

広島大学大学院工学研究科 学生会員 ○村上 雄亮
元広島大学大学院工学研究科 河野 真弓
広島大学大学院工学研究院 正会員 一井 康二

1. 背景・目的

土の引張強度は、従来の設計において考慮されることがなく、研究対象として重要視されていない。しかし、実際の被災事例では被災の有無や被災形態に土の引張強度が関係していると考えられる例も存在しており、土の引張強度を考慮することは重要である。これまで、土の引張試験方法として、直接法や間接法による様々な手法が提案されてきた。しかし、土試料が軟弱な場合や土粒子サイズが大きい場合には、従来の手法では測定が困難という問題点が残されている。そこで本研究では、新たな土の引張試験法である“モーメント法”を提案した。そして、提案手法の妥当性を検討した後、含水比変化による土の引張強度の変化を検討した。さらに、土の引張強度の値に影響を及ぼす要因の一つとして、サクショントと土の引張強度の関係を検討した。

2. モーメント法の概要

図-1 のように蝶番を中心にして割裂することのできる箱を作成した。箱に試料を充填し、片端を固定し、もう一端をジャッキに乗せて下げることができるようにする。その際に降下する支点の荷重の変化をロードセルで測定する。また、ジャッキの変位も計測する。ジャッキを下げていくことによって、ロードセルにかかる荷重の値は変化する。これは、ジャッキを下げることによって土試料に引張応力が作用して、ロードセルにかかる荷重が小さくなるためと考えられる。蝶番を中心にモーメントの釣り合い式を立て、土の引張応力 f_t を式(2.1)により算出する。

$$f_t = \frac{2}{B \cdot h^2} \left(\frac{mgL}{2} - \Delta f \cdot a \right) \quad (2.1)$$

なお、 f_t : 土の引張応力 (N/m²)、 Δf : ロードセルにかかる荷重 (N)、 B : 供試体の幅 (m)、 h : 供試体の高さ (m)、 L : 供試体の長さ (m)、 a : 蝶番からロードセルまでの距離 (m) とする。ここで、土試料に作用する引張応力は破断面に一様に作用すると仮定している。この仮定の妥当性は検証が必要であるが、応力分布が三角形であったとしても土層中央部の引張応力の評価としては妥当である。

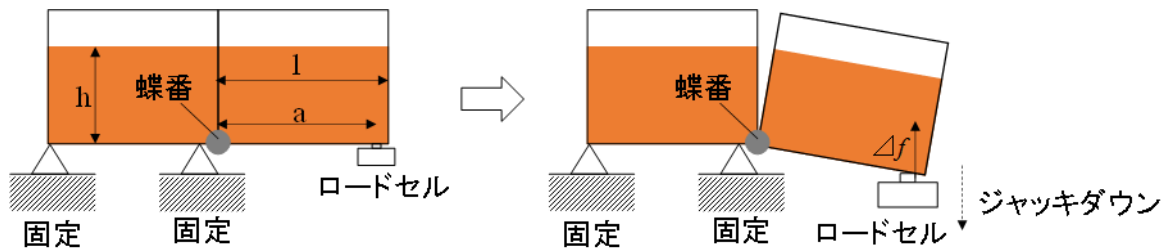


図-1 モーメント法の概要図

3. 寒天供試体によるモーメント法の妥当性の検証

モーメント法によって得られる引張強度の妥当性を示すため、加工がしやすく、均一な強度が得られる寒天を使用してモーメント法と割裂引張試験を行った。図-2 にモーメント法による引張試験の結果、図-3 に割裂引張試験の結果を示す。どちらもピーク値が明瞭で、引張強度を算定することができた。また、表-1 に引張強度をまとめた結果を示す。表-1 のように、モーメント法により得られた引張強度は、割裂引張試験で求められる引張強度の値より小さくなった。割裂引張試験では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、引張強度は過大評価となるという報告¹⁾がある。このことから割裂引張試験で求めた引張強度は、本来の引張強度よりも過大評価になっていると考えられる。また、既往の研究では、割裂試験による引張強度と引上げ引張試験での引張強度との比較が既に行われており、割裂試験による引張強度は引上げ引張試験での引張強度の約 1.3 倍であった。¹⁾そして、表-2 で示すように割裂引張試験とモーメント法での引張強度も同程度の違いであり、モーメント法で求めた引張強度は引上げ引張試験機により求まる引張強度とほぼ同程度であると推定できる。

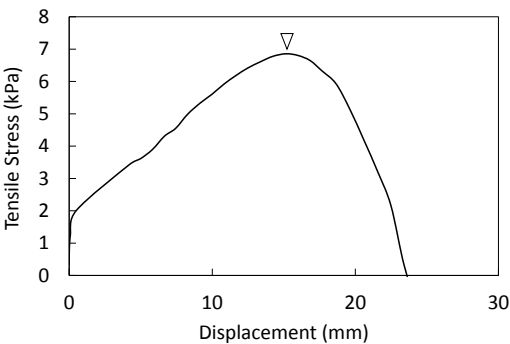


図-2 モーメント法による試験結果

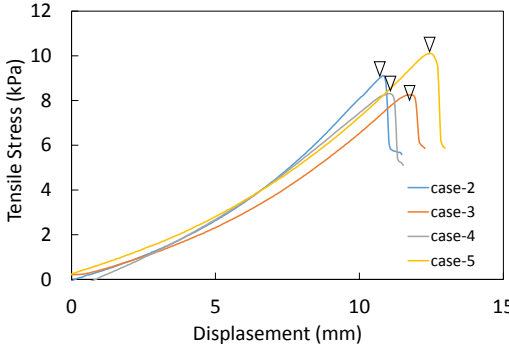


図-3 割裂引張試験による試験結果

表-1 寒天の引張強度の結果

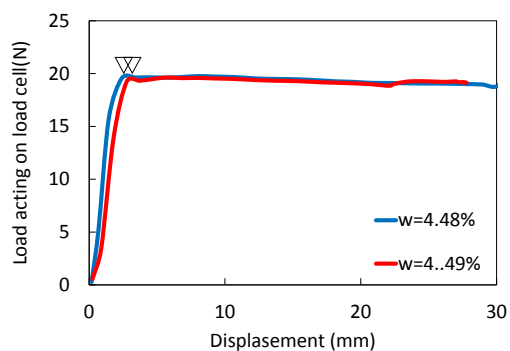
ケース番号	試験方法	引張強度(N/m2)	平均(kPa)
case-1	モーメント法	6.9	6.9
case-2	割裂引張試験	9.1	8.9 (モーメント法の1.30倍)
case-3		8.3	
case-4		8.3	
case-5		10.1	

4. モーメント法による土の引張強度の測定

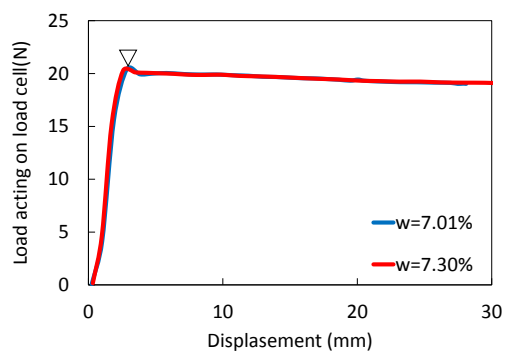
含水比を変化させた供試体に対して、モーメント法により土の引張強度を求めた。表-2 に実験ケースを示す。空気乾燥状態の土試料を目標含水比になるように加水を行い、供試体を作成した。土試料はまさ土と豊浦砂を使用し、共に相対密度が 50%となるように締固めた。図-4 にジャッキの支点の変位量と荷重の変化の関係をそれぞれ示す。図-5 に支点の変位量と式(1)により求めた引張応力との関係を示す。図-4 から、ジャッキダウンの途中でロードセルにかかる荷重にピークが生じていることが見て取れる。この時に供試体に亀裂が入り、供試体の引張応力がなくなったと考えられる。この時の実際の試料の例を図-6 に示す。また、これに対応して、図-5 では引張応力にピークが生じている。このピークの値が土の引張強度であると考えられる。

表-2 実験ケース

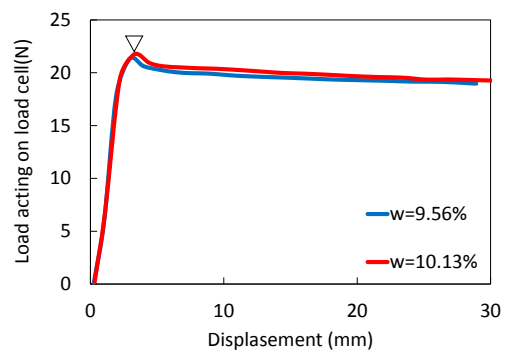
ケース	土試料	間隙比	目標含水比(%)	含水比(%)
case-1	まさ土	0.95	5.00	4.48
case-2			5.00	4.49
case-3			7.50	7.01
case-4			7.50	7.30
case-5			10.00	9.56
case-6			10.00	10.13
case-7			12.50	11.95
case-8			12.50	11.93
case-9	豊浦砂	0.76	5.00	4.75
case-10			5.00	4.29
case-11			7.50	6.86
case-12			7.50	6.33
case-13			10.00	9.05
case-14			10.00	9.29
case-15			12.50	10.78



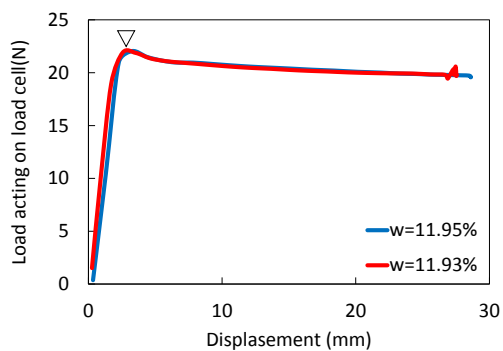
(a) case-1, case-2 (目標含水比 5%)



(b) case-3, case-4 (目標含水比 7.5%)

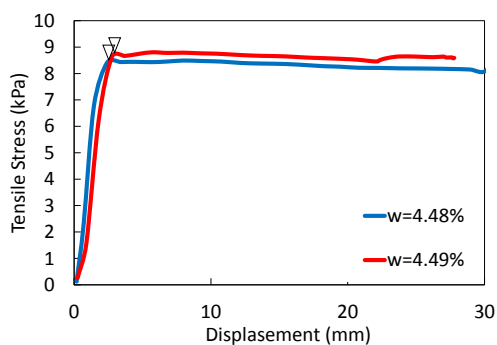


(c) case-5, case-6 (目標含水比 10%)

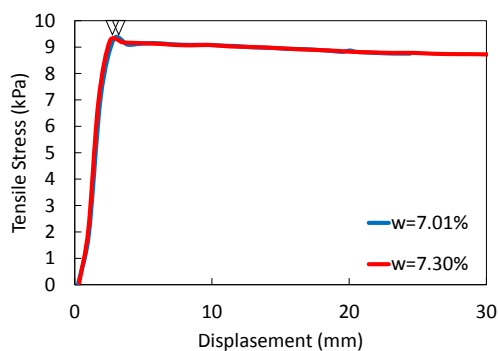


(d) case-7, case-8 (目標含水比 12.5%)

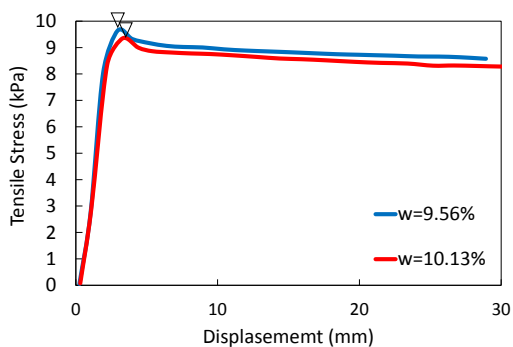
図-4 ジャッキの変位とロードセルにかかる荷重の変化



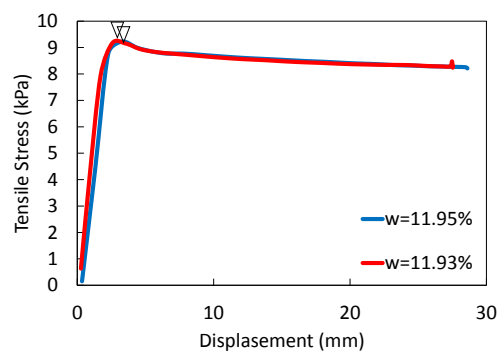
(a) case-1, case-2 (目標含水比 5%)



(b) case-5, case-6 (目標含水比 7.5%)



(c) case-3, case-4 (目標含水比 10%)



(d) case-7, case-8 (目標含水比 12.5%)

図-5 ジャッキの変位と引張応力の関係

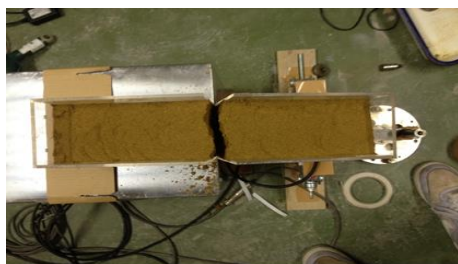


図-6 モーメント法において亀裂が入った試料の例

5. サクションと土の引張強度の関係

図-7 に示すように土試料内にテンシオメーターを挿入すると、土試料の引張強度を測定すると同時に、サクションを計測することができる。表-3 に実験ケースを示す。図-8 にサクションと含水比の関係を示す。図-8 より、含水比が低下するとサクションは上昇することが確認できた。特に、まさ土では case-2（含水比 7.09%）を境に急激にサクションが上昇した。含水比が大きい範囲ではサクションの変化が緩やかであった。また、図-9 にサクションと引張強度の関係を示す。サクションが一定値（豊浦砂で 3kPa、まさ土で 4kPa）を超えるとサクションが大きいほど引張強度は低下するという関係になっている。これは含水比が小さくなりサクションの作用の割合が低下することの影響だと考えられる。

表-3 実験ケース

土試料	ケース番号	間隙比	目標含水比	含水比
まさ土	case-1	0.95	5.0%	5.02%
	case-2		7.5%	7.09%
	case-3		10.0%	9.72%
	case-4		12.5%	13.41%
豊浦砂	case-5	0.76	5.0%	4.65%
	case-6		7.5%	7.17%
	case-7		10.0%	8.52%
	case-8		12.5%	11.79%

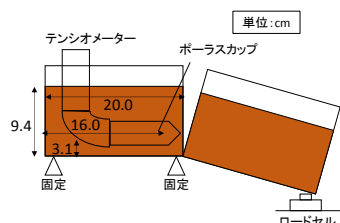


図-7 実験の概要図

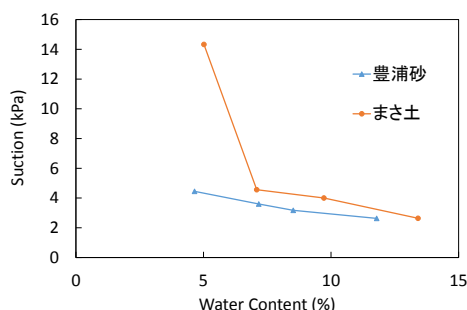


図-8 サクションと含水比の関係

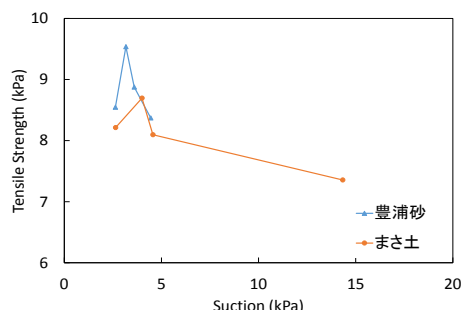


図-9 引張強度と含水比の関係

6. まとめ

本研究では、新たな土の引張強度測定試験の提案と検討を行い、土の引張試験を行った。実験結果から、提示方法により得られた引張強度の妥当性を確認することができた。また、含水比の変化により土の引張強度は変化することを確認し、今回の実験条件では、含水比 10%付近で引張強度が最大となった。さらに、土試料内にテンシオメーターを挿入することで、土の引張強度を求めると同時に、サクションを計測することができた。サクションと土の引張強度の関係を検討した結果、含水比が低下するとサクションが上昇するが、一定以上にサクションが上昇すると、引張強度が低下する結果となった。

参考文献

- 1) 山口嘉一, 佐藤弘行, 林直良, 吉永寿幸, 下村幸男, スレンソッキアン, 藤澤久子, 秋田洋, : コア材料の割裂引張強度と直接引上げ引張強度の検討, 土木学会第 64 回年次学術講演会, 2009.9.