

平成 22 年 5 月 7 日現在

研究種目：基盤研究（B）
 研究期間：2007～2009
 課題番号：19360250
 研究課題名（和文） 挙動のあるひび割れに対する外壁補修工法選定技術と補修効果検証技術の確立
 研究課題名（英文） Establishment of repairing method and repair effect verification technology for cracks with movement occurred in building walls
 研究代表者
 大久保 孝昭（OHKUBO TAKAAKI）
 広島大学・大学院工学研究科・教授
 研究者番号：60185220

研究成果の概要（和文）：

本研究は RC 構造物に生じた挙動のあるひび割れ補修工法の選定手法の合理化を目的としたものである。合理的なひび割れ補修材を選定するためには、補修直後の補修効果（初期性能）のみならず、その持続性を評価することの必要性に着目し、実験検討を行った。本研究では、ひび割れ補修材として汎用されている材料を抽出し、補修材料単体及びひび割れ補修を施したコンクリート試験体に対し、実験室レベルで過酷な気象環境をシミュレーションした促進劣化外力を与えた。その結果、促進劣化外力による補修材単体の変化や補修効果の低下が補修材ごとに異なることを明らかにし、補修効果の持続性を評価することの重要性を示した。また、ひび割れ注入工法における施工性の評価や補修効果の検査手法の提案を行い、有効性を確認した。

研究成果の概要（英文）：

This research aims at rationalization of the selecting technique of a crack repair method of construction with the movement occurred in RC structure. In order to select rational crack repair material, some experiments were performed paying attention to the necessity for evaluating not only the repair effect immediately after repair (initial performance) but its durability. In this research, the material currently used widely as crack repair material was extracted, consequently, it showed clearly that the change of a repair material simple substance and the fall of the repair effect by promotion degradation external force differ from each other for every repair material, and the importance of evaluating the durability of the repair effect was shown. Moreover, the inspection technique of evaluation of construction and the repair effect in a crack pouring method of construction were proposed.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	5,400,000	1,620,000	7,020,000
2008年度	4,900,000	1,470,000	6,370,000
2009年度	3,000,000	900,000	3,900,000
年度			
年度			
総計	13,300,000	3,990,000	17,290,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学・建築構造・材料

キーワード：維持保全、補修工法、ひび割れ、ひび割れ挙動

1. 研究開始当初の背景

資源循環型社会の構築に向けて優良な建築ストックの形成、資源消費量の削減、廃棄物排出量の削減を実現してゆくためには建築物の適切な補修・改修を行い、建築物を長期にわたり使い続けることが重要である。これを達成するためには、建物が容易に解体されないようユーザーの要望を満たすレベルに補修・改修できる環境を整備する必要があり、設計者や施工者はユーザーの要望に応じて臨機応変に補修・改修の方法を定めることが極めて重要となる。

2. 研究の目的

住宅の不具合に関する相談割合の調査ではひび割れに関する相談件数は雨漏りについて多く、全体の相談件数の約 12%を示す。ただし相談件数第一位の雨漏り、第三位の漏水はひび割れに起因するものも多いため、実質的にはひび割れに関する相談件数が最も高いと考えられる。外壁のひび割れ補修を対象として、合理的なひび割れ補修工法の選定システムのプロトタイプと現場における補修効果の検証技術を確認することを目的として実施した。

3. 研究の方法

本課題では研究内容を主として下記の 5 項目に分けて研究を実施した。

- (1)ひび割れ補修に関するブリーフィング技術の確立
- (2)ひび割れ補修材料・工法の分類と整理
- (3)実際の建築物におけるひび割れ挙動調査
- (4)各種ひび割れ補修試験体に対するひび割れ挙動の繰り返し負荷による補修材料評価
- (5)補修効果の検証試験法の確立

4. 研究成果

- (1)ひび割れ補修に関するブリーフィング技術の確立に関して

住宅の補修に関する一般ユーザーに対するアンケートやヒヤリング調査を実施し、補修に関する意識の把握を行った。その結果、住宅の補修では、補修痕跡が残らない技術が重要であることが明らかとなった。住宅の美観に関するユーザーの意識は高く、補修痕跡が残る補修工法を選定する際には、事前に合意を得ておくことの重要性を指摘した。

- (2)ひび割れ補修材料・工法の分類と整理

現在、我が国で汎用されている補修材と補修工法を調査し分類整理した。ひび割れ補修に関しては、エポキシ樹脂系の補修材の種類

が最も大きく、アクリル樹脂系、無機材料系も違反されている。カタログやメーカー説明書による補修材の性能表示方法は多岐にわたり、補修技術者が補修材を選定する際の判断基準の曖昧さを指摘した。特に、ひび割れ挙動に対する追従性や外気環境による補修材の揭示変化のデータが少ないことを指摘した。

(3)実際の建築物におけるひび割れ挙動調査

北海道および中国地方において、実 RC 建築物に生じたひび割れの挙動計測を行った。

図 1 にひび割れ挙動の計測例を示す。挙動の大小は異なるが、本課題で計測したひび割れは全てのひび割れは開閉を繰り返していた。貫通ひび割れに関しては、日射を受ける外壁と高層階の外壁に生じたひび割れの挙動が大きいことを明らかにした。

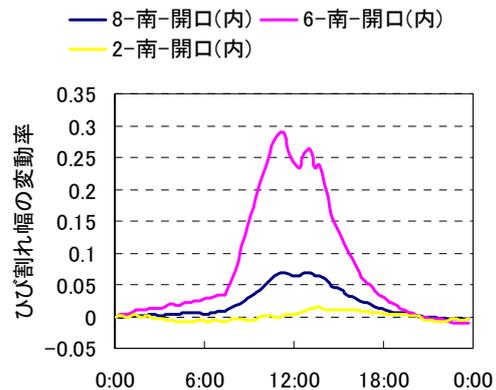


図 1 ひび割れ挙動の計測例

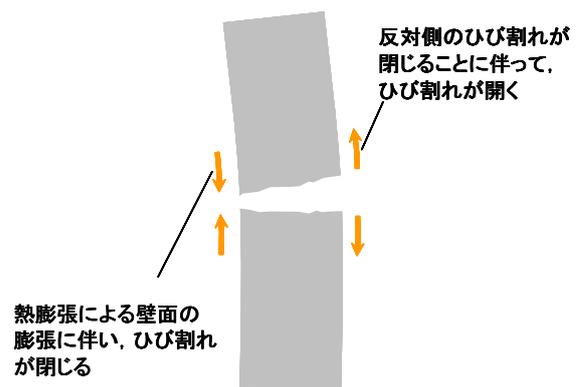


図 2 貫通ひび割れの挙動パターン

また、本計測結果から、外壁に生じた貫通ひび割れは単純な伸縮による開閉ではなく、図 2 に示すような曲げの状態の開閉を繰り返していることを明らかにした。このことは、挙動のあるひび割れに対する補修材の評価

のために重要な知見といえる。

以上の計測結果を基に、ひび割れの診断において挙動計測を行う際の留意点を下記のようにまとめた。

- ・同じ壁面であってもひび割れの種類によって挙動が異なる
- ・同じ種類のひび割れであっても部材の方角によって挙動が異なる
- ・同じ種類のひび割れであっても建物の高さによって挙動が異なる
- ・一つのひび割れであっても、気象条件によって挙動が異なる
- ・一つのひび割れであっても季節によって挙動が異なる
- ・貫通ひび割れについては建築物の内外の挙動を計測する必要がある。

(4)各種ひび割れ補修試験体に対するひび割れ挙動の繰返し負荷による補修材料評価

本課題では、ひび割れ補修材として汎用されている材料（すべて市販品）を抽出し、補修材料単体及びひび割れ補修を施したモルタル試験体に対し、実験室レベルで過酷な気象環境をシミュレーションした促進劣化外力を与えた。その結果、促進劣化外力による補修材単体の変化や補修効果の低下が補修材ごとにより異なることを明らかにし、補修効果の持続性を評価することの重要性を示している。各促進劣化外力による補修材の劣化に関する主要な実験結果を以下に示す。

なお、試験体は下記を基本とした。

補修用の試験体は普通モルタル（以降、モルタル）で、40×40×160mmの形状に成形後、温度20℃の水中で28日間以上の養生を行ったものである。モルタルにはAE剤を混入し、耐凍結融解性能を高めた。養生終了後、図3に示すように長さ160mmを折半するように載荷し割裂した。その後、接着層の厚さが0.5mmになるように試験体2辺中央端部にスペーサーを挿入し、選定した補修材を用いて接着を行った。実際にはこれらの補修は低圧注入工法によることが多いが、ここでは施工法による影響を除外するために上記の方法で試験体を作製した。

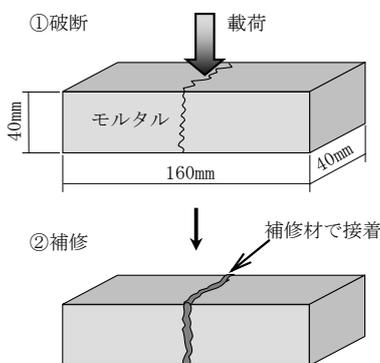


図3 試験体の概要

①凍結融解試験による促進劣化

凍結融解試験条件は、コンクリート構造物のひび割れ補修部を壁面面の雨がかりの程度の激しいところを想定し、JIS A 1435:1991の気中凍結気中融解（シャワーリング）法に準拠して100サイクルまでの凍結融解繰返し試験を行った。凍結融解試験の1サイクルの所要時間は3時間とし、冷却時間は2時間、融解時間は1時間とした。融解中は散水し、融解用の水の温度は10℃とした。試験中は、熱電対を埋め込んだモルタルの中心温度を1サイクルのそれぞれの行程中に測定し、所定の時間内で試験体の中心温度が所定の温度に達していることを確認した。なお、試験開始に先立ち、試験体を20℃の水中に24時間浸漬させた。図4に市販されている11種類の補修材の実験結果を示す。

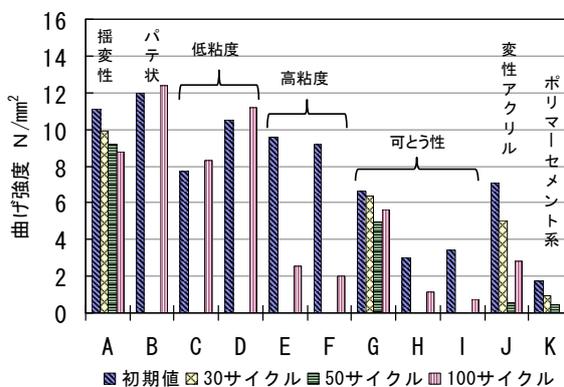


図4 凍結融解試験による接着強度の変化

同図は凍結融解繰返し水準における各補修試験体の曲げ強度を示している。この図に示すように揺変性エポキシ樹脂A、高粘度エポキシ樹脂E及びF、可とう性エポキシ樹脂G、H及びI、変性アクリル樹脂J、ポリマーセメント系Kは、いずれも凍結融解繰返しにより曲げ強度の低下が認められた。特に高粘度エポキシ樹脂、可とう性エポキシ樹脂及び変性アクリル樹脂を用いた補修試験体の曲げ強度の低下は顕著である。一方、パテ状エポキシ樹脂B及び低粘度エポキシ樹脂C及びDの曲げ強度の低下は、モルタル同様認められなかった。

②促進耐候性試験による促進劣化

促進耐候性試験条件は、JIS A 1415:1999に準拠し、2000時間までの連続照射を行った。試験条件は、光源としてキセノンアークランプを用い、直接屋外暴露のシミュレーションによるWX-Aとした。

補修試験体の促進耐候性試験結果を図5に示す。同図促進耐候性照射時間の水準における各補修試験体の曲げ強度を示し、表-8は、曲げ試験後の補修試験体の破断箇所を示したものである。同図に示すように、各試験体とも照射時間と曲げ強度の関係にバラツキはあるものの、揺変性エポ

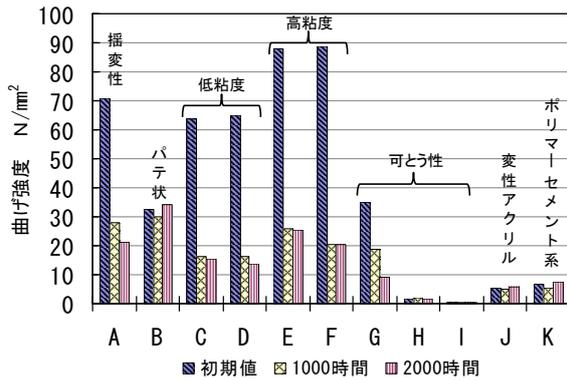


図5 促進耐候性試験による接着強度の変化

キシ樹脂 A、高粘度エポキシ樹脂 E 及び F、可とう性エポキシ樹脂 G 及び変性アクリル樹脂 J の照射 2000 時間後の曲げ強度は、いずれの試験体も試験開始前の初期値（照射時間 0）に対して、低下が認められた。試験体 A、E、F 及び G の初期値に対する曲げ強度の低下は、約 10%～約 20%程度に留まっている。しかし、変性アクリル樹脂 J は、初期値に対し照射 2000 時間後の曲げ強度は約 40%低下し、強度の変化が他の補修試験体に比べ顕著である。一方、パテ状エポキシ樹脂 B 及び低粘度エポキシ樹脂 C 及び D は、前項 3.1 の凍結融解繰返しと同様に曲げ強度の低下は認められなかった。

変性アクリル樹脂 J の曲げ強度が他の試験体に比べ大きく低下した原因は以下が理由と考えられる。試験開始前の初期値（照射時間 0）では破断箇所が「モルタルの凝集破断」であったが、照射 2000 時間後では、「モルタル界面+モルタルの凝集破断」と変化している。これは、促進耐候性試験によるひび割れ補修部への紫外線の影響と同時に照射面への水噴霧の影響と考えられる。このように、実験室での過酷な試験条件であるが、屋外の気象作用により耐久性の低下が生じると推察される。一方、パテ状エポキシ樹脂 B 及び低粘度エポキシ樹脂 C 及び D の曲げ強度の低下が認められない原因は、本実験での試験体のひび割れ幅が 0.5mm であるため、補修材の暴露面積が小さいため影響が少なかったと考えられる。これは実構造物のひび割れ補修にも同様のことが想定され、今後ひび割れ幅の条件を増やし、実験・検討が必要と考えられる。

③ 温冷繰返し曲げによる促進劣化

これまでの実測により、外壁のひび割れ挙動の原因は日射による壁面温度変動の影響が大きいと推測した。温度変化を与える手法として、図 6 に示すようにラバーヒーターを試験体へ直接接着する方法を提案した。温度制御は図 7 に示すように PID 制御によって温度上昇の制御を行った。冷却時は、室温 20℃において気中冷却した。

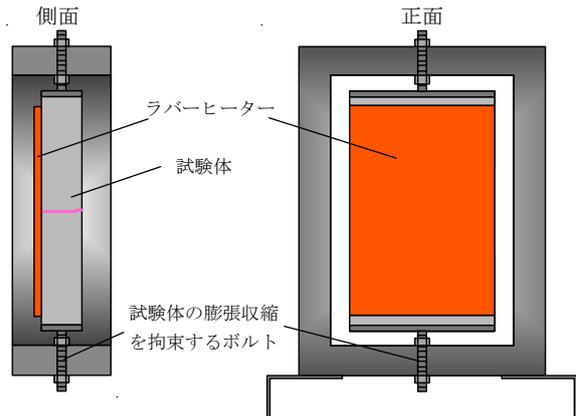


図6 温冷繰返し曲げ試験方法

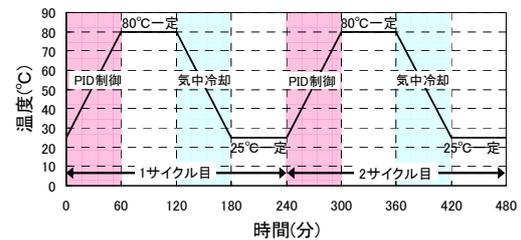


図7 温冷繰返しのサイクル

図 8 に温冷繰返しによる接着強度の変化を示す。可とう性揺変性エポキシ樹脂と低粘度エポキシ樹脂では、若干の強度の低下がみられたが、顕著な低下は観察できなかった。

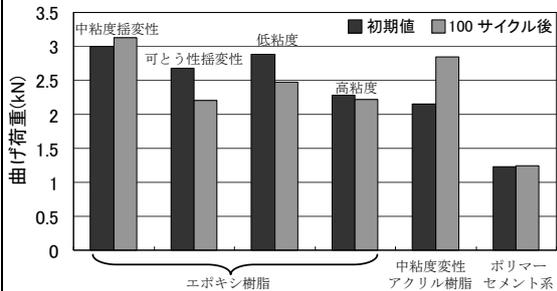


図8 温冷繰返し試験による接着強度の変化

(5) 補修効果の検証試験法の確立

① 注入工法による施工性の評価

様々な幅のひび割れに補修材を注入し、ひび割れ幅の違いによる施工性の評価法として下記を提案した。試験概要を図 9、試験体作製方法を図 10 に示す。同図に示すように脱型後に分割できる試験体を作製し、実際に補修材を注入して、注入面の形状を観察することにより施工性を評価した。なお、ひび割れ幅は、割裂した試験体を組み合わせ、締め付け力によって調整した。

写真 1 に実験結果の一例として中粘度エポキシ樹脂の注入後状況の写真を示す。補修材の注入特性を観察すると、ひび割れ幅により充てん具合は異なることが分かる。

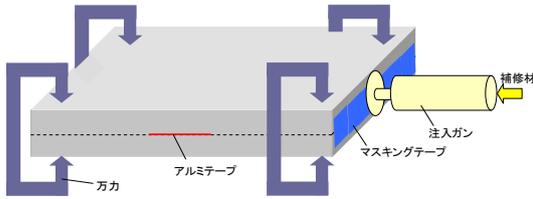


図9 注入施工性試験概要

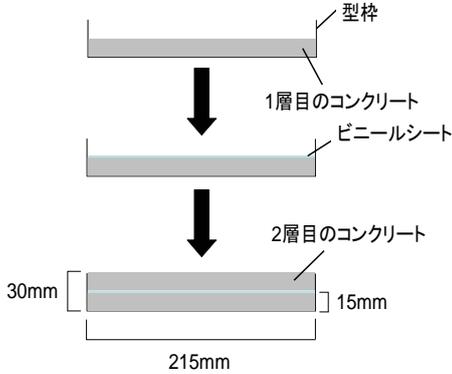


図10 試験体の作製方法



(a) 幅 0.05mm のひび割れへの注入



(b) 幅 0.2mm のひび割れへの注入



(c) 幅 0.5mm のひび割れへの注入

写真1 中粘度エポキシ樹脂の注入試験
本試験方法は、エポキシ樹脂主剤のみで実験を行ったものであり、実際には硬化剤を混入した状態で実施することが必要であるが、

本方法により樹脂注入の施工性評価の見通しが得られたと考えている。

② 透気試験による施工性の評価

補修材により、ひび割れ部が適確に補修されると、ひび割れ補修部は緻密となり耐透気、耐透水性が確保される。本試験はこれを利用した方法であり、ひび割れ補修部を吸引して透気性状を計測することで透気性能の変化から補修効果の評価を提案した。各試験体によってチューブの接地面性状が異なるため、同一試験体の劣化前後での変化を比較した。試験の概要を図11に示す。真空ポンプで真空デシケータ内を $-20(\text{kPa})$ まで減圧し、その後、栓Bを開きチューブの先端から空気を吸引して真空デシケータ内の圧力変化を測定した。

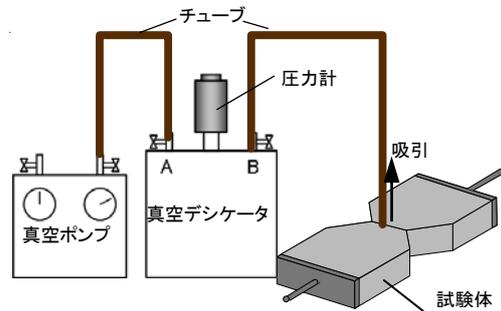


図11 透気試験による補修部の評価

図12に先の図8に示した試験体の補修部の透気試験結果を示す。接着強度との相関は明確ではないが、劣化サイクルの増大による透気性状の変化が認められ、本試験方法の見通しが確認できた。補修効果の確認は建築ユーザーにとっては、重要な課題であり、今後も検討を続ける予定である。

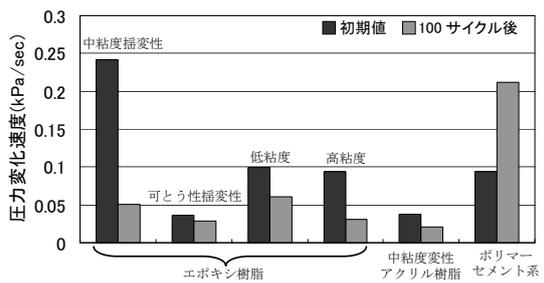


図12 透気試験結果の例

以上、本研究の成果は、ひび割れが生じたコンクリート構造物の補修にあたり、気象作用に対する耐久性を考慮した材料選定に役立つものである。

本研究で実施した実験等により補修効果のデータを蓄積することは、建築物の補修の高度化、合理化につながるものであり、今後も更に実験を行い、データを蓄積する予定である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 15 件)

1)流田靖博、大久保孝昭、藤本郷史、促進劣化によるひび割れ補修材の評価に関する研究、コンクリート工学年次論文集 Vol 32、2010.6 (査読有) (掲載決定)

2) 松本慎也、大久保孝昭、下地コンクリートに拘束される仕上モルタルにおいて乾燥収縮ひび割れが発生しやすい位置の予測、日本建築学会構造系論文集、第 75 巻、第 648 号、pp241-249、2010.1 (査読有)

3) 西内佑太、大久保孝昭、藤本郷史、他 3、挙動のあるひび割れに対する補修の評価に関する基礎的研究その 4 補修材の促進劣化手法の提案と透気試験の有効性の検証、日本建築学会中国支部研究報告集 (CD-ROM) 第 33 巻、2010.3、pp(119) 1~4(査読無)

4)大久保孝昭、下地層の拘束で生じる微細なひび割れの制御と補修材の評価、防水ジャーナル、No.452、2009、pp241-249 (査読無)

5) 頼明峰、大久保孝昭、藤本郷史、他 3、挙動のあるひび割れに対する補修の評価に関する基礎的研究

その 3 実験室における補修材の評価試験の適用、日本建築学会中国支部研究報告集 (CD-ROM) 第 32 巻、2009.3、pp(105) 1~4(査読無)

6) 大久保孝昭、藤本郷史、森濱直之、頼明峰、松本慎也、挙動のあるひび割れに対する補修の評価に関する基礎的研究、第 9 回韓国・日本建築材料施工 Joint Symposium 論文集、2008.8、pp237-242 (査読無)

7) 頼明峰、大久保孝昭、藤本郷史、他 3、挙動のあるひび割れに対する補修の評価に関する基礎的研究 その 1 ひび割れ挙動の計測と透気試験の合理化の検討、日本建築学会中国支部研究報告集 (CD-ROM) 第 31 巻、2008.3pp(107) 1~4(査読無)

8)森濱直之、大久保孝昭、藤本郷史、他 3、挙動のあるひび割れに対する補修の評価に関する基礎的研究 その 2 実験室における補修材の評価試験の検討、日本建築学会中国支部研究報告集 (CD-ROM) 第 31 巻、2008.3pp(108) 1~4(査読無)

〔学会発表〕(計 0 件)

〔図書〕(計 4 件)

1)大久保孝昭 (共著)、コンクリート技士研修テキスト、(社) 日本コンクリート工学協会、pp497-502、2009.6

2)大久保孝昭 (共著)、「建築仕上診断技術者」更新講習テキスト (平成 21 年度)、(社) 建築・設備維持保全推進協会、pp54-70、2010.1

6. 研究組織

(1) 研究代表者

大久保 孝昭 (OHKUBO TAKAAKI)
広島大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号：60185220

(2) 研究分担者

藤本 郷史 (FUJIMOTO SATOSHI)
広島大学・大学院工学研究科・助教
研究者番号：30467766

松本 慎也 (MATSUMOTO SHINYA)
広島大学・大学院工学研究科・助教
研究者番号：30325154

長谷川 拓哉 (HASEGAWA TAKUYA)
北海道大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号：30360465

李 柱国 (LI ZYUGUO)
山口大学・大学院理工学研究科・准教授
研究者番号：50432737

(3) 連携研究者

()

研究者番号：