

氏名(本籍)	立石 妙子 (福岡県)
学位の種類	博士(工学)
学位記番号	甲第31号
学位授与日	平成16年3月19日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 工学研究科 社会開発・環境システム工学専攻
論文課題目	既存RCフレームと耐震壁または鉄骨枠付ブレースとの薄鋼板と接着剤による接着接合法の実験的研究
審査委員	主査 九州産業大学 教授 河村 博之 副査 九州産業大学 教授 増田 貫志 副査 九州産業大学 教授 宮川 邦彦

内容の要旨

本論文は、既存鉄筋コンクリート造(RC造)フレームの耐震補強を行う際に必要な接合部について、実験的な研究を行ったものである。論文は、6つの章で構成されており、薄鋼板と接着剤による接着接合法は、実用に供し得る接合法であることを示した。各章で取り上げる内容は次の通りである。

第1章では、研究の背景と本研究の目的と、耐震補強の現状について述べた。これまでに行われている耐震補強方法として用いられている強度改良を目的とした工法は、そのほとんどが、増設RC造耐震壁の設置または鉄骨枠付ブレースの設置であり、靱性改良を目的とした工法は、腰壁スリット入れ、短柱の炭素繊維巻き、または鋼板巻立工法などである。RC造耐震壁の増設または鉄骨枠付ブレースによる耐震補強では、増設耐震壁と既存RCフレームとの接合には、多くの場合、あと施工アンカーを用いた改修工事や補強工事が行われている。改修工事や耐震補強工事の多くの場合は、建物内で執務を続けながらの工事が望まれる。しかし、あと施工アンカーによる接合法の場合、既存コンクリートに穿孔する際の粉塵や騒音・振動などが障害になっており、接合法の改良工法が望まれている。そこで、これに代わる工法として、薄鋼板と接着剤により、既存RCフレームと増設壁を接合する方法を考え、その実用性について検討することを目的としている。

第2章では、この工法で使用する材料の基礎的な物性を述べた。薄鋼板と接着剤を用いて耐震補強を行う場合、

あらかじめ薄鋼板・接着剤・コンクリートのセットの性能を知る必要がある。しかし、現在のJISによる試験方法に規定されていないため、簡易な試験体を作製、試験を行い、その結果を示した。本試験方法で得られた引張せん断接着強さは「薄鋼板接着接合法」の基準値となり得ることを示した。

第3章では、「薄鋼板接着接合法」のうち、施工が簡単な既存RCフレームと増設耐震壁または鉄骨枠付ブレースの表面に、薄鋼板と接着剤を使用してせん断力を伝達する表面接着型接合法についての可能性を「接着剤の種類」「コンクリート圧縮強度を変えた場合」の実験を行い検討し、実用性があることを示した。さらにコンクリート接着面を加工し接着剤が粗骨材まで接着すればせん断接着強さが大きくなることも示した。この工法の接合部耐力はコンクリートの鉄骨枠付ブレースの水平耐力を若干上回るように、接着面積を決めればよいことを示した。

第4章では、既存コンクリートと増設壁または鉄骨枠付ブレースの接合面に薄鋼板を挿入する「インサート型接合法」を考案し、接合部実験結果について示した。接合部耐力の要因になると考えられる「接着剤の種類」「コンクリート圧縮強度」「薄鋼板の形状」「接着面のコンクリートはしあき」について接着面の抽出実験を行い、これらの結果からインサート型接合法は、コンクリートの破壊形状が接合部耐力の要因となることが分かった。4-9節で全供試体のコンクリートの破壊面積と最大荷重の関係から、仮定破壊水平面積を示し、接着面の破壊水平投影面積から接合部の耐力を推定する式を提案した。コンクリート圧縮強度 $\sigma_B=24\text{MPa}$ の場合、せん断強さの下限值として $\tau_{uc}=3.30\text{MPa}$ を採用すればインサート型接合法のせん断耐力は、

$P_u=3.30 \times (\sqrt{\sigma_B/24}) \times A_{PA}$ で求められる。

第5章では、第3章で提案した「表面接着型接合法」と第4章で提案した「インサート型接合法」の設計方法を示し、地震災害の際、非難場所として使用されやすい学校建築の1スパンを取り出し、そのフレーム内にRC増設壁または鉄骨枠付ブレースによる耐震補強を行う場合の接合部の設計耐力を示した。壁板設計応力度および材料の設計基準強度は既存フレーム(コンクリート圧縮強度 $\sigma_B=18\text{MPa}$ を仮定)の強度以上として、増設壁のコンクリート圧縮強度 $\sigma_B=24, 27\text{MPa}$ の2種類、壁厚 $t=15, 18, 20\text{cm}$ の3種類、既存フレームのスパン $4.0, 5.0, 6.0\text{m}$ の3種類について増設耐震壁のせん断耐力を求め、表面接着型接合法およびインサート型接合法の適用

範囲を求めた。薄鋼板の1枚の接着長さは施工しやすい長さと考え、1.0m~2.0mの間とした。鉄骨枠付ブレースの場合もRC造耐震壁と同様に求めた。これより、表面接着型接合法は、RC造耐震壁増設の場合、接着部のスパンが本章の範囲内であれば、薄鋼板の片側幅bが10cm程度で十分である。鉄骨枠付ブレースの場合、薄鋼板片側幅を考慮して設計すれば実用に供することができる。インサート型接合法では、RC造耐震壁の場合は、2列の薄鋼板の間隔を4cm以上とれるような接合部にすれば、本章の設計例の範囲では実用に供することができる。鉄骨枠付ブレースの場合、鋼材種別が400N級鋼程度であれば鉄骨サイズH-200×200×8×12によるブレースの保有耐力を上回る接合部をつくることができることを示した。

第6章は、本論文のまとめを示した。

審査の結果の要旨

既存鉄筋コンクリート構造物の耐震改修には、大部分が鉄筋コンクリート耐震壁の増設か、鉄骨枠付ブレースの増設による構造物全体の耐震補強が行われており、しかも、既存フレームとこれら増設耐震壁又は枠付鉄骨ブレースの接合部には、あと施工アンカーを介して力の伝達を行っている。しかし、この工法は、施工に際し、粉塵、騒音、振動等を伴うため、増設階での日常の執務を休止しなければならず、この事が耐震促進法遂行の妨げになっている。

本論文は、これらの障害と労力を軽減するために、薄鋼板(厚4mm以下)と接着剤により力の伝達を行う接着接合法の開発研究結果をまとめたもので、部材接合部の抽出せん断実験結果から、接着接合部の力学的性状と、せん断耐力に影響を及ぼす要因を明らかにし、せん断耐力推定式を示すとともに、既存の鉄筋コンクリート造建物の耐震補強接合部に充分供し得ることを設計例により示している。

本研究の主要な研究成果は次のようである。

1. 使用材料である接着剤としては、数種類の接着剤の引張せん断実験から、耐久性、耐火性、使用時安定性から、シール用エポキシ樹脂が好ましく、実際に使用するコンクリート強度と接着環境の影響を考慮した薄鋼板のセットの引張せん断強さを評価するための簡単な試験法を提案し、これを接合部セットの基準強度として代表し得ることを実験により確認していること。
2. 既存鉄筋コンクリートフレームと、増設鉄筋コンクリート耐震壁又は鉄骨枠付ブレースの接着接合法を、

表面接着型接合法とインサート型接着接合法に区別し、

a) 表面接着型接合法は、既存フレームと増設壁又はブレース枠の表面を帯状又はL型の薄鋼板で接着接合するもので、この接着接合部がせん断力を受けたときの破壊状況は、コンクリートと薄鋼板と接着面の界面破壊、コンクリートペーストないしはモルタル部分から破壊する表層破壊、及び粗骨材部分も含んで破壊するコンクリート破壊に分けることが出来、引張せん断強さは後者になる程大きくなるが、コンクリート表層破壊が一般的で、この強さは、コンクリート圧縮強度を24MPaに換算した時のセットの引張せん断平均基準強度が3.18MPaのとき、この約半分の1.5MPaの強さを持ち、この値は、巾20cmまでの帯状薄鋼板(片側接着巾10cm)又はL型薄鋼板では、長さやせん断力方法にはほとんど影響は受けないが、接着面を、粗骨材が現れる程度の凹みや、溝をつけることにより、約2割強の強さを増すことが出来ること。また、通常接着面のせん断破壊は瞬時に生じるので、これを避けるために鋼板にスリットを設け、この部分を接着しないようにすれば、接合面のずれが10mm程度の変形まで安定したせん断荷重を保持することが出来ることなどを明らかにしている。

また、これらの結果から、鉄筋コンクリート増設耐震壁ならば厚み15cm~20cm程度、鉄骨枠付ブレースならば、鉄骨部材がH-200×200×8×12程度までの比較的軽微な補強の場合は、増設部がせん断降伏するまでせん断力を伝達することが出来、実用に供し得ることを試算により示している。

b) インサート型接着接合法は、表面接着型接合法が、コンクリートの表層破壊でせん断耐力が決まるため耐力に限界があり、比較的軽微な補強に限定されるのに反し、コンクリート部材に、巾2~3mm深さ2cm程度(あばら筋ないしは帯筋のかぶり厚以下の範囲)の溝をほり、これに帯状の薄鋼板に接着剤を両面に付け、やといぎねのようにインサート接合するもので、この場合は、コンクリートのへりあきが深さの約2.2倍以上あれば、コンクリートがV型の浅い溝状に破壊し、せん断耐力はこの溝状の水平投影面積にほぼ比例し、投影面積の算定についても、実験結果と有限要素法によるせん断耐力分布から仮定した投影面積が算出出来るようにまとめられている。しかも、この時の接着面積(両面の面積)当り

の見掛けのせん断強さは、前記セットの引張せん断平均基準強度の約2倍の7.02MPaに達している。従って、この場合2列にインサート接合すれば、鉄筋コンクリート増設耐震壁ならば厚さ250mm程度、鉄骨枠付ブレースならば鉄骨部材がH-250×250×9×14程度まで、増設部が降伏するまでせん断力を伝達することが出来、充分実用に供し得ることを試算により示している。

以上、本論文は、既存RCフレームと鉄筋コンクリート増設耐震壁または鉄骨枠付ブレース増設耐震補強を対象に、接着剤の種類、コンクリート強度、試験体の形状、加力方法、接着面の加工、接合薄鋼板の中、長さ、厚さ、スリット等の形状、コンクリート-コンクリート接合、コンクリート-H型鋼接合、インサート長さとし深さ、へりあき等を要因とした約300体に及ぶ接合部抽出実験結果から、接合部の力学的性状を明らかにするとともに、耐力推定式を提案し、この式を用いて実際の建物についての実用可能性を例示している。

これ等から、現在、我が国の急を要する多くの建物の耐震補強方法の一つとして実用に供することが出来る開発研究であると評価し、博士（工学）の学位論文に値するものと認めた。

(試験の結果)

本論文に関して、審査委員に対しての説明会においては、審査委員から多くの種類の実験結果についての論文構成とまとめ方の指摘や、接着強度が要因により何故大小が生じるか等の質問がなされたが、いずれも的確な修正及び回答がなされた。

また、公聴会においては、接合部の抽出実験と全体実験の関係や、せん断実験が中心であるけれども、引張力との複合力に対してはどうかなどの質問がなされたが、現在鉄筋コンクリートラーメン構造に増設鉄骨枠付ブレースを組み込んだ予備実験を行っている旨の紹介があり、インサート型は所期の接合部耐力が得られたけれども、表面接着型は複合力として引張力を受ける場合には接合部耐力が低下する、などの充分性状を理解した回答が得られた。

また、会場には施工会社や設計事務所の実務に携わっている方々の参加もあり、建設会社の設計部や設計事務所の実験もある論文提出者と、実践的で噛み合った質疑と回答がなされたので、審査委員一同、論文提出者は最終試験に合格したものと認めた。