

表面粗さ指標としてのフラクタル次元の算出方法およびその適用性の検討

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⁾。

本研究では表面粗さ評価の一つとして、複雑さを表す指標であるフラクタル次元に着目し、表面形状の計測間隔と次元算出方法から、付着に影響を与える評価値の傾向をつかむことを目的とする。

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 曲げ载荷試験

鉛直な打継ぎ面をもつ角柱供試体及び一体角柱供試体に対し 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。

2.3 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。また、曲げ载荷試験後の供試体破断面に対し、切欠き端部から 35×80mm の範囲の表面形状を計測した。なお、計測間隔は、0.5mm から 5mm の間より 6 パターン選択した。

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、

キーワード 表面粗さ, 付着性状, フラクタル次元,

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

表 2 曲げ強度とフラクタル次元

		曲げ強度(平均)		*フラクタル次元(平均)	
		N/mm ²		-	
k	No.1	4.81	(4.77)	1.101	(1.105)
	No.2	4.72		1.109	
s	No.1	5.04	(4.87)	1.112	(1.110)
	No.2	4.84		1.106	
	No.3	4.73		1.113	
sk	No.1	2.88	(3.23)	1.079	(1.088)
	No.2	4.10		1.098	
	No.3	2.72		1.086	

*フラクタル次元: 計測間隔0.5mm, 正方形一辺の最小値2.5mmで算出した場合

k:旧コンクリート(一体供試体)

s:新コンクリート(一体供試体)

sk:新旧コンクリート(打継供試体)

切り口断面曲線を含んでいる正方形の総数と正方形の一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ものである。なお、正方形の一辺の長さは、80mm を基準に一辺を 1/2 ずつに分割していった。

3. 結果及び考察

3.1 曲げ強度

表 2 に曲げ強度を示す。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、打継供試体の曲げ強度は一体供試体の曲げ強度の約 7 割となった。

3.2 フラクタル次元の算出

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。次元算出に当たり、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、計測間隔間を直線的に 0.1mm 間隔で補間し、フラクタル次元を算出した。図 1 は洗出し面に対するフラクタル次元と 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。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．図 1 から，フラクタル次元は，正方形一辺の長さの最小値 1.25～5mm までではほとんど変化がなく有効な値として考えられる．

3.3 曲げ強度とフラクタル次元

図 2 は，打継の有無関係なく全試験体を対象に，破断面を 0.5mm 間隔で計測したデータを用いフラクタル次元を算出した結果と曲げ強度の関係を正方形一辺の長さの最小値別に示したものである．なお，図 1 から正方形一辺の長さの最小値は 0.625～5mm の 4 パターンとした．また，他の計測間隔においても同様にフラクタル次元と曲げ強度の関係を求めている．図 2 のように，いずれの計測間隔においてもフラクタル次元の増加に伴い曲げ強度も増加する傾向を示した．しかし，次元算出法により近似直線の位置及び傾きは異なり，フラクタル次元算出に当たり具体的な計測間隔及び正方形の一辺の長さの最小値を決定できない．

そこで，フラクタル次元と曲げ強度の間に直線的な関係があると仮定して，その時の相関係数を見つめる．図 3 に，フラクタル次元と曲げ強度の近似直線の相関関係を計測間隔別に示した．図 3 から，表面形状を 0.5mm 間隔で計測したデータに対して，正方形の一辺の長さの最小値を 2.5mm とした場合に相関率が最大となった．この時の算出法を用い洗出し面及び破断面のフラクタル次元と曲げ強度の関係を図 4 に示す．曲げ強度に関する次元値は，洗出し面で 1.141，打継破断面 (sk 平均) で 1.088 と算出された．洗出し面に対して打継破断面の次元値は 95% であった．

4. まとめ

本試験の場合，計測間隔 0.5mm のデータに対して，正方形一辺の長さの最小値を 2.5mm で次元算出された値は曲げ強度と相関が高く，表面形状の評価として妥当であると判断される．

〈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

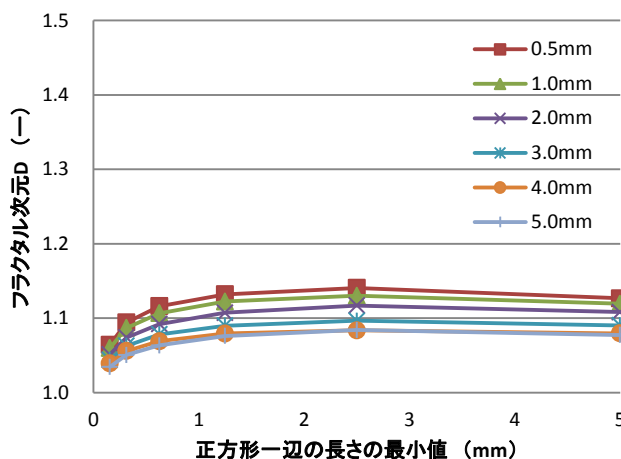


図 1 フラクタルと正方形一辺の最小値 (0.1mm 補間)

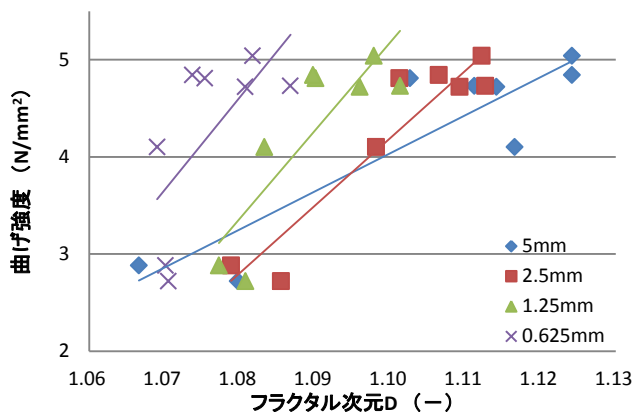


図 2 曲げ強度とフラクタルの関係例

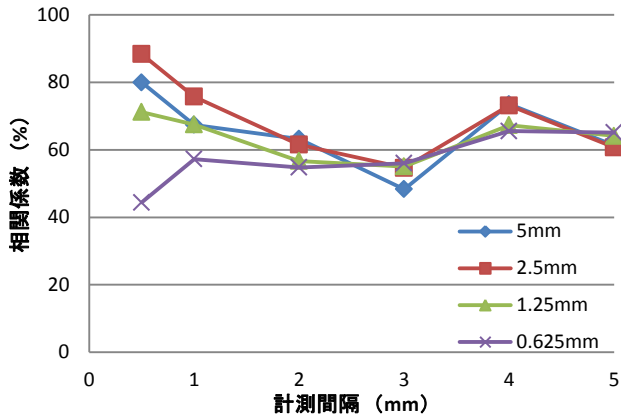


図 3 曲げ強度とフラクタルの相関関係

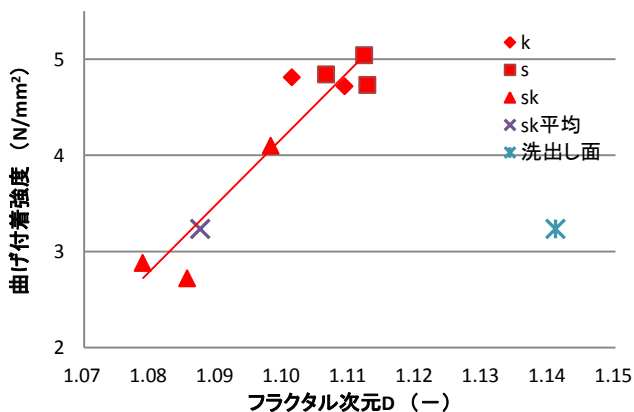


図 4 洗出し面及び破断面のフラクタル分布