

[57] 硫酸塩を含む土壌におけるコンクリートの劣化

正会員○松下 博通（九州大学工学部）
 浜田 秀則（運輸省港湾技研）
 正会員 牧角 龍憲（九州大学工学部）

1. はじめに

福岡市近郊において、近年石炭掘削の際の副産物として得られる生ボタを宅地造成用土壌として用いた地区がいくつかあるが、それらの土壌の上に建てられた建築物の基礎コンクリートに、建築後わずか数年で異常に劣化しているものがあることがわかった。これらの劣化は、その状況からボタ中の硫酸塩が主原因であることが推定されたが、さらに詳しい劣化機構をとらえ、有効な防止対策および補修方法を講じるために、筆者らは土壌、コンクリートの双方から一連の調査を行ったのでここにその報告をする。

2. 調査対象

調査対象は、福岡県粕屋郡志免町M氏宅で、昭和52年、ボタによる宅地造成後3ヶ月を経て建築された家屋である。建築後8年を経過した昭和60年に、家屋の傾きや床のきしみが発生し、調査の結果、住宅基礎コンクリートが劣化崩壊していることが観察されたものである。東石コンクリートの状況は、写真-1に示すように、いずれの東石もほぼ同等に劣化している。また、劣化の程度は、地盤との境界部に近い部分ほどより進行しており、しかも、コンクリートの表面には、白色粉末が付着している。東石をハンマー



写真-1 調査対象家屋の床下状況



写真-2 崩壊した東石の状況

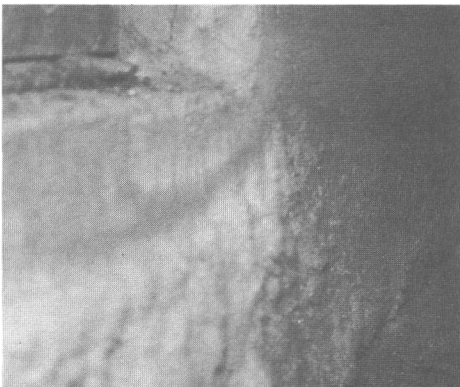


写真-3 Na_2SO_4 が吹き出した壁の状況

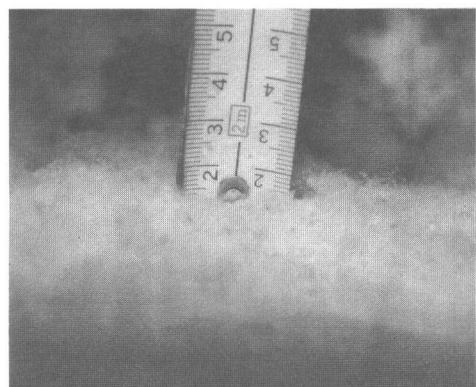


写真-4 壁から吹き出した Na_2SO_4

で軽く打撃すると、写真-2に示すように、その形をとどめないまでに崩壊し、このことから類推して、その強度はほとんど期待できない程度にまで劣化が進行している状況であった。

一方、現場打ちコンクリートの布基礎や独立基礎の劣化状況を写真-3に示す。劣化の程度は東石に比較して軽微であるが、地盤との境界付近近の劣化が著しいことは東石と同様である。また、コンクリートの表面には、東石同様に、白色粉末が付着している部分が認められる他、写真-4に示すような白色結晶を析出していた。この白色結晶は乾燥すると、前述の白色粉末に変化した。この白色粉末をX線回折によって分析すると図-1のようで、硫酸ナトリウム (Na_2SO_4) であった。



図-1 東石表面の白色粉末のX線回折結果

以上の調査より、住宅基礎コンクリートの劣化は、コンクリートの配合の差によって多少の差はあるものの、硫酸ナトリウムに起因する劣化であると考えられる。

3. 地盤調査

コンクリートの劣化崩壊原因が硫酸ナトリウムであれば、その供給源は住宅基礎地盤に存在すると考えられ、その調査を行った。その結果、基礎地盤は、深さ約30cmがまさ土であり、それ以下がボタであった。また、図-2に示す3つの測点、A（壁近傍）、B（東石近傍）およびC（東石と東石の中央）において、鉛直下方に70cmのたて穴を掘り、地表面から、0、5、10、25、35、42、58および70cm付近の深度より採取した試料について、含水比とPHの測定ならびに蛍光X線を利用して可溶性Sおよび全Naの定量を行った。

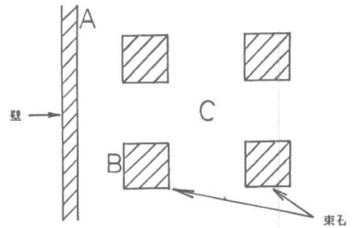


図-2 土壌試料の採取位置

図-3は、含水比の深さ方向の分布である。ボタ部分で12~16%程度、まさ土部分で8~9%程度であるが、地表面では、床下のためにより乾燥した状態にあると考えられるにもかかわらず、まさ土部分よりも高い値を示している。これは、後述するように、地表面には多量の硫酸ナトリウムが濃集しているため、その結晶水が含水比として測定されたためと考えられる。このような結果は、宮崎層群における塩類集積による住宅東石の劣化においても報告されている¹⁾。図-4は

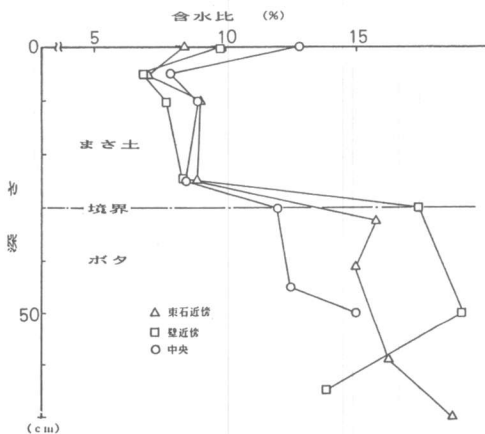


図-3 地盤中の含水比

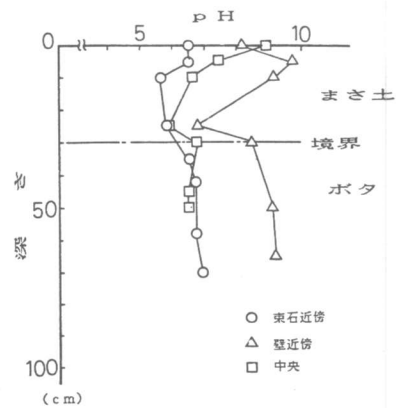


図-4 地盤のPH

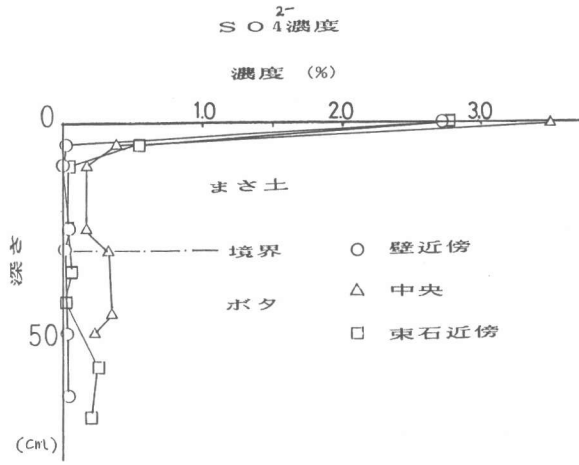


図-5 地盤中のSO₄²⁻濃度

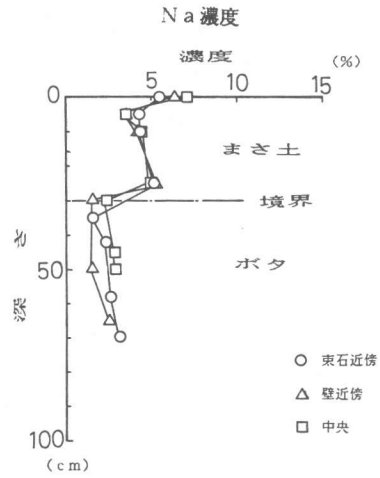


図-6 地盤中のNa濃度

地盤のPHを深さ方向に示しているが、とくに地表面において低い傾向は認められず、中性を示している。このことより、東石コンクリートの劣化は、硫酸ナトリウムによる劣化であり、硫酸によるものではないことが裏付けられる。

図-5は、可溶性硫酸イオン(SO₄²⁻)濃度の深さ方向の分布である。当然のことながら、まさ土部分よりもボタ部分が高い濃度を示しているものの、深さ約10cmから地表面にかけて数10倍にも濃度が急上昇しており、地表面では3.0%近くにも達している。また、ナトリウム濃度の深さ方向の分布を図-6に示すが、硫酸イオンと同様に、地表面付近で濃度が急上昇している。

これらのことより、地盤中にもともと存在していた硫酸イオンやナトリウムイオンが地表面付近で極めて高い濃度にまで濃集されていることが予想される。しかも、このとき硫酸ナトリウムが生成され、この濃集された硫酸ナトリウムによってコンクリートが劣化崩壊に至ったと考えられる。

4. コンクリートの調査

対象とした劣化東石は、表面がザラザラになって、数本のひびわれが生じていたものの、比較的よくその原型をとどめていたものであり、劣化の程度としては軽い方であった。この東石を用いて、配合推定、蛍光X線を利用したSO₄²⁻の定量分析およびX線回折による成分分析を行った。

表-1は東石コンクリートの配合推定結果であるが、水セメント比は82.7%とかなり貧配合であった。蛍光X線回折およびX線回折に用いた試料は、たて方向に8分割、平面で6ヶ所の計48ヶ所から採取した(図-7)。

図-8に、コンクリートのSO₄²⁻濃度分布を示す。東石外部(測点1, 2, 3)の方が内部(測点4, 5, 6)より高濃度となっており、土壌からSO₄²⁻が浸透していることがわかる。また、たて分布の5の濃度が極めて高くなっているが、この位置は地表面の直上部であり、前述のように、最も劣化が激しい部分である。

表-1 コンクリートの配合推定結果

水セメント比 (%)	単 位 量 (kg/m ³)			空気量 (%)
	W	C	Agg.	
82.7	170.9	206.7	1885.2	4

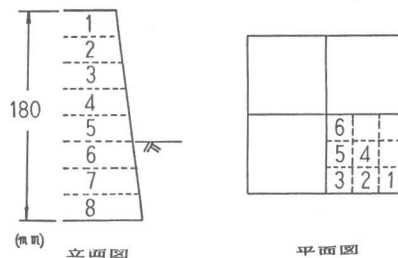


図-7 コンクリートからの試料採取位置

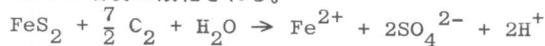
さらに、下端の8から5の位置まで濃度が増加し、5の位置から上側では濃度が徐々に減少していることより、コンクリート内部でも SO_4^{2-} が徐々に上昇していることが考えられる。

X線回折の試験結果は、48試料いずれについてもほとんど同様のチャートを示し、硫酸イオンとコンクリート成分との反応生成物として予想される石こうおよびエトリンガイトはほとんど検出されなかった。これは、両者が存在しないのではなく、その生成量が比較的少量であり回折機器の検知能力以下であったためと考えられる。

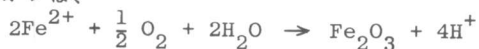
以上のコンクリート調査より、地盤表面のみならずコンクリート内部においても、 SO_4^{2-} が極めて高濃度に濃集している現象が確認され、このことが、東石コンクリートが早期にしかも激しく劣化した原因と考えられる。

5. ボタの成分²⁾

ボタは石炭掘削に伴って地中から掘り出される粗悪な石炭、頁岩、砂岩等の碎屑物の総称であり、坑道掘進に伴って排出されるボタと、原炭から石炭を選別した残滓としてのボタがある。これらのボタ中には多量の硫化鉄が含まれており、また、 Na_2O と MgO もそれぞれ2%と1%程度含まれている。ボタ中の硫化鉄は、黄鉄鉱あるいは磁鉄鉱(FeS_2)と呼ばれるもので、これらは水や空気中の酸素と共存する場合に不安定となり、次式のように容易に酸化される。



さらに2価の鉄イオンは、



となる。したがって、ボタ中には、3価の鉄イオンとともに多量の硫酸イオンが含まれており、かつ土壌も酸性を呈することになる。この硫酸イオンがコンクリート劣化の主因となる。

6. まとめ

以上の結果から、対象とした東石コンクリートの劣化は、土壌に含まれる硫酸イオンおよび硫酸塩に起因するもので、さらに地表面近傍における硫酸塩の濃集現象によりその劣化が促進されたことが予想される。この濃集現象およびコンクリートの劣化崩壊の機構は次のとおりと考えられる。

- (1) 土中に含まれる硫酸イオンは、雨水が地表から浸透すれば次第に希釈され取り除かれていくが、住宅床下のように地表からの雨水の浸透の少ない場所では、土中の毛細管現象による水分上昇にともなって上昇するとともに地表表面からの水分蒸発が卓越するために、地表表面近傍に濃集する。
- (2) 東石コンクリートに浸透した硫酸イオンにおいても、同様にして地表表面近傍に濃集する。
- (3) コンクリートに浸透した硫酸イオンは、コンクリート中の化合物あるいはセメント組成鉱物と化学的に反応して、石こうあるいはエトリンガイトを生成し、その反応による体積膨張によりコンクリートの膨張破壊をもたらす。
- (4) 硫酸イオンがナトリウムイオンやマグネシウムイオン等と共存をして、 Na_2SO_4 や $MgSO_4$ として存在すれば、これらの物質はコンクリート中に浸透し、周囲の温度条件および湿度条件によって結晶化する。このときの結晶析出圧による物理的作用によってコンクリートが膨張破壊する。
- (5) これら2つの膨張破壊様式が重なって生じることにより、コンクリートは著しい崩壊に至る。

参考文献

- 1) 高谷精二：東石崩壊の発生した地域にみられる塩類集積現象について。土と基礎，30-1,1983。
- 2) 三浦哲彦：九州・沖縄の特殊土。第4章ばた，九州大学出版会，1983。

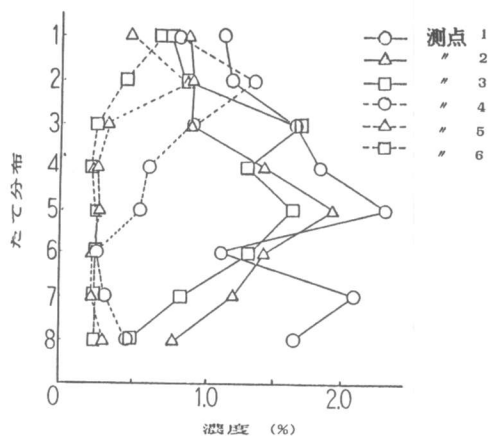


図-8 コンクリート中の SO_4^{2-} 濃度