

前田建設工業(株) 技術研究所 正会員 伊藤雅夫

〇 平野富佐夫

杉浦研五

1. まえがき

従来、土の圧縮強度に比べ引張り強度についてはあまり関心が払われていないが、その大きな理由は、土の引張り強度が圧縮強度に比べて極めて小さく、また満足のゆく試験法が確立されていないことによるものと思われる。しかし、最近、高速道路やフィルダム等の盛土部分の施工においては土の引張り力によるクラックの発生が破壊に通ずるようなケースが、しばしば問題になってきている。このようなことから工事施工にあたって土の引張り強度の性状を知ることは、非常に有益なことから考えられる。その第1歩として今回は、土のテストピースを採って、直接引張り試験(Direct Tensile Test)、圧裂試験(Double Punch Test)、割裂試験(Split Tensile Test)の3種の試験を行ない、それぞれから引張り強度を求め、3種の試験方法の違いによる引張り強度の差異を検討し、あわせて一軸圧縮強度との相関性を探究したものである。

2. 試験概要

今回、試験に使用した試料は表-1に示すものである。試験は、まず、空気乾燥によって含水比約3%まで乾燥させたのち、加水によって4~10%の含水比を目標として調整しさらに、養生期間としてそれぞれ3昼夜放置させて、十分に水分がなじむようにした。締固めエネルギーは、JISの第一法(2.5kgランマー)により、 $\phi 10^{\text{cm}}$ モールドを用いて、突き固め回数は、3層を各層70回を規準に取り、そのときの乾燥密度が他の $\phi 5^{\text{cm}}$ 、 $\phi 15^{\text{cm}}$ モールド使用の場合も等しくなるように、試行を繰り返して突き固め回数を定めた。表-2は各試験ごとの供試体寸法、1層当たりの突き固め回数および使用ランマーの重量、落下高さを示したものである。

一軸圧縮試験はJ.I.S.A1216にしたがって行ない、圧縮速さは1%/分のひずみ制御法によ

表-1

レキ分	25 %	60%粒径	1.15 mm
砂分	60 %	30%粒径	0.33 mm
シルト以下	15 %	10%粒径	0.06 mm
最大粒径	9.52	均等係数	19.2
比重	2.654	曲率係数	1.58

表-2

試験	供試体寸法	突き固め回数	ランマー重量	ランマー高さ
一軸圧縮試験	$\phi 5^{\text{cm}}$ 高さ 10^{cm}	3層-70層	1.5kg	25cm
直接引張り試験	$\phi 5^{\text{cm}}$ 高さ 18^{cm}	3層-70層	1.5kg	25cm
割裂試験	$\phi 5^{\text{cm}}$ 高さ 10^{cm}	3層-70層	1.5kg	25cm
圧裂試験	$\phi 5^{\text{cm}}$ 高さ 10^{cm}	3層-70層	1.5kg	25cm
	$\phi 10^{\text{cm}}$ 高さ 12.5^{cm}	3層-75層	2.5kg	30cm
	$\phi 15^{\text{cm}}$ 高さ 18^{cm}	3層-95層	4.5kg	45cm

った。(なお、今回行なった試験法はすべて1%/分のひずみ制御法にしたがって行なった。)

直接引張り試験は写真-1に示すように供試体($\phi 5^{\text{cm}}$ 、高さ 10^{cm})の中央部に径6mm差のくびれをつけ(くびれ部分 $\phi 4.4^{\text{cm}}$)供試体を上下から引張ったとき、中央のくびれ部で切れるようにした。また、両端のアタッ4メント部分は供試体の周囲をつかむゴムスリーブに $0.5^{\text{kg/cm}^2}$ の内圧を加えられるようにした。供試体をつかむ部分は上下あわせて、5cmあるので、引張りに対して十分耐えられ、クラックはほとんどくびれ中央部に生じた。ひずみの測定はくびれの上下端、ゴムスリーブに近く金具を付け、その移動を変位検出器で測定した。また、引張り強度は力計の最大荷重値をクラックの生じた面の断面積で除して算出した。

$$\sigma = P/A \quad (\text{kg/cm}^2) \quad P: \text{最大荷重} \quad A: \text{クラック面断面積}$$

割裂試験は写真-2に示すように、C.B.R試験器を改良して行なった。すなわち、円筒供試体を写真の示すように横にし、その側面に上下から加圧したが、引張りクラックは上下の加圧板の接点から上下に走っている。割裂試験による引張り強度 σ_t は弾性理論から導かれ、次のようになる。

$$\sigma_t = 2P / \pi DL \quad (\text{kg/cm}^2) \quad P: \text{最大荷重} \quad D: \text{供試体直径} \quad L: \text{供試体高さ}$$

圧裂試験も写真-3に示すようにC.B.R試験器を改良したものを使用して行なった。上下の載荷盤は供試体寸法に合わせて変え、供試体 $\phi 5 \text{ cm}$ のときは $\phi 1.5 \text{ cm}$ 、 $\phi 10 \text{ cm}$ のとき $\phi 2.5 \text{ cm}$ 、 $\phi 15 \text{ cm}$ のとき $\phi 3.3 \text{ cm}$ の載荷盤（鉄製円型）を用い上下から加圧した。クラックは載荷盤下の中心から四方に走り、載荷盤下においてはクサビ状にクラックが生じた。この圧裂試験による引張り強度 σ_t は塑性理論を基にして導かれ、次のようになる。

$$\sigma_t = P / \pi (1.0bH - a^2) \quad (\text{kg/cm}^2) \quad P: \text{最大荷重} \quad b: \text{供試体半径} \quad H: \text{供試体高さ} \quad a: \text{載荷盤半径}$$

なお、この圧裂による引張り強度 σ_t の式中、係数1.0は試料の摩擦角 ϕ による関数で、摩擦角 $0 \sim 30^\circ$ では0.84～1.32の範囲といわれている。今回はほぼその中間値である1.0を使用した。また、すべての供試体の製作に際しては、供試体の側面が端正に仕上がるようにモールドと試料との境界面には薄く、かつ柔軟性と自立性のあるアラスチックを使用した。

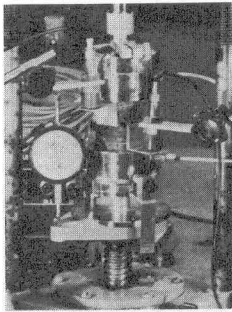


写真-1

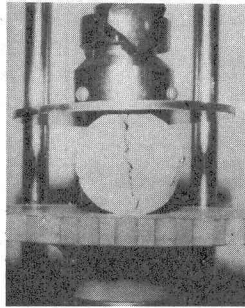


写真-2

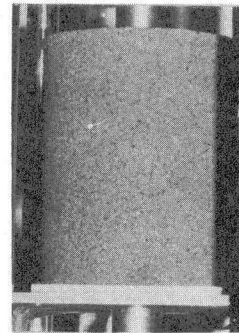


写真-3

3. 試験結果および検討

一軸圧縮試験の結果はFig-1に示すように含水比5%で一軸圧縮強度は最大値1.3 kg/cm²を示し、一方 $\phi 5 \text{ cm}$ 、 $\phi 10 \text{ cm}$ のときの含水比と乾燥密度との関係を見ると（今回の試験では乾燥密度が等しくなるように突き固め回数を変えた）最適含水比は8%であり、そのときの最大乾燥密度は2.15 g/cm³である。このように最適含水比が8%であり、一軸圧縮強度の最大強度が含水比5%とかなり乾燥側に現われた原因としては、試料の細粒部分が受け持つ吸着水が含水比5%あたりで最も強度を保持しやすい状態にあり、それ以上、加水を続けると水分は土粒子間の潤滑剤として働くようになるため、このような傾向が現われたと思われる。この一軸圧縮試験の含水比と一軸圧縮強度および乾燥密度の関係は他の3つの引張り試験から得られたそれらと比較して見る。

直接引張り試験では含水比5%で最大引張り強度0.1 kg/cm²が現われ、一軸圧縮試験で最大圧縮強度が現われた含水比（5%）と同じ含水比になる。

割裂試験では直接引張り試験で得られたと同じような傾向が見られ、含水比5%で最大引張り強度0.16 kg/cm²が現われる。このように直接引張り試験、割裂試験から得られた引張り強度と一軸圧縮試験から得られた圧縮強度とを比較して見ると、いずれも同じ含水比（5%）で最大強度が現われる傾向を示した。

圧裂試験では供試体寸法を $\phi 5 \text{ cm}$ 、 $\phi 10 \text{ cm}$ および $\phi 15 \text{ cm}$ と変え、それらに対して載荷盤寸法を $\phi 1.5 \text{ cm}$ 、 $\phi 2.5 \text{ cm}$ および $\phi 3.3 \text{ cm}$ と変え試験を行なって見たが、最大引張り強度が現われる含水比はFig-1に示すように供試体寸法が $\phi 5 \text{ cm}$ のとき5.5%、 $\phi 10 \text{ cm}$ のとき6.5%、 $\phi 15 \text{ cm}$ のとき7.5%となる。このように、圧裂試験では供試体寸法と載荷盤寸法により最大引張り強度が現われる含水比が異なり、供試体面積と載荷盤面積との割合が小さい場合ほど最適含水比側に近づき、逆に、面積比が大きくなれば乾燥側に移動し最大の一軸圧縮強度が得られる含水比側に近づく傾向が見られる。一方、圧裂試験から得られる最大引張り強度は供試体寸法が $\phi 5$

cmのとき0.12 $\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$, $\phi 10\text{cm}$ のとき0.11 $\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$, $\phi 15\text{cm}$ のとき0.09 $\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$ となり面積比が小さくなるにしたがい最大引張り強度は低下する傾向が見られる。なお、今回使用した供試体と載荷盤との面積の割合は供試体寸法が $\phi 5\text{cm}$ のとき0.09, $\phi 10\text{cm}$ のとき0.063および $\phi 15\text{cm}$ のとき0.048であった。

一軸圧縮強度と引張り強度との関係は直接引張り試験による引張り強度では、一軸圧縮強度の約8%, 割裂試験による引張り強度では約13%, 圧裂試験による引張り強度では供試体寸法 $\phi 5\text{cm}$ のとき約9%, 供試体寸法 $\phi 10\text{cm}$ のとき約9%, 供試体寸法 $\phi 15\text{cm}$ のとき約7%となる。このように割裂試験による引張り強度が大きくなった原因について考えられることは、供試体と載荷面が接触するところは複接触であり、その複接触をしている条件下で解いたのが割裂による引張り強度であるが、実際、試験を行なうと見ると載荷が進むにつれ複接触というより、ある幅を持つ面接触となり、それによる強度の増加というのが大きな要因であろうと考えられる。

4. あとがき

今回用いた試料について3つの引張り試験から次のようなことがいえる。

1) 最大引張り強度が現われる含水比は最適含水比より乾燥側にある。圧裂試験の場合には供試体面積と載荷盤面積との割合により異なり、面積の割合が小ならば最適含水比側に、大ならば最大圧縮強度を示す含水比側に近づく。

2) 割裂試験から得られる引張り強度は直接引張り試験および圧裂試験から得られる引張り強度よりも大きい。

3) 直接引張り試験から得られる引張り強度は一軸圧縮強度の約8%, 圧裂試験から得られる引張り強度は一軸圧縮強度の約7~9%, 割裂試験から得られる引張り強度は一軸圧縮強度の約13%である。

4) 圧裂試験から得られる引張り強度は供試体寸法および載荷盤の大きさによ、異なる。

5) 直接引張り試験および割裂試験から得られる最大引張り強度の含水比は一軸圧縮強度の最大が得られる含水比の近くで存在する。

以上述べたように、土の引張り強度は試験によ、異なる傾向を示すことがわかったが、土の引張り強度だけを知りたい場合、試験法としては直接引張り試験あるいは圧裂試験が便利であり、土の最大引張り強度が得られる含水比を知りたい場合は試験法として直接引張り試験あるいは割裂試験によるのが便利であると思われる。圧裂試験については今後とも供試体寸法と載荷盤寸法との関係について試験を続けるつもりである。

参考文献

- 1) B・Ramanathan and V・Raman "Split tensile strength of cohesive soils" 土質工学会論文集 Vol.14 No.1~3.1974
- 2) H・Y・Fang, W・F・Chen "New method for determination of tensile strength of soils" Highway Research Record No.345. 1971
- 3) W・F・Chen "Double punch test for tensile strength of concrete" ACI Journal 1970. 12月

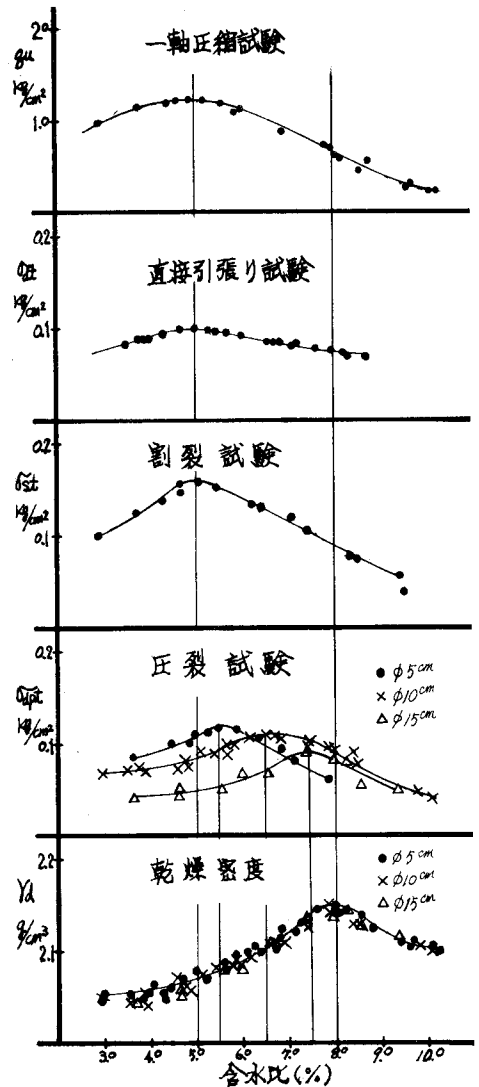


Fig-1