

杭の貫入がカーボネイト砂の粒子破碎に及ぼす影響

徳山工業高等専門学校 正員○桑嶋啓治 藤原東雄 上 俊二
山口大学 正員 兵動正幸 中田幸男

1. まえがき

これまでに著者らは、カーボネイト砂中の杭の先端支持力について様々な実験を行い、その中の一つとして、杭貫入による砂の粒子破碎を、Marsal の粒子破碎評価方法を用いて示した等粒子破碎線¹⁾や、写真撮影による砂の変形挙動²⁾を示した。本報では、カーボネイト砂であるチイビシ砂を用いて、三軸せん断試験と模型杭載荷実験を行い試験前と試験後の粒径加積曲線を示し、杭直下の応力状態の検証を実験的に試みたので報告する。

2. 試料及び実験概要

(1) 試料 本実験で用いた試料は、沖縄で採取されたチイビシ砂 ($G_s=2.83$, $e_{max}=1.574$, $e_{min}=0.983$) であり、炭酸カルシウム成分 $CaCO_3$ を 90%以上含んだカーボネイト砂と、比較のために用いたシリカ系の秋穂砂 ($G_s=2.63$, $e_{max}=0.96$, $e_{min}=0.58$) である。

(2) 実験概要 (a) 三軸圧縮せん断試験 実験は、側圧一定圧密排水せん断試験で行った。供試体の飽和は、炭酸ガスの通気、脱気水の通水、及び 200kPa の背圧を負荷することで行い、実験は B 値が 0.95 以上になったものに対して行い、側圧の増圧は、各段階 50kPa 程度とし、段階的にビューレットの値が落ち着くまで行なった。せん断中は、軸荷重、軸変位、体積変位を測定し、軸ひずみが 15%、または、最大軸差応力が生じた時点でせん断を終了させた。これらの試験を、相対密度 90%に調節した供試体を用いて側圧 100~500kPa の範囲で行った。

(b) 模型杭載荷実験 本実験で用いた模型杭は、直径 30mm、先端角 180°の平坦杭であり、実験に用いた模型杭載荷実験装置の詳細は、参考文献³⁾に詳しい。供試体の相対密度は 90%とし、上載圧 σ_v 、側圧 σ_h を 400kPa、主応力比 $K=\sigma_h/\sigma_v=1.0$ に調節して模型杭載荷実験を行った。

(c) ふるい分け試験 せん断による粒子破碎を評価するために、せん断終了後の試料を採取し、24 時間炉乾燥し、5 個のふるい(0.84、0.42、0.25、0.105、0.074mm)を用いて、電動ふるい分け試験機で 30 分間振とうさせることにより、ふるい分け試験を行った。

(d) 粒子破碎評価方法 粒子破碎の評価方法として、本研究では、粒径加積曲線の破碎前後の粒度分布の変化に着目し、粒子の破碎性を残留率の差により評価する Marsal の評価方法を用いた。Marsal の評価方法は、各ふるい径間における試験後の加積通過率と試験前のそれとの差を求め、負符号の総和として示される。 B_M の値が大きいほど粒子破碎が大きいことを意味する。

3. 実験結果および考察

(a) 三軸試験 図-1 はせん断過程における軸差応力 q 、体積ひずみ ε_v 、軸ひずみ ε_1 の関係を示したものである。拘束圧が大きいほど軸差応力 q は、初期の勾配が急であり、ピークを過ぎると緩やかに下降していることがこの図より読みとれる。この間体積ひずみ ε_v は初期段階で収縮を示すが、ピークを過ぎると膨張する。収縮の割合は、拘束圧によって異なり、拘束圧が大きいと収縮挙動を示すことが読みとれる。このような現象は、破碎された砂が砂の空隙には入り込むことによって生じ、粒子破碎に起因するものであることが推察される。

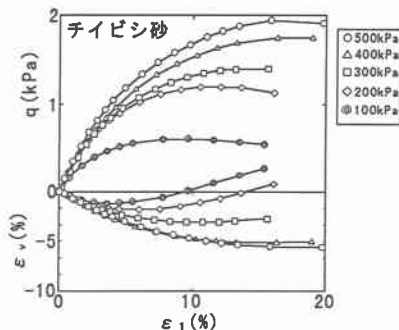


図-1 $q \sim \varepsilon_v \sim \varepsilon_1$ 関係

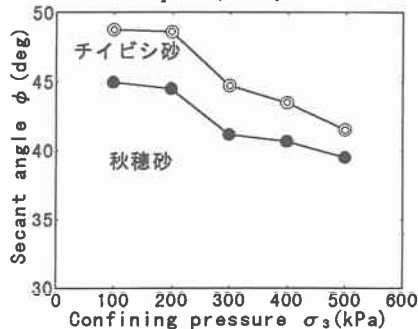


図-2 セカントアングルと拘束圧の関係

図-2 はモール・クーロンの破壊基準より用いて求めた内部摩擦角 Secant angle ϕ と拘束圧 σ_3 の関係を示したものである。図より、内部摩擦角の大きさは、いずれの拘束圧においても秋穂砂よりもチイビシ砂の方が大きいこと、両試料とも拘束圧 σ_3 の増加に伴って内部摩擦角 ϕ が減少していることが読みとれる。また、拘束圧 100kPa と 500kPa の時の内部摩擦角の差を比較すると、チイビシ砂では7度前後、秋穂砂では5度前後と、チイビシ砂の方が大きく減少していることが認められる。

図-3 に、拘束圧 500kPa の条件で三軸せん断試験前と後のチイビシ砂の粒径加積曲線を示す。この図より、三軸せん断試験を行った後の粒径加積曲線は、三軸せん断試験前のそれに比べて、全体的に細粒側に移行し、粒子破碎が生じていることが認められる。

図-4 は、試験前後の粒径加積曲線の差を示している。この粒径加積曲線の加積通過率差には、最大値が明確に現れることが読みとれる。この最大値を粒子破碎率 B_M として、拘束圧 100kPa～500kPa のときも同様な整理を行って最大値を読みとり、粒子破碎率 B_M と拘束圧の関係を示すと図-5 のようになる。この図より、拘束圧の増加に伴い B_M の値も増加していること、その値は秋穂砂よりチイビシ砂の方が粒子破碎量が多い事が読みとれる。

(b) 杭貫入によるカーボネイト砂の粒子破碎

図-6 は、拘束圧 400kPa における模型杭載荷実験より得られた杭貫入によるチイビシ砂の粒子破碎の様子を示しており、詳しくは参考文献¹⁾に示している。概略を説明すると、直径 3cm の模型杭を用いて、杭を 3cm 貫入させており、図中の B_M の値は、Marasal の評価方法を用いた粒子破碎率であり、破線は、杭貫入による砂地盤の移動の様子を示している。図より、粒子破碎率は、杭先端付近がもっとも大きく、破碎が卓越しており、その杭底面を中心として円弧状に減少しながら広がっていることがわかる。この粒子破碎率 B_M の等しい等粒子破碎線に、本実験の拘束圧 400kPa の三軸せん断試験より得られた $B_M=7\%$ の線を太線で示している。この図より、杭先端付近では、三軸せん断試験における最大軸差応力の点より、さらに大きな粒子破碎が生じていることが認められる。

4. まとめ

杭貫入による等粒子破碎線上に、三軸せん断による粒子破碎の大きさを示した。その結果、杭直下ではかなり大きな粒子破碎が生じていることが明らかとなった。今後は、さらに三軸試験の拘束圧を大きくし、せん断試験を行い杭直下の応力状態を実験的に求めていこうと考えている。

参考文献 1) 桑嶋、兵動他：杭の先端形状の違いがカーボネイト砂中の粒子破碎に及ぼす影響、第 48 回土木学会中国支部研究発表会概要集 pp.409～410、1996。2) 桑嶋、兵動他：カーボネイト砂中の杭の先端支持力と周辺地盤の変形挙動、第 31 回地盤工学研究発表会講演集 pp.1675～1676、1996。3) 安福他：周面摩擦を独立に測定可能な模型杭実験装置の試作とその適用、第 28 回土質工学研究発表会講演集、pp.1669～1670、1993

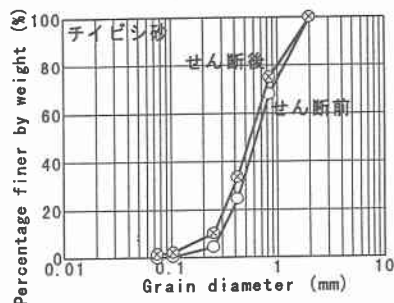


図-3. 粒径加積曲線 (チイビシ砂)

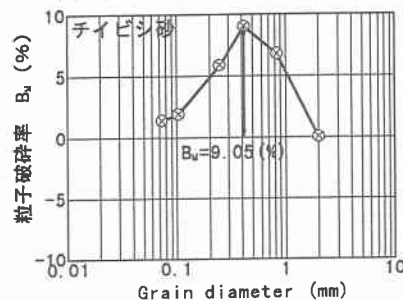


図-4. 加積通過率差 (チイビシ砂)

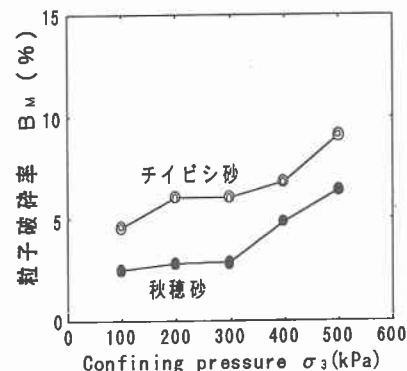


図-5. 拘束圧—粒子破碎率の関係

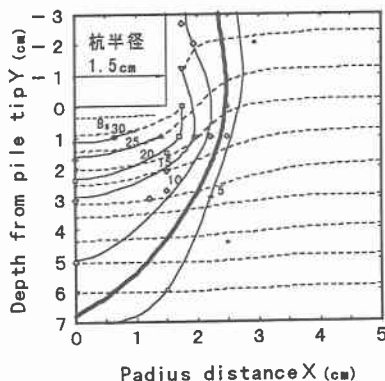


図-6. 等粒子破碎線