

浄水汚泥を用いた粒状改良土の耐久性に関する研究

福岡大学工学部 学生会員 ○榎並竜大

福岡大学工学部 正 会 員 佐藤研一 山田正太郎 藤川拓朗

北九州ソルベス(株) 正 会 員 木之下盛博

1.はじめに 浄水場から発生する浄水汚泥は、現在、主に最終処分場で処理されている。循環型社会の構築に伴って、各自治体では浄水汚泥を有効利用する気運が高まり、北九州市においてはセメントの原料や育苗土等に有効利用されている。

そこで本研究では浄水汚泥の利用用途を拡大するため、この汚泥に粒状改良工法の適用を考えた。これまでの研究¹⁾により、粒状改良工法を用いた改良土の基本特性は明らかになっているが、①耐久性（長期安定性）、②粒子破碎の影響及び再泥化の影響等については未だ未解明な点が多い。そこで本研究では、図-1のフローチャートに従ってこれら2つについて実験的な検討を行った。

2.実験概要

2-1 実験に用いた試料 実験には北九州市本城浄水場より発生する浄水汚泥を用いた。この汚泥は、水を浄水する際、副次的に発生するものであり、凝集沈殿させた時に投入された活性炭を含んでいる。粒状改良工法のメカニズムは

図-2に示すように浄水汚泥に吸水剤を添加し、被膜の形成後に強度を増すために生石灰を添加し約一週間養生して強度を発現させるものである。実験では、汚泥と発生土の混合率の違いと改良の有無により、表-1に示す5種類の試料を用いて行った。また、表-2及び図-3に各試料の物理特性と粒径加積曲線を示す。5試料の粒度分布を見ると細粒分含有率が改良前は30%程度であったのに対し、改良後はいずれも10%近くまで低下しており、処理土が粒状化され改良効果が得られたことがわかる。

2-2 実験方法 各実験は、土質試験法に従い、締固め試験E-b法により最適含水比、最大乾燥密度を求めた。また、修正CBR試験、細粒分含有率から品質評価を行った。次に、自然含水比によるコーン試験より、コーン指数、細粒分含有率、含水比の結果から土質区分を判定した。さらに、耐久性を検討するため3種類の養生方法（気中、水中、曝露）と一定の養生期間における変化を、コーン貫入試験により検討を行った。表-3に耐久性の検討に用いた養生条件を示す。また、改良土の破碎性の影響を調べるため、締固め試験A-b法で5回程度繰返し行い、細粒分含有率の変動から検討を行った。

3.実験結果及び考察

3-1 改良土の力学特性 表-4に改良土の力学特性を示す。改良の有無の影響は、コーン指数を4～5倍程度増加させる効果があることがわかる。5試料の中でcase4のコーン指数値が最も高く、このことから、発生土の混合割合を多くすると強度が増加することが伺える。また、修正CBR値の結果より、改良土はいずれも表-5に示す北九州市の埋戻し砂基準値15%以上の値を示しており、埋戻し材として十分利用できることがわかる。

3-2 改良土の耐久性における検討 3種類の改良土の長期耐久性を検討するため、粒状改良工法を用いた試料を最適含水比で締固めた後、20℃一定に保った室内にて気中、水中、曝露養生を行った。曝露養生においては建物の屋上に設置して、それぞれ所定の日数にて養生を行った。図-4に気中養生、図-5に水中養生、図-6に曝露養生におけるコーン

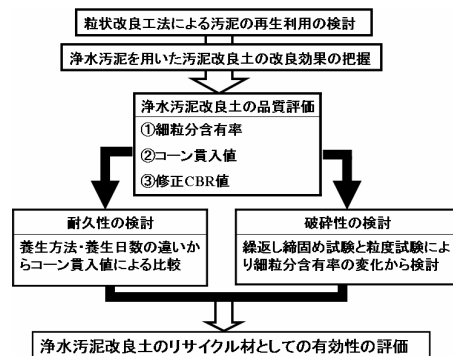


図-1 本研究のフローチャート

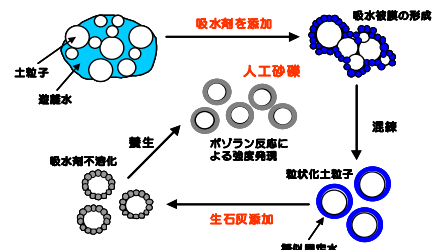


図-2 粒状改良工法¹⁾

表-2 各試料の物理特性

試料の内訳	case 1	case 2	case 3	case 4	case 5
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)	2.55	2.53	2.70	2.72	2.63
自然含水比 W_n (%)	61.9	29.7	35.5	18.3	24.1
細粒分含有率 (%)	33.3	17.2	35.9	18.4	9.1
均等係数 U_c	8.89	61.63	-	62.05	23.4
曲率係数 $U_{c'}$	2.61	3.65	-	1.69	4.8
液性限界 W_L (%)	102.26	NP	NP	NP	NP
塑性限界 W_P (%)	51.34	NP	NP	NP	NP
塑性指数 I_P (%)	50.92	NP	NP	NP	NP

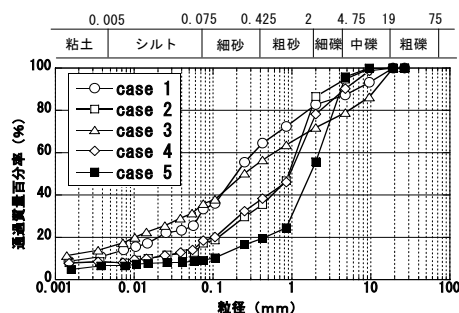


図-3 各試料の粒径加積曲線

表-3 耐久性の検討に用いた養生条件

試料名	養生方法	養生日数
case 2(汚泥3:発生土1 改良有)	気中養生	0
	水中養生	7
	曝露養生	28
case 4(汚泥1:発生土3 改良有)	曝露養生	56
case 5(汚泥0:発生土1 改良有)	曝露養生	91

指数と養生日数の関係を示す。結果より気中養生においては、改良土はいずれも生石灰の影響により、56日養生後においてコーン指数は増加していることがわかる。これに対し、水中・暴露養生は7日後の強度は一端減少し、その後、緩やかに増加する傾向が見られた。図-7、8、9に同条件における含水比と養生日数の関係を示す。図-7より、気中養生においてコーン指数が顕著に増加した理由は含水比の低下によるものだと考えられる。また、水中養生・暴露養生ともに一端7日後に強度が落ちる原因として、図-8、9より改良土の吸水による膨張や天候・気温の変化から

含水比が急激に増加したため、強度は一旦低下していると考えられる。しかし、その後は安定した強度を保っている。これは、浄水汚泥に含まれる粘土鉱物（石英、長石、イライト、カオリナイトなど）が、改良の際に添加する生石灰が水和反応を起こし長期にかけて緩やかに反応し強度安定につながったと考えられる。

3-3 改良土の破碎性における検討

改良土の有効利用用途を拡大するため、埋戻し材として繰返し利用する際に粒子破碎の影響を把握しておくことが肝要である。そのため、A-b法による締固め試験を繰返し行い、細粒分含有率の変動から破碎性の検討を行った。図-10、11に締固め回数と細粒分含有率の関係を示す。case2、4の初期の細粒分含有率は、いずれも5%以下であるが、繰返し締固め試験を行うことで増加する傾向にあることがわかる。しかし、繰返し回数3回目以降では大きな変化は見られなかった。このように厳しい条件下

においては、粒子の破碎性は見られたものの、福岡市（Fc:25%以内）を始め、複数の都市で細粒分含有率の埋戻し基準²⁾を満たしている。また、改良土の土質区分においては、第2種改良土の細粒分含有率の基準値²⁾である25%以内にも収まっていることから埋戻し材として十分再利用できる範囲内にあることがわかる。

4. まとめ ①改良土の耐久性は、養生条件の違いによる影響が見られたものの、どの条件においても著しく強度減少することはなかった。②厳しい条件下で繰返し締固め試験を行った場合、繰返し回数の増加とともに粒子破碎の影響が見られたが、全て埋戻し基準内に収まる結果となった。③改良土の力学特性及び効率的な利用を考えると、現段階までの実験結果において case2 の改良方法が最も効果的であると考えられる。

表-4 改良土の力学特性

試験内容	case 1	case 2	case 3	case 4	case 5
最適含水比(%)	-	19.23	-	17.07	12.46
最大乾燥密度(%)	-	1.44	-	1.56	1.48
修正CBR値(%)	-	66.48	-	72.35	39.33
コーン指数(kN/m ²)	1092	4445	1249	6802	6255
土質区分	第2種改良土	第2種改良土	第2種改良土	第2種改良土	第2種改良土

表-5 北九州市の埋戻し基準

地盤	埋戻し条件			
	材料	最大粒径	CBR値	その他
全体	砂		修正 CBR値 15%以上	細粒分 10%以下
仮設路盤	砕石、鉱さい	50mm以下	修正 CBR値 20%以上	塑性指数 6以下
路盤		25mm以下	修正 CBR値 80%以上	塑性指数 4以下

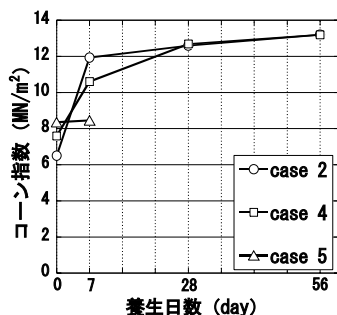


図-4 コーン指数と養生日数の関係 (気中養生)

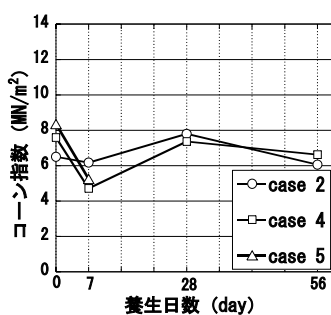


図-5 コーン指数と養生日数の関係 (水中養生)

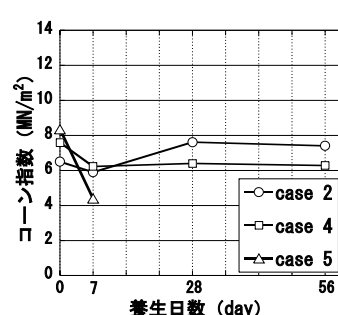


図-6 コーン指数と養生日数の関係 (暴露養生)

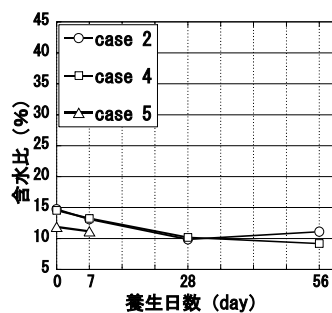


図-7 含水比と養生日数の関係 (気中養生)

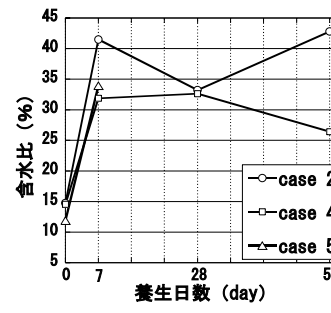


図-8 含水比と養生日数の関係 (水中養生)

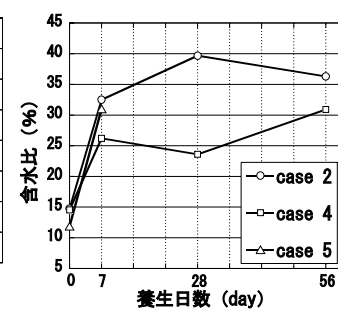


図-9 含水比と養生日数の関係 (暴露養生)

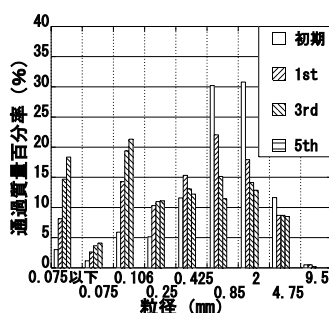


図-10 締固め回数と細粒分含有率の関係 (case2)

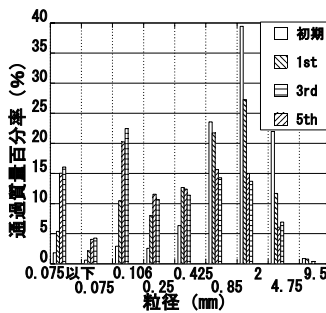


図-11 締固め回数と細粒分含有率の関係 (case4)

【参考文献】 1) 塚田謙司他:高分子吸水剤により改良された建設発生土の土質特性及び有効利用, 第3回環境地盤工学シンポジウム, pp27-32, 1999.

2) 中村公亮他:浄水汚泥を用いた粒状改良土の材料特性, 第40回地盤工学研究発表会, pp595-596, 2005.