生石灰・セメントで改良した有明粘土の強度変化について

佐賀大学　学○岩永晃志
佐賀大学　正　根上武仁
佐賀大学　正　柴　錦春

1. はじめに

有明海沿岸部の軟弱地盤では、これまでに生石灰やセメント等の固化材を用いた化学的地盤改良が多く施工されてきている。この化学的地盤改良が施された区域の一部で、改良強度が低減している事例が近年報告されている[1)]。深層混合改良によるセメント改良柱体の長期強度特性について、改良強度は維持される場合もあるが低下する場合もあり、それは改良柱体が外環境からの影響を受けるか否かによることが報告されている[2)]。そこで本研究では、化学的地盤改良後に改良体周辺の地盤環境が変化した場合に着目した。本報では、生石灰やセメントで強度改良した有明粘土を対象とし、その改良強度の変化について検討した。

2. 軟弱粘土試料と試験方法

本研究で用いた試料は、有明海沿岸道路（佐賀福富道路）の 6m 級試験盛土施工現場付近[3)]の地表面から 2m の部分の有明粘土である。表-1 に試料の物理化学的性質を示す。使用した改良材は、生石灰（以降は CaO）およびセメント系固化材（以降はセメント）である。固化材の配合条件は、CaO は 30kg/m^3 および 60kg/ m^3、セメントについては 70kg/m^3 および 140kg/ m^3 とした[4)]。一軸圧縮試験用の供試体作製は JGS 0821-2000 に準拠した。

表-1　試料土の物理化学的性質

自然含水比 w_n(%)		131.2
土粒子の密度 ρ_s(g/cm^3)		2.587
粒度組成	砂分 S(%)	2
	シルト M(%)	32
	粘土分 C(%)	66
液性限界 w_L(%)		111
塑性限界 w_P(%)		54.6
塑性指数 I_p(%)		56.4
pH		8.6
塩濃度 NaCl(g/L)		0.47
強熱減量 Li(%)		7.7

養生条件については、恒温恒湿室での気中養生に加え、蒸留水、塩水 20g/l 溶液（人工海水、以降は塩水）の水溶液および酸（希硫酸 0.01N 溶液、以降は希硫酸）に気中養生 7 日後の供試体を水浸した。所定の期間養生後、タンクリーリング試験による pH 測定と一軸圧縮試験を実施した。

蒸留水中に水浸したのは、深層混合による改良で地下水面が高い状況で、地下水面下での状態を想定したことによる。また、塩水を用いたのは、感潮河川の河口における堤体やその下部への塩水浸透も考えられることによる。塩水濃度については、有明海の塩分濃度を参考にした。また、希硫酸を用いたのは、有明粘土中には生物起源パイライトが含まれており、酸化によって硫酸が生成されることによる[5)]。希硫酸濃度については、過酸化水素水を用いる pH 試験方法[6)]に基づき、本研究で用いた有明粘土試料の pH 測定を行って決定した。

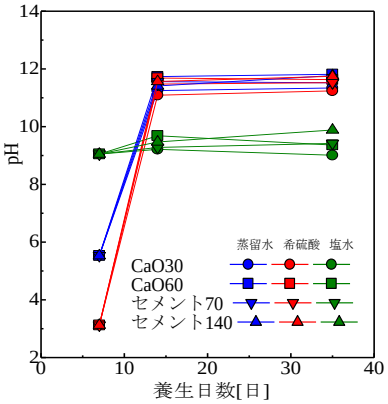

図-1　pH の経時変化

3. 試験結果と考察

3-1. pH の経時変化：図-1 にタンクリーチング試験結果(pH)を示す。蒸留水に浸水した場合、固化材の種類や混合量にかかわらず、7 日水浸後の pH は約 11 まで増加し、浸水後 28 日現在で大きな変化は見られない。希硫酸に浸水した場合、浸水直後の pH は低かったが、浸水 7 日以降は蒸留水の場合と同じ傾向を示した。これは、固化材が強アルカリ性であり、一部が溶出して浸水液の pH を増加させたためと考えられる。塩水に浸水した場合は、全てのケースで pH はほとんど変化しなかった。これは、塩水中に含まれる各種イオンの緩衝作用によるものと考えられる。

3-2. 一軸圧縮強さの経時変化：養生日数と一軸圧縮強さの関係を図-2 に示す。図-2(a)は固化材に CaO を用いた場合の一軸圧縮試験結果である。CaO30kgf/m^3 と CaO60kgf/m^3 のいずれの場合も、非水浸の試料が高い強度を示し、塩水に浸水させた場合の強度が最も低くなった。CaO30kgf/m^3 の場合は、非水浸の供試体も含めて、養生日数が 28

日まででは大きな強度増加は見られない。CaO60kgf/m^3 の場合は、非水浸の供試体も含め養生日数 28 日現在で改良強度は増加した。CaO30kgf/m^3 と CaO60kgf/m^3 のいずれの場合も、塩水に浸水した際の強度増加率が最も低くなった。図-2(b)は、固化材にセメント系固化材を用いた場合の一軸圧縮試験結果である。セメント 140kg/m^3 およびセメント 70kg/m^3 のいずれの場合も、非水浸条件での改良強度が最も高く、塩水に浸水したものの一軸圧縮強さが最も低い。また、養生日数 28 日までの強度増加傾向は、非水浸条件のものが最も高く塩水に浸水したものが最も低いことがわかる。pH 試験結果と併せて考察すると、水浸液が塩水の場合は固化反応の際に生じる $Ca(OH)_2$ が水溶液中の Cl^- と反応し $CaCl_2$ を生じ、これが水溶液中に溶解したために強度低下が生じたと考えられる。

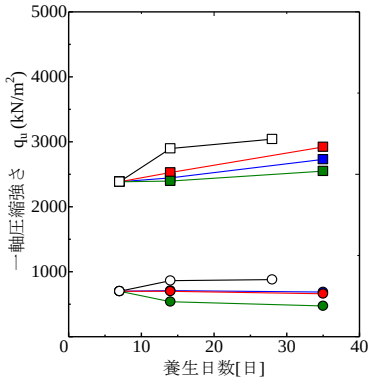

図-2(a)　CaO

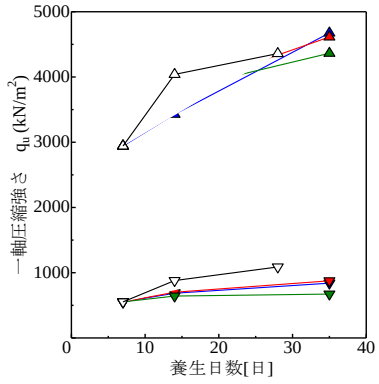

図-2(b)　セメント系固化材

図-2　一軸圧縮強さの経時変化

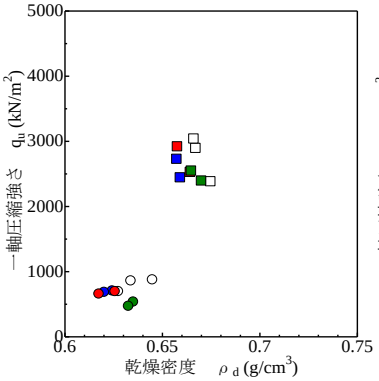

図-3(a)　CaO

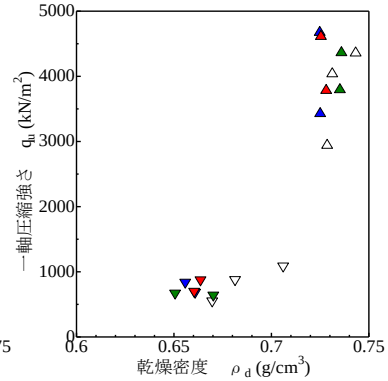

図-3(b)　セメント系固化材

図-3　乾燥密度と一軸圧縮強さ

図-3 に乾燥密度と一軸圧縮強さの関係を示す。図-3(a)は固化材に CaO を用いた場合を示している。CaO30kg/m^3 の場合、乾燥密度は 0.61～0.65g/cm^3 で一軸圧縮強さは 500kN/m^2～900kN/m^2 程度である。CaO60kg/m^3 の場合は、乾燥密度は 0.61～0.65g/cm^3 で、一軸圧縮強さは 2400kN/m^2～3100kN/m^2 程度である。図-3(b)は、固化材にセメント系固化材を用いた場合である。セメント 70kg/m^3 の場合、乾燥密度は 0.65～0.71g/cm^3 で一軸圧縮強さは 500kN/m^2～1100kN/m^2 程度である。セメント 140kg/m^3 の場合は、乾燥密度は 0.72～0.75g/cm^3 で、一軸圧縮強さは 2900kN/m^2～4800kN/m^2 程度である。CaO とセメント系固化材の場合を比較すると、CaO よりもセメント系固化材の場合は乾燥密度と一軸圧縮強さが大きいことがわかる。セメント 140kg/m^3 の場合は、乾燥密度がほぼ同じであっても一軸圧縮強さに大きな差がみられるが、これは図-2 より養生日数の経過に伴って一軸圧縮強さが増加したためであると考えられる。また、前述のように CaO およびセメント系固化材のいずれの場合も非水浸で養生した供試体の一軸圧縮強さは水浸したものよりも高いが、これは非水浸供試体の乾燥密度が水浸した供試体よりも高いことと関連すると考えられる。

4. まとめ　本研究で得られた知見を要約すると、次のとおりである。

(1) 蒸留水および希硫酸に水浸すると、水浸溶液の pH の値はアルカリ性を示した。水浸溶液が塩水の場合、pH の大きな変化は見られなかった。

(2) 非水浸で養生した供試体の一軸圧縮強さは水浸したものよりも高い。これは、非水浸供試体の乾燥密度が水浸した供試体よりも高いことと関連する。

(3) 水浸した供試体の一軸圧縮強さは、塩水の場合が最も低く、蒸留水および希硫酸の場合は大きな差は認められなかった。

謝辞：本研究は平成 22 年度佐賀大学若手研究者支援経費の助成を受けたものである。記して謝意を表する。

参考文献：(1)国土交通省九州地方整備局佐賀国道事務所：地盤調査結果概要と軟弱地盤対策工の選定，大川佐賀道路軟弱地盤対策技術基準検討委員会・軟弱地盤 WG 資料、pp.27-30,2009.(2)林ら、：セメント安定処理土の長期強度特性その２－室内実験による検討－、北海道開発土木研究所月報、No.612、pp.28-36、2004.(3)佐賀県有明海沿岸道路整備事務所：みちしるべ，佐賀県有明沿岸道路広報誌，第 4 号，2009.(4)根上武仁、日野剛徳：地盤環境を考慮した化学的安定処理土の一軸圧縮強さ、第 45 回地盤工学研究発表会発表講演集 DVD-ROM，2010.(5)国土交通省九州地方整備局佐賀河川総合開発工事事務所：佐賀導水事業巨勢川調整池～東名遺跡の保存対策～，130p，2007.(6)(社)地盤工学会：土質試験の方法と解説-第 1 回改訂版-，p.902，2000.