

論文 コンクリートのコールドジョイントの発生防止・抑制策の提案

許 賢太郎^{*1}・宮原 建治^{*2}・魚本 健人^{*3}

要旨: トンネルコンクリート剥落事故を契機にコンクリートのコールドジョイント問題に関する関心は高まっている。本研究では、自己充填型高流動コンクリートを用いたコンクリートのコールドジョイント発生防止・抑制策を、材料・施工の両面から検討し、これを提案した。また、これらの防止策がコールドジョイント発生後のコンクリートの強度と耐久性に与える影響を検討し、これを評価した。

キーワード: コールドジョイント, 防止策, 曲げ強度, 中性化

1. はじめに

1999年6月の新幹線トンネルコンクリート剥落事故を契機にコンクリートのコールドジョイント(以下CJと略称)問題に関する関心は高まり、現在、数多くの研究が行われている。その中でも、筆者らは施工条件、配合条件のうち、打重ね時間間隔、突固めの有無、ブリーディング量(率)といった要因がコンクリートのCJ部の強度的性質、あるいは耐久性に与える影響を検討してきた¹⁾。

本研究では、これらの研究で得られた知見をもとに、特に、これから合理的な活用が期待されている自己充填型高流動コンクリートを用いて、実際の現場で適用できるような簡易的なコンクリートのCJ防止抑制策を提案し、これらの方法の有効性を検討した。

2. 本研究で検討したCJ発生防止対策案

既往の研究において、CJ部の強度的、耐久的な性状に影響を与える要因として、ブリーディング現象に伴うレイタンスの発生量や凝結時間の長さが挙げられている²⁾。

高流動コンクリートは、その自己充填性を確保するために材料分離抵抗性を高めているの

でレイタンスの発生量が少なく、その変形性能を高めるために、高性能AE減水剤の使用量を増やしているため、その凝結遅延効果により凝結時間が長くなる傾向にある。これらはCJに対しては有利な条件であると考えられる。

しかしながら、一体打ちのコンクリートの曲げ強度に対するCJを持つコンクリートの曲げ強度の割合をみると、普通コンクリートの場合よりも高流動コンクリートの場合のほうが大きく低下する場合もあることがわかっている。この原因としては、表面が「こわばる」ことによる弱点層の発生が挙げられているが、詳細はわかっていない¹⁾。

本研究では、このように本来CJ防止に有利な性質を持つと考えられる高流動コンクリートを対象として、次のような2つのCJ発生防止策を提案し、検討を行った。

- 表面乾燥防止によるCJ防止策
- 新たな施工法によるCJ防止策

2.1 表面乾燥防止によるCJ防止策

高流動コンクリートのCJ部の強度、耐久性の低下の原因と考えられる表面のこわばり現象は、ブリーディングがほとんどないためにコンクリート表面の乾燥が急激に進むことによ

*1 東京大学大学院 工学系研究科 社会基盤工学専攻 (正会員)

*2 芝浦工業大学 工学部 土木工学科 (非会員)

*3 東京大学 国際・産学共同研究センター 教授 工博 (正会員)

り引き起こされるのではないかと考えられる。

そこで、本研究ではCJ防止策のひとつとして、上層の打設までの間に、下層コンクリート表面に水を供給し、表面乾燥を防止することを提案し、検討を行った。供給方法は図-1に示すようにコンクリート上に直接水を張る方法と霧吹きにより水を噴霧する方法の2種類とした。

2.2 新たな施工法によるCJ防止策

本研究で提案するもう一つのCJ防止策は、優れた流動性と材料分離抵抗性を持つ高流動コンクリートの長所をいかした新たな施工方法をとることにより、CJ面がコンクリート内部に残らないようにすることである。

具体的な施工方法は、図-2に示すような二つの方法を考えた。一つはコンクリートポンプの筒先をコンクリート内部に貫入しながら打設する方法である。この方法では新たなコンクリートを発生した弱点層の下に打設するため、この弱点層は上昇しコンクリート内部には残らないと考えられる。もう一つはコンクリートを高所から打設するものである。新たに打設するコンクリートはその落下によるエネルギー

により、発生した弱点層を突き破り下層のコンクリートと混ざり合うため、弱点層による悪影響が低減するものと考えられる。

3. 実験概要

3.1 表面乾燥防止による防止策（実験1）

3.1.1 使用材料

本研究で使用した材料を表-1に示す。実験1では、セメントに普通ポルトランドセメントを使用し、混和材として石灰石微粉末を使用した。

3.1.2 実験方法

本実験で使用した供試体は、10×10×40cmの角柱供試体である。まず下層20cmの部分にコンクリートを打設した後、所定の打重ね時間間隔を空けて上層20cmの部分にコンクリートを打設することによって人為的にCJを発生させたものを使用した。（図-3）

高流動コンクリートは締固めなしとし、普通コンクリートは、下層約5cmまで突き棒を貫入させて10回突固める方法（突固めあり）と、下層までの突固めを行わず、木製ハンマーにより型枠に振動を与えるだけで充填する方法（突固めなし）の2種類を行った。コンクリートの打設は室温20℃、湿度約80%の室内で行った。

養生は、室温20℃の養生室内での濡れ湿布とビニールシートによる湿潤養生とした。圧縮試

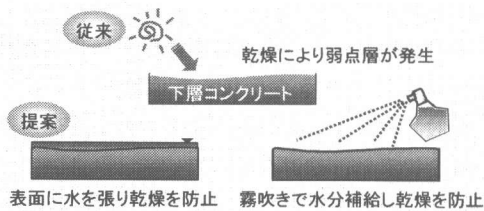


図-1 表面乾燥防止によるCJ防止策

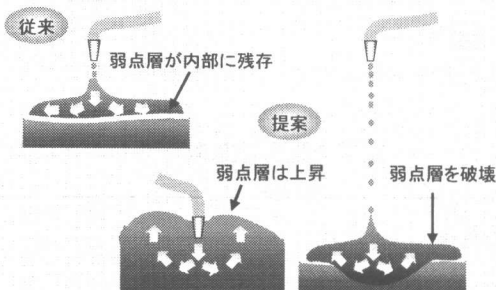


図-2 新たな施工法によるCJ防止策

表-1 使用材料

セメント	普通ポルトランドセメント
	密度 3.16(g/cm ³)、比表面積 3080(cm ² /g)
セメント	白色ポルトランドセメント
	密度 3.05(g/cm ³)、比表面積 3660(cm ² /g)
細骨材	富士川産川砂
	密度 2.63(g/cm ³)、吸水率 1.65(%)
粗骨材	両神産砕石 (最大寸法 20mm)
	密度 2.70(g/cm ³)、吸水率 0.63(%)
混和材	石灰石微粉末
	密度 2.70(g/cm ³)、比表面積 4080(cm ² /g)
混和剤	着色剤
	ベンガラ (主成分 Fe ₂ O ₃)
混和剤	AE減水剤
	リグニンスルホン酸化合物 ポリオール複合体
	高性能AE減水剤
	ポリカルボン酸エーテル系
	空気量調整剤
	アルキルアリルスルホン酸化合物系

表-2 使用した配合と物性値(実験1)

配合	W/C	単位量 (kg/m ³)					混和剤*2
		W	C	LP*1	S	G	
高(W/C27)	27	168	624	0	727	852	1.60
高(W/C39)	39	168	437	161	727	852	1.25
普(W/C55)	55	163	296	0	853	1003	740
普(W/C70)	70	185	264	0	850	960	661

*1 石灰石微粉末

*2 高流動コンは高性能AE減水剤(P×%) 普通コンはAE減水剤(ml/m³)

配合	スランブ (cm)	スランブフロー (cm)	空気量 (%)	圧縮強度 (N/mm ²)	凝結時間(時間)	
					始発	終結
高(W/C27)	-	48.2	3.5	84.0	4.6	6.3
高(W/C39)	-	54.6	3.5	66.9	5.8	7.5
普(W/C55)	12.8	-	3.3	42.7	6.3	7.9
普(W/C70)	17.1	-	2.9	26.4	9.2	11.5

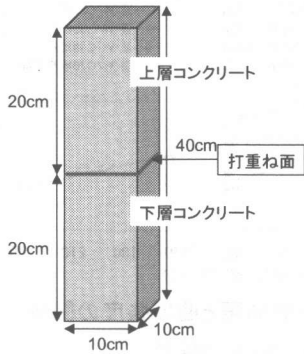


図-3 使用した供試体(実験1)

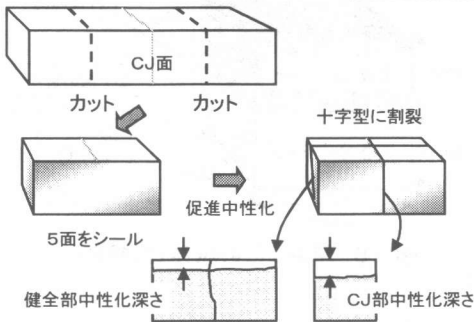


図-4 中性化深さの測定方法

験に用いる円柱供試体のみ 20℃水中での標準養生とした。

本実験ではC J面の強度の評価を曲げ強度試験によって行った。曲げ強度はコンクリートの曲げ強度試験方法(JIS A1106)に基づいて測定し、材齢4週で、一条件につき3本の供試体について試験を行った。

また、耐久性の評価として促進中性化試験を行った。供試体は曲げ強度試験用のものと同様に作製し、材齢1週で5面をシールし、促進中性化槽に投入した。促進条件は二酸化炭素濃度10%、温度40℃、湿度55%とした。促進材齢8週で取り出し、打重ね面の方向とその垂直方向に十字型に供試体を割裂した後、フェノールフタレイン法でC J部とそれ以外の部分(健全部)の中性化深さを測定した(図-4)。

3.1.3 実験要因

本実験では試験要因として配合、打重ね時間

間隔、水分の供給方法、の3つに着目した。

配合は表-2に示すように水セメント比(以下W/Cと略称)27%、39%の2種類の高流動配合とW/C55%、70%の普通コンクリートの合計4種類とした。打重ね時間間隔は0分(一体打ち)から240分まで変化させた。下層コンクリート表面への水分の供給方法は以下のような4つの方法と無処理(N)の5種類とした。

- ① コンクリート表面(表面積100cm²)に厚さ5mmの水を張る。(W)
- ② 15分毎に0.5gの水を噴霧する。(S1)
- ③ 15分毎に5gの水を噴霧する。(S2)
- ④ 表面に濡れタオルを敷く。(T)

以上の処理は下層コンクリート打設後、直ちに行い、上層を打ち込む直前まで継続した。

3.1.4 実験結果と考察

打重ね面無処理で作製した供試体の曲げ強度と打重ね時間間隔の関係を図-5に示す。これをみると高流動コンクリートのほうが、普通コンクリートに比べて打重ね時間間隔の増加にともない急激に曲げ強度が低下することが確認できた。W/C39%の高流動コンクリートの曲げ強度は時間間隔2時間の打重ねでW/Cが70%の普通コンクリート(突固めなし)とほぼ同等の強度まで低下した。

つぎに下層コンクリート表面に対して、前述の方法で水分を供給したものについて、曲げ強度と打重ね時間間隔の関係を図-6に示す。

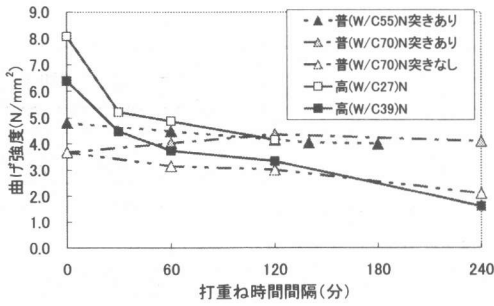


図-5 打重ね時間間隔と曲げ強度の関係
(打重ね面無処理)

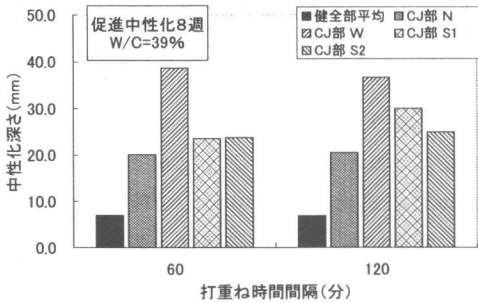


図-7 水分供給方法と中性化深さの関係

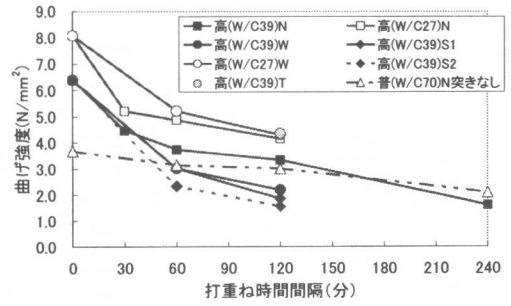


図-6 打重ね時間間隔と曲げ強度の関係
(打重ね面水分供給)

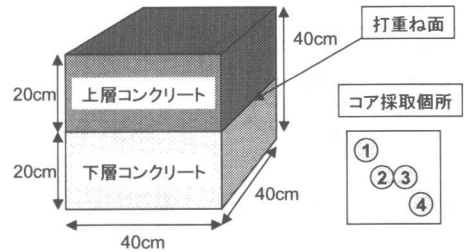


図-8 使用した供試体(実験2)

W/Cが39%では、水を張ったもの(W)と霧を噴霧したもの(S1, S2)は無処理(N)のものよりもさらに曲げ強度が低下する結果になった。また、既往の研究³⁾で有効性が認められていた濡れタオルを敷いたもの(T)は最も強度が高く、2時間の時間間隔でも一体打ちに比べて約7割の強度を保った。しかし、実施工を考えると簡易な防止策とはいえない。

W/Cが小さい27%の場合には水を張ったもの(W)は無処理のものと同程度の強度を示したものの、強度の改善にはいたらなかった。

高流動コンクリート W/C39%の中性化試験の結果を図-7に示す。促進材齢は8週である。すべての処理方法でCJ部の中性化深さが健全部のものより大きく増加し、さらに水分の供給を行ったもののほうが無処理の場合よりも中性化が進行することが示された。

以上の結果より、下層コンクリート打設後上層コンクリートを打重ねるまでの間に、直接水分を供給した場合、強度、耐久性のいずれも無処理の場合よりも低下してしまうため、この方

法は有効なCJ防止策とはならないことが示された。この原因として、乾燥を防止し、こわばり現象を防ぐ効果よりも、水が供給されることにより打重ね面のW/Cが局部的に増加し、強度、耐久性が低下する効果のほうが卓越したことが考えられる。また、強度の低下が少なかったW/Cが小さい場合について、今後のより詳細な検討が必要であると考えられる。

3.2 新たな施工法による防止策(実験2)

3.2.1 使用材料

実験2では、セメントとして白色ポルトランドセメントを用いた。また、コンクリートの流動状態を確認するため、着色剤としてFe₂O₃を主成分としたベンガラを使用し、コンクリートに赤い色をつけた。白色ポルトランドセメントを用いたのは、より少ない量のベンガラで着色できるようにして、ベンガラによる流動性への影響を低減させるためである。試験練りをした結果、添加量をコンクリート1リットルあたり2.5gとした。なお、骨材、混和材、混和剤は実験1と同じものを使用した(表-1)。

3.2.2 実験方法

本実験で使用した供試体は、40×40×40cmの立方体である(図-8)。まず下層20cmの部分にコンクリートを打設後、所定の打重ね時間間隔を空けて、その上に赤く着色したコンクリートを打設した。コンクリートの配合は表-3の通りである。

コンクリートの打設方法は図-9のような3種類とした。

- ① 下層コンクリート表面ぎりぎりから打設する方法(通常打設)
- ② 高さ約3mの高所からコンクリートを落下させ打設する方法(落下打設)
- ③ ポンプ吐出口に見立てた塩化ビニル管を下層コンクリートに貫入させ打設する方法(パイプ貫入打設)

打設後の供試体は、十分な強度発現後、供試体上面から図-8に示す個所で、長さ約30cmのコア抜きを行い、コンクリートの流動状態を観察した。

3.2.3 実験結果と考察

使用したコンクリートのフレッシュ性状を表-4に示す。本実験の添加量では、着色剤の添加によるフレッシュ性状への影響はほとんどないことが示された。また、下層に用いた白色コンクリートのスランプフローとプロクター貫入抵抗値の経時変化を図-10に示す。スランプフローが急激に低下するコンクリートであった。

写真-1にパイプ貫入打設および落下打設により作製した供試体のコアの一例を示す。コア採取箇所は図-8に示す。白黒写真のため、色の境界は黒い線で示してある。これを見ると、供試体中心部(コアNo.2,3)では新たに打設したコンクリートは、上から20cmのもとも下層コンクリートの表面であった部分よりも下まで流動し、その分、端部(コアNo.1,4)では下層コンクリートが押されて上昇したことがわかる。このように上下のコンクリートが混ざり合うことにより、境界面の形状が複雑になっ

表-3 使用した配合(実験2)

W/C	単位量 (kg/m ³)					SP (P×%)
	W	C	LP*1	S	G	
35	161	454	167	727	852	1.30

*1 着色剤を用いる場合は石灰石微粉末と置換した

表-4 コンクリートのフレッシュ性状(実験2)

配合	スランプフロー (cm)	空気量 (%)
白(着色なし)	71.3	4.6
赤(着色あり)	72.5	5.4

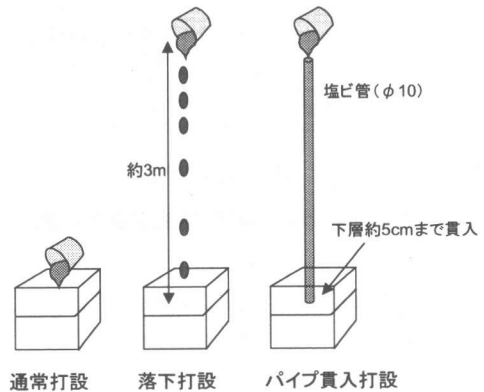


図-9 上層コンクリートの打設方法(実験2)

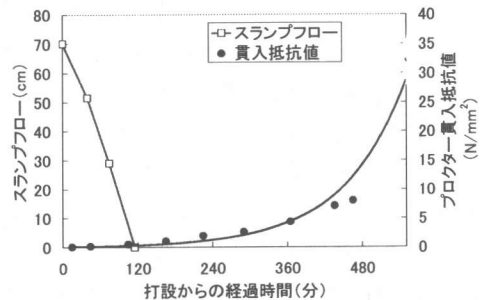


図-10 下層コンクリートの凝結性状(実験2)

ていることがわかる。

表-5に打重ね時間間隔と流動状態の関係を示す。よく混ざっているものから順に○△×の記号で示してある。今後、さらに詳しく検討する必要があるが、上層打設時の下層コンクリートの凝結状態により、この打設が可能な打重ね時間の限界が存在するものと考えられる。

このように打設したコンクリートについては、供試体の寸法の都合で強度試験を行うことができなかったため、次に施工法による曲げ強

表-5 打重ね時間間隔と流動状態

打重ね時間間隔(分)		40	50	90	130
打設方法	パイプ貫入	—	○	×	×
	落下	○	—	△	△
貫入抵抗値(N/mm ²)*		0.13	0.16	0.24	0.35
スランプフロー(cm)*		52	45	26	20

*各打重ね時間間隔に対応する貫入抵抗値、スランプフローは図-10のグラフより算出

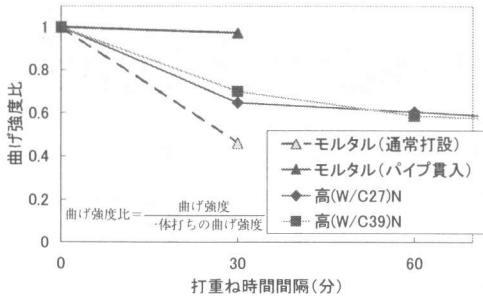


図-11 モルタル曲げ強度試験の結果

度の違いを高流動モルタルを用いて調べることにした。

供試体は実験1と同じ10×10×40cmで、下層モルタルに直径7cmのパイプを貫入させ、そこから新たなモルタルを打設した。また比較用に通常の打重ねをしたものと一体打ちのものを作製した。W/C36%, モルタルフロー約30cm, Vロート流下時間約5秒のモルタルを使用し、打重ね時間間隔は30分とした。

図-11に曲げ強度試験の結果を示す。通常打設のものは強度が約半分に低下したのに対し、パイプ貫入打設のものはほぼ同じ強度を保つことが示された。この実験はコンクリートで行ってはいないが、写真-1の結果と考え合わせると、この打設方法がCJによる強度低下を防止できる可能性を示しているといえる。

4. まとめ

本研究をまとめると以下ようになる。

- ① 打重ねの間にコンクリート表面に直接水を供給する方法では、高流動コンクリートのCJ部の強度、耐久性の著しい低下は防ぐことができず、CJ防止策にはならない。
- ② 上層コンクリートを高所から打設する、また

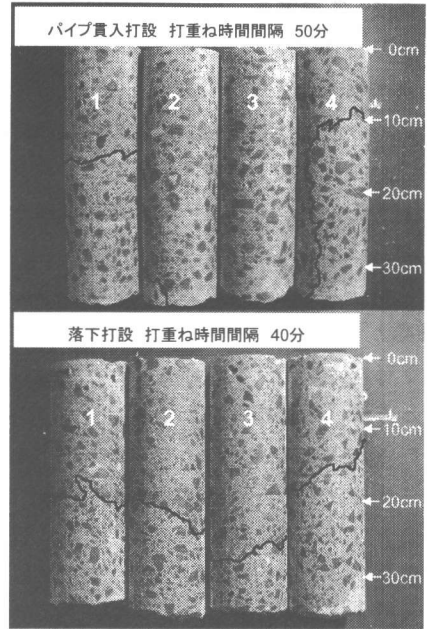


写真-1 作製した供試体のコア
(コア採取箇所は図-8に示す)

は、ポンプ筒先を下層コンクリート内部に貫入させて打設することにより、適切な打重ね時間の範囲内であれば、新たに打設されたコンクリートはCJ面を作らず下層コンクリートと混ざり合うことが示された。

- ③ モルタル実験においてパイプ筒先打設で作製した供試体は一体打ちとほぼ同じ曲げ強度を保つことから、この打設方法がCJ防止・抑制策となる可能性が高いことが示された。

参考文献

- 1) 許 賢太郎, 小森 大育, 加藤 佳孝, 魚本 健人: 配合および施工条件がコンクリートのコールドジョイントに与える影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.22, No.1, pp.259-264, 2000
- 2) 十河 茂幸, 三浦 律彦: コールドジョイント防止策とその判定方法, セメント・コンクリート, No.448, June, pp.8-19, 1984
- 3) 山田 雅裕, 松田 敦夫, 阿部 保彦: 高流動コンクリートの打ち足し限度に関する実験(その2: 曲げ強度による検討), 日本建築学会大会学術講演梗概集(北海道), pp.399-400, 1995.8