

論文 コンクリートと仕上げモルタルの接着一体性試験に関する考察

大久保孝昭*1・根本かおり*2・長谷川拓哉*3

要旨：建築構造物のコンクリート躯体と仕上げ材との接着面に作用する剥離外力や自己ひずみにより生じる応力は、面内方向と面外方向の両成分を有する。この点では、現在最も汎用的となっている直接引張試験はコンクリートと仕上げ材の安全性を確認する強度試験方法としては必ずしも十分な試験とは言い難い。本報ではコンクリートと仕上げモルタルの接着一体性を実験室レベルで評価できる合理的な試験方法を確立するために実施した実験結果を纏めている。本研究の成果は建築物の仕上げ材の剥離・剥落事故を防止するための設計技術の確立に役立つものである。

キーワード：コンクリート, 仕上げモルタル, 接着一体性, 試験方法, 剥離

1. はじめに

建築構造物の外装仕上げ材の剥離・剥落事故を未然に防止するためには、剥離のメカニズムを明確にするとともに、設計・施工段階において耐用期間中の剥離力を想定し、それに応じた対策が必要である。効果的な剥離防止対策を立てるためには仕上げ材と躯体との層間剥離力を予測するとともに、その剥離力に長期的に耐え得る構工法を選定しなければならない。

この技術を確立するための一課題として、各種仕上げ構工法の剥離力に対する強度・耐久性を検証するための合理的な試験方法の確立が挙げられる。本研究は合理的な構工法選定を行うことを支援する技術として、コンクリートと仕上げ材との接着一体性を汎用的かつ合理的に評価できる実験室レベルの試験方法を確立することを目的として行っている。

本報では、コンクリート躯体と仕上げ材との接着一体性試験方法としてこれまでに提案されている試験方法に加え、筆者らが新たに試みた試験方法の合理性についても、モデル試験体を用いた実験により考察を行っている。

2. 研究概要

2.1 検討対象とした接着一体性試験

2.1.1 直接引張試験方法

本試験は図1に示すように、仕上げ材をコンクリート躯体の面外方向に直接引張って接着強度を求め、いわゆる建研式引張試験と呼ばれる最も汎用化した試験方法である。本試験は実験手法が容易であり、試験装置も簡易で軽量であるため実験室レベルのみならず現場の部材にも適用できる。ただし、アタッチメントを装着する際の試験体カッティングが試験体に欠陥を生じさせる可能性があり、また、面外の90度方向の接着強度しか求めることができない。

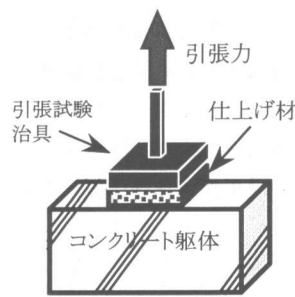


図1 直接引張試験の概要

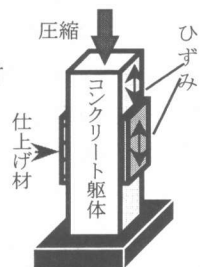


図2 軸ひずみ追従性試験の概要

*1 独立行政法人 建築研究所 材料研究グループ 上席研究員 工博 (正会員)

*2 独立行政法人 建築研究所 建築生産研究グループ 研究員

*3 独立行政法人 建築研究所 材料研究グループ 研究員 工修 (正会員)

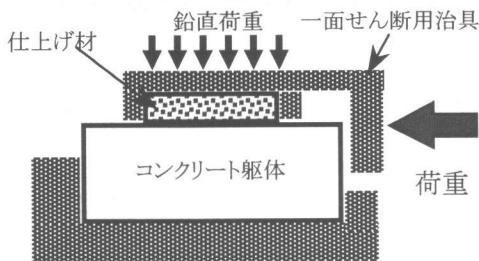


図3 一面せん断試験の概要

2.1.2 軸ひずみ追従性試験方法

本試験は、コンクリート躯体と仕上げ材との剥離力が、部材を構成する材料の伸縮差に伴う相対ムーブメントによる場合が多いことを考慮して提案された実験室レベルの試験方法である。図2に示すように、角柱のコンクリートに仕上げ材を施し、コンクリート部分のみに軸圧縮ひずみを生じさせて、コンクリート躯体の変形に対する仕上げ材の追従性から接着一体性を判定する方法である¹⁾。本試験は、相対ムーブメントによる剥離のしやすさを評価する実用的な試験ではあるが、試験体の作成および実験方法が若干煩雑である。

2.1.3 一面せん断試験方法

本試験はコンクリート躯体と仕上げ材との接着面内のせん断強度を求める試験方法である²⁾。試験装置は土質試験用の一面せん断試験機を利用して、図3に示すように、仕上げ材とコンクリート躯体との接着面に直接せん断力を与えて実験する方法である。面内応力に対する抵抗力を定量的に判定する方法としては有効である。ただし、試験装置が比較的大型化し、仕上げ材とコンクリートとの接着一体性の評価に用いられた例はほとんど無い。

2.1.4 曲げ試験による方法

コンクリート躯体と仕上げモルタルとの接着面に生じる面内応力と面外応力の割合を変化させることができる簡便な試験法として図4に示す試験方法を試みた³⁾ (以下、曲げ試験法と記す)。同図に示すように、コンクリート躯体と

仕上げモルタルからなる角柱試験体を二点支持して中央載荷する。部材強度が層間の接着強度よりも大きい場合、試験体はコンクリートと仕上げモルタルとの接着で破断するが、このとき試験体下端の接着面には曲げモーメントによる引張応力(接着面の面外応力)と面内せん断応力の複合応力が作用していることになる。この引張応力とせん断応力によりコンクリートとモルタルとの接着強度を評価するものである。本試験では曲げスパンの長さを変化させて(図4におけるXを変化)、接着位置に作用する曲げモーメントとせん断力の割合を変え、接着面に生じる面内応力(せん断応力)と面外応力(試験体下端の引張応力)の割合を変化させる。

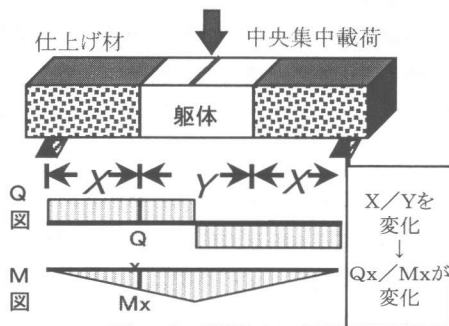


図4 曲げ試験法の概要

2.2 実験概要

2.2.1 試験体

実験に供した試験体を一括して表1に示す。使用した試験体は6種類で、試験体記号I-1~I-4は珪砂モルタル、II-1、II-2は軽量モルタルをコンクリートに施した試験体である。試験体I-1は木ごてで表面を仕上げたコンクリートに吸水調整剤を塗布してモルタルを左官している。この試験体I-1を標準とし、試験体I-2およびI-3はそれぞれコンクリート面を金ごてで仕上げ(平滑)および櫛目引き(目荒し)することによりモルタルとの付着性状に変化を与えた。試験体I-4はコンクリート表面に吸水調整剤を施さずにモルタルを仕上げている。また、II-1、II-2の軽量モルタルはエチレン酢酸ビニル樹脂

表1 試験体の種類

試験体記号	仕上げモルタル		コンクリートの表面	
	骨材の種類	セメント混和ポリマー	平滑度	吸水調整剤
I-1	硅砂モルタル	エチレン酢酸ビニル系	木ごて (普通)	塗布
I-2			金ごて (平滑)	
I-3			櫛目 (目荒し)	
I-4			木ごて (普通)	無塗布
II-1	軽量モルタル	エチレン酢酸ビニル系シリコン系撥水剤	木ごて (普通)	塗布
II-2				

系の軽量骨材を用い、表1に示すようにセメント混和用ポリマーの種類を変えている。なお、各モルタルの調査はそれぞれメーカーの指定値（実際の現場で使われる調査）とした。コンクリートは呼び強度24、スランブ18cmのレディーミクストコンクリートを用いたが、試験体の大きさの都合から、粗骨材の最大粒径を10mmにスクリーニングし、28日間湿空養生した後モルタル施工を行った。また、モルタル仕上げを施した後、28日間湿空養生して各接着一体性試験を行った。

2.2.2 実験手法

本報の実験では前節で示した各種試験方法について表2に示す形状の試験体等で実験を行った。同表中、(c) 一面せん断試験では、加力部の跳ね上がり防止のため、図3に示すように加力装置に約0.05N/mm²の鉛直荷重をかけて実験を行った。この鉛直荷重による摩擦力は測定値に比べて無視できるほど小さいことを確認している。

また、(d) 曲げ試験においては、必ずコンクリートとモルタルとの接着面で破壊が生じるように、コンクリート部分は外形40×40×50mmの中空鋼管に打込み、その両面にそれぞれ長さ55mmのモルタルを仕上げた。曲げ試験ではスパンを55mmから155mmの範囲で移動させた。すなわち、この実験では図4においてYを50mmに固定し、Xを2.5~50mmの範囲で移動させることにより、XとYの割合を変化させて、載荷荷重を測定した。

表2 各試験方法における実験手法

試験方法	試験体形状	測定対象	試験体数
(a) 直接引張試験	100×100×400mmの角柱形状のコンクリートの側面に面積40×40mmで厚さ10mmのモルタルを仕上げ	直接引張荷重	各試験体当たり5体
(b) 軸ひずみ追従性試験	40×40×高さ160mmの角柱形状のコンクリートの側面に40×40mm×厚さ10mmのモルタルを仕上げ	コンクリートひずみ、モルタルひずみ	各試験体当たり15体
(c) 一面せん断試験	100×100×厚さ50mmのコンクリートの上面に40×40×厚さ10mmのモルタルを仕上げ	せん断荷重、荷重点の変位	各試験体当たり3体
(d) 曲げ試験	コンクリートおよびモルタルを含めた試験体全形は40×40×長さ160mm	曲げ荷重	各試験体当たり3体

3 実験結果および考察

3.1 直接引張試験結果

表1の各試験体の直接引張試験結果を図5に一括して示す。この図は各試験体について5体の測定値の平均値とそのバラツキを示している。

硅砂モルタルを用いた試験体I-1~I-4の中では、吸水調整材を施していない試験体I-4の直接引張強度が他に比べてかなり低い値を示した。一方、コンクリート表面の平滑度を変化させた試験体I-1~I-3の直接引張強度には有意差は認められなかった。これらのことは面外方向の剥離外力に対し、吸水調整材は接着強度の増加に寄与するが、コンクリートの表面の平滑度は接着強度にはほとんど影響しないことを示している。換言すれば直接引張試験はコンクリート表面の平滑度には鈍感な試験体であると言える。なお、硅砂モルタルとコンクリートとの破

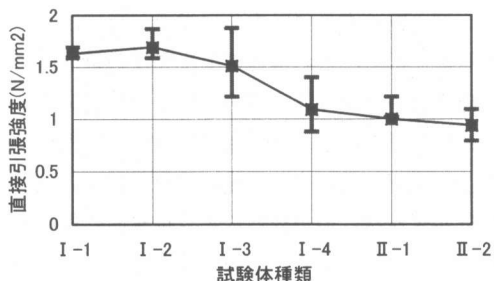


図5 直接引張試験結果

断はそのほとんどが接着界面位置で発生した。

仕上げモルタルとして軽量モルタルを用いた試験体Ⅱ-1、Ⅱ-2の直接引張強度は珪砂モルタルを用いた試験体に比べてかなり低い値を示した。この試験体の破断位置はそのほとんどがモルタル部分で破断しており、これらの測定値は界面の接着強度というよりも、軽量モルタル自身の引張強度に関わる物性値であると言える。

3.2 軸ひずみ追従性試験結果

軸ひずみ追従性試験の試験結果の例として図6(a)~(c)に試験体Ⅰ-1、Ⅰ-2およびⅡ-2の結果を示す。荷重載荷当初はコンクリート躯体の圧縮ひずみの増加にともない、モルタルもこれに追従して圧縮ひずみが増大するが、剥離が生じた時点でモルタルの圧縮ひずみは解放される。同図から試験体Ⅰ-1はコンクリートひずみが約680 μ 、コンクリート表面を平滑面仕上げとした試験体Ⅰ-2は約420 μ でモルタルとコンクリートに剥離が発生していることがわかる。また、軽量モルタルを用いた試験体Ⅱ-2は同図(c)に示すとおり、コンクリートのひずみに対し高い追従性を示しており、コンクリートが圧壊するまで剥離が認められなかった。表1のすべての試験体についてコンクリートとモルタルに剥離が発生したときのコンクリートひずみを図7に一括して示す。なお、この図において図6(c)と同様のようにコンクリート圧壊まで剥離が生じなかった場合には、便宜的に1500 μ の値をプロットしている。図7において、珪砂モルタルを用いた試験体(Ⅰ-1~Ⅰ-4)に比べて軽量モルタルを用いた試験体(Ⅱ-1、Ⅱ-2)の方がコンクリートの圧縮ひずみに対する追従性が高いことが明らかである。これは軽量モルタルの弾性係数が珪砂モルタルに比べて小さいため、コンクリートのひずみに追従する変形能力が高いためである。実際の工事で汎用的に使用されている軽量モルタルはこの追従性により接着面に生じる面内応力を低減させている。珪砂モルタルを用いた試験体の中では、コンクリート表面を平滑

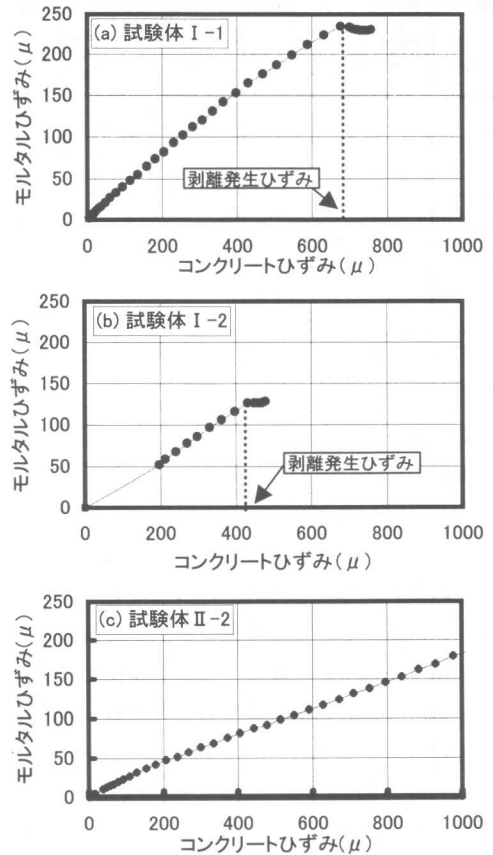


図6 軸ひずみ追従性試験結果の測定結果例

仕上げした試験体Ⅰ-2の追従性が最も小さな値を示している。すなわちモルタルと接するコンクリート表面が平滑になると、軸ひずみ追従性が低下することが明らかである。また、直接引張試験では吸水調整材を塗布していない試験体Ⅰ-4の直接引張強度が最も小さな値を示したが、この試験では吸水調整材が軸ひずみ追従性に及ぼす影響は認められなかった。

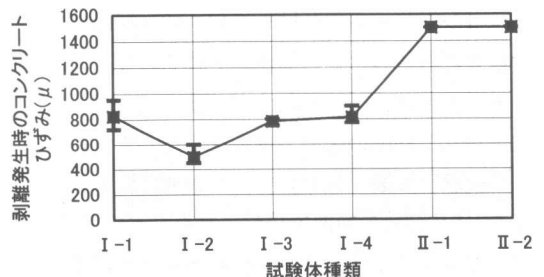


図7 軸ひずみ追従性試験結果

3.3 一面せん断試験結果

図8(a),(b)に一面せん断試験で得られた面内の平均せん断応力と荷重点変位の関係の例として、試験体I-1とI-2の結果を示す。試験体I-1は 3.25N/mm^2 、I-2は 2.55N/mm^2 の平均せん断応力が生じたときに剥離が発生している。同様にして求めた各試験体の剥離発生時の平均せん断応力を図9に一括して示す。珪砂モルタルを用いた試験体の中では、コンクリート表面を目荒しした試験体I-3が最も大きな値を示し、金ごて平滑仕上げした試験体I-2が最も小さなせん断応力で剥離が生じた。このことは接着面内のせん断強度にはコンクリート面の平滑度が大きく影響することを示している。還言すれば本試験はコンクリートの表面性状の平滑度に敏感な試験方法と言える。また、吸水調整剤の影響は試験体I-1とI-4を比較すると分かるように、直接引張強度(図5)ほどの明確な影響は認められなかった。写真1は試験体I-1の剥離発生後の顕微鏡写真(倍率175倍)を示したものであるが、吸水調整剤は糸を引くようにコンクリートとモルタル間を繋いでいることがわかる。すなわち吸水調整剤は接着面内応力に関しては、せん断強度を上昇させる効果よりも、剥離発生

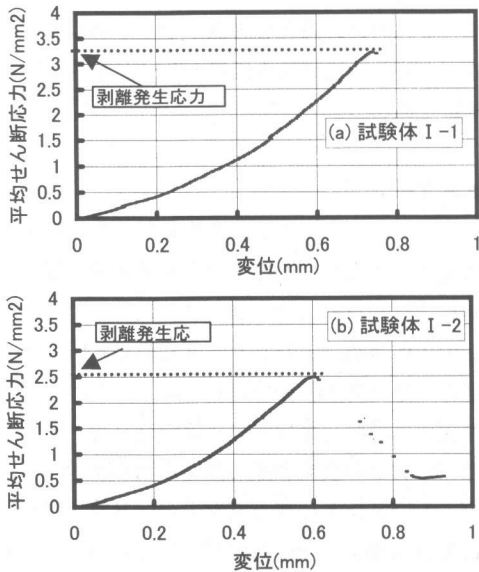


図8 一面せん断試験結果の測定結果例

後の剥落防止効果があると推察される。

軽量モルタルを用いた試験体II-1,2は珪砂モルタルを用いた試験体に比べてかなり小さなせん断応力で剥離が生じている。

筆者らはコンクリート躯体と仕上げ材との間の相対ムーブメントに伴う剥離力は、面内応力(層間せん断力)の方が面外応力よりもかなり大きな値を示すことを解析的に明らかにしている³⁾。この点では本試験は実際の建築物における応力状態に即した定量的な評価値が得やすい試験方法と言える。なお本試験における試験体は必ず、コンクリートとモルタルとの接着面の剥離で破壊した。

3.4 曲げ試験結果

図10(a)~(c)は試験体I-1, II-1およびII-2について、曲げ試験において試験体下端側の接着面に剥離が発生したとき、接着面に生じていた平均せん断応力と試験体下端の引張応力(曲げ引張応力)の関係をプロットしたものである。同図には参考値として、x軸、y軸に直接引張試験、一面せん断試験により得られた接着強度をプロットしている。

これらの実験結果からは、コンクリートとモ

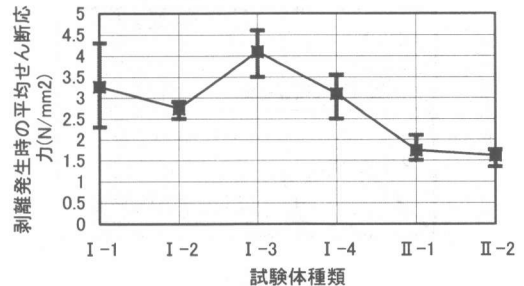


図9 一面せん断試験結果

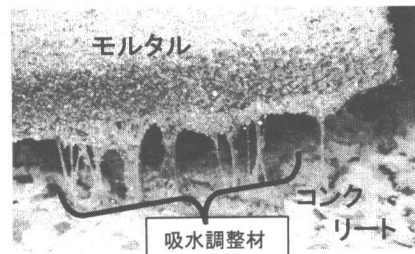


写真1 一面せん断試験後の破断面(175倍率で観察)

ルタルとの接着面に面内応力と面外応力が同時に生じるような剥離外力が作用したときの接着強度を求めることができる。例えば接着面に生じる平均せん断応力と最大引張応力が等しくなるような剥離外力に対する接着強度は図10に示すベクトルで表すことができる。この剥離外力よりも面外方向成分が大きい外力に対しては、同図のベクトルからx軸側、逆に面内方向成分が大きい外力に関してはy軸側にベクトルを回転させて接着強度を求めることができる。そしてx軸との交点が接着面の曲げ引張強度、y軸との交点がせん断強度となる。各試験体とも曲げ引張強度の方がせん断強度よりも大きな値を示した。また曲げ引張強度は直接引張試験から求められた引張強度よりもかなり大きな値として求められた。この試験は既往の試験方法では

できなかった接着面に生じる面内、面外の複合応力について定量的に測定することができ、また、必ず接着面での破壊を生じさせることができることから、接着面の強度試験という点では合理的な試験方法となる可能性がある。

なお、各試験体の接着面の強度はこれまでの試験同様、珪砂モルタルを用いた試験体 I-1の方が軽量モルタルを用いた試験体 II-1, 2よりも大きな値であることが図より明らかである。

4. まとめ

本報では各種仕上げ構工法の剥離力に対する強度・耐久性を検証するための合理的な試験方法の確立を目的として4種類の試験方法について検討を行った。6種類のモデル試験体を用いた実験では、各試験体の接着一体性の相対評価が必ずしも一致はしなかった。これは各試験方法の対象応力が異なるためである。例えば面外強度は大きくても、面内の剥離外力に対する抵抗性の小さな試験体も存在した。この点では、コンクリートと仕上げ材との接着一体性を適切に評価するためには単一の試験ではなく、想定される劣化外力に応じて複数の試験で強度を判定することが必要な場合が多くなる。

特に仕上げモルタルの変形能力と接着界面に生じる応力との両者を考慮することが重要である。今後も更に実験を行い、データを蓄積する予定である。

参考文献

- 1) 大沢清八；左官用モルタルの付着性能の評価に関する研究，日本建築学会構造系論文集，No. 441，PP17-24，1992. 11
- 2) 大久保孝昭，1996年度建築研究所春季発表会 第四研究部発表資料
- 3) 大久保孝昭，馬場明生；コンクリート躯体と仕上げ材との層間剥離力算定に関する一考察（ムーブメントに伴う剥離力の簡易算定法）研究発表論文集 PP217-220，日本建築仕上学会，1993. 9

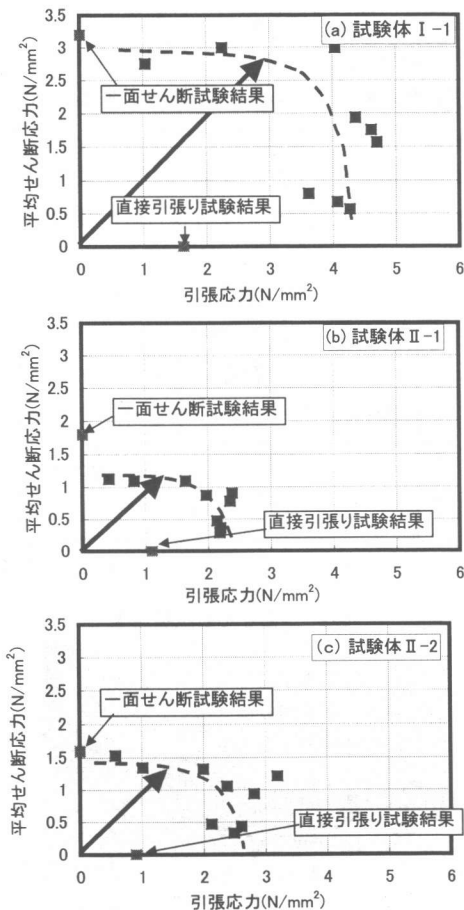


図10 一面せん断試験結果