

III-446

ベントナイト混合硅砂の圧密・膨潤特性について

電力中央研究所 正会員 緒方信英、正会員 小峯秀雄
清水建設(株) 正会員 ○尾上篤生、正会員 石井卓、堀江芳博

1. はじめに

あまりレベルの高くない放射性廃棄物の地下空洞内処分方法の一つに、ベントナイトと骨材との混合材料を密実に締め固めた充填材で廃棄物格納部を取り囲むことによって、地下水の透水や放射性核種の漏出を防ぐ方法がある。空洞施設底盤へのこの充填材の敷均し時や施設に廃棄物を格納操業する期間中は、地下水排水対策が施されているので充填材は不飽和状態であり、上載荷重の増加にともなって圧密する。その後施設を密閉閉鎖すると充填材は飽和し、上載圧が大きい部分では圧密するが、上載圧が小さい部分では膨潤する。従って地下空洞内が常時充填材で満たされ、水みちとなる空隙が生じない設計を行うためには、締め固められた不飽和充填材と飽和した充填材の圧縮性と膨潤特性を知る必要がある。本報告はNa系ベントナイト混合硅砂の配合率と膨潤率・膨潤圧の関係を調べた配合率試験、および拘束圧と膨潤率の関係を調べた拘束圧試験の両結果を述べるものである。

2. 試験方法

2.1 配合率試験 試料はベントナイト（クニゲルV1）と硅砂6号単粒に、表1に示す最適含水比に相当する蒸留水を加えて混合したものである。ベントナイトと硅砂の合計重量に対するベントナイトの重量をベントナイト配合率と称し、これを5%から50%まで変えた5種類の試料を用いた。まず締め固め後に直径6cm、高さ2cmの標準圧密試験モールド内で表1に示した含水比と密度になるベントナイト、硅砂、蒸留水の各量を1供試体分ずつ計量し、混合した。この混合試料の半分をモールドに入れ、高さが1cmになるまでφ3cmの突棒で突き固めた。この上面にヘラで刻みを入れ、2層目の試料を投入して同様に締め固め、最後に試料上面がモールドの縁と同じ高さになるように油圧ジャッキで整形した。但し、膨潤量が大きくなる配合率30%と50%の供試体高さは1cmとした。この供試体に載荷板（8.8gf/cm²）を載せてモールドごと脱気水に水没し、水浸に伴う試料の膨潤量を測定した。また同様に作製した供試体について、載荷板の変位を許さない条件で載荷板に働く反力を測定し、膨潤圧も測定した。

2.2 拘束圧試験 ベントナイト配合率20%の供試体（φ6cm、高さ2cm）を高さ7cmのモールド内で配合率試験と同様に6コ作製し、それぞれ圧密圧力（ p ）0.03, 0.53, 1.03, 2.03, 5.03, 10.03kgf/cm²のもので1週間圧密した。その後供試体中の空気を炭酸ガス置換し、モールド内を真空にして供試体底面から給水した。上部載荷板まで間隙が飽和するのを確認してから供試体をモールドごと水没し、各圧力載荷のもとの膨潤量を測定した。

3. 試験結果

3.1 膨潤率に及ぼす配合率の影響

膨潤率の経時変化に及ぼすベントナイト配合率の影響を図1に示した。膨潤率を ε 、経過時間を t とすると、どの膨潤率経時変化も双曲線 $t/\varepsilon = a + b t$ で近似でき、この双曲線の漸近線が最大膨潤率となる。図2はベントナイト配合率（ x ）と最大膨潤率（ ε_{max} ）の関係であるが、 $x < 50$ の範囲で

表1 実験に用いたベントナイト混合硅砂の諸元

ベントナイト配合率 (%)	5	10	20	30	50
比重	2.664	2.666	2.670	2.673	2.681
最適含水比 %	19.4	17.6	17.0	14.6	17.5
乾燥密度 t/m ³	1.607	1.643	1.680	1.716	1.655
飽和度 %	78.6	75.4	77.0	70.0	75.5
間隙比	0.658	0.623	0.589	0.558	0.620

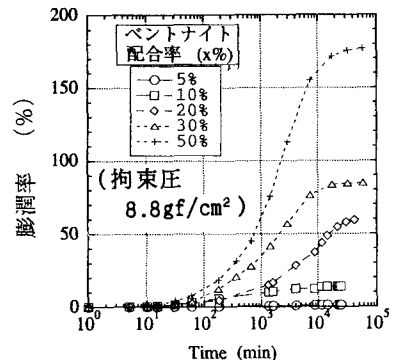


図1 膨潤率とベントナイト配合率の関係

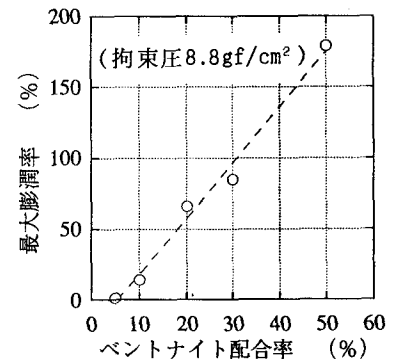


図2 最大膨潤率とベントナイト配合率

$$\varepsilon_{\max} = -20.98 + 3.922x \quad (\text{相関係数 } R=0.994) \cdots (1)$$

で近似できる。このように近似するとき、配合率が0%の時に最大膨潤率が負で表現されるが、これは最適含水比で混合中に既に膨潤が始まっており、測定開始以前の膨潤率がこの最大膨潤率に含まれていないからであろう。しかし実際の施工時にも締め固め完了以前に幾らかの膨潤が生じるから、その後の膨潤率を予測する意味では上記直線近似は有効であろう。

3.2 膨潤圧に及ぼす配合率の影響 膨潤圧の経時変化を図3に示した。混合率50%の供試体の膨潤圧は、4380分経過以降に微小な変位が生じたために1.76kscに達した後やや減少しているが、減少部分を無視するならば双曲線近似による最大膨潤圧（ $P_{\max}$ ）は各々0.345（配合率20%）、1.084（同30%）、1.825ksc（同50%）である。この関係は、 $P_{\max} = -0.5013 + 0.04758x$ 、（ $R=0.9821$ ）で表わせる。初期含水比が0.7~7.1%と小さい藤原¹⁾の実験結果に比べて、最適含水比で締め固めた場合の膨潤圧はかなり小さいと言える。

3.3 圧密圧力と圧縮量の関係 ベントナイト配合率20%の試料に関し、拘束圧試験の前半で行った混合土の圧密試験結果を図4に示した。圧密圧力（ p ）0.03kscの場合は圧縮が生じず、載荷初期から膨張した。また $p=0.53$ kscの場合は、載荷後6時間までは圧縮したが、その後は膨張に転じた。 $p=1.03$ ksc以上の場合、載荷と同時にほぼ圧縮が終了し、その後クリープ圧縮が生じた。

3.4 拘束圧と膨潤率経時変化の関係 上記圧密試験に続き、その供試体を水で飽和することによって生ずる膨潤率を図5に示した。これによると、拘束圧（ p ）2ksc以上ならば飽和しても膨潤は生じない。双曲線近似から求めた最大膨潤率は、 $p=0.03$ kscの場合53.4%である。これに圧密期間中の膨潤率2.63%を加えれば56%となり、式（1）で計算される57.5%にほぼ一致している。このわずかな差は、式（1）が $p=8.8$ gf/cm²というほぼ無拘束状態の膨潤率を与える式であるからであろう。膨潤は、飽和開始からほぼ200000分（約5カ月）で終了する。

3.5 拘束圧と最大膨潤率の関係 ベントナイト配合率20%の試料の拘束圧（ p ）と最大膨潤率（ $\varepsilon_{\max}$ ）の関係を図6に示した。縦軸は最大膨潤率の平方根（ $\sqrt{\varepsilon_{\max}}$ ）である。この関係は、 $\varepsilon_{\max} = (1.2436 - 3.9687x \log(p))^2$ で表せる（ $R=0.9994$ ）。

4. まとめ

最適含水比で締め固めたベントナイト混合砂の水浸にともなう膨潤特性を調べた。その結果以下のような結論を得た。

- ①膨潤率と膨潤圧の経時変化はいずれも双曲線近似が可能で、その漸近線として最大膨潤率、最大膨潤圧が求まる。
- ②最大膨潤率も最大膨潤圧もベントナイト配合率とほぼ直線関係にあり、直線近似式を提案した。
- ③ベントナイト配合率が20%と一定の場合、最大膨潤率の平方根と拘束圧の対数は直線関係にあり、この関係式を示した。
- ④膨潤は試料が水で飽和してから200000分（約5カ月）でほぼ終了する。

〔参考文献〕1)藤原，他：「ベントナイトの膨潤圧測定」、土質工学と粘土科学の接点を探る共催シンポジウム発表論文集、PP.43~50、1991年10月

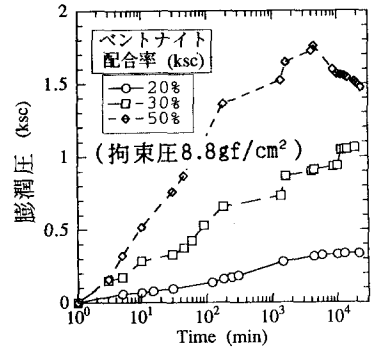


図3 膨潤圧とベントナイト配合率の関係

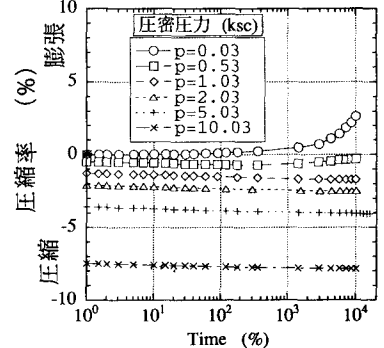


図4 圧縮率の経時変化と圧密圧力の関係

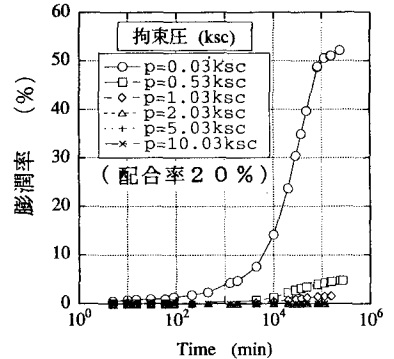


図5 膨潤率の経時変化に及ぼす拘束圧の影響

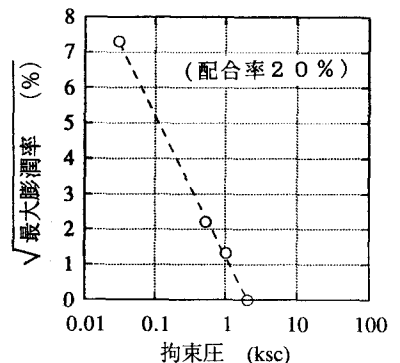


図6 最大膨潤率の平方根と拘束圧の関係