

炭素繊維材を用いた低品質構造部材の耐震補強に関する実験的研究

金沢大学 学生会員 ○井川千晴

金沢大学理工研究域 正会員 池本敏和

金沢大学理工研究域 正会員 宮島昌克

1. 研究背景

構造部材である石材、煉瓦、コンクリートブロックを粘土やモルタルを用いて積み上げた組積造には、世界の約 6 割の人々が暮らしている。組積造物は圧縮力には優れているが、引張力には弱く地震に対して脆弱であることが知られている。特に煉瓦は安価で製作も容易なことから途上国で多く用いられている。また、歴史的な煉瓦組積造も多く存在する。しかしこのような煉瓦組積造は煉瓦の品質管理が難しいことや、設計に関しても専門的な技術者が関与していないことが多く、十分な耐震設計がなされていない。また、世界の地震多発地域と組積造の分布が重なることもあり、地震の度に多くの組積造が倒壊し、大勢の人の命が失われている。このような人的被害を軽減するために、本研究では、既存の煉瓦組積造の耐震補強を検証するために、供試体を用いた試験を行い、耐力性能を評価する。

2. 炭素繊維材を用いた補強方法について

煉瓦組積造の耐震補強方法については、引張力が強い材料を用いる必要がある。そこで軽いが、引張力に優れている炭素繊維材に着目した。炭素繊維材はアクリル繊維またはピッチ(石油、石炭等)を原料に高温で炭化し製作された繊維である。比重は 1.8 と鉄と比較しても 1/4 程度で、比強度は鉄の 10 倍と軽いが引張力に強い材料であるということが分かっている。煉瓦壁において地震時に発生するクラックが全体の耐力低下を引き起こし崩壊するため、クラックの発生を遅らせる、または拡大を防ぐことで煉瓦壁全体の一体性が保たれた補強になると考えた。本研究では 3 つの補強方法を考え、検証した。1)煉瓦壁供試体の全面にシート状の炭素繊維材を貼り付ける方法、2)全面に片面のみ貼り付ける方法、3)シート状の炭素繊維材を煉瓦壁の対角線上に両面に貼り付ける方法である。

3. 実験概要

耐震補強性能を検証するため、34cm 角の正方形煉瓦壁モデルの供試体を用いて要素実験を行った。使用した煉瓦は 210×100×60mm と 100×100×60mm のものである。今回途上国の組積造を対象としているため、本来ならば途上国で使用されている煉瓦を使用すべきだが、個人輸入が難しいことや、日本では炭素繊維材は主にコンクリート構造物の補強に使用されているため、煉瓦に対しても効果があるのかということを検証する必要がある。そこで、日本でも入手可能な標準サイズの煉瓦を使用することとした。目地に用いるモルタルについては、途上国において使用されているモルタルの配合(表-1)を参考に配合する。材料は、早強ポルトランドセメント、珪砂 4 号、消石灰を使用した。炭素繊維材はシート状で引張強度 3400N/mm² のものを使用した。面内方向については Diagonal 試験、面外方向については曲げ試験を行った。

表-1 目地モルタルの配合比

	比率
砂(珪砂 4 号)	6.4
石灰(消石灰)	1.3
セメント(早強ポルトランドセメント)	1
水	1.7

4. 面内方向における試験結果

まず、全面・両面貼りの補強について検討する。Diagonal 試験の結果を図-1 に示す。Diagonal 試験では無補強の供試体の破壊挙動は、煉瓦と横目地との剥離や、目地に沿って斜めにひび割れが入るというものであった。これに対し、全面・両面貼りの補強では、破壊荷重が増え、炭素繊維は貼り付いたままの状態、繊維で挟まれた内部で目地と煉瓦の剥離が発生した。また、無補強の時には見られなかった煉瓦自

身の破壊も発生していた。

次に片面貼り，対角線貼りの補強について検討する。どちらも全面・両面貼りほどの破壊荷重の向上は見られなかったが，図-1に示すように，一度荷重が低下した後，再び荷重が増加するといったいわゆる靱性効果が現れた。また，試験時により計測した水平変位，鉛直変位，鉛直荷重から，引張応力，せん断応力，水平ひずみ，鉛直ひずみ，せん断ひずみ，せん断弾性係数を求めた。各補強方法に対する諸値の平均値を表-2に示す。平均値とは，同様な供試体3体に対する試験値の平均である。3つの補強方法すべてが無補強と比較し破壊荷重，最大引張荷重，最大せん断応力の値が向上し，完全に崩壊するまでの時間が継続している(図-1)。このことから，炭素繊維を用いて補強を行うことで，引張力が強まり，耐力が向上したと考えられる。

表-2 Diagonal 試験における面内試験結果

	無補強	全面両面貼り補強	対角線両面貼り補強	全面片面貼り補強
破壊荷重(kN)	55.5	126.0	77.8	72.1
最大引張応力(N/mm ²)	0.82	1.85	1.14	1.06
最大せん断応力(N/mm ²)	1.16	2.62	1.62	1.50
せん断弾性係数(N/mm ²)	202.7	216.1	78.2	250.5
最大垂直変位(mm)	2.31	4.63	6.59	2.51
最大水平変位(mm)	0.62	0.64	1.77	0.24
最大垂直ひずみ(-) ($\times 10^{-3}$)	4.82	9.64	13.74	5.22
最大水平ひずみ(-) ($\times 10^{-3}$)	1.30	1.34	3.68	0.51
最大せん断ひずみ(-) ($\times 10^{-3}$)	6.12	10.98	17.42	5.73

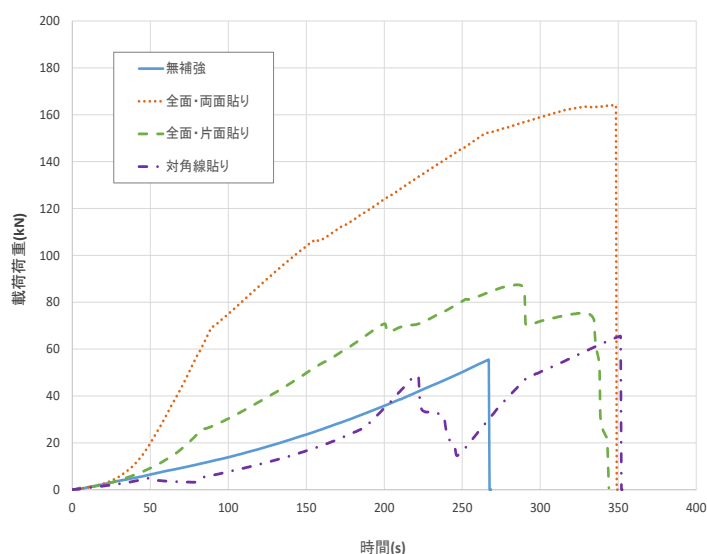


図-1 時間-載荷荷重のグラフ

5. 面外方向における試験結果

面外試験によって得られた荷重と垂直変位より引張応力，せん断応力，垂直ひずみを求めた。結果を表-3に示す。面外方向においては，無補強の場合には，目地に沿って煉瓦と目地が剥離することで破壊が起こっていた。補強した場合，耐力が向上したことに加え，面内の場合と同様に，靱性の効果がみられた。また，供試体が炭素繊維で挟まれていたため，内部では破壊が起きたが，補強された煉瓦供試体そのものが崩れることはなかった。このことから，炭素繊維で補強することで面外方向にも補強の効果があると考えられる。

表-3 面外試験結果

	補強無し	全面・両面補強貼り
破壊荷重(kN)	8.5	30.3
引張応力(N/mm ²)	0.04	0.13
せん断応力(N/mm ²)	0.05	0.19
最大鉛直変位(mm)	0.59	1.69
最大鉛直ひずみ(-) ($\times 10^{-3}$)	5.87	16.91

6. まとめ

地震に脆弱な煉瓦組積造に対して炭素繊維材を用いた補強方法を考案し，その補強性能を検証するため，供試体を用いた要素試験を行った。補強に炭素繊維材を用いることで，面内・面外方向ともに耐力が向上し，粘り強さを発揮することが分かった。このことから，炭素繊維材を用いた煉瓦の補強方法は靱性を増加させることができると考えられる。そのため，大規模な建物の倒壊を防ぎ修復を可能にすることや，倒壊までの時間を稼ぎ人々が避難する時間を確保できることにつながると考えられる。今後，供試体を大きくした検討も重要であると考えている。

謝辞：本研究の試験を行うにあたりご指導いただきました，構造研究室・深田宰史准教授，研究に使用した炭素繊維，接着剤は三菱樹脂株式会社より御提供いただきました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 中西雄大，途上国煉瓦組積造の簡易的な地震時被害軽減対策に関する実験的研究，平成22年度修士学位論文，2011。