

論文 タイル仕上げによるコンクリートのせん断ひび割れ抑制効果に関する検討

石川 直輝*1・橋高 義典*2・松沢 晃一*3

要旨: 本研究では、小型供試体の4点せん断試験により簡易的にコンクリート外壁のせん断ひび割れを試験する方法を提案し、耐震補強の方法としてコンクリート躯体に繊維補強モルタルによりタイル仕上げを行った場合のせん断ひび割れ抑制効果について検討を行った。コンクリート供試体、コンクリートにプレーンモルタル、および繊維補強モルタルを施工した供試体、コンクリートにプレーンモルタル、および繊維補強モルタルによりタイルを施工した供試体の4点せん断試験を行ない、供試体にせん断ひび割れを発生させ、荷重と開口ずれ変位の関係を測定し、繊維補強モルタルを用いたタイル仕上げの補強効果を検討した。

キーワード: 4点せん断試験, 繊維補強モルタル, タイル仕上げ

1. はじめに

地震の多発するわが国では建築物の耐震性向上は常に求められている。建築物の構造材料として用いられるコンクリートは一般的に圧縮力に強いものの、引張力に弱く、ひび割れが発生すると、構造体としての機能を果たせないことがある。また、既存鉄筋コンクリート構造体は過去の地震などにより軽微なひび割れが多数発生していることがある。コンクリート構造体の耐震補強の方法として、繊維を混入したモルタルをコンクリート表面に塗り増す方法¹⁾がある。この方法は繊維の補強効果により地震時のコンクリート躯体のひび割れ抑制効果が発揮できると考えられる。また、既存コンクリート外壁の耐震補強では、耐震化だけではなく、同時に美観の向上となるよう、タイル仕上げなどを施工することで、建築物のリフォームが行うことができ、さらに建築物を長期に使用できると考えられる。

タイル仕上げ壁面の地震によるせん断ひび割れを想定した試験方法として、大型供試体のせん断試験^{2), 3), 4)}がある。しかし、簡易的に小型供試体を用いた試験は例が少なく、小型供試体により詳細な試験を行うことで補強効果の検討が行える可能性があると考えられる。本研究は、小型供試体のせん断試験によりコンクリート外壁のせん断ひび割れを試験する方法を提案し、耐震補強の方法として、コンクリート躯体に繊維補強モルタルによりタイル仕上げを行った場合のせん断ひび割れ抑制効果について検討を行った。

供試体はコンクリート供試体、コンクリート供試体表面にプレーンモルタル、および繊維補強モルタルを施工したもの、コンクリート供試体にプレーンモルタル、お

よび繊維補強モルタルによりタイルを施工したものとした。試験は供試体の上部2点、および下部2点に圧縮力を加え、せん断ひび割れを供試体中央に生じさせる4点せん断試験⁵⁾により行うものとした。

2. 張付けモルタルの性能試験

2.1 実験概要

ここでは、タイル施工に用いる張付けモルタルのせん断ひび割れ抑制効果の評価を行なうために、張付けモルタルに用いる調合で40×40×160mm 供試体を作製し、その性能評価を行なった。

2.2 供試体概要

表-1 に使用材料、表-2 に使用繊維物性を示す。繊維はφ13μm、長さ6mmのビニロンを用いた。表-3 にモルタル調合およびフロー値を示す。水セメント比は50%の1水準、繊維混入率を0, 1vol.%の2水準とした。

供試体作製は温度20℃、湿度60%R.H.の恒温恒湿室で行なった。練混ぜには容量4リットルのモルタルミキサーを使用した。練混ぜ直前、ビーカーに計量を行った水に繊維を投入し、攪拌し繊維のだまをほぐした。セメント、細骨材をミキサーに投入し空練りを60秒間、その後、ミキサーを回転させながら60秒間で水および繊維を投入し、停止させる。掻き落しを行い、再度120秒間練混ぜを行なった後に型枠に打ち込んだ。モルタル練混ぜ後、モルタルフロー試験を行った。繊維補強モルタルはプレーンモルタルに比べ、混入繊維によりフロー値が低下した。供試体は打込み後2日で脱型し、材齢1週間まで標準養生を行った。その後、せん断試験を行なった。なお、供試体数は各条件につき2体とした。

*1 首都大学東京大学院 都市環境科学研究科建築学域 博士前期課程 (正会員)

*2 首都大学東京大学院 都市環境科学研究科建築学域 教授 工博 (正会員)

*3 首都大学東京大学院 都市環境科学研究科建築学域 助教 修士 (工学) (正会員)

表-1 使用材料

材料	種類	物性
セメント	普通ポルトランドセメント	密度 3.16/cm ³
細骨材	珪砂 5号	表乾密度 2.57g/cm ³ 吸水率 1.63% 粗粒率 2.45
	珪砂 6号	表乾密度 2.56g/cm ³ 吸水率 1.72% 粗粒率 1.52

表-2 使用繊維物性

原料	繊維直径 (μm)	繊維長さ (mm)	密度 (g/cm ³)	引張強度 (MPa)	ヤング率 (GPa)	破断時の伸び (%)	耐アルカリ性
ビニロン	13	6	1.3	1840	44.6	6.1	有り

表-3 モルタル調合およびフロー値

供試体	水セメント比 (%)	セメント/珪砂 (容積比)	珪砂 5号:珪砂 6号 (容積比)	繊維混入率 (vol.%)	モルタルフロー (mm)
プレーンモルタル	50	0.5	2:1	0	196
繊維補強モルタル	50	0.5	2:1	1	148

2.3 試験方法

図-1 に測定点を示した供試体概要を示す。試験には容量 250kN の万能試験機を用い、クロスヘッド速度を 0.01mm/min で 4 点載荷を行なった。荷重および変位のデータは 0.1kN ごとに記録した。供試体前面に 2 軸変位計を設置し、せん断ひび割れによる供試体の X 方向変位（ひび割れ幅）、および Y 方向変位（ひび割れずれ変位）を測定した。測定点距離は 50mm である。X 方向変位（ひび割れ幅）は左側測定点に対し、右側測定点の右方向への変位を+、Y 方向変位（ひび割れずれ変位）は左側測定点に対し、右側測定点の上方向への変位を+とする。試験荷重を P 、供試体中央荷重を P_1 、供試体端部荷重を P_2 とする。

2.4 試験結果および考察

4 点せん断試験による供試体の最大強度が高いほど、せん断変形に対する耐力が高いと言える。また、せん断変形によるひび割れ発生後、X 方向変位（ひび割れ幅）、および Y 方向変位（ひび割れずれ変位）の拡大に伴い、供試体の強度が保持できている場合、せん断変形に対するひび割れ抵抗性があると言える。そして、供試体破壊までの X 方向変位（ひび割れ幅）、および Y 方向変位（ひび割れずれ変位）が大きいほど、ひび割れ抵抗性が高いと考えられる。

写真-1 に繊維補強モルタルの試験状況を示す。4 点せん断試験により供試体中央にせん断ひび割れが発生した。

図-2 に 2 軸変位計荷重-変位曲線を示す。なお、グラフ上の○部分は供試体のひび割れ発生点を示す。プレーンモルタルは最大荷重時にせん断ひび割れが発生し、供試体の破壊に至った。繊維補強モルタルは最大荷重時のひび割れ発生後、供試体の破壊には至らず、X 方向変

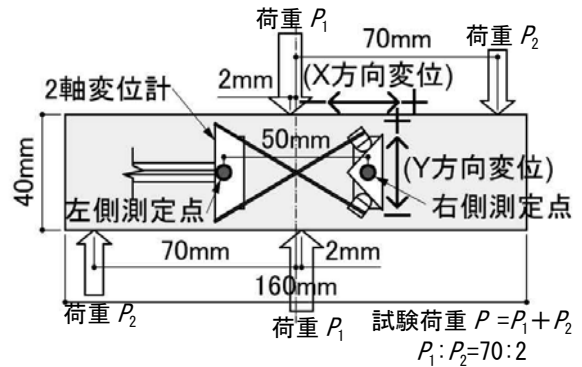


図-1 供試体概要

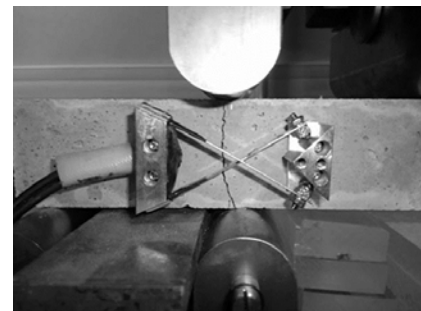


写真-1 繊維補強モルタル試験状況

位（ひび割れ幅）の拡大とともに徐々に荷重が低下した。Y 方向変位（ひび割れずれ変位）は供試体端部荷重 P_2 により、供試体変形することで、左側測定点に対し、右側測定点が下がり、最大荷重時にマイナス値となった。ひび割れ発生後、繊維補強モルタルは、中央荷重 P_1 により供試体がせん断変形することで、左側測定点に対し、右側測定点が上がり、Y 方向変位（ひび割れずれ変位）の拡大とともに徐々に荷重が低下した。これは繊維のブリッジング作用によるモルタルのひび割れ抵抗性が増大し、モルタルの靱性が向上しているためである。

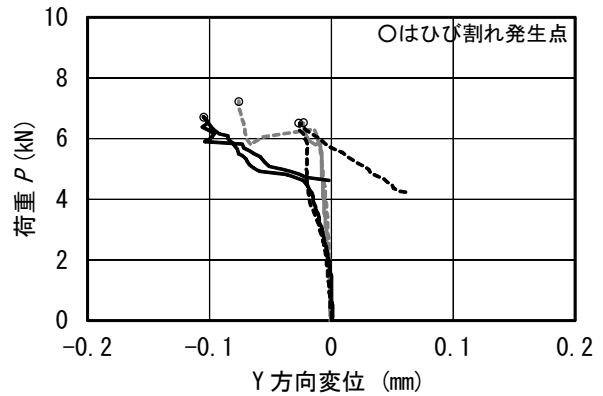
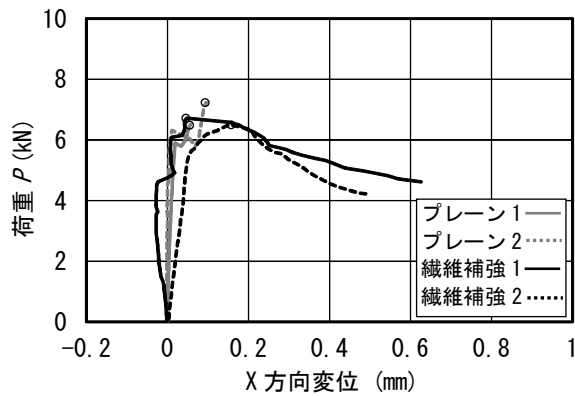


図-2 2軸変位計荷重-変位曲線

3. タイル張り供試体による4点せん断試験

3.1 実験概要

ここでは、コンクリート躯体に繊維補強モルタルによりタイル仕上げを行った場合のせん断ひび割れ抑制効果について検討を行った。

3.2 供試体概要

図-3 に測定点を示した供試体概念図、図-4 に供試体概要、表-4 に供試体一覧、表-5 にコンクリート使用材料、表-6 にコンクリート調合および強度試験結果を示す。使用繊維、張付けモルタルの調合は2.2節と同様のものとした。供試体は、寸法 $200 \times 200 \times 100\text{mm}$ のコンクリートにモルタル、およびタイルを施工したものの各2体ずつとした。

コンクリート練混ぜは気温 26°C の実験室内にて行った。練混ぜには容量 50 リットルパン形強制練りミキサを使用した。ミキサにセメント、細骨材、粗骨材を投入し 30 秒間混ぜ、次に水と混和剤を投入し、 30 秒間練混ぜた後に掻き落としを行い、さらに 60 秒間練混ぜを行った。その後、型枠に打設した。コンクリート打設後、温度 20°C 、湿度 $60\% \text{R.H.}$ の恒温恒湿室にて1週間水中養生後、1週間気中養生した。その後、載荷面をコンクリートカッターで平滑にし、供試体の中央にせん断ひび割れが生じるように、供試体の中央上下部に刃厚 1.2mm のコンクリートカッターにより深さ 50mm まで切り欠きを入れた。供試体のモルタル施工部に粗さ 40 番の紙やすりにてやすり掛け、水洗いを行った。乾燥後、EVA系吸水調整剤(3倍希釈液)を塗布し、乾燥後、型枠を用い、モルタルの塗り付け、およびタイル張りをを行った。タイルは厚手のモルタル張り用、小口平の磁器質施釉タイル ($108 \times 60 \times 9.5\text{mm}$ 、裏足深さ 2mm) を用い、改良圧着張り⁶⁾で施工した。モルタルの塗り付け、およびタイル張付けモルタルは供試体前面に $100 \times 118 \times 8\text{mm}$ で施工し、タイルかぶり厚は 5mm とした。モルタルおよびタイル施工後、温度 20°C 、湿度 $60\% \text{R.H.}$ の恒温恒湿室にて 10 週間気中養生を行い、その後、試験を行った。

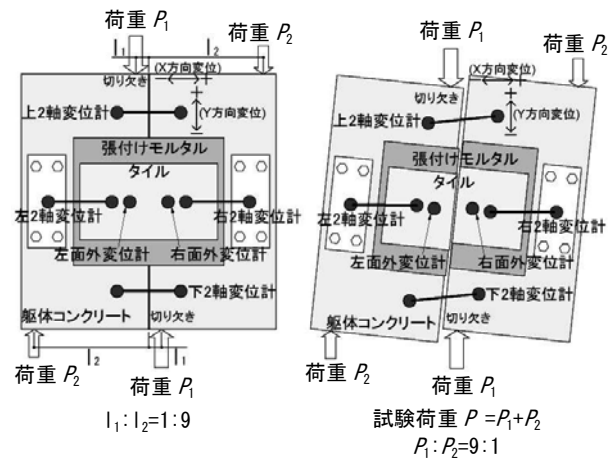


図-3 供試体概念図

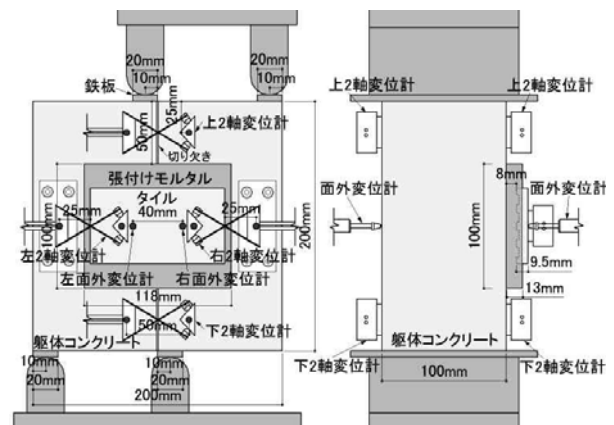


図-4 供試体概要

表-4 供試体一覧

記号	供試体一覧
C	コンクリート
C+M	コンクリート+プレーンモルタル
C+M+T	コンクリート+プレーンモルタル+タイル
C+fM	コンクリート+繊維モルタル
C+fM+T	コンクリート+繊維モルタル+タイル

各2体ずつ試験

表-5 コンクリート使用材料

材料	種類	物性
セメント	普通ポルトランドセメント	密度 3.16/cm ³
細骨材	山砂	表乾密度 2.52g/cm ³ 吸水率 2.45% 粗粒率 2.12
	砂岩砕砂	表乾密度 2.62g/cm ³ 吸水率 1.13% 粗粒率 3.06
粗骨材	砂岩砕石	表乾密度 2.63g/cm ³ 吸水率 1.08% 実績率 59.1
混和剤	AE 減水剤	リグニンスルホン酸とポリオール複合体

表-6 コンクリート調合および強度試験結果

水セメント比 (%)	質量 (kg/m ³)						スランプ (cm)	空気量 (%)	材齢 28 日強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)
	水	セメント	山砂	砕砂	砕石	AE 減水剤				
60	182	303	229	558	978	0.756	19	4.5	34.7	23.4

3.3 試験方法

試験には容量 250kN の万能試験機を用い、クロスヘッド速度を 30kN に達するまでは 0.05mm/min とし、その後は 0.01mm/min とし、4 点荷重を行なった。荷重、および変位のデータは 0.2kN ごとに収録した。荷重点の破壊を防ぐため、荷重点に 20×150×5mm の鉄板を設置した。供試体上下部の前面、および背面に 2 軸変位計を設置し、前面および背面の計測値の平均から、せん断ひび割れによる躯体コンクリートの X 方向変位（ひび割れ幅）、および Y 方向変位（ひび割れずれ変位）を測定した。また、タイル張り供試体において、タイル剥離が生じた場合の躯体の変形に対するタイルの変形追従性能⁵⁾を確認するため、供試体左右に 2 軸変位を設置し、コンクリートとタイルとのずれを測定した。コンクリート面とタイル面の高さを合わせるため、供試体左右にアルミプレートを接着し、2 軸変位を設置した。また、タイル張り供試体において、タイル上の左右 2 点、および供試体背面の左右 2 点に小型面外変位計を設置し、その計測値の差から、4 点荷重により供試体に発生した躯体左側の面外方向変位、および躯体右側の面外方向変位を測定した。試験荷重を P 、供試体中央荷重を P_1 、供試体端部荷重を P_2 とする。

3.4 試験結果および考察

写真-2 に供試体 C+fM+T の試験後状況、写真-3 に供試体 C+fM+T の供試体断面を示す。写真-2 に示すように、4 点せん断試験により供試体中央にせん断ひび割れが生じた。せん断ひび割れはいずれの供試体も上部切り欠きより発生し、供試体下面中央の鉄板の右側へ延長した。モルタル剥離ないし、タイル剥離は生じなかった。これは、モルタル施工面の下地処理が十分に行われたため、剥離を生じなかったと考えられる。写真-3 に示すように、繊維補強モルタルを用いたタイル張り供試体のモルタル断面に補強繊維が確認できる。

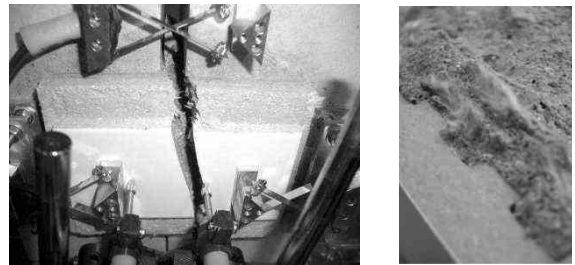


写真-2 試験後状況

写真-3 供試体断面

図-5 に上 2 軸変位計荷重-変位曲線を示す。グラフ上の○部分は供試体のひび割れ発生時を示す。また、グラフ端部は供試体の破壊点を示す。図-5 より供試体 C に対し、モルタル塗り供試体、およびタイル張り供試体は最大強度が高い。これはコンクリートにモルタル塗りおよび厚手のタイル張りを行うことで、せん断力に対し耐力が向上した可能性があると考えられる。供試体 C、2 体はせん断ひび割れ発生後、すぐに供試体の破壊に至った。供試体 C+M に対し、供試体 C+fM は荷重低下時の上 2 軸変位計 X 方向変位（ひび割れ幅）の最大値が大きくなった。また、供試体 C+M+T に対し、供試体 C+fM+T はひび割れ発生後、供試体破壊までの上 2 軸変位計 X 方向変位（ひび割れ幅）の最大値が大きくなった。これはモルタルに混入した繊維のブリッジング作用により、コンクリート躯体のせん断ひび割れの抑制に繋がっていると考えられる。しかし、供試体 C+fM+T、1 体は補強効果が見られなかった。上 2 軸変位計 Y 方向変位（ひび割れずれ変位）は、中央荷重 P_1 により供試体に変形することで、左側測定点に対し躯体右側が上がり、いずれの供試体もひび割れ発生時にプラス値を示した。その後、ひび割れ先端を支点とし、扇状にひび割れが拡大することで、左側測定点に対し、躯体右側が下がり、Y 方向変位（ひび割れずれ変位）はマイナス値を示した。

図-6 に下 2 軸変位計荷重-変位曲線を示す。上部切

り欠きからのひび割れ拡大に伴い、下部切欠きが狭まっていることがわかる。また、下2軸変位計Y方向変位より躯体右側が下がっていることがわかる。

図-7に左2軸変位計荷重-変位曲線、図-8に右2軸変位計荷重-変位曲線を示す。供試体中央にせん断ひび割れが発生することで、躯体-タイル間に離れようとするプラスX方向変位を生じていることがわかる。また、C+M+TよりC+fM+Tの方が、X方向変位が大きいことから、C+M+TよりC+fM+Tの方が、躯体の変形に対する変形追従性能^{7), 8)}が高いと言える。また、左2軸変位計X方向変位に比べ、右2軸変位計X方向変位の値が大きい。

これは、ひび割れが供試体下面中央の右側へ延長していることから、躯体右側により荷重がかかっていると考えられる。ひび割れ発生後、躯体-タイル間の変位は減少した。左2軸変位計Y方向変位はほぼ生じなかった。右2軸変位計Y方向変位は、供試体の変形により、躯体右側に対しタイル面が下がることで、プラス方向を示した。

図-9に躯体面外方向荷重-変位曲線を示す。躯体左側の面外方向変位は生じなかった。躯体右側の面外方向変位がマイナス値となることより、供試体に荷重がかかり、面外方向の変位が発生している。これは、躯体右側により荷重がかかっていると考えられる。

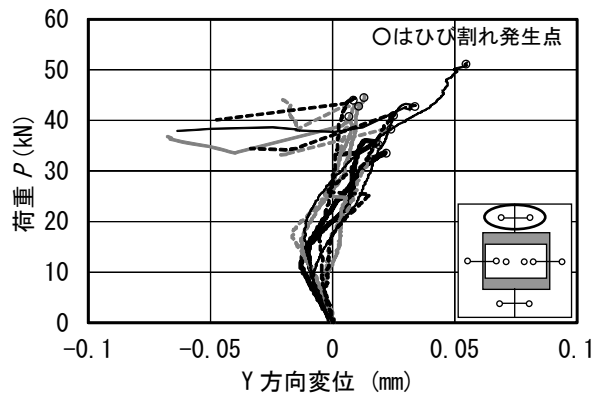
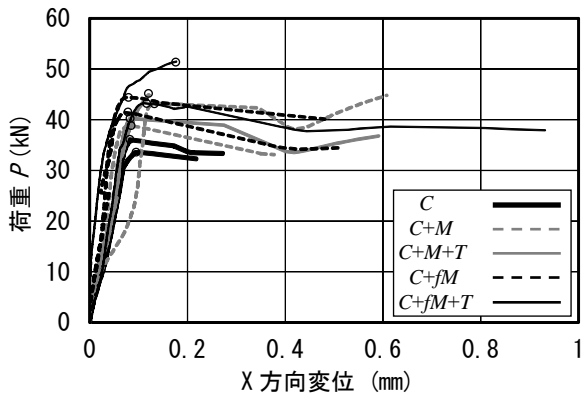


図-5 上2軸変位計荷重-変位曲線

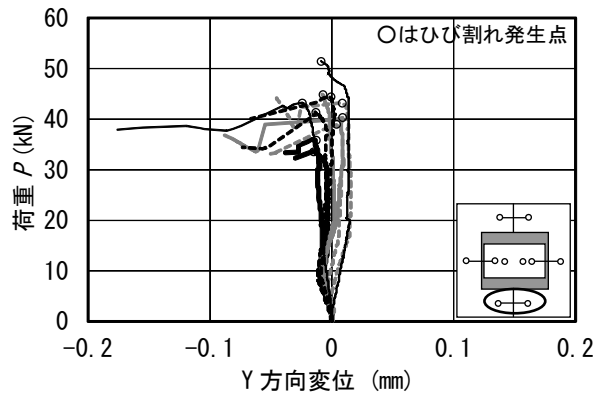
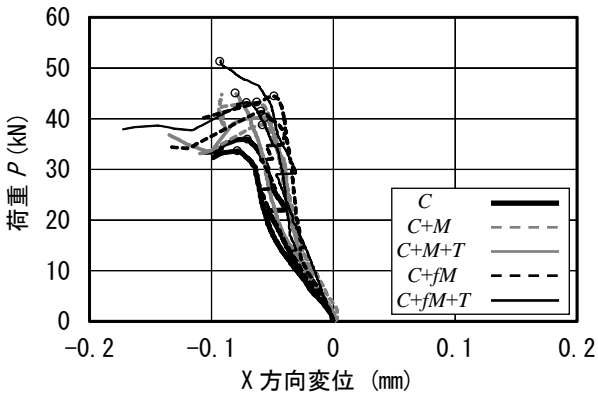


図-6 下2軸変位計荷重-変位曲線

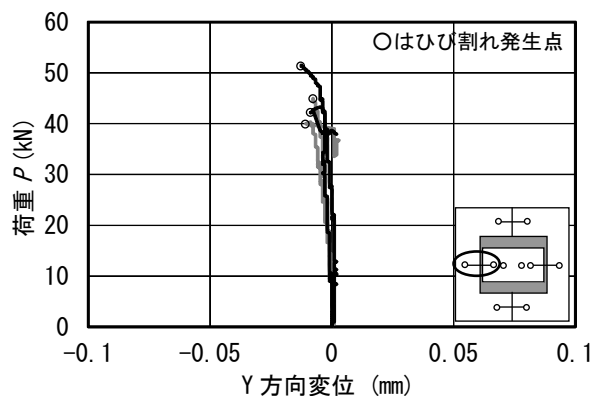
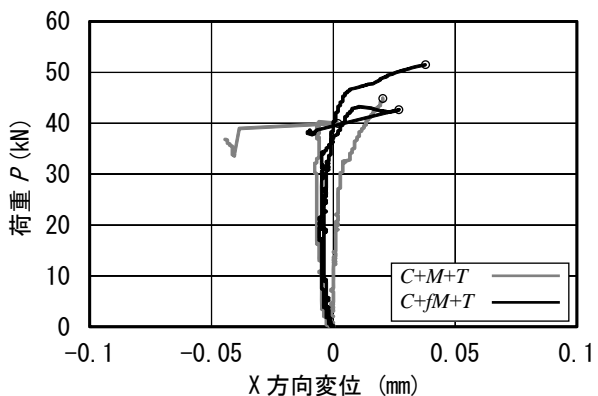


図-7 左2軸変位計荷重-変位曲線

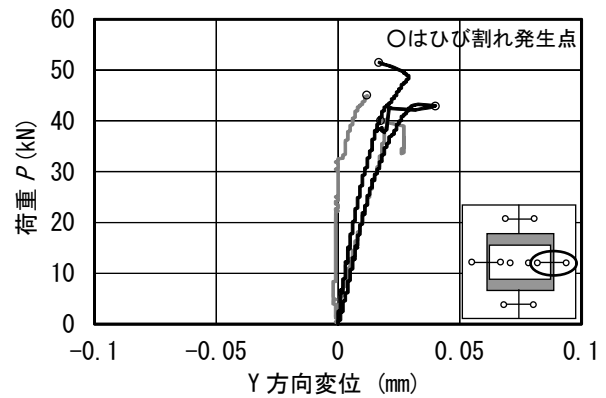
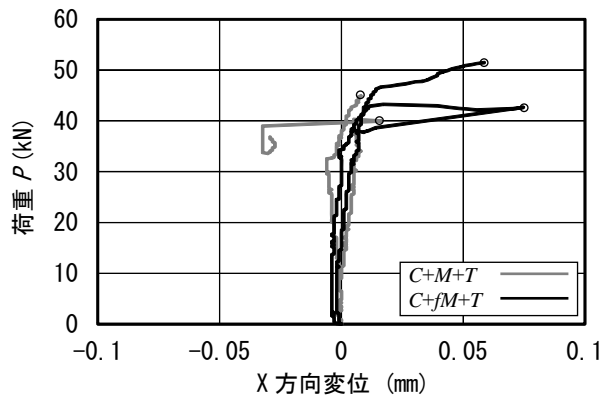


図-8 右2軸変位計荷重-変位曲線

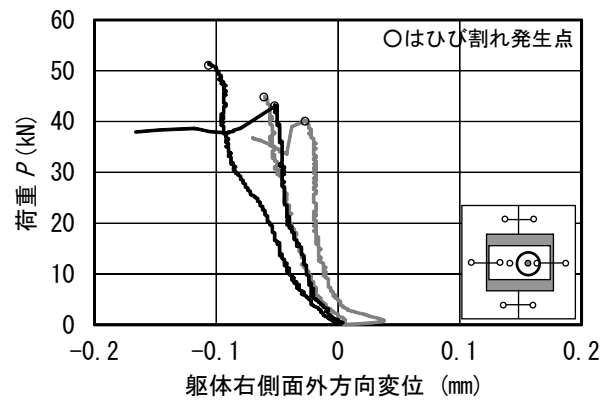
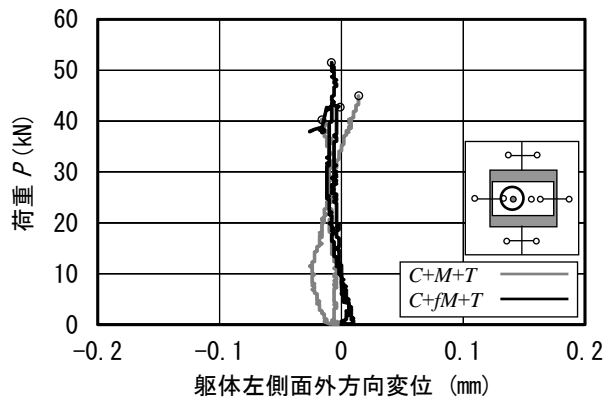


図-9 躯体面外方向荷重-変位曲線

4. まとめ

- (1) 切欠き供試体の4点せん断試験により、コンクリートにタイル仕上げを施した場合のせん断ひび割れの抵抗性を試験する方法を提案した。
- (2) コンクリート表面にモルタルを施工することで、せん断変形に対する耐力およびひび割れ抵抗性が向上した。
- (3) モルタル仕上げよりも繊維補強モルタル仕上げとすることで、せん断変形に対するひび割れ抵抗性が向上した。
- (4) コンクリートに厚手の磁器質タイル仕上げを施工することで、せん断力に対し耐力が向上する可能性がある。また、繊維補強モルタルの下地と組み合わせることでひび割れ抵抗性も向上した。

参考文献

- 1) 土井至朗, 松岡茂, 齋藤雅春, 松尾庄二: ビニロン繊維マットを用いた補修・補強工法, コンクリート工学年次論文集, Vol.24, No.1, pp.1701-1706, 2002
- 2) 小川晴果, 三谷一房ほか: タイル剥落防止工法の耐震実験, 日本建築学会技術報告集, 第14号, pp.31-36, 2001.12
- 3) 栗橋祐介, 田口史雄, 岸徳光, 三上浩: PVA短繊維の混入によるRC梁の曲げおよびせん断耐力向上効果に関する実験的研究, 北海道開発土木研究所, 月報第633号, pp.14-23, 2006
- 4) 三谷一房, 小川晴果, 津田和明, 勝俣英雄: 振動台実験によるタイル張り仕上げの耐震性に関する研究 その1 実験計画, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.565-566, 2001.9
- 5) 社団法人 日本コンクリート工学協会: コンクリート構造物のせん断破壊・変形特性の評価法における混合モード破壊の意義, 社団法人 日本コンクリート工学協会, pp.4-9, 2005.8
- 6) 社団法人 日本建築学会: 建築工事標準仕様書・同解説 JASS19 陶磁器質タイル張り工事, 社団法人 日本建築学会, pp.17, 2005.2
- 7) 名知博司, 小野正: 外装タイル張り仕上げのひずみ追従性設計手法の提案, 清水建設技術報告, 第82号, pp.1-6, 2005.10
- 8) 高見錦一, 立松和彦: タイル直張り工法におけるひずみ追従性試験, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.753-754, 2004.