

アルカリ骨材反応を受けたコンクリートの一例

中国電力株式会社 土木部長 村田清彦
中国電力株式会社 総合研究所 ○藤木洋一
中電技術コンサルタント株式会社 武田雅男

1. まえがき

昭和38年5月中国電力K.K.鳥取支店米子営業所の建物（地上3階の鉄筋コンクリート造り、建設後約16年経過）のバラベット部コンクリートが長さ5mにわたって突然剝離脱落する事故が発生した。破壊原因について調査、研究の結果、事故の主因はアルカリ骨材反応現象によるものであることを確認したものである。

アルカリ骨材反応現象は、ポルトランドセメント中のアルカリ成分が骨材中のある鉱物と反応作用を起こして、コンクリートが過度に膨脹する結果、コンクリートに粉状化、ひびわれ発生、崩壊などが誘発される作用であることはすでに衆知の事実であるが、わが国においては、有害な作用をもつ反応骨材は少なく、被害例も1、2例の報告があるにすぎない。今回アルカリ骨材反応の特徴である Reaction Rimが粗骨材の周囲にめいりように発生した例を発見したのでここに調査内容を発表してコンクリート関係者の参考にあずかる次第である。

写真-1

2. バラベット部破壊コンクリートの特徴

破壊コンクリートには次の特徴が認められた。

- (1) コンクリートの破壊断面にある粗骨材は、粗骨材そのものが全部破壊していること。
- (2) 粗骨材の周辺には黒色のリングが見られること。
- (3) 破壊面は白色の物質でおおわれていること。
- (4) 鉄筋の外周およびコンクリート中の空隙部に白色沈着物が見られること。（写真-1参照）



3. コンクリートに用いられた粗骨材

被害を受けたコンクリートに用いた粗骨材は、皆生浜より採取したもので、この砂利は、安山岩質のものであって、その産地を米子市東南20kmにある火山伯耆大山から流出した安山岩質火山岩屑とし、阿弥陀川を経て日本海に運ばれ、これが皆生浜に漂集されたものといわれる。細骨材は斐伊川より採取したもので、花崗岩質のものであった。粗骨材については皆生浜および阿弥陀川の2か所より試料を採取して比重、吸水率を測定した結果、2つの試料とも比重2.40~2.55、吸水率2.70~4.00%で、きわめて多孔質の粗骨材であった。細骨材は花崗岩質のものであったので試験は実施しなかった。

4. 文献によるアルカリ骨材反応の外観的特徴

アルカリ骨材反応であるか否かを確かめるため、外国の文献に現われた反応の特徴をあげると、

(1) 顕微鏡判定によるアルカリ骨材反応の特徴

- (1) コンクリートの空隙中にアルカリシリカゲルの存在。

(1) 骨状粒子周囲に Reaction Rim の存在。

(2) アルカリ骨状反応発生の外的条件。

アルカリ骨状反応は湿度飽和状態のコンフリート中で、その反応が最も起り易く、乾燥状態では起り難い。したがってコンフリートの表層(深さ約 5.5cm まで)や、建物の内部コンフリートではあまり見られずまた水中コンフリートではアルカリが逃げるため反応は起り難い。

(3) アルカリ骨状反応によるキレツ状態

コンフリートの表面に不規則形のキレツが見られる。このキレツの最大巾は約 4cm で、内部への深さは 10~15cm 程度である。その末端は顕微鏡的の中に終る。

5. 破壊したコンフリートのアルカリ骨状反応の推定

破壊したコンフリート片の試験結果と、文献によるアルカリ骨状反応の特徴、発生の条件とはほとんど完全に一致した。すなわち

(1) コンフリートの空隙中にアルカリシリカゲルが標本と同じ状態で存在すること。

(2) 粗骨状粒子の周囲に Reaction Rim が存在すること。

(3) パラベットの損傷は著しいが建物内部のコンフリートの被害は軽微であること。

(4) 粗骨状の内部にまでキレツが存在し、その中に白色泥状物が見られること。

以上の事実から、コンフリートの破壊は、アルカリ骨状反応によるものと推定される。

6 破壊したコンフリート中の骨状の判定

破壊したコンフリートの粗骨状から数枚のプレパラートを作製し、顕微鏡観察を行った。粗骨状の中には9種類の岩石が存在したが、粗骨状の周囲に Reaction Rim を有するものはその内部に鉱物として、鱗珪石 (Tridymite) も多量に含有している安山岩のみであり、他の鉱物としてシリカを含有している岩石は Reaction Rim を有しないことが判明した。

表-1. アルカリ骨状反応潜在性試験結果

試料名	アルカリ濃度 mm ² /RC	溶解シリカ量 mm ² /SC	判定	SC/RC
皆生系粗骨状	106.5	968.0	有害	9.10
・ 細骨状	72.0	133.0	有害	1.85
阿都川粗骨状	184.3	148.0	無害	0.76
相模川粗骨状	139.2	128.0	無害	0.86

米国においては、アルカリ骨状反応性のあるものとしてあげられている岩石は、蛋白石質チャート、流紋岩、安山岩、凝灰岩質石灰岩などがある。我が国では、アルカリに対して最も反

応性に富む蛋白石質チャートは産出せず、アルカリ骨状反応によるコンフリートの損傷例は非常に少ないが、今回の調査のように、鱗珪石がアルカリに侵されるとすれば、このような化学反応は、フリストバライトや火山性ガラスにもその可能性があり、これらの物質を含む火山岩の安山岩、石英安山岩、流紋岩、軽石、火山弾などについて注意する必要があると考えられる。

7. 骨状のアルカリ骨状反応潜在性試験

鉄筋コンフリート建屋に使用されたと同様の粗骨状を、今回新たに皆生系より採取し、その粗骨状について、アルカリ骨状反応潜在試験を行った。参考のため建物には使用されなかった皆生系の海砂をも採取し同様な試験を行った。試験方法は A, S, T, M, C ~ 289 ~ 57 T に準拠して行った。骨状の試料として、皆生系産粗骨状の外に、比較用として阿都川産粗骨状、相模川産細骨状の2種類を用いた。アルカリ骨状反応潜在性試験結果は表-1 に示す通りである。アルカリ試験における反応性によ

る無害および有害骨灰の境界線を示す図表は図-1に示した。以上の化学試験結果から、皆生灰産の粗骨灰はともに、アルカリ骨灰反応を起す潜在性を有するものと判定される。特に粗骨灰は、現在までに我が国各所で試験された実験値と比較し、その数値は著しく大きく、溶解シリカ(SC)として968 mg/g にも達した。またアルカリ減少量(RC)と溶解シリカ(SC)の比較は $\text{SC}/\text{RC} = 9.1$ となって、この値も我が国で現在までに調査発表された数値の3倍近くにも達している。

8. おまけ

今回の調査結果を要約すると

- (1) 皆生灰産の安山岩質粗骨灰は、A.S.T.M.の「アルカリ骨灰反応潜在性試験」によって有害骨灰と判定された。そのアルカリ減少量と溶解シリカとの比は $\text{SC}/\text{RC} = 9.1$ であった。
- (2) 斐伊川産の粗骨灰は花崗岩質のもので、アルカリ骨灰反応には無関係であった。
- (3) パラベットコンクリートの粗骨灰周囲にはReaction Rimが顕しく発生し、また空隙部にはアルカリシリカゲルが多数存在し、アルカリ骨灰反応現象であることが明らかに認められた。
- (4) アルカリ骨灰反応の発生している箇所は、常に湿潤状態に保たれた箇所だけに限られ、乾燥状態にある箇所にはこの反応は見られなかった。
- (5) コンクリート中に発生した白色物質は、シリカとカルシウムを主成分とする非晶質物質であった。
- (6) 粗骨灰の周囲にReaction Rimを有するものは、粗骨灰の内部に鉱物として、磷珪石を多量に含有している安山岩のみであった。
- (7) 建物コンクリートを超音波伝播速度測定器を用いて測定した結果、その速度は4,500 ~ 5,800 m/sec の範囲にあり、米国の規準によれば「やや良し」の部に入るものであった。
- (8) パラベット部コンクリートには顕著なアルカリ骨灰反応は認められたが、これがコンクリートの破壊の直接の原因となったかどうかについては不明であり、コンクリートの凍結融解作用との共同作用によって破壊が促進されたものと考えられる。

9. あとがき

この報告をとりまとめるに当たっては、電力中央研究所技術研究所、関根吉博士の御指導、御協力を受けたものであり、化学分析、X線回折、電子線回折その他は、小野田セメント株式会社中央研究所、竹本博士、柴山博士の御援助を受けたものであって、深く感謝の意を表すものである。

以上

図-1

アルカリ試験における反応性による無害および有害骨灰の境界線を示す図表

