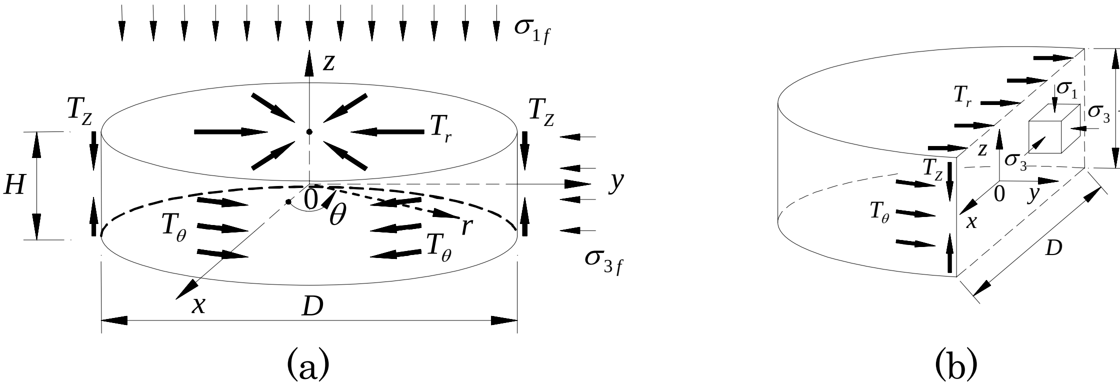
__円形袋体の圧縮強度の評価方法__

昔から用いられている「きんちゃく」からもわかるように、円形袋体は、袋体がつり上げられたときに生じる、力学的に安定した自然な形であり、中詰め材に対して一様で極めて効果的な拘束効果を与えるものである。このような袋による拘束力によって、中詰め材は信じ難い驚異的な圧縮強度を発揮するようになる。そこで、ここでは円形袋体の圧縮強度の表示式を提示するとともに、砕石入りの円形網状袋体の圧縮試験結果と比較して十分な予測能力を持つことを検証する。これによって、「円形土のう」のような円形袋詰め補強土の圧縮強度を評価し、その性能表示をすることが可能となる。

（１）円柱形袋体の圧縮強度の表示式

図―１に示すように、円柱形袋体の上下面の半径方向の単位幅あたりの破断張力をT_r，側面の円周方向の単位幅あたりの破断張力をT_θ、側面の鉛直（上下）方向の単位幅あたりの破断張力をT_zとする。またT_rによって半径（ｒ軸）方向に生じる応力をσ_{r1}、T_θによって半径（ｒ軸）方向に生じる応力をσ_{r2}、T_zによって上下（ｚ軸）方向に生じる応力をσ_zとする。図―１（ｂ）を参照すれば、力のつり合い式よりσ_{r1}、σ_{r2}、σ_zはそれぞれ式（１）で表される。なお、ＤとＨは円柱形袋体の直径と高さである。



図―1　円柱形袋体モデル

$$\left.\begin{aligned} \sigma_{r_1} &= \frac{2T_r D}{DH} = \frac{2T_r}{H} \\ \sigma_{r_2} &= \frac{2T_\theta H}{DH} = \frac{2T_\theta}{D} \\ \sigma_z &= \frac{T_z \cdot \pi D}{(\pi/4)D^2} = \frac{4T_z}{D} \end{aligned}\right\} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (1)$$

ここで、袋の破壊時にはすべての方向の破断張力が等しくなると考えて$T_r = T_\theta = T_z = T$とする。そして円柱形袋体の外力による破壊時の上下（ｚ軸）方向の最大主応力をσ_{1f}、半径（ｒ軸）方向の最小主応力をσ_{3f}とすれば、破壊時に袋体の中詰め材に作用する上下（ｚ軸）方向の最大主応力σ_1と半径（ｒ軸）方向の最小主応力σ_3は次式で表される。

$$\left.\begin{aligned} \sigma_1 &= \sigma_{1f} + \sigma_z = \sigma_{1f} + \frac{4T}{D} \\ \sigma_3 &= \sigma_{3f} + \sigma_{r_1} + \sigma_{r_2} = \sigma_{3f} + 2T\left(\frac{1}{H} + \frac{1}{D}\right) \end{aligned}\right\} \quad \cdots\cdots\cdots(2)$$

このσ_1とσ_3の作用下で中詰め材が破壊するものとすると、破壊条件式（３）が成立する。ここに、$K_p = (1 + \sin\phi)/(1 - \sin\phi)$（$\phi$：内部摩擦角）であり、$K_p$は受働土圧係数と呼ばれている。

$$\sigma_1 = K_p \cdot \sigma_3 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(3)$$

式（３）に式（２）を代入して整理すれば、円柱形袋体の圧縮強度の表示式として次式を得る。

$$\sigma_{1f} = \sigma_{3f} K_p + 2T\left(\frac{1}{H} + \frac{1}{D}\right) K_p - \frac{4T}{D} \quad \cdots\cdots\cdots(4)$$

この式（４）を見て興味深いのは、式（４）がいわゆる粘着力を有する摩擦性材料（ｃ、ϕ材料）の破壊条件式（５）と同じ形をしていることである。

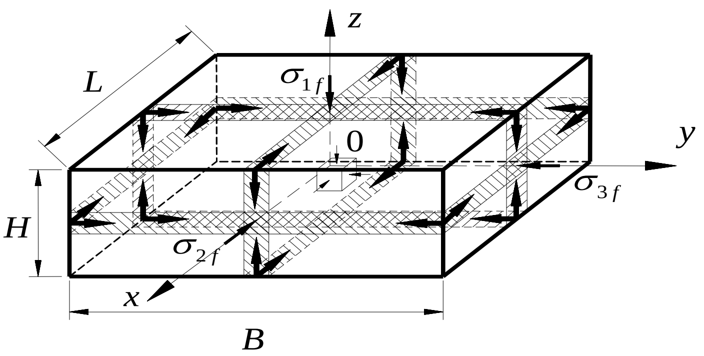
$$\sigma_{1f} = \sigma_{3f} K_p + 2c\sqrt{K_p} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(5)$$

これより、式（４）と式（５）の右辺第２項どうしを対応するものとして等値すると、粘着力ｃに当たるものが次式で求められる。

$$c = T\left(\frac{1}{H} + \frac{1}{D}\right)\sqrt{K_p} - \frac{2T}{D}\frac{1}{\sqrt{K_p}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(6)$$

式（６）は、中詰め材を包み込むことによって、袋体の破断張力Ｔや袋体の寸法（直径：Ｄ、高さ：Ｈ）や中詰め材の内部摩擦角φ（K_p＝（１＋ sinφ）/(1 - sinφ)）によって定まる粘着力ｃが発生することを意味している。中詰め材（砂や礫、砕石など）に接着剤（セメントなど）を入れなくても、ただ包み込むだけで式（６）で表される粘着力ｃを与えることができるのである。ここに、円形袋体（円形土のうなど）の驚異的な圧縮強度の源がある。

ちなみに、直方体形袋体（図―２参照）の場合には、直方体の幅、奥行き、高さをそれぞれＢ、Ｌ、Ｈとすれば、同様の考察より破壊時に袋体の中詰め材に作用するｚ軸方向の最大主応力σ_1、ｘ軸方向の中間主応力σ_2、ｙ軸方向の最小主応力σ_3は次式で表される。



図―2　直方体形袋体モデル

$$\left.\begin{aligned}\sigma_1 &= \sigma_{1f} + 2T(1/B + 1/L)\\ \sigma_2 &= \sigma_{2f} + 2T(1/H + 1/B)\\ \sigma_3 &= \sigma_{3f} + 2T(1/H + 1/L)\end{aligned}\right\} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (7)$$

ここで、中詰め材の破壊条件式（３）を用いれば、直方体形袋体の圧縮強度式の表示式として次式を得る。

$$\sigma_{1f} = \sigma_{3f}K_p + 2T\left(\frac{1}{H} + \frac{1}{L}\right)K_p - 2T\left(\frac{1}{B} + \frac{1}{L}\right) \quad \cdots (8)$$

また、ｃ、φ材料の破壊条件式（５）を考慮すれば、粘着力ｃの表現式として次式を得る。

$$c = T\left(\frac{1}{H}+\frac{1}{L}\right)\sqrt{K_p} - T\left(\frac{1}{B}+\frac{1}{L}\right)\frac{1}{\sqrt{K_p}} \quad \cdots(9)$$

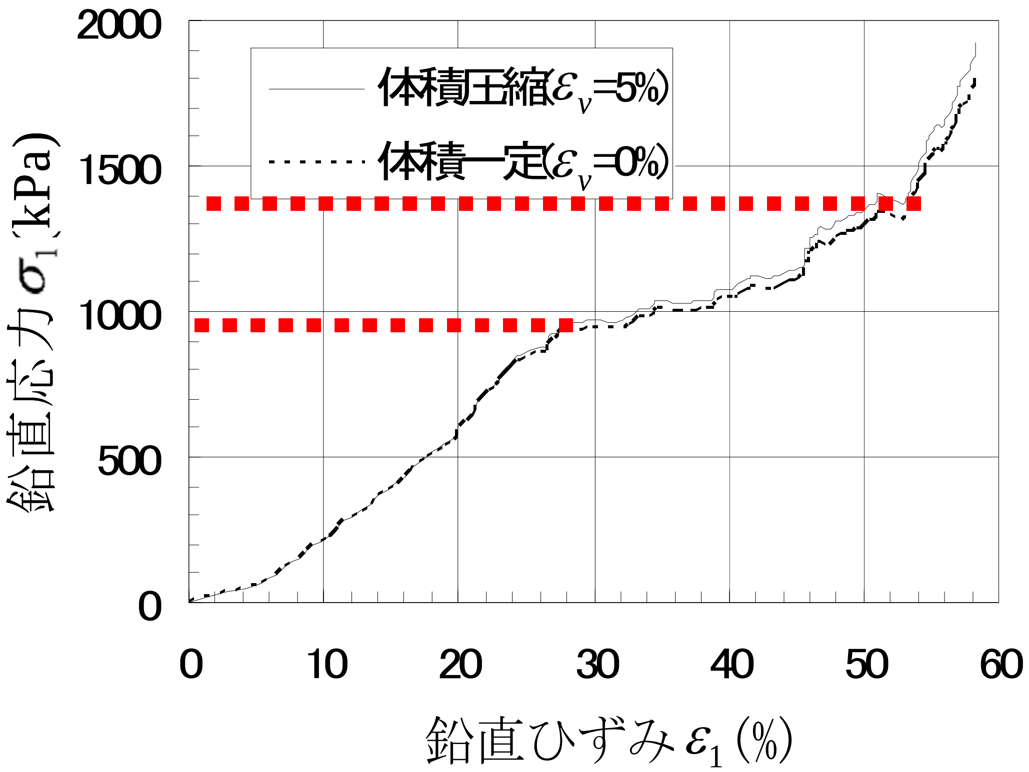
（２）　円形袋体（円形土のう）の圧縮試験結果との比較

図―３に示すような砕石（ϕ＝44°）入りポリエステル製ラッセル網地の円形袋体（D＝33cm、H＝7.9cm; ３段積み）の圧縮試験を実施した。網のひもの１ｍあたりの破断張力は縦方向 8.84ｋN／m 、横方向 6.65ｋN/m である。実験前と実験終了後に定規を用いて測定した体積から、約５％の圧縮体積ひずみ ε_v が生じたことが分かった。本実験での体積圧縮の主な原因は大きな載荷によって砕石が圧潰したためと考えられる。ここでは、中詰め材の体積一定（ε_v＝0)、および体積ひずみ ε_v＝５％まで鉛直ひずみに対して直線的に圧縮するという２条件のもとで断面補正をして図―６の応力～ひずみ関係を算出したが、両者の差は小さいのが見られる。図―６より推察できるように、鉛直ひずみ ε_1＝28～52%のあたりで網のひもが次々と破断して（図―４参照)、応力があまり上がらずに大きなひずみが発生した。よって、これらのひずみに対応する応力約 1000～1400kPaを破壊時の圧縮強度（耐荷応力）と考えた。その後それ以上ひもが破断せずに、1900kPa程度まで応力が上がったが、そこで実験を終えた。ひもが次々と破断した ε_1＝28～52%において、試験体として破壊したと判断したからである。図―５は実験終了後の試験体の破壊状況を示したものである。表―１の予測値は、破断張力をT=6.65～8.84ｋN/m、σ_{3f}＝０（大気圧）として、円柱形袋体の圧縮強度の表示式（４）によって算定したものである。表―１より、予測値と実験値がほぼ適合するのが見られる。これより、式（４）が円柱形袋体の圧縮強度の評価式として十分な予測能力を持つことが検証された。

図―３

図—4

図—5



図―6　応力～ひずみ関係図

表―1　実験値と予測値の比較

	極限耐荷応力 (kPa)
円柱形モデルによる予測値	1077~1432
実験値	約1000~1400

（特許第４０２３６９３号：松岡 元，山本 春行 共同出願）