

報告 ダムコンクリートの配合に関する実験的検討

峰村 修*¹・坂田 昇*²・丸山 幸雄*³・山本 佳秀*⁴

要旨：奥三面ダムでは、有スランプ（3cm）のコンクリートを用いて施工しているが、温度応力の緩和を図り、ひび割れの発生を制御することを目的として、単位セメント量の低減、低熱セメントの使用、新しい AE 減水剤の使用等について実験的に検討した。その結果、単位セメント量を標準配合に対して $20\text{kg}/\text{m}^3$ 減じて、スランプ、強度等の品質が所定の品質を満足し、かつ温度上昇量を小さくできること、低熱セメントの使用により温度上昇量を大幅に小さくできること、新しい AE 減水剤は減水性が高くセメント量を低減できる可能性があることが分かった。

キーワード：ダムコンクリート、配合、温度応力、低熱セメント

1. はじめに

奥三面ダムは磐梯朝日村国立公園内に建設中の堤体 116 m を擁する非対称放物型のアーチ式コンクリートダムである。本コンクリート打設は、平成 6 年 9 月より開始し、平成 8 年 12 月末までに約 $196,000\text{m}^3$ （全体設計量：約 $260,000\text{m}^3$ ）の打設を完了した。当ダムでは、温度応力によるひび割れの発生を極力抑制するために、単位セメント量の低減、高性能減水剤の使用、夏季用配合の使用、低熱セメントの使用及び新しい AE 減水剤の使用等について実験的に検討し、段階的に実施工に適用あるいは適用予定である。本論文では、これらの検討結果についてその概要を報告する。

2. コンクリート配合検討の経緯

当ダムにおけるコンクリートの使用材料を表-1 に、ダム堤体コンクリート骨材の最大寸法 150mm の配合を表-2 にそれぞれ示す。当ダムでは、特記仕様書によりセメントに中庸熱ポルトランドセメント単味を用いることとなっていたこと、アーチダムであることから高強度（設計基準強度 $31.9\text{N}/\text{mm}^2$ 、配合強度 $38.3\text{N}/\text{mm}^2$ （変動係数 20%））が要求され、必然的に単位セメント量が多くなることから当初より温度応力によるひび割れの発生が懸念された。このようなことからまず平成 7 年度の施工においては、平成 6 年度の配合に対し、打込み温度上昇に伴う強度低下の恐れがある夏季（7 月から 9 月）において、表-2 に示すように AE 減水剤の添加量を標準配合の 1.5 倍とした配合を採用した。その結果、コンクリート打込み温度が 22°C から 25°C となる夏季においても図-1 に示すように圧縮強度の低下はほとんど認められなかった。また、平成 8 年度においては、単位セメント量を $10\text{kg}/\text{m}^3$ 低減し、高性能減水剤と増粘剤を添加することによって標準配合に対して強度等の品質が同程度となるコンクリートの配合を実験的に選

*¹新潟県三面川開発事務所ダム課（正会員）

*²鹿島建設（株）北陸支店、工博（正会員）

*³（株）ポゾリス物産 上越営業所（正会員）

*⁴日本セメント（株）北陸支店（正会員）

定し [1]、実施工に供した。ここで、増粘剤はセメント量を減らしたことによるコンクリートの見掛けの粘性低下を補うため若干量添加した。その結果、図-1に示すように強度レベルはほぼ同程度であったが単位セメント量を $220\text{kg}/\text{m}^3$ から $210\text{kg}/\text{m}^3$ に減らしたことから単位水量の変化に対する水セメント比の変動が大きくなり、それによって平成7年度の材齢91日の圧縮強度の変動係数が7.0%に対し平成8年度では7.6%と、若干大きくなる結果となった。

平成6年から平成8年のコンクリート品質管理実績から、当初設定した配合強度に対して平均値で1.2倍の強度が得られていること、及び配合強度算出時に用いた変動係数が20%

であったのに対して実績では10%以下であったことを考慮して、さらなる温度応力の緩和及びコスト低減を目的として、平成9年度以降の適用の可能性を探るため、単位水量一定の基で単位セメント量をさらに低減した配合について実験的に検討した。また、温度応力の緩和を目的として、ピーライト系の低発熱ポルトランドセメント及び凝結遅延効果のあるAE減水剤の使用についても検討した。

3. セメント量低減に関する実験的検討

3.1 実験概要

室内試験に供したコンクリートの使用材料を表-3に、コンクリート配合を表-4にそれぞれ示す。フレッシュコンクリートの性状は、スランプ $3 \pm 1\text{ cm}$ 、空気量 $3 \pm 1\%$ 、練上がり温度 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ とした。実験には、200リットル強制練り二軸型ミキサを用いてコンクリートを100

表-1 使用材料

項目	
セメント(C)	中層熟ポルトランドセメント(比重 3.20)
細骨材(S)	砕砂(比重 2.58, FM=2.73, 吸水率 1.93%)
粗骨材(G)	砕石(G1(比重 2.70, 150-80mm), G2(比重 2.70, 80-40mm), G3(比重 2.68, 40-20mm), G4(比重 2.68, 20-5mm)) G1:G2:G3:G4=25:25:25:25
水(W)	三河川河川水
AE減水剤	リグニンスルホン酸塩
AE助剤	変性アルキルカルボン酸化合物
流動性改善剤(SP)	高性能減水剤(β-ナフタリンスルホン酸塩)と増粘剤(ウエランガム)の混合物

表-2 コンクリート配合

No.	適用内容	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m^3)						
				W	C	S	G	AE減水剤	SP剤	AE助剤
1	標準 平成6,7年適用	45.5	24.0	100	220	496	1638	2.20	0.000	0.020
2	標準 夏季配合 平成7年夏季適用	45.5	24.0	100	220	496	1638	3.30	0.000	0.040
3	C=10 kg/m^3 低減 平成8年適用	45.2	24.8	95	210	518	1638	2.20	0.100	0.024
4	C=10 kg/m^3 低減夏季 平成8年夏季適用	45.2	24.8	95	210	518	1638	3.30	0.100	0.042
5	C=20 kg/m^3 低減 平成9年適用検討中	47.5	24.8	95	200	520	1644	2.20	0.100	0.030

*4倍溶液として表示

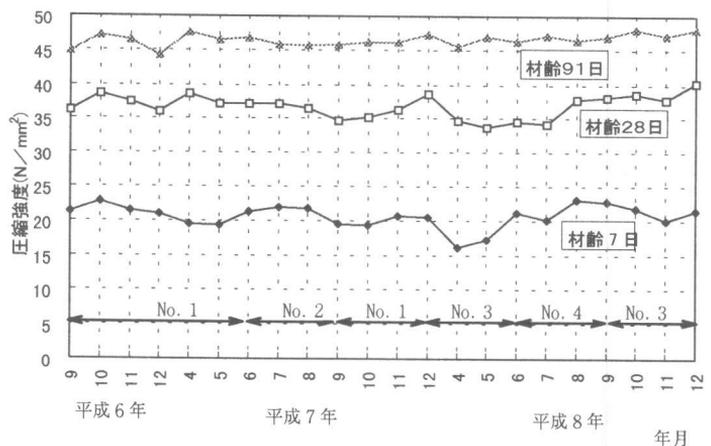


図-1 月別の圧縮強度

リットル練り混ぜた。練混ぜ方法としては、まず細骨材とセメントを投入し空練りを 10 秒行った後、水+混和剤を投入しモルタル状態で 60 秒間練り混ぜ、さらに粗骨材を投入しコンクリートとして 90 秒間練り混ぜた。練上がったコンクリートを直ちに 40mm ふるいによってウェットスクリーニングし、スランプ及び空気量試験を行うとともに、ブリーディング試験及び凝結硬化速度試験を行い、また各種強度試験の供試体を作製し、材齢 7 日、28 日及び 91 日において強度試験を行った。なお、断熱温度上昇試験は、空気循環式断熱温度試験機を用いて、ウェットスクリーニングを行わないフルサイズのコンクリートについて実施した。

3. 2 実験結果及び考察

No.1 は単位セメント量を $220\text{kg}/\text{m}^3$ とした標準配合、No.2 は No.1 とほぼ同じ水セメント比として単位セメント量を $210\text{kg}/\text{m}^3$ とした配合、No.3 は No.2 と同一単位水量として単位セメント量を $200\text{kg}/\text{m}^3$ とした配合である。図-2 に示すように、No.2 のブリーディング量が $0.08\text{cm}^3/\text{cm}^2$ であり、No.1 及び No.3 に比べて小さい結果となった。これは、No.2 が No.1 に比べてほぼ同じ水セメント比で単位水量が少ないこと、また No.3 に比べて同一単位水量で水セメント比が小さいことに起因するものと考えられる。図-3 に示すように、凝結時間は No.2 で若干長くなる結果となったが、3 配合で差はほとんどなかった。図-4 に示すように、材齢 91 日の圧縮強度は、No.1 で $46.2\text{N}/\text{mm}^2$ 、No.2 で $48.0\text{N}/\text{mm}^2$ 、No.3 で $43.0\text{N}/\text{mm}^2$ であり、No.3 の圧縮強度が No.1 及び No.2 に比べて小さくなった。これは、No.3 の配合が No.2 に比べて同一単位水量で単位セメント量を $10\text{kg}/\text{m}^3$ 減らし、結果として水セメント比が大きくなったためであるが、当ダム的设计基準強度 $31.9\text{N}/\text{mm}^2$ に対し、品質のばらつきを考慮しても No.3 の配合は十分に所定の品質を満足するものと考えられる。表-5 に静弾性係数、引張強度及び曲げ強度の試験結果を示す。圧縮強度が小さかった No.3 が他の配合に比べて各種強度が小さくなることが予想されたが、表に示すように静弾性係数、引

表-3 使用材料

項目	
セメント(C)	中熟熟ポルトランドセメント(比重 3.20)
細骨材(S)	砕砂(比重 2.59, FM=2.75, 吸水率 2.07%)
粗骨材(G)	砕石(G1(比重 2.69, FM=10.00), G2(比重 2.68, FM=9.00), G3(比重 2.66, FM=7.86), G4(比重 2.64, FM=6.56)) G1:G2:G3:G4=25:25:25:25
水(W)	水道水
AE減水剤	リグニンスルホン酸塩
AE助剤	変性アルキルカルボン酸化合物
流動性改善剤(SP)	高性能減水剤(β-ナフタリンスルホン酸塩)と増粘剤(ウエランガム)の混合物

表-4 コンクリート配合

No.	適用内容	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m^3)						
				W	C	S	G	AE減水剤	SP剤	AE助剤
1	標準 中熟熟、混和剤B	45.5	24.0	100	220	496	1638	2.20	0.000	0.011
2	C=10 kg/m^3 低減 中熟熟、混和剤B	45.2	24.8	95	210	518	1638	2.20	0.100	0.021
3	C=20 kg/m^3 低減 中熟熟、混和剤B	47.5	24.8	95	200	522	1644	2.20	0.100	0.024

*)4倍溶液として表示

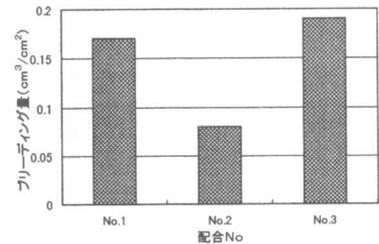


図-2 ブリーディング量

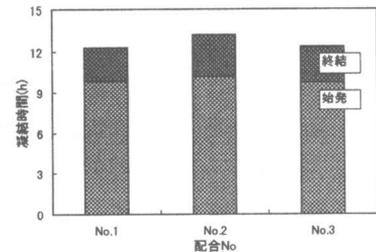


図-3 凝結時間

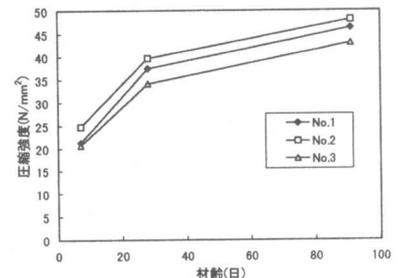


図-4 圧縮強度

表-5 各種強度

配合 No.	圧縮強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	曲げ強度 (N/mm ²)	静弾性係数 (×10 ⁴)
No.1	46.2	3.61	5.61	3.04
No.2	48.0	3.58	5.59	3.07
No.3	43.0	3.51	5.53	2.97

張強度及び曲げ強度ともに配合による差はほとんどなかった。図-5に断熱温度上昇試験結果を示す。図に示すように、3配合を比較すると、単位セメント量 10kg/m³ 減に対して終局温度上昇量 Q_∞ は 2℃程度低下しており、また、温度上昇速度 γ は No.2 と No.3 で若干小さくなっており、温度上昇の抑制に対して、セメント量の低減の効果が認められた。

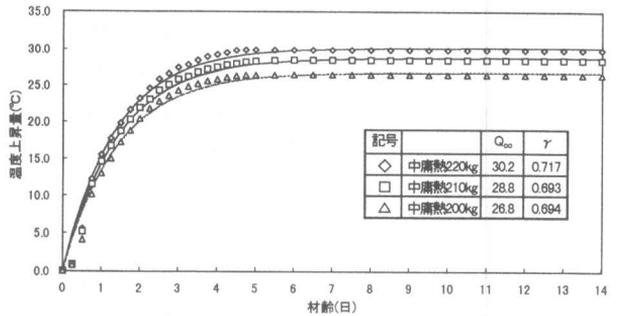


図-5 断熱温度上昇試験結果

4. 低熱セメント及び新規 A E 減水剤の使用に関する実験的検討

4.1 実験概要

試験に供したコンクリートの配合を表-6に示す。実験は主に骨材の最大寸法 150mm のフルサイズのコンクリート配合から 40~150mm の粗骨材を抜いたコンクリート配合について行った。なお、配合 No.5 及び No.6 については、フルサイズのコンクリートで断熱温度上昇試験を行った。実験は、200 リットル強制練り二軸型ミキサを用いてコンクリートを 100 リットル練り混ぜた。練り上がったコンクリートについて、スランプ及び空気量試験を行うとともに、ブリーディング試験を行い、また圧縮強度試験の供試体を作製し、材齢 7 日、28 日及び 91 日において強度試験を行った。低熱セメント及び新しい A E 減水剤以外の使用材料は表-3 に示すとおりである。低熱セメントにはピーライト系の低発熱ポルトランドセメントを用いた [2]、[3]。表-7 にセメントの組成化合物を示す。新しい A E 減水剤 (以下、混和剤 A

表-6 コンクリート配合

No.	適用内容	W/C	s/a	単位量 (kg/m ³)						
		(%)	(%)	W	C	S	G	AE 減水剤	SP 剤	AE 助剤
1	中廉熱、混和剤B	45.0	39.9	136	302	751	1168	3.15	0.144	0.006
2	中廉熱、混和剤A	45.0	39.9	136	302	751	1168	3.15	0.144	0.003
3	低発熱、混和剤B	45.0	39.9	136	302	751	1168	3.15	0.144	0.008
4	低発熱、混和剤A	45.0	39.9	136	302	751	1168	3.15	0.144	0.006
5	中廉熱、混和剤A	47.5	24.8	95	200	522	1630	2.20	0.100	0.001
		47.6	39.7	137	288	751	1176	3.15	0.144	0.003
6	低発熱、混和剤A	47.5	24.8	95	200	522	1631	2.20	0.100	0.001
		47.6	39.7	137	288	751	1178	3.15	0.144	0.008
7	低発熱 50%、混和剤A	47.6	39.7	137	288	751	1176	3.15	0.144	0.008

*1)4倍溶液として表示

表-7 セメントの組成化合物

品 種	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
	低発熱セメント	24	56	2
中廉熱セメント	43	35	4	12

表-8 AE 減水剤のゼータ電位、表面張力並びに接触角

AE 減水剤の種類	AE 減水剤の主成分	ゼータ電位*1 (mV)	表面張力*2 (dyn/cm)	接触角*2 (θ)
「A」	変性リグニンスルホン酸化合物とオキシカルボン酸の複合物	-9	52.0	42
「B」	リグニンスルホン酸化合物	-12	61.1	65

[注] *1 測定時の混和剤の使用量は、セメントに対して標準的な使用量とした。
*2 測定時の水溶液濃度は、練混ぜ水中の標準的な使用量から算出した。

と記す) としては、変性リグニンスルホン酸化合物とオキシカルボン酸からなるもので、変性リグニンスルホン酸が持つ液層中での微粒子粉体の分散性とオキシカルボン酸が持つ微粒子粉体表面、あるいは凝集物間隔への湿潤性 [4] を主作用とするものを用いた。なお、この混和剤 A は、JIS A 6204「コンクリート用化学混和剤」において遅延形に分類されるが、この遅延性は変性リグニンスルホン酸やオキシカルボン酸がセメント粒子表面へ吸着あるいは沈着し、セメントの水和反応を抑制することにより得られている。表-8 に、混和剤 A 及び本施工において使用しているリグニンスルホン酸化合物を主成分とする AE 減水剤 (以下、混和剤 B と記す) を用いたセメントペーストのゼータ電位、混和剤水溶液の表面張力並びに接触角を測定した結果を示す。

4. 2 実験結果及び考察

図-6 に混和剤 A 及び B、中庸熱セメント及び低熱セメントをそれぞれ用いたコンクリートのスランプを示す。図に示すように、混和剤の使用量が表-6 に示すようにともに標準量の場合、混和剤 A の減水性は、混和剤 B よりもやや優れているものと判断される。ただし、この傾向はセメントの種類によって異なり、低熱セメントでは、混和剤 A の減水性の増加の割合が中庸熱セメントより小さくなった。この理由の一つとして、セメントの種類により構成されるセメント鉱物の

割合や粉末度が異なり、混和剤成分の吸着速度や吸着率が変化するためであると推察される。図-7 に混和剤 A 及び B についてのブリーディング量を示す。同一水セメント比で混和剤の使用量が標準的な場合、混和剤 A の方が混和剤 B よりもブリーディング量が若干大きくなった。これは、同一水セメント比で混和剤の使用量が標準量の条件では、混和剤 A のスランプの方が大きかったためであると考えられる。図-8 に、混和剤 A 及び B についての凝結時間を示す。混和剤 A の方が混和剤 B よりも始発終結時間ともに、1~3 時間程度遅れた。また、低熱セメントを用いることによって、終結時間が 3 時間程度遅れた。図-9 に混和剤 A 及び B についての圧縮強度を示す。混和剤 A を用いたコンクリートの圧縮強度は、混和剤 B よりも材齢 7 日において 15~20% 程度

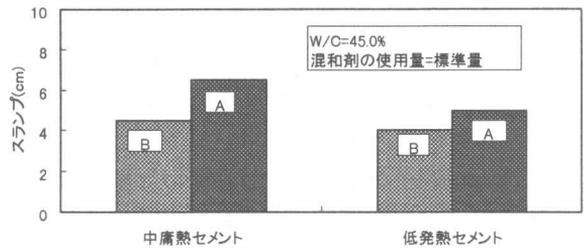


図-6 各種材料とスランプの関係

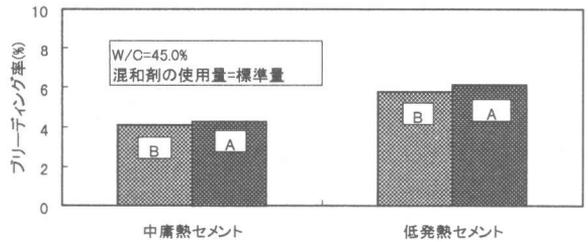


図-7 各種材料とブリーディング率の関係

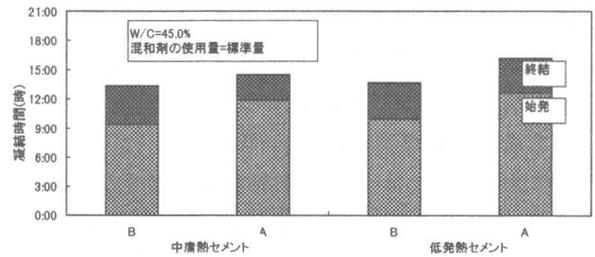


図-8 各種材料と凝結時間の関係

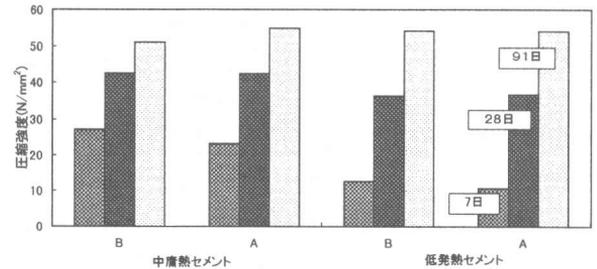


図-9 各種材料と圧縮強度の関係

小さくなったが、材齢 28 日及び 91 日ではほぼ同等となった。これは、凝結の遅延が材齢 7 日程度の強度発現に影響しているものと考えられる。圧縮強度の発現は、低熱セメントを用いることによって遅くなるが、材齢 91 日ではほぼ同程度の強度が得られた。低熱セメントを用いることによる凝結時間の遅れ及び強度発現の遅れの理由として、水和熱が大きく初期強度に寄与する C_3S 量が少ないことが考えられる。また、図-10 に示すように、低熱セメントと中庸熱セメントを 1 : 1 で混合したセメントを用いた

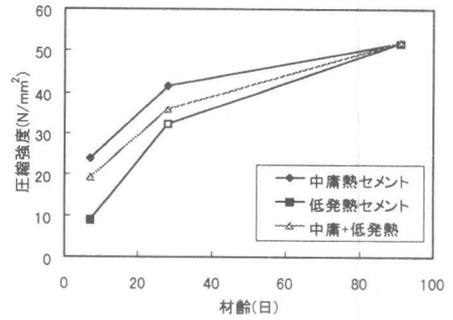


図-10 圧縮強度の関係

コンクリートの圧縮強度の発現は、両者のセメント単味の発現曲線のほぼ真ん中となり、混合することによる悪影響はないものと考えられる。図-11 に断熱温度上昇試験結果を示す。図に示すように、低熱セメントの終局温度上昇量 Q_{∞} は中庸熱セメントに比べて 3°C 程度低下し、また温度上昇速度 γ も 0.45 低下

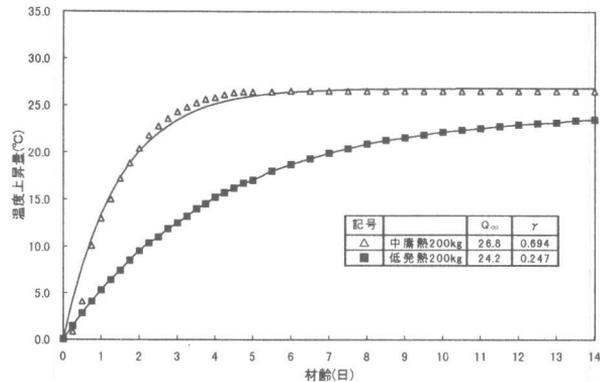


図-11 断熱温度上昇試験結果

しており、緩やかな温度上昇曲線を示した。このことは、低熱セメントを用いることによってコンクリートの温度上昇の抑制に大きな効果が有ることを示すものである。

5. 結論

温度ひび割れの発生を制御することを目的として、単位セメント量の低減、低熱セメントの使用及び新しい AE 減水剤の使用等について実験的に検討した。その結果、以下の成果を得た。

- (1) 単位セメント量を標準配合に対して $20\text{kg}/\text{m}^3$ 減じても、スランプ、強度等の品質が所定の品質を満足し、かつ温度上昇量を小さくできることが分かった。
- (2) 低熱セメントの使用により温度上昇量を大幅に小さくできることが分かった。また、新しい AE 減水剤は高い減水性を有するためセメント量を低減できる可能性があるが、セメントの種類によって減水性の向上の程度が異なることが明らかとなった。

参考文献

- [1] 斉藤 天、田島尚樹、坂田 昇：ダムコンクリートのセメント量低減に関する一実験、土木学会第 50 回年次学術講演会第 VI 部門、pp258-259、1995.9.
- [2] 吉田時行他：新版界面活性剤ハンドブック、工学図書（株）、1987.10.
- [3] 廣瀬哲、岡本享久、寺田了司、堺孝司：普通または早強セメントを混合したピーライト系セメントの特性、コンクリート工学年次論文報告集 Vol.18-1、pp315-320、1996.6.
- [4] 寺田了司、富田六郎、田中敏雄：ピーライト系ポルトランドセメントを用いたコンクリート諸特性、第 47 回セメント・コンクリート論文集、pp142-147、1993.5.