

地下空間における切頭二十面体トラスドームの最適形態解析

広島大学 学生員 ○ 亀岡 稔弘*

広島大学 正 員 有尾 一郎

広島大学 正 員 佐藤 誠

1. はじめに

本研究は、大規模な地下空間を確保するために、切頭二十面体トラス構造を持つ地下ドーム構造物を提案し、構造形態に対する座屈耐荷力の評価を行うものである。ドーム構造物のような対称性を持つ構造物は、その対称性に起因する分岐座屈が起こることが知られてきており、その構造物の形態解析が重要である。また、座屈問題では、構造物の形状そのものが崩壊モードの大きな要因となる。本研究の目的は、切頭二十面体トラス構造の構造形態をパラメータ変化させ、形態の変化に対する座屈耐荷力の挙動変化を数値的に明らかにすることにより、地下ドーム構造物の構造形態に関する基礎的研究を行うものである。

2. 切頭二十面体トラスドーム

切頭二十面体構造は、正二十面体に存在する12個全ての頂点を正五角錐で切り落とすこと（切頭）により得られる準正多面体構造である（図-1 参照）。切り落とされる正五角錐の高さを変化させることにより、任意の形状を持つ切頭二十面体構造を得ることができる。この正五角錐の高さを正規化し、切頭パラメータ μ を

$$\mu = \frac{R_{\mu}}{r_{12}}, \quad 0 < \mu < 0.5 \quad (1)$$

と定義する（図-2 参照）。ここに、 r_{12} は切頭前の正二十面体最上部を構成する正五角錐の高さである辺 AD を、 R_{μ} は切り落とされる正五角錐の高さである辺 AB をそれぞれ表す。本研究では、切頭パラメータ μ を持つ切頭二十面体構造を、断面剛性 EA の立体トラス構造である地下ドーム構造物に適用する。

3. 解析条件

本研究では、図-1 に示すように、正二十面体の中心を原点に持つ直交デカルト座標系を用いることとし、各トラス部材の断面剛性 EA を一定とする。図-

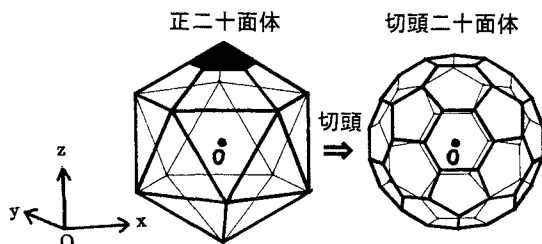


図-1 正二十面体と切頭二十面体

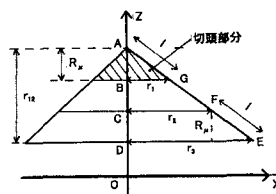


図-2 切頭二十面体の解剖図

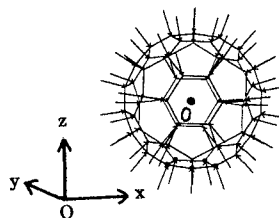


図-3 解析モデル

3 に示すように、切頭二十面体最下部の五角形を構成する節点（プロットされた点）をアンカーとして変位ゼロで拘束する。また、土圧のモデル化として、全節点等方外圧を加えることにより土圧荷重を設定する。以上のような解析条件のもと、汎用構造解析プログラム MARC による線形座屈解析により、任意の切頭パラメータ μ に対する座屈耐荷力を求める。

4. 解析結果と考察

(1) 切頭パラメータと座屈耐荷力

切頭パラメータと座屈耐荷力との関係を図-4 に示す。図-4 は、1 次座屈荷重 λ_1 と 2 次座屈荷重 λ_2 とを同一グラフ上にプロットしている。切頭パラメータ μ と最小の固有値にあたる 1 次座屈荷重 λ_1 との

* 〒 739-8527 東広島市鏡山 1-4-1, Keywords: 切頭二十面体, 立体トラス構造, 地下構造物, 対称性, モードスイッチング

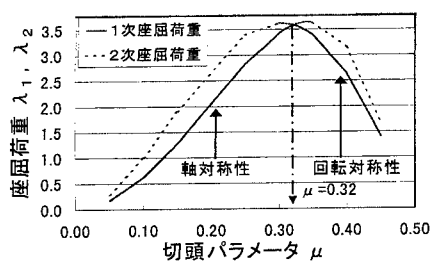


図-4 解析結果

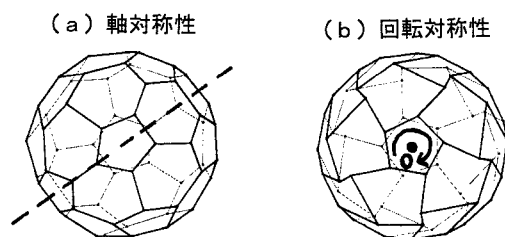


図-5 座屈時の変形モード

間には、 $\mu = 0.32$ のとき $\lambda_1 = 3.5805$ （無次元量）の極大点を持つ非線形の関係が存在するという結果を得た。同一材料・同一条件で解析を行ったにもかかわらず、構造物の形態により座屈耐荷力に大きな差が生じ、ほぼ正五角形と正六角形から成る切頭二十面体構造である $\mu = 0.32$ のとき、最大の座屈耐荷力を発揮することが分かった。

(2) モードスイッチング

座屈時の変形モードに着目すると、 $\mu = 0.32$ を境界点として、図-5(a)に示すように破線を対称軸として変形する軸対称性を保持する変形モード（ $\mu < 0.32$ のとき）から、図-5(b)に示すように原点 O を中心に回転変形する回転対称性を保持する変形モード（ $\mu > 0.32$ のとき）にモードがスイッチングする現象が得られた。

(3) 土圧への適用例

図-6に示すように、幅 B 、深さ H の鉛直溝を掘削し、ここに切頭二十面体トラスドームを布設し、土を埋め戻したとき切頭二十面体トラスドームに作用する土圧を求め、座屈に対する評価を行う。ここで、土は均質等方性である場合を考え、土の単位体積重量 $\gamma = 1.5(\text{tf}/\text{m}^3)$ 、内部摩擦角 $\phi = 30^\circ$ とする。切頭二十面体トラスドームの大きさ b に対して、掘削幅 B を $b, 2b, 3b$ と変化させ、それぞれの掘削幅における掘削深さと土圧との関係を図-7に示す。本解

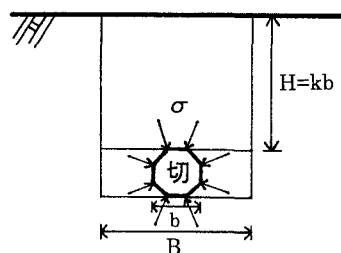


図-6 切頭二十面体トラスドームに作用する土圧

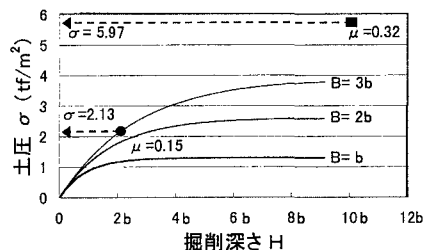


図-7 掘削深さと土圧の関係

析で得られた座屈耐荷力を土圧に換算すると、切頭パラメータ $\mu = 0.15$ のとき土圧 $\sigma = 2.13(\text{tf}/\text{m}^2)$ で、 $\mu = 0.32$ のとき $\sigma = 5.97(\text{tf}/\text{m}^2)$ で座屈が起こる結果が得られた。図-7より、掘削幅 $B = 3b$ の場合を例に挙げると、 $\mu = 0.15$ のとき、掘削深さ $H = 2b$ 付近で座屈が生じるのに対して、 $\mu = 0.32$ のときには、掘削深さ $H = 10b$ 付近でも座屈が生じる心配はない。同一材料・同一条件であるにもかかわらず、構造物の形態によって適用範囲が大きく異なることが分かる。

5. おわりに

本解析より、地下空間における切頭二十面体トラスドームが最大の座屈耐荷力を発揮する最適な構造形態は、ほぼ正五角形と正六角形から成る $\mu = 0.32$ のときであることが分かった。今後の課題として、要素のモデル化をトラス要素ではなく、例えばシェル要素などで解析範囲を非線形問題まで考慮することにより、座屈後の挙動や地下構造物への適用の妥当性をさらに検討することなどが挙げられる。

参考文献 1) 福本 秀士：土木学会編 新体系土木工学 9 構造物の座屈・安定解析，土木学会，pp.1-25，1982. 2) 土木学会編：座屈設計ガイドライン，土木学会，1987. 3) 河野 一郎，八木 則男，吉国 洋 編著：土の力学，技報堂，pp.139-157，1990. 4) 「化学」編集部編：C₆₀・フラーレンの化学，化学同人，pp.24-33，1993.