

論文

[1140] アルカリ骨材反応と RC 建物の変形

正会員 川上英男 (福井大学)

1. まえがき

屋根スラブ膨張が主因と考えられるRC3階建校舎のひびわれの実例を先に報告した。この程そのコンクリートコアを入手する機会があり、その骨材境界面にアルカリ骨材反応に特有の黒色リングや骨材のひびわれなどの変状を認めたところから、建物のひびわれの原因には気温変化の他、アルカリ骨材反応が考えられるに至った。ここではコアの変状、潜在膨張性及び熱膨張性についての調査結果を述べ、改めて建物の変形量やひびわれの挙動との関連を考察するものである。

2. 建物概要と経過

校舎は昭和44年度より46年度まで3期に別けて逐次連設された(図1参照)。コンクリート打設はいずれも冬期に行われた。

昭和50年3月、西棟(竣工後5年)の変形はサッシの施錠が困難になる程になった。南端屋根桁では幅8mm、柱では幅約2mmのひびわれが発見された。

同年12月、北棟(竣工後3年半)においては既に南面東部4スパンの屋根桁内端に上記同様の曲げ応力性ひびわれの発生を認めたが軽微であった。

昭和54年6月、屋根桁、柱、床スラブ及び腰壁のひびわれは西棟と同程度に発達していた(図2参照)¹⁾。

昭和57年8月及び58年1月の調査結果によると、それらのひびわれは屋根スラブの膨張が原因と考えられること、冬には北棟屋根スラブは東端で約8mm縮むが、柱の傾きから算定した膨張量は南側で約20mm、北側では11.5mmを残すこと、桁や柱のひびわれ幅も冬には減少するものの約80%が残留することなどが明らかとなった¹⁾。ひびわれ成因の一つとして厳寒期施工から来る温度膨張と夏冬間の温度変化(室内柱表面温度8-28℃)の繰り返しのよって、ひびわれ部の残留変形の蓄積や過度の応力に因るクリープ変形が推測されたものの、屋根スラブ膨張については温度変化だけを想定すると70-100℃という実状にそぐわない値となることも指摘された。

昭和62年には上記のひびわれ状況に特に大きい変化は認められなかった。

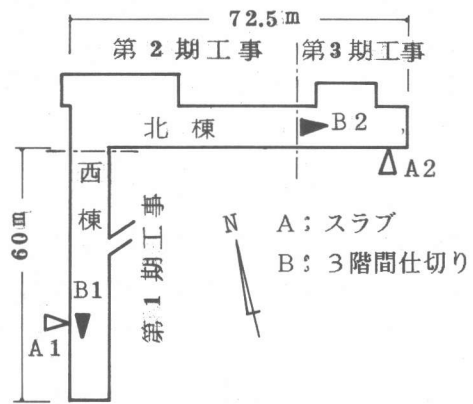


図1 建物平面とコア採取箇所

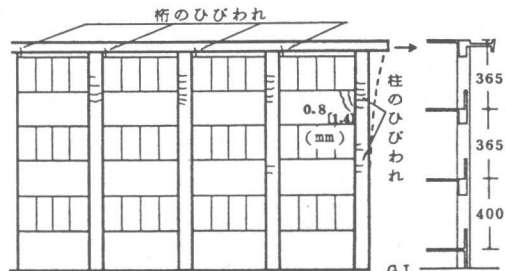


図2 北棟南面東部のひびわれ

3. コアの状況

西棟と北棟の屋根スラブ（図1、A）と3階間仕切り壁（図1、B）それぞれから直径4.4 cmのコア3本と直径10 cmのコア1本ずつ計16本を入手した。コンクリート部分の長さは12～19 cmである（図3参照）。

コアの側面に見える粗骨材は安山岩が約6～7割を占め、その他は花こう岩、片麻岩であって、安山岩の断面には生成時にガスの発生した跡と見られる粒状の小孔のあるものも多数見受けられる。

スラブのコアに特異なのは粗骨材中にひびわれが認められることである。そしてそのひびわれがモルタル中に伸展しているものもかなり見受けられる（写真1参照）。写真1下端の折損断面には写真2に示すように白色ゲル状物質が全断面に認められ、この面はコア採取以前に既に分離していた可能性もある。また粗骨材の境界層には黒色リングが認められる。これらリングの拡大写真の例を写真3に示す。一方、コアの側面では、このように肉眼で明瞭に認められる黒色リングは比較的少ない。

これらの変状は、西棟及び北棟共スラブコアに多いところから、屋根スラブ全般に及んでいるものと考えられ、3階間仕切り壁では殆ど生じていないか、又は軽微に止どまるものと考えられる。屋根スラブは新築当初はモルタル防水仕上げであったため、スラブコンクリートへの雨水の浸透や日射による温度上昇が間仕切り壁より著しい条件にあったことがこうした変状を招いた原因と考えられる。

粗骨材境界面に黒色リングを生じた部分の骨材内部、リング部、モルタル部およびゲル部の走査型電子顕微鏡写真とX線分析装置による分析結果を写真4に示す。

4. 潜在膨張性試験

屋根スラブ膨張の原因解明にはコンクリートの潜在膨張性の有無を確かめる必要がある。

スラブコンクリートは既にアルカリ骨材反

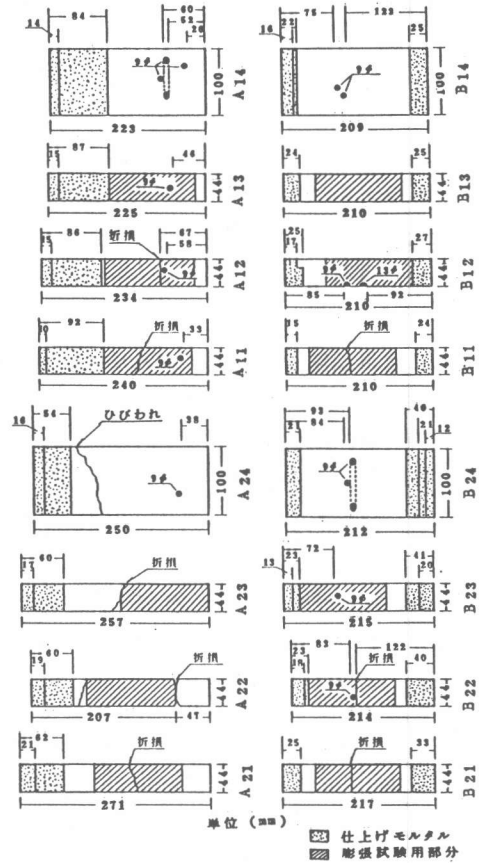


図3 コア

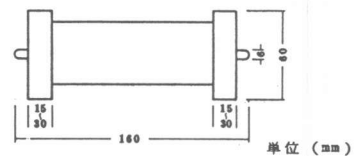


図4 長さ変化測定用試験体

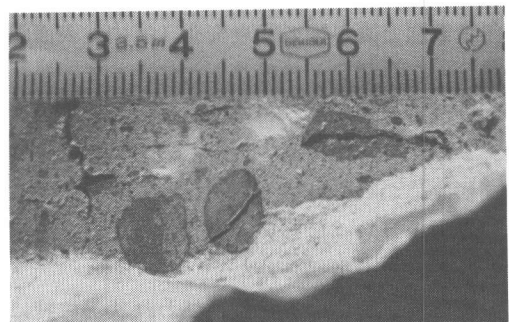


写真1 スラブコア（A24）の側面

応をほぼ終了しているものとするれば、そのコアは膨張を示さないか又は僅少の膨張に止どまり、壁コンクリートは未反応に近いとすれば設定条件によっては顕著な膨張を示すものと思われる。そこでこれらコア（径4.4cm、長さ12cm）のコア試験体（図4）12本を湿度100%の条件下に置き、その長さ変化をダイヤルゲージによって計測した。温度は16週まで8本は18℃、4本は40℃とした。前者については更に32週まで実験を継続し、6本は9週間を40℃とした。折損コアはセメントで折損部を接着して用いた。実験開始後、約2週間、吸湿に因る長さ変化が落ち着いたと見られる時を基準とした長さ変化率を表1に示す。

16週では、膨張を示さないか又は極めて少ない（0.006%以下）ものが殆どであるが3本は顕著な膨張を示した。32週では40℃下の6本の内、5本は0.02%以下に止どまったが、1本は0.123%の膨張を示した。

この実験の条件下では壁コアの中の1本は著しい膨張を示したものがある。その他のコアでは特にスラブと壁のコアの間に大きい差は見られなかった。壁コアについていえば全部が一様に膨張するものでもなく、部分的にかなりのバラツキがあることが想定される。

5. コアの熱膨張試験

前述の長さ変化測定用試験体を密封し、所定の温度環境に6時間以上保存した時の長さ計測結果から熱膨張係数を算定した。温度範囲は11℃-47℃である。結果を表2に示す。

熱膨張係数は試験体により0.74-0.99（ $10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ ）とバラツキが見られるのは各試験体内の骨材量の差が寄与しているものと思われる。平均は0.84（ $10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ ）である。

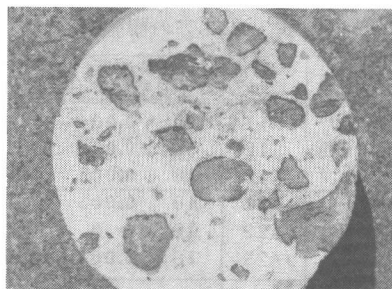


写真2 スラブコアの断面

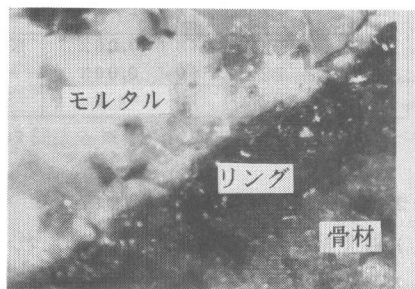


写真3 骨材境界面の黒色リング

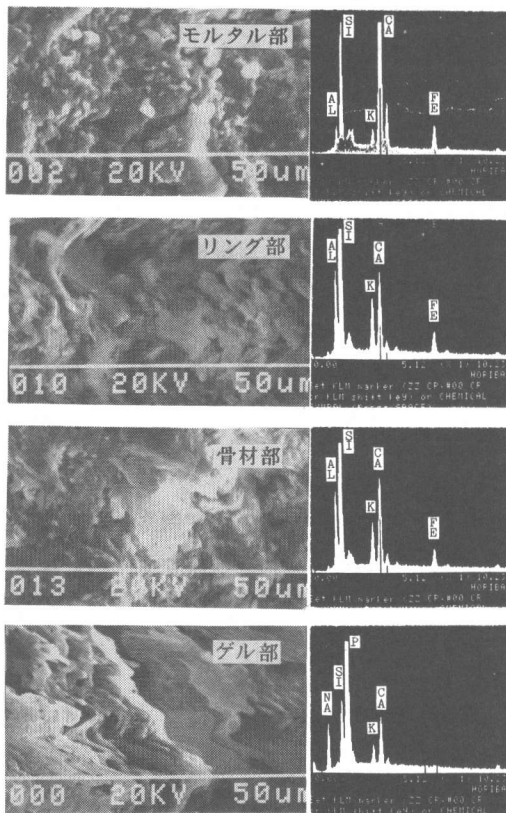


写真4 モルタル、リング、骨材及びゲルの電子顕微鏡写真（左）とX線分析結果（右）

表1 コアの膨張率

部材	棟	試験体記号	16週時		32週時	
			温度(℃)	膨張率(%)	温度(℃)	膨張率(%)
スラブ	西	A11	40	0.004	—	—
		A12	18	0.017	※※	0.022
		A13	18	0.004	※※	0.013
	北	A21	40	0.005	—	—
		A22	18	≈ 0	※※	0.011
		A23	18	0.006	※	0.015
壁	西	B11	18	≈ 0	※※	≈ 0
		B12	18	0.016	※※	0.017
		B13	40	≈ 0	—	—
	北	B21	18	0.062	※※	0.123
		B22	40	0.003	—	—
		B23	18	≈ 0	※	0.004

※※ 全期中9週間 40℃, ※ 全期間 20℃

表2 コアの熱膨張係数

試験体記号	α (10 ⁻⁶)
A12	0.74
A13	0.75
A22	0.92
B11	0.99
B12	0.80
平均	0.84
標準偏差	0.11

6. 考察

1) 柱や桁のひびわれの状況からこれら部材の屋根スラブの変形に対する拘束効果は少ないものと考えられる。前述のコアの熱膨張率から北棟の長さ72.5mの1/2に対して25℃の温度変化に対応する長さ変化を求めると7.6mmとなり、建物の変形挙動(8mm)にほぼ対応する。コンクリート打設が冬期ということから夏の温度上昇を30℃を見込むと長さ変化は9.1mmとなる。

2) 冬期に残留している伸びがアルカリ骨材反応によるものと見なすと、その歪み度は約0.06%となる。これはコアの潜在膨張試験で得られた値の範囲内に入るものとなっている。即ち、屋根スラブ膨張に起因するひび割れの原因は温度変化及びアルカリ骨材反応にあるものと見なされるに至った。

3) 竣工後3年では屋根桁端にひびわれが発生しても、その程度は軽微であった。5-10年に至ると南面ではアルカリ骨材反応による膨張は約0.06%に達した。変形が大きくなるに伴って 架構自体の変形拘束効果が減少したことにより、温度変化に因る伸縮は0.022%を示すに至った。尚、10年以降では屋根にシート防水工事が行われたこともあってか、ひびわれに特に大きい変化は認められていない。

7. 結び

本研究によってコアの潜在膨張性と熱膨張係数が明らかとなったことから、建物の変形を定量的に考察することが可能となった。即ち、屋根スラブのアルカリ骨材反応による膨張は約0.06%、温度変化に因る伸縮は0.022%と見なされるに至った。

謝辞

本研究には福井大学文部技官 脇敬一氏のご協力を得ました。ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) 川上英男：気温変化によるRC建物のひびわれ、第5回コンクリート工学年次講演会講演論文集、1983、pp. 253-256