

表面粗さ評価指標としてのフラクタル次元の算出方法に関する検討

東京都市大学 学生会員 ○風間健太郎
東京都市大学 正会員 栗原 哲彦

1. 目的

コンクリートの打継面の付着性状に影響を与える表面粗さに対し研究がおこなわれている¹⁾。この表面粗さ評価には、対象とする面を計測する必要がある。近年では計測器の発達により詳細な計測が可能となった。しかし、過度に細分化することで計測や解析に要する時間が増大するという問題があり、このため、解析結果の精度を保ちつつ計測情報を簡略化する必要がある。

本研究では、複雑さを表す指標であるフラクタル次元に着目し、対象面の計測間隔と算出結果との関係から計測情報の簡略化について検討をおこなう。

2. 試験概要

2.1 試験体概要

表面粗さ計測用試験体として、表 1 に示す配合のコンクリートにより、寸法 100×100×30mm の供試体を作製した。なお、粗さの表現のため、洗出し深さ 4mm 程度の硬化遅延シートを用いて洗出し処理を施した。

また、付着性状確認用供試体として、中央に鉛直の打継ぎ面を設けた寸法 100×100×400mm の角柱供試体を作製し、2 週間の水中養生を行なった。

2.2 表面粗さの計測

表面粗さ計測用試験体に対し、触針式三次元形状測定機を用い、80×80mm の範囲の表面形状を計測した。なお、計測間隔は、0.1mm から 5mm の間より 7 パターン選択した。

2.3 曲げ载荷試験

鉛直な打継ぎ面をもつ角柱供試体に対し 3 等分点曲げ载荷し、計測した最大荷重から曲げ付着強度を算出した。なお破壊位置を限定するため打継部下縁から鉛直方向に、深さ 30mm、幅 3mm の切欠きを施した。

2.4 表面粗さの定量化

フラクタル次元²⁾ は自己相似図形の総称で、図形

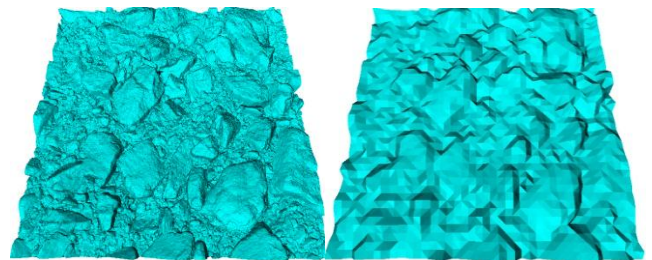
表 1 示方配合

W/C (%)	単位量 (kg/m ³)					
	W	C	S	G	Ad ₁	Ad ₂
55	174	316	802	974	0.757	0.03

G_{max}: 20mm

Ad₁: AE減水剤

Ad₂: 補助AE剤



(a) 計測間隔 0.1mm

(b) 計測間隔 2.0mm

図 1 計測データ画像例

表 2 各種強度

	強度 (N/mm ²)			
	圧縮	割裂	曲げ	曲げ付着
新	36.9	3.13	4.87	3.23
旧	31.6	3.25	4.31	

新: 打継用コンクリート

旧: 初期打設コンクリート

の複雑さを定量的に表す指標として用いられる。本研究での次元算出には、Box Counting 法を用いた。

Box Counting 法は、切り口断面曲線に対して正方形で被覆し、その正方形の 1 辺の長さを変化させ、切り口断面曲線を含んでいる正方形の総数と正方形の 1 辺の長さの関係を両対数グラフで表し、比例関係を示した時の傾きをフラクタル次元とする。なお、正方形の 1 辺の長さは、80mm を基準に 1/2 ずつに分割していった。

また、切り口断面曲線より、最大高さ (JIS B0601 '2001) 及び、算術平均粗さ (JIS B0601 '2001) を求め硬化遅延シートの洗出し深さの確認を行った。

3. 結果及び考察

3.1 表面粗さ計測

表面粗さの計測画像の一例として、図 1 に計測間隔 0.1mm と 2.0mm のものを記載した。図 1 より、計

測間隔 0.1mm では細骨材の形状まで鮮明に表現されているが、測定間隔 2.0mm では粗骨材の外観が認識できる程度にとどまる。計測時間には、計測間隔 0.1mm で 48 時間、0.5mm で 6 時間、1.0mm で 3 時間、2.0mm で 1 時間程度あり、当然のことながら測定間隔を狭めると計測時間は飛躍的に増加した。

3.2 曲げ付着強度と最大高さ及び算術平均粗さ

各種強度試験結果を表 2 に示す。ここで、曲げ強度は新及び旧コンクリートのそれぞれの曲げ強度であり、曲げ付着強度は旧コンクリートに対し新コンクリートを打継いだ供試体の曲げ強度である。表 2 から、ほぼ同強度のコンクリートが打継がれていることがわかる。なお、今回の打継面処理より、曲げ付着強度は旧コンクリートの曲げ強度の 75%，新コンクリートのその 66%（旧）となった。

また、間隔 0.1mm の計測データをもとに、最大高さ 6.30mm，算術平均粗さ 1.21mm が算出された。

3.3 フラクタル次元の算出

計測間隔及び正方形を変化させた時のフラクタル次元算出結果を表 3 に示す。二次元のフラクタル次元 D は $1 \leq D < 2$ （1：直線，2：面）の範囲で定量的に表現される。計測間隔より小さい正方形で対象を被覆した場合、正確なフラクタル次元が算出されないため、ここでは計算間隔より大きい正方形で被覆したときの結果を用いてフラクタル次元を算出した。

図 2 は、計測間隔ごとの、フラクタル次元と Box Counting 法における正方形一辺の長さの最小値の関係を示す。計測間隔を小さくすることで、フラクタル次元が増加することが分かる。また、正方形一辺の長さの最小値を小さくしていくと、フラクタル次元が小さくなることが分かった。しかし、フラクタルの概念から「自己相似が成り立つ＝次元の変化がない」ことが前提にあり、次元が減少することは次元の算出に問題があると判断できる。そのため、図 3 に示す正方形一辺の長さの最小値ごとの、フラクタル次元と計測間隔の関係についての結果を見ると、正方形の一辺の長さが 2.5mm 程度までは次元の変化が小さい。さらに、計測間隔を小さくするほど、フラクタル次元は大きくなるが、計測間隔 0.5mm では 0.1mm の場合の 90%程度を維持している。

表 3 フラクタル次元算出結果

フラクタル次元		計測間隔 (mm)						
		0.1	0.5	1	2	3	4	5
正方形一辺の長さの最小値 (mm)	5	1.130	1.123	1.104	1.087	1.049	1.020	1.002
	2.5	1.145	1.130	1.100	1.059	—	—	—
	1.25	1.138	1.106	1.061	—	—	—	—
	0.625	1.120	1.064	—	—	—	—	—
	0.3125	1.096	—	—	—	—	—	—
	0.15625	1.065	—	—	—	—	—	—

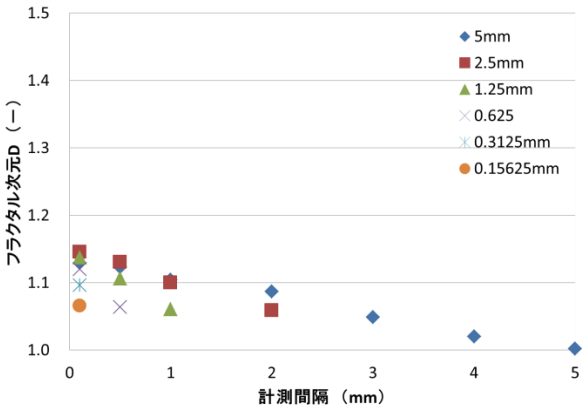


図 2 フラクタル次元と計測間隔の関係

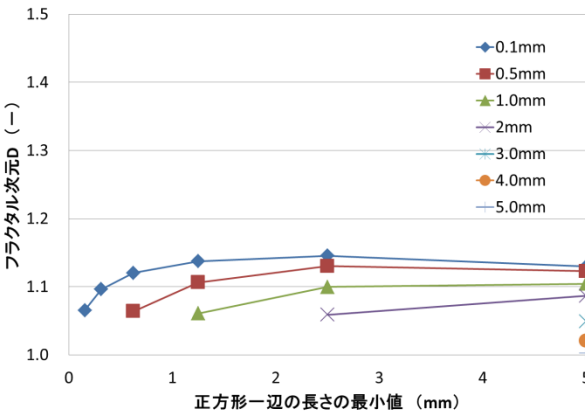


図 3 フラクタル次元と正方形一辺の最小値関係

4. まとめ

以上のことから得られた知見をまとめると、計測間隔と正方形はフラクタル次元の算出に対して影響与えることが分かった。さらに、計測時間とフラクタル次元の安定性から、表面粗さ計測用試験体を計測間隔 0.5mm で測定し、一辺が 2.5mm の正方形による被覆を最小値として Box counting 法により算出されたフラクタル次元値の採用することが妥当だと考えられる。

参考文献

1) 栗原哲彦，西田好彦，鎌田敏郎，六郷恵哲：コンクリート打継部における表面処理粗さの定量化と付着性状の評価，コンクリート工学年次論文報告集，Vol20, No. 2, pp. 1261-1266, 1998
2) 石村貞夫，石村園子：フラクタル数学，東京図書，1993