

## 論文 打継部の表面形状が若材齢コンクリートの初期変形性状に及ぼす影響評価

内堀 学<sup>\*1</sup>・村上 祐貴<sup>\*2</sup>・大下 英吉<sup>\*3</sup>

要旨：コンクリートと岩盤の打継部における付着性状やコンクリート内部の変形性状および応力性状に及ぼす岩盤の表面形状の影響に関しては未解明な部分が多い。そこで本研究ではレーザー式表面粗さ測定器を用いることにより岩盤表面形状を定量化することで、表面粗度とせん断付着強度の関係を明らかにするとともに、岩盤の表面形状がコンクリート内部の局所的な変形性状および応力性状に及ぼす影響を実験的に検討した。

キーワード：温度収縮，岩盤節理，表面粗さ，打継部

### 1. はじめに

近年，建設技術の進歩に伴い，コンクリートの断面化さらには大深度海洋構造物や地中におけるコンクリート構造物など新たなコンクリート構造物の利用が注目されている。これらの典型的な事例は，地下タンクや放射性廃棄物処理施設等であり，この種の構造物において各種要因による初期欠陥が重要なものとなってくる。

一般に，コンクリート構造物の初期欠陥の原因には自己収縮や水和熱による温度収縮などの体積変化による初期応力が挙げられる。コンクリート構造物が構造上および耐久性上十分に機能するためには上述した要因を念頭において設計されなければならない。特にマスコンクリートのような大断面を有する場合においては，水和熱およびそれによる温度応力が初期欠陥に及ぼす主要因となる。<sup>5)</sup>

現在温度応力解析に関しては，定性的にも定量的にも評価可能であるとは言い難く，その要因としては岩盤とコンクリートの境界面特性が未だ未解明であることが挙げられる。

現在までに，境界面特性に関する研究は多数報告されているが，それらは境界面構成則の構築条件として，岩盤とコンクリートの付着が十

分に確保されていることが前提条件となっている。しかしながら，実際の岩盤には大小様々な節理が存在し，その断面では凹凸を有するため，岩盤に打設されたコンクリートは局所的に無拘束な領域が存在し，またその節理端部近傍においては，応力集中が発生するため，コンクリートの内部性状は一様ではなく，局所的に異なる変形性状および応力性状になると考えられ，微視的観点に基づいた岩盤とコンクリートとの付着性状へのアプローチが重要である<sup>1)</sup>。

現在，岩盤表面形状に関する評価手法は多数あるが<sup>2),3),4)</sup>，最も一般的に用いられている評価方法としては，十点平均粗さ，自乗平均粗さ，および中心線平均粗さの3方法である。中でも十点平均粗さは打継面のせん断強度に相関性があると報告されているが，その力学的メカニズムは未だ未解明である。

そこで本研究では表面形状に規則的な凹凸形状の打継面を有するコンクリートを作製し，傾斜せん断試験を行うことにより，打継面のせん断強度に影響を与える因子を選定した。また，雰囲気温度変動下において節理や表面形状がコンクリートの変形特性に及ぼす影響を実験的に評価した。

\*1 中央大学 理工学部土木工学科 (正会員)

\*2 中央大学大学院 理工学研究科土木工学専攻 (正会員)

\*3 中央大学 理工学部土木工学科教授 工博 (正会員)

表 - 1 使用材料

	セメント	細骨材	粗骨材	混和剤
被拘束体	普通ポルトランドセメント	万田野産細骨材	荒川水系粗骨材	AE減水剤 リグニンスルホン酸塩系
拘束体	密度：3.16 g/cm <sup>3</sup>	密度：2.59 g/cm <sup>3</sup>	密度：2.63 g/cm <sup>3</sup>	高性能AE減水剤 ポリカルボン酸系

表 - 2 コンクリートの配合

	水セメント比 (%)	最大骨材寸法 (mm)	スラブ (cm)	細骨材率 (%)	空気量 (%)	単用量 (kg/m <sup>3</sup> )				AE剤 (C×%)
						水	セメント	細骨材	粗骨材	
被拘束体	60	20	10±1	40	5	179	299	701	1067	0.43
拘束体	20	20	24±1	40	5	188	942	480	732	2.0

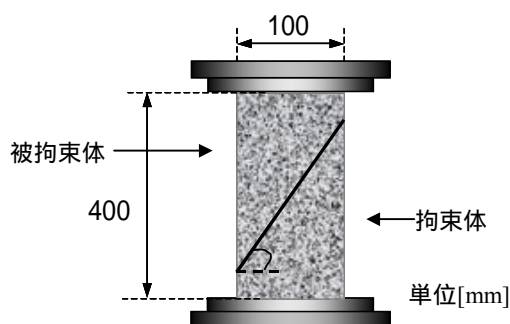


図 - 1 傾斜せん断試験機

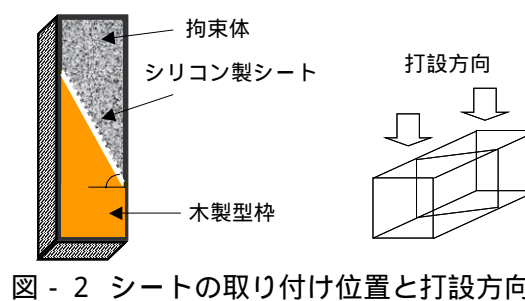


図 - 2 シートの取り付け位置と打設方向

## 2. 実験概要

### 2.1 傾斜せん断試験

#### (1) 供試体

表 - 1 および表 - 2 に本実験における使用材料および配合を示す。試験体寸法は 100mm × 100mm × 400mm の角柱供試体であり、岩盤を模擬した拘束体に所定の傾斜角度を付け作製し、被拘束体を打継打設した。拘束体は 7 日間水中養生(水温 20 )を行い、その後被拘束体を打継打設し、3 日間水中養生を施した。なお、打継面処理方法に関しては次節にて詳細を述べる。

#### (2) 実験方法

傾斜せん断試験概要を図 - 1 に示す。傾斜せん断試験は、補修業者で一般的に利用されている試験方法であり、<sup>6)</sup> 打継面に圧縮直応力とせん断応力を作用させることが可能である。また、拘束体に関しては図 - 2 に示すように、規則的な凹凸を有するシリコン製シートを作製し、それを型枠に貼付け打設することにより、拘束体表面を規則的な凹凸を有する形状とした。

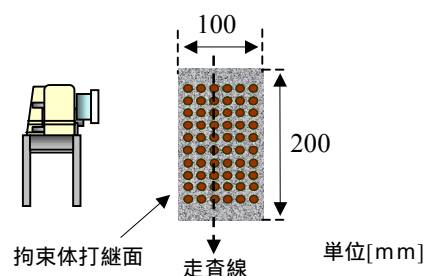


図 - 3 レーザー式表面粗さ測定器

#### (3) 粗さ評価方法

本研究では図 - 3 に示すように拘束体打継面中心長手方向にレーザー式表面粗さ測定器を用い 100 μm ピッチで表面粗さ測定を行い拘束体表面形状を定量化した。

本研究においてはこの定量化した粗さデータの評価方法として、十点平均粗さ(R<sub>Z</sub>)を採用した。十点平均粗さ(R<sub>Z</sub>)とは粗さ曲線に対して最小自乗法により中心線(平行線)を求め、その直線から最も大きい山から 5 番目までの山の頂上の標高の平均と、一番小さい谷から 5 番目までの谷底の標高の平均値の差で表面粗さを数値化したものである。以下に評価式を示す。

$$R_z = \frac{1}{5} \sum P_i - \frac{1}{5} \sum V_i \quad (mm)$$

$P_i$  : 粗さ曲線の平行線から山までの高さ

$V_i$  : 平行線から谷までの高さ

#### (4) 測定項目および実験パラメータ

測定項目は各パラメータにおけるせん断強度である。

実験パラメータは、打継ぎ面に作成する規則的な凹凸形状であり、変化させるパラメータは表 - 3 に示すように円孔の径、深さ、およびピッチの 3 種類である。径はそれぞれ 5mm, 10mm, 深さは 2.5mm, 5.0mm, ピッチは 2.5mm, 5.0mm と変える。さらに、各パラメータにおいて打継ぎ傾斜角を 60 度及び 70 度と変え、打継面に作用する直応力成分とせん断応力成分の配分を変化させた。また比較の為、遅延剤を散布しワイヤブラシにて表面処理を施した試験体と無処理の供試体も作成した。

表 - 3 実験パラメータ

Φ (mm)	深さ (mm)	凹凸間隔 (mm)
5.0	2.5	2.5
10.0	5.0	5.0

## 2.2 雰囲気温度変化によるコンクリートの变形特性評価試験

### (1) 供試体

供試体寸法は図 - 4 に示すように、100mm × 200mm × 50mm の拘束体に 100mm × 200mm × 360mm の被拘束体を打継打設した。また、拘束体中心部には厚さ 10mm の切欠きを開放面直方向に導入し局所的に無拘束な領域も作製した。なお、材齢は拘束体が 9 日、被拘束体が 2 日である。

### (2) 実験方法

まず、打継打設した新旧コンクリートを恒温・恒湿炉に入れ、炉内温度を 80 度に上昇させる。図 - 5 に示すように、コンクリート内部温度が一樣に 80 度に達した時点初期状態とし、その時点から炉内温度を急速に 20 度低下させた後、2 時間炉内温度を一定に保つ。このサイクル

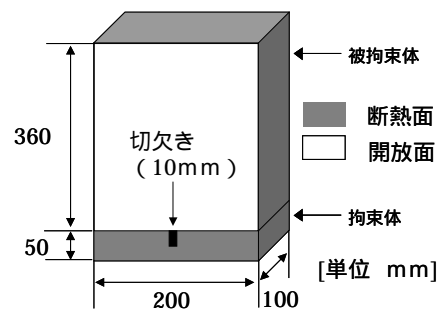


図 - 4 雰囲気温度変化によるコンクリートの变形特性評価試験用供試体

を炉内温度が 20 度になるまで繰り返し、その後さらに炉内温度を 10 度まで低下させ、計 10 時間計測した。また炉内は乾燥収縮の影響を防ぐ為、湿度 98% とした。なお、図 - 4 に示す斜線の面は、厚さ 100mm の発泡スチロールにより覆い、断熱処理を施した。

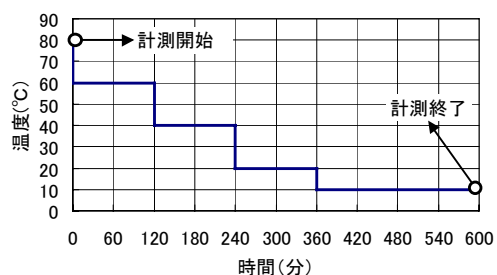


図 - 5 温度制御

### (3) 測定項目

測定項目は被拘束体開放面における切欠き直交方向ひずみであり、測定箇所は図 - 6 に示すように、被拘束体の底面から、40mm(下層)、180mm(中層)、320mm(上層)の位置に各層 50mm 間隔でひずみゲージを貼り付け測定した。また、同図中の記号 SS および RS は、それぞれ開放面の表裏を表しており、測定したひずみは表裏で対応する箇所の平均ひずみとした。また各開放面の中心、すなわち SS2, 5, 8 および RS2, 5, 8 においては表面温度も測定し、それぞれ ST2, 5, 8 および RT2, 5, 8 に対応している。

### (4) 実験パラメータ

表 - 3 に示すように実験パラメータは拘束体の表面形状であり、5.0mm, 深さ 2.5mm の円孔を 2.5mm のピッチで配置した試験体 p2.5 と、同様の径および深さの円孔を 5.0mm ピッチで配置した試験体 p5.0 に対して実験を行った。

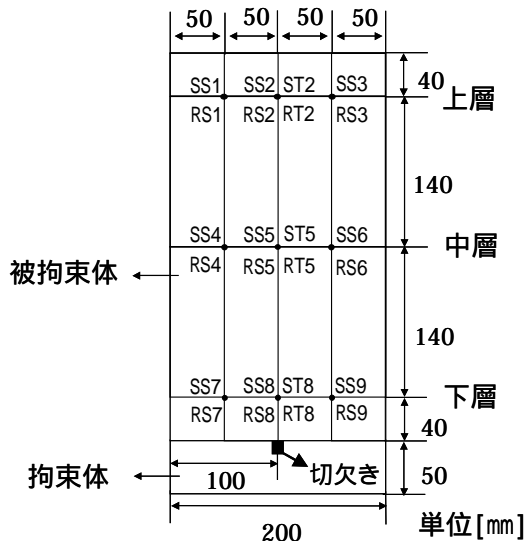


図 - 6 ひずみ測定箇所

### 3 実験結果

#### 3.1 傾斜せん断試験

表 - 4 は各パラメータにおけるせん断強度，図 - 7 (a)，(b)は拘束体表面の十点平均粗さと傾斜せん断強度の関係を示すものであり，同図 (a)，(b)はそれぞれ傾斜角度が 60 度，70 度に対するものである。なお，傾斜せん断強度は最大せん断強度を平均圧縮強度で除し，無次元化した。

まず，表 - 4 より，全てのパラメータにおいて傾斜角度 70 度のほうが，60 度に比べせん断強度が小さくなっている。これは，傾斜角度が大きくなることにより，傾斜面に作用する直応力成分が小さくなるためである。

次に，図 - 7 に示すように，同一の粗さに対し，せん断強度が変化していることがわかる。このことは，通常の十点平均粗さとせん断強度が相関性を有する傾向とは異なっており，規則的な周期を持つ表面形状に対し，十点平均粗さでは評価出来ない結果となった。そこで以下に円孔の径，深さ，およびピッチがせん断強度に及ぼす影響について知見を述べる。

同図より，径が 5.0mm よりも 10.0mm，ピッチが 5.0mm よりも 2.5mm の方が傾斜せん断強度が大きくなるのがわかる。

一方，円孔の深さに関しては 5.0mm と 2.5mm に明確な相関性が無い。これは被拘束体が凹凸

部に充填される際に，円孔の径，深さ，間隔および骨材寸法の影響により凹凸部に満たされるコンクリートの材料特性および付着性状に差異を生じさせるためであると想定され，このことから，コンクリート表面の粗さを詳細に評価するためには，凹凸幅や深さも考慮する必要があると考えられる。

表 - 4 せん断強度（圧縮強度比）

角度	径	深さ	ピッチ	せん断強度
60	10	2.5	5	0.200
60	5	2.5	5	0.135
60	10	5	5	0.215
60	5	5	5	0.145
60	10	2.5	2.5	0.271
60	5	2.5	2.5	0.178
60	10	5	2.5	0.246
60	5	5	2.5	0.159
60		処理有		0.264
60		処理無		0.113
70	10	2.5	5	0.153
70	5	2.5	5	0.080
70	10	5	5	0.146
70	5	5	5	0.088
70	10	2.5	2.5	0.177
70	5	2.5	2.5	0.121
70	10	5	2.5	0.158
70	5	5	2.5	0.105
70		処理有		0.179
70		処理無		0.072

#### 3.2 雰囲気温度変化によるコンクリートの変形特性評価試験の結果

図 - 8，図 - 9 に雰囲気温度変化によるコンクリートの変形特性評価試験の結果を示す。両図はそれぞれ試験体 p2.5，p5.0 に対するものであり，表 - 4 に示す傾斜せん断試験結果より，試験体 p2.5 は外部拘束が大きいケース，試験体 p5.0 は外部拘束が小さいケースに対応している。

また，同図(a)，(b)および(c)はそれぞれ上層部，中層部および下層部に対応しており，図中に示す  $1_{avg}$ ， $2_{avg}$ ， $3_{avg}$  および  $4_{avg}$  はそれぞれ各層における端部，中心部およびもう一方の端部における表裏同一箇所平均ひずみを示している。なお，同図中の番号  $1_{avg} \sim 9_{avg}$  は，図 - 6 に示した測定箇所番号に対応している。また  $\times$  は各層中心部において計測したコンクリートの表面温度の平均値である。

まず，図 - 8 に示す試験体 p2.5 に関しては， $2_{avg}$ ， $5_{avg}$ ， $8_{avg}$ ，すなわち各層中心断面において，収縮ひずみが時間の経過と共に他の領域よりも大きくなるというひずみの局所化現象が生じ

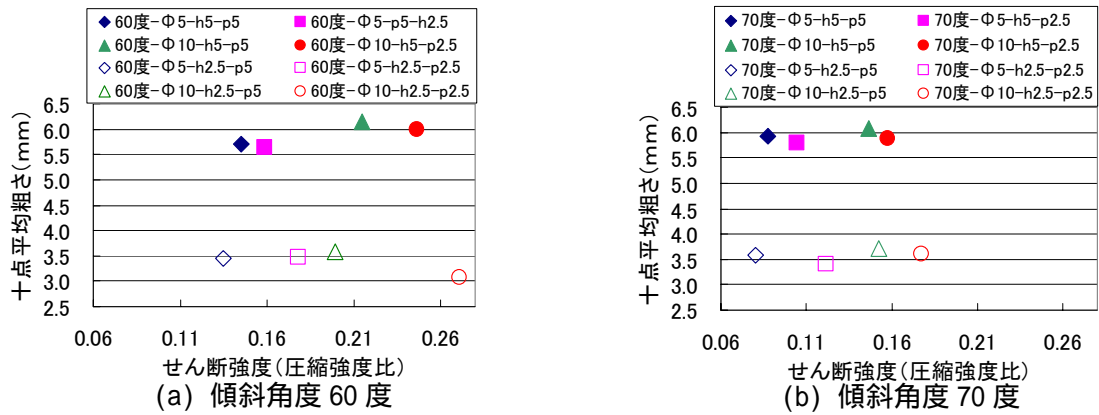


図 - 7 セン断強度と十点平均粗さの関係

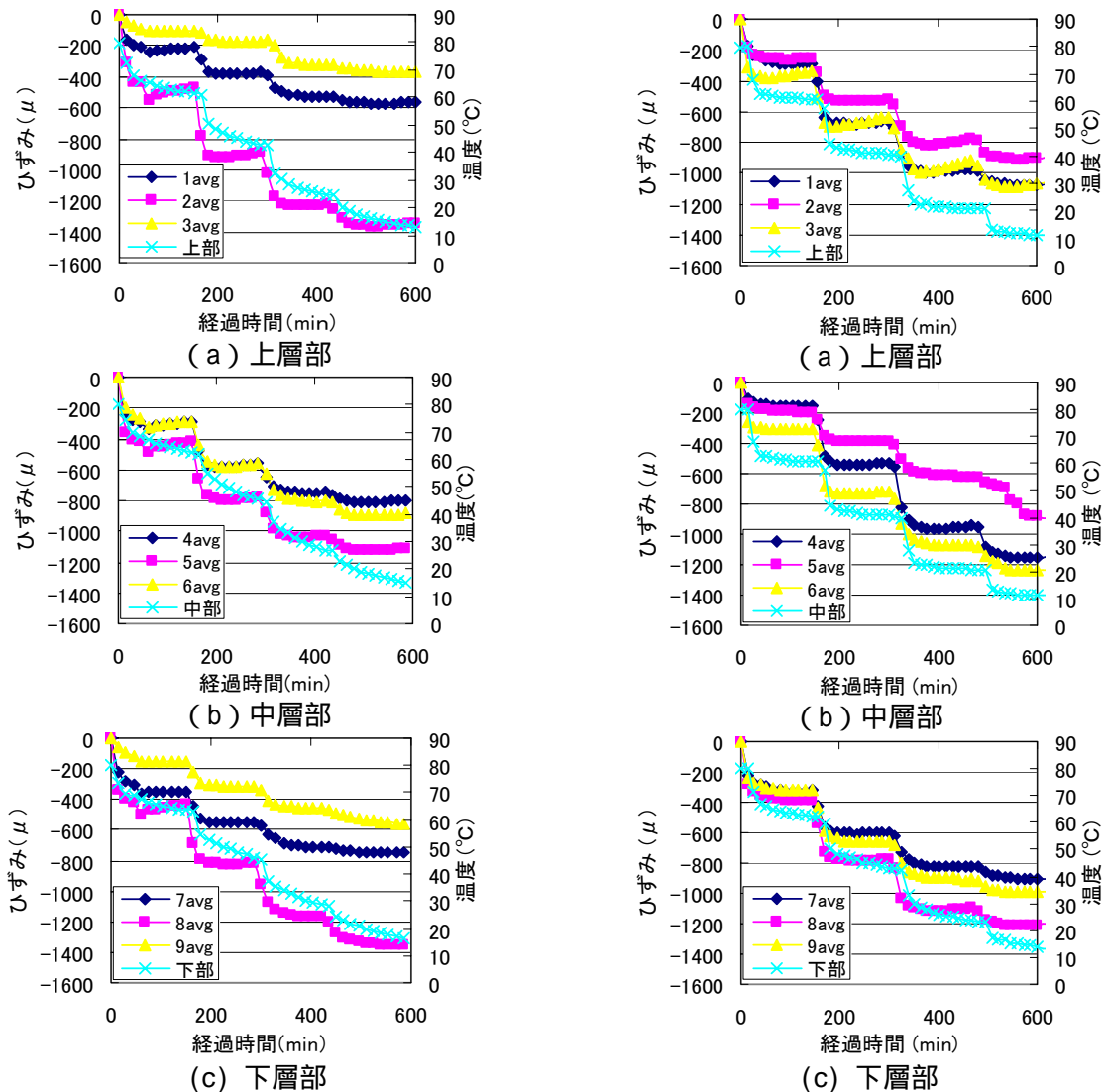


図 - 8 ひずみ分布 (試験体 p2.5)

図 - 9 ひずみ分布 (試験体 p5.0)

ている。これは、切欠き直上のコンクリートが局部的に無拘束であり、収縮ひずみが著しく増加したためであると考えられる。この影響は切欠き近傍の下層中心断面(8avg)および最も拘束力が弱い上層中心断面(2avg)においても顕著に現れた。

一方、中層中心断面(5avg)に関しては、端部に比べ、中心部のひずみが大きくなっているものの、その影響は上層部、下層部に比べ小さい。これは上層部が中層部のひずみを抑制したためであると想定される。

下層部および上層部においては中心断面と端

部のひずみには約 1000  $\mu$  程度差異が生じており、このことから、試験体 p2.5 に関してはクラックを誘発させる可能性があると考えられる。

また、温度下降時、各層中心断面の収縮ひずみの変化率は端部に比べ著しく大きくなっている。しかしながら、一定温度時においては各層の収縮ひずみの変化率に差異はほとんど生じていない。

次に、図 - 9 に示すように試験体 p5.0 に関しては試験体 p2.5 とは異なり、ひずみの局所化現象は下層中心断面(8avg)においてのみ発生しており、上層中心断面(2avg)および中層中心断面(5avg)においては発生しなかった。これは、試験体 p2.5 に比べ、外部拘束効果が低減することで、中層部および上層部においては全領域で同程度のひずみが発生したと想定される。

以上の結果より節理によって生じるひずみの局所化の程度は、他の領域における拘束度により異なると考えられる。また、その局所化の度合いは節理幅のみでなく、深さ、形状、およびそれら間隔等の節理自身のパラメータによっても異なると考えられる。今後、様々な節理パターンに対し、本実験を実施し、局所化の度合いと節理の関係を明らかにし、定量化することが課題である。

#### 4 結論

本研究では、微視的論観点に基づいた節理を有する岩盤とコンクリートの境界面特性を明確にすることを目的とし、打継ぎ面における表面形状が付着性状に及ぼす影響を評価するとともに、雰囲気温度変動下において節理や表面形状が変形特性に及ぼす影響を実験的に評価した。以下に本研究で得られた結果を要約する。

(1)新旧コンクリート打継面におけるせん断付着強度は、凹凸の幅およびピッチに依存し、特に幅は最も大きく影響する。また、凹凸差が大きい場合、コンクリートが充填されにくく、その影響により、せん断付着強度が低下する場合があります。凹凸差の激しい岩盤等では従来

用いられている評価手法では評価できない場合があると考えられる。

- (2)ひずみの局所化現象の度合いは外部拘束の程度によって異なる結果となった。
- (3)岩盤節理は外部拘束状況によってはクラックを誘発するほどのひずみの局所化現象を引き起こすことがあると推定される。
- (4)収縮ひずみの変化率は雰囲気温度降下時においては各層中心断面において著しく大きくなったが、雰囲気温度一定状態時においては全ての断面でほぼ一様になった。

#### 参考文献

- 1) 村上祐貴・佐々木恒也・大下英吉：遷移材齢時におけるコンクリートの局所的熱変形状に及ぼす岩盤節理の影響に関する研究，コンクリート工学年次論文集，第 25 巻，第 1 号，pp.1043-1048，2003
- 2) 高英雄・清水健一・能町宏・宮崎雄三：コンクリート打継部の付着性状に及ぼす打継部処理の影響に関する実験研究，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.19，No.1，pp.1453-1458，1997
- 3) 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，Vol.20，No.2，pp.1260-1266，1998
- 4) 金子林爾・山田和久：超遅延剤を用いたコンクリートの表面粗さ評価と打継目強度に関する研究，コンクリート工学年次論文報告報告集，Vol.19，No.1，pp.517-522，1997
- 5) 川口徹：マスコンクリートの温度応力解析方法に関する基礎的検討，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.19，No.1，pp.1393-1398，1997
- 6) A.I.Abu-Tair，S.R.Rigden，and E.Burley：Testing The Bond Between Repair Materials and Concrete Substrate，ACI Materials Journal，Vol.93，pp.553-558，1996