

論文 打継処理剤の散布時期およびその現場管理手法に関する一検討

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（凝結遅延剤＋高圧水）と同等の性能を確保できるとされる打継処理剤について、各種実験からその適切な散布時期を把握するとともに、施工現場で容易に適用可能と考えられる散布時期の管理手法について検討を行った。その結果、ブリーディング最大後拭き取り時点またはブリーディング水が引き込まれる時点を散布時期として厳守することで、通常の打継処理とほぼ同等の引張抵抗性や安定した処理品質を確保できる可能性を示した。またコールドジョイントの簡易判定法として用いられるN式貫入試験を現場管理手法として適用することで、最適な散布時期を定量的に把握できる可能性を示した。

キーワード： 打継処理剤, 散布時期, 直接引張試験, 透気試験 (Torrent 法), N式貫入試験

1. はじめに

散布するのみで通常の打継処理（打継目の処理を行い、粗骨材粒を露出させる方法）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、さらには処理品質の均一性を目的として適用されるが、その諸特性については明らかとされていない部分が未だに多く、定量的な情報が少ないのが現状である。

従来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が、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、打継目の処理作業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凝結遅延剤を散布して、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処理方法が一般的とされる。また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、ワイヤブラシで表面を削るか、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。

筆者らは昨年度、この打継処理剤の性能に着目し、各種打継処理方法の力学的性能および耐久性能を把握す

る目的から、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値以下の透水係数を確保できる可能性が明らかとなった。

本論文では、主に打継処理剤の散布時期およびその管理手法に着目し、力学的および耐久性能に関する実験からその適切な散布時期を把握するとともに、施工現場で容易に適用可能と考えられる散布時期の管理手法について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、力学的性能と耐久性能および現場管理手法に大別される3種類の実験を実施した。検討項目を表-1に示す。力学的性能実験では昨年度と同様、ひび割れ発生における直接の要因と考えられる引張応力に着目し、直接引張試験から打継部の引張抵抗性を評価することとした。また耐久性能実験では、打継部表層の緻密さの把握を目的として透気試験 (Torrent 法) を行った。さらに現場管理手法に関する実験として、通常コールドジョイント判定の指標の一つとして用いられるN式貫入試験を実施した。

2.2 実験ケース

実験ケースは打継処理剤散布時期別に表-2に示さ

*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)

れるケース 1~6 の 6 ケースに通常打継処理のケース 7 を加えた全 7 ケースとした。なお本実験の前に事前試験（ブリーディング試験・プロクター貫入試験）を実施し、あらかじめコンクリートのブリーディング特性・凝結特性を把握することで、散布時期を決定した。このうち、ケース 5（ブリーディング水が引き込まれる時点）については具体的な経過時間を決定することが困難であるため、便宜上、ケース 3（200 分）とケース 6（300 分）の中間時点（250 分）とした。

2.3 供試体作製

直接引張試験はコア供試体で行うこととし、表-2 に示す散布時期の異なる打継目を設けたスラブ状のコン

表-1 検討項目

項目	評価内容	実験方法
力学的性能	引張強度	直接引張試験 (φ100)
耐久的性能	透気係数	透気試験 (Torrent 法)
現場管理手法	貫入量	N 式貫入試験

表-2 検討ケース

ケース	散布時期	練混ぜ開始からの経過時間 (分)
1	打込み直後 (粗均しなし)	70
2	ブリーディング開始	100
3	ブリーディング最大	200
4	ブリーディング最大後 ウェスで拭き取り	200
5	ブリーディング水が 引き込まれる時点	250 (3 と 6 の中間)
6	凝結始発	300
7	通常打継処理 (凝結遅延剤+高圧水)	ケース 5 と同時に 遅延剤を散布

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 (21-12-25BB) およびフレッシュ性状

使用セメント	打込み部位	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	56.0	4.5	44.8	159	284	806	1001	3.12	12.5	4.6	19.1
	2 層目										11.5	4.0	22.0

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

クリート部材からコア削孔を行って供試体を採取した。

また、コンクリートの使用材料と配合およびフレッシュ性状を表-3、表-4 に示す。なお、打継目を有する構造物として海洋・港湾構造物等を対象としたことから、セメントには高炉セメント B 種を採用した。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込み後に打継処理剤および凝結遅延剤をメーカー推奨の標準散布量にて用いた。ケース 7 は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。ケース 1・3・5・7 の処理後（散布翌日）の状態を写真-1 に示す。

2 層目は 1 層目打込みから 10 日後に打ち込んだ。なお、直接引張試験用の供試体については、万能試験機による載荷実験を行えるよう、あらかじめコア削孔中心位置にインサートを設置した（図-2 参照）。

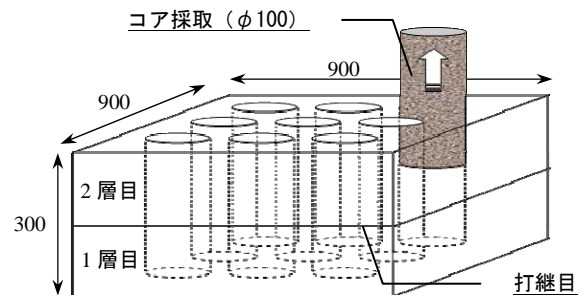
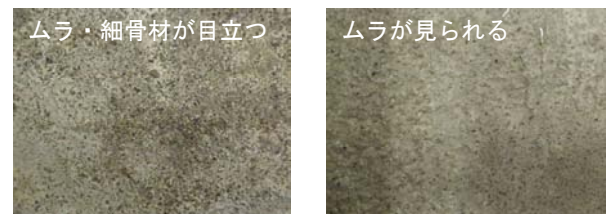
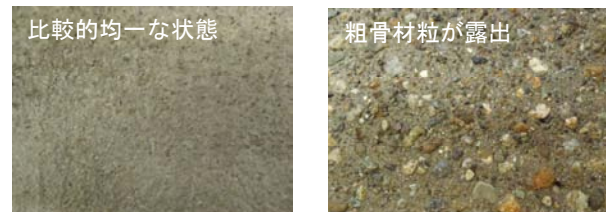


図-1 供試体作製方法 (単位 : mm)



処理後 (左 : ケース 1, 右 : ケース 3)



処理後 (左 : ケース 5, 右 : ケース 7)

写真-1 打継処理後の状態 (処理翌日)

2.4 打継処理剤

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、コンクリート打込み後に散布するだけで打継処理が行えるというメリットを有するものである。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る¹⁾。

- (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）

本検討では樹脂エマルジョンの中でも比較的粘度が小さいためにコンクリート表層部の脆弱層への浸透が期待でき、(a) 旧コンクリートの改質層の結合力（アンカー効果）に効果を有すると考えられる PAE 系エマルジョンを主成分とした打継処理剤を使用した。

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ている。載荷用治具とインサートとの接続部はピン構造とし、軸方向力のみを伝達する構造とした。

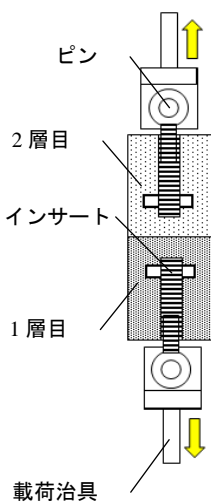


図-2 直接引張試験詳細

また打継処理部表層の緻密さについては、透気試験（Torrent 法）により評価した²⁾。透気試験は表層のコンクリートの透気性を原位置において繰り返し測定できる非破壊試験であり、表-5に示すように試験から得られる透気係数を基に、表層透気性品質を5段階に区分して評価する。

表面透気試験機は、チャンバー・真空ポンプ・制御盤・測定器で構成され、チャンバーは図-3のように二重構造となっているのが特徴である。横方向からの空気の取り込みの影響を外側のチャンバーで除外することで、内側のチャンバーが深さ方向のみの透気性を測定できる仕組みである。外側のチャンバーで横方向からの空気を吸引しつつ、内側のチャンバーからも空気を吸引し、コンクリートに一定時間負圧を与えた後、この圧力が回復するまでの経時の変化を測定することによって透気係数を算出する。透気係数の算定式は、Poisuille's の式と理想気体の状態方程式であるボイル=シャルルの法則から構成されている。式(1)に透気係数の算定式を示す。

$$k = 4 \left(\frac{V_c (dP_1/dt)}{A(P_a^2 - P_1^2)} \right) \frac{\mu P_a}{\varepsilon} \int_0^1 \left[1 - \left(\frac{P_1}{P_a} \right)^2 \right] dt \quad (1)$$

ここに、 k :透気係数 (m^2)、 μ :空気の粘性係数 (Nsm^{-2})、 V_c :測定空気量 (m^3)、 ε :コンクリートの空隙率 (m^3m^{-3})、 A :チャンバー断面積 (m^2)、 P_1 :内側チャンバー内の圧力(時間関数) (Nm^{-2})、 dP_1/dt :時間 t の導関数 ($Nm^{-2}sec^{-1}$)、 P_a :大気圧 (Nm^{-2}) である。

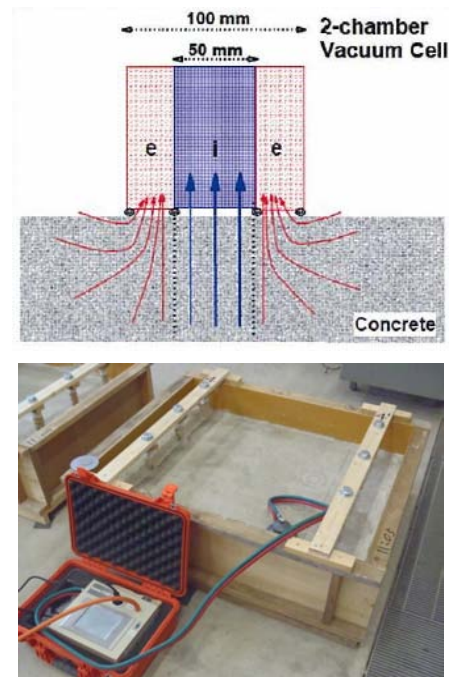


図-3 透気試験 (Torrent 法) 概要および実施状況

表-5 透気性評価方法²⁾

透気係数 KT ($\times 10^{-16}m^2$)	0.001	0.01	0.1	1	10
	~	~	~	~	~
	0.01	0.1	1	10	100
透気性 グレード	1	2	3	4	5
透気性評価	優	良	一般	劣	極劣

一方、散布時期の現場管理手法に関する実験については、施工現場において容易に実施可能であることを考慮し、コールドジョイントの簡易判定法として用いられる「N式貫入試験」を参考とした。N式貫入試験はJIS A 1101 (スランプ試験方法) に用いる突き棒を落下させたとき(落下距離=750mm)の貫入量の経時変化から、コールドジョイントの判定を行う簡易判定方法の一つである。一般にコールドジョイントは貫入抵抗値が $0.01 \sim 1.0N/mm^2$ の範囲で生じるとされ、N式貫入試験はこの範囲で検出感度が高いために、幅広い範囲での管理に適しているとされる³⁾。

試験体の寸法は 500×500×500mm とし、概ね前述の表 2 に示される練混ぜ開始からの経過時間において試験を実施した。図 4 に N 式貫入試験の概念図を示す。

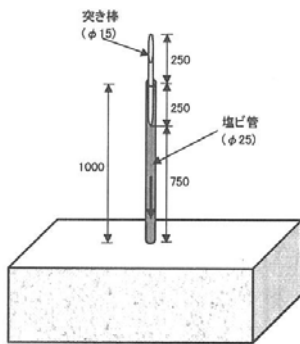


図 4 N 式貫入試験概念図³⁾

3. 実験結果

3.1 ブリーディング・凝結特性

供試体作製と並行してブリーディング試験 (JIS A 1123) およびプロクター貫入試験 (JIS A 1147) を実施した。ブリーディング量は $0.06\text{cm}^3/\text{cm}^2$ 、ブリーディング率は 1.41% 程度であり、累積ブリーディング量が最大となるのは練混ぜ開始から 200 分程度経過時であった。また凝結の始発は練混ぜ開始から 350 分程度、終結は 500 分程度経過時であった。図 5 および図 6 にブリーディング試験およびプロクター貫入試験の結果を示す。

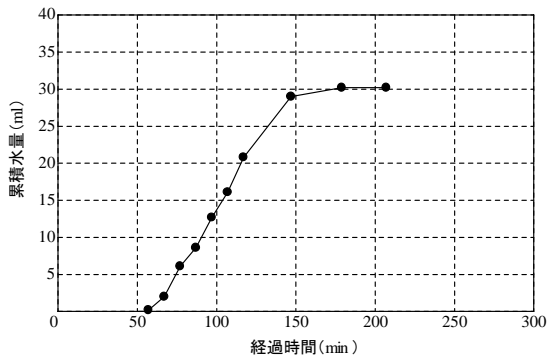


図 5 練混ぜ開始からの累積ブリーディング量

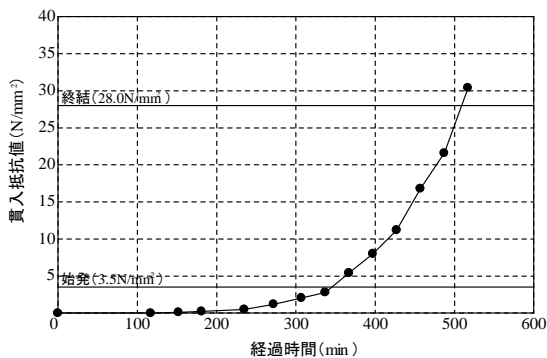


図 6 プロクター貫入試験による凝結性状

3.2 直接引張強度

表 6 に直接引張試験結果一覧を、また図 7 に引張強度平均の比較を示す。引張強度は 2 層目打込みから 28 日経過時のものである。ケース 2 を除いて、概ねケース 1 からケース 7 の順に引張強度は増大する傾向にある。またケース 4~6 の引張強度の差異は比較的小さい。一方で最も引張強度が小さいのはケース 1 であり、最も高いものはケース 7 であった。ただし、ケース 7 が平均で $1.5\text{N}/\text{mm}^2$ 程度であったのに対してケース 4~6 は $1.3\sim 1.4\text{N}/\text{mm}^2$ 程度であったことから、打継処理剤を用いることによって引張強度が通常打継処理よりも大きく下回るといった傾向は認められなかった。このことから、適切な使用方法および適切な散布時間を厳守すれば通常打継処理とほぼ同等の引張強度を期待できるものと考えられる。ケース 1 が最も小さい原因としては、打込み直後はコンクリート表面に水分が多く、打継処理剤がこの水によって薄められ、処理剤の分布に大きなムラや偏りを生じたためと考えられる。打継処理翌日の写真 (写真 1) ではケース 1 は処理剤の分布にムラが見られ、細骨材が表面に荒々しく現れている状態が確認できる。またケース 2 がケース 7 に次いで高い結果であったが、これは打込み後の粗均しを終え、ケース 1 よりも表面の水分が少ない状態で散布されたことによるものと考えられる。実際、ケース 2 からブリーディング水の量が増えたケース 3 では引張強度はケース 2 より小さい。

表 6 直接引張試験結果一覧

ケース (1~4)	28 日 引張強度 (N/mm ²)	ケース (5~7)	28 日 引張強度 (N/mm ²)	
				1)
1	2)	5	2)	1.49
	3)		3)	1.41
	平均		平均	1.40
	1)		1.39	6
2)	2)	1.23		
3)	3)	1.55		
平均	平均	1.39		
2	1)	7	1)	1.67
	2)		2)	—
	3)		3)	1.41
	平均		平均	1.54
3	1)	7	1)	1.67
	2)		2)	—
	3)		3)	1.41
	平均		平均	1.54
4	1)	7	1)	1.67
	2)		2)	—
	3)		3)	1.41
	平均		平均	1.54
5	1)	7	1)	1.67
	2)		2)	—
	3)		3)	1.41
	平均		平均	1.54
6	1)	7	1)	1.67
	2)		2)	—
	3)		3)	1.41
	平均		平均	1.54
7	1)	7	1)	1.67
	2)		2)	—
	3)		3)	1.41
	平均		平均	1.54

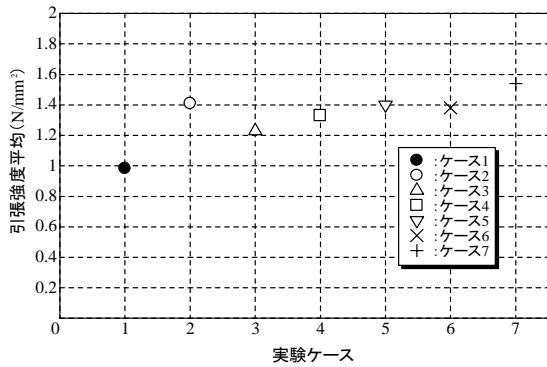


図-7 各ケースの引張強度（平均）の比較

写真-2にケース1~7において見られた代表的な破壊界面の状態を示す。ケース1では、破壊面は供試体中央の打継界面で比較的滑らかな面を呈しているのに対して、ケース2では打継目での破壊ではあるが、打継界面の一部が欠け粗骨材が露出しているものが見られた。またケース3では供試体全長（30cm）の2/3程度の母材コンクリートの位置で破壊したものがあつた。ケース7では供試体全長の1/4程度の母材コンクリートの位置（インサート端部位置と思われる）で破壊したものが見られた。これら母材コンクリートでの破壊となったものは、比較的良好な付着性状が確保できていたものと考えられる。



破壊界面の状態（左：ケース1，右：ケース2）



破壊界面の状態（左：ケース3，右：ケース7）

写真-2 代表的な破壊界面の状態

3.3 透気係数

表-7および図-8に透気試験結果一覧および各ケースの透気係数の比較を示す。表内の散布時期（分）はコンクリートの練混ぜ開始時からの経過時間を示している。各ケースにおける透気係数の値は $0.01 \sim 1.0$ ($\times 10^{-16} \text{m}^2$) の範囲にあり、透気性グレードは「3~2」、さらに透気性評価は「一般~良」の範囲である。この結果より、散布時期の違いによる透気係数の差異は比較的小

さいものであり、打継処理剤の使用によって打継目の緻密さが極端に小さくなるといった明確な傾向は確認できなかった。しかし、ケース4およびケース5については、測定値のばらつきが他のケースと比較して小さいものであつた。このことは、散布時期の違いにより打継界面の緻密さに大きな差異は認められないものの、ケース4またはケース5のタイミングを目安として散布を行うことで、安定した処理品質の確保が可能となることを示唆している。またケース5の透気性評価は全ケースの中で唯一「良」であることから、処理品質の面においてはケース5のタイミングを目安とすることが相応しいと考えられる。ケース4・5のばらつきが他ケースと比較して小さい理由は、打継界面に存在する水分量の多寡の影響が支配的と考えられる。ケース4・5では他ケースよりも打継界面の水分が少ないため、処理剤の希釈程度も小さいと想定される。さらにケース5では、処理剤がブリーディング水と共に内部に引き込まれ、ケース4と比較して浸透深さが大きいため透気係数が小さくなったと推察される。ケース6において透気係数のばらつきが大きい要因は明らかではないが、凝結が進行し処理剤がコンクリート内部に引き込まれる程度に局所的な差異があつたことが挙げられる。

表-7 透気試験結果一覧

ケース	1	2	3	4	5	6	7
散布時期 (分)	70	100	200	200	250	300	—
1回目	0.38	0.17	0.54	0.13	0.02	0.53	0.13
2回目	0.44	0.34	0.32	0.13	0.17	0.38	0.12
3回目	0.07	0.45	0.29	0.09	0.06	0.05	0.23
平均	0.30	0.32	0.38	0.12	0.08	0.32	0.16
標準偏差	0.16	0.12	0.11	0.02	0.06	0.20	0.05
グレード	3	3	3	3	2	3	3
透気性評価	一般	一般	一般	一般	良	一般	一般

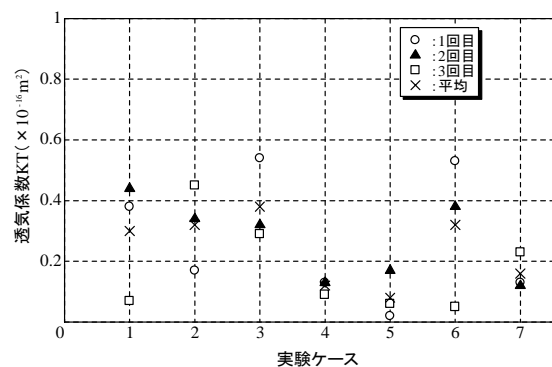


図-8 各ケースにおける透気係数の比較

3.4 N式貫入試験における貫入量

図-9に各ケースにおけるN式貫入試験の貫入量を示す。横軸は練混ぜ開始からの経過時間であり、各々のプロットはN式貫入試験3回の平均値を示している。

この結果から、打継処理剤散布時期の違いによって貫入量に大きな差異は認められなかった。経過時間100分程度では貫入量に比較的大きなばらつきが見られたが、時間の経過とともにその傾向は徐々に小さくなり、200分を過ぎるとばらつきが20~40mmの範囲に収まる結果となった。これは突き棒落下地点での粗骨材の有無が支配的であるが、コンクリートの凝結が進行するにつれて粗骨材以外のモルタル部分の硬化が進むため、その影響が徐々に小さくなるのが容易に推察できる。

前述の直接引張試験および透気試験の結果から、打継処理剤散布の時期として相応しいと考えられるのは、ケース4(ブリーディング最大後拭き取り時点)およびケース5(ブリーディング水が引き込まれる時点)という結果であった。このタイミングに該当するN式貫入試験の貫入量は図-9からほぼ20~40mmの範囲にあることが確認できる。この場合、施工現場においてN式貫入試験を実施し、貫入量が20~40mmの範囲を目安とすることで打継処理剤の最適な散布時期の管理が可能になるものとする。実際にはN式貫入試験のみによる管理ではなく、打継界面の状態(例えばブリーディングの状態やコンクリートの凝結の進行程度等)を目視により確認し、さらにこのN式貫入試験を併用することにより、これまでに行われてきた定性的な判断に定量的な判断指標を付加することが可能になるものとする。

図-10にN式貫入試験による貫入量とプロクター貫入試験の貫入抵抗値との相関を示す。貫入抵抗値は本検討に用いた配合における貫入抵抗値の回帰式から求めた³⁾。その結果、最適散布時期の目安とする貫入量(20~40mmの範囲)に該当するプロクター貫入試験の貫入抵抗値は概ね0.1~1.0(N/mm²)の範囲であった。

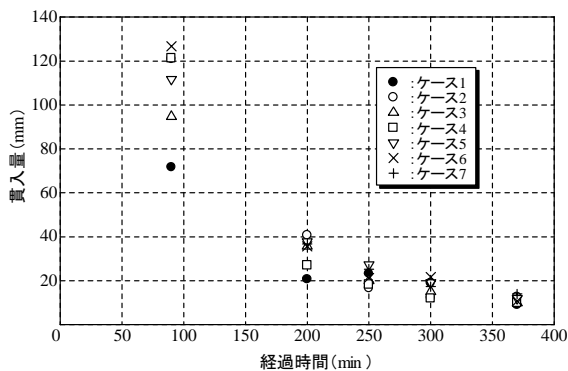


図-9 各ケースにおける貫入量の比較

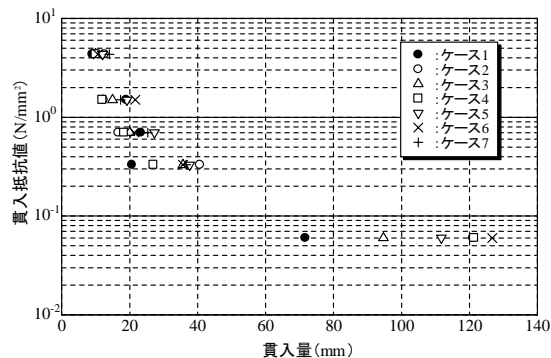


図-10 貫入量と貫入抵抗値との相関

4. まとめ

打継処理剤の散布時期およびその現場管理手法の検討を目的として、直接引張試験・透気試験・N式貫入試験を実施した。得られた知見は以下のとおりである。

- (1) 適切な散布時期(ブリーディング最大後拭き取り時点またはブリーディング水が引き込まれる時点)を厳守することで通常打継処理と概ね同等の引張抵抗性を期待できる可能性が認められた。
- (2) 透気試験結果から、散布時期の違いにより打継界面表層の緻密さに大きな差異は認められないが、安定した処理品質確保のためにはブリーディング最大後拭き取り時点またはブリーディング水が引き込まれる時点を目安として散布を行うことが望ましい。
- (3) 上記適切な散布時期に該当するN式貫入試験の貫入量は20~40mm程度の範囲にあり、この範囲を目安としたN式貫入試験を現場管理手法として実施することで最適散布時期を定量的に把握できるものとする。

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) 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
- 2) コンクリート技術シリーズ 80, 構造物表面のコンクリート品質と耐久性性能検証システム研究小委員会(335委員会)成果報告書およびシンポジウム講演概要集, 土木学会, pp30-36
- 3) コンクリートライブラリー103, コンクリート構造物のコールドジョイント問題と対策, 土木学会, pp51-64