

# セメント系固化材の最新技術を講演

第46回地盤工学発表会特別セッションから 2011年7月7日 於、神戸国際会議場

セメント協会はセメント系固化材を用いた土質・地盤の改良技術の普及・発展を図るべく、様々なかたちで技術講演会を実施している。地盤工学会の主催で2011年7月5～7日まで神戸市で開催された第46回地盤工学研究発表会では、7日に技術者交流特別セッションとして同協会のセメント系固化材普及専門委員会を中心に固化材関連委員会の各委員が最近の動向について講演した。



同・改良体の長期安定性検討委員会  
守屋 政彦幹事



セメント協会・固化材技術専門委員会  
近藤 秀貴委員長



セメント協会・固化材普及専門委員会  
金城 徳一委員長



東京工業大学大学院理工学研究科  
北誥 昌樹教授

当日、講演を行ったのはセメント系固化材普及専門委員会の金城徳一委員長、セメント系固化材技術専門委員会の近藤秀貴委員長とセメント系固化材による改良体の長期安定性検討委員会の守屋政彦幹事の三氏。また、不動テトラの野津光夫地盤事業本部国際部長が海外での大規模深層混合処理工法の施工事例について報告した。セッションのコーディネーターは東京工業大学大学院理工学研究科の北誥昌樹教授が務めた。

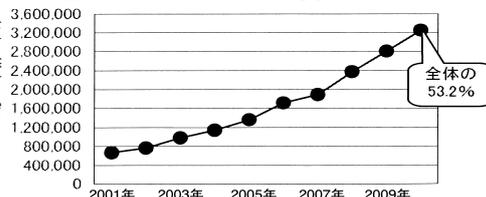
表-1 セメント系固化材需要推移

	2001年	2002年	2003年	2004年	2005年	2006年	2007年	2008年	2009年	2010年
北海道	157,586	123,404	117,650	103,637	132,420	135,337	145,356	132,357	157,450	102,241
東北	500,657	455,093	510,477	503,538	525,586	566,681	510,073	523,683	440,863	480,142
関東	1,886,262	1,841,231	1,875,087	1,985,343	2,049,340	2,265,918	2,074,420	2,306,630	1,977,380	2,082,635
北陸	503,148	516,307	525,404	580,143	682,322	721,230	683,789	706,917	653,637	637,725
東海	765,577	814,800	921,343	935,848	950,268	1,136,703	1,093,617	1,233,609	972,716	976,254
近畿	956,651	1,001,121	1,004,023	1,049,280	1,003,969	1,013,249	1,018,672	1,031,723	945,669	969,363
四国	101,441	89,758	117,832	98,841	131,731	100,711	103,821	86,958	88,727	85,970
中国	308,419	315,613	307,324	345,444	283,686	348,925	352,588	339,971	274,413	268,332
九州・沖縄	468,717	424,620	461,222	466,153	516,475	563,556	555,714	524,446	478,727	506,116
計	5,648,458	5,581,947	5,840,362	6,068,227	6,275,797	6,852,310	6,538,050	6,886,294	5,989,582	6,108,778
特殊土用	666,039	765,676	983,755	1,143,108	1,363,761	1,714,338	1,891,202	2,377,199	2,805,593	3,248,131

\* 特殊土用のデータは全体需要の内数

セッションの最初に講師として登場した金城委員長は「土を固めるセメント系固化材」の題で、セメント系固化材を用いた土質・地盤改良技術の基本的な内容について概説した。ここではセメント系固化材の基礎原料でもあるセメントの化学組成や水和反応といった基本的な性質に始まり、他産業から発生する多くの廃棄物・副産物を原燃料の代替材として受入れている現状についても説明された。

表-2 特殊土用固化材需要推移(単位: t)



そのうえで普通ポルトランドセメントと固化材の違いについて金城委員長は「セメント系固化材はセメントを母材に土質・地盤の改良目的に応じて様々な混合物が混ぜられた製品が開発されている」として、「固化材が固める相手は軟弱土やヘドロ、高有機質土など多種多様であり、生コンの様に標準配合や強度が決まっているわけではない。従って、使用目的や現場の環境など必要条件に応じて、その都度、適切な配合設計を行う必要がある」と述べた。

一方でセメント系固化材の需要量について同委員長は「普通ポルトランドセメントがここ数年で激減しているのに対して、長い期間にわたって非常に安定した水準を維持している」点にも触れた。(表-1 セメント系固化材需要推移表を参照) この背景としては、地盤改良による構造物の耐震性の確保、粘性土や浚渫土などの土質改良によるリサイクル使用、建設発生土の原位置処理など、現在の建設業界のニーズに合致した工法技術であることが挙げられる。また、六価クロム溶出抑制型のセメント系固化材も特殊土用固化材として開発されており、2010年度には全体需要量の過半数を超えるなど、目立った伸びをみせている(表-2 特殊土用の表を参照)。次ページに続く



活発に意見が交換された

続いてセメント系固化材技術専門委員会の近藤秀貴委員長が委員会の最近の主な取り組みについて報告した。同委員会は現状の技術的な課題について、WG（ワーキンググループ）やSWG（サブワーキンググループ）の活動を通じて解明に努めている。この活動は2006年から現在まで続けられている。

当日報告されたのは、①セメント系固化材による改良体の膨張特性②セメント系固化材により固化処理した浚渫土の強度に及ぼす解きほぐしの影響③土のアロフェン含有量と改良体の強度発現性に関する検討④セメント系固化材を用いた改良体の長期安定性に関する検討一についての各SWGの研究成果。

①の膨張特性の課題とは、セメント系固化材が従来のセメントでは固化しにくい土に対して改良効果が発揮できるよう、エトリンガイドの生成量が多くなるように設計されているため、固化材を誤った方法で使用した場合、改良体が過大な膨張を示す可能性があるというもので、誤った方法には固化材の過剰添加や固化材と土壌の混合不良（混合不良があると土中に固化材の過剰添加の部分が存在する）等があげられている。同SWGは固化材の過剰添加が改良体の膨張特性に及ぼす影響を調査するため、固化材の添加量を変えた改良体を作製し、膨張量を測定するとともに、実験条件として固化材の添加量の他に、試料土の含水条件や改良体の養生条件も影響要因に加えて、考察した。結果、改良体の膨張率は養生条件に関らず、固化材添加量が増えると共に大きくなることや膨張率には試料土の含水状態が大きく影響することが確認された。この結果から近藤委員長は「固化材は適切な添加量で均一に施工することが重要」と述べている。

②の解きほぐしの影響の課題とは一度固化処理した浚渫土等の改良土を他の現場で、盛り土等で再利用する際に行う解きほぐしが強度を低下させる点について、特に解きほぐしを行う材齢が強度に及ぼす影響について確認した。

解きほぐさない標準供試体と解きほぐした材料で供試体を作製し、所定の材齢で強度を比較した結果、解きほぐしを行う材齢が遅くなるほど強度低下が著しいことが確認できた。また、その傾向は固化材添加量が多く、一軸圧縮強さが大きい改良土ほどより顕著になることも確認された。

③の課題は、非晶質の珪酸アルミニウム粘土鉱物であるアロフェンを含む火山灰質粘性土を固化処理する場合、目標強度を満足させるために通常より多くの固化材添加量が必要になるケースについて実際に試料土を作製し、一軸圧縮強さを比較する等の検討を実施したものの。この結果、アロフェン含有量が多いと強度発現が悪くなることが確認された。また、アロフェン含有量が多い試料土ほど固化材添加量を増やした際の強度増加が緩慢であることが確認された。

④の改良体の長期安定性に関する検討では、セメント系固化材を用いた改良体の最終材齢を20年とした長期安定性試験を実施している。同協会は2002年3月に最終材齢を10年とした長期安定性試験の結果を「セメント系固化材を用いた改良体の長期安定性に関する研究」として報告しているが、今回は最終材齢20年を目処に改良体に対する地下水の影響や改良体からの六価クロムの溶出量の確認を港湾空港技術研究所の協力を得て行っている。このSWG活動は2008年2月から開始され、現在も継続中である。次ページに続く

続いて壇上に上がった守屋政彦幹事は土壌からの重金属の溶出防止にセメント系固化材が果たす役割について講演した。

これは2003年2月に土壌汚染対策法が施行（一昨年4月に改正）されたことに伴い、土壌汚染対策の必要性が急速に高まり、その対策手法の一つとして、セメント系固化材による不溶化処理が第二種特定有害物質（重金属等）の溶出防止に効果があるとみなされていることを受けたもの。ただし、適用可能な条件は、第2溶出量基準に適合している場合の「原位置不溶化」、「不溶化埋め戻し」と第2溶出量基準に適合していない（超過した）場合の第2溶出量基準を満足させるために行う「不溶化」といった限定的なものである。また、今回の講演では対象である第二種特定有害物質（重金属等）のなかのカドミウム、鉛、六価クロム、ヒ素など無機化合物8物質を中心に述べている。

守屋幹事はまずセメント系固化材による重金属類に対する不溶化・封じ込めのメカニズムについて説明。セメントと水の水和反応で水酸化カルシウムが生成され、水酸化カルシウムから水酸基が解離し、重金属類と難溶性の水酸化物沈殿を生成し、改良土壌中に沈積、固定することによる不溶化や、エトリンガイドに代表される水和物が、その結晶構造中に重金属類を置換固溶することや水和物表面に吸着固定することによる不溶化、セメント系材料による硬化体組織の緻密化による封じ込めによる不溶化などについて述べた。

また、セメント系材料による改良体は材齢の進行に伴ってセメントの水和反応により生成した水和物が空隙・間隙を充填し、組織を緻密化することで、重金属類を改良体内部に封じ込めるのに効果を発揮すると同時に強度も増進させる。このため守屋幹事は基本的にセメント系固化材の添加量の多い緻密な改良体は、より高い水準の重金属の不溶化効果が期待できるとしている。また、改良体の材齢が高くなることでも不溶化効果が高まることが期待できるとしている。一方同氏はその効果は決してオールマイティなものではなく、一例として鉛や亜鉛などは酸性、アルカリ性いずれでも溶解度が高くなる性質を持っており、不溶化に適正なpH領域を超えると不溶化が不十分になる可能性を指摘。対象となる重金属の性質に鑑みて適正な管理で適材適所に採用すべき点を強調している。

また、不溶化は汚染土壌を面で支えている構造のため、セメント系固化材で支持力の付与などの地盤改良と同じ施工機会にできる利点があることやダイオキシン類の封じ込めにも有効であること、あくまで有害物質を原位置に残す工法のため、周辺環境に与える影響・リスクなども十分に考慮したうえで施工されるべきであることなどが報告された。

この後、質疑応答があり、ゼネコンや地方自治体の関係者からの質問に講演者が回答するかたちで活発な意見が交わされた。

続いて不動テトラの野津光夫地盤事業本部国際部長が米国での大規模深層混合処理工法の施工事例について報告した。この工事は2005年のハリケーンカトリーナで被害を受けた米国ルイジアナ州ニューオリンズ市の東側堤防を嵩上げし、次の大型ハリケーンに備える大型国家プロジェクトで、堤防嵩上げに伴い必要となる地盤改良工事に深層混合処理工法が大量に採用された施工の様子が紹介された。

セメント協会・セメント系固化材普及専門委員会															
住友大阪セメント	日立セメント	新日鐵高炉セメント	麻生ラファージュセメント	電気化学工業	デイシイ	宇部三菱セメント	太平洋セメント	琉球セメント	トクヤマ	日鐵セメント	委員	宇部三菱セメント	委員長	構成社	11社
保米本正	森木徹	宇野良宗	川本英弘	酒井誠	久家立	松浦泰宏	斎藤準護	比嘉尚武	佃美伸	西田浩行	委員	金城徳一			