

# 論文 左官技能の伝承に資するコンクリート床仕上げ技能の可視化に関する研究

陽田 修\*1・島田 康司\*2・正木 守\*3・村上 祐貴\*4

**要旨**：左官工は高齢化が著しく進行し人材確保が課題となっている。左官技能は「見て覚える」を主体とした技能継承方法のため、技能獲得に年月を要し若手入職者が定着しない要因の一つとなっている。本研究では、早期に技能獲得が可能な教育手法の確立と省人化を図るロボット技術への展開を最終的な目標とし暗黙知の左官技能を可視化することを目的とした。コンクリート床仕上げ技能について、コテに作用する鉛直力、水平力、モーメントとコテの傾きを計測し仕上げ面の品質を評価した。これにより、密実な仕上げ面を形成するには、鉛直力を大きく、更に持続して作用する動作が密実性を向上するうえで重要であることが分かった。

**キーワード**：技能の可視化，左官技能，コンクリート床仕上げ

## 1. はじめに

我が国全体で少子高齢化が深刻化するなか、建設業に従事する技能者は、55歳以上が約34%、29歳以下が約11%と高齢化が進行し、次世代への技術継承が大きな課題となっている<sup>1)</sup>。建設業における専門職種の中でも、コテを用いてコンクリートの床を平らに均す技能や壁面に漆喰やモルタル等を塗り仕上げる技能を持つ左官工は、少子高齢化の進行により就業者数が最も多かった1975年の約30万人から、2019年には約2万人と1/10以下に減少しており、若手入職者の確保・定着が喫緊の課題となっている<sup>2),3)</sup>。また、左官技能は「見て覚える」ことを主体とした徒弟的継承法のため、技能獲得に長い年月を要し、若手入職者が定着しない要因の一つとなっている。このような背景から、左官技能を対象に若手入職者が早期に技能獲得可能な教育手法の確立とロボット技術への展開を最終的な目標とし、本稿では、コンクリート打込み後に行う「コンクリート床仕上げ技能」を対象に、職人が体感的に習得した暗黙知の左官技能を数値的に可視化することを目的とした。

## 2. 仕上げ動作の数値化

### 2.1 実験概要

普段からコンクリート床仕上げを行っている職人と未経験者を被験者として、床仕上げ作業時、金ゴテに作用する力と金ゴテの角度変化を計測した。また、各被験者が最終仕上げに入るタイミングを計測した。各被験者の技能を評価するために、コンクリート仕上げ面の品質を密実性および平坦性の観点から評価し、動作計測結果と比較した。

### (1) 被験者

プレキャストPC床版(以下、PC床版)を製造している工場の左官歴4年の職人Aと左官歴半年の職人B、未経験の工場職員の3名を対象に実験を行った。なお、実験は連続する3日間、同じ場所で3名の実験を行った。

### (2) 試験体

仕上げを行う試験体は、図-1に示す縦1000mm、横1500mm、厚さ300mmのコンクリート床版とした。表-1には、実験に使用したコンクリートの計画配合を示す。このコンクリートは、工場で製造されるPC床版に使用する材料および計画配合と同じである。なお、試験体は被験者1人につき1体とした。

### (3) 動作計測装置

床仕上げ動作を計測するために製作した金ゴテを図-2に示す。金ゴテは、持ち手と板の接合部にひずみゲージを貼り付けた構造で、仕上げ面に対する鉛直力、水平力、持ち手を軸としたモーメントが計測可能である。計測可能範囲はそれぞれ、鉛直力 $\pm 150\text{N}$ 、水平力 $\pm 150\text{N}$ 、モーメント $\pm 10.0\text{N}\cdot\text{m}$ で、毎秒1000回の計測が可能である。また、金ゴテに9軸モーションセンサ(最大加速度16G、最大角速度1500dps)を貼り付け、金ゴテのx軸に対する角度(deg)、y軸に対する角度(deg)およびz軸に対する角度(deg)を毎秒1000回の頻度で計測した。

コンクリートの床仕上げ作業は、一般的に図-3に示す作業フローで行われる。コンクリート打込みから、木ゴテ仕上げまでの工程は、普段の製造工程と同様に行い、金ゴテ仕上げ工程を、前記した金ゴテを用いて動作計測を行った。被験者毎に、コテに加わった鉛直力、水平力、モーメントと仕上げ面に対するコテの角度を計測した。

\*1 長岡工業高等専門学校 環境都市工学科教授 博(工) (正会員)

\*2 長岡技術科学大学 環境社会基盤工学分野

\*3 株式会社富士ピー・エス 技術センターいわき研究所 (正会員)

\*4 長岡工業高等専門学校 環境都市工学科教授 博(工) (正会員)

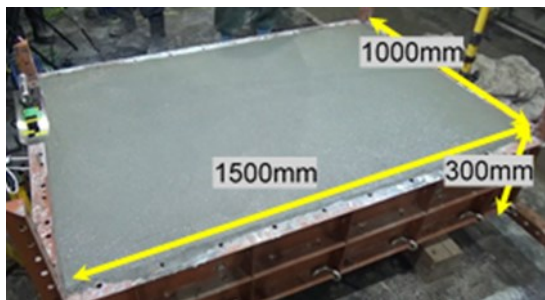


図-1 試験体の概要

表-1 コンクリートの計画配合

設計基準強度 [N/mm <sup>2</sup> ]	水セメント比 W/C [%]	細骨材率 [%]	単位量[kg/m <sup>3</sup> ]					
			W	C	S	G	AD	AE
50	36.9	43.0	162	439	733	1012	4.390	6.585

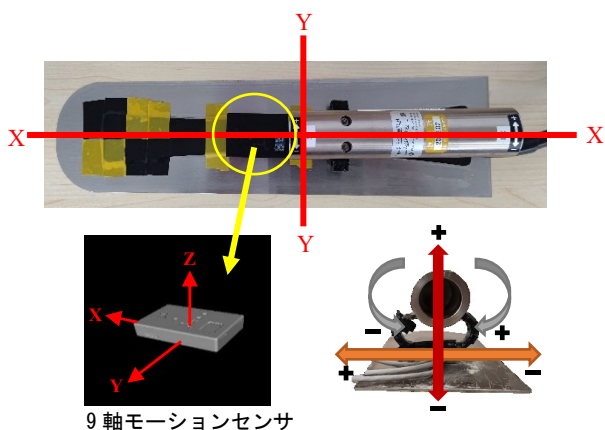


図-2 動作計測用金ゴテの概要

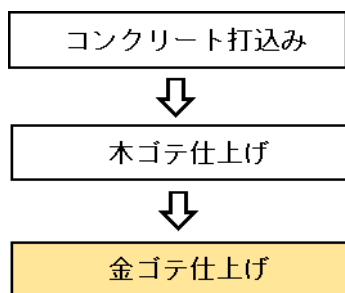


図-3 コンクリート床仕上げ工程

動作計測の様子を写真-1に示す。

鉛直力は、鉛直下向きに押さえつける力を負（-）とし、モーメント、水平力、x軸に対する角度は、コテを動かす方向によって正（+）負（-）が変わるため絶対値を平均した。なお、作用力計測と角度計測のサンプリング周波数はともに 1000 Hz とした。

各被験者が金ゴテで仕上げる様子をビデオカメラで撮影し、この映像解析により各フレームの仕上げ面上に

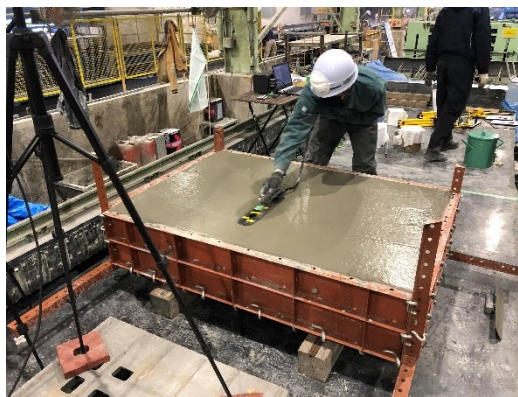


写真-1 動作計測状況

おけるコテの位置座標を算出した。また、この座標値から算出した横方向の移動量 $\sigma_x$ (cm)と縦方向の移動量 $\sigma_y$ (cm)によって、フレーム間の移動距離 $\sigma_L$ (cm)を式(1)により算出し、コテの移動距離と移動速度を求めた。なお、解析を行った映像のフレーム数は 30 fps である。

$$\delta_L[\text{cm}] = \sqrt{\delta_x^2 + \delta_y^2} \quad (1)$$

動作計測は、床仕上げ動作を2つに分類し、コテへ加わった鉛直力、水平力、モーメントと仕上げ面に対するコテの角度を「コテ動作」、1回の仕上げ動作におけるコテの移動距離、移動速度を「均し動作」と定義した。

#### (4) 仕上げタイミングの計測方法

最終仕上げとなる金ゴテ仕上げを開始するタイミングは、コンクリートの凝結の進行に関係し仕上げ面の品質に影響する<sup>4)</sup>。仕上げタイミングの判断も技能の一つと考え、それぞれの被験者に判断してもらった。被験者によって異なる仕上げのタイミングを数値化するために、デジタル式プロクター貫入抵抗試験機を用いて最終金ゴテ仕上げ前の貫入抵抗値を計測した。貫入抵抗値は、試験体とは別に用意した容器にコンクリートを打込み、コンクリート面に対し貫入針（針頭断面積 100mm<sup>2</sup>）を先端より 25mm まで 10 秒間で貫入した際の抵抗値である。

### 2.2 仕上げ面の品質評価

#### (1) 密実性計測（表層透気試験）

硬化したコンクリート仕上げ面の品質を評価するために、表層透気試験（トレント法）により仕上げ面表層部の密実性を評価した。

表層透気試験（トレント法）は、コンクリート表面にダブルチャンバーを密着して減圧することにより、内部の気圧変化とその時間から透気係数を算出しコンクリート表面の密実性を評価する試験である。試験で得られた表層透気係数  $kT(\times 10^{-16} \text{m}^2)$  が小さい程、表層部が密実であると評価する。

## (2) 平坦性計測 (3D スキャナ)

硬化したコンクリート仕上げ面の品質を評価するために、3D スキャナによる計測で平坦性を評価した。

計測には 3D スキャナ (非接触 3 次元デジタル VIVID910) を用い x, y, z 座標を計測し z 座標から高低差と変動係数を算出した。高低差が小さく変動係数が小さいものは平坦性が良いと評価した。使用した 3D スキャナは精度( $\pm 0.008\text{mm}$ ), 確度( $x: \pm 0.22, y: \pm 0.16\text{mm}, z: z$  基準値に対して $\pm 0.10\text{mm}$ )である。

## 3. 仕上げ動作の計測結果と考察

### 3.1 コテ動作

均し動作中に各被験者のコテへ加わった鉛直力, 水平力, モーメントの平均値を図-4 から図-6 に示す。また, コテの仕上げ面に対する角度の平均値を図-7, 図-8 に示す。なお, エラーバーは計測値それぞれの標準偏差を示す。

被験者のコテ動作を比較すると, 鉛直力は, 職人 A が職人 B より 2 倍以上大きく, 水平力は, 職人 A が他の被験者より約 2 倍大きい。また, コテの持ち手を軸としたモーメントは未経験者が最も大きい。職人 A の標準偏差がそれぞれ大きい理由として, 均し動作の始めは鉛直力, 水平力ともに大きく, 仕上げが進むと徐々に作用力が小さい動作に変化しているためである。また, 持ち手を軸としたモーメントについて, 未経験者が最も大きい理由として, 鉛直力が職人 A と同等で x 軸に対する角度が最も大きい値を示していることが考えられる。

コテの角度で, x 軸に対する角度は, 職人 A が最も小さく, 職人 B より約  $1.5^\circ$ , 未経験者より約  $3^\circ$  小さい。また, y 軸に関する角度も職人 A が最も小さく, 職人 B の約  $1/3$  倍, 未経験者の約  $1/2$  倍小さい。

### 3.2 均し動作

1 方向にコテを 1 回動かし仕上げ面を均す動作の平均距離と平均速度を表-2 に示す。

職人 A は試験体の端から端まで長い距離を他の被験者に比べて時間をかけて均すのに対し, 職人 B は弧を描くように短い距離を速く均していた。一方, 未経験者には特に規則性が見受けられず, 各被験者で違いが見られた。コテの平均移動距離は職人 A が  $142.6\text{cm}$ , 職人 B が  $79.7\text{cm}$ , 未経験者が  $103.4\text{cm}$  であり, 職人 A は職人 B より 1.8 倍程長い距離を均していた。平均速度は職人 A が  $38.5\text{cm/s}$ , 職人 B が  $46.5\text{cm/s}$ , 未経験者が  $41.4\text{cm/s}$  であり, 職人 A は職人 B より 1.2 倍程均し速度が遅かった。

### 3.3 仕上げのタイミング

コンクリート打込みから金ゴテ仕上げ開始までの経過時間, プロクター貫入試験の結果 (貫入抵抗値) を表-3 に示す。

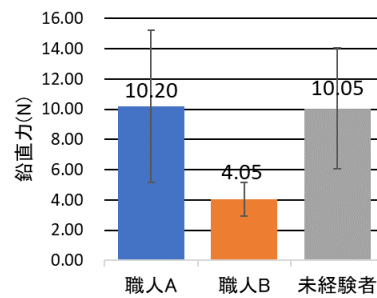


図-4 コテに作用した鉛直力

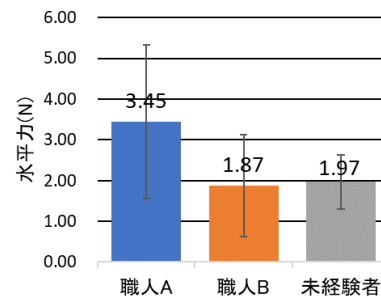


図-5 コテに作用した水平力

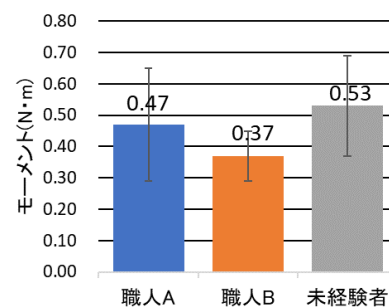


図-6 コテの持ち手を軸としたモーメント

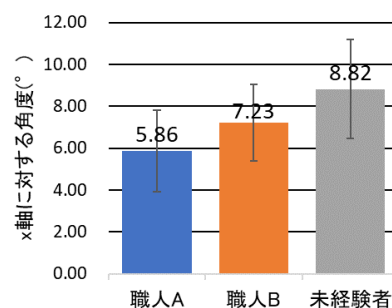


図-7 x 軸に対する角度

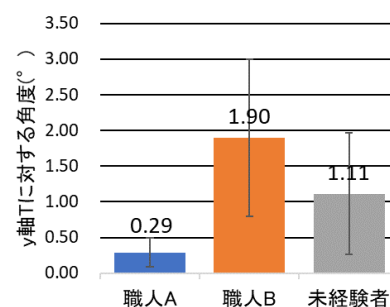


図-8 y 軸に対する角度

コンクリート打ち込みから金ゴテ仕上げ開始までの経過時間は、職人 A、職人 B、未経験者の順で長くなっていた。また、貫入抵抗値は、経過時間が 1 番遅かった未経験者が、1 番早かった職人 A の約 2.7 倍であり、コンクリート仕上げ面が硬くなっていることが確認された。

### 3.4 仕上げ面の品質評価

#### (1) 密実性

表層透気試験の結果を図-9 に示す。表層透気係数の値は、各試験体で 6 測点の平均値である。

職人 A の仕上げ面が、他の 2 人と比べ密実性が高いことを表している。また、未経験者が職人 B よりも密実性の高い仕上げ面を形成できている。これは、3.1 節に示したコテ動作の鉛直力と関係があることが示唆される。

表-2 1 回の仕上げ動作の平均移動距離と平均速度

	職人A	職人B	未経験者
平均移動距離[cm]	142.6	79.7	103.4
平均速度[cm/s]	38.5	46.5	41.4

表-3 金ゴテ仕上げのタイミング計測結果

	職人A	職人B	未経験者
打込み後の経過時間	2時間7分	2時間23分	2時間45分
貫入抵抗値[N/mm <sup>2</sup> ]	0.771	1.771	2.105

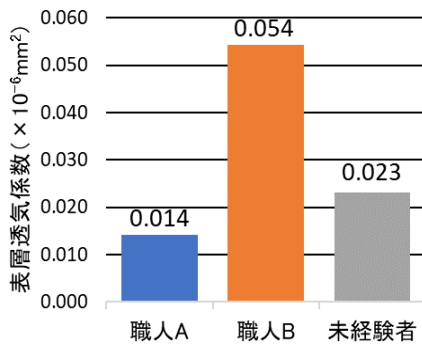
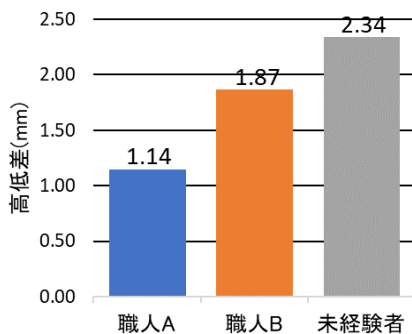


図-9 表層透気試験結果



	職人A	職人B	未経験者
高低差(mm)	1.1	1.9	2.3
変動係数	1.43	2.40	4.10

図-10 仕上げ面の高低差と変動係数

また、コテの y 軸に関する角度が、職人 A、未経験者、職人 B の順に小さくなっていることから、鉛直力を大きく、y 軸に対する角度を小さくすることで、コテを仕上げ面により多く接触し鉛直力を仕上げ面に伝えるコテ動作が、仕上げ面を密実にする要素と考えられる。

また、未経験者が職人 B より密実性が高い結果は、職人 A と同等の鉛直力でコテ動作を行っていることに加え、3.3 節に示した仕上げのタイミングが影響していると考えられる。

#### (2) 平坦性

3D スキャナによる平坦性の計測結果を図-10 に示す。高低差と変動係数ともに職人 A、職人 B、未経験者の順に小さい。

3.1 節に示したコテに作用する平均作用力と平均角度を比較すると、水平力は職人 A が他の被験者の結果より約 2 倍大きい。また、x 軸に対する角度が、職人 A が職人 B、未経験者の順に小さくなっている。このことから、十分な水平力と x 軸に対する角度を小さくすることが表面を平坦にするために重要であると考えられる。

## 4. コテ動作と密実性との関係

### 4.1 実験概要

コテ仕上げ面を密実にするには、道路橋床版などの耐久性を向上するうえで重要である。前章で、仕上げ面の密実性にはコテ動作の鉛直力が関係していることが示唆された。しかし、この実験では被験者毎に仕上げのタイミングが異なり、密実性にコンクリートの凝結が影響していることが考えられる。そこで本章では、仕上げのタイミングを統一するとともに、コテ仕上げの経験が 16 年～20 年の経験者を対象にコテ動作と密実性の関係を検証した。

#### (1) 被験者

被験者の内訳を表-4 に示す。なお経験年数は、最終仕上げを行う金ゴテに限らず、コテによる均し作業の経験を含んでいる。以下、4 名の被験者を職人 1、職人 2、職人 3、職人 4 と記す。なお、実験は連続する 4 日間、同じ場所で 4 名の実験を行った。

#### (2) 試験体

仕上げを行う試験体は、図-11 に示す縦 1000mm、横 1000mm、厚さ 200mm のコンクリート床版とした。コンクリートは、前章までの実験と同じ材料および計画配合である。(表-1 参照) なお、試験体は被験者 1 人につき 1 体とした。

#### (3) 仕上げタイミングの条件設定

仕上げのタイミングは、経過時間と仕上げまでの工程(図-12 参照)を 4 名の被験者で統一した。なお、経過時間と工程は、被験者 1 人目(職人 1)の実験時に、職

人1が仕上げ面の凝結状態から判断した時間と工程とした。また、仕上げ時の凝結状態を、デジタル式プロクター貫入抵抗試験機を用いて最終金ゴテ仕上げ前の貫入抵抗値を計測し確認した。仕上げ時の凝結状態を表-5に

表-4 被験者の経験年数

	職人1	職人2	職人3	職人4
経験年数	20年	16年	18年	18年

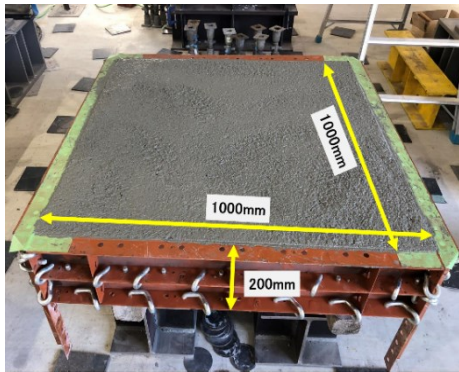


図-11 試験体の概要

表-5 凝結状態（貫入抵抗値）

	職人1	職人2	職人3	職人4
貫入抵抗値[N/mm <sup>2</sup> ]	2.216	2.555	3.010	1.872

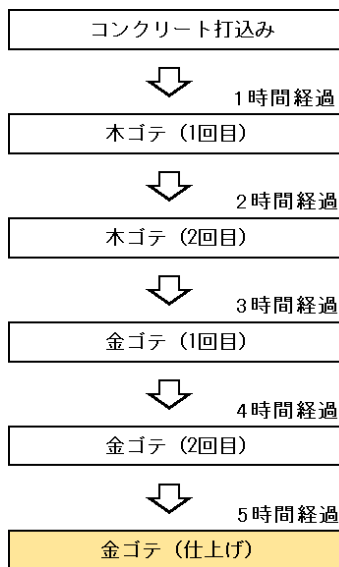


図-12 工程と経過時間



動作1

動作2

図-13 動作計測手順

示す。貫入抵抗値は、コンクリートの凝結時間試験方法（JISA 1147）に準拠して採取したモルタルを、試験体とは別に用意した容器に入れ、2.1節(4)と同様に計測した抵抗値である。

(4) 動作計測装置

動作計測は、2.1節(3)に示す金ゴテを使用した。また、計測は、図-12に示す工程の金ゴテ(仕上げ)で行った。

(5) 動作計測手順

動作計測は、試験体の中央約800mmの範囲を動作1と動作2の均し動作を行い計測した(図-13参照)。動作1は、左から右へ1方向の均しを3回とし、動作2は、左から右、折り返して左へ1往復の均しを3回とした。

(6) 密実性計測（表層透気試験）

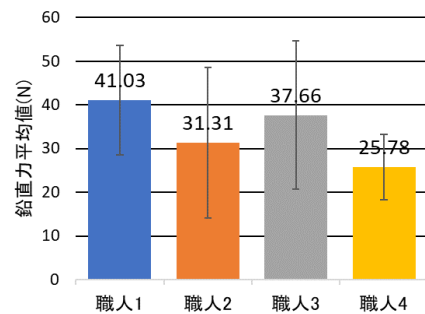
硬化したコンクリート仕上げ面の密実性を2.2節(1)と同様に表層透気試験(トレント法)により評価した。

4.2 コテ動作と密実性の関係の検証

(1) 平均鉛直力と表層透気係数

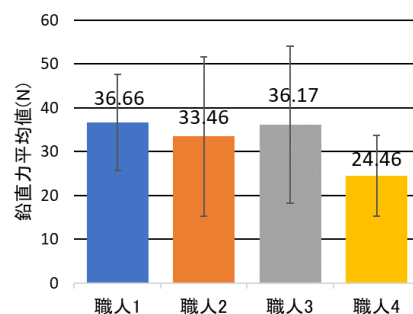
動作1の動作中にコテに作用した鉛直力の平均値と最大値を図-14に、動作2の動作中にコテに作用した鉛直力の平均値と最大値を図-15に示す。なお、エラーバーは計測値それぞれの標準偏差を示す。また、表層透気試験の結果を図-16に示す。

各被験者の表層透気係数  $kT(\times 10^{-16}m^2)$ は、職人1、職人3、職人2、職人4の順に密実性が高い値であった。なお、表層透気係数の値は各試験体で4測点の平均値であ



	職人1	職人2	職人3	職人4
鉛直力最大値[N]	54.36	51.55	57.87	34.87

図-14 動作1 鉛直力



	職人1	職人2	職人3	職人4
鉛直力最大値[N]	56.28	60.79	62.58	37.14

図-15 動作2 鉛直力

る。動作1，動作2ともに，鉛直力の平均値は，職人1，職人3，職人2，職人4の順に大きく，密実性の評価順と一致しており，仕上げ面の密実性と鉛直力に相関性があると考えられる。なお，前章の図-4と図-14および図-15で鉛直力が大きく異なるのは，実験の実施時期が異なることとコンクリートのフレッシュ性状や試験体寸法（幅，厚さ）およびコテの動作方向・動作範囲が異なることが影響していると考えられる。

## (2) 鉛直力の作用分布（時間）と表層透気係数

動作中にコテに作用した鉛直力は，被験者4人が動作1，動作2ともに最大値が30N以上であり，4人の平均値が動作1で約37N，動作2で約35Nであることから，

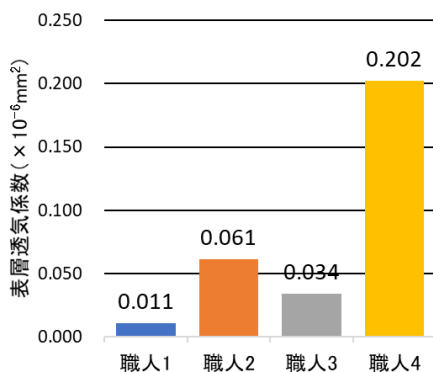


図-16 表層透気試験結果

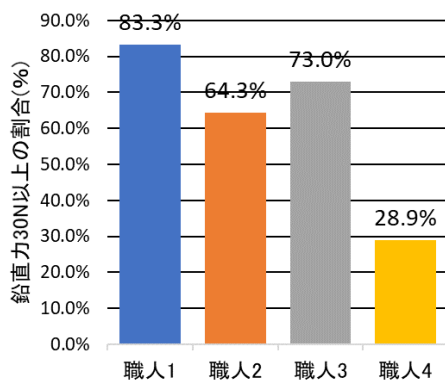


図-17 動作1 鉛直力30N以上の割合

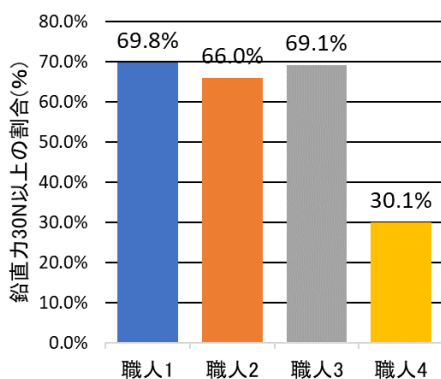


図-18 動作2 鉛直力30N以上の割合

均し動作中に30N以上の鉛直力が仕上げ面に作用している割合を被験者毎に整理した。動作1の全均し時間中に30N以上の鉛直力が作用した時間の割合を図-17に，動作2の全均し時間中に30N以上の鉛直力が作用した時間の割合を図-18に示す。

動作1，動作2ともに，全均し時間中に30N以上の鉛直力が作用した時間の割合は，職人1，職人3，職人2，職人4の順に大きく，密実性の評価順と一致しており，適度な鉛直力をより多く仕上げ面に作用することが，仕上げ面の密実性を高める要素であると考えられる。なお，鉛直力の大きさは，仕上げ面の凝結状態により職人が判断した作用力と考えられ，定量値の導出は今後の課題としたい。

## 5. まとめ

本研究で得られた知見を以下に示す。

- (1) 本実験の範囲内では，仕上げ時の貫入抵抗値が2.0N/mm<sup>2</sup>程度の場合，鉛直力が大きいほど仕上げ面の密実性は向上した。仕上げ面の密実性は，コテに作用する鉛直力に関係し，適度な鉛直力を持続して作用させる動作が密実性を高める要素であると考えられる。ただし，作用させる鉛直力は，仕上げ面の凝結状態により異なると考えられる。
- (2) 本実験の範囲内では，仕上げ面の平坦性は，十分な水平力とx軸に対する角度（コテ進行方向の傾き）を約6°～9°の範囲では平均して6°程度の傾きで均した場合が最も平坦性が良かった。

## 謝辞

本研究成果は，科学研究費補助金（挑戦的研究（萌芽），課題番号：19K22012）および（公財）TAKEUCHI 育英奨学会の研究助成により行った。ここに記して謝意を表す。また，実験は株式会社富士ピー・エスいわき工場の協力により行った。ここに記して謝意を表す。

## 参考文献

- 1) 国土交通省：令和2年度 国土交通白書 2020
- 2) 労働政策研究・研修機構 統計情報：  
<https://www.jil.go.jp/kokunai/statistics/sansyoku/sansyoku.html>（閲覧日：2022.12.19）
- 3) 建設工事統計調査：  
<https://www.e-stat.go.jp/dbview?sid=0003126252>（閲覧日：2022.12.19）
- 4) 坂本大河，澤本武博，森濱和正，樋口正典，臺哲義：コンクリート床版の表層品質に及ぼす仕上げ時期の影響，ものづくり大学紀要，第10号，pp.21-27，2020.6