

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の調査研究 (VII) ——炭酸化による劣化——

An Investigation on the Large Scale Housing Apartment Deteriorated by Alkali-Aggregate Reaction (VII)

——Deterioration by Carbonization——

小林 一 輔*・白 木 亮 司*・星 野 富 夫*
Kazusuke KOBAYASHI, Ryoji SHIRAKI and Tomio HOSHINO

1. は し が き

前報¹⁾では建物基礎の劣化性状の一つとして白華現象をとりあげ、これがアルカリ量の多いセメントを用いた場合におけるアルカリの濃縮現象によるものであることを明らかにした。本文では、このようなアルカリの多いセメントを用いたコンクリートの表層部に進行している炭酸化についての検討結果を示すことにする。

前報でも述べたように、白華を生じている建物基礎から採取したコアは、外気に接する表面から内部にかけて約20mm程度の深さまで変色している。また、この変色層は非常に脆い組織になっていることが、電気ドリルによる削孔や白華を生じたあとの表層脱落による骨材の露出を通じて推測することができる。そこで、この部分の組織を調べることにした。

2. 試 料 の 採 取

試料は建物基礎の2か所より採取した。その1つは白華を生じていた15号棟北側(階段側)の基礎である。す

なわち、地表面から約50cmの位置からコアボーリングによって直径10cm、長さ15cmのコアを採取したが、変色部分は大気に接する両端に認められ、その範囲は外側に約20mm、内側に約6mmであった。

もう1か所は16号棟南側のベランダ下部の基礎である。この部分を選定した理由は、写真-1にみられるように、基礎の地表面から5~10cm上の部分までがベルト状に白色を呈していたからであり、このような現象はこの団地の建物に一般的に認められるものである。コアボーリングは写真-1に示すように、断面の約半分が白色部分を含むように行い、直径10cm、長さが15cmのコアを採取した。

この場合も表面から内部にかけての変色は、外側から22mm、内側から8mmの範囲に生じていた。これらのコアの外観を写真-2に示す。

3. X線回折試験と熱分析試験による検討

筆者らは以上の2個のコアにみられる変色現象が炭酸

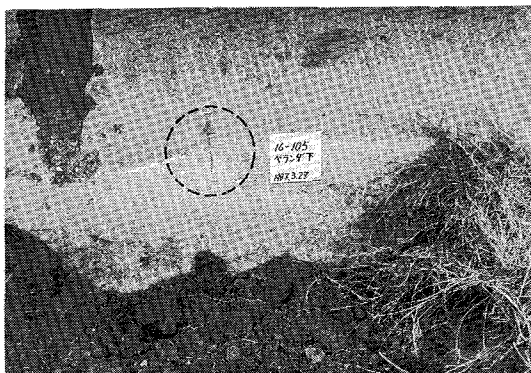


写真-1 ベランダ下基礎コンクリートの地表面付近にみられる白色の溶出物。これは南側の基礎の全面にわたって帯状に生じている。(○はコア採取箇所)

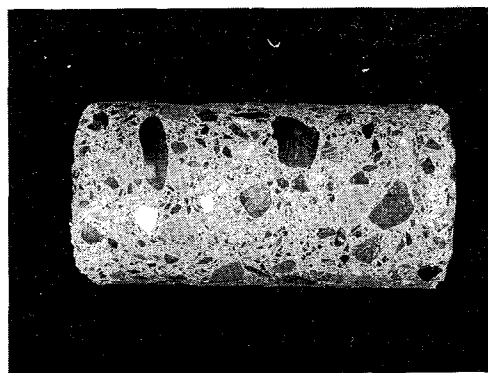


写真-2 ベランダ下の基礎コンクリートより抜き取ったコアの外観(向かって左端部分が表側、右端が内側であって、左端部分のほうに変色域の幅が大きいことがわかる)

*東京大学生産技術研究所 第5部

研 究 速 報

化によって生じたものと考え、これを確認するために変色部分と非変色部分(図-1)から採取した試料についてまず粉末X線回折試験と熱分析試験を行った。なお、16号棟より採取したコアの肉眼観察の結果から粗骨材中に石灰石が散在していることが判明したので、上記の試験に先だって、コア中心部のコンクリートから、偏光顕微鏡用の薄片を作成してモルタル組織の観察を行い、細骨材として石灰石が使用されていないこと、細骨材として使用されている岩石中にcalciteなどのCaCO₃がほとんど存在しないことを確かめた。

図-2はX線回折試験結果を示したものである。非変色部分にはCaCO₃とともにCa(OH)₂の存在を示す強い回折ピークが認められるが、変色部分ではCa(OH)₂の回折ピークが全く認められず、炭酸化が生じていることがわかる。

図-3および表-1は上記の部分の試料について熱分析試験を行い、Ca(OH)₂とCaCO₃の定量を行った結果である。表-1から明らかなことは、変色部におけるCaCO₃の量が試料全重量の34~37%に達することである。非変色

部におけるCa(OH)₂がすべてCaCO₃に変化したと仮定した場合、CaCO₃の重量百分率はいずれも20%前後となるので、試料全重量の14~17%に相当するCaCO₃はセメントの水和生成物であるCa(OH)₂以外の部分から供給されたことになる。

4. 変色部分のセメント硬化体の品質に関する検討

熱分析を行った試料はセメント硬化体そのものではなく、砂の微粒子を含んでいることを考慮すると、上記の14~17%というCaCO₃の量は相当に大きい値であり、その供給源はセメント水和物の大半を占めるC-S-H以外には考えられない。C-S-Hが空気中の炭酸ガスにより分解してCaCO₃(calcite)とシリカゲルになることはŠauman²⁾やSuzuki³⁾によって確かめられており、上記のような多量のCaCO₃の生成はC-S-Hの分解によって生じたものと考えられる。

C-S-Hの分解はとりも直さずセメント硬化体組織の分解ということであり、極めて脆弱で崩壊しやすい組織に変質したことを意味する。写真-3および4は変色部分と非変色部分のSEM像を比較して示したものであって、これらの写真から変色部分は多孔性の異質な組織に変化しており、非変色部分に認められるような水和生成物は

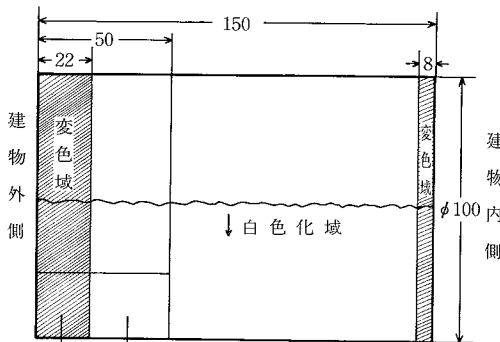


図-1 ボーリングコアの模式断面図

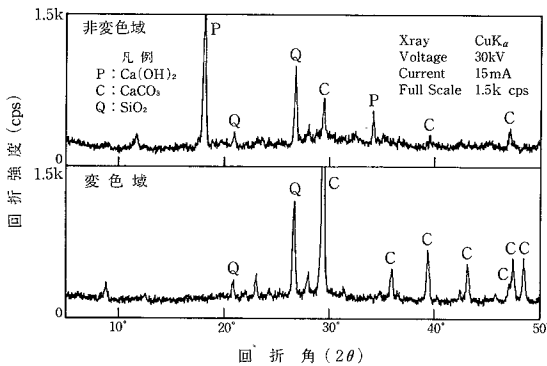


図-2 変色域および非変色域試料の粉末X線回折図

表-1 熱分析試験結果 (単位 wt%)

分析試料	Ca(OH) ₂	CaCO ₃
15号棟	非変色部	7.0
	変色部	0
16号棟	非変色部	5.3
	変色部	0

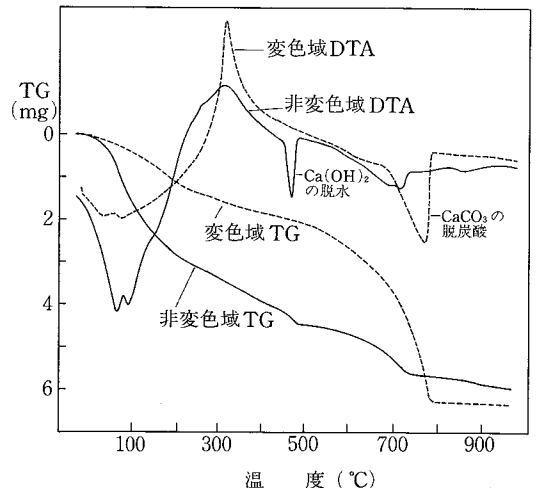
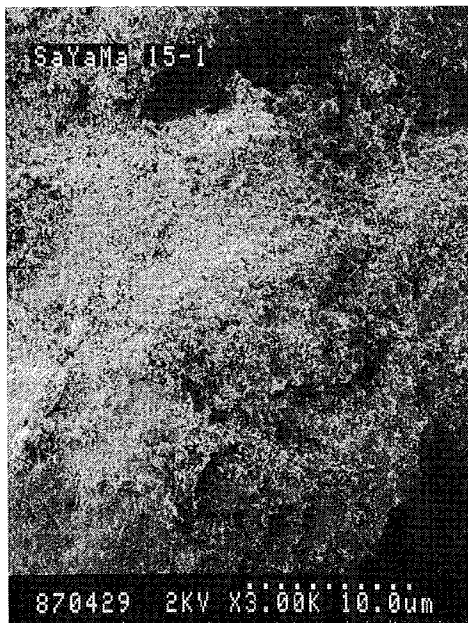


図-3 変色域および非変色域試料の熱分析(TG-DTA)曲線



(非変色部分)



(変色部分)

写真-3 セメント硬化体の電子顕微鏡写真 (15号棟)



(非変色部分)



(変色部分)

写真-4 セメント硬化体の電子顕微鏡写真 (15号棟)

ほとんど認められないことがわかる。

一方、図-4 および図-5 は採取したコアの表面から内部に向かってEPMAによる線分析を行った結果を示したものである。これらの図は、C, NaまたはKのX線強度

は変色領域の表面付近で高くなっている反面、Caは表面に近づくに従って減少していることを示しており前報に示した、1号棟ならびに19号棟の場合の結果と類似した傾向が認められる。Cの増大は今回の検討によって明ら

研 究 速 報

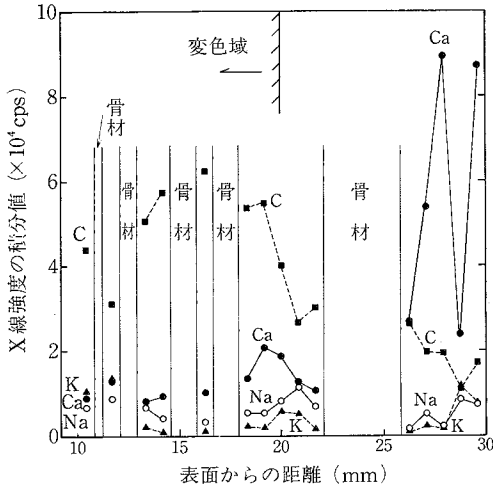


図-4 EPMAによる線分析プロファイル (15号棟)

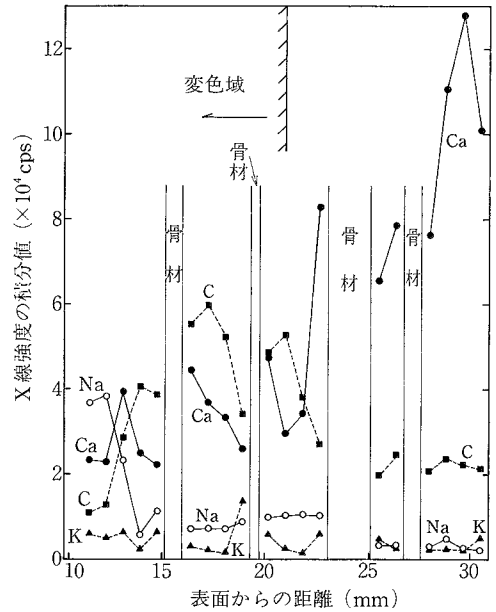


図-5 EPMAによる線分析プロファイル (16号棟)

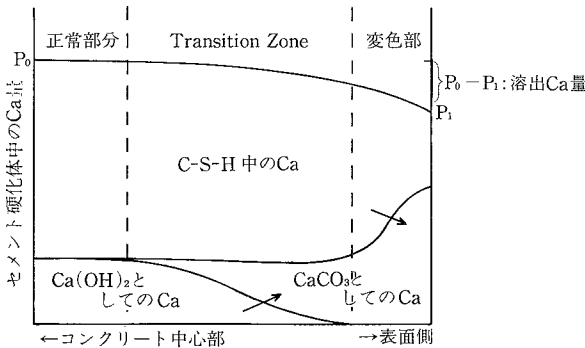


図-6 セメント硬化体におけるCaの結合形態および量の変化を表す模式図

かにされた炭酸化の進行によって裏付けられたが、Caの減少は土壤中の水分によって表層付近のCaCO₃が溶出したことによるものと推測され、写真-1に示した地表面の白色帯にこの作用によって生じたものと考えられる。図-6は試料のセメント硬化体部分における炭酸化および溶出作用とこれによる全カルシウム量の結合形態ならびに量の変化の模式図であり、変色部分の組織の大半はC-S-Hの分解によりCaCO₃ (calcite)に変化していることを表している。この部分が漂白されたように変色するのは恐らく、このcalciteが組織の大半を占めたことによるものであろう。

5. む す び

従来はコンクリートの炭酸化はCa(OH)₂がCaCO₃に

変化する現象として把握され、鉄筋腐食の観点から“中性化”というあいまいな表現のもとに、その進行速度や影響要因が論じられてきており、これによるセメント硬化体の組織の変化に関してはほとんど検討が行われていなかった。本報はコンクリートの炭酸化がC-S-Hの分解をとめない、これによってコンクリート組織を表面部から変質させて、段階的に崩壊させることを指摘したものである。このような変質部分は今回の調査結果によると、基礎表面からの深さが20~22mm、基礎内面からの深さが6~8mmである。前者の値は岸谷式による推定値の3.5~3.8倍、後者は1.0~1.3倍である。この速度で炭酸化が進行すると10年後には基礎断面の25~30%が炭酸化した組織に変化することになる。

なお、以上のような異常な炭酸化の進行とセメント中のアルカリ量との関係ならびに白華現象と炭酸石灰の溶出現象との相互関係については次回以降に報告する。

(1987年9月30日受理)

参 考 文 献

- 1) 小林・白木・星野：アルカリ骨材反応によって早期劣化を生じて大規模集合住宅の調査研究 (VI), 生産研究, Vol. 39, No. 11 (1987)
- 2) Šauman, Cement and Concrete Res. Vol. 1, No.6, pp. 645-662 (1971)
- 3) Suzuki, K. et al., Cement and Concrete Res. Vol. 15, No.2, pp. 213-224 (1985)