

秋田工専
秋田コンクリート(株)○伊藤 駿
桜田 良治

1. まえがき

土や岩盤にモンモリロナイト等の粘土鉱物が介在すると膨張性地圧現象が生じ、土木工事施工上しばしば障害となっている土などが体積増加や塑性流動を起こす場合、その原因には膨張(expansion)と膨潤(swelling)があり各々には又色々な要因が考えられる。特に膨潤は水に関与する現象である。これまで膨潤に関する基礎的研究を幾つか報告してきたが、我国には固定した実験装置がないのでFig.1の様な恒温状態で試験できる装置を開発し、これによる一軸的膨潤実験を長期にわたり繰り返して行ってきた。その結果、膨潤現象予測に関するモデル式が導かれかつ、この現象には確率統計論的な考え方が導入できる事を見出した。

2. 試料及び実験方法

使用した試料は国華礦化工業(株)製の高純度ソジウムモンモリロナイト(クニピア-F)である。これのX線粉末回折の結果、全く不純物が混じっていない事が確認された。これにガラスビーズを重量比で1:1に混合しM₅₀としこれを湿潤箱中で日数を調整して養生し、初期含水比(Wi)を変化させ一定の締固めエネルギーを与えて、モールド(5φ×2cm)につめ、Fig.1の⑤にセットした。Fig.1は、装置全体の概観である。⑬より蒸留水を下し、⑨を通して試料⑦の下部に供給する。この時ペーパーロックが生じない様に⑧よりエア抜きを行なう。膨潤圧(P_S)は④により、膨潤量(ε_S)は⑤を介し⑮で読み取り換算した。今回は、M₅₀の試料のみにつきこのWiを変化させ、⑭(0°-50°Cに調節可能)の温度を15°C一定として②をこれに密閉固定し、④がほぼ0.001mm/24hr以内に留まるところで実験を打ち切った。

3. 結果及び考察

Fig.2 に得られた結果の一例を示す。図をみると、P_Sとε_Sは互いによく対応しながら増加し、最終的に増加率が頭打ちになるS字型曲線であることが分かる。これは膨潤が吸水による成長現象であることを示すに他ならない。しかもこの現象は長期に亘り段階的な変化を示すことが認められる。これをよく観察すると次のI-IVに区分される。即ちI: 発生期、II: 成長期、III: 減衰期、IV: 安定期となり図中にそれぞれの境界を点線で示した。これは、後に述べる膨潤構成方程式の基礎をなすものである。また、Fig.3 は、Wi を変化させた場合のP_Sとε_Sの関係を表わしている。これよりWiの大きなものはε_Sが小さく、P_Sも

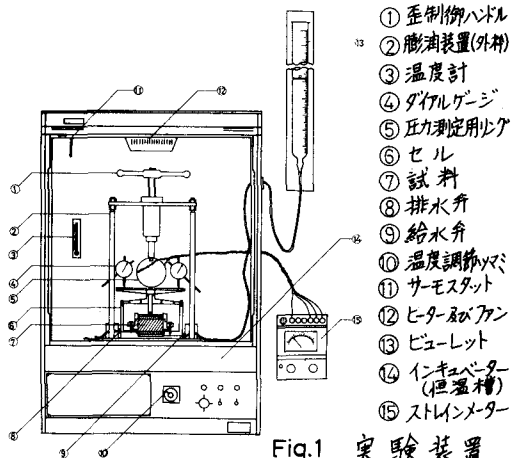
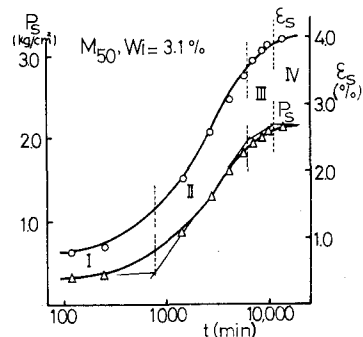
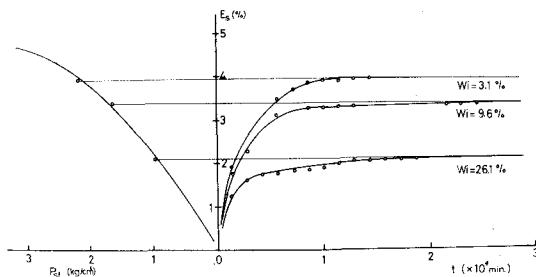


Fig.1 実験装置

Fig.2 P_Sとε_Sの経時変化Fig.3 Wiによるε_S~P_S~t 関係

小さく出る事が実証される。次に Fig.4 は各Wiによる P_S と t の関係を表わしている。 P_S とその最終値 P_{St} との関係を対数でとり、時間 t との関係より P_S について解くと次の二式が得られる。これらを各Wiについて、膨潤速度係数(k)を定めて描くと図示のような曲線となる。なお、 E_s についても同様のことが得られた。

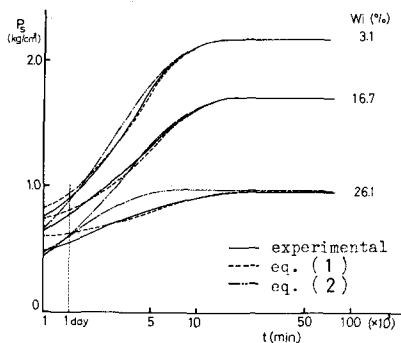


Fig.4 P_S の実験値と計算値

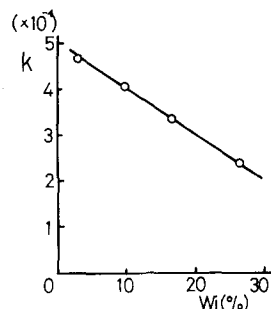


Fig.5 $k - W_i$ 関係

$$P_S = \frac{P_{St}}{1 + \exp(a - k \cdot t)} \quad (a: \text{定数}) \quad (1)$$

$$P_S = P_{St} \{1 - \exp(1 - k \cdot t)\} \quad (2)$$

(1), (2) は共に統計上の予測式であり、このうち(2)式はVoigt 体の変形に類似した形をとり、(1)式はLogistic curveを意味し Fig.2 の四段階の変化を良く説明する。図を見ると1日以降の挙動は、実験・理論とも良く合致しており、二式が膨潤現象を説明するのに十分妥当なモデル式である事が分かる。(1)式は(2)式より相関係数が高く、また k と W_i との関係は Fig.5 のようにこの実験の範囲内で次の直線関係にあり、 k は W_i に依存する値であることが分かった。

$$k = -0.1 W_i + 50 \quad (\times 10^4) \quad (3)$$

また膨潤には、試料の締結度即ち締固めエネルギー(E_c)が関係していると思われる。 E_c の影響を考慮し W_i , P_{St} との関係を示したのが Fig.6 である。図中に実験結果を○印で示す。これの E_c を逆算すると0.79となった。これらの関係は、

$$P_{St} = 4.013 E_c (W_i)^{-0.217} \quad (4)$$

で示される。結局膨潤は本実験の範囲で $P_S = f(W_i, E_c, t)$ で表現された。この他、膨潤を支配する因子として(a)含有粘土鉱物の種類と量、(b)間ゲキ水の種類と濃度、(c)土粒子の骨組構造、(d)周圧の大きさなども挙げられる。さて膨潤は Fig.4 かうも上側有限のS字型成長曲線を描くが、この種の現象には正規分布型が多い。そこで正規確率紙上で横軸に P_S をとり縦軸には累積相対度数(F_u)を取ってプロットすると Fig.7 の如くとなる。これより各 W_i における標準偏差(σ)が直ちに読み取れる。又50%分位点(平均値(m))とも一致し、分布が正規形である事が確かめられる。図中に分布函数を示した。

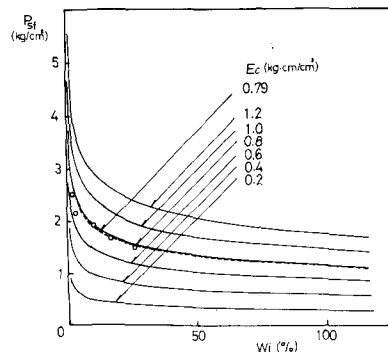


Fig.6 $P_{St} - E_c - W_i$ 関係

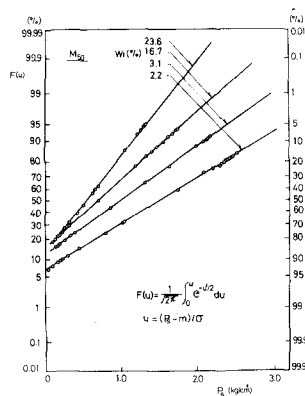


Fig.7 正規分布図

4. 結び

以上、15℃におけるモンモリロナイト50%を含む試料について、膨潤実験を行なった結果を報告した。膨潤はS字型成長曲線であることより P_S の増加は W_i により概ね推測できる事を示し、又その推定式が膨潤現象によく適合することを確認した。この様な膨潤現象を詳細に検討する為、今後さらにデータを積み重ねて違う温度や、 M_{50} 以外のものについても適用可能なモデルを考案し、統計的函数と土岩盤の相関について追究を深めたいと考えている。