

論文 新旧コンクリートの打継目の透気性状に影響を及ぼす要因に関する研究

氏家 勲*¹・菊地一義*²・佐藤良一*³・長瀧重義*⁴

要旨：新旧コンクリートの打継目は力学的弱点であるとともに、有害物質の侵入に関しても弱点である。本研究は新設コンクリートの水セメント比、セメントの種類および既設コンクリートの打継目を粗にする程度を要因とした透気試験を行い、打継目の透気性状について検討したものである。打継目は既設あるいは新設コンクリートより大きな透気係数を有しており、打継目の透気係数は新設コンクリートの水セメント比が小さく、超速硬セメントを用いた場合に小さくなった。また、打継目の目荒らしの程度を深くすることは打継目の透気係数を小さくするためには効果的であった。

キーワード：打継目、透気係数、表面形状、水セメント比、超速硬セメント

1. まえがき

鋼材腐食などにより劣化あるいは損傷を受けた鉄筋コンクリート構造物に対してその部分をはつり、補修材を打ち継いで断面補修を行う方法が広く実施されている。断面補修を行った場合に弱点になると考えられる部分は既設コンクリートと補修材との打継目である。打継目の力学的特性については施工上あるいは構造上の条件から必然的に生じる打継目の場合を含めて多くの研究が行われている。打継目を有するコンクリートの強度は目荒らしの程度にもよるが、打継目のないもの比べて、曲げ強度で50%~70%、せん断強度で40%~80%となることが報告されている[1]。また、新旧コンクリートの打継目は力学的弱点であるとともに有害物質の侵入に対しても弱点であると考えられることから、著者らは打継目自身の透気係数を取り出し、打継目の透気係数が既設あるいは新設コンクリートの透気係数より大きいことを明らかにしている[2]。

そこで本研究では、打ち継ぐ新設コンクリートの水セメント比とセメントの種類および既設コンクリートの打継目表面の粗さの程度を変化させた供試体を用いて透気試験を実施し、これら要因が新旧コンクリートの打継目の透気係数に及ぼす影響について実験的に検討したものである。

2. 実験概要

2. 1 使用材料および配合

本実験ではセメントに普通ポルトランドセメント（比重3.15）および超速硬セメント（比重3.03）を用い、細骨材には鬼怒川産の川砂（比重2.60、吸水率2.65、粗粒率2.95）を、粗骨材には最大寸法20mmの鬼怒川産碎石（比重2.65、吸水率

表-1 コンクリートの配合

配合名	セメントの種類	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m ³)				
				水	セメント	細骨材	粗骨材	混和剤
N50	普通	50	46	155	310	845	1011	0.775 ⁺
N35	普通	35	43	160	457	732	989	1.143 ⁺
U50	超速硬	50	46	155	310	840	1006	3.100*
U35	超速硬	35	43	160	457	726	980	6.855*

+:リグニンスルホン酸系AE減水剤, *:ナフタレンスルホン酸系高性能減水剤

*1 愛媛大学講師 工学部土木海洋工学科、工博（正会員）

*2 宇都宮大学学生 工学部建設学科

*3 宇都宮大学助教授 工学部建設学科、工博（正会員）

*4 東京工業大学教授 工学部土木工学科、工博（正会員）

1.76、粗粒率6.73)を用いた。本実験で用いたコンクリートの配合を表-1に示す。なお、U50およびU35の配合では超速硬セメント専用の遅延剤をセメント重量の0.6%を使用している。

2. 2 供試体

本実験で取り上げた要因は新設コンクリートの水セメント比、セメントの種類および既設コンクリートの打継目の処理深さである。それぞれの組み合わせを表-2に示す。供試体は15x15x10cmの直方体であり、打ち継ぐ場合には供試体中央に鉛直打継目を設けた。既設コンクリートは2週間水中養生した後、新設コンクリート打ち継ぐまでの3週間、温度20℃、湿度70%R.H.の恒温恒湿室で気中養生した。打継目の処理には打設終了から9時間後に30kgf/cm²の高圧水で打継目表面のモルタルを除去し、粗骨材を露出させる方法を用いた。モルタルを除去する深さは約5mm、約10mmとし、既設コンクリートの幅をあらかじめ除去するモルタルの深さだけ大きくしておい

た。また、高圧水による処理をしない打継目(0mm)も設けた。既設コンクリートの打継目は新コンクリートを打設する前に毛ぶらして水洗いしてレイトンスおよびごみ等を取り去った。打ち継がれた供試体は1週間水中養生した後、温度20℃、湿度70%R.H.の条件下で16日間乾燥し、さらにコンクリートからの水分の逸散を促進するため温度20℃、湿度50%R.H.で乾燥を17日間行った。なお、供試体は4側面を粘着テープでシールし、透気面となる上下面から水分が逸散するようにした。また、一体ものの供試体は打ち継がれた供試体と同一条件の養生を行った。

2. 2 実験方法

透気試験は供試体の透気面以外をエポキシ樹脂系接着剤で気密処理を行い、図-1に示す透気試験装置を用いて行った。供試体は透気方向が鉛直打継目(打設方向)と平行となるように圧力容器内に取り付けた。圧力容器内には2kgf/cm²の空気圧を与え、供試体を透過した透気量を定常状態となった後に測定した。透気係数は次式を用いて算出した。

$$K = [2LP_2 / (P_1^2 - P_2^2)] \cdot (Q/A) \quad (1)$$

ここで、K:透気係数[cm⁴/(s·kgf)]、L:供試体厚さ(cm)、P₁, P₂: 載荷圧, 大気圧(kgf/cm²)、Q:透気量(cm³/s)、A:透気面積(cm²)である。

既設コンクリートの表面形状を定量的に把握するために、図-2に示すように、高精度レーザー変位計(測定範囲±8mm、分解能0.5μm、最小スポット径45x20μm、最大スポット径400x200μm)と電動スライダ(平行度0.2mm)とを組み合わせた装置を用いた[3]。表面形状の計測においてはレーザー変位計を電動スライダに取り付け、一定速度で電動スライダを移動させて連続的にレーザー変位計と打継目との距離を計測した。計測間隔はxおよびy方向とも0.2mmである。なお、供試体縁部では精度よく計測できないので、縁部から5mm内側の140mmx90mmの範囲のデータを処理した。

表-2 要因の組み合わせ

供試体名	既設コンクリート	新設コンクリート	打継目処理深さ
N50既設	N50	---	---
N50新設	---	---	---
N50-J0	N50	N50	0mm
N50-J5			5mm
N50-J10			10mm
N35新設	---	---	---
N35-J0	N50	N35	0mm
N35-J5			5mm
N35-J10			10mm
U50新設	---	---	---
U50-J0	N50	U50	0mm
U50-J5			5mm
U50-J10			10mm
U35新設	---	---	---
U35-J0	N50	U35	0mm
U35-J5			5mm
U35-J10			10mm

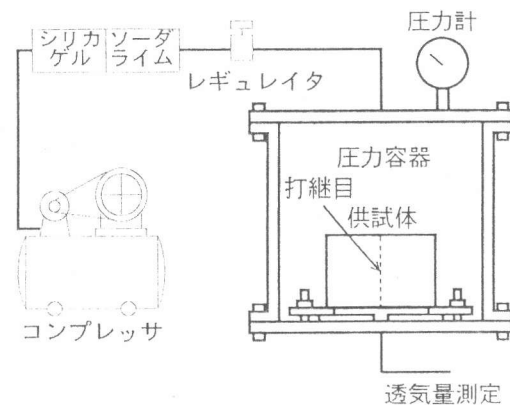


図-1 透気試験装置

計測された距離より、平均深さは計測された中で最も高い位置の値（図-2で示される h_i では最小値）を基準として求めた。さらに、0.2mmおきに計測された点を直線で補間し、その距離の合計を表面距離とし、また、計測点で三角形を作り（図-2参照）、その三角形の面積の合計を打継目の表面積とした。

また、打継目を有するコンクリートの力学特性を把握するために、本研究では引張強度試験を行った。引張強度試験には透気試験に用いた供試体を使用し、エポキシ樹脂系接着剤で引張用治具を取り付けて直接引張試験を行った。

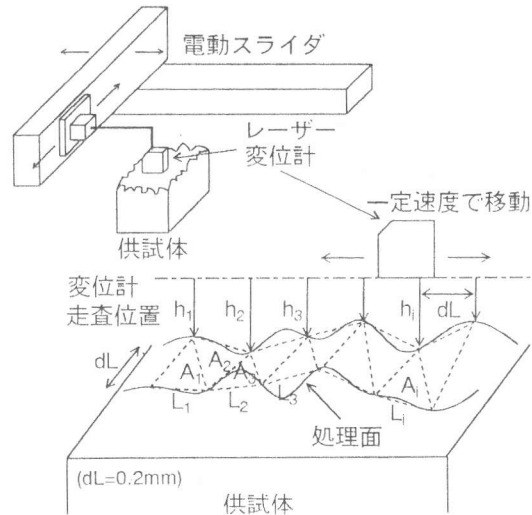


図-2 表面形状の計測方法

3. 実験結果および考察

図-3、4は一体ものと打ち打継いだコンクリートの透気量を示す。普通ポルトランドセメントを用いた場合には、既設および新設コンクリートの透気量に比べて、打ち継がれたコンクリートの透気量はどちらの

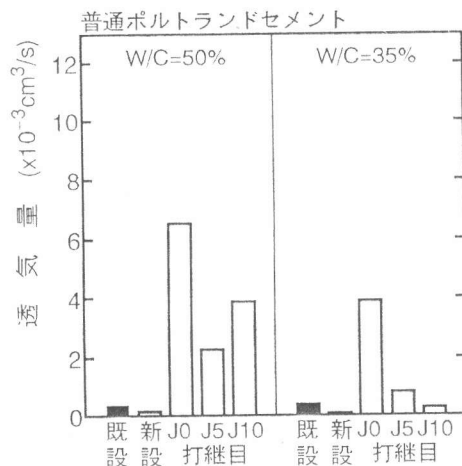


図-3 コンクリートの透気量(普通)

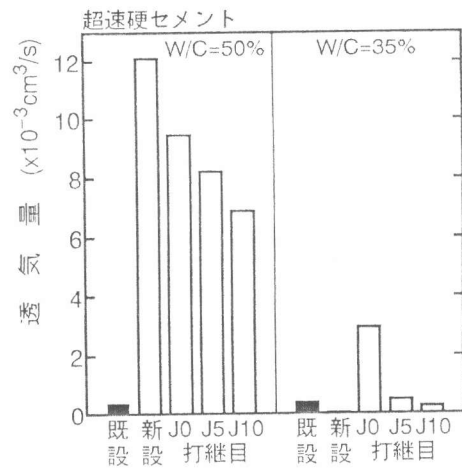


図-4 コンクリートの透気量(超速硬)

水セメント比においても多くなっている。一方、超速硬セメントを用いた場合には水セメント比35%では普通ポルトランドセメントと同様な傾向を示しているが、水セメント比50%においては新設コンクリートの透気量が多いことから、打継コンクリートの透気量は新設コンクリートより小さくなっている。従って、打継目自身の透気性を検討するためには図-3、4に示される透気量から既設および新設コンクリートの透気量を取り除く必要がある。既往の研究で報告されているように、コンクリート中の空気の流れが一次元流れであれば、打継目を有するコンクリートの透気量は既設と新設コンクリートおよび打継目それぞれを透気する流量の重ね合せとなっている[2]。本研究で用いた透気試験方法ではコンクリート内部の流れは一次元流れとなっていることから、既設および新設コンクリートの透気量が得られれば打継目の透気量が得られる。

図-5、6は透気試験時までの空隙率の経時変化を示したものである。空隙率はコンクリートから逸散した水分量をコンクリートの体積で除したものである。図中の黒塗の印は打継コンクリートに用いている既設および新設コンクリートそれぞれの一体もののコンクリートの実測された空隙率を平均した計算値である。これは打継コンクリートでは既設および新設コンクリートの体積は同じであること、およびコンクリートの体積に対する外気に接する表面積の割合も一体もの

と同じ割合であるから、打継コンクリートの新旧コンクリートそれぞれの水分逸散量は一体もののコンクリートの体積に比例すると考えたためである。打継コンクリートの実測された空隙率は計算値とよく

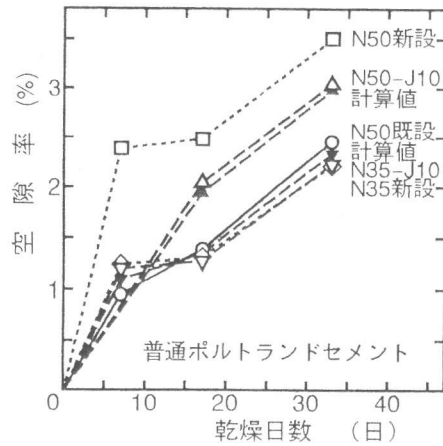


図-5 空隙率の経時変化(普通)

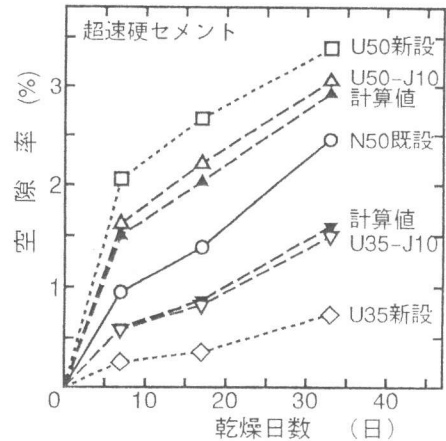


図-6 空隙率の経時変化(超速硬)

一致している。このことから、打継コンクリートのそれぞれのコンクリートは一体ものと同じ空隙率を有しているといえる。コンクリートの透気量は同

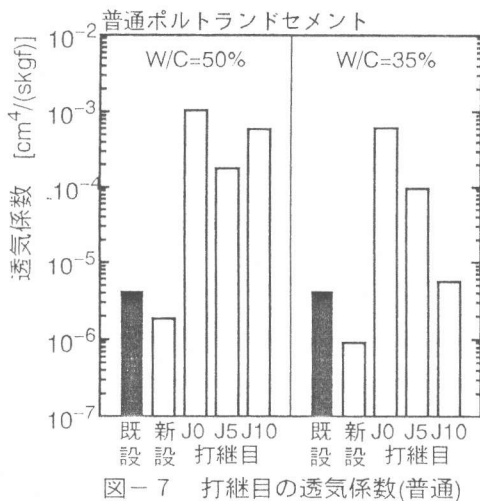


図-7 打継目の透気係数(普通)

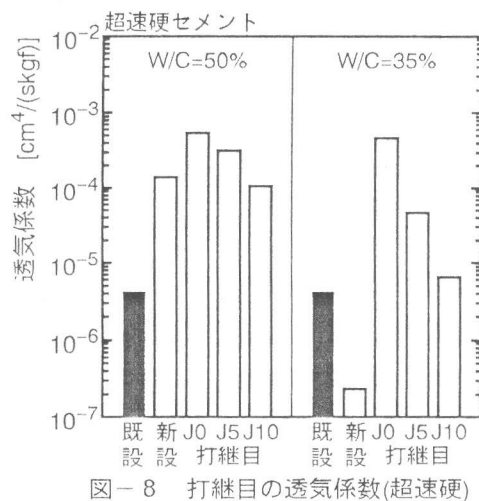


図-8 打継目の透気係数(超速硬)

じ配合のコンクリートであれば、空隙率と一義的な関係にあることから[4]、一体もので得られた透気量を打継コンクリートの透気量から差し引けば、打継目の透気量を取り出すことができる。

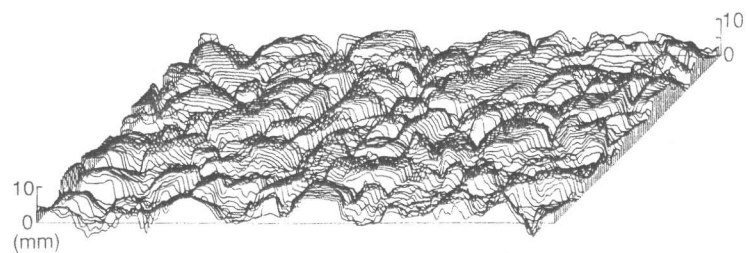


図-9 打継目表面形状計測結果の一例

図-7、8は打継目の透気係数を一体ものと比較して示したものである。打継目の透気係数は式(1)を用いて計算しているが、その際、打継目は単位幅を有しているとしている。打継目の透気係数はどちらの水セメント比およびどちらのセメントにおいても、既設および新設コンクリートの透気係数より大きくなっている。また、N50-J0を除けば、打継目の処理深さが深くなるにつれて、打継目の透気係数は小さくなっている。既設コンクリートの透気係数を基準にすれば、打継目の透気係数は最大で250倍であるが一方、水セメント比35%で処理深さが10mmでは普通ポルトランドセメントおよび超速硬セメントどちらの場合も既設コンクリートとはほぼ同じ透気係数となっている。

次に、図-9は既設コンクリートの打継目の処理深さが5mmの既設コンクリートのレーザー変位計による計測結果の一例を示したものである。本研究で用いた表面形状の計測方法は粗骨材によるマクロな凹凸に加えて、粗骨材表面やモルタル部分のミクロな表面形状もよくとらえていると

いえる。さらに、打継目の表面形状の計測から得られた平均深さ、表面距離および表面積を表-3に示す。打継目の処理深さが深くなるにつれて、平均深さ、表面距離および表面積は大きくなっている。本実験で行った高圧水による処理では表面積は表面処理をしないものに比べて、処理深さ10mmで約2倍の表面積となっている。

表-3 打継目表面形状計測結果

処理深さ	平均深さ H(mm)	表面距離 L'(mm)	L'/L	表面積 A'(mm ²)	A'/A
0mm	0.4	142.1	1.02	13302	1.06
5mm	3.4	190.8	1.36	22826	1.81
10mm	4.7	207.9	1.49	25817	2.05

L:断面距離(140mm)

A:断面積(140mm×90mm=12600mm²)

図-10は平均深さと表面距離、平均深さと表面積の関係を示したものである。平均深さ0mmでの表面距離と表面積は計算値である。図か

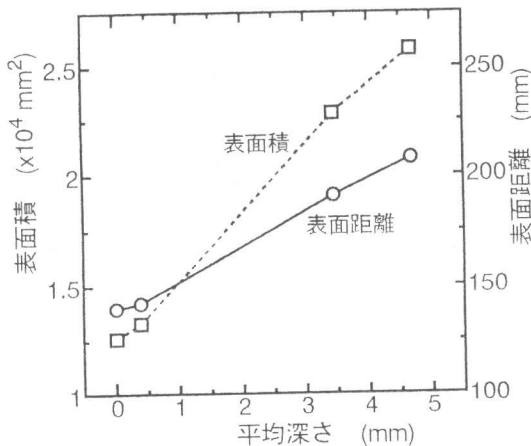


図-10 打継目の表面形状指標間関係

らわかるように、表面距離および表面積はどちらも凹凸がない平らな場合を基準にして平均深さとは比例関係にある。この平均深さと表面距離あるいは表面積との関係は表面処理の方法によって変わると考えられるが、本研究では比例関係にあることから、打継目の表面形状を表す定量的な指標として平均深さを用いる。

図-11は水セメント比50%で普通ポルトランドセメントを用いた場合の一体ものおよび打継コンクリートの引張試験において得られた応力-ひずみ関係を示す。また、表-4は引張強度と図-11で得られた応力-ひずみ関係から求めた引張弾性係数を示す。表中の弾性係数は引張強度の1/3での割線弾性係数である。打継コンクリートは全て打継目で破壊し、引張強度は表面処理深さが小さくなるにつれて小さくなっている。また、打継目に強度低下を引き起こす弱点が有れば打継目での剛性が低下し、その弾性係数も変化することが考えられる。しかしながら、表面処理を行っていないN50-J0では強度低下とともに弾性係数の低下が顕著に認められたが、表面処理を行った打継コンクリートの弾性係数は強度低下しているにもかかわらず一体ものとはほとんど差がない。

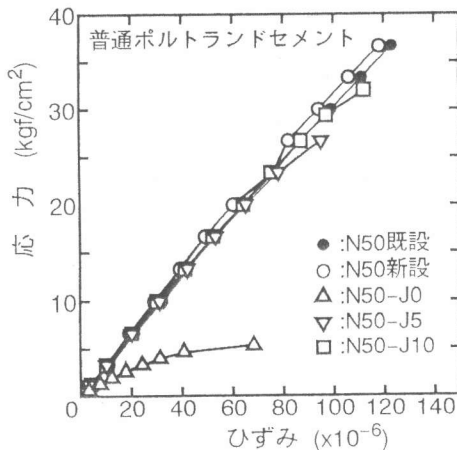


図-11 打継目を有するコンクリートの応力-ひずみ関係

表-4 引張強度試験結果

供試体名	引張強度 (kgf/cm ²)	強度比 (%)	弾性係数 (kgf/cm ²)
N50既設	36.5	100	316000
N50新設	36.8	101	333000
N50-J0	5.6	15	15000
N50-J5	25.4	70	310000
N50-J10	33.6	92	333000

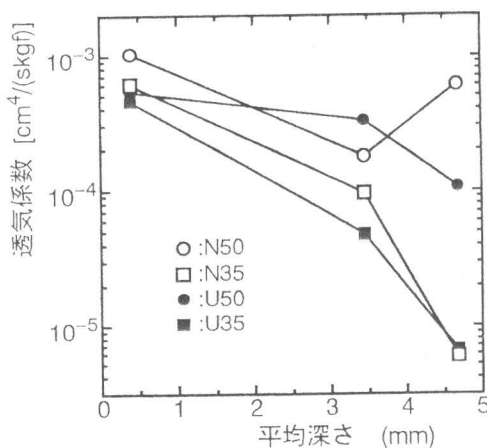


図-12 打継目平均深さと透気係数の関係

図-12は平均深さと打継目の透気係数との関係を示したものである。図-7、8に示したよ

うにN50-J10を除いて、打継目の透気係数は平均深さが深くなるにつれて小さくなっている。水セメント比の違いで比較すれば、水セメント比35%で打ち継がれたコンクリートの打継目の透気係数は水セメント比50%のものより小さくなっている。また、超速硬セメントを用いた場合も普通ポルトランドセメントを用いた場合より打継目の透気係数は小さくなる傾向がみられる。打継目を有するコンクリートの強度低下の原因の一つとして、打ち継いだコンクリートからのブリーディング水が打継目に空隙を生じさせ、それによる付着の低下が考えられている[5]。この空隙は打継目の透気係数にも影響を及ぼし、ブリーディングのほとんど生じない超速硬セメントを用いた場合やブリーディングの少ない水セメント比35%の場合に打継目の透気係数が小さくなったと考えられる。従って、N50-J10では打継目表面の凹凸が大きいため打継目にブリーディングによる空隙ができやすくなったために打継目の透気係数が大きくなったと考えられる。しかしながら、表-4に示したように引張強度は既設および新設コンクリートに比べて約10%程度しか低下していない。コンクリートの強度と透気係数とは必ずしも対応した関係にあるものではないが、新旧コンクリートの打継目での付着のメカニズムの観点からさらに検討する必要がある。また、図からわかるように、打継目の透気係数に影響を及ぼす要因としては水セメント比やセメントの種類の違いに比べて、打継目の平均深さの影響が大きく、平均深さが深くなるにつれて、水セメント比やセメントの種類の影響が大きくなっている。

4. 結論

本研究は新旧コンクリートの打継目の透気係数に影響を及ぼす要因について検討を加えたものである。本研究で得られた結果をまとめると以下のとおりである。

- 1) 新旧コンクリートの打継目の透気係数は本実験で用いたセメントの種類および水セメント比の範囲においてはその違いによらず既設および新設コンクリートの透気係数より大きい。
- 2) 表面処理した打継目の平均深さが深くなれば、表面距離および表面積も大きくなり、平らな面を基準にして表面距離および表面積は平均深さと比例関係にある。
- 3) 打ち継がれたコンクリートの引張強度は平均深さが深くなるにつれて、既設および新設コンクリートからの低下率は小さくなったが、表面処理した打継コンクリートの引張弾性係数は一体ものとはほとんど差はなかった。
- 4) 新旧コンクリートの打継目の透気係数は水セメント比が小さくなると小さくなる。また、超速硬セメントを用いた場合も普通ポルトランドセメントの場合より小さくなる。
- 5) 打継目の平均深さを深くすることにより打継目の透気係数は小さくなり、その影響度は水セメント比およびセメントの種類に比べて大きい。

<参考文献>

- [1] 足立一郎、小林一輔：ショットブラストを利用した新旧コンクリートの打継ぎ工法に関する研究、土木学会論文集、第373号/VI-5、pp. 64-73、1986.
- [2] 氏家勲、佐藤富一、佐藤良一、長瀧重義：新旧コンクリートの打継面の透気性状に関する研究、土木学会第49回年次学術講演会講演概要集、pp. 1060-1061、1994.
- [3] 伊沢良則他：引張およびせん断力下での新旧コンクリート打継目の強度特性について、土木学会第49回年次学術講演会講演概要集、pp. 110-111、1994.
- [4] 氏家勲、長瀧重義：コンクリートの透気性の定量的評価に関する研究、土木学会論文集、No. 396/V-9、pp. 79-87、1988.
- [5] 吉田弥智、中嶋清実：超速硬セメントコンクリートの新旧打継目に関する研究、セメント・コンクリート、No. 347、pp. 9-15、1976.