

[5] 外壁の初期ひびわれに関する一考察

正会員 ○小柳 光生 (大林組 技術研究所)
 正会員 中根 淳 (大林組 技術研究所)

1. まえがき

外壁のひびわれは美観上はもとより、漏水問題を引きおこすため、このひびわれ制御として硬練りコンクリート使用、補強筋、誘発目地等、種々の方法が試みられている。しかし、現在においてもまだ十分に解決されたとは言えないのが実状であろう。今回、某建物の外壁、特に開口部をもつ外壁におけるひびわれについて、その原因および対策の実験研究を行う機会があったので、その結果を報告する。この外壁ひびわれ発生の経緯については、現場係員から、せき板除去直後(材令5日前後)に小さなひびわれが既に認められたものもあったと報告された。一般的に、壁のひびわれはコンクリートの乾燥収縮に伴う自己ひずみが主要因と考えられており、その制御上も乾燥収縮ひずみを小さくするような調合計画等に努力がはらわれていることが多い。しかし、今回の場合、その発生時期が早いことからこの初期ひびわれは、乾燥収縮ひびわれとは考えにくく、水和熱による温度ひびわれの可能性もあると判断された。この外壁開口部まわりのひびわれは水和熱による初期ひびわれであるという見解は、昭和57年度日本建築学会大会で杉本氏が既に一事例を報告している¹⁾。筆者等はこのひびわれ原因を確認する趣旨で、以下のような実験を行い、その結果について考察する。

2. 実験計画

2.1 建物外壁に関する諸事項

当建物はSRC造7階建地下1階で、その長手方向の柱間スパンは6.4mで外壁回りではその中央に間柱を有しており、基準階高は3.5mである。外壁の厚さは設計上18cmで、外部側に4cm付加している。配筋は縦横ともD-10-@200とし補強筋は棒筋2-D13、斜め筋2-D13の仕様である。ただし、3階以降はひびわれ制御の目的で開口部腰壁隅角部にメッシュ筋6φ-@100を追加した。外壁の仕上げは先付けタイル打込みで発泡スチロール材をタイル型枠としている。コンクリートは流動化コンクリート(スランプ15cm→21cm)で、呼び強度は210kg/cm²、単位水量172kg/m³、W/c=58% また骨材は川砂・川砂利を使用している。

2.2 実験調査内容

測定調査項目は、以下の通りである。i) ひびわれ目視調査…全階の外部まわりの壁全てとするが室内側からのみ調査。クラックスケール使用 ii) ひびわれ幅の動き…バイゲージ使用。1ヶ所のみ iii) 鉄筋応力の測定…開口部斜め補強鉄筋ゲージを貼り、鉄筋応力を調査。計4点。(図-1参照) iv) コンクリートひずみの測定…埋込みゲージKM-100F使用。計4点。(図-1参照) v) コンクリート温度の測定…熱電対使用。なお、調査対象部位は5階の2スパン目の壁体(図-2の☆印)としており、この壁部材に限りメッシュ筋補強は施さなかった。

3. 実験調査結果

3.1 ひびわれ状況

建物外観のひびわれ状況の一部を、図-2に示す。左右対象の建物で、そのひびわれパターンも典型的な逆八字タイプがほぼ対象に発生していた。そのひびわれは開口部の隅角部が主で、腰壁の他、上部はりにも同様に認められる。ひびわれ評価として、1) 開口部1ヶ所あたりの腰壁に生じたひびわれ幅総和： ω の比較および2) 幅0.20mm以上のひびわれ発生本数を比較した。図-3に開口部1ヶ所あたりの平均ひびわれ幅総和 ω を、各階毎に比較して示す。この図から、メッシュ筋補強しない2階外壁のひびわれが

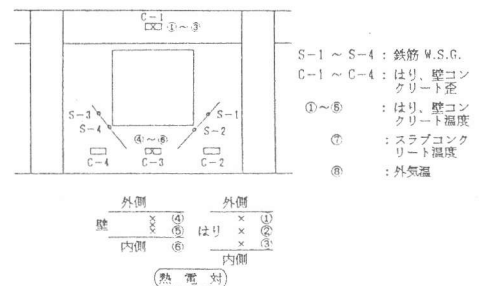


図-1 測定ゲージの取付け位置

最も大きく、メッシュ筋補強した3階以降、 ω は減少している。また、0.2 mm以上の幅をもつひびわれ本数についても、材令1~2ヶ月での比較ではあるが、3階以降、2階のひびわれ本数の1/3~1/4に減少し、ひびわれ分散効果が認められた。ただし、2階外壁に0.2 mm以上のひびわれが多かった理由は上記の他、基礎コンクリートに近い低層階であることも一因であろう。

3.2 コンクリート・鉄筋ひずみ測定結果

コンクリート埋込みゲージによる計測結果を図-4に示す。このゲージタイプは温度補償型で、温度による伸縮ひずみ ($10.7 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ … 試験成績表より) を生じ、この線膨脹がコンクリートの線膨脹率と同一と判断すれば、図-4のひずみ値が、温度ひずみを除いたコンクリートひずみと言える。この図から、材令1日で 100×10^{-6} 前後の圧縮ひずみを生じ、その後数日間は引張ひずみに反転している。材令4~5日以降になると、壁せき板脱型の影響もあり、徐々に乾燥収縮側つまり圧縮ひずみの方向に進行している。次に、斜め補強筋に取りつけたW・S・Gの計測結果を、図-5に示す。この結果からS-3の鉄筋ひずみの動きが大きい。このひずみ急増時点が、ひびわれ発生時期と考えられるため、材令2日頃にマイクロクラックを生じその翌日には貫通ひびわれに進展したものと推察される。なお、S-4は断線のため計測不能であった。

またこの時のS-3の鉄筋ひずみ最大値は 1×10^{-3} 程度でこれは 2.0 t/cm^2 に相当し、かなり大きい応力値であることが指摘される。しかもこの時点での鉄筋とコンクリートの付着強度はまだ小さいため、ボンドが切れている恐れもある。

3.3 ひびわれ幅の動き

調査対象部位におけるひびわれ発生箇所ひびわれをまたぐようにバイゲージを取りつけ、コンクリート表面でのひびわれ幅の動きを測定した。取りつけ直前(材令5日)でのひびわれ幅は0.15 mmで、その後材令30日で0.30 mmに進展した。図-5中にその様子を示す。なおこのバイゲージによる測定箇所は鉄筋ゲージS-4と同位置であるが、この図から、ひびわれ幅が進展するのに対し、鉄筋ひずみは5日以降の動きが殆んど小さい。

3.4 コンクリート温度測定結果

コンクリートの温度を測定し、その結果を図-6に示

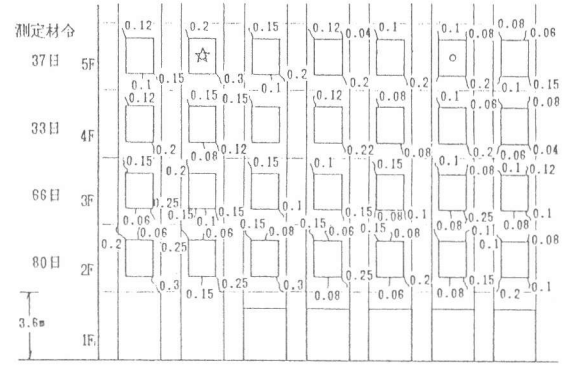


図-2 外壁ひびわれ状況の一部

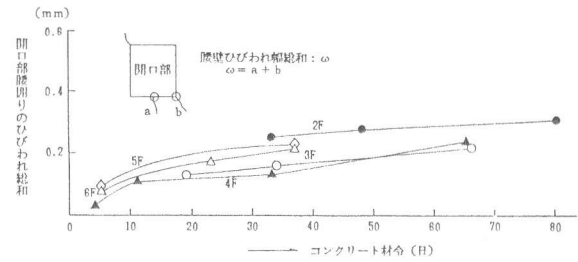


図-3 開口部腰壁のひびわれ幅総和 ω の動き

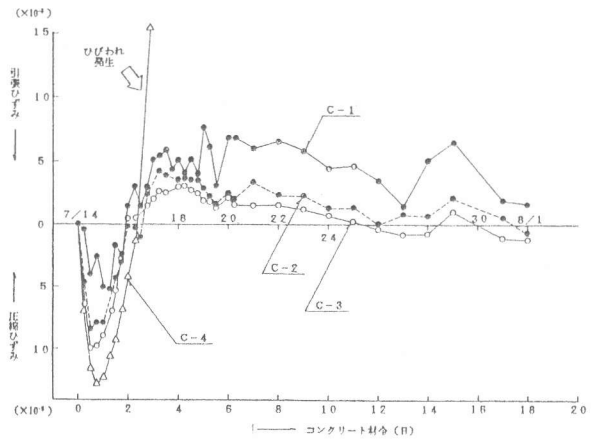


図-4 コンクリートひずみの動き

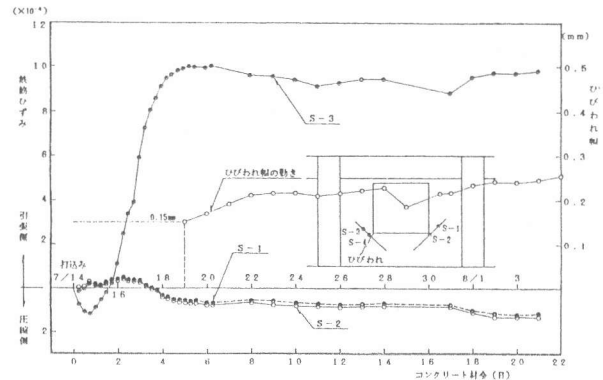


図-5 鉄筋ひずみおよびひびわれ幅の動き

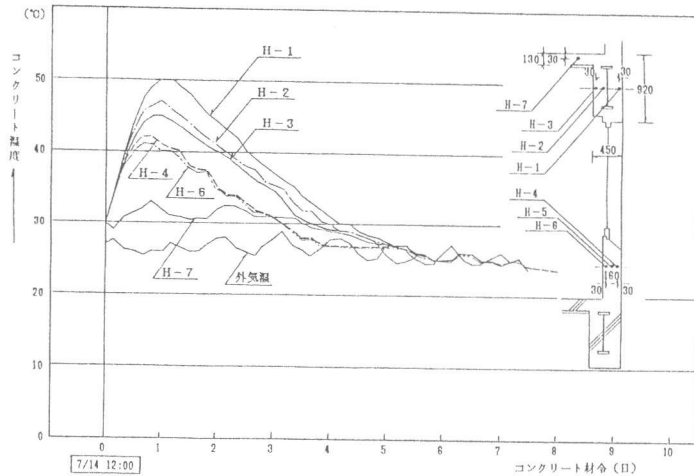


図-6 コンクリート温度の動き

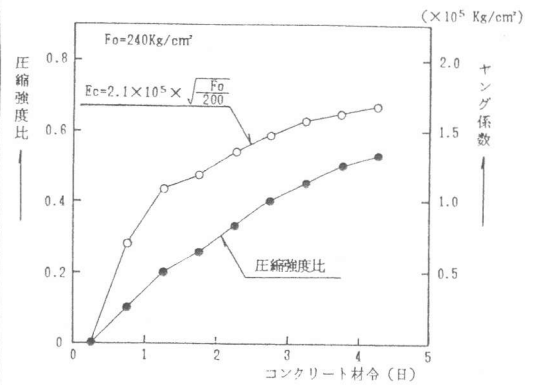


図-7 若材令コンクリートの力学特性

す。この結果から打込み温度30℃に対し、はりのタイル側面(H-1)で最大50℃(材令1日)、壁体(H-4)で最大42℃(材令3/4日)を示した。壁体の場合、壁厚方向の温度差は小さかったがこれはタイル枠材の断熱効果によることや水和熱のため室内温度が上昇したためと思われる。壁体が外気温とほぼ同じ温度になるのは材令5日以降であった。一方、スラブ位置(H-7)の温度上昇はわずかであり、殆んど変動しない。

4. 壁体応力の推定

4.1 ひずみ測定データからの検討

図-4のコンクリートひずみ測定値を使って若材令での壁体応力度の動きを検討する。この場合、材令3日程度までの乾燥収縮ひずみは無視できると判断し、ひずみ測定値を応力ひずみであると設定する。この時、応力発生に伴い、実際にはクリープひずみの発生も考えられるものの短期間のためその影響は小さいと判断し、無視する。応力を求めるため、応力ひずみに乗じるヤング係数の値は、積算温度とコンクリート圧縮強度の関係から推定する。この関係式として、「寒中コンクリート施工指針・同解説」(日本建築学会)に示された曲線を用いる。この時の積算温度は、壁体コンクリート温度測定値から算出する。また、圧縮強度とヤング係数の関係式は「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」(日本建築学会)を参照し、 $E_c = 2.10 \times 10^5 \times \sqrt{F_o/200}$ を用いる。この考え方から若材令コンクリートの圧縮強度比、ヤング係数の発現状況を算出し、整理して、図-7に示す。この結果から、応力の重ね合わせによって得られた壁体の応力度推定値を、図-8に示す。この図から、実際にひびわれを生じたと思われる材令2日にはC-3、C-4に10 kg/cm²近い引張応力が腰壁に発生するという推定結果が得られた。これはこの時のコンクリート圧縮強度推定値72 kg/cm²から求まる引張強度を上回っていると思われ、ひびわれ発生の可能性を裏付けるものと言えよう。

4.2 解析的検討

本節では当外壁を簡便なモデルに置きかえて、温度荷重によるFEM解析を行い、逆八字形ひびわれの発生の可能性を検討する。モデル形状は、図-9のように2層5スパンの開口部外壁を想定しており、その仮定条件は以下のように設定する。①材料定数は、下層階で $E_c = 2.1 \times 10^5$ kg/cm²、上層階で $E_c = 1.3 \times 10^5$ kg/cm²(材令2日を採用)とし、経時変化しないとする。②温度荷重は、実測結果を参考にし、材令1日から3日までの2日

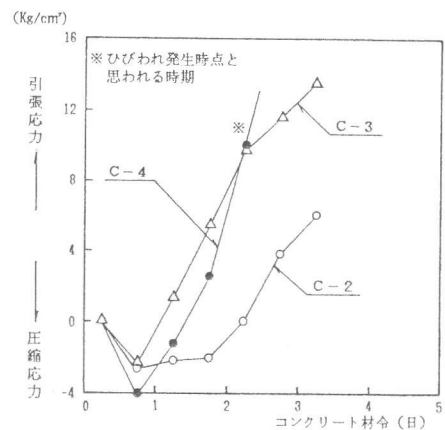


図-8 壁体の引張応力推定

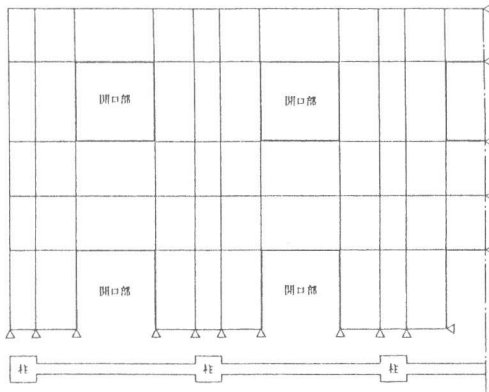


図-9 FEM解析用外壁モデル



図-10 温度荷重による引張応力解析結果 (kg/cm²)

間の変動と見なし、はり部で15℃、壁部で10℃の温度低下をするように定める。③線膨脹係数は、 $1 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$ とする。④クリープの影響は無視する。⑤はりと取合うスラブ部材の影響は無視する。なお、解析方法は汎用プログラムADINAを用いた。

解析結果の一部を図-10に示すが、逆八字形ひびわれが入る方向に最大引張応力が発生している。またその引張応力は、腰壁、端スパンで最も大きく、 15 kg/cm^2 になっている。はり部の最大値は 12 kg/cm^2 弱である。短期間（材令1日から3日までの2日間）での解析結果であるところからクリープを無視しているが、現実にはクリープの影響も多少は予想されることや材令1日までの温度伸張による圧縮応力の発生を無視していることから実際の部材はこの応力値よりも多少低いものと考えられる。ただし、その一方で図-6に示すように上層階スラブの温度（H-7）の動きが小さいことから、スラブ部材が上層階はりの温度収縮に対する拘束体として作用し、はりや壁の応力を増加させる要因も考えられる。いずれにしても、初期材令における10～15℃の温度変動によってひびわれ強度を上回る温度応力が発生し得ることやそのひびわれ方向が逆八字形に入る傾向にあることなどが解析的検討からも確認された。

5. まとめ

外壁開口部まわりのひびわれ原因について現場実験調査から検討したところ、水和熱による温度上昇後、下降する際の温度収縮変形によるものと判断された。この理由として、①型わく脱型（材令4日程度）後、既にひびわれが見られた。②斜め補強筋の鉄筋ひずみが材令2日以降、急激に増加しておりこの時、ひびわれが生じたと思われる。③コンクリートひずみ測定結果からコンクリート応力を試算したところ、 10 kg/cm^2 程度（材令2日）と推察される。この時点で若材令コンクリート引張強度を上回りひびわれを生じたと考えられることなどが指摘される。このように引張応力が生じるのは、温度上昇時（材令2/3日）にはコンクリートヤング係数が小さく、熱伸張変形による圧縮応力発生は小さいが、温度下降時（材令1～4日）にはヤング係数がかなり発現しており、熱収縮変形による引張応力が生じることで説明できる。さらに、簡便なモデルを使ったFEMによる解析的検討から、開口部の逆八字形ひびわれが入る方向に最大引張応力を生じることが確認された。なお今回、打込みマイル保持の断熱材使用や壁厚が厚いことなどの要因がこの種のひびわれを明瞭に発生させたものと言える。ただし、長期的にはこれらの要因が乾燥や外気温の変動に対して有利に働くことは当然であろう。ひびわれ対策として、腰壁ひびわれ予想位置にメッシュ筋を追加したところ、ひびわれ分散効果が認められた。室内側壁面で0.2～0.3mm以上のひびわれ幅を有するものについては、内装材を取りつける直前にエポキシ注入による補修を行った。

参考文献

- 1) 杉本 靖彦：開口部隅角部に発生するひび割れの制御に関する実験的研究、日本建築学会大会梗概集、昭和57年