

アルカリ可溶型凝結遅延シートによるコンクリートの骨材洗出し技術

—— グリーンフェイス工法の開発 ——

川島 宏 幸 平田 隆 祥
 (本店 大阪ガス泉北JV)
 十河 茂 幸 相原 功

概 要

コンクリート構造物の鉛直打継目処理は、コンクリートが十分な強度発現したのち脱型し行われ、チップングなど物理的に表面を粗にする方法が一般的である。この方法は、作業員の熟練度によって施工性や処理精度が異なり、緩んだ骨材粒などを残してしまうおそれもある。遅延剤を用いて表面の薄層部の凝結を遅延させて処理を容易にする方法もあるが、遅延剤の非耐水性や材齢の経過により均一な効果が得られにくいなどの問題があった。そこで、筆者らは凝結遅延性能が長期間持続し、かつ雨水や型枠散水では凝結遅延成分が流出しない特長を有したアルカリ可溶型凝結遅延シートによるコンクリートの骨材洗出し工法（グリーンフェイス工法）の開発を行った。本報告では、グリーンフェイス工法の遅延性能と打継ぎ処理面の力学的性能を従来工法と比較し、また壁面模様について検討した結果、本工法がコンクリート構造物の鉛直打継目処理や壁面の骨材あらわし仕上げに容易に適用できることを明らかにした。

1. はじめに

コンクリート構造物の鉛直打継目処理はコンクリートが十分強度発現するまで型枠を存置し、脱型後に作業を行うことを余儀なくされるため、一般的にチップング等の人手による方法で行われる。この方法は、作業員の熟練度によって施工性や処理精度が異なり、緩んだ骨材粒などを残してしまうおそれもある。一方、凝結遅延剤や凝結遅延剤含浸紙（以下、含浸紙と呼称）を用いて表面部のコンクリートの硬化を遅延させ、脱型後に圧力水で処理する方法¹⁾もあるが、遅延効果が長期間保持されない場合や、塗りむらによって不均一になったり、雨水や型枠散水によってコンクリートを打込む前に凝結遅延成分が流出するなどの問題があった。

そこで筆者らは、凝結遅延性能が長期間持続し、かつ雨水や型枠散水では凝結遅延成分が流出しない特長を有したアルカリ可溶型凝結遅延シート（以下、凝結遅延シートと呼称）によるコンクリートの骨材洗出し工法（グリーンフェイス工法と呼称）の開発を行った²⁾。本報告では、この工法での遅延性能と打継ぎ処理面の力学的性能を従来工法と比較した結果と、本工法を用いたコンクリート表面の洗出し模様の形成について述べる。

2. 打継目処理方法について

コンクリートの打継目処理には、Table 1に示すような種々の方法があり、物理的処理と凝結遅延剤などの薬剤

を利用する化学・物理併用処理の2種類に分けられる。また、処理時期で整理すると、1)材齢1～2日、2)材齢3～7日、3)材齢7日以降の3種類に大別できる。これらの処理方法のうち、圧力水による方法は、コンクリートが比較的軟らかい材齢1～2日に処理する方法で、施工できる期間が短く限られている。また、圧力水を使用できる期間を延長するために凝結遅延剤を併用する方法は、凝結遅延剤の効果が温度やコンクリートの材料、配合によって異なり、専門知識を要する。ウォータージェット、サンドブラスト、ショットブラスト、チップパーなどを用いて機械的に処理する方法^{3)～5)}は、コンクリート硬化後に行われる。このような比較的小さな機械や道具を用いる場合には、処理精度は作業員の技量に左右される。一方、大型の機械や自動システム化された機械⁶⁾は、均質に骨材を洗い出すことが可能であるが、機械本体や設備の設置できる箇所が限られるため、これらの機械は適用可能な構造物が限定される。以上の

Table 1 従来の打継目処理方法と施工時期
Usual Technique to Concrete Joint Treatment

施工時期 (材齢)	① 1～2日	② 3～7日	③ 7日以降
物理的処理	← 圧力水 →		← ウォータージェット ← サンド・ショットブラスト ← 機械切削(グレーダー等)
	← ワイヤブラシ →	← チップング(チップパー、たがね等)	
化学・物理 併用処理	← 凝結遅延剤(+圧力水) →		
		← 凝結遅延剤含浸紙(+圧力水)	
		← 酸洗い(+圧力水)	

ように、従来の打継目処理方法では、種々の制約や不具合がある。

一方、筆者らが開発したコンクリートの骨材洗出し工法に用いる凝結遅延シートは不飽和ポリエステルを基盤のポリエチレンフィルムに固着させたもので、Table 2に示すように凝結遅延成分は水には溶出しないが、アルカリ水溶液中では2時間で全試料が溶出する性質を有する。またPhoto 1は、アルカリ水溶液中に1時間浸漬させた塗布量200mgのシートの表面で、不飽和ポリエステルが膨潤変形したために、直径6μm程度の膨らみと細かいしわが発生している状況である。

凝結遅延のメカニズムは、主成分である不飽和ポリエステルが、コンクリート中のアルカリ水を吸収し、ポリエチレングリコールやポリプロピレングリコールなどに加水分解され、凝結遅延性のあるこれらの高分子ポリマーがセメント粒子に吸着することによって、セメントの水和反応が遅延されるものである。

3. アルカリ可溶型凝結遅延シートによるコンクリートの洗出しに関する基礎実験

3.1 実験概要

3.1.1 検討項目 検討項目をTable 3およびFig.1, Fig.2, Fig.3に示す。実験Iでは、柱モデルを用いて含浸紙と凝結遅延シートの2種類について、設置位置、凝結遅延剤の塗布量、材齢の違いが洗出し深さと洗出し面積に及ぼす影響について検討を行った。実験IIでは、凝結遅延シートの凝結遅延成分が洗出し完了後もコンクリート硬化体に含浸し残留している場合に強度低下を招

Table 2 不飽和ポリエステルの溶出量
Dissolve Quantity of Unsaturated Polyester

経過時間 (hr)		0	1	2	3
溶出量 (mg)	水	0	0	0	0
	アルカリ水 (PH13)	0	30	50	50

(試料50mgのデータ)

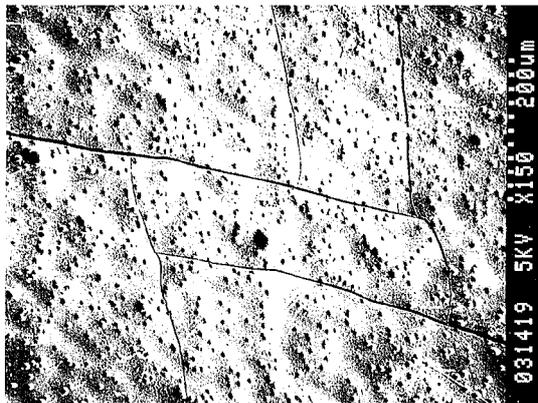
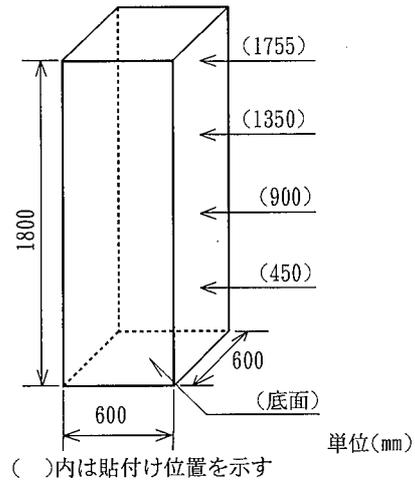


Photo 1 凝結遅延シートの表面形態
The Surface of Retarder Film

Table 3 検討項目
Examination Items

シリーズ	検討項目	供試体の形状・供試体の作製方法
I	設置位置、塗布量、材齢の違いが処理深さ・面積に及ぼす影響	<ul style="list-style-type: none"> ・600×600×1800mmの柱モデル (Fig.1参照) ・含浸紙A~D, 凝結遅延シートE~Hの8種類 ・シートの大きさ: 90×90mm ・シートの設置位置 (Fig.1参照) ・材齢7, 14, 28日で脱型・目荒らし
II	凝結遅延成分がコンクリート硬化体に及ぼす影響	<ul style="list-style-type: none"> ・100×100×400mmの供試体 ・供試体④; 凝結遅延シートGを使用 ・供試体⑤; 厚さ2mmの合板を使用 ・シート, 合板の大きさ: 100×200mm ・シート, 合板を底面中央に設置 ・材齢28日で脱型後 供試体④は目荒らしする 供試体⑤は2mmの欠損部ができる <p style="text-align: center;">↓ 試験 (Fig.2参照)</p>
III	打継ぎ方法の違いがせん断強度に及ぼす影響	<ul style="list-style-type: none"> ・100×100×400mmの供試体 ・打継ぎ方法 ①打継ぎなし (鉛直打継ぎ) ②チップ処理 ③凝結遅延シートG ④無処理 ・打継ぎ位置 (Fig.3参照) ・先打ちコン打設後、材齢7日で目荒らし・後打ちコン打設 <p style="text-align: center;">↓ ・材齢28日脱型・試験 (Fig.3参照)</p>



()内は貼付け位置を示す
Fig.1 供試験体の形状
Model Test Specimen

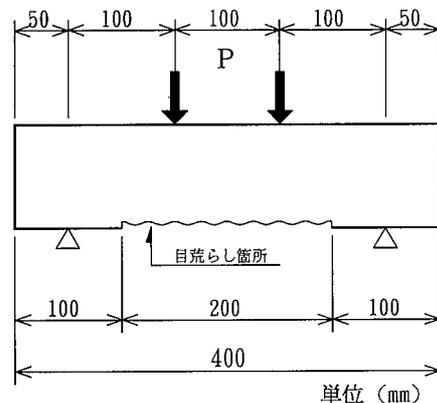


Fig.2 曲げ試験
Flexural Strength Test

く恐れがあるため、この影響を曲げ試験 (Fig.2) によって評価した。実験Ⅲでは、凝結遅延シートを用いた時の打継ぎ性能をチップング処理、無処理の2種類の打継ぎ方法との比較により、せん断強度 (Fig.3) によって評価した。併せて一体打ちの供試体とも比較を行った。

3.1.2 使用材料 凝結遅延シートとしては、Table 4に示すE~Hの塗布量の異なる4種類を用い、比較のために、市販の塗布量の異なるA~Dの4種類の含浸紙についても実験を行った。実験に使用したコンクリートは呼び強度30N/mm²、粗骨材最大寸法25mm、スランプ12cmのレディーミクストコンクリートを使用した。コンクリートの使用材料をTable 5に、配合をTable 6に示す。

3.1.3 試験項目および方法 試験項目および方法をTable 7に示す。洗出し深さはデジタルノギスで5箇所測定しその平均値とし、洗出し面積は透明フィルムで洗出し箇所を写しとったものを画像処理にて測定した。また、曲げ試験では供試体を3本としたが、せん断試験では試験のばらつきを考慮して6本とした。なお、実験I~Ⅲの含浸紙および凝結遅延シートの洗出し処理には、噴射圧2.0N/mm²の圧力水噴射装置を用いた。

3.2 実験結果および考察

3.2.1 設置高さ、材齢の違いが洗出し深さに及ぼす影響

設置高さごとの洗出し深さをFig.4に、材齢と洗出し深さの関係をFig.5に示す。含浸紙の場合、Fig.4に示すようにいずれの材齢でも鉛直面の洗出し深さは高さ方向でばらつく傾向を示した。また、材齢7日の設置高さ450mmおよび1,350mmと材齢14日の設置高さ900mmの洗出し処理深さは、他の高さと比べて大きく減少している。これらの理由として、Photo 2に示すように、処理面部の上方に変色している部分があることから、ブリーディング水の上昇に伴って含浸紙の凝結遅延成分が流出し、洗出し深さが減少したものと考えられる。洗出し深さが減少した位置は、コンクリートの打足しを行った位置と一致しており、凝結遅延剤の一部が打足し上部の余剰水に流出したことが推察される。また、4種類全ての含浸紙は、設置高さ1,755mmの洗出し深さが3材齢ともに若干大きくなる傾向が認められた。これは、含浸紙設置位置が供試体天端に近いので、凝結遅延成分がそれ以上上方に流出できず、濃度が濃くなったためと考えられる。

一方、凝結遅延シートの場合、鉛直面の洗出し深さは、高さ方向のばらつきは少なかった。また、洗出し面を目視観察した結果、ブリーディング水の移動に伴う凝結遅延成分の流出は認められなかった。したがって、このシートは、ブリーディングが生じて凝結遅延成分がただちには流出しにくく、鉛直面でも確実に打継目処理ができるものと考えられる。また、ブリーディング水の移動に伴う凝結遅延成分の流出跡が、シートを貼付けていない部分に残らないため、従来の打放し仕上げ面と骨材あらかし仕上げ面をデザインとして併用できるものと思われる。

また、材齢に伴う洗出し深さは、Fig.5に示すように含浸紙の場合、洗出し深さがばらついているが、材齢14日

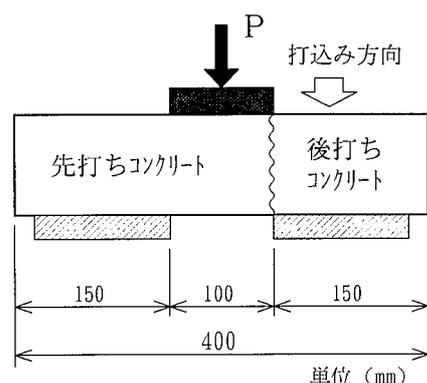


Fig.3 二面せん断試験
Shear Strength Test

Table 4 含浸紙および凝結遅延シートの種類
The Kinds of Retarder Paper and Retarder Film

No.	種類	主成分	塗布量 ($\times 10^{-6} \text{kg/m}^2$)
A	含浸紙	多糖類と リグニン	10
B			15
C			20
D			40
E	凝結遅延 シート	不飽和 ポリエステル	20
F			50
G			100
H			200

Table 5 使用材料
Properties of Materials

材 料	記号	種 類	比重	性質・成分
セメント	C	普通ポルトランドセメント	3.16	JIS A 5210 規格品
細骨材	S	熊谷・佐原産陸砂	2.61	吸水率 1.76% 粗粒率 2.83
粗骨材	G	熊谷産陸砂利 名栗産砕石	2.66	最大寸法 25mm 吸水率 0.92% 粗粒率 6.80
混和剤	A	AE減水剤	1.04	ヒトロキシ系複合体と 天然樹脂酸塩
水	W	地下水	1.00	

Table 6 配合表
Mixture Proportion of Concrete

W / C (%)	s / a (%)	単位量 (kg/m ³)				混和剤 (CX%)
		W	C	S	G	
50.9	42.4	164	322	762	1060	1.00

Table 7 試験項目および方法
Test Items and Methods

シリーズ	試験項目	試験方法
I	打継目処理深さ	デジタルノギスにて測定 (材齢 7, 14, 28日)
II	曲げ強度	JIS A 1106 に準拠 (材齢28日)
III	せん断強度	二面せん断試験 (材齢28日) (Fig.3参照)

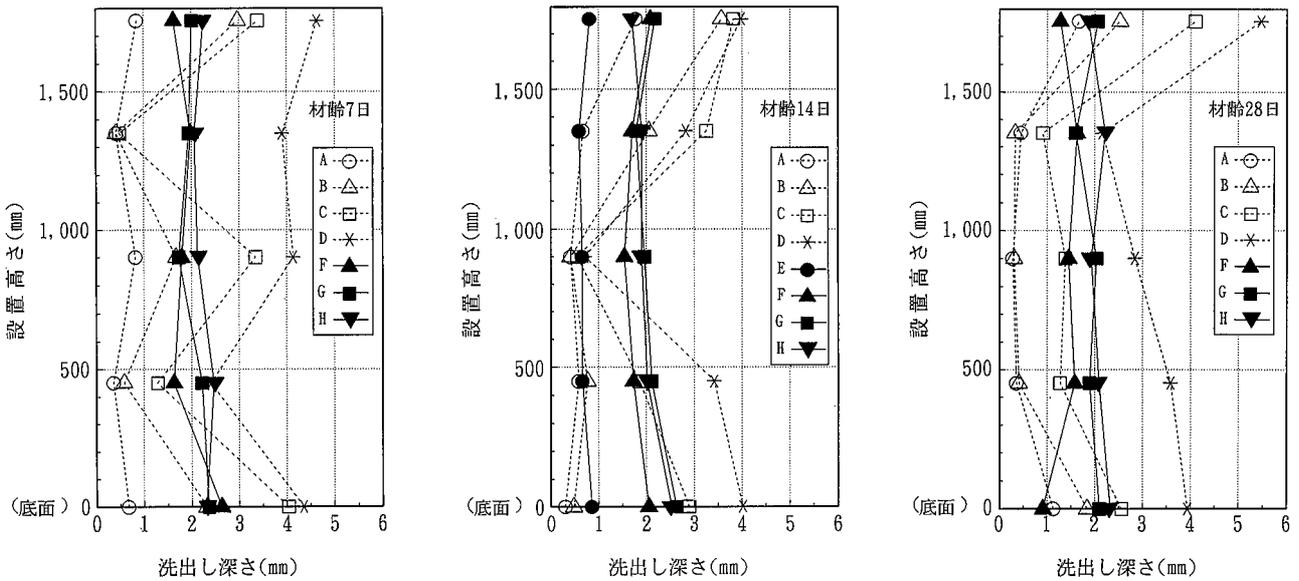


Fig.4 各材齢における洗出し深さと設置高さの関係
Relationship between Depth of Green Cut and High Position

以降、効果の低下が見られ、材齢によって洗出し深さが変化することが明らかとなった。これに対し、凝結遅延シートの場合、洗出し深さは、材齢にはほとんど影響を受けず、ほぼ一定の値となった。

3.2.2 凝結遅延剤の塗布量が洗出し面積に及ぼす影響

塗布量と洗出し面積の関係をFig.6に示す。この洗出し面積は、底面1箇所と側面4箇所の計5箇所を平均したものである。含浸紙の場合、塗布量が増加するにつれて値のばらつきが増大し、洗出し面積が増加した。

一方、凝結遅延シートの場合、塗布量の増加に伴って洗出し面積も若干増加するものの、洗出し面積のばらつきは少なかった。したがって、凝結遅延シートは含浸紙よりも正確に洗い出すことができ、骨材あらゆる仕上げ面と従来の打放し仕上げ面の境界部がより明瞭になる。つまり、計画的な洗出しが可能であるといえる。

3.2.3 凝結遅延剤の塗布量が洗出し深さに及ぼす影響

塗布量と材齢14日の洗出し深さとの関係をFig.7に示す。含浸紙の場合、塗布量が多くなるにつれて、洗出し深さは増加する傾向となった。しかし、塗布量の増加に伴い、洗出し深さのばらつきが大きくなり、安定した洗出し深さを得ることはできなかった。

一方、凝結遅延シートの洗出し深さは、塗布量が $100 \times 10^{-6} \text{kg/m}^2$ 程度までは増加し、以降は頭打ちとなった。これは、主成分である不飽和ポリエステルが、表面部の限られた量のアルカリ水だけでは全て加水分解されなかったためと推察される。

以上より、凝結遅延シートの塗布量が $100 \times 10^{-6} \text{kg/m}^2$ の範囲内では、洗出し深さの制御が可能であると思われる。塗布量の最適値は、 $100 \times 10^{-6} \text{kg/m}^2$ 程度であると判断できる。しかし、コンクリートの配合強度や打込み時期などによって洗出し深さが相違すると考えられるため、場合によっては、目標とする洗出し深さに応じて塗布量を変化させる必要があると思われる。

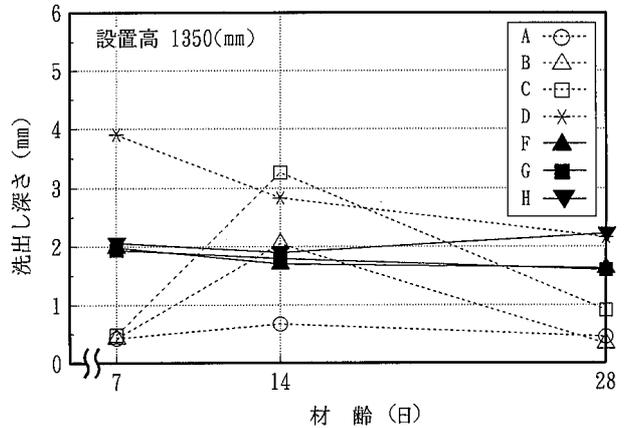


Fig.5 材齢と洗出し深さの関係
Relationship between Concrete Ages and Depth of Green Cut

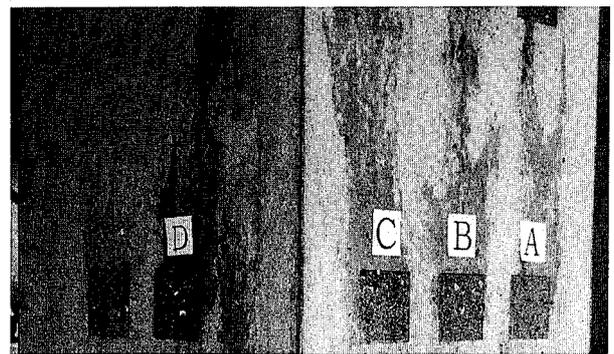


Photo 2 凝結遅延成分流出状況
Dissolve of Retarder

3.2.4 凝結遅延成分がコンクリート硬化体に及ぼす影響

各材齢における曲げ強度をFig.8に示す。凝結遅延シートを用いて表面処理した供試体と、その処理深さと同等の切欠き深さを設けた供試体の曲げ強度は、3材齢すべてにおいてほぼ同等であった。したがって、このシートの凝結遅延成分は、洗い出された以外の箇所に強度低下を及ぼすような悪影響はないものと考えられる。

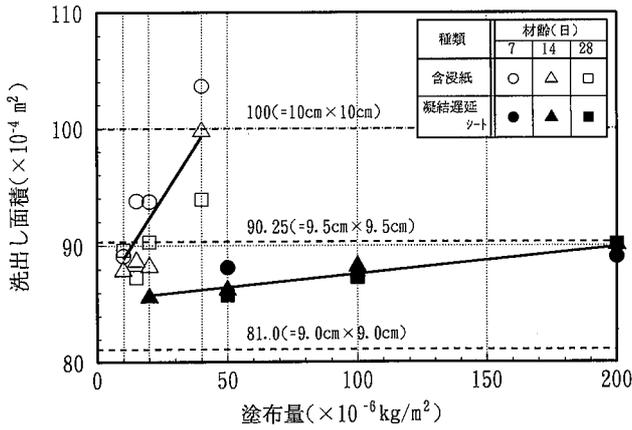


Fig. 6 塗布量と洗出し面積の関係
Relationship between Quantity of Retarder and Area of Green Cut

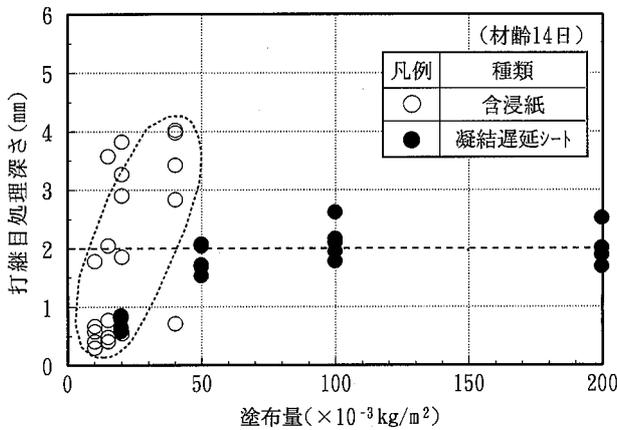


Fig. 7 塗布量と洗出し深さの関係
Relationship between Quantity of Retarder and Depth of Green Cut

3.2.5 凝結遅延シートを用いた打継ぎ面のせん断強度

3種類の方法で打ち継いで作製した供試体と、比較用の一体打ちの供試体のせん断強度をFig.9に示す。一体打ちの供試体のせん断強度を100とすると、チップング処理した供試体は約67%、凝結遅延シートを用いた供試体は約62%であった。凝結遅延シートを用いた供試体のせん断強度は、チップング処理したものより強度のばらつきが大きかった。本実験のチップング作業は、実験室レベルの小さな面積を対象に行ったもので、精度の高い処理が可能であり、強度のばらつきは小さくなったと考えられる。したがって、この約5%の強度比の差には有意差はなく、凝結遅延シートを用いて簡単に処理する方法は、チップング処理とほぼ同等のせん断強度が得られ、実施工に適用できるものと考えられる。

4. 現場適用事例

アルカリ可溶型凝結遅延シートによるコンクリート面の洗出し工法をグリーンフェイス工法と名付け、実構造物の鉛直打継目処理に適用した。Photo 3は脱型後に圧力水を用いて洗出しを行っている状況で、Photo 4は洗出し

()内は供試体 ⑤ の曲げ強度を100とした場合の曲げ強度比

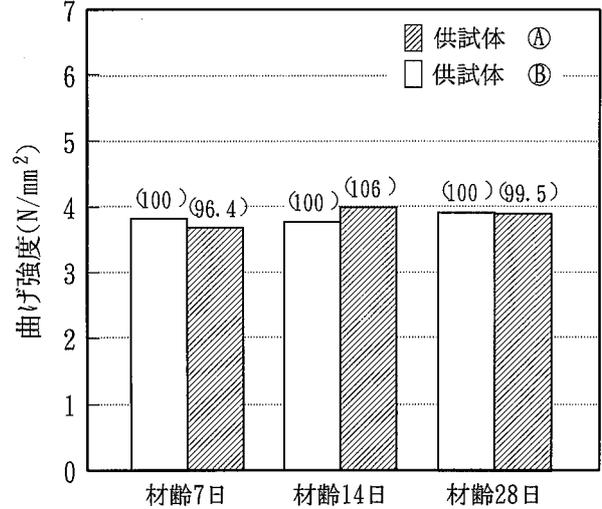


Fig. 8 各材齢における曲げ強度
Relationship between Flexural Strength and Ages

()内は一体打ちのせん断強度の平均値を100とした場合のせん断強度比

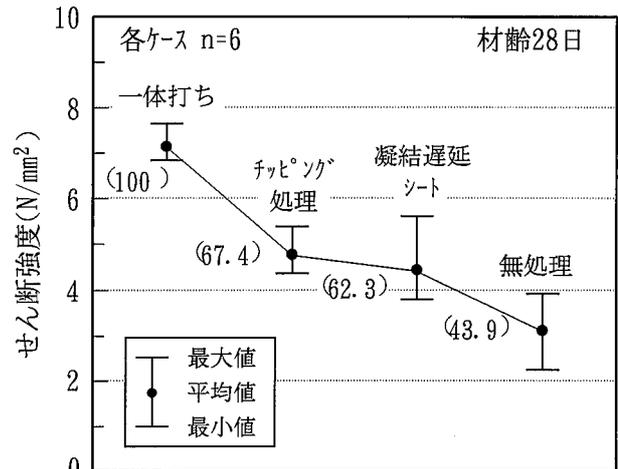


Fig. 9 各種打継ぎ方法におけるせん断強度
Shear Strength of Various Joint Methods



Photo 3 洗出し状況
Green Cutting Work

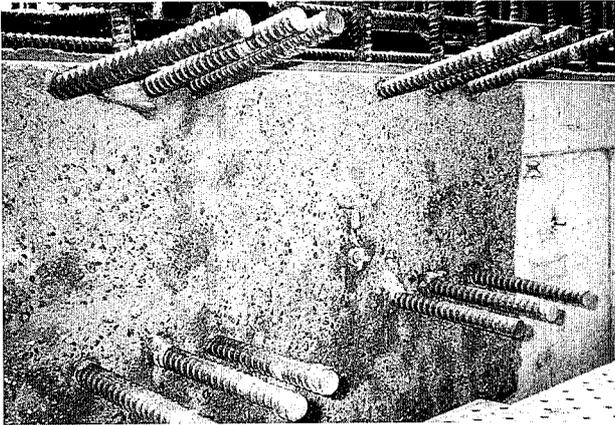


Photo 4 洗出し完了
Concrete Surface of Green Cut (Ex.1)



Photo 5 洗出し完了
Concrete Surface of Green Cut (Ex.2)

後の状況である。この構造物は強度発現のゆるやかな低発熱セメントを使用していたため洗出し深さは3～4mm程度であった。次に別の水理構造物における鉛直打継ぎ処理面をPhoto 5に示す。止水板のある変則的な断面であったが、良好な打継ぎ処理が確認された。

なお、シートを所要の型に切断すれば、Photo 6のように打放し仕上げ面と骨材あらわし仕上げ面の境界部の線形が明瞭な模様が作製できることも確認された。

5. あとがき

グリーンフェイス工法は、従来の凝結遅延剤や凝結遅延剤含浸紙を用いた骨材露出方法とは異なり、雨水や型枠散水に対する養生が不要で、凝結遅延性能が長期間持続するため十分な養生期間がとれ、確実な洗出しが可能であることが確認された。この工法は、コンクリート打込み前にシートを型枠に設置するのみで、脱型作業の工



Photo 6 骨材あらわし仕上げの事例
Concrete Surface of Exposed Aggregate Finishing

程に左右されることなく、任意の材齢で容易に圧力水を用いて洗出しができるので、より完全な打継ぎの施工のためにも、広く活用されることを望む。なお、現場活用に際しては、大阪本店土木部・新開千弘氏にご協力いただいたことを付記し、謝意を表します。

参考文献

- 1) 玉田信二, 青木 茂, 十河茂幸: 逆巻コンクリート打継面に凝結遅延剤含浸紙を用いた目荒らし工法に関する基礎研究, 土木学会第43回年次学術講演会概要集V, p.482～483, (1988.9)
- 2) 川島宏幸, 平田隆祥, 十河茂幸: 凝結遅延剤を塗布したシート鉛直打継ぎ処理性能について, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.18, No.1, p.1341～1346, (1996)
- 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, p.1261～1266, (1995)
- 4) 与田昭男, 二町宣洋, 阪田憲次: 転炉スラグによるコンクリートの目荒らしに関する一実験, 土木学会第43回年次学術講演会概要集V, p.486～487, (1988.9)
- 5) 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, (1986.9)
- 6) 友石研二, 登坂知平, 木島利行, 岡井賢一: 大規模橋梁補修工事におけるウォータージェット工法の選定, 土木学会第50回年次学術講演会概要集VI, p.404～405, (1995.9)