

水和生成物に着目した高強度固化処理土の強度評価

九州大学大学院○正 笠間清伸 正 善 功企 正 陳 光斉

1.はじめに

著者らは、固化材混合および高圧機械脱水という手法を用いて、浚渫ヘドロのような超軟弱地盤材料をコンクリートに匹敵する圧縮強度まで高強度化することに成功している¹⁾。この高強度固化処理土は、混合する固化材の化学的な作用により土粒子間が固結している材料であり、土質力学的な観点からだけでなく化学反応に着目した強度評価が必要であると考えられる。本文では、固化材の化学反応によって作成される水和生成物に着目し、それが固化処理土の空隙に占める充填率を算定し、高強度固化処理土の強度評価を試みる。

2.固化処理土の強度評価

2.1 固化処理土中の水和生成物の充填率

固化処理土の初期状態を、初期含水比 w 、飽和度 S_r および固化材添加率が $a\%$ であり、固化材の水和進行率を $d\%$ とした。また、土粒子への吸着水が占める空隙に対しては、水和生成物の充填はないものと仮定し、吸着水の割合は乾燥重量の $b\%$ とし仮定した。固化材 1cm^3 は、完全に水和反応が終了すると約 2.1cm^3 の水和生成物となり、粘性土では、飽和度 S_r がほぼ 100% であると考え、図1に示すように固化処理土内の水和生成物の充填率 x は、次式で表せる。

$$x = \frac{0.672d}{0.32d + \frac{100 - S_r}{S_r} \frac{w}{a} + \frac{w - b}{a}} \cong \frac{0.672d}{0.32d + \frac{w - b}{a}} \quad (1)$$

以上より、充填率は、含水比 w と固化材添加率 a の比、水和進行率 d および吸着水の割合 b に大きく関係する。Powers²⁾によるセメント空隙比説の考え方では、この充填率がコンクリートの強度を支配し、充填率 $x=1.0$ のとき最大の圧縮強度が得られるとしている。仮に吸着水の割合を 0% とし、水和反応が完全に終了した状態($d=1.0$)と考えると、最大の充填率を得るための配合は、水セメント重量比 $w/a=0.352$ と計算できる。

次に、充填率を決定する際に必要な水和進行率を実験的に決定する。ここでは、固化処理土の一軸圧縮強度の増加率が、水和進行率と等価であるとして考えた。図2に固化材添加率 10, 20, 30%の固化処理土の一軸圧縮強度の時間的な変化を示す。一軸圧縮

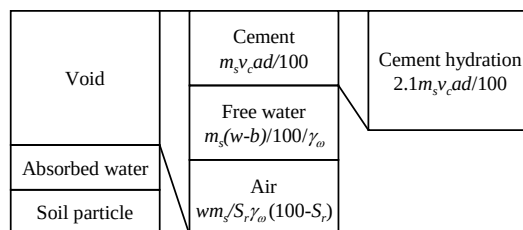


図1 充填率の算定

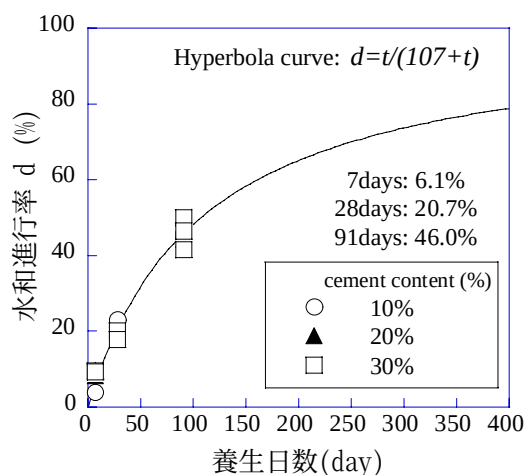


図2 水和進行率の決定

強度の増加率を双曲線近似すると、高炉スラグセメント B 種の水和進行率は、 t を養生日数として、 $d = t / (107 + t)$ となった。

続いて、土粒子への吸着水の割合について、液性限界や過去の文献等を調査したが、高圧脱水した供試体が液性限界よりも低い含水比状態になることから、決定することが難しく、今回は 0% として考察することにした。

キーワード リサイクル、地盤改良、セメント、粘土、高強度、高圧脱水

〒812-8581 福岡市東区箱崎 6-10-1 九州大学大学院工学研究院 建設デザイン部門 Tel:092-642-4399

2.2 固化処理土の一軸圧縮強度の評価式

一般に、単相結晶の圧縮強度は結晶内の空隙の充填率の増加とともに急激に増加し、以下の実験式が提案されている。

$$q_u = q_{u0} \times x^m \quad (2)$$

ここで、 q_{u0} と m は実験定数で、 q_{u0} は充填率 $x=1.0$ のときの最大圧縮強度であり、材料固有の値である。 m は固化材の内部結合、空隙の大きさや形状、粒子の大きさ、不純物の存在などに起因する定数である。

固化処理土の強度を考える場合、固化処理土の空隙は水和生成物で充填されるので、 q_{u0} は水和生成物の最大圧縮強度を意味する。今回、高炉スラグセメント B 種と水のみを混合した水和生成物を作製し、強度試験を実施したところ $q_{u0}=87.9\text{MPa}$ 、 $m=1.34$ が得られた。

3. 高強度固化処理土の強度特性

図 3 に、高強度固化処理土の作製時の脱水圧力と式(1)を用いて算定した充填率の関係を示す。脱水圧力 5MPa までは、急激な充填率の増加が発現し、その後は脱水圧力の増加とともにほぼ直線的に増加する。その増加傾向は、固化材添加率 10～30%ではほぼ同程度であるが、30%では他のものに比べて若干大きい。

図 4 には、充填率と一軸圧縮強度の関係を示す。充填率の増加によって固化処理土の一軸圧縮強度は、急激に増加する。この増加の程度は、固化材添加率が小さいものほど急激であり、図中の実線で示したセメントペーストの強度増加に比べて、かなり大きい。これは、充填率を算定するさいの吸着水の割合を 0%と仮定しているためであり、土粒子への吸着水の割合の検討が、高強度固化処理土の強度評価に特に重要であることを意味する。また、これら実験結果から、逆算される吸着水の割合は、固化材添加率が 10～20%で約 25%、30%で約 13%となった。

4. まとめ

本文では、固化材の化学反応により生成される水和反応物に着目し、その空隙に占める充填率を考慮した高強度固化処理土の強度評価を行った。得られた結論をまとめると以下になる。

1) 固化処理土中の水和生成物の充填率を決定する因子として、固化処理土の含水比と固化材添加率の比、水和進行率および吸着水の割合を示した。

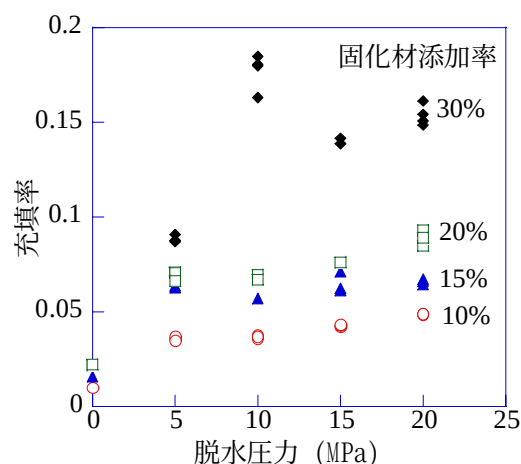


図 3 充填率と脱水圧力の関係

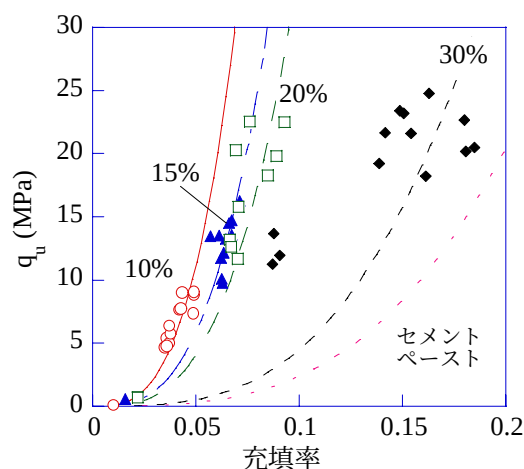


図 4 充填率と一軸圧縮強度の関係

2) 提案した充填率は、固化材の化学的特性を考慮しており、高強度固化処理土の強度特性を表現できる。

3) 土粒子への吸着水の割合が、高強度固化処理土の強度評価について重要であり、今後検討を進めてゆきたい。

なお、本研究は、前田記念工学振興財団の援助を受けたものである。ここに記して感謝の意を示す。

【参考文献】1) 笠間清伸, 善功企, 陳光齊, 江頭和彦: 固化材混合および高圧機械脱水による浚渫粘土の高強度化, 「粘土地盤における最新の研究と実際-微視的構造の観察から超軟弱埋立て地盤対策技術まで-」に関するシンポジウム論文集, pp.235-240, 2002. 2) T.C. Powers & T.L. Brownard: Studies of the Physical Properties of Hardened Portland Cement Paste, ACI, Vol.18, No.7, pp.845-864, 1947.