

マイクロバブルが粘性土の物理化学的性質に及ぼす影響に関する基礎的検討

佐賀大学理工学部 ○学 野瀬光希 正 日野剛徳 正 三島悠一郎

大分工業高等専門学校 正 姫野季之

1. はじめに マイクロバブル (MB) とは、注入時の直径が 10～数 10 μ m 以下の小さな気泡のことを指し、様々な性質を有している。これらの性質は種々の分野において注目され、地盤工学分野では液状化対策への適用²⁾が検討されている。本報では、MB を注入した精製水および水道水で含水比を調整したカオリンとベントナイトを用い、その物理化学的性質の変化に関する基礎的検討を行った。

2. MB の注入時間に関する検討 図-1 に、水槽内における各装置の配置を示す。不二マイクロバブル社製の MB 注入装置「光マイクロバブル B2」(MB 発生量 1 L/min) を幅 90cm×奥行 45cm×高さ 40cm、容量 150L の水槽に設置した。次に、高杉製薬社製の精製水または水道水 50L で同水槽を満たした後、中央に pH 計および溶存酸素 (DO) 計 (ともに HORIBA 社製) を設置した。しかる後に MB の 48 時間連続注入に伴う精製水または水道水の pH

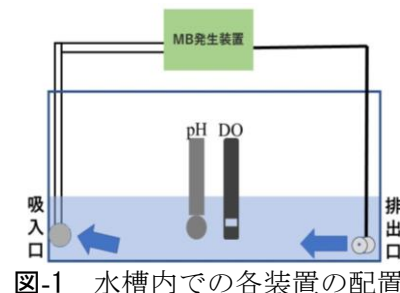


図-1 水槽内での各装置の配置

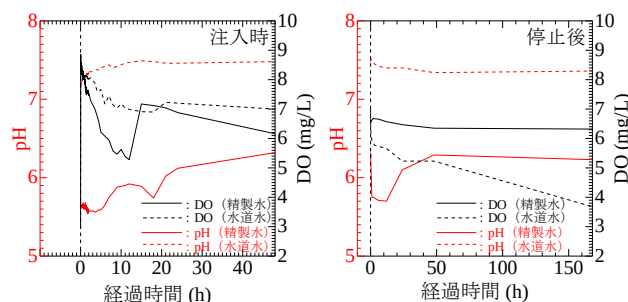


図-2 MB 注入時/停止後における DO と pH の変化

と DO の経時変化を求めた。MB 注入装置の停止後、pH と DO についてさらに 168 時間の連続計測を続けた。図-2 に、精製水または水道水における MB の注入時/停止後における pH と DO の経時変化を示す。DO について、実験前の精製水の DO=5.4mg/L、水道水の DO=4.9mg/L であった。精製水と水道水どちらの場合も MB の注入開始直後にピークに達し (精製水 DO=7.7mg/L、水道水 DO=8.3mg/L)、その後減少に転じて収束した。MB の停止後、精製水では 168 時間で約 0.2mg/L 低下し、水道水では停止直後に 0.7mg/L の低下が認められ、168 時間の静置で 3.7mg/L まで値が低下した。pH について、実験前の精製水の pH=5.7、水道水の pH=7.2 であった。注入時の精製水は顕著な変動を示しながら 6.3 まで上昇し、停止直後も一旦低下の変動を示すが値を回復し、このまま同値を維持する傾向を得た。注入時の水道水の pH は 7.5 で収束し続け、停止後も同値を維持した。

3. 種々の MB 水を用いた供試体の作製と物理化学的性質のモニタリング 粉末状のカオリンまたはベントナイトに対する精製水または水道水による含水比 w の調整に際し、精製水または水道水の MB 注入時間について次のような差を設けた。前章で検討したように、pH の変化の度合いが緩やかになった注入時間または収束した注入時間に基づいて、精製水の場合 0 時間、2.5 時間および 10 時間の注入時間、水道水の場合 0 時間、3 時間および 12 時間の注入時間として、カオリンの含水比 $w=100\%$ 、ベントナイトの $w=400\%$ となるように含水比調整に用いた。カオリンとベントナイトについてはさらに、MB 注入停止後 168 時間静置した精製水または水道水からなる MB 水も用いることによって同様の含水比調整を行った。含水比調整に資する直前の各 MB 水の pH、DO および電気伝導率 E_c を計測し、含水比調整後にペースト化したカオリンとベントナイトに対しても同項目の計測を行った。1 週養生後のカオリンとベントナイトにおける pH、DO および E_c の計測を重ねるとともに、土の液性限界・塑性限界試験を行うことで MB 水の違いがその物理化学的性質に及ぼす影響について検討した。なお、pH と DO の計測についてはペースト状の試料を用いることができた。他方、 E_c の計測に際しては懸濁液状のものが求められるため、上述までと同一の粉末状のカオリンおよびベントナイトを別に分取し、MB 水との間の質量比が 1:5 (カオリンまたはベントナイト : MB 水) の条件で懸濁液としての調整に臨んだ。ベントナイトの場合はなおも一様な懸濁液状に至らなかったため、質量比 1:12 の

ように各 MB 水を加え、計測に供した。

4. 実験結果 各 MB 水のみ対象とした pH と DO の計測結果は前章の検討とほぼ同値であった。

各含水比調整試料における pH の変化を図-3(a), (b)に示す。カオリンの場合、注入時間 0 時間からなる精製水または水道水を起点とし、注入時間の異なる MB 水条件間の差、さらには含水比調整後と注入停止後 1 週養生の違いも加えて比較した際に顕著な差は認められない。同様の視点でベントナイトについて検討すると、

MB 注入の有無の間で MB の注入とともに約 1 の pH の上昇が認められるが、含水比調整後と 1 週養生の間の違いは認められない。次に、 E_c の変化を図-4(a), (b)に示す。 E_c においてはカオリンとベントナイトの間の差が認められ、後者は MB 水の適用ほど間隙水中に溶存物質を溶出する傾向がある。図-5(a), (b)に、塑性図を示す。

同図(a)のカオリンの場合、水道水からなる MB 水ほど高塑性から低塑性の変化をもたらしているが、同図(b)のベントナイトの場合は逆の傾向にあり、水道水からなる MB 水ほど低塑性から高塑性の変化をもたらしている。図-6 に、各試料の活性度を示す。水道水からなる MB 水ほど高活性をもたらすことがうかがえ、ベントナイトの活性度ほどその差が明瞭である。MB 水はマイナス電位を供給する¹⁾。ベントナイトは膨潤性の粘性土であり、MB 水の適用の結果膨潤性が高まることで塑性図上の低塑性から高塑性の変化をもたらし、結晶層間の広がりとともに比表面積が増したことで活性度を高めたメカニズムが推定される^{3),4)}。この理解が正しければ、MB 水は管理型、または遮断型処分場における遮蔽層の機能修復技術の適用などの拡がりをも期待できるようになる。

5. おわりに 本研究において得られた知見を要約すると次のとおりである：

(1) 電気伝導率 E_c の観点から、ベントナイトにマイクロバブル水 (MB 水) を適用すると、間隙水中の溶存物質が卓越することが示唆される；(2) MB 水に基づく含水比調整の結果、カオリンの場合高塑性から低塑性への変化が認められ、ベントナイトの場合低塑性から高塑性への変化が認められた；(3) MB 水の含水比調整によるベントナイトの高活性化は、膨潤挙動に伴う比表面積の増加とこれに基づく保水力の増加に起因すると考えられる。

謝辞：本検討の実施に際し、松村鎌三氏 (元不二マイクロバブル株式会社) にはマイクロバブル (MB) 注入装置の提供および研究費の便宜を図っていただいた。記して感謝の意を表します。

参考文献：1) 大成：マイクロバブルのすべて、日本実業出版社、285p、2006。；2) 永尾ら：土木学会論文集 C (地圏工学)、71 巻、4 号、pp.395-406、2015。；3) 姫野：佐賀低平地における深層混合処理工法の強度発現特性と促進養生法に関する研究、佐賀大学博士論文、p.81、2020。；4) 日野ら：低平地研究、No.25、pp.27-32、2016。

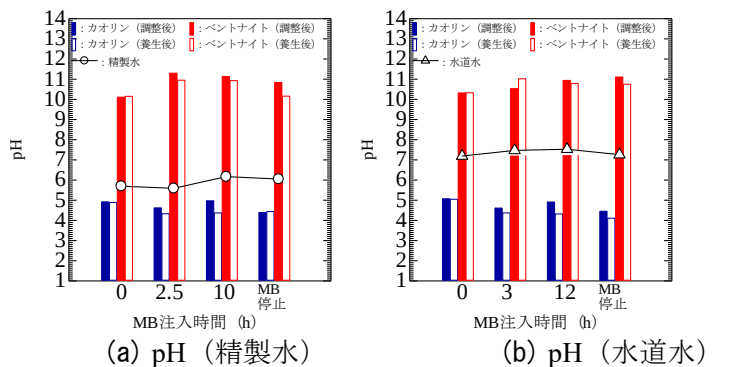


図-3 各 MB 水で含水比調整した試料における pH の変化

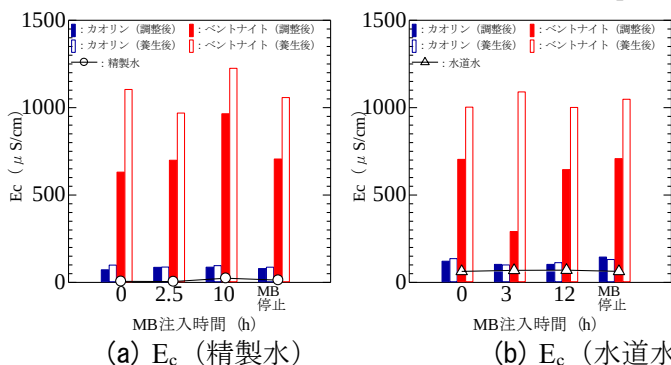


図-4 各 MB 水で含水比調整した試料における E_c の変化

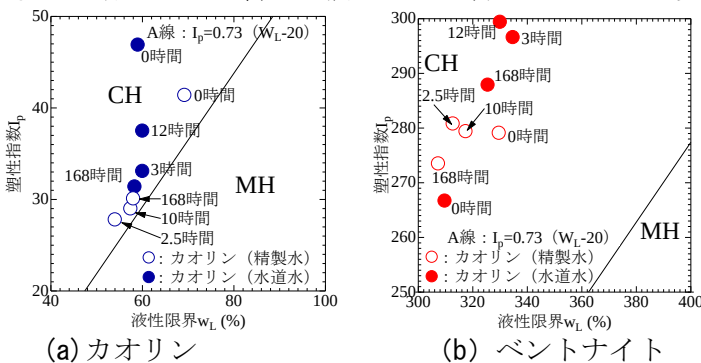


図-5 各試料における塑性図

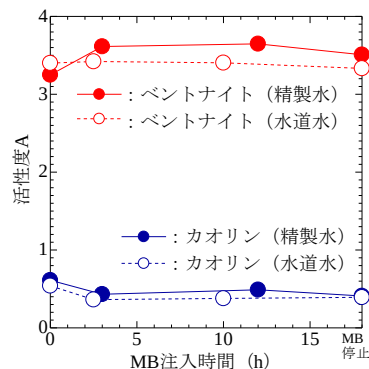


図-6 各試料における活性度