

[115] 高炉セメントを用いた R.C.D.コンクリートに関する研究

正会員 関 慎 吾 (日本大学理工学部)
 正会員 ○田 原 直 樹 (日本大学大学院)
 正会員 千 秋 学 (日本大学大学院)
 小 浜 哲 也 (日本大学大学院)

1. はじめに

ローラーコンパクトダム (以下R.C.D.と略記) コンクリートは、超貧配合の硬練りコンクリートを対象としたもので、ダンプ運搬から振動ローラー転圧までの標準的な一連の施工システムはR.C.D.工法として確立している。R.C.D.コンクリートの主な特徴の一つとして、単位結合材量を節減でき各種の産業副産物をセメント代替材として用いることによる水和熱の減少が挙げられる。ところが最近では、フライアッシュ等の一部の産業副産物において、窒素酸化物規制による石炭燃焼温度の制限などのためJIS規格に合致しない品質のものが増加しているという報告もあり、混和材の選択にも十分な留意が必要であるとされている。このような現状から、シリカフェーム、高炉スラグといった産業副産物を有効に活用することがR.C.D.コンクリートの特徴を生かすうえで重要であると思われる。この観点より、特に高炉セメントはその約50%を高炉スラグで代替していることから、セメント量の削減や水和熱の減少をはじめ種々の特徴を有しており、R.C.D.コンクリートへの適用が期待される。

そこで本研究では、結合材に高炉セメントを適用するとともに各種の混和材料を併用したR.C.D.コンクリートの配合及び強度特性について実験的に検討したものである。

2. R.C.D.工法概要

R.C.D.工法は、重力ダムの合理化施工を目的として米国をはじめ我が国でも採用されてきており、その経済性、施工性の極めて高いことが報告されている。図-1に示すように、一般にR.C.D.による重力ダムは、他の重力ダム型式に比べ同一堤高に対する堤体積が約1/5~1/8となり、使用材料を大幅に節約することができる。また、米国におけるR.C.D.の施工例(表-1)に示すように工期の短縮は非常に大きく(Galesville Damでは166,000m³を50日間で打設した例がある)、価格においても通常のコンクリートダムの約1/4~1/5と非常に低くなっている。したがって、今後R.C.D.工法の必要性が認識されるにつれてその需要が更に高まるものと思われる。

表-1 R.C.D.の施工例(アメリカ)¹⁾²⁾

ダム名		Willow Creek	Middle Fork	Galesville
項目	工	1982年	1984年	1985年
規 模	堤 頂 高	53m	38m	51m
	堤 高	542m	125m	291m
	堤 体 積	307000m ³	42000m ³	166000m ³
締 固 め 厚	30cm	30cm	30cm	
作 業 工 程		2300m ³ /日	930m ³ /日	3300m ³ /日
単 位 量 (kg/m ³)	セメント	47	66	53
	フライアッシュ	19	—	36
	水	107	95	74
圧 縮 強 度 σ ₉₁	186kgf/cm ²	149kgf/cm ²	—	
価 格	4450円/m ³	—	4940円/m ³	

(1\$ = 180円とした)

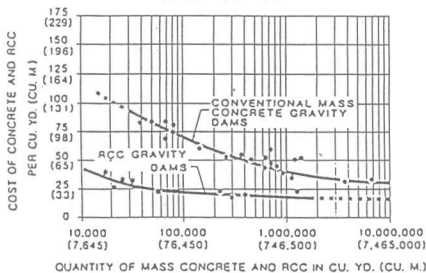


図-2 R.C.D.とマスコンクリートの経済比較¹⁾
(U.S.ドル)

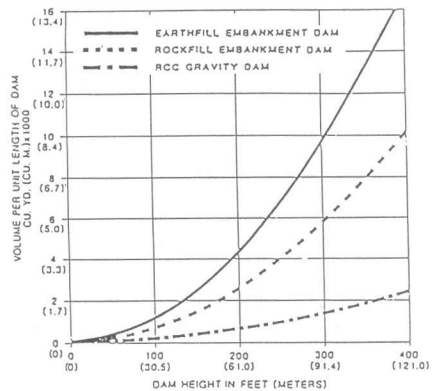


図-1 ダムの堤高と堤体積との関係¹⁾

3. 使用材料

セメントは、新日鉄化学社製の高炉セメントB種を使用し、その化学成分を表-2に示す。

シリカフュームは、国産シリカフュームを使用し、比重、約2.2比表面積は200,000cm²/gである。その化学成分を表-3に示す。

骨材は、粗骨材として骨材寸法80~20mmを奥多摩産砕石(比重2.77、F.M.7.89)、骨材寸法20~5mmを阿武隈川産河川砕石(比重2.65、F.M.6.68)、細骨材として霞ヶ浦産川砂(比重2.51、F.M.2.43)を使用した。

塩基性混和剤として、廃棄物であるカキ殻(Oyster-Calcium、CaO=52%以上)⁶⁾を微粉碎(0.15mmふるいを80%以上通過)したものを使用した。その他混和剤として、硬化促進型の化学混和剤、及び減水剤にβ-ナフタリン高縮合物を主成分とする高性能減水剤を使用した。

4. 実験方法

実験に用いたコンクリートの配合設計を行うにあたり、単位水量、細骨材率はR.C.D.工法技術指針(案)³⁾に準じて行ったものであり、配合を表-4に示す。シリカフュームをはじめ各種の混和材料は、練り混ぜ水にあらかじめ溶解し、スラリー状になるまで搅拌したものをを用いた。

また、練り混ぜに際し、圧縮強度試験用供試体およびV.C.試験に用いるコンクリートは、40mmふるいでウェットスクリーニングした試料を用いることになっているが、実験装置の関係上、本実験においては、あらかじめ骨材寸法80~40mmの粗骨材を取り除き、練り混ぜを行った。

実験に使用した供試体は、φ15×30cmの円柱供試体であり、コンクリートの強度試験用供試体の作製方法およびV.C.試験は、R.C.D.工法技術指針(案)³⁾に準じて行った。

脱型は、供試体成型後約48時間後に行い、養生は、脱型後所定の材令まで約20℃の水中で養生を行った。

圧縮強度試験方法は、JISA1108に準じて行った。

また、R.C.D.工法技術(案)³⁾の定める目標V.C.値(20±10秒)を得るため、高性能減水剤を添加し、V.C.試験結果が目標V.C.値の範囲内に入るように添加量を調節した。なお表-4におけるαとは、セメントペーストの細骨材空隙充填率、βはモルタルの粗骨材空隙充填率を示す。

表-4 コンクリートの配合表

Mix No.	G _{max} (mm)	Air content (%)	W _c /C.M. (%)	S.F. /C.M. (%)	s /β	Mix proportion (kg/m ³)										α	β	V.C. Value								
						Water	Cement	Silica- Fume	Lime	Gypsum	W.R.A.	Admix- ture	Fine agg.	Coarse agg.												
														80~40 (mm)	40~5 (mm)											
RC80	80	1.5±1	136.5	0	30.0	109	80	0	2.3	0.8	0.8	0	639	560	1063	1.01	1.12	11								
08NN0							108							77	0	0	1.02	1.12	10							
08SN0							107							73	4	2.9	1.02	1.12	18							
08SN5			134.3	5	30.5	107	69	8	2.1	0.7	1.6	649	555	1054	1.00	1.15	24									
08SN10							100	0	0						1.01	1.15	12									
RC100							109	96	0						2.9	1.0	1.00	1.23	15							
10NN0			107.0	10	32.0	107	109	120	0	0	0.9	2.0	676	539	1024	1.01	1.23	19								
10SN0																96	0	2.9	1.0	1.01	1.23	10				
10SN5																91	5	2.7	0.9	2.0	675	538	1022	1.01	1.23	14
10SN10																87	10	2.6						1.02	1.24	16
RC120																109	120	0						0	1.06	1.25
12NN0																88.7	5	10	106	109	115	0	3.5	1.2	1.2	677
12SN0	110	6	3.3	1.1	1.06	1.25	14																			
12SN5	104	12	3.1	1.0	1.07	1.26	11																			
12SN10	104	12	3.1	1.0	1.07	1.26	20																			

C.M. = Cementitious Materials S.F. = Silica-Fume

これらはともにR.C.D.コンクリートの配合特性値であり、これによりペースト量およびモルタル量を検証した。本実験における目標圧縮強度は、材令91日で $91\sigma_c = 120 \text{ kgf/cm}^2$ とした。

5. 石灰及び石膏の増量添加について

高炉スラグの品質を評価する基準として、JISでは塩基度をを用いているが、スラグは塩基度の高いものほど良質とされる。一方、国産のスラグはベルギー産などの良質なスラグに比べてCaO分が低いといわれている。⁴⁾したがって、このCaO分を増量添加して塩基度を上げることによって潜在水硬性を高めることができると思われる。ここで、塩基度を上げるという意味はスラグが潜在水硬性の発現を促進できる条件に近づけるということで、特にこの水硬性とは石灰などの多量に存在する塩基度の高い状態において刺激作用を受けるとい条件のもとで、速やかに発揮し得ることは明確にされている。⁴⁾⁷⁾ また、石膏についても石灰の場合とほぼ同様の報告もされている。

以上より本実験では、石灰分としてオイスターカルシウムをセメント重量に対し内割で3%添加した。

図-3に圧縮強度と単位結合材量との関係を示す。図-3によると、単位結合材量が増すにしたがって石灰、石膏を添加したものは、無添加のものに比較して材令91日における圧縮強度の増進は顕著になる傾向を示した。これは、セメント量の増加とともにスラグ量も増えるため、十分な塩基成分の作用を受けて水和反応が促進されたものと考えられる。

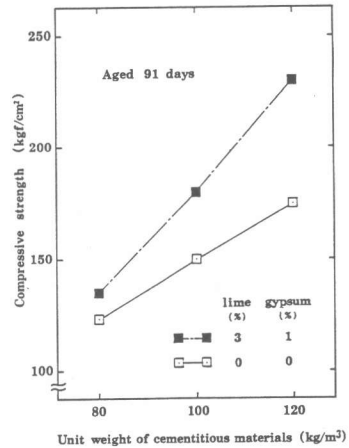


図-3 単位結合材量と圧縮強度との関係

6. 単位結合材量と圧縮強度の関係

単位結合材量を80, 100, 120 kg/m³と変化させ、シリカフュームを0%及び5%、10%混入したコンクリートの圧縮強度試験を行い、圧縮強度と材令との関係を図-4に示す。図-4によると、単位結合材量の増加に伴い圧縮強度も増加し、単位結合材量80 kg/m³の場合においても圧縮強度は135~149 kgf/cm² (材令91日)にも達した。

また、シリカフュームを混入することにより、長期的に圧縮強度の増進が大きくなる傾向を示した。この傾向は、単位結合材量100, 120 kg/m³の場合に著しく、高炉セメントに対してもシリカフュームによる十分な強度増進が期待できるものと思われる。

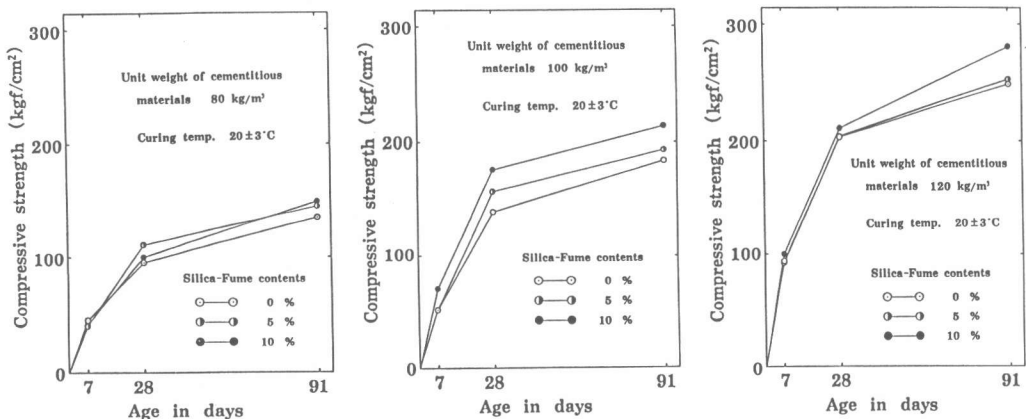


図-4 材令と圧縮強度との関係

各単位結合材量ともに、シリカフェームを混入しなくとも目標強度に達しており、圧縮強度に関してはダムの内部コンクリートに対する適用が十分可能であると思われるが、更に適度のシリカフェームを併用することにより、水密性や耐久性の向上も期待できるとされる。⁵⁾

7. 変形性状

表-5に圧縮強度、弾性係数、ポアソン比を示す。ここで、弾性係数は、1/3 割線係数である。また、図-5に弾性係数と圧縮強度との関係を示す。図-5によると、弾性係数は圧縮強度の増加に伴って大きくなる傾向を示し、両者の間には良好な相関が認められ相関係数は $r=0.96$ であった。ポアソン比は、0.20~0.35程度の値が得られた。図-6に単位結合材量 100kg/m^3 のコンクリートの応力-ひずみ曲線を示す。図-6によると、各配合とも初期の段階ではほぼ同様の変形性状を示したが、圧縮強度が大きいもの程直線的な変形に近づき、弾性域も高くなっている。また、最大圧縮応力時のひずみは各配合とも同様な値を示した。

8. 結論

高炉セメントを用いて単位結合材量 $80\sim 120\text{kg/m}^3$ の貧配合コンクリートを作製したところ、単位結合材量 80kg/m^3 で 135kgf/cm^2 の圧縮強度(材令91日)を得ることができた。また、高炉セメントの持つ特徴からR.C.D.コンクリートにおける単位セメント量の低減や水和熱の抑制に対しても有効であると思われ、経済的なR.C.D.コンクリートの結合材料として高炉セメントの積極的な利用が期待される。なお、本実験ではポゾラン材としてシリカフェームを10%まで使用したが数年来におけるシリカフェーム価格の高騰は著しく、品質や使用量を誤るとコンクリートの経済性を損ねることにもなるので、使用の際には十分な検討が必要であり、本研究により更に経済的で高品質な混和材料の開発の必要性も感じられた。

近年、省資源や自然環境保全が叫ばれて以来、コンクリート混和材として産業副産物の有効利用に関する検討が行われてきた。その中で高炉セメントは鉄鋼部門におけるスラグ有効利用の推進の立場から再認識され、価格も普通ポルトランドセメントに比べて安価(普通:13500円/t,高炉:12500円/t)なことからその利用分野も広がっている。混和材の品質に対する関心が高まっている現在、省エネルギーとしての混合セメントの利用について、十分な検討がなされるべきであると考えられる。最後に、本研究は日本大学理工学部交通土木工学科、中西英成、玉置謙一、市野篤史君の協力を得て行ったものであり、心から感謝致します。

参考文献 1) ROLLER COMPACTED CONCRETE A.S.C.E. May1-2 1985 2) 柳田 力:米国のR.C.C.によるダム施工の現状と今後、昭和60年9月

- 3) 国土開発技術センター:RCD工法技術指針(案)、昭和56年7月 4) 近藤泰夫、坂 静雄:コンクリート工学ハンドブックpp46~47 浅倉書店
5) Y.M.Malhotra and G.G.Caratte: Silica-Fume Properties, Applications and Limitations, Concrete International pp40~46, 1983.5
6) 石膏石灰学会:石膏石灰ハンドブック、技報堂 7) 荒井康夫:セメントの材料化学、昭和59年3月

表-5 圧縮強度、弾性係数、ポアソン比
(材令91日)

Mix No.	C.M. (kg/m ³)	Silica- Fume (%)	Gypsum (%)	Lime (%)	Admix- ture (%)	$\sigma_{0.1}$ (kgf/cm ²)	Modulus of Elastic. (kgf/cm ²)	Poisson's Ratio
RC80	80	0	0	0	0	123	1.35	0.32
08NN0						135	1.74	0.24
08SN0		5	1	3	2	135	1.76	0.23
08SN5						145	2.25	0.22
08SN10						149	2.01	0.20
RC100	100	0	0	0	0	150	1.97	0.19
10NN0						180	2.57	0.23
10SN0		5	1	3	2	184	2.88	0.33
10SN5						193	2.81	0.35
10SN10						214	3.11	0.29
RC120	120	0	0	0	0	175	2.86	0.24
12NN0						230	3.22	0.25
12SN0		5	1	3	2	249	3.60	0.26
12SN5						253	3.44	0.27
12SN10						281	3.69	0.23

C.M. - Cementitious Materials

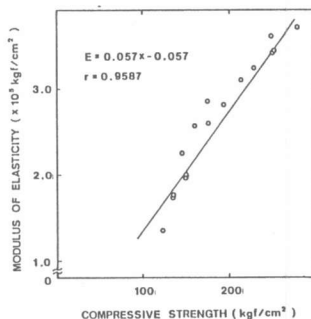


図-5 弾性係数と圧縮強度との関係

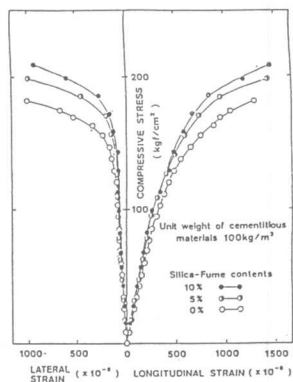


図-6 応力-ひずみ曲線