

超遅延剤を用いた温度応力低減工法の実用化に関する研究

宇都宮大学大学院 学生会員 ○大森 祐助
宇都宮大学大学院 正会員 藤原 浩巳
宇都宮大学大学院 正会員 丸岡 正知

1. はじめに

近年、コンクリート構造物の大型化に伴い、部材の面積、厚さとも大きくなる傾向にある。この場合、一般にコンクリートを数回に分けて打設する。しかし、既設コンクリートの硬化後に後打コンクリートを打設するため、後打コンクリートの水和発熱による膨張・収縮作用が既設コンクリートに拘束される。その結果、打継目には大きなせん断応力が生じ、図-1に示すように後打コンクリートには温度応力ひび割れが発生し、耐久性の低下につながる事が問題視されている。そこで、図-2に示すように、既設コンクリートと後打コンクリートの間に超遅延剤を添加したコンクリート（以下、遅延コンクリート）を打設し、後打コンクリートの熱膨張・収縮が落ち着くまで、遅延コンクリート層が膨張・収縮に応じて追従、変形するよう硬化の始発時間を調節し、打継目でのダメージを防止するという工法が考えられている¹⁾。

本研究では、上述の工法の有用性を確認するため、温度応力解析により遅延コンクリートを打設した場合のコンクリート内部応力の変化を検討した。また、遅延コンクリートが硬化以前に、後打コンクリートの熱膨張に伴う応力履歴を受けた場合の強度変化確認の為、新たな試験方法を提案し、応力履歴による遅延コンクリートのダメージについて検討を行った。

2. 実験概要

2.1 温度応力解析

最初に遅延コンクリートを設けない場合の解析を行い、その後遅延コンクリートを設けた場合の解析を行い比較した。遅延剤を添加したコンクリートを、第一リフト（既設コンクリート）と第二リフト（後打コンクリート）の間に打設した場合に温度応力がどのように働くか、図-3の解析モデルで検討した。遅延コンクリートと第二リフトは解析上同時に打設するものとした。遅延コンクリートの硬化開始日は、0, 1, 2, 3, 5, 7 および 10 日と変化させ、最も効果的な凝結遅延時間を検討した。なお、第一リフトは既に硬化しており、温度変化もないものとする。

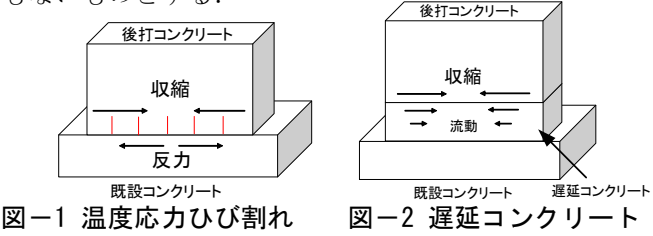


図-1 温度応力ひび割れ

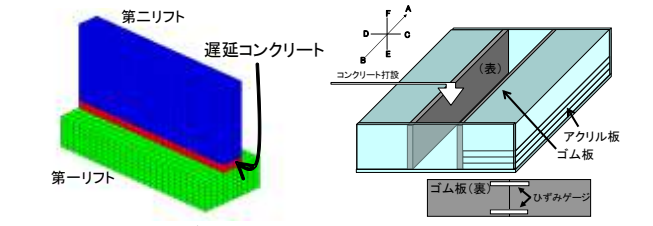


図-3 解析モデル

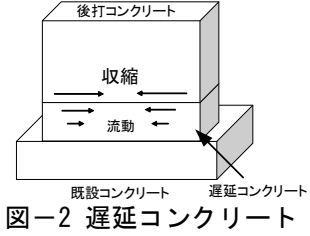


図-2 遅延コンクリート

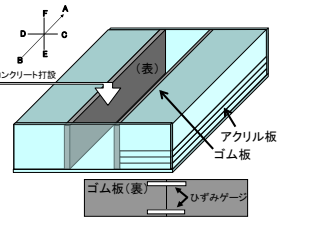


図-4 変形試験型枠

2.2 実コンクリート実験

2.2.1 使用材料及び配合

本実験の使用材料を表-1、使用したコンクリートの配合を表-2に示す。配合1は、遅延コンクリートの効果をよりわかり易くするため、温度応力の発生しやすいW/C=25%とした。配合2は、W/C=50%の一般的なコンクリートに超遅延剤を添加した配合である。超遅延剤の添加量は、マスコンクリートにおいて温度変化が落ち着くと考えられる1週間を凝結遅延の目標に設定し、質量比で（セメント×1.25%）とした。また、一般にコンクリートの靱性が増加するとされる、繊維を添加することで、温度応力に対する抵抗性が増すと考え、繊維を（コンクリート全質量×0.5%）添加した配合を配合3とした。超遅延剤の効果を確認するため、配合2から超遅延剤を抜いたものを配合4とした。混和剤の添加量はスランプの目標値10±2.5cm(配合1), 20±2.5cm(配合2, 3, 4)を満たすように調整した。

2.2.2 試験項目

(1)凝結試験

JIS A 1147 に準拠した。

(2)変形試験

既設コンクリートと後打コンクリートの間で、遅延コンクリートが受ける温度応力に見立て、図-4に示す型枠を用いて作成した100×100×400mmの供試体に、硬化以前に変形を与えた（図-5）。コンクリートは、温度応力、自己収縮、乾燥収縮など、様々な悪条件が重なった場合、最大で0.6~0.9×10⁻³程度の収縮を示す²⁾。本実験では、最悪の環境条件を想定し、上記の値よりもさらに大きな1.0×10⁻³の変形を約1分間かけて与えた（ひずみゲージの実測値による）。その後、速やかに変形を取り除き、ひずみゲージの実測値が0になったことを確認し静置した。この変形を応力履歴と定義し、供試体硬化後に各種強度試験を行った。変形を与えた供試体については、配合1、配合2、配合3、及び、実施工において普通コンクリートと遅延コンクリートの打継目での強度低下の有無を確認するため、図-6に示すように普通コンクリート（配合1）と遅延コンクリート（配合2）を2層重ねて打設したものを作成した。

表-1 使用材料

種別	名称	記号	密度 (g/cm ³)
水	上水道水	W	1.00
	普通ポルトランドセメント	C	3.15
粉体	早強ポルトランドセメント	HC	3.14
	鬼怒川産川砂	S	2.58
細骨材	砕石	G	2.65
粗骨材	高性能減水剤	SP1	1.06
	AE剤	AE	1.02
	高性能AE減水剤	SP2	1.06
	超遅延剤	SR	1.20
混和剤	アラミド繊維	F	1.39

表-2 示方配合

記号	SL (cm)	W/C (%)	S/a (%)	単位量(kg/m ³)						SR(%)	F(%)
				W	C	HC	S	G			
配合1	20±2.5	25	35	165	0	660	524	999		0	0
		50	45	165	330	0	795	998		1.25	0
配合3	10±2.5	50	45	165	330	0	795	998		1.25	0.5
		50	45	165	330	0	795	998		0	0

キーワード 遅延コンクリート、ひび割れ指数、曲げ強度試験

連絡先 〒321-8585 栃木県宇都宮市陽東 7-1-2 宇都宮大学工学部建設学科土木材料研究室 TEL 028-689-6211

(3) 曲げ強度試験

JIS A 1106 に準拠した。なお、変形試験後の供試体を用いた曲げ強度試験は、図-7 に示すように、変形試験において引張側となっていた面が底面となるように設置し、曲げ強度試験を行った。

3. 結果と考察

3.1 温度応力解析

試験結果を図-8 及び図-9 に示す。図-8 は、第二リフトを打設した後、遅延コンクリートが硬化を開始するまでの日数と、ひび割れ指数、及びひび割れ発生確率の関係をj示している。なお、凝結開始までの日数0日は、遅延コンクリートを打設していない場合の値をj示す。また、図-9 は第二リフト内部の温度変化、及び遅延コンクリートの凝結遅延期間と第二リフト内に生じる収縮に伴う応力度である。ひび割れ指数とは、式(1)で定義される値であり、ひび割れ発生確率と関連付けられており、ひび割れ指数の経時変化を見ることがひび割れ発生確率を評価することが出来る。ひび割れ指数1.5 でひび割れ発生確率はおよそ10%、指数1.0 で50%、指数0.8 で約80%、指数0.5 ではおよそ100%の確率でひび割れが発生するとされている。

$$\text{ひび割れ指数} = \frac{\text{材齢}t\text{日におけるコンクリート引張強度}}{\text{材齢}t\text{日におけるコンクリートの最大主引張応力度}} \dots (1)$$

図-8 に示すように、遅延コンクリートを打設していない場合のひび割れ指数は0.55をj示し、ほぼ100%の確率でひび割れが発生するという結果になった。

これと同様のコンクリート物性を持った解析モデルに、遅延コンクリートを挟んで打設した結果、凝結遅延期間が3日間までは急激にひび割れ発生確率が低下し、その後はあまり大きな変化は認められなかった。これは、図-9 に示すように、第二リフトの温度変化が落ち着くまでの期間と一致した。図-8 に示すように、凝結遅延期間3日でのひび割れ指数は1.43であり、ひび割れ発生確率は約12%という結果になった。本解析では、実際よりも厳しい配合条件を設定したので、実際にはさらにひび割れ発生可能性は低くなると考えられる。しかし、第二リフトの温度変化が落ち着いた後も凝結遅延が続く場合、硬化後、遅延コンクリートの収縮に伴う応力が増加した。よって、第二リフトの温度変化が落ち着く時期に合わせて、遅延コンクリートの凝結が開始されることが望ましいと考えられる。

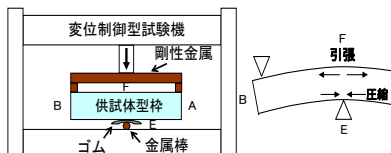


図-5 2層打供試体

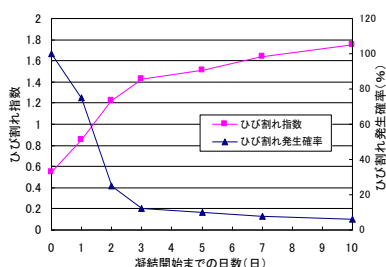


図-8 凝結遅延期間、ひび割れ指数、ひび割れ発生確率の関係

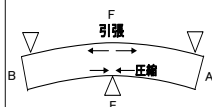


図-6 2層打供試体

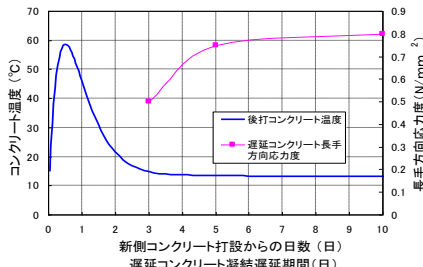


図-9 後打コンクリートの温度変化と内部応力の変化

3.2 実コンクリート実験

試験結果を図-10 に示す。配合2、4を比較すると、遅延コンクリートである配合2のほうが若干、曲げ強度は高い値を示している。よって、超遅延剤を添加したことによる強度への悪影響は認められない。しかし、遅延コンクリートに繊維を添加した配合3では、曲げ強度は大幅に低下している。これは、多量の遅延剤添加と、同時に添加されたAE減水剤が原因である可能性が考えられる。

変形試験を行った(応力履歴を与えた)結果、普通コンクリートである配合1は、曲げ強度で約11%程度の強度低下が認められたが、遅延剤を含む配合2、3ではほとんど強度低下は認められなかった。また、2層打の供試体についても、配合1と比較して高い割合で強度が残存していた。2層打を行った場合、各層の温度応力の違いから、打継目にせん断応力が生じ、強度低下が懸念される。今回はさらに応力履歴を与えたにもかかわらず、強度が低下しなかったのは、未硬化の遅延コンクリートが後打コンクリートの膨張に伴い追従、変形し、打継目での負荷を最小限に抑えることが出来たからであると推測される。

4. まとめ

理論的に、既設コンクリートと後打コンクリートの間に遅延コンクリート層を打設する工法は、後打コンクリートへの温度応力による負荷を低減することが示された。また、応力履歴に伴い、遅延コンクリートの強度に問題となるような欠陥が生じず、付着力についても問題無く温度ひび割れを抑制するための工法として有用であることが示された。

また、後打コンクリートの温度変化が落ち着く時期に合わせ、遅延コンクリートも凝結が開始されると、より温度応力低減に効果的であると示された。しかし、4日以上のような、長時間に及ぶ凝結遅延のコントロールは難しいことが確認された。よって今後、バックデータの蓄積を行い、より長時間に及ぶ凝結遅延についての検討が必要である。

参考文献

- 1) 竹下治之、横田季彦、森時昭、田中恭一：凝結遅延性コンクリートを用いた温度応力の抑制に関する研究、第6回コンクリート工学年次講演論文集、1984、P285~287
- 2) 村田二郎、長瀬重義、菊川浩治：建設材料 コンクリート P.143

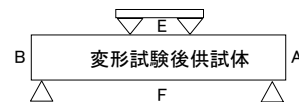


図-7 変形試験後の曲げ強度試験

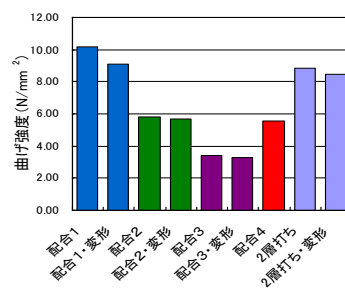


図-10 曲げ強度試験結果