排煙脱硫石膏を主材とした中性土質改良材による軟弱土の改良実験

戸田建設(株)　正会員　柴田　靖　　正会員　落合正水
東京電力(株)　正会員　高橋守男　　正会員　兵藤英明
(株)宇部三菱ｾﾒﾝﾄ研究所
岡林　茂生　正会員　田坂行雄

１．はじめに

軟弱土を盛土材、埋戻し材あるいは裏込め材として再利用する場合、大量かつ安価に処理する方法として、一般的にはセメント系改良材等により安定処理を行うことが多い。この場合、改良土はアルカリ性を呈するため、改良土からの表流水や浸出水による水域への環境対策に配慮する必要がある。既往の中性土質改良材(以下中性改良材と略記)の研究として、半水石膏を主剤とした例は多くあり、また、セメント系改良材で改良した土を炭酸化により中性化する研究も行われている[1)]。本報は火力発電所の副産物である排煙脱硫石膏を焼成した半水石膏を主材とした中性改良材の改良効果について、室内実験結果を報告する。

２．実験対象土および改良材

実験に用いた対象土および改良材の主材である半水石膏の性質を表-1 に示す。使用した半水石膏(試製品)は排煙脱硫石膏を熱風循環式乾燥機により 190℃で約 7 時間焼成した後に恒温恒湿室(20℃、65%)で 60 時間熟成したもので、比表面積が市販品に比べて小さく粒子が粗いのが特徴である。中性改良材は、上記半水石膏(以下 GY と略記)を主材とし、セメント系材料(以下 BC と略記)およびアルミニウム系中和剤以下 SB と略記)を添加したものである。

表-1 実験対象土および半水石膏

対　象　土			半水石膏		
土粒子の密度(g/cm³)		2.794	化学組成(%)	試製品	市販品
自然含水比(%)		20.2	Ca0	38	37.9
粒度組成	礫分	2.7	S0３	53.6	53.3
(%)	砂分	65.8	Ig.Ioss	7.9	7.6
	ｼﾙﾄ・粘土分	31.5	化　合　水	6.9	6.3
ｺﾝｼｽﾃﾝｼｰ	液性限界	35.8	比表面積	1167	5278
(%)	塑性限界	19.3	(cm²/g)		

３．実験方法

図-1 に示すように、この対象土に加水して試料土を作製し、所定の改良材を混合した改良土の材令による強度および物理性状を調べた。改良強度は主にコーン指数試験によった(JIS A 1210：締固めた土のコーン指数試験)。

試料土の含水比は表-2 に示す４水準とし、各々について改良材添加量３水準の改良土を作製した。「泥土」については、予め試料土の含水比とスランプの関係を求め、スランプ 12cm、19cm および 24cm に相当する３種類の含水比を設定した。加水調整した泥土のベーンせん断強さとスランプの関係を図-2 に示す。「原土」の含水比は、改良材を添加しない状態で JIS A 1210 によるコーン指数が qc≧200kN/m²(第４種改良土)になる時の設定値である。改良材の選定と添加量の設定に当たっては、以下のことを考慮した。(1)改良土の pH は 5.8～8.6 の中性領域とする。(2)短時間で qc≧400kN/m²(第３種改良土)を有し、水による溶解や長期の強度低下を起さない。(3)六価クロム等の有害物質の溶出が基準値以内である。

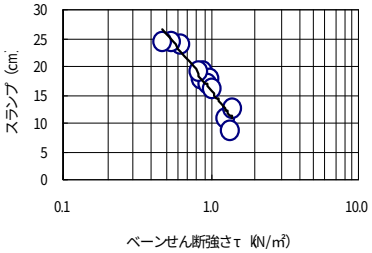

図-2　ﾍﾞｰﾝ強さ～ｽﾗﾝﾌﾟの関係

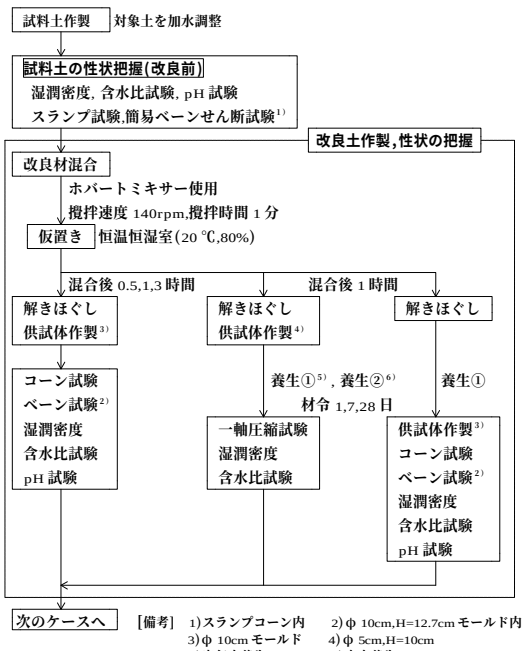

図-1 試料土作製および実験手順

表-2 試験条件と試料番号(①～⑮)

区分	含水比(%)	改良材	改良材添加量(kg/m³)					
			30	60	120	180	240	300
泥土	39.5	GY			①	②	③	
	39.5	GY＋BC＋SB (中性改良材)			④	⑤	⑥	
	37.0			⑦	⑧	⑨		
	43.0					⑩	⑪	⑫
原土	26.0		⑬	⑭	⑮			

連絡先：戸田建設（株）〒104-8388　東京都中央区京橋 1-7-1　新八重洲ビル　TEL03-3535-6305
キーワード：排煙脱硫石膏、中性土質改良材、泥土、第３種改良土

３．実験結果と考察

(1)材令とコーン指数の関係　図-3 は含水比 39.5%の泥土に GY 単独あるいは中性改良材を同量添加した試料の材令とコーン指数の関係である。同一添加量では、中性改良材の方が GY 単独よりもコーン指数が大きく、強度の改善が認められる。また、強度変化では GY 単独では改良後 1 時間以降に約 50%強度低下しているが、中性改良材のそれは約 25%の低下に留まっている。

図-4 に中性改良材の材令 1 時間における添加量とコーン指数の関係を示す。試料土の含水比が高いほど同一添加量でのコーン指数は低下し、目標強度の qc≧400kN/m^2 を満たす添加量は 30～240kg/m^3 の範囲にある。

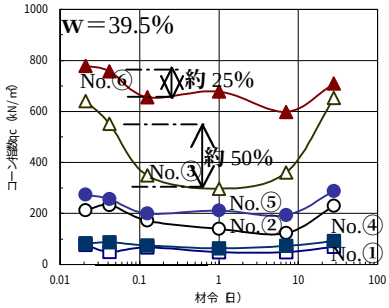

図-3 材令と qc の関係

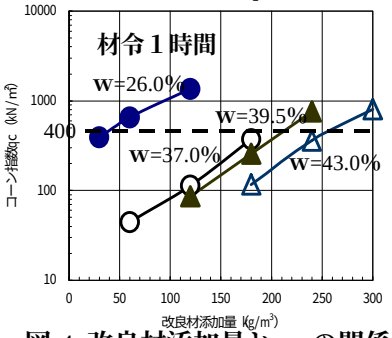

図-4 改良材添加量と qc の関係

(2)試料土の含水比が初期のコーン指数低下に及ぼす影響　試料土のうち泥土の改良土ではいずれも改良後 1 時間から 1 日の初期段階でコーン指数の低下が見られる。図-5 は材令 1 日と 1 時間のコーン指数比(qc1d/ qc1h)と試料土の含水比の関係を示したもので、試料土の含水比の増加によりコーン指数比が低下した。これは下記の改良土の組織観察から見て試料土の含水比が高いほど、土粒子間に析出した二水石膏の結晶成長、または二水石膏の溶解・析出が進行し易くなるためと考えられる。

(3)養生条件が強度に及ぼす影響　図-6 は改良土を水中および気中で養生した試料の一軸圧縮強さ比と材令の関係である。中性改良材は GY 単独に比べて強度低下が小さく、改良土の水浸に対する安定性が向上しているといえる。

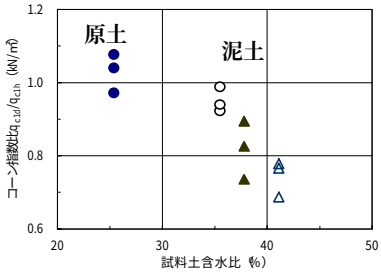

図-5 コーン指数比と含水比の関

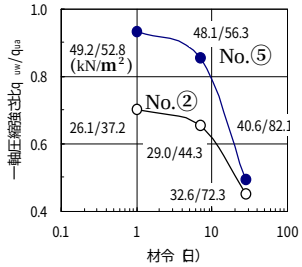

図-6 quw/ qua と材令の関係

(4)改良土組織および pH　図-7 は材令と改良材添加量が同一条件の GY 単独と中性改良材による改良土の電子顕微鏡写真である。写真の結晶は二水石膏が主であるが、中性改良材の方は針状結晶が小さく、板状結晶が多量に生成している。半水石膏の凝結硬化は水和した二水石膏の過飽和度に影響される[2)]。中性改良材では BC や SB が二水石膏の過飽和度に影響を及ぼしこれが結晶形態の違いに現れたものと考えられ BC に由来する水和生成物が二水石膏の間隙を充填することによって強度が増加し、さらに、二水石膏の溶解・再析出による強度低下を抑制しているものと推察される。

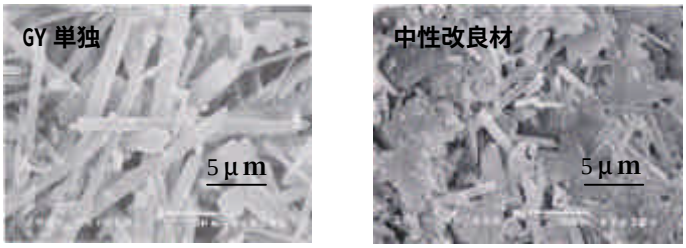

図-7 電子顕微鏡写真(材令 28 日,240kg/m^3)

図-8 に改良材添加量と改良土の pHの関係を示す。改良直後は pHが 7.5～8.0 の中性であるが材令 7 日迄は pHが高くなり、材令 28 日にかけて低くなっている。この変化について、改良直後は溶解が速い SB（酸性）により固化材添加量の増加と共に pHが低下し、材令 7 日では BC(アルカリ)の水和に伴いアルカリ側に移行するもの、その後は炭酸化等もありほぼ中性になる。有害物質の溶出はいずれの改良土も土壌環境基準以下であった。

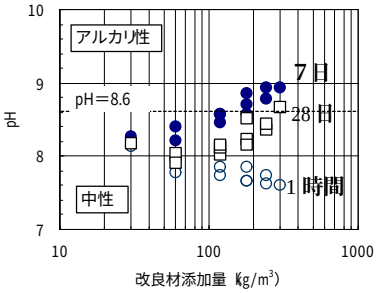

図-8 改良材添加量と pHの関係

４．まとめ

今回の実験範囲において、中性改良材は改良 30 分程度で強度を発現し、その後も強度を維持することから、盛土材や埋戻し材としての必要強度や安定性を確保できるものと考える。より高含水比の軟弱土については実用上の改良材添加量を考慮した処方の検討が課題である。

【参考文献】1)中間 他；脱水改良土の中性化処理,第 54 回土木学会年次学術講演会,pp.524～525,1999
2)無機マテリアル学会編；セメント・セッコウ・石灰ハンドブック,pp.143～149,1996.9