

可動システムを有する歩道木橋の提案と試設計

Design for timber pedestrian bridges with a movable system

○上月 裕* 田畠 健太郎** 渡辺 浩***

KOUZUKI Yutaka, TABATA Kentaro and WATANABE Hiroshi

* 工修 熊本県阿蘇地域振興局企画調査課 (〒862-8570 熊本県阿蘇郡一ノ宮町宮地 2402)

** 修(工) 九州旅客鉄道株式会社 (〒812-8566 福岡市博多区博多駅前 3-25-21)

***博(工) 熊本大学大学院自然科学研究科 (〒860-8555 熊本市黒髪 2-39-1)

ABSTRACT Recently a lot of timber pedestrian bridges are constructed in the river park. However in the river park most of timber bridges are made of foreign timbers. Because in general homemade timbers are lighter than foreign timber, so when the bridge is flooded by rising water level, the bridge receives large load of buoyancy.

Therefore we use this idea to timber pedestrian bridges for using homemade timber in the river park, and propose the new form bridge which have a movable system. The result of investigation for its new form bridge shows that this bridge can be designed actually.

Keywords: 木歩道橋、可動システム、維持管理

timber pedestrian bridge, movable system, maintenance

1 序論

1.1 はじめに

現在、支間が数 m の歩道木橋は公園や遊水地またキャンプ場などの施設内に数多く存在しており、このような小規模の木桁橋は、現在約 1,000 橋以上あると言われている木桁橋の多くを占めると考えられる。これらの橋は高比重である外材で造られていることが多いが、それは、耐久性に対する期待に加えて、大雨により冠水した場合でも橋に作用する浮力の影響が小さいことも理由とされている。

熊本市の郊外にある「水前寺江津湖公園」は、写真-1 に示すように市民の憩い場を提供するのみならず、大雨時の遊水地的な機能も有している。この公園の園路には写真-2 に示すような木桁橋が 20 数橋架けられている。架設後、10 数年経過した現在、遊水地という使用環境の厳しさもあり、一部で腐朽が見られるようになっている。しかしながら、この公園の木桁橋は全橋とも桁下空間が小さく、主桁などの主要構造部分を点検することができない構造となっているため、点検や維持管理にも苦慮している状況である。

一方、冠水が予想される場所で、国産材の軽いという特徴を利用している木橋も存在する。たとえば、図-1 のように主桁と床板が河川の増水によって浮き上がり、意図的に流されるという流れ橋^①である。流れ橋では一般に、洪水時には、主桁と床板は流出するが、ワイヤーにつながれているため回収して再利用できるようにされている場合が多い。これらは、復旧時に点検・補修が行われており、洪水対策だけでなく維持管理も容易に行うことができるが、橋の流出後の復旧のための費用や労力が問題点となっている場合もある。

そこで本研究では、流れ橋のような流れに逆らわない柔軟な発想をもとに点検と復旧の容易さを併せ持つ、「開閉式の可動システムを有する木桁橋」を提案し、その問題点等について検討する

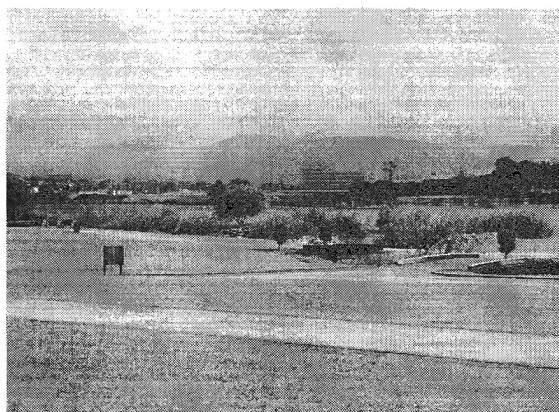


写真-1 遊水地機能を有する公園

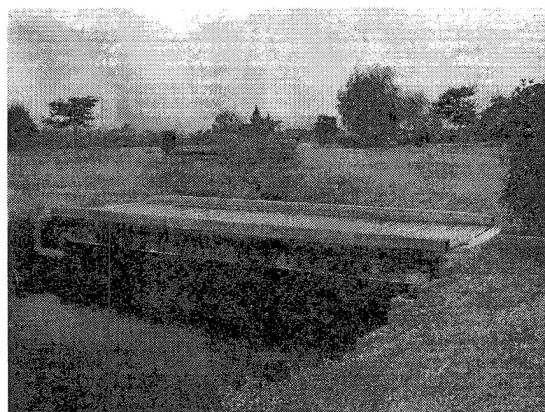


写真-2 公園内の桁橋

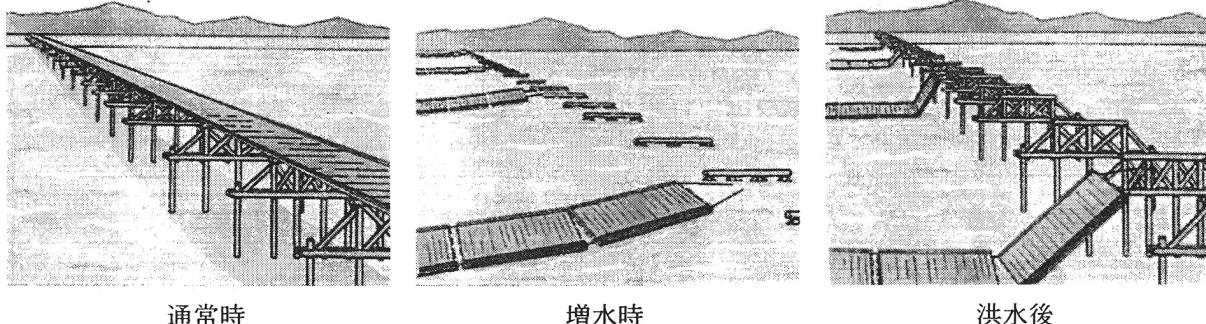


図-1 流れ橋のメカニズム²⁾

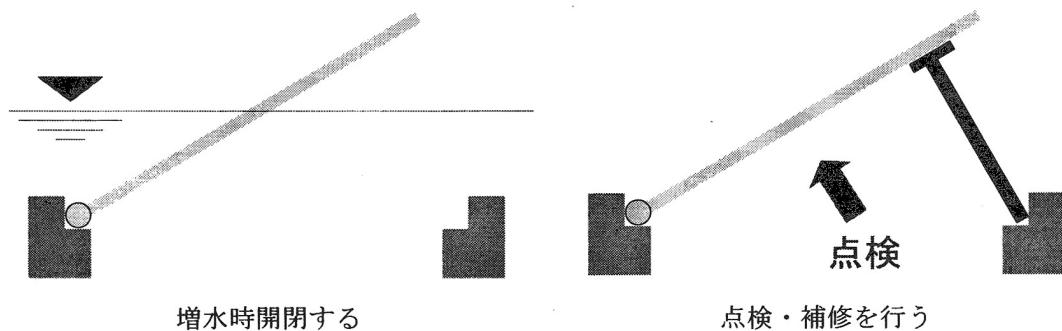


図-2 提案する可動式木橋の特長

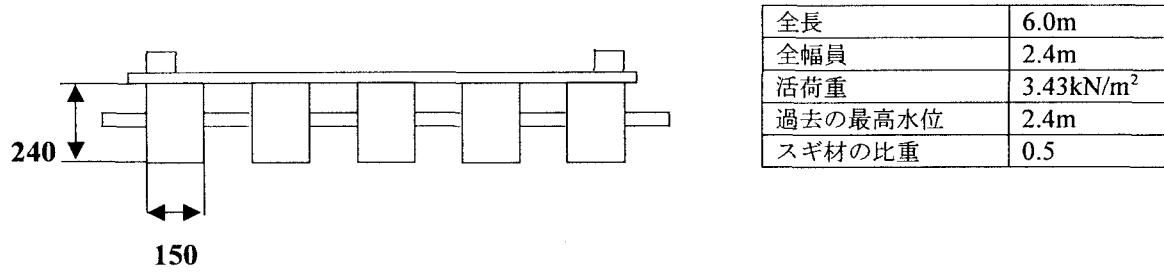
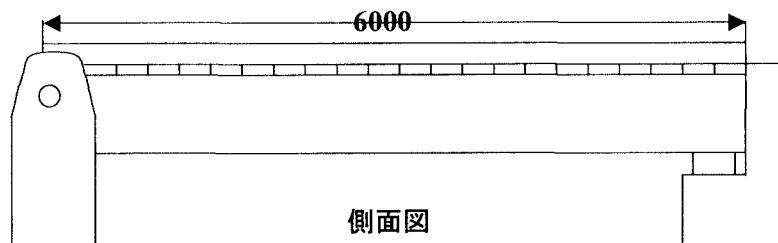
ことを目的とする。以下、この橋のことを提案橋と呼ぶ。

1.2 提案橋の概要と特徴

提案橋は、遊水地などに多く見られる支間が数mの桁橋を想定し、その構造は従来の桁橋のように、橋の両端を橋台に固定するものではなく、桁橋の片側をピン支点により橋を開閉可能な構造とするものである。これにより、図-2のように、河川の増水によって橋は傾斜し、浮力による下部工への負担を軽減することができると考えられる。また、従来の橋台固定式橋は桁下空間が小さく橋の点検が極めて難しい例も見られたが、この形式の桁橋は定期点検時に橋を跳開させる

表-1 各形式木橋の利点と欠点の比較

	従来の桁橋 (外材)	従来の桁橋 (国産材)	流れ橋	提案橋
支点の負荷	△	△	○	○
点検の容易さ	×	×	○	○
復旧費用	—	—	×	○
国産材の利用	×	○	○	○



断面図

図-3 提案橋の全体図

ことで、橋の主要構造部分まで容易に点検・補修を行うことができる。

このように、頻繁に冠水する架設地点においては、桁橋を開閉可能な構造にすることで、低比重である国産材の特徴を積極的に利用することができる。表-1 は提案橋と他形式の橋の利点と欠点を比較したものである。

2 提案橋の問題点の検討³⁾⁴⁾

2.1 概要

提案橋は、浮力を利用した可動システムであるため、通常の桁橋とは異なる検討を行う必要がある。そこで序論で述べた「水前寺江津湖公園」の木橋をモデルとして、増水による橋の静的な開閉挙動や支点の負荷、また、流れの影響などの検討を行う。図-3 は、前述の木桁橋と同一の橋長、幅員として設計された提案橋の全体図である。

材質はスギ材とした。木材の比重については、0.8³⁾を用いるのが一般的ではあるが、浮力を考慮する場合には比重を大きめに与えることが安全側になるとは限らないことから、スギ材の気乾比重に金物を考慮した現実レベルの値として 0.5 を用いた。なお、以後の検討では簡単のため断

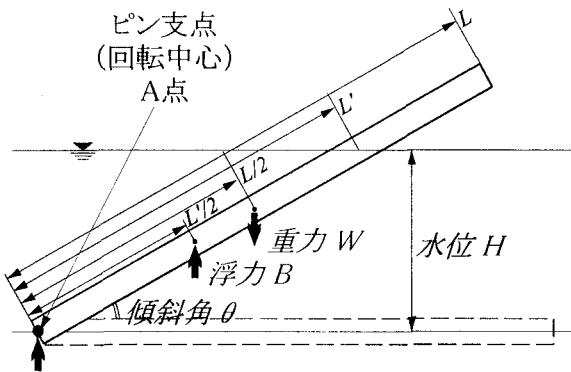


図-4 橋桁が傾斜した場合の力の作用

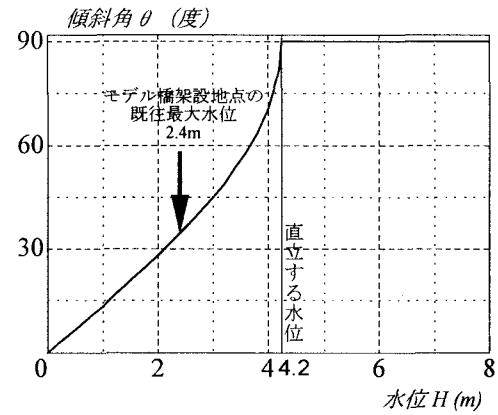


図-5 桁下からの水位と橋の傾斜

面の図心は部材の軸線上にあるとする。また当地の過去の洪水時における最高水位は約 2.4m である。

2.2 水位の上昇にともなう橋の静的な開閉メカニズム

まず、基本的な挙動を確認するために、流れがない場合に水位の上昇によって桁は開閉できるかについて検討を行う。水位の上昇により桁が傾斜した場合の力の作用を図-4 に示す。以降、桁の回転中心であるピン支点の位置を A 点とする。

(1) 橋の傾斜

$0^\circ < \theta < 90^\circ$ のとき、桁は A 点を中心に傾斜する。このとき、桁の傾斜 θ は A 点からの水位 H と水中に沈む部分の長さ L' の関数となる。

$$H = L' \cdot \sin \theta \quad (1)$$

H : 水位桁

L' : 水中に沈む部分の長さ

θ : 傾斜角

また、A 点に関するモーメントを 0 とおくと

$$A \text{ 点に関するモーメント} = W \times \frac{L}{2} \cdot \cos \theta - B \times \frac{L'}{2} \cdot \cos \theta = 0 \quad (2)$$

W : 桁の質量 ($= \rho_t \times A \times L$)

ρ_t : 木材の比重

B : 桁に作用する浮力 ($= \rho_w \times A \times L'$)

ρ_w : 水の比重

L : 桁の長さ

A : 断面積

よって L' は以下のように表される。

$$L' = \sqrt{\frac{W \times L}{\rho_w \times A}} = L \cdot \sqrt{\frac{\rho_t}{\rho_w}} \quad (3)$$

したがって、 L' は L によってのみ決まり、水位や部材の傾斜に関わらず一定となる。水位が

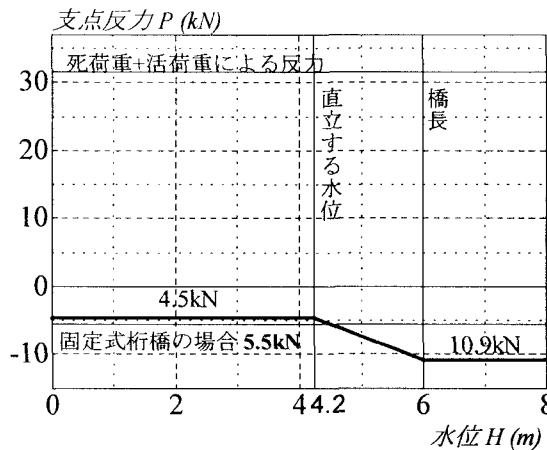


図-6 提案橋の水位と支点反力

L' 以上になると、桁は直立した状態になり、洪水後、桁は自身で戻らない恐れがある。したがって、 L' が架設地の最高水位より十分に大きくなるような橋長であることが提案橋の架設の条件となる。

図-5 にモデル橋における水位と桁の傾斜の関係を示す。この場合 $L'=4.2\text{m}$ となる。この地点での過去の最高水位である 2.4m のとき傾斜は約 35 度となり、洪水後には自身で元の位置へ戻ることができる。

(2) 支点反力

次に、支点反力の検討を行う。桁が傾斜すると、図-4 に示すように、重力と浮力の差が支点反力として A 点に作用する。図-6 にモデル橋における水位 H と支点反力 P の関係を示す。

$0^\circ < \theta < 90^\circ$ ($0 \leq H \leq L'$) のとき浮力は一定であるため反力は桁の重力 W の差である 4.5kN となる。 $\theta=90^\circ$ すなわち直立すると水位 H が橋長 L に達するまで ($L' < H \leq L$) 浮力の増加にあわせて反力も増加し、その後 ($L < H$) は、再び一定値 10.9kN となる。

図中には従来型の固定式桁橋の場合の支点反力も示されている。固定式木橋の場合浮力も両方の支点に作用するため、5.5kN となり、提案橋は浮力の軽減という点ではあまり効果は見られなかった。ただし、死荷重+活荷重による支点反力は 32kN であることから、これらの影響は小さいといえる。

2.3 流れの影響

次に、橋に遊水地の流れがある場合について検討する。遊水地において、桁が受ける流れの方向は様々であることが予想される。そこで、橋軸直角方向の流れと橋軸方向の流れについて桁に与える影響について検討を行う。

(1) 橋軸直角方向の流れがある場合の支点反力

橋軸直角方向の流れによって流水抵抗が作用し、支点に面外のモーメントが作用する。このときの流水抵抗は次式によって求まる。

$$D = C_D \left(\frac{1}{2} \cdot \rho_w \cdot V^2 \right) \cdot A \quad (4)$$

D : 流水抵抗 C_D : 抵抗係数 ρ_w : 密度 V : 流速 A : 投影断面積

流水抵抗は流速の 2 乗に比例して大きくなる。また、抵抗係数 C_D は流水が当たる部分の形状

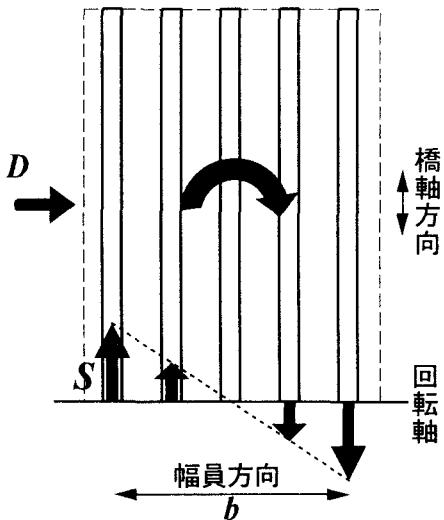


図-7 橋軸直角方向の流れによる

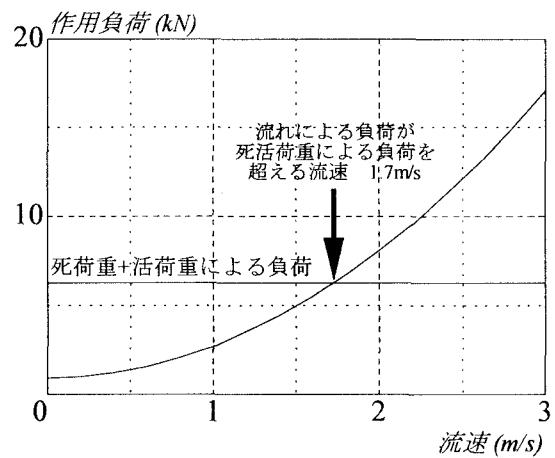


図-8 橋軸直角方向の流速と支点負荷の関係

によってその値は決まる。例えば製材のように流水を平面で受ける場合約 2.0 となるが、丸太等側面を円形としておけば約 1.2 と軽減することができる。

この流水抵抗によって橋に生じる面外のモーメントは

$$M = D \frac{L'}{2} = \frac{DL}{2} \sqrt{\frac{\rho_t}{\rho_w}} \quad (5)$$

となる。

各桁のピンに図-7 のような負荷が作用するとすると

$$S = 0.8 \frac{M}{b} = 0.4 \frac{DL}{b} \sqrt{\frac{\rho_t}{\rho_w}} \quad (6)$$

図-8 にモデル橋の場合の流速と上向きの支点反力の関係を示す。流速が 1.7m/s を超えると、流水抵抗による支点反力は設計荷重を上回る。これ以上の流速が作用することが想定される場合には、支点のピンはこの影響を考慮して設計する必要がある。

(2) 橋軸方向流れがある場合における橋の転倒の検討

(a) 橋の支点側からの流れ

まず、図-9 に示すように、橋軸方向の支点側から流れがある場合を検討する。この場合、流れの力によって桁が静水時におけるつり合い傾斜よりも下がる。支点に作用するモーメントは、

$$Mo = W \cdot \frac{L}{2} \cdot \cos \theta + D \cdot \sin \theta \times \frac{L'}{2} - B \cdot \frac{L'}{2} \cdot \cos \theta \quad (7)$$

$$L' = \frac{H}{\sin \theta} \quad (8)$$

$$B = \rho \cdot A \cdot L' = \rho \cdot A \cdot \frac{H}{\sin \theta} \quad (9)$$

$Mo = 0$ としてこの式を整理すると、

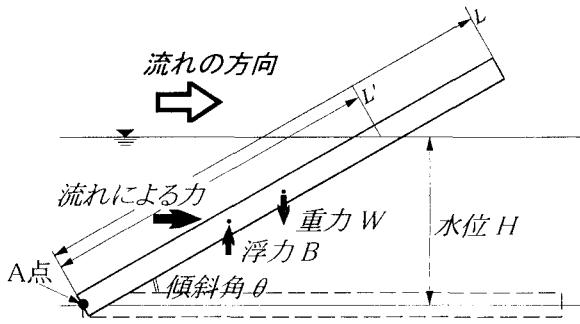


図-9 橋の支点側からの流れと作用力

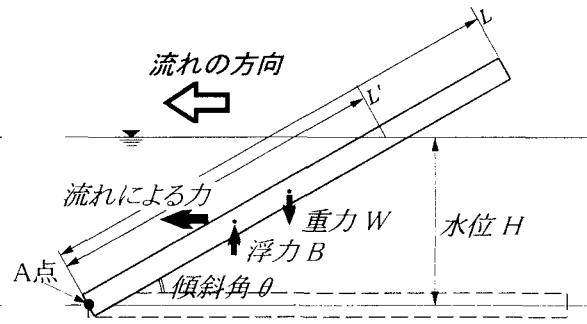


図-11 橋の開口側からの流れと作用力

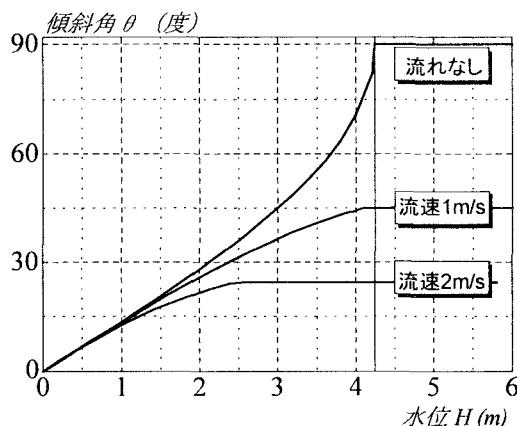


図-10 支点側からの流れに対する
橋のつり合い傾斜と水位

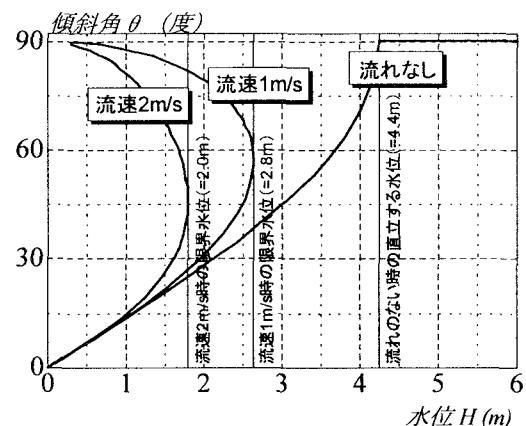


図-12 開口側からの流れに対する
橋のつり合い傾斜と水位

$$W \cdot L \cdot \cos \theta + DH - \rho_w \cdot A \cdot \frac{H^2 \cdot \cos \theta}{\sin^2 \theta} = 0 \quad (10)$$

図-10 にモデル橋における流速 0m/s、1m/s、2m/s のときの各水位における橋のつり合い傾斜をそれぞれ示す。支点側からの流れが作用すると、図-4 に示したような流れがない時の橋のつり合い傾斜よりも下がる。また、水位が上昇すると、桁が水没し始め、完全に水没すると傾斜は一定となる。これは、桁が水没すると、流水の抵抗を受ける面積が一定となるためである。たとえば、流速 1m/s の場合には水位約 4m で水没し、そのときの傾斜は約 45 度、また流速が 2m/s の場合には水位約 3m で水没し、そのときの傾斜は約 25 度となる。

(b) 橋の開口側からの流れ

次に、図-11 に示すように、橋軸方向における橋の開口側から流れがある場合を検討する。この場合、流れの力によって、桁が開口して傾斜が大きくなり、橋長が水位と比べて適切に決められた場合でも、桁が直立あるいは反対側へ転倒する恐れがあるため注意が必要となる。支点に作用するモーメントは式 (7) の D に関する符号のみを逆にして以下のように表される。

$$Mo = W \cdot \frac{L}{2} \cdot \cos \theta - D \cdot \sin \theta \times \frac{L'}{2} - B \cdot \frac{L'}{2} \cdot \cos \theta \quad (11)$$

$Mo = 0$ としてこの式を整理すると、

$$W \cdot L \cdot \cos \theta - DH - \rho_w \cdot A \cdot \frac{H^2 \cdot \cos \theta}{\sin^2 \theta} = 0 \quad (12)$$

図-12にモデル橋における流速0m/s、1m/s、2m/sのときの各水位における橋のつり合い傾斜をそれぞれ示している。流速が0m/sの場合、水位が4.2mに達すると橋は直立するが、それでもあらゆる水位で桁がつり合う傾斜は存在する。ところが流速が1m/sの場合には水位は最大で約2.6m、また流速が2m/sの場合には水位は最大で約1.8mとなり、それ以上の水位では桁のつり合いが満足しない。すなわち反対側へ転倒することになる。このことから、流れを考えない場合には水位4mでも桁は反対側に転倒しないが、洪水時の流速が1~2m/sとすると、桁が転倒しない限界の水位は約2.6m~1.8mと小さくなる。したがって、洪水時の水位がそれ以下となることが架設の条件となるが、あらかじめ洪水時の流水方向を測定し、支点側が流下方向となるように桁を設置することでもこの問題は解消できる。

3 結論

本研究では、流れ橋の利点を遊水地の木桁橋に適用した新形式の橋を提案し、試設計によりその問題点等について各種検討をおこなった。本研究における成果をまとめると以下ようになる。

- (1) 提案した橋を開閉式にすることで、橋台固定式の桁橋に比べて支点に作用する負荷を若干低減させることができた。しかし、浮力を片側の橋台のみが負担するため、期待されたほどの効果はなかった。
 - (2) 水位の上昇における橋の静的な検討により、提案橋は架設地の最高水位と橋長の関係を適切にとれば可能であることがわかった。
 - (3) 橋軸直角方向の流れを考えると、面外のモーメントによる反力が作用しするが、流速が大きくなるとそれを考慮したピン構造とする必要があることがわかった。
 - (4) 橋軸方向の開口側から流れがある場合、橋が転倒しないための限界の流速、水位があることが分かった。したがって橋軸方向流れは支点ピン側からとなるよう設置するのが望ましい。
- 以上より、本研究における提案橋は、遊水地のように水位が小さく比較的流速が抑えられる場所において十分供用可能な橋であることがわかった。また、提案橋は開閉を容易に行うことができるため、維持管理性の向上や耐久性の向上等の効果も期待できる。

参考文献

- 1) 渡邊隆男：岡山の流れ橋，日本文教出版，2000.
- 2) 上津屋橋〈木津川の流れ橋〉，京都府田辺土木事務所，1993.
- 3) 道路橋示方書（I 共通編・II 鋼橋編）・同解説，日本道路協会，2002.
- 4) 木質構造設計基準・同解説，日本建築学会，1995.