

コア材料の割裂引張強度と直接引上げ引張強度の検討

(独)土木研究所 正会員 山口 嘉一 佐藤 弘行 林 直良 吉永 寿幸
日本工営(株) 正会員 下村 幸男 スレン ソッキアン ○藤澤 久子 秋田 洋

1. はじめに

土の引張強度は設計においては安全側としてゼロとするなど、考慮されないことが一般的である。この理由として、引張強度が圧縮強度に比して小さいこと、引張強度を適切に測定するのが困難なことが挙げられる。しかしながら引張による亀裂の発生が盛土の斜面崩壊やフィルダムの水圧破碎の一因とも考えられており、土の引張強度を適切に評価することは、地盤構造物の安全性を評価する上で重要であると考えられる。土の引張強度の評価のため、これまで種々の試験法の開発が試みられてきた。間接的に引張強度を求める圧裂試験と直接供試体の両端を引っ張る方法¹⁾などが代表的である。本研究では、フィルダムコア材料を用いて割裂引張強度試験(以下、割裂試験)および新たに開発した引上げによる直接引張強度測定試験(以下、引上げ試験)を実施し、間接引張と直接引張の比較による考察を報告する。

2. 試験概要

2. 1 割裂引張強度試験

割裂試験は「コンクリートの割裂引張強度試験方法」(JIS A 1113)を参考として実施した。供試体の寸法は最大粒径を考慮し、最大粒径が 2mm の場合は直径および高さを 5cm とし、最大粒径が 19mm の場合は直径および高さを 10cm とした。載荷速度はひずみ制御で 1%/min とした。試験ケースは表-1 に示すとおりである。飽和および拘束圧をかけたケースでは、供試体に所定の拘束圧をかけ、飽和後に気中で試験を行った。なお、せん断断面を形成したケースとは、試験前に直径方向にカットした後、拘束圧をかけ圧密(接合)した供試体である。(なお、プレカット試験はクラック発生後の再圧密の効果を調べるために実施した)

表-1 割裂試験ケース

拘束圧 σ_v (kN/m ²)	含水比 条件	最大粒径 (mm)		
		2	2*	19
0	W_{opt} (飽和)	○		
0	W_{opt} (不飽和)	○		○
100	W_{opt} (飽和)		○	○
200	W_{opt} (飽和)	○	○	○
400	W_{opt} (飽和)	○	○	○

*せん断断面を形成した供試体

2. 2 引上げ引張強度測定試験

引上げ試験は、試料と試料の間に有孔プレートを 2 枚挟み、上部プレートを試料と共に垂直に引上げ、孔でつながった試料を直接引っ張り破断させる形式の試験方法である。この試験では水浸状態における引張試験の実施も可能である。試験装置の模式図を図-1 に示す。このときの引上げ荷重 P_{max} を測定し、引上げ荷重から部材の重量などのデッドウェイト P_0 を差し引いた値を孔の断面積 A で割ることで引張強度 σ_t を求める。

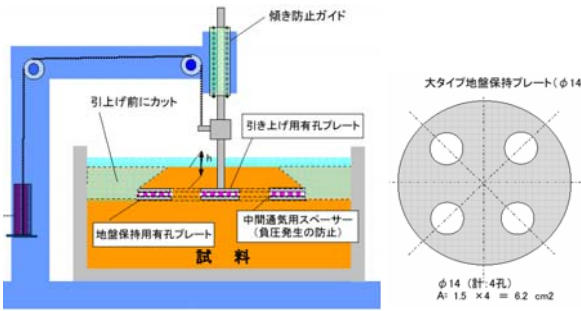


図-1 試験装置模式図

$$\sigma_t = (P_{max} - P_0) / A \quad \dots (1)$$

供試体の寸法は、直径 6cm、高さ 3cm(下部 2cm、上部 1cm)で、所定の密度になるよう締め固めにより作成した。上部供試体のプレートから外れる部分は、引上げ前に約 45 度でカットする。2 枚のプレートの間には、負圧発生防止用のポーラスのスペーサーを設けている。試験は飽和および不飽和条件で行い、拘束圧による試料の圧密は、図の試料全体をセル内に入れ、圧密機能を付加した装置によって行い、拘束圧は 100、200、400kN/m² とした。飽和条件では供試体セット後に所定の拘束圧をかけ、その後拘束圧の 1/2 の静水圧を一昼夜かけることで飽和状態とし、さらに供試体を水浸状態で引上げるケースと、非水浸で引上げるケースを行った。

2. 3 試料の基本物性

試験に用いた試料は、フィルダムのコア材料であり、搬入時の最大粒径 19mm の先頭粒度調整を行い、最大粒径 2mm の試料を準備した。試料の物理・力学特性を表-2 に示す。

表-2 試料の基本物性

含水比(%)		18.6	
土粒子の密度 (g/cm ³)		2.733	
通過質量百分率(%)	砂分	粗砂	8.7
		中砂	13.4
		細砂	12.1
	シルト		65.8
	粘土		
60%粒径 D ₆₀ (mm)		—	
50%粒径 D ₅₀ (mm)		—	
液性限界 w _L (%)		53.5	
塑性限界 w _p (%)		23.6	
塑性指数 I _p		29.9	
締め固め試験結果	最大乾燥密度 ρ _{dmax} (g/cm ³)	1.487	
	最適含水比 w _{opt} (%)	26.5	

キーワード 直接引張強度, 割裂引張強度, コア材

連絡先 〒300-1259 茨城県つくば市稲荷原 2304 日本工営(株)中央研究所総合技術開発部 TEL029-871-2065

3. 試験結果と考察

3. 1 拘束圧と引張強度の関係

以下、データは試験値の平均値である。図-2 に拘束圧と引張強度の関係を示す。図より、引上げ試験による引張強度は拘束圧の増加に伴い比例的な増加傾向を示すのに対して、割裂引張強度は拘束圧の増加に伴い、2次曲線的な増加傾向を示した。不飽和条件下での引上げ引張強度が最も大きく、拘束圧に対して1/5～1/9程度の値を示し、飽和条件下で水浸させた供試体の引張強度は非常に小さく、拘束圧が100kN/m²のケースではほぼゼロであった。

3. 2 含水比と引張強度の関係

図-3 に含水比と引張強度の関係を示した。割裂および引上げ引張強度ともに含水比の増加とともに、引張強度は減少し、含水比が小さいほど強度は大きい。割裂引張強度は含水比の減少に伴い引張強度が増大する傾向にあるが、最適含水比は26.5%であり、ある含水比で最大値となった後は減少すると考えられる。含水比の高い領域で割裂引張強度は収束的にゼロに近づくのに対し、引上げ引張強度は直線的に減少するため、33%付近でゼロとなっている。含水比が30%前後での引上げ引張強度は、割裂試験の最大粒径19mm、2mmのプレカット供試体と近い値を示すが、同じ含水比では2mmのケースが明らかに大きい。これは、粒子間接点数の多寡によると考えられる。引上げ引張強度がゼロを示す含水比でも、割裂引張強度は5～10kN/m²程度の引張強度を持ち、含水比が27.4%の割裂引張強度と29.2%の引上げ引張強度では、1.8%の含水比の違いで、引張強度の差が28.5kN/m²と大きな違いが特徴的である。

3. 3 乾燥密度と引張強度の関係

図-4 に乾燥密度と引張強度の関係を示す。乾燥密度の増加とともに引張強度も増加する傾向を示している。

図-4 は図-2 および図-3 と同様に、割裂引張強度より引上げ引張強度の方が小さいが、 $\rho_d=1.44\sim1.48\text{g/cm}^3$ 付近で最大粒径2mmのプレカット供試体の引張強度と近い値を示し、乾燥密度の両サイドほど差が大きくなる傾向を示している。また、乾燥密度が等しい場合、最大粒径19mmより2mmの引張強度の方が大きく、前述のように粒径の影響がうかがえる。

3. 4 割裂引張強度と引上げ引張強度の比較

土の割裂試験は、円柱供試体の円の中心を軸として圧縮し、載荷方向と直行する方向に破壊する現象を引張破壊として、このときの圧縮応力から引張応力を算出している。コンクリートのような硬さを持たない土の場合、荷重の増加とともに載荷板に接触している部分が面となり、拘束効果を発揮する。拘束された面により挟まれた供試体の部分は一軸圧縮のような状態となり、あるいはコンクリートなどに比べて変形が大きいためあたかも相対する半円の曲げ圧縮の状態になり、直接引張より大きな引張強度を評価していると考えられる。

4. まとめ

コア材料の引張強度を求めるために2種類の引張強度測定試験を実施した。同条件を比較すると割裂引張強度の方が引上げ試験による引張強度より大きく、飽和条件においては、含水比および乾燥密度の高い領域および低い領域で、大きな差が生じている。直接引張では $\sigma_t=0$ になる限界の含水比と密度が存在し、間接引張には前述のように引張以外の力が含まれることが類推できる。割裂引張強度試験は引張強度を求める試験法として一般的であるが、本研究で用いたコア材のような土質材料の引張強度を適切に評価するためには、この差に留意する必要がある。 $\sigma_t=0$ となる土の状態が存在することはむしろ实际的であるとも考えられ、今後はさらに様々な条件で引張強度試験を行い、引上げ試験の精度を上げるとともに、評価についての検討を進めていきたい。

参考文献

1) Tamrakar, S. B., 豊澤康雄, 伊藤和也: 新しく開発した土の引張強度試験装置(関東ロームの引張強度と一軸圧縮強度の比較)、第39回地盤工学研究発表会、pp. 251～252、2004. 7.

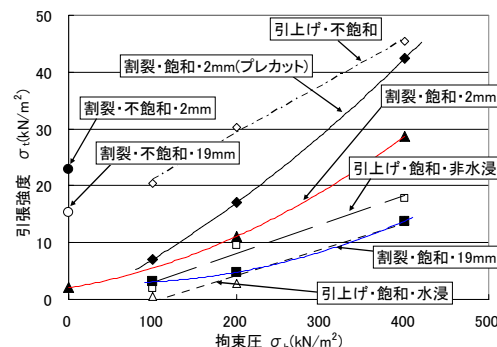


図-2 拘束圧と引張強度の関係

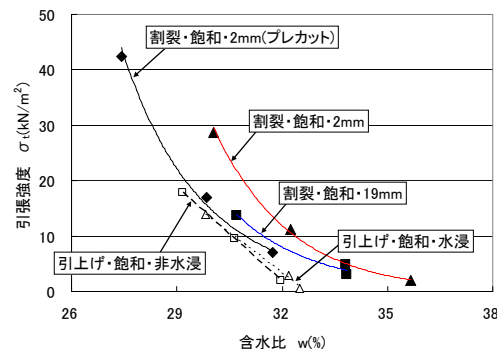


図-3 含水比と引張強度の関係

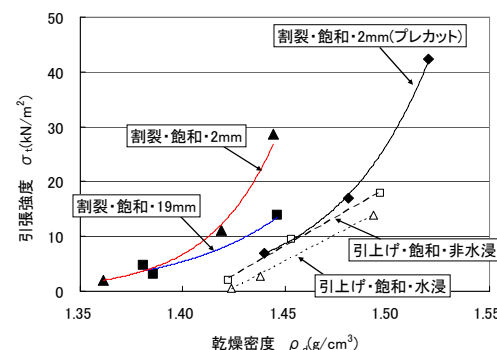


図-4 乾燥密度と引張強度の関係