コンクリート床面の平坦さ及び表面粗さの測定と 解析に関する研究

A STUDY ON THE MEASURING AND ANALYSIS FOR THE FLATNESS AND SURFACE ROUGHNESS OF CONCRETE FLOOR SLAB FINISHING

新井一彦

Kazuhiko ARAI

In this thesis, the author investigates measurement and analytical methods used to measure the finishing accuracy (i.e., flatness and surface roughness) of concrete floor slabs. Through researches, developed a new measuring system to measure concrete surface profiles as well as a program that uses these profiles to isolate and analyze flatness and surface roughness. These techniques enable various types of surface roughness indices to be easily analyzed.

The thesis presents overviews of the measuring system and analytical/measurement methods used as well as applied examples.

keywords: concrete floor slab, finishing, flatness, surface roughness,
measuring, analysis

コンクリート床、仕上がり、平坦さ、表面粗さ、測定、解析

1. 序 論

近年、生活様式の多様化や生産方式の高度化などから、建物の居住性の向上や高機能化が求められている。それに伴い、コンクリート床の仕上がりについても高精度を要求する仕様が増加している。一方、その要求を満たすための施工方法の一つとして床仕上げ作業などのロボット化も試みられている。ロボットによりコンクリート床仕上げを行う場合、その仕上がり状態を左官工による従来の方法と比較する際に客観的な評価が必要であり、そのためには、コンクリート床の表面性状を定量的に捉えることが重要となる。しかしながら、現状では、その性状を測定、解析、評価する方法として、レベル測定器による設計寸法と仕上がり面との絶対誤差（水平面精度）、「コンクリートの仕上りの平坦さの試験方法」による平坦さ〔日本建築学会 JASS 5T-604¹⁾（以下、5T-604 と呼ぶ）〕があるが、床仕上げ材料の耐久性などへ影響を与える表面粗さについて、JASS 5では肌合い（テ

クスチャー）については規定しているものの、その表現は定性的なものに止まっている。一方、米国では、1987年にASTMにおいてF-Number System²⁾と呼ばれる測定方法が確立され、床面の水平面精度と平坦さを同時に評価する方法が採用されているが、表面粗さについては定量的な規定や測定方法は示されていない。

以上の状況から、現状においては表面粗さの定量的な仕様の記述やその測定方法については確立されたものはないと判断される。このように、近年重要性を帯びつつあるコンクリート床仕上がり面に要求される品質のうち、本研究では、平坦さならびに表面粗さに関して、それらを定量的に把握するための測定ならびに解析方法について次に示す検討を加えた。

- ①コンクリート床面の平坦さならびに表面粗さの測定方法に関する検討
- ②表面粗さの解析方法に関する検討
- ③コンクリート表面粗さ測定システムの開発

2. コンクリート床面の平坦さと表面粗さの定義及び測定方法に関する検討

2. 1 コンクリート床面の平坦さと表面粗さの定義

コンクリート床面を直角に切断したとき、その切り口に現れる曲線である断面曲線を考えた場合、その断面を模式化して示すと図-1のとおりであり、断面曲線は表面粗さ(図-1-a)と、うねり(図-1-b)の成分によって形成されていると言える。ここで、うねりとは表面の凹凸を一つの不規則な波形と考えた場合、波形の中でごく低周波の成分、すなわちピッチが大きい起伏とされ、JIS B 0610-1976(表面うねり)では、ある周期より長い周期成分としている。一方、平坦さとはこのうねり成分をある基準長さに区切り、その測定範囲での表面の凹凸を量として示すものである。ちなみに、JASS 5では図-2に示すように、測定長さを示し、測定範囲における凹凸の最大の差の絶対値を平坦さと定義しており、その標準値として1mにつき10mm以下とか、3mにつき7mm以下との値を表示している。本研究では、平坦さの定義はJASS 5に準拠し、同様に考えた。表面粗さについては、うねりよりも小さいピッチを持つ表面の凹凸の周期的成分で、断面曲線からうねりの成分を除去したものとされている。機械加工分野を中心としたものではあるがISO 468-1982(Surface Roughness Parameters, their values and general rules for specifying requirements)では表面粗さのパラメータとして6種類、また、JIS B 0601(表面粗さ)においては3種類を掲げており、表面粗さを求めるにはある基準長さを設定することとなっている。本研究では表面粗さの基準長さの設定に当たり、事務所ビルの床仕上げとして最も多く採用されている「塩化ビニルタイル仕上げ」のコンクリート下地を想定して、1枚の塩化ビニルタイルの長さを表面粗さの基準長さとするのが妥当であると判断し、30cmに設定した。本研究において解析に用いた表面粗さの指標とその定義は表-1に示すとおりである。

2. 2 コンクリート床面の平坦さと表面粗さの測定方法に関する検討

コンクリート床面の表面性状の一つである水平面精度は、建築工事において床仕上げ、内装仕上げ、設備機器の設置などに直接影響を及ぼすことから、工事管理の指標としてしばしば用いられる。測定間隔は工事によって様々であるなどの問題点はあるもののレベル測定器により設計位置との絶対誤差を捉えるものであり、測定器自体の開発は必要ないと判断した。

平坦さの測定方法は5T-604に定められてはいるが①測定器自体が普及していない、②測定に多くの手間が掛かる、③平坦さの指標は床面の凹凸の大きさを示す指標であるため工事への反映に乏しいことなどから、一般的な測定方法として必ずしも定着しているとは言えない。ま

た、データの読取りがゲージの直読式で読取り誤差が生じやすいことや測定場所ならびにサンプリング数が少ない等、測定方法の改善が必要と考えられた。そこで、本研究では「平坦さ」については5T-604に準拠し、測定の効率化と測定データの信頼性を高めることを意図して、測定装置の開発とその解析方法について検討した。

一方、表面粗さに関しては定量的な表示や測定方法はもちろんのこと、測定機器、解析方法などコンクリート床面について一部の基礎的研究^{3) 4)}を除いて確立されたものはなく、JASS 5でも、表面状態と呼び定性的な仕様で示している。従って、本来はこの表面状態の定量的

図-1 コンクリート床面の表面状態(断面曲線)

図-2 平坦さの定義(JASS 5)

表-1 表面粗さの指標とその定義

表面粗さの指標	定 義
最大高さ(Rmax)	ある基準長さにおいて、正規線から粗さ曲線の縦の方向に数値を読取ったとき、凹凸のそれぞれ最大の偏差を合計したもの。最大値と最小値の絶対値の差で表示
平均粗さ(Mean)	ある基準長さにおいて、正規線から粗さ曲線の縦の方向に数値を読取ったとき、個々の粗さデータの総和をデータ数で除したものの
中心線平均粗さ(Rcla)	粗さ曲線の凹凸をその中心線からの偏差の絶対値の平均で粗さを表示する方法
二乗平均平方根粗さ(Rrms)	粗さ曲線の凹凸をその中心線からの二乗平均平方根の値で表示する方法

な許容値を設定する必要があるが、本研究では、これについては対象から外し、JASS 5の表面状態を表面粗さと読み替え、その測定方法と解析方法について検討した。

3. 表面粗さの解析方法に関する検討

3. 1 表面粗さの抽出方法

従来、機械加工分野では、ろ波器と呼ばれる電氣的フィルターを介して測定時に断面曲線からうねり成分を除去して、表面粗さ成分だけを出力する方法による測定が行われている。このような方法が可能であるのは部品加工が機械化されており、加工物の表面状態はある一定の特性を有した均一な形状で、ろ波器の周波数領域が経験的に設定できるからである。

これに比べて、コンクリート床面の場合は仕上げ作業そのものが人手作業で行われ、不均一なコンクリートが対象であるために断面曲線は不規則な波形となり、定型的な波形とはならない。従って、コンクリート床面の仕上がりに適したろ波器を特定することは困難と考えた。

表面粗さの抽出方法は、コンクリート床面の断面曲線を一定の間隔でサンプリングした後、雑音除去法などの手法を用いてコンピュータにより演算処理し、断面曲線からうねり成分を除去する方法で行った。この波形処理による解析方法自体は一般的なもので新しい手法ではないが、この分野における応用に関しては新たな試みと考えられる。また、この方法によれば、一度の測定により平坦さと表面粗さを両者の指標を得ることが可能となる。

従来、このような波形に関するデータを扱う場合、その波形の中に雑音成分が混入したとき、その成分を除去し平滑化したデータに変換するために雑音除去を演算により処理している。今回提案した解析方法では、この方法を逆に適用して測定波形から雑音処理を行い、そこで雑音として抽出された部分に着目し、それを粗さ成分と見なした。これは、ろ波器を使用した測定方法と同様な処理を行っていることと考えられる。

提案する方法は、原理的にはアナログフィルターに相当する平滑化の計算を経て得られた測定波形から直接移動平均法により処理する方法である。また、このとき多項式適合法を用いて測定波形が各サンプル点近傍で多項式曲線で表現できると仮定して最小二乗誤差規範に基づき測定波形と多項式曲線を適合させるもので、その演算式は次に示すようである。

$$Y(i) = \frac{1}{W} \sum_{j=-m}^m X(i+j) w(j)$$

$$W = \sum_{j=-m}^m w(j)$$

ここで、 $Y(i)$ は平滑値、 $X(i)$ はデータ n 個の離散値（ただし、 $i=1, 2, \dots, n$ ）、 $w(j)$ は $N(2m+1)$ 個の離散値からなる重み係数、（ただし、 $j=-m, \dots, -1, 0$

, $1, \dots, m$ ）、 W は正規化係数である。

本演算方法は、信号波形の多項式適合法と最小二乗法を基本としているが、データ収集時のサンプリング間隔、平滑化点数、多項式の次数の決定は適用するデータにより異なるのでそれらの検討が必要となる。通常は、2次・3次多項式が適用され、平滑化点数は15点あるいは25点が用いられている。ここでは実際に測定したコンクリート床面の測定データを表-1に示した表面粗さのうちチャートから難読して読取った最大高さ（基準長さは30cm）と1cm間隔で収録され長さ30cm間隔に区切られたデジタルデータを用いて、平滑化点数を5、11、15、21、25点とした5つのケースについて最大高さをシミュレーションした。その結果は表-2に示すようで、デジタルデータの場合、平滑化点数が大きくなるほど最大高さは大きくなる傾向を示した。これらの結果を基にチャートの読みとデジタルデータによる最大高さの算出結果を比較した。デジタルデータを用いた場合、平滑化点数を15点として解析したケースがチャートから読取った最大高さとも最も近似していることが確認され、本解析では15点を採用することとした。なお、サンプリング間隔については4、2項で検討する。

ここで、2次・3次適合法における重み係数と正規化定数は平滑化点数ごとにSavitzky-Goleyによる係数表⁵⁾があり、それによると平滑化点数を15点とした場合の正規化定数は1, 105が与えられている。これを基に2次・3次多項式平滑化プログラムを開発した。

これにより、表-1に示す4つの指標（ただし、本解析方法による計算結果としては、最大値、最小値を含み6種類の結果を出力している）を自動的に算出することが可能となった。

表-2 表面粗さ（最大高さ）のシミュレーション結果

		(単位: mm)		
分	類	サンプル数	平均値	標準偏差
平滑化点数	チャートの読取り	8	0.085	0.038
	5	8	0.035	0.016
	11	8	0.065	0.019
	15	8	0.084	0.032
	21	8	0.116	0.052
	25	8	0.196	0.106

3. 2 データ解析の手順

測定データの解析手順は図-3に示すようで、フロッピーディスクに収録されたデータをコンピュータにより読取り、測定データと測定波形をプリントする。次に、その測定データを基に平坦さの計算を行い、計算結果を出力する。測定データは前述した2次・3次多項式平滑化プログラムにより平滑化の計算を行い、表面粗さデータと表面粗さの波形をプリントする。その表面粗さデータを用いて各種表面粗さの計算を行い、出力する。この

演算処理は、1 測定線当たりのファイルごとに一連化して行い、ファイル番号ごとにこの処理を繰り返して測定データ、波形などの計算結果をプリントし、測定線ごとの表面粗さの指標を得る。

表面粗さの解析に当たっては、1 測定線（通常の測定長さは3m）当たりの測定データを基準長さ 30cmごとに区切って（ただし、測定の開始ならびに終了地点を除く）、その間における表面粗さを計算している。この方法については、後述する。

4. コンクリート表面粗さ測定システムの開発

4. 1 コンクリート表面粗さ測定システムの構成

本研究では、今回提案した表面粗さ解析方法と合致させるために表面粗さ測定システムを新たに開発した。システムの構成を図-4に、表面粗さ測定器本体の仕様を表-3に示す。表面粗さ測定システムは、測定器本体、データ収録装置（ペンレコーダ、フロッピーディスクドライブ）、データ処理装置（パソコン、プリンター）で構成され、工事現場での測定では通常、測定器本体とデータ収録装置が用意され、データ処理は事務所で行う。

測定器本体は、5T-604 の試験方法に準じ、測定長さは最大で 3mまでの測定が可能である。

本装置の測定方法は触針式で、触針部は床表面上を自動走行させ、走行時のピックアップの上下動を作動トランスで電気信号に変換し、フロッピーディスクドライブでデータを収録する方式とした。ちなみに、測定長さ3m当たりの走行時間は約30秒である。凹凸の高さ方向の測定範囲は $\pm 5\text{mm}$ で、定規自体の精度は 8.5×10^{-6} であることを確認している。この精度はJIS B 7515（直定規）では有効長さが 3mの場合は $64 \mu\text{m}$ 以下となっており、本測定器の定規となるガイド部はB等級に相当する。また、測定開始地点と終了地点がチャート紙上の零にペン先を合せられるようにゲージの高さ方向の調整装置を備えるなどの工夫も凝らしている。

4. 2 測定データのサンプリング間隔に関する検討

チャートによるアナログデータは、測定と波形を連続量として促えられることを特徴としているが、デジタルデータは離散値となるため1 測定線当たりのサンプル数の相違による影響が考えられる。そのため、連続量で求めたデータと離散値で求めたデータの適合性を検証することを目的としてデジタルデータのサンプリング間隔を変化させてチャートから読取ったデータと比較検討した。

(1) 測定方法

1 測定線の測定長さは3mとし、工事現場で同一日に施工された床面について38ヵ所をランダムな位置で測定した。測定には図-4に示した測定システムを使用し、デ

ータはチャート紙上に記録すると同時にフロッピーディスクに収録した。デジタルデータのサンプリング間隔は1cmとした。現場で使用したコンクリートの計画割合は、表-4に示すとおりである。

(2) 解析方法

図-3 測定データの解析手順

図-4 コンクリート表面粗さ測定システム

表-3 表面粗さ測定器本体の仕様

項 目	仕 様
ピ ッ ク ア ッ プ 〔 差 動 ト ラ ン ス 〕	測 定 範 囲: $\pm 5\text{mm}$ 出 力: $\pm 5\text{V} / \pm 5\text{mm}$ 精 度: $\pm 1\%$ / フルスケール 走 行 速 度: $100\text{mm} / \text{sec}$ 触 針 子: 直径 0.5mm
制 御 ボ ッ ク ス 〔 ピ ッ ク ア ッ プ の 電 源 供 給 ・ 駆 動 モ ー タ の 制 御 〕	変 位 計 測 ボ ー ド モ ー タ 計 測 ボ ー ド A C → D C 電 源
駆 動 モ ー タ	D C モ ー タ
フ ロ ッ ピ ー 付 ペ ン レ コ ー ダ	フ ロ ッ ピ ー デ ィ ス ク : 5 インチ 2 ド ラ イ ブ デ ー タ 分 析 能 力 : 12 ビ ッ ト 記 憶 総 量 : 78,848 デ ー タ ペ ン レ コ ー ダ : 2 ペ ン
直 定 規	検 長 : $\text{max. } 3\text{m}$ 精 度 : 8.51×10^{-6}

チャート紙上に記録されたデータは図-2に示した方法により直接読取り、平坦さを算定した。また、デジタルデータは、1測定線当たり301個のデータ(1cm間隔)で採取し、それをコンピュータにより1/2(2cm間隔)、1/4(4cm間隔)、1/8(8cm間隔)の4種類のデータに仕分け、平坦さを算出した。

(3) 解析結果及び考察

チャートによる平坦さとサンプリング間隔別による平坦さの分布状態を図-5に示す。この結果、デジタルデータのサンプリング間隔別による平坦さの分布は標準偏差を見てもほとんど同様な結果を示し、サンプリング間隔が異なっても大きな変化は認められない。

次に、チャートによる平坦さの平均値を1として、サンプリング間隔別に求めたデジタルデータによる平坦さの平均値を指数化して示した結果を図-6に示す。その結果、1cm間隔(データ数:301)で採取したデータの平坦さの平均値はチャートの平坦さの平均値よりわずかに大きい、ほとんど近似している。同様に2cm間隔(データ数:151)では、チャートに比較し平坦さはやや小さな値であり、4cm間隔(データ数:76)では約1.5%、8cm間隔(データ数:38)では4%ほど小さな値となっている。このことから、測定長さを同一とした場合、平坦さは1測定線当たりの収集データ数が少ないほど小さな値となる傾向を示していると言える。また、サンプルデータ数が100個付近より少なくなるとチャートによる平坦さとの乖離が大きくなっている。

次に、平坦さの平均値をチャートによる場合とサンプリング間隔別の場合との間の差異について検定を行った。その結果を表-5に示す。同表で、標準偏差は主に測定線間の平坦さそのものに起因するものと考えられる。チャートの場合は読取り者の読取り誤差も含まれるためやや大きな値となつてはいるものの標準偏差の検定では有意差が認められなかったため、平均値についての検定を行った。その結果、チャートによる平坦さに対して有意でない判定されたのはサンプリング間隔が1cm(サンプル数:301個)のときで、それ以外のサンプリング間隔の場合、有意であるとの結果となっており、チャートによる平坦さと同一であるとは認められないことが分った。これらのことから、デジタルデータのサンプリング間隔を1cmとすれば、チャートとはほぼ同様な断面曲線データが得られているものと考えられる。

なお、チャートと近似した断面曲線が得られた(サンプリング間隔は1cm)デジタルデータを用い、平滑化点数15点として解析すればチャートの読みと本解析方法による表面粗さの最大高さは3.1項でも触れたようにほぼ近似していることが確認されている。

これらの結果から、デジタルデータのサンプリング数は測定長さが3mの場合301個、すなわち、1cm間隔で

表-4 コンクリートの計画調合(軽量1種)

設計基準強度 (Kg/cm^2)	水セメント比 (%)	スランブ (cm)	細骨材率 (%)	空気量 (%)
210	52	18	48.9	5
1 m ³ 当たりの質量 (Kg/m^3)				
水	セメント	細骨材	粗骨材	混和剤
191	367	824	420	0.734

注) セメント: 普通ポルトランドセメント、細骨材: $\rho=2.56$ (表乾比重)
粗骨材 (人工軽量骨材): $\rho=1.26$ (絶乾比重)、
混和剤 (A E 減水剤)

図-5 サンプリング間隔別平坦さの分布

サンプリングすることが適正であると判断された。

従って、5T-604で示しているサンプリング数では床面の性状の一つである平坦さを正確に把握することは不十分であると考えられる。

4. 3 測定線数に関する検討

ある面積で同一日に工事現場で施工されたコンクリート床の表面性状を代表させるに必要な測定線数とその測定方法について検討した。

(1) 測定位置の割付け方法

測定長さはX、Y方向とも3mとし、測定位置の割付け方法は図-7に示すようにX、Y方向共30cmの等間隔に区切り、各11線ずつの22ヵ所の測定を1ロットとした。1測定線当たりのサンプリング間隔は1cmである。なお、この測定位置の割付け方法は、冒頭で述べたASTMのF-Number Systemにおいて提唱している方法でもある。測定は2現場で行い、1ロット(22ヵ所)と2ロット(44ヵ所)の測定結果から平坦さを評価の指標として、比較検討した。

(2) 測定結果及び考察

2現場の測定から得られた床面の平坦さの構成比率を図-8に示す。A現場とB現場の平坦さの分布状態は若干異なっているものの、同一現場におけるロット別にみた(1ロット及び2ロット)平坦さの平均値及び標準偏差は両者ともほぼ同様な分布であった。

この結果から、測定ヵ所数は1ロット(22ヵ所)の測定で同一日に施工された床面の性状をほぼ代表できるものと考えられる。

なお、表面粗さから見た場合のサンプル数については測定長さ3mの1測定線から8個のデータが得られ、1ロット(22ヵ所)からは、計176個の表面粗さデータを得ることができることから、データ量的に見て測定線数は1ロットあれば妥当な数と判断された。

4-4 測定の効率化に関する検討

本測定システムは、平坦さと表面粗さを同時に測定できることを特徴としており、測定の効率化も本研究の狙

いの一つになっている。ここでは、本測定システムと参考文献-7)で提案されている測定システム(以下、不陸測定器と呼ぶ)による床仕上がり面の測定について作業時間の比較検討を行った。

(1) 床仕上がり面の測定作業内容の範囲と測定線数
床仕上げ面の測定作業内容の範囲は次のとおりである。

- 測定のための準備作業(測定面の設定ならびに測定位置の割付け作業)
- 測定装置の調整作業
- 測定作業(次の測定場所に移る前に触針子を測定器の始発点へ戻す作業を含む)

表-5 サンプリング間隔別平坦さの検定結果

分類	測定数 (n)	平均値 (mm)	標準偏差 (mm)	平均値の 検定結果 (t検定)
チャート	38	2.616	0.663	—
サン グ 間 隔	1cm	38	2.637	0.656
	2cm	38	2.608	0.655
	4cm	38	2.575	0.656
	8cm	38	2.151	0.641

注) * $t(74, 0.05) \approx 2.00$

図-6 サンプリング間隔別による平坦さの指数

図-7 表面粗さ測定位置の割付け方法

図-8 ロット別平坦さの構成比率の比較

d. 次の測定場所への測定器本体の移動作業

測定線数については1ロット(22ヵ所)を対象とした。

(2) 測定システムの差異

本測定システムは直定規をガイドにして触針子部分は自動走行する。しかし、触針子の戻しは手動である。比較対象とする不陸測定器は、触針子部分をモーターによりワイヤーを巻き上げる方式となっており、触針子の戻しは、ワイヤーを手動で引き伸ばす方式となっている。触針子の移動速度の仕様は両者とも1秒当たり10cmである。なお、後者の記録方式はチャートによっている。測定長さは、いずれも3mである。

(3) 作業時間の測定結果と考察

作業時間の測定結果を表-6に示す。この結果を見ると、1測定線の測定長さ3m当たりの所要時間は平均で本測定システムの場合は約4分であるのに対して、不陸測定器では約15分であった。また、測定作業だけを見ても本測定システムは約8倍の能率向上が認められた。不陸測定器では、触針子部分をワイヤーで移動させるために、ワイヤー自体が測定中や触針子の戻し時に振じれてしまうことが多く、それが測定時間に大きな影響を及ぼしていた。

以上のことから、本測定システムによって床仕上がり面の測定を効率的に行えることが確認された。

5. 本測定システムによる測定結果ならびに解析例

本測定システムをコンクリート床面の平坦さ及び表面粗さの測定・解析に活用した事例を次に示す。

5. 1 測定長さが平坦さに及ぼす影響

コンクリート床面の平坦さは一般的に測定長さが2倍になっても等比の関係にはないと言われている。^{6) 7)}

ここでは、測定長さを1m、2m、3m、とした場合の平坦さについて検討した。測定長さ別にその相関を示すと図-9のとおりである。この結果を相関係数(r)で見ると、測定長さ2mと3mのときのrは0.81で、同様に1mと2mのときのrは0.72、また、1mと3mのときのrは0.63であった。図-9の結果は、測定長さを1m~3mとした範囲であり、回帰式では直線回帰のため原点を通過していないが、測定長さを0m~1mの短い範囲で測定すれば理論的

表-6 床仕上げ面測定の作業時間の比較

作業内容	本システム	不陸測定器
a. 準備作業	20	20
b. 測定装置の調整	10	10
c. 測定	33	275
d. 測定器の移動	22	22
合 計	85	327
1 測定線当たりの の所要時間	3分52秒	14分52秒

注) 1ロット(22ヵ所)の所要時間(単位:分)

図-9 測定長さ別による平坦さの関係

図-10 測定長さと平坦さの関係

には原点を通る回帰式となるものと推察される。

図-9から得られた回帰式を用いて測定長さ 1mのときの平坦さを基準として、測定長さ 2m及び 3mの場合の関係を纏めて示したのが図-10である。この結果を見ると、平坦さは測定長さが長くなるほど大きな値を示すが、その増加率は同等の比率とはならず、むしろ低い増加率になる傾向にある。この傾向は、測定長さが短い場合の平坦さが大きいものほど顕著になる。従って、コンクリート床面の平坦さの精度の仕様あるいは許容値の設定に当たっては測定長さとの関係を明示しておく必要がある。

5. 2 表面粗さの解析

表面粗さの解析は測定波形から多項式により平滑化し正規化されたデータを利用するが、その分離状況と表面状態の区切り方法を図-11に、表面状態の波形アウトプットの一例を図-12示す。表面状態の区切り方法は、前述したように基準長さを30cmとしているため測定長さを3mとした場合、表-1に示した表面粗さデータが1測定線から8個、1ロット22ヵ所から計176個得られる。

収録されたデジタルデータは図-3に示した解析手順により解析することとなるが、ここでは表面粗さの指標のうち最大高さ(Rmax)の指標を用いた分析例について示す。図-13はコンクリート床仕上げ作業を左官工及び床仕上げロボットにより仕上げた状態を評価するために最大高さの分布について比較検討したものである。この結果を見ると最大高さの平均値ならびに分布状態は両者ともほぼ同様な分布を示している。このように、本解析方法により表面粗さの指標を用いてロボットと左官工による仕上がり状態を評価することが可能となった。

以上のことから、本解析方法によりコンクリート床面の仕上がり状態を定量的に評価する見通しが得られた。また、図-12に示したように断面曲線から表面粗さ成分だけを抽出することができ、表面状態を視覚的に表現する可能性を示した。

図-11 表面粗さデータの区切り方法

5. 3 表面粗さ指標間の比較分析

本解析方法から算定された表面粗さデータを用いて、表-1に示した指標間交互についての比較検討を行った。

図-14は二乗平均平方根粗さ(Hrms)と最大高さ(Rmax)との関係を示したものである。これを見ると、両者には直線的な関係が認められ、RmaxはHrmsの約4.5倍であると読取れる。機械加工分野でのこの値は3~4倍⁸⁾と言われており、それと比較するとコンクリート仕上げ面ではHrmsに対するRmaxの割合はやや大きい値を示している。

また、図-15に二乗平均平方根粗さ(Hrms)と中心線平均粗さ(Hcla)との関係を示す。この関係も直線関係にあり、HrmsとHclaは、ほぼ同等の値を示している。両者の関係は、機械加工分野でも同等の値を示す⁸⁾と言われており、本解析結果においても同様な傾向であった。

図-12 表面状態の波形アウトプット例

表-7 表面粗さ解析結果例 (単位: mm)

表面粗さ指標	1	2	3	4	5
最大値	0.021	0.036	0.021	0.029	0.025
最小値	0.025	0.033	0.028	0.036	0.030
Rmax	0.046	0.069	0.049	0.065	0.055
Mean	0.0001	0.0005	0.0005	0.0008	0.0005
Hcla	0.011	0.010	0.013	0.011	0.012
Hrms	0.013	0.013	0.014	0.015	0.014

図-13 表面粗さ(最大高さ)の分布の比較

5. 4 超平坦床面の平坦さの測定

近年、生産施設の高度化に対応するための施工方法としてコンクリート下地の上にエポキシ樹脂系のセルフレベルング材料（以下、SL材と呼ぶ）を平均で10mm程度の厚さに流し展べる工法が考案¹⁵⁾されている。しかし、この仕上げ方法は超平坦な床面であるがために従来のレベル水準器などによる方法では十分な測定精度を確保することが困難であった。図-16はコンクリート下地の上に施工したSL材施工後の表面状態を同一の位置で本測定システムを用いて測定した結果をチャートで示した一例である。また、図-17はコンクリート下地とSL材施工後の平坦さの分布を示したものである。コンクリート下地の平坦さの平均値は5.26mmであったものが、SL材施工後の平坦さの平均値は0.41mmと大幅に改善されていることを定量的に示すことができた。このことにより、従来の方法では測定が困難であった1mm以下の高精度な床面の仕上がり状況を本測定システムを用いることにより、測定結果を出力することが可能となった。

図-14 表面粗さHrms とRmax との関係

図-15 表面粗さHrms とHcla との関係

図-16 コンクリート下地とSL施工後の表面状態

図-17 コンクリート下地とSL施工後の平坦さの分布

6. 結論

本研究では、コンクリート床面の仕上がり状態のうち、平坦さと表面粗さを測定・解析する方法について検討した。本検討により得られた結論は次に示すとおりである。

- 1) コンクリート床面の表面性状把握のための平坦さ及び表面粗さの測定手順ならびにサンプリング間隔、測定線数などの検討結果から床面の仕上がり状態の測定方法に関する基礎的データが得られた。
- 2) 多項式適合法により、表面粗さ成分の抽出が可能となり、コンクリート床面の表面状態を視覚的に、また、表面粗さを定量的に捉えることの可能性を明らかにした。
- 3) 表面粗さの各指標をコンピュータにより容易に算出する方法を提案した。
- 4) 新たに開発した測定システムは、従来の測定装置と比較して測定時間の改善が図れることが確認された。
- 5) また、従来の測定方法では測定が困難であった超平坦な床面への応用性について示した。

以上の結論を得たが、本研究では表面粗さの指標として JIS B 0601 の方法を準用しており、コンクリート床面の仕上がり状態を示す表面粗さとして、さらに適正な指標の設定について今後検討を進める計画である。

[謝辞]

本研究に当たり、ご協力を頂いた鹿島建設㈱建設総事業本部東京支店坂野弘一氏ならびにカジマメカトロエンジニアリング㈱竹村健一氏に謝意を表します。

参考文献

- 1) 日本建築学会；建築工事標準仕様書・同解説 5 鉄筋コンクリート工事、日本建築学会、1993.5
- 2) ASTM；Standard Test Method for Determining Floor Flatness and Levelness Using the F-Number System，Annual Book of ASTM Standards，Vol.04.07，pp.870～881，1990
- 3) 三上貴正、荒川琢也、小野英哲；コンクリート直仕上げ床の仕上がり及ばず機械ごての仕様およびコンクリートの性状の影響の考察、日本建築学会構造系論文報告集 第453号、pp.27～37、1993.11
- 4) 武井一夫；コンクリート打継ぎ面の界面粗さの評価方法、日本建築学会構造系論文報告集 第455号、pp.7～16、1994.1
- 5) 南 茂雄；科学計測のための波形データ処理、QC出版、1987.7
- 6) 今村亮吉、林 俊雄、江幡祐一；コンクリート仕上り表面の平坦さの実測報告、日本建築学会大会学術講演梗概集（北陸）、pp.143～144、1974.10
- 7) 柿崎正義、原田 実、和美広喜、西田光行、荒屋敷明夫；床仕上げ面精度の測定法、日本建築学会大会学術講演梗概集（東海）、pp.229～230、1976.10
- 8) 奈良次郎；表面粗さの測定・評価法、総合技術センター、1986.12
- 9) 日本コンクリート工学協会文献調査委員会（担当：草場茂樹）；床面仕上げ精度の評価法（F-Number System）、コンクリート工学、Vol.30，No.12，pp.43～47、1992.12
- 10) 新井一彦、坂野弘一、竹村健一；コンクリート床の平坦さ及び表面粗さの測定と解析に関する研究、日本コンクリート工学協会・コンクリート工学年次論文報告集、pp.115～120、1988.6
- 11) 山田文三、斎藤 実、新井一彦、坂野弘一；コンクリート床直仕上げロボットの開発（その3）2号機の開発と工事への適用、日本建築学会大会学術講演梗概集（関東）、pp.653～654、1987.10
- 12) 新井一彦、山田文三、斎藤 実、坂野弘一；コンクリート床直仕上げロボットの開発（第4報）直仕上げ作業のシステム化施工、日本建築学会材料施工委員会・第2回建築施工ロボットシンポジウム予稿集、pp.61～66、1988.2
- 13) 新井一彦、坂野弘一；コンクリート床の平坦さ及び表面粗さの解析に関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集（関東）、pp.109～110、1988.10
- 14) 新井一彦、竹村健一；床面精度の測定と解析の自動化に関する研究、日本建築学会情報システム技術委員会・第12回情報システム利用技術シンポジウム論文集、pp.253～258、1989.12
- 15) 浅川文男、新井一彦；超平坦床の施工方法に関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集（九州）、pp.435～436、1989.10

(1994年11月10日原稿受理、1995年4月20日採用決定)