

凝結遅延性コンクリートを用いた外部拘束応力の抑制に関する研究

THE REDUCTION OF THERMAL STRESS CAUSED BY EXTERNAL RESTRAINTS WITH A SET-RETARDED CONCRETE

竹下 治之*

By Haruyuki TAKESHITA

In massive concrete structures thermal cracks are caused by external restraints in the vicinity of construction joints between old concrete and new one. This paper discusses the results of investigation performed to reduce such a thermal stress, by placing a layer of extraordinarily set-retarded concrete between them. Experimental study was carried out by changing the dosage of setting retarder for four long specimens. It is indicated from the study how to prevent such thermal cracks with the proposed construction method.

1. ま え が き

近年、コンクリート構造物の大型化に伴い、いわゆるマスコンクリートの温度ひびわれの発生が問題となってきた。この温度ひびわれは、セメントの水和熱の発生によるコンクリートの体積変化が、ある拘束を受けて発生する温度応力によるものであり、これには、新コンクリートの体積変化が岩盤あるいは旧コンクリートなどの隣接構造物により拘束を受ける場合に発生する外部拘束応力と、部材厚が比較的厚く、内外面の温度差による体積変化が内部的に拘束される場合に発生する内部拘束応力との2種類がある。

これらの温度応力の解析および抑制方法については、現在までに数多くの研究がなされてきており、かなりの成果が上がりつつある段階と考えられる。しかし、この温度応力については、若材令時のマスコンクリートの物性値、ひびわれ発生条件、拘束度の評価方法など未解明な点も多く、まだ確実な評価方法あるいは抑制方法は確立されていないのが現状である。

著者らは、このような現状から、これらの温度応力のうち、外部拘束応力を抑制する方法として、新コンクリー

トと拘束物との打継目に凝結遅延剤を添加した凝結遅延性コンクリート（以下、遅延コンクリートと記す。）を打設する温度応力抑制工法について報告した¹⁾。

本論文では、前報告に引続き行った研究のうち、本工法による外部拘束応力の抑制メカニズム、新旧コンクリート間の打継強度、ならびに適正な遅延剤の決定方法などに関する実験的研究結果について報告する。

2. 実験概要

(1) 使用材料および配合

セメントは普通ポルトランドセメント、粗骨材は富士川産川砂利（最大寸法 25 mm, 比重=2.60, FM=6.56）、細骨材は鹿島産川砂（比重=2.60, FM=2.67）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（超遅延剤に属するが、以下、単に遅延剤と記す。）を用いた。コンクリート配合を表一に示す。

(2) 練りませ方法

表一 配合

種 類	スタンブ (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)					
					W	C	S	G	AE減水剤	凝結遅延剤
通常コンクリート	8±1	4±1	49.3	40.5	146	296	757	1114	0.592	0
遅延コンクリート	8±1	4±1	49.3	40.5	146	296	757	1114	0.592	0~1.924
既モルタル	13±1	4±1	37.0	100.0	185	500	1700	0	1.0	0

* 正会員 工修 日本国土開発(株)技術研究所
(〒243-03 神奈川県愛甲郡愛川町中津 4036-1)

遅延コンクリートを製造する場合、加水後から遅延剤を添加するまでの練り置き時間が、その後の凝結遅延特性に大きく影響することが知られている²⁾。本実験では、遅延コンクリートの練りまぜは、以下に行った。

まず、強制練りミキサーに遅延剤を除く全材料を投入し、2分間練りまぜを行った後8分間静置した。その後、遅延剤を所定量添加し、さらに1分間練りまぜた。

なお、この遅延剤は減水性があるため、セメント重量に対し0.1%の遅延剤の添加により、スランプはベースコンクリートの約8cmから約1cm増加した。一方、空気量は遅延剤の添加の前後でほとんど変化がみられなかった。

(3) 遅延コンクリートの凝結特性試験

実験に使用した遅延コンクリートの凝結特性を検討するため、10φ×20cmのテストピースにより圧縮強度試験を行った。なお、テストピースの養生は、供試体の最高温度到達時までの平均養生温度が26.5°Cと推定されるため、26.5±1°C、85±5%RH恒温恒湿室で気中養生を行った。

(4) 供試体

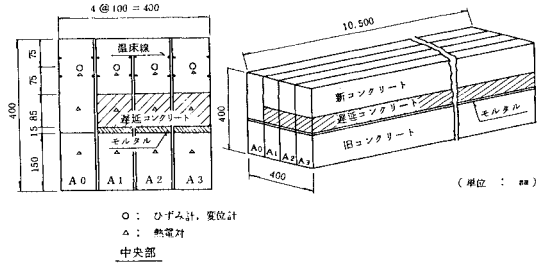
実験に用いた供試体は、図一1に示すような細長い供試体で、底部の旧コンクリートにより上部の新コンクリートが外的に拘束を受けるもので、表一2に示すように遅延剤の添加量を種々変化させ、合計4体の供試体を作製した。

これら供試体の作製には、まず旧コンクリートを打設し、その直後に打継面を粗面にするために遅延剤を散布し、15時間後に高圧水により表面処理を行った。次いで、旧コンクリート打設1か月後に、旧コンクリートとの接着をよくするために表一1に示すモルタルを約15mm敷設した後、旧コンクリートの拘束を緩和する目的で、所定の遅延剤量を添加した遅延コンクリートを新コンクリートに先立って打設し、振動機により締め固めて両者を一体化させた。

各供試体は、温度履歴および養生状態を実際のマス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ルシートおよび断熱材で包囲するとともに、供試体側面に温床線を配置し給熱を行った。また、新コンクリートの自由な体積変化を許容するため、新コンクリート打設時に、型枠と断熱材および各供試体間に薄板を挿入しておき、コンクリートが自立する材令(約4~5時間後)においてこれを引き抜き、新コンクリートと周囲の縁切りを行った。

(5) 遅延剤添加量および遅延コンクリートの層厚

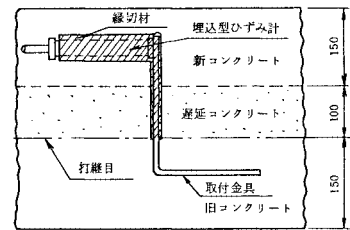
新コンクリートは、打設後最高温度に達するまで膨張し、それ以後は収縮過程に入る。したがって、新コンクリートに対する拘束を緩和するためには、遅延コンク



図一1 供試体

表一2 供試体内容

供試体番号	遅延剤添加量 (C×%)
A 0	0
A 1	0.4
A 2	0.5
A 3	0.65



図一2 変位計設置図

リートは、新コンクリートが収縮過程に入った時期においても十分な変形能力を有するものでなければならない。著者らがこれまで行った研究結果³⁾によると、コンクリートが十分な変形能力を有する限界値は、圧縮強度で約0.8 kgf/cm² (この時期は、まだ振動機により流動化可能) 以下である。

一方、本実験の供試体は、壁厚約1.5mの壁式マスコンクリート構造物をモデル化したものであり、既往の実験結果や現場計測結果によると、このような構造物では、新コンクリートおよび遅延コンクリートの最高温度は材令約1.5日で発生し、その温度変化量はそれぞれ約20°Cおよび15°Cである。本実験では、このような温度変化を調整器を用いて温床線からの給熱をコントロールすることにより、後述する図一6のように、ほぼ初期の予想温度履歴を供試体に与えることができた。なお、給熱パターンは図一6のNo.1~No.3のものとはほぼ同様である。

上記のように、この壁厚1.5mのコンクリート構造物では材令約1.5日で最高温度に達するので、本実験では、遅延剤の添加量を決定するための目標材令として1.5日をカバーするように1, 1.5, 3日とし、遅延コンクリートがこれらの目標材令において、約0.75 kgf/cm²の圧縮強度を有するように遅延剤の添加量を既往の凝結遅延特性試験の結果から決定した。その結果が前述した表一2であり、添加量はセメントに対する重量百分率である。

なお、遅延コンクリートの層厚は、既往の研究結果¹⁾によると約10cm以上あればよいと、モルタルも含

めて 10 cm とした。

(6) 計測項目および方法

図-1 に示すように、各供試体の中央部において温度およびひずみを測定した。使用した計測器は、CC 熱電対温度計および埋込み型ひずみ計(電気抵抗式ひずみ計, KM-100 F, 見掛けの弾性係数=400 kgf/cm², l=100 mm)である。また、各供試体の片側 3 断面においては、新旧コンクリート間の相対変位量を図-2 に示す埋込み型ひずみ計を利用した変位計(測定精度=10⁻³ mm)により測定した。これらの測定は、新コンクリートの打設直後から温度の安定するまで 3 週間行った。

なお、データ解析にあたっては、著者らがこれまでにを行った研究結果⁴⁾に基づき初期値および温度補正を行い実測値を求めた。

3. 実験結果および考察

(1) 遅延コンクリートの凝結特性

遅延コンクリートの凝結特性試験結果を図-3 および図-4 に示す。図-4 の積算温度は、遅延コンクリートに対し著者らが求めた次式⁵⁾により算定した。

$$\text{積算温度 } T^{\circ}T' = T\left(\theta + \frac{20-\theta}{2}\right) \dots\dots\dots (1)$$

ここに、

- T: 加水後の経過時間 (h)
- °T': 遅延コンクリートの仮想養生温度 (°C)
- θ: 平均養生温度 (°C)

後述する各供試体の温度履歴(図-6)から、上式により新コンクリートの最高温度時における遅延コンクリートの積算温度を求め、図-4 より圧縮強度を、さらに、同配合に対して求められた図-5 に示す既往の実験結果⁶⁾から弾性係数を求めると表-3 のようである。

(2) コンクリート温度

A1 のコンクリート温度の経時変化を図-6 に示す。新コンクリートは材令約 1.5 日で最高温度に達し、このときの新コンクリートの温度変化量は約 20°C であり、

遅延コンクリートおよび旧コンクリートの温度変化量は、これよりそれぞれ約 1.5°C および約 5°C 低くなっている。また、コンクリートの温度は約 2 週間で安定する。

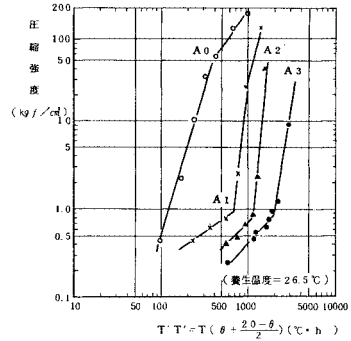


図-4 積算温度と圧縮強度の関係

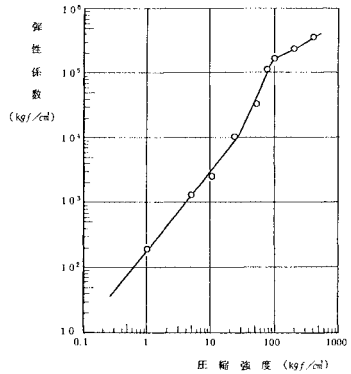


図-5 圧縮強度と弾性係数の関係

表-3 新コンの最高温度時における遅延コンクリートの物性値

模型	積算温度 T°T'(°C·h)	圧縮強度 σc(kgf/cm²)	弾性係数 Ec(kgf/cm²)
A 0	900	150	200,000
A 1	870	9.0	2,500
A 2	850	0.6	90
A 3	800	0.3	40

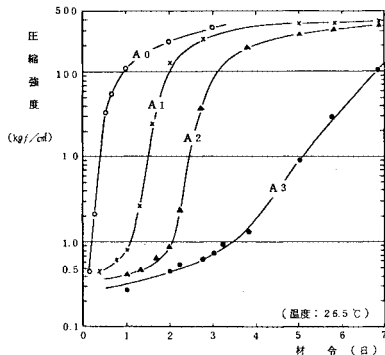


図-3 圧縮強度の経時変化

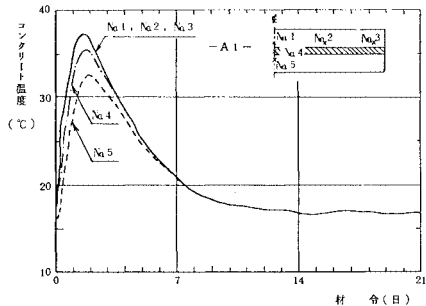


図-6 コンクリート温度の経時変化

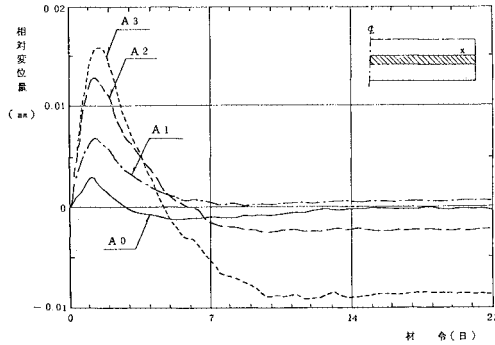


図-7 相対変位の経時変化

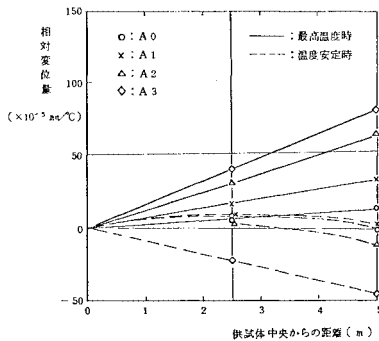


図-8 供試体中央からの距離と相対変位の関係

温度線による給熱により、このような傾向は、他の供試体ともほぼ同様であり、当初予想したような壁厚約1.5 mのマスコングリートの温度履歴をほぼ再現している。

(3) 相対変位

打継部における新旧コンクリート間の相対変位の一例を図-7に示す。各供試体の相対変位は、前述のとおりほぼ同等の温度変化にもかかわらず大きな差を生じており、遅延剤の添加量が多く遅延コンクリートの凝結速度の遅い供試体ほど大きくなっている。また、添加量の多いA3では、最高温度時に膨張を示していた新コンクリートは、温度が安定するとともに収縮に転じ、最終的には新コンクリートは旧コンクリートよりも収縮し短くなっている。このような傾向は、別に行った現場実験でも確認されているが、この理由は明確でなく、今後の検討課題である。また、図-7の相対変位と後述する図-19の発生応力を比較すると、このような相対変位の多少は発生応力と有意な関係にあることがわかる。

供試体中央からの距離と相対変位の関係を図-8に示す。各供試体とも、相対変位量は供試体中央からの距離にほぼ比例して大きくなる傾向があることがわかる。

図-9に新コンクリートの最高温度時における遅延コンクリートの弾性係数と相対変位の関係を示す。対数

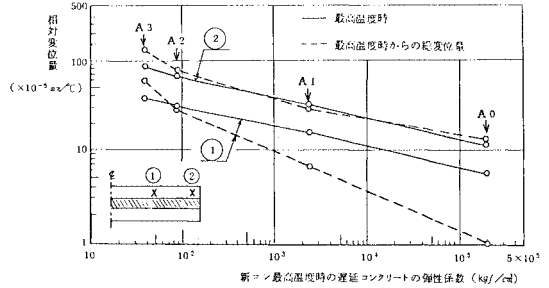


図-9 新コン最高温度時における遅延コンクリートの弾性係数と相対変位の関係

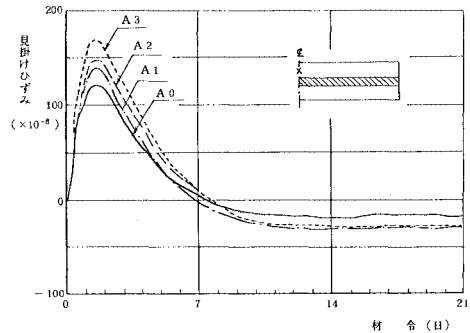


図-10 見掛けひずみの経時変化

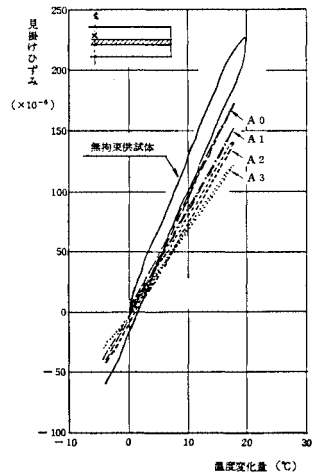


図-11 温度変化量と見掛けひずみの関係

目盛でプロットすると、両者はほぼ直線関係にあるが、この弾性係数の代わりに圧縮強度を用いても、このような関係は全く同様である。

このように、打継部に打設した遅延コンクリートによる比較的大きな相対変位により、新旧コンクリート間の拘束が緩和されて温度応力が軽減されるものと考えられる。

(4) 拘束度

見掛けひずみの経時変化を図-10に、見掛けひずみ

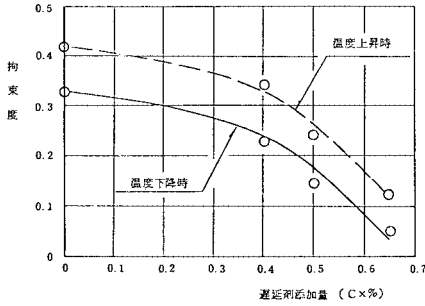


図-12 凝結遅延剤添加量と拘束度との関係

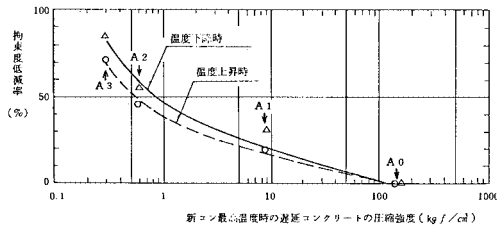


図-13 新コンクリート最高温度時における遅延コンクリートの圧縮強度と拘束度低減率との関係

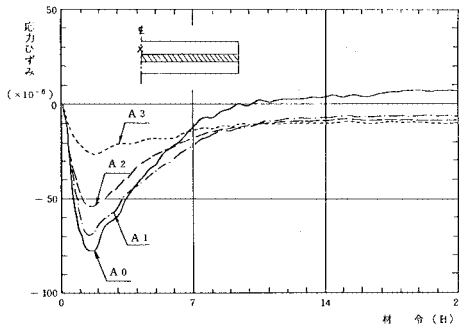


図-14 応力ひずみの経時変化

と温度変化量との関係を図-11に示す。なお、図-11には、別に行った無拘束供試体における見掛けひずみの変化も同時に示す。一般的に、拘束度は次式によって示される⁹⁾。

$$\text{拘束度 } R = \frac{\alpha_f - \alpha_r}{\alpha_f} \dots \dots \dots (2)$$

ここに、

α_f : 無拘束供試体のひずみ変化率 ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)

α_r : 各供試体の見掛けのひずみ変化率 ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)

図-11から求められる α を用いて、式(2)により算定した拘束度と遅延剤添加量との関係を図-12に示す。同図に示されるように、遅延剤添加量の増加とともに拘束度は急激に減少するが、このような傾向は、著者らが以前行った実験結果¹⁾と全く同様である。また、拘束度は温度上昇時の方が温度下降時に比べいくぶん大きい。これは温度上昇時においては、新コンクリートの弾

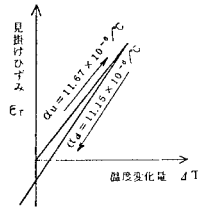


図-15 無拘束供試体の自由膨脹収縮ひずみのモデル化

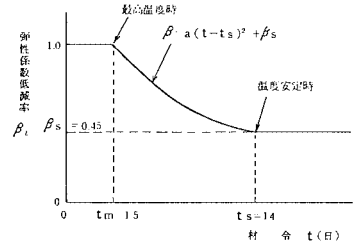


図-16 弾性係数低減率

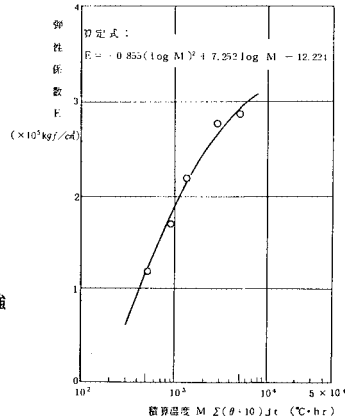


図-17 積算温度と弾性係数の関係

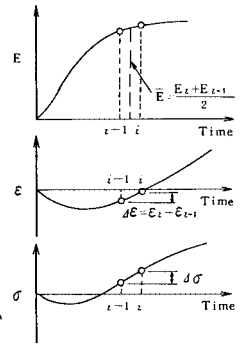


図-18 応力計算方法

性係数がまだ小さいためであると考えられる。このような傾向は、青景ら⁷⁾の実験結果と一致している。

遅延コンクリートの凝結速度の影響を検討するため、新コンクリートの最高温度時における遅延コンクリートの圧縮強度と、次式より求めた拘束度低減率の関係を示すと、図-13のようである。

$$\text{拘束度低減率 } K = \frac{R_{A0} - R_{Ai}}{R_{A0}} \times 100 (\%) \dots \dots \dots (3)$$

ここに、

R_{A0} : 通常工法(供試体A0)の拘束度

R_{Ai} : 各供試体(供試体Ai)の拘束度

同図から、拘束度低減率は遅延コンクリートの圧縮強度の減少とともに急激に増加することがわかる。また、同図より、拘束度を半減させるためには、遅延コンクリートの圧縮強度を約0.7 kgf/cm²に調整すればよいことがわかる。

(5) 発生応力

新コンクリートの発生応力に關する応力ひずみを次式により算定し、その結果を図-14に示す。

$$\begin{aligned} \text{応力ひずみ } \epsilon_s &= \text{有効応力ひずみ } (\epsilon_e) + \text{クリープひずみ } (\epsilon_c) \\ &= \epsilon_r - \alpha \cdot \Delta T \dots \dots \dots (4) \end{aligned}$$

ここに、

ϵ_r : 各供試体の見掛けのひずみ

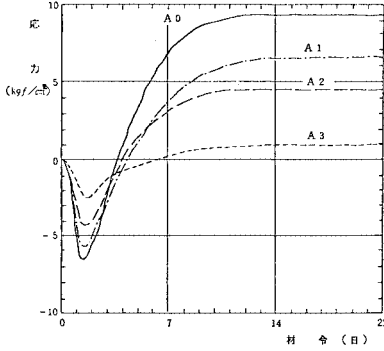


図-19 応力の経時変化

α ：無拘束供試体のひずみ変化率 ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)

ΔT ：温度変化量 ($^{\circ}\text{C}$)

なお、式(4)における無拘束供試体のひずみ変化率は、図-11より図-15に示すようにモデル化した。

また、壁式構造物を対象として求められた背景ら⁷⁾および著者らの実験結果^{11), 12)}をもとに弾性係数低減率 $(1 + \phi)^{-1}$ 、 ϕ ：クリープ係数)を図-16のようにモデル化するとともに、図-17に示す著者らの行った実験結果⁶⁾より各供試体の積算温度から弾性係数を求め、式(4)の応力ひずみから、次式により新コンクリートに発生する応力を算定した(図-18参照)。

$$\sigma_i = \sigma_{i-1} + \beta_i \times \frac{E_i + E_{i-1}}{2} \times (\epsilon_i - \epsilon_{i-1}) \dots \dots \dots (5)$$

ここに、

- σ_i ： i ステップのコンクリートの応力
- E_i ： i ステップのコンクリートの弾性係数
- ϵ_i ： i ステップのコンクリートの応力ひずみ
- β_i ： i ステップのコンクリートの弾性係数低減率

上式から求めた計算結果を図-19に示す。同図から、遅延コンクリートの凝結速度の遅い供試体ほど圧縮および引張応力とも減少しており、本工法により温度応力が大きく軽減されているのがわかる。

また、新コンクリートの最高温度時における遅延コンクリートの弾性係数および圧縮強度と、次式より求めた応力低減率の関係を示すと、それぞれ図-20および図-21のようである。

$$\text{応力低減率 } K' = \frac{\sigma_{A0} - \sigma_{Ai}}{\sigma_{A0}} \times 100 \text{ (\%)} \dots \dots \dots (6)$$

ここに、

- σ_{A0} ：通常工法(供試体A0)の最大圧縮(引張)応力
- σ_{Ai} ：各供試体(供試体Ai)の最大圧縮(引張)応力

両図より、応力低減率は前述した拘束度低減率の場合と同様、遅延コンクリートの弾性係数あるいは圧縮強度と密接な相関関係があり、これらの減少とともに応力低減率は急激に増加することがわかる。また、その抑制効

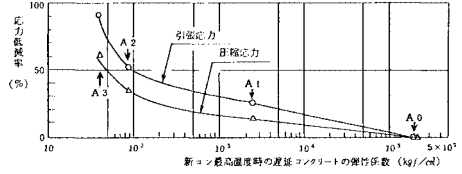


図-20 新コン最高温度時における遅延コンクリートの弾性係数と応力低減率の関係

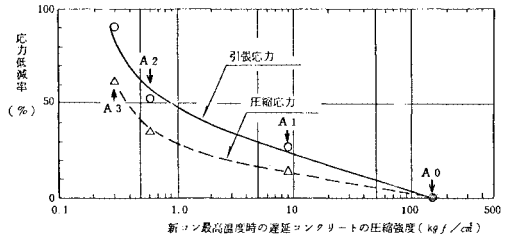


図-21 新コン最高温度時における遅延コンクリートの圧縮強度と応力低減率の関係

果は、圧縮応力よりも引張応力に対する方が顕著であるが、このような傾向は、前述した拘束度低減率の場合と全く同様である。

(6) 打継強度

前述したように本工法によると、遅延コンクリートにより新旧コンクリート間に比較的大きな相対変位が生じ、これが温度応力の緩和に有効であることが示されたが、このような相対変位あるいは遅延コンクリート自身のブリージングの増加などにより、打継部の強度低下が懸念される。

この打継強度を検討するため、各供試体から垂直方向に直径75mmのコアボーリングを行い、これらのテストピースの曲げ強度試験を行ったが、その結果を図-22に示す。

同図は、打継目のない通常コンクリート供試体の曲げ強度に対する各供試体の曲げ強度の比を示すが、各供試

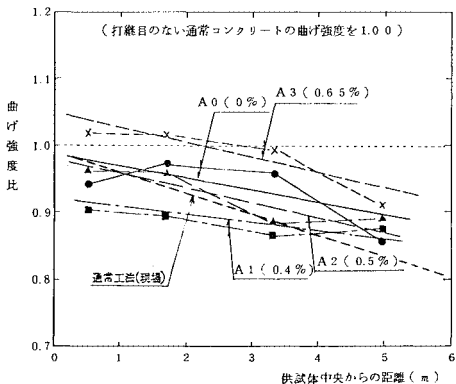


図-22 遅延剤添加量の変化に伴う打継強度の分布

体とも、その打継強度は供試体中央からの距離の増加とともに低下する傾向にある。このような現象は、前述したように、主に供試体中央からの距離の増加に伴う相対変位量の増大に起因するものと考えられる。この点、通常工法および本工法とも、実構造物での打継部の構造強度を考えると、構造上要求される打継強度を有するためには、必然的に打継長さに制限があるものと考えられる。

また、同図より本工法によると、遅延剤添加量の少ないときは、通常工法に比べ打継強度は若干低くなる場合もあるが、通常工法と比較してその強度は大きく下回る値ではなく、破線で示す著者らが行った現場施工例（グリーンカット後、モルタルを敷設し、新コンクリートを打設した重力式土留擁壁）と比較しても、打継強度としてはほぼ満足できる値であると考えられる。

なお、添加量の多い供試体において、曲げ強度比が1以上のものがあるが、これは主に遅延コンクリート自身の強度増加（実験結果では、A3に使用した遅延コンクリートの強度増加は、A0のそれに比べ約1.2倍）に起因するものと考えられる。

(7) 温度応力低減率と目標圧縮強度

本実験の供試体は、実構造物と比べ比較的小規模のものであり、その実用性については限界があると考えられるが、本実験結果から、本工法によって外部拘束応力を低減させる場合、その目標とする応力低減を行うために必要な遅延剤添加量について検討した。すなわち、図13および図21に示す引張応力に対する低減率から、所定の低減率を得るために必要な新コンクリートの最高温度時における遅延コンクリートの目標圧縮強度を求めると、表4のようである。同表によれば、たとえば、外部拘束を受ける構造物の場合、本工法により発生応力を半減させるためには、新コンクリートの最高温度時において、遅延コンクリートの圧縮強度は約0.85 kgf/cm²となるよう凝結速度を遅延剤により調整することとなる。

参考として、限られた本実験の結果からではあるが、外部拘束により温度ひびわれの発生が懸念されるマスコンクリート構造物に対し、本工法を適用し温度ひびわれを防止する際の検討フローを示すと、図23のようになると考えられる。すなわち、解析の結果から、通常工法によると温度ひびわれの発生が懸念される場合は、まず、ひびわれを防止するための目標低減率を設定し、この低減率から、新コンクリートの最高温度時における遅延コンクリートの目標圧縮強度を表4から求める。次いで、対象とする構造物の温度解析結果、あるいは既往の実験結果などから、新コンクリートの最高温度時までの温度履歴を推定し、この温度履歴下のもとに遅延コンクリートの圧縮強度が、この目標圧縮強度となるよう遅

表4 低減率と目標圧縮強度

低減率 (%)	推定圧縮強度 (kgf/cm ²)		(1)+(2)/2 (kgf/cm ²)	目標圧縮強度 (kgf/cm ²)
	(1) 拘束度低減率による値	(2) 応力低減率による値		
0.1	3.4	5.0	4.2	4.0
0.2	1.0	1.5	1.3	1.0
0.3	3.9	4.5	4.2	4.5
0.4	1.7	1.7	1.7	1.5
0.5	0.88	0.85	0.87	0.85
0.6	0.56	0.50	0.53	0.50
0.7	0.40	0.38	0.39	0.40
0.8	0.32	0.31	0.32	0.30
0.9	0.27	0.27	0.27	0.25
1.0	0.21	0.24	0.23	0.20

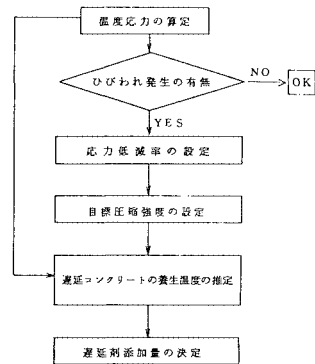


図23 遅延剤添加量の決定フローチャート

延剤添加量を決定すればよい。

ところで、マスコンクリート構造物に発生する温度応力は、よく知られているように、新旧コンクリートの断面積比と剛性比、配合、温度履歴等の種々の要因により異なった性状を示す。

しかるに、ここに述べた本研究結果は、前述してきたように、配合、温度履歴がある条件の下、比較的小規模の供試体による実験から求められたものであり、実構造物への適用性については、当然ながら限界があると考えられる。したがって、本研究結果は、遅延コンクリートを利用して外部拘束応力を抑制する場合の1つの目安として考えるべきものである。

4. 結 論

マスコンクリート構造物の打継部に発生する外部拘束応力を抑制するため、新旧コンクリートの打継目に凝結遅延剤を添加した凝結遅延性コンクリートを打設する温度応力抑制工法に対し、実験的検討を行った結果、以下のようなことが明らかとなった。

(1) 本工法による温度応力の抑制効果は、遅延コンクリートの凝結速度、すなわち、遅延剤の多少に基づく弾性係数、あるいは圧縮強度と密接な関係にある。種々の検討の結果、外部拘束応力を抑制するための遅延コンクリートは、新コンクリートの最高温度時における遅延コンクリートの圧縮強度と関連付けるのが便利であり、配合、温度履歴、供試体寸法等が限定された本実験の結果からではあるが、所定の低減率を達成するためのこの目標圧縮強度を表-4に示した。

(2) 本工法によると、新旧コンクリート間の相対変位量は遅延剤の添加量とともに大きくなり、しかも、供試体中央からの距離にほぼ比例して大きくなる傾向にある。すなわち、このような相対変位量の増加により、温度応力が軽減されるものと考えられる。

(3) 一方、この相対変位量の増加による打継強度の低下は比較的小さく、通常工法とほぼ同等である。また、この打継強度は、供試体中央からの距離にほぼ比例して低下する傾向にある。

(4) 本工法による温度応力抑制効果は、外部拘束により初期に発生する圧縮応力よりも、その後発生する引張応力に対する方が顕著である。

5. あとがき

本論文では、凝結遅延性コンクリートを用いた外部拘束応力の抑制工法に関し、その抑制メカニズム、打継強度および所定の応力低減を行うための目標圧縮強度の決定方法などについて述べた。

しかし、ここに述べた研究結果は、新旧コンクリートの断面積比と剛性比、配合あるいは温度履歴などが限定され、しかも、比較的小規模の供試体による実験結果から求められたものであり、実構造物への適用性については、さらに検討の余地が残されていると考えられる。

したがって、本研究結果は、当面の設計の目安と考えるべきものであり、普遍性のある温度応力抑制工法とするために、今後実績を重ね検討していく必要がある。

なお、本研究を行うにあたって、神戸大学工学部 藤井 学助教授、および日本国土開発(株)技術研究所 近藤時夫博士から貴重なご助言を頂いた。また、同上技術

研究所 浅沼 潔および横田季彦氏に、実験ならびにデータの解析にあたり多大のご協力を頂いた。これらの皆様に厚く御礼申し上げます。

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会論文集，pp.285～288，1984.
- 2) 村田二郎・黒井登起雄・前山光宏：超遅延性混和剤に関する研究，セメントコンクリート，No.385，pp.6～12，1979.
- 3) 竹下治之・浅沼 潔・横田季彦：凝結遅延性コンクリートを用いた打継工法，第6回コンクリート工学年次講演会論文集，pp.21～24，1984.
- 4) 竹下治之・浅沼 潔・横田季彦：マスコンクリート中の計器特性について，第2回マスコンクリートの温度応力発生メカニズムに関するコロキウム論文集，日本コンクリート工学協会，pp.1～8，1984.
- 5) 竹下治之・横田季彦・浅沼 潔：超遅延剤を用いたコンクリートの初期圧縮強度の一推定法について，土木学会第40回年次学術講演会概要集第5部，pp.81～82，1985.
- 6) 竹下治之：マスコンクリートの基礎的物性に関する研究，土木学会論文集，No.348，pp.143～152，1984.
- 7) 青景平昌・前野宏司・伊藤祐二：大断面ボックスカルバートの硬化時温度応力について，第2回マスコンクリートの温度応力発生メカニズムに関するコロキウム論文集，日本コンクリート工学協会，pp.15～20，1984.
- 8) Yamamoto, Y. : Effective use of retarders at horizontal construction joints of concrete structures, Proc. of Japan Society of Civil Engineers, No.310, pp.123～133, 1981.
- 9) 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，No.370，pp.11～17，1977.
- 10) 椎葉大和：超遅延剤を添加したフレッシュコンクリートの物性に関する研究，セメントコンクリート，No.457，pp.5～11，1985.
- 11) 竹下治之・浅沼 潔・横田季彦：ボックスカルバートの温度応力の実測と解析，第8回コンクリート工学年次講演会論文集，pp.57～61，1986.
- 12) 竹下治之・浅沼 潔・横田季彦：コンクリート硬化時の有効弾性係数に関する一考察，土木学会第41回年次学術講演会概要集第5部，pp.383～384，1986.

(1985.8.14・受付)