

令和 2 年 5 月 8 日現在

機関番号：54301

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2019

課題番号：18K13875

研究課題名(和文) 耐震改修の耐久性向上に関する研究

研究課題名(英文) Study on durable improvement of the earthquake-resistant repair

研究代表者

毛利 聡 (Mohri, Satoshi)

舞鶴工業高等専門学校・その他部局等・准教授

研究者番号：80754415

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：鉄筋コンクリート(RC)造建築物の耐震改修により新たに付加された補強部材およびそれが取付けられた既存部材の耐久性をふたつの促進劣化実験から評価した。各実験の結果、新旧部材の打継部(目地)から侵入した劣化因子(水分、二酸化炭素)が、アンカー孔内を経由し既存RC部材の内部鉄筋近傍に達することで鉄筋腐食が生じるメカニズムを明らかにした。一方、RC部材に接着される繊維シートや鋼板のディファレンシャルムーブメントによる接着一体性の低下は本研究の範囲では確認できなかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で得られた知見は、建築物の長寿命化に必要であるがこれまであまり検討されていなかった耐震改修の耐久性に関するものである。あと施工アンカーはRC造建築物の耐震改修において新旧部材をつなぐ形で汎用されている技術であるが、鉄筋腐食に関する劣化因子の浸透においてはバイパスの働きをしてしまう可能性があるため、打継部の防水処理や使用するアンカーをアンカー孔を閉塞できる接着系にする必要がある。本知見はこのような耐久性を考慮した施工指針を策定する際の裏付けとなるため耐震改修の耐久性向上の大きく寄与できると考えられる。

研究成果の概要(英文)：The durability of added reinforcing members and existing members to which they were attached for seismic retrofit of reinforced concrete (RC) buildings was evaluated from two accelerated deterioration experiments. As a result of each experiment, the following mechanism of reinforcement corrosion was clarified; The steel corrosion factors invading from the joint of the new and old members reaches the vicinity of the reinforcement of RC member through the post-installed anchor, and the reinforcement corrosion is generated. On the other hand, the decrease in the bonding integrity of fiber sheets and steel plates bonded to RC members due to the differential movement could not be confirmed within the scope of this study.

研究分野：建築材料施工

キーワード：維持管理 耐震改修 鉄筋コンクリート あと施工アンカー 中性化 鉄筋腐食

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

我が国の建築物の安全性を語る上では耐震性を無視することはできない。これまで、建築物の耐震性確保を目的とした設計、構工法、施工の技術は進歩してきた。また、現存する建築物の耐震診断や耐震改修も進められてきた。一般に耐震改修が必要な建築物はすでに相当な年数を経過している。さらに、耐震改修後も長期間の供用が予想される。したがって、耐震改修後の建築物の長寿命化について検討する必要がある。

これまでに様々な耐震改修工法が開発されているが、ほとんどの工法の施工において既存部材の一部を切断、切削、穿孔した上で新たに部材を取り付けることが行われている。その新旧部材の取り合い部では、既存鉄筋コンクリートの鉄筋被り厚さ以深までのはつり込みやアンカー打設による中性化や鉄筋腐食の促進や、充填されたグラウト材、接着剤のディファレンシャルムーブメントによる接着一体性の低下などの劣化現象が生じることが考えられる。これらの劣化現象は建築物の使用性だけではなく、耐震性の低下も招き、耐震補強の効果が失われる可能性がある。このように、耐震改修後の建築物の長期使用を確実なものとするためには、上記に示したような耐震改修により起こりうる劣化現象を考慮し耐久性の高い改修を行う必要がある。しかし、少なくとも研究開始当初においては、改修部の耐久性確保を目的とした技術基準、指針はなく、研究、技術開発も見受けられなかった。

2. 研究の目的

本研究は、耐震改修された建築物の長寿命化を実現するために、鉄筋コンクリート（RC）造建築物を対象に、改修により新たに付加された補強部材およびそれが取付けられた既存部材の耐久性評価および劣化メカニズムの把握を行い、データを蓄積することを目的とした。本研究は耐震改修の品質を耐久性の視点を加えて検討する点が特色であり、その成果は改修後の耐久性を考慮した設計、施工、維持管理の方法の確立に寄与するものであると考えられる。

3. 研究の方法

本研究では、以下の課題を設定し研究を実施した。

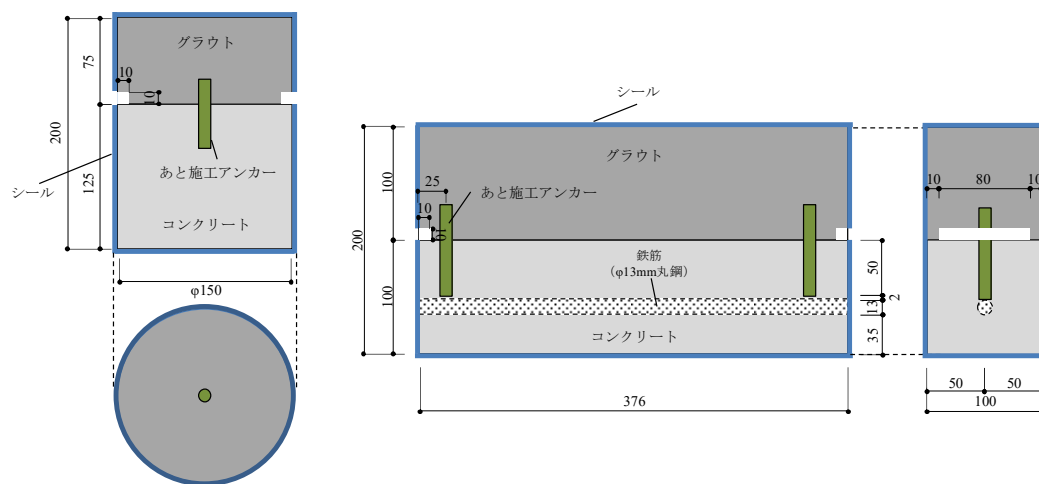
（1）【課題 1. 既存耐震改修建築物の調査】

耐震改修を施して数年を経ている建築物を調査し現状把握を行った。具体的には、改修後 3 から 15 年経過した舞鶴市内の公共建築物について目視調査を実施した。調査結果は後述の実験計画策定の参考資料とした。

（2）【課題 2. 中性化および鉄筋腐食に及ぼす影響の評価実験】

RC 造耐震壁や鋼製架構の増設においては、接合を目的に既存部材は鉄筋被り厚さより深くはつり込まれていたり、あと施工アンカーが打設されていたりしている。新旧部材の間は無収縮モルタルなどのグラウト材が充填されるが、打継部であるのでひび割れ発生や空気や水分の侵入が容易である。さらに、侵入した空気、水分がアンカー部分から浸透、拡散することも考えられるので内部鉄筋が腐食しやすい環境となる可能性がある。

そこで、あと施工アンカーを介して新旧部材を一体化させた模擬試験体（図 1）を作製し促進中性化試験と繰返し塩水浸漬による内部鉄筋の促進腐食試験を行った。実験条件は表 1 に示すものとし、あと施工アンカー種類、打継部の防水（打継目地シール）の有無等が中性化の進行や鉄筋腐食に及ぼす影響を評価した。



(a) 促進中性化試験

(b) 繰返し塩水浸漬試験

図 1 試験体形状（単位：mm）

表1 実験条件

試験体	コンクリート	普通コンクリート(水セメント比60%)
	グラウト	既調合セメント系無収縮モルタル
	あと施工アンカー	金属系アンカー(ボルト径10mm, 心棒打ち込み式) 接着系アンカー(ボルト径10mm, エポキシアクリレート樹脂接着剤)
	取り合い部	打継目地シール無し 打継目地シール有り
促進中性化試験	温度20℃, 湿度60%RH, CO ₂ 濃度5%	
繰返し塩水浸漬試験	水温20℃, 濃度5%塩水に5日間浸漬, 2日間乾燥を1サイクル(1週)	

(3) 【課題3. 部材間の接着一体性に及ぼす影響の評価実験】

RC造耐震壁、鋼製架構や、柱へ巻き立てられた鋼板、繊維シートは、充填材や高分子系接着剤によって既存部材と接着されている。部材間の接着一体性は、外部環境の日間・年間の変化に対する伸縮の違い(ディファレンシャルムーブメント)により経年劣化する可能性がある。

そこで、既存コンクリートを下地として補強材を貼り付けた模擬試験体に対し、ラバーヒーターを使用した温冷繰返しによる強制的な伸縮の導入による接着一体性の促進劣化試験を行った。促進劣化の有無による接着一体性の変化の評価は、面外方向に関する直接引張試験ならびに、既存コンクリート部分を圧縮した時のひずみと、その時の充填材・接着剤、補強部材のひずみとの関係から面内方向に関する接着一体性を評価するひずみ追従性試験を行った。実験条件は表2に示すものとし、補強部材の種類が接着一体性に及ぼす影響を評価した。

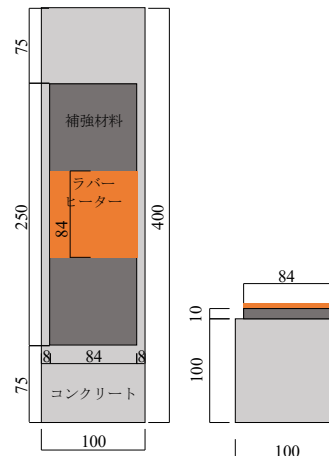


図2 試験体形状 (単位: mm)

表2 実験条件

試験体	コンクリート	普通コンクリート(水セメント比60%)
	補強材料	モルタルセメント: 砂: 水=1:3:0.6(質量比)
		繊維シート(一方向織アラミ繊維をエポキシ樹脂系接着剤で伏せ込み)
		鋼板(厚さ6mm SS400鋼板をエポキシ樹脂系接着剤で接着)
温冷繰返し試験	20~80℃昇温降温を180分1サイクルを100サイクル	
接着一体性評価	ひずみ追従性試験	コンクリートひずみ1000μ程度まで圧縮し、コンクリート、補強材料のひずみを測定
	直接引張試験	建研式接着力試験器により補強材料の剥離荷重を測定

課題2, 3で作製した試験体については上記の促進劣化試験に加えて屋外暴露試験に供した。長期間の暴露により新たな知見を得る可能性が考えられるので、研究期間以降に評価を実施することとした。

4. 研究成果

(1) 【課題1. 既存耐震改修建築物の調査】

調査の結果、既存・改修部分共に目視できるほどの変状は確認できなかった。しかし、既存・改修部材の取り合い部分は目地に雨だれによる汚れが付着しており、そこから劣化因子が侵入しやすいことが確認できた。加えて、数種類の耐震改修工法の設計、仕様を確認し、実験計画策定の参考資料とすることができた。

(2) 【課題2. 中性化および鉄筋腐食に及ぼす影響の評価実験】

①促進中性化試験

促進中性化試験の結果を図3に示す。目地にシールを打設している試験体の方がシールを打設していない試験体より打継目地からの中性化の進行が緩慢であった。このことから、新旧部材の取り合い部の防水や仕上げが中性化進行抑制に有効であることが確認できた。しかし、この実験からは中性化がアンカー周囲に到達したときの広がり方までは観察できなかった。

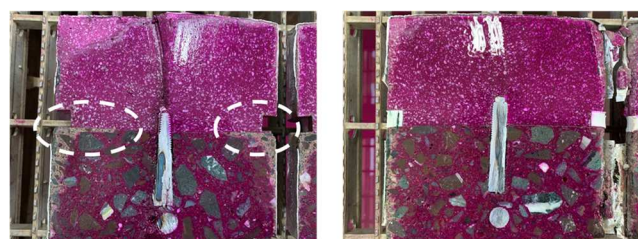


図3 促進中性化試験結果 (13週)

②繰返し塩水浸漬試験

繰返し塩水浸漬試験の結果として、試験後取り出した鉄筋の表面に生じた錆を写し取ったものを図4に示す。アンカー施工部直下に発錆が見られることから、新旧部材の打継目地から塩水が侵入し、アンカー孔内に滞留することで内部鉄筋が腐食するというメカニズムを確認できた。

また、鉄筋の腐食は金属系アンカーを打設した部分で顕著であった一方で、接着系アンカーを打設した部分では比較的発錆が見られなかった。接着系アンカーでは、アンカー孔内が接着剤で満たされるため塩水の鉄筋近傍までの浸透が防がれたと考えられる。

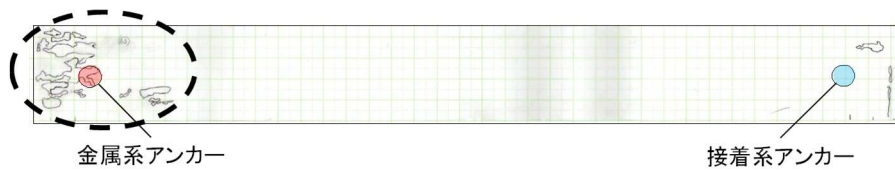


図4 コンクリート内部鉄筋表面の錆をトレーシングペーパーで写し取ったもの

①, ②で示した結果と考察から、あと施工アンカーはRC造建築物の耐震改修において新旧部材をつなぐ形で汎用されている技術であるが、鉄筋腐食に関する劣化因子の浸透においてはバイパスの働きをしてしまう可能性があると考えられる。このため、打継部の防水処理や使用するアンカーをアンカー孔を閉塞できる接着系にする必要があることが確認できた。

(3) 【課題3. 部材間の接着一体性に及ぼす影響の評価実験】

ひずみ追従性試験の試験結果として、コンクリートの圧縮ひずみに対する補強材料の圧縮ひずみの関係を図5に示す。モルタルを塗布した試験体では、温冷繰返しによる促進劣化を行ったものが、促進劣化を行っていないものよりモルタルが剥離した時のコンクリートのひずみが小さくなっている。このことから、促進劣化試験によってモルタルの接着一体性は低下したことが確認できた。しかし、繊維シートと鋼板を貼り付けた試験体では促進劣化の有無でひずみ追従性試験の結果に大きな差異が見られなかった。このことから、繊維シートや鋼板はモルタルと比較して接着一体性の耐久性は高いことが確認できた。

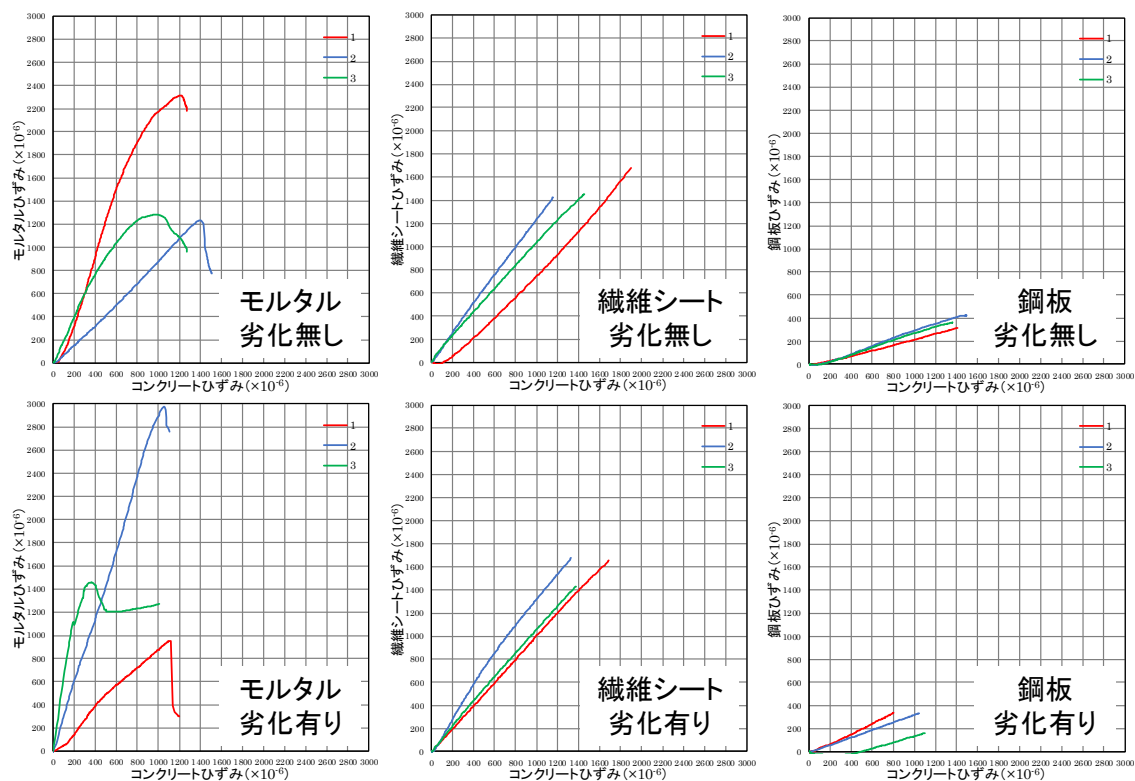


図5 ひずみ追従性試験結果 (n=3)

直接引張試験では、試験のためにエポキシ樹脂系接着剤で貼り付けた治具と補強材料との接着強度よりもコンクリートと補強材料との接着強度の方が高かったことから、正確な接着強度を測定することができなかった。この試験はタイルの接着強度測定に汎用されているが、繊維シートや鋼板の接着強度の範囲においては適用できなかった。

本研究全体を総括すると、あと施工アンカーを用いたRC部材の耐震改修において耐久性向上に必要なデータを収集することができた。この成果は、アンカーの施工や新旧部材の取り合い部の仕上げにおいて、耐久性を考慮した設計、施工、維持管理の指針の確立において有用なものとなると考えられる。

一方、RC部材に接着される繊維シートや鋼板については本研究の範囲では接着一体性の低下

を確認できなかった。しかし、温冷繰返し中の試験体の挙動測定の結果からは繊維シートや鋼板とコンクリートとの間でディファレンシャルムーブメントが生じていることが考えられるので、接着一体性の低下が顕在化する負荷の程度を確認し実用において問題が無いか確認する必要があると考えられ、今後の課題とする。

本研究の実施した実験は促進劣化試験であり、劣化発生の可能性や程度を実験条件の違いで相対比較したものである。実環境における劣化の有無や程度については実施中の屋外暴露試験の結果をもって確認したいと考える。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 毛利聡
2. 発表標題 あと施工アンカー周囲の中性化進行に関する実験的研究
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----