放射性廃棄物処分場のセメント系部材へのひび割れ注入材料の提案

戸田建設株式会社　正会員　○関口高志　正会員　関根一郎　正会員　山田勉
電気化学工業株式会社　非会員　石田秀朗

１．はじめに

放射性廃棄物処分場における人工バリアのセメント系部材には，移行抑制機能の技術要件として拡散特性や核種収着性が長期的に求められることがある[1)]．ここでセメント系部材のひび割れは移行抑制機能に与える影響が大きいことから，その発生メカニズムや影響機構の評価方法，発生抑制対策などの検討が進められている．

本稿では，セメント系部材の品質保証の観点からひび割れ注入に着目し，地層処分の岩盤グラウトのために開発された超微粒子球状シリカ(Super Fine silica Powder，以下 SFP という)[2)]を，最適な材料として提案する．

２．セメント系部材のひび割れに対する品質保証の考え方

セメント系部材のひび割れは，適切な設計と品質管理（材料・施工・環境管理）によって発生を抑制させる努力を行ったうえで，なお発生が想定されるものは安全評価で考慮しておくという考え方がとられている．

しかしながら，ひび割れは部材内部で３次元的な拡がりをもつものなので，「実際に発生したひび割れ」と「想定されるひび割れ」の性状を比較して，「実際」が「想定」を下回っていることを確認するのが難しい場合もあると考えられる．また万が一，「実際」が「想定」を上回ってしまう部分が出現した場合，品質保証の観点から好ましくないこととなる．このような場合に，ひび割れ注入により「実際に発生したひび割れ」の品質を向上させる手段を用意しておくことは，セメント系部材の品質保証をより確実なものにすると考えられる．

３．ひび割れ注入の要件

ひび割れ注入の要件は，セメント系部材に求められる拡散特性や核種収着性を考慮し，次のように考えた．

要件①　ひび割れの表層から深部まで，微細な部分も含めた全体にわたり充填すること

要件②　ひび割れ部におけるセメント系部材からのカルシウムの溶脱を抑制する効果があること

要件③　核種収着性への影響を考慮して主材を無機材料とし，その他の材料も影響の小さいものとすること

以下に，これらの要件を考慮した注入材料の選定と配合の考え方を整理し，確認試験の結果を報告する．

４．最適な注入材料の選定

前項の要件にもとづき，ひび割れ注入材料の比較を行い，SFPを最適な材料として選定した（表-1）．

表-1　ひび割れ注入材料の比較

材料	無機系材料		有機系材料（樹脂系など）
	SFP	セメント系	
要件①	○	△	△
要件②	○	△	×
要件③	○	○	×
総合評価	○	△	×

要件①では，SFPの最大粒径が1μm程度と小さく，一般に0.2mmまでが適用範囲とされている他の材料より優位であると考えた．要件②では，ひび割れに注入したSFPがセメント系部材から溶脱するCaとポゾラン反応によりC-S-Hを生成し硬化すること（これをSFPの水硬性という，図-1）に期待し，他の材料より優位であると判断した．なお表面に塗布・吹付するコンクリート改質材の利用も考えられるが，その浸透効果は表層部に限定されるため排除した．

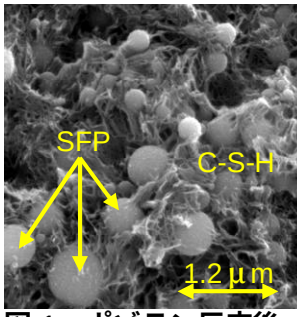

図-1　ポゾラン反応後のSEM画像

５．注入材料の配合の考え方

注入材料の構成は，結合材（要件①，③を考慮）である SFP と超微粒子消石灰（超微粒子水酸化カルシウムともいう），混和剤（要件③を考慮），練混ぜ水とし，スラリー供給を前提とする．注入材料の配合は，セメント系部材の配合やひび割れの状態に応じて定めるが，基本的に SFP リッチまたは SFP 単味とする（要件②を考慮）．

キーワード　放射性廃棄物処分場,セメント系部材,ひび割れ注入,超微粒子球状シリカ,ポゾラン反応,溶脱抑制
連絡先　〒104-8388　東京都中央区京橋 1-7-1　戸田建設株式会社　TEL03-3535-2369

６．ひび割れ充填性の確認試験

要件①に関連して，SFP を用いた注入材料（結合材中の SFP 質量比：60%，水／結合材比：135%，混和剤添加量：結合材質量の 5%）により，ひび割れ充填性の確認試験を行った．

試験では，鉄筋コンクリート供試体に強制的に発生させたひび割れ（表面の開口幅で 0.2～0.3mm）へ低圧注入し（図-2），7 日間の湿空養生と 28 日間の水中養生後にコンクリートカッターで断面を切断して，注入材料が内部の微細なひび割れ（0.1mm 程度）のところまで充填されていることを確認した（図-3）．

図-2　低圧注入の状況

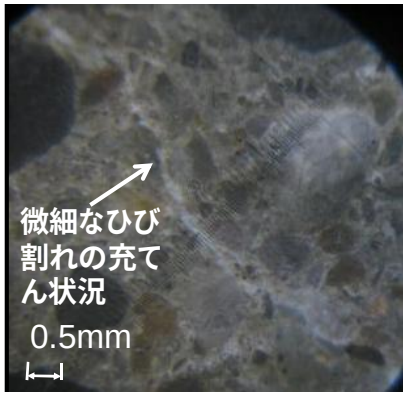

図-3　ひび割れの充填性確認

７．SFP の水硬性を確認するための模擬浸漬試験

要件②に関連して，SFP の水硬性を確認するため，ひび割れ内のポゾラン反応を模擬した浸漬試験を行った．

試験では，まず SFP 単味のスラリー（SFP：水の質量比＝75:25）を和紙袋に投入後，乾燥・固形化してから質量を測定した．次に，反応促進のため過飽和の状態まで水酸化カルシウム（以下，CH という）を投入した水溶液（20g/L）中で，供試体を 28 日間浸漬（図-4）した後，乾燥質量を測定し，浸漬前後の質量変化を測定した（表-2）．ケース１（基本ケース）では，28 日浸漬後の質量増加が SFP 固形分に対して 1.0%であり，ほかに反応を促進させるために試験条件を変えたケース２～４では質量増加が 1.1～1.4%であった．7 日浸漬後の質量増加が 0.4%（ケース６）であり，ポゾラン反応が発生しない気中養生での質量変化がゼロ（ケース５）であったこととあわせて考えると，材令や条件に応じてポゾラン反応が進行した可能性が推察される．これらの結果と硬化生成物の XRD 分析で C-S-H が確認されたことから，SFP には水硬性があると考えられた．

表-2　各ケースの試験条件と質量変化

ｹｰｽ	試験条件			質量変化
	供試体	浸漬方法	浸漬期間	
1	SFP スラリーを乾燥	液固比 25（L/kg）の過飽和の CH 水溶液（pH12.5）中で浸漬	28 日	＋1.0%
2	SFP スラリーに飽和 CH 水溶液を投入し乾燥	ケース１と同じ		＋1.4%
3	SFP スラリーを乾燥し和紙袋内で粉砕	ケース１と同じ		＋1.1%
4	ケース１と同じ	液固比 100（L/kg）の過飽和の CH 水溶液（pH12.5）中で浸漬		＋1.1%
5	ケース１と同じ	恒温低湿室（20℃）で気中養生		0%
6	ケース１と同じ	ケース１と同じ	7 日	＋0.4%

※ケース１を基本ケースとし，ハッチング部はケース１との試験条件の違いを示す．

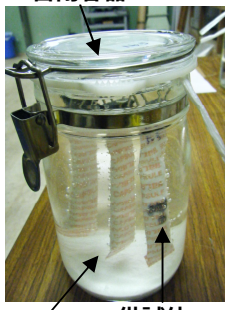

図-4　浸漬状況

８．まとめ

本稿では，ひび割れ注入をセメント系部材の品質保証体系の中の予備的な手段としてとらえ，SFP を用いた注入材料を最適な材料として選定した．また確認試験により，SFP がひび割れ注入の要件を満足している可能性が示唆された．SFP を用いた注入材料の基礎物性については，岩盤グラウトの開発[2)]で概ね確認されているが，今後，ひび割れ注入に特有の要件②を中心に，適用性を実証していくことが望まれる．

参考文献

1)例えば，土木学会エネルギー委員会，低レベル放射性廃棄物の余裕深度処分に関する研究小委員会：余裕深度処分における地下施設の設計，品質管理および検査の考え方，2009 年 7 月

2)関口高志，関根一郎，冨澤奈緒美，平野健吉，石田秀朗，藤田朝雄，山田勉：地層処分におけるグラウト技術の高度化開発（その６）―超微粒子球状シリカグラウト材料に関する基礎物性試験―，土木学会第 64 回年次学術講演会，pp.145-146，2009