

風化度の異なるフィルダム粗粒材料の設計せん断強度

飛島建設 正会員○大野 孝二 飛島建設 正会員 沼田 淳紀
東洋スタビ 小西 雄介 飛島建設 正会員 杉山 裕子
大阪工業大学 正会員 長谷川 昌弘

1. はじめに

フィルダムのロック材には、一般に堅硬で新鮮な粗粒材料を用いることが望ましく、風化度の進んだ粗粒材料は廃棄される場合が多い。しかしながら、原石山の地質状況によっては必ずしも堅硬な材質の良いものばかりが採取できるとは限らず、建設費の縮減および自然環境の保護を考慮すると、風化度の進んだ材料の有効利用が望まれる。そこで、風化度の異なる粗粒材料¹⁾のせん断強度特性を把握するため、三軸圧縮試験を実施し、1)c-φ法で求めた内部摩擦角φ_dには拘束圧依存性が認められる、2) c-φ法で見掛けの粘着力c_dを無視するとせん断強度をかなり過小評価する場合がある、3)風化の程度が高く c-φ法で求めたφ_dが小さなものでもせん断強度が大きなものがあり風化の程度が進んだ材料も盛立材料として利用できる可能性があることが明らかになった²⁾。

ここでは、同じ三軸試験結果を用いて、設計用せん断強度の設定方法により、どの程度せん断強度が異なるのかを示すとともに、今まで廃棄されていたような材料も適正に評価すればせん断強度に関してはロック材として有効利用できることを示す。

2. 粗粒材料の物理的性質

検討には、風化度の異なる3種類の粗粒材料を用いた。これらの諸特性を表-1¹⁾に示す。用いた粗粒材料は、いずれも黒雲母花崗岩で、CH材、CM_H材、CM_L材の順に風化の程度が高くなる。

表-1 粗粒材料の諸性質¹⁾

	CH材	CM _H 材	CM _L 材
風化度	低		高
合成絶乾比重	2.573	2.541	2.524
合成吸水率(%)	1.9	2.1	2.6
変質鉱物含有率(%)	11.9	22.7	20.4
粘土鉱物含有率(%)	9.5	7.2	18.2

※ 鉱物分析は63.5mmの粒径の岩塊の結果

3. 内部摩擦角

図-1に、三軸圧縮試験結果²⁾より得られた間隙比とφ₀³⁾の関係を各拘束圧ごとに示す。図中には5拘束圧の三軸試験結果からc-φ法により求めたφ_dも併記した。

表-2 せん断強度の設定方法

	せん断強度 τ _f	備考
a法	$\tau_f = c_d + \sigma_n \cdot \tan \phi_d$	c-φ法
b法	$\tau_f = \sigma_n \cdot \tan \phi_d$	c-φ法で、c _d は考慮せず
c法	$\tau_f = \sigma_n \cdot \tan \phi_{dsc}$	上載圧以下のモール円を対象にb法によりφ _d を求め、φ _{dsc} とする。
d法	$\tau_f = A \cdot \sigma_n^b$	フィルダムの耐震設計指針(案)

いずれの材料もφ₀は、密なほど、また、拘束圧が小さいほど大きくなるのがわかる。加えて、拘束圧の変化にともなうφ₀の変化の割合は、密なほど大きく、特に風化度の高いCM_L材ではφ₀の拘束圧依存性が顕著であるといえる。一方、φ_dは、CH、CM_H材では密になると若干大きくなるもののその程度はφ₀に比べて僅かであり、CM_L材では密になるとφ_dは小さくなる傾向も認められる。さらに、φ_dは、いずれの材料もφ₀が最も小さくなる拘束圧588kPaでの値より小さくなっている。以上より、φ₀は密なもののほど大きくなるが、風化度に関しては、風化度が高いものが小さな値を示すとは限らず、密なCM_L材のように、風化度の低い材料よりも大きな値となる場合があることがわかった。

4. せん断強度の設定方法

前述のように、φ₀には拘束圧依存性があることが明らかであることから、せん断強度τ_fの設定方法として表-2に示す方法考えた。a法は、一般に用いられるc-φ法より求めたものである。b法は、a法の見掛けの粘着力c_dを無視したもので、一般にフィルダムの設計に用いられている。c法は、内部摩擦角の拘束圧依存性を考慮するために、対象とする層ごとに、その層

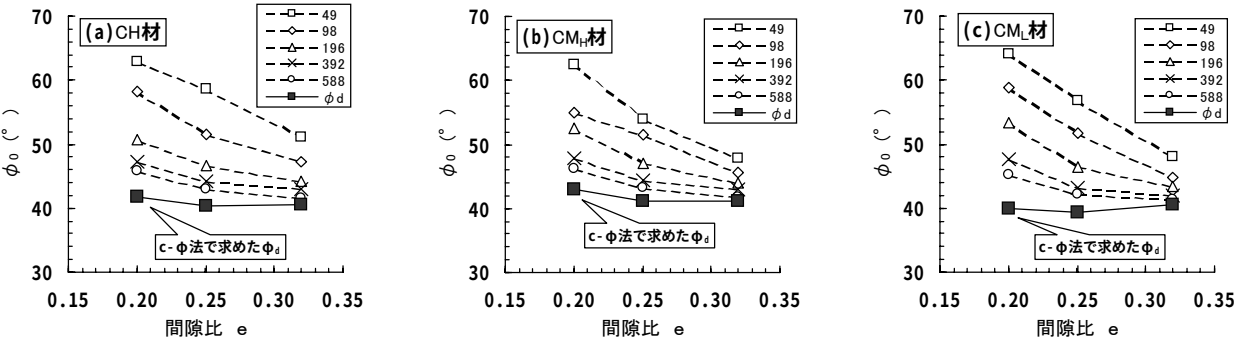


図-1 間隙比eとφ₀の関係

の上載圧以下に対応したモール円を用いてb法と同様に ϕ_d を求め、それを ϕ_{d0c} とした。d法は、フィルダムの耐震設計指針(案)⁴⁾による方法である。

図-2に、垂直応力 σ_n とせん断強度 τ_f の関係の一例として、d法で求めたCM_L材の関係を間隙比ごとに示す。図より、各間隙比における σ_n と τ_f の関係は、両対数紙上で直線に近似可能なことがわかる。

図-3に、この直線の切片と勾配より求めた $\tau=A\sigma^b$ の係数Aとbの関係を示す。図中には、風化度および間隙比の異なるものがあるが、A、bの関係はほぼ直線的で、bが大きくなるとAが低下する傾向がある。この関係は、密なものほどAの値は大きく、bは小さくなり、間隙比が大きなものはA、bとも1に近づく傾向にある。風化度の違いでは、風化度が最も高いCM_L材がA、bの変化量が最も顕著である。これより、d法では、密になるほどせん断強度が増加し、 ϕ_0 の拘束圧依存性が高くなる傾向や、風化度が高くて密にするとせん断強度が大きくなる傾向をかなり合理的に表していることがわかる。

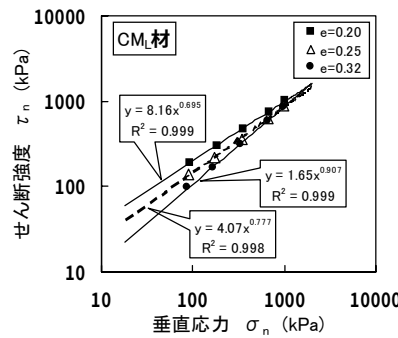


図-2 σ_n と τ_f の関係

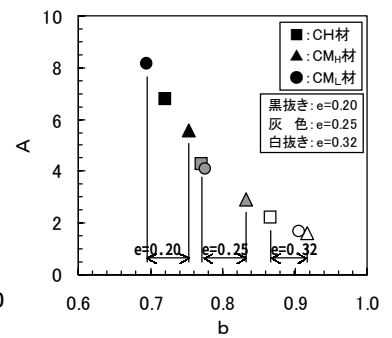


図-3 係数A,bの関係

5. せん断強度比と垂直応力の関係

a～d法を用いて求めた垂直応力 σ_n とせん断強度 τ_f の関係を比較するために、各方法で求めたせん断強度 τ_{fi} とb法で求めたせん断強度 τ_{fb} の比Rを求めた。図-4に、求められたRと垂直応力の関係を示す。ここでは、最もRの差が顕著であった密な場合を一例として示した。

b法以外のいずれの方法も、垂直応力の小さい範囲では、b法に比べかなりせん断強度を見込めることがわかる。一般に用いられているb法では、CM_L材のように風化度が高く、せん断強度が小さいと考えられていた材料も、他の方法では、密にすることによるせん断強度の増加を見込むことができる。Rの大きさは、a法が最も大きいものの、粗粒材料には、粘着力成分がないことが明らかなので、垂直応力の小さい範囲ではせん断強度を過大評価していると考えられる。c法は、最も小さな垂直応力において、一つのモール円より ϕ_0 を求めているのでd法と一致し、大きな垂直応力ではb法と同じになる。この場合、b法に比べてせん断強度を大きく見込めるが、d法に比較するとかなり過小評価していることがわかる。d法では、全体的にRが大きく、垂直応力の小さな範囲では相当にせん断強度を大きく見込めることがわかる。この傾向は、密なほど、風化の程度が高いほど顕著であった。

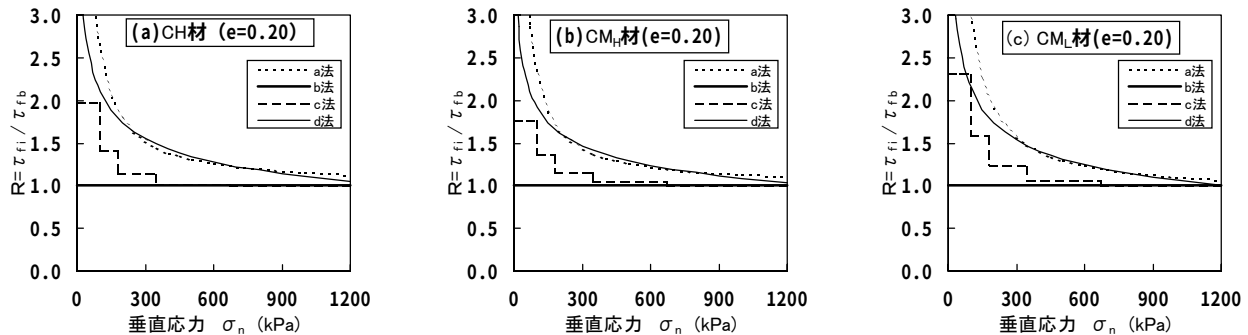


図-4 垂直応力 σ_n とRの関係

6. まとめ

- (1) d法は、b法に比較し、風化の程度や間隙比の違いによるせん断強度特性を合理的に表現する手法の一つと考えられる。
- (2) d法は、全体的にせん断強度が大きく、垂直応力の小さい範囲でも大きなせん断強度を見込むことができる。a法も同様であるが、垂直応力の小さい範囲ではせん断強度を過大評価している。c法はb法と比べると垂直応力の小さい範囲ではせん断強度を大きく見込めるが、d法より過小評価となる。
- (3) d法を用いると、風化度の高い材料のせん断強度特性も合理的に表現でき、密にすることによるせん断強度の増加を見込むことができる。

謝辞

本検討を行うにあたり、大阪工業大学 綾部孝之氏には数多くの三軸圧縮試験を実施して戴きました。ここに記して感謝致します。

【参考文献】

- 1) 沼田 淳紀, 大野 孝二, 長谷川 昌弘, 小西 雄介: フィルダム粗粒材料の諸性質, 第36回地盤工学研究発表会, 投稿中, 2001.6.
- 2) 大野 孝二, 沼田 淳紀, 長谷川 昌弘, 小西 雄介: フィルダム粗粒材料のせん断強度特性, 第36回地盤工学研究発表会, 投稿中, 2001.6.
- 3) 土質工学会: 土の強さと地盤の破壊入門, p.62, 1987.7.
- 4) 国土開発技術研究センター: フィルダムの耐震設計指針(案), pp.3-12, 1990.6