

大阪府立大学工業高等専門学校

学生員 ○斉藤 健太

大阪府立大学工業高等専門学校

正会員 新納 格

## 1. はじめに

一般に粘性土は不飽和状態での化学ポテンシャルが強いことなどから、砂質土と比較して、締固め難い土とされている。新納らの研究から、アニオン性界面活性剤水溶液によってベントナイト・珪砂混合土の締固め密度が最適含水比の乾燥側で向上し、一軸圧縮強度が低下することが判明した<sup>1)</sup>。

そこで本研究では、膨潤性の異なる粘土・珪砂混合土3種類において、標準プロクターによる動的締固め試験を行い、締固め密度の向上効果を検討した結果、アニオン性界面活性剤水溶液を加水した場合、乾燥側から最適含水比付近にかけて締固め密度が向上することを確認した。

## 2. 実験方法

表-1に実験一覧を示す。各実験ケースの名称はその性状から規則的に名称を与えている。試料は膨潤性の異なる3種類の粘土として、高膨潤性を示すNa型ベントナイト（クニゲルV1）、低膨潤性粘土（笠岡ベントナイト）、非膨潤性粘土（RC-1）70%と珪砂7号30%を混合した土である。水溶液は蒸留水と花王製の生分解性が高い界面活性剤を使用した。非イオン性界面活性剤はエマルゲンLS-106（液体表面張力29.5mN/m）、カチオン性はコータミン24P（同36.7mN/m）、アニオン性はペレックスOT-P（同27.0mN/m）である。水溶液濃度は0.5質量%である。また、過去の研究<sup>2)</sup>でNa型ベントナイトにおいて蒸留水に比べて平衡膨潤圧が低下したNaClと無機アニオンのNa<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>を濃度0.3Mの水溶液で使用した。

締固め試験は非繰返し法で行い、110°Cで20時間程度炉乾燥した試料400gを噴霧器で加水し、突き固めによる締固めを行い、乾燥密度を求め、結果を締固め曲線として整理した。使用したモールドは内径50mmで1kgのランマーを用いて10cmの高さから落下させ、各層22回突き固めを行い、締固めエネルギーEが標準プロクターである550kJ/m<sup>3</sup>となるように5層の締固めとした。

表-1 実験一覧

CBe7-W[72.5]	w(%)	4.17	12.66	13.49	16.13	17.46	21.79		
	$\rho_d$ (Mg/m <sup>3</sup> )	1.435	1.461	1.457	1.483	1.455	1.443		
CBe7-NaCl0.3	w(%)	4.89	10.39	13.58	15.23	19.16	22.54	27.31	29.44
	$\rho_d$ (Mg/m <sup>3</sup> )	1.423	1.475	1.482	1.510	1.499	1.511	1.441	1.434
CBe7-Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 0.3	w(%)	4.82	8.98	12.48	14.84	18.51	21.99	25.10	28.31
	$\rho_d$ (Mg/m <sup>3</sup> )	1.409	1.474	1.480	1.516	1.513	1.537	1.518	1.463
CBe7-Ani[27.0]0.5	w(%)	4.80	9.42	13.77	16.19	18.68	22.69		
	$\rho_d$ (Mg/m <sup>3</sup> )	1.432	1.439	1.448	1.468	1.493	1.432		
CBe7-Cat[36.7]0.5	w(%)	5.07	9.92	12.65	15.03	17.99	23.28		
	$\rho_d$ (Mg/m <sup>3</sup> )	1.425	1.442	1.471	1.468	1.462	1.443		
CBe7-Non[29.5]0.5	w(%)	7.09	10.58	14.31	18.74	21.33			
	$\rho_d$ (Mg/m <sup>3</sup> )	1.409	1.448	1.482	1.473	1.430			
CKasaBe7-W[72.5]	w(%)	4.76	10.46	13.00	15.35	20.72	23.11		
	$\rho_d$ (Mg/m <sup>3</sup> )	1.536	1.575	1.595	1.633	1.636	1.592		
CKasaBe7-NaCl0.3	w(%)	5.09	9.62	13.14	15.56	18.81	22.58		
	$\rho_d$ (Mg/m <sup>3</sup> )	1.565	1.591	1.625	1.668	1.610	1.610		
CKasaBe7-Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 0.3	w(%)	4.44	9.12	12.23	14.83	18.73	21.27		
	$\rho_d$ (Mg/m <sup>3</sup> )	1.575	1.588	1.604	1.650	1.660	1.648		
CKasaBe7-Ani[27.0]0.5	w(%)	5.40	10.33	13.13	15.91	19.45	22.90		
	$\rho_d$ (Mg/m <sup>3</sup> )	1.549	1.589	1.624	1.658	1.661	1.602		
CKasaBe7-Cat[36.7]0.5	w(%)	5.31	10.73	13.95	17.25	19.98	24.73		
	$\rho_d$ (Mg/m <sup>3</sup> )	1.557	1.569	1.589	1.612	1.654	1.563		
CKasaBe7-Non[29.5]0.5	w(%)	4.46	9.83	12.63	15.72	19.40	22.44		
	$\rho_d$ (Mg/m <sup>3</sup> )	1.575	1.581	1.577	1.591	1.651	1.596		
CKao7-W[72.5]	w(%)	5.10	10.75	13.23	15.95	19.89	22.70		
	$\rho_d$ (Mg/m <sup>3</sup> )	1.392	1.390	1.418	1.434	1.492	1.593		
CKao7-NaCl0.3	w(%)	5.06	9.82	12.99	16.41	18.93	21.68		
	$\rho_d$ (Mg/m <sup>3</sup> )	1.383	1.428	1.455	1.472	1.509	1.591		
CKao7-Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 0.3	w(%)	4.57	8.93	12.66	15.04	18.88	21.24		
	$\rho_d$ (Mg/m <sup>3</sup> )	1.391	1.435	1.436	1.477	1.521	1.607		
CKao7-Ani[27.0]0.5	w(%)	4.87	10.11	12.78	16.02	18.77	22.58		
	$\rho_d$ (Mg/m <sup>3</sup> )	1.374	1.415	1.443	1.493	1.552	1.592		
CKao7-Cat[36.7]0.5	w(%)	4.92	9.77	12.74	15.97	18.81	22.50		
	$\rho_d$ (Mg/m <sup>3</sup> )	1.381	1.413	1.416	1.425	1.475	1.583		
CKao7-Non[29.5]0.5	w(%)	5.32	10.41	13.00	15.96	18.72	21.84		
	$\rho_d$ (Mg/m <sup>3</sup> )	1.367	1.391	1.398	1.394	1.439	1.540		

注1：CBe7-Ani[27.0]0.5の場合、Cは動的締固め試験、Be7はベントナイト70%と珪砂7号30%の混合土、Aniはアニオン性界面活性剤、[27.0]は水温25°C付近の表面張力値(mN/m)、水溶液濃度(質量%)を示す

## 3. 結果および考察

図-1に水溶液が異なる高膨潤性粘土・珪砂混合土の締固め試験結果の比較を示す。蒸留水と比較して、アニオン性界面活性剤水溶液(CBe7-Ani[27.0]0.5)の最適含水比の乾燥密度が高いことがわかる。図-2の界面活性剤吸着モデルからアニオン性界面活性剤が水和イオンに吸着してその大きさを拡大して単位層の剥離を促すためと考察する。また、アニオン性界面活性剤水溶液を加水することで固体表面間のイオン濃度が上昇し、式(1)の接触値定理による浸透ポテンシャル $P_s'$ を大きくして膨潤を促し、土粒子の再配列を容易にしたと考えられる。

$$P_s' = \kappa T \left\{ \sum_i \rho_i \left( \frac{\chi}{2} \right) - \sum_i \rho_i(\infty) \right\} \quad (1)$$

ここに、 $\kappa$ ：ボルツマン定数 $=1.38066 \times 10^{-23}$ (JK)、T：絶対温度(K)、 $\chi$ ：スタック間距離、 $\sum_i \rho_i \left( \frac{\chi}{2} \right)$ ：スタック間中央部の全イオン濃度(M)、 $\sum_i \rho_i(\infty)$ ：バルク相の全イオン濃度(M)

NaCl水溶液とNa<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>水溶液は蒸留水に比べて、全体的に乾燥密度が高いことがわかる。乾燥側から最適含水比付近まで乾燥密度が向上したのは、水和イオン拡大による単位層の剥離促進のためだと考えられる。湿潤側で乾燥密度が向上したのは、無機アニオンの水溶液密度の影響が指摘される。水温が12.5°Cのとき、NaCl0.3M水溶液の密度が1.008kg/m<sup>3</sup>、Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>0.3M水溶液の密度が1.035 kg/m<sup>3</sup>であり、曲線の大小関係と一致している。図-3に水溶液が異なる低膨潤性粘土・珪砂混合土の締固め試験結果の比較を示す。アニオン性界面活性剤水溶液、Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>水溶液、NaCl水溶液を加水した場合、蒸留水と比べて最適含水比の乾燥側で乾燥密度が高いことがわかる。アニオン性界面活性剤が水和イオンに吸着してその大きさを拡大して単位層の剥離を促すためと考察する。低膨潤性粘土・珪砂混合土においてNa<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>水溶液、NaCl水溶液を添加したとき、湿潤側で乾燥密度が蒸留水と同程度である。これは笠岡ベントナイトの塑性限界が24.9%であり、飽和化したことで締固めエネルギーが土骨格に伝わりにくいからだと考えられる。図-4に水溶液が異なる非膨潤性粘土・珪砂混合土の締固め試験結果の比較を示す。アニオン性界面活性剤水溶液、Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>水溶液、NaCl水溶液を加水した場合、蒸留水と比べて乾燥側で乾燥密度が高いことがわかる。他の粘土・珪砂混合土より単位層の剥離が起こりにくい、同様に水和イオン拡大による単位層の剥離促進のためだと考えられる。また、すべての粘土・珪砂混合土においてカチオン性および非イオン性の界面活性剤を加水しても、乾燥密度が向上していない。これは図-2の吸着モデルから水和イオンが拡大せず、単位層の剥離が生じなかったからだと推測される。

4. まとめ

粘土・珪砂混合土においてアニオン性界面活性剤や無機アニオンが締固め性を改善する可能性が判明した。さらに詳細な検討を行い、工法としての実用化を目指したい。

参考文献

- 1) 新納格, 井上俊, 掛水颯太, 植田真也, 斉藤健太: 界面活性剤によるベントナイトの膨潤圧曲線の実験的解釈と締固め密度向上効果, 第13回環境地盤工学シンポジウム, 10-1, 2019
- 2) 新納格, 井上博之, 吉田武, 井上俊, 掛水颯太, 福井克也, 平山政義: 塩化鉄水溶液および塩化銅水溶液がベントナイトの膨潤圧特性に与える影響, 第12回環境地盤工学シンポジウム, 17-3, PP561-566, 2017

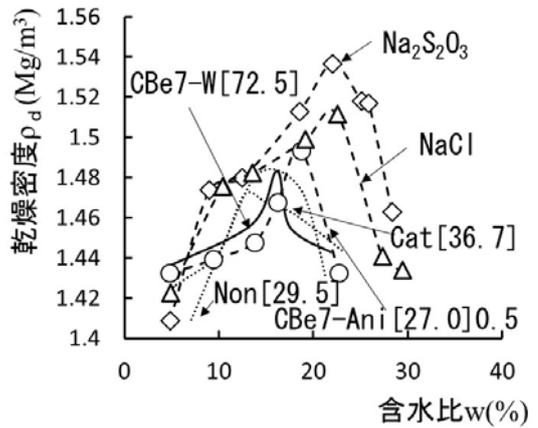


図-1 水溶液が異なる高膨潤性粘土・珪砂混合土の締固め試験結果の比較

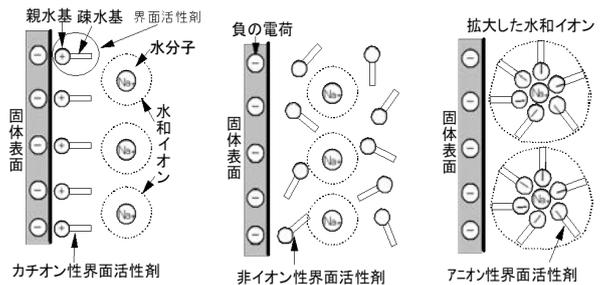


図-2 界面活性剤吸着モデル

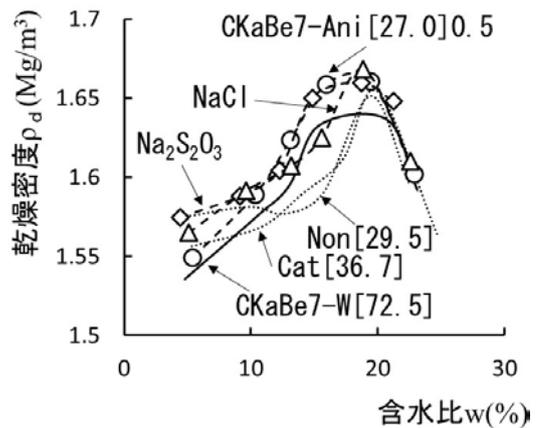


図-3 水溶液が異なる低膨潤性粘土・珪砂混合土の締固め試験結果の比較

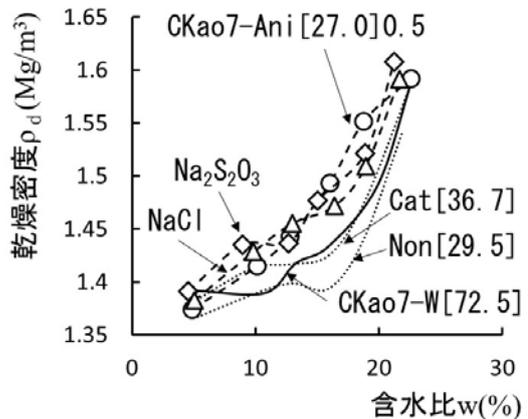


図-4 水溶液が異なる非膨潤性粘土・珪砂混合土の締固め試験結果の比較