

論文

[1148] 直達日射を受けるタイル張り壁面の挙動に関する基礎的研究

正会員 松藤 泰典 (九州大学建築学科)

正会員○大久保孝昭 (九州大学建築学科)

小山 智幸 (九州大学建築学科)

1. 序

近年, 建築構造物の外壁タイルや仕上げモルタル等, 外装仕上げ材の剥落事故が多く報告され, 重大な社会問題となっている。外装仕上げ材の剥離, 剥落の原因としては, 張り付け工法の選択ミス, 下地不良及び地震・不同沈下等の外的要因並びに熱, 乾湿による膨張・収縮及び水分凍結等の内的要因など, 種々の要因が考えられる。外装仕上げ材の剥離, 剥落の調査事例によると, 欠陥発生箇所は建物南面が最も多く, 次いで, 西面, 東面の順となっており, 建物北面ではほとんど発生していないことが報告されている<sup>1)</sup>。これは, 直達日射が外装仕上げ材の劣化に大きく影響を与えていることを示している。

本研究は, 直達日射が外壁面に及ぼす影響を, 壁体内部の温度性状, 温度ひずみの観点から, 定量的に評価することを目的として行ったものである。本論文では先ず, タイル, 張り付けモルタル, 下地モルタル及び躯体コンクリートなど, タイル張り壁面を構成する各素材の温度変化に伴う変形状を明かにし, 更にこれらの各素材が壁面全体の挙動に及ぼす影響を把握することを目的として実験検討を行った。

2. 実験概要

2.1 試験装置及び試験環境

本研究では, 6個のハロゲンライトを配置した人工照射装置<sup>2)</sup>を用いて, 試験体に模擬直達日射を与えた。試験体を与えた直達日射の経時変化を図1に示す。照射量は夏季の直達日射を想定して1時間当たり2.0MJ/m<sup>2</sup>とし, 照射時間を30分から8時間までの5段階に変化させて, 試験体が直達日射を受ける時間と試験体の挙動との関係を検討した。

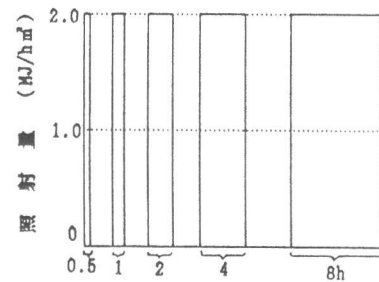


図1 直達日射の経時変化

2.2 試験体

タイル張り壁面の試験体を構成する素材を表1に一括して示す。使用したタイルは2種類のせつ器質二丁掛タイル (A社製: タイル短辺方向に蟻足型の裏足付き, B社製: 長辺方向に裏足) 及び磁器質二丁掛タイル (A社製: 短辺方向に裏足) とした。なお, 表1において, タイルの線膨張係数及び曲げ強度はタイルの裏足を削り落とした試験体で測定した値である。コンクリートは呼び強度が210kgf/cm<sup>2</sup>の普通コンクリート, 下地モルタルはメチルセルローズ混入のモルタルを用いた。また, タイルの張り付けモルタルとして, C社製の既製調

表1 試験体を構成する素材

試験体種類	線膨張係数 (x10 <sup>-6</sup> /°C)	試験体強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )
A社製せつ器質タイル	6.10	205 (曲げ)
A社製磁器質タイル	4.61	223 (曲げ)
B社製せつ器質タイル	4.64	200 (曲げ)
張り付けモルタル	12.74	—
下地 (上塗り) モルタル	10.94	—
下地 (下塗り) モルタル	10.83	453 (圧縮)
コンクリート	9.52	225 (圧縮)

合モルタルを使用した。いずれも通常の建築工事において一般に使用されているものである。

表2に実験に供した試験体を一括して示す。本論文では先ず、タイル張り壁面を構成する各素材単体の挙動について検討を行った(表中、試験体 T1~C)。仕上げタイルは裏足の影響を検討するため、裏足を削り落としたタイル試験体についても併せて実験を行っている(試験体T1~T3)。張り付け及び下地モルタルは短辺×長辺×厚さが 60x

表2 試験体の一覧

試験体				試験体記号	試験体形状 模式図	
仕上げタイル	張り付けモルタル	下地モルタル	コンクリート			
A社製せつ器質	-	-	-	T1	(裏足無し)	
A社製磁器質				T2		
B社製せつ器質				T3		
A社製せつ器質	-	-	-	T4		
A社製磁器質				T5		
B社製せつ器質				T6		
-	O	-	-	M1		
	-	O	-	M2		
	-	-	O	C		
A社製せつ器質	O	-	-	A1		
A社製磁器質				A2		
B社製せつ器質				A3		
A社製せつ器質	O	O	-	B1		
A社製磁器質				B2		
B社製せつ器質				B3		
A社製せつ器質	O	O	O	C1		
A社製磁器質				C2		
B社製せつ器質				C3		

225x25mm, コンクリートは 60x225x60mmの形状の試験体とし、ともに打設後気温25°C, 湿度70% 気中で養生し、材令が28日以上経過した後実験に供した。また表2に示すように、仕上げタイルの挙動に及ぼす各下地の影響を検討するため、タイル単体にタイル張り壁面を構成する各素材を順次増加させた試験体を作成し、実験検討を行った(表中、試験体A1~C3)。

### 2.3 測定項目

各試験環境下における試験体の温度変化は、試験体作成時に予め設置したCC熱電対により、各素材の両面で測定した。例えば、試験体A1(表2参照)ではタイル表面、タイル裏面と張り付けモルタルとの層間及び張り付けモルタル裏面の3箇所で測定を行っている。

試験体内部のひずみは、試験体作成時に各層に貼付した3線式電気抵抗線ひずみゲージにより、試験体の長手方向について測定した。例えば、試験体C1では、タイル表裏面、モルタル表面及びコンクリート表裏面で測定を行っている。弾性係数を乗じることにより直ちに応力に換算できる真ひずみ  $\epsilon_t$  及び試験体の実際の伸縮を表す実ひずみ  $\epsilon_k$  は測定された計測ひずみ  $\epsilon_o$  からそれぞれ(1)式及び(2)式により算定した<sup>2)</sup>。

$$\epsilon_t = \epsilon_o + (\alpha_g - \alpha_s) \times \Delta T \quad (1)$$

$$\epsilon_k = \epsilon_t + \alpha_s \times \Delta T \quad (2)$$

ここに、 $\epsilon_o$  : ひずみの計測値

$\alpha_g$  : ゲージの見かけの線膨張係数

$\epsilon_t$  : 試験体応力に換算できる真ひずみ

$\alpha_s$  : 試験体の線膨張係数

$\epsilon_k$  : 試験体の実際の伸縮を表す実ひずみ

$\Delta T$  : 基準時刻からの試験体の温度変化

## 3. 実験結果及び考察

### 3.1 試験体を構成する各素材の挙動

#### 3.1.1 温度性状

図1に示した繰り返しの直達日射を受けるタイル試験体表面(以下、受光面)の温度変化の例を図2に示す。同図(a)は試験体T1, 同図(b)は試験体T5について示したものである。図中実線

は受光面，一点鎖線はその裏面の値を示す。いずれの場合も照射時間が長くなるにしたがって温度が上昇する傾向を示しており，照射8時間では受光面の温度は70℃程度まで上昇している。図2において，試験体裏面の温度は受光面に比べて僅かに遅れて立ち上がり，各照射終了時には受光面より僅かに低い値まで上昇している。このことは，タイル張り壁面が直達日射を受けるとき，タイル表面の温度はかなり短時間に下地の張り付けモルタルに伝導することを示している。

図3に直達日射を受ける張り付けモルタル(M1)及びコンクリート(C)試験体温度の経時変化を示す。本実験に使用した張り付けモルタルの色相が他の試験体に比べて黒色に近い色であったため，受光面の温度は照射8時間で80℃を越えた。図には示していないが下地モルタルの表面温度はほぼコンクリート試験体と同様の温度上昇を示した。また，受光面から裏面への温度伝導もかなり大きく，張り付けモルタルの裏面は照射後2時間で70℃，厚さ60mmのコンクリート試験体も照射4時間後には温度が60℃に達している。

### 3.1.2 ひずみ性状

図4に直達日射を受けるタイル試験体(T4,T5,T6)の実ひずみの経時変化を示す。図中実線は受光面，一点鎖線はその裏側の実ひずみを表す。各試験体とも受光面と裏面のひずみの差が大きく，直達日射を受ける場合タイルに反りを生じるようなひずみが生じている。試験体T5は日射を受けて生じた伸びが照射停止後も回復せず，引張り側の残留ひずみが生じている。特に試験体裏面の残留ひずみが大きい。比較のため，図4(b)に示したA社製磁器質タイルの裏足を削り落とした試験体T2が直達日射を受ける場合の実ひずみを図5に示した。同図において試験体には照射後の残留ひずみが見られない。このことは，照射を受けるタイルの変形には裏足の形状がかなり影響を与えることを示している。タイルの押出し成形過程において，裏足部分に過度の圧力が作用し，タイル表裏の組織の違いが生じることも影響していると考えられる。

図6に直達日射を受ける試験体M1, M2及び試験体C

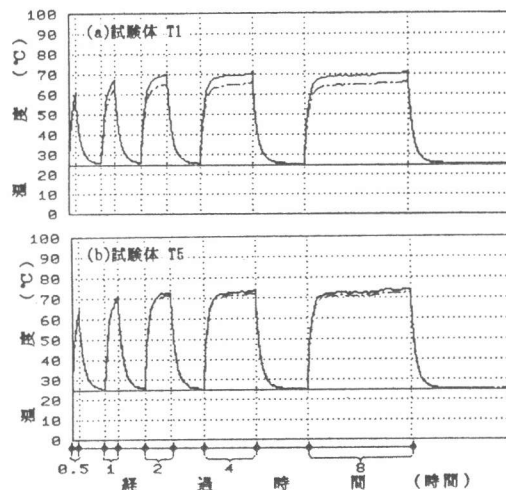


図2 試験体の温度の経時変化

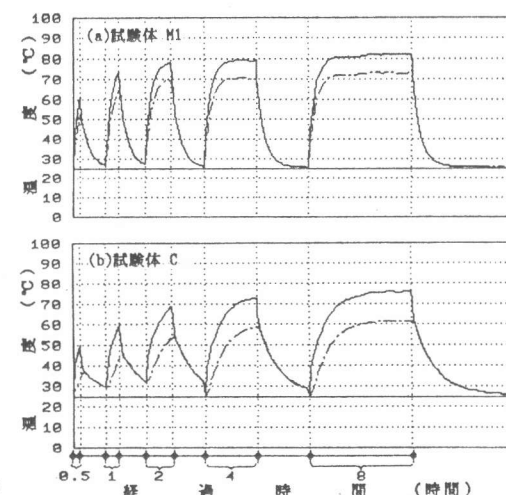


図3 試験体温度の経時変化

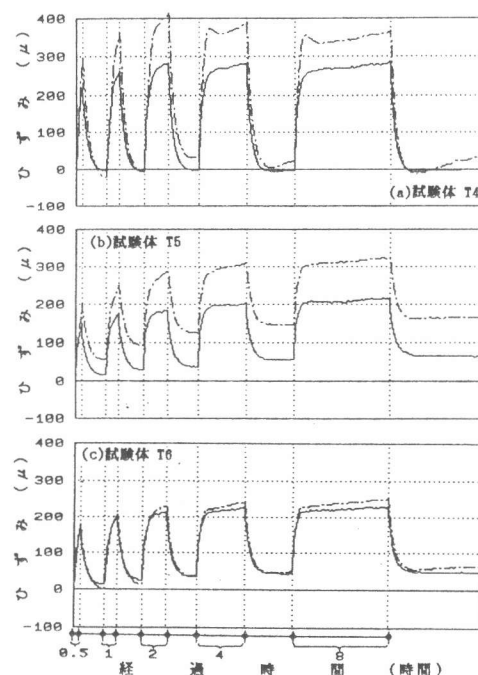


図4 試験体実ひずみの経時変化

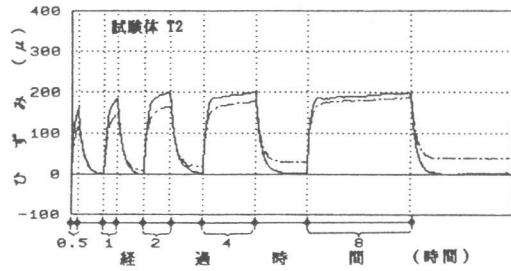


図5 試験体実ひずみの経時変化

の実ひずみの経時変化を示す。照射により生じる引張り（伸び側）ひずみは張り付けモルタルが最も大きく、約1000 $\mu$ に達している。また、同図(a),(b)に示すように照射2時間まではモルタル試験体(M1, M2)には、試験体温度が照射開始直前の値まで低下しているにも関わらず、照射停止後も残留ひずみが生じているが、コンクリート試験体にはこの残留ひずみは見られない。モルタル試験体の非回復性のひずみはモルタルに混入されている樹脂の影響と考えられ、今後更に検討する予定である。ただし、照射時間が4時間を越えると、図6に示すように照射停止後は試験開始前に比べて圧縮側のひずみが残る。これは、照射時間が長くなり、試験体が強制的に乾燥されて収縮ひずみが生じたためである。このことは4時間以上の照射では、引張り側のひずみが照射中に減少することからも明かである。以上のことから、タイル張り壁面が直達日射を受けるとき、樹脂を混入した張り付け及び下地モルタルの挙動は壁面全体の挙動を複雑にすることが分かる。

### 3.2 各素材が仕上げタイルの挙動に及ぼす影響

#### 3.2.1 温度性状

A社製せっ器質タイルを用いた試験体T4, A1, B1及びC1が直達日射を受けるとき、タイル部分の温度変化を図7に示す。同図はタイル下地材料の積層数がタイルの温度に及ぼす影響を比較したもので、図中、実線はタイル表面（受光面）、一点鎖線は裏面の温度変化を示したものである。照射2時間まではタイルの最高温度は下地の積層が増えるほど低い値を示しているが、照射が4時間を越えると逆の傾向を示す。これは下地が増加して試験体体積が大きくなることによる蓄熱容量の影響である。また、照射による試験体の温度上昇は下地の積層が増えるほど

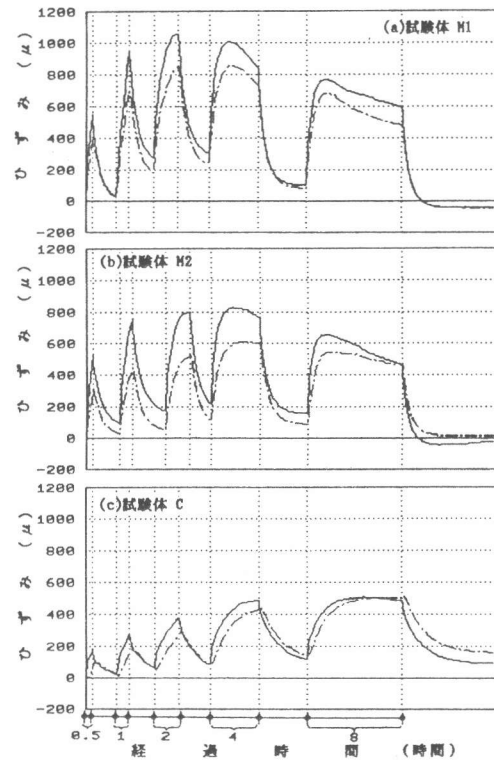


図6 試験体実ひずみの経時変化

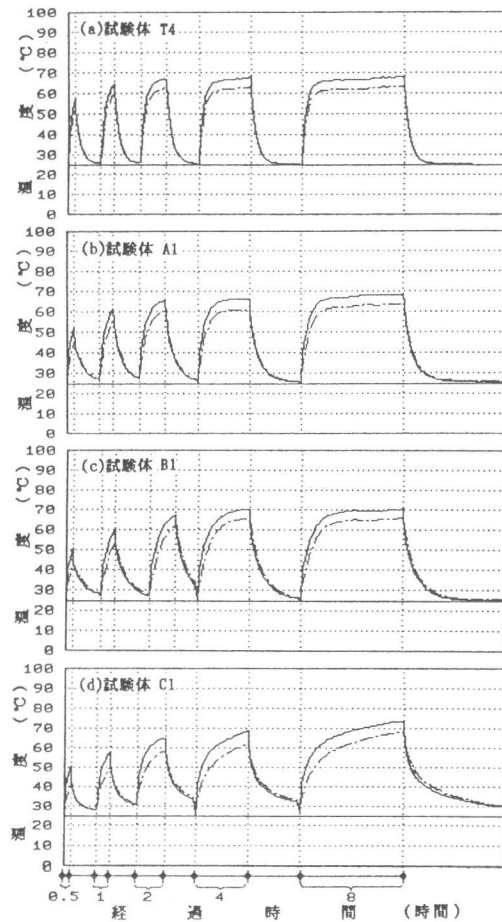


図7 タイル部分の温度経時変化

時間的に遅れることが図より明らかである。図には示していないが、他のタイルを用いた試験体も図7とほぼ同様の傾向を示した。

### 3.2.2 ひずみ性状

A社製せつ器質タイルを使用した各試験体(T4, A1, B1, C1)が直達日射を受けるときのタイル表裏の実ひずみを図8に示す。図中、実線はタイル受光面、一点鎖線はタイル裏面の値を示す。照射によるタイルの伸びは、タイル表面は下地が増加しても殆ど変化しないが、タイル裏面の実ひずみは著しく増大している。これはタイル裏面が直接接する張り付けモルタルや下地モルタルの伸びによる引張力を受けているためである。躯体コンクリートを有する試験体C1(図3(d))のタイル部分に生じるひずみは、他の試験体に比べて照射が1時間までは値が小さく、照射が2時間を越えると大きな値を示すようになる。これは、照射時間が短いときは、コンクリート部分は温度が低いためモルタルやタイルの伸びを拘束し、照射時間が長くなり温度が上昇するとコンクリート自身が伸び始め、他材料に対するひずみ拘束が小さくなるためである。このことは試験体C1のコンクリート部分の実ひずみを示した図9からも明らかである。即ち、図9において照射が1時間まではコンクリートの伸びひずみは小さく、特にコンクリート裏面にはほとんどひずみが生じていない。

また、図8において各照射終了後は、試験体温度が試験開始時の値まで低下してもタイル裏面にはかなり大きな引張り側の残留ひずみが残っている。特に通常のタイル張り壁面と同様の断面を有する試験体C1のタイル部分に生じる実ひずみ及び残留ひずみも大きくなっている。これは先に示したように張り付けモルタルの残留ひずみや、タイル自身の変形性状の影響である。

図10に試験体A1(図8(b))の張り付けモルタルの実ひずみ、図11に試験体B1(図8(b))の下地モルタルの実ひずみを示した。いずれもタイル表面が直達日射を受けることにより、かなり大きなひずみが生じていることがわかる。

図12にB社製のせつ器質タイルを使用した試験体C3の試験結果を示す。同図はほぼ図8(d)と同様の

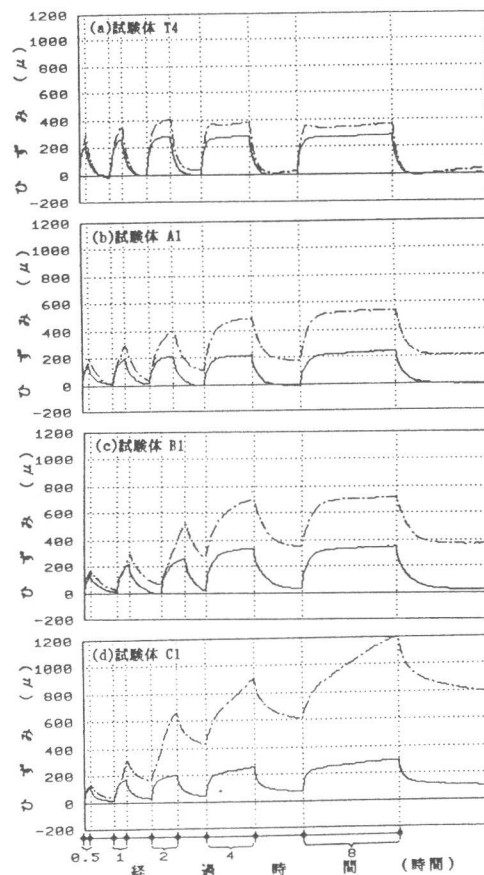


図8 タイル表裏の実ひずみの経時変化

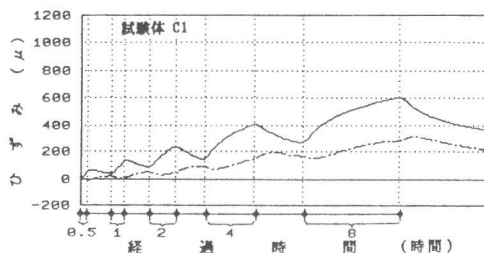


図9 コンクリート部分の実ひずみ経時変化

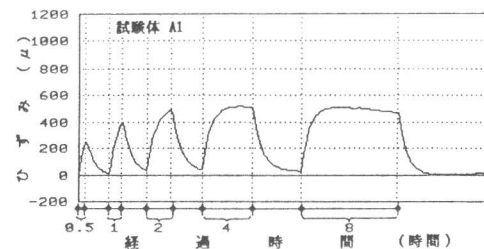


図10 張り付けモルタルの実ひずみ経時変化

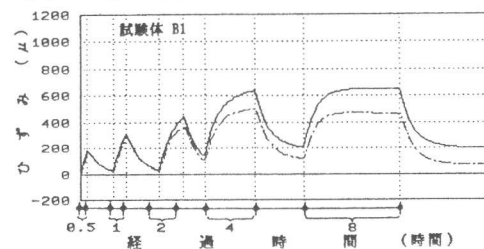


図11 下地モルタルの実ひずみ経時変化

傾向を示しているが、図8(d)に比べてタイル裏側の残留ひずみは小さくなっていることが分かる。これはA社製のタイル（短辺方向に裏足）とB社製タイル（長辺方向に裏足）の裏足形状の差によるものである。

図13に、実験に供した各タイルに生じる最大実ひずみと下地積層との関係を一括して示す。同図は試験体が4時間直達日射を受けたときの、タイル受光面（実線）及び裏面（一点鎖線）の値を示している。同図から、タイルに生じる実ひずみはタイル下面の材料が増えるほど大きくなる傾向を示しており、特に張り付けモルタル及び下地モルタルの影響が大きいことが分かる。

また、図8に示す各試験体のタイル部分の真ひずみを図14に示した。各試験体が直達日射を受けるときタイルにはかなり大きな応力が生じることが分かる。コンクリート躯体を有する試験体（図14(d)）のタイルに生じる応力が特に大きくなっている。

#### 4. まとめ

本研究は、直達日射を受けるタイル張り壁面の挙動を定量的に把握することを目的として行ったものである。本論文では、タイル張り壁面を構成する各材料がタイルのひずみ性状に及ぼす影響について検討を行い、以下のような知見を得た。

- ①張り付けモルタルはタイルに比べて線膨張係数が大きく、直達日射によりタイルよりも大きな伸びが生じるため、タイル裏面に過度のひずみを生じさせ、タイルの残留ひずみを増大させる。
- ②下地モルタルは張り付けモルタル同様、タイルに生じる実ひずみ及び残留ひずみを増加させる。
- ③躯体コンクリートは試験体が直達日射を受ける時間が短いときにはタイルの実ひずみを低下させ、照射時間が長くなるとひずみを増加させる。
- ④タイルの裏足形状は、張り付けモルタルとの機械的付着力に影響し、特に短辺方向の裏足を有するタイルの残留ひずみは大きくなる。

今後大型の試験体により、目地種類、型枠材料の影響等についても検討を行う予定である。

- <参考文献> 1) 外壁落下事故防止講習会テキスト, 建築・設備維持保全推進協会, 1990.6  
 2) 日本建築学会九州支部研究報告 第32・1号 1991.3, pp105-108

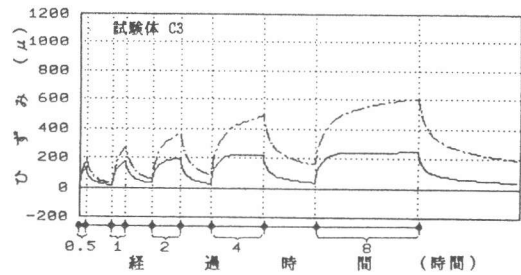


図12 試験体実ひずみの経時変化

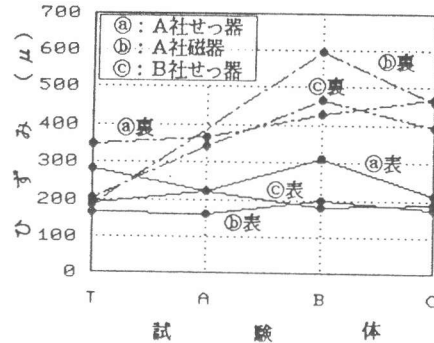


図13 最大実ひずみと下地積層との関係

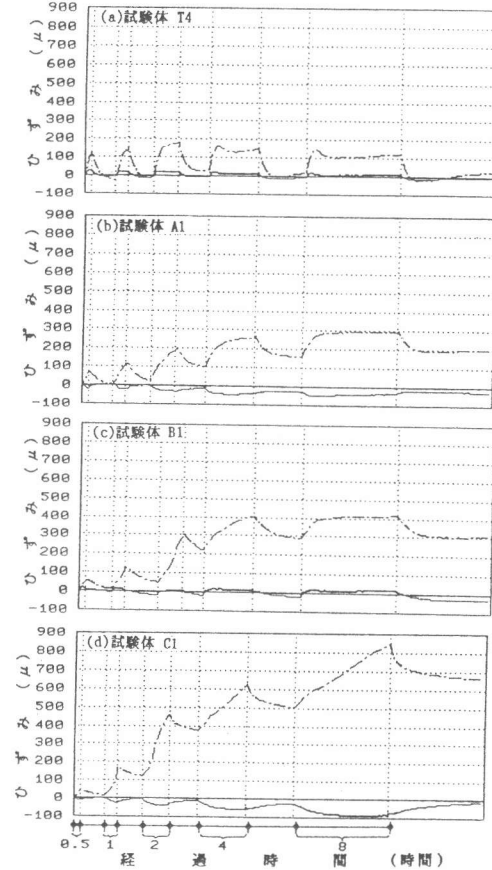


図14 試験体真ひずみの経時変化