

報告 コンクリートスラブの表面剥離に関する実験

五十嵐 賢次^{*1}・飯野 良夫^{*2}・石井 正憲^{*2}・阿部 サチ^{*2}

要旨：コンクリートスラブにおいて、広い面積の左官工事にはトロウエル等の機械ゴテを用いて仕上げを行うことがある。用途によっては直均し仕上げも多く採用され、時間が経過すると表面が剥離する不具合が散見される。これらの現象について、その挙動の推測と対策を講じるために検証実験を行った。機械ゴテ仕上げのタイミングは左官工の経験によるところが大きいが、実験結果より過度に仕上げを行うことで表層部が剥離する危険性が高まる可能性があるかと推測された。

キーワード：コンクリートスラブ、直均し仕上げ、表面剥離、機械ゴテ

1. はじめに

倉庫や工場、あるいはスーパーマーケット等の建物では、経済的かつ施工の省力化としてコンクリートスラブを直均し仕上げ（コンクリートの表面を金ゴテで仕上げる施工法）とすることが多い。これら用途の建物では間仕切り壁が少なく、広い床面積となるために左官工が直接ゴテ押えするのではなく、ハンドトロウエルあるいは騎乗式トロウエル等の機械ゴテを用いている。

上記のようなスラブを直均し仕上げとした建物において、竣工後、時間が経過したのちに、コンクリートスラブの表層剥離による不具合が散見された。

これらの挙動については幾つかの推測が考えられるが、今後同様の建物の施工に対しても不具合を発生させないために、実際に床仕上げの検証実験を行ったので報告する。

2. 不具合の状況

具体的に不具合のあった物件の概要を表-1 に示す。ともに倉庫の2件で、共通点として1)膨張材を使用、2)夏季の打込み、3)騎乗式トロウエルによる均し、が挙げられる。表面が剥離した様子を写真-1 に示す。表層部は薄皮状に硬く剥がれ、下部コンクリートにはやや粉末状のものが見られる。関係者からの聞き取り調査等から、『騎乗式トロウエルで仕上げを行った際に、トロウエルの羽根との摩擦熱により表面層のコンクリート硬化が促進されて表面硬化層が形成された。この表面硬化層によりブリーディング水やレイタンスの元となる石灰石や骨の微粒分が塞ぎ止められ、その結果として表面硬化層の数ミリ下方に脆弱層が生じた。』との要因が推察された。

3. 実験計画

表-1 不具合の概要

竣工年	用途	打込み時期	中むら取り・仕上げ押えの使用機器	膨張材	床表面仕上げ	不具合報告時期
H25.8	倉庫	H25.6	騎乗式トロウエル	有	浸透型硬質床仕上げ材	H26.7
H24.10	倉庫	H24.6	騎乗式トロウエル・ハンドトロウエル併用	有	散布型硬質床仕上げ材	H27.12



写真-1 表面剥離の状況

1区画当たり 4.0m×2.38m(ハンドトロウエル仕上げの場合)、4.0m×4.75m(騎乗式トロウエル仕上げの場合)のスラブを8区画設け、スラブの仕上げタイミングや表層の状態などを調査する。実験は平成28年4月18日に新潟市内で行った。

3.1 スラブ仕様

コンクリートは不具合のあった現場に合わせて、品質基準強度を $F_{q24}(N/mm^2)$ とした。

調査管理強度は、4月の実験であることから構造体強度補正値の $3N/mm^2$ を加算して $F_{m27}(N/mm^2)$ として、27-15-25Nのコンクリートを採用した。実験を行ったスラブ断面を図-1 に示す。スラブ厚は150mm、配筋はD10@200のシングル配筋とした。

*1 新潟工科大学 工学部建築学科助教 博士（工学）（正会員）

*2 株式会社福田組建築部技術部

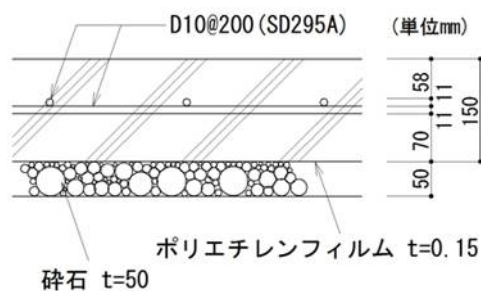


図-1 スラブ断面図

3.2 パラメータ

実験パラメータは4種類とする。当初、パラメータの設定については、膨張材の有無で大きく2グループに分けたが、膨張材の有無は実験結果に影響がなかったため、膨張材なしの4種類（実験区画5～8）の結果について述べる。図-2に実験区画を、表-2に実験パラメータを示す。

騎乗式トロウエルの影響を確認するために、ハンドトロウエルのみで中むら取り（アマ出し、ムラ直しとも言ふ：表面の粗骨材を沈め、セメントペーストを表面に浮き出させる作業）・仕上げを行ったスラブと、騎乗式トロウエルのみで中むら取り・仕上げを行ったスラブでグループ分けを行った。仕上げ開始までの時間については、仕上げ開始時におけるコンクリートの硬化状況が表面剥離に影響しているのではないかとの見解が左官業者、仕上げ材メーカーなどからの聞き取り調査で挙がったことからパラメータとして設定した。

仕上げは鏡面仕上げとした。これは騎乗式トロウエルやハンドトロウエルといった機械ゴテを使用し、コンクリートスラブの表面が鏡面のような状態になるまで繰り返しコテ仕上げを行うものである。仕上げを開始するのにベストと考えられるタイミングを0分とし、No.6, 8スラブではベストと考えられるタイミングから60分経過した後に仕上げを行うことで、硬化状況による影響を確認する。ベストタイミングについては、客観的な判断基準が無いことから左官工の判断とした。（各スラブの仕上げ開始時の貫入抵抗値などについては、4.2 凝結時間試験の表-5に示す。）

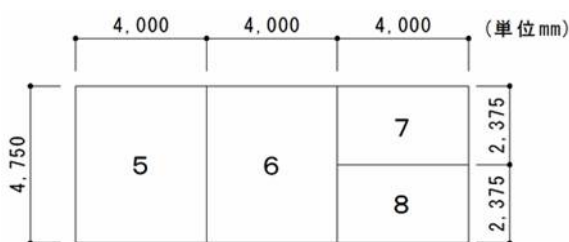


図-2 実験区画

表-2 実験パラメータ

No.	膨張材	中むら取り・ 仕上げ押え の使用機器	使用機器の 接地圧 (上載荷重 /羽根面積)	表面 仕上げ	仕上げ押え 開始までの 時間(分)	実験 面積	
5	無	騎乗式 トロウエル	6.7kN/m ²	鏡面* 仕上げ	0	4.0m × 4.75m	
6					60		
7		ハンド トロウエル	3.2kN/m ²		0	4.0m × 2.38m	
8					60		

※鏡面仕上げ：コンクリートスラブ表面が鏡面のような状態になるまで繰り返しコテ仕上げを行った仕上げ

3.3 調査・測定項目

(1) ブリーディング試験

トロウエル仕上げのタイミングを見極める指標の一つになるかどうかの検証のため、試験を行う¹⁾。

(2) 凝結時間試験

トロウエル仕上げのタイミングを見極める指標の一つになるかどうかの検証のため、プロクター貫入試験を行う²⁾。また、凝結時間試験と同時にゴルフボールを落とした跡の計測を行う。

(3) 赤外線サーモグラフィカメラによる温度計測

コンクリートスラブ表面の温度分布を赤外線サーモグラフィカメラにより計測する。

(4) デジタルマイクロスコープによる観察

仕上げ面やその下の層を顕微鏡で観察することにより、硬化層や脆弱部があるのかどうかや表層部がどのような状態になっているのかを確認する。

(5) 表層部の引張試験

コンクリート表層部の引張強度を確認する。脆弱部があるのであれば、そこで壊れると仮定し、打込み後28日経過したコンクリートの表面を打診検査した後、無作為に引張試験を行う。試験方法は、外壁タイルの引張試験に倣う³⁾。

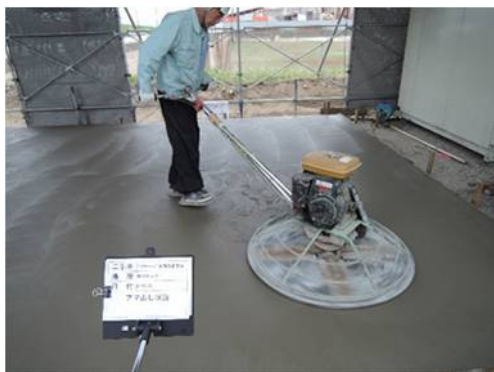
3.4 仕上げ手順

- 1) 打込み後、棒形振動機をかけながら、締固め、荒均しをする。
- 2) 定規均しをする。
- 3) 左官工がアルミゲタを履いてスラブ上面に乗り、軽くアルミゲタ跡がつく程度までコンクリートが締まるのを待つ。
- 4) 中むら取りをする。木ゴテ代わりとしてトロウエルに円盤を付けて、2～3回行う。
- 5) 仕上げ押えをする。ハンドトロウエルの場合は3～4回行う。騎乗式トロウエルの場合は、3～5回とする。

4. 実験結果

実験は4月18日に行い、天気は晴れのち曇り、最高気

温は 18.7℃，最低気温は 10.5℃であった。打込み時間は 8 時 30 分～10 時 20 分(1 時間 50 分)，仕上げ時間は打込み終了後 8～10 時間 40 分の時間を要し，仕上げ終了時刻は 21 時であった。床仕上げの様子を写真－2，写真－3 に示す。



写真－2 ハンドトロウェルによる中むら取り



写真－3 騎乗式トロウェルによる仕上げ

4.1 ブリーディング試験

No.7, 8 スラブのブリーディング試験結果および No.5, 6, 7, 8 スラブのコンクリート打込み終了から 1 回目の中むら取り開始までの時間を図－3 に示す。ブリーディング試験は No.7, 8 スラブにて実施し，JIS A 1123 コンクリートのブリーディング試験方法に従って行った。
(No.7, 8 スラブは面積が小さいことから，2 種類で 1 バッチのコンクリート打込みとなったため，試験は No.7, 8 スラブについて 1 回とした。) ブリーディング試験では，ブリーディング量が 180 分後で $0.116\text{cm}^3/\text{cm}^2$ ，210 分後～270 分後(試験終了)で $0.118\text{cm}^3/\text{cm}^2$ となっており，試験終了前の 1 時間はブリーディング水の増加はほとんど無かった。一方，機械ゴテによる中むら取り開始時間は，打込み終了から最も早い No.7, 8 スラブで 238 分後，最も遅い No.5 スラブで 304 分後となっていることから，機械ゴテ掛けにより表面硬化が促進されてブリーディング水やレイタンスが表層で塞ぎとめられるのではという推測は考えにくいと思われる。

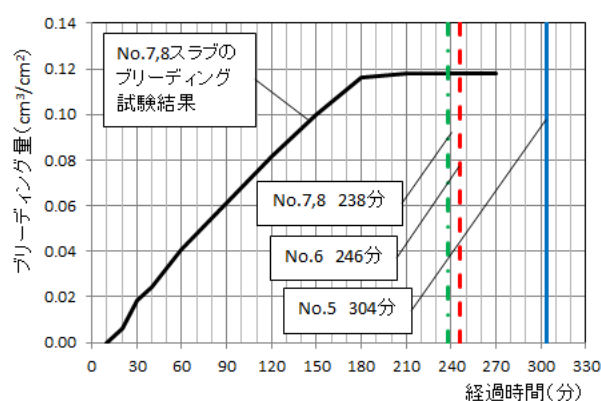
4.2 凝結時間試験

凝結時間試験の結果を表－3，図－4 に示す。凝結時間の始発は 6 時間前後で，終結は 8 時間程度であった。始発から終結までに要した時間は 2～3 時間であった。また，コンクリートの凝結時間試験と同時にゴルフボールを落とした跡の直径の計測を行った。計測の様子を写真－4 に示す。落下高さはスラブ面より 1m とし，落下のタイミングは 1 回目の中むら取り時とした。

1 回目の中むら取り時のゴルフボール跡の直径とプロクター貫入試験結果を表－4 に示す。スラブのゴルフボール跡の直径は 22～26mm，貫入抵抗は $0.8\sim1.2\text{N}/\text{mm}^2$ であった。本実験では，中むら取り 1 回目は，全てのスラブにおいて貫入抵抗の始発 ($3.5\text{N}/\text{mm}^2$) より前に行っていた。

ゴルフボールを落とした跡の計測では，1 回目の中むら取りのタイミングは，騎乗式トロウェルを使用する場合でボール跡の直径が 22～26mm 程度，ハンドトロウェルを使用する場合でボール跡の直径が 25mm 程度であった。また，その時のスラブ表面は，ブリーディング水が引き始めている状態であった。

1 回目の仕上げ開始時のゴルフボール跡の直径とプロクター貫入試験結果を表－5 に示す。仕上げ開始時にはコンクリートの硬化がある程度進んでおり，ゴルフボールの落下跡では仕上げのタイミングの傾向は見出せなかった。一方，プロクター貫入試験値では，ベストタイミングでの仕上げ時の抵抗値は $17.3\text{ N}/\text{mm}^2$ (No.5)， $12.0\text{N}/\text{mm}^2$ (No.7)だったのに対し，ベストタイミングから 60 分経過した時の抵抗値は $31.4\text{ N}/\text{mm}^2$ (No.6)， $38.4\text{ N}/\text{mm}^2$ (No.8)であった。



図－3 ブリーディング試験結果
および各スラブの中むら取り開始時間

表－3 凝結時間試験結果

No.	膨張材	凝結時間		始発から終結までの時間
		始発	終結	
5	無	6h45m	9h40m	2h55m
6		5h45m	7h55m	2h10m
7・8		5h55m	8h35m	2h40m

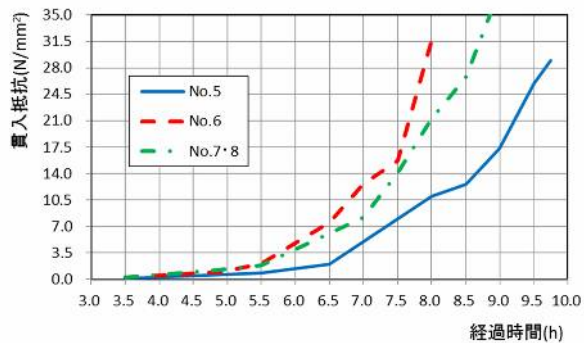


図-4 凝結時間試験結果



写真-4 ゴルフボール跡の計測

表-4 1回の中むら取り時のゴルフボール落とし
およびブロッカー貫入試験結果

No.	中むら取りの 使用機器	ボール跡 直径(mm)	貫入抵抗 (N/mm ²)
5	騎乗式トロウエル	26	0.8
6	騎乗式トロウエル	22	1.0
7	ハンドトロウエル	25	1.2
8	ハンドトロウエル	25	

表-5 1回目の仕上げ開始時のゴルフボール落とし
およびブロッカー貫入試験結果

No.	仕上げ押えの 使用機器	仕上げ押え 開始までの 時間(分)	ボール跡 直径(mm)	貫入抵抗 (N/mm ²)
5	騎乗式トロウエル	0	16	17.3
6	騎乗式トロウエル	60	14	31.4
7	ハンドトロウエル	0	12	12.0
8	ハンドトロウエル	60	13	38.4

4.3 スラブ表面の温度分布

スラブ表面の温度分布は、赤外線サーモグラフィカメラにより計測した。騎乗式トロウエル使用時のスラブ表面の温度分布を写真-5に示す。中むら取り、仕上げ時共に騎乗式トロウエルを使用した場合、トロウエルをかけた直後の位置と他の位置との温度差は2℃程度であった。ハンドトロウエルを使用した場合、トロウエルをかけた直後の位置と他の位置との温度差は1℃程度であった。騎乗式トロウエル、ハンドトロウエル共に温度の上

昇は一時的で、数十秒で元の温度に下がった。

このことから、トロウエルの羽根との摩擦熱により、表面層のコンクリート硬化が促進されて表面硬化層が形成されるとは考えにくいと推察される。

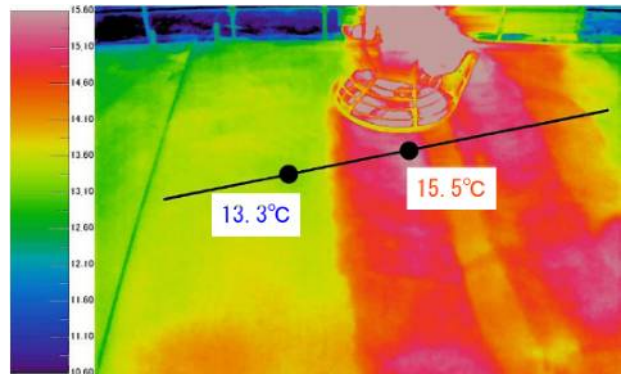


写真-5 赤外線サーモグラフィによる表面温度分布
(騎乗式トロウエル 中むら取り時)

4.4 打診検査

打込みから約3週間後の5月9日、約1ヶ月半後の6月8日、約2ヶ月後の6月14日に打診棒による打診を行った。打込みから約3週間後の5月9日の打診では、肌分かれは確認できなかったが、打込みから約1ヶ月半後の6月8日と約2ヶ月後の6月14日の打診では肌分かれが確認された。なお、肌分かれとは、打診棒による打診で打診音に変化がある箇所と定義した。打診検査時には、表面の膨れ・ひび割れ・剥離は確認されていない。

打診検査結果を表-6、図-7に示す。騎乗式トロウエルを使用したスラブのNo.5,6に肌分かれが発生した。ハンドトロウエルを使用したスラブでは肌分かれは発生しなかった。

表-6 肌分かれ箇所数

No.	中むら取り・ 仕上げ押えの 使用機器	H28.5/9 3週間後	H28.6/8 1ヶ月半後	H28.6/14 2ヶ月後	合計
5	騎乗式トロウエル	0	3	4	7
6	騎乗式トロウエル	0	4	14	18
7	ハンドトロウエル	0	0	0	0
8	ハンドトロウエル	0	0	0	0

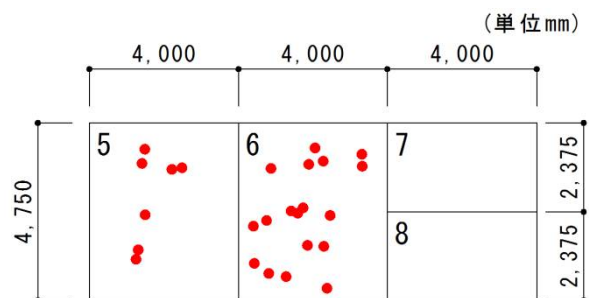


図-5 肌分かれ発生位置

4.5 デジタルマイクロスコープによる観察

打込みから約3週間後の5月10日に打込みしたスラブのコア抜きを実施した。スラブ毎に2箇所コアを採取し、コアの表面を観察した。コアの直径はφ50とし、長さはコンクリートスラブ厚とした。目視ではコアの表層に剥離発生の原因となるような脆弱層と見られるものは確認できなかった。

また、打込みから約1ヶ月半後の打診検査で肌分かれが確認された為、約2ヶ月後の6月14日に再度コア抜きを実施した。コアを採取したのはNo.5,6のスラブで肌分かれがある箇所とした。No.5,6のスラブは騎乗式トロウエルを使用しており、スラブの表面から5mm程度の位置で肌分かれていることが確認された。写真-6に肌別れた部位のコアを示す。

5月10日にコア抜きをした供試体を半分に割り、デジタルマイクロスコープにより、表層を観察した。No.5, No.7スラブの表層の撮影画像を写真-7に示す。騎乗式トロウエル・ハンドトロウエル共に、スラブ表面から0.5～0.9mm程度の深さまで黒く変色している様子が確認された。



写真-6 肌分かれ部のコア抜き採取

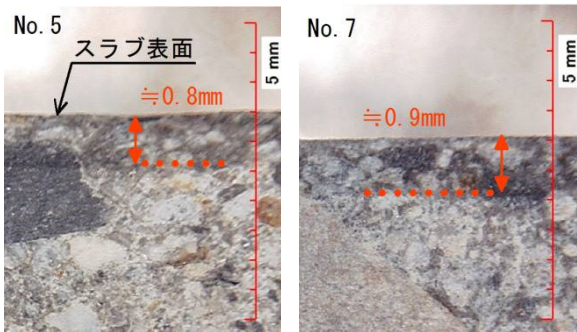


写真-7 デジタルマイクロスコープによる表層部

4.6 表層部の引張試験

打込みから約1ヶ月後の5月16日に、外壁タイルの引張試験に倣い、表層部の引張試験を行った。打込みから約3週間後の5月9日の打診で肌分かれが確認できなかった為、試験は肌分かれがない状態でスラブ毎に3箇所で行った。試験結果を表-7に示す。試験結果では、破断面はスラブ表面から0.2～8.8mmの位置であり、平均強度は1.53～3.04N/mm²であった。また、No.6スラブでは接着面で剥離し、厚さが0.2mmとなった箇所があった。

試験は肌分かれがない状態でスラブ毎に3箇所で行った。試験結果を表-7に示す。試験結果では、破断面はスラブ表面から0.2～8.8mmの位置であり、平均強度は1.53～3.04N/mm²であった。また、No.6スラブでは接着面で剥離し、厚さが0.2mmとなった箇所があった。

表-7 引張試験結果

No.	強度 (N/mm ²)	平均 (N/mm ²)	破断厚さ (mm)
5	0.67	1.53	6.3
	1.67		6.5
	2.25		6.3
6	2.49	2.18	6.8
	2.1		8.0
	1.94		0.2
7	2.51	2.68	2.0
	3.06		4.0
	3.01		2.5
8	2.98	3.04	1.8
	2.4		3.0
	3.74		8.8

5. 追加実験

4月の本実験の結果を受けて、6月30日に同じ敷地内で追加実験を行った。コンクリート仕様は同じとして、実験パラメータは表-8の4種類とした。また実験区画を図-6に示す。

騎乗式トロウエルによる仕上げの回数を、仕上げ回数の少ない2回と仕上げ回数の多い5回とし、仕上げ回数の違いが表層部に与える影響を確認する。また、ハンドトロウエルによる仕上げの回数を5回以上とし、騎乗式トロウエルとの違いを確認する。

表-8 追加実験パラメータ

No.	中むら取り タイミング	中むら取りの 使用機器	仕上げ押えの 使用機器	面積	表面 仕上げ
9	通常	ハンド トロウエル	騎乗式トロウエル (2回)	2.50m × 2.95m	鏡面 仕上げ
10			騎乗式トロウエル (5回)	2.50m × 2.95m	
11	遅い		ハンドトロウエル (5回以上)	2.86m × 2.38m	
12	早目		ハンドトロウエル (5回以上)	2.95m × 2.38m	

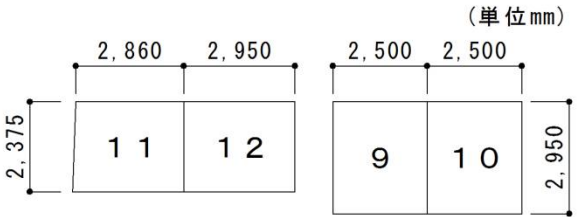


図-6 追加実験区画

打込みから約1ヶ月後の7月28日と8月2日に打診棒による打診を行った。打診の結果、No.9,10,11,12のスラブで肌分かれが確認された。表-9、図-7に肌分かれの箇所数・位置を示す。騎乗式トロウエルを使用したスラブは仕上げ回数が多いNo.10スラブでより多くの肌分かれが生じており、仕上げ回数が少ないNo.9スラブでは肌分かれが少なかった。ハンドトロウエルを使用したNo.11,12スラブは、肌分かれが生じたものの、騎乗式トロウエルを使用した仕上げ回数が多いNo.10スラブに比べると少なかった。

表-9 追加実験肌分かれ箇所数

No.	仕上げ押えの使用機器	仕上げ押え回数	H28.7/28 1ヶ月後	H28.8/2 1ヶ月後	合計
9	騎乗式トロウエル	2回	0	1	1
10	騎乗式トロウエル	5回	4	4	8
11	ハンドトロウエル	5回	0	2	2
12	ハンドトロウエル	7回	0	2	2

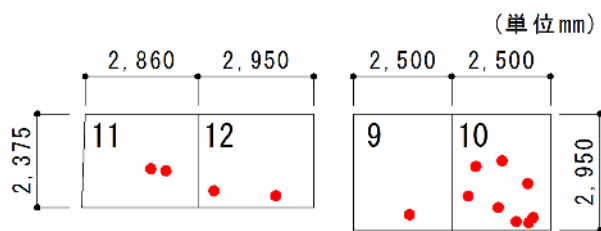


図-7 追加実験肌分かれ発生位置



写真-8 No.10スラブのコア抜き

打込みから約2ヶ月後の8月24日にコア抜きを実施した。

スラブ毎に2箇所コアを採取し、コアの表面を観察した。No.9,10,11,12のスラブは肌分かれ箇所を採取した。No.10スラブから採取したコアの画像を写真-8に示す。No.9,10,11,12スラブの肌分かれ部から採取したコアは、スラブの表面から5mm程度の位置で肌分かれしており、4月の実験で肌分かれを確認したコアと類似した肌分かれ状況であった。

6. まとめ

本実験、追加実験により得られた知見は以下の通りとなる。

- (1) 膨張材の有無に関わらず、スラブ表面から5mm程度の位置で肌分かれが生じたことから、膨張材の使用は肌分かれに影響を与えないと考えられる。
- (2) 中むら取り(アマ出し、ムラ直し)のタイミングは、コンクリートスラブ表面に溜まったブリーディング水が引きはじめたときとする。具体的には、ゴルフボール落としであれば、ゴルフボール跡の直径が25mm程度を目安とする。
- (3) 赤外線サーモグラフィの撮影により、トロウエル掛けによる温度上昇は、騎乗式トロウエルで2℃前後、ハンドトロウエルで1℃前後と低いので、摩擦熱でコンクリートが硬化してブリーディング水やレイタンスが塞ぎ止められるという推測は考えにくい。
- (4) 仕上げに騎乗式トロウエルを使用した場合は、ハンドトロウエルを使用した場合に比べて肌分かれが生じ易い。またハンドトロウエルを使用した場合でも、仕上げ回数が増えると肌分かれが生じており、過度な仕上げは、肌分かれの危険性が高まる。

参考文献

- 1) JIS A 1123 コンクリートのブリーディング試験方法, 2011
- 2) JIS A 1147 コンクリートの凝結時間試験方法, 2007
- 3) 建築工事標準仕様書・同解説 JASS19 陶磁器質タイル張り工事, 日本建築学会, 2012