

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(II)

—PC 板に用いられた骨材の品質(1)—

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

—Quality of Aggregate used for PC Panels(1)—

小 林 一 輔*・星 野 富 夫*

Kazusuke KOBAYASHI and Tomio HOSHINO

1. 概 要

本報は狭山台 2 街区分譲住宅の建物(壁式プレキャスト鉄筋コンクリート造)のプレキャストコンクリート板に用いられた骨材の品質に関する調査結果をとりまとめたものである。調査方法は前報¹⁾に示したとおりである。調査試料は次の個所の PC 板より採取したコアに基づくものである。

- a) 14 号棟浴室部外壁および 16 号棟トイレ部外壁(施工会社 A)
- b) 22 号棟階段室側壁, トイレ部外壁および屋根板(施工会社 B)
- c) 18 号棟浴室部外壁, 階段室側壁および屋根板ならびに 19 号棟屋根板(施工会社 C)
- d) 23 号棟階段室側壁(施工会社 D)

2. PC 板に使用されていた骨材の品質

PC 板に使用されていた骨材の品質調査結果を表-1~4 に示す。これらの表と目視観察ならびに検鏡によって明らかになった点をまとめると以下ようになる。

- 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, 粗粒玄武岩, 閃緑岩, 凝灰岩なども含まれている。
- 2) 岩石の組み合わせは施工会社が同じであればほぼ同様の種類と比率となっている。これを以下に示す。
 - a) 安山岩: 20~30%, 砂岩: 30~40%, 粘板岩: 30~40%
 - b) 砂岩: 30~40%, 粘板岩: 40~55%, 粗粒玄武岩: 5~10%
 - c) 砂岩: 97~99%, 粘板岩: 1~3%
 - d) 安山岩: 60%, 砂岩: 10%, 粘板岩: 20%
- 3) 粗粒玄武岩を除くこれらの岩石中にはアルカリ骨材反応をおこす典型的な反応性鉱物である玉髄(chalcedony)や火山ガラスを相当量含んでいる。

- 4) 採取したほとんどのコア中の構成岩石中には有害量を上廻る量のモンモリロナイトが含まれている。
- 5) 一部のコアからは有害量のローモンタイトが検出された。
- 6) 全般的にいわゆる“死石”などの軟弱な粒の存在が目立っている。

3. 反応性鉱物について

今回の調査結果を通じて明らかにされた事項の中で最も重要な点は, 骨材中に玉髄と火山ガラスという反応性鉱物が多量に混在していることが確認されたことである。

とくに玉髄は, 今回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 30~50% も含まれていた。玉髄は微晶質ないし隱微晶質の石英であって, 珪質堆積岩中によく産出するといわれている。砂岩や粘板岩は我が国ではこれまでアルカリ骨材反応に関しては対象外と考えられていたが, オパールや玉髄などが混在していると反応性骨材になることが指摘されており, 米国の内務省開拓局では低アルカリセメントを用いない場合の無害混在成分の上限値として, オパール: 0.25%, 玉髄: 5%, ガラス質~隱微晶質の酸性~中性の火山岩または凝灰岩: 3% を与えている²⁾。今回の調査結果では最も反応性鉱物の混在量の少ないコア番号 19R-2 の場合でも玉髄は 5~10% 含まれており, 最も多い 22R-1, 22T-05, 22W-05 などの場合には 20~40% にも達している。すなわち, 玉髄のみでもアルカリシリカ反応をおこすに十分な量が砂岩や粘板岩中に混在していることが明らかとなったが, さらに 14 号棟, 16 号棟および 23 号棟から採取したコア中の安山岩には火山ガラスが含まれており, これが 14B-05 および 16T-05 では 3~5%, 23W-05 では 9~18% に達している。これらの値は上記の開拓局の規定値を大幅に上廻っている。

*東京大学生産技術研究所 第 5 部

研究速報

表-1 使用骨材の調査結果(施工会社Aが建設した建物から採取したコア)

コア番号	構成岩石			反応性鉱物		有害鉱物		備考
	種類	比率(%)	種類	比率(%)	種類	比率(%)		
14 B-05	安山岩	玻璃安山岩	13	火山ガラス	20~40			反応性鉱物含有量: 18~32% 有害鉱物含有量: 7~15% 粗骨材: 砂利, 砕石 細骨材: 砂岩を主体とする砕石+川砂
		モンモリロナイト化安山岩	9			モンモリロナイト	20~50	
	砂岩	砂岩	26	玉髓	20~50			
		モンモリロナイト化砂岩	2					
	粘板岩	粘板岩	21	火山ガラス玉髓	30~40	モンモリロナイト	20~50	
		珪化粘板岩	7	玉髓	60~90			
	玄武岩	2			モンモリロナイト	50		
	粗粒玄武岩	7						
	閃緑岩	3						
	凝灰岩	8						
鉱物砂粒	石英: tr, 長石: 2%, 輝石: tr							
14 F-1	安山岩	玻璃安山岩	3	火山ガラス	20~40			反応性鉱物含有量: 28~53% 有害鉱物含有量: 0.6% 場所打ちコンクリート 粗骨材: 砕石(砂岩, 粘板岩) 細骨材: 川砂
		モンモリロナイト化安山岩	tr			モンモリロナイト	20	
	砂岩	砂岩	43	玉髓	20~60			
		モンモリロナイト化砂岩	2			モンモリロナイト	20	
	粘板岩	粘板岩	19	火山ガラス玉髓	30~40			
		モンモリロナイト化粘板岩	2			モンモリロナイト	20	
		珪化粘板岩	21	玉髓	60~90			
	流紋岩	1						
鉱物砂粒	石英: 4%, 長石: 4%, 輝石: 1%							
16 T-05	安山岩	玻璃安山岩	14	火山ガラス	20~30			反応性鉱物含有量: 28~43% 有害鉱物含有量: 1.6~6.1% 玉髓質石英: 結晶格子にひずみを有する石英(粒径5~6μ以上のもの)
		モンモリロナイト化安山岩					モンモリロナイト	
		珪化安山岩	15	玉髓質石英	50~80			
	砂岩	42	玉髓	20~30	ローモンタイト	tr		
	粘板岩	粘板岩	13	玉髓	30~40			
		珪化粘板岩	9	玉髓	60~90			
	閃緑岩	4						
	粗粒玄武岩	1				モンモリロナイト		
鉱物砂粒	石英: 2%, 長石: 1%, 輝石: tr							

4. 有害鉱物について

今回の調査によって判明したもう1つの重要な点は、骨材中に反応性の鉱物のみならず、これとは別のメカニズムによってコンクリートの劣化を早める有害鉱物として指摘されているモンモリロナイトやローモンタイトが存在していたことである。とくにモンモリロナイトは今回調査したほとんどの棟のコアから発見されている。

モンモリロナイトは $X_3Al_2(Al_3Si_{4-y}O_{10})(OH)_2$ なる組成式を有する $1\mu\text{m}$ ~数 μm の白色粉状の結晶で、乾

湿の変化に従って多量の水を吸・脱水し、同時に著しい体積変化を生ずることが明らかにされている。モンモリロナイトが骨材中に存在すると、乾湿のくり返しにともなうコンクリートに有害な膨張・収縮の体積変化を起こさせるのみならず、夏期にはポップアウト現象、また冬期には凍結融解作用によってコンクリートの劣化を促進することが指摘されている³⁾。

砂岩、礫岩、粘板岩、頁岩、凝灰岩などの堆積岩ではモンモリロナイトが数%程度含まれていて岩石が崩壊することがあり、10%以上の量があればほとんどの場合崩

表-2 使用骨材の調査結果 (施工会社Bが建設した建物から採取したコア)

コア番号	構成岩石			反応性鉱物		有害鉱物		備 考
	種 類	比率%	種 類	比率%	種 類	比率%		
22 R-1	安 山 岩	3	火山ガラス	10~30			反応性鉱物含有量: 21~40% 粗骨材: 碎石(砂岩, 粘板岩)+砂利 細骨材: 川砂	
	砂 岩	砂 岩	34	玉 髓	10~40			
		モンモリロナイト化砂	tr			モンモリロナイト		5~6
	粘板岩	粘 板 岩	38	玉 髓	20~30	スチルバイト		tr
		珪 化 粘 板 岩	16	玉 髓	60~90			
	粗 粒 玄 武 岩	5						
鉱 物 砂 粒	石英: 2%, 長石: 2%							
22 T-05	安 山 岩	2	火山ガラス	20~30			反応性鉱物含有量: 28~47% 有害鉱物含有量: 5~9%	
	砂 岩	29	玉 髓	20~40				
	粘板岩	粘 板 岩	20	玉 髓	20~40			
		珪 化 粘 板 岩	30	玉 髓	60~90	モンモリロナイト		5~6
	粗 粒 玄 武 岩	12				モンモリロナイト		30~60
	閃 緑 岩	1						
鉱 物 砂 粒	石英: 2%, 長石: 3%, 輝石: 1%							
22 W-05	安山岩	玻 璃 安 山 岩	1	火山ガラス	10~30		反応性鉱物含有量: 27~46% 有害鉱物含有量: 5.3~	
		モンモリロナイト化安山岩	tr			モンモリロナイト		30
	砂 岩	砂 岩	42	玉 髓 質 英 石	20~40			
		モンモリロナイト化砂	tr	玉 髓		モンモリロナイト		30
	粘板岩	粘 板 岩	12	火山ガラス 玉 髓	20~40			
		モンモリロナイト化粘板岩	tr		60~90	モンモリロナイト		tr~80
		珪 化 粘 板 岩	26	玉 髓		モンモリロナイト		5
	粗 粒 玄 武 岩	5				モンモリロナイト		30~50
	閃 緑 岩	tr				モンモリロナイト		30
	鉱 物 砂 粒	石英: 5%, 長石: 7%, 輝石: 1%						

研 究 速 報

表-3 使用骨材の調査結果 (施工会社Cが建設した建物から採取したコア)

コア番号	構成岩石		反応性鉱物		備 考	
	種 類	比率(%)	種 類	比率(%)		
18 R-1	砂 岩	99	玉 髓	10~30	反応性鉱物含有量：10~30%	粗骨材：碎石 (砂岩) 細骨材：砕砂 (砂岩)
	粘板岩	1	火山ガラス・玉髓	30~40		
18 B-05	砂 岩	97	玉 髓	10~20	反応性鉱物含有量：10~20%	
	粘板岩	3	玉 髓	30~40		
18 W-05	砂 岩	97	玉 髓	10~30	反応性鉱物含有量：10~30%	
	粘板岩	3	火山ガラス・玉髓	30~40		
19 R-2	砂 岩	98	玉 髓	5~10	反応性鉱物含有量：5~10%	
	粘板岩	2	火山ガラス・玉髓	30~40		

備 考：砂岩は全般的に風化しているものが多い。

表-4 使用骨材の調査結果 (施工会社Dが建設した建物から採取したコア)

コア番号	構 成 岩 石		反 応 性 鉱 物		有 害 鉱 物		備 考	
	種 類	比率(%)	種 類	比率(%)	種 類	比率(%)		
23 W-05	安山岩	玻 璃 安 山 岩	46	火山ガラス	20~40	ローモンタイト	1~2	反応性鉱物含有量：20~30% 有害鉱物含有量：6~17%
		モンモリロナイト化安山岩	16			モンモリロナイト	10~80	
	砂 岩	砂 岩	3	玉 髓	40~60			粗骨材：砂利 細骨材：川砂
		モンモリロナイト化砂	9			モンモリロナイト	40	
	粘板岩	粘 板 岩	14	玉 髓	40~50			
		珪 化 粘 板 岩	4	玉 髓	50~70			
			3	玉 髓	60	モンモリロナイト	20	
		鉱 物 砂 粒	石英：1%， 長石：3%， 輝石：1%					

壊るといわれている。岩石が崩壊すればコンクリートの崩壊も加速されることは自然の理である。今回の調査結果では14B-05と23W-05のコアから10%を超える量のモンモリロナイトが検出されており、また22T-05および22W-05のコアからは数%以上のモンモリロナイトが検出されている。雨水に暴露されている屋根板や浴室廻りのPC板は当然、このモンモリロナイトのみによっても劣化は生ずることになる。

今回の調査によって発見されたもう1つの有害鉱物はローモンタイト (濁沸石) である。これは $CaAl_2Si_2O_4 \cdot 4H_2O$ の化学組成を有する数 μm ~数 mm の白色板状あるいは柱状の結晶であって、乾湿のくり返しによって吸・脱水し、脱水したときに粉化するといわれている。したがって骨材中にローモンタイトが存在すると乾湿のくり返し条件下で、これが粉化して骨材が崩壊し、コンクリートは表層部から崩壊が進行することになる。ローモンタイトはまた乾湿の変化にともなって体積変化する

ので、コンクリートに有害な体積変化をおこすことも指摘されている³⁾。

我が国でもすでに2、3のローモンタイトによるコンクリート構造物の劣化事例が発生している。骨材中にローモンタイトが存在するとポップアウト現象を生じたり、またこれが10%以上も存在すると凍結融解作用によって劣化が著しく促進されることも指摘されている。

今回の調査では施工会社Dの建設した23号棟より採取したコアに1~2%程度のローモンタイトが検出されたが、これ以外の建物のPC板にも相当量のローモンタイトが含まれている可能性があるため今後さらに調査を必要とする。
(1986年5月7日受理)

参 考 文 献

- 1) 小林・星野：生産研究，Vol.38，No.6 (1986.6)
- 2) Mielenz, R. C. and Witte, L. P. : Proc. ASTM, No. 48, pp.1071~1107, 1948
- 3) 丸章夫：セメントコンクリート，No.415, pp.129~134, 1981