

高性能A E減水剤を用いたセメントミルクによる グラウト注入特性改善についての試験・考察

A Study on the Improvement of the Basic Physical Properties on Dam Grout
Containing an Air Entraining High-Range Water Reducing Agent

池田 務*・○田原則雄**・井出敬善***・菅俣 匠***

Tsutomu IKEDA, Norio TAHARA, Hiroyosi IDE and Takumi SUGAMATA

Abstract

The requirements for cement milk used for dam grouting are: 1) dispersion stability, 2) appropriate viscosity, and 3) fillability. Admixtures have been selected through experience.

We studied the application of an air entraining high-range water reducing agent to dam grouting.

Our test results indicate that cement milk containing an air entraining high-range water reducing agent exhibits better dispersion stability, viscosity, and adhesiveness than current cement milk does.

These advantages enable us to reduce: 1) grouting time due to grouting in high concentration, and 2) work-time and costs due to the decrease in grouting volume due to an increase in grouting scope.

1. はじめに

グラウチングは、ダム基礎処理方法として一般的に用いられているものであるが、近年、地質状況の十分良好でないサイトにもダムの建設が要求されることもあることから、ダム基礎のグラウチングについてもより一層の信頼性が求められるようになってきている。ダム基礎グラウチングに用いるセメントミルクの条件として、①分散安定性、②適度な粘性、③充填性等が要求されるが、これらについて適切な試験方法が確立されておらず、混和剤の使用についても経験と実績から決定されているのが実状である。一方、近年、高性能な混和剤も数多く開発されてきており、これらをダム基礎のグラウチングに使用することによりセメントミルクの流動性をさらに高めることが可能と考えられる^{1)~4)}。

そこで、このミルクに添加する混和剤に着目して、セメントミルクの注入特性を改善し工程短縮とコスト削減を図ることを目的に、高性能A E減水剤(R-8N)を使用したセメントミルク(以下、Rミルクと称す)の注入特性をプレーンミルク(以下、Nミルク)およびA E減水遅延剤(P-8)を使用したミルク(以下、Pミルク)と比較することにより、R-8Nのダム基礎グラウチングへの適用可能性を検討した^{5),6)}。

ここでは、注入効率に最も影響を及ぼすと考えられる流動特性を中心にその結果と考察について述べる。

* 戸田建設(株)ダム技術室、** 正会員 戸田建設(株)ダム技術室

*** (株)エヌエムビー中央研究所

2. 試験内容および試験方法

試験に用いた材料は、表-1に示す。セメントには大阪セメント(株)製の高炉セメントB種、混和剤には(株)ボソリス物産製のボソリスNo. 8とレオビルドSP-8Nを使用した。セメントミルクの練混ぜは、所定量の水を入れた容器内にハンドミキサで攪拌しながらセメントを入れ、2分間練混ぜて行った。

分散安定性は、100ml比色管を用いて沈降量の経時変化を0、5、15、30、60、90、120、180分の8段階で測定した。粘度はB型回転粘度計を用い、回転数30rpmで測定した。Jロート流下時間は、径1mm程度の溝を周囲に4ヶ空けた有溝コーンのうち2ヶの溝を塞いだコーンをJロート先端に入れて測定した。粘着力は、セメントミルクの銅板への付着量を測定し、単位体積重量から付着厚さを算出した。圧縮強度試験や粒度分布等は、混和剤の違いによる各種の影響を確認することを目的に実施した。

また、経時変化と温度変化の試験は、練混ぜ後の時間経過に伴うセメントミルクの性状変化と、練混ぜ温度の違いによるセメントミルクの性状変化について、実際の現場条件の範囲内で行った。

表-1 試験内容

項目	水 準	ケース
水セメント比 W/C	1/1、2/1、4/1、8/1	4
セメント	高炉セメントB種	1
混和剤	ブレン(無添加) ボソリスNo. 8 (C×0.25%) レオビルドSP-8N (C×0.7%)	3
試験種類	1) 性状比較(練混ぜ直後) 2) 経時変化(0~3時間) 3) 温度変化(2, 10, 20, 30℃)	
試験項目	①分散安定性 ②粘度 ③粘着力(付着厚さ) ④Jロート流下時間(有溝コーンの溝2ヶ) ⑤粒度分布 ⑥圧縮強度	

3. 試験結果

3.1 セメントミルクの特性

図-1は沈降量の経時変化を示しているが、各配合ともRミルクのブリージングが小さく分散安定性が高い傾向にあることがわかる。

図-2はセメント水比 C/Wと粘度の関係を示している。薄い配合ではいずれも粘度そのものの値が小さいため差は小さいが、W/C=2/1、1/1と濃い配合ではNミルク、Pミルクの粘度が急激に増大するのに対し、Rミルクはわずかに増加するだけで、特に

W/C=1/1ミルクでは前者に比べ約1オーダー小さい結果が見られた。

図-3は、各ミルクの付着厚さを示している。RミルクはNミルク及びPミルクに比べ付着厚さは小さい傾向にある。これは注入に際し、亀裂壁面へのセメン

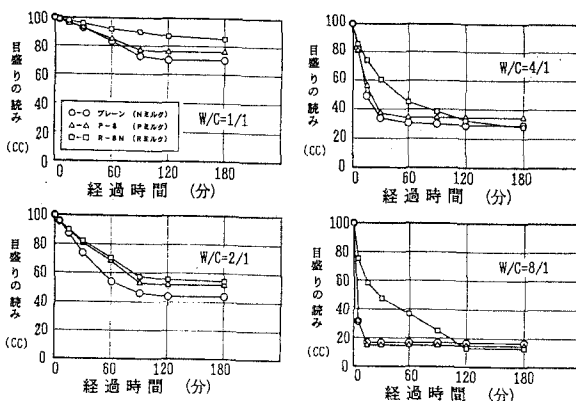


図-1 分散安定性試験結果

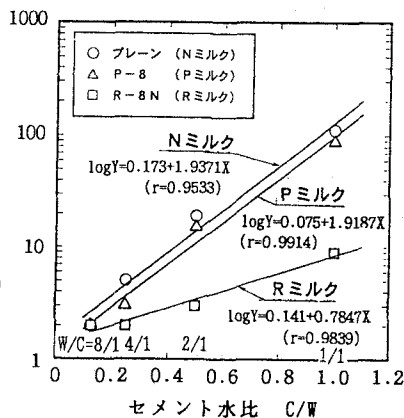


図-2 セメント水比と粘度の関係

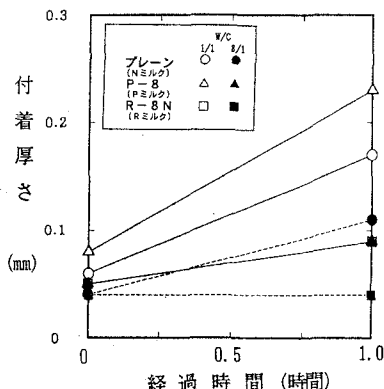


図-3 粘着力(付着厚さ)試験結果

ト粒子の付着が少なく、目詰まりの少ない良好な注入が可能と考えられる。

3・2 経時変化の影響

図-4は、粘度、Jロート流下時間、付着厚さの経時変化を示している。Nミルク、Pミルクの粘度はいずれも100cp程度であるのに対し、Rミルクでは10cp程度と1オーダー小さく、かつこれが長時間にわたって持続している。また、Jロート流下時間、付着厚さについても、RミルクはNミルク及びPミルクと同様に時間の経過とともに流下時間、付着厚さがやや大きくなるが、相対的には良好な状態を保っている。

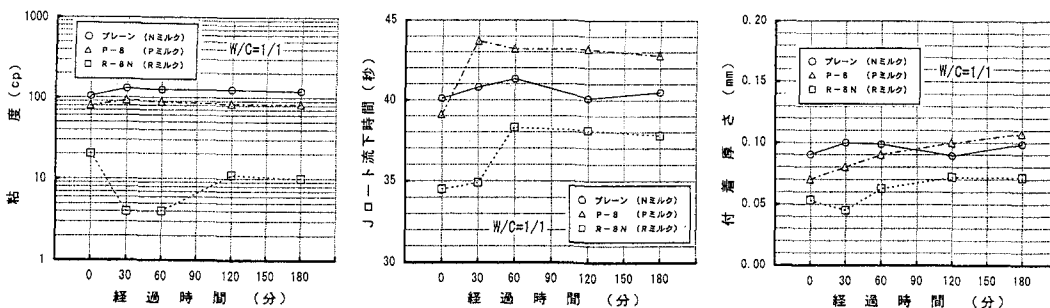


図-4 粘度、Jロート流下時間、付着厚さの経時変化

3・3 練混ぜ温度の影響

図-5は、粘度、Jロート流下時間、付着厚さと温度の関係を示している。粘度は温度が低いと大きくなる傾向にあるが、Rミルクでは温度によらず他の2者に比べ1オーダー小さく良好な流動性を示す。また、Jロート流下時間についても同様の傾向が見られ、低温の2℃ではいずれのミルクも流下時間は41～43秒とやや長くなっているが、温度が高くなるに従い短くなり、特にRミルクの流動性がNミルク、Pミルクに比べ相対的に短く良好な結果を示す。さらに、付着厚さについても温度が低いほど大きい傾向にあり、特にRミルクでは他の2者に比べ全般的に小さく、良好な結果を示している。

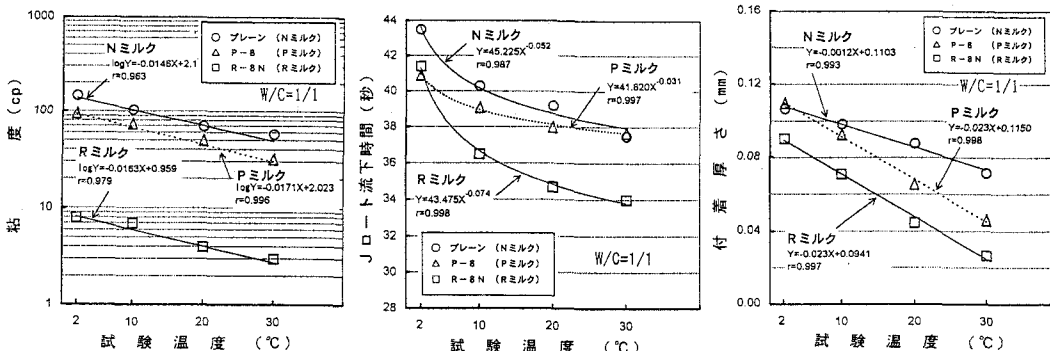


図-5 試験温度と粘度、Jロート流下時間、付着厚さの関係

4. 考察

4・1 単位時間当り注入量

セメントミルクの注入特性がダルシー則に準ずるものと仮定し、水の透水係数に相当する係数として注入係数（単位時間当り注入量） k_g を定義すれば、水の透水係数 k_w をもとに次式で表される。

$$k_g = k_w \cdot \frac{\eta_w}{\eta_g} \cdot \frac{\gamma_g}{\gamma_w} \quad \dots \dots (1)$$

ここに、 k ：注入係数（ m/sec ）、 η ：粘性係数（ $N \cdot s/m^2$ ）、 γ ：単位容積重量（ N/m^3 ）

Nミルクの注入係数を k_{gn} 、混和剤添加ミルクの注入係数を k_{ga} とすると次式となる。

$$k_{ga} = k_{gn} \cdot \frac{\eta_{gn}}{\eta_{ga}} \cdot \frac{\gamma_{ga}}{\gamma_{gn}} \quad \dots \dots \dots (2)$$

図-6は、Nミルクの注入係数 k_{gn} を基準($k_{gn}=1$)として、それぞれ配合別に比較したものである。図-6より、薄い配合では3者の違いは少ないが、濃い配合ではRミルクの注入係数は非常に大きくなり、特に $W/C=1/1$ では、Nミルクの12.2倍と非常に流動性の良い結果が得られた。また、図-7は、 $W/C=2/1$ 、 $4/1$ 、 $8/1$ のNミルクそれぞれの注入係数をもとにして、各種ミルクの注入係数を比較したものである。Rミルクはいずれも1段階濃い配合については勿論のこと、2段階濃い配合に対しても注入係数比がやや1に近い値を示しており、従来ミルクに比べ1～2段階濃い配合で注入しても理論的には十分注入可能と考えられる。

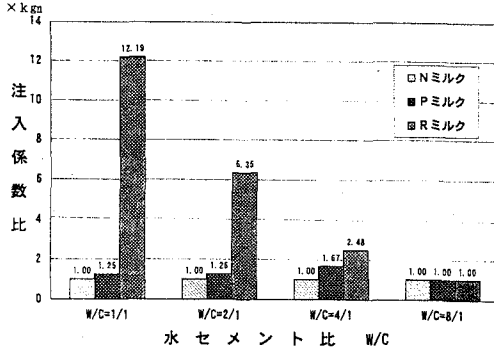


図-6 配合別注入係数比較

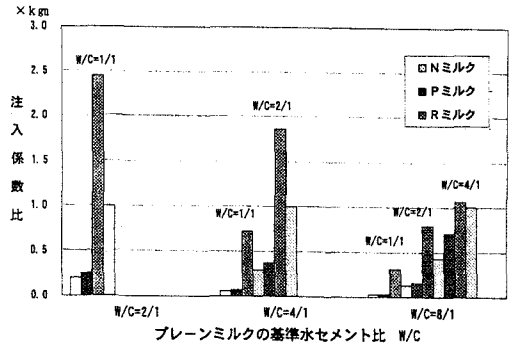


図-7 注入係数比較 (全配合)

4・2 注入範囲拡大による注入孔の削減効果

岩盤への総注入量は、セメントミルクの粘着力によって決定され、注入条件として壁面が粗面で乾燥状態の単一割れ目と仮定した場合、セメントミルクの流れがストップする時点で粘性抵抗がゼロとなるため、粘着力のみで注入範囲が決まる。即ち、セメントミルクの最大到達半径は、次式により求められる¹⁾。

$$R_{max} = \frac{P_{max} \cdot t}{C} = h \cdot \frac{t}{c_r} \quad \dots \dots \dots (3)$$

ここに、 R_{max} ：最大到達半径 (m)、 P_{max} ：最大注入圧力 (Pa)、 C ：粘着力 (Pa)

h ；圧力水頭 $h = P_{max} / \gamma$ (m)、 $2t$ ；割れ目厚 (m)

c_r ；単位重量当りの粘着力 $c_r = C / \gamma$ (m)、 γ ；単位容積重量 (N/m³)

粘着力(付着厚さ)は、薄い配合では値そのものが小さいため、 $W/C=1/1$ 以下の濃い配合に対しても試験を実施した。その結果を図-8に示す。

Nミルクは、 $W/C=0.8/1$ から $0.4/1$ へと濃度が高くなるに従い、粘度、付着厚さが急激に増大する傾向にある。また、 $W/C=0.4/1$ の濃い配合については、PミルクとRミルクの混和剤使用量を変えたものに対しても実施した。その結果、 $W/C=0.4/1$ の濃い配合では、Pミルクはセメント重量比0.2～0.3%の通常の使用範囲内では、粘度、付着力ともにNミルクと同様に大きい値を示すのに対し、Rミルクはいずれの値も小さく、特に、付着厚さについては添加量0.5～1.0%の範囲では、約1オーダー

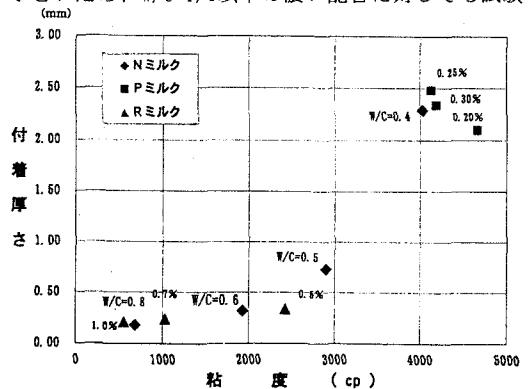


図-8 粘度と付着厚さの関係

一も小さく非常に良好な結果が得られた。

図-9は、Nミルク(W/C=0.4/1)の最大到達半径を基準に各種ミルクの比較を行ったものである。W/C=0.4/1では、NミルクとPミルクにほとんど違いは見られないが、Rミルクでは約10倍と大きいこと、W/C=1/1の場合でも他の2者に比べて大きいことから、Rミルクの注入範囲の拡大が期待できる。

以上の結果は、あくまでも上述した仮定に基づく理論値である。実際のグラウチングでは、脱水されたモルタル状ミルクが内部摩擦を持つため、到達距離は理論値に比べかなり短く水(ブリージング水)だけが遠方へ圧送される。従って、グラウチングに用いるセメントミルクは、セメントと水が極力分離しない安定グラウトが望ましく、そのためには混和剤を添加して流動性を高めた濃い配合のセメントミルクを使用することが重要となる。この点、Rミルクでは同じ配合ミルクに対しては、最大到達長が延びて注入1回当りの注入範囲が拡大するか、あるいは濃い配合とした場合でも従来のミルクと同程度の到達距離を確保できるものと考えられる。

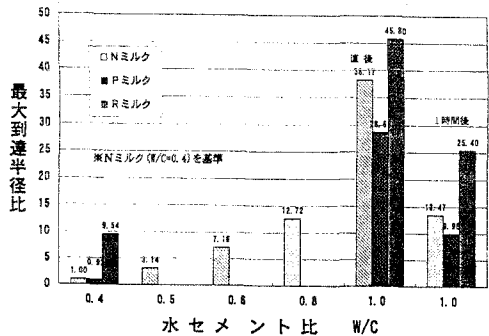


図-9 最大到達半径の比較

5. まとめ

今回の試験結果から、高性能A E減水剤(R-8N)を添加したミルクは従来ミルクに比べ、分散安定性、粘性、粘着力等についてその優位性を確認できた。また、この優位性は、①長時間にわたり良好な状態で持続していること、②練混ぜ温度が変わっても従来使用しているセメントミルクに比べ全般的に良好である、といった点についても確認できた。

この優位性は実際のダムグラウチングでは、

- ① 注入開始濃度が従来の C/W=1/10~1/8から1/6~1/4程度あるいは更に濃い初期配合からの注入が可能になること、及び配合切替回数の減少による注入時間の短縮
- ② 注入範囲が拡大することにより、例えば従来5次孔まで必要であったものが4次孔で済み削孔長が減るなどの施工数量の減少

等により、工程短縮とコストの削減が図られるものと考えられる。

現在、実際のダムサイトで発注者の承諾を得て試験グラウチングを実施し、ダム基礎での適用可能性を検証しているところである。今後は、この流動特性を岩盤の状況に応じて十分発揮できるよう、合理的な注入仕様を求めていくことが当面の課題である。

6. 参考文献

- 1) LOMBALDI, G.: "The role of cohesion in cement grouting of rock", Q58, R13, 15th ICOLD Congress, Lausanne, Switzerland; 1985.
- 2) LOMBALDI, G. & Deere, D.: "Grouting design and control using the GIN principle", Water Power & Dam Construction; 1993. 6.
- 3) 溝口旦元: ダム基礎岩盤のグラウチングに関する私見, 電力土木, pp105~111, 1996. 3.
- 4) 溝口旦元: グ라우チングによる岩盤改良の難易度を予測するための試案, 電力土木, pp81~88, 1998. 5.
- 5) 田原則雄・栗原哲夫・植田実・井手敬善: 高性能減水剤を用いたダムグラウトの基礎的物性について, 土木学会第50回年次学術講演会講演概要集第5部, pp84~85, 1995. 9.
- 6) 田原則雄・栗原哲夫・菅俣匠・井手敬善: 高性能A E減水剤を用いたダムグラウトの基礎的性状について(第2報), 土木学会第51回年次学術講演会講演概要集第5部, pp268~269, 1996. 9.