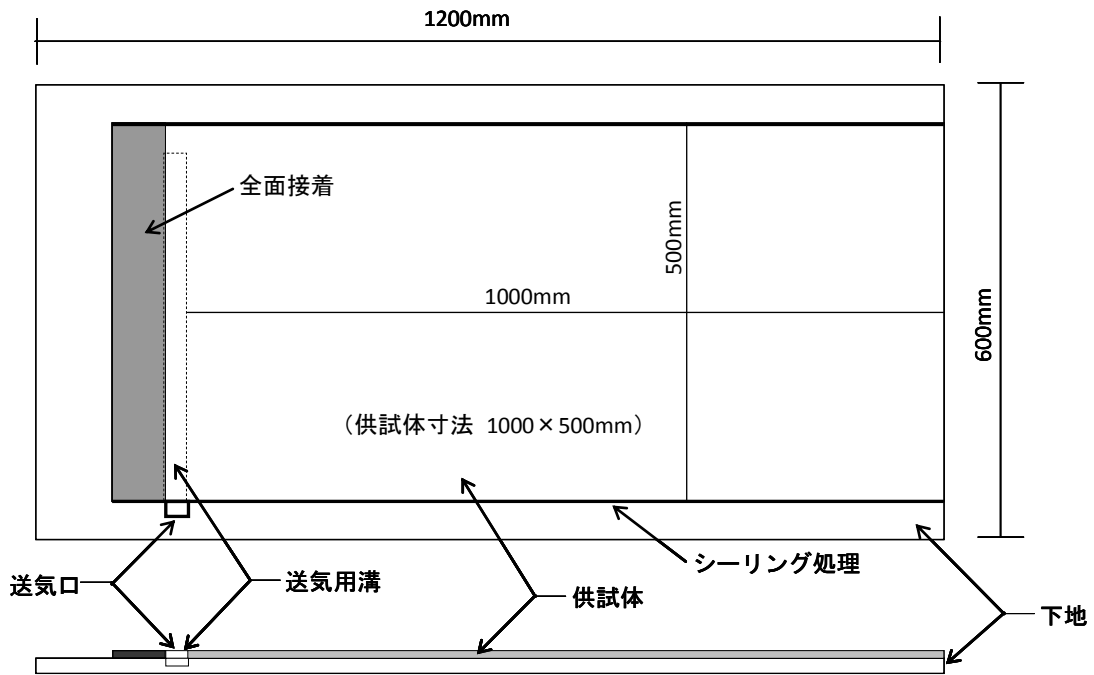


図 3.1.1 現行の試験体

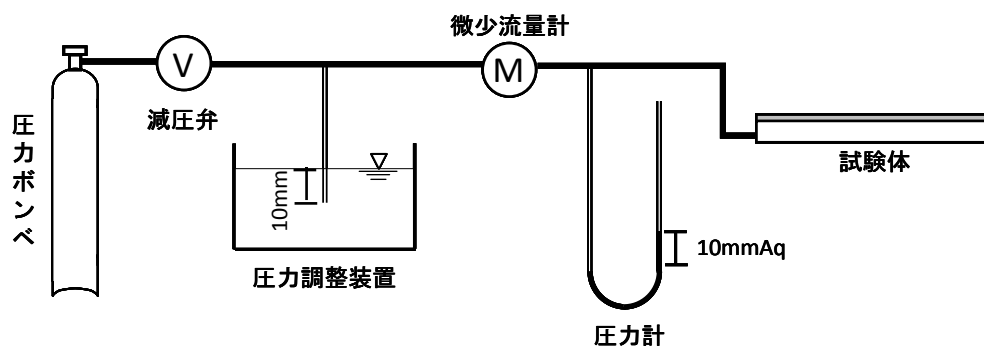


図 3.1.2 現行の試験装置

・既往の研究

通気緩衝シートの脱気効果に関する研究はそれほど多くはないが、初期の研究としては JASS 8 のふくれ試験に準拠した通気試験が森山等によってなされている。引き続き透湿試験、ふくれ試験も北山等によりなされ、試験結果の意義について述べられている。

また通気性との関連で、呼吸性をもつシートの開発が添田等によりなされ、ふくれ防止に有効な防水システムとして提案されている。同様な材料・工法の開発が山田等、武田等によってもなされ、より作業性も考慮された通気緩衝シートが報告されている。

これらはいずれもいろいろ実験がされているものの、シートや工法の開発が目的であり、試験方法の開発や測定の意味等については議論されていない。またウレタン塗膜防水層や通気緩衝シート工法は、わが国を中心に発展させた工法であるため、海外についてもこの種の研究は、筆者等の知る範囲ではほとんどない

・森山聡、土田恭義、北山大

防水層の通気性評価方法に関する研究（その1）予備的検討

日本建築学会大会学術講演梗概集 A（近畿）、pp. 907-908, 1996. 9

・北山大、土田恭義、森山聡

防水層の通気性評価方法に関する研究

日本建築学会大会学術講演梗概集 A（関東）、pp. 355-356, 1997. 9

・北山大、新納敏文

防水層の通気性評価方法に関する研究（その3）ふくれ空間内部温度湿度に関する実験的考察

日本建築学会大会学術講演梗概集 A（九州）、pp. 201-202, 1998. 9

・添田智美、北山大、新納敏文、近森芳裕、小野雅司、福田健太郎、福井善健、平山勲、鈴木悦之 透湿性防水シートの開発

日本建築学会報告集、第16号、pp. 31-36, 2002. 12

・山田靖司、野口秀夫、富岡賢一、渡辺光

密着通気クロスの開発及びそれを用いた防水層の性能試験（その2 下地への接着力と通気性能）

日本建築学会大会学術講演梗概集（北海道）、pp. 919-920, 2004. 8

・武田晋治、阿知波政史、加藤香織、富岡賢一、野口秀夫

2成分反応形アクリルゴム系塗膜防水材を用いた環境対応形通気緩衝工法の開発

日本建築学会大会学術講演梗概集（近畿）、pp. 835-836, 2005. 9

3.2 通気緩衝シートの脱気効果確認試験

まず、通気緩衝シートが防水層と下地コンクリート間に発生するふくれ圧力を低減させるかどうか、実大スケールの試験体を作製し、脱気効果の確認試験を行った。

3.2.1 試験体

脱気効果確認のための試験体としては、ある程度の大きさが必要であり、ここでは2m×2mとし、コンクリート厚さは実際の屋根スラブを想定して150mmとした。試験体は3体作製し、コンクリートは普通の建築工事に使われる程度の、表3.2.1に示す調合のものを使用した。

防水層は、コンクリート裏面開放下地のものはウレタンの密着工法とした。コンクリート裏面密閉のものはウレタンの密着工法と通気緩衝シート挿入工法（孔あき不織布タイプ、厚さ1.8mm）の2種類とした。これら試験体の構成を図3.2.1に示す。

表 3.2.1 下地コンクリートの調合

W/C (%)	単体量 (kg/m ³)						スランブ (cm)
	水	セメント	細骨材①*3	細骨材②*4	粗骨材*5	混和剤	
56.5	178	316	689	172	917	3.19	18

- *1 上水道水・上澄水, *2 普通ポルトランドセメント,
- *3 砕砂(栃木県佐野市閑馬町産),
- *4 川砂(千葉県印旛郡栄町)利根川,
- *5 AE減水剤標準型I種

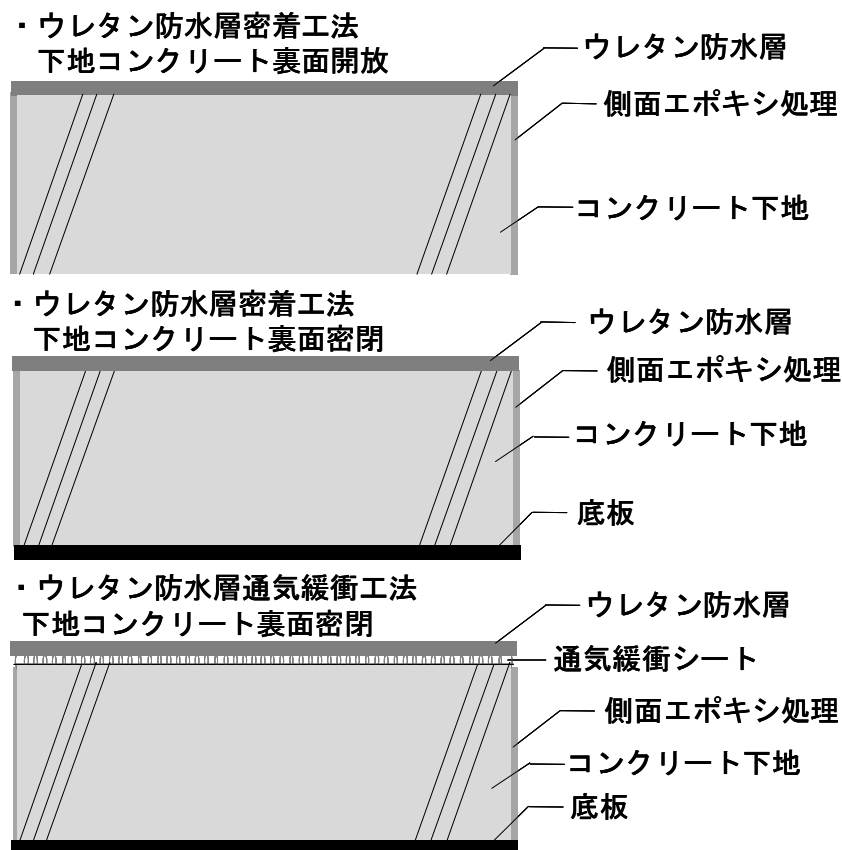


図 3.2.1 コンクリート試験体の種類

3.2.2 試験体の施工

(1) 表 3.2.1 の調合で、コンクリートをメッシュ鉄筋の敷設してある型枠内に打設した (2009.4.23)。(写真 3.2.1) (写真 3.2.2)



写真 3.2.1 試験体型枠



写真 3.2.2 コンクリート打設

(2) 打設後、左官仕上げを行い、表面を平らにした (写真 3.2.3)。

(3) コンクリート表面が適度に硬化してきた時に、ふくれ圧力を測定するための、直径 22mm、深さ 10mm の穴を開け、これをふくれ模擬空間とした。(写真 3.2.4)



写真 3.2.3 表面左官仕上げ



写真 3.2.4 ふくれ模擬空間の作製

(4) コンクリート試験体にビニールシートを掛け、散水養生を 2 週間行った。

(写真 3.2.5)

(5) 打設 2 週間後 (2009.5.7) に脱型した。試験体 3 体のうち、2 体はデッキプレート上を想定して底板を残した。1 体は通常のコンクリートスラブを想定して底板を除去し、下地裏面を開放した (写真 3.2.6)。



写真 3.2.5 散水養生



写真 3.2.6 底板除去

(6) 脱型後直ちに、試験体側面にエポキシ樹脂によるコーティングを行った。

(写真 3.2.7) これは、後述のふくれ圧力測定時に側面からの散逸を防止するためである。

(7) 1週間放置後(2009.5.13)に、防水層を施工した。通気緩衝シートを施工する試験体では、シートをコンクリート下地に接着し、立上り用ウレタンを塗布する(写真 3.2.8)。



写真 3.2.7 側面エポキシ樹脂コーティング



写真 3.2.8 通気緩衝シートの施工

その上から、ウレタン防水材(JIS A 6021、1類適合品平場用)を、試験体表面に厚さ約3mmになるように塗布した(写真 3.2.9)。他の2試験体は、コンクリート下地に、補強布を張り、立上り用ウレタンを塗布した上に、ウレタン防水材を同様に塗布した。また、通気緩衝シート工法試験体は、ふくれ圧力を端部から脱気するように設計した。単部からの雨水の進入を防止するために、薄いプラスチックのL字部材を取り付けた。(図 3.2.2)(写真 3.2.10)

(8) 2日後(2009.5.15)に、試験体表面に黒のトップコートを塗布した(図 3.2.11)。これは、試験体表面の保護、また温度上昇を顕著なものにするためである。



写真 3.2.9 平場用ウレタン塗布

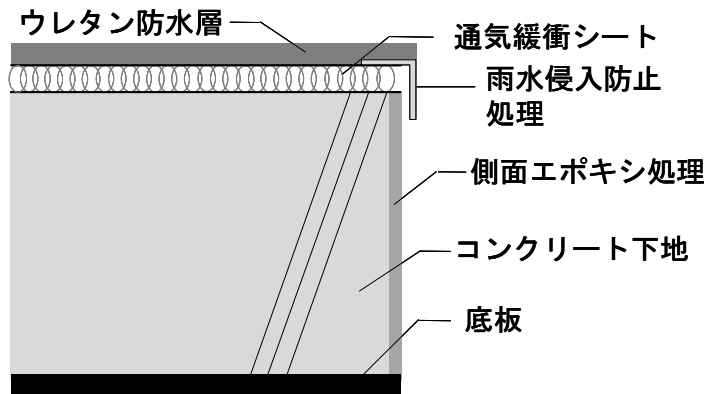


図 3.2.2 ウレタン防水層通気緩衝工法試験体側面の納まり



写真 3.2.10 ウレタン防水層通気緩衝工法試験体の側面納まり



写真 3.2.11 試験体表面トップコート塗布

3.2.3 ふくれ圧力測定装置の設置

下地コンクリート打設時に開けたふくれ模擬空間に、防水層のふくれ内部の圧力測定のために、図 3.2.3 に示すようにブルドン管方式の圧力計を取り付けた。この圧力計は正圧しか測定できない機構のため、防水層温度が低下する夜間に生じる可能性のある負圧⁴⁾を測定できないという短所をもつが、もともと防水層のふくれの発生は正圧で生じる現象であり、ここでは正圧の測定を対象とした。また圧力測定に合わせて、別途用意したふくれ模擬空間内に熱電対を設置し、空間内温度も測定した。

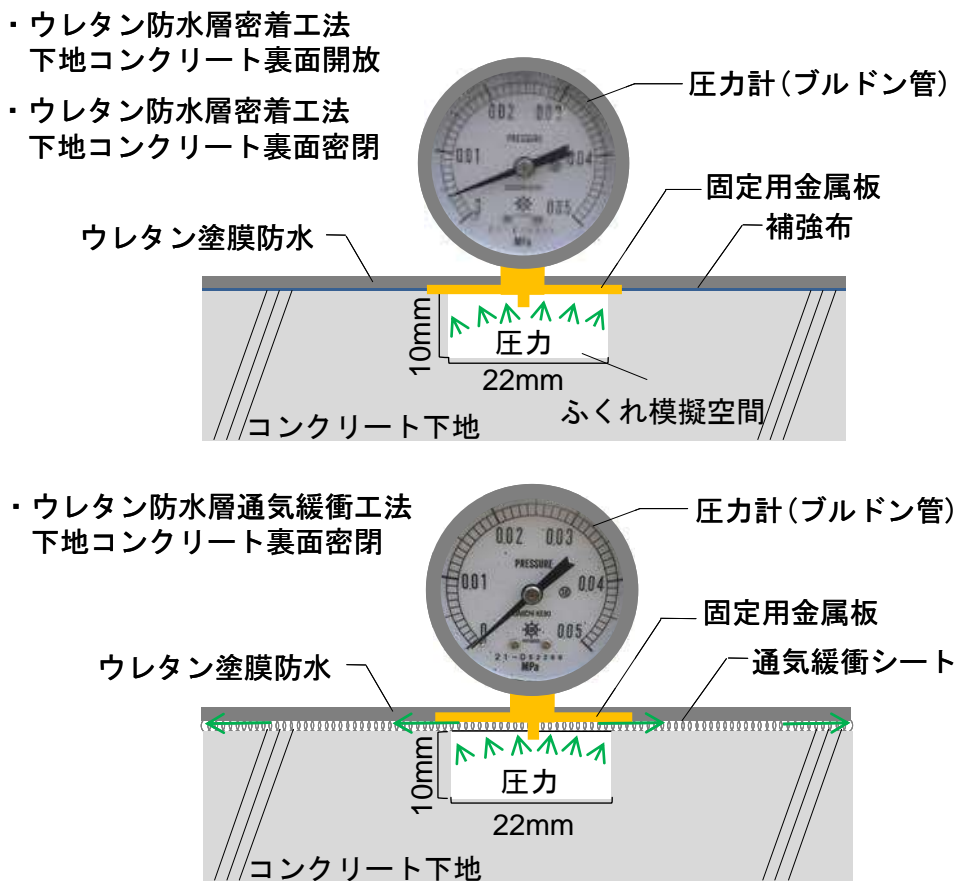


図 3.2.3 圧力計の設置図

3.2.4 測定の概要

試験体は写真3.2.12に見られるような日当たりの良い敷地(埼玉県戸田市)に、水平に設置した。

(1) 防水層施工後、顕著な圧力上昇の見られるようになった2009年6月11日から毎日12:00に圧力計を目視にて測定し、温度データをデータロガーで収集した。測定は夏期の4ヶ月間行った。

(2) 2009年7月15日4:30~7月16日4:30までの24時間、30分おきに圧力計を目視にて測定を行い、温度データをデータロガーにて収集した。



写真 3.2.12 試験の状況

3.2.5 測定結果

(1) 2009年6月11日~10月11日の12:00の模擬空間内温度と圧力の測定結果

模擬空間内の温度の測定結果を図3.2.4、圧力の測定結果を図3.2.5に示す。測定期間中のふくれ模擬空間内の圧力は、ウレタン防水層密着工法の場合、コンクリート下地裏面が開放されている試験体では、それほど大きな圧力は観測されておらず、最大でも3kPaであったが、同じ密着工法でも裏面が型枠材で密閉されている場合は、模擬空間内圧力が高まり、2009年7月30日に最大9kPa(模擬空間内温度55°C)を観測した。

一方通気緩衝シートを挿入した工法では、下地コンクリート裏面が密閉されている場合でも、圧力上昇はほとんど見られず、ふくれ模擬空間内部の圧力は通気緩衝シートを通して、外部に放出されていることが確認された。

(2) 2009年7月15日4:30~16日4:30までの模擬空間内温度と圧力の測定結果

模擬空間内の温度と圧力の測定結果を図3.2.6に示す。温度上昇に伴い、対応するように圧力も上昇している。ふくれ模擬空間内の圧力は、ウレタン防水層密着工法の場合、コンクリート下地裏面が開放されている試験体では、最大でも1kPaであったが、同じ密着工法でも裏面が型枠材で密閉されている場合は、模擬空間内圧力が高まり、最大8kPa(模擬空間内温度54°C)を観測した。一方通気緩衝シートを挿入した工法では、圧力上昇はほとんど見られなかった。

ふくれ模擬空間内温度 (°C)

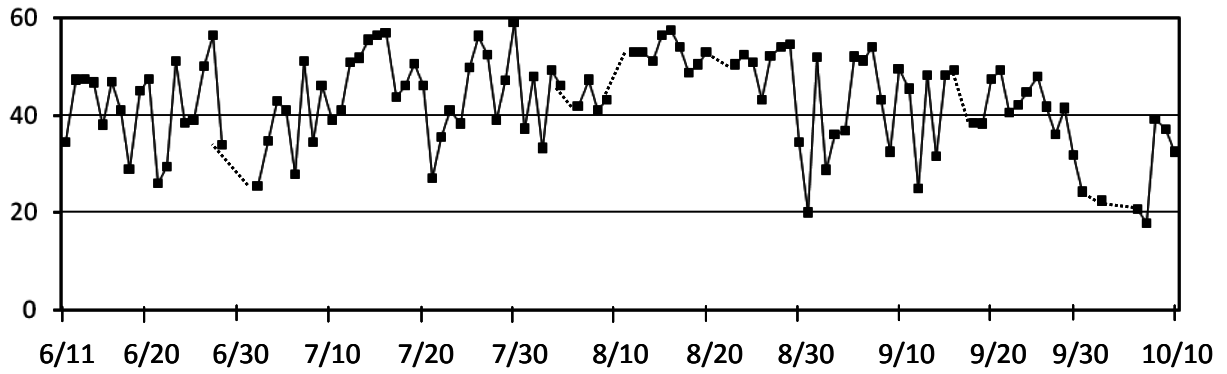
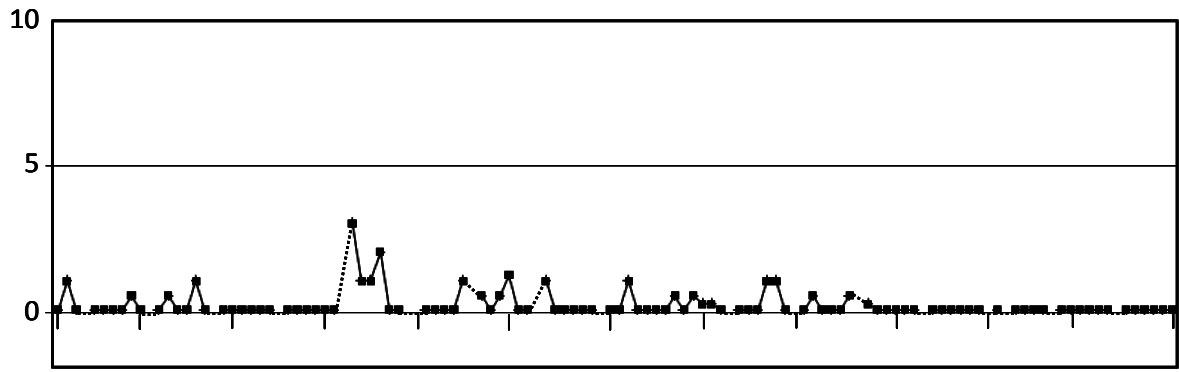


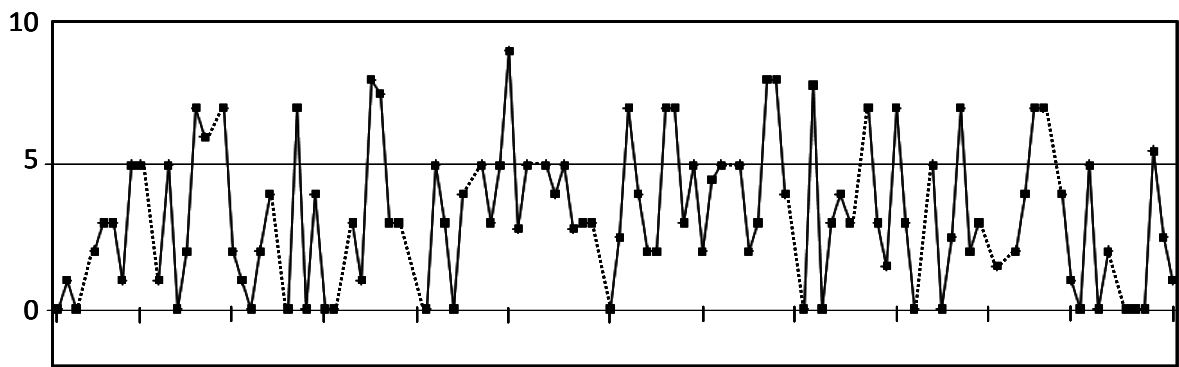
図 3.2.4 測定期間中の12:00の模擬空間内温度 (.....) 欠測

密着工法・下地コンクリート裏面開放



密着工法・下地コンクリート裏面密閉

ふくれ模擬空間内圧力 (kPa)



通気緩衝工法・下地コンクリート裏面密閉

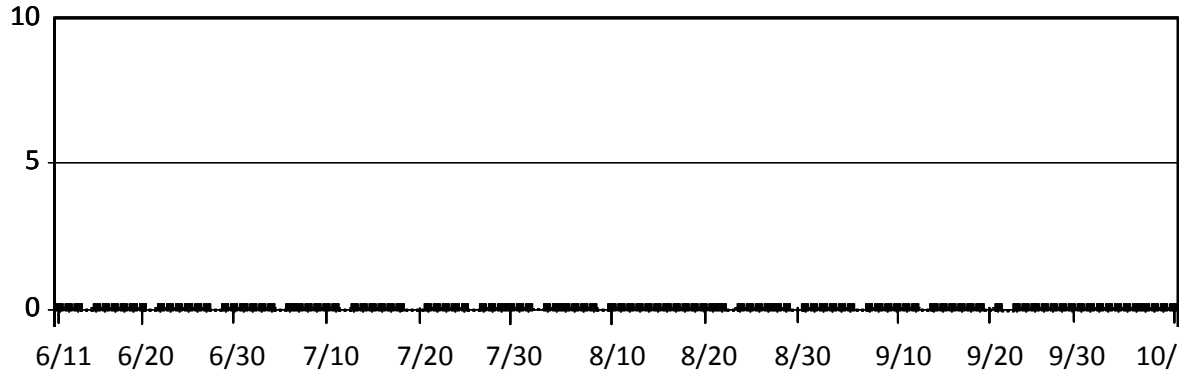


図 3.2.5 測定期間中の12:00の模擬空間内圧力 (.....) 欠測

3.2.6 まとめ

- ・実大のコンクリート下地に、ふくれ模擬空間を作った試験体を用いて、屋外で圧力を測定し、圧力はスラブ下面の状態が影響を及ぼすことを明らかにした。
- ・3つの試験体の中で、下地コンクリート裏面密閉の場合は夏期に最大9kPaの観測値を得た。
- ・防水層と下地スラブの間に通気緩衝シートを敷設することにより、圧力上昇を抑制できることが確認できた。

3.3 通気緩衝シートの透気性能試験装置の開発

3.3.1 概要

通気緩衝シートの役割は、ふくれ内部圧力を分散・放出させることである。そのためここで開発する試験装置は、この状態を再現しつつ、透気性を表す物理量として、透気係数を求めることを目指した。そのため、通気緩衝シート層の一方に圧力を加え、多端から流出する空気量を測定する図3.3.1に示す装置を作成した。基本原理は1986年版JASS 8に提案されているメンブレン防水層の性能評価試験方法（案）「下地との間の通気抵抗試験」（図3.1.1）を基としたものであるが、透気係数を測定するために、いくつかの変更と改善を行った。

まず、測定系における流量計の設置位置である。1986年版で指示されている位置は、おそらくは試験のしやすさを優先させたためと推定されるが、流量測定が試験体の前方で行われるようになっている。しかし、ここでは気体がまだ圧縮状態にあり、例えば圧力を変えた測定を行おうとすると、密度が変わるために、たえず補正が必要となる。この点の解決のために、流量計は気体が試験体を通過した後の位置に設置することとした。

次に試験体を施工する下地板であるが、その材質を石綿スレート板から金属材に変更した。石綿スレート板はコンクリートと材質が近いので下地材としては望ましいが、精度の良い平面が確保しにくいこと、また下地板には送気・排気のための溝が必要であるが、材料が脆いため、精度良い溝切り加工が難しい。これも測定値を不安定にした要因のひとつと推定される。そのためここでは、試験体の取り扱い易さも考慮して、アルミ材を使用することとした（写真3.3.1）。

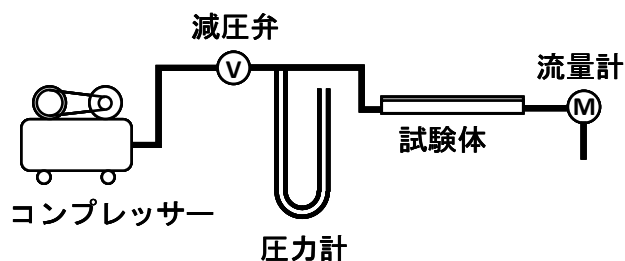


図 3.3.1 測定装置の構成



写真 3.3.1 試験体下地

(1) 試験体

試験体は JASS 8 試験法と同様に測定有効幅を 300mm としたが、試験体長さは、通気緩衝シート長さの透気係数に及ぼす影響を調べる目的で、300、500、1000、2000mm の 4 段階を用意した (図 3.3.2)。試験体は、それぞれ 3 つずつ施工し、計 12 体施工した。

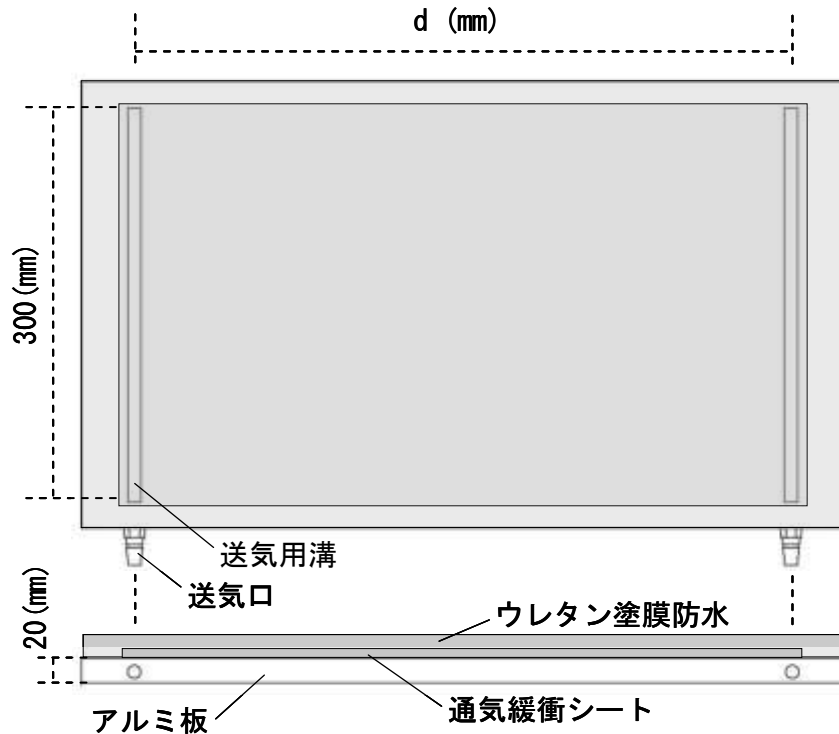


図 3.3.2 試験体図

(2) 試験体の施工

防水層の施工は通常行われる手順に準拠し、プライマーを塗布し (写真 3.3.2)、次に通気緩衝シートを敷設し (写真 3.3.3)、通気緩衝シートの端部はエポキシ樹脂で完全に封をし、端部からの空気の漏洩を防止し (写真 3.3.4)、立上り用ウレタンを塗布した (写真 3.3.5)。その上からウレタン系塗膜防水材料を、厚さ 3mm となるように塗布した (写真 3.3.6)。施工した試験体を写真 3.3.7 に示す。



写真3.3.2 プライマー塗布



写真 3.3.3 通気緩衝シート張り付け



写真 3.3.4 試験体側面シール



写真 3.3.5 立ち上り用ウレタン塗布



写真 3.3.6 ウレタン塗膜防水塗布



写真 3.3.7 施工した試験体

(3) 試験方法

写真 3.3.8 のように、試験装置に試験体を取り付け、圧縮空気を試験体の送気口から送り込んだ。なおその時の負荷圧力であるが、1986 年度版 JASS 8 試験法では 10mmAq ($10\text{kg}/\text{m}^2=98\text{Pa}$) と低圧であり、測定される流出空気量が微量となり、測定値が安定しないという問題があった。前節の模擬ふくれ空間の圧力の実測では、はるかに高い 9kPa 程度が観測されており、もう少し圧力を高めて測定しても良いと思われるので、ここでは 100Pa ごとに圧力を高め、流量計の目盛を目視で読み取り、2kPa までの範囲で測定を行った。なお測定は、20℃の恒温室内で行った。

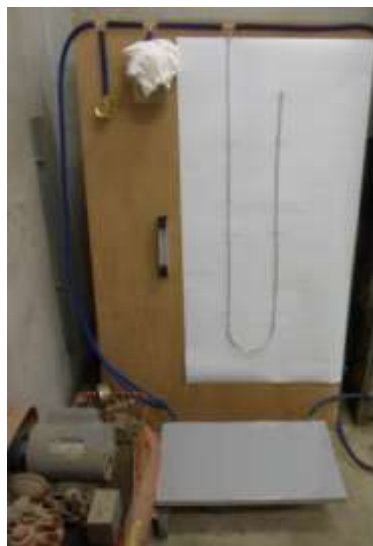


写真 3.3.8 試験装置

3.3.2 試験結果

JASS 8 試験法では試験体への流入空気量を測定することになっており、経験的に流量が 170cm³/min (0.17ℓ/min) 以上あれば良いとされている。しかしこれがどのような物理的意味をもつのか明確ではなかった。そのためここでは、測定の物理的意味の明確な透気係数を求めることとした。透気係数は、ダルシーの式に空気の圧縮性を考慮し、定常流の透気量を測定することにより次式より求めた⁵⁾。

$$K = \frac{2 d \eta P_1 Q}{(P_2^2 - P_1^2) A} \quad \dots\dots\dots (3.3.1)$$

ここで k : 透気係数(m²)、Q : 透気量(m³/s)、d : 試験体長さ(m)、P₁ : 大気圧(Pa)、P₂ : 载荷圧力(Pa)、A : 透気面積(通気緩衝シートの厚み×有効幅)(=3.6×10⁻⁴m²)、η : 空気粘性係数(=1.8×10⁻⁵ Pa・s)である。

測定した各試験体の透過後の流量(ℓ/min)をもとに透気量Q(m³/s)を算出し、この透気量と载荷圧力を3.3.1式に代入して計算した。透気係数と圧力との関係を図3.3.3に示す。

試験体を通して流出流量の測定が出来始めるのが、試験体の長さによるが、200Pa もしくは 300Pa であった。その後は加圧力の増加に伴い透気係数は少しずつ上昇するが、500Pa からは安定した。1986年版 JASS 8 試験法で、測定結果の安定しなかった理由はこの透気係数の変わりやすい領域、すなわち 200Pa 以下の透気の安定しない領域の測定であったためと思われる。そのためここでは、この安定した領域の透気量をもとに透気係数を求めた。それぞれの長さの試験体、3体の平均値から、本測定で使用した通気緩衝シートの透過係数 5.0×10⁻¹⁰m²を算出した。また、試験体長さの影響も多少見られ、試験体長さが長くなるに従って、透気係数は多少上昇する傾向は見られるが、試験体長による差は、ごくわずかであった。

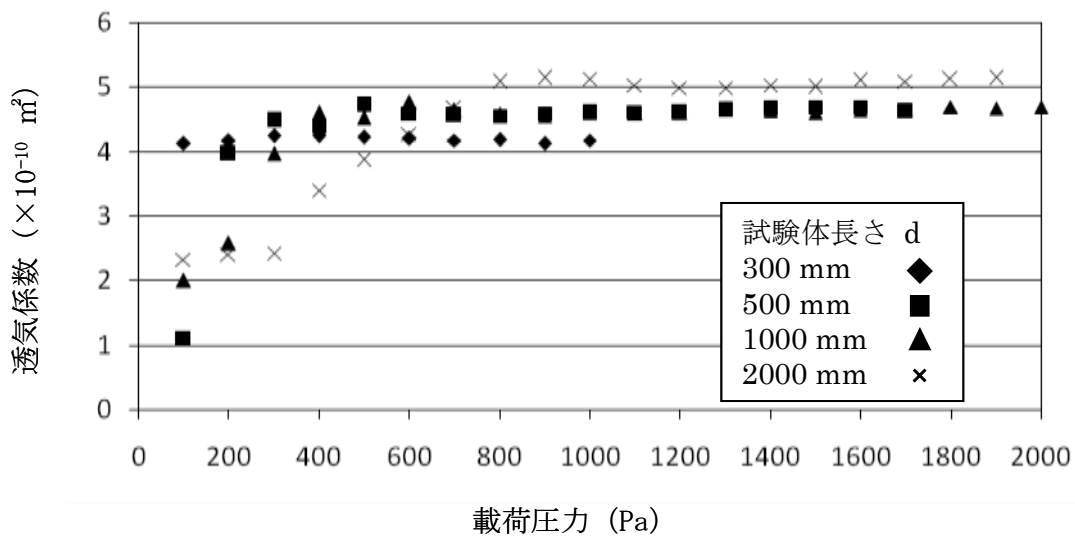


図 3.3.3 载荷圧力と透気係数の関係

また、試験体長さ 2000mm の測定時に、载荷圧力を 5400Pa の高圧域までかけたところ、図 3.3.4 に示す結果を得た。800~2000Pa 付近で安定していた透気係数は 2000Pa を超えた付近から、徐々に増加していく傾向が見られた。同時に、試験体の防水層表面に徐々にふくれが見られたことから、透気面積 A (㎡) が大きくなったことにより、透気しやすくなったものと思われる。しかし実際には、前節での結果から、通気緩衝シートは常にふくれ圧力を外部に脱気しており、このような高圧が、常に生じているとは考えにくい。したがって、安定した透気係数が得られた領域での値を、通気緩衝シートの透気係数とした。

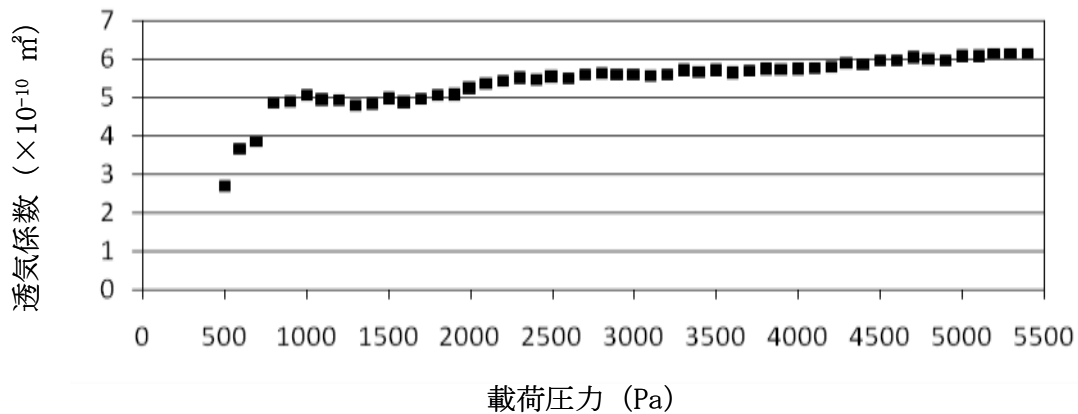


図 3.3.4 高圧域までの载荷圧力と透気係数の関係

3.3.3 まとめ

- (1) 通気緩衝シートの性能評価試験方法に、透気係数測定法を開発、提示した。
- (2) 試験体長さの影響も多少見られ、試験体長さが長くなるに従って、透気係数は多少上昇する傾向は見られるが、試験体長さの差はごくわずかであった。
- (3) 透気係数測定法を用いて、前節で用いた通気緩衝シートの透気係数 $5.0 \times 10^{-10} \text{ (m}^2)$ を得た。

3.4 数値計算モデル

通気緩衝シートの使用によるふくれ内部の圧力状態を、数値計算の面から検討することは、その役割を説明するばかりではなく、その効果を定量的に評価することも可能となる。ここでは、前項で測定した透気係数を用いて数値計算を行い、通気緩衝シート使用の効果について考察する。数値計算モデルは、3.2節での屋根スラブを想定した実大試験体による測定を対象とする。そのため、実大試験を図3.4.1に示す圧力の拡散および熱伝導を考慮した、3つの二次元拡散モデルに置き換え、計算は前進差分法を用いた。差分計算におけるそれぞれの節点では、熱伝導による温度勾配から熱膨張圧と水蒸気圧の変化が生じ、圧力勾配に伴う拡散が生じるものとした⁵⁾。

コンクリート下地裏面を開放したモデルでは、裏面に面する点の圧力と外気圧との差分計算を行い、コンクリート下地裏面を密閉したモデルでは、裏面に面する点で下方向に拡散が生じないものとした。下地コンクリート表面にはウレタン塗膜防水層が施工されているものとし、表面に面する点では、拡散してきた圧力は上方向には拡散しないものとして計算を行った。

下地表面に、通気緩衝シートを施工したモデルでは、コンクリート表面まで拡散してきた圧力が、通気緩衝シートを通して拡散し、上方向には拡散しないものとし、通気緩衝シートの透気係数により横方向に拡散するものとした。また通気緩衝シート端部では、外気に面する点の圧力と外気圧との差分計算を行った。

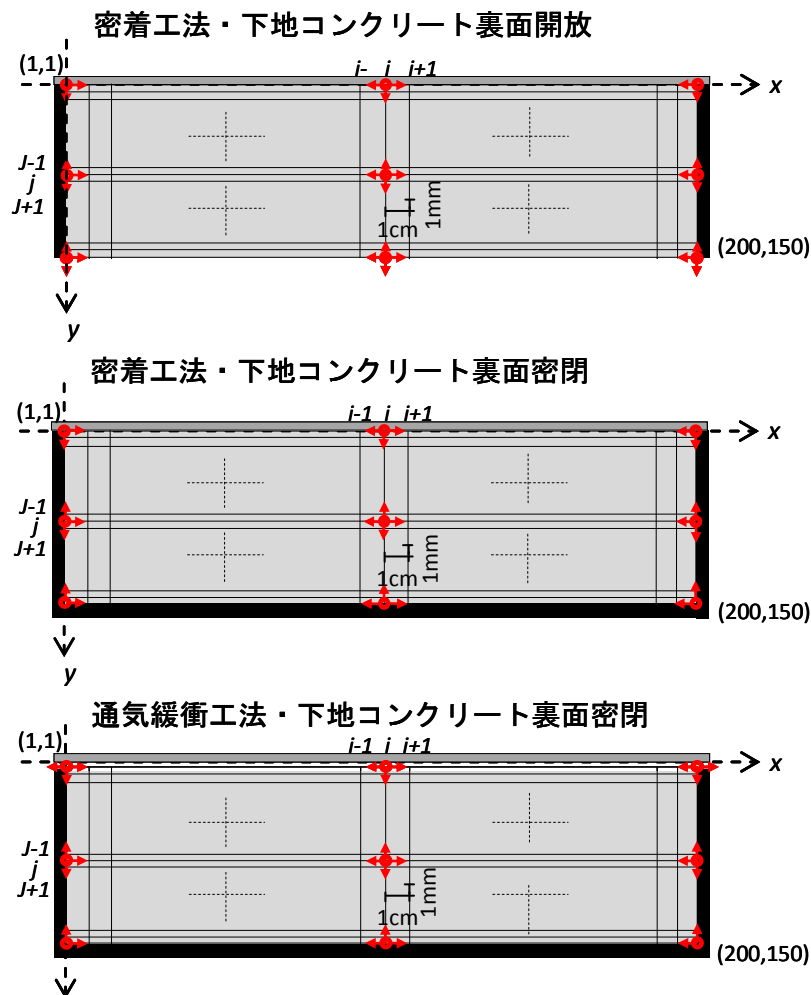


図 3.4.1 数値計算モデル

3.4.1 数値計算

(1) ふくれ圧力挙動理論式

既往の論文⁵⁾から、ふくれ形成圧力の理論式は、水蒸気圧、空気膨張圧の変化と圧力のコンクリート中への拡散、通気緩衝シート内と通して外部への拡散から成る。また拡散は透気性から導くことが出来る。以下に、ふくれ形成圧力の理論式を導く。

コンクリートの空隙中のある温度における、湿り空気の圧力を、乾燥空気の分圧と水蒸気分圧に分けて考えれば、

$$P = \frac{P_0}{\rho_0 T_0} \rho T + P_v \quad \dots\dots\dots (3.4.1)$$

となる。ここで、 P は全圧、右辺第一項は乾燥空気の分圧で ρ は乾燥空気の密度、 T は絶対温度であり、 P_v は水蒸気分圧である。また、添字の 0 はそれぞれの初期値を意味し、 P_0 は全圧の初期値であるが、初期温度が 20°C 程度であれば、乾燥空気の分圧の初期値とみなせる。

温度が上昇し、空気の圧力が高まり、ダルシーの流れに従って浸透するとすれば、

$$\vec{v} = - (k/\eta) \text{grad } P \quad \dots\dots\dots (3.4.2)$$

である。ここで \vec{v} は流速 (m/s)、 k は透気係数 (m^2)、 η は空気の粘性係数 ($\text{Pa}\cdot\text{s}$)、 P は全圧 (Pa) である。

$$\varepsilon \frac{\partial \rho}{\partial t} = - \text{div}(\rho v) \quad \dots\dots\dots (3.4.3)$$

また、コンクリートの気体透過可能な空隙率 (以下、有効空げき率と呼ぶ) を ε とすれば、流体の連続方程式は次式となる。

ここで ρ は湿り空気の密度であるが、空気中の水蒸気重量はごくわずかであり、先の乾燥空気の密度と同じものと近似できる。

以上3式より、

$$\frac{\partial P}{\partial t} = \frac{P_0 K T}{\varepsilon \mu T_0} \text{div} \frac{\rho}{\mu} \text{grad } P + \frac{P_0 \rho}{P_0 T_0} \frac{\partial P_a}{\partial t} + \frac{\partial P_v}{\partial t} \quad \dots\dots\dots (3.4.4)$$

となる。(3.4.4)式の右辺第二項は温度変化に伴う空気の熱膨張圧の変化を示している。ここで、温度変化および、それに伴う空気の粘性係数の変化、空気密度の変化が第一項の係数に与える影響が小さいと考えれば、次の近似式が得られる。

$$\frac{\partial P}{\partial t} = \frac{P_0 K}{\varepsilon \mu} \text{div grad } P + \frac{\partial P_a}{\partial t} + \frac{\partial P_v}{\partial t} \quad \dots\dots\dots (3.4.5)$$

ここで、 $\partial P_a / \partial t$ は熱膨張による圧力変化を表す。従って、コンクリートの空隙中の圧力変動は熱伝導や濃度拡散と相似の関係となり、拡散係数はコンクリートの透気係数および有効空隙率により定まる。 $\partial P_a / \partial t$ は、熱伝導による温度変化により簡単に導くことができ、 $\partial P_v / \partial t$ は、温度変化によるコンクリート中の相対湿度の変化が小さいとみなせることから、やはり温度変化のみで決定できる。

(2) 発生圧力の理論式

(3.4.5)式における P_a (圧力の乾燥空気分圧) はボイル・シャルルの法則により次式から得られる。

$$\frac{P_0 V}{237.15 + T_0} = \frac{P_a V}{237.15 + T} \quad \dots\dots\dots (3.4.6)$$

$$P_a = \frac{237.15 + T}{237.15 + T_0} P_0$$

$$= \frac{237.15 + T}{293.15} \times 101.3 \quad \dots\dots\dots (3.4.7)$$

P_v (圧力の水蒸気分圧) はテテンの実験式により、次式から得られる。

$$P_v = 0.611 \times 10^{\left(\frac{7.5 \times T}{7.5 + T}\right)} \quad \dots\dots\dots (3.4.8)$$

3.4.2 コンクリートの透気試験

(1) 透気試験用コンクリートコア抜き試験体

前節で、通気緩衝シートの透気係数を算出したが、コンクリートの透気係数は 3.2 節の実大試験で使用したコンクリート下地から、直径 100mm φ のコアを抜き取り (写真 3.4.1)、加工して透気試験を行った。実大試験体 1 体につき 3 サンプル、計 9 個のコア抜きサンプルを使用する。

(2) 透気試験用試験体の作製

コア抜きサンプルに図 3.4.2 のように、呼び径 100mm、外径 114mm、厚さ 3.1mm (JIS K 6741) の塩ビ薄肉管をかぶせて底板を付け、まわりをシールし、粘性の高いエポキシ樹脂を流し込み、硬化させる。硬化後、脱型し透気試験の試験体とした (写真 3.4.2)。

(3) 透気試験装置の作製

既往の論文⁴⁾を参考に透気試験装置を作成した (図 3.4.3)。塩ビ管を脱型した試験体に、圧力の漏れがないように O-リングをかませ、図 3.4.4 示す金属蓋を両端からかぶせた。



写真 3.4.1 下地コンクリートのコア抜きサンプル

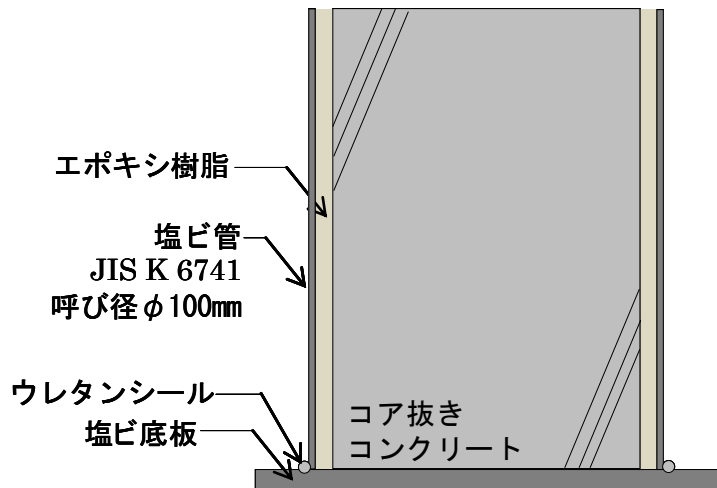


図 3.4.2 コア抜きサンプル側面加工

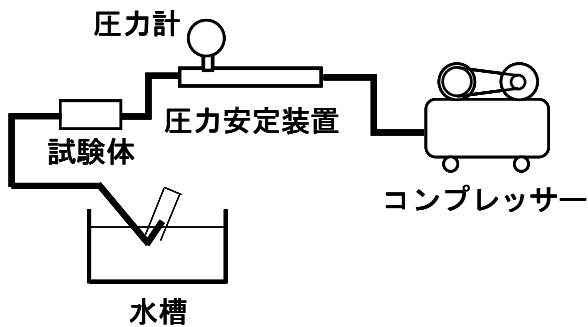


図 3.4.3 透明係数測定装置の構成

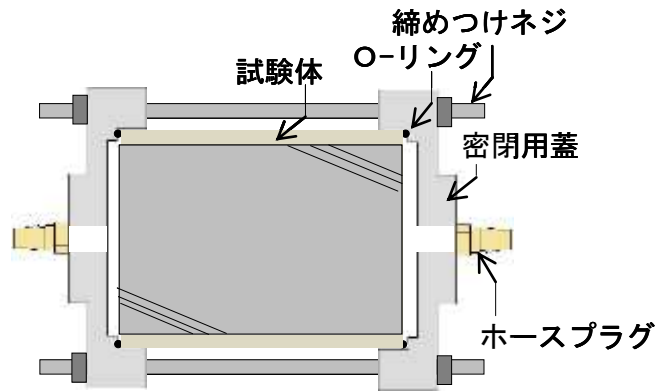


図 3.4.4 試験体

(4) 透気試験方法

コンプレッサーにより载荷圧力 0.5MPa (=5kgf/cm²) を試験体にかける。透気試験体を通過した気体を水上置換法により捕集し、透気量 (m³/s) を算出する。

(5) 透気試験結果

コンクリートの透気係数 (m²) は、前項の通気緩衝シートの透気係数の算出と同様に、次式から求めた。

$$K = \frac{2 d \eta P_1 Q}{(P_2^2 - P_1^2) A} \quad \dots\dots\dots (3.4.1)$$

ここで k は透気係数 (m²)、d は試験体厚さ (m)、Q は透気量 (m³/s)、P₂ は载荷圧力 (Pa)、P₁ は大気圧 (Pa)、A は透気面積 (m²)、η は空気の粘性係数 (=1.8×10⁻⁵Pa・s) である。

実大試験体からコア抜きした、各 3 つのサンプルの透気係数の平均値を表 3.4.1 に示す。数値計算では、各試験体でこの透気係数を用いる。

表 3.4.1 透気試験結果

実大試験体	透気係数 (m ²)
密着工法・ 下地コンクリート裏面開放	1.87 × 10 ⁻¹⁶
密着工法・ 下地コンクリート裏面密閉	8.23 × 10 ⁻¹⁷
通気緩衝工法・ 下地コンクリート裏面密閉	1.23 × 10 ⁻¹⁶

3.4.3 入力データ

3.2 節の屋外での測定期間中、比較的高い模擬ふくれ空間内の圧力上昇の観察されている時期の2009年6月11日早朝から12日早朝まで、空間内圧力および温度を30分ごとに24時間測定している。そのため、数値計算はこの期間について実施した。なお計算は、入力データは以下のとおりである。

- (1) 温度データは図3.4.5に示す、実大試験体で測定した模擬ふくれ空間内部の30分ごとの温度測定値を用いた。
- (2) 通気緩衝シートの透気係数は前節の試験により得られた測定値を用いた。コンクリートの透気係数は、前項で得られた測定値を用いた。
- (3) 熱伝導計算には、コンクリートの熱拡散率 $1.05 \times 10^{-6} (\text{m}^2/\text{s})$ を用いた。
- (4) 既往の論文から、コンクリートの有効空隙率は5%⁶⁾とした。
- (5) ふくれ模擬空間内部の湿度は、コンクリートの養生条件で差があると思われるが、コンクリート打設後2ヶ月以内でありまだ十分な水分が存在していると考えられ、常に飽和しているものとした。

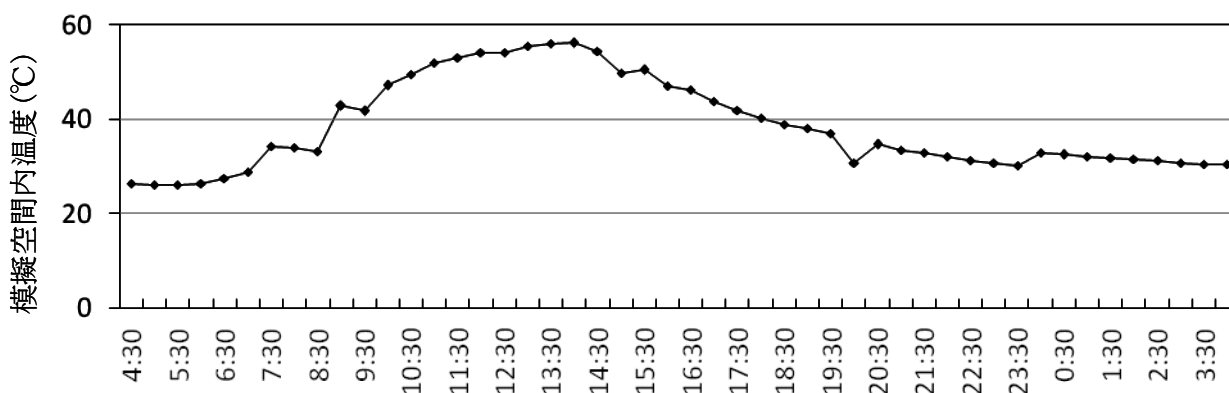


図 3.4.5 ふくれ模擬空間内温度 (2009.6.11.4:30 ~ 6.12.4:30)

3.4.4 計算結果

数値計算結果を、2009年6月11日4:30~6月12日4:30までの30分おきの実測結果と合わせて図3.4.5に示す。模擬空間の内部圧力は日中に上昇し、午後からは低下するが、計算結果も実測結果と同様な傾向が得られている。特に下地コンクリート裏面が密封されている場合は特に圧力が高まり、計算でも8kPaにまで上昇する結果が得られている。下地裏面密封の場合は、圧力は3kPaとそれ程高くない。計算では夕方から負圧となっているが、実測は負圧の測定できないブルドン管式圧力計による測定のため、圧力ゼロとなっている。

ウレタン塗膜防水層下に通気緩衝シートを挿入すると、実測では圧力がほとんど上昇してないことが示されているが、数値計算でも同様の結果が得られており、通気緩衝シートの使用がふくれ防止に有効であることが確認される。

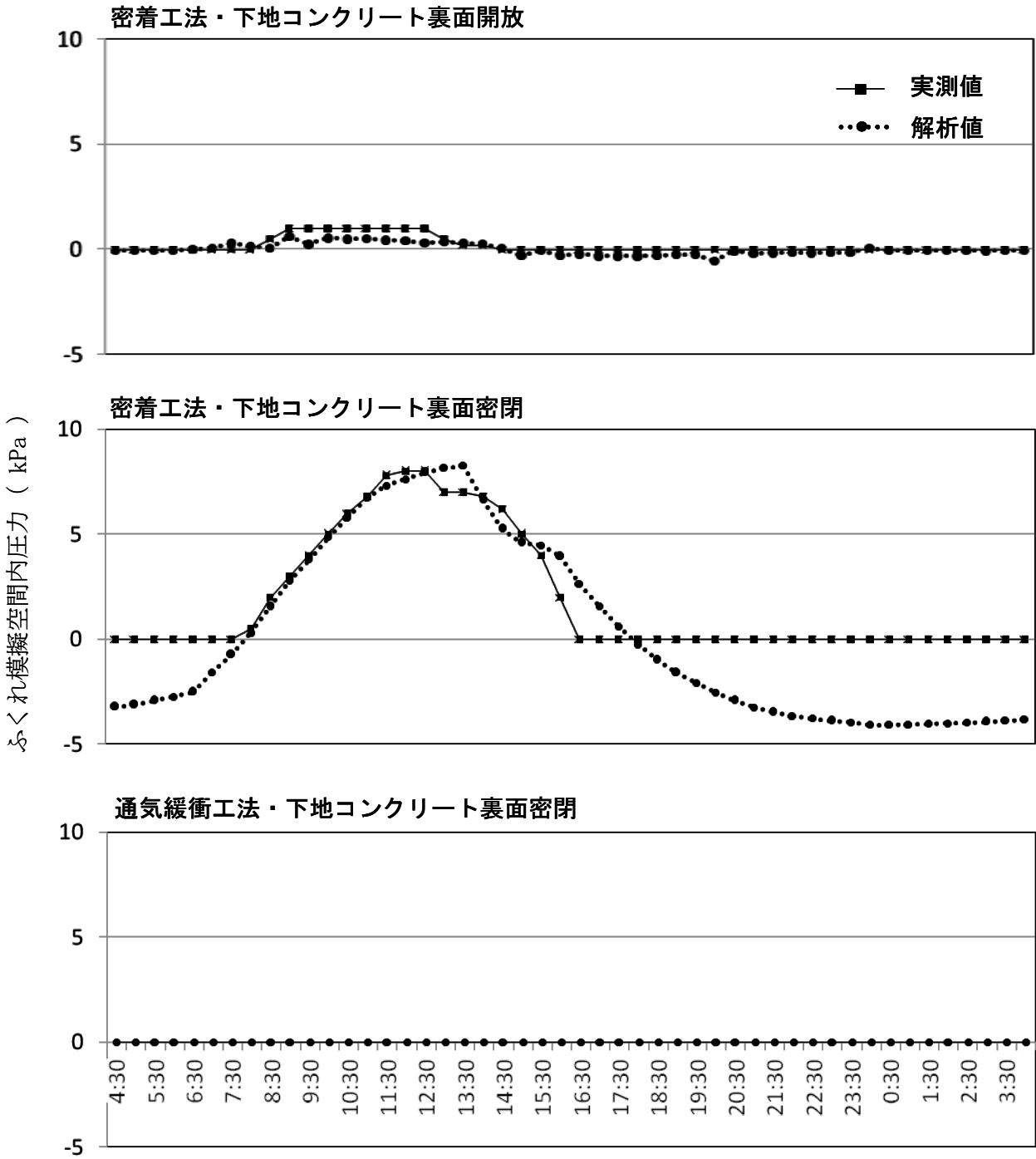


図 3.4.6 ふくれ模擬空間内圧力の数値計算結果と実測結果 (2009.6.11~6.12)

3.4.5 まとめ

前節で得られた通気緩衝シートの透気係数値と、測定したコンクリートの透気係数、実測から得られたふくれ模擬空間内の温度データによる熱拡散を用いて、圧力変化の数値計算を行い、実測結果と比較しながら、通気緩衝シートの有効性を定量的に評価出来ることを示した。

3.5 一般的に使用されている通気緩衝シートの透気試験

3.5.1 概要

3.3節で開発した通気緩衝シートの透気試験方法を用いて、現在一般的に流通・使用されている通気緩衝シートの透気係数を測定し、その傾向を確認することを目的とした。

(1) 試験体

試験体には表 3.5.1 に示す 13 種類のシートを用いた。種類は大きく分けて不織布タイプと改質アスファルト・ブチルタイプである。

表 3.5.1 通気緩衝シート種類

試験体記号	通気緩衝シートの種類・その他	試験体記号	通気緩衝シートの種類・その他
D-1	穴あき不織布①	D-8	溝付改質アスファルト
D-2	穴あき不織布②	D-9	改質アスファルト 自着①
D-3	穴あき不織布③	D-10	改質アスファルト 自着②
D-4	穴あき不織布④	D-11	改質アスファルト 自着③
D-5	穴あき不織布⑤	D-12	粘着ﾌﾞﾙ 自着①
D-6	穴なし不織布①	D-13	粘着ﾌﾞﾙ 自着②
D-7	穴なし不織布②		

(2) 試験方法

3.3節で示した測定装置を用いて、各種シートの透気係数を測定する。ただし、各種シートの比較

$$k' = \frac{2 L \eta P_1 Q}{(P_2^2 - P_1^2) W} \dots\dots\dots (3.5.1)$$

をするために厚みを統一した透気係数 (m³) を求めた。透気係数 (m³) の算定式を (3.5.1) 式に示す。

ここで k' : 透気係数 (m³)、 Q : 透気量 (m³/s)、 L : 試験体長さ (m)、 P_1 : 大気圧 (Pa)、 P_2 : 載荷圧力 (Pa)、 W : 試験体幅 (m)、 η : 空気粘性度 (Pa・s)

3.5.2 試験結果

図 3.5.1 に各種シートの透気係数を示す。不織布タイプでは、载荷圧力を上げてても透気係数はほぼ一定になったが、改質アスファルト・ブチルタイプでは透気係数が上昇していく傾向があった。

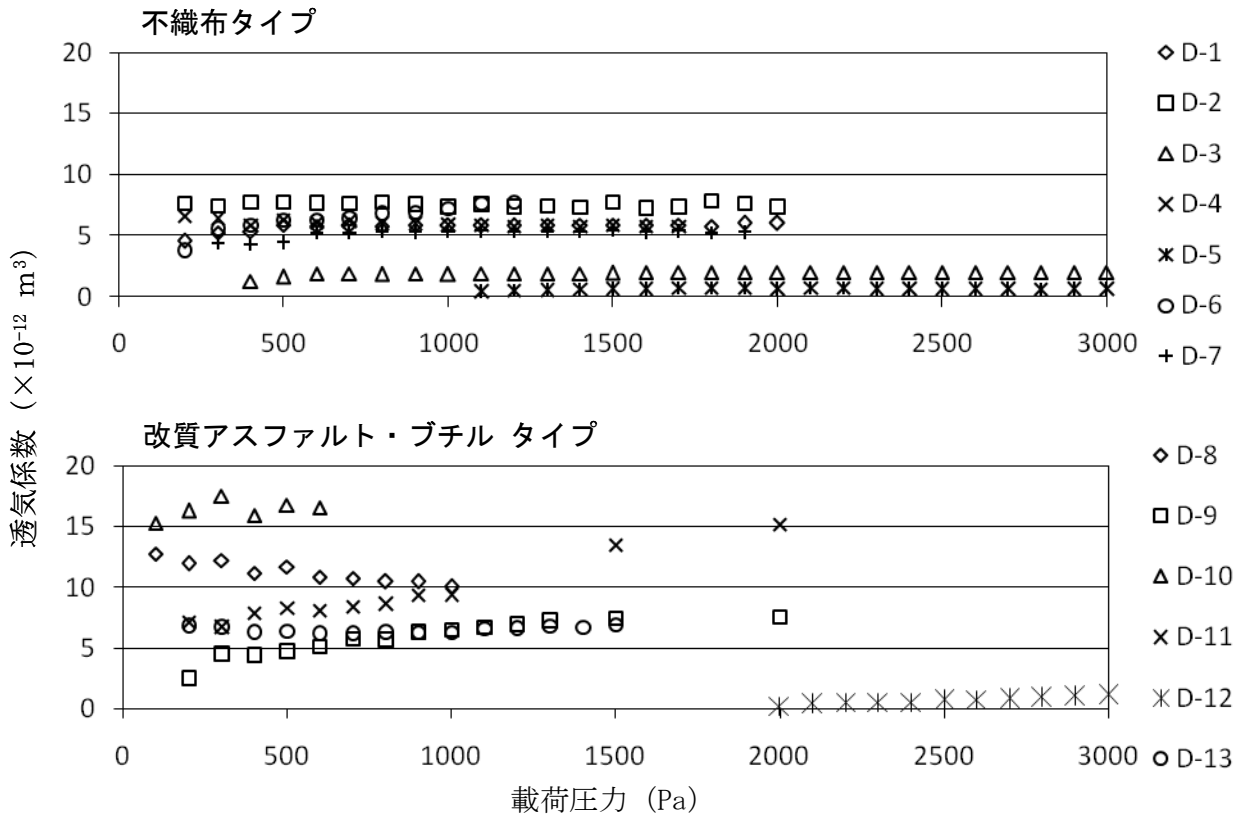


図 3.5.1 透気試験結果 (シートの種類による)

3.5.3 まとめ

3.3節で開発した通気緩衝シートの透気係数測定方法を用いて、現在一般的に流通・使用されている通気緩衝シートの透気係数を測定した結果、以下の知見を得た。

- (1) 通気緩衝シートの透気係数測定法を開発し、不織布タイプの通気緩衝シートの透気係数を測定した。
- (2) 各種通気緩衝シートの透気係数を測定し、シートのタイプによる透気係数の傾向を示した。

3.6 まとめ

本研究では、通気緩衝シート工法の通気性（透気性）を的確に測定しうる試験法を開発し、またその結果を用いて、通気緩衝シートの効果の実証を行ったものであり、以下の結果および知見が得られた。

- (1) 下地コンクリートにふくれ模擬空間を作った試験体を用いて、屋外で圧力を測定し、圧力はスラブ下面が開放されているか否かで異なることを明らかにした。
- (2) 下地コンクリート裏面密閉の場合は夏期に最大 9kPa の観測値を得た。
- (3) 防水層と下地スラブの間に通気緩衝シートを敷設することにより、圧力上昇を顕著に抑制できる。
- (4) 通気緩衝シートの性能評価試験方法に、透気係数測定法を開発、提示した。
- (5) 得られた数値を用いて、ふくれ模擬空間内の圧力変化の数値計算を行い、実測結果と比較しながら、通気緩衝シートの有効性を定量的に評価出来ることを示した。
- (6) 一般的に流通、使用されている通気緩衝シートの透気係数を測定し、シートのタイプによる透気係数の傾向を示した。

【参考文献】

- 1) 2008年版建築工事標準仕様書・同解説 JASS8：日本建築学会，p. 253-254，2008. 2
- 2) 1986年版建築工事標準仕様書・同解説 JASS8：日本建築学会，pp. 340-342，1986. 3
- 3) 1993年版建築工事標準仕様書・同解説 JASS8：日本建築学会，p. 182，1993. 1
- 4) 橋田浩，田中享二，小池迪夫：屋根防水層のふくれに及ぼす下地コンクリートの要因，屋根防水層のふくれ現象のメカニズムに関する研究・その1，日本建築学会構造系論文報告集，第416号，pp35-45，1990. 10
- 5) Arian E. Schedegger：The physics of flow through porous media，University of Toronto Press，pp. 100-103，1974
- 6) 橋田浩，田中享二，小池迪夫：防水層下地としてのコンクリートスラブの特性とふくれ形成圧力挙動，屋根防水層のふくれ現象のメカニズムに関する研究 その2，日本建築学会構造系論文報告集，第427号，pp39-46，1991. 9
- 7) 渡辺光，田中享二，古澤洋祐：通気緩衝シートのウレタン塗膜防水工法のふくれ抑制効果（その1 ふくれ圧力測定），日本建築学会学実講演梗概集（北陸）A-1，材料施工，No1019，2010. 9
- 8) 古澤洋祐，田中享二，塚越雅幸，渡辺光：通気緩衝シートのウレタン塗膜防水工法のふくれ抑制効果（その2 通気緩衝シートの圧力抑制効果の予測）：日本建築学会学実講演梗概集（北陸）A-1，材料施工，No1020，2010. 9
- 9) 野口秀夫，古澤洋祐，田中享二，渡辺光：塗膜防水通気緩衝工法のふくれ圧力低減効果の評価方法の開発 その1 通気緩衝シートの透気係数測定方法の開発：日本建築学会学実講演梗概集（関東）A-1，材料施工，No1001，2011. 8
- 10) 古澤洋祐，橋田浩，塚越雅幸，田中享二，渡辺光：塗膜防水通気緩衝工法のふくれ圧力低減効果の評価方法の開発 その2 透気係数を用いた数値計算による考察：日本建築学会学実講演梗概集（関東）A-1，材料施工，No1002，2011. 8
- 11) 渡辺光，古澤洋祐，田中享二：ウレタン塗膜防水工法における通気緩衝シートの下地ひび割れからの緩衝効果：日本建築学会学実講演梗概集（関東）A-1，材料施工，No1003，2011. 8

2011. 11. 08 日本建築学会 防水シンポジウム

ウレタン塗膜防水工法における
通気緩衝シートの
緩衝性能と評価方法

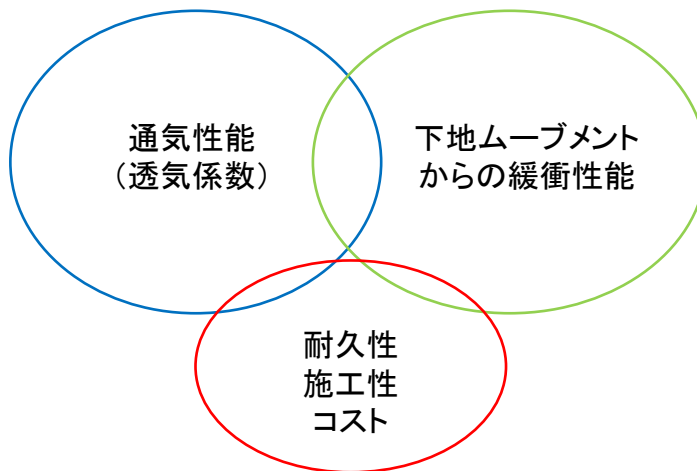
レオン工業(株) 渡辺 光

1

1

・背景

通気緩衝工法の性能評価方法



評価性能のバランスが重要

2

2

通気緩衝シートの張付け風景

自着タイプ通気緩衝シートの張付け



3

3

・JASS 8(2008年版)での要求性能

3)通気緩衝シートを用いる防水層の代表的な性能について示す.

イ)下地ひび割れ追従性

通気緩衝シートを用いることで、下地のひび割れにより発生する防水層への応力を緩和し、負担を軽減する。

この発生応力は年間あるいは日間温度差により繰返し発生するものであり、この繰返しに対する十分な**抵抗性を保持**しなければならない。

ロ)通気性

防水層のふくれの主な原因は、防水下地に含まれる水分が温度の上昇によって水蒸気となり、その圧力で防水層の接着力の弱い箇所では剥がれを生じさせることによる。通気緩衝シートは、防水下地に面する連通溝あるいは不織布層を通じて空気・湿気が連通され、脱気装置を組み合わせると**ふくれの低減を期待**できる。

4

4

・本稿の研究目的

- ・各ウレタン防水材料メーカーから各種の通気緩衝シートが販売されているが、その性能を統一した試験方法や判定基準が確立されていない。
エンドユーザー側から見ても判り難いために困惑と不信を起す要因となっている。
- ・市販の通気緩衝シートにより通気性能と緩衝性能の試験方法を実験により確立すると共に、求められる性能をどの様に評価して判定(判定基準)するかを研究の目的とした。

5

5

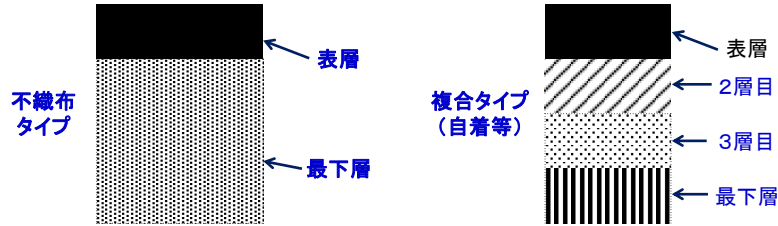
・市販されている通気緩衝シートの種別と特徴

種別	特徴	張り付方法	
不織布 タイプ	あななし	特殊加工した不織布などの表層と、通気層となる不織布の下層を積層している。	下地に接着剤を塗布して張り付ける。
	あなあき	特殊加工した不織布などの表層と通気層となる不織布の下層を積層され、一定間隔で全体にあなあき加工されてる。	下地に接着剤を塗布して張り付けた後に、立上り用又は目止め用ウレタン防水材料をシートにあなに充填して張付ける。
複合 タイプ	自着	特殊加工した表層フィルムなどに、改質アスファルト・不織布・プラスチック発泡体・プラスチックフィルム・ガラスクロス・ゴムシートなどを積層し、最下層に改質アスファルトやブチルゴムによる自着層を設けている。	下地にプライマー塗布後に直接張付ける。
	接着剤	特殊加工した表層フィルムなどに、改質アスファルト・不織布・プラスチック発泡体・プラスチックフィルム・ガラスクロス・ゴムシートなどを積層したもの。	下地に接着剤を塗布して張付ける。
	機械的 固定	特殊加工した表層フィルムなどに、改質アスファルト・不織布・プラスチック発泡体・プラスチックフィルム・ガラスクロス・ゴムシートなどを積層したもの。	下地にディスクとアンカーを用いて固定する。

6

6

・通気緩衝シートの積層内容



繊維加工名称の説明	エンボス：点熱圧着(面積小)	ハードエンボス：点熱圧着(面積大)
	ヒートプレス：表面熱圧着	ニードルパンチ：針で絡ませる

7

7

・実験に用いた通気緩衝シートの積層内容一覧

記号	通気緩衝シートの概要			積層内容					
	種別	形状・材質	表層	2層目	3層目	4層目	5層目	最下層	
1	不織布タイプ	あなあき	穴あき不織布	エンボス不織布	—	—	—	—	ニードルパンチ不織布
2			穴あき不織布	NBRコーティング不織布	—	—	—	—	ニードルパンチ不織布
3			穴あき不織布	エンボス不織布	—	—	—	—	ニードルパンチ不織布
4			穴あき不織布	樹脂コーティング不織布	—	—	—	—	ニードルパンチ不織布
5	不織布タイプ	あななし	穴なし不織布	エンボス不織布	—	—	—	—	ニードルパンチ不織布
6			穴なし不織布	ヒートプレス不織布	—	—	—	—	ニードルパンチ不織布
7	複合タイプ	接着剤	溝付改質アス	ハードエンボス不織布	ガラスクロス	プラスチックフィルム	—	—	粘着改質アス ※1
8			改質アス	特殊塗料付フィルム	ポリエチレンクロス	改質アスファルト	不織布	—	粘着改質アス ※1
9			改質アス	特殊塗料付フィルム	ガラスクロス	—	—	—	粘着改質アス ※1
10		自着	改質アス	特殊塗料付フィルム	改質アスファルト	不織布	改質アスファルト	プラスチックフィルム	粘着改質アス ※1
11			粘着アス	特殊塗料付フィルム	ガラスクロス	粘着アス ※1	—	—	テープ状繊維織布
12			粘着アス	特殊塗料付フィルム	ガラスクロス	ニードルパンチ不織布	—	—	粘着アス ※1
13	その他	あなあき	不織布+粘着クロス	自着ポリエチレンクロス	エンボス不織布	—	—	—	穴あきプラスチックフィルム ※2

※1は網かけ部分で、※2は粘着層のない部分で通気する。※2は穴以外の部分で通気する。

8

8

・シートの種類(不織布)

1-①, ② 2-①, ② 3-①, ② 4-①, ②

あなあき不織布タイプ 4種類

5-①, ② 6-①, ② 13-①, ②

あななし不織布タイプ 2種類 あなあき不織布(フィルム状) 1種類

9

9

・シートの種類(複合タイプ=改質アス、ブチル)

7-①, ② 8-①, ② 9-①, ② 10-①, ②

溝付改質アスファルト 1種類 改質アスファルト自着 3種類

11-①, ② 12-①, ②

粘着ブチル 自着 2種類

10

10

・試験体の一覧

シートの番号	試験体の記号	防水層の厚み(mm)	シートの番号	試験体の記号	防水層の厚み(mm)	シートの番号	試験体の記号	防水層の厚み(mm)
1	1-①	1	6	6-①	1	11	11-①	1
	1-②	3		6-②	3		11-②	3
2	2-①	1	7	7-①	1	12	12-①	1
	2-②	3		7-②	3		12-②	3
3	3-①	1	8	8-①	1	13	13-①	1
	3-②	3		8-②	3		13-②	3
4	4-①	1	9	9-①	1	密着工法	14-①	0.5
	4-②	3		9-②	3		14-②	1
5	5-①	1	10	10-①	1		14-③	3
	5-②	3		10-②	3		14-④	3

14-①～③は補強布なし、14-④は補強布あり

11

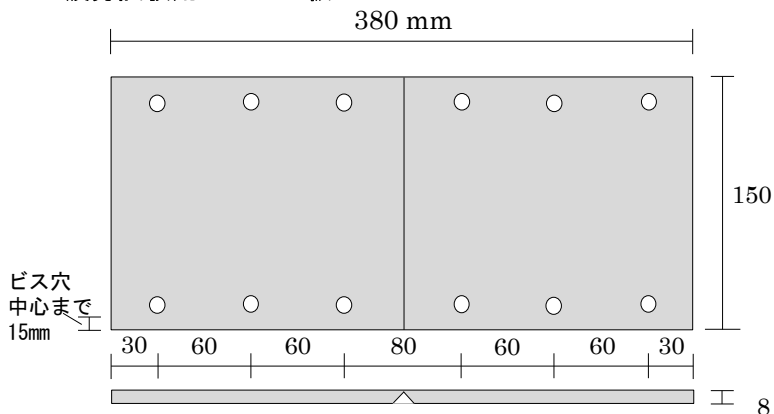
11

・試験体

「JASS 8 T - 501 メンブレン防水層の性能評価方法

3.3 疲労試験」に準拠して A形試験体を使用した。

・疲労試験用スレート板



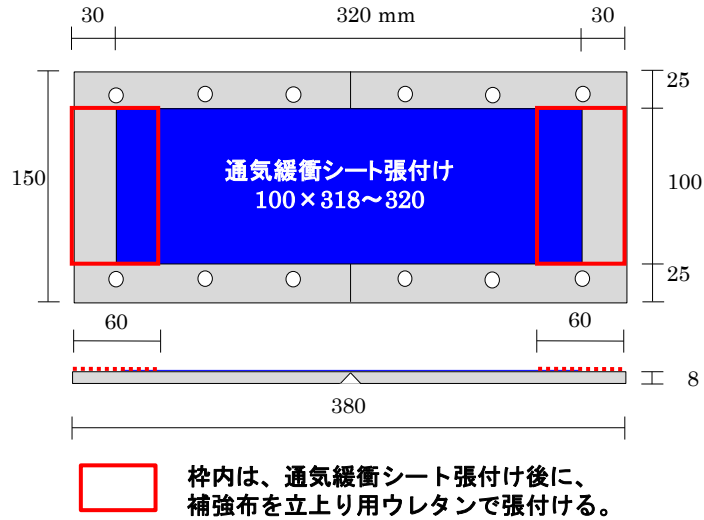
注:この試験方法の目的は、防水層下地の目地接合部、または下地に発生するクラックの動きに対する防水層の抵抗性を評価するものである。

12

12

通気緩衝シートの張付け

- ・疲労試験体（下地：スレート板）の通気緩衝シート張付け範囲

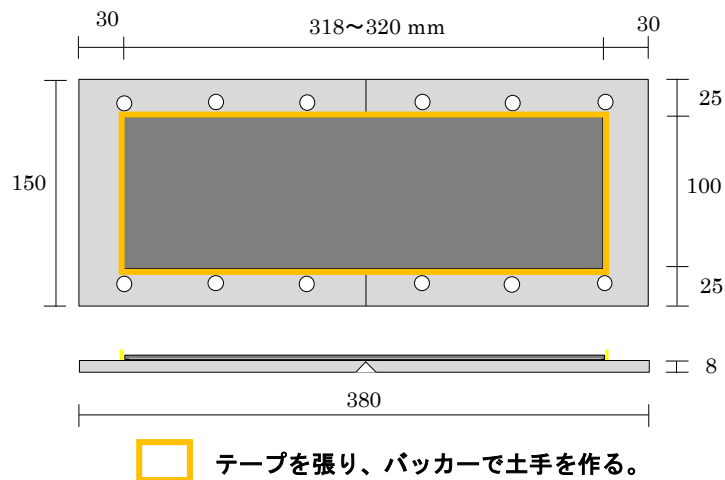


13

13

ウレタンの塗布

- ・疲労試験体のウレタン塗布範囲

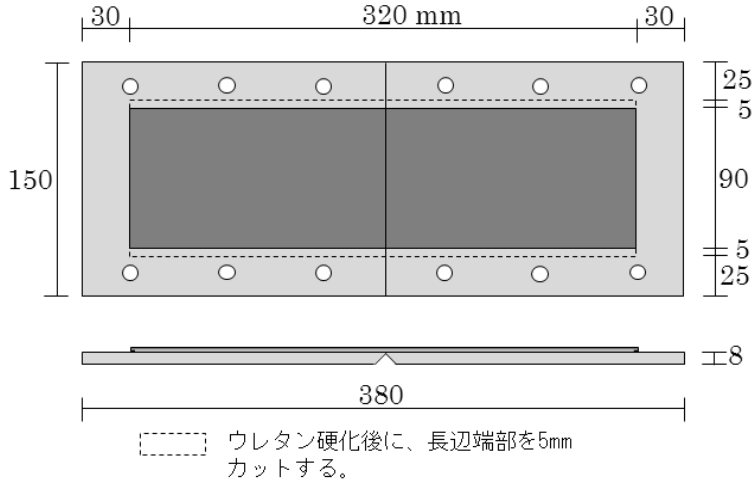


14

14

ウレタンの硬化後に長辺部を5mmカットして完成

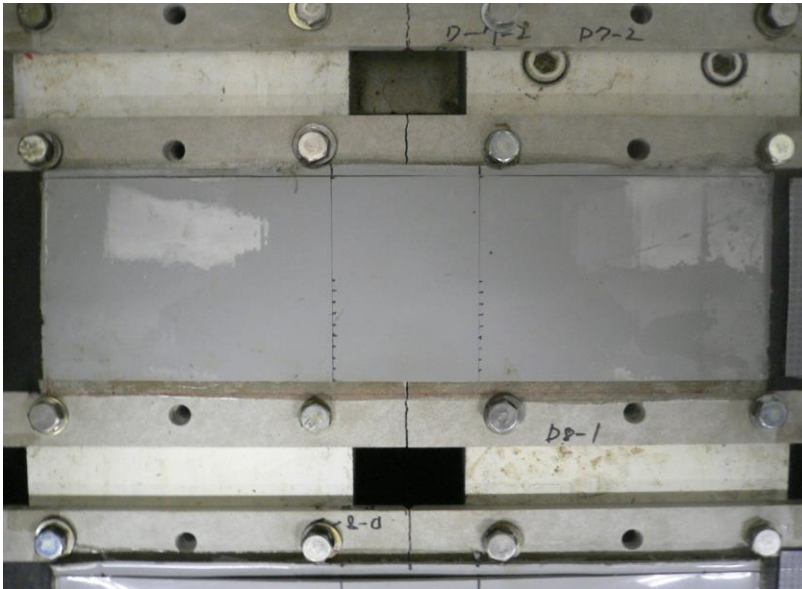
・疲労試験体の完成



15

15

・試験台に取付けられた試験体



16

16

試験の全景



17

17

試験概要

試験工程

工程	I			II			III		
ムーブメント	0.5~1.0mm			1.0~2.0mm			2.5~5.0mm		
ステップ	1	2	3	1	2	3	1	2	3
温度 (°C)	20	60	-10	20	60	-10	20	60	-10
繰返回数	500	500	500	500	500	500	500	500	500

※その位置のムーブメントと温度で周期10分で500回行う。

18

18

・試験工程の説明 《「JASS 8 T - 501」からの抜粋》

- 1, ムーブメントの大きさ：
0.5～1.0mmは小規模な現場打ち鉄コンクリートの屋根スラブ、
1.0～2.0mmは通常の現場打ち鉄筋コンクリートの屋根スラブ・プレキャストコンクリート部材ならびに短いALCパネルの接合部、
2.0～5.0mmは大型のプレキャストコンクリート部材・長いALCパネルの接合部に生じると予想されるひび割れを想定している。
- 2, 温度：60℃は夏期の直射日光下での露出防水の温度、
-10℃は我が国のほとんどの地域で試験データが必要とされる温度である。
- 3, 繰返し回数：防水層に与える下地ムーブメントの回数は1年間に240～246と仮定し、4500回の繰返し回数は約18年の耐久性を想定している。

19

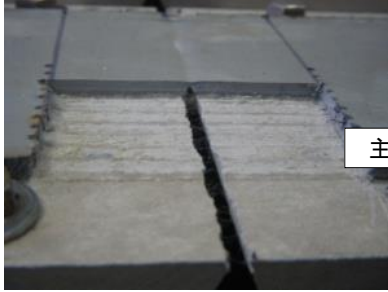
試験で起きた主な現象

20

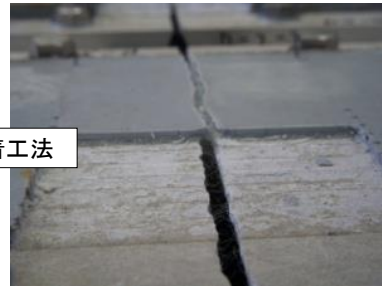
20

・代表的な現象の分類

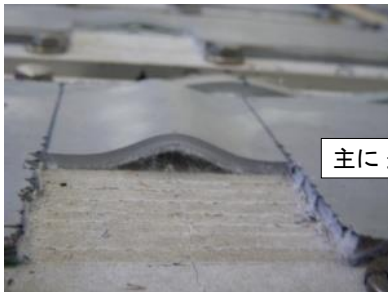
①：膜厚減少



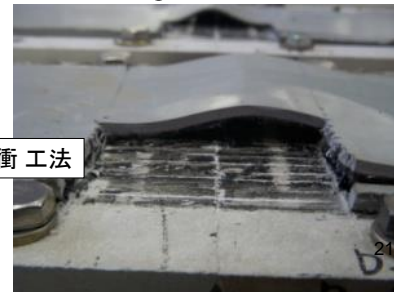
②：破断



③：浮き



④：剥がれ



21

工程 I (0.5~1.0mm)の終了時点では

22

22

・1-① (あなあき不織布タイプ)ウレタン 1mm厚

開



閉



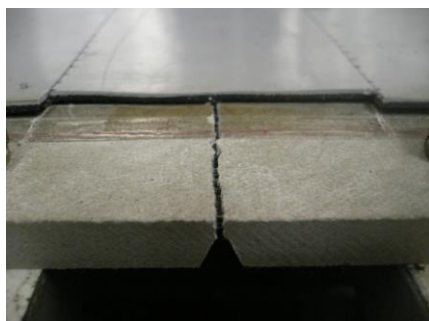
何も発生していない ○

23

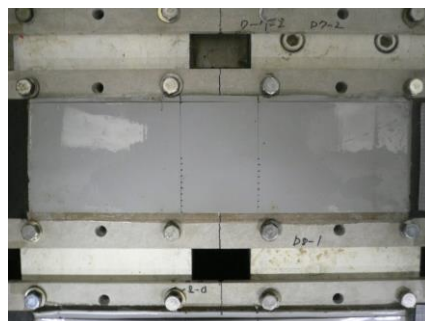
23

・8-① (複合自着タイプ)ウレタン1mm

開



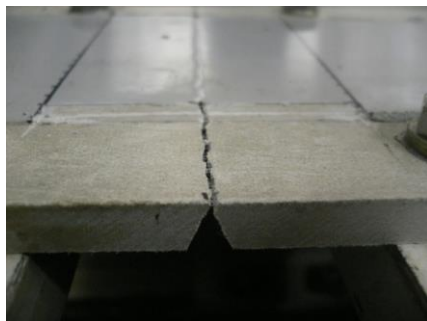
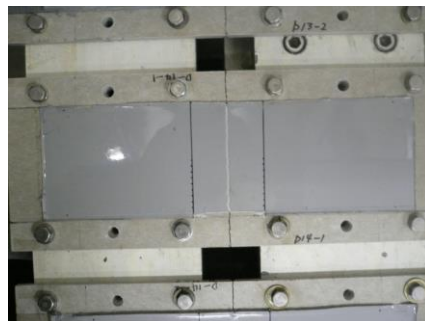
閉



何も発生していない ○

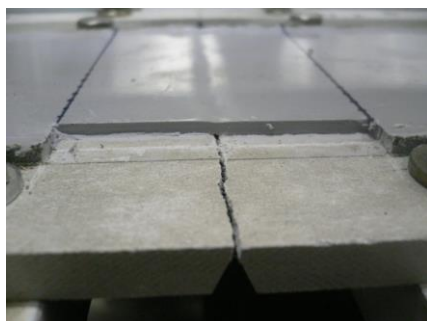
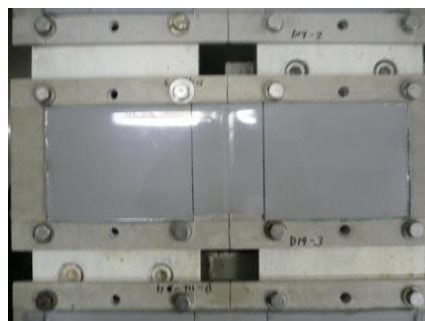
24

24

・14-①(密着工法)ウレタン1mm**開****閉****膜厚減少**

25

25

・14-③(密着工法)ウレタン3mm**開****閉****膜厚減少**

26

26

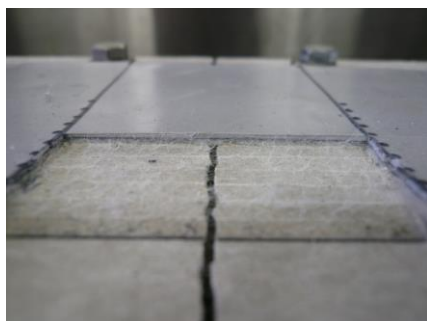
工程Ⅱ (1.0~2.0mm)の終了時点では

27

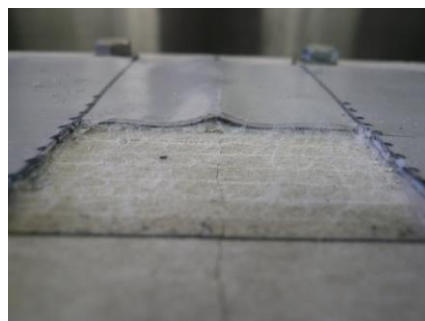
27

・1-① (不織布タイプ)ウレタン 1mm

開



閉



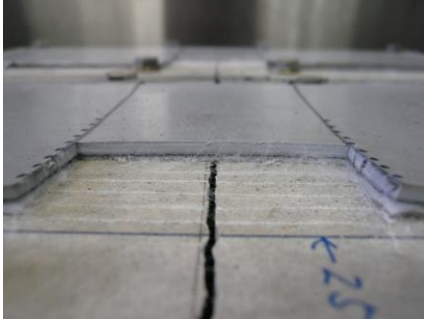
ひび割れ真上の浮き

28

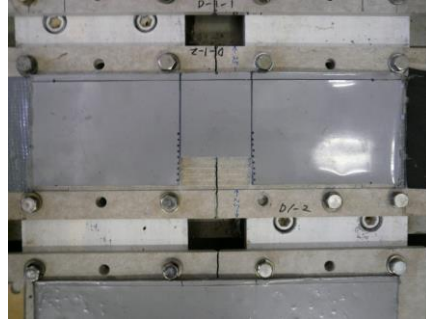
28

・1-② (不織布タイプ)ウレタン 3mm

開



閉



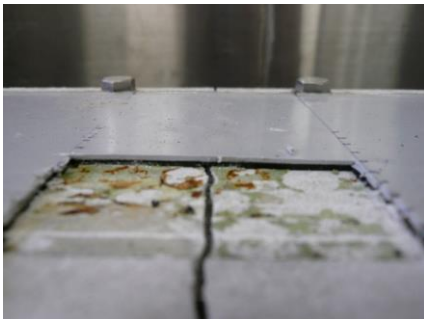
何も発生していない ○

29

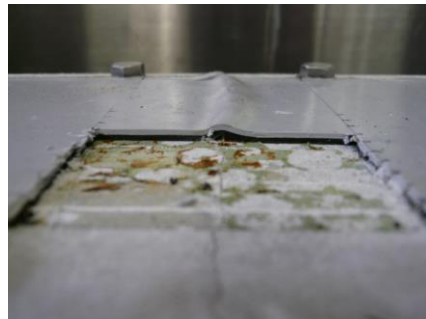
29

・7-① (複合タイプ)ウレタン 1mm

開



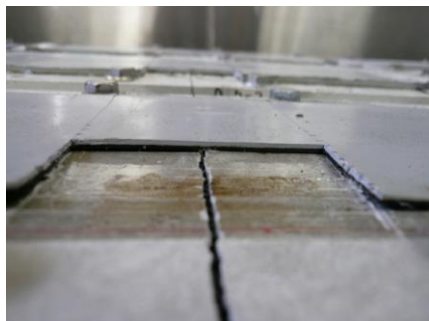
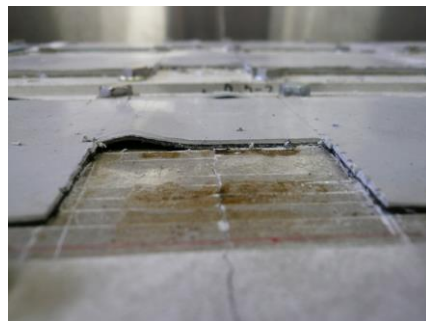
閉



ひび割れ真上の浮き

30

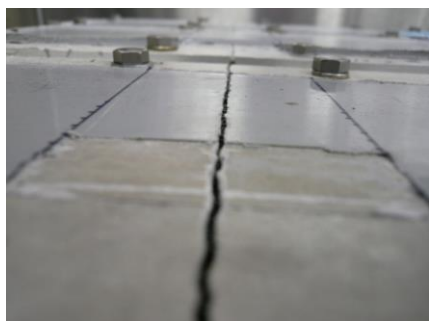
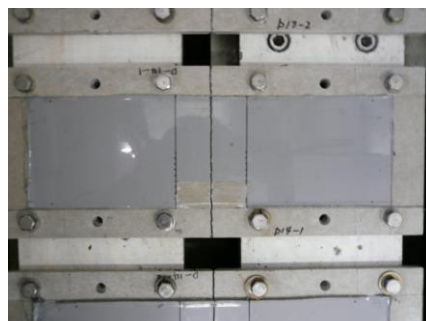
30

・8-① (複合タイプ)ウレタン 1mm**開****閉**

ひび割れ周辺までの剥がれ

31

31

・14-① (密着工法)ウレタン0.5mm**開****閉**

20°Cの段階で破断

32

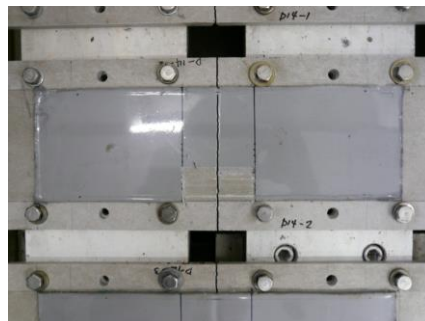
32

・14-②(密着工法)ウレタン 1mm

開



閉



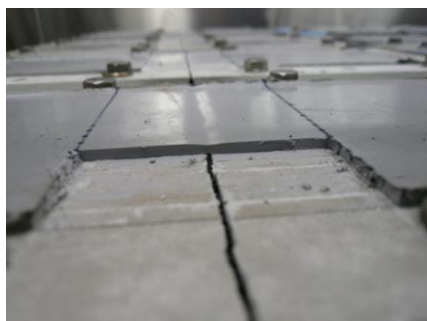
60°Cの段階で破断

33

33

・14-③(密着工法)ウレタン 3mm 補強布なし

開



閉



膜厚の減少

34

34

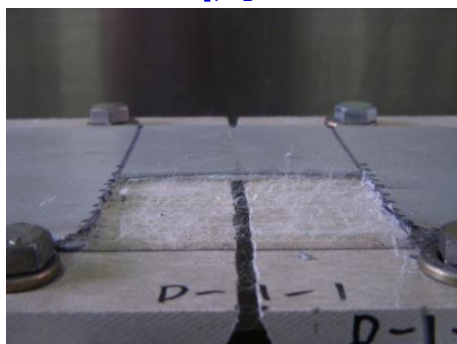
工程Ⅲ (2.5~5.0mm)の終了時点では

35

35

・1-① (不織布タイプ)ウレタン 1mm

開



閉



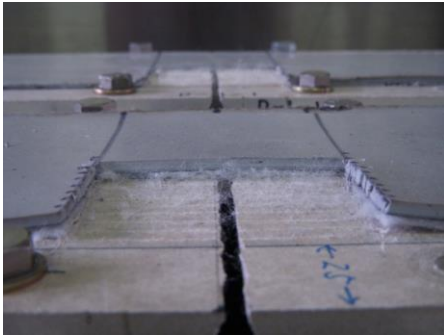
ひび割れ周辺までの剥がれ

36

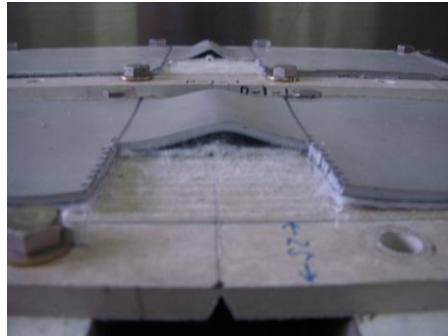
36

・1-② (不織布タイプ)ウレタン 3mm

開



閉



ひび割れ周辺までの剥がれ

37

37

・3-① (不織布タイプ)ウレタン 1mm

開



閉



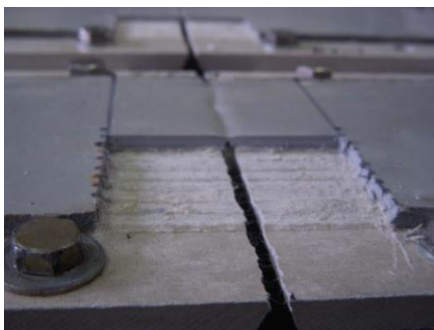
60°Cで破断

38

38

・3-① (不織布タイプ)ウレタン 3mm

開



閉



膜厚の減少

39

39

・5-① (不織布タイプ)ウレタン 1mm

開



閉



ひび割れ周辺までの剥がれ

40

40

・7-② (複合タイプ)ウレタン 3mm

開



閉



ひび割れ周辺までの剥がれ

41

41

・14-③ (密着工法・補強布なし)ウレタン 3mm

開



閉



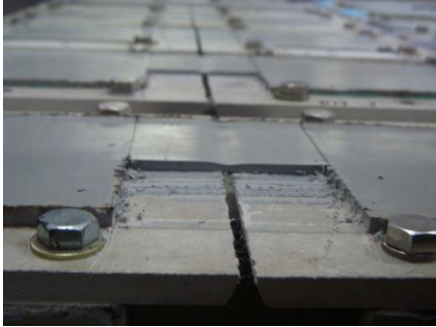
膜厚の減少

42

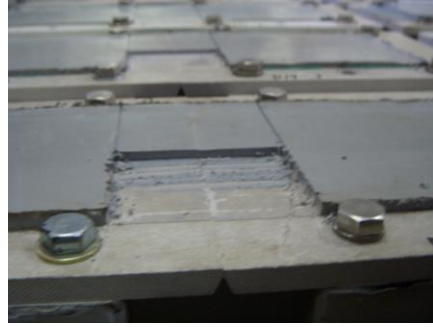
42

・14-④ (密着工法・補強布有り)ウレタン 3mm

開



閉



僅かな膜厚の減少

43

43

・試験体の一覧

シートの番号	試験体の記号	防水層の厚み(mm)	シートの番号	試験体の記号	防水層の厚み(mm)	シートの番号	試験体の記号	防水層の厚み(mm)
1	1-①	1	6	6-①	1	11	11-①	1
	1-②	3		6-②	3		11-②	3
2	2-①	1	7	7-①	1	12	12-①	1
	2-②	3		7-②	3		12-②	3
3	3-①	1	8	8-①	1	13	13-①	1
	3-②	3		8-②	3		13-②	3
4	4-①	1	9	9-①	1	密着工法	14-①	0.5
	4-②	3		9-②	3		14-②	1
5	5-①	1	10	10-①	1		14-③	3
	5-②	3		10-②	3		14-④	3

14-①～③は補強布なし、14-④は補強布あり

44

44

・結果 ○:正常 ①:防水層の膜厚減少 ②:防水層の破断 ③:防水層の浮き ④:防水層の剥がれ

不織布タイプ

ムーブメント (mm)	工程Ⅰ 0.5-1.0						工程Ⅱ 1.0-2.0						工程Ⅲ 2.5-5.0					
	20℃		60℃		-10℃		20℃		60℃		-10℃		20℃		60℃		-10℃	
試験体 記号	膜厚	付着	膜厚	付着	膜厚	付着	膜厚	付着	膜厚	付着	膜厚	付着	膜厚	付着	膜厚	付着	膜厚	付着
1-①	○	○	○	○	○	○	○	③	○	③	○	③	○	④	○	④	○	④
1-②	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	③	○	④	○	④
2-①	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	③	○	③
2-②	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
3-①	○	○	○	○	○	○	○	③	○	③	○	③	①	③	②	—	②	—
3-②	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	①	○	①	○	①	○
4-①	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	③	○	③
4-②	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	③	○	○
5-①	○	○	○	○	○	○	○	○	○	③	○	③	○	④	○	④	○	④
5-②	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	③	○	④
6-①	○	○	○	○	○	○	○	○	○	③	○	③	○	④	○	④	○	④
6-②	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	③	○	④	○	④
13-①	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	③	○	④	○	④
13-②	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

密着工法

14-①	①	—	①	—	①	—	②	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
14-②	①	—	①	—	①	—	①	—	②	—	—	—	—	—	—	—	—	—
14-③	○	—	○	—	○	—	○	—	○	—	①	—	①	—	①	—	①	—
14-④	○	—	○	—	○	—	○	—	○	—	○	—	○	—	①	—	①	45

45

・結果 ○:正常 ①:防水層の膜厚減少 ②:防水層の破断 ③:防水層の浮き ④:防水層の剥がれ

複合タイプ

ムーブメント (mm)	工程Ⅰ 0.5-1.0						工程Ⅱ 1.0-2.0						工程Ⅲ 2.5-5.0					
	20℃		60℃		-10℃		20℃		60℃		-10℃		20℃		60℃		-10℃	
試験体 記号	膜厚	付着	膜厚	付着	膜厚	付着	膜厚	付着	膜厚	付着	膜厚	付着	膜厚	付着	膜厚	付着	膜厚	付着
7-①	○	○	○	○	○	○	○	③	○	③	○	③	○	④	○	④	○	④
7-②	○	○	○	○	○	○	○	○	○	③	○	③	○	④	○	④	○	④
8-①	○	○	○	○	○	○	○	③	○	③	○	④	○	④	○	④	○	④
8-②	○	○	○	○	○	○	○	③	○	③	○	④	○	④	○	④	○	④
9-①	○	○	○	○	○	○	○	③	○	③	○	④	○	④	○	④	○	④
9-②	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	③	○	③	○	④	○
10-①	○	○	○	○	○	○	○	○	○	③	○	③	○	④	○	④	○	④
10-②	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	③	○	③	○	③	○
11-①	○	○	○	○	○	○	○	③	○	③	○	③	○	④	○	④	○	④
11-②	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	③	○	③
12-①	○	○	○	○	○	○	○	○	○	③	○	③	○	③	○	④	○	④
12-②	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	④	○	④

密着工法

14-①	①	—	①	—	①	—	②	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
14-②	①	—	①	—	①	—	①	—	②	—	—	—	—	—	—	—	—	—
14-③	○	—	○	—	○	—	○	—	○	—	①	—	①	—	①	—	①	46
14-④	○	—	○	—	○	—	○	—	○	—	○	—	○	—	①	—	①	—

46

・各現象の推定

- ① 膜厚減少 繰返し疲労に対応できず ⇒ ムーブメント部の膜厚減少



- ② 破断 繰返し疲労に対応できず ⇒ ムーブメント部で破断



- ③ 浮き シートの接着力が強い場合 ⇒ ムーブメント部で浮き(小面積)が発生、
ムーブメント真上に応力が集中 表面的には浮きが鮮明



- ④ 剥れ シートの接着力不足による剥がれ ⇒ 幅広く剥がれた部分が伸びたため、
表面的には目立たない



47

47

・試験結果の評価(1)

工程 I の終了時点

- ・通気緩衝工法(1—①～13—②)は、何の現象も発生しなかった。
- ・密着工法は、ウレタンの膜厚の薄い14—①と14—②では膜厚減少が起きた。

48

48

・試験結果の評価(2)

工程Ⅱの終了時点

- ・通気緩衝工法は、一部に浮き・剥がれは起きているが膜厚減少・破断は起きていない。
- ・密着工法は、ウレタンの膜厚の薄い14—①と14—②に破断が起き、厚い14—①でも膜厚減少が起きた。

49

49

・試験結果の評価(3)

工程Ⅲの終了時点

- ・通気緩衝工法は、一部に浮き・剥がれは起き、3—①は破断、3—②は膜厚減少が起きている。
- ・密着工法は、ウレタンの膜厚の厚い14—③は膜厚減少が進み14—④も膜厚減少が起きた。

50

50

・試験結果の評価(4)

通気緩衝シートの評価

- ・1種類の通気緩衝シートを除いて、下地に発生したひび割れモーメントからの破断や膜厚減少の防止に有効であることが明らかとなった。
- ・ウレタンの厚みが1mmよりも3mmの方が浮き・剥がれが起きにくいことが判った。

51

51

まとめ

- ・緩衝性能の評価方法として、JASS8のメンブレン防水層性能評価試験方法(JASS 8 T - 501)の3.3疲労試験方法が有効であることが判った。
- ・緩衝性能の判定基準としては、ウレタンの膜厚を3mmとし、工程Ⅲ終了時に破断がないこととしたい。

52

52

謝 意

本研究は、
日本建築学会の塗膜防水補強布WG
 の活動として行ったものである。
 協力頂いた関係各位に、
 心より御礼申し上げます

53

53

この研究は日本建築学会の塗膜防水補強布WGの研究活動の一環として行われたものでメンバーは以下の通りです

主査：田中享二（東京工業大学 名誉教授） 幹事：野口秀夫（秀カンパニー）
 委員：

清水市郎（建材試験センター）	塚越雅幸（東工大）	古澤洋祐（東工大）
志村重顕（建材試験センター）	橋田 浩（清水建設）	松尾隆士（清水建設）
高山勝行（フジタ）	吉田眞章（東急建設）	酒井興一（酒井研究所）
山本俊也（東洋紡績）	仲尾正人（東洋紡績）	富岡賢一（東洋紡 STC）
増田紀彦（東洋紡 STC）	高橋 武（倉敷紡績）	楠 和也（倉敷紡績）
前川恵一（倉敷紡績）	鎌田 進（NI 帝人商事）	池端周作（NI 帝人商事）
安達弘行（NI 帝人商事）	福島章夫（山装）	広瀬隆行（山装）
小林 仁（日本シーカ）	川口知也（日本シーカ）	吉野兼司（ユープ レックス）
鈴木 博（AGC ポリマー）	若林秀幸（AGC ポリマー）	野口裕二（野口興産）
佐々木哲夫（保土谷）	濱田健治（保土谷）	政田朋也（野口興産）
河合俊三（ダイフレックス）	小関晋平（ダイフレックス）	島村浩行（田島ルーフィング [®] ）
渡辺 光（レオン工業）	水野伸二（秀カンパニー）	中沢裕二（田島ルーフィング [®] ）

※所属名は就任時点のもの

※委員の中にはオブザーバーを含む

54

54