

セメント固結砂の固結構造の変化が力学特性に与える影響

山口大学大学院 学生会員 ○香月大輔 多久和学
山口大学工学部 正会員 中田幸男 兵動正幸 村田秀一

1. まえがき

既往の土質力学および地盤工学において、固結土の力学的特性の解明は遅れていたため、その研究が近年盛んに行われてきた。固結土を対象とした研究において、いくつかの構成モデルも提案されるようになった。しかし、これらの中で、固結力の損傷を考慮したモデルは少ない。供試体が比較的大きな拘束圧を受ける条件下では、固結土の固結効果は減少することが報告されている。このことから、固結効果の減少を考慮したモデルを提案することができれば、深層の地盤改良の改良体や風化などを受けて固結力を減じていく固結地盤材料の力学特性を反映した、より効率的な設計を支援することが可能となる。本報告では、観察結果¹⁾からのセメント固結砂供試体の内部構造の定量的評価および割裂試験を行い、微視的な固結構造の評価と巨視的な視点での挙動の関連性を検討した結果について報告する。

2. 試料および実験概要

実験に用いた試料は三河珪砂であり、文献¹⁾で使用したものと同一である。その物性値を表-1に示す。なお供試体作成方法も、文献¹⁾に掲載されたものと同様である。実験は、円盤形状の供試体の直径方向に圧縮荷重を載荷させて供試体を割裂破壊させる割裂試験を圧縮荷重と載荷軸方向変位を計測して行った。なお、載荷は0.05～0.09mm/minの速度で行った。

表-1. 試料の物性値

粒径 mm	G _s	e _{max}	e _{min}	D ₅₀ mm	U _c
0.25～2.0	2.655	0.936	0.588	0.737	2.197

3. 固結構造のモデル化

まず、固結土の内部構造に対する観察結果¹⁾から、固結構造の定量的評価について検討を行った。観察より、固結構造の発達には主に粒子接点付近において認められることに基づいて、固結構造のモデル化を行った。ここでは、添加した固化材の全量は粒子間の接点に付着することおよび粒子間の固結構造は接点を均等に取り巻くように発達することと考えた。また、この固結構造の破壊は、観察結果から粒子と固化体の接着面において生じるものとした。これらに加え簡単のために、粒子形状は球形とし、粒子の指数性質を平均粒径の粒子によって代表させることが可能であるとした。以上の仮定を踏まえ、図-1に2つの球形粒子を用いた一接点における固結構造のモデル図を示す。ここで幾何学的に、一接点あたりの固化体の体積は以下の式(1)で与えられる。

$$V_{t-n} = 2\pi r^3 \left\{ \sin^2 \theta (1 - \cos \theta) + \frac{3}{4} \cos \theta - \frac{1}{12} \cos 3\theta - \frac{2}{3} \right\} \quad (1)$$

ここに、 V_{t-n} ：一接点に付着する固化体の体積、 r ：粒子の半径、 θ ：固化体の端部と両粒子の中心を結んだ線がなす角である。一方、砂粒子の接点数に関して、Field²⁾とOda³⁾が単一粒径からなる供試体中の1粒子あたりの平均接点数を以下の式(2)で与えている。

$$C_a = 12 / (1 + e) \quad (2)$$

ここに、 C_a ：1粒子あたりの平均接点数、 e ：間隙比である。また、単位体積あたりの粒子数は理想的に以下の式(3)で与えられる。

$$N_v = V_s / V_{sp} \quad (3)$$

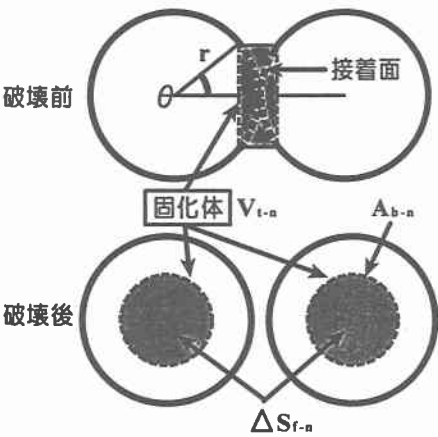


図-1. 固結構造のモデル化

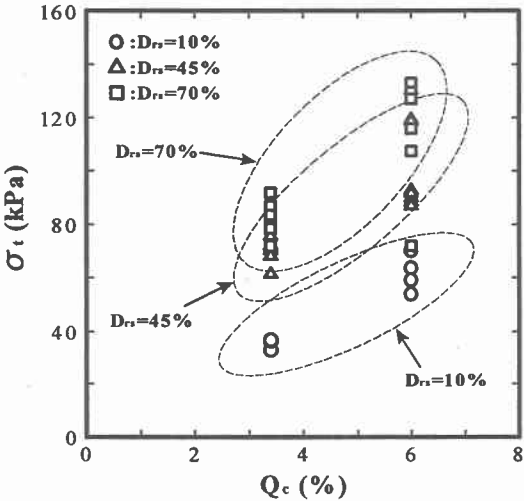


図-2. 割裂強度 σ_t -セメント添加率 Q_c

ここに、 N_v ：単位体積あたりの粒子数、 V_s ：粒子の比体積、 V_{sp} ：1粒子あたりの体積である。ここで、固化材の添加量は既知であることなどから、一接点あたりの固化材の質量が算出でき、その体積を固化材の密度を 2.35g/cm^3 と仮定して算出した。そして、式(1)中の角度 θ を求めると、破壊断面での一接点における固化体の付着面積 A_{b-n} は固化材が付着する部分の粒子の表面積で与えられる。

$$A_{b-n} = 2\pi r^2(1 - \cos\theta) \quad (4)$$

4. 試験結果

次に割裂試験結果について示す。図-2は、割裂強度とセメント添加率の関係を示したものである。なお割裂強度は、ピーク時の圧縮加重 F を用いて次式(5)で算出した。

$$\sigma_t = \frac{2F}{\pi DL} \quad (5)$$

ここに、 σ_t ：割裂強度、 F ：ピーク時の圧縮荷重、 D ：供試体の直径、 L ：供試体の長さである。ここでは、セメント添加率の増加にともなった割裂強度の増加が確認できる。また、図-3に割裂強度と砂の相対密度の関係を示している。砂の密度増加によっても割裂強度は増加していることがわかる。また、これらセメント添加率および密度の変化によって、供試体内部では固結構造の変化が引き起こされていることが確認された¹⁾。このことから、固結構造の変化を付着面積 A_b で定量的に評価した。付着面積 A_b は、1接点あたりの固化体の付着面積 A_{b-n} を用いて破壊断面上の接点数に応じて求めた値である。図-4は割裂強度と破壊断面での付着面積の関係を示したものである。この値の増加に伴って割裂強度が増加しており、両者の間にはほぼ一義的な関係が認められる。一方、供試体の破壊断面における表面積増分 ΔS_f を考えると、これは破壊した接着面積の接着面積 A_b の2倍として与えられる。ここで図-5に、破壊時の供試体になされた仕事量 W と破壊時断面における表面積増分 ΔS_f の関係を示した。図より、両者の間には一義的な関係が認められ、破壊時の表面積増分 ΔS_f が増加するに伴い仕事量が増加していることがわかる。

5. 結論

今回、セメント固結砂の微視的な観察結果に基づいて一接点における固結構造をモデル化し、定量的評価を行った。その結果、割裂強度は供試体の破壊断面での接点数から算出した接着面積 A_b との間に一義的な関係が認められた。一方破壊に関して、破壊時に現れる表面積増分 ΔS_f と破壊時の仕事量の間にも一義的な関係が得られた。

参考文献

- 1) 多久和学, 中田幸男 (2001): セメント固結砂の微視的構造に及ぼすセメント添加率及び密度の影響, 第36回地盤工学研究発表会, (投稿中)
- 2) Field, W. G. (1963): "Towards the statistics definition of a granular material," Proc. 4th A. and N.Z. Conf. on Soil mech., pp.143-148.
- 3) Oda, M. and Konishi, J. (1974): "Microscopic deformation mechanism of granular material in simple shear," Soils and Foundations, Vol. 14, No. 4, pp.25-38.

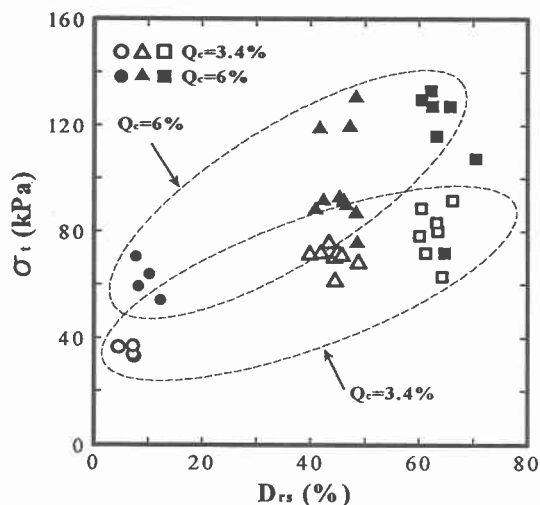


図-3. 割裂強度 σ_t —砂の相対密度 D_r 関係

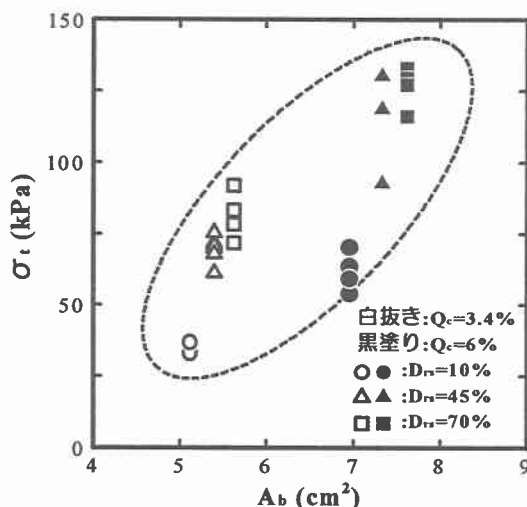


図-4. 割裂強度 σ_t —付着面積 A_b 関係

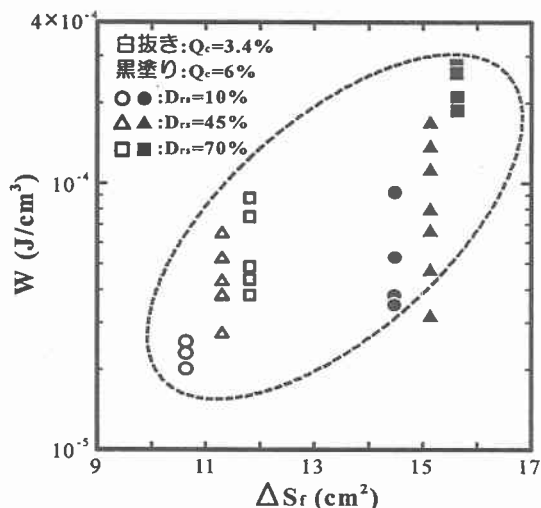


図-5. 仕事量 W —破壊時表面積増分 ΔS_f 関係