

[72] 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

正会員 ○竹下 治之 (日本国土開発技術研究所)
 横田 季彦 (日本国土開発技術研究所)
 正会員 森 時昭 (藤沢薬品工業特薬研究開発部)
 正会員 田中 恭一 (藤沢薬品工業特薬研究開発部)

1. まえがき

マッシュなコンクリート構造物では、旧コンクリートとの打継目や他の構造物などとの接触面において、外部拘束応力によるひびわれの発生が懸念される。打設されたコンクリートは、セメントの水和熱によって温度が上昇し、最高温度到達後は、放熱によって徐々に温度が降下する。外部拘束応力とは、この温度降下に伴うコンクリートの収縮が、隣接する拘束物によって妨げられることにより、コンクリート中に引張として発生する応力であり、これがコンクリートの引張強度を越えるとひびわれが発生する。外部拘束応力によるひびわれについては、これまで種々の研究がなされているが、新コンクリートと拘束物体との断面積比、弾性係数比などによって拘束度が異なるなど未解明な点が多く、外部拘束応力を低減させる的確な対応策も確立されていない。

本研究は、旧コンクリート打設の約3週間後、打継目に凝結遅延剤を添加した遅延コンクリート層を打設し、続いて新コンクリートを打設した場合、新コンクリートに対する旧コンクリートの拘束度の低減による、温度ひびわれの発生防止効果について検討を行ったものである。

2. 実験概要

2.1 使用材料および配合

使用したセメントは普通ポルトランドセメント、細骨材は川砂(富士川産、FM 2.71, 比重2.63)、粗骨材は砕石(笠間産、FM 6.69, 比重2.66)である。混和剤はオキシカルボン酸塩系AE減水剤と同系の凝結遅延剤を用いた。

コンクリートの配合は表-1に示すとおりであり、凝結遅延剤(以下遅延剤と記す)の添加量は、後述する実験ケースによって変化させた。

2.2 供試体

供試体は図-1に示すような逆T形擁壁モデルで、底板部の旧コンクリートによって、壁部の新コンクリートが拘束を受けるものである。

供試体の温度履歴および養生状態を、実際のマッシュなコンクリート構造物の状態に近似させるため、新コンクリートの周囲をビニールシートおよび断熱材(硬質ウレタンフォーム)で覆った。また、新コンクリート打設時に、型枠と断熱材との間に薄い合板を挿入し、コンクリートが自立すると考えられる材令(約4~5時間)において、これを抜き取り、新コンクリートと周囲との縁切りを行った。

2.3 遅延剤添加量

遅延層によって新コンクリートに対する拘束度を低減するためには、遅延層のコンクリートは、新コンクリートが最高温度到達後、収縮過程に入った材令においても変形能力を有する必要がある。本実験では、壁部の新コンクリートが材令1.0~1.5日で最高温度に達すると考えられるため、遅延層のコンクリートの強度がその前後の材令0.5, 1.0, 2.0, 4.0日において、予備実験で決定した十分な変形能力を有する圧縮強度の限界値(0.5~0.8kgf/cm²)となるように遅延剤の添加量を決定し、それぞれ0.25, 0.35, 0.45, 0.65 (C×wt%)とした。

表-1 コンクリートの配合

粗骨材の最大粒径 (mm)	*コンクリートの断面積 (cm)	*コンクリートの断面積 (%)	*コンクリートの断面積 (%)	*コンクリートの断面積 (%)		*コンクリートの断面積 (%)		*コンクリートの断面積 (%)		*コンクリートの断面積 (%)	*コンクリートの断面積 (%)
				W/C (%)	S/A (%)	水 W (%)	セメント C (%)	細骨材 S (%)	粗骨材 G (%)		
7.0	8.1	4.1	5.0	4.4	1.64	3.28	8.01	1.031	0.656	0	2.13

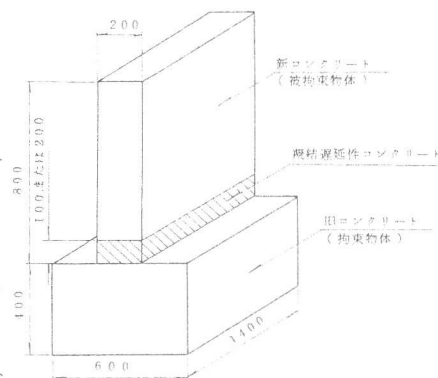


図-1 供試体概要図

2.4 実験ケースおよび計測位置

実験ケースは、表-2に示すように、遅延剤の添加量および遅延層の層厚を変化させた計7体の供試体を作成し、それぞれ以下の計測を行った。計測位置は図-2に示すとおりで、旧コンクリート中に1点、新コンクリート中に4点とし、壁部の拘束度の分布を検討する目的で、A供試体のみ新コンクリート中に6点とした。設置した計測器は、埋込み型ひずみ計とC/C熱電対で、各点におけるひずみと温度を計測した。

表-2 実験ケース

供試体	層厚 (cm)	遅延剤添加量 (%)
A	0	0
B-1	1.0	0.25
B-2	1.0	0.35
B-3	1.0	0.45
B-4	1.0	0.65
C-2	2.0	0.35
C-3	2.0	0.45

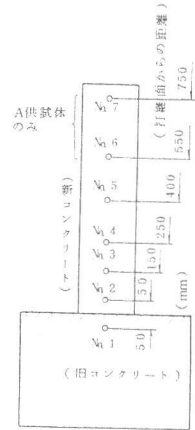


図-2 計測位置

2.5 打継ぎ強度試験用供試体

打継目の遅延層において、ブリージングの増大に伴う強度低下が懸念されるため、その低下の程度を検討することを目的として、打継ぎ強度試験用供試体を作成した。供試体の打継ぎ方法は図-3に示す2方法により行い、打継強度試験は、材令28日でJISA1106により曲げ強度試験を行った。

3. 結果および考察

3.1 コンクリートの強度

表-3に打継ぎ供試体の曲げ強度を、表-4に標準供試体を用いた遅延コンクリートの強度を示す。表-3に示されるように、タイプIIの供試体はベースの打継ぎなしの供試体と同程度の強度を示した。しかし、タイプIの供試体はベースに対し、約7%の強度低下を示した。この原因としては、遅延層のコンクリートのブリージング水が打継目でその上昇を妨げられることなどが考えられるが、実構造物の打継ぎを考えた場合、打継ぎなしの強度に対し、最小でも93%の強度を有しているため、強度上は問題ないものと考えられる。また、表-4から遅延コンクリートは材令28日では、ベースコンクリートに対し、同等かもしくはそれ以上の強度を有することがわかる。

表-3 打継ぎ供試体の曲げ強度

打継ぎ方法	遅延剤添加量 (%)		曲げ強度 (kgf/cm ²)	強度比 (%)
	上	下		
I	0	0.25	5.32	0.93
	0.25	0	5.75	1.01
II	0	0.35	5.37	0.94
	0.35	0	5.55	0.98
I	0	0.45	5.29	0.93
	0.45	0	5.54	0.97
II	0	0.65	5.28	0.93
	0.65	0	5.85	1.03
標準	0	0	5.69	1.00



図-3 曲げ試験用供試体の打継ぎ方法

表-4 遅延コンクリートの強度

実験ケース	遅延剤添加量 (%)	圧縮強度 (kgf/cm ²)	曲げ強度 (kgf/cm ²)
A (ベース)	0	4.14	5.69
B-1	0.25	4.22	5.62
B-2, C-2	0.35	4.18	5.92
B-3, C-3	0.45	4.51	6.43
B-4	0.65	4.86	6.51

表-5 コンクリートの温度特性

計測位置	供試体No	最高温度 T _{max} (°C)	最高温度時の材令 T _c (d)	打令7日目の温度 T ₇ (°C)	温度勾配 (°C/d)
No. 3	A	43.0	1.2	25.0	3.10
	B-1	42.1	1.3	23.8	3.21
	B-2	42.0	1.5	24.3	3.21
	B-3	40.1	1.4	24.7	2.75
	B-4	37.8	1.4	25.7	2.16
No. 4	A	47.6	1.2	25.6	3.79
	B-1	45.8	1.3	24.7	3.70
	B-2	45.3	1.5	24.9	3.70
	B-3	43.9	1.3	25.6	3.21
	B-4	42.5	1.4	26.3	2.89
No. 5	C-2	46.2	1.5	25.4	3.78
	C-3	41.1	1.4	26.0	2.65
	A	52.6	1.2	26.5	4.50
	B-1	51.2	1.3	25.6	4.49
	B-2	49.7	1.4	25.7	4.28
No. 6	B-3	49.7	1.3	26.3	4.10
	B-4	48.5	1.2	27.1	3.75
	C-2	49.0	1.5	26.1	4.16
	C-3	45.8	1.4	26.7	3.41

3.2 コンクリートの温度

マッシュなコンクリート中に発生する外部拘束応力、力は、一般に次式で表わされる。

$$\sigma = R \cdot \alpha \cdot \Delta T \cdot E / (1 + \phi) \quad \dots \dots \dots (1)$$

ここに、 σ : 外部拘束応力 (kgf/cm²), R : 拘束度, α : 熱膨張係数 (1/°C)

ΔT : 温度変化 (°C), E : 弾性係数 (kgf/cm²), ϕ : クリーブ係数

従って、温度面での温度応力の低減対策としては、最高温度を低くすることによって ΔT を小さくし、温度降下速度を小さくすることが考えられる。ここに、温度降下速度とは、最高温度時からほぼコンクリートの温度が一樣となる材令までの温度勾配である。本実験においては、材令7日で温度がほぼ一樣となったため、次式によって温度勾配を求めた。

表-5にその計算結果を示す。

$$F = (T_{\max} - T_7) / (7 - t_0) \quad \dots \dots \dots (2)$$

ここに、 F : 温度勾配 (°C/day), T_{\max} : 最高温度 (°C)

T_7 : 材令7日目の温度 (°C), t_0 : 最高温度時の材令 (day)

また、この表から温度勾配と遅延剤添加量との関係を図-4に、温度

勾配と遅延層厚との関係を図-5に示す。これらの図表から、打継目に遅延層を設けることによって、新コンクリートの最高温度を低くし、温度の降下速度（温度勾配）を小さくすることができるのがわかる。このように、温度応力の低減に対し、有効な方法と考えられる。

遅延剤の添加量の影響は、添加量を多くするほど温度勾配は小さくなり、0.65%添加したものについて、特にその効果が顕著になった。遅延層厚の影響は、0.45%添加したものは層厚を増すと温度勾配が小さくなるという結果が得られたが、0.35%添加したものではその傾向が小さく、今回の実験の範囲では、層厚を増すよりも、添加量を増す方が効果的であると考えられる。

3.3 コンクリートのひずみ

図-6にコンクリートのひずみの経時変化の一例を示す。図に示されるように、コンクリートは最高温度に達するまで膨張し、引張ひずみを生じる。その後、温度降下と共に収縮し、引張ひずみは減少し、材令5日前後から圧縮ひずみを生じるようになる。このような傾向は、他の実験ケースの場合もほぼ同様であった。しかし、遅延層のコンクリートは収縮過程においても、ほとんど圧縮ひずみを生じず、生じたとしても非常に小さな値であった。これは、遅延層のコンクリートの収縮が、上部の既に硬化した新コンクリートと下部の旧コンクリートによって両面から拘束されていること、遅延層のコンクリートの温度変化が小さいこと、などによるものと考えられる。

図-7は供試体のコンクリートの温度とひずみとの関係の一例を無拘束供試体のデータと共に示したものである。この図から、供試体の計測点におけるみかけの熱膨張係数を前述の引張ひずみ増加区間、引張ひずみ減少区間、圧縮ひずみ増加区間の3区間について求め、 $\alpha_F^1, \alpha_F^2, \alpha_F^3$ とする。同様に、無拘束供試体のデータについても熱膨張係数を求め、 $\alpha_F^1, \alpha_F^2, \alpha_F^3$ とすると、この計測点における拘束度は次式によって与えられる。

$$R_i = (\alpha_F^i - \alpha_R^i) / \alpha_F^i \quad \dots \dots \dots (3)$$

ここに、 R_i : 拘束度、 α_F^i : 無拘束供試体の熱膨張係数(1/°C)

α_R^i : 供試体のある計測点のみかけの熱膨張係数(1/°C)

同様にして、各供試体の新コンクリート中の計測点について α_R^i, R_i を求めた結果を表-6に示す。表から、引張ひずみ減少区間においてみかけの熱膨張係数および拘束度が大きくなっていることがわかる。この区間はコンクリートが最高温度に達する材令から、材令5日前後までの温度降下の大きな区間である。既往の研究によると、壁体構造物において、ひびわれが発生しやすいのは材令5日前後とされているため、この区間について、拘束度の検討を行うのが妥当であると考えられる。

図-8に拘束度と遅延剤添加量との関係を、図-9に拘束度と遅延

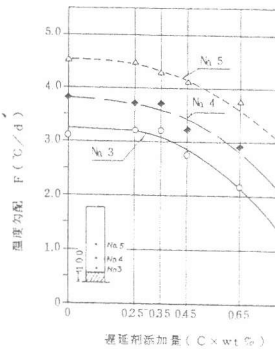


図-4 温度勾配と遅延剤添加量との関係

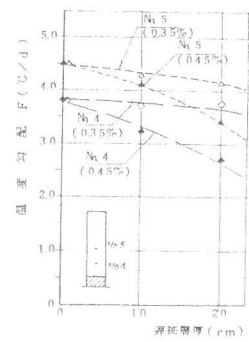


図-5 温度勾配と遅延層厚との関係

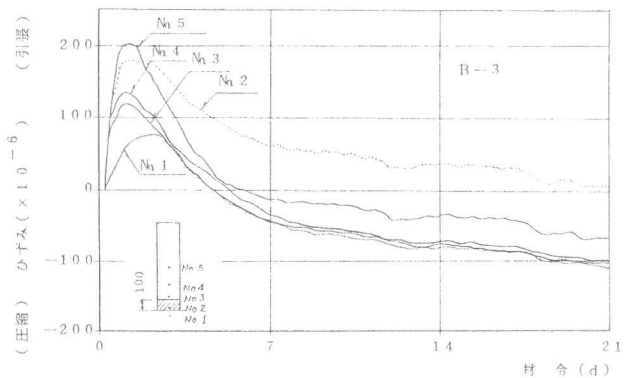


図-6 コンクリートのひずみの経時変化の一例



図-7 コンクリートの温度とひずみとの関係の一例

層厚との関係を示す。図-8 から、遅延剤の添加量を増すと、拘束度は小さくなるのがわかる。そして、その減少の割合は、添加量0.45%以上で顕著になる。また、遅延層厚の影響は図-9 から判断すると、層厚の増加によって若干拘束度が小さくなっているものもあるが、本実験の範囲では、あまり顕著ではなかった。これらの傾向は、前述の温度勾配との関係と類似しており、本実験に関しては、遅延層厚10cm、添加量0.45%以上で遅延コンクリートを打継目に打設するのが、外部拘束応力を低減するうえで、効果的であると考えられる。

図-10は引張ひずみ減少区間におけるA供試体の拘束度の分布を示したものである。この図から、拘束度は打継目から150mmの位置で最大となり、打継目近傍で最大となるとされているACI207委員会報告の図表と異った結果を示した。このことは興味のあることであり、今後の研究課題の1つとしたい。

4. まとめ

今回の実験において、供試体表面にひびわれの発生は確認されなかったが、温度およびひずみの計測をもとに考察を行った結果、以下のことがわかった。

- (1) コンクリートの打継目に遅延コンクリートを打設することによって、新コンクリートの温度の降下速度および拘束度が小さくなり、外部拘束応力を低減することができる。
- (2) 遅延層のコンクリートは、層厚10cm程度、遅延剤の添加量0.45~0.65%が効果的である。
- (3) 遅延コンクリートの強度は、材令28日では標準コンクリートと同等もしくはそれ以上の値を有する。
- (4) 遅延コンクリートの上に標準コンクリートを打継いだ場合、若干の強度低下は認められたが、構造上は十分な強度を有するものと考えられる。
- (5) 打継目に遅延コンクリートを打設しない供試体の拘束度は、打継目から150mmの位置で最大となり、打継目近傍ではそれより少し小さな値となった。
- (6) 拘束度は、コンクリートの材令によって変化し、最高温度到達時から材令5日の間で大きな値をとる。

5. あとがき

今回の実験によって、コンクリートの打継目に遅延コンクリートを打設することによって、外部拘束応力を低減することができることがわかった。しかし、実施工に広く応用するには未解明な点も残されているため、今後は、実規模モデルによる実験等を行い検討を続けたい。

＜謝辞＞ 本研究を行うにあたり、日本国土開発院近藤時夫氏、同浅沼潔氏、藤沢薬品工業岡沢井秀樹氏の協力および助言を得ました。ここに記して謝意を表します。

＜引用文献＞ 日塚山隆一：マッシュな鉄筋コンクリート構造物の温度ひびわれ，セメントコンクリートN.370, 1977, 12

表-6 コンクリートの熱膨張係数および拘束度

供試体No.		引張ひずみ増加区間		引張ひずみ減少区間		圧縮ひずみ増加区間	
		$\alpha_1 (\times 10^6)$	R_1	$\alpha_2 (\times 10^6)$	R_2	$\alpha_3 (\times 10^6)$	R_3
A	No.2	1.060	-0.229	9.36	0.177	9.93	-0.016
	No.3	9.13	0.058	8.75	0.231	8.88	0.089
	No.4	8.00	0.073	8.93	0.215	8.88	0.089
	No.5	6.80	0.221	9.35	0.177	8.84	0.093
	No.6	7.40	0.142	9.60	0.156	9.97	-0.018
	No.7	0.12	-0.057	11.12	0.022	11.15	-0.144
		No.8	6.55	0.241	8.43	0.259	9.13
B-1	No.3	8.13	0.057	9.20	0.191	9.34	0.042
	No.4	7.92	0.082	9.48	0.166	9.28	0.048
	No.5	8.18	0.032	8.65	0.239	9.30	0.046
B-2	No.3	8.10	0.051	9.25	0.187	9.75	0.102
	No.4	7.50	0.130	9.20	0.191	8.93	0.084
	No.5	8.16	0.054	9.00	0.200	9.46	0.029
B-3	No.3	8.20	0.040	9.45	0.169	9.10	0.066
	No.4	9.00	-0.043	1.045	0.081	9.36	0.040
	No.5	8.50	0.015	1.220	-0.073	9.70	0.003
B-4	No.3	7.95	0.078	1.105	0.025	9.70	0.005
	No.4	7.75	0.101	1.025	0.099	9.65	0.010
	No.5	8.60	0.003	9.25	0.187	9.63	0.012
C-2	No.4	8.25	0.044	9.28	0.184	8.63	0.114
	No.5	8.35	0.032	9.18	0.193	1.005	-0.031
C-3	No.4	8.03	0.069	1.055	0.072	9.20	0.036
	No.5	8.63	-	1.138	-	9.75	-

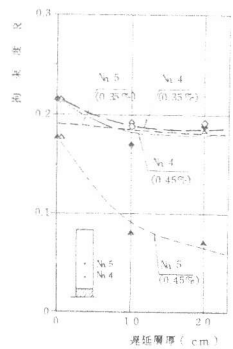
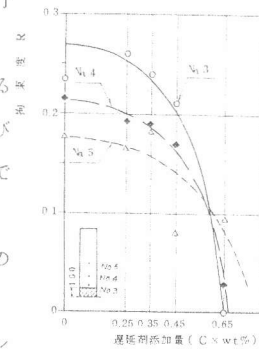


図-8 拘束度と遅延剤添加量との関係

図-9 拘束度と遅延層厚との関係

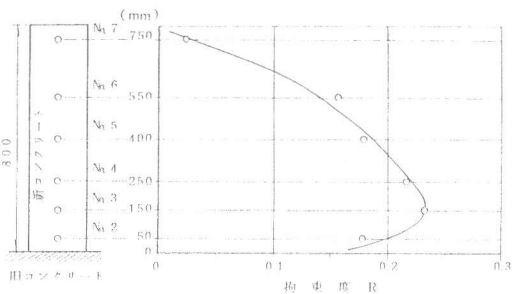


図-10 A供試体における拘束度の分布