

# コンクリート表面粗度の定量化と付着強度特性に関する研究

松田 浩<sup>\*1</sup> 崎山 毅<sup>\*1</sup> 森田 千尋<sup>\*1</sup>  
 和田 眞禎<sup>\*2</sup> 小嶋 悟<sup>\*3</sup> 中山 沙織<sup>\*4</sup>  
 仲村 政彦<sup>\*5</sup> 山本 晃<sup>\*5</sup> 鶴田 健<sup>\*6</sup>

## Measurement of Concrete Surface and Evaluation of Bond Property

by

Hiroshi MATSUDA<sup>\*1</sup>, Takeshi SAKIYAMA<sup>\*1</sup>, Chihiro MORITA<sup>\*1</sup>,  
 Masayoshi WADA<sup>\*2</sup>, Satoru KOJIMA, Saori NAKAYAMA<sup>\*4</sup>,  
 Masahiko NAKAMURA<sup>\*5</sup>, Akira YAMAMOTO<sup>\*5</sup>, Ken TSURUTA<sup>\*6</sup>

We measured the roughness of concrete surface, and estimated quantitatively the roughness in concrete surface by using six indexes. Then, we investigated the relationship between the roughness of concrete surface and the bond strength at the bond surface. The surface were measured by using 3D measurement system with slit-laser and CCD camera developed in our laboratory. Slant shear test was used to evaluate the bond property. To investigate the availability of 3D measurement system with CCD camera and laser beam is also a purpose of this study.

### 1 まえがき

コンクリート構造物は耐久性に優れ、耐荷力劣化のないメンテナンスフリーの建設材料であると言われてきた。しかし、高度経済成長期に建設されたコンクリート構造物に、塩害をはじめとする様々な要因による耐久性や耐荷力の劣化・老朽化が多く見られるようになった。そのため、これらのコンクリート構造物の補修・補強を効果的かつ経済的に行うための点検、診断、設計および施工技術の確立が急務となっている。

現在、コンクリート構造物の補修・補強では、断面修復、CFRP接着、鋼板接着、コンクリート巻立て床版増厚などの工法が用いられている。既設コンクリートに新コンクリートを打継ぐ際、新旧コンクリートの一体化を目的としてコンクリート表面を粗面処理をす

る場合が多い。しかしながら、下地処理の方法及び程度がコンクリートの一体化に及ぼす影響については定量的に把握されておらず、使用条件及び目的に応じた処理方法及び程度の定量化が要求されている。

本研究は、コンクリート打継部を対象として、種々の表面処理工法により施工されたコンクリート表面形状を計測し、表面粗度を6種類の指標を用いて定量的に評価するとともに、これらの表面粗度の評価結果とコンクリート打継部の付着強度との関係について検討することを目的としたものである。表面形状の計測には、当研究室で開発したスリットレーザ光とCCDカメラを用いた三次元計測装置<sup>1)2)3)4)5)</sup>(写真1, 2参照、以下：レーザ光式3D計測器と略記)を用い、付着強度は新旧コンクリートを一体化した試験体の傾斜せん

平成12年4月21日受理

<sup>\*1</sup>構造工学科

<sup>\*2</sup>大学院 修士課程 構造工学専攻

<sup>\*3</sup>大学院 博士前期課程 環境システム工学専攻 (研究当時：長崎大学構造工学科)

<sup>\*4</sup>奈良女子大学大学院 (研究当時：長崎大学構造工学科)

<sup>\*5</sup>日本構研情報(株) 福岡テクノセンター

<sup>\*6</sup>小沢コンクリート(株)



写真1 レーザ光式  
3D計測器

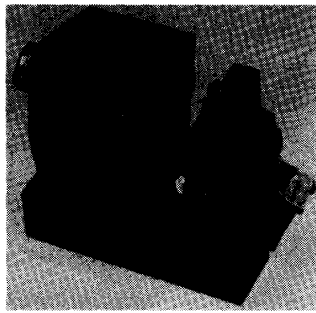


写真2 スポットレーザー  
投光器

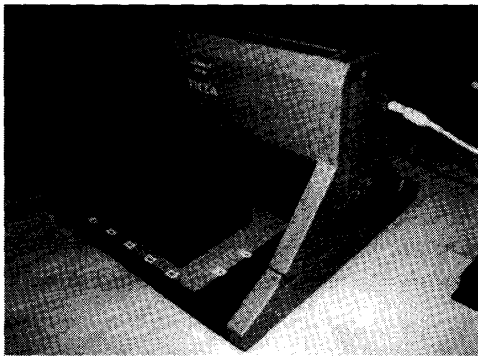


写真3 触針式3D計測器

断試験を実施して求めた。さらに、レーザ光式3D計測器の有効性を調べるため、触針式3D計測器(写真3参照)を用いて比較した。

## 2 表面計測と付着せん断試験

### 2.1 実験概要とコンクリート試験体

既存コンクリートの表面処理法として、表面形状の異なる9種類のコンクリートを製作し、さらに、補修用の新コンクリートを打設して一体化したコンクリートを製作した。この試験体を用いて、新旧コンクリートの一体化の程度を調べるために、傾斜せん断試験を行った。せん断試験は、200ton アムスラー試験機を使用し、ロードセルにて荷重を確認しながら载荷を行った。せん断方向のずれを変位計にて、ひずみをひずみゲージ(3軸)を用いて測定した。試験方法概略及び変位計・ひずみゲージの設置位置を図1及び写真4に示す。試験体に用いたコンクリートの配合を表1に示す。

表面処理法は表2に示すように、既存コンクリート打込み時の処理法として、A:ボラコン散布、B:遅延剤処理、C:ホウキ目処理、D:エアセル処理を、また、既存コンクリート硬化後の処理法として、E:グラインダー処理、F:チップング(浅)、G:チップング(深)、H:ショットブラスト(浅)、I:ショッ

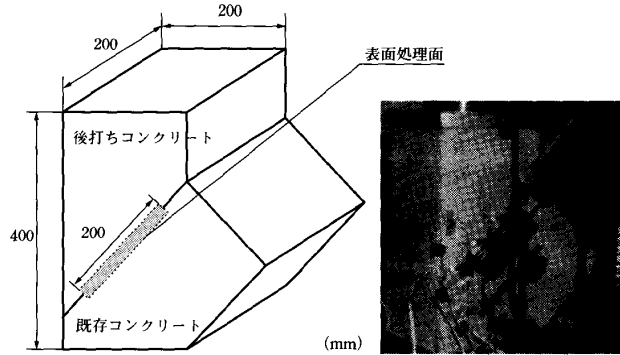


図1 傾斜せん断試験用試験体 写真4 実験の様子

表1 コンクリート試験体の配合表

粗骨材 最大寸法 (mm)	スラン プ (cm)	空気 量 (%)	水セ メン ト比 (%)	細骨 材率 (%)	単体量 (kg/m <sup>3</sup> )					
					水	セメ ント	細骨 材	粗骨材		混和 材
								A	B	
20	8	3	55.3	47.8	183	333	839	468	468	1.249

セメント:普通ポルトランドセメント(後打ちコンクリート部:早強ポルトランドセメント)

トブラスト(深)を用い、この他に基準となるものとして一体型の試験体(basic)、計10種類の表面処理面(20×20cm<sup>2</sup>)をもつ試験体を製作した。表面形状(表面粗度の程度)の異なる9種類のコンクリート表面を写真5に示す。表面処理部分以外の表面は、付着を切断するために離型材を塗布した。また、新旧コンクリートの物性値試験のため、曲げ強度、圧縮強度、引張強度用テストピースを3体ずつ作製した。テストピースによる引張強度、圧縮強度、曲げ強度を表3に示す。

### 2.2 実験結果

既存コンクリートと後打ちコンクリートを一体化した試験体(図1)をロードセルにて载荷を行った。その時の破壊形態と破壊荷重を表4に示す。また、試験体No1, 2, 3の荷重-相対変位図を図2, 3, 4に示す。

表2 試験体の種類

試験体 No	呼び強度 N/mm <sup>2</sup>	表面処理方法	
A	24	コンクリート 打込み時処理	ボラコン散布
B			遅延剤処理
C			ホウキ目処理
D			エアセル処理
E		コンクリート 硬化後処理	グラインダー処理 <sup>1)</sup>
F			チップング(浅)
G			チップング(深)
H			ショットブラスト(浅)
I			ショットブラスト(深)
basic		一体型	

グラインダー処理<sup>1)</sup>:格子模様

ショットブラスト(浅<sup>2)</sup>:ショット速度50m/sec-1分)

ショットブラスト(深<sup>3)</sup>:ショット速度70m/sec-2分)

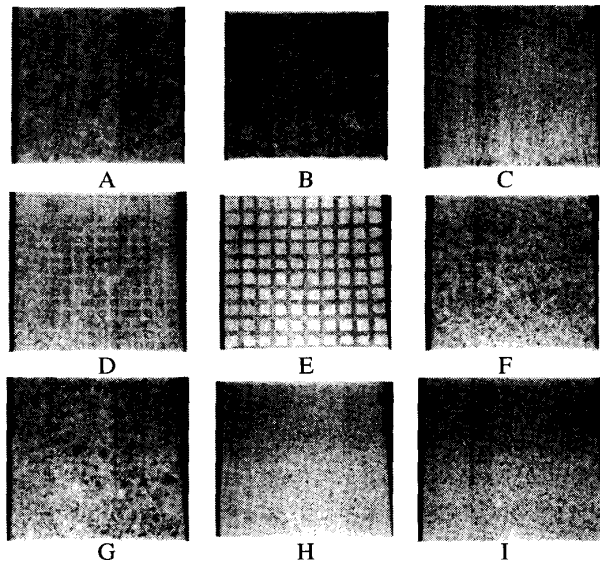


写真5 コンクリート表面形状

表3 コンクリート強度(MPa)

引張強度	曲げ強度	圧縮強度
2.94	5.30	35.4

す。試験体 No. 1 と試験体 No. 2, 3 を比較すると、試験体 No. 1 は試験体 No. 2, 3 よりも低い荷重で破壊に至っている。

2.3 表面処理面の計測概要

新コンクリート打設前に、コンクリート表面形状を計測した。なお、本計測器による計測結果を検証するために、各種表面処理試験体の表面処理面を触針式3D計測器で計測した。その際、触針式3D計測器では、大きさ、重量の面から試験体自体での計測ができなかったため、試験体 No. 1 の表面処理面をシリコン樹脂

表4 傾斜せん断試験結果

試験体	表面処理状態	No 1		No 2		No 3	
		破壊	荷重	破壊	荷重	破壊	荷重
A	ボラコン散布	圧縮	994	圧縮	1072	圧縮	1072
B	遅延剤処理	圧縮	1084	圧縮	1059	圧縮	1057
C	ホウキ目処理	せん断	578	せん断	883	せん断	857
D	エアセル処理	せん断	766	せん・圧	1080	せん・圧	1001
E	グラインダー処理	せん断	783	圧縮	1100	圧縮	1027
F	チッピング(浅)	せん断	950	圧縮	1042	圧縮	1081
G	チッピング(深)	圧縮	1027	圧縮	1015	圧縮	1119
H	ショットブラスト(浅)	せん断	481	せん・圧	935	せん・圧	1027
I	ショットブラスト(深)	せん断	780	圧縮	1099	圧縮	1057
basic	一体型	圧縮	1065	圧縮	1021	圧縮	1081

※せん・圧は、せん断・圧縮せん断破壊を示す。

※破壊荷重の単位は、KN である。

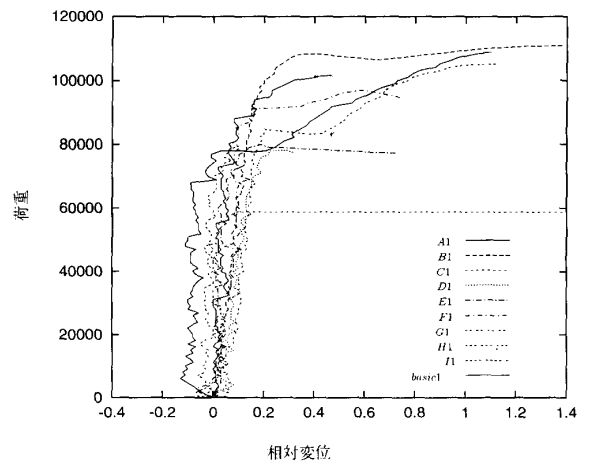


図2 荷重-相対変位図 (No.1)

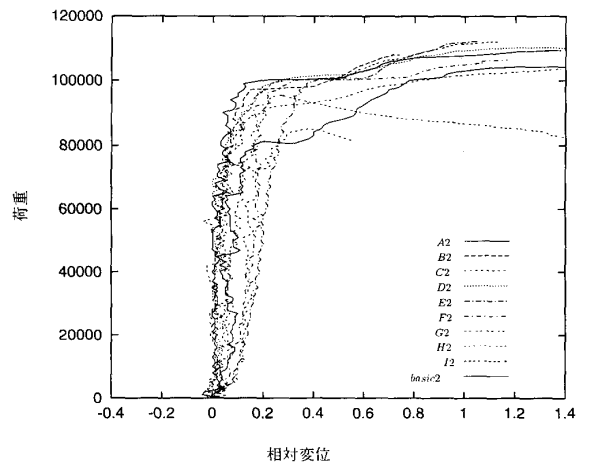


図3 破壊荷重-相対変位図 (No.2)

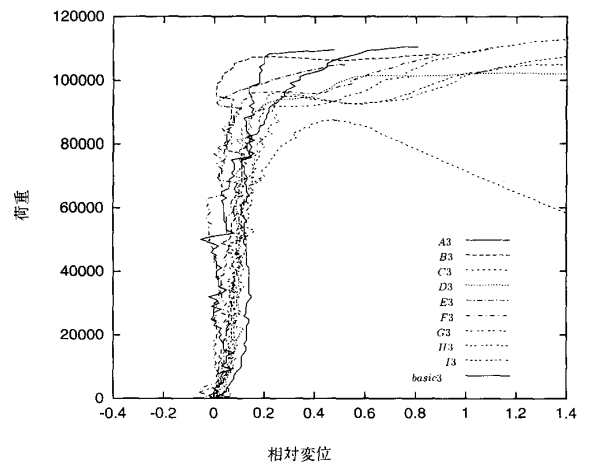


図4 荷重-相対変位図 (No.3)

を用いて型取りしたものを計測することにした。本研究では、レーザ光式3D計測器及び触針式3D計測器によって得られる計測結果を比較し、その計測結果の相関関係に注目して本計測器の有効性の検証を行った。

2.4 各計測条件の相違点

各計測器の仕様を、表5に示す。

表5 各計測器の仕様

	触針式3D計測器	レーザ光式3D計測器
計測対象物	シリコン型枠	コンクリート
計測法	触針式	スリット計測
計測範囲	10cm×10cm	20cm×20cm
計測点数	40401	約10万
計測時間	5～6時間	2分前後
刻み幅	0.5mm	0.25mm

3 定量化手法

3.1 定量化手法の概要

今回、コンクリート表面粗度の定量化を行うにあたり、6種類の定量化手法を用いた。

(a) 表面積

表面積の投影面積に対する比率。

(b) ひび割れ面性状係数(線の角度特性)

各測定ラインにそれぞれにおけるひび割れ面凹凸の傾斜部傾きの標準偏差を用いることにより、ひび割れ面性状を定量的に表す係数。

(c) 斜面の角度特性(面的角度特性)

表面処理した凹凸の水平に対する角度を集計し、それらを統計的に処理した時の標準偏差。

(d) 表面深さの頻度分布

ある基準面から処理表面までの高さを表面深さと設定し、この発生頻度を集計し、それらを統計的に処理した時の標準偏差。

(e) 平面方程式とその距離分布

最小二乗法により求めた平面方程式からのデータまでの距離を集計し、それらを統計的に処理した時の標準偏差。

(f) 山数

x, y軸正負の方向の合計4パターンに着目し、4パターン全てで重複しているデータを選び出す。それらを山と判断し、全体のデータ個数に対する山の数の割合。

3.2 各定量化手法の結果

触針式とレーザ光式の2種類の計測器を用いて計測して、三次元データを得た。得られた三次元データから3.1の定量化手法を用いて、定量化値を算出した。それら全ての定量化値を表6にまとめた。なお、試験体No.1に関しては、触針式とレーザ光式の2種類の定量化値を算出した。

4 相関関係

4.1 触針式とレーザ光式の相関関係

レーザ光式3D計測器の有効性を検証するため、シリコンを触針式、コンクリートをレーザ光式で計測して、それぞれの相関を求めた。以下に折れ線図と相関図をそれぞれ6種類の各定量化手法ごとに示した。

両計測結果のデータを用いた結果より、粗度定量化値には大きな違いが生じているが、触針式3D計測器とレーザ光式3D計測器それぞれ相関関係評価を行うと、

表6 各試験体の各定量化値

	No.	表面積	線の角度	面的角度	深さ	平面	山	
A	触	1	2.605	0.451	22.127	2.481	3.459	0.016
	レーザ	1	2.447	0.280	1.579	0.230	0.683	0.061
		2	2.408	0.260	0.700	0.241	0.604	0.064
		3	2.347	0.275	0.531	0.218	0.902	0.069
		平均	2.410	0.272	0.937	0.230	0.730	0.065
B	触	1	1.591	0.206	19.336	1.111	1.566	0.029
	レーザ	1	1.995	0.191	0.383	0.145	0.279	0.071
		2	2.172	0.203	0.331	0.154	0.434	0.076
		3	2.153	0.210	0.542	0.163	1.455	0.075
		平均	2.107	0.201	0.419	0.154	0.723	0.074
C	触	1	1.301	0.160	17.319	0.825	0.850	0.040
	レーザ	1	1.760	0.152	0.148	0.076	0.134	0.088
		2	1.721	0.147	0.143	0.081	0.100	0.089
		3	1.688	0.152	0.143	0.086	0.147	0.088
		平均	1.723	0.150	0.145	0.081	0.127	0.088
D	触	1	1.442	0.217	19.126	1.207	1.757	0.142
	レーザ	1	1.954	0.177	0.318	0.121	1.098	0.099
		2	2.011	0.183	0.315	0.120	0.353	0.109
		3	1.900	0.181	0.314	0.112	0.307	0.100
		平均	1.955	0.180	0.316	0.118	0.586	0.103
E	触	1	1.266	0.137	17.425	1.175	1.408	0.071
	レーザ	1	1.760	0.165	0.204	0.129	0.230	0.092
		2	1.768	0.177	0.900	0.126	0.254	0.111
		3	1.737	0.172	0.210	0.134	0.290	0.103
		平均	1.758	0.171	0.438	0.130	0.258	0.102
F	触	1	1.096	0.065	10.975	0.727	0.807	0.044
	レーザ	1	1.713	0.164	0.177	0.091	0.143	0.087
		2	1.642	0.162	0.304	0.099	1.132	0.089
		3	1.625	0.139	0.192	0.091	0.139	0.096
		平均	1.660	0.155	0.224	0.094	0.471	0.091
G	触	1	1.234	0.112	14.079	1.615	1.979	0.022
	レーザ	1	2.022	0.205	0.313	0.195	0.298	0.082
		2	1.735	0.164	0.378	0.201	0.513	0.080
		3	1.178	0.163	0.818	0.204	0.355	0.085
		平均	1.828	0.177	0.503	0.200	0.389	0.082
H	触	1	1.013	0.025	4.561	0.262	0.204	0.108
	レーザ	1	1.612	0.139	0.133	0.060	0.148	0.091
		2	1.580	0.127	0.124	0.058	0.104	0.091
		3	1.516	0.129	0.168	0.056	0.099	0.110
		平均	1.569	0.132	0.142	0.058	0.117	0.097
I	触	1	1.049	0.063	8.497	0.490	0.275	0.067
	レーザ	1	1.743	0.172	0.493	0.075	0.244	0.081
		2	1.627	0.162	0.162	0.061	0.076	0.089
		3	1.548	0.122	0.300	0.056	0.097	0.091
		平均	1.639	0.152	0.318	0.064	0.139	0.087

大きく寄与していることがわかる。

4.2 No.1の試験結果と付着強度

試験体 No.1の表面処理面をシリコンで型取りしたものを触針式で計測した。それら三次元データから各定量値を算出し、付着強度との相関を求めた。これを

(1) 折れ線図

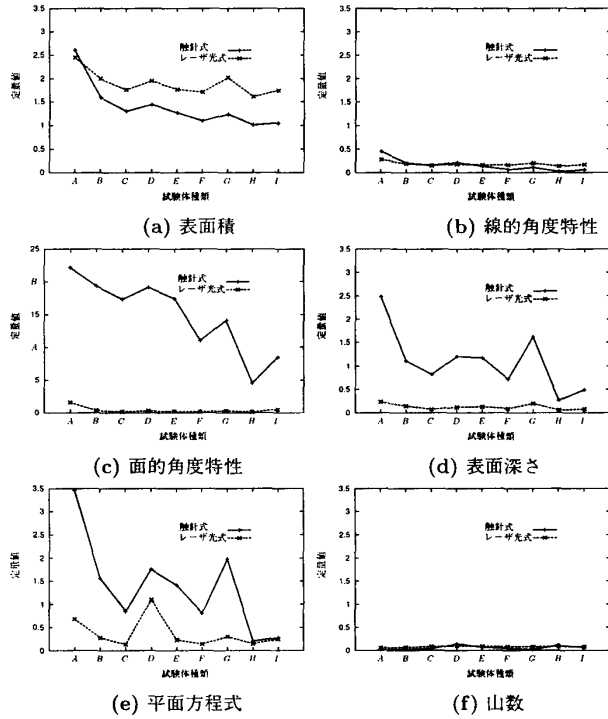


図5 触針式及びレーザ光式による定量値

(2) 相関図

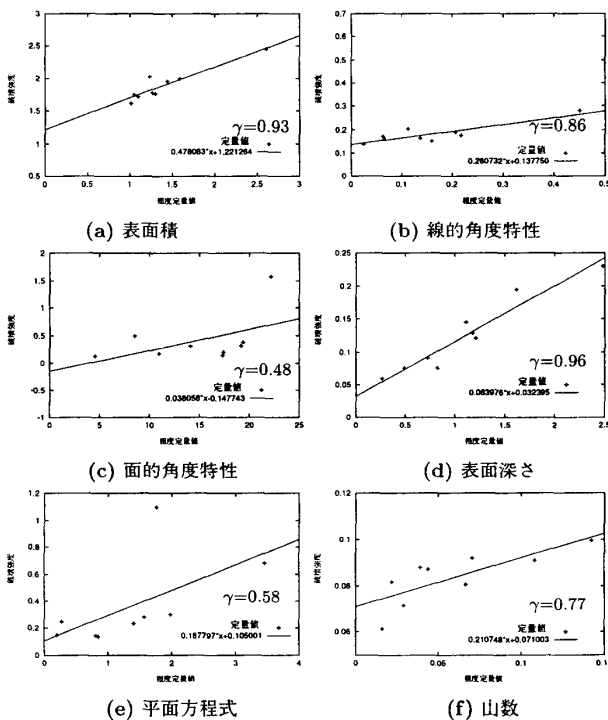


図6 両計測法による定量値の相関関係

以下の図7に示す。

シリコンで型枠をとった後、コンクリート表面をレーザ光式により計測した。それら三次元データから各定量値を算出し、付着強度との相関を求めた。その結果を図8に示す。

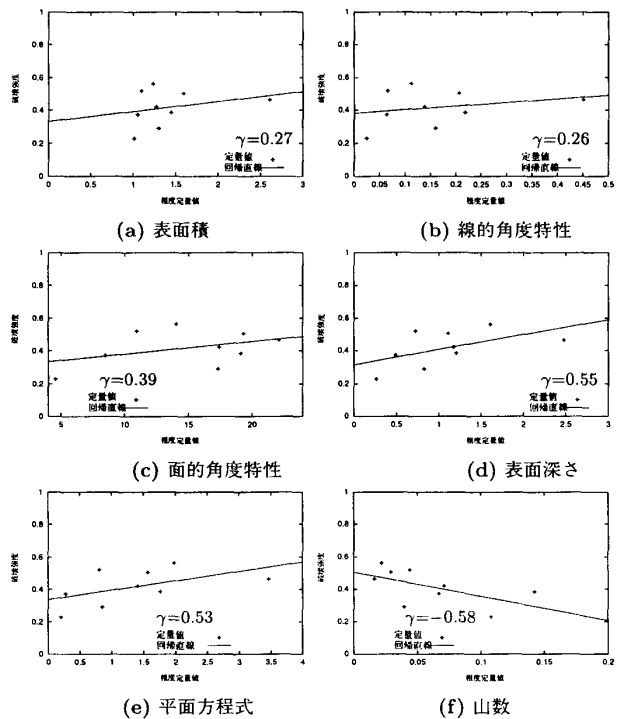


図7 No.1 (シリコン) と付着強度の相関図

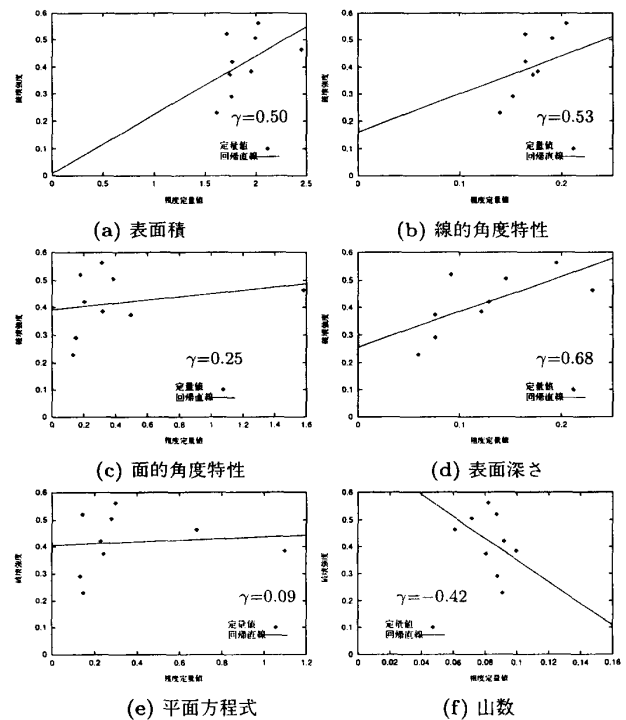


図8 No.1 (コンクリート) と付着強度の相関図

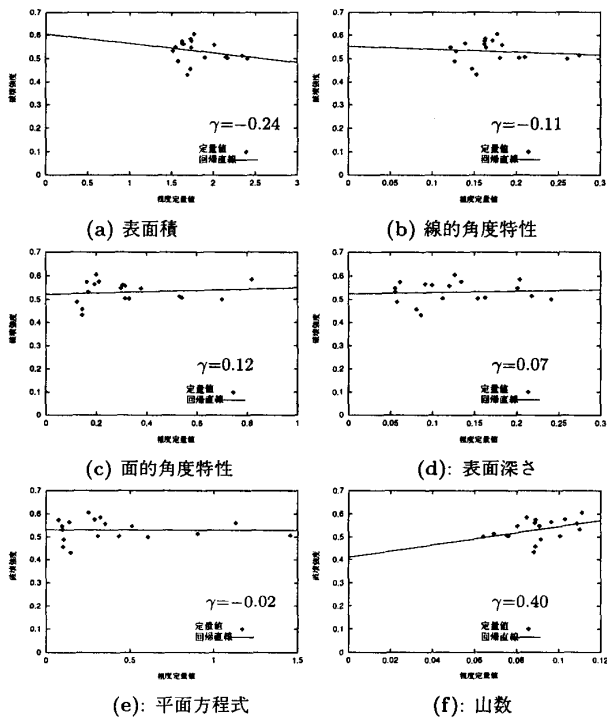


図9 No2,3 (全体) と付着強度の相関図

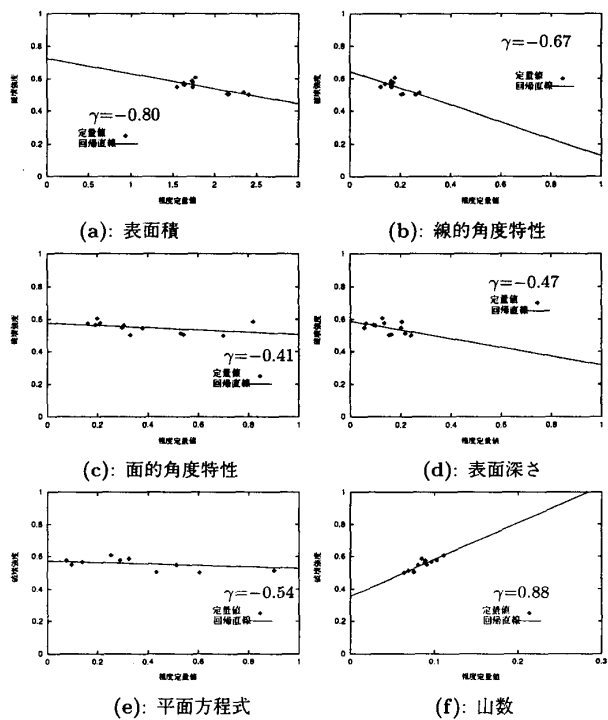


図11 No2,3 (圧縮破壊) と付着強度の相関図

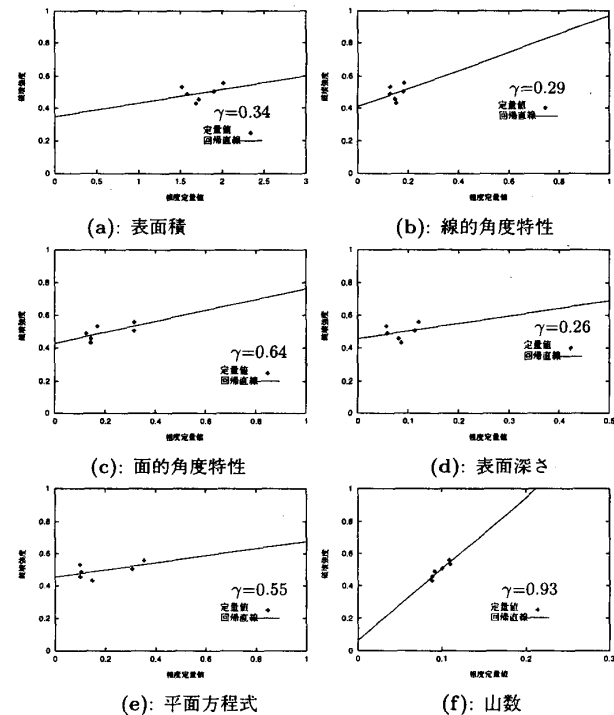


図10 No2,3 (せん断と圧縮せん断破壊) と付着強度の相関図

4.3 No2,3の試験結果と付着強度

試験体No.2,3では、(1)全体、(2)せん断・圧縮せん断破壊、(3)圧縮破壊の3種類のグループにわけて検証することとする。その結果を図9,10,11に示す。

以上に示した表面粗度と付着強度の相関係数 $\gamma$ を表7に示す。

表7 各試験体の定量値と付着強度の相関

定量化	No 1		No 2, 3*		
	触針式	レーザ光式	すべて	せん・圧せん**	圧縮
表面積	0.27	0.50	-0.24	0.34	-0.80
線の角度特性	0.26	0.53	-0.11	0.29	-0.67
面的角度特性	0.39	0.25	0.12	0.64	-0.41
表面深さ	0.55	0.68	0.07	0.26	-0.47
平面方程式	0.53	0.09	-0.02	0.55	-0.54
山数	-0.58	0.42	0.40	0.93	0.88

\* レーザ光式3D計測器のみで計測

\*\* せん・圧は、せん断・圧縮せん断破壊を示す。

5 まとめ

本研究では、触針式3D計測器とレーザ光式3D計測器による、それぞれの定量値の相関係数及び表面粗度の定量値と付着強度との関係について検討を行った。その結果は以下のようにまとめられる。

1. 定量値との相関係数の大部分はかなりの相関があるということがわかった。したがって、レーザ光式3D計測器は触針式3D計測器による計測データを用いて、算定された表面粗度定量化は、かなりの相関関係があり、レーザ光式3D計測器の有効性が確認された。
2. 表面粗度を計測するのにシリコン樹脂を用い、表面形状を型取りすると、付着強度に大きく影響するので、不適切であると思われる。

3. せん断・圧縮せん断破壊に至った試験体のデータが少ないため、明確には言えないが、付着強度は面的角度特性・平面方程式・山数に大きく依存する傾向にある。

#### 謝 辞

本研究で用いた三次元計測装置の開発・製作には、情報システム工学科森山雅雄先生、機械システム工学科石松隆和先生に多大なるご助言とご指導を戴きました。また、本研究は平成11年度文部省科学研究費補助金(B)(2) (研究代表者：松田 浩) の補助の一部で行ったものである。ここに、記して謝意を表します。

#### 参考文献

- [1] 井口征土, 佐藤宏介: 三次元画像計測, 昭晃堂, 1990.
- [2] 杉原太郎ほか: 小規模三次元計測システムの開発, 日本写真測量学会発表論文, pp786-787, 1998.
- [3] 杉原太郎ほか: 長さ基準における校正手法を導入した3次元画像計測システムの開発, 日本写真測量学会平成11年度年次講演会発表論文集, pp299-302, 1999.
- [4] 和田真禎ほか: コンクリート表面処理面の粗度測定のための三次元計測装置の開発, 土木学会西部支部研究発表会概要集, pp786-787, 1999.
- [5] 和田真禎ほか: レーザと CCD カメラを用いた三次元計測装置の開発とその適用例, 土木学会第54回年次学術講演会講演概要集, pp560-561, 1999.