

低塑性材料の力学的特性に及ぼす靱性の影響

福岡大学工学部 学生会員 佐藤 拓朗 堀 哲巳
 福岡大学工学部 正会員 佐藤 研一 藤川 拓朗 古賀 千佳嗣

1.はじめに 一般的に土の力学特性は、粒度特性の影響を強く受けるとされており、特に細粒分含有率 F_c の大小は、対象の土を推定する重要な因子である¹⁾。一方、細粒分を多く含む粘性土は、固有のコンシステンシーを持ち、また塑性指数の大小は、力学特性に大きな影響を与える²⁾。さらに低塑性な地盤材料は、細粒分含有率を多く含んでいるにも関わらず、砂質材料に似た特性を示す³⁾。日本では、大規模な液状化によって発生する噴砂箇所から採取される地盤材料に、低塑性なシルト分を多く含むことが確認されており、塑性指数の高い地盤材料ほど液状化しにくいことも明らかとなっている⁴⁾。そこで本研究では、低塑性な材料に増粘剤を混合し、材料の塑性状態の改善を行い、増粘剤混合による低塑性材料の物理・力学特性に及ぼす影響について検討を行った結果について報告する。



写真-1 炭素材料の外観

2. 実験概要

2-1 実験試料 土質材料には、細粒分含有率 $F_c=100\%$ の低塑性材料である炭素材料($I_p=8.5\%$)を用いた。写真-1 に炭素材料の外観を示す。増粘剤として、カルボキシメチルセルロース(以下、CMC)を使用した。CMC は水溶性の高分子であり、土木分野でも多く用いられている。表-1 に炭素材料の物理特性、図-1 に粒径加積曲線を示す。

2-2 実験条件 表-2 に実験条件を示す。実験に用いた試料は炭素材料を含水比 $w=37, 43\%$ に調整した後、所定の CMC を添加し、フードプロセッサを用いて十分に攪拌混合したものを用いた。ここで、CMC 添加率は 0.5, 1.0, 2.0% とし、土質材料の絶乾質量に対する外割配合としている。

2-3 実験方法 強度変形特性の検討として一軸圧縮試験(JIS A 1216)を行った。供試体は、試料を直径 $\phi=5\text{cm}$ 、高さ $h=10\text{cm}$ のモールド内に、3層 12 回のタンピングを行い作製した。載荷速度は、ひずみ速度 $1\%/min$ とし、軸ひずみが 15% に到達時、もしくは供試体破壊時を実験終了とした。

2-4 靱性の評価指標 本研究では、増粘剤混合による低塑性材料の物理・力学特性に及ぼす影響について、靱性度と靱性ポテンシャルを評価指標として用いている。ここで、靱性とは材料の力学的性質の中で、単に強度だけでは評価出来ない材料の粘り強さの性質を示すものである。表-3 に一軸圧縮試験より得られた応力-ひずみ曲線から靱性を評価する指標を示す。一軸圧縮強さ q_u を破壊点とし、その時のひずみを ε_f とした。また、残留状態はひずみが 10% 時の一軸圧縮応力を残留強度 $q_{(e=10\%)}$ 、残留状態のひずみを $\varepsilon=10\%$ とし、算出している。今回の条件において、 $\varepsilon=10\%$ に達してない場合は、実験終了時のひずみ ε を用いている。そして、評価指標を定義する上で応力、仕事量(力×変位量)の 2 つをパラメーターとした。応力は $q_{(e=10\%)} / q_u$ であり、仕事量は応力-ひずみ曲線で囲まれた部分の面積で示している。ここで、靱性度とは、粘り強さを評価し、靱性ポテンシャルは、破壊後の材料の耐力の評価を行う値である。

表-1 炭素材料の物理特性

実験試料	土粒子密度 $\rho_s (\text{g/cm}^3)$	液性限界 $w_L (\%)$	塑性限界 $w_P (\%)$	塑性指数 I_p
炭素材料	2.234	47.0	38.5	8.5

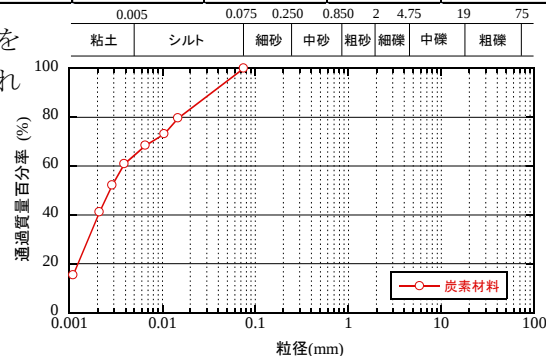


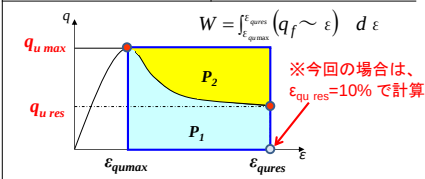
図-1 粒径加積曲線

表-2 実験条件

検討条件	含水比 $w(\%)$	CMC 添加率 (%)
炭素材料	37	0.5
	43	1.0
		2.0

表-3 靱性の評価指標⁵⁾

パラメーター	靱性評価指標	呼称
応力	$q_{ures} / q_{u\max}$	靱性度
応力-ひずみ	$\left[\frac{E_{50}}{E_{50} - \frac{q_u}{\varepsilon_{50}} \times 10} \right]$ に相当	変形係数
仕事量	$\frac{W}{(q_{u\max} \times (\varepsilon_{ures} - \varepsilon_{qu\max}))}$ [$P_2 / (P_1 + P_2)$ に相当]	靱性ポテンシャル



3. 実験結果及び考察 図-2(a), (b) に各含水比における一軸圧縮試験結果を示す。低塑性材料の一軸圧縮せん断挙動及ぼす CMC の影響は、いずれの含水比においても一軸圧縮強度とピーク後のせん断挙動に現れていることが分かる。

また、CMC 添加率 2.0%時に最小の一軸圧縮強度をしていることから、CMC 添加率を増加させても強度増加には繋がらないことが示唆される。図-3 に一軸圧縮強さと CMC 添加率の関係を示す。いずれの含水比条件においても CMC 添加率 1.0%の時に最も大きな一軸圧縮強度を示していることが分かる。また、CMC による増粘効果に伴う強度増加は、初期含水比の影響を受けていることがわかる。これは、 $w=37\%$ が炭素材料の塑性限界とほぼ同じであることにより、水溶性の特性を持つ CMC の増粘効果が十分に発揮できなかったことが考えられる。図-4 に破壊ひずみと CMC 添加率の関係を示す。図-3 と同様に、いずれの含水比においても CMC 添加率 1.0%の時に最も破壊ひずみが増加していることがわかる。また、含水比が高くなると破壊ひずみも大きくなっていることも分かる。このことは、低塑性材料に CMC を添加すると材料の含水比と CMC 添加率によって、材料の強度増加と靱性を改善することができること示唆している。図-5 に供試体密度と CMC 添加率の関係を示す。CMC 添加率の増加に伴い、湿潤密度及び乾燥密度は僅かに低下することがわかる。しかしながら、図-3 より CMC=1.0%時に最も強度増加していることから、低塑性材料の強度・変形挙動は CMC の増粘効果が大きく寄与しており、最適な CMC 添加率が存在することが示唆される。図-6 に靱性度と CMC 添加率の関係を示す。いずれの含水比においても CMC の添加量によって材料の靱性度(粘り強さ)が変化していることが分かる。また、CMC 添加率 2.0%になると、各含水比においても靱性度は低下していることが分かる。さらに靱性度は低塑性材料の含水比と CMC 添加率によって傾向が異なることが明らかとなった。また今回の実験条件下において、最も靱性効果を示したのは、図-3, 4 の結果からも示されたように CMC 添加率 1.0%であることが分かる。また高い含水比の条件において、靱性度の改善がされたのは、含水比が低塑性材料の液性限界($w_L=47\%$)に近く、CMC が増粘効果を発揮する水分が多かったことが要因と考えられる。図-7 に靱性ポテンシャルと CMC 添加率の関係を示す。靱性ポテンシャルは、図-3 に示す一軸圧縮強さと同じ傾向を示し、CMC 添加率と含水比の影響を受けていることが分かる。靱性ポテンシャルが破壊後の耐力を評価しており、 $w=43\%$ 、CMC 添加率 1.0%において、破壊後に粘り強い挙動を示したことが分かる。

4. まとめ 1) CMC を添加することにより、一軸圧縮強度は増減することが明らかになり、今回の実験条件において CMC 添加率 1.0%が最適添加率であることが考えられる。2) 本実験での靱性評価においては CMC 添加率 1.0%の時に最も改善されており、靱性材料に有効であることが明らかになった。3) 含水比の影響に関して、炭素材料の液性限界に近い条件がより靱性材料へ改善できることが示唆される。

【参考文献】1) 山田ら：広範な粒度と塑性を有する土の動的変形特性，土木学会論文集，No.806/III-73，pp155-168，2005，12. 2) 金ら：塑性指数の異なる土の圧縮特性，第 38 回地盤工学研究発表会，pp361-362，2003，7. 3) 伊藤ら：塑性の異なる細粒土と砂の混合土の非排水せん断強度，土木学会論文集 C，Vol.64，No2，pp423-428，2008. 4) 森ら：埋立地の液状化で生じた噴砂の諸特性，液状化の予測と対策・最近の傾向-2-特集，pp17-22，1991. 5) 高山：短繊維添加による気泡混合軽量土の脆性的挙動の改善，人工地盤材料の利用技術に関するシンポジウム論文集，pp55-58，2005.

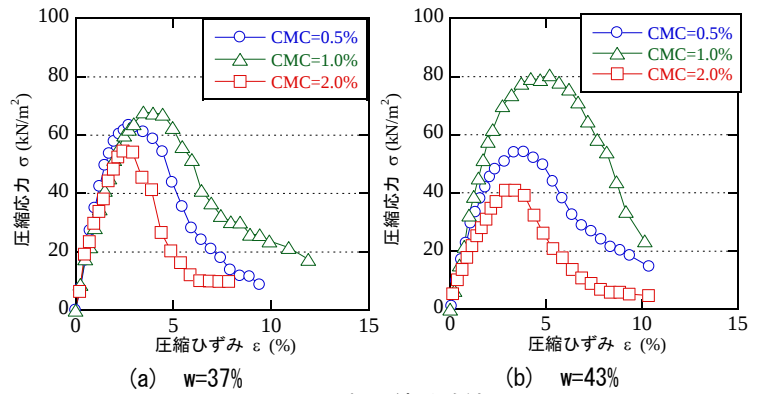


図-2 一軸圧縮試験結果

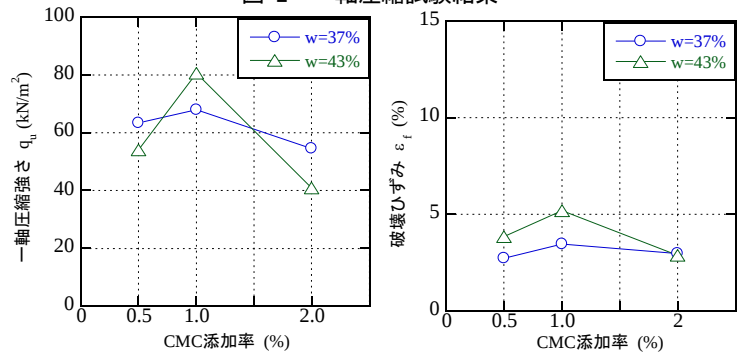


図-3 一軸圧縮強さと CMC 添加率の関係

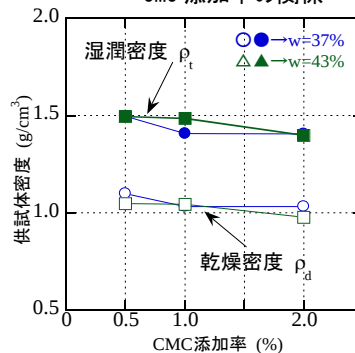


図-4 破壊ひずみと CMC 添加率の関係

図-5 供試体密度と CMC 添加率の関係

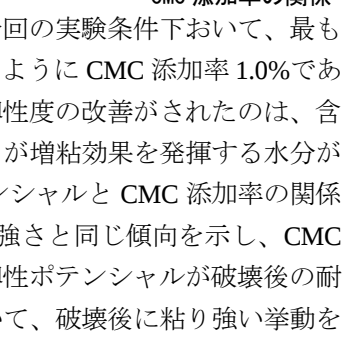


図-6 靱性度と CMC 添加率の関係

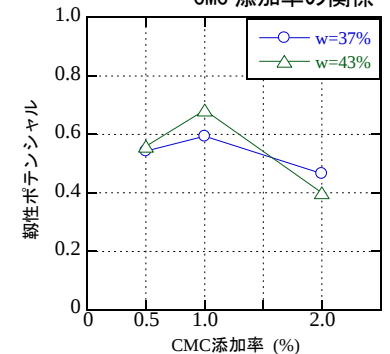


図-7 靱性ポテンシャルと CMC 添加率の関係