

論文 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

金子林爾 * 1 山田一久 * 2

要旨: コンクリート打継ぎ部の強度を高める方法について、硬化前に超遅延剤を散布して表層部を除去するグリーンカットでの打継ぎ部の表面粗さが強度にどのように影響するかを検討する。この表面粗さは細砂拡大による平均きめ深さと、レーザー変位センサでの測定で求め、その評価について検討する。そして、表面粗さと直接二面せん断強度、引張強度について実験的に検討する。

キーワード: 表面粗さ、超遅延剤、水平打継目、二面せん断強度、引張強度

1. はじめに

阪神淡路大震災の発生後、現地に赴き打継ぎ不良個所からの構造物の破壊損傷をみるにつけ、打継ぎ方法による工夫および打継ぎ部の施工方法の容易さを検討することを試みた。近年、コンクリート打継目に関する研究[1,2]が注目されてきているが、この打継ぎ部の表面処理には硬化前と硬化後の処理方法がある。しかし、現場ではコンクリート打設時が最も作業に手間がかかり注意を払う工程でもあり、所要時間を多く必要とする。したがって、打設後の表面処理は無処理か硬化後の処理になりがちである。

硬化前の処理方法として、高圧水で表層を除去するグリーンカット、吸水シートによる余剰水の除去などがある。一方、硬化後の処理方法として、一般的にワイヤブラシ、大規模な構造物ではショットブラスト、ウォータージェットによる方法の研究[3,4]がある。

本実験研究では、水平打継ぎ部の処理方法として、コンクリート打設後の凝結する前に超遅延剤を散布し、表層の脆弱部を除去する方法を採用した。そして、超遅延剤の濃度、打設後の散布時間、表層部の除去時間を決め、表面粗さの評価とその引張およびせん断の打継目強度について検討する。この表面粗さを評価する方法としては、路面粗さを求める細砂拡大による平均きめ深さと、レーザー変位センサによる表面粗さの高さ分布測定の二種類でその評価を検討するものである。

2. 実験概要

2.1 使用材料および調合

コンクリートの調合は、普通ポルトランドセメントを使用し、粗骨材の最大寸法 20mm、水セメント比 50%、単位セメント量 345kg/m^3 、単位水量 172kg/m^3 、細骨材量 734kg/m^3 、粗骨材量 1011kg/m^3 、細骨材率 43%、AE 減水剤（有機酸系誘導体、T 社製） 863cc/m^3 、スランプ 18cm、空気量 4% である。超遅延剤（ポリヒドロキシカルボン酸複合体、T 社製）は濃度別に希釈して噴霧器で散布（散布量 200cc/m^2 ）した。

打継ぎ部の超遅延剤散布面は、高圧水洗浄（吐出圧 70 kgf/cm^2 、最大水量 480 l/hr ）で除去した。実験期間中の室内温湿度は、 $22 \pm 2^\circ\text{C}$ 、 $\text{R.H.} 75 \pm 5\%$ である。

* 1 名城大学教授 理工学部建築学科 工博（正会員）

* 2 名城大学大学院 理工学研究科建築学専攻

2.2 表面処理と粗さ測定

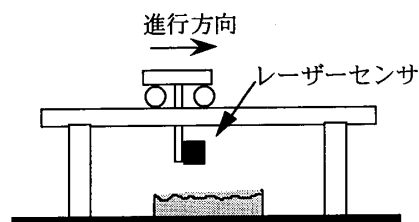
表面粗さ測定には、5cm×15cm×30cm 板を作製し、細砂による平均きめ深さを求める方法とレーザー変位センサで表面形状を記録する方法（図—1）の二種類で実施した。

1) 細砂による平均きめ深さを求める方法

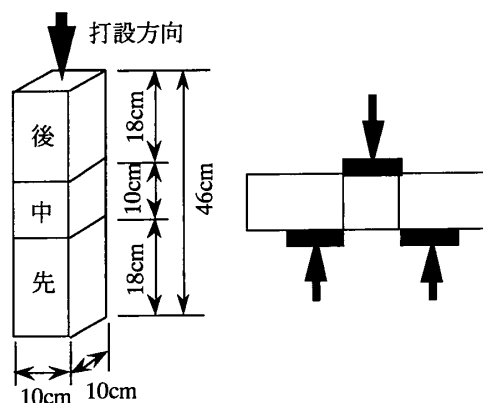
この方法は粒度の均一な細砂を一定量（標準砂 25g）表面に置き、円形に拡げたときの拡大面積（直径）から、細砂の平均きめ深さ（ $H_d = V/A$ 、ここに V ：体積、 A ：拡大面積）で表示する。

2) レーザー変位センサによる表面形状を測定する方法

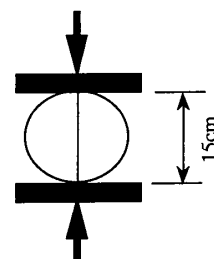
この方法は可視光式レーザー変位センサを平行に移動させて凹凸変位を測定する。基準長さは 70mm としサンプリング間隔を 1mm で実施した。この可視光式レーザー変位センサ（赤色半導体レーザー、分解能 $8\mu\text{m}$ ）は基準距離 80mm、測定範囲 $\pm 15\text{mm}$ である。



図—1 レーザー変位計測装置



図—2 直接二面せん断供試体



図—3 引張供試体

2.3 試験体作製と表面処理方法

打継目強度の供試体は、直接二面せん断試験用と引張（割裂）試験用とし、せん断試験用供試体には鋼製型枠（メタルフォーム）に中仕切り板としてアクリル板（厚さ 20mm）を用い、一層ごとに打継ぎ面の処理をして内のり寸法 10cm×10cm×46cm の供試体を作製した（図—2）。この二面の表面粗さはレーザー変位測定のみで、きめ深さは測定しなかった。供試体は各種三個ずつである。

また、引張試験用供試体は、 $\phi 15 \times 30\text{cm}$ 円柱供試体型枠の半分を水平に置き、両端部を板で固定した。打継ぎ面の処理後、脱型して再度同一寸法のモールド型枠（使い捨て）に挿入して後打ちコンクリートを打設した。これは供試体の打継目精度が載荷時に影響を及ぼさないようにするためである。供試体は試験時 2 日前にコンクリートカッターで切断して $\phi 15 \times 15\text{cm}$ とした（図—3）。

打継ぎ面の処理方法は、先打ちコンクリートの打設 1 時間後に超遅延剤濃度 20% と 33% を噴霧器で散布し、翌日（24 時間後）になって表層部を高圧水洗浄で除去した。また、比較のためにワイヤブラシによる表面薄層の除去も実施した。

コンクリート打継ぎには、直接打継ぐ方法と、ペースト（ $w/c=40\%$ ）塗り又はシリカフューム（セメント量の内割り 10%）を入れた混合ペーストを塗る方法を採用した。

試験時材齢は後打ちコンクリートの材齢 7 日及び材齢 28 日とし、圧縮試験（ $\phi 10 \times 20\text{cm}$ ）も実施した。平均圧縮強度（ f_c ）は材齢 7 日で 16.46 MPa、材齢 28 日で 24.29 MPa である。

コンクリート打継ぎ日数は既往の研究[5]から、曲げ強度は材齢 3～5 日が最も低下し、打継ぎ効果が少ないことが示されているので、3 日後にコンクリート打設をした。

3. 実験結果と考察

3.1 表面粗さ測定方法とその評価

レーザー変位測定による表面粗さの表示は、図—4 に示すように任意の位置に基準長さ (L) をサンプリング間隔 1mm で 70 点に決めてデータを求め、JIS B 0601 (表面粗さ一定義及び表示) によって中心線平均粗さ(Ra)、最大高さ(Rmax)、十点平均粗さ(Rz)を求めた。この表面状態は高さ分布関数によって十分に表示することができる。

ここに、粗さ曲線を $F(x)$ で表し、次式で求める。

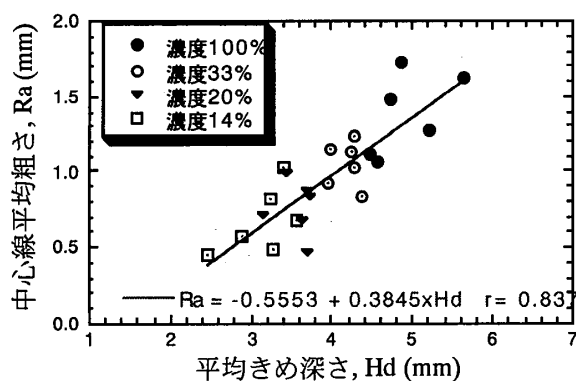
$$Ra = \int_0^L |F(x)| dx \quad (1)$$

$$Rmax = Y_p + Y_v \quad (2)$$

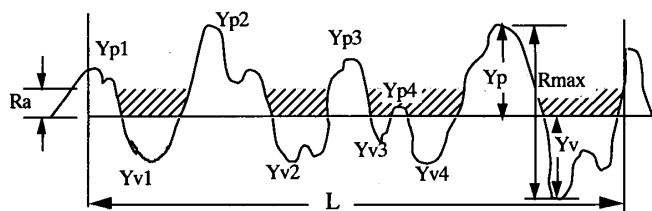
$$Rz = \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n Y_{pi} + \sum_{i=1}^n Y_{vi} \right) \quad (3)$$

測定データは測定面の設置で解析上好ましくない傾きが生じるため、最小二乗法で求めた線形又は多項式で差し引いて傾きを除去した。また、式(3)の十点平均粗さは $n=5$ が標準であるが、今回の実験では測定範囲が 70mm と短いために $n=3 \sim 5$ で求めた。表面粗さ曲線の一例を図—5 に示す。

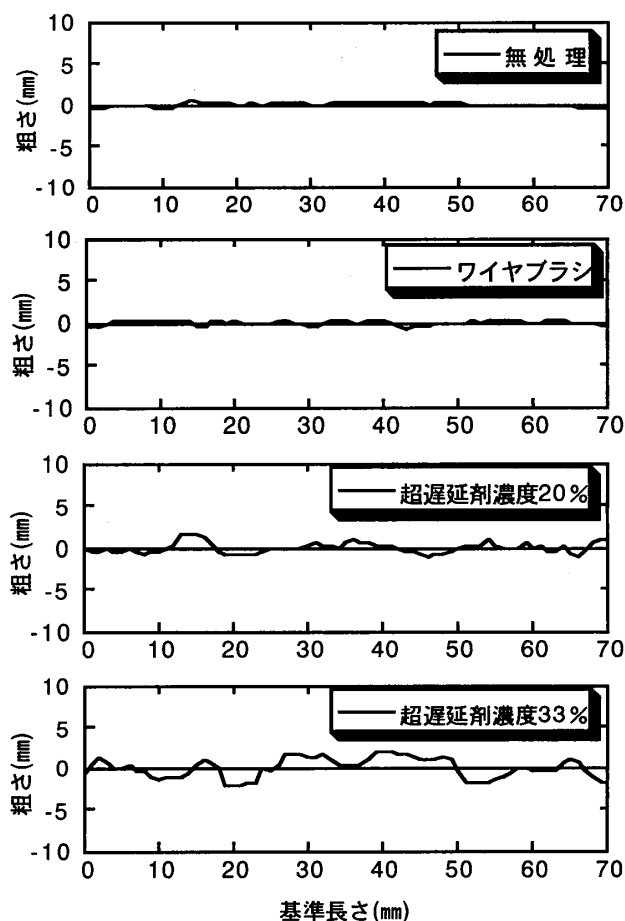
3.2 超遅延剤濃度と表面粗さ



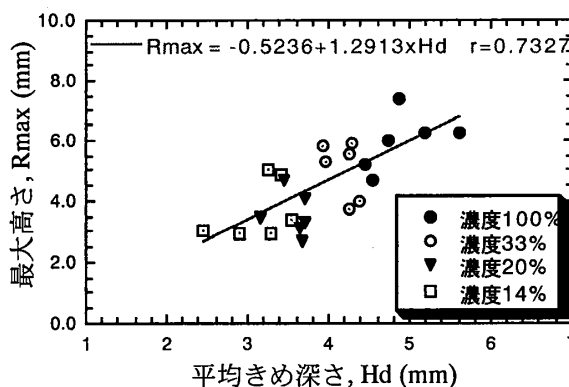
図—6 中心線平均粗さと平均きめ深さ



図—4 表面粗さの表示方法



図—5 打継ぎ面処理と表面粗さ



図—7 最大高さと平均きめ深さ

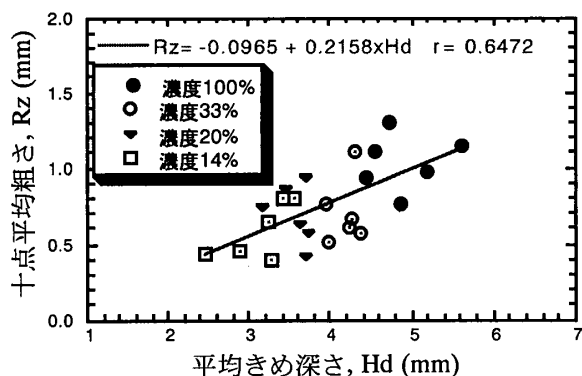
超遅延剤濃度による表面粗さの度合いを決めるために、その濃度を原液(100%)、33%、20%、14%と、打設後の散布時間を30分、60分、90分、120分、150分、180分とに変えて比較した。その結果、中心線平均粗さ(Ra)、最大高さ(Rmax)、十点平均粗さ(Rz)と、平均きめ深さ(Hd)との関係は若干のばらつきはあるものの、一次回帰式で表すと相関係数がそれぞれ0.837、0.733、0.647であった(図—6～図—8)。これは超遅延剤の使用量と表面粗さとの間には比例関係が存在し、使用量の増加とともに遅延効果が表層深く浸透して除去後の凹凸が粗くなる。この結果、測定の容易な平均きめ深さでも評価できることがわかる。打設後の散布時間は30分から3時間までの範囲で実施した結果、粗さに影響しない傾向を示した。

打継ぎ面表層の除去は、超遅延剤の散布後11時間、12.5時間、14時間、15.5時間及び24時間の5段階で除去した後の表面粗さを測定した。その結果(図—9)、11時間から24時間までは平均きめ深さに大差ないので、打継目強度用の供試体は散布後翌日(24時間)になって高圧水で表層部を洗浄除去した。

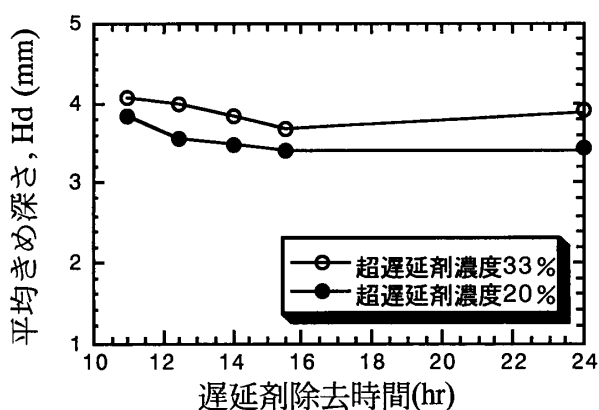
3.3 打継目強度と表面粗さ

コンクリートのせん断試験方法は、直接二面せん断法、直接一面せん断法、ルーマニアせん断法など多くの方法が研究[6]されているが、特殊な装置不要で容易に取り扱える直接二面せん断試験方法を用いた。この方法は試験体の中央下部付近に曲げの影響でひび割れが载荷中に発生し、最終的にはせん断破壊に至る。よって、せん断破壊値が若干強めになることが示されている。

直接二面せん断供試体の打継目強度と表面粗さを求めた(表—1)。図—10～図—12に示すように、ワイヤブラシで処理したものだけが粗さの数値が小さく、粗さと強度の関係にあてはまらない。したがって、コンクリート表面を切削するワイヤブラシ処理を除



図—8 十点平均粗さと平均きめ深さ



図—9 除去時間と平均きめ深さ

表—1 表面粗さとせん断強度(材齢7日)

打継ぎ処理	中心線 (mm)	最大高さ (mm)	十点平均 (mm)	せん断強度 (MPa)
一 体	—	—	—	3.59
	—	—	—	3.89
	—	—	—	3.85
無 処 理	0.299	2.342	0.418	1.91
	0.323	2.021	0.552	2.73
	0.355	2.521	0.501	3.48
ワイヤブラシ	0.207	1.126	0.341	4.05
	0.143	0.976	0.182	4.10
	0.303	1.620	0.522	4.11
超遅延剤濃度20%	1.188	4.847	1.479	4.83
	1.129	6.143	1.685	5.09
	0.484	2.820	0.879	3.94
超遅延剤濃度30%	0.711	5.256	1.171	5.25
	1.046	4.709	1.432	4.78
	0.788	4.514	1.665	4.82
超遅延剤・ペースト	1.193	4.460	1.484	3.28
	1.255	4.748	1.666	2.52
	1.752	7.012	2.362	4.15
超遅延剤 ペースト シリカフューム	0.819	6.401	1.425	4.67
	1.075	4.431	1.537	3.33
	1.134	5.358	1.666	2.67

外すると、直接二面せん断強度 (f_s) と表面粗さ (R_a, R_{max}, R_z) との関係は相関性があり、せん断強度は超遅延剤濃度を高めて凹凸を増すほうが増大する結果を得た。既往の研究[7]では、水平打継目を粗にしても効果が少ないとされているが、これは表層を削り取った状態で比較しており、本実験の骨材に損傷を与えない方法とは異なる。一般に打継ぎ面が粗いと後打ちコンクリートとの界面に気泡が多く存在して打継目強度が低下すると考えられがちであるが、打継ぎ部の表面積を大きくすることのほうが効果的であると考えられる。

図—13 では、材齢28日のデータから、せん断強度比 (f_s/f_c) と表面粗さ (最大高さ、 R_{max}) との関係を一次式で表すと以下のようになる。

$$f_s = (-0.0846 + 0.0757 \times R_{max})f_c \quad (4)$$

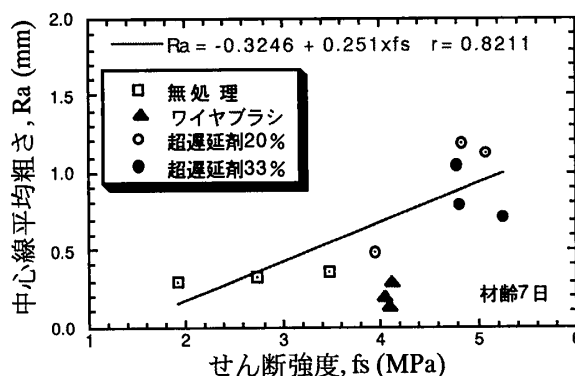
この最大高さは、図—7 に示すように、平均きめ深さと近似する。よって、平均きめ深さと圧縮強度からでも、せん断強度を推定することができる。

次に、圧縮強度に対する打継目の引張強度比 (f_t/f_c) とせん断強度比 (f_s/f_c) は、打継ぎ面の無処理とワイヤブラシ処理が一体化コンクリートよりも低く、超遅延剤での処理面はすべて増大した (表—2、図—14)。これは、超遅延剤の浸透と表面粗さがコ

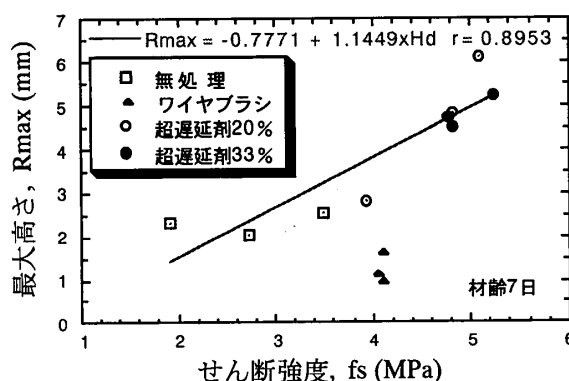
ンクリート打継目の強度増に影響するものと考えられる。よって、コンクリート打継目強度は超遅延剤を用いて骨材を損傷せずに表面粗さを粗くすることが必要不可欠である。

打継ぎ面のより効果的な方法として、ペースト、モルタルを塗る研究[7]があるがモルタル塗りは練り混ぜ時に発生する気泡が多く存在するため、打継ぎ面に水セメント比の小さいペーストを塗布した。その結果、打継目強度はより増大する傾向を示し効果的であった。一方、シリカフュームは空気連行されにくいとされているので、打継ぎ部の気泡が少なく打継目強度が高まるのではないかと考えられる。そのために、シリカフューム混入のペースト塗りも実験に加え、打継ぎ面に塗布したが、有効な結果は得られなかった (図—14)。

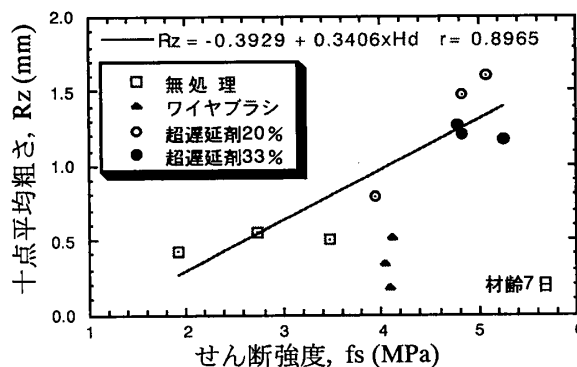
以上の実験結果から、コンクリート構造物の信頼を高めるためにも打継ぎ面処理は必要



図—10 中心線平均粗さとせん断強度



図—11 最大高さとせん断強度



図—12 十点平均粗さとせん断強度

不可欠な技術であり、超遅延剤散布による表面処理方法はワイヤブラシ処理よりも施工方法も容易であり、非常に有効な方法の一つである。

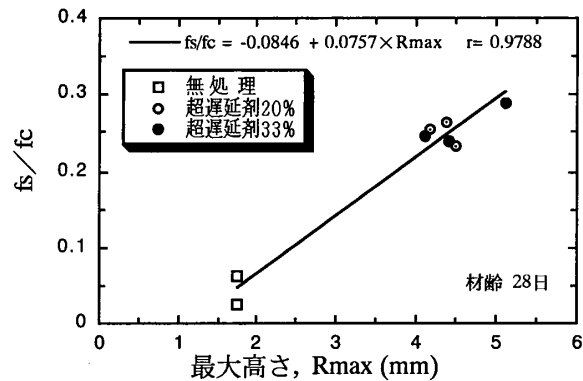
4. まとめ

本実験から、超遅延剤を用いたコンクリート打継目の表面粗さと打継目強度との関連で、以下のような知見が得られた。

- (1) 超遅延剤散布による処理方法は作業が容易で除去時間にゆとりがあり、打継目強度を必要とする打継ぎ面の粗さの調節ができる。
- (2) 表面粗さは JIS B 0601 に準じた結果、中心線平均粗さ、最大高さ、十点平均粗さと平均きめ深さで評価できる。
- (3) 表面粗さの評価は、現場で容易に測定できる平均きめ深さで表すことができる。
- (4) 打継目強度と表面粗さとは相関性が高く、一次式で表示できる。
- (5) 打継ぎ部の表面粗さは、粗いほど打継目のせん断強度、引張強度が大きく、骨材を損傷せずに打継ぎ面の表面積を大きくすることが不可欠である。

参考文献

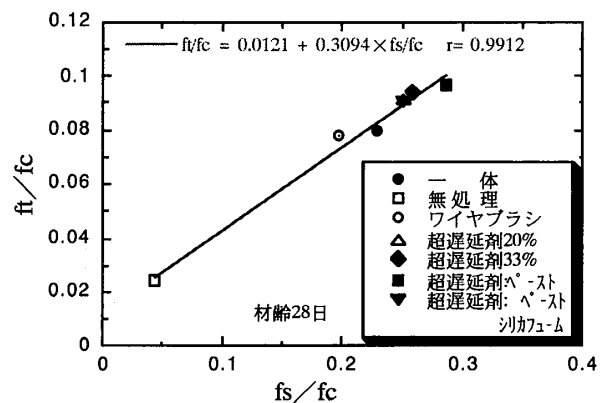
- [1] 武井一夫：コンクリート打継ぎ面の界面粗さの評価方法、日本建築学会構造系論文集、第 455 号、pp.7～16、1994.1.
- [2] 槇谷貴光、香取慶一、林静雄：コンクリート打継ぎ面における表面粗さの評価とせん断力伝達能力に関する実験研究、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.17, No.2, pp.171～176, 1995.
- [3] 迫田恵三、足立一郎：ウォータージェットを用いた新旧コンクリートの打継ぎに関する研究、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.17, No.1, pp.1261～1266, 1995.
- [4] 足立一郎、小林一輔：ショットブラストを利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、1986.
- [5] 木沢久兵衛、清水吉盛：コンクリートの打継部に於ける強度、日本建築学会論文報告集、第 60 号、pp.97～100、1958.10.
- [6] 魚本健人、峰松敏和：コンクリートのせん断強度試験方法に関する基礎的研究、コンクリート工学、Vol.19, No.4, pp.106～117, April, 1981.
- [7] 国分正胤：新旧コンクリート打継目に関する研究(要旨)、土木学会誌、35-12, pp.25～27, 1950.12.



図—13 f_s/f_c と R_{max} との関係

表—2 各種打継目強度比 (材齢28日)

打継ぎ面処理	f_t/f_c	f_s/f_c
一体	0.079	0.229
無処理	0.024	0.044
ワイヤブラシ	0.078	0.197
超遅延剤濃度20%	0.092	0.250
超遅延剤濃度30%	0.094	0.259
超遅延剤ペースト	0.097	0.286
超遅延剤ペースト シリカフューム	0.090	0.252



図—14 f_t/f_c と f_s/f_c との関係