ＣＬＳＭの長期強度抑制に関する材料の検討（第２報）

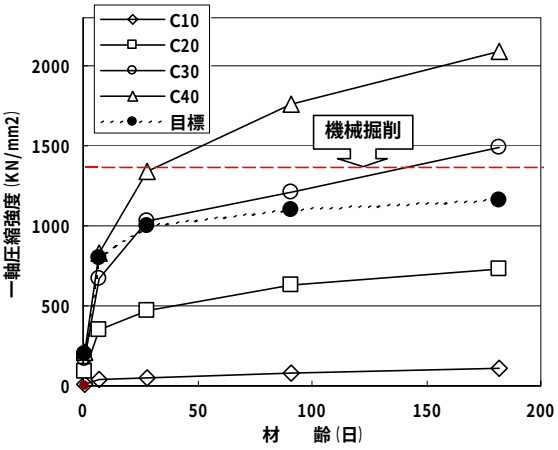
北海道電力㈱　○正会員　水口　洋
北電興業㈱　正会員　野村　陽介
日鐵セメント㈱　藤村　恵一

１．はじめに

CLSM（Controlled Low Strength Materials）はアメリカで普及しているスラリー状の埋戻し材料であるが，国内における実績はほとんどない．この材料の特徴は低強度であるため施工後の掘削が容易なことであるが，フライアッシュを使用することで長期強度が増進し，掘削時にバックホウによる機械掘削が困難になる場合が想定される．本稿は，固化材としてセメント系固化材および石膏を使用することで，長期強度発現を抑制することができたので，その検討結果について報告するものである．

２．従来材料の改良

CLSM の使用材料は、普通ポルトランドセメント、水、細骨材およびフライアッシュが一般的であり、その強度は単位セメント量に支配され、セメント量は 50 kg/m³以下の範囲である．バックホウによる機械掘削が可能な基準強度を 1,400 kN/m²とすると，**図－1** に示すように，従来材料ではセメント量が 30 kg/m³以上の場合に，長期的には再掘削時で基準強度を超過する場合がある．



図－1　材齢と一軸圧縮強さの関係

３．試験概要

3.1 使用材料

CLSM用セメントの改良の考え方は，CaO，SO_3はセメント系固化材や石膏から供給され，Al_2O_3はフライアッシュから供給されるものとし（**表－1**），水和反応によりエトリンガイトを生成する[1)]ことで，強度発現を期待するものである．石膏は無水石膏（$CaSO_4$）と火力発電所の脱硫装置から発生する副産物である脱硫石膏（$CaSO_4・2H_2O$）を使用し，石膏の添加量はSO_3換算量であわせた．

表－1　材料の化学成分

項目	化学成分 (%)						密度 (g/cm3)	比表面積 (cm2/g)
	SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO	MgO	SO3		
フライアッシュ	60.3	19.7	5.4	2.3	0.5	1.5	2.24	3,720
セメント系固化材	20.2	5.5	2.4	61.9	2.2	6.3	3.12	4,590
普通ポルトランドセメント	21.8	5.1	3.0	63.8	1.7	2.0	3.16	3,410

3.2 試験配合

試験は第 1 ステップとして，石膏の添加が強度に与える影響を把握するため，セメント量を 50kg/m³に固定し，石膏を適量添加し実施した．

第 2 ステップとしてセメント量を 30kg/m³に減らし，固化材の量を決定することとした．各ステップの試験配合を**表**―2 に示す．

表－2　試験配合

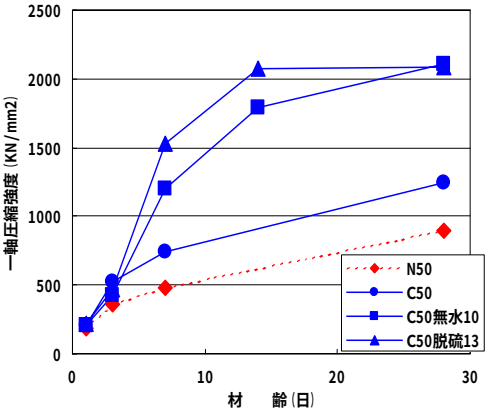
配合ｹｰｽ	水 W	セメント C	ﾌﾗｲｱｯｼｭ F	細骨材 S	石膏 G
N50	300	50	460	1,293	0
C50	300	50	460	1,290	0
C50無水10	300	50	457	1,286	10
C50脱硫13	300	50	456	1,282	13
C30	300	30	464	1,305	0
C30無水6	300	30	463	1,301	6
C30脱硫8	300	30	462	1,298	8

キーワード　フライアッシュ，CLSM，セメント系固化材，石膏，長期強度
連絡先　〒067-0033 北海道江別市対雁 2-1　ＴＥＬ011-385-6324

4．試験結果

4.1 石膏の影響

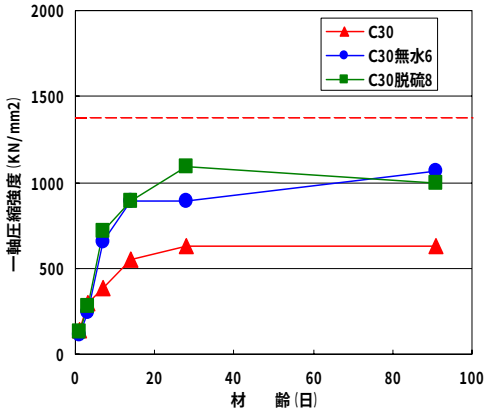
セメント量 50kg/m³の一軸圧縮強さの結果を**図－2** に示す. セメント系固化材は普通ポルトランドセメントと比較して, 初期強度は高くなる傾向を示す．一方，石膏を添加した場合は，材齢 14 日から 28 日の強度の伸びが小さい。これらの強度発現性状は，セメント系固化材および石膏から溶出する$Ca(OH)_2$，$CaSO_4$とフライアッシュから溶出するAl_2O_3により早期に多量のエトリンガイトを生成するために$Ca(OH)_2$が初期に消費され，長期のポゾラン反応の生成を抑制するためと考えられる．



図－2　材齢と一軸圧縮強さの関係

4.2 固化材量の影響

セメント量 30kg/m³の一軸圧縮強さの結果を**図－3** に示す．固化材量を減らした影響が強度に反映されており，添加量が 30 kg/m³でいずれも 1,400kN/m²以下になる. 材齢 7 日から材齢 28 日にかけて無水石膏, 脱硫石膏ともセメント系固化材単体より強度が増進するが, 材齢 91 日では強度発現が抑制されている. 特に脱硫石膏を添加した場合は，目標となる材齢と一軸圧縮強さの関係が得られることを示している．



図－3　材齢と一軸圧縮強さの関係

4.3　電子顕微鏡（SEM）観察

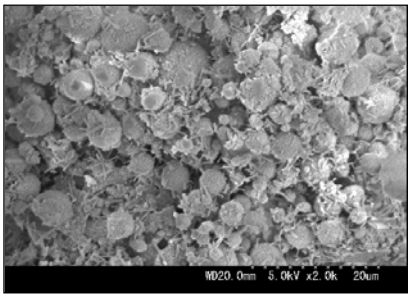
上述の 3 ケースの硬化体を SEM 観察した結果、C30 脱硫 8 のケースが一番，水和生成物が顕著であった．このケースの SEM 写真を**写真－1** に示す．材齢 14 日でエトリンガイトの針状結晶が卓越していることが分かる．この多量のエトリンガイトの生成はセメント系固化材から溶出した$Ca(OH)_2$の消費を示唆し，ポゾラン反応の抑制に寄与していると考えられる．

4.4 溶出試験

硬化体の溶出試験結果を**表－3** に示す．この結果から土壌環境基準値を満足することを確認した．

表－3　溶出試験結果　　単位:mg/l

	六価クロム	砒素	セレン	フッ素	ホウ素
C30脱硫8	＜0.01	0.003	0.002	0.65	0.31
基準値	0.05以下	0.01以下	0.01以下	0.8以下	1.0以下



写真－1　SEM 観察（材齢 14 日）

5．まとめ

CLSM は，掘削時にバックホウによる機械掘削が困難になる場合が想定されるが，セメント系固化材と石膏を添加することで，長期強度発現を抑制する材料とすることができた．これは，各材料の化学成分と反応量により，CLSM の強度を経時的に自由に設定できる可能性があることを示唆している．本検討から得られた知見は，以下のとおりである．

(1)セメント系固化材の量を 30 kg/m³とし，さらに無水石膏および脱硫石膏を適量添加することで，長期強度が 1,400kN/m²以下になるように強度を制御することができる．

(2)フライアッシュのAl_2O_3に着目し早期に水和反応させることで ，材齢 14 日には水和生成物であるエトリンガイトが多く生成しており，この水和物は強度に寄与していると考えられ，重金属の溶出も抑えられる．

参考文献：1)セメント系固化材による地盤改良マニュアル（第 3 版）.（社団法人）セメント協会．2003.9.