

高含水比泥土の有効利用法に関する実験研究

平川 修治*, 柴田 徹*, 西原 晃*, 有岡 正樹**, 森 邦夫**

Experimental Study on Utilization Method of High Water Content Muddy Soil

Shuji HIRAKAWA*, Toru SHIBATA*, Akira NISHIHARA*
Masaki ARIOKA** and Kunio MORI**

ABSTRACT

An effective method for improving utilization of large quantities of surplus soil generated by construction works is required in light of the lack of waste disposal areas and a rise handling costs. Several methods have been tested including dehydration, ceramic, fusion, granularity, lime improvement, liquified stabilization, and so on. This paper presents the ReSM (Re-produced Soil Material) system that utilizes a modified concrete mixing truck installed with a projection to which wires are attached to churn the contents inside the drum. This system mixes surplus soil with water and solidified and distributes them from the generating site to a selected backfilling site directly.

In this paper, laboratory data is presented to clarify the unconfined compressive strength and consolidation degree of ReSM, showing that the void ratio is large compared to that of natural soil. The test results prove that ReSM fully achieves the required standard for use as a back fill material. Furthermore, we introduce an example of shield-generated soil of 20,000m³ back filled with homogeneous materials under the effective utilization of this method.

Key Words: 建設発生土, 高含水比泥土, 有効利用法

1 まえがき

近年の建設工事の大型化により大量の掘削土が発生しているが、処分場の不足、処理コスト低減化などの視点から、さまざまな有効利用が試みられている。すでに東京都や大阪市などでは残土を土質改良プラントにもちこみ、石灰改良した後、受け入れ現場で再利用する中央プラント方式が実用化している。また建設汚泥や浚渫土などの泥土は石灰改良程度では再利用が難しいため、従来は原位置において脱水・乾燥などによる減量・固化が行われてきたが、最近では流動化状態の泥水に固化材を添加・混合して埋め戻し充填に用いたり、焼成・溶融、造粒などによる粒状材料とするな

ど中央プラント方式による有効利用方法が考案されている。中央プラント方式による発生土の有効利用は、プラント設置場所やストックヤードの確保の他、発生状況や受け入れ目的に応じた各現場毎の調整が難しいと、管轄庁間の情報交換の促進、民間工事からの発生土の受け入れ、中央プラント近辺での昼夜間の交通渋滞や運搬距離が長くなることによる運搬コスト増大などの課題は残っているものの、建設省や東京都などで実用化されつつある。

本研究では、このような大規模システムの中央プラント方式とは異なる小規模分散型の有効利用システムの例として、特殊な攪拌装置を持つ改造ミキサー車を発生土と固化材を交流動状態で攪拌・混合し、発生現

場から埋め戻し現場へ直接運搬して埋め戻す ReSM(Re-produced Soil Material) 工法を紹介し、その有用性を述べる。ReSM 工法は、粘土塊が粉碎できるようにドラムの攪拌羽根に突起物とピアノ線を取り付けて改造したミキサー車に発生土を土砂ホッパーから直接積み込むため、従来の定置形プラントによる流動化処理工法のようなストックヤードや調泥を必要としない都市土木に適したシステムである。

ReSM 工法は発生土を高流動化して埋め戻し材料・充填材料とすることで、①発生土を有効利用できる、②任意の強度の土構造物構築が可能、③施工管理が容易、④従来の山砂のような撒き出し・振動締め固めなどが不要で間隙の狭い側部や頂部で均一な埋戻しが可能、⑤埋戻し後の地盤沈下量が減少する、⑥透水係数が小さく二次的な防水層として利用可能、などの効果が期待できる。

ReSM 工法のような小規模分散型の発生土有効利用システムを運用する場合、発生土の土質特性の変化に柔軟に対応した処理土の物理・力学特性の管理が重要となる。本論文は、小規模分散型システムの特徴を述べた後、一軸圧縮試験、圧密試験などの室内試験結果から自然地盤に比べて間隙比が大きい改良土の ReSM 処理土の一軸圧縮強度と圧密特性の関係を明らかにするとともに、埋め戻し土としての基準を満たしていることをのべる。さらに、土質性状にバラツキのある一工区内の複数工事区域からの高含水比のシールド発生土を ReSM により高流動化して地下鉄駅舎躯体部分の側部と頂部に打設した約 20,000m³ の試験施工結果をのべ、中低強度安定処理としての ReSM の合理的な利用方法についてのべたものである。

2 地盤特性

シールドが通過する地盤特性を Table. 1 に、Table. 2 にシールド作業工区別の地層を示す。発生土は四工区 (C~F) からのものを用い、埋め戻しは六工区 (A~F) に行った。

発生工区のうち C 工区対象地層はほとんど均質な沖積粘土層であるのに対し、D~F 工区対象地層は沖積粘土層から沖積砂層、洪積層まで広範囲な土質分布を示す。特に D 工区は沖積粘土層から洪積礫層まで、F 工区は粘土層と砂層が複雑に重複した地盤であったがポンプ打設が困難な巨礫を含む Dg 層以外からの発生土を ReSM の利用土とした。

3 試験施工概要

Table 1 Ground condition

Layer	Wn (%)	γ_t (g/cm ³)	Grain Size Distribution (%)			
			Gravel	Sand	Silt	Clay
As1	9~70	1.876	0~70	0~94	3~70	3~43
Ac	3~60	1.636~1.909	0~7	0~59	32~72	21~55
As2	2~31	1.8	0~15	36~86	4~38	4~26
Dc	3~77	1.537~1.876	0~34	0~79	8~70	11~63
Ds	11~37	1.919	0~17	30~89	4~34	4~39
Dg	5~11	2.0	40~69	27~51	4~11	

As1,As2,Ac: Alluvium Dc,Ds,Dg: Diluvium

Table2 Layer at each shield site

Shield site	Layer at each shield work
C	Ac
D	Ac As2 Dc Ds Dg
E	As Ac
F	Ac As2 Ds

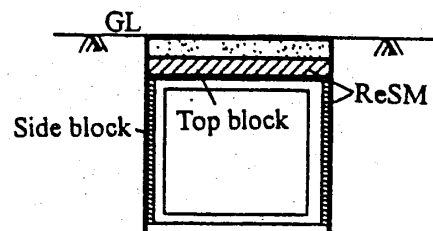


Fig. 1 Standard placing section

Table 3 Standard mixing ratio

Cement (kg/m ³)	Water (kg/m ³)	Soil (m ³ /m ³)	Placing block
100	440	0.53	Top
200	382	0.55	Side
300	382	0.52	Side

標準打設断面図を Fig. 1 に示す打設場所は地下鉄駅舎部の側部および頂部であり、Table. 3 に示す標準配合で、最終目標強度を以下のように設定した。頂部については当該沖積粘土層の一軸圧縮強さ (0.1~0.2MPa) を確保し、かつ再掘削できる強度を一応の強度管理の目標値とした。

側部 $q_u > 0.8\text{MPa}$

頂部 $0.2\text{MPa} < q_u < 0.5\text{MPa}$

施工は、室内試験により標準配合の ReSM 処理土が埋め戻し土として十分な強度を保有していることを確認した後、シールド掘削工区と埋め戻し工区の間で発生土量・土質特性、埋め戻し量・品質の情報を逐次管理

しながら埋め戻しを行った。施工に際しては、ReSM 処理泥水の管理項目が所定の範囲を越える場合には、配合を再設定してミキサー車での攪拌・混合性能および打設材料としての物理特性の確保することとした。本工事では1日2回または発生土の種類が変わった時に ReSM 泥水の単位体積重量を測定し、当日施工開始時の初期値より単位体積重量が 0.05gf/cm³ 以上異なっていた場合に、フロー値基準(10~25秒以内)およびブリージング基準(2%以下)を確保するように新しい配合を設定した。また新しい配合の ReSM 処理土、または一工区当たりの打設量が 50m³ を越える場合の ReSM 処理土は一軸圧縮試験用試料を作成し、強度確認を行った。

4 室内試験結果

ReSM 工法では Fig. 2 に示すようにミキサー車で混合・攪拌した泥水を打設するため、処理土は他の安定処理土に比べて土量比率が小さく初期含水比(または初期間隙率)が大きい。このような間隙比の大きい人工地盤では、強度だけではなく圧密特性が埋め戻し土としての適正を満たすかが重要となる。そこで本研究では定むずみ圧密試験により高含水比のセメント混合土の圧密特性を測定した ReSM 処理土の配合条件と試験結果を Table. 4 に示す。試験では空隙の大きい処理土の圧縮特性を検討するため泥水の単位体積重量をできるだけ小さくするような配合とした。

ReSM 処理土のような空隙の大きいセメント混合土の圧縮特性は、セメント固化反応により土の構造骨格が強化されるため、ある圧縮応力まではセメント混合土の圧縮性は小さいが、その応力を越えると構造骨格が破壊されて大きな圧縮性を示すことになる。試験結果より ReSM 処理土では一軸圧縮強さ q_u と圧密降伏応力 P_c の間に、 $q_u=0.717P_c$ の直線関係が得られ、設定した配合設計に従えば処理土は沖積~洪積粘土とほぼ同程度の圧縮特性を示し、かつ通常の載加圧では降伏応力に達しない強度を有することがわかる。

5 現場施工結果

5.1 発生土と処理土の性状

発生土と ReSM の単位体積重量の経時変化を Fig. 3 に示す。発生土の単位体積重量は 1.4~1.8gf/cm³ であり特に埋め戻し初期、および後半では砂分が多いため、この期間の値が大きくなっている。

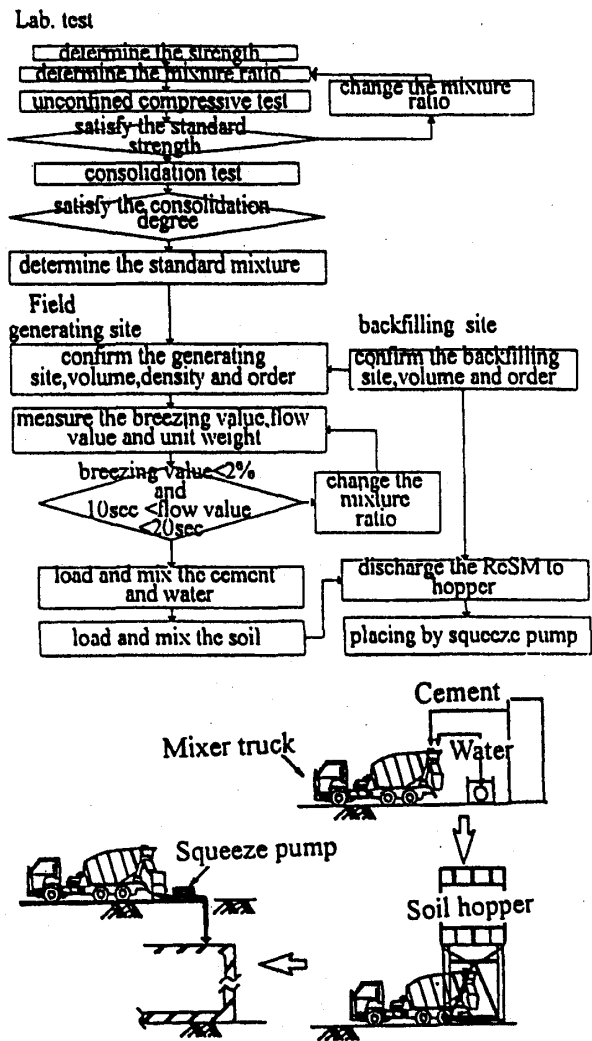


Fig.2 Management process of ReSM

Table 4 Result of Consolidation test

Item			C100	C200	C300
density	soil	γ_s t/m ³	2.65		
	cement	γ_c t/m ³	3.14		
	water	γ_w t/m ³	1		
mixture ratio	soil	W_s kg/m ³	380.3	338	322
	cement	W_c kg/m ³	91.6	157	237
	water	W_w kg/m ³	827.2	822	803
	water content ratio	W_w/W_s %	217.5	243	250
consolidation characteristics (28days)	water-cement ratio	W_w/W_c	9.03	5.24	3.39
	density	t/m ³	1.317	1.34	1.37
	void ratio		4.634	4.04	3.57
consolidation characteristics (28days)	compressive index	C_c	2.57	2.33	2.16
	yield stress	P_c Mpa	0.45	0.82	1.8

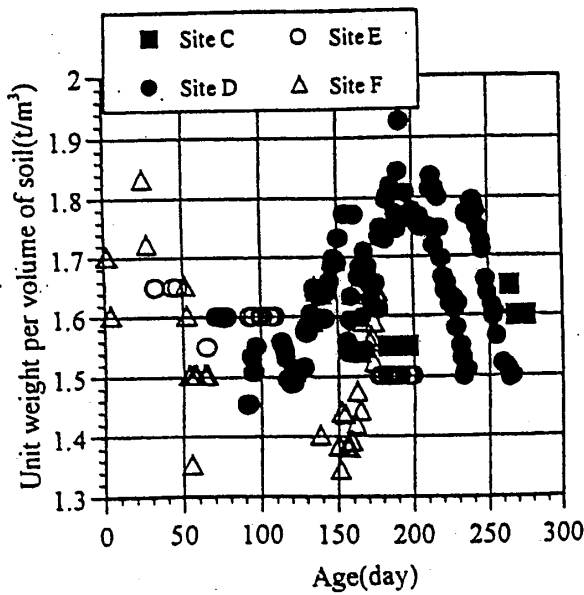


Fig.3 Change of unit weight of soil generated by each site

5・2 処理土の強度特性

打設時に採取した養生日数 28 日の試料の一軸圧縮強さ (qu28) の頻度分布を Fig. 4 に示す。図より、頂部打設試料の一軸圧縮強さ (28 日) のばらつきは小さく、採取試料の約 70% が 0.15~0.2MPa の範囲にあり、当該地盤の沖積粘土層とほぼ同程度の強度を確保している。また側部打設試料はほとんど 0.8MPa 以上であり、28 日以降の強度漸増を考えれば、最終的には目標値を満たすといえる。

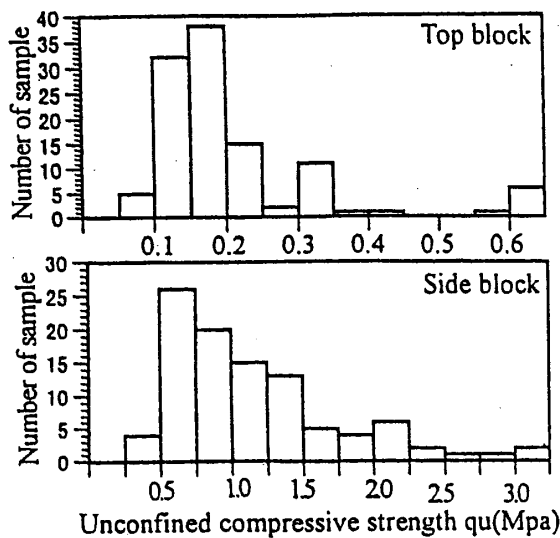


Fig.4 Frequency distribution of unconfined compressive strength

5・3 品質の評価

打設量を考慮したうえ構造物全体の施工品質を評価する試みとして、【打設量】と【打設量】×【1軸圧縮強さ (養生日数 28 日)】の累積値の関係図を用いた強度管理を行った。頂部の埋戻し工区での強度管理図を Fig. 5 に、側部の発生工区での強度管理図を Fig. 6 に示す。図中、曲線の傾きが強度に相当し、点線に近いほど上構造物として均質な施工が出来ているといえる。

Fig. 5 の曲線の傾きより頂部の埋戻し工区の打設試料の平均強度はほぼ 0.15MPa であり、一部強度の大きい箇所を含めると 0.2MPa の強度管理曲線に沿った管理が出来ているといえる。また Fig. 6 の側部埋戻し工区の強度管理図からも各工区ともほぼ目標値 (0.8MPa 以上) を満たした管理が出来ていたことがわかる。

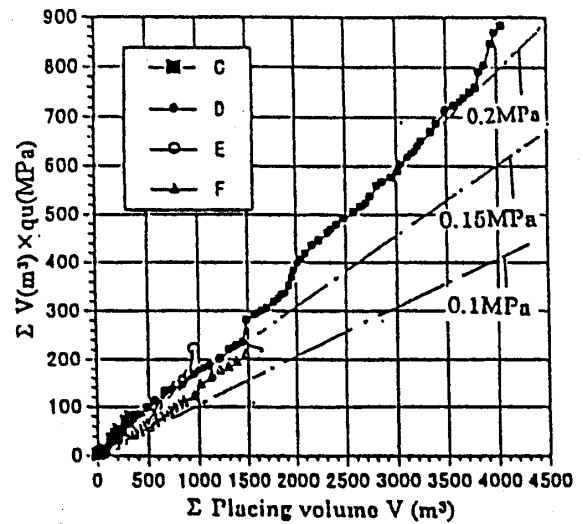


Fig.5 Quality management chart at filling site (Top block)

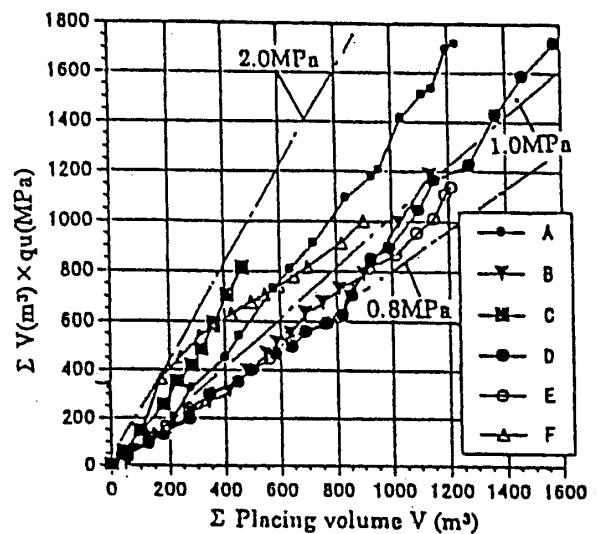


Fig.6 Quality management chart at generating site (Side block)

5.4 不攪乱試料の比較

頂部打設後2～数ヶ月後にブロックサンプリングまたはコアカッターにより不攪乱試料を採取し、一軸圧縮強さを測定した。その結果を Table. 5 に示した。表中、採取地点欄の数値は採取場所の違いを示し、約0.6～1mの長さの試料を上、中、下に三分割した。表より一軸圧縮強さはほぼ0.2～0.5MPaとなり、養生期間が長いため Fig. 6 の打設時での採取試料の28日強度分布より若干大きな値が得られている。またE工区3上部位置では一軸圧縮強さが0.8MPaと大きな値を示すが、これは Fig. 6 で管理曲線の傾きが大きくなっているE工区で最後に打設した箇所に対応する。この結果より、ReSM 施工では強度管理図を用いた施工管理方法が高含水比処理土の目標を満たすうえで有力な管理方法となることが判明した。

参考文献

- 1) 久野悟郎, 二木博史, 森範行, 吉池正弘, 谷口利久, 三ツ井達也, 大量に製造された流動化処理での配合と品質, 土木学会第51 同年第次学術講演会(1996)
- 2) 田村昌仁, 土と基礎, 消費者危険を考慮した改良地盤の品質管理の考え方, PP 37～40, 44_4(1996)
- 3) 江阪匡示, 有岡正樹, 森邦夫, 後藤徳善, 建設発生土を用いた埋戻し(その1), 第2回地盤改良シンポジウム(1997)
- 4) 有岡正樹, 森邦夫, 小野裕克, 許任天, 建設発生土を用いた埋戻し(その2), 第2回地盤改良シンポジウム(1997)

Table 5 Physical properties of undisturbed sample

Site	Sampling point	γ (g/cm ³)	Unconfined compressive strength (MPa)
A	1 upper	1.380～1.381	0.228～0.284
	1 lower	1.428	0.283
	2 upper	1.507～1.515	0.291～0.313
	2 lower	1.417～1.432	0.220～0.214
	3 upper	1.459	0.196～0.240
	E	1 upper	1.439～1.440
1 lower		1.429～1.442	0.351～0.436
2 upper		1.342～1.365	0.341～0.365
2 middle		1.490～1.523	0.440～0.446
2 lower		1.371～1.388	0.380～0.383
3 upper		1.340～1.346	0.790～0.842
3 middle		1.340～1.357	0.252～0.265
3 lower		1.443～1.446	0.225～0.289

6 おわりに

本論文では、(1) 高含水比建設発生土の有効利用システムとしての ReSM 工法の概要、(2) 土質性状が異なる発生土を用いた高含水比処理土による埋め戻しの事例、(3) 強度管理図による品質管理方法の提案とその検証について述べた。建設発生土を用いて人工粘土層を構築する場合、長期耐久性や大規模構造物としての設計強度の保証に課題は残るものの、埋め戻し工法として ReSM 工法は従来工法と比べて簡単で多様な発生土に対応できる施工・管理システムであるという特徴がある。今後、発生側と埋め戻し側の情報管理システムの確立をおこなうとともに、Soil Mixing Wall 工法や Column jet Grout 工法など高含水比泥土の有効利用への展開が期待される。