

## [215] アルカリ骨材反応によって劣化した或る大規模集合住宅の調査

正会員 ○小林一輔（東京大学生産技術研究所）

正会員 星野富夫（東京大学生産技術研究所）

## 1. まえがき

アルカリ骨材反応によるコンクリート構造物の劣化事例は、橋梁やダムなどの土木構造物に関して数多く報告されているが、建物に関するものは内外を通じて皆無に近い。今回、アルカリ骨材反応によって早期劣化を生じた大規模集合住宅（31棟、1000戸）の調査を実施する機会を得たので結果を報告する。なお、この集合住宅は埼玉県に建設された壁式プレキャスト鉄筋コンクリート造5階建てであって、外壁はセメントリシン仕上げ（妻壁はタイル打込み）、屋根は打放しコンクリートで継目部は液状アスファルト線防水を施している。

## 2. 調査の経過

上記集合住宅の管理組合の話を要約すると、「入居後数年足らずの間に雨漏り、ひびわれ、浴室タイルの剥離コンクリート片の落下などがほぼ全棟にわたって発生した。分譲した団体に補修を依頼して直しているが、現在にいたっても劣化は収束するどころか、益々ひどくなる一方であり、どう考えても異状と思われる」というものであった。昭和59年6月に建物の外観調査を行ない、さらに管理組合の調査資料を検討した結果、以下のような劣化現象があることを確認したので、先ず4つの棟のPC板より直径5cmのコアを6ヶ採取し、塩化物量や使用骨材の品質などを調べた結果、鉄筋腐食に有害な量の塩化物は検出されず、鉄筋の腐食は他の要因によるものであること、骨材としては結合度の弱い堆積岩が使用されていることなどが明らかになったが、試料の大きさと数が限定されていたために、早期劣化の原因究明に役立つようなデータは得られなかった。

1. 外壁などのPC板の異状ひびわれ
2. 屋根のPC板の品質欠陥に起因すると思われる雨漏り
3. 浴室天井、ベランダ、屋根廂部分などの鉄筋腐食とこれによるコンクリート片の剥離

このため、昭和60年8月に直径10cmのコア22本を6棟の13ヶ所より採取し、各種の試験を行なうとともに、建物に発生している種々の変状などを調査した結果、この集合住宅の早期劣化の主原因がアルカリ骨材反応など骨材の品質に基づくものであることを確かめることができた。

## 3. 調査の概要

この集合住宅は昭和49年7月に竣工し、間取りはすべて3DKである。住宅形式は66-5N（Xタイプ）に属する510戸と、公72-5PC（Yタイプ）に属する490戸に大別され、前者が施工会社A（11棟340戸）と施工会社B（5棟170戸）によって建設され、後者は施工会社C（9棟330戸）と施工会社D（6棟160戸）によって建設された。コアを採取した上記の6棟は、これらの施工業者の建設した棟が少なくとも1棟は含まれるように選定した。

外観調査及び管理組合の調査資料を総合した結果、ひびわれや変形などの一連の変状がPC板の異状膨張によって起こっていると考えられたので、このような異状膨張を発生させる原因を解明することを主な目的として次のような調査を実施することにした。

- a. コア試料に基づく使用骨材の調査
- b. コア試料に基づくコンクリートの膨張量調査
- c. 建物に発生しているひびわれの調査
- d. 析出物の分析

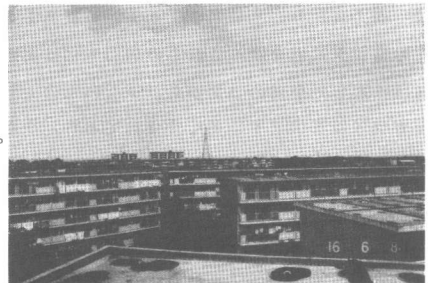
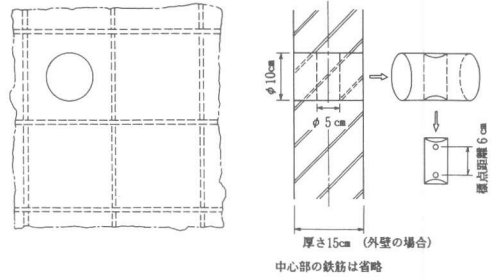


写真-1 調査した集合住宅の全景

#### 4. 調査方法

##### 4.1 コア試料による調査

コアは原則として同一PC板より2個採取し、1個はこれをそのまま用いて壁の厚さ方向の膨張測定用とし、残る1個は図-1に示すように、これからさらに直径5cmのコアを抜き取りこれを板の面内方向の膨張測定に供した。直径5cmのコアを抜き取った残りのコアを使用骨材の調査や硬化コンクリート中のアルカリ量の分析試料とした。



##### 4.2 コア試料による膨張試験

コアによる膨張量の測定は Lenzner の方法<sup>1)</sup>を参考にして、コア採取後10分以内にステンレス製バンドにコンタクトゲージポイントを取付け、基長を測定した。それ以降は現地において3時間の間、30分毎に測定を行った後、東大生研の恒温実験室に搬入し、20°C、湿度100%のアクリル製容器中に48時間密封して保存したのち、実験室における第1回の測定を行なった。その後、20°C、湿度100%の雰囲気下に保存して膨張量を継続して測定した。

##### 4.3 使用骨材の調査

合計11個のコアのそれぞれ4カ所から厚さ約30μmの偏光顕微鏡観察用薄片を作成し、これによって使用岩石の種類、反応性鉱物や有害鉱物の有無などを調べた。なお、これらの岩石や鉱物の判定には必要に応じて、X線回折試験、走査電顕観察ならびにEPMMAによる元素分析などの結果を参考にした。また、岩石中の鉱物量は線積分法によって求めた。

##### 4.4 建物のPC板に発生しているひびわれの調査

A号棟の5階浴室の壁に発生しているひびわれ(1カ所)及びC号棟の5階々段に面した壁(2カ所)とその階段部分の天井に当る屋根板に発生しているひびわれの動きを調べるために防水型ひびわれ測定計とπ型変位計を取り付け、長期にわたる連続測定を行った。その他、建物の各部分に発生しているひびわれやPC板の継目部の開きなどについて目視観察を行なった。

#### 5. 骨材の品質に関する調査結果

骨材の品質の調査結果を総合すると以下のようであった。

1)構成岩石の種類は砂岩、粘板岩などの堆積岩と安山岩が主体であるが、1部に粗粒玄武岩も含まれている。

2)岩石の組合せは以下に示すように、施工会社が同じであればほぼ同様の種類及び比率となっている。

施工会社A (安山岩:20~30%, 砂岩:30~40%, 粘板岩:30~40%)

施工会社B (砂岩:30~40%, 粘板岩:40~55%, 粗粒玄武岩:5~10%)

施工会社C (砂岩:97~99%, 粘板岩:1~3%)

施工会社D (砂岩:10%, 粘板岩:20%, 安山岩:60%)

3)粗粒玄武岩を除くこれらの岩石中には反応性鉱物である玉髄や火山ガラスが多量に混在していた。とくに玉髄は採取した全部のコアから、少ないものでも5~10%, 多いものでは30~40%も含まれていた。一方火山ガラスは安山岩中に多く含まれており、少ないコアで3~5%, 多いコアでは9~18%に達していた。以上の反応性鉱物の含有量はどれもアルカリ骨材反応をひきおこすに十分な量である。

4)採取した殆んどのコア中の構成岩石中には5~17%のモンモリロナイトが含まれていた。

5)2, 3の棟から採取したコアからは10%以上のローモンタイトが検出された。

6)全般的に死石又は腐れ石などの軟弱な粒の存在が目立った。

即ち、使用骨材中には反応性鉱物のみならず有害鉱物までが相当量含まれているということが明らかとなった。

### 6. コアの解放膨張測定結果

温度 20°C，湿度 100% の雰囲気にてコアを保存して解放膨張を測定した結果を図-2 に示す。この図から明らかな事は、φ10 cm のコアを用いた板厚方向の膨張は保存期間が 100 日前後ではほぼ終了する傾向を示し、しかもその最大値は  $200 \times 10^{-6}$  程度であるのに対し、φ5 cm のコアを用いた板の面内方向の膨張は 4 例の測定結果のうち、2 例は保存期間 100 日前後ではほぼ終了する傾向を示しているが、残る 2 例は 150 日経過後もなお膨張が続いており、その値はそれぞれ  $700 \times 10^{-6}$  及び  $650 \times 10^{-6}$  に達している。また、保存期間 100

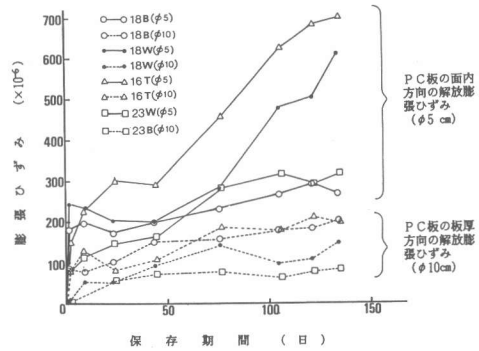


図-2 20°C，100% R.H. の条件下におけるコアの解放膨張

日前後ではほぼ膨張が終了する傾向を示した 2 例の場合も、その最大膨張ひずみは  $250 \sim 300 \times 10^{-6}$  に達し、板厚方向の膨張量を上廻っている。以上のような PC 板から採取したコアの膨張性状は明らかに PC 板中においては鉄筋による拘束を受けていた膨張が解放された結果によるものと考えられる。この場合、当然のことながら、拘束の少ない PC 板の厚さ方向の解放膨張は少なく、拘束状態にある面内方向の解放膨張は大きくなるが、図-2 はこれを裏付けている。

### 7. 建物に生じているひびわれに関する調査結果

図-3 は C 号棟 5 階階段の壁 (2カ所) と天井に発生しているひびわれ巾の経時変化を示したものであるがここで注目されるのは屋根板のひびわれ巾が急速に拡大していることである。雨水にさらされる機会の少ない他の 2カ所のひびわれの変化は比較的少ないが、それでも全般的傾向としては少しずつ拡大する様相を呈している。

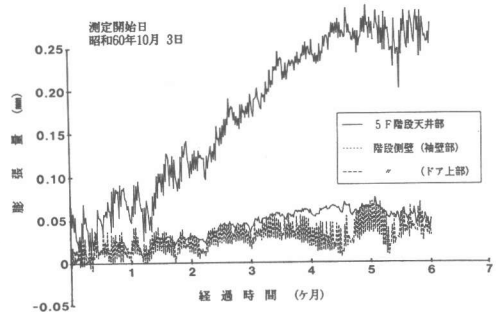


図-3 建物に発生しているひびわれ巾の経時変化

図-4 は建物の屋根を構成する PC 板の配置を示したものであるが、このような PC 板が異状膨張をおこした場合は、その膨張は外壁や間仕切壁との接合部において拘束されると同時に隣り合った PC 板によっても拘束される。

このような拘束の大きさは棟の長手方向に対するものが大きく、これと直角方向、即ち建物の横断方向に対しては小さい。従って、屋根の PC 板が著しく膨張してひびわれが発生する場合、その方向は棟の長手方向になる筈である。図-4 は両側に浴室上部の PC 板が存在し、且つ階段入口方向の拘束の小さい階段真上の PC 板に棟の長手方向のひびわれが発生していることを示したものである。

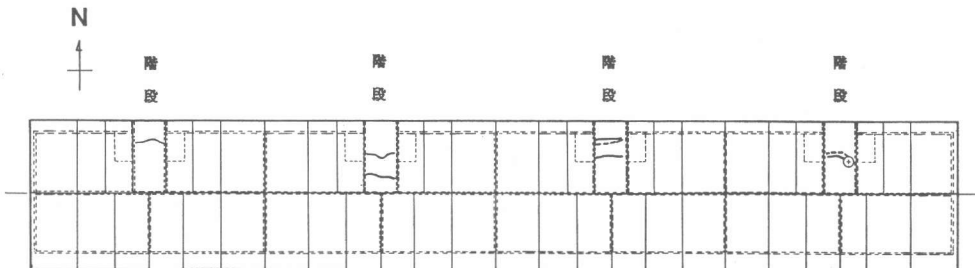


図-4 屋根 PC 板のひびわれ状態

## 8. 基礎のひびわれとアルカリ分の濃縮

アルカリ骨材反応による劣化は建物の基礎や地下室、橋梁の基礎、擁壁、トンネルのライニングなど土に接している構造物またはその部分に発生しやすく、しかも建物や橋脚の場合には大変厄介な事態に追い込まれることが懸念されている。

この集合住宅の場合にも写真-2に示すように基礎にアルカリ骨材反応に特有のひびわれが最近数カ月以来急速に発生しはじめている。このような部分にアルカリ骨材反応によるひびわれが発生しやすい理由としては、土に含まれている水分がコンクリートの毛管孔隙中を $\text{Na}^+$ や $\text{K}^+$ などの溶解成分をともなって移動し、大気に接する表面において水分が蒸発するために生ずるアルカリ分の濃縮が考えられている。

この集合住宅ではPC板や基礎にいわゆる“白華”が多く発生している。白華は一般にアルカリ量の多いセメントを使用した場合、上記のような孔隙水の移動、蒸発にともなって表面に蓄積、析出した微細な結晶で、空気中の $\text{CO}_2$ と結合して炭酸塩として析出することが多いと言われている<sup>2)</sup>。今回の調査でも、多量の白華を生じている基礎より採取した白華粉を分析したところ、その主成分は炭酸ソーダであることが確認された。図-5はこの基礎より採取したコアの1部を試料とし、表面から内部にかけてのNa, K, Ca, Cなどの各元素の分布状態をX線マイクロアナライザーによって調べた結果である。この結果を見ると、NaとKの濃度は表面に近づくにしたがって高くなっており、この傾向はとくにNaの場合に顕著である。さらに炭素の濃度も表面に向かって増大していることから、前記の白華の主成分が炭酸ソーダであるという分析結果を裏付けており、またアルカリの濃縮が現実におこっていることを示している。

## 9. まとめ

今回の調査によって、この集合住宅の全体(各種の付帯設備を含めて)の施設がアルカリ骨材反応によって劣化を生じている可能性が高いことが判明した。しかもアルカリ骨材反応の中では比較的反応速度が遅い部類に属する玉髓という微晶質石英が反応物質である点の特徴であって、これは砂岩や粘板岩などの堆積岩中に含まれているケースが多いと言われている。今後は砂岩や粘板岩なども十分にチェックする必要があると思われる。

アルカリ骨材反応が進行しているコンクリート構造物の今後の劣化傾向を予測することは極めて難しい。この集合住宅の建物のように鉄筋コンクリート部材によって構成されている場合、アルカリ骨材反応のみによって強度が急激に減少することはないと考えられているが、有害鉱物が共存している場合の劣化については内外ともに例がなく、今後どのように推移するか予断を許さない。水の供給は建物の外部からのみではなく、内部からも行なわれるので、反応は今後とも継続し劣化は益々加速されると考えられる。

今回の調査を通じて、コンクリート構造物の劣化原因の診断手法の確立が急務であることを痛感した。とくにアルカリ骨材反応に関しては、これによる劣化が我が国において相当に広範囲に進行していると考えられるので、重点的に検討を進める必要がある。

### 参考文献

- 1) Lenzner, D. u. Ludwig, V., Zement-Kalk-Gips. Nr. 8, (1979)
- 2) 竹本他:セメント製品の白華発生に関する基礎的研究, コンクリート技術情報(Ⅵ1) 小野田セメント中央研究所, 1963年11月

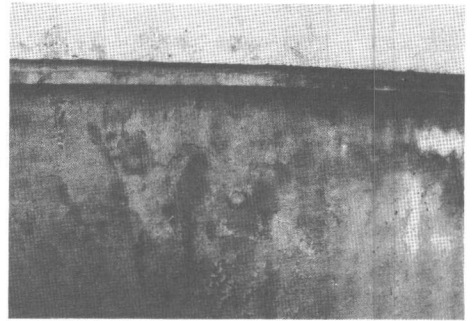


写真-2 建物の基礎に発生したひびわれ

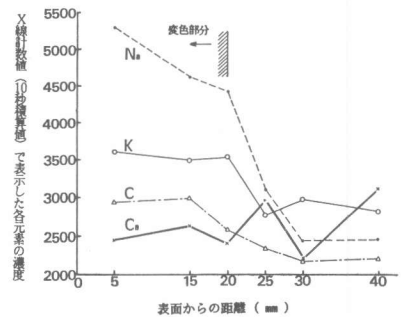


図-5 各元素の分布状態