

7. まとめ

チューブ形式橋梁（桁橋）WGの活動の流れは、数ある桁橋形式からチューブ形式に着目し、考えられるチューブ形式橋梁を提案し、「パイプチューブ形式」、「ケーブルチューブ形式」、「トラスチューブ形式」構造を抽出し、各構造の検証および歩行者への振動特性の確認を行い、景観検討を実施した。

今回の一連の新形式橋梁の検討は、周辺環境に見合った橋梁を選定する方式ではなく橋梁の新規性という観点から形状の具現化を検討し、構造の成立性を確認した上でその形状に見合った景観特性を示す方式をとっている。そのため、橋梁形式の選定で必須事項である経済性や施工性などの要素は具体的には検討せず、橋梁技術者の常識の中で適用が可能と思われる範囲でそれらの要素を考慮することになっている。

各WGメンバーは新形式橋梁を考案・研究する環境がないため、施行錯誤する状況が多々あったが、なんとか報告書の形にすることができた。

報告書の締めくくりとして、3つの形式の“形式比較”を行い、その特徴を整理し、その上で各形式に携わったWGメンバーによる感想を記載することでまとめとしたい。

7-1. 形式比較

今回検討を実施したチューブ橋（3案）の特徴および構造特性等を比較する。この形式比較は当WGの趣旨に沿って「新規性」、「景観性」、「振動使用性」、「施工性」、「維持管理」、「コスト（初期）」、「今後の改善点」に設定した。また、各項目に対する評価は評価基準を定めず、3案に対する相対的な比較を中心にWGメンバーの意見を反映して決めた。

なお、形式比較におけるWGメンバーの意見は添付の電子データに格納したので興味があれば一読ください。

	パイプチューブ形式	ケーブルチューブ形式	トラスチューブ形式
鳥瞰図	<p>主部材：鋼管φ500×10本</p> <p>リングダイヤ 鋼管φ500 φ4900</p>	<p>主ケーブル：φ28×24本</p> <p>ハンガーケーブル 主ケーブル 6000</p>	<p>主部材：鋼管φ300×6本</p> <p>鋼管φ300 5200</p>
新規性	<p>フィーレンデル橋に近い構造であるが、新規性は高い。</p> <p>○</p>	<p>双曲面形状によるケーブルを主体としており、新規性は高い。</p> <p>◎</p>	<p>トラス橋に対して新規性はあるが、基本構造はトラス橋に近く、新規性は他の形式に比べて低い。</p> <p>△</p>
景観性	<p>開放感が他形式に比べて低い。重量感があるため、都市部であれば比較的、周辺景観との調和が図りやすい。ガラスのような底があり、雨除けとしての機能もある。</p> <p>△</p>	<p>シンボル性が高く、開放感があり、周辺景観との調和が図りやすい。</p> <p>◎</p>	<p>パイプチューブ形式よりは解放感がある。重量感があるため、都市部であれば比較的、周辺景観との調和が図りやすい。ガラスのような底があり、雨除けとしての機能もある。</p> <p>○</p>
振動使用性	<p>重量が重く、歩行者に与える振動の影響は少ない。</p> <p>◎</p>	<p>他形式に比べ振動は大きく、歩行者に不安感を与える可能性がある。</p> <p>△</p>	<p>歩行者に与える振動の影響は少ない。</p> <p>○</p>
施工性	<p>鋼管部材やリング部材は、輸送制限上分割する必要があり、継手構造や架設工法に工夫が必要と考えられる。またトラス形式に比べ、部材数は少ないものの1部材の重量は大きくなる傾向にある。</p> <p>○</p>	<p>各部材が単独で自立せず、ケーブルの張力導入のため、特殊な架設工法や特殊な機材・設備が必要となることが予想される。</p> <p>△</p>	<p>製作・施工性は、一般的なトラス橋に近いと考えられる。トラス橋と同様に、部材数は多くなるものの1部材の重量は小さくすることができ、小規模な架設機材で施工することも可能と考えられる。</p> <p>○</p>
維持管理	<p>主構造部分は目視点検等可能なため、維持管理性は良好と言える。</p> <p>◎</p>	<p>ケーブル定着部は狭隘となるため、ケーブルの維持管理や交換を勘案すると、他形式に比べ維持管理は低いと考えられる。</p> <p>△</p>	<p>部材数が多く、継手部などで狭隘となる箇所が発生するため、維持・管理時には注意が必要である。</p> <p>○</p>
コスト(初期) ※参考	<p>部材数は少ないものの鋼材重量は大きく、製作費は他形式に比べ高くなる傾向にある。</p> <p>△</p>	<p>他形式に比べて鋼材使用量が少なく、製作費は少ないと考えられる。ただし、ケーブル購入費やケーブルアンカー基礎など他形式にはない工費が必要であり、また施工性も低いため、トータルでは経済性は低くなると思われる。</p> <p>△</p>	<p>他形式に比べて部材数は多くなるが、チューブ形式よりも鋼材重量は少くなるものと予想される。また、比較的施工性が良いため経済的であると考えられる。</p> <p>◎</p>
今後の改善点	<p>鋼管およびリングダイヤの配置バランスを調整することで、各部材のコンパクト化を行い、開放感の向上ならびにコスト削減を図る。</p>	<p>施工計画を工夫して、架設費のコスト削減を図る。またケーブル部材の検討や張力管理方法など細部条件を詰めていくことで、維持管理や振動使用性にも適した構造を提案することが可能と思われる。</p>	<p>トラス部材の配置をさらに検討することで、経済性や景観性をより向上させることが可能。また補剛材等の床組構造を工夫することで、より一層、新規性が強調されると思われる。</p>

7-2. パイプチューブ形式

パイプチューブ構造の構造特性を具体的に示した。

リングダイア形式は、チューブ形式橋梁の定義で示した条件「歩行者に閉塞感を与えない」から、鋼管をよりコンパクトにできる「箱形式」を採用した方が良い。また、リングダイアの配置を工夫することでも鋼管のコンパクト化が可能であった。ただし、「3-5.鋼管及びリングダイア剛結部の構造検討計算」でその計算例を示したものの、実際の応力伝達方法の妥当性および製作性の確認はできておらず、今後の課題として残る。

適用可能支間長の検討では、鋼管本数増に頼る必要はあるものの、閉塞感を感じない程度の鋼管本数で支間長 50m 程度までは適用可能であることが確認できた。これは、「6.景観検討」で示したパース図で確認していただきたい。

また、本構造は、全体座屈に対して十分な耐力を有することが確認できたが、振動使用性においては、共振の可能性のある 1.5~2.3Hz の範囲内ではあるものの、本橋の死荷重が 20.0kN/m 以上であることから、歩行者へ振動を与える影響は低いと判断した。なお、本形式の採用に際しては、振動使用性に対する検討を十分に行っていただきたい。

7-3. ケーブルチューブ形式

テンセグリティ構造からケーブル構成の概念を導き具現化を試みた。具現化までを回想すると、紆余曲折した連続にあったように思う。当初、ケーブルチューブ形式の検討にあたり、コンセプト「歩行者へ不快感を与えない、チューブ状の新桁橋」を定めて、ケーブルとチューブの組合せの構造を模索した。斬新であり、かつ、構造成立性をもつ形式の発案は容易ではなく、日常的に設計している汎用性の高い一般的な橋梁が提案に対して常に邪魔をした。時には、ハニカム構造の検討やFRPの特性を把握するなどの本筋から外れて遠回りしたことも多々あった。なんとか双曲面ケーブル構造を用いた新形式歩道橋の形状に至った試作は、支間60mのケーブルチューブ形式に対して、高さ15mのリングを有する構造であり、実際に想像するとなんとも滑稽な形状であった。その時の検討から現在の形状に至り、構造の成立性を示すことができたのはなんとも感慨深いものである。

概略検討段階であるため、主ケーブルとリングの接続部の詳細構造の検討、下部工への影響（他礎など）、レベル 2 地震動対応時の挙動の確認、施工方法の検討（張力調整、現場連結方法）、維持管理の考え方、経済性などたくさんの課題が挙げられる。施工計画などの概略検討レベルをもう少し上げていければ、形状の検証に近づくとともに、上記の課題が解決される方向に近づくと考えられる。

また、提案した橋梁が周辺景観にどのように映えるかをパース図やCGを用いて検討したが、意外にも周辺環境の中では主ケーブルが目立たず、端支点リングおよび中間リングが目立つ特徴がある橋梁であることがわかった。歩行者の視点で動画を作成したが、視覚的には線形状のトンネルを通過するなどのおもしろさを感じた。添付の電子データに動画を格納しておくので、パース図だけでなく、動画も見ていただきたい。

最後に成果を論文名「双曲面ケーブル構造を用いた歩道橋のコンセプトデザイン」として 2012 年、日本鋼構造協会に投稿し、発表させていただいた。論文発表に協力して頂いた各位にはこの場でお礼を申し上げたい。

7-4. トラスチューブ形式

トラスチューブ構造の構造特性を具体的に示した。

一般的なトラス橋梁との違いは、トラス材をチューブ状（同心円状）に配置していることが上げられる。また各骨組み部材は、視界の広がりと経済性を考慮して鋼管断面とした。

概略検討では、各部材の鋼管径は $\phi 300$ で支間長 50m 程度まで適用可能であることが確認できたため、他形式と比べても歩行者に閉塞感を与えることは少ないと考える。

なお、概略検討の解析では、面外方向の断面力が若干作用する結果となった。そのため、本形式をより現実とするためには、実際の応力伝達方法の妥当性の確認や格点構造が課題と考えられる。また、軸力や曲げが卓越する中間支点部の弦材・端支点部の斜材や垂直材に鋼管径 $\phi 300$ を使用し、それ以外の部材は鋼管径 $\phi 250$ を使用するなど部材位置毎の最適断面を使用することで、さらに経済性に対して合理的な構造とすることが出来ると考えられる。