

コーン指数の変化に及ぼす諸要因の影響

茨城大学 学生会員 ○堀江 拓実 茨城大学大学院/東京大学 正会員 榎本 忠夫
 東京大学 正会員 永谷 圭司

1. 目的

近年、様々な自然災害が日本各地で頻発している。その中で、豪雨による土砂災害が激甚化している。土砂災害が発生した場合、迅速な復旧活動が必要であるが、2次災害の危険から人の立ち入りが困難な災害現場も存在する。そのような災害現場では、遠隔操作型の建設機械を使用した無人化施工が期待されている¹⁾。しかし、土砂災害発生直後の災害現場では、建設機械が走行不可能な軟弱地盤も多く存在する。そのような軟弱地盤を建設機械が走行した場合、建設機械がスタックまたは転倒する可能性がある。建設機械がスタックまたは転倒すると復旧活動の妨げになり、作業が停滞する¹⁾。災害事例の一つとして令和3年熱海市伊豆山土石流災害では、土砂搬出を行っていた重機が川に転落して作業員が死亡する事故が起こった²⁾。

従来の建設機械の走行可否はコーン指数によって判定され、建設機械ごとに走行可能なコーン指数が定められている。コーン指数の算出はコーン貫入試験によって行われ、コーンペネトロメータを地盤に挿入して、その際に発生する土の抵抗力が強いほどコーン指数が高くなる。しかし、2次災害の危険性がある災害現場において、人力でコーンペネトロメータにより地盤のコーン指数を算出し、走破性を判定することは大変危険であり、地盤の状態や土の強度の把握が難しい場合もある。したがって、遠隔操作型の建設機械が自らコーン指数を測定し走破性を判定することが望まれる。その第一歩として、本研究では、細粒分含有率、含水比、乾燥密度の変化がコーン指数に及ぼす影響を検討した。また、同一状態の供試体に対して、自動貫入装置によるコーン貫入試験、ポータブルコーン貫入試験、簡易動的コーン貫入試験の3つの試験を行うことによって、試験法の違いによるコーン指数の相違を検討した。但し、紙面の関係上、本論文では自動貫入装置によるコーン貫入試験の結果のみを示す。

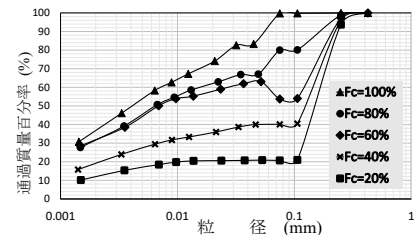
2. 実験概要

実験には、豊浦砂と笠岡粘土を混合して、細粒分含有率を0%、20%、40%、60%、80%、100%（以下Fc=0%、20%、40%、60%、80%、100%と示す）と変化させた試料を用いた。各試料の土粒子密度を表—1に、粒径加積曲線を図—1に示した。

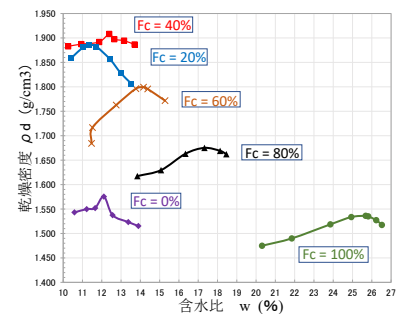
供試体作製には、内径10cmの締め固め試験用モールドを使用した。締め固め試験から得た結果（図—2）より、各試料の最大乾燥密度 ρ_{dmax} が大き異なることから、締め固め度 D_c （=乾燥密度 $(\rho_d / \rho_{dmax}) \times 100$ ）を密度指標として用いた。本研究では $D_c = 75\%$ 、 80% 、 85% とし、含水比は最適含水比の0.5倍、0.75倍、1.0倍、1.2倍、1.4倍の5種類にて供試体を作製した。各含水比に合わせた試料を3層に分けて投入し、直径10cmのランマーを取り付けた載荷装置によって静的に締め固めた。自動貫入装置によるコーン貫入試験では、載荷ロッドの先端にコーンを取り付けて、供試体上端中央部にコーンを1cm/sの速度で自動貫入装置によって貫入させ、コーン先端の貫入量が5cm、7.5cm及び10cmの時の貫入抵抗力 Q_{rd} を読み取った。コーン指数 q_c は、上記3点の Q_{rd} の平均値 Q_C (N) を $q_c = Q_C / A \times 10$ （ここでAはコーン先端の底面積で、底面積3.24cm²のものを使用した）により求めた³⁾。ロッドを鉛直に保ち貫入速度を一定とするには、自動貫入装置の方が手動で行うコーン貫入試験より容易である。

表—1 各試料の土粒子密度

試料	土粒子密度 ρ_s (Mg/m ³)
Fc=0%	2.651
Fc=20%	2.638
Fc=40%	2.638
Fc=60%	2.612
Fc=80%	2.609
Fc=100%	2.582



図—1 各試料の締め固め曲線



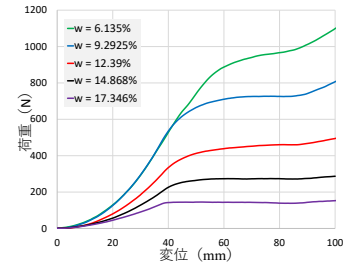
図—2 各試料の締め固め曲線

キーワード コーン指数, 含水比, 乾燥密度, 細粒分含有率

連絡先 〒316-8511 茨城県日立市中成沢町4-12-1 国立大学法人茨城大学 TEL : 0294-38-5004 E-mail : 17T5053g@vc.ibaraki.ac.jp

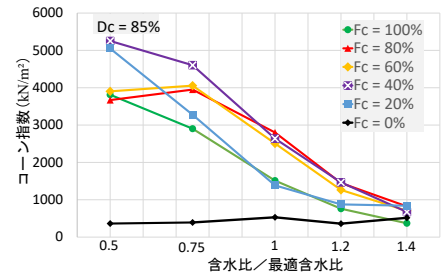
3. 実験結果・まとめ

図—3に自動貫入装置によるコーン貫入試験における $D_c = 80\%$ 、 $F_c = 40\%$ での荷重と変位の関係を示す。最適含水比の0.5倍の含水比で荷重が最も増加することが確認できた。含水比が上昇する毎に荷重が低下することが確認できた。貫入すると同時に、急激に貫入抵抗が増加していき、変位が約50mmの時に、荷重の上昇がなだらかになることが確認できた。



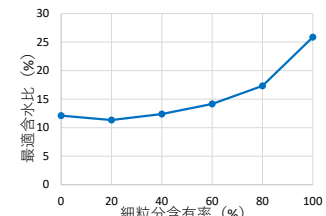
図—3 荷重と変位の関係 ($D_c = 80\%$, $F_c = 40\%$)

図—4に自動貫入装置によるコーン貫入試験におけるコーン指数と含水比の関係を示す。 $F_c = 0\%$ から $F_c = 40\%$ に細粒分が増加するにつれて各含水比でコーン指数が大きくなることが確認されたが、 $F_c = 60\%$ から $F_c = 100\%$ に増加する過程においては、コーン指数が低下する傾向が見られた。 $F_c = 0\%$ において、 $D_c = 85\%$ の時は最適含水比に達するまでコーン指数は高くなる傾向が見られた。笠岡粘土が混合しているケースでは概ね含水比が低いほどコーン指数は高くなる傾向が見られた。ただし、 $F_c = 60\%$ 、 $F_c = 80\%$ では最適含水比の0.75倍の含水比の時に最もコーン指数が高くなる傾向が見られた。



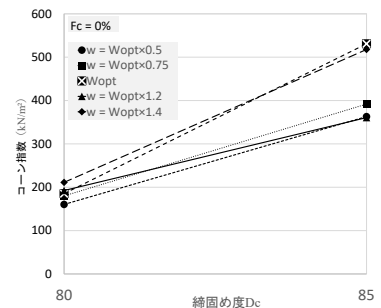
図—4 コーン指数と含水比の関係 ($D_c = 85\%$)

図—5に細粒分含有率と最適含水比の関係を示す。 $F_c = 0\%$ から $F_c = 20\%$ では最適含水比が0.77%の低下が確認されたが、細粒分が増加していく毎に最適含水比も上昇していることが確認された。



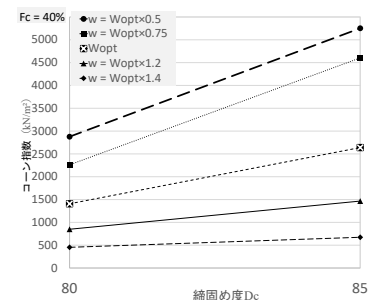
図—5 細粒分含有率と含水比の関係

図—6に $F_c = 0\%$ のコーン指数と締固め度の関係を示す。 $D_c = 80\%$ では、最適含水比の1.4倍の含水比でコーン指数が最も高い値を示したが、 $D_c = 85\%$ では最適含水比でコーン指数が最も高い値を示した。また、最適含水比の0.5倍の含水比では、いずれの締固め度でコーン指数は最も低い値を示した。



図—6 コーン指数と締固め度の関係 ($F_c = 0\%$)

図—7に、 $F_c = 40\%$ の時の各含水比のコーン指数と締固め度の関係を示す。含水比が低いほど傾きが大きく、締固め度が上昇することでコーン指数の値が大きくなる傾向が見られた。図—6, 7を比較すると細粒分が40%加わることで、コーン指数が大きく増加していることが確認できた。 $F_c = 0\%$ では最適含水比の0.5倍の含水比でコーン指数が最も低い値を示したのに対して、 $F_c = 40\%$ では最適含水比の0.5倍の含水比でコーン指数は最も高い値を示した。 $F_c = 0\%$ の含水比を変化させた時の $D_c = 80\%$ でのコーン指数の変化に対して $F_c = 40\%$ でのコーン指数の変化が大きいことが確認された。また、 $D_c = 85\%$ でも同様の傾向が確認された。以上の結果から、細粒分含有率、含水比、乾燥密度の変化により、コーン指数に影響があることが確認された。



図—7 コーン指数と締固め度の関係 ($F_c = 40\%$)

謝辞 本研究は、JST【ムーンショット型研究開発事業】グラント番号【JPMJMS2032】の支援を受けたものです。ここに感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 筑紫 彰太・山内 統広・田村 雄介・山川 博司・永谷 圭司・藤井 浩光・千葉 拓史・山本 新吾・茶山 和博・山下 淳・浅間 一：スペクトル画像を用いた土質パラメータの推定に基づく建設機械の走破性判定，精密工学誌，p.1~2，86巻，12号，2020。
- 2) 朝日新聞社デジタル：土砂搬出中の重機転落、作業員が死亡 静岡・熱海の土石流災害の現場<<https://www.asahi.com/articles/ASP9T7596P9TUTPB005.html>> (2023年1月9日閲覧)
- 3) (一財)日本建築総合試験所 試験研究センター 構造部 土質基礎試験室：「締固めた土のコーン指数試験」入手先<https://www.gbrc.or.jp/assets/test_series/documents/so_13.pdf>