

報告 打継処理剤の性能評価に関する各種実験検討

酒井 貴洋^{*1}・清宮 理^{*2}・水谷 征治^{*3}・田中 亮一^{*4}

要旨: 散布するのみで通常の打継処理と同等の性能を確保できる打継処理剤について、力学性能および耐久性に関する定量的なデータを把握するため、直接引張試験・促進中性化試験・アウトプット法による透水試験を実施した。その結果、用いる打継処理剤によっては通常打継処理（凝結遅延剤+高圧水）よりも大きな引張強度が得られる傾向が認められた。また打継目における中性化速度は通常打継処理よりも大きいことが明らかとなった。透水試験では打継処理剤を用いることで、透水量が徐々に減少する傾向が認められ、コンクリート標準示方書に示される算定式以下の透水係数を確保できることが明らかとなった。

キーワード: 打継処理剤, 直接引張試験, 促進中性化試験, 透水試験, アウトプット法

1. はじめに

コンクリートの打継ぎ処理では、十分な強度、耐久性および水密性を有する打継目を造るために、既に打ち込まれた下層コンクリート上部のレイタンス、品質の悪いコンクリート、緩んだ骨材などを取り除いてから打ち継ぐことが肝要である。

既に打ち込まれた下層コンクリートの打継目の処理方法には、硬化前処理方法と硬化後処理方法およびこれらを併用した方法がある。硬化前処理方法としては、コンクリートの凝結終了後、高圧の空気または水でコンクリート表面の薄層を除去し、粗骨材粒を露出させる方法が用いられている。この処理方法は、打継目が比較的広い場合に効率のよい方法であるが、打継処理に適した時期を逸すると、コンクリートの強度が高くなり過ぎて粗骨材粒の露出が困難である。このような施工上の制約を緩和するため、コンクリート打継目にグルコン酸ナトリウム等を主成分とする遅延剤を散布して、コンクリート打継表面の薄層部の硬化を計画的に遅らせ、処理時期を大幅に延長できる打継ぎ処理方法が一般に用いられている。一方、硬化後処理方法による場合、既に打ち込まれた下層コンクリートがあまり硬くなければ、高圧の空気および水を吹き付けて入念に洗うか、水をかけながらワイヤブラシを用いて表面を粗にする必要がある。旧コンクリートが硬いときは、ワイヤブラシを用いて表面を削るか、表面にサンドブラストを行った後、水で洗う方法等がある¹⁾。

いずれの方法においても、打継ぎ処理を行う際には水を用いなければならず、高いアルカリ性を示す処理水が排出されるため、このアルカリ水の処理方法についても

事前に配慮が必要となる。また硬化後処理の場合には、非常に多くの労力を必要とすることや、硬化前処理と比較して均一性に劣ることが課題として挙げられる。

このような背景の中、散布するのみで通常の打継処理と同等の性能を確保できるとされる打継処理剤が開発され、様々な現場で適用されている。この場合、打継処理に際しての労力軽減や処理水の問題、さらには打継処理品質の均一性を目的として適用されるものと考えられるが、その諸特性については明らかとされていない部分が多く、定量的な情報は少ない。このため、打継処理剤を含む各種打継処理方法の力学的性能および耐久性に関する実験から、その性能について比較・検討を行った結果をここに報告する。

2. 実験概要

2.1 実験目的

本検討では、打継目の力学性能と耐久性に関する2種類に大別される実験を行った。打継目において力学面で特に問題となるのは、せん断抵抗性や引張抵抗性であるが、ここではひび割れ発生に大きく関係すると考えられる引張抵抗性に着目し、直接引張試験からその性能を評価することとした。また耐久性に関しては、促進中性化試験による打継部の中性化速度と、透水試験（アウトプット法）による打継目の水密性から評価することとした。

2.2 実験ケース

打継処理方法は、無処理（ケース B）、通常打継処理（凝結遅延剤+高圧水: ケース D）、打継処理剤①（ケース J）、打継処理剤②（ケース C）の4 ケースとした。通常打継

*1 五洋建設（株） 技術研究所 係長 工修 （正会員）

*2 早稲田大学 創造理工学部 社会環境工学科 教授 工博 （正会員）

*3 東洋建設（株） 美浦研究所 主任研究員 （正会員）

*4 東亜建設工業（株） 技術研究開発センター 研究員 （正会員）

処理とは凝結遅延剤散布後、所定の時間を置いた後で高圧水にて打継目の脆弱層を除去する方法である。また打継処理剤散布は、コンクリート打設後ブリーディング水が上昇し、その後ブリーディング水がコンクリートに引き込まれる時点で標準量を散布する方法である。

表-1 検討項目

項目	評価内容	実験方法
力学性能	引張強度	直接引張試験 (φ100)
耐久性能	中性化速度	促進中性化試験 (角柱)
	透水係数	アウトプット法 (φ150)

表-2 検討ケース

ケース	打継処理方法	標準散布量
B	無処理	—
D	通常打継処理 (凝結遅延剤+高圧水)	300 g/m ² (原液)
J	打継処理剤①	200~300 g/m ² (原液)
C	打継処理剤②	300 g/m ² (原液)

2.3 供試体作製

直接引張試験と透水試験はコア供試体で実験を行うため、表-2に示す処理方法による打継目を設けたスラブ状のコンクリート部材からコア削孔を行って供試体採取した。使用材料および供試体作製方法を表-3および図-1に示す。また、コンクリートの配合およびフレッシュ性状を表-4に示す。なお、打継目を有する構造物としてケーソンや栈橋上部工などの港湾コンクリート構造物を対象としたことから、セメントにはこれらの構造物で一般に使用される高炉セメントB種を用いた。コア採取部材は図-1に示す形状とし、1層目のコンクリート打設後に凝結遅延剤および打継処理剤をメーカー推奨の標準散布量およびタイミングで散布した。

表-3 使用材料

使用材料	物理的性質など
セメント (C)	高炉セメントB種 (BB) /密度:3.04g/cm ³ , 比表面積:3,860cm ² /g
細骨材 (S)	那須塩原産/密度:2.57g/cm ³ , 吸水率2.13%
粗骨材 (G)	那須塩原産/密度:2.57g/cm ³ , 吸水率2.11%
AE 減水剤 (Ad)	ポゾリス No.78S

表-4 コンクリートの配合 (30-12-20BB) およびフレッシュ性状

使用セメント	打設部位	SL (cm)	W/C (%)	Air (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)					フレッシュ試験結果		
						W	C	S	G	Ad	SL (cm)	Air (%)	C.T. (°C)
BB	1層目	12	43.4	4.5	39.4	165	380	673	1036	3.80	14.5	4.1	25.0
	2層目										13.5	5.9	28.0

※) Ad : AE 減水剤, SL : スランプ, Air : 空気量, C.T. : コンクリート温度

また、通常打継処理のものは打設翌日に高圧水を用いて表面の脆弱層を除去し粗骨材粒を露出させた。各打継処理実施後はビニルシートを処理面天端に敷設し、コンクリート表面からの水分の逸散を防止した。各ケースの打継目の処理後の状態を写真-1に示す。2層目の打設は1層目打設から14日後に実施した。なお、コアを用いた直接引張試験を万能試験機により簡便に行えるよう、コアの上下両端の削孔中心位置にあらかじめインサートを設置した。ただし1層目と2層目の間でインサートの位置に“ずれ”が生じると、実験結果に大きな影響を及ぼすことが懸念されたため、入念に位置合わせを行ってからコンクリートの打設を行っている。また、透水試験 (アウトプット法) に用いる供試体は、供試体外部からの圧力により水を打継目から浸入させ、供試体中心部から排出される水量を計測する必要性から、中心部に径25mm程度の小孔を設けた。

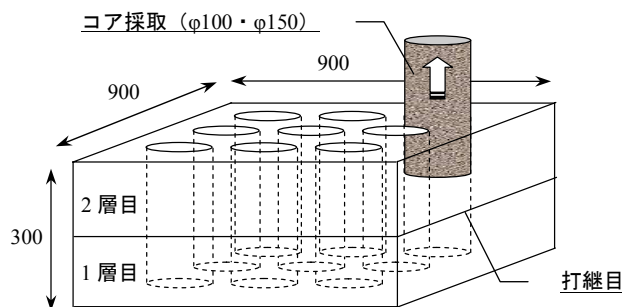
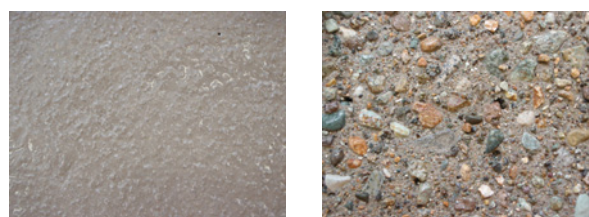


図-1 供試体作製方法 (単位: mm)



処理後 (左: ケース B, 右: ケース D)



処理後 (左: ケース J, 右: ケース C)

写真-1 各ケースの打継目処理後の状態

一方、促進中性化試験については 100×100×400 (50×2層) mm の鋼製型枠を用いて、水平に 2 層に分けて打継処理を行うことで供試体を作製した。

2.4 打継処理剤について

打継処理剤は樹脂エマルジョンを主成分とした薬剤であり、コンクリート打設直後に散布するだけで打継処理が行えるというものである。樹脂エマルジョンを用いた打継処理の品質には、次の 3 つの要因が大きな影響を与えるとされている²⁾。

- (a) 旧コンクリートの改質層の結合力 (アンカー効果)
- (b) レイタンス成分の固定化 (樹脂改質効果)
- (c) 新コンクリートと改質層の結合力 (キレート効果)

ここで、(a) のアンカー効果は、打設直後に散布する樹脂エマルジョンがコンクリートへ拡散・浸透する深さによって決まる性能である。(b) の樹脂改質効果は、浸透した樹脂エマルジョンが乾燥圧を受け、ポリマー粒子同士の融着現象を経て進行し、ポリマーコンクリート層の形成が付着阻害因子であるレイタンスなどを固定化しながら進むために打継性能が向上するものと考えられている。(c) のキレート効果は、接触面に生じる親和性のみ依存すると考えられており、この親和性はポリマーコンクリート層表面の化学的性質により決定される。表-5 に実験で使用した打継処理剤の主成分を示す。

表-5 実験に用いた打継処理剤

名称	主成分
打継処理剤①	PAE 系エマルジョン
打継処理剤②	PAE・SBR 系エマルジョン

2.5 試験方法

本検討における評価項目のうち、引張強度は直接引張試験により評価した。直接引張試験の方法には様々なものが提案されているが、簡易に実験が行えることに主眼を置き、供試体内部にあらかじめインサートを埋設して載荷用治具と接続することで万能試験機による載荷を可能とした。載荷用治具は軸方向力のみを伝達する構造となっており、曲げモーメント等の軸方向引張以外の外力が供試体に作用することのないようにした (図-2)。

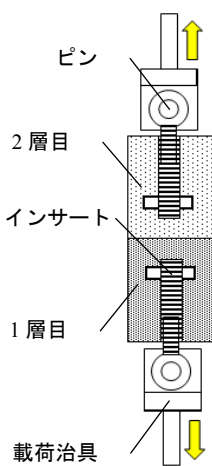


図-2 引張試験詳細

また中性化速度については JIS A 1153 に規定される促進中性化試験により評価した。促進条件は温度 20℃±2℃、相対湿度 60±5%、二酸化炭素濃度 5±0.2% である。

一方、透水性状については、打継目からの水の流入を評価する目的から、アウトプット法による実験により評価を行った。アウトプット法は一定の圧力の水を供試体に作用させ、流入量と流出量が等しくなったときの流量を測定し、ダルシー則より透水係数を求める方法である。アウトプット法による透水試験概要を図-3 に示す。中空円筒型の供試体の上下端面をゴムパッキンにより水密に保ち、側面から水圧を加えた。側面からの圧力水は 0.98N/mm² とし、供試体下面からの流出水を量に応じて 1 時間～24 時間間隔で測定した。透水係数の算出は式(1)を用いた。

$$K = \rho \log_e (r_0 / r_i) \cdot Q / (P_0 \times 2\pi h) \quad (1)$$

ここに、 K : 透水係数 (cm/sec), ρ : 水の単位容積質量 (kg/cm³), r_0 : 供試体半径 (cm), r_i : 中心孔半径 (cm), Q : 流出流量 (cm³/sec), P_0 : 外側圧力 (N/mm²), h : 供試体高さ (cm) である。

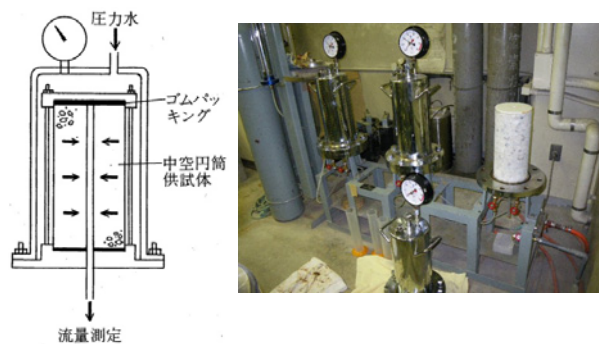


図-3 アウトプット法概要および実施状況

3. 実験結果

3.1 引張強度

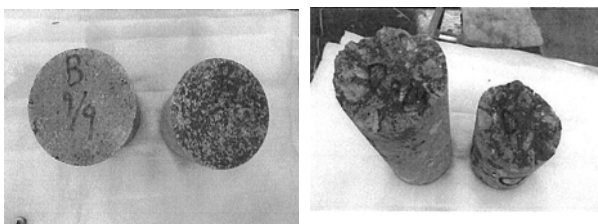
表-6 に直接引張試験結果を示す。これらの引張強度は 2 層目打設から 28 日 (4 週) および 91 日 (3 ヶ月) 経過時点のものである。ケース B (無処理) に対して、各打継処理は、当然のことながら 28 日および 91 日の双方において引張強度が増加する傾向が確認できる。また、通常処理 (凝結遅延剤+高圧水) のケース D に比較して、ケース J (打継処理剤①) では 28 日および 91 日の引張強度は増大したが、28 日と 91 日で引張強度の増進はほとんどなく、ほぼ同様の値であった。一方でケース C (打継処理剤②) では無処理と比較して大きい値を示しているものの、ケース D (凝結遅延剤+高圧水) と比較するとその値は小さい。

以上のことから、打継処理を実施することで引張強度は増大し、適切な打継処理剤を用いることで、これまでに実施されてきた通常処理 (ケース D) のような打継処理方法よりも大きな引張強度を確保できる可能性が認

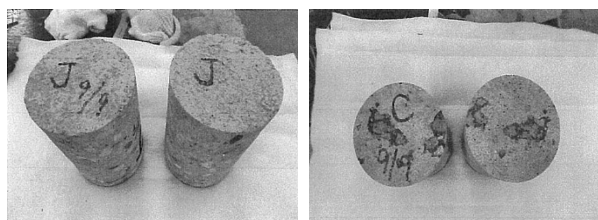
められた。なお、打継処理剤で引張強度の増大傾向に差異が認められた原因として、樹脂エマルジョンの種類の違いにより引張強度に差を生じることが報告されている³⁾ことから、各打継処理剤の材料的特性が密接に関連していると考えられる。すなわち、PAE系エマルジョンに比べて粘度が高いSBR系エマルジョンは旧コンクリートに引き込まれにくく、コンクリート表層部の脆弱層への浸透が不十分となり、旧コンクリートの改質層の結合力（アンカー効果）が相対的に小さくなったと考えられる。写真-2には、各ケースにおける代表的な破壊界面の状態を示す。

表-6 直接引張試験結果一覧

ケース	28日		91日		
	荷重 (kN)	引張強度 (N/mm ²)	荷重 (kN)	引張強度 (N/mm ²)	
B	1	8.65	1.13	9.96	1.29
	2	1.80	0.25	7.45	0.97
	3	4.66	0.62	5.43	0.71
	平均	5.04	0.67	7.62	0.99
D	1	17.80	2.28	16.48	2.21
	2	8.72	1.13	11.86	1.52
	3	10.47	1.35	11.98	1.54
	平均	12.33	1.59	13.44	1.73
J	1	19.24	2.50	16.62	2.14
	2	12.96	1.69	14.41	1.86
	3	15.14	1.97	17.66	2.27
	平均	15.78	2.05	16.23	2.09
C	1	8.46	1.09	9.27	1.20
	2	6.55	0.86	13.40	1.73
	3	6.14	0.81	5.30	0.69
	平均	7.05	0.92	9.32	1.20



破壊界面の状態（左：ケースB，右：ケースD）



破壊界面の状態（左：ケースJ，右：ケースC）

写真-2 各ケースにおける破壊界面の状態

ケースB（無処理）では、破壊界面は打継目に表れているのに対して、ケースD（凝結遅延剤+高圧水）では母材コンクリートで破壊したことから、良好な付着性状が確保できていたものと推察される。一方で打継処理剤についてはケースJ、ケースCともに打継目での破壊であった。ただし、ケースCについては打継目の一部に剥がれが認められた。

3.2 中性化抵抗性

表-7~9にはJIS A 1153に規定される促進中性化試験で得られた中性化深さの結果を示す。また、図-4~6に各層（上層・打継目・下層）における中性化深さの経時変化を示す。

なお、測定は所定の促進期間に達した時点で供試体の長さ方向と直角に供試体を端部から約60mmの位置で割裂した面においてノギスを用いて行った。また計測箇所は1側面につき6等分した5箇所としている。また打継目の中性化抵抗性を把握する目的から、上層（上部4箇所平均）・打継目（中央部2箇所平均）・下層（下部4箇所平均）それぞれの局所的な中性化抵抗性を把握した。

打継目における中性化深さは、13週経過時点でケースD（通常処理）が最も小さく、無処理が最も大きい傾向であった。

表-7 中性化深さ（上層平均・単位：mm）

促進材齢	B	D	J	C
1週	1.2	0.9	1.2	0.9
4週	4.4	5.4	5.7	5.0
8週	8.3	6.9	6.2	5.3
13週	8.0	7.5	7.1	7.9

表-8 中性化深さ（打継目平均・単位：mm）

促進材齢	B	D	J	C
1週	1.0	0.9	1.8	1.4
4週	33.9	16.7	27.0	27.1
8週	39.7	25.5	31.5	27.5
13週	41.0	27.3	34.3	32.2

表-9 中性化深さ（下層平均・単位：mm）

促進材齢	B	D	J	C
1週	0.5	0.1	1.0	0.7
4週	4.5	4.4	5.4	5.4
8週	7.3	7.4	7.1	6.5
13週	8.9	8.1	8.1	7.5

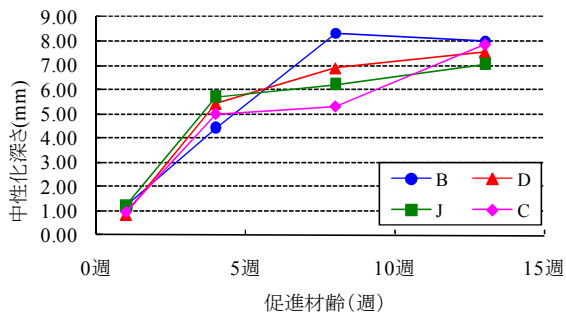


図-4 中性化深さの経時変化（上層）

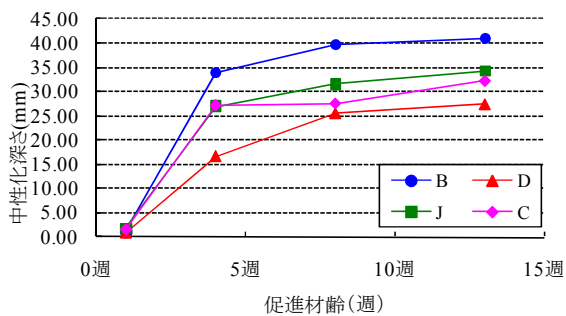


図-5 中性化深さの経時変化（打継目）

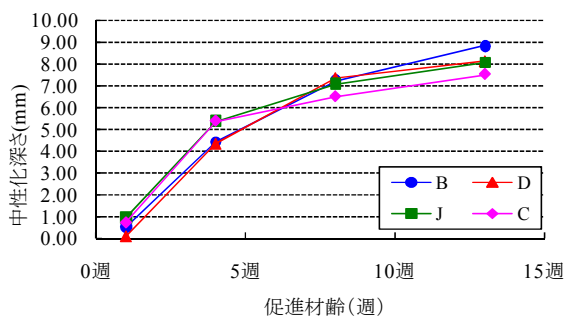
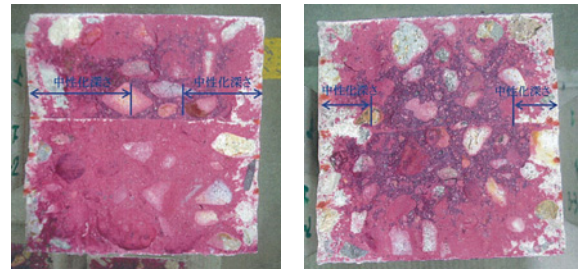


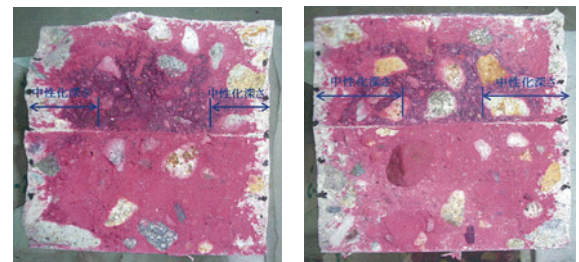
図-6 中性化深さの経時変化（下層）

また、打継処理剤は通常打継処理に比べて5~7mmほど中性化深さが大きいことから、中性化抵抗性の向上についてはあまり期待できないと考えられる。

写真-3に4週時のフェノールフタレイン溶液噴霧による中性化深さ測定時の写真を示す。打継目では、幅1mm程度の細い線状の無色の部位が供試体中心方向に向かって伸びる様子が確認できる。それ以外の部位（上層・下層）では中性化深さが4~6mm程度であることから、打継目ではそれ以外の部位と比べて著しく中性化しやすい傾向にあると言える。このことは環境によっては打継目から中性化が著しく進行し、局所的に耐久性上問題となる内部鉄筋腐食に繋がる可能性を示しており、特に中性化が進行しやすい環境下においては、打継処理剤よりも通常の打継処理方法（凝結遅延剤+高圧水）の適用が相応しいと判断される。



中性化深さ（左：ケース B, 右：ケース D）



中性化深さ（左：ケース J, 右：ケース C）

写真-3 フェノールフタレイン法による中性化深さ（4週時）

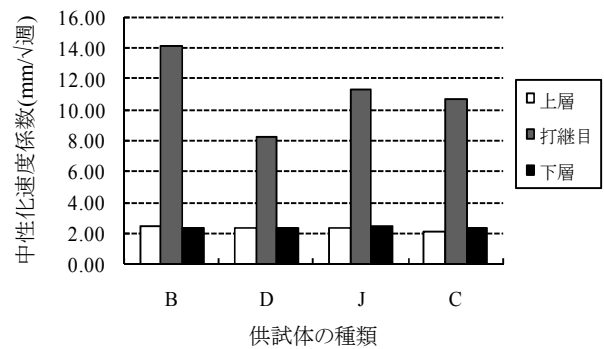


図-7 中性化速度係数平均の比較（4~13週時）

また、中性化速度係数の平均を比較した結果を図-7に示す。中性化速度係数の平均値には、測定時の誤差が比較的大きいと考えられる1週時を除いた4~13週時の測定値を使用した。その結果、上層および下層（一般部と呼ぶ）では中性化速度係数はほぼ2 (mm/√週)で同程度にあるのに対して、打継目では一般部における値の4~6倍の大きな値が得られた。通常打継処理が最も中性化速度係数の値が小さく、それに次いで打継処理剤の値が小さい傾向は、前述した中性化深さと同様であった。

打継処理剤で処理した場合に、通常打継処理より中性化深さが大きくなった理由は明確ではないが、レイタンス層の分布の不均一さ等により、打継処理剤の効果が打継目全面にわたって均一に及んでいないことも推察される。

3.3 透水係数

表-10にアウトプット法より得られた各供試体の

透水係数一覧を、図-8に各供試体の透水係数の比較を示す。土木学会 コンクリート標準示方書【設計編】⁴⁾では、既往の実績や研究成果に基づく水セメント比や強度と透水係数との関係から間接的に透水係数を算定してよいとされていることから、示方書において示される下記の式(2)による算定値も同図内に点線で示した。

$$\log K_p = 4.3 \cdot W/C - 12.5 \quad (2)$$

ここに、 K_p : 透水係数 (cm/sec), W/C : 水セメント(結合材)比 (=43.4%) である。

ケースB(無処理)については、1供試体において示方書の算定値を大きく上回る値が得られた。また算定値を下回る他の2供試体では経過時間とともに累積透水量が増大する傾向が認められ、徐々に透水量が減少し最終的に水の流出がなくなったケースD, J, Cとは明らかに違う性状を示した。この原因として、打継処理を実施したケースD, J, Cでは、打継界面におけるセメントの水和反応の進行や打継処理剤によるレイタンス層の改質効果が水みちを閉塞させたのに対して、ケースBでは脆弱なレイタンス層がそのまま残留することで、水みちが閉塞されなかったためと考えられる。

またケースB(無処理)を除いて、どの打継処理方法においても欠陥なく施工できた場合、透水係数は比較的低いレベルに抑えられると判断できる。さらに、通常の打継処理であるケースD(凝結遅延剤+高圧水)は最も透水係数にばらつきが少なく、施工による欠陥ができていない方法であると考えられる。

表-10 アウトプット法による透水係数
(ケースごとに大きな測定値から順に並べている)

ケース	供試体	流出流量 Q (cm ³ /h)	透水係数 K (cm/sec)
B	B-1	2.31×10^3	5.70×10^{-7}
	B-2	1.86×10^{-2}	4.66×10^{-12}
	B-3	4.50×10^{-3}	1.12×10^{-12}
D	D-1	3.09×10^{-2}	7.72×10^{-12}
	D-2	2.67×10^{-2}	6.63×10^{-12}
	D-3	3.20×10^{-3}	7.97×10^{-13}
J	J-1	4.72×10^{-1}	1.17×10^{-10}
	J-2	1.32×10^{-2}	3.25×10^{-12}
	J-3	3.91×10^{-3}	9.65×10^{-13}
C	C-1	2.49×10^0	6.18×10^{-10}
	C-2	6.81×10^{-2}	1.71×10^{-11}
	C-3	3.05×10^{-3}	7.62×10^{-13}

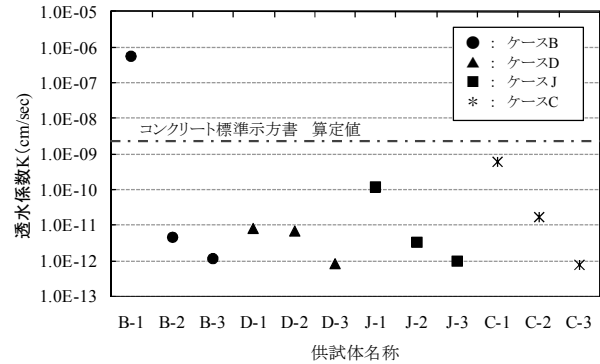


図-8 各供試体の透水係数比較

4.まとめ

打継処理剤の性能評価を目的として、直接引張試験・促進中性化試験・アウトプット法による透水試験を実施した。得られた知見は以下のとおりである。

- (1) 打継処理剤を用いることで通常打継処理(凝結遅延剤+高圧水)よりも大きな引張強度を確保できる可能性が認められた。
- (2) 打継処理剤は通常打継処理と比べて中性化速度はやや大きく、中性化抑制効果の向上についてはあまり期待できないと考えられる。
- (3) アウトプット法による透水試験では、打継処理剤を用いることで通常打継処理と同程度、かつコンクリート標準示方書に示される算定値以下の透水係数の確保が認められた。
- (4) 実際の現場において打継処理剤を用いる場合、メーカー推奨のタイミングで散布する場合は殆どであるため凝結性状に関する検討を実施しなかったが、打継処理剤の効果を検証する上では重要と考えられるため、今後の検討課題とする。

なお本実験は、早稲田大学清宮研究室、五洋建設(株)、東亜建設工業(株)、東洋建設(株)、以上4者の共同研究として実施したものである。

参考文献

- 1) (社)土木学会: 2007年制定 コンクリート標準示方書 施工編, pp.131-132, 2008.3
- 2) 前中敏伸, 門中章二, 森田 浩, 伊藤篤司: 超微粒子タイプの樹脂エマルジョンを水平打継ぎ面処理に用いた検討, コンクリート工学年次論文集, Vol. 23, No.2, pp.1201-1206, 2001.6
- 3) 沢出 稔: ポリマーエマルジョン散布打継工法を適用した若材齢コンクリート打継目の接着強度, 材料, 第40巻, 第456号, pp.8-14
- 4) (社)土木学会: 2007年制定 コンクリート標準示方書 設計編, pp.165-167, 2008.3