実建築物の壁面に生じたひび割れ挙動計測に基づく ひび割れ補修のための調査診断に関する考察

A STUDY ON THE INVESTIGATION FOR CHOOSING THE CRACK REPAIR METHOD BASED ON ACTUAL MOVEMENTS OF CRACKS OCCURRED IN THE BUILDING WALLS

大久保 孝昭*, 森 濱 直之**, 流 田 靖 博***, 長谷川 拓哉****, 藤 本 郷 史*****

*Takaaki OHKUBO, Naoyuki MORIHAMA, Yasuhiro RYUUDA,
Takuya HASEGAWA and Satoshi FUJIMOTO*

This research aims at rationalization of the selecting technique of a crack repair method of construction with the movement occurred in RC structure. The definition of "existence of crack width behavior" of the flow chart in the public organization's specifications for crack repair method selection is so ambiguous. In this research, behavior of the crack produced in the outer wall of an actual building was measured, and new knowledge was able to be acquired about the opening-and-closing pattern and crack width behavior of cracks which were produced in the outer wall of building. Although it was generated in the building of only one building, and the cracks and consideration in this paper are based on this measurement results, it was thought that the results of this paper has the flexibility about the crack investigation for selection of a repair method of construction.

Keywords: *Crack with movement, Measurement of crack movement, Crack repair method,
Investigation and Assessment of Concrete Structures,
挙動のあるひび割れ, ひび割れ挙動の計測, ひび割れ補修, 調査・診断*

1. はじめに

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, 建築物が容易に解体されることが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る, 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。しかし我が国ではこれまで, 補修・改修の重要性に関する認識が欧米諸国よりも低く, 材料や構法に関する技術開発が積極的に進められてきたとは言い難い。

本研究は, 「補修・改修設計」技術の確立に寄与する一研究として, 建築外壁のひび割れ補修の合理化に的を絞って行っているものである。「相談統計年報2009 ((財) 住宅リフォーム・紛争処理支援センター) 」によると, ひび割れに関する相談件数は雨漏りについで多く, 全体の相談件数の約11%を示す¹⁾。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。住宅以外の建築物においてもひび割れ補修工事の占める割合は年々増加の一途をたどっている。このような社会的状況を勘案し, 本課題では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を確立することを目的としている。

図1は公的機関の仕様書に提示されているひび割れ補修工法選定フロー²⁾の抜粋である。これはひび割れの種類や性状に応じて補修工法を選定する意義あるフローであるが, 「ひび割れ幅挙動の有無」の定義が曖昧であり, 定量的に示されていない。本研究では, まず実際の建築物の外壁に生じたひび割れの挙動の計測を行った。本研究と同様の主旨での実験は田中博士らが既に行っている^{3), 4)}。本研究の計測結果の傾向はこれら既往の実験結果や他の建築物での結果と矛盾がない。加えて本研究では, 外壁に生じたひび割れの開閉パターンやひび割れ幅挙動に関し, 新たな知見を得ることができた。本論文における考察は1棟の建築物に生じたひび割れ計測結果に基づくものであるが, 成果はひび割れ補修工法の選定のためのひび

* 広島大学大学院工学研究院 教授・工博

** (財) 建材試験センター中央試験所 工修
(実験当時 広島大学大学院 大学院生)

*** (財) 建材試験センター西日本試験所

**** 北海道大学大学院工学研究院 准教授・博士(工学)

***** 広島大学大学院工学研究院 助教・博士(工学)

Prof., Faculty of Engineering, Hiroshima University, Dr. Eng.
Japan Testing Center for Construction Materials

Japan Testing Center for Construction Materials

Assoc. Prof., Faculty of Engineering, Hokkaido University, Dr. Eng.

Assistant Prof., Faculty of Engineering, Hiroshima University, Dr. Eng.

図1 ひび割れ補修工法の選定フロー²⁾の抜粋

割れ調査に関する汎用性のあるものと判断し、ここに報告するものである。

2. ひび割れ幅挙動計測の目的と測定方法

2.1 計測の目的

合理的な補修工法選定システムを作成する必要性は広く認識されており、外壁のひび割れ補修工法については、先の図1に示すような補修工法選定システムが公的機関の補修工事仕様書に示されている。同図は公共建築協会が示す補修工法選定システムであり、「漏水の有無」、「挙動の有無」および「ひび割れ幅」の3つの要因から補修材料と工法を選定する方法を示している。日本コンクリート工学協会の指針では「挙動の有無」が「挙動の大小」と示されている⁵⁾。しかしいずれも、「挙動の大きさ」の判断指標が示されていない。「ひび割れの挙動の有無や大小」とはひび割れの開閉量や開閉回数を示すものであり、補修材料に要求される強度、伸び能力および疲労強

図2 ひび割れ幅挙動調査対象の建築物概要

度に直接的にかかわる要因であり、この判断指標が明確にされていないと言うことは最適な補修工法選定ができないことに等しい。既往の研究^{3),4)}においても、構造物に発生したひび割れは、それが生じている壁面の環境変化によってはかなり大きな挙動（ひび割れ幅の変動）が生じることが明らかとなっている。また、このひび割れ幅の変化は、1日のサイクルで生じており、長年これが繰返されることによって、ひび割れ補修部には疲労が蓄積される。そこで本論文では実際の建築物に生じているひび割れ幅の日変動を計測し、ひび割れ幅の挙動に及ぼす要因を分析し、補修のための調査・診断のあり方を示した。すなわち、これまで診断技術者の判断に委ねられていた「ひび割れ幅挙動の有無や大小」を工学的に明確にするための一研究と位置づけている。なお、以下単にひび割れ挙動と記しているものは1日のひび割れ幅の挙動（開閉）を表す。

一方、ひび割れ幅挙動には上述の日変動に加えて年変動が生じている。筆者も厚みが薄い腰壁に生じたひび割れが、冬期には屋外から目視で観察できるものの、夏期には目視確認できないほど閉じてしまう事例も確認している⁶⁾。この年変動は日変動に比べて、一定期間における挙動の繰返し回数が少ないこと、また計測方法も異なることから本論文では検討対象外としたが、今後検討すべき重要な課

表1 計測対象のひび割れの種類

階数	番号	ひび割れ記号 ^{*1}	測定部の基準ひび割れ幅(mm) ^{*2}	貫通の有無	ひび割れの特徴
8	①	8-南-開口部(内)	0.45	貫通	南面開口部の斜め方向ひび割れ。このひび割れの周辺には目立ったひび割れはない。
	②	8-南-打継(内)	0.05	貫通	壁面のコールドジョイント部のひび割れ。このひび割れの周辺には微細な非貫通のひび割れが生じている(1m以内に2本程度)。
	③	8-西-壁面(内)	0.60	貫通	乾燥収縮ひび割れと考えられる壁面端部の斜めひび割れ。このひび割れの周辺には微細な非貫通のひび割れが多く生じている(1m以内に3本程度)。
6	④	6-南-開口部(内)	0.35	貫通	壁面開口部の斜め方向ひび割れ。このひび割れの周辺には目立ったひび割れはない。
	⑤	6-南-打継(内)	0.45	貫通	壁面のコールドジョイント部のひび割れ。このひび割れの周辺には微細な非貫通のひび割れが多く生じている(1m以内に2本程度)。
	⑥	6-北-開口(内)	2.00	貫通	壁面開口部の斜め方向ひび割れ。このひび割れの周辺には目立ったひび割れはない。
	⑦	6-北-壁面(内)	0.15	貫通	壁面開口部の斜め方向ひび割れ。周辺ひび割れは同上。
	⑧	6-西-壁面(内)	2.00	貫通	壁面中央部の斜めひび割れ(芸予地震によるせん断ひび割れと推定される)。このひび割れの周辺には微細な非貫通のひび割れが多く生じており、また貫通ひび割れも1m以内に1本存在。
3	⑨	3-南-開口(内)	0.45	貫通	壁面開口部の斜め方向ひび割れ。このひび割れの周辺には目立ったひび割れはない。
		3-南-開口(外)		貫通	
2	⑩	2-南-開口(内)	0.40	貫通	壁面開口部の斜め方向ひび割れ。このひび割れの周辺には目立ったひび割れはない。
		2-南-開口(外)		貫通	
	⑪	2-南-打継(内)	0.15	貫通	壁面のコールドジョイント部のひび割れ。このひび割れの周辺には微細な非貫通のひび割れが多く生じている(1m以内に2本程度)。
		2-西-廊下(内)		貫通	
	⑫	2-西-廊下(外)	0.45	貫通	乾燥収縮ひび割れと考えられる細長壁面中央部の縦ひび割れ。このひび割れの周辺には非貫通ひび割れが2本生じている。

※1 ひび割れ記号は階数－壁面の向き－ひび割れ位置で表し(内)は室内側、(外)は屋外側で計測したことを表す。

※2 測定部の基準ひび割れ幅は2009年10月1日の午後12時に室内側でクラックゲージにより目視で計測した値である。

写真1 亀裂変位計による計測の様子

題と認識している。

2.2 計測対象

計測を行った建築物は広島大学工学部の研究棟（基準階平面：図2）とし、ひび割れ幅挙動の計測は表1に示す複層塗り仕上げの施された鉄筋コンクリート外壁に発生したひび割れを対象とした。同表に示すように8階、6階、3階および2階のRC造外壁に生じた貫通ひび割れについてひび割れ幅挙動を計測している。表1の最右欄に示すように、計測対象のひび割れの発生原因は、乾燥収縮およびコールドジョイントによるものが主であり、竣工後約30年経過した建築物であるため、コンクリートの乾燥収縮は収束している状態での測定である。なお、同表のひび割れ種類において、(内)と示しているのは貫通ひび割れの挙動を屋内側で計測したもの、(外)は屋外側で計測したことを表す。

2.3 計測方法と計測時期

ひび割れ幅の挙動、即ち開閉変位の経時変化（以下、本論文では「ひび割れ幅挙動」と記す）は写真1に示す亀裂変位計およびパイ型変位計で計測した。同写真に示すように、ひび割れ幅挙動はひび割れを跨いだ壁面2点間の距離の変化とした。なお、ひび割れの無い位置に設置した計測からコンクリートの伸縮はひび割れ幅挙動の大きさに比べて極めて小さいことを確認しており、この計測方法から得られる値はひび割れ幅挙動と見なせることを確認している。

図3 ひび割れ幅挙動計測結果の例

後の実験結果では、正の計測値はひび割れが開き、負の値はひび割れが閉じる方向であることを表す。写真には示していないが、これらの変位計は直射日光によりそれ自身の温度が上昇することを防止するため、反射カバーを付設した。

計測時期は夏期、冬期および中間期としたが、後に結果を示すように、季節の違いは他の要因よりも日挙動の大小に及ぼす影響が小さかったため、ここでは夏期と冬期の計測結果を中心に示している。また、ひび割れ幅挙動は各時期において連続する7日間程度を計測した。計測時のひび割れ周辺の気温や外壁の温度変化については、CC 熱電対（銅コンスタンタン熱電対）で測定したが、「日照時間」、「降水量」については、気象庁のデータ（測定点「広島県東広島」）を参照した。

3. 実験結果および考察

3.1 計測結果の概要

図3(a),(b)にひび割れ幅挙動の計測結果の例を示す。同図(a)は夏期に計測したもの、同図(b)は冬期に計測した結果を示している。いずれの図とも計測初日の午前0時のひび割れ幅を基準（初期値）として、その後のひび割れ幅の挙動を示している。同図に示した計測結果はすべて、ひび割れを屋内側で測定したもの、即ち屋内側のひび割れ幅挙動を示す。屋内側の計測値は、1日サイクルで開閉を繰り返しており、日中はひび割れが開き、夜間に閉じる挙動を示していることが同図から分かる。また、階数や天候によって挙動幅の大きさが変化することがうかがえる。図3(a),(b)に示していない他のひび割れも(①, ③, ⑫)も、ひび割れ挙動の定性的傾向は同図と全く同様であった。次節ではひび割れ挙動に及ぼす要因を検討し、ひび割れ補修のための診断に関する考察を行う。

3.2 ひび割れ幅挙動に及ぼす各種要因の検討

3.2.1 建物階数の影響

図4および図5ではひび割れが生じた壁面の階数の影響を検討するために、ひび割れの発生原因や形状が同様のひび割れについて比較を行った。図4(a),(b)では南側壁面の水平打継ぎ部に生じたコールドジョイントひび割れ、図5(a),(b)では開口部隅に生じた斜め方向の乾燥収縮ひび割れについて、8階、6階および2階のひび割れ幅の挙動を示す。なお、いずれも外壁の貫通ひび割れを屋内側から計測したもので、(a)は夏期、(b)は冬期のひび割れ幅挙動を、

午前0時を基準とした変動で示している。図4、図5ともに晴天の日の計測結果を示しているが、いずれのひび割れともに、日中はひび割れが開き、夜間にはひび割れが閉じていることが分かる。ひび割れ幅の挙動の大きさについては、図4では8階、図5では6階のひび割れ幅挙動が最も大きく、またいずれの図においても2階外壁に生じたひび割れ幅の挙動は6階、8階に比べて非常に小さいことが分かる。これは、上層階に比べて下層階の壁面の拘束度が高いこと、また上層階の方が日射を多く受けるためと推察される。なお、ここでいう拘束度とは、ひび割れが開閉しようとするときに、この

開閉を止めようとするもの、すなわち配筋、周辺の柱・はりによる外部拘束および自重等による拘束力を意味しており、これが下層階ほど大きいと考えている。

実際の建築物におけるひび割れ挙動調査においては、低層部のひび割れのほうが高層部に比べて計測しやすいために、低層部での測定が行いがちであるが、この結果は、建築物の高さ方向について複数の位置で計測を行うことの必要性を示している。

3.2.2 壁面の方角の影響

(a) 夏期の計測結果

(b) 冬期の計測結果

図4 ひび割れ幅挙動に及ぼす階高の影響
(コールドジョイントひび割れ)

(a) 夏期の計測結果

(b) 冬期の計測結果

図5 ひび割れ幅挙動に及ぼす階高の影響
(開口部隅の乾燥収縮ひび割れ)

(a) 夏期の計測結果

(b) 冬期の計測結果

図6 ひび割れ幅挙動に及ぼす
壁面の方角の影響

(a) 夏期の計測結果

(b) 冬期の計測結果

図7 ひび割れ幅挙動に及ぼす天候の影響
(南側壁面のひび割れ)

(a) 夏期の計測結果

(b) 冬期の計測結果

図8 ひび割れ幅挙動に及ぼす天候の影響
(西側壁面のひび割れ)

(a) 夏期の計測結果

(b) 冬期の計測結果

図9 ひび割れ幅挙動に及ぼす天候の影響
(北側壁面のひび割れ)

図10 ひび割れ幅挙動に及ぼす日射の影響

6 階における南側、西側および北側壁面に生じたひび割れ幅挙動（屋内側）の例を図 6 (a),(b)に示す。同図(a)は夏期、(b)は冬期に計測したものであり、ともに午前 0 時におけるひび割れ幅を基準とした挙動を示している。

図 6 は晴天の日における典型的な計測結果であり、昼過ぎに南側壁面のひび割れ幅がピークとなり、夕方に西側壁面のひび割れ幅が最も開く。これはひび割れ幅挙動には日射による受熱の影響が大きいことを表している。同図(a)は夏期の晴天日における計測結果であり、南面に比べて西側壁面のひび割れ幅挙動が大きくなっている。これは太陽高度の影響により、夏期は南側壁面よりも西側壁面のほうが日射による受熱が大きいことが影響しているものと考えられる。

図示してはいないが、他のひび割れについても図 6 に示したように、ひび割れの生じた壁面の方角によりひび割れ幅の挙動は異なり、特に日射を受ける壁面に生じたひび割れ幅挙動が大きくなる結果を示した。この結果は、実際の建築物におけるひび割れ補修のための調査においては、壁面の方角について満遍なく計測を行うことが必要であり、方角ごとの挙動の違いが大きい場合には、方角ごとに補修材料や工法を変更しなければならないことを示唆している。

3.2.3 天候の影響

天候の違いがひび割れ幅挙動に及ぼす影響を図 7 および図 8 で比較した。図 7 は南側壁面に生じたひび割れ幅の 1 日の挙動（屋内側）を晴天、曇天および雨天の日に計測した結果を示しており、同図 (a) は夏期、(b) は冬期におけるものである。また、図 8 (a), (b) は西側壁面に生じたひび割れ幅挙動を示したものである。

図 7 (a), (b) から、ひび割れ幅挙動は晴天の日が著しく大きいことが分かる。夏期における晴天の日の計測値（同図(a)の点線）では、ひび割れは午前 6 時ごろから開き始め、正午頃に最もひび割れ幅が大きくなっている。曇天、雨天の日の計測でも同様の傾向であるが挙動幅は非常に小さいことが分かる。冬期における晴天の日の計測値（図 7 (b)）も、同様の傾向を示している。図 8 (a), (b) に示す西側壁面についても、ひび割れ幅挙動は図 7 に示した南側壁面と同様であるが、ひび割れ幅が開き始める時刻および最もひび割れが開く時刻が南側壁面よりも数時間遅れていることが分かる。このことは、ひび割れ幅の挙動には日射の影響が極めて大きいことを示している。ただし、直達日射を受けない北側壁面においても（図 9 (a), (b)）

南、西側壁面のひび割れほど差が大きいことはないが、晴天の日の挙動が大きくなっていることを示す。これは気温の変化に伴う壁面の温度変化によるものと考えられるが、このことについては後述する。

図10には「ひび割れ幅挙動に及ぼす日射の影響が大きいこと」を示す計測結果の例を示す。この図は南側壁面に生じたひび割れ（①、④、⑧）のひび割れ幅挙動と日照時間の関係を示す。図中、棒線は各時間帯（1 時間）当たりの日照時間を表し、例えば同図の10時の棒線では、午前10時から11時の1時間のうち0.8時間の日照があったことを意味する。同図から分かるように、日照が生じることによってひび割れ幅は急激に挙動し、日射による受熱が大きく影響することが明らかである。

以上のように、同一のひび割れであっても、ひび割れ幅挙動は天候によって異なることが分かる。すなわち、実際の建築物におけるひび割れ補修のための調査においては、計測を行う日の天候を重視しなければならない。曇天や雨天の日の測定では、晴天時には大きく挙動するひび割れを、「挙動が小さい」と危険側に判定する可能性があるため、ひび割れ幅が最も大きく挙動する晴天の日にひび割

(a) 南側壁面ひび割れの計測結果

(b) 西側壁面ひび割れの計測結果

図11 ひび割れ幅挙動に及ぼす季節の影響（晴天日の計測）

(a) 西側壁面ひび割れの計測結果

(b) 北側壁面ひび割れの計測結果

図12 ひび割れ幅の挙動に及ぼす季節の影響（曇天日の計測）

図13 屋内側と屋外側の挙動の相違(⑨)

図14 屋内側と屋外側の挙動(⑨ 夏期)

図16 屋内側と屋外側の挙動(⑨ 冬期)

図15 日射等屋外側壁面の急激な温度上昇に伴うひび割れ幅挙動の概念図

図17 屋内側と屋外側の挙動(⑩ 夏期)

れ幅挙動計測を行うことが望ましいと言える。

3.2.4 季節の影響

図 11(a),(b)に南側および西側壁面に生じたひび割れ④と⑧のひび割れ幅挙動をそれぞれ示し、夏期および冬期の晴天の日の挙動を比較した。図 11(a)においては夏期より冬期の方が大きな挙動を示した。これは太陽高度の影響であり、南側壁面は夏期より冬期の方が正面から日射を受けることが影響しているものと考えられる。西側壁面は夏期においてもかなり長時間の直達日射を受けるため、図 11(b)に示すように冬期に比べて夏期の挙動が大きくなっている。これらの結果も前節同様、日射の影響が大きいことを示している。図 12(a),(b)は、ひび割れ⑧および北側壁面のひび割れ⑦について、曇天の日に計測した夏期と冬期の挙動を示しているが、1日の挙動幅の変化については、ともに計測する季節の影響は小さいといえる。

以上の結果から、1日のひび割れ幅挙動に関する計測については季節間の違いというよりも、日射による影響が大きいと考えられる。この結果から、実務において1日のひび割れ幅挙動に及ぼす季節の違いを計測するために、ひび割れ補修の実施が半年以上遅れることは不合理と考える。

3.3 屋内側と屋外側の挙動の相違

図13に南側壁面に生じた貫通ひび割れ⑨に関し、夏期の晴天の日に屋内側で計測したひび割れ幅挙動とその裏面の位置の屋外側で計測した挙動を示す。図中、太線で示す屋内側での計測値は日中はひび割れが開く方向に挙動し、昼過ぎにひび割れ幅が最も大きくなり、夕方から夜に向けてからひび割れは閉じていく。これは前節までに示した挙動と同様の傾向である。しかし、同図の細線で示す屋外で計測した挙動は全く逆の傾向を示し、日中はひび割れが閉じる方向に挙動していることが明らかである。図14には、図13に示したひび割れ幅挙動に壁面の温度変化を加えて示した。細点線は外壁側

温度、太点線は屋内側壁面の温度変化を示したものである。壁面温度は屋内側に比べ屋外側の変化が大きく、実線で示したひび割れ挙動は屋外側の壁面温度と対応して変動していることが分かる。すなわち、屋外側の壁面表層部は温度上昇で熱膨張が生じ、ひび割れが閉じているものと考えられる。一方、屋内側の壁面表層部は急激には温度が上昇しないため、この熱膨張が生じず、屋外側が伸びることによって部材断面には反りの状態が生じ、結果的にひび割れが開く方向に挙動しているものと推察される。このひび割れ幅挙動の概念図を図15に示した。

図16～図19には、他のひび割れの挙動と壁面温度の計測結果の例を示している。すべての図において、実線はひび割れ幅挙動、点線は壁面温度を表し、また太線は屋内側、細線は屋外側の計測結果を表している。いずれの図においても、日中は深夜に比べ、屋内側はひび割れが開き、屋外側はひび割れが閉じていることが分かる。また、壁面のひび割れ幅は、壁面の屋外側表層部の温度変化と対応して挙動しており、特に図18に示すように、直達日射を受けて夕方に急激に温度が上昇した西側壁面では、屋外側表層部の温度上昇に対応して、屋内、屋外側のひび割れ幅ともに急激に変化していることが顕著に観察される。

これらの実験結果は通常の建築壁面に生じた貫通ひび割れは、変動が大きい屋外側表層部の温度変化に対応して挙動すると考察した概念図(図15)の妥当性を示している。冬期において、屋内側が暖房され屋外が急激に温度低下する場合には、貫通ひび割れは屋外側が開き、屋内側が閉じることが推察される。なお、本研究で計測をおこなった壁面の部材厚は180mm～240mmの範囲であり、屋内側に比べて屋外側の壁面表層部の温度変化が大きいという一般的な条件における考察であることを付記する。

以上の結果は、実際の建築物におけるひび割れ補修のための調査においては、ひび割れ計測を屋内側で行うか、屋外側で行うかによって挙動が異なることを把握した上で調査に当たることの必要性

図18 屋内側と屋外側の挙動(⑪ 夏期)

図19 屋内側と屋外側の挙動(⑪ 冬期)

図20 ひび割れ日較差と外壁温度日較差(⑨)

(a) 屋外側での計測

(b) 屋内側での計測

図21 ひび割れ日較差と外壁温度日較差(⑨, ⑩, ⑫)

図22 ひび割れ幅日較差とひび割れ幅の関係(6, 8階の壁面におけるひび割れ)

を示している。また、注入工法によって補修材をひび割れに充てんする場合には、ひび割れが最も開いた時に行うべきという見解があるが、屋内側から注入を行うのか、屋外側から行うかによって、補修材注入の時期が異なることが明らかである。

3.4 ひび割れ幅挙動に及ぼす壁面温度の影響

前節までの計測結果に示すように、ひび割れ幅の挙動は直達日射を主要因とする壁面の温度変化の影響が大きいことが明らかとなった。そこでここでは、壁面温度とひび割れ幅挙動との関係について考察を行った。

図20(a), (b)にはひび割れ⑨についてひび割れ幅日較差と外壁温度日較差との関係を計測日ごとに示す。「ひび割れ幅日較差」とは「計測1日の間のひび割れ幅の最大値と最小値の差」,「外壁温度日較差」とは「計測1日の間のひび割れ部の屋外側表層部温度の最大値と最小値の差」を表す。屋外側で測定したひび割れ幅日較差は外壁温度日較差とほぼ比例して大きくなっていることが分かる(図20(a))。また、同図(b)に示す屋内側で測定したひび割れ幅日較差についても、同図(a)より値は小さいものの外壁温度日較差に比例

して大きくなっている傾向を示す。図21(a), (b)には、低層階で計測したひび割れ(⑨~⑫)について、ひび割れ幅日較差と外壁温度日較差との関係を計測日ごとに示した。同図より貫通ひび割れに関しては、屋外側、屋内側のいずれのひび割れ幅日較差とも、壁面の屋外側表層部温度の日較差と比例して大きくなっていることが分かる。また同図(a)と(b)の比較から、貫通ひび割れの屋外側のひび割れ幅日較差は屋内側に比べて大きいことが明らかである。

図22は、高層階における計測期間内の各ひび割れのひび割れ幅日較差の最大値とひび割れ幅の関係を示す。実線は夏期、点線は冬のひび割れ幅日較差の最大値を表す。図の横軸はひび割れ幅の小さい順にひび割れを並べたものであり、棒線が基準ひび割れ幅(表1参照)を表している。同図から分かるように、ひび割れ幅日較差の最大値と基準ひび割れ幅との相関は認められない。すなわち、幅が小さなひび割れも幅が大きなひび割れと同等に挙動していることが明らかである。既往の補修材選定方法では「ひび割れ幅が大きいものほど変形能力の高い補修材を選定する」という考え方に基いているが、上記の結果は幅が小さなひび割れの補修材にも変形能力が要求されることを示している。

以上の結果では、1日当たりの貫通ひび割れ幅挙動の大きさ（ひび割れ幅日較差）は、ひび割れ幅の大きさによらず、ひび割れの生じている壁面の屋外表層部の温度日較差との相関が高いことを示している。このことは、屋外側の壁面温度の経時変化から、ひび割れ幅の日較差を推定できる可能性を示している。一般に実際の建築物のひび割れ調査ではひび割れ幅挙動の計測が困難なことが多く、壁面温度の計測でひび割れ幅挙動の大きさを推定できれば、実務では非常に好都合である。なお、ひび割れ幅日較差は屋内側よりも屋外側が大きい値を示したことは、ひび割れ調査を行うときには屋内、屋外のいずれの調査結果であるかを考慮することの重要性を示している。

4. まとめ

本論文では、現行の各種公的機関の示すひび割れ補修工法選定フローでの重要な要因である「ひび割れ挙動の有無／大小」について、実際の建築物に生じているひび割れ幅の日変動を計測し、ひび割れ幅の挙動に及ぼす要因を検討した。本計測から得られた主要な結果は下記のとおりである。なお、本論文での計測対象は、竣工後約30年が経過した建築物に生じたひび割れであり、以下の結論はコンクリートの乾燥収縮が収束した材齢における乾燥収縮ひび割れ、コールドジョイントに沿うひび割れの計測結果に基づくものである。

- 1) 高層階に生じたひび割れのひび割れ幅挙動は低層階に比べて大きい値を示した。
- 2) ひび割れの生じた壁面の方角によりひび割れ幅挙動は異なり、特に日射を受ける壁面におけるひび割れ幅挙動が大きい値を示した。
- 3) 同一のひび割れであっても、ひび割れ幅挙動は天候によって著しく異なり、晴天の日はひび割れ幅変動が大きい値を示した。
- 4) ひび割れ幅挙動に関する計測については日射の影響が非常に大きく、季節間の違いは小さかった。
- 5) 本計測をおこなった壁面（部材厚180mm～240mmの範囲）では、貫通ひび割れはそれが生じた壁面の屋外側表層部の温度変化に対応して挙動した。また、貫通ひび割れを屋内側と屋内側で計測した場合、屋内側は日中にひび割れが開き、屋外側は閉じる方向となり、全く逆の開閉が生じた。
- 6) 1日当たりの貫通ひび割れ幅挙動の大きさ（ひび割れ幅日較差）は、ひび割れ幅の大きさによらず、ひび割れの生じている壁面の屋外表層部の温度日較差が支配的であった。

上記の結果から、実際の建築物におけるひび割れ補修工法選定のための「ひび割れ幅挙動の調査・診断」では、下記に留意することが重要であると言える。

- a) 建築物の高さ方向について複数の位置で計測を行うことが必要である。
- b) 調査対象の壁面の選定に当たっては、すべての方角について満遍なく選定することが必要であり、方角ごとのひび割れ幅挙動の違いが大きい場合には、壁面の方角ごとに補修材料や工法を変更することが必要となる。
- c) 計測を行う日の天候を考慮することが重要であり、特に曇天や雨天の日の測定では、晴天時には大きく挙動するひび割れを、

「挙動が小さい」と危険側に判定する可能性がある。

- d) ひび割れ計測を屋内側で行うか、屋外側で行うかによって挙動が異なることを考慮して調査に当たることが重要である。また、注入工法によって補修材をひび割れに充てんする場合には、ひび割れが最も開いた時に行うべきという見解にしたがえば、屋内側のひび割れから注入を行うのか、屋外側から行うかによって、補修材注入の時間帯が異なる。
- e) ひび割れ幅挙動の計測が困難な場合には、ひび割れ幅の日較差を想定する上で、屋外側の壁面温度の経時変化が重要な情報となる。

ここで得られた成果は実験室レベルでの補修工法の評価試験において、試験体にひび割れ幅挙動を再現する手法の確立に役立つものである。本成果はただ1棟の建築物に生じたひび割れ計測結果に基づくものであるが、これらの成果は冒頭に述べた既往の研究および北海道の建築物で筆者らが計測した結果⁷⁾に対してもその傾向を矛盾無く説明できることを確認しており、汎用性のある成果と考えている。

なお、2節で述べたようにひび割れ幅挙動には日変動に加えて年変動がある。年変動については本論文では検討対象外としたが、壁面温度がひび割れ幅に大きく影響するという本研究の結論から、特に冬期と夏期のひび割れ基準幅は異なるはずである。注入工法によるひび割れ補修はひび割れ幅が最も開いた時期に行うべきと言う見解もあり、この観点からはひび割れ幅の年変動は重要な検討対象であり、今後、検討を加えたい。また、本実験で計測したRC外壁は塗装仕上げが施されていたため、壁面表面からの雨水の侵入の影響は小さかった。吸水の大きな壁面では雨天時等には更に複雑な挙動を示すことが想定され、今後この点についても検討を行う予定である。

謝辞

本研究には平成19～21年度の文科省科研費（基盤研究B 19360250、研究代表者 大久保孝昭）の助成を受けた。末筆ながら謝意を表す。

参考文献

- 1) 住宅リフォーム・紛争処理支援センター：相談統計年報 2009, http://www.chord.or.jp/information/docs/soudan_web2009.pdf, 2010.9.1 参照
- 2) 国土交通省大臣官房官庁営繕部監修：建築改修工事監理指針，財団法人建築保全センター，2004，pp298-299
- 3) 田中享二，申洪澈，安藤紀明：エポキシ樹脂注入によるコンクリート・モルタルのひび割れ補修部の疲労試験方法，日本建築学会構造系論文集 第554号，pp21-27，2002.4
- 4) 申洪澈，宮内博之，田中享二：エポキシ樹脂注入補修部の疲労耐久性に及ぼす気象劣化の影響，日本建築学会構造系論文集 第580号，pp29-34，2004.6
- 5) (社)日本コンクリート工学協会編：コンクリートのひび割れ調査，補修・補強指針-2009-，(社)日本コンクリート工学協会 p121，2009.4
- 6) 大久保孝昭：「建築仕上診断技術者」更新講習テキスト，(社)建築・設備維持保全推進協会・平成21年度，p65，2010.2
- 7) 長谷川拓哉，大久保孝昭：札幌市におけるコンクリート・モルタル壁のひび割れ挙動の実測，日本建築学会大会学術講演梗概集（東北）A-1, pp447-448，2009.8

（2010年10月5日原稿受理，2010年12月24日採用決定）