

I-23 エア・ビーム構造の変形性状について

北海道大学工学部 正員 林川 俊郎 J R東日本(株) 正員 渡部 太一郎
 清水建設(株) 正員 小野 武彦 清水建設(株) 正員 小野 定
 清水建設(株) 正員 小原 由幸 北海道大学工学部 正員 上田 多門
 北海道大学工学部 正員 角田 典史雄

1. まえがき

空気膜構造物は、その内部に空気圧をかけることにより、剛性が得られる構造形式である。中でも、エア・マットあるいはエア・ビーム構造物は、その軽量さから様々な構造形態に比較的容易に対応でき、架設、維持管理、撤去等が簡便である、という利点を有している。そのようなことから、例えば、モルタル吹き付け作業による粉塵が問題となっているNATM工法において、エア・マットをコンクリート打設時における型枠として利用する方法が考えられている。また、その軽量、簡便性ゆえに、今後各種空間確保のために使用される可能性が大である。そこで本報告は、トンネル工事におけるコンクリート打設時の型枠として、エア・マットを使用した場合を想定し、2次元梁要素モデルについて検討する。さらに、せん断変形と幾何学的非線形性を考慮したエア・ビーム構造の変形性状とその変位を軽減するための対策について考察する。

2. エア・ビームの断面諸元の算定

エア・ビーム構造物においては、通常の鋼構造物に比べて、その膜材としての剛性が得られても、構造物全体から見た梁としての見かけの剛性を算出するのは、容易でない。よって、エア・マット理論とTimoshenko梁理論との対応を考え、これにより、エア・ビームの梁としての剛性およびTimoshenko梁理論においてその評価が重要となる有効せん断係数 k の算定を行った。

まず、図-1のように、エア・マットの断面において、変形後の落とし糸の x 方向および y 方向の傾斜角を α 、 β と置く。このとき、奥行き方向に一樣な荷重を受ける、一方向に単純支持されたエア・マットの断面力は、 y 方向の影響を無視できるので、奥行きを b とすると、次式(1)のように導かれる。

$$Q_x = ph(\partial W / \partial x - \alpha) \cdot b, \quad M_x = (h^2/2) \cdot C_x (\partial \alpha / \partial x) \cdot b, \quad C_x = tE_x / (1 - \nu_x \nu_y) \dots \dots \dots (1)$$

一方、図-2のTimoshenko梁に関するせん断力および曲げモーメントは、次式のようになる。

$$Q = GkA(\partial w / \partial x - \phi), \quad M = EI(\partial \phi / \partial x) \dots \dots \dots (2)$$

以上の式(1)、(2)において、 $\phi \approx \alpha$ と近似することにより、 E 、 G 、 k は、次のような式として表される。

$$E = C_x b h^2 / 2I, \quad G = E / 2(1 + \nu), \quad k = p b h / G A \dots \dots \dots (3)$$

ここで、 k はTimoshenko梁理論で仮定された一樣せん断応力をもつ物体が、実際のせん断応力分布をもつ物体にひずみエネルギーのレベルで等しくなるように補正する係数で、有効せん断係数と呼ばれているものである。

3. 解析結果

数値計算例としては、奥行き方向に一定荷重を受けるエア・マットから、有限な奥行き $b=100\text{cm}$ 、高さ $h=30\text{cm}$ のエア・マット薄肉断面を取り出し、梁断面としてモデル化した。断面積 A 、断面二次モーメント I は、薄肉断面として算出し、式(3)を用いて E 、 G 、 k を求めた。解析する構造としては、以上の断面を持つ三角形屋根及び放物線形屋根の山型ラーメンについて行った(図-3)。なお、エア・マットの膜としての弾性係数は、 $E_x=800\text{kg/cm}^2$ 、ポアソン比は $\nu=0.5$ である。

これらの構造について、Timoshenko梁の剛性マトリックスに幾何学的非線形性を加味し、荷重増分法により非線形解析を行った。図-4、5にCase A、Cにおいて、内圧 p の値を変化させたときの節点19の荷重-変位曲線を示す。また、図-6に内圧 $p=0.10\text{kgf/cm}^2$ における、Case B、Cの荷重-変位曲線を示す。いま、エア・ビーム構造の変位が急速に増大して発散するおよそその荷重の値を耐荷力と呼ぶことにすると、コンクリート打設時の型枠として、エア・マッ

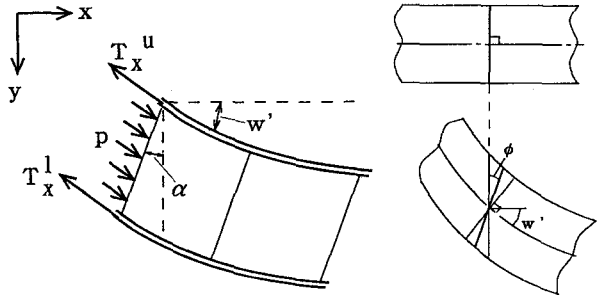
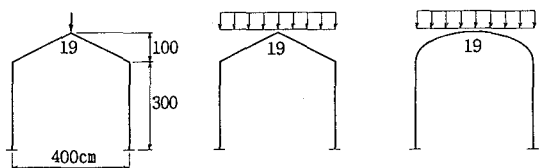


図-1 エア・マットの x 方向断面力

図-2 Timoshenko梁



Case A

Case B

Case C

図-3 荷重載荷状態

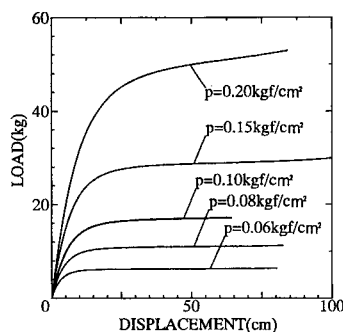


図-4 荷重-変位曲線(Case A)

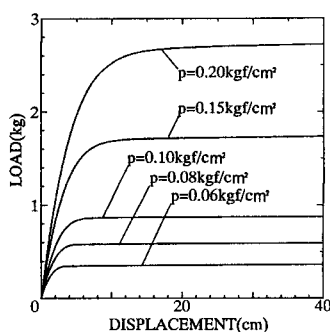


図-5 荷重-変位曲線(Case C)

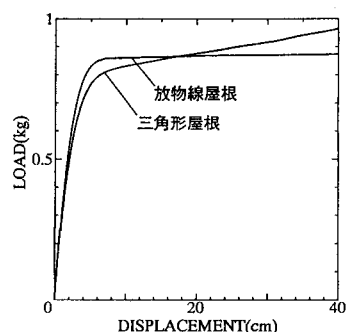
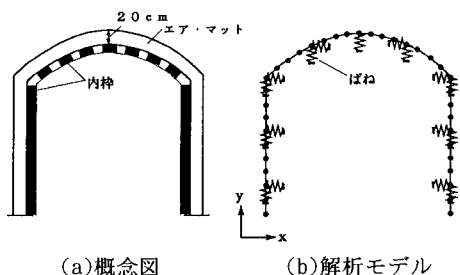


図-6 荷重-変位曲線(Case B, C)

トを単独で使用することは、困難であることがわかる。そこで、エア・マットの内枠として、何らかの補剛材を使用した場合を考える。使用するエア・マットの膜としての弾性係数は $E_x = 2506.6 \text{ kg/cm}^2$ 、ポアソン比は $\nu = 0.5$ 、膜厚は $t = 0.056 \text{ cm}$ とした。また、取り出したエア・マット断面は、奥行き $b = 100 \text{ cm}$ 、高さ $h = 20 \text{ cm}$ である。解析は図-3のCase Cの場合について行った。エア・マットに内枠を設けた場合のモデル化としては、図-7のように各節点において、x方向、y方向に等しいばね定数 k を導入することにより解析を行った。



(a)概念図 (b)解析モデル

図-7 内枠のモデル化

結果は、図-8に内枠のばね定数を様々に変化させ、節点19の荷重-変位曲線として示した。なお、内圧 p は、 0.35 kg/cm^2 とした。また、前述のように、変位が急速に増大する荷重を耐荷力として、内枠のばね定数を変化させて、図-9のように表した。同図より、内枠のばね定数を増加させると、かなりエア・マットの耐荷力が増大するのがわかり、内枠を設けることにより、コンクリート打設時の空気型枠としての使用が可能になるものと思われる。

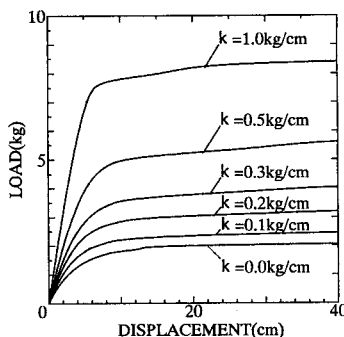


図-8 荷重-変位曲線(Case C)

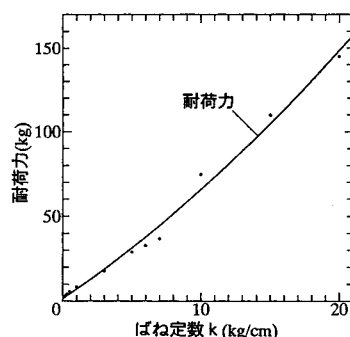


図-9 耐荷力に与える内枠の影響

4. あとがき

本報告は、エア・ビーム構造物の大変形解析手法の一提案であるとともに、トンネル工事における空気型枠としてのエア・マットの適用性に関して、考察を行ったものである。本解析で得られた結果より、エア・ビーム構造物の剛性、崩壊荷重に与えるせん断変形の影響はかなり大きいものであることがわかった。また、内圧 p の値が大きくなると、式(3)より有効せん断係数 k の値が大きくなり、これにより、エア・ビームの変形状に占めるせん断変形の割合が小さくなる。さらに、エア・ビームの梁としての剛性が大きくなると、変位は小さくなり、その耐荷力はかなり増大することがわかった。しかしながら、耐荷力の値を見てもわかるように、エア・マットを単独で、コンクリート打設時の型枠として使用するのは困難である。よって、何らかの補剛材を内枠として設けるなどの工夫が必要であると思われる。

(参考文献)

- 1) 永谷秀樹, 瀬川信哉, 遠藤典男, 三井康司, 笹川明: エア・ビーム構造物の簡易数値解析手法に関する研究, 日本建築学会構造系論文報告集, 第449号, pp. 133~141, 1993.
- 2) 林川俊郎, 中村範一: せん断変形を考慮したエアビームの曲げ解析, 土木学会北海道支部論文報告集, 第49号, pp. 1~4, 1993.
- 3) 前田幸雄, 林正, 中村守: 増分法による平面骨組構造物の大変形解析の加速計算法, 土木学会論文報告集, 第223号, pp. 1~9, 1974.
- 4) 藤谷義信: 薄肉はり構造解析, 培風館, 1990.