

論文

[1189] ダムコンクリートの物性に及ぼすセメントの種類、モンモリロナイトおよび混和剤の影響

牛島 栄*1・堀 孝司*2

1. はじめに

我国における重力ダムの建設には、超硬練りコンクリートを振動ローラによって締固めるRCD工法が多く採用されている。RCD工法ではレア打設が行われ、施工面積が広く施工時のコンクリートの可使時間を長くとる必要があり、打継ぎ目の一体性と転圧の際の十分な締固めを図るためにはコンシステンシーの確保が重要である。

一方、近年では良質な骨材資源の枯渇が問題となっている。そのため、ダム建設では多量の良質な骨材の使用が要求されるが、使用する骨材はダム設置ヶ所や環境保全の配慮から、骨材試験には合格するが品質の劣る骨材も有効に使用せざるを得ない状況となっている。

この品質の劣る骨材として、例えば変質鉱物の一つであるモンモリロナイトを含んだ骨材を用いると、一般にコンクリートの凝結硬化が早くなるとされている[1][2]。そこで、最近この種の骨材を使用した場合の、施工性改善を目的とするいくつかの研究がなされている[3][4]。

本報告は、モンモリロナイトを含んだ骨材を用いた場合の施工性の改善を目的に、細骨材の一部をベントナイト（モンモリロナイト含有率70%）で置換させたコンクリートに関して、混和剤の種類と使用量およびセメントの種類がコンクリート（外部コンクリートと内部（RCD）コンクリート）の凝結特性、VC値の経時変化、強度特性に及ぼす影響について検討した。

2. 実験概要

2.1 使用材料およびコンクリートの配合

使用材料を、表-1に示す。セメントはベースセメントとして中庸熟ポルトランドセメントを用いた。混和材はフライアッシュおよび高炉スラグを用い、セメントの置換率はフライアッシュが30%、高炉スラグが55%と65%の計3種類とした。

細骨材は、北海道石狩川水系空知川産の川砂を原料として、5mm以上のものは破碎を行い、5mm以下に砕いた砂および破碎を行わない砂を製砂用ロッドミルにより混合したものを用いた。また粗骨材は、同じく空知川産の河床石を碎石プラントにおいて、粒径80-40mm、40-20mm、20-5mmに碎

表-1 使用材料

結合材	外部コンクリート (A)	中庸熟ポルトランドセメント+フライアッシュ（以下記号AFと略す）：置換率30% 比重2.85
		中庸熟ポルトランドセメント+高炉スラグ微粉末（以下記号ABと略す）：置換率55% 比重2.91
	内部(RCD)コンクリート (B)	中庸熟ポルトランドセメント+フライアッシュ（以下記号BFと略す）：置換率30% 比重2.85
		中庸熟ポルトランドセメント+高炉スラグ微粉末（以下記号BBと略す）：置換率65% 比重3.00
細・粗骨材		表-2に骨材試験結果を示す
混和剤		AE減水剤遅延形（リグニンスルホン酸化合物）：A
		減水剤超遅延形（変性リグニンとオキサルホン酸化合物の複合体）：B
ベントナイト		モンモリロナイト含有率70%

* 1 (株) 青木建設 技術本部研究所 材料研究室 主任研究員 (正会員)

* 2 北海道開発局 開発土木研究所 構造部材料研究室 室長、工博 (正会員)

石し分級した。その混合比率を、3:4:3とした。骨材の物理試験結果を、表-2に示す。混和剤は、A E減水剤遅延形Aおよび減水剤超遅延形Bを使用した。モンモリロナイトにはベントナイト（モンモリロナイト含有率70%）を用いた。

コンクリートの配合は、表-3に示すように、外部コンクリート（A）の11配合（以下AF-1~7とAB-1~4と略す）と、内部（RCD）コンクリート（B）の20配合（以下BF-1~15とBB-1~5と略す）とした。

2.2 コンクリートの練り混ぜ

コンクリートの練り混ぜは、二軸強制練りミキサ（容量200ℓ）を用いた。練り混ぜ方法および練り混ぜ時間は、最初に細骨材・粗骨材（5-20mmおよび20-40mm）を投入し5秒間、次いでセメントを投入し10秒間、最後に粗骨材（40-80mm）・水・混和剤を投入して65秒間とした。なお、コンクリートの練り上がり温度は20℃を目標とした。

表-2 骨材の物理試験結果

	細骨材	粗骨材		
		5~20	20~40	40~80
粒度および粗粒率	2.78	6.67	7.99	8.92
表乾比重	2.66	2.74	2.74	2.66
吸水率(%)	2.00	1.70	1.12	0.27
単位容積重量(kg/m ³)	1720	1734	1675	1698
洗い試験(%)	3.10	1.30	0.74	0.59
有機不純物	合格	—	—	—
安定性(%)	1.3	7.3	2.4	4.2
すりへり減量(%)	—	16.7	16.9	7.3
粘土塊量(%)	0.6	0	0	0
軟石量(%)	—	3.6	0.5	1.1
実積率(%)	66.0	64.3	61.8	64.0

表-3 コンクリートの配合

コンクリートの種類	記号	水結合比 (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m ³)					モンモリロナイト含有率 %	基礎物性に及ぼす影響					
				水	結合材	細骨材	粗骨材	混和剤 (C×%)		混和剤種類	使用量	細骨材率	単位水量	結合材種類	モンモリロナイト
有ダスムラ上ン下ブ流コ部ン・ク外リ部トA	AF-1	47.1	29	100	210	612	1527	A : 0.45	0	○					
	2	48.1	〃	101	〃	609	1524	B : 0.5	0	○	○			○	
	3	47.6	〃	100	〃	〃	1526	〃 : 0.6	0		○	○		○	○
	4	50.0	32	105	〃	670	1451	〃	0			○			
	5	45.2	26	95	〃	551	1600	〃	0			○			
	6	51.4	29	108	〃	604	1516	〃 : 0.8	S×1.0						○
	7	57.1	〃	120	〃	595	1493	〃 : 1.5	S×2.0						○
	AB-1	50.9	〃	107	〃	609	1525	〃 : 0.5	0		○			○	
	2	50.0	〃	105	〃	〃	1533	〃 : 0.6	0		○			○	○
	3	53.8	〃	113	〃	603	1514	〃 : 0.8	S×1.0						○
	4	59.5	〃	125	〃	594	1493	〃 : 1.5	S×2.0						○
内部 (R C D) コンクリート B	BF-1	71.7	32	86	120	729	1584	A : 0.45	0	○					
	2	69.2	〃	83	〃	732	1596	B : 0.6	0	○	○			○	
	3	66.7	〃	80	〃	734	1594	〃 : 0.7	0		○	○		○	
	4	64.2	〃	77	〃	737	1600	〃 : 0.8	0		○				○
	5	66.7	34	80	〃	779	1548	〃 : 0.7	0			○			
	6	〃	30	〃	〃	689	1641	〃	0			○			
	7	〃	28	〃	〃	664	1687	〃	0			○	○		
	8	〃	26	〃	〃	596	1735	〃	0			○			
	9	62.5	28	75	〃	646	1698	〃 : 0.7	0				○		
	10	65.0	〃	78	〃	644	1691	〃	0				○		
	11	64.2	32	77	〃	737	1600	〃 : 0.8	S×1.0						
	12	70.0	〃	84	〃	732	1593	〃	S×1.0						○
	13	64.2	〃	77	〃	737	1600	〃 : 1.5	S×2.0						
	14	75.0	〃	90	〃	726	1583	〃	S×2.0						○
	15	83.3	〃	100	〃	718	1563	〃	S×2.0						
BB-1	69.2	〃	83	〃	732	1596	〃 : 0.6	0		○			○		
-2	66.7	〃	80	〃	734	1594	〃 : 0.7	0		○			○		
-3	64.2	〃	77	〃	737	1600	〃 : 0.8	0		○				○	
-4	70.0	〃	84	〃	732	1593	〃	S×1.0						○	
-5	75.0	〃	90	〃	726	1583	〃 : 1.5	S×2.0						○	

2. 3 試験項目および試験方法

(1) フレッシュコンクリートの試験

外部コンクリート (A) は、凝結試験 (JIS A 6204の付属書 1 に準拠) およびブリージング試験 (JIS A 1123に準拠) を行った。内部 (RCD) コンクリート (B) は、練り混ぜ直後のコンクリートを全て40mmふるいでウェットスクリーニングした後、小型VC試験機 (振動数3000cpm、振幅1mm) を用いて「RCD工法技術指針 (案)」に準拠して、VC値の測定を行った。VC値の測定は、練り上がり直後から30分毎にVC値が180秒を越えるまで行った。

(2) 硬化コンクリートの試験

外部コンクリート (A) はJIS A 1132、内部 (RCD) コンクリート (B) は「RCD工法技術指針 (案)」に準拠して供試体を作製し、養生を行った。作製した供試体を用いて、圧縮強度試験を材令7・28・91日で行った。

3. 試験結果および考察

3. 1 外部コンクリート (A)

(1) フレッシュコンクリートの特性

混和剤の種類およびセメントの種類が凝結特性に及ぼす影響を、図-1 に示す。AE減水剤遅延形A (AF-1)と減水剤超遅延形B (AF-2)の凝結時間を比較すると、減水剤超遅延形Bを使用することにより、凝結の開始を2時間程度遅らせることができた。また、フライアッシュ置換 (AF) と高炉スラグ置換 (AB) について、混和剤の種類と使用量が同一の配合AF-1とAB-1およびAF-3とAB-2の凝結時間をそれぞれ比較すると、高炉スラグ置換 (AB) が凝結の始発で約3時間、凝結の終結で約5時間と大幅に遅れることが分かった。

混和剤の使用量が凝結特性に及ぼす影響を、図-2 に示す。図より、混和剤の使用量が増加するに従って、凝結時間は遅れることがわかった。

ブリージング量に及ぼすモンモリロナイトの影響を、図-3 に示す。フライアッシュ置換 (AF) と高炉スラグ置換 (AB) のブリージング量を比較すると、高炉スラグ置換がフライアッシュ置換に比較してブリージング量が3倍程度大きい。この理由として、例えばモンモリロナイトが2%含有された配合AB-4は、スランプの初期値を一定とするために単位水量を 125kg/m^3 と大きくした配合となったので、ブリージング量が著しく大きな値となったと考えられる。

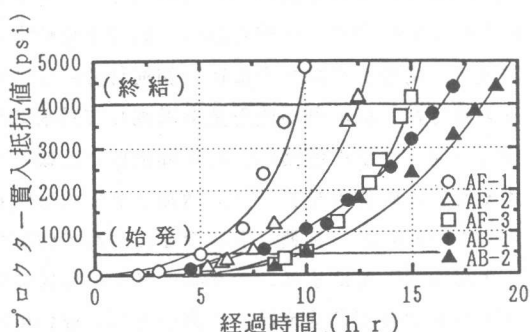


図-1 混和剤の種類およびセメントの種類が凝結特性に及ぼす影響

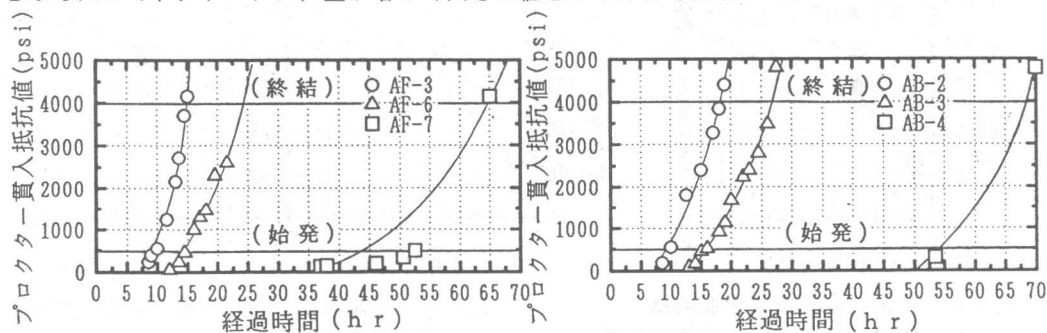


図-2 混和剤使用量が凝結特性に及ぼす影響

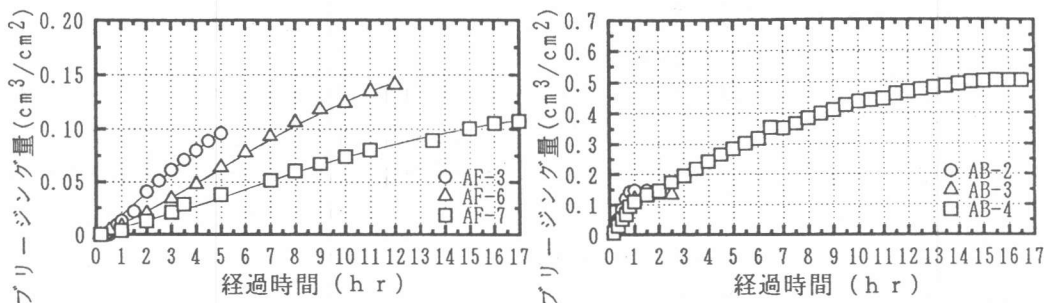


図-3 ブリージング量に及ぼすモンモリロナイトの影響

(2) 硬化コンクリートの特性

圧縮強度に及ぼす混和剤の使用量とセメントの種類の影響に関する実験結果を、図-4に示す。配合AF-2とAF-3および配合AB-1とAB-2を比較すると、圧縮強度はセメントの種類に関わらず、混和剤の使用量が増加するに従い初期材令において若干小さな値となった。しかし、長期材令では圧縮強度は、混和剤の使用量が増加して減水率が大きくなるので増進した。フライアッシュ置換(AF)と高炉スラグ置換(AB)の圧縮強度を比較すると、配合ABはAFに比較して、スランプを一定とするために単位水量を $5\text{kg}/\text{m}^3$ 増加させたにも関わらず、圧縮強度が $20\text{kgf}/\text{cm}^2$ 程度大きな値となった。この傾向は、長期材令になるにつれて顕著であった。

圧縮強度に及ぼすモンモリロナイトの影響に関する実験結果を、図-5に示す。モンモリロナイト含有2%の圧縮強度は、配合AFとABの違いに関わらずモンモリロナイト無しに比較して $40\sim 50\text{kg}/\text{cm}^2$ 大きな値を示した。配合AFを例にとると、スランプ値を一定とした場合に、単位水量は混和剤の使用量が0.1%増加すると、混和剤の減水率の増加により単位水量を $1\text{kg}/\text{m}^3$ 減ずることができる。しかし、モンモリロナイト含有2%の配合AF-7とモンモリロナイト無しの配合AF-3を比較すると、モンモリロナイトが含有された場合には、混和剤の使用量が増加し且つ単位水量も $20\text{kg}/\text{m}^3$ 増加した。その結果、圧縮強度は水結合材比が単位水量の増加によって、 47.6 から 57.1% と著しく大きな値となって低下すると考えられるが、逆に圧縮強度は増加していた。この理由として、モンモリロナイトが含有されたコンクリートは、モンモリロナイトの練り混ぜ時の吸水によって、コンシステンシーを確保するのに必要な単位水量は増加するが、増加した水量は結合水として必要なものであるので、単位水量が増加しても圧縮強度は著しく低下しないと考えられる。

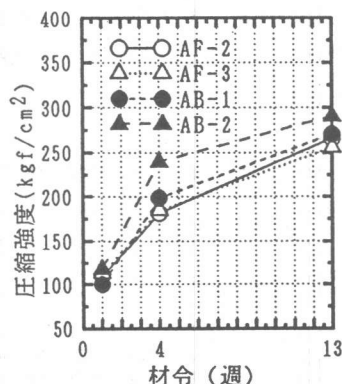


図-4 圧縮強度に及ぼす混和剤使用量とセメント種類の影響

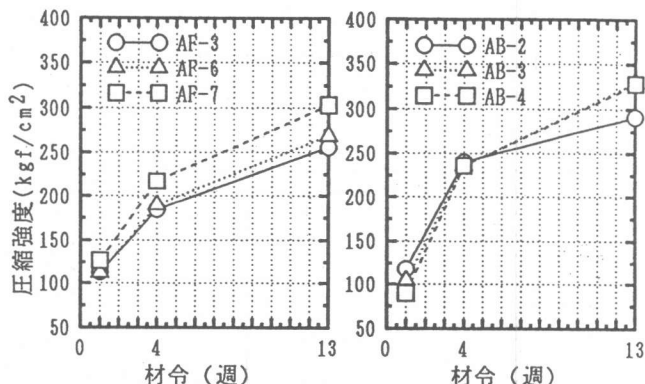


図-5 圧縮強度に及ぼすモンモリロナイトの影響

3. 2 内部 (RCD) コンクリート

(1) フレッシュコンクリートの特性

VC 値の経時変化に及ぼす混和剤の種類の影響に関する実験結果を、図-6 に示す。減水剤超遅延形の使用が凝結時間の抑制に有効であることがわかる。

VC 値の経時変化に及ぼす混和剤使用量とセメントの種類の影響に関する実験結果を、図-7 に示す。いずれの配合も、練り上がり直後の VC 値は20秒程度で良好な値を示すが、フライアッシュ置換の BF-2, 3 は、3 時間経過時では VC 値の増加が著しく、180 秒を越え測定不能となった。すなわち、表-3 に示す配合では、混和剤の使用量が 0.7% 以下の場合には、VC 値の増加を抑制させて所要のコンシステンシーを確保することはあまり期待できないと考えられた。一方、混和剤の使用量が 0.8% の場合には、VC 値の増加が抑制されていると考えられた。高炉スラグ置換 (BB) についても、同様の傾向であった。

フライアッシュ置換 (BF-2~4) と高炉スラグ置換 (BB-1~3) の VC 値の経時変化を比較すると、高炉スラグ置換配合の VC 値の方が概ね大きな値を示していた。これは混和材の粒形の違いと、高炉スラグ置換の場合の比重がフライアッシュ置換の比重に比較して大きいため、コンシステンシーに良好な影響を及ぼしたためであると思われる。

VC 値に及ぼすモンモリロナイトおよび混和剤の影響に関する実験結果を、図-8 に示す。配合 BF-12, 14 では混和剤使用量および単位水量をそれぞれ 0.8%、1.5% および 84kg/m^3 、 90kg/m^3 として、モンモリロナイト含有量を 1.2% と変化させた。いずれも、経時変化に伴う VC 値の増加が抑制されていることから、モンモリロナイトが含有された場合でも、適切な混和剤の使用量および単位水量を確保すれば所要の VC 値の確保が可能であることが伺えた。また、モンモリロナイト

が含有された場合も図-7 と同様に、高炉スラグ置換配合の VC 値がフライアッシュ置換配合の VC 値に比較して大きな値を示した。
(2) 硬化コンクリートの特性

圧縮強度に及ぼす混和剤の使用量とセメント

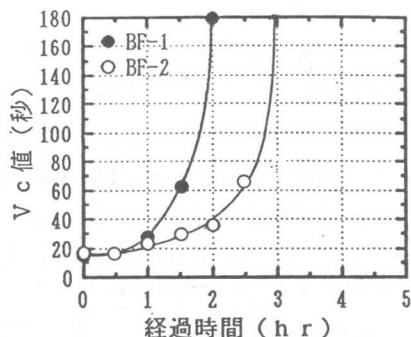


図-6 VC 値の経時変化に及ぼす混和剤種類の影響

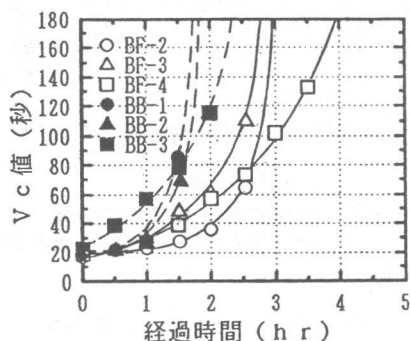


図-7 VC 値の経時変化に及ぼす混和剤使用量とセメント種類の影響

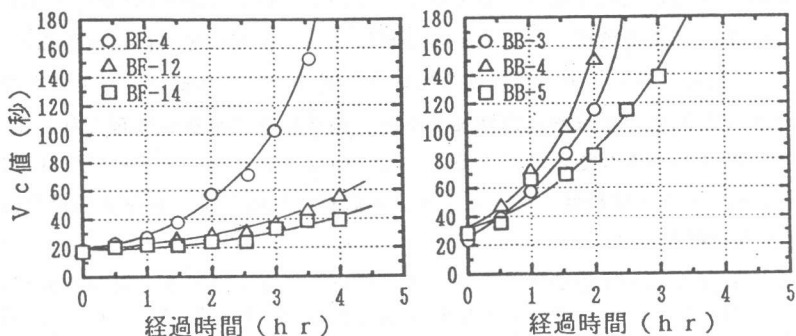


図-8 VC 値に及ぼすモンモリロナイトおよび混和剤の影響

ト種類の影響に関する実験結果を、図-9 に示す。概ね混和剤の使用量の多い方が圧縮強度は小さくなる傾向を示した。また、フライアッシュ置換配合 (BF) と高炉スラグ置換配合 (BB) の圧縮強度を比較すると、高炉スラグ置換の方が大きな値を示した。材令 91 日ではその差は顕著で最大 90

kg/cm²程度となった。

圧縮強度に及ぼすモンモリロナイトの影響に関する実験結果を、図-10に示す。モンモリロナイトを含有したコンクリートの圧縮強度は、材令28日以降では全体的に若干小さな値を示している。しかし、配合BF-14, BB-5の試験結果からわかるように、モンモリロナイトが含有される場合でも適切な単位水量および混和剤量を用いれば、強度発現の低下を抑制できると考えられる。また、高炉スラグ置換配合とフライアッシュ置換配合の圧縮強度を比較すると、高炉スラグ置換配合の圧縮強度は材令28日以降では大きくなっていた。

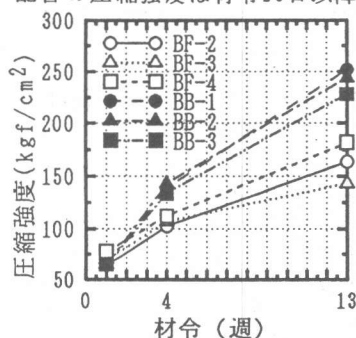


図-9 圧縮強度に及ぼす混和剤使用量とセメントの種類の影響

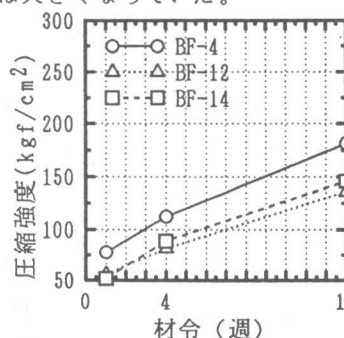


図-10 圧縮強度に及ぼすモンモリロナイトの影響

4. まとめ

- (1) 外部コンクリートは、所要のコンシステンシーの確保を目的として凝結時間を遅延させる場合には、混和剤をA E減水剤遅延形から減水剤超遅延形に変えることが有効である。
- (2) 外部コンクリートは、高炉スラグ置換(置換率55%)した場合とフライアッシュ置換(置換率30%)した場合の凝結時間を比較すると、高炉スラグ置換の方が凝結時間が遅延する。
- (3) 内部コンクリートにおいて、高炉スラグ置換とフライアッシュ置換のV C値の経時変化を比較すると、高炉スラグ置換の方がV C値の経時変化による増加が概ね大きい。
- (4) 内部コンクリートは、モンモリロナイトが含有された場合でも、減水剤超遅延形を用いて適切な使用量で且つ適切な単位水量の配合とすれば、所要のコンシステンシーの確保が十分できる。
- (5) 外部コンクリートの圧縮強度は、セメントの種類に関わらず、概ね、減水剤超遅延形の使用量が増加すると初期は若干小さくなる。しかし、材令13週では1割程度増加する。一方、内部コンクリートの圧縮強度は、セメントの種類によって強度の発現傾向が異なっている。
- (6) モンモリロナイトが2%程度含有された場合には、外部コンクリートでは、コンシステンシーを確保するための単位水量が増加するが、適切に単位水量が管理された場合には圧縮強度は低下せず、材令13週では逆に増加する。一方、内部コンクリートでは圧縮強度は低下する。
- (7) 高炉スラグ置換は、フライアッシュ置換に比較して、長期の圧縮強度が大きい。

[参考文献]

- 1) 脇坂安彦・宇治公隆・佐々木肇：モンモリロナイト含有骨材を使用したコンクリートの物理的性質、コンクリート工学年次論文報告集、Vol12、No.1 pp.733-738、1990
- 2) 迫田恵三：骨材中の粘土鉱物がコンクリートの性質に与える影響、コンクリート工学年次論文報告集、Vol10、No.2 pp.583-588、1988
- 3) 坂本健、河野広隆ほか：粘土鉱物含有骨材を用いたR C Dコンクリートに超遅延剤を適用した場合の硬化性状に関する実験、土木学会第47回年次学術講演会、pp510-511、1990.9
- 4) 河野広隆、高橋弘人：粘土鉱物含有骨材を用いたR C Dコンクリートの凝結時間特性、土木学会第47回年次学術講演会、pp514-515、1990.9