

㈱三英遊器具事業部技術顧問 正員 三品吉彦  
札幌市環境局緑化推進部造園課 北原良紀

### 1. はじめに

札幌市の平岡公園に架けられる木造歩道アーチ橋（図-1）につき、強度設計の照査に携わる機会があったので、得られた知見の概要を報告する。原設計はオランダの技術者によって実施され、DIN を主体とした基準によっている。照査は出来るだけ我が国の基準によるのが分かりやすいと考え、比較的最新の成果を網羅していると思われる『木構造計算規準』（日本建築学会）を主に参照した。

### 2. 本橋の材料と構造形式

本橋の材料である西アフリカ産のボンゴシ（別称エッキ、またはアソベ）は、珪素を含むため非常に堅く、耐久性にすぐれ、DIN および BS では耐久性1級（海中・湿地中において25年以上）に認定されていて、防腐処理を要しない（浸透しない）。また耐火性も高く、アスベストコンクリートと同程度とされている。

近年、接着による集成材が普及しつつあるが、ボンゴシ材の場合は接着性が良くないかわりに、材質の硬さから削り出し（圧入ジベル）による集成が効果的であって、本設計では主桁で3層、アーチ部材で8層の材を削り出しで合成した弾性合成部材を用いている。『木構造計算規準』に言う重ね梁であるが、同規準では単一材と比較した断面の有効度を単一の値に定めてそれを満足する圧入ジベルの間隔を計算するものとしており、任意のジベル間隔に対する有効断面の算定には DIN の規定を用いた。

本橋の面内構造としては3ヒンジアーチを採用している。面外方向には主桁とその横構によって荷重を端柱に伝達する機構としており、2本のアーチ部材の間には繋ぎ材を設けていない。すなわち、橋桁部では水平力を、またアーチ部では鉛直力を分担する構造としているが、両者の間における力の伝達機構はそう単純ではない。実際の挙動を予測するためには変形と軸力を考慮した立体骨組み解析が必要と思われるが、これを行わない場合、DIN 1052-1 ではアーチの軸力に起因する次のような力について、具体的な数値（係数）を与えている。

- ①面外方向に撓んだ場合にアーチ軸力の分力として横構に作用する水平方向分布荷重
- ②主桁を支えると同時にアーチの横方向座屈固定点となっている支柱に対して作用する座屈抵抗反力
- ③アーチの面内において座屈性向に抵抗するために部材内部に生ずる付加的な剪断力

### 3. 継手の構造と設計

本橋の継手は部材の集成方法と同じく削り出しを打ち込む構造であり、埋め込み鋼板を介することによって強度を増している。『木構造計算規準』では、ボルト接合の規定が理論的に整備が進んでおり、削り出しもその方向で統一されるように聞いているが、圧縮強度を基本としているため、繊維方向と繊維直角方向とは

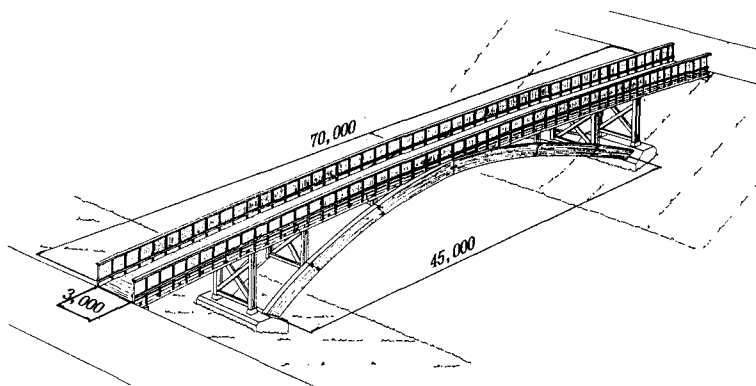


図-1 本橋の構造概要（透視図）

許容値に数倍の差がある。一方JISでは材の堅さを基準にとっており、したがって繊維方向と直角方向とは倍半分の差となっている。DIN は後者の立場をとっているが、破壊に対する安全率が適正に確保されていれば、許容応力度設計法を採用するかぎり後者が妥当と考え、『木構造計算規準』のJIS継手で照査した結果、3種類、計12ヶ所の継手について僅かながら変更が必要となった。

#### 4. 木造橋梁の可能性について

各種構造材料の力学的性能を、同じ重量で同じ長さの軸力部材を構成したときに許容される荷重で比較して表-1に示した。これにより、木材が許容耐力・断面剛性ともに他の材料に比肩し得るものであるとともに、材料を得るための消費エネルギーで見れば、他の材料に比べて格段に有利であることが分かる。

木材は植樹の難易や生長の速度の違いはあれ無限の再生産が可能であり、しかも環境への負荷が少ないことは表-1で示したとおりである。しかるに、土木の世界から『木』が殆ど忘れられているのは、生物であるために個体差があり、異方性が大きく、また一般に腐朽し易いことから、信頼性・耐久性の面で使いにくいためであることは理解できる。しかしながら、最近の技術の進歩によって、このような欠点がかなり改善されてきており、建築の分野で大規模な構造への応用が盛んになってきた。本橋のような打ち込みジベルによる材の集成は土木構造物の分野でも馴染みやすいのではないと思われる。

化石エネルギーの多用が地球的規模の環境問題を引き起こすことへの懸念が高まっている現在、いささか唐突な言い方かもしれないが、木橋は適当な年数で（例えば20年毎に）架け換えることを考えても良いのではないか。一度人手を加えた森林は、自然林とは異なって手を入れつづける必要があり、そのためには木材の恒常的な需要によって計画的な森林の維持管理を行う必要がある。ある支間長以下の橋梁は木造として定期的に架け換えることをコミュニティの行事とするようなことは成立しないであろうか。

#### 5. おわりに

橋梁の設計が一層機械化されていく中、今回の照査ではアーチの断面力算出を除いて構造力学の基本に立ち返ることが多く、新鮮な感じを受けると同時に、木に関する深い経験と幅広い知見が必要であることを痛感した。この点に関しては木橋構造全般についてご教示を賜った秋田大学教授の薄木征三先生、ならびに木材の接合について助言を頂いた木質構造研究所の堀江和美氏に深く謝意を表します。

表-1 各種構造材料の力学的性能、およびエネルギー消費量の比較

| 材 料 名  |                   | 許容 <sup>3)</sup><br>応力度 | 4)<br>比重 | ヤング 率              | 材料 100短当り諸元／許容荷重 |                 |     |         | エネルギー <sup>5)</sup> | エネルギー1000kWh当り  |         |
|--------|-------------------|-------------------------|----------|--------------------|------------------|-----------------|-----|---------|---------------------|-----------------|---------|
|        |                   |                         |          | ×10 <sup>8</sup>   | 辺長               | 断面積             | 荷重  | 断面剛性    | 消費量                 | 断面積             | 許容荷重    |
| 種 類    | 材 質               | kg/cm <sup>2</sup>      |          | kg/cm <sup>2</sup> | mm               | cm <sup>2</sup> | t   | t       | kWh/t               | cm <sup>2</sup> | t       |
| アルミニウム | 5083-O            | 700                     | 2.66     | 720                | 194              | 376             | 263 | 271,000 | 34,000              | 111             | 77      |
| 鋼 鉄    | SS41              | 1,400                   | 7.85     | 2,100              | 113              | 127             | 178 | 268,000 | 8,200               | 155             | 217     |
| コンクリート | 270k              | 75                      | 2.35     | 265                | 206              | 426             | 32  | 113,000 | 200                 | 21,300          | 1,600   |
| 木 材    | スギ <sup>1)</sup>  | 75                      | 0.33     | 70                 | 550              | 3,030           | 227 | 212,000 | 7                   | 4,330,000       | 325,000 |
|        | ホノキ <sup>2)</sup> | 200                     | 1.06     | 170                | 307              | 943             | 187 | 160,000 |                     | 1,350,000       | 270,000 |

1) 日本建築学会『木構造計算規準』による上級構造材。

2) DIN 1052-1 に定める樹種 3C のⅡ級品質材。

3) 金属は引張の、またコンクリートと木材は圧縮の基本許容応力度。なお、木材は繊維方向の値とする。

4) 木材は都立工業技術センターにおける試験結果の最小値。

5) 原材料の採取から構造材として現場に搬入されるまでに消費するエネルギー量。

l = 1,000

(bは辺長)

W = 100 kg

b

b

許容荷重比較のための想定部材諸元