

論文
 [1021] 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

正会員 ○新井 一彦（鹿島建設建築工務部）
 坂野 弘一（鹿島建設建築本部）
 竹村 健一（鹿島建設機械部）

1. はじめに

コンクリート床の高機能化，高仕様化の要求から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になってきている。しかし，現状においては，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の絶対誤差，日本建築学会 JASS 5 T-604 による「コンクリートの仕上りの平坦さの試験方法」に準じて測定する平坦さがあるが表面粗さについては床仕上げ材の接着性等に影響を与えるものの，その測定方法として確立されたものはないようである。以上の状況を鑑み，表面粗さの定量化手法について検討した。

床面を直角に切断し，その切り口に現われる曲線である断面曲線を考えた場合，その断面形状は表面のうねりと粗さの成分によって形成されているといえる。（定義は表-1 参照）この断面曲線は一定の加工条件で製作された機械部品と異なり，種々の条件下で作業が進められるコンクリート床の断面曲線は不規則で周期性のない波形となっていると考えられ製造業で行われている粗さ測定方法のように電気的なフィルターでうねりを測定時に除去する方法は当該対象測定物の場合は困難と思われたので，ここでは測定した断面曲線からコンピュータにより，うねり成分を除去し，表面粗さ成分だけを抽出して解析する方法を考案した。この方法は理論的には前者の方法と同一な処理をしていることとなる。

本報告では，主に表面粗さの定量化を目的とした測定及び解析方法の検討結果について述べる。

2. 表面粗さの測定及び解析に関する検討

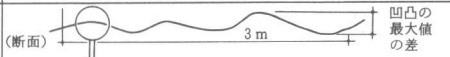

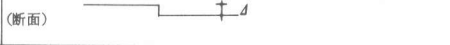
(1) コンクリート表面粗さの測定方法に関する検討

表面粗さの測定は，従来，機械部品加工分野で広く行われておりここでは，ろ波器と呼ばれる電気的フィルターを介し，断面曲線のうねり成分を除去し，直接粗さ成分だけを出力する電気アナログ・フィルター回路による方法で測定している。しかし，コンクリート床面では前述したように不規則な波形が考えられ，このような用途に適したろ波器を特定することは困難であるため，ここでは断面曲線全体を一定間隔でサンプリングした後，コンピュータにより雑音除去法などの手法を用いて演算処理する方法を採用することとした。この方法によれば，一度の測定で平坦さと表面粗さの測定結果を同時に出力することができ測定の効率化が図れるというメリットもある。

(2) 表面粗さの解析方法に関する検討

表面粗さは平坦さを求めるために測定した測定波形を利用して，その波形のうねり成分を除去して，粗さ成分だけを抽出し，さらに正規化して粗さを表示する方法を考案した。従来，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

表-1 コンクリート床表面性状の定義

項目	定義
平坦さ (うねり) (断面)	 凹凸の最大値の差
平滑度 (ざらつき) (断面)	 凹凸の最大値の差
段差 (こてムラ) (断面)	 d

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処理する方法が行われている。本解析はこの方法を逆に利用して、測定波形から雑音処理をし、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す方法である。演算処理による雑音処理方法としては、いくつかの方法が試みられているが、本方法は原理的に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、その演算式を示すと次のようである。

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

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

ここで、 $Y(i)$ は平滑値、 $X(i)$ はデータ n 個の離散値（但し、 $i = 1, 2, \dots, n$ ）、 $w(j)$ は $N(2m+1)$ 個の離散値からなる重み係数（但し、 $j = -m, \dots, -1, 0, 1, \dots, m$ ）、 W は正規化定数である。

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ル間隔、平滑化点数、多項式の次数の決定は利用するデータにより異なるのでそれらの検討が必要である。通常は、2次・3次多項式が利用され、平滑化点数は15あるいは25点が用いられており、ここでは15点を採用することとした。サンプル間隔は(4)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-Golay による係数表⁴⁾があり、それによると平滑化点数を15点とした場合、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作成した。

(3) 表面粗さ測定システム

平坦さの測定機器については JASS 5をはじめ、文献2)、3)にも見られるが、表面粗さを測定するための機器としては十分な精度が得られないと判断し、新たに図-1に示す表面粗さ測定システムを考案した。このシステムによればアナログによる記録とデジタルによるデータの収録が同時に行える。その仕様は表-2に示すとおりで、JASS 5 T-604の試験方法に準じ、測定長さは最大3mまでの測定が可能である。測定方法は触針式で床表面上を触針部が移動し、そのときのピックアップの上下動を作動トランスによって電気信号に変換し、データを収録する。高さ方向の測定範囲は±5mmで規定自体の精度は 8.51×10^{-6} であることを確認している。なお、触針子は測定データの信頼性並びに測定時間の効率化を意図して自動走行させることとした。駆動モータの制御は測

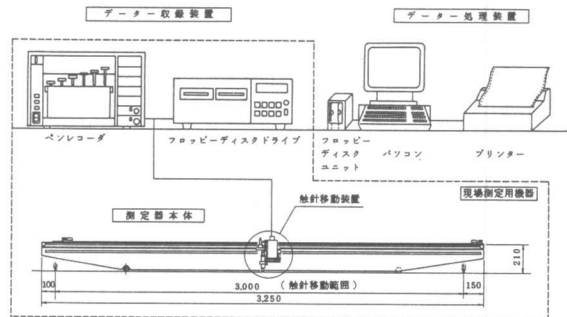


図-1 表面粗さ測定器

表-2 表面粗さ測定器の仕様

項目	仕様
ピックアップ (差動トランス)	測定範囲: ± 5mm 出力: ± 5V / ± 5mm 精度: ± 1% / フルスケール 走行速度: 100mm / 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, ピックアップ駆動モータの制御) 変位計測ボード モータ制御ボード AC → DC電源
駆動モータ	DCモータ
フロッピー ペンレコーダ	フロッピーディスク: 5インチ 2ドライブ データ折能: 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: 3m (最大) 精 度: 8.51×10^{-6}

定器本体に取り付けた制御盤により行う。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取り付けてある。

(4) 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、測定波形を連続量として捉えられることを特徴とするが、デジタルデータは離散値となるため、サンプル数の相違による影響を調査し連続量で求めたデータと離散量で求めたデータの適合性を立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による影響について検討した。なお、測定結果はチャートによる読み取り値とサンプリング間隔別の値を比較した。評価にあたっては平坦さの値を用いた。

1) 測定方法

測定長さは3 mとし、38ヶ所につきランダムに測定した。測定には図-1に示した測定器を使用し、データの記録、収録はチャート紙上及びフロッピーディスクに同時に行った。デジタルデータのサンプリングは1 cm間隔とした。

2) 解析方法

チャート紙上に記録したデータはチャートから直接読み取り、平坦さを算定した。また、デジタルデータは、一測定線あたり301個のデータ(1 cm間隔)で採取されており、それをコンピュータにより1/2(2 cm間隔)、1/4(4 cm)、1/8(8 cm間隔)の4種類のデータに仕分け、平坦さを算出した。

3) 測定結果及び考察

平坦さの算定結果はチャートにより算出した38個の平坦さの平均値を1として、サンプリング別による平坦さの平均値を指数化し図-2に示した。その結果、1 cm間隔(データ数: 301)で採取したデータはチャートによる平坦さよりわずかに大きいがほとんど近似している。同様に、2 cm間隔(データ数: 151)ではチャートに比較しやや小さな値であり、4 cm間隔(データ数: 76)では約1.5%、8 cm間隔(データ数: 38)では4%小さな値となっており、平坦さはデータのサンプル数が少なければ小さな値となる傾向を示している。また、サンプル数が100より小さくなるとチャートの平坦さとのかい離が大きくなっていることが分かる。表-3には、チャートの平坦さに対するサンプル数別の検定結果を示した。標準偏差は主に測定線間の平坦さに起因すると考えられるが、チャートの場合は多少読み取り誤差も含まれるためやや大きい標準偏差の検定を行ったところ有意さは認められなかった。次に標準偏差と同様に平均値の検定としても検定を行った。その結果

表-3 サンプリングの差異の検定結果

分類	測定数 (n)	平均値 (\bar{X}) (mm)	標準偏差 (\sqrt{V}) (mm)	平均値の検定結果 (t検定)	
チャート	38	2.616	0.663	—	
サンプリング間隔	1cm	38	2.637	0.656	0.016
	2cm	38	2.608	0.655	6.047 *
	4cm	38	2.575	0.656	16.50 *
	8cm	38	2.151	0.641	36.91 *

注 * $t(74, 0.05) \approx 2.00$

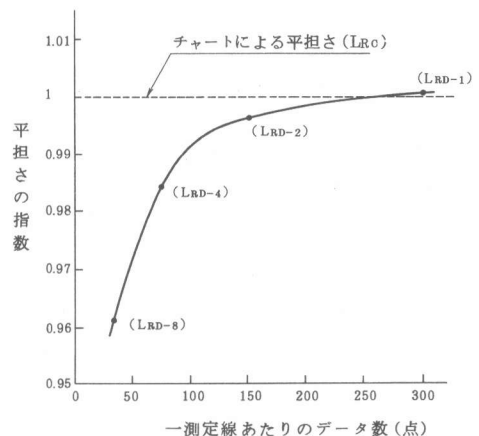


図-2 サンプリング別による平坦さの指数

は、チャートによる平坦さに対して有意でないと判定されたサンプル数は301点のときで、それ以外のデータ数の場合、有意であるとの結果となりチャートの平坦さとは同一であるとは認められないことが分かった。この結果、デジタルデータのサンプリング数は3mにつき301個、すなわち、1cm間隔で採取すれば良いと判断された。

(5) 測定数の検討

ある面積で施工されたコンクリートの表面性状を代表させるに必要な測定点数とその測定方法について検討した。

1) 測定方法

測定長さは3mとし、図-3に示すようにX、Y方向とも30cmの等間隔で、各11点ずつ22点を1ロットとした。測定は2現場で行い、評価の指標は平坦さを用い、1ロットと2ロットとの測定結果を比較することとした。

2) 結果及び考察

1ロット(22点)及び2ロット(44点)における平坦さの分布状況を構成比率により示すと図-4のとおりである。これをみると、測定現場間による構成比率の相違はあるものの、同一現場内における1ロットと2ロットの測定点数による結果は、平均値及び標準偏差ともほとんど同様で、また、構成比率の差異は小さく同様の分布状態にあると判断され、今回の結果によれば1ロット(22点)で床面の平坦さの性状はほぼ代表できるものと考えられた。

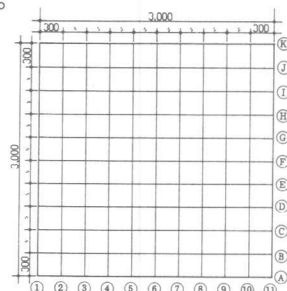


図-3 測定位値の割り付け

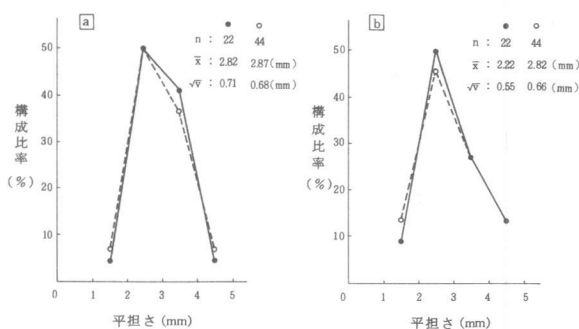


図-4 ロット別平坦さの構成比率

3. データの解析手順

以上の検討結果から、測定方法及び解析方法が明確になり、図-5に示すフローにより測定データの解析を行うこととした。データ解析の手順は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み取り、そのデータを基に平坦さの計算を行い、2.(1)で述べた解析手法に則り測定波形の平滑化の計算をして正規化したデータに変換する。次に表面粗さの計算を行うが表面粗さの指標として、ここでは①最大値②最小値③平滑度(JIS B 0601では最大高さと呼ばれる)④平均値⑤中心線平均粗さ⑥二乗平均平方根粗さの計算結果をアウトプットすることができる。演算処理は一測定あ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測定データ、波形、計算結果をプリントする。

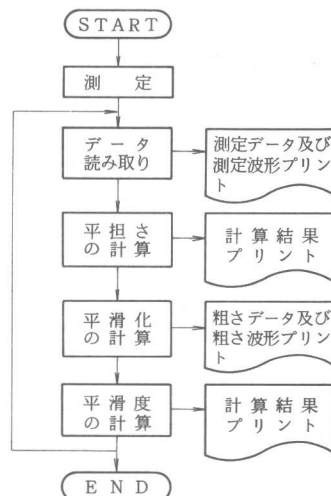


図-5 測定データの解析フローチャート

4. 平坦さ及び表面粗さの測定結果

測定長さを変化させたときに平坦さの結果に与える影響及び表面粗さの指標として平滑度を用いたときの分布状態について検討した。

(1) 測定長さが平坦さに及ぼす影響

前述した測定方法並びに図-5に示した解析フローに基づき、検長を1 m, 2 m, 3 mとした場合の平坦さの結果を検長別にその相関を図-6に示した。そこで得られた回帰式を用いて1 mのときの平坦さを基準として纏めて示したものが図-7である。これらの結果から、検長別による平坦さの相関として、相関係数(r)でみてみると検長2 mと3 mのときのrは0.81で、同様に1 mと2 mのときrは0.72, また、1 mと3 mのときrは0.63と順次小さな値となっている。また、平坦さは検長が長くなるほど大きい値となるが、その倍率と同等とはならず、むしろ低い傾向にある。この傾向は、検長が短いときの平坦さが大きい時ほど小さな値となっている。従って、床面の平坦さの精度あるいは許容値の設定にあたっては検長との関係を明確にしておく必要がある。

(2) 表面粗さの表示と測定方法

1) 表面粗さの表示方法

表面粗さは、測定波形を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、その分離された結果を示すと図-8のとおりである。測定波形から抽出した粗さ成分は表-1の定義を基に30cm(塩化ビニルタイラー一枚分に相当)ごとに図-9に示す方法で、測定長さ3 mのデータを8つに区切り粗さ解析用データを取り出すこととした。表面粗さ波形のアウトプットの一例を示したのが図-9である。このデータを基に3.解析手順で述べた①~⑥の処理を行うこととした。

2) 平滑度解析結果

上記の手続きにより得られたデータを平滑度の指標を用いて解析した結果を図-10に示す。図-10 a 及び b の測定線は

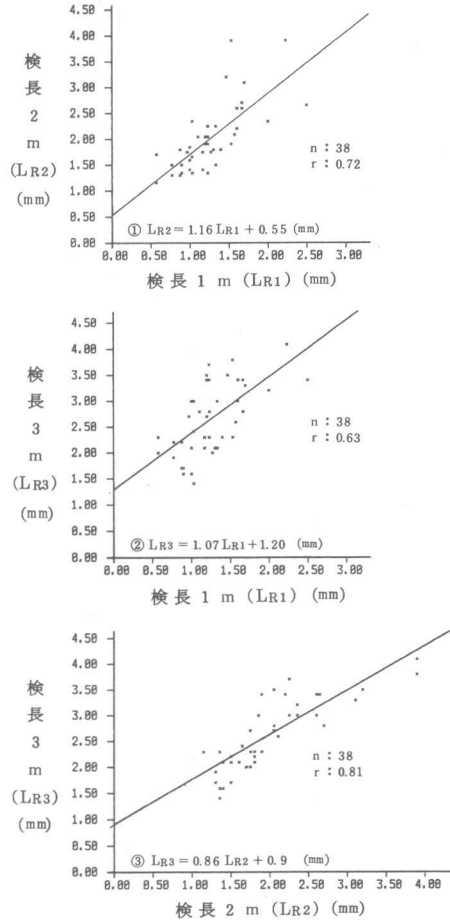


図-6 検長の差異による平坦さの関係

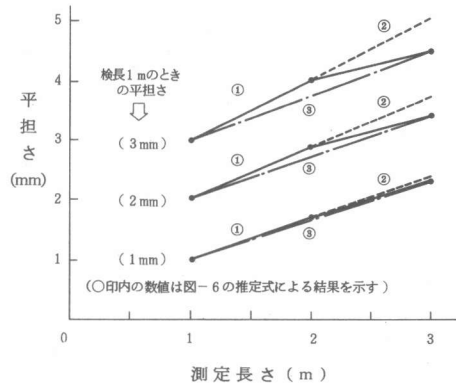


図-7 測定長さと平坦さの関係

それぞれ20本, 21本で, データ数は160個, 168個であり, その度数分布を示した。この結果から, コンクリート床の表面粗さは視覚的にかつ定量的にデータを捉えることが可能となった。

5. まとめ

本研究により得られた知見を纏めると次のようである。

① コンクリート床表面の性状把握のための測定手順並びに測定方法を標準化する手掛かりが得られた。

② 2次・3次多項式適合法により粗さ成分の抽出は可能である。

③ 同一測定記録から平坦さ及び表面粗さの各指標を導くことができる。

④ 平坦さの測定長さによる差異がつかめた。

⑤ コンクリート表面粗さを視覚的, 客観的に捉えられ, 定量的な評価が可能となった。

6. むすび

現在, 本測定並びに解析システムは一般のコンクリート床表面の性状把握の他, 機械化施工時の仕上がり精度の評価, 床面の補修工事における表面性状の把握などに使用されている。

今後, 床表面のよりふさわしい評価尺度の検討, レベル精度を同時に測定可能なシステムの開発が望まれる。

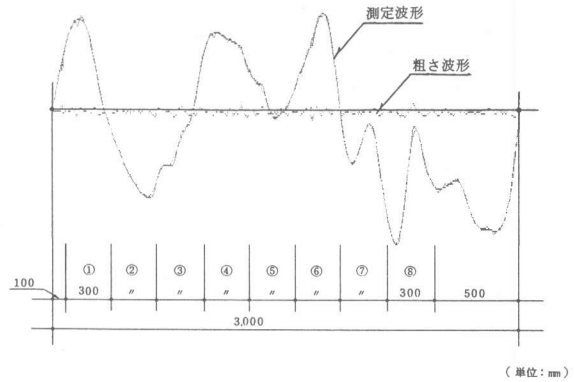


図-8 表面粗さのデータ区割り方法

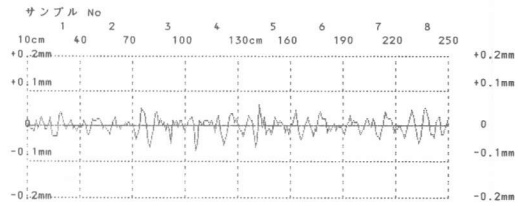


図-9 表面粗さ波形アウトプット例

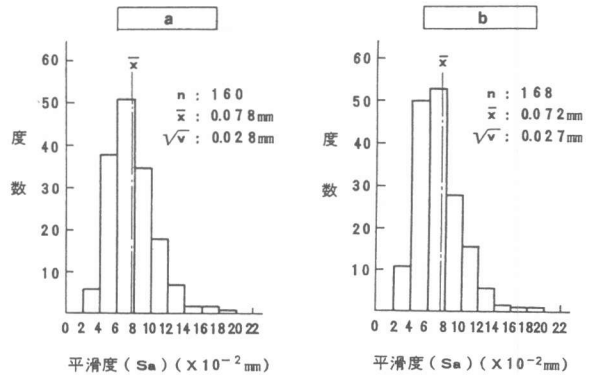


図-10 表面粗さ(平滑度)解析結果

〔参考文献〕

- 1) 奈良次郎; 表面粗さの測定・評価法, 総合技術センター, 昭和58年12月
- 2) 今村, 林, 他; 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), 昭和49年10月
- 3) 柿崎, 原田, 他; 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), 昭和51年10月
- 4) 南茂雄; 科学計測のための波形データ処理, CQ出版, 昭和62年7月