

# 今なお続くコンクリートのアルカリ骨材反応の内部進行性と対策

富田 穰

TOMITA Minoru

近畿技術コンサルタンツ株式会社  
技術本部  
技師長



### はじめに

我が国の社会基盤となるコンクリート構造物の長寿命化は、大きな課題である。中でもアルカリ骨材反応によるその被害は深刻で、早ければ建設後数年で顕在化する。

このほど、建設後40年経過した奈良地方の跨道橋の橋台(写真1)で異常なひび割れが発見された。しかも5年前の定期点検時より進行し、一部補修した表面にも新しいひび割れが発生していた。

対策に当たっては、なぜ長年の経過後に出現するのか、今後はどうなるのかを解明し推測する必要がある。今回の調査や試験結果から、

反応が内部進行性であると認められたので紹介する。

### アルカリ骨材反応と作用

アルカリ骨材反応は、コンクリート中のアルカリ金属イオン(アルカリ性細孔溶液)と反応性骨材とが化学反応して吸水膨張し、骨材全周に反応リングや白色の滲出ゲルが現れ、コンクリート表面がひび割れる現象である。

鉄筋コンクリートでは鉄筋量が少なければ亀甲状に、多ければ主鉄筋に沿って、ときに段差を伴うひび割れとなる。内部の骨材膨張圧で周囲を拘束する鉄筋に引張り、反作

用でコンクリートに圧縮が起こる。コンクリートに3軸方向の圧縮、言い換えればケミカルプレストレスの導入として作用するため、構造体全体としてはひび割れにもかかわらず耐荷力低下はさほどではない。

ひび割れが主鉄筋の直角方向でなく主鉄筋沿いに入るのは、内部の膨張圧で帯鉄筋が全周外方向に伸び、その結果、外側にある放射状のコンクリートかぶり部がはじける。また、帯鉄筋の切断現象も、曲線部の内側にクラックが入っていることから、材質や曲線加工のほかに、膨張圧で曲線部内側に股裂きのような局部曲げ引張り力が作用している

表1 採取コアの観察、試験項目

観察、試験項目	試験方法	数量	目的	コア番号
1) 表面観察	φ 100×200 ~250mm程度	16本	内部ひび割れ長 反応リング ゲル岩種の構成	①~⑩
2) 偏光顕微鏡観察	研磨薄片観察	3骨材	岩種の同定	①
3) 粉末X線回折	不定方向と定方向 X線回折装置	6骨材	鉱物の同定	①, ③, ⑤
4) 圧縮強度試験	採取コア JISA1107, 1108	8体	強度確認	①, ③, ⑤, ⑦, ⑨, ⑪, ⑬, ⑮
5) 静弾性係数試験	採取コア JISA1149	8体	ASR関連分析	同上
6) 中性化試験	採取コア JISA1152 割裂法	8体	中性化進行度	同上
7) 塩化物含有量試験	採取コア JISA1154 5分割	8体	ASR原因分析 塩化物浸透度	同上
8) 残存膨張量試験	採取コア 建設省総プロ法	8体	ASR原因分析 将来予測	②, ④, ⑥, ⑧, ⑩, ⑫, ⑭, ⑯

橋台A:①~⑥、橋台B:⑦~⑫、橋台C:⑬~⑯



写真1 橋台A(正面に堅壁、側面に翼壁)と、上部の水平ひび割れ

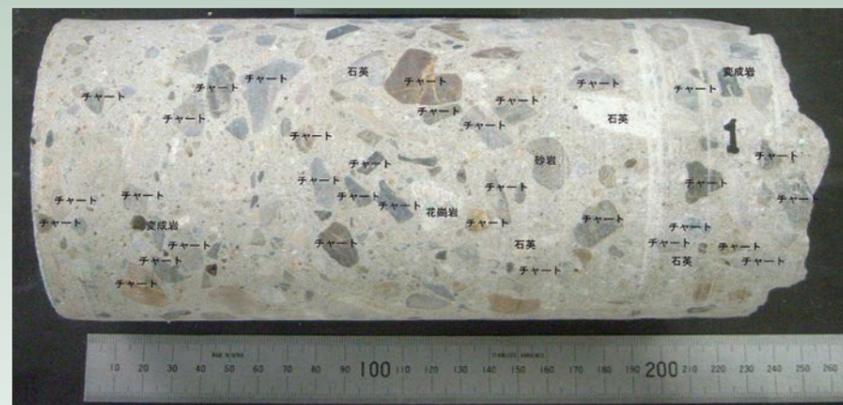


写真2 コアの表面観察による岩種の同定(コア番号②)



写真3 コア破断面の骨材周囲の反応リング(目視で32個)と、白色の滲出ゲル(コア番号⑩)

のではないかと考えられる。

ところで、コンクリートの水和反応に必要な水は水セメント比にして20数%といわれている。すなわち、残りの水はセメントと反応していない余剰水である。このことからだけでも、内部の反応は長期に及ぶことを示唆している。

### 現地調査と試験項目

この橋台は、上部に鉄筋沿いの水平ひび割れと段差、全体には亀甲状のひび割れと変色が見られ、アルカリ骨材反応による疑いが懸念された。上部に認められる水平ひび割れと段差は、ブリーディングと、支承部を固定とした片持ち梁の自由端の膨張によるせり上がり作用によるものと考えられる。外部環境もひび割れの顕在化に影響する。橋台は堅壁の両サイドに翼壁を抱え、背後に滞水しやすい。また、凍結防止剤の散布、橋の伸縮装置からの漏水、路肩からの水はね、飛沫落下の影響を受ける。南側の翼壁は直射日光を受け、雨水に晒され、乾湿の繰り返しを受ける。これらの環境条件が整うと反応が促進する。

施工時期が数年異なり、並行に近接する橋台A(堅壁、ひび割れ多)、橋台B(堅壁、ひび割れ中、ただし南側の翼壁上段部はひび割れ

多)、橋台C(堅壁、ひび割れ少)の3構造物でひび割れ分布調査、ハツリ調査を実施した。ひび割れ部の直ハツリで、かぶり10cmの鉄筋に錆はなく、指示薬の噴霧から中性化も進んでいない。天端の鉄筋の曲線部は応力が小さいかぶせ部のためハツリを省略した。3橋台から採取した16本のコアの観察や試験項目は、表1のとおりである。

### コアの表面観察、岩種同定、粉末X線回折

コアの表面観察では、使用粗骨材の全てに岩種を同定した(写真2)。ところが、内部ひび割れは目視できず、期待する反応リングも見られなかった。しかし、コア端の破断面から数多くの反応リングが見られる興味深い結果が得られた(写真3)。コア表面にあまり見られないのは回転ドリルの摩擦で剥ぎ取られたのではないかと考えられる。図1にコアの表面観察から得られた橋台別の使用骨材の岩種構成と、コア破断面別の反応リングの数を、橋台のひび割れの程度と関連して掲げる。

ひび割れの多い橋台Aは、反応性骨材といわれるチャートが多い。当然、ひび割れの多い橋台Aと橋台Bの翼壁上段部のコア破断面で数多くの反応リングが見られる。表

面ひび割れとコンクリート内部の反応リングは密接な関係にあるとはいえ、コンクリートかぶり部が膨張してひび割れるというよりは、コンクリート内部の反応で膨張圧が発生し、拘束する鉄筋位置を境界として構造物表面にひび割れが発現することの証しといえる。

偏光顕微鏡観察からは、骨材には深海生物の放散虫(写真4)の微化石が見つかり、チャートであると同定した。内陸のこの地方は古生代に形成された岩石が海底からもたらされた付加体であると考えられている。

粉末X線回折では、反応性の鉱物である石英が卓越していることが判明した(図2)。

### コア試験結果から

圧縮強度(図3)が、ひび割れにもかかわらず設計基準強度を上回っていることから、コンクリートの反応余剰水が内部に存在して、今なお強度増が続いていると考えられる。

静弾性係数(図3)が、道路橋示方書の圧縮強度に対して示す値より大きく低下しているのも、微細な内部ひび割れを有するアルカリ骨材反応の特徴である。

中性化試験では全てが14mm以下であり、現在も良好といえる。

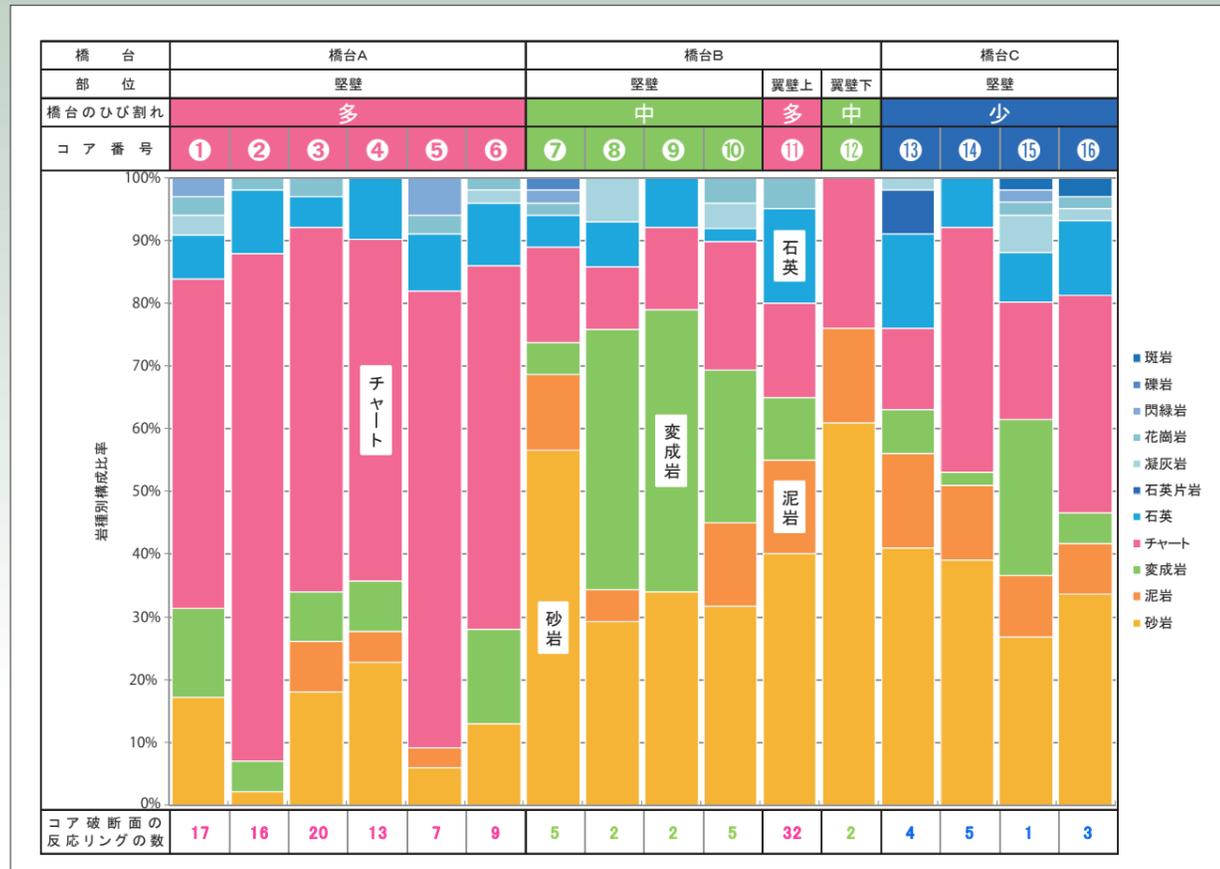


図1 コア表面観察による橋台別の使用骨材の岩種構成と断面の反応リングの数

塩化物含有量試験(図4)では、橋台Aの高い値は上からの凍結防止剤の影響と考えられるが、橋台Bの翼壁上段部が低い値なので塩化物がひび割れの原因とは特定できない。

残存膨張量試験(図5)では、

0.05%以上の膨張率でアルカリ骨材反応による将来の膨張の可能性があると判定する。試験結果から、40年経過しひび割れが多く出現している橋台Aでは、残存膨張の余地は少なく、すでに膨張が終息を迎えつつあることを如実にとらえている。

コアの破断面に見られた骨材の反応リングの多さからも、大半が反応済みということになる。

一方、ひび割れが中程度の橋台Bの堅壁と翼壁下段部に、膨張の残存ポテンシャルがあり、将来にわたってひび割れが継続して発現する

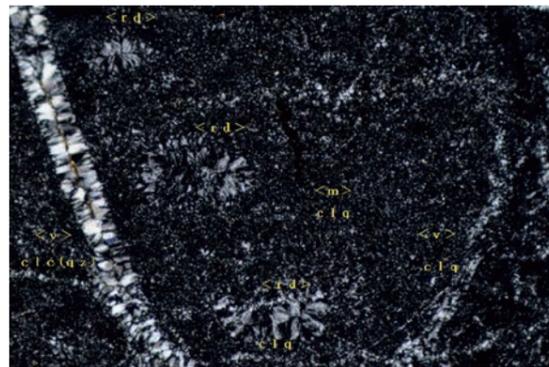


写真4 偏光顕微鏡による岩種の同定(放散虫チャート)  
qz:石英、clc(qz):石英化した玉髓、clp:玉髓質石英、rd:放散虫微化石、m:基質、倍率:×152、コア番号①

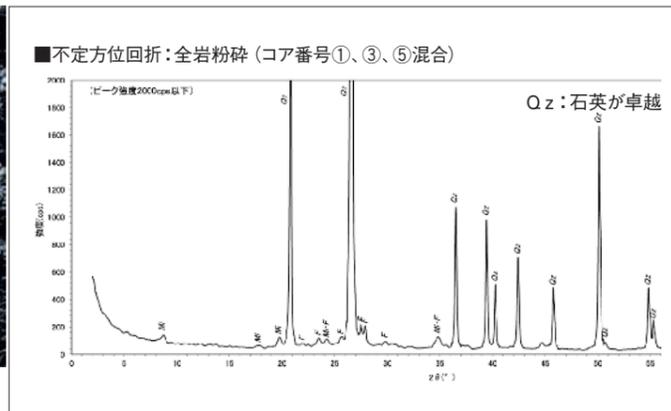


図2 粉末X線回折による鉱物の同定

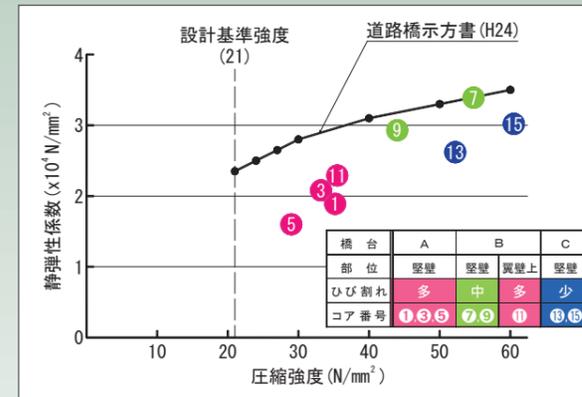


図3 設計基準強度と圧縮強度、静弾性係数の関係

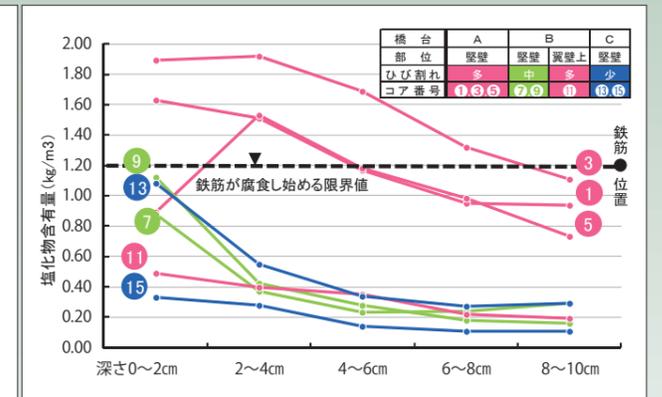


図4 塩化物含有量の橋台表面からの分布

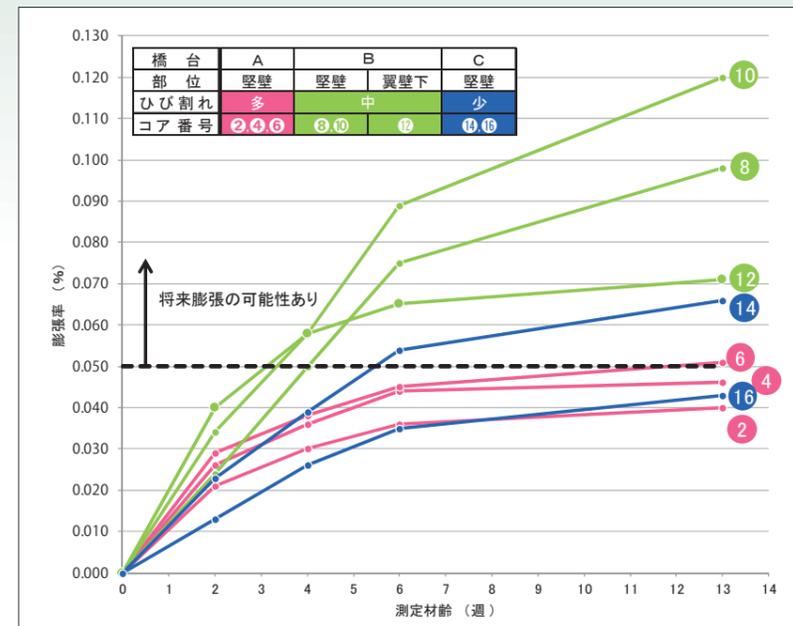


図5 残存膨張量試験結果

可能性が大であることが推測できる。破断面に見られた反応リングの少なさからも、将来の反応の余地の大きさを予感させる。

### 反応の内部進行性

コンクリート中のアルカリ金属と反応性骨材、それにセメントと水和反応していない剰余水が依然として内在していることから、内部の反応が長期に継続する必要3条件は整っている。これに外部から刺激を繰り返し受けることで膨張反応は促進、蓄積される。その証しが内部の深いところでの骨材周囲の反

応リングである。反応の内部進行性による40年という積年の膨張圧が、拘束鉄筋外側のかぶり部のコンクリート引張り強度とのバランスを超え、異常ひび割れをもたらしたといえる。

### 対策

対策については、ひび割れが発現する前に行う予防保全と、発現してから行う事後補修がある。従来は、外部要因である雨水などの水分供給の遮断、凍結防止剤の塩化物供給の遮断、そのためのコンクリート構造物の表面保護工が考えられたが、

今回のことからひび割れが長期にわたる進行性であることと、内部の剰余水で反応が継続されていることから、状況に応じた補修方法を模索する必要がある。

表面保護工の材料としては、水をはじくだけの性能ではなく、内部の水を蒸散させる撥水性のシラン系樹脂が有望である。また、余分な滞水を避けるべく、水抜き工を適切に設置することや、伸縮装置からの漏水対策も必要である。

ひび割れ部には、浸水と鉄筋腐食を防ぎその進行性に追従できる柔軟型樹脂の注入を行い、美観上から表面保護工による処理を施して平成25年度にこれらの補修が実施された。

### おわりに

コンクリートのアルカリ骨材反応は、表面的に補修してもこの現象は終結しない。反応が内部進行性なので再度ひび割れが生じる。

一方、表面保護工上に新しく出現するので判別しやすく、これがシグナルと考えると、むしろ管理がしやすい。建設10年、管理100年といわれるとおり、長いお付き合いと割り切り、記録を残し、次なるステップの変状の兆候をとらえることが肝要である。