

論文 繰返し载荷下におけるコンクリート打継ぎ部の曲げ強度に関する研究

金子 林爾^{*1}・山田 一久^{*2}

要旨: コンクリート構造物の弱点の一つである打継ぎ部の不完全な結合によって構造耐力の低下のみでなく、漏水や鉄筋の腐食など早期劣化が進行し、耐久性の低下が社会的に問われている。この打継ぎ部について、無処理の場合とワイヤーブラッシング、高圧水洗浄、超遅延剤の濃度別散布による表面処理を施した場合との曲げ試験を単調载荷と繰返し载荷で比較検討した。その結果、曲げ強度では高圧水洗浄が一体化に近い強度を有し、破壊までの繰返し数では濃度の高い超遅延剤散布による方法が効果的である。そして、超遅延剤の濃度別による打継ぎ部の表面粗さは粗くしたほうが有効であることがわかった。

キーワード: 打継ぎ部, 超遅延剤, 表面粗さ, 曲げ強度, 繰返し载荷

1. はじめに

コンクリート構造物は周辺の環境および長期使用によって材料は必ず劣化するが、打継ぎ部の不十分な付着接合で新たに打込むコンクリートとの一体化が難しく、早期ひびわれ、内部鉄筋の錆汁の滲出、大型地震による損傷などによって、打継ぎ部の施工欠陥が問われ、この欠陥を最小限にとどめて維持することが必要である。また、構造物の長期使用による健全化が求められる社会的要請があるために、変動荷重によるコンクリートの性能劣化を考慮する必要がある。構造物に作用する打継ぎ部の繰返し载荷を重視することが重要である。だが、コンクリート施工現場では、打継ぎ部は外見上表面に現れなく作業に困難をきたすために無視されがちである。よって、容易な打継ぎ処理方法として、注目した超遅延剤を使用した場合の打継ぎ部処理の改善を試み、他にワイヤーブラッシング、高圧水洗浄による処理方法を実施し、無処理の場合とを比較した。表面粗さはレーザ変位センサによる粗さ係数を求め、曲げ試験で単調载荷と繰返し载荷を受けた場合の影響を実験的に検討する。

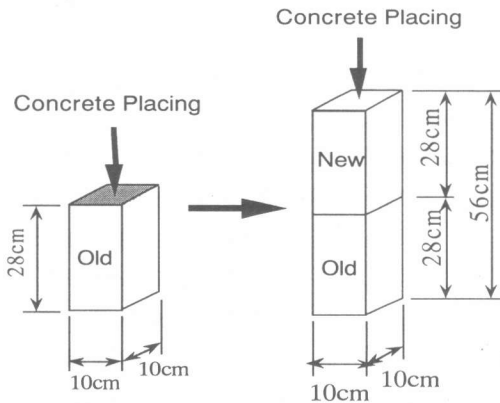


図-1 曲げ試験体

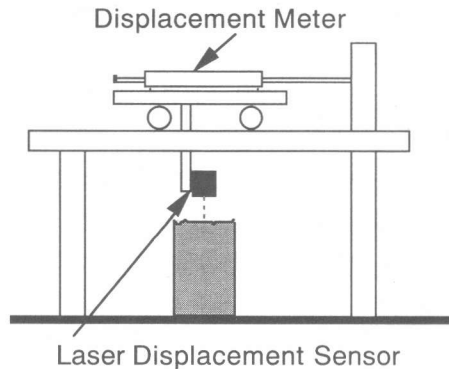


図-2 粗さ測定装置

*1 名城大学教授 理工学部建築学科 工博 (正会員)

*2 (株) 日本技建

2. 実験概要

2.1 使用材料および割合

材料は、普通ポルトランドセメント（材齢28日圧縮強度42.3N/mm²）、山砂（絶乾比重2.54、粗粒率2.78、吸水率1.25%）、山砂利（最大寸法20mm、絶乾比重2.60、粗粒率6.88、吸水率0.75%）、AE減水剤（有機酸系誘導体、比重1.29）を使用し、打継ぎ部処理には超遅延剤（ポリヒドロキシカルボン酸複合体、比重1.25）を使用した。コンクリートの調合は、水セメント比50%、水量172kg/m³、セメント量345kg/m³、細骨材量734kg/m³、粗骨材量1011kg/m³、細骨材率43%、AE減水剤863g/m³で、目標値はスランプ18cm、空気量4%である。練り混ぜは強制練りミキサー（容量0.1m³）で実施した。

2.2 試験体作製および表面粗さ測定

曲げ試験体はメタルフォームで作製し、その中に仕切り板（アクリル板厚20mm）を使用し打継ぎ部のない一体試験体(NJ)の角柱体(10cm×10cm×56cm)を作製した。次に、打継ぎ部を有する曲げ試験体は中央部で打継ぎ（図-1）、コンクリート硬化前の打継ぎ部処理には先打ちコンクリートの打設1時間後に超遅延剤の濃度別にT3、T5、T7を噴霧器で散布し、24時間後に表層部を高圧水洗浄機（吐出圧70kgf/cm²、最大水量480 l/hr）で除去した。

一方、コンクリート硬化後の表面処理にはWB、HWを翌日に実施し、無処理のLAを加え、材齢3日後打ちコンクリートを打設した。

打継ぎ部の表面粗さは可視光式レーザ変位センサ（赤色半導体レーザ、分解能8μm、基準距離80mm、測定範囲±15mm）を用い、サンプリング間隔0.5mmで表面形状を測定した。

粗さの評価はJIS B 0601に準じて、十点平均粗さ(Rz)を求め、次式で算出した（図-2、図-3）。

$$Rz = \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n |Y_{pi}| + \sum_{i=1}^n |Y_{vi}| \right) \quad (1)$$

2.3 試験方法

試験機には、単調荷重および繰返し荷重ともに、電気油圧式サーボバルブ機構を有する材料試験機（MTS-810型）で実施した（図-4）。

曲げ試験方法は単調荷重試験と繰返し荷重試験を共に4点曲げ荷重方法で実施した。単調荷重では、JIS A 1106に準じて曲げ強度(Fb)を求めた。繰返し荷重では、各単調荷重の曲げ強度平均値(Fbm)を基準とし、繰返し荷重の設定には上限応力比(fmax/Fbm=0.95~0.85)、上下限応力

表-1 打継ぎ部の処理方法

シリーズ：	表面処理方法
NJ	打継ぎのない一体化
LA	無処理のまま
WB	ワイヤブラッシング
HW	高圧水で洗浄
T3	超遅延剤(濃度33%)散布
T5	超遅延剤(濃度20%)散布
T7	超遅延剤(濃度14%)散布

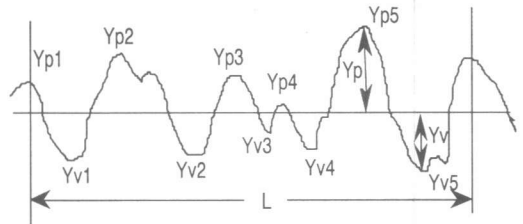


図-3 表面粗さの表示方法

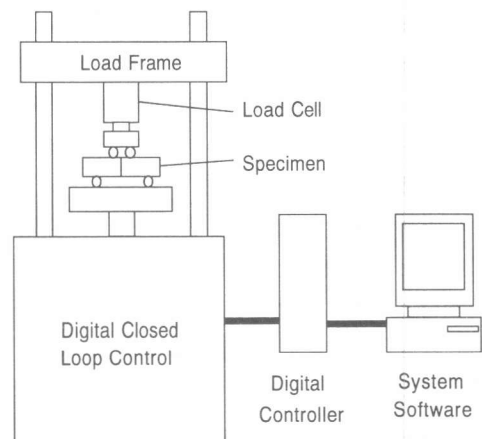


図-4 材料試験装置 (MTS-810型)

比($f_{min}/f_{max}=0.1$), 正弦波形, 荷重速度 1Hz の一定繰返し荷重で実施した。また, 繰返し荷重は繰返し数 2 万回で打ちきり, 破壊した試験体のみデータとして採用した。

圧縮強度は円柱供試体 ($\phi 10 \times 20\text{cm}$) の材齢 28 日水中養生で 28.6N/mm^2 , 室内養生で 26.0N/mm^2 , 材齢 42 日室内養生で 27.2N/mm^2 である。曲げ試験時材齢は, 後打ちコンクリートが十分硬化し, 強度発現状態の影響の少ない材齢を考慮して, 材齢 42 日以降に実施した。

3. 試験結果および考察

3.1 打継ぎ部強度とその表面粗さ

打継ぎ部処理の実験から, 処理作業に要した時間は WB で $15 \sim 20\text{min/m}^2$, HW で $10 \sim 15\text{min/m}^2$, T3, T5, T7 で各々 $1 \sim 3\text{min/m}^2$ である。この結果, 打継ぎ部の処理方法では作業に容易な超遅延剤散布の方法が有効である。

図-5 から, 処理方法による単調荷重の曲げ強度は大差は認められなかったが, その中でもばらつきはあるものの高圧水洗浄による方法が最も大きい結果を示した。また, 超遅延剤散布による方法は実験範囲内で表面粗さの調整が容易であり, 濃度が高くなるにつれ若干ではあるが打継ぎ部の曲げ強度増に効果がある。

十点平均粗さの平均値は, WB で 0.58mm , HW で 0.82mm である。超遅延剤を用いた T3, T5 で各 1.9mm , T7 で 1.5mm と濃度によって表面粗さを調節することができる。一方, 単調曲げ強度の平均値は WB で 3.32N/mm^2 , HW で 3.68N/mm^2 であり, T3, T5 で 3.51N/mm^2 , 3.59N/mm^2 , T7 で 3.34N/mm^2 と, 強度的には WB, T7 が若干低い, 他は大差ない付着効果を示した。コンクリート硬化前と硬化後の処理方法では明らかに表面粗さが異なるため, 同一比較は困難であるが粗さの割には超遅延剤散布による打継ぎ部強度の増加割合が低い。この理由として, 超遅延剤散布後の表層洗浄によって骨材表層を清楚にしすぎるためと, 後打ちコンクリート打設直前に散水した余剰水を十分に除去できなかった

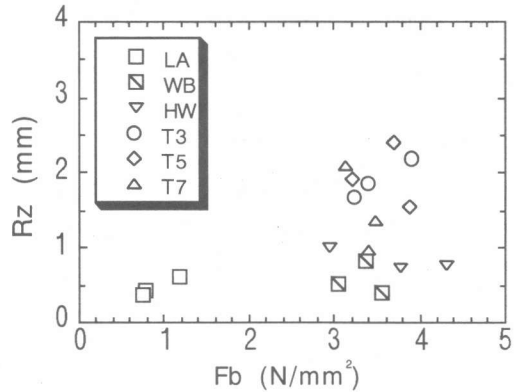


図-5 十点平均粗さと曲げ強度

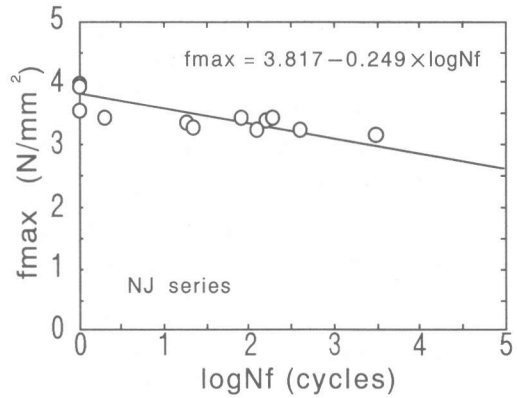


図-6 荷重応力と繰返し数

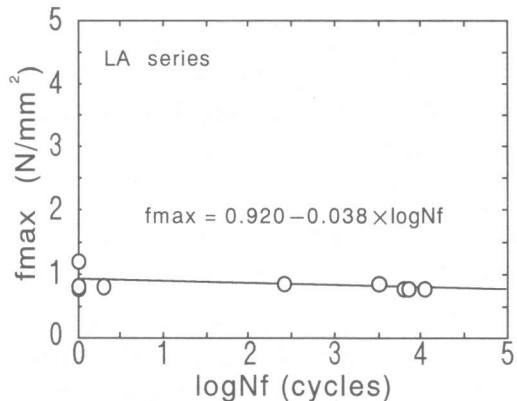


図-7 荷重応力と繰返し数

め水が滞留したこと, 骨材とセメントペーストとの界面に遷移帯^{1),2)}が厚く生じるためと考えられる。また, WBやHWは表面処理時期を遅らせると極端に作業が困難になる。よって, 打継

ぎ部の表面処理を短時間で効果的に処理するには超遅延剤を用いることが有効な方法であるといえる。

3.2 単調荷重と繰返し荷重

コンクリート構造物の耐久寿命を考えると、打継ぎ部近傍に高応力が一度のみ受ける場合と何度も繰返しを受ける場合との影響を検討する必要がある。図-6～図-12は、一体化と各種打継ぎ部の曲げ強度及び上限設定応力(f_{max})と各応力段階での破壊までの繰返し数(N_f)を対数で示す。ここに、図中の $\log N_f=0$ は単調荷重での曲げ強度を示している。

単調荷重では、HWとWBは入念に処理をしたため、高圧水洗浄による表面処理が 3.68N/mm^2 と最も強い結果を得たが、いずれの処理方法にしても一体化コンクリートの曲げ強度平均値 3.8N/mm^2 と比較して、 $(3.32\sim 3.68)\text{N/mm}^2$ の範囲にあり、NJの(0.86～0.95)倍で処理方法によっては、一体化に近い打継ぎ部の強度を得ることができる。これに対して、LAでは、0.24倍と非常に低い曲げ強度を示し、打継ぎ部の処理対策をとらなければならないことがわかる。

繰返し荷重では、各種処理方法による f_{max} と $\log N_f$ の結果を回帰式で図中に示した。この式の勾配からT5が最も緩やかで、次にWB, T7, T3, HWの順になる。この結果、HWのように打継ぎ部の単調荷重による曲げ強度の大きい処理方法が必ずしも繰返し荷重に強いとは限らないことが明らかになった。しかし、繰返し荷重によるひびわれ進展は打継ぎ部及びその近傍の最弱部から発生し、進展を阻止するには表面粗さが繰返し荷重に影響すると考えられる。

図-13は、超遅延剤散布による濃度別打継ぎ部の十点平均粗さ(R_z)が繰返し荷重での強さに影響するかどうかを検討するため、設定応力(f_{max}/F_{bm})を考慮した値と $\log N_f$ で示した。その結果、図に示すように打継ぎ部の粗さが粗いほうが破壊までの繰返し数が増加する。これは、表層のポーラスな組織を超遅延剤の効果で硬化させずに洗浄できるため、打継ぎ部の表面

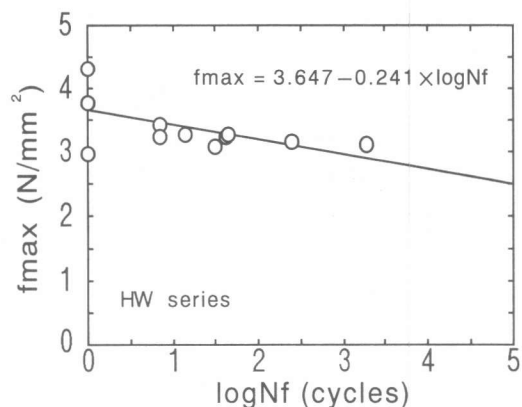


図-8 荷重応力と繰返し数

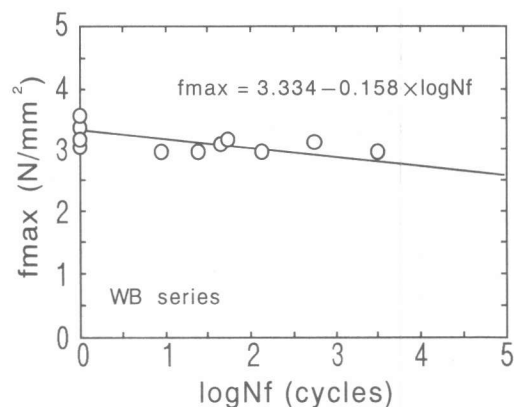


図-9 荷重応力と繰返し数

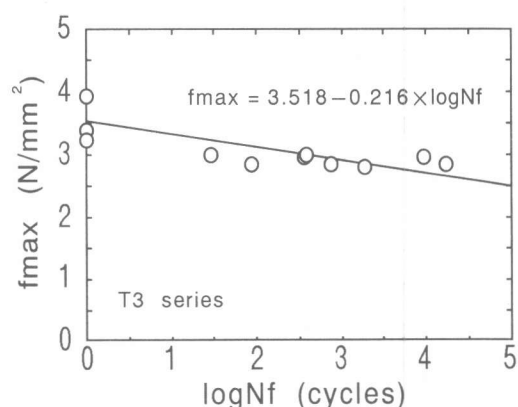


図-10 荷重応力と繰返し数

積が大きくなる。この結果、打継ぎ部の凹凸でのかみ合わせ作用が、この界面の付着性状に密接に影響する。

一方、WB, HWともにいずれもRzは1 mm以下と凹凸が小さく、表面粗さと繰返し数との関係では相関性は認められなかった。よって、打継ぎ部の表面粗さはRzが1 mm以上は必要であると考えられる。従って、コンクリートの打継ぎ部における構造物の長期寿命を考えるならば、打継ぎ部の表面粗さを粗くし、表面積を大きくした方が有効であると云える。

次に、図-14は、一体化コンクリートの曲げ強度平均値(Fbm_nj)を基準として、各種打継ぎ部での繰返し上限応力比と繰返し数を回帰式で示した。この結果、一体化コンクリートの曲げ強度1.0に対して、本実験の打継ぎ部の処理方法では、単調荷重で0.86～0.95の範囲にある。

繰返し荷重では、一体化コンクリートが最も勾配が大きく、T5を除き、logNf=5近傍で収束交差する傾向にある。また、LAの場合は極端に曲げ強度が低く、0.24を示す。この値からの繰返し荷重は、筆者ら³⁾による曲げ試験体で平滑材と相対切欠き材の実験により、切欠き深さ53%の切り込みを入れた繰返し寿命に近似する。即ち、梁せい10cmの試験体に5.3cmの切り込みを入れた試験体の繰返し寿命に相当する。

3.3 コンクリート試験体の破壊位置

単調荷重および繰返し荷重の曲げ試験におけるコンクリート試験体の破壊位置を先打ち部、打継ぎ部、後打ち部に分けて表-2に示す。LAの場合は、両試験共にすべて打継ぎ部で破壊し、HWの場合は、単調荷重では打継ぎ部での破壊は少なく、後打ち部で破壊する試験体が多いが、繰返し荷重では逆に打継ぎ部での破壊が多く、後打ち部での破壊が少ない結果から繰返し荷重に弱いことがわかる。また、超遅延剤散布のT3, T5及びWBは、打継ぎ部以外の後打ち部、先打ち部での破壊が多い。超遅延剤散布での打継ぎ部の破壊では、表層部をきれいに高圧水で除去して骨材を露出するために、骨材とセメントペーストとの界面に遷移帯が厚く生じ、付着が不完全で繰返し荷重を受けると低下すると考えられるが効果があった。また、高圧水洗

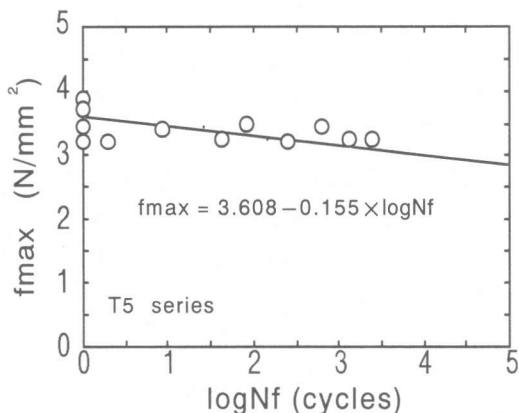


図-11 荷重応力と繰返し数

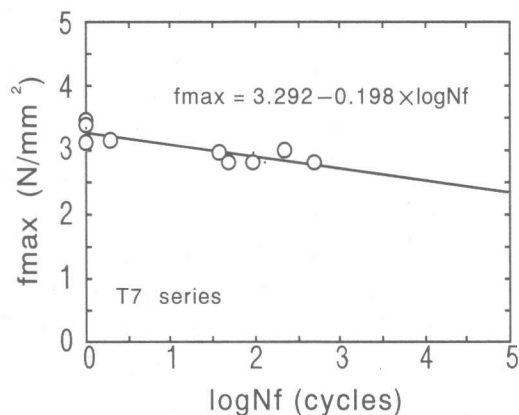


図-12 荷重応力と繰返し数

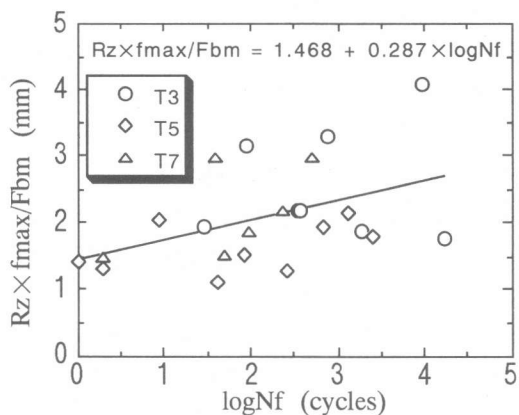


図-13 表面粗さと繰返し数

浄方法のように表面処理が有効に作用していると思われるも、構造物に繰返しが作用すると

徐々に打継ぎ部でのひびわれが進行し、耐久性の低下につながる。よい打継ぎ部の試験体は打継ぎ部で破壊せずに、その近傍で破壊し、母材コンクリートの強度よりも強いことを示す。表-2 から、繰返し载荷試験で先打ち部および後打ち部の破壊が多い表面処理方法は T5, T3, WB, T7, HW の順であり、破壊位置でも超遅延剤の濃度が低いと効果が少ない傾向にある。

この結果から、単調载荷と繰返し载荷では、打継ぎ部の表面処理方法によって、破壊形態が異なると考えられ、コンクリート内部に潜在する微小ひびわれ進展が载荷方法によって異なることを示している。

4. まとめ

以上の実験範囲から、コンクリート打継ぎ部の無処理と表面処理したワイヤブラッシング、高圧水洗浄、超遅延剤散布による濃度別の場合の単調载荷と繰返し载荷下における曲げ強度と破壊までの繰返し数における知見は以下のように結論づけられる。

- 1) 打継ぎ部処理を短時間で的確に処理するには超遅延剤散布が有効な方法であるが、打継ぎ時の散水余剰水に留意する必要がある。
- 2) 打継ぎ部の曲げ強度は一体化コンクリートに対してワイヤブラッシングが0.86倍、高圧水洗浄で0.95倍と入念に処理をすれば効果大。
- 3) コンクリートの繰返し载荷では、十点平均粗さが1mm以上の粗にする必要がある。
- 4) 曲げ試験における打継ぎ部の破壊は、単調载荷よりも繰返し载荷での破壊が多く、繰返し载荷に弱いことがわかった。
- 5) 打継ぎ部無処理のコンクリートは、同一材に切欠き深さ53%の切り込みを入れた試験体に相当する弱さである。

参考文献

- 1) 羽原俊祐：コンクリートの構造とその物性，セメント・コンクリート，No.549，pp.31-43，

表-2 表面処理方法と試験体の破壊位置

試験体個数		コンクリート試験体の破壊位置			
表面処理	载荷方法	先打ち部	打継ぎ部	後打ち部	合計
LA	単調	0	7	0	7
	繰返し	0	9	0	9
WB	単調	0	3	4	7
	繰返し	0	4	5	9
HW	単調	0	1	6	7
	繰返し	0	7	2	9
T3	単調	1	1	5	7
	繰返し	1	4	4	9
T5	単調	0	2	5	7
	繰返し	1	4	4	9
T7	単調	0	4	2	6
	繰返し	0	5	4	9

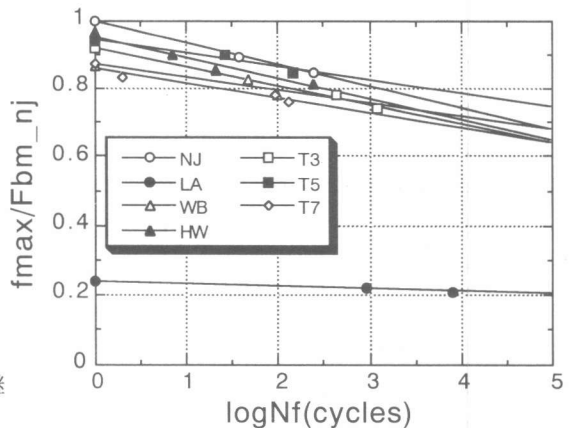


図-14 上限応力比と繰返し数

1992.9

- 2) 内川浩：セメントペーストと骨材の界面の構造・組織がコンクリートの品質に及ぼす影響，コンクリート工学，Vol.33,No.9,pp.5-17，1995.9
- 3) 金子林爾，大岸佐吉：コンクリート梁の曲げ疲労特性の切欠き深さ依存性，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.14,No.1,pp.537-542,1992.5
- 4) 金子林爾，山田一久：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集，Vol.19,No.1,pp.517-522,1997.6