

III-475 高含水比汚泥のセメント系安定処理効果と反応生成物

京都大学 防災研究所 嘉門雅史
 京都大学 防災研究所 ○勝見 武
 京都大学 大学院 今西秀公

1. 緒言 近年の環境問題に関する意識の高まりの中、都市域における環境整備事業や再開発事業の実施に伴って発生する堆積汚泥や建設残土の適正な取扱いが重要であり、セメント系安定処理はその有効な一手法と考えられる。このような残土や汚泥の処理の場合、対象試料の状態（含水状態、含有物質）の多様性、強度管理の難しさ、悪臭や有害物質への対処など、安定処理として求められる要素、性能は広範にわたっている。強度管理についていえば、所定強度の確保のみならず周囲の地盤状況や施工条件に適合するように長期強度の抑制を求められることも多く、固化反応特性に基づいた強度発現特性の把握を行い、配合設計に活用することが重要である。本研究は原位置固化やトラフィカビリティ確保を目的としてセメント系安定処理した高含水比汚泥の強度発現特性の検討と反応生成物の追跡を行ったものである。

Table 1 Physical properties of sludge used.

Water content (%)	430.3
Wet density (g/cm ³)	1.105
Specific gravity	2.324
Consistency	
Liquid limit (%)	215.5
Plastic limit (%)	76.2
Grain size distribution	
Sand fraction (%)	1.6
Silt fraction (%)	62.4
Clay fraction (%)	36.4
Ignition-loss (%)	24.1

2. 試料および実験方法 大阪市内某所より採取された河川堆積汚泥（表1に諸元を示す）を対象試料として用いた。430%と高含水比で自然状態で液状を呈しており、長期間の放置によっても沈降分離がほとんどみられないものである。固化材はHC（普通ポルトランドセメント）、HCS（セメント：ステンレススラグ=95:5）、HCG（セメント：石膏=90:10）、HCL（セメント：高炉セメントB種=50:50）の4種類を固化材水比1:1のミルクにして用いており、土質工学会基準に基づいて供試体を作製した後恒温恒湿室で所定材令養生し、一軸圧縮試験、X線回折分析、電子顕微鏡観察を行った。

Table 2 The strengths of stabilized sludge.

Type of Stabilizer	Stabilizer content(kg/m ³)	Compressive strength(kgf/cm ²)			
Stabilizer		7 days	14 days	28 days	90 days
HC	180	0.62	1.31	1.70	2.99
	220	0.79	1.86	2.65	3.34
	260	1.29	2.85	3.60	4.96
	300	1.73	3.48	4.83	6.92
HCG	180	0.64	0.88	1.40	2.20
	220	1.11	1.73	1.86	3.16
	260	1.28	1.82	2.93	3.94
	300	1.82	2.58	3.49	5.04
HCS	180	0.61	1.01	1.55	2.23
	220	0.75	1.88	2.41	3.82
	260	1.20	1.82	2.95	5.10
	300	1.78	3.08	4.41	5.95
HCL	180	0.25	0.91	2.34	3.83
	220	0.87	2.20	4.57	6.70
	260	1.09	2.20	5.80	9.80
	300	2.03	4.88	10.75	13.73

3. 結果と考察 表2（安定処理土の一軸圧縮強さ）によると、HC、HCG、HCS処理土の強度発現特性は類似しており、正味のセメント添加量の影響が大きいと考えられる。これらの中でHCG処理土の長期強度の増加が比較的抑制されている。独自の強度増加特性をもつHCL処理土は長期強度が非常によく伸びるのが特徴であり、他の固化材との比較において高添加率、長期材令であるほど強度が高い。改良目標強度は安定処理の目的（原位置固化、トラフィカビリティの確保、盛土、路床材への利用）、安全率などから $q_{u7} > 0.5 \sim 2.0 \text{ kgf/cm}^2$, $q_{u28} < 3 \text{ kgf/cm}^2$, $q_{u90} < 2q_{u28}$ などと設定され、それぞれの固化材についてこれらの改良目標強度を達成しうる添加量が求められるが、総じて発現強度を期待する場合はHCLの、長期強度の抑制を考える場合はHC、HCS、HCGの適用が有効と考えられる。

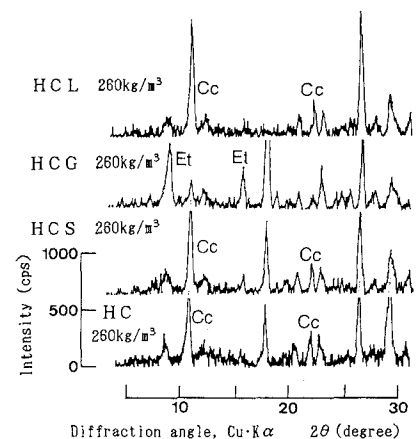


Fig. 1 XRD patterns for stabilized sludge at 7 days.
 Cc: Calcium Aluminate Carbonated Hydrate
 Et: Ettringite

安定処理汚泥のX線回折図(図1)によると,エトリンガイト($3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot3\text{CaSO}_4\cdot32\text{H}_2\text{O}$)と炭酸化アルミン酸石灰水和物($7\text{CaO}\cdot2\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{CaCO}_3\cdot24\text{H}_2\text{O}$)の生成が顕著である.図2に示すエトリンガイトのX線回折強度と一軸圧縮強さの関係によると,HCG処理土はエトリンガイトの生成量と発現強度に線形関係がみられ,この生成物の強度発現への貢献が考えられる.エトリンガイト生成量と発現強度とに相関性を見いだすことができない他の3種類の固化材については,図3に示す通り炭酸化アルミン酸石灰水和物の生成量と発現強度とに相関関係が認められ,この生成物の生成が強度発現に寄与していると考えられる.HCG処理土では炭酸化アルミン酸石灰水和物生成量と発現強度とは無相関であり,強度発現はエトリンガイトのみに依存していると考えられる.炭酸化アルミン酸石灰水和物は,生石灰安定処理土の長期材令試料についてその生成と効果が確認されており¹⁾,一分子中に38%の結晶水(エトリンガイトの場合45%)を取り込むことによりエトリンガイトと同様の含水比低減効果をもたらすものと考えられる.対象土の場合,固化材の石膏分,アルミナ分の含有量がそれぞれエトリンガイト,炭酸化アルミン酸石灰水和物の生成量に影響し,双方が相補完しあって強度発現に貢献していると考えられる.

安定処理土の電子顕微鏡写真(図4)によると,HCG処理土については処理土中の空隙が径 $0.5\mu\text{m}$ 以上の針状結晶のエトリンガイトの絡み合いにより充填されているのが認められた.一方,HCH,L処理土については,エトリンガイトと考えられる長さ $2\sim3\mu\text{m}$ の微細な針状結晶は確認できるものの空隙の充填には至らず,代わりに炭酸化アルミン酸石灰水和物と考えられる六角板状結晶が間隙部に生成して空隙充填の役割を果たしていると考えられる.

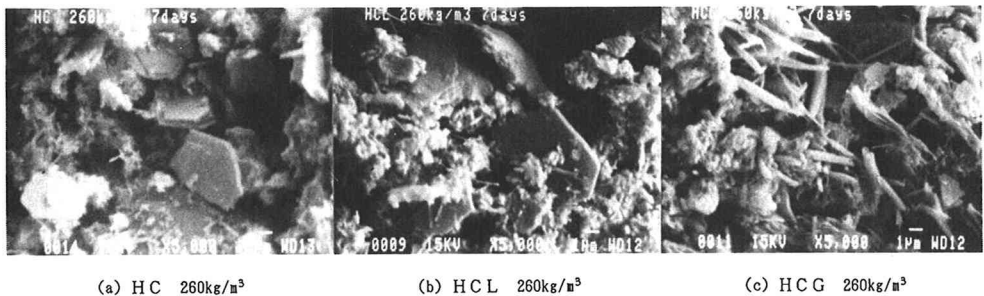


Fig. 4 SEM micrographs of stabilized sludge at 7 days. $5\mu\text{m}$

4. 結言 取扱いの改善を目的としてセメント系安定処理した汚泥の強度発現特性は,エトリンガイトおよび炭酸化アルミン酸石灰水和物双方の生成に影響されることが明らかとなった.同様の傾向が含水比約1000%の泥水を対象とした場合にも確認されており,高含水比泥土のセメント系安定処理に関しては,従来高含水比軟弱土の強度発現の主要因と考えられてきたエトリンガイトとともに,炭酸化アルミン酸石灰水和物をも議論の対象とする必要性があると考えられる.

(参考文献) 1) 下田正雄ら:生石灰表層安定処理土の長期耐久性,第25回土質工学研究発表会講演集,1990.

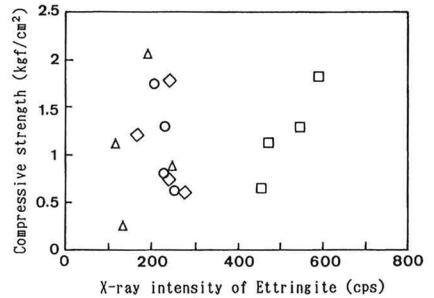


Fig.2 The relationship of X-ray intensity of Ettringite and compressive strength of stabilized sludge at 7 days. (○ HC, ◇ HCS, □ HCG, △ HCL)

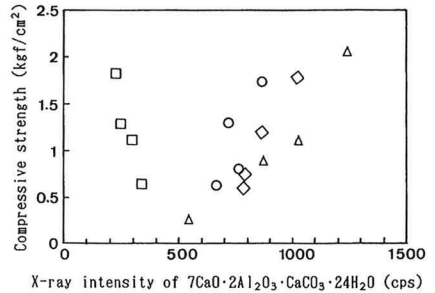


Fig.3 The relationship of X-ray intensity of Calcium Aluminate Carbonated Hydrate and compressive strength of stabilized sludge at 7 days. (○ HC, ◇ HCS, □ HCG, △ HCL)