

バクミンスターフラーレン構造を適用したアーチ橋の設計試案

正会員 ○秦 誠一

広島大学 正会員 佐藤 誠 有尾 一郎

1. 本研究の目的 対称安定なドーム構造物の中でも高次の対称性を持つバクミンスターフラーレン構造に注目する(図1参照)。バクミンスターフラーレン構造は、対称性の性質から応力を均等に分散させるため、軽量かつ耐荷力に優れた構造物である。本研究は、バクミンスターフラーレン構造の特性を利用し土木構造物に応用するという観点から、この構造を広幅員のアーチ橋に適用することを試みる。アーチ橋に応用することで、橋軸方向と橋軸直角方向ともに曲線となり、広い空間を持つ橋梁となることが想像できる。今までの人や車が通過するためだけの直線的要素の強い橋梁とは異なり、人が集い、憩う空間的要素を持つランドマーク性の強い橋梁を造ることを目的とし、優れた機能性を持ち、かつ景観の良さを兼ね備えた橋梁の設計試案を行う。

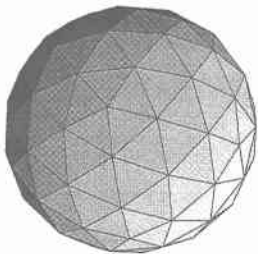


図1. Buckminsterfullerene

2. バクミンスターフラーレン バクミンスターフラーレン(切頭二十面体トラス構造)は、有機化学の分野で最も安定な籠状構造であるとされている。炭素原子 60 個が結合したちょうどサッカーボールのような C_{60} の形状を持つ。バクミンスターフラーレンは、60 個の頂点と正五角形が 12 個、正六角形が 20 個の 32 個の面をもつ切頭二十面体である。バクミンスターフラーレン構造の主な力学的特徴として主に、球に近い形態を持つということと、多くの対称性を持つ(120 個の独立な対称操作)ということが挙げられる。

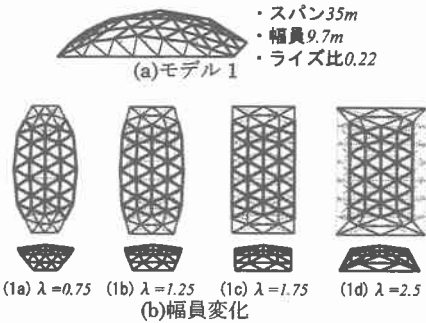


図2. モデル1と幅員変化

3. 解析方法 バクミンスターフラーレン構造を応用したアーチ橋(フラーレン系アーチ橋)を、汎用構造解析プログラム MARC によって構造解析を行い、他の橋梁モデルと比較を行った。バクミンスターフラーレン構造は球に近い形状なため、その一部を応用した橋梁は、広幅員において優位性を持つと考えられる。解析条件として、幅員変化による耐荷力、たわみの挙動を調べる。モデル1およびモデル2における形状変化のパターンを図2および図3に示す。幅員変化によるパラメータを λ とする。バクミンスターフラーレンから取り出したそのままの形状を用いたフラーレン系アーチ橋の幅員を基準に $\lambda=1$ とし、 $\lambda=0.5\sim3$ と変化させた場合について解析を行う。フラーレン系アーチ橋は幅員を変化させるとともに、バクミンスターフラーレン構造の特徴である正三角形に近い三角形のままで形状も変化させなくてはならない。そのため、幅員が変化しても図の太く実線で記した部材によって構成されるトラスを正三角形に近い三角形に保つように変化させた。モデル2では、格間長が変化するためそれに合わせ構成を変える。幅員変化においてライズ比、スパンを一定のまま変化させる。モデルは全てトラス要素で設計した。荷重条件には死荷重+活荷重(L-14 荷重)とし、影響線により最大部材力、最大たわみを発生する位置に載荷した。

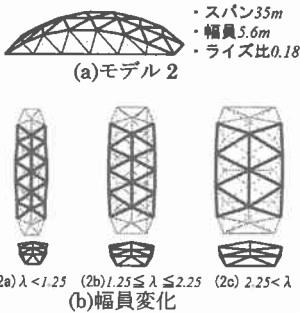


図3. モデル2と幅員変化

表1. 各モデルの部材数

・モデル1

フラーレン系アーチ橋	164
直弦ワーレントラス橋	119
ランガートラス橋	119
単弦2ヒンジアーチ橋	70

・モデル2

	$\lambda < 1.25$	$1.25 \leq \lambda \leq 2.25$	$2.25 < \lambda$
フラーレン系アーチ橋	99	83	67
直弦ワーレントラス橋	103	91	77
ランガートラス橋	105	91	77
単弦2ヒンジアーチ橋	60	50	40

4. 解析結果

4.1 モデル 1 モデル 1 の幅員パラメータ λ と自重, 最大部材力, 最大たわみ関係を図 4 に示す。フラーレン系アーチ橋は, 幅員変化に伴い上横構の形状があまり変わらないという特異な形状変化をする。そのため, 幅員が狭い時は床面積あたりの自重が大きいが, 幅員が広くなるにつれて自重は比較対象モデルに比べ小さくなる。図 4(a) の結果から, $\lambda=2$ 付近でフラーレン系アーチ橋の自重は直弦ワーレントラス橋, ランガートラス橋とほぼ等しくなり, それ以後幅員が広くなるにつれて自重は小さくなる。図 4(b) は幅員 λ と部材力の関係を示し, フラーレン系アーチ橋に発生する最大部材力は $1 < \lambda < 2$ の範囲で直弦ワーレントラス橋より小さく, $0.75 < \lambda < 3$ の範囲でランガートラス橋よりも小さい。幅員がこれらの範囲ではフラーレン系アーチ橋は適用範囲にあると言える。しかし幅員が $\lambda=1.75$ を越えた後, 急激に部材力が大きくなっている。これは形状の変化によるものと考えられる。モデル 1 は, 幅員が $\lambda < 1.75$ と $\lambda > 1.75$ では, 形態の変化が異なる。そのため $\lambda < 1.75$ では, 部材にかかる力が均等に分散されていたが, $\lambda > 1.75$ では, その均等が崩れ, 偏心力が大きく作用したと思われる。図 4(c) は, 幅員とたわみの関係を示している。幅員とたわみの関係についても部材力とほぼ同様なことが考察できる。これらの結果よりモデル 1 では, 経済的でなおかつ耐荷力に優れているのは $\lambda=2$ の付近のみとなった。

4.2 モデル 2 モデル 2 において幅員変化させた解析結果を図 5 に示す。 $\lambda=1.25, 2.25$ の時に, 自重, 部材力, たわみ値が変化するのは図 3(b) のように構成する形態が変化するためである。自重は幅員が $\lambda=1.25$ より広くなるにつれて直弦ワーレントラス橋, ランガートラス橋よりも小さくなる。さらに部材力, たわみについても $\lambda > 1.25$ であれば他のモデルより値が小さくなる。これは床面積あたりの自重が広くなるにつれて小さくなるということと, 幅員が変化しても力が均等に分散されたことによるものと考えられる。この結果から, フラーレン系アーチ橋モデル 2 は $\lambda=1.25$ より広い幅員の場合には, 直弦ワーレントラス橋, ランガートラス橋よりも経済性, 耐荷力において優れていると言える。

4.3 横荷重 横荷重として, 単位荷重を橋軸直角方向に加えたところ, フラーレン系アーチ橋モデル 1 においては, 部材力, たわみ共に比較対象モデルよりも大きな値を示した。モデル 2 においては, 他のモデルとの差はあまり見られなかった。

5. 結論 従来ある橋梁モデルと比較するとフラーレン系アーチ橋はモデル 1 では $\lambda=2$ 付近のみに優位性が得られたのに対し, モデル 2 では $1.25 < \lambda$ で優位性が得られた。このことから, フラーレン系アーチ橋はモデル 2 の方が実用性が高いと言える。また, 表 1 より, モデル 1 は部材数や節点数の多さということからも, あまり経済的とは言えない。一方, モデル 2 は部材数や節点数についても他のモデルと差はない。これらの結果より, 本研究では, モデル 2 の幅員が $\lambda > 1.25$ の時の形態を, 軽量かつ耐荷力に優れた 理想的なフラーレン系アーチ橋として提案する。

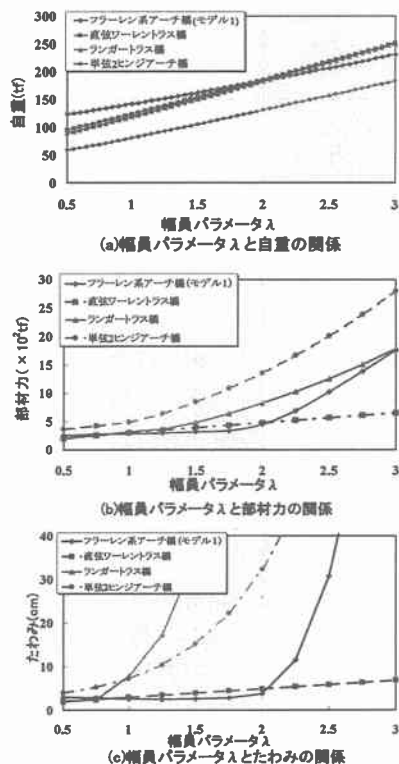


図 4. モデル 1 の結果

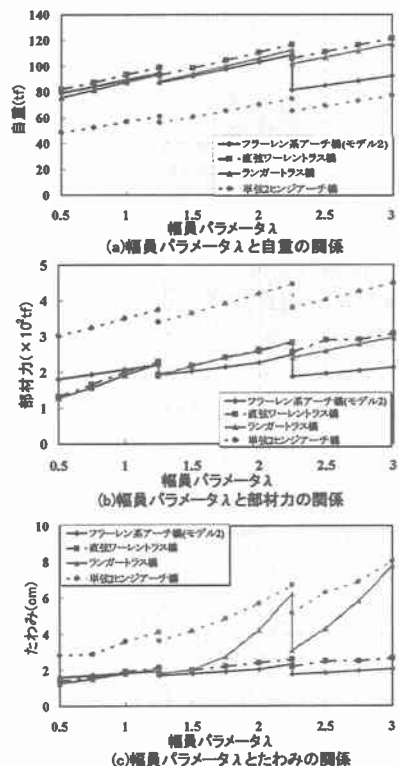


図 5. モデル 2 の結果