

[10] 蛇紋岩系骨材の安定性に関する調査例

正会員 毛見虎雄(戸田建設技術開発センター)

正会員 ○中川宗夫(戸田建設技術開発センター)

三浦勇雄(戸田建設技術開発センター)

1. はじめに

昭和50年に前後して竣工した某地下溝道のコンクリート表層に一種の剥り現象(Pop out現象)が最近発見された。その原因は第3回コンクリート年次講演会論文集で示したものと同様に、蛇紋岩系骨材の風化変質によるものであった。ここではコンクリート面の剥りの状態とその追跡調査結果について先ず述べ、併せて某建物で新に検出された剥り現象について調査・分析して得た知見と比較検討する。

2. 調査・分析概要

2-1 追跡調査

延長570 mの溝道内コンクリート壁面剥り状況について次の要領で調査した。

(1) 剥り現象即ちポップアウトの発生数の調査；検数等に誤りが無いようマーキングし乍ら次の項目について調査した。

(a) 工区別；A、Bの2工区、36ブロック(日内)

(b) 溝道別；1、2、3の3連溝道(図2参照)

(c) 部位別；上床、内壁、外壁及び床(図2参照)

(d) 剥り部の大きさ； ϕ 20mm以下；小、 ϕ 20~50；中、
(径と深さ) ϕ 50以上；大の3大別

(e) 経時変化；発見直後の調査より3ヶ月、6ヶ月及び
12ヶ月経過時の発生数の変化

(f) 特定壁面(多発面又は中位発生面)に於けるコンクリート内部方向への累加剥りに関する調査。2.45 m $\times$ 4 mを3ヶ所対照

(2) その他

(a) 道内雰囲気の調査；CO₂、SO₃、CO、温度、湿度

(b) コンクリートの中性化深さ

2-2 RC建物コンクリートに発生した剥り現象の調査分析。

(1) 剥り現象・調査；上記2-1と同様、部位別、大きさ別に頻度を調査した。

(2) 分析

(a) X線回折；剥り部分の底部に見られるポップング核を分析用試料とした。採取はスパチュラ及びピンセットとした。分析はF社製D-14型X線回折装置により行ないその組成を判定、蛇紋岩系鉱物の風化生成物等と比較照合した。回折方法の諸元は図に併記したようであった。

(b) 顕微鏡観察；O社製POS偏光顕微鏡を用いてX線回折に供した試料とほぼ同一なものについて観察し、X線回折結果と照合検討した。なお観察用試片は採取試料(ポ

表-1 コンクリートの調合及び強度

工区別	スランプ	空気量	w/c	S/A	重量配合 (1m ³)				
					水	セメント	砂	砂利	AE剤
A	8cm	4%	54.2	42.4	167	308	780	1,072	92
B	8	4	56.2	42.1	166	295	780	1,118	88.5

A; 0.7 190%, 0.28 316% 比重
 B; 0.7 183%, 0.28 300%
 砕石(a) 2.90
 砕石(b) 2.64

表 2 ポップアウト発生状況

工区	A		B	
対象面積	6,572 m ²		5,579 m ²	
溝長	306.8 m		260 m	
ブロック No.	発生個数	発生数m ²	発生個数	発生数m ²
1	(27)	0.047	(1,323)	1.373
2	(10)	0.018	(43)	0.065
3	(11)	0.020	(22)	0.026
4	(11)	0.019	(333)	0.352
5	(5)	0.011	(30)	0.068
6	(5)	0.093	(25)	0.070
7	(162)	0.288	(82)	0.229
8	(39)	0.062	(3)	0.009
9	(1)	0.002	(44)	0.131
10	(0)	0	(281)	0.858
11	(0)	0	(0)	0
12	(12)	0.023	(0)	0
13	(0)	0	(0)	0
14	(0)	0	(0)	0
15	(0)	0	(0)	0
16	(0)	0	(0)	0
17	(0)	0	(0)	0
18	(0)	0	(0)	0
最大	—	0.288	1,323	1.373
最小	0	0	3	—
平均	(283)	0.043	(2,186)	0.392
経過年数	69ヶ月		56ヶ月	

(注) () 内 発生個数

ッピング核)をMMA包埋処理した後、作成した薄片とした。

3. 結果と考察

3-1 剥り状態と追跡調査結果

蛇紋岩系骨材の風化変質によるコンクリートの剥り状態は、ほぼ円錐体状を呈しており、剥り部分の頂部や、その抜け跡であるすり鉢状穴の底部には膨張原因である蛇紋岩系の風化骨材(ポッピング核)が見られた。後述のように、剥りした円錐体様部分の大きさは、径が約50mm、高さが5mm以下のものが大半を占め、コンクリートの極く表層に生じた剥り現象であることに特徴があった。

表-1にはコンクリートの調合と強度の例を示す。

(2) 発生状況

① 工区、ブロック別; 2工区、36ブロックについて発見時の調査結果を表-2に、単位面積(m^2)当りの発生頻度(発生箇数)を図-1にそれぞれ示した。発生頻度でみると工区別及びブロック別に差が見られ、特にブロック別の格差が大きい傾向にあり、次のように言える。

(a) 発生頻度の大きいのはB工区であり、最高約1.4個/ m^2 、平均約0.4個/ m^2 である。

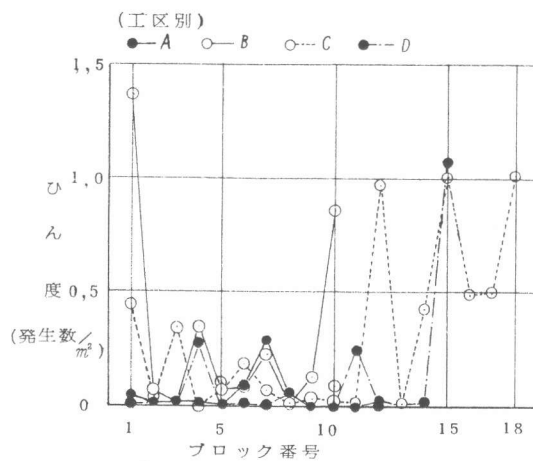


図-1 単位面積当り発生ひん度

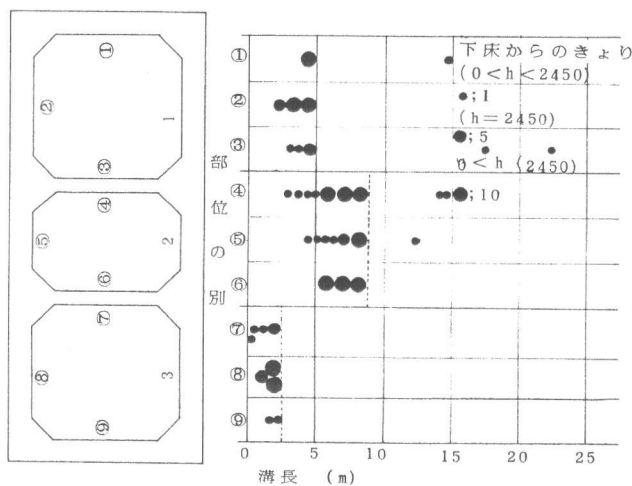


図-2 部位別ポップアウトひん度

溝道	工区		A		B	
	溝長		306.8 m		260 m	
	部位	径別	部位	径別	部位	径別
1	外壁	L	(12)	8	(250)	5
	上床	M	(32)	23	(429)	171
	内壁	S	(21)	34	(206)	709
	小計			65		885
2	外壁	L	(14)	10	(112)	4
	上床	M	(49)	33	(424)	157
	内壁	S	(20)	40	(127)	502
	小計			83		663
3	外壁	L	(47)	16	(346)	1
	上床	M	(34)	58	(105)	109
	内壁	S	(54)	71	(187)	528
	小計			145		638
計				293		2,186

(注) 大:径50mm以上 小:20mm以下 中:20~50mm

打設年月	工区	径別	調査年月				変動量			
			55.9	55.12	56.3	56.9	2-1	3-2	4-3	4-1
49.12	A	L	34	37	37	38	3	0	1	4
		M	114	132	133	147	18	1	14	33
		S	135	149	149	151	14	0	2	16
50.12	B	L	3	3	3	3	0	0	0	0
		M	117	117	117	129	0	0	12	12
		S	318	377	446	604	4	0	23	27

表-4 ポップアウトの径別経時変化

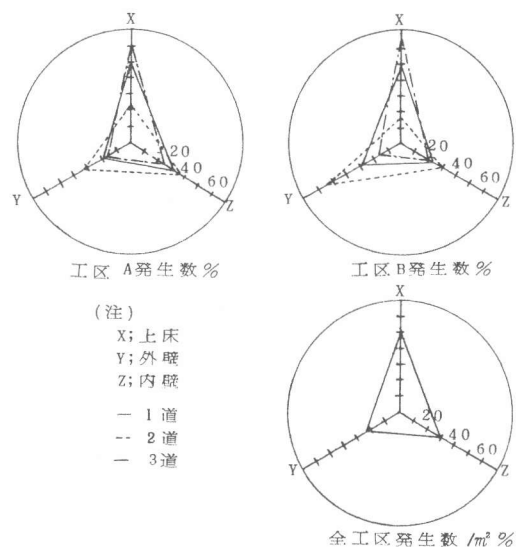


図-3 部位別(上床,壁)発生ひん度

(b) 36ブロックのうち、0.8個所/㎡以上が2ブロック、残り34ブロックはすべて0.4個所/㎡以下であり、全体の約65%に当る23ブロックはすべて0.1個所/㎡未満と少ない。

(c) 0.1個所/㎡未満はA工区12ブロック中11ブロック、D工区15ブロック中12ブロックを占め、前者には2ブロック、後者には1ブロック頻度0のところが含まれる。

② 発生部位別；(a)図-2は1ブロック（約26m長さ相当）内での発生頻度を例示したものである。多少の差異はあるものの各ブロックとも、その発生個所は類似したパターンを呈し偏在する。即ちブロック長さ26mのうち、約 $\frac{1}{3}$ の部分に集中し、しかも上床部分の頻度が高い。ポ

分布状態から推して、損傷原因となる骨材は使用骨材の極く一部分であり、コンクリートへの混入量が打設パッチによって可成り異なる。

念のため、溝内雰囲気条件（環境、通気、通風、湿度）の差による影響についてもチェックしたが、発生頻度との間に特に有意な相関性は認められなかった。

(b) 表-3及び図-3は各工区について溝道別、部位別（床、壁）にその発生頻度を整理したものである。各工区とも発生頻度は、上床>壁>下床の順で大きく全体では上床に50%以上集中しており、下床には殆んど発生を見なかった。骨材の比重差によるものと考えられる。なおB工区の第2溝道において壁面の頻度が大きいのは図-2の断面図からも知れるように床面積に比し壁面積が大きいせいである。

③ 大きさ別；ポップアウト部分の大きさは前述のように、最大で径78mm、深さ9mmと深さが小さいことから径別、大、中、小にまとめたのが表-4である。各工区及び溝道ともほぼ同様な傾向を示し全体で、径50mm以上のものが約1%、50~20mmが約40%、20mm以下が約59%である。各工区で大きさ別頻度に多少差は見られるものの径50mm以下のものが圧倒的に多発しているといえる。

④ 経時変化；図-4に最初の調査で得た発生頻度を100として1年間、発生個数の経時変化を工区、大きさ別に示した。

(a) 工区の別により増加率には差が見られるが経時変化の大きさは径が20mm以下のものでその大半を占める。

(b) 20mmを超える中及び大のポップアウトの増加は極めて少ない。

(c) 経時変化は夏季（3月~9月）に若干大きい。

3-2 RC建物コンクリートの剥り現象との比較、謀建物の柱、壁コンクリートの比較的狭い範囲（約12㎡）に於いて約80ヶ所のポップアウトを検出した。頭

初蛇紋岩系骨材によるものと調査分析したが、ドロ

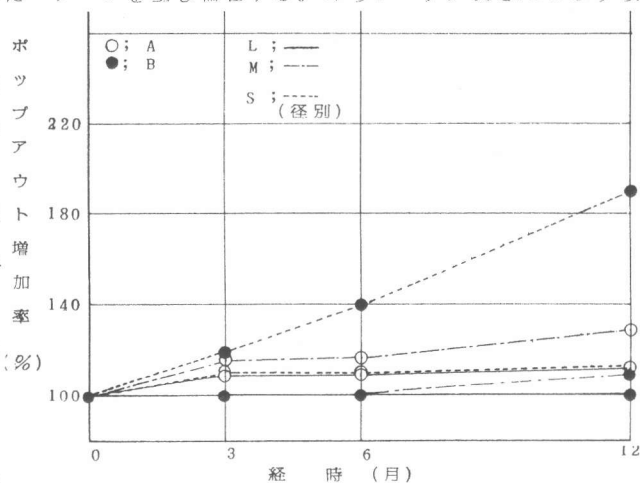


図-4 径別経時変化

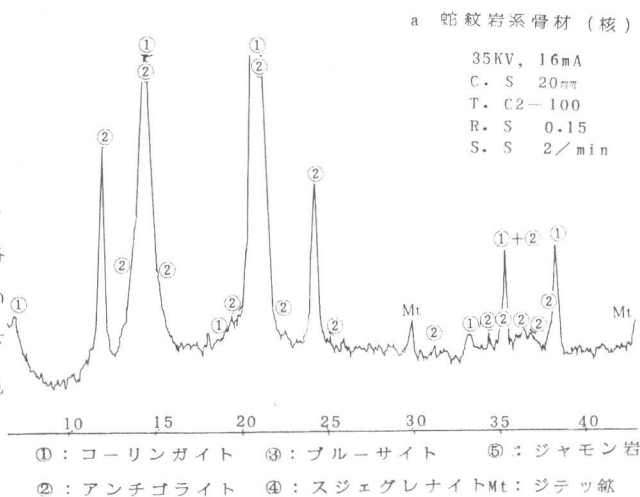


図5a 蛇紋岩系骨材（核）

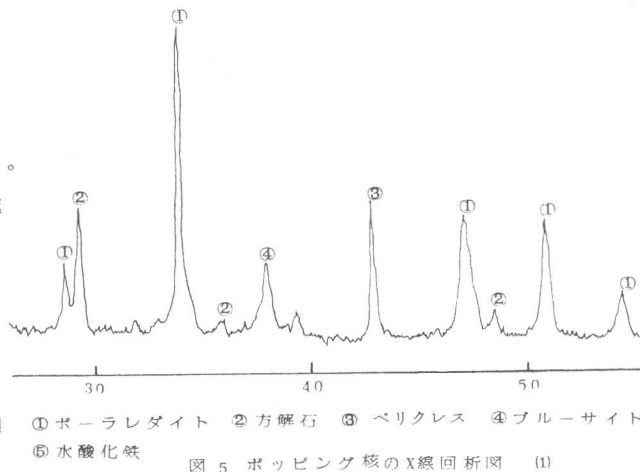


図5b ドロマイト系混入物（核）

マイト系の混入物が原因であることが判明した。現象面で明確な差異が見られないことから分析結果等について両者を比較する。

(1) 剥り現象

剥り現象の概要を表-5に示す。両者には経年数に約5年程度の違いがあり、形状は円錐体様で差は見られないが、蛇紋岩系骨材のポップアウトにくらべドロマイト系混入物のそれの方が大形であり、前者では最大 $\phi 80 \times 9$ （深さ）、 $\phi 50$ 以上のものは全体の約1%強に対し後者では最大 $\phi 240$ 強 $\times 35$ 、 $\phi 50$ 以上が70%弱である。膨張圧力に両者間に差があるようで、原因物質やポップング核内に於けるその含有量が異なることから十分予想できる（下記3-2(2)参照）

(2) ポップング核その組成及び変質

ポップアウト部分に見られる核、即ち蛇紋岩系骨材とドロマイト系混入物の外観は極めてよく似ており判別しにくい。強いてすれば後者は前者の風化が可成り進んだ状態でもろく、色調褐色は多少濃い目である。表-6には、X線回折（図-5参照）及び顕微鏡観察による分析結果である両ポップング核の鉱物組成を概略示すが、共通物質としてブルーサイト（ $Mg(OH)_2$ 、鉄化合物及び方解石などを含むが、ドロマイト系混入物の場合、ボーランダイト（ $CaCO_3$ ）やブルーサイトの前駆物質である石灰（ CaO ）やペリクレス（ MgO ）が原因物質で、蛇紋岩系骨材の原因物質（ブルーサイトなど）とは異なる。両者の変質過程について考えられるところをまとめると図-6のようであり、ドロマイト系混入物は今のところドロマイトクリンカーかレンガと考える。

4. まとめ

蛇紋岩系骨材とドロマイト系混入物という原因のことなるコンクリートの類似した剥り現象についての調査結果について前者の場合の損傷はコンクリート表層に限られ軽微であるとした。またその変質機構から空気を遮閉すれば防止できることも知れたが

今後とも追跡したい。協力を得た東急建設に謝意を表します。

文 献

(1) 毛見虎雄、中川宗夫 骨材の安定性に関する一実験

第3回コンクリート工学年次講演会講演論文集 1981

(2) F. A. Mumpton, American Mineral 50 1893~1913(1965)

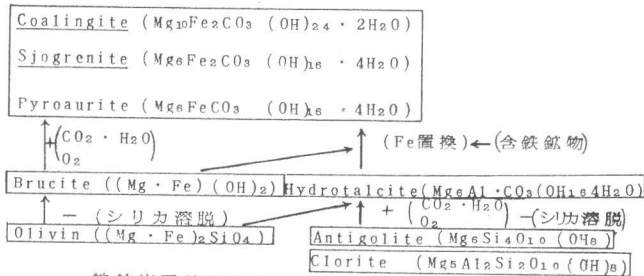
表-5 ポップアウト現象の比較

種別	蛇紋岩系骨材による現象		ドロマイト系混入物による現象	
項目	max	mini	max	mini
大きさ (mm)	78×68	20×20	248×243	20×20
径×(深)	×(9)	×(3)	×(3,5)	×(5)
径別 (mm)	0~20	20~50	0~20	20~50
ひん度 (%)	59,5	39,3	1,2	13,0

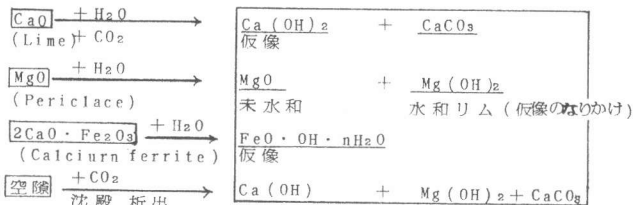
表-6 ポップング核鉱物の比較

蛇紋岩系の核			ドロマイト系の核		
鉱物名	×線回折分析	顕微鏡観察	鉱物名	×線回折分析	顕微鏡観察
コーリンサイト	+++	+++	ボーランダイト	+++	+++
アンチゴライト	+++	+++			
スジエグレンナイト	++	+	ペリクレス	++	++
ブルーサイト	-	+	ブルーサイト	+	+
ジャモン石	-	++	水酸化鉄グル	-	++
石英	+++	+++			
長石	+++	+++			
緑泥石	++	++			
輝石	-	+			
磁鉄鉱	++	++			
マイカ	+	-			
方解石	+	-	方解石	++	(+)

含鉄炭酸マグネシウム鉱物



— 蛇紋岩系鉱物の風化変質 —



— ドロマイト系鉱物の風化変質 —

図-6 原因鉱物の変化・概要 (1)