

論文 産業廃棄物起源合板のコンクリート型枠への適用性

渡辺 健治*1・小西 正夫*2

要旨：本報告では，廃プラスチック・廃木材などを原材料に製造された，表面に凹凸があるせき板を使用することによって，コンクリート躯体にも凹凸をつけ付着力を改善するという工法を提案する。実験は2つのシリーズで構成され，まず最初の実験では，エンボス型の方が平滑な板よりも有利であることを示した。次のシリーズでは幾つかのエンボスパターンについて性能評価し，最もタイルの付着強度の高いエンボスパターンを見つけることができた。

キーワード：せき板，タイル，コンクリート，付着強度

1. はじめに

タイルは外観の美しさや耐久性の向上という利点からコンクリートの躯体の外装材として広く用いられてきた。しかしその一方で，経年劣化した直張りタイルの剥離事故が発生しており，メンテナンスや修理費の問題から保障問題を含め施主と施工者間で争いが起こるケースもある。またタイル剥離の第一要因として，基礎の沈下やコンクリートの乾燥収縮に伴う長さ変化，即ちコンクリート躯体の変形が考えられ，タイル自身が劣化するというわけではない。この躯体のわずかな変化に対して，貼り付けモルタルが追従できず，躯体とモルタルあるいはモルタルとタイルの界面で剥離が生じてしまうという考え方^{1,2)}が一般的である。タイルの剥離を防ぐ貼り付け技術としては，洗い出し工法，MCR 工法，タイル打ち込み工法など多種であるが，施工手間や躯体故障の可能性などいずれの工法も十分な性能とはいえない。

本報告では，産業廃棄物を主原料とする木製平板（合板）の表面に凹凸を施し，これをコンクリート型枠材（せ

き板）に使用することによって，コンクリート躯体表面にも凹凸を設け，貼り付けモルタルとの付着力を改善するという工法を提案する。本研究では，在来工法よりも簡単に確実なタイル工事が施工できることを目標とした。

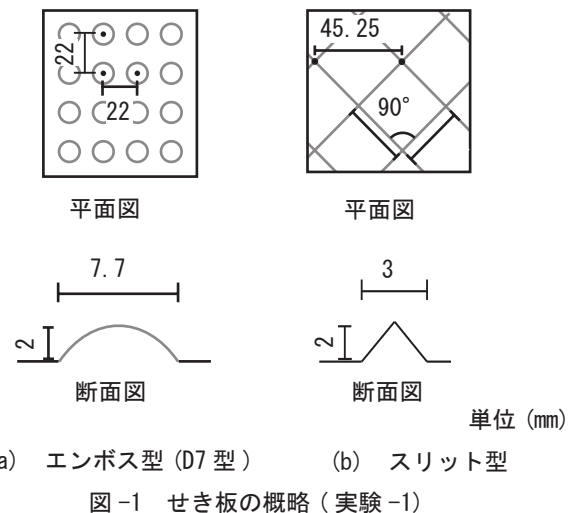
2. せき板の性能

2.1 基礎物性

実験に使用したせき板の基礎物性を表-1に示す。今回使用したせき板（以下，リサイクル板と略記）は，廃木材・廃プラスチックを混合成型して作ったものである。薄板を接着剤で貼り合わせた合版とは異なり，表層をプラスチックでコートしていることから，合版を加熱プレスすることで，容易に金型の凹凸を転写することができる素材である。また表-1中には比較用としてコンクリート型枠用合板の規格（JAS）をコンパネ型として併記した。

表-1 せき板の基礎物性

	リサイクル板 (プレーン型)	コンパネ型
厚さ (mm)	12	12
単位面積質量 (kg/m ²)	0.106	0.062
曲げ強度 (N/mm ²)	29.3	45.8
ヤング係数 ($\times 10^3$ N/mm ²)	1.30	4.58



*1 中部大学 工学部建築学科准教授，工博

*2 (株) トピア

2.2 概略

図-1に実験-1に用いたリサイクル板の概略を示す。同図(a)は表面に丸い凸部を設けたエンボス状の型枠(以下,D7型と略記)を示し、同図(b)は表面にスリットのような凸部をつけたもの(以下、スリット型と略記)を示している。また、図には示していないが、リサイクル板ではあるが表面に凹凸の加工をせず平坦なもの(以下、プレーン型と略記)と、JAS規格のコンパネ表面をウレタンコート仕上げた板(以下、コンパネ型と略記)を合わせ合計4種類のせき板を実験-1では使用した。

また、実験-1の結果をふまえ実験-2では、凸部の直径や高さ、配置パターンを4種類に変化させたものを使用した。図-2および表-2にエンボス型を改良した4種類のせき板の概略・寸法を示す。表-2に示すように、記号1文字目がDのものは、Pに比べて2倍のエンボス状凸部がある。また記号で2字目の数字が大きいほどエンボスの直径が大きいことを示している。また、実験-1は凸部の高さが2mmであり、実験-2では凸部の高さを1mmとしている。

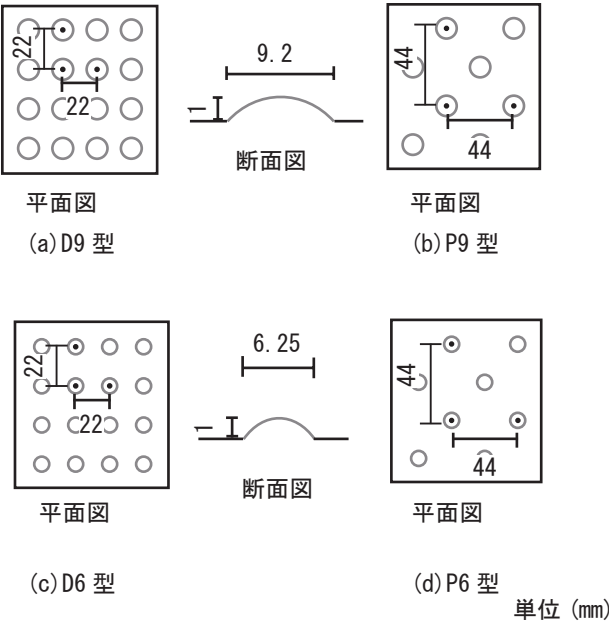


図-2 せき板の概略(実験-2)

表-2 リサイクル板に施したエンボスの寸法

シリーズ名	ピッチ (mm)	直径 (mm)	高さ (mm)
プレーン型	0	0	0
D7 型	22	7.7	2
D9 型	22	9.2	1
P9 型	44	9.2	
D6 型	22	6.25	
P6 型	44	6.25	

3. 実験の概要

3.1 供試体

コンクリートに使用した材料と標準調合表をそれぞれ表-3および表-4に示す。供試体はφ10×20cm円柱型枠を流用し、型枠内縦方向に長方形のせき板(50×200mm)を2枚挿入することで、かまぼこを背中合わせに重ねたような形状の母材コンクリートを作成した。コンクリートは打設後1週間の封緘養生とした。特記がない場合は、脱型1週間後にタイルを貼り付け、その1週間後に各種試験を行った。この間はすべて20℃80%RHの気中養生とした。

この平坦な面それぞれに45二丁掛けの磁器質タイル(45×90mm)を貼り付けた。貼り付けにはW/C=65%の1:2モルタルの改良圧着貼りとし、タイルは貼り付け前24時間の水湿しを行った。しかし、コンクリートと貼り付けモルタル面での剥離を観察するために、一般的に行われる下地処理である水湿しや吸水調整剤などは使用しなかった。

3.2 離型抵抗試験(実験-1A)

今回使用したエンボス型あるいはスリット型のせき板は表面に凸部があるため、脱型するときの抵抗が通常の平滑な型枠材と比べ大きいことが予想される。そこで本試験では、躯体から垂直にせき板を引き剥がす際に必要な最大荷重について検討した。

供試体は上述した型枠の50×200mmのせき板のついたコンクリートとし、せき板に木ネジを数か所打ち込み垂直にせき板を引き剥がした。この値からせき板の面積を除いて離型抵抗値を求めた。

表-3 コンクリートに使用した材料

名称	記号	産物・銘柄	比重
水	W	水道水	1.00
セメント	C	普通ポルトランドセメント	3.15
細骨材	S	木曽川系山砂	2.56
粗骨材	G	木曽川系山砂利	2.60
分散剤	Ad	AE減水剤 (標準型リグニン系)	-

表-4 コンクリートの調合表

	W/C	s/a	Air	W	C	S	G	Ad
単位重量 (kg/m ³)	40%	45%	4%	180	450	746	910	1%C

註) W: 水, C: セメント, s/a: 細骨材率, S: 細骨材, G: 粗骨材, Ad: 分散剤。

3.3 面内方向の付着力試験（実験-1B, 実験-2A）

コンクリート躯体が軸方向に長さ変化する時、タイルと躯体の付着が完全であれば、タイルも同じように長さ変化をするはずである。このような面内変形に追従できなくなることによってタイルが剥離・落下していると考えられることから、コンクリート躯体にひずみを与えたときのタイルに生じるひずみの変化（変形追従性）について実験的に検討した。

実験では、図-4に示すようにタイルを貼り付けた供試体のタイルおよびコンクリートにひずみゲージを長軸方向に貼り付け、このコンクリート供試体に载荷したときのコンクリート部とタイル部に生じるひずみを測定した。

3.4 面外方向の付着力試験（実験-1C, 実験-2B）

この実験では、コンクリート躯体とタイルの変形の差異があった場合を想定し、実験-1Cでは150 μ 、実験-2Bでは0～200 μ のひずみを母材コンクリートに与え、その後除荷することで、ひずみ履歴を残した。その

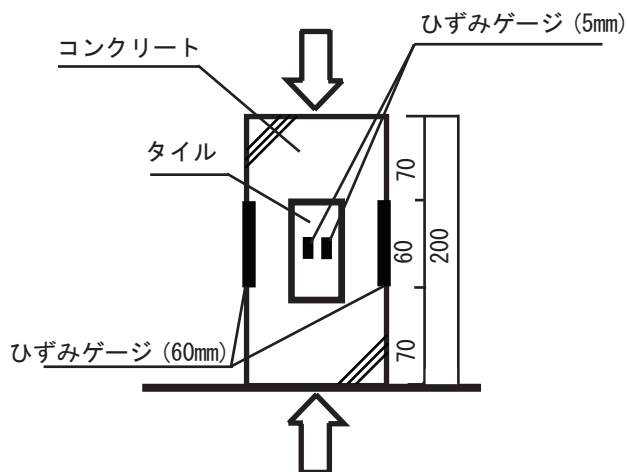


図-4 面内方向付着力試験の概要

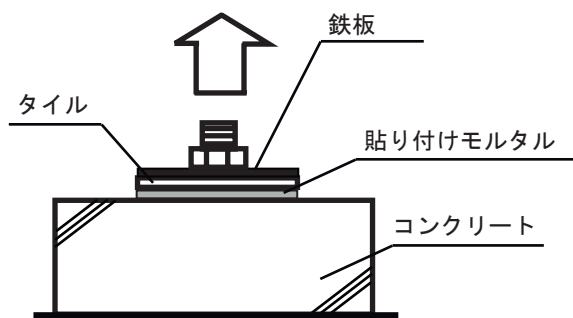


図-5 面外方向付着力試験の概要

後図-5に示すように、面外方向（垂直方向）へタイルを引っ張るが、その際はコンクリートに荷重は作用させていない。これによってひずみ履歴の大小が面外方向（垂直方向）の引張力に対する付着力に及ぼす影響について検討した。また検討したせき板の種類はエンボス型（D7型）とコンパネ型の2種類とし、母材コンクリートの脱型からタイル貼り付けまでの材齢を1～4週間に変化させたときの影響についても検討した。

4. 実験結果と考察

4.1 離型抵抗性の検討（実験-1A）

図-6にせき板の違いが離型抵抗値に及ぼす影響を検討した結果を示す。同図によればコンパネ型よりも凹凸加工したエンボス（D7型）ならびにスリット型の抵抗値の方が約8～20%と大きく、引き剥がしにくいことが分かる。また、リサイクル板ではあるものの平坦なプレーン型の抵抗値が4種類の中で最も大きい結果となった。

4.2 面内方向の付着力の検討（実験-1B）

図-7(a)に概念を示すように、コンクリートに载荷することで生じたコンクリートおよびタイルのひずみに囲まれる領域をエネルギー吸収量と考え、これが大きいものほどタイルの付着が良好と考えた。タイルのひずみがコンクリートよりも小さくなるのは、タイル・モルタル・コンクリートそれぞれの界面でのズレならびにモルタル自身の変形が含まれるが、3者を分離して測定することは難しく、本実験の範囲では、タイル・モルタル間やモルタル自身の影響はいずれの実験条件でも等しいことから、タイルのひずみの大小は、コンクリート・モルタル間の応力伝達の大小と相関性が高いと考えた。ただし、力の単位を揃えるためにコンクリートのヤング係数を23KN/mm²と仮定して、以下の考察に用いた。

図-7(b)にタイルひずみ-コンクリートひずみ曲線の

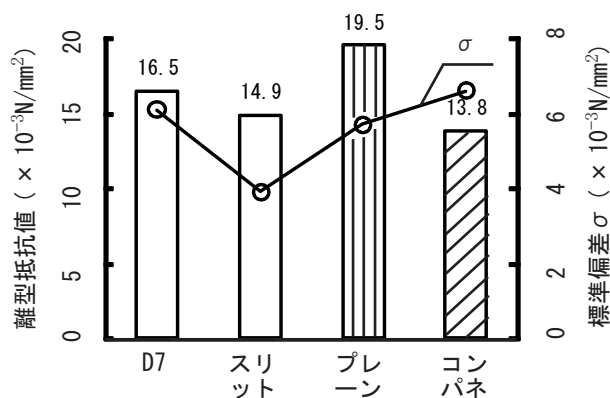


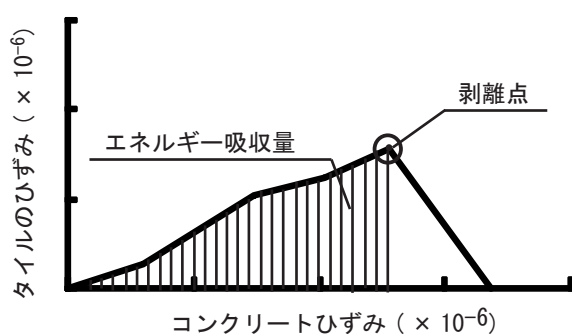
図-6 離型抵抗試験結果（実験-1A）

一例を示す。同図に示すように、タイルひずみとコンクリートひずみは強い直線関係があることがわかる。しかしタイルひずみはコンクリートひずみに比べ小さく、ひずみを完全に伝達していないことがわかる。これは貼り付けモルタルの厚み方向での応力伝達が完全ではないためひずみが減少したものと考えられるが、いずれのせき板の場合でも貼り付けモルタルの条件は同じである。

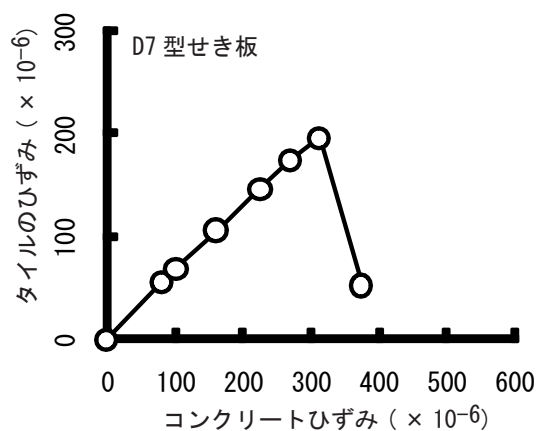
図-8はエネルギー吸収量とせき板の種類の関係を示したものであるが、エンボス型(D7型)あるいはスリット型といった凹凸加工した供試体は、スリット型あるいはコンパネ型といった平滑なものよりエネルギー吸収量が大きいことが分かる。これは、凹凸を付与したことによるリベット効果が発揮されたためと考えられる。

4.3 面外方向の付着力の検討(実験-1C)

図-9に付着強度と供試体にタイルを貼り付けた材齢の関係を示す。また、タイルの引張試験はいずれもタイル貼り付けの1週間後に実施している。



(a) エネルギー吸収量の概念



(b) タイルひずみ - コンクリートひずみ曲線の一例

図-7 エネルギー吸収量の概念

同図によれば、いずれの貼付け材齢でも付着強度は $0.7 \sim 0.8 \text{ N/mm}^2$ 前後の値となった。これは、打設、タイル貼り付けから、引張試験までの期間は短く、この程度の材齢の違いは母材コンクリートの長さ変化による影響が生じないためと考えられる。

図-10はタイルの付着強度と事前に母材コンクリートに与えたひずみ履歴の大きさの関係を示したもので、同図(a)は付着強度とひずみ履歴の関係を、同図(b)は付着強度の標準偏差とひずみ履歴の関係をそれぞれ示したものである。

同図(a)によれば、いずれのせき板を使った供試体でもひずみ履歴が大きくなるほど付着強度が下がる結果となった。この低下程度は、コンパネ型に比べエンボス型(D7型)の方が少なくなっている。

同図(b)はバラツキを示す標準偏差を検討したものであるが、コンパネ型では、ひずみ履歴が大きくなるほど標準偏差すなわち供試体間の付着強度のバラツキが大き

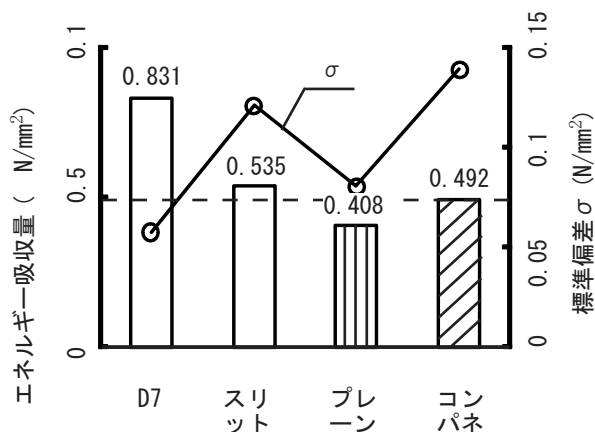


図-8 面内方向の付着力試験結果(実験-1B)

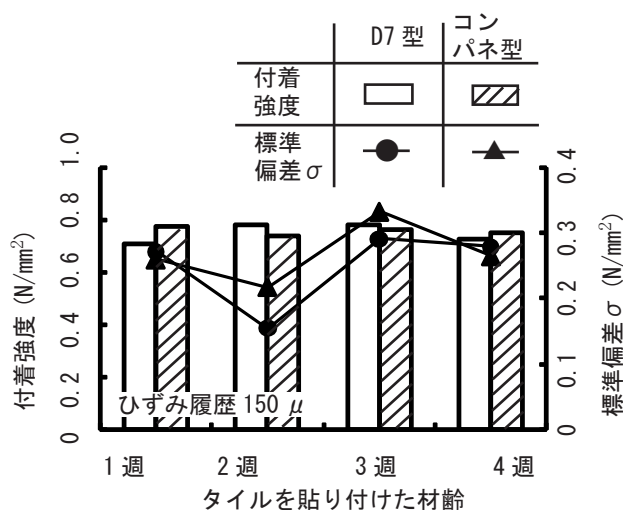


図-9 付着強度と供試体材齢の関係(実験-1C)

くなる傾向が認められる。一方、エンボス型 (D7 型) は、一部例外的な測定点もみられるものの、コンパネ型よりは、いずれのひずみ履歴の大きさの場合でもおおむね標準偏差は小さい傾向にある。これは、躯体につけられた凸部ひとつひとつが独立して付着しているためだと考えられる。

4.2 面内方向の付着力の検討 (実験 -2A)

実験 -1B と同様の手法でエネルギー吸収量を考え、エネルギー吸収量がエンボスの形状や密度の違いによってどのように変化するかを検討した。図 -11 に面内方向の付着力試験結果を示す。

同図によれば、凸部の密度が多い D シリーズに比べ、密度が少ない P シリーズのほうがエネルギー吸収量が大いことが分かる。また D9 と P9 型を比較すると、凸部

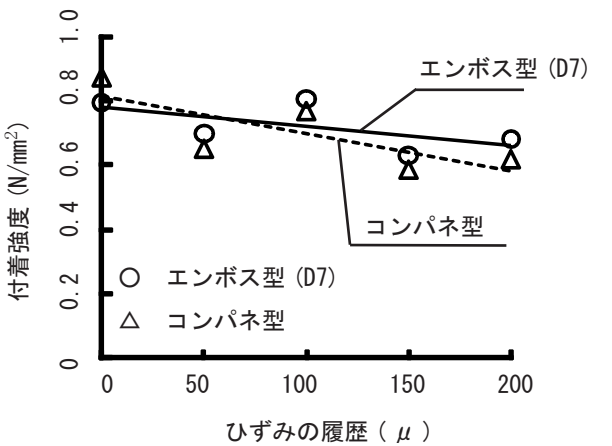
の直径が同じのものでも密度が違うだけで約 2 倍のエネルギー吸収能力の差があることがわかった。このことから、凸部の密度、直径を多くすると単調にエネルギー吸収量が増加するわけではなく密度や直径の関係によって変化すると考えられる。また、D9 型が実験 -1B で述べたコンパネ型に比べ小さくなったことから密度、直径の関係が悪い凹凸を施すことで貼り付けモルタルの変形追従を妨げることも考えられ、最適なパターンをみつけることが重要だと考える。

4.5 面外方向の付着力の検討 (実験 -2B)

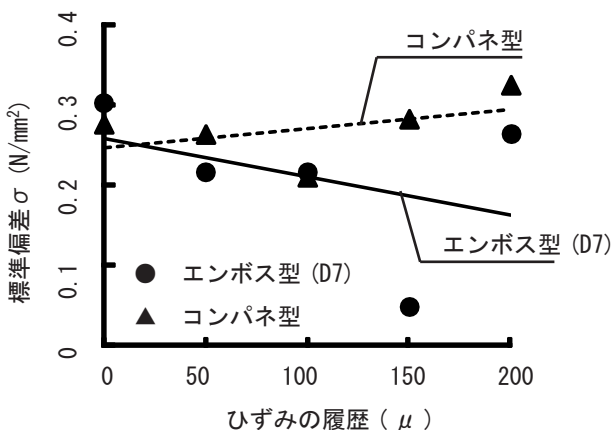
図 -12 は付着力と事前に与えたひずみ履歴の大きさの関係を示したもので、同図 (a) および (b) はそれぞれ付着強度および付着強度の標準偏差を示している。また図中には、比較として実験 -1C で使用したエンボス型 (D7 型) も示した。

同図 (a) によると、凸部の高さが 2mm であった D7 型に対しそれ以外は 1mm となっているため、D7 型に比べ全体に付着強度が小さくなっていることが分かる。しかし P6 型に注目すると、付着強度が $50 \mu \sim 200 \mu$ にかけて D7 型と同程度という結果が得られた。このことから、凸部の直径や凸部の密度が小さくなるほど一概に付着強度が低下するものではないということが分かる。またこの結果から、凸部の直径や密度には最適値があるのではないかと考えられる。

同図 (b) は付着強度の標準偏差を示したものであるが、凸部の寸法や密度とバラツキも間にはの相関は認められなかった。



(a) 付着強度とひずみの関係



(b) 標準偏差 σ とひずみの関係

図 -10 ひずみ履歴の影響 (実験 -1C)

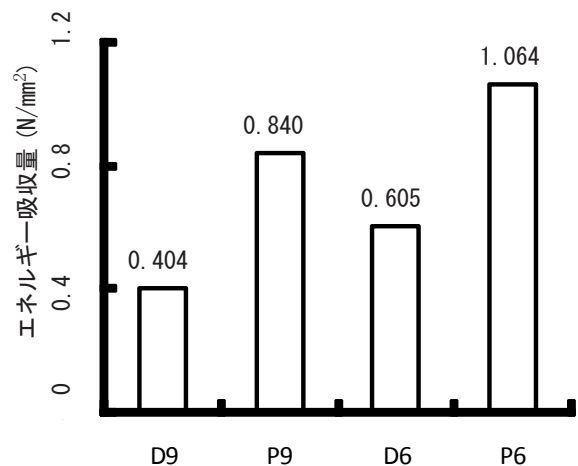
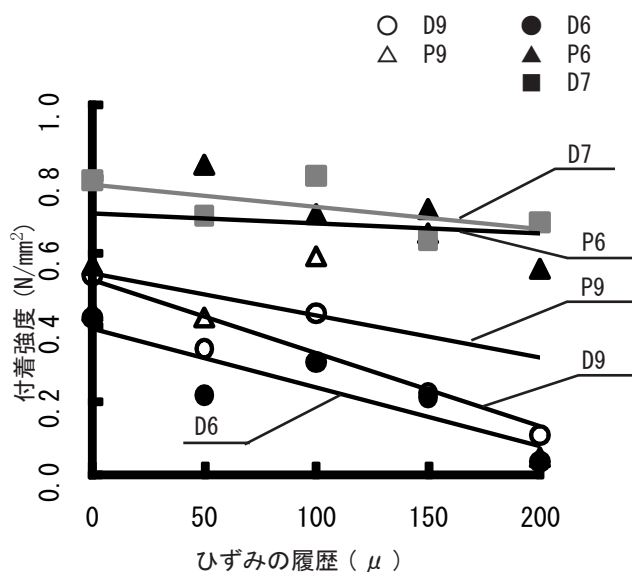
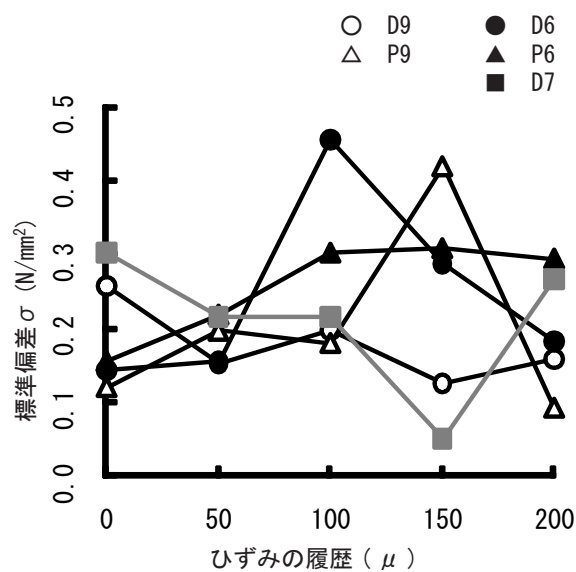


図 -11 面内方向の付着力試験結果 (実験 -2A)



(a) 付着強度とひずみの関係



(b) 標準偏差σとひずみの関係

図-12 面外方向の付着力試験結果（実験-2B）

5. まとめ

本報告では、あらかじめコンクリート躯体に凹凸を設け、貼り付けモルタルとの付着力を改善できるせき板を提案した。本研究で得られた知見は以下のようにまとめられる。

- 1) エンボス型 (D7) せき板を使った場合、離型時における抵抗は、コンパネ型よりも比べ8～20%程度増加する。
- 2) 本実験の範囲では、平坦なコンクリート下地の場合のエネルギー吸収量は、凹凸を施した場合よりも小さかったことから、コンクリートとタイル間に、ディファレンシャルムーブメントが生じた際には、平坦な下地コンクリートに貼ったタイルの方が剥がれやすい。
- 3) タイル貼り付けから引張試験までの材齢が一定であれば、タイル貼り付け時のコンクリートの材齢は付着強度に影響を及ぼさない。
- 4) 面外方向の付着は、エンボス型 (D7) の場合は平滑な板に比べ安定して付着強度を保持していることが分かった。これは躯体につけられた凹凸部ひとつひとつが独立して付着しているためだと考えられる。

- 5) 凸部の密度が高いDシリーズに比べ、密度が低いPシリーズの方がエネルギー吸収量大きいことが分かった。このことから、凸部の密度や直径の増減は単純にエネルギー吸収量とは比例せず最適なパターンが存在すると考えられる。

謝辞

研究遂行にあたり、鷹尾栄里君、望月航太君、森秀文君、大河内恵太君、高柳純貴君（中部大学卒業研究生）、山田和泉君（中部大学大学院生）の助力を得た。付記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 井上秀行・名知博司・小野正：外装タイル張り仕上げの剥離防止設計に関する研究 その3 引張接着強度に及ぼす各種下地要因の影響，日本建築学会学術講演概要集，A-1，pp209-210，2003. 9
- 2) 名知博司・小野正・井上秀行：外装タイル張り仕上げの剥離防止設計に関する研究 その4 ひずみ追従性に及ぼす各種下地要因の影響，日本建築学会学術講演概要集，A-1，pp211-212，2003. 9