

浄水汚泥と建設発生土による改良混合土の地盤材料特性

九州工業大学大学院 学生会員 ○二宮健人 小笠元裕
九州工業大学大学院 正会員 永瀬英生 廣岡明彦
九州工業大学 前田裕介

1. はじめに： 現在、わが国では環境への配慮と有効利用を目的とし、浄水汚泥をグラウンド用土、育苗土、セメント原料などに利用している。しかし、それらの利用が安定的で有効な処理方法とは言えない状況である。そこで、有効な処理方法として埋戻土への利用が

挙げられる。本研究では、浄水汚泥および建設発生土による混合土に改良材を加え、コーン指数 $q_c \geq 800 \text{ kN/m}^2$ 、細粒分含有率 $F_c \leq 10\%$ 、修正 CBR $\geq 20\%$ の条件を満たす埋戻土の作製を目的とする。

2. 試料および実験方法： 試料には、浄水場で排出される浄水汚泥 2 種類（以下、汚泥 A および汚泥 H）と建設現場から発生する建設発生土 2 種類（以下、発生土 A および B とする。）を用いた。表 1 にそれらの物理的性質を示す。改良材または改良剤には、セメント系固化材（以下、固化材とする。）、水溶性アクリル樹脂（以下、高分子剤とする。）、生石灰、消石灰を用いる。固化材の使用目的は、土粒子を凝集し、固化させることにより細粒分含有率を低下させることである。また、高分子剤は、土の水分と反応して土粒子を造粒し、生石灰を添加することで粒子の表面を不溶化し、ポゾラン反応により強度を発現する改良を目的とし、細粒分含有率 $F_c \geq 50\%$ の土に対して使用した。表 2 に乾燥重量比による混合土の混合率とそれに添加する固化材の添加率、表 3 に添加する高分子剤と生石灰の添加率を示す。固化材による改良では、室内で密閉し 3、7、14、28 日間の養生を行い、高分子剤と生石灰による改良では、乾燥の必要性から気中で 3 日間養生を行うこととした。試験としては、コーン指数試験、細粒分含有率測定、修正 CBR 試験の 3 種類を行い、作製した試料を評価した。

3. 実験結果および考察： 図 1～図 3 に混合土 AA、AB とそれらを改良した AA-1～3、AB-1～3 のコーン指数試験、含水比および細粒分含有率測定の結果を示す。図 1 より、固化材添加率の増加に伴いコーン指数は増加しており、すべての改良土においてコーン指数 $q_c \geq 800 \text{ kN/m}^2$ の条件を養生 3 日目で満たしている。また、3 日目以降、含水比に大きな変化はないことから、固化材による水和反応は終了していると考えられ、コーン指数にも大きな変化は見られない。図 3 より、AB-1 を除くすべての改良土において養生 3 日目以降、細粒分含有率 $F_c \leq 10\%$ の条件を満たしている。しかし、AA-1 では 7 日目以降に細粒分含有率が増加し始め、28 日目には約 9%の値を示しており、これ以降も細粒分含有率が上昇し、条件を満たさなくなる可能性がある。そこで、養生 3 日目で条件を満たしている AA-1～3、AB-2～3 に対し CBR 試験を行った。図 4 に、混合土 AA、AB とそれらを改良した AA-1～3、AB-2～3 の CBR(突固め 92 回/層)試験結果を示す。図 4 より、AA-3 以外の改良土では突固め回数 92 回での CBR が 20%未満であった。そこで、AA-1～3、AB-2～3 に消石灰を乾燥重量比で 1%、3%添加し、締固め強度を増加させることとした。その結果、すべての改良土の CBR が増加し、AA-1 と AB-2 では消石灰を 3%添加、AA-2 と AB-3 では同様に 1%添加で、CBR が 20%以上の値を示した。ここで、条件を満たした改良土のコーン指数と細粒分含有率および材料費を考慮したところ、混合土 AA では AA-2 に消石灰 1%添加したもの、混合土 AB で

キーワード：リサイクル 浄水汚泥 コーン指数試験 修正 CBR 試験

連絡先（住所：北九州市戸畑区仙水町 1-1 電話番号：093-884-3000）

表 1 試料の物理的性質

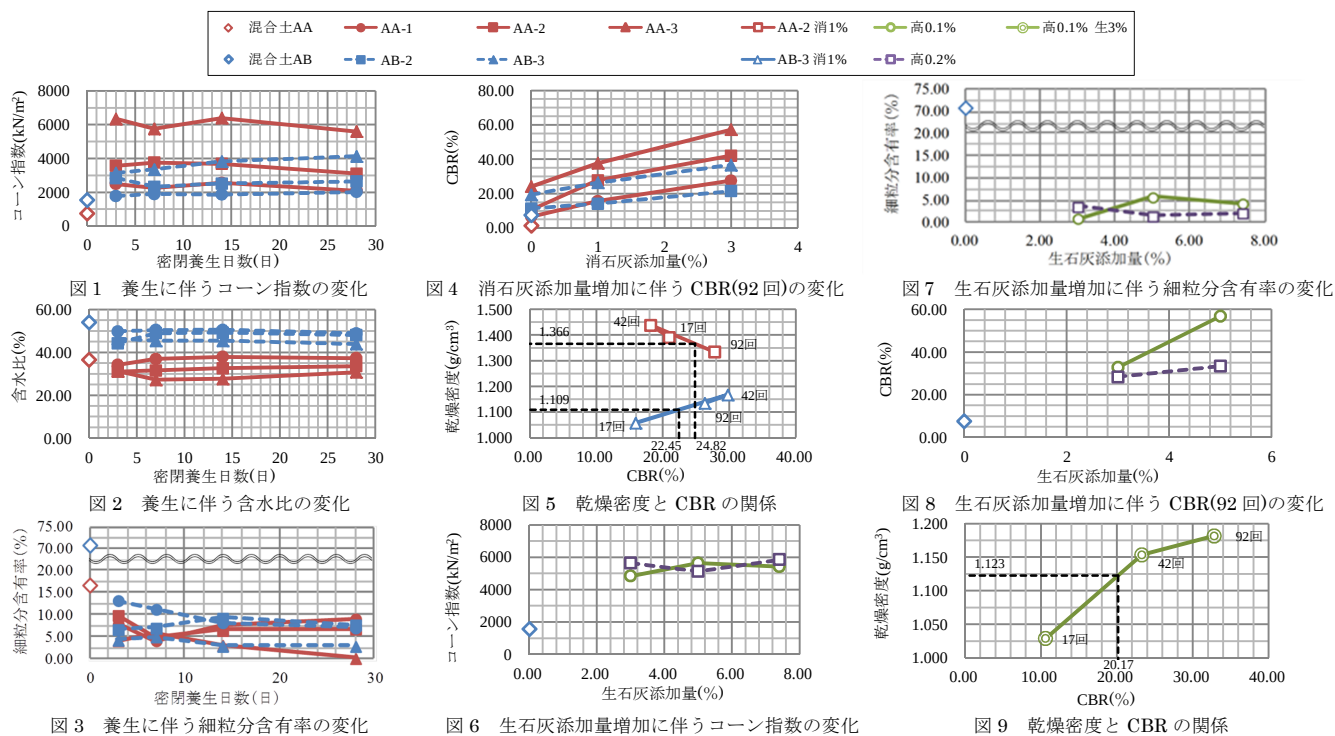
試料	汚泥 A	汚泥 H	発生土 A	発生土 B
自然含水比(%)	116.94	165.54	16.72	30.62
土粒子密度(g/cm^3)	2.45	2.42	2.72	2.73
細粒分含有率 (%)	30.36	98.06	13.34	81.17

表 2 混合土および改良土の混合率

試料名	汚泥 A (%)	発生土 A (%)	発生土 B (%)	固化材 (%)
混合土 AA	20	80	-	-
AA-1				3
AA-2				5
AA-3				10
混合土 AB	20	-	80	-
AB-1				3
AB-2				5
AB-3				10

表 3 高分子剤と生石灰による改良土の混合率

試料名	汚泥 A (%)	発生土 B (%)	高分子剤 (%)	生石灰 (%)
AB-4	20	80	0.1	3
AB-5				5
AB-6				7.4
AB-7			0.2	3
AB-8				5
AB-9				7.4



は AB-3 に消石灰 1% 添加したものがそれぞれ有効的な改良であると判断した。そこで、この試料を用いて突固め回数 17 回、42 回の CBR 試験を行い、修正 CBR を算出した。図 5 にその結果を示す。図 5 より、最大乾燥密度の 95% から修正 CBR を算出したところ、AA-2 に消石灰 1% 添加したものは 24.82%、AB-3 に消石灰 1% 添加したものは 22.45% の値を示した。またコーン指数試験を行ったところ、それぞれ 4929kN/m²、3561kN/m² となった。これらの値はすべての条件を満たしているため、AA-2、AB-3 は埋戻土に利用できると判断される。

次に、高分子剤と生石灰を用いた改良の結果について述べる。本研究では、細粒分含有率が 70% 以上である混合土 AB に対し行った。図 6～図 8 に表 3 に示す AB-4～9 のコーン指数試験、細粒分含有率測定および CBR (突固め 92 回/層) 試験の結果を示す。図 6 より、生石灰の添加量に伴うコーン指数の大きな変化は見られない。これは、造粒物の硬化に必要となる生石灰の量が 3% 程度で十分であるからと考えられる。また、図 7 より、すべてのケースで細粒分含有率が 10% 以下となり、十分な効果が得られている。図 8 では、すべて CBR が 20% 以上の値を示しており、生石灰の添加による強度増加も確認できる。しかし、CBR 試験では図 6、7 と異なる高分子剤の添加量で変化に差が生じている。これは、土の水分を吸水して反応する高分子剤が土の水分不足により反応せず残り、CBR 試験に含まれる吸水膨張試験において吸水し土が膨張することで強度発現の妨げになっているからと考えられる。今回の結果では、高分子剤の添加量は 0.1% が適切であり、生石灰の添加量は 3% で十分であると判断した。そこで、図 9 より最大乾燥密度の 95% から AB-4 の修正 CBR を算出したところ、20.17% の値を示した。また、コーン指数は 4838 kN/m² となり、すべての条件を満たす結果となった。また、この結果と固化材による改良結果を比較すると、高分子剤と生石灰による改良がより効果的であり、改良土 1 t あたりの材料費もほぼ同額であった。よって、混合土 AB に対しては高分子剤と生石灰による改良が有効であると考えられる。

なお、本研究では、上記の結果を基に汚泥 A を汚泥 H に替え、同様の改良を行ったところ、修正 CBR $\geq 20\%$ の条件は満たせなかった。これは汚泥 H の含水比が高いことが、改良土の含水比増加につながり、強度が低下する原因であると考えられる。よって、汚泥 H を用いる場合、混合前にある程度乾燥させておくことが必要であると考えられる。

4. まとめ： 本研究では、浄水汚泥と建設発生土で構成される混合土に対して固化材や高分子剤等による改良を行ったところ、混合土 AA に固化材を 5%、消石灰を 1% 添加したもの、および混合土 AB に高分子剤を 0.1%、生石灰を 3% 添加したものはともに埋戻土の条件を満たし、それぞれ改良に要する材料費は従来の改良(高分子剤 0.3%、生石灰 3%)に要する材料費の 3 割程度であったことから、有効な改良土であると判断される。