

超遅延剤を添加したコンクリートの基礎的特性に関する研究

PHYSICAL PROPERTIES OF EXTRAORDINARILY SET-RETARDED CONCRETE

竹下治之*

By Hariyuki TAKESHITA

This paper describes the physical properties of set-retarded concrete. It was pointed out in the previous paper that the extraordinarily set-retarded concrete could reduce the thermal stress in massive concrete. Further experimental works were carried out to investigate the influences of the following variables to the set-retarded concrete properties: types, dosages, and addition time of retarders, and curing temperature. The following properties of this concrete were obtained through this study: setting and hardening characteristics, durability, bond strength at joints, and estimation method on the early compressive strength.

Keywords: retarder, set-retarded concrete, physical properties, bond strength, early compressive strength

1. まえがき

近年、建設技術の発展に伴い、コンクリート技術に対しても、その品質の向上のために種々の要求が課されており、その一環として急速に進展してきた混和剤の存在がある。このうちの1つに、超遅延剤（以下、遅延剤と略記）があるが、この混和剤を添加し製造した凝結遅延性コンクリート（以下、遅延コンクリートと略記）は、遅延剤の添加量を加減することにより、任意に凝結速度を調整することが可能であり、この特性を利用して、コールドジョイントの発生防止、暑中コンクリートや流動化コンクリートのスランプロスの低減、マスコンクリートの水和熱の抑制、スリップフォーム工法などにおける新旧コンクリートの一体化^{1), 2)}、さらには連続打設作業を行う工事での夜間作業廃止による労働条件の改善^{1), 2)}といった面からも注目されており、今後、この混和剤の使用範囲はますます拡大していくものと思われる。

一方、著者らはマスコンクリート構造物に発生する温度応力のうち、図-1(a)に示すように、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遅延コンクリートを打設する温度応力抑制工法に

ついて報告したが^{3)~5)}、このほか、図-1(b)に示すように、内部拘束応力の発生する構造体に対しても、部材内部にこの遅延コンクリートを打設することにより、この温度応力を大幅に低減できることを確認している⁶⁾。

この遅延コンクリートの基礎的特性のいくつかの項目に関しては、文献1), 2), 7)~9)などにその実験結果が報告されているが、この遅延コンクリートの凝結速度を適切に調整して、これを前述したような温度応力抑制工法に適用するためには、まだ未解明な点も多く、その凝結および物理的特性については十分検討する必要がある。

本研究では、このような観点から、この遅延コンクリー

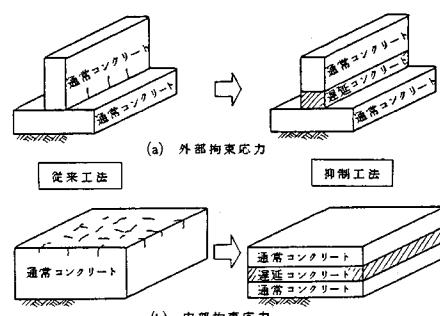


図-1 遅延コンクリートを用いた温度応力抑制工法

* 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)

表-1 遅延剤添加量

Tシリーズ	Rシリーズ		
試験番号	添加量(%)	試験番号	添加量(%)
T0	0	R0	0
T1	0.2	R1	0.3
T2	0.3	R2	0.36
T3	0.4	R3	0.42

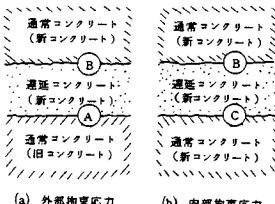


図-2 温度応力抑制工法における打継型式

トを本温度応力抑制工法に適用する場合の主な問題点について実験的に検討を行ったものである。実験では、まず遅延剤の種類と凝結特性の関係および遅延剤の添加時期が凝結特性に及ぼす影響について検討した。次いで、遅延コンクリートの基礎的特性として、ブリージング、圧縮および曲げ強度、凍結融解抵抗性のほか、遅延コンクリートと遅延剤を添加しない通常コンクリートとの打継強度について検討した。また、所定の凝結速度を保持させるに必要な遅延剤添加量を決定することを目的として、遅延剤添加量および養生温度を種々変化させた遅延コンクリートの圧縮強度試験を行い、遅延コンクリートの初期圧縮強度の推定方法を検討した。

2. 試験概要

(1) 試験内容

本研究では、前述したように、温度応力抑制工法に適用する遅延コンクリートを対象に、その凝結特性および物理的特性を把握することを目的として、次下のような実験的検討を行った。

a) 遅延剤の種類が凝結特性に及ぼす影響（試験Ⅰ）

遅延剤の種類が遅延コンクリートの凝結特性に及ぼす影響を検討するため、遅延剤としてT(オキシカルボン酸塩)とR(ポリオール複合体), AE減水剤としてS(Tと同系列)とN(リグニンスルフォン酸塩とポリオール複合体)を使用し実験を行った。これらの混和剤は、次のように組み合わせて使用した。すなわち、TとSの組合せ(Tシリーズ)およびRとNの組合せ(Rシリーズ)に対して、それぞれの遅延剤添加量を表-1に示す4種に変化させた。凝結特性は、後述するプロクターベイク抗圧試験および初期圧縮強度試験により比較検討した。

表-2 打継強度試験用供試体

シリーズ	試験番号	添加量(%)、または 打継面処理方法
-	基準	0(一休物)
A	1	0.25
A	2	0.35
B	3	0.45
C	4	0.65
A	5	0.45、モルタル 塗布(W/C=0.5)
D	1	水道水で洗浄
D	2	同上+モルタル塗布 (W/C=0.5)
D	3	旧コンクリート後遅延剤を散布 タッピングと水道水で洗浄
D	4	旧コンクリート後遅延剤を散布 高圧水により洗浄
D	5	高压水で洗浄
D	6	同上+モルタル塗布 (W/C=0.5)

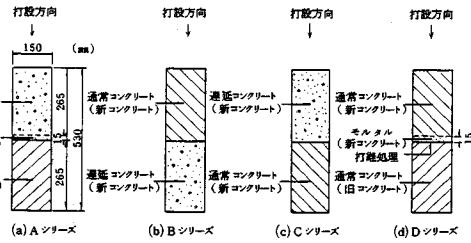


図-3 打継強度試験用供試体

b) 遅延剤の添加時間が凝結特性に及ぼす影響（試験Ⅱ）

遅延剤の添加時期が遅延コンクリートの凝結特性に及ぼす影響を明らかにするため、前記混和剤の組合せのうち、TとSの組合せについて検討した。遅延剤添加量はセメント重量に対し0.5%とし、添加時期は加水後0(同時添加)、3, 10, 30, 60分の5種類とした。供試体は所定の養生を行った後、初期圧縮強度試験を実施し凝結特性の相違を検討した。

c) 遅延コンクリートの基礎的特性に対する検討（試験Ⅲ）

本試験では、前述したTとSの組合せで表-4の配合を用い、遅延コンクリートのブリージング、圧縮および曲げ強度、凍結融解抵抗性について検討を行った。また、本研究で対象としている温度応力抑制工法においては、図-2に示すA, B, C 3種類の打継型式が存在するが、これらの打継部においては、凝結速度の相違やブリージングの影響などにより、打継強度の低下が懸念される。これを検討するため、図-2の3種類の打継部をモデル化した供試体(A, B, C)のほか、従来の打継方法(D)による打継強度との比較を行うため、図-3に示す4シリーズの供試体により、その打継強度を比較検討した。各シリーズの供試体の一覧を表-2に示す。

供試体の作成は、図-3に示すように、それぞれ15×15×53 cmの角柱型枠を縦形に使用し、以下に示すように行った。すなわち、Aシリーズでは、図-3(a)に示すように、まず型枠の1/2の高さまで遅延剤を添加しない通常コンクリートを打設し、表面に遅延剤を散布した後、1日後に高圧水で洗浄し表面処理を行った。そして、1週間養生した後、上部に所定の遅延コンクリートを打設し、十分に締め固めた。なお、No.5では、遅延コンクリートの打設に先立ち、遅延剤を添加しない通常のモルタルを15 mm敷設した。Bシリーズでは、図-3(b)に示すように、まず型枠の1/2の高さまで所定の遅延コンクリートを打設した後、上部に通常コンクリートを打設し、両者を同時に締め固めた。Cシリーズでは、図-3(c)に示すように、まず型枠の1/2の高さまで通常コンクリートを打設した後、上部に遅延コンクリートを

表-3 使用材料

試験番号	セメント	粗骨材		細骨材		混和剤	
		玄武岩	F.M.比重	玄武岩	F.M.比重	A.E.減水剤	遅延剤
試験 I 普通セメント ランダム	東京	2.67	2.60	鹿児島	6.54	2.59	*オキシカルボン酸塩(S) *リグジンカルボン酸塩と ポリオール複合体(N) *ポリオール複合体(R)
試験 II	~	~	~	富士川	6.56	2.60	*オキシカルボン酸塩 *オキシカルボン酸塩
試験 III	~	~	~	富士川	2.71	2.63	~
試験 IV	~	~	~	鹿児島	6.54	2.59	~

表-5 練りませ方法

試験番号	使用ミキサ	攪拌時間 (min)	遅延剤の 添加時間 (加水後) (min)	再攪拌時間 (min)
試験 I 100%強制振り	2	10	1	
試験 II 30%振式	3	0~60	1.5	
試験 III 100%強制振り	2	10	1	
試験 IV 30%振式	3	10	1.5	

打設し、両者を同時に締め固めた。これらの各シリーズでは、凝結速度を変化させるために、それぞれ遅延剤の添加量を表-2に示す4種類に変化させて試験を行った。

また、これらの供試体と従来の打継方法による供試体の打継強度との比較を行うため、図-3(d)に示すように、まず型枠の1/2の高さまで通常コンクリートを打設した後、1日後に表-2に示す打継面処理を行い、その上部に通常コンクリートを打設した。これらの4シリーズの打継強度は、後述する打継強度試験方法により検討した。

d) 遅延コンクリートの初期圧縮強度推定方法に対する検討（試験IV）

遅延コンクリートの強度発現は、セメントの種類と銘柄、遅延剤の種類、添加量および添加時期、練りませ方法、養生温度などにより変化する。中でも特に、遅延剤添加量および養生温度の影響が顕著である。また、この遅延コンクリートを温度応力抑制工法に適用する場合には、実施工時の養生温度を推定し、所定の遅延効果を付与させるに必要な遅延剤の添加量を決定することが重要な問題となってくる。

したがって、本試験では、遅延コンクリートの初期圧縮強度の推定式を算定することを目的として、遅延剤添加量および養生温度を種々変化させて初期圧縮強度を検討した。遅延剤添加量は、セメント重量の0, 0.3, 0.5, 0.6%の4種類、養生温度は10, 20, 30, 40°Cの4種類の気中養生とし、後述する初期圧縮強度試験により各供試体の圧縮強度を求めた。

(2) 試験方法

a) 使用材料および配合

各試験に使用した材料および配合を、それぞれ表-3および表-4に示す。

b) 練りませ方法

表-4 配合

試験番号	セメント (kg/m³)	空気量 (%)	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m³)					
					水	セメント	細骨材	粗骨材	A.E.減水剤	遅延剤
試験 I	3.0±1	4.1±1	49.3	40.5	146	296	757	1114	0.592	0~1.184(T) 0~1.243(R)
試験 II	3.0±1	4.1±1	49.3	40.5	146	296	757	1118	0.592	1.480
試験 III	3.0±1	4.1±1	50.0	43.7	164	328	801	1031	0.656	0~2.132
試験 IV	3.0±1	4.1±1	49.3	40.5	146	296	757	1114	0.592	0~1.776

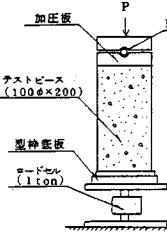


図-5 打継強度試験方法

図-4 初期圧縮強度試験方法

表-6 養生方法

試験番号	試験内容	養生方法
試験 I	凝結特性	所定材令まで20°C, 85%RH気中養生
試験 II	添加時期	所定材令まで30°C, 85%RH気中養生
試験 III	ブリージング	所定材令まで30°C, 60%RH気中養生
	圧縮・曲げ	0~7日まで30°C, 85%RH気中養生し、脱型後7~28日まで20°C水中養生
	凍結融解	0~4日まで30°C, 85%RH気中養生し、脱型後4~17日まで20°C水中養生
	打継強度	0~7日まで30°C, 60%RH気中養生し、脱型後7~28日まで20°C水中養生
試験 IV	強度推定期	10, 20, 30, 40°Cの4種類で、85%RH気中養生

各試験における練りませ方法を表-5に示す。

c) 各種試験方法

i) ブリージング試験

JIS A 1123に基づいて試験を行った。

ii) 凝結特性試験

a) プロクター貫入抵抗試験

ASTM C 403-70に基づいて試験を行った。

b) 初期圧縮強度試験

圧縮強度が約10 kgf/cm²以下の若材令時における初期圧縮強度試験は、図-4に示す装置でJIS A 1108に準じて行った。なお、テストピースの作成にあたっては、型枠の脱型を容易にするために、10φ×20 cmの円柱型枠の内側に薄い油紙を挿入しコンクリートを打設後、試験時にこれを取り除き、型枠底版はセットしたまま圧縮強度試験を実施した。

c) 圧縮および曲げ強度試験

圧縮強度が10 kgf/cm²を越える場合の圧縮強度試験、および曲げ強度試験は、それぞれJIS A 1108およびJIS A 1106に基づき試験を行った。

iii) 凍結融解試験

遅延コンクリートの凍結融解抵抗性を検討するため、10×10×40 cmの角柱供試体を使用し、ASTM C 666に準じて凍結融解試験を行った。

IV) 打継強度試験

打継強度は、図-5に示すように、材令28日でJIS A 1106に準じて曲げ強度試験により検討した。

d) 養生方法

各試験における供試体の養生は、対象とするコンクリートがマスコンクリートであるということを考慮して、表-6に示すように行った。なお、表中で30°Cを養生温度の主体としたのは、この遅延コンクリートが打継目に打設される場合は、最高温度到達までの平均養生温度がこの前後の温度で養生される場合が多いことを考慮したものである。

3. 試験結果および考察

(1) 遅延剤の種類が凝結特性に及ぼす影響

表-7に、遅延剤の添加前後におけるフレッシュコンクリートのスランプと空気量の測定結果を示す。同表より、スランプは、遅延剤の減水効果によって、添加量の増加に伴い増大する傾向にあるが、空気量はほとんど変化しないことがわかる。

図-6にTおよびRシリーズの圧縮強度の経時変化を、図-7に同シリーズにおけるプロクター貫入抵抗値の経時変化を示す。図-6からわかるように、Rシリーズでは、初期圧縮強度発現に対し遅延剤添加量の影響はあまり顕著ではないが、Tシリーズに比べ強度発現が著しく長時間抑制される傾向にある。一方、Tシリーズでは、初期強度発現は遅延剤添加量の影響を比較的大きく受けるが、約0.5 kgf/cm²の強度発現後は、遅延剤を添加しない通常コンクリートとほぼ同様な強度発現傾向を示す。遅延剤の相違によるこのような強度発現傾向は、図-7のプロクター貫入抵抗試験結果では、より顕著となっていることがわかる。

図-8に遅延コンクリートのプロクター貫入抵抗値と圧縮強度との関係を示す。同図より、同一圧縮強度に対する貫入抵抗値は、遅延剤の種類により大きな差が生じることがわかる。一般的には、凝結特性試験としては、プロクター貫入抵抗試験方法が活用されているが、この方法ではコンクリートのスクリーニングが必要なほか、初期圧縮強度試験方法に比べ、その試験の性格上、人的誤差や計器誤差が生じやすいと考えられる。このような理由から、以下の各試験では、その凝結特性は初期圧縮強度試験方法により行った。

また、以下の各試験における遅延剤は、遅延コンクリートの強度発現傾向が通常コンクリートのそれにより類似しているTを選定し使用した。

(2) 遅延剤の添加時期が凝結特性に及ぼす影響

遅延剤の後添加時間と圧縮強度との関係を図-9に示す。同図より、所定の圧縮強度を得るために必要な加水

表-7 フレッシュコンクリートの測定結果

試験番号	最高温 (°C)	スランプ(cm)	空気量(%)	
			添加前	添加後
T0	22.0	8.0	-	4.2
T1	21.5	8.5	11.0	4.1
T2	22.0	9.0	11.8	4.5
T3	22.0	8.0	12.0	4.6
R0	21.5	8.5	-	3.9
R1	21.0	8.5	10.5	4.1
R2	22.0	9.0	12.5	4.1
R3	21.5	8.5	13.0	4.0

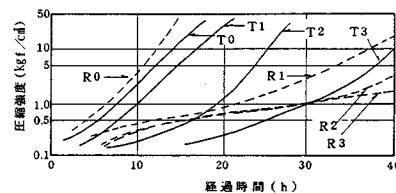


図-6 圧縮強度の経時変化

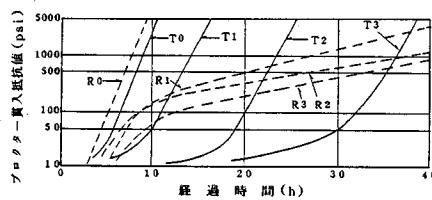


図-7 プロクター貫入抵抗値の経時変化

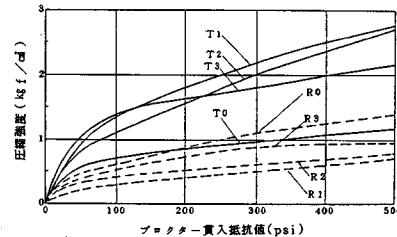


図-8 プロクター貫入抵抗値と圧縮強度との関係

後からの経過時間を求め、これと遅延剤の後添加時間との関係を示すと図-10のようである。両図より、遅延剤の後添加時間によって、遅延コンクリートの凝結速度が大きく異なることがわかる。すなわち、同時添加または練りまぜ直後に添加した場合は、遅延効果が大幅に減少するが、後添加時間が10分以上ではほぼ同等な遅延効果が得られる。このような傾向は、遅延コンクリート製造に関する村田ら⁷⁾の実験においても認められているが、高性能減水剤あるいは流動化剤適用の場合の流動効果とほぼ同様な現象によるものと考えられる⁷⁾。なお、このような結果から、表-5に示したように他の試験では、実施工における遅延コンクリートの安定供給を考え、生コンプレントでトラックアジテータに遅延剤を後添加し、高速攪拌により遅延コンクリートを製造することと

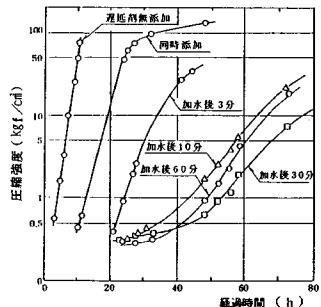


図-9 選延剤の添加時期が凝結特性に及ぼす影響

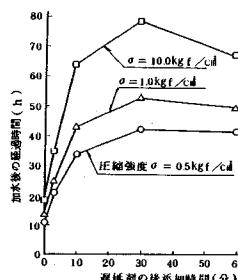


図-10 必要な強度を得るための加水後の経過時間

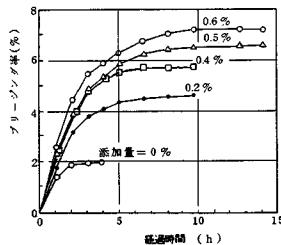


図-11 プリージングの経時変化

し、選延剤の添加時期は加水後 10 分とした。

(3) 選延コンクリートの基礎的特性

a) プリージング

選延剤添加量とプリージング率との関係を図-11 に示す。プリージング率は、添加量とともに増加する傾向を示し、本試験では、添加量が 0.6% の場合、通常コンクリートに比べ約 3.5 倍となった。このようなプリージングの増大は、後述する諸強度、凍結融解抵抗性あるいは打継強度などに悪影響を及ぼすことが懸念されるが、これを検討するため以下の試験を行った。

b) 圧縮および曲げ強度

表-8 に、選延剤添加量が異なる場合の圧縮および曲げ強度試験結果を示す。また、通常コンクリートの 28 日強度を 1.0 とした場合の圧縮強度比の経時変化を図-12 に示す。これらの図表より、選延コンクリートは、添加量の増加とともに短期強度は減少する傾向にあるが、添加量が 0.6% 以下の場合は、材令 14 日以上においては通常コンクリートとほぼ同等以上の強度となることがわかる。すなわち、この程度の添加量の場合においては、選延コンクリートの初期強度発現は一時的に阻害されるものの、以後の強度発現に対してはまったく問題がないといえる。一般的に、プリージングが多くなると強度は低下するといわれているが、前述したように、選延コンクリートはプリージングが多くなるにもかかわらず、このように強度が向上するのは、凝結選延作用により水和反応が十分に行われ、より強固なセメントゲルが形成されるためと考えられる¹⁰⁾。なお、このような結果は、文献 2) や 9) の実験結果とほぼ同様である。

c) 凍結融解抵抗性

凍結融解試験から得られた相対弾性係数および重量減少率と凍結融解サイクル数との関係を、それぞれ図-13 および図-14 に示す。両図より、通常コンクリートと比較すると、選延コンクリートの相対弾性係数は幾分大きく、重量減少率は小さくなる傾向にあり、選延コンクリートの凍結融解抵抗性は、通常コンクリートに比べ向

表-8 圧縮および曲げ強度試験結果

添加量 (%)	圧縮強度				曲げ強度
	3日	7日	14日	28日	
0	2.70	3.45	3.69	3.97	5.64
	0.68	0.87	0.93	1.00	1.00
0.2	2.10	3.26	4.01	4.21	5.65
	0.53	0.82	1.01	1.06	1.02
0.4	1.63	3.22	4.09	4.37	5.48
	0.41	0.81	1.03	1.10	0.99
0.5	4.0	2.78	4.13	4.29	6.20
	0.10	0.70	1.04	1.08	1.12
0.6	0	1.51	3.41	3.85	6.26
	0	0.38	0.86	0.97	1.13

(注1) 単位: kgf/cm²

(注2) 下段は通常コンクリートの 28 日強度に対する比率

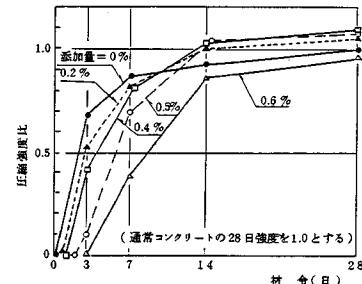


図-12 圧縮強度比の経時変化

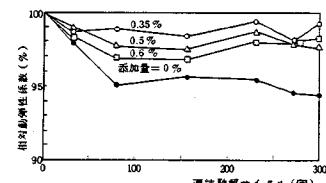


図-13 凍結融解サイクルと相対弾性係数との関係

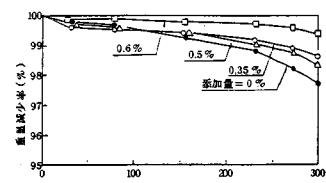


図-14 凍結融解サイクルと重量減少率との関係

上することがわかる。

しかるに、前述したように、遅延コンクリートはブリージングが増加し、その結果、通常コンクリートに比べ、ブリージングの水みちである毛細管がより発達していると考えられるが、実用上は、このような微細な毛細管は、その後に浸水されても完全に水で飽和されるものではなく、一部は気泡として残存し¹¹⁾、しかも、前述したような強度の増加とも相まって、凍結融解作用に対する抵抗性が向上したものと考えられる。

d) 打継強度

表-9に、各シリーズにおける打継供試体の曲げ強度試験結果を示す。同表より、AおよびCシリーズ、すなわち、通常の旧コンクリートの上に遅延コンクリートを打ち継いだ場合は、ほぼ一体物と同様な打継強度を有することがわかる。一方、遅延コンクリート上に通常の新コンクリートを打ち継いだBシリーズでは、一体物に比べ若干打継強度が低下する傾向にあり、最大約7%の強度低下を示した。この原因としては、遅延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たためと考えられるが、その打継強度は、通常の打継方法Dシリーズと比較するとほぼ同程度であり、実用上十分な打継強度を有すると考えられる。

表-9 打継供試体の曲げ強度試験結果

シリーズ	試験番号	曲げ強度(%)、または 打継面処理状態(kgf/cm)	曲げ強度比
- 基準	0 (一体物)	5.6.9	1.00
A	1	0.25	5.3.5 : 0.94
	2	0.35	5.6.3 : 0.99
	3	0.45	5.5.2 : 0.97
	4	0.65	5.6.9 : 1.00
	5	0.45	6.3.7 : 1.12
B	1	0.25	5.3.2 : 0.93
	2	0.35	5.3.7 : 0.94
	3	0.45	5.2.9 : 0.93
	4	0.65	5.2.8 : 0.93
C	1	0.25	5.7.5 : 1.01
	2	0.35	5.5.5 : 0.98
	3	0.45	5.5.4 : 0.97
	4	0.65	5.8.5 : 1.03
D	1 レイクス除去できない	2.0.5	0.36
	2 同 上	2.5.0	0.44
	3 レイクス除去され表面は凹凸	5.4.1	0.95
	4 同 上	5.9.2	1.04
	5 レイクス除去には時間要す	5.0.6	0.89
	6 同 上	5.3.5	0.94

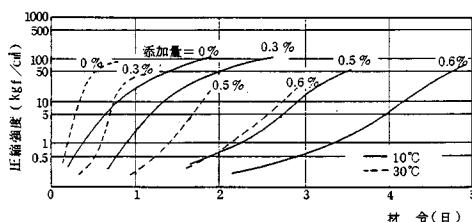


図-15 圧縮強度の経時変化

このように、遅延コンクリートを用いた温度応力抑制工法における3種類の打継部の強度は、旧コンクリートの打継面において、従来の打継方法と同様な打継処理を行えば、実用上十分な強度を保持することがわかる。

(4) 遅延コンクリートの初期圧縮強度推定方法

図-15に、養生温度が10°Cおよび30°Cの場合の初期圧縮強度試験結果を示すが、養生温度により強度発現は大きく異なることがわかる。笠井は、養生温度の異なる通常コンクリートの初期圧縮強度を、次に示す仮想養生温度を用いて推定する方法を示している¹²⁾。

$$F_c = 0.01 \cdot f_c \cdot F_{1440} \quad (1)$$

ここで、 $f_c = a [T \cdot T']^n = a [T \cdot (\bar{t} + \alpha)]^n$

F_c ：コンクリートの初期圧縮強度 (kgf/cm²)

F_{1440} ：1440 T · T' (20°C 養生、材令3日に相当)

における圧縮強度 (kgf/cm²)

f_c ：初期圧縮強度百分率 (%)

T ：加水後の経過時間 (h)

T' ：仮想養生温度 = $\bar{t} + \alpha$ (°C)

\bar{t} ：コンクリートの平均養生温度 (°C)

α ：養生温度の仮想原点で、 $\alpha = |\bar{t} - 20| / m$ (°C)

m ：養生温度により定まる定数で、

$0^\circ\text{C} < \bar{t} < 20^\circ\text{C}$: $m = 5$

$20^\circ\text{C} \leq \bar{t} \leq 40^\circ\text{C}$: $m = 2$

a, n : 実験定数 (セメントの種類、混和剤の種類別)

上式より求めた積算温度 $T \cdot T'$ と圧縮強度の関係を示すと、図-16のようである。同図に示されるように、遅延剤を添加しない場合はともかくとして、これを添加した遅延コンクリートに対しては、その強度発現を $T \cdot T'$ で整理することは困難である。特に、添加量が多くなるとばらつきが大きくなる傾向にある。

このため、上式の仮想養生温度 $T = \bar{t} + \alpha$ の補正項 α について種々検討を行った結果、遅延コンクリートの仮想養生温度は、次式により算定するのが妥当であることがわかった。

$$T' = (\bar{t} + \alpha') = \left(\bar{t} + \frac{20 - \bar{t}}{2} \right) \quad (2)$$

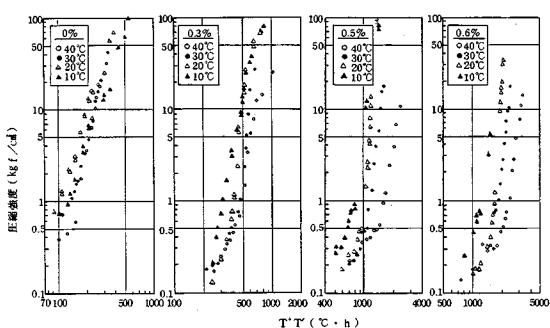


図-16 圧縮強度と $T \cdot T'$ の関係

ここに、 T' ：遅延コンクリートに対する仮想養生温度($^{\circ}\text{C}$)

α' ：遅延コンクリートに対する養生温度の仮想原点で、 $\alpha' = (20 - \bar{t})/2$

上式の α' は、遅延コンクリートの 20°C における圧縮強度を基準として、その前後の養生温度におけるデータを 20°C のデータに近づけるように種々検討した結果、得られたものである。 $T' = (\bar{t} + \alpha')$ として $T \cdot T'$ を算定し、本試験結果を整理すると図-17のようであり、ばらつきが小さくなることがわかる。

笠井の推定式は、加水後3,4時間後から3日後(20°C)までのコンクリート強度を対象としたものである。一方、本研究で対象としている温度応力抑制工法に適用する遅延コンクリートは、その施工管理上問題となる圧縮強度は、一般的に、 $0.5\sim10\text{ kgf/cm}^2$ 程度の比較的低い値である。このため、笠井の場合に比べ、基準強度は小さい値の方が誤差が少なくなることのほか、現場における利便性を考慮し、圧縮強度を推定する際の基準強度として笠井の F_{1440} に対し、 σ_{480} (20°C 養生、材令1日の圧縮強度)を採用した。

この基準強度 σ_{480} (本試験では 70 kgf/cm^2)に対する各試験値の圧縮強度百分率 f_c と積算温度 $T \cdot T'$ との関係を示すと図-18のようである。

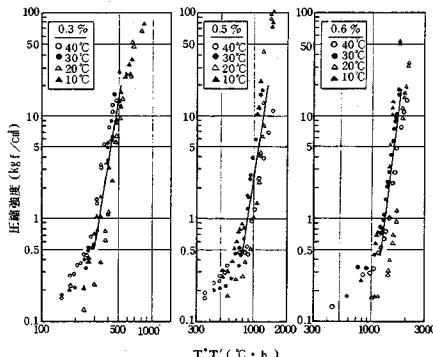


図-17 圧縮強度と $T \cdot T'$ との関係

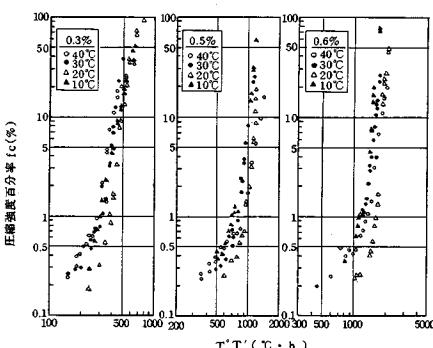


図-18 圧縮強度百分率 f_c と $T \cdot T'$ との関係

表-10 n および $\log a$

p (%)	n	Log a
0	4.43	- 9.28
0.3	7.90	- 19.82
0.5	10.02	- 29.47
0.6	11.08	- 34.52

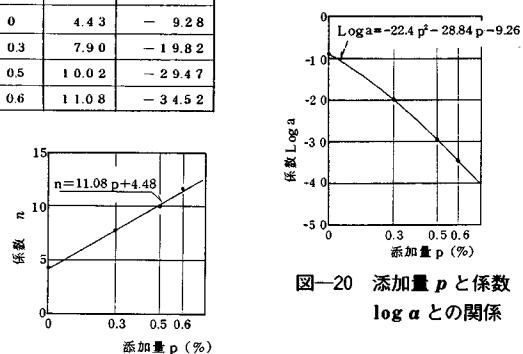


図-19 添加量 p と係数 n との関係

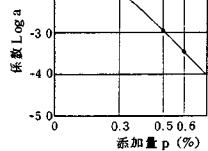


図-20 添加量 p と係数 $\log a$ との関係

しかし、前述したように、ここで対象としている圧縮強度の範囲は $0.5\sim10\text{ kgf/cm}^2$ 程度であり、これに対し通常コンクリートの 20°C 養生、材令1日における圧縮強度は約 $50\sim100\text{ kgf/cm}^2$ 程度であるから、基準強度に対する遅延コンクリートの圧縮強度百分率は約 $0.5\sim20\%$ 程度となる。したがって、図-18にみられるように、圧縮強度百分率がこの範囲においては、 f_c と $T \cdot T'$ との間には近似的に直線関係が認められる。この両者の関係は、一般的に次式によって示される。

$$\log f_c = A \cdot (\log T \cdot T') + B$$

よって、

$$f_c = a \cdot (T \cdot T')^n \quad \dots \dots \dots (3)$$

ここに、 $a = 10^B$, $n = A$

いま、図-18の各添加量に対し、係数 n および a の対数値を求める表-10のようであり、これらと遅延剤添加量の関係を求める図-19および図-20のようである。したがって、遅延コンクリートの初期圧縮強度は、次式によって示される。

$$\sigma_c = 0.01 \cdot f_c \cdot \sigma_{480} = 0.01 \cdot 10^B \left[T \cdot \left(\bar{t} + \frac{20 - \bar{t}}{2} \right) \right]^n \cdot \sigma_{480} \quad \dots \dots \dots (4)$$

ここに、

$$B = -22.40 p^2 - 28.84 p - 9.26$$

$$n = 11.08 p + 4.48$$

σ_c ：遅延コンクリートの初期圧縮強度(kgf/cm^2)

f_c ：遅延コンクリートの初期圧縮強度百分率(%)

p ：遅延剤のセメント重量に対する添加量(%)

T ：加水後の経過時間(h)

\bar{t} ：遅延コンクリートの平均養生温度($^{\circ}\text{C}$)

σ_{480} ：通常コンクリートの 20°C 養生、材令1日の圧縮強度(kgf/cm^2)

式(4)より推定した値と試験値との比較の一例を図

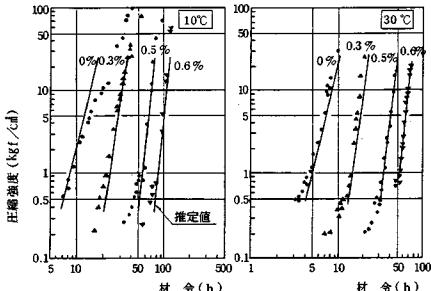


図-21 推定値と試験値との比較

-21に示す。同図に示されるように、ここで対象としている圧縮強度 $\sigma_c = 0.5 \sim 10 \text{ kgf/cm}^2$ の範囲においては、推定値と試験値は比較的よく一致しており、上式により遅延コンクリートの初期圧縮強度の概略値を推定することが可能であると考えられる。したがって、実際の遅延コンクリートの配合設計にあたっては、施工時の遅延コンクリートの初期養生温度を推定すれば、式(4)から必要な遅延剤添加量を試算し決定することができる。

ただし、本試験の結果は普通ポルトランドセメントとオキシカルボン酸塩系遅延剤を使用した場合の実験結果から求められたものであり、本推定式の適用範囲は、このような場合に限定されることに留意する必要がある。また、一般的には、セメントの凝結特性は、その銘柄や産地などによってかなり大きく変化する場合があることが知られており、このことからも式(4)は、遅延コンクリート初期圧縮強度の概略値の推定式と考えるべきものであり、適用にあたっては必要に応じ試験練りを行い、その凝結特性を確認する必要がある。

4. 結 論

本研究では、著者らが提案している遅延コンクリートを利用した温度応力抑制工法に、この遅延コンクリートを適用する場合の主な問題点に対して、普通ポルトランドセメントとオキシカルボン酸塩系遅延剤およびポリオール複合体系遅延剤を添加した遅延コンクリートを用いて、実験的に検討を行った。

限られた実験結果からではあるが、本実験の範囲において、以下のような結論が得られた。

(1) 遅延剤の種類によって、凝結特性がかなり異なる場合がある。2種類の遅延剤を使用した今回の試験では、特に初期における強度発現に大きな相違がみられた。また、遅延剤の種類によって、プロクター貫入値と圧縮強度の関係はかなり異なる場合があり、本工法に適用する遅延コンクリートの凝結・硬化速度の管理は、実用性なども考慮すれば圧縮強度による方が好ましいと考えら

れる。

(2) 既往の文献にみられるように、遅延剤の添加時期により、遅延コンクリートの凝結特性は大きく異なる。すなわち、同時添加または練りませ直後に後添加した場合は、遅延効果はかなり低下する。しかしながら、加水後10分以上で後添加すると、添加時期にかかわらず遅延効果はほぼ同等となった。

(3) オキシカルボン酸塩系遅延剤を使用した本実験の場合、遅延剤の添加量の増加とともにブリージングは増大するものの、ある添加量の範囲においては、遅延コンクリートの長期強度および凍結融解抵抗性は、通常コンクリートとほぼ同等またはそれ以上となった。

(4) 結果の一部が参考文献にも示されているが、本温度応力抑制工法の適用にあたって発生する3種類の打継方法は、通常の打継方法とほぼ同等の打継強度を有することがわかった。

(5) 普通ポルトランドセメントとオキシカルボン酸塩系遅延剤を使用した遅延コンクリートに対し、遅延剤添加量および養生温度が変化する場合の、その初期圧縮強度の推定式を式(4)に示した。

5. あとがき

本研究では、温度応力抑制工法に適用する遅延コンクリートに対し、実用上問題となる凝結特性のほか、物理的特性について検討し、併せてその凝結速度調整に必要な遅延剤添加量を決定するための初期圧縮強度推定式を算定した。ただし、本研究の結果は、普通ポルトランドセメントと主としてオキシカルボン酸塩系遅延剤を使用した場合の限られた実験ケースから求められたものであり、その適用にあたってはこの点に十分留意する必要がある。

本研究を実施するにあたり、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とご指導を頂いた。また、同上技術研究所 浅沼 潔および横田季彦氏、ならびに藤沢薬品工業(株)コンクリート研究所 田中恭一氏らに多大のご協力を頂いた。ここに謹んで謝意を表し、厚くお礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 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.
- 2) 佐久田昌治・久保嘉彦・嵩 英雄・吉岡保彦：超遅延剤を用いたコンクリートの打設工法、建築の技術・施工、No. 232、pp. 31~38、1985.
- 3) 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、同

- 上, pp. 285~288.
- 4) 竹下治之: 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, 土木学会論文集, No. 372, pp. 85~92, 1986.
 - 5) 竹下治之・浅沼 潔・横田季彦: 凝結遅延性コンクリートによる温度応力抑制効果について, セメント技術年報, No. 40, pp. 239~242, 1986.
 - 6) 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内部拘束応力の抑制効果に関する一実験, 土木学会第41回年次学術講演会概要集, 第5部, pp. 373~374, 1986.
 - 7) 村田二郎・黒井登起男・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.
 - 8) Yamamoto, Y.: Effective use of retarders at horizontal construction joints of concrete structures, Proc. of JSCE, No. 310, pp. 123~133, 1981.
 - 9) 植葉大和: 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.
 - 10) A. M. ネビル (後藤ほか訳): コンクリートの特性, 技報堂出版, pp. 88~89, 1979.
 - 11) 同上, pp. 348~357.
 - 12) 笠井芳夫: コンクリートの初期圧縮強度推定方法, 日本建築学会論文報告集, No. 141, pp. 1~9, 1967.
(1986. 7. 9・受付)