

下水管渠築造工事掘削土改良工実施例

大阪市下水道局

東田 淳

㈸ソイルコンサルタンツ

○藤井 健司

〃

佐藤 美明

1. はじめに 大阪市においては大阪市廃棄物処理計画が作成され各種廃棄物の処理について適正な処理体制の確立が進められている。工事によって発生する土砂についても廃棄物に対する社会的動向や処分地の確保が次第に困難になってきている情勢を踏まえ、再利用の方法が追求されている。

下水管埋設工事の際発生する掘削土を埋戻土として再利用する場合、掘削土が粘性土であれば未改良のままでは使用しにくい。一般的に粘性土を締固め可能な状態にする工法には、1)含水比を最適含水比以下に下げる(含水比低下工法)、2)添加剤を加えることにより粘性土の1次及び2次性質を変える(添加剤による安定処理工法)の2つの方法がある。本報告では下水管埋設工事において発生した粘性土を安定処理工法により埋戻土として使用した実施例を紹介する。

2. 工事例-その1 掘削土は表-1に示す鋭敏な沖積粘土であり、埋戻直前に仮置場にてバックホーでセメント6%(100%)と掘削土を入念に攪拌し、現場に搬入した上、バックホーのバケットで押さえつけて締固め、埋戻した。表-2, 3に現場強度試験結果(コーン及びスウェーデン式サウンディング)及び改良に影響する要素を調べるために行った室内試験結果を示す。

表-1 掘削土の物性

G _s =2.603	W=58.5%	粘土分44%
シルト分34%	LL=80.6%	PL=27.0%

表-2

現場強度

日	$\bar{q}_0$ %	$\bar{q}_u$ %	$\bar{c}$ %
0	2.0	—	0.15
1	4.5	—	0.28
3	5.0	—	0.30
7	—	0.60	0.30
28	—	0.64	0.32

添加セメント量
100%

$\bar{c} = (\bar{q}_0 + 1) / 20$ (この関係式は室内実験より求めた)

$q_u = 0.0045 W_{sw} + 0.0075 N_{sw}$

$\bar{c} = \bar{q}_u / 2$

表-3 室内試験結果

供試体作成方法	静的締固め ¹⁾												衝撃締固め ²⁾								
	空中密閉			湿潤			水中			空中密閉			湿潤			水中					
セメント量 %	50	100	150	50	100	150	50	100	150	50	100	150	50	100	150	50	100	150			
q_u kg/m ²	0日	0.25	0.30	0.45	0.26	0.26	0.40	0.35	0.38	0.38	0.16	0.23	0.30	0.18	0.20	0.32	0.23	0.28	0.30		
	1	0.33	0.60	0.75	0.37	0.56	0.62	0.17	0.40	0.50	0.29	0.60	0.92	0.32	0.48	0.72	0.13	0.40	0.46		
	3	0.43	0.62	0.88	0.40	0.70	1.32	0.18	0.57	0.58	0.35	0.59	0.80	0.32	0.65	1.00	0.15	0.43	0.67		
	7	0.37	0.80	1.00	0.44	0.65	1.75	0.21	0.61	0.71	0.30	0.70	1.05	0.33	0.78	1.30	0.19	0.49	0.74		
	28	0.33	0.70	0.98	0.62	0.90	2.08	0.21	0.62	0.84	0.35	0.70	1.17	0.46	0.86	1.65	0.17	0.52	0.75		
W %	0	—	—	—	75	68	64	70	74	62	72	67	59	75	68	64	70	74	62		
	1	—	—	—	67	64	60	69	75	64	67	64	61	67	65	64	70	77	66		
	3	—	—	—	69	66	54	72	76	70	69	65	60	70	67	58	71	80	58		
	7	—	—	—	66	63	57	71	71	61	66	65	63	72	64	56	73	72	62		
	28	—	—	—	68	66	56	74	73	68	65	64	58	69	68	59	77	75	64		
CBR値 ³⁾ %	0	0.5	0.8	1.6	0.8	0.8	2.7	1.2	1.9	1.3	0.3	0.4	1.0	0.5	0.2	1.4	0.8	1.4	2.2		
	1	1.1	1.3	2.9	1.5	2.0	2.4	0.5	2.1	2.4	0.4	1.5	2.8	0.6	1.0	2.1	0.4	0.8	2.3		
	3	1.3	2.2	2.7	1.5	1.7	1.9	0.6	2.0	2.8	0.6	1.8	2.8	0.6	1.5	2.1	0.3	0.8	2.1		
	7	1.1	2.3	2.9	1.6	2.1	2.2	0.5	1.6	2.2	0.5	1.4	3.1	0.5	2.7	5.0	0.4	0.9	2.4		
	28	1.2	1.7	1.7	1.6	3.0	3.3	0.8	1.8	2.3	0.5	1.5	2.7	0.8	1.9	5.4	0.4	0.7	2.5		

1) P=1%の荷重で3層各2分間静的に締固め

2) ランマー-2.5Kg、落下高さ30cmで3層各10回で締固め

3) q_u 試験後の試料を1), 2)の方法で締固めた供試体のCBR値である。

表-2に示した現場強度は養生日数3日以降は固結が激しく、埋戻土中の貫入可能部分のみのデータであり、埋戻土全体の強度はさらに大きいと思われる。

表-3に示されるように、改良土の強度は湿潤養生が最も大きく、水中養生では強度が低い。空中密閉養生で湿潤養生より強度が低いのは反応水の不足と見られる。また、締固め方法ではばらつきはあるが乱される度合の小さい静的締固めの方が衝撃締固めより強度が大きい傾向が見られるものの、両者の差はあまり大きくない。

図-1に塑性図を示した。セメント量が多いほどA線以下となっているが、基本的には物性の変化は小さいものと思われる。

図-2にセメント100%の試料について室内コーン試験(湿潤養生)と現場コーン試験の比較を示す。これによると現場コーン指数の平均値は1日養生以降あまり強度増加がなく室内コーン試験の傾向とは異なっている。そこで、室内試験におけるセメント100%で水中養生した供試体の一軸強度 q_u から、 $C = q_u/2$ とし、 $q_c = 20C - 1$ の実験式より q_c を算出したものを図中の×印で示した。この水中養生の q_c は現場 q_c の強度増加パターンと相似であり、現場 q_c の最低ライン附近に位置している。このことより、現場 q_c の貫入可能部は、水中養生の状態に近かったのではないと思われる。

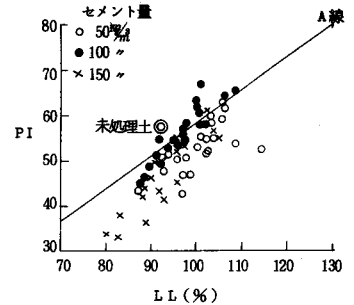


図-1 塑性図

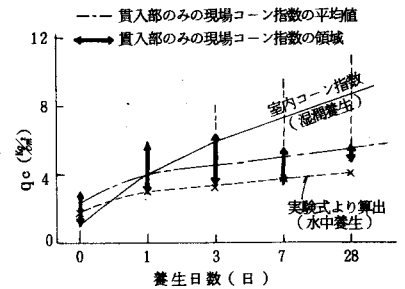


図-2 室内 q_c と現場 q_c

3. 工事例-その2 掘削土は表-4に示す洪積粘土であり、その力学特性を図-3に示す。自然含水比25.5%は最適含水比よりウェット側にあり、そのまま埋戻しに使用するとトラフィカビリティーが悪く使用しにくい状態であった。そこで、掘削土にセメント6%(100%), 生石灰4%(64%), 消石灰9%(150%)を仮置場にて機械力によって添加攪拌し、ブルドーザーの走行により締固めて埋戻し、トラフィカビリティーを改良した。図-4~8に現場強度試験結果(スウェーデン式サウンディング及びCBR)及び3種の添加剤の改良効果を調べるために行なった室内試験結果を示す。

図-4に示したスウェーデン式サウンディングは、養生1日, 7日, 28日について実施した。生石灰添加土における7日養生の0.3m以深の値が低かったの

表-4 掘削土の物性

$G_s = 2.618$	$w = 25.5\%$	粘土分 3.7%
シルト分 3.5%	$LL = 46.2\%$	$PL = 17.6\%$

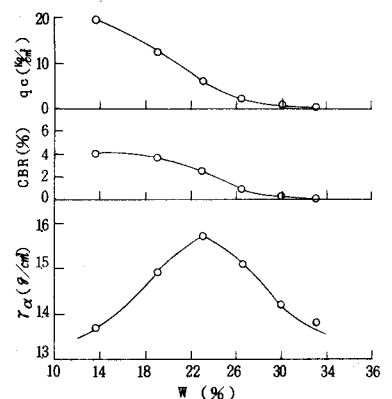


図-3 掘削土の力学特性

は、その部分が未改良であったためと思われる。全体的には養生日数の増加に伴い強度増加の傾向があり、改良効果が最もよかったのは生石灰添加土であった。

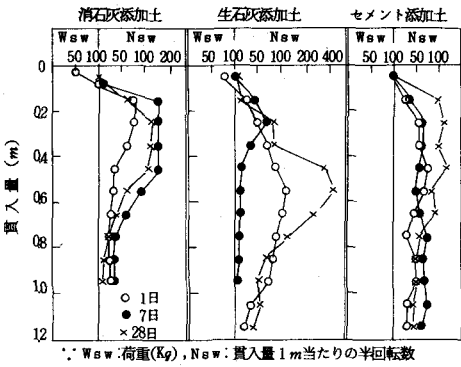


図 - 4 現場養生におけるスウェーデン式サウンディング結果図

図 - 5 に現場 C B R 試験と養生日数の関係を示した。各添加土とも C B R 値は、ばらつきはあるものの養生日数の増加に伴い増加する傾向がある。生石灰添加土では短い養生日

数で高い C B R 値を示すが、その後の増加率は小さい。また、各添加剤混入による養生日数と含水比の関係を調べた室内試験においても、生石灰添加土が早期に著しい含水比の低下を示している。

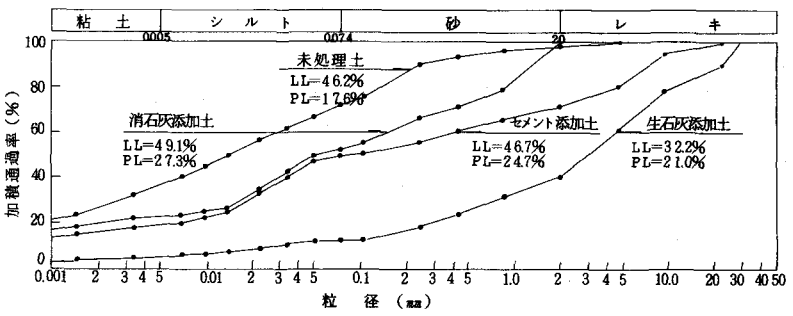


図 - 6 粒径加積曲線

図 - 6 に未処理土と現場添加土の粒度組成及び図 - 7 に塑性図を示す。これらの図から、添加剤混入により粘性土から砂質土に変化する傾向がわかる。この傾向が最も著しいものは生石灰添加土である。

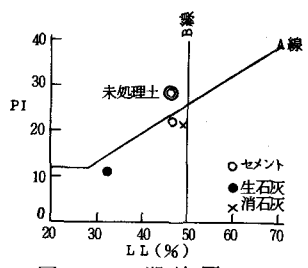


図 - 7 塑性図

図 - 8 に添加剤混入 7 日養生後（湿潤養生）の試料を使用した締固めエネルギーと C B R 及び間ゲキ比との関係を示した。締固めはそれぞれ 3 層とし、静的締固めの載荷時間は各 1 分間であり、衝撃締固めのランマー重量は 2.5 Kg で落下高さは 30 cm である。締固めエネルギーの増加により C B R 値は増加するが、消石灰添加土は増加の割合が小さい。これは、

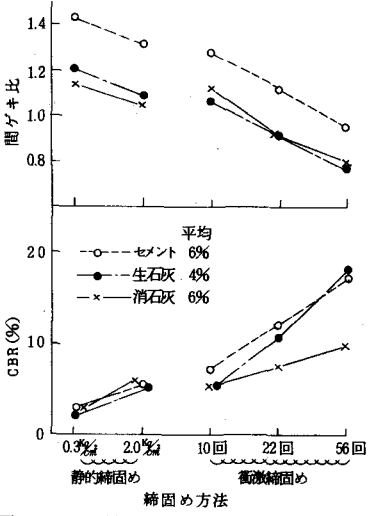


図 - 8 締固めエネルギーと C B R , 間ゲキ比の関係

消石灰添加土が添加による物性の変化が少なく未処理土に近い物性を示すため、締固めによる強度増加が小さいものと思われる。また、締固めエネルギーと間ゲキ比の関係をを見ると、締固めエネルギーの増加により間ゲキ比は減少するが、セメント添加土は他のものに比べて間ゲキ比が大きい。これは、セメント添加土が添加による粒子の固結化が見られ、砂レキ状の状態となっているためCBR値が高くなったものと思われる。

図-9に非水浸CBRと水浸CBRの関係を示したが、これは現場改良土が埋戻し養生後降雨等により現場養生状態が変化した場合を想定して各添加土が水浸によりどの程度の強度変化を示すかを調べたものである。図中の水浸CBRの養生日数は湿潤養生後4日間水浸した全日数である。セメント添加土は他の2種の添加土に比べて水浸による強度低下が著しい。これは、水浸により固結化した粒子間間ゲキに水がまわり飽和砂の状態になったためCBR値の低下を示したものと思われる。このことは、試験後の含水比の増加からも推定される。

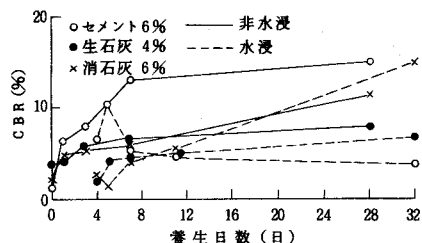


図-9 非水浸CBRと水浸CBR

4. まとめ 以上の試験結果を各添加土ごとにまとめると

セメント添加土 …… 添加による粒子の固結化が激しく、間ゲキ比の大きい砂レキ状となる。このためCBR値は高いが、水浸によるCBR値の低下は著しい。また、養生方法によって強度に差が見られる。

生石灰添加土 …… 添加により早期に反応が終了し、物性の変化が大きく、よく締まる。水浸による強度低下も小さく改良効果は優れている。しかし、反応時の飛散等の公害問題が残る。

消石灰添加土 …… 添加による物性の変化が少なく、締固めによる強度増加を期待できない。

以上が今回行なった掘削粘性土の改良工実施例からの結論であるが、添加剤による安定処理工法は添加剤の種類と量によって添加土の1次、2次性質の両者の変化が同時に生じ、しかも養生方法と養生日数によって、これらの性質の変化が異なるという実際の使用上の困難性を有している。具体的には、掘削土に対する添加剤の種類の決定、最適添加量の決定方法、攪拌方法の開発、埋戻し時の締固め方法、将来にわたっての沈下等の挙動の把握などの課題が残っている。

下水管理設に伴って発生する掘削土は下水管が自然流下であることから、他の工事発生土に比較し掘削深が大きく発生する粘性土の比率が高いため表層の舗装等のガラを粉碎し、粒度調整を行ないつつ添加剤を加えるといった方法だけでは不十分であると考えられることから、添加剤による安定処理工法によらない機械的方法による粘性土の脱水と締固め(含水比低下工法)についても今後研究開発し、これら種々の方法の得失を比較した上で実施にうつす必要がある。