

南宋時代における石造拱橋の扁平率に関する調査分析

西日本工業大学 大学院環境システム専攻 学生員 ○呉 宇宸

西日本工業大学 工学部土木工学系 正会員 濱本 朋久

1. はじめに

現代における橋梁技術は 18 世紀に研究された古典構造力学に関する理論の躍進が背景となっている。また、地域と時代による橋梁技術の変遷を理解することは、歴史的価値が高い橋梁を再評価することになる。これらは過去と現在と未来を繋ぐことになり、橋梁工学の地位向上に必要であると考えられる。さらに、古典的な橋梁形式である拱橋の歴史的変遷も重要である。一方で、橋梁形式は形態的に多様であり、その多様さは地理的・環境性・国民性・技術など様々な要因に起因すると考えられる。土木分野に携わる技術者が、自ら設計した建造物に史的必然性と技術美を創造することは、社会一般の橋梁に対する認識に変化を促すことができる。その効果が地域振興の循環となって土木工学全体の地位向上に貢献する可能性が考えられる。そこで本調査分析では、京築地区の林道に石造拱橋を建造する計画の基礎資料として、中国における南宋時代に建設された歴史的価値が高い石造拱橋を調査分析し、扁平率（スパンライズ比）に着目した中国と日本の比較検討を実施する。

2. 拱橋の構造特性

図-1 に示す拱橋（Arch Bridge）の構造特性として、力学的な原理について言及する。弓なりの拱形状のリブ（Rib：橋軸に平行で、鉛直面内にある独立した拱リング）を用いて荷重を伝達する橋梁である。外力が作用すると、拱部材の両端支点で、鉛直力および拱部材を押し広げようとする水平力が発生する。拱部材は、これらの合成力である圧縮力が支配的な部材力となる。一般的な桁橋では、鉛直荷重に対して水平力を発生させる機構がないため、拱橋の部材断面は圧縮応力と引張応力により検討されている。

3. 南宋時代における石造拱橋の構造特性

中国に現存する歴史的な石造拱橋に関する調査分析を実施した。まず、中国最古の石造拱橋である趙州橋¹⁾を、写真-1 に示す。架橋は 605（大業元）年頃の隋時代であり、河北省石家荘市の郊外に建設された趙州橋の橋梁形式は、単純オープンスパンドレル形式である。構造諸元として、主拱リングの拱支間： L は 37.47m、拱矢： R は 7.05m である。これより、趙州橋の扁平率（ R/L ）は 0.19 であり、非常に扁平な拱形状である。また、構造特性は、主拱リングの上に 2 次拱リングを加えた設計である。2 次拱リングの支間はそれぞれ 3.81 m と 2.85 m である。これらにより、主拱リングの肩に 4 つの小さな 2 次拱リングをデザインすることで、石の部材を節約するだけでなく、橋梁本体の自重を軽減することで支点反力の軽減に寄与している構造力学的な設計技術が確認できた。さらに、豪雨による水位上昇時の防災対策とし、河積阻害率を低減している水理学的な設計技術も確認できた。次に、中国の江蘇省蘇州市において、南宋時代に建設された歴史的価値が高い石造拱橋として、写真-2 に示す

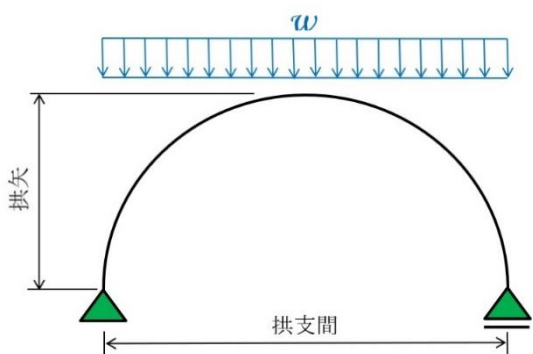


図-1 拱の構造モデル

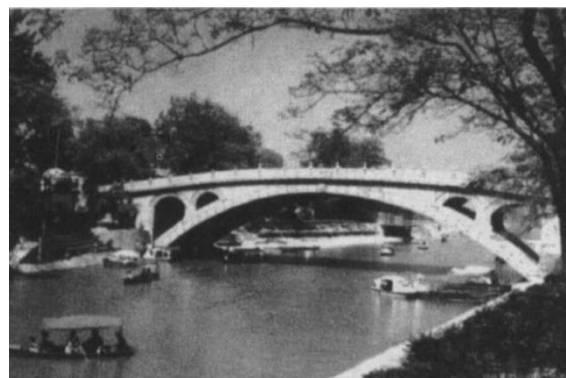


写真-1 趙州橋¹⁾

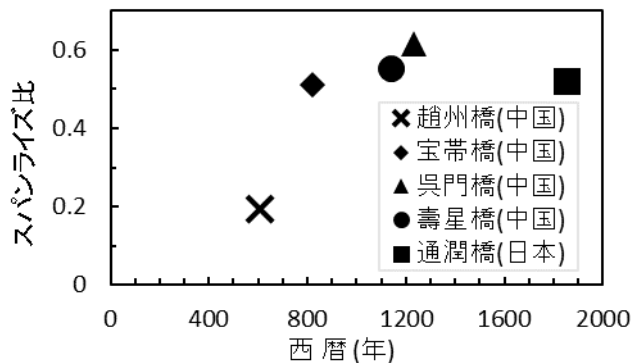
写真-2 壽星橋²⁾写真-3 宝帯橋¹⁾写真-4 呉門橋²⁾

図-1 扁平率（スパンライズ比）の比較検討結果

壽星橋²⁾・写真-3に示す宝帯橋¹⁾・写真-4に示す呉門橋²⁾を選定し、構造特性を分析した。まず、壽星橋は蘇州市にある鳳潭(池)の第四直河(運河)を渡河し、南宋時代の1140(紹興10)年に建設されている。本拱橋は、橋長18.00mの単石造拱形式である。構造諸元は、拱支間は4.70m、拱矢は2.60mである。また、宝帯橋は、蘇州市から杭州市に至る約100kmを結ぶ重要な道路橋である。隋朝の煬帝が建設した京杭大運河を渡河し、唐時代の819(元和14)年に建設されている。南宋時代の1232(紹定5)年に復建され、現在は江蘇省1級文物保護施設に指定されている。本拱橋は、橋長317.00m・幅員6.10mである53連多ヒンジ連続石造拱形式である。一般部の構造諸元は、拱支間は4.00m、拱矢は2.05mである。さらに、呉門橋は蘇州市に位置する蘇州城の南外濠を渡河し、北宋時代の1084(元豊8)年に建設され、南宋時代の1233(紹定6)年に再建されている。本拱橋は、橋長66.30m・幅員4.80mである単石造拱形式である。構造諸元は、拱支間は16.00m、拱矢は9.85mである。

4. 扁平率の比較検討および考察

扁平率に着目して、中国と日本の石造拱橋を調査分析した。ここで、1854(嘉永7)年に熊本県で建設された日本を代表する単径間石造拱橋である通潤橋を比較対象とした。通潤橋の構造諸元は、拱支間は11.40mで、拱矢は5.90mである。これより、通潤橋の扁平率は0.52である。扁平率の比較検討結果を、図-1に示す。これらより、石造拱橋の建設年代に違いはあるが、趙州橋の平坦性が非常に顕著であることが確認できた。これより、趙州橋の建設は、扁平率を小さくすることに挑戦した当時の土木技術者に敬意を表したいと考えられる。次に、南宋時代に蘇州市に建設された壽星橋・宝帯橋・呉門橋の石造拱橋における扁平率は、半円形状に近い結果となった。また、扁平率が半円形状になっている理由として、運河を航行する大型船舶の増加や船舶の衝突などが考えられる。さらに、半円形状の石造拱橋では、河積阻害率の増加により被災リスクは増加するが、蘇州市の架橋位置が運河や濠であることも扁平率に影響している可能性が考えられる。詳細な石造拱橋の構造検討は、今後の課題とする。

参考文献

- 1) 吳越編著：中国古橋，百花洲文艺出版社，南昌，2012.8.
- 2) 孔庆普：中国古橋志，东方出版社，北京，2020.10.