

開閉式木橋の水位変化に対する挙動の検討

Static behavior of a timber drawbridge under the change of the water level

○上月裕* 渡辺浩**
KOUZUKI Yutaka, WATANABE Hiroshi

*博(工学) 熊本県環境生活部 (〒862-8570 熊本市水前寺 6-18-1)

**博(工学) 福岡大学工学部 社会デザイン工学科 (〒814-0180 福岡市城南区七隈 8-19-1)

ABSTRACT Pedestrian timber bridges with short spans have often been constructed in retarding basins or in the river parks. However, these small bridges were often damaged by the floods. And since the timber bridge in water-retarding basins mostly has very small space between the main girders and the water, the main structural part in the bridge cannot be checked at all. This paper presents the static behavior of a new pedestrian timber drawbridge, which has both of a hinged end and an unclamped simply support end, under the influence of a flood. The effects of the water level change on the behavior of the new timber drawbridge were investigated. The characteristic of this proposed bridge, which has light members and is easy to inspect and repair, is confirmed by the construction and the practical test.

Keywords : 開閉式木橋、維持管理、水位
timber drawbridge, maintenance, water level

1. はじめに

地域産材の有効利用を目的として、公共施設に木材が多く使用されるようになってきている。木橋はその代表例であり、長支間の道路橋の事例も多数報告されているが、数の上で大多数を占めているのは写真-1に示すような、小規模木歩道橋である。これらの木橋は公園の水辺に多く、屋外で風雨に暴露される使用環境から適切な維持管理が必要とされるが、小規模であるため作業性は一般に良好である。ただし、遊水池等に設置されるものでは桁下空間が小さく、重要となる桁下からの点検が極めて難しい場合も少なくない。このようなことから、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。写真-2は、市民の憩い場を提供するとともに、大雨時の遊水地的な機能も有する公園の例である。この公園の園路には、写真-1で示したような木桁橋が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きている。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、管理者は点検や維持管理に苦慮している状況にある。

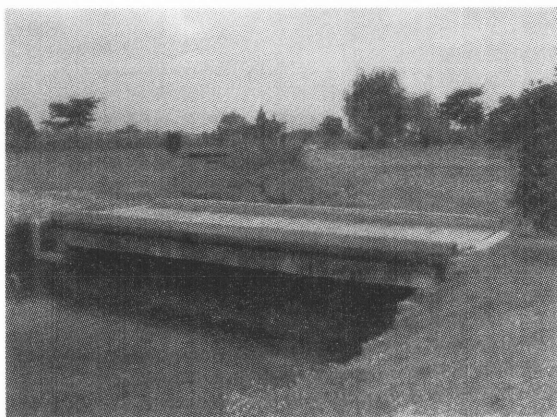


写真-1 公園内の桁橋



写真-2 遊水地機能を有する公園

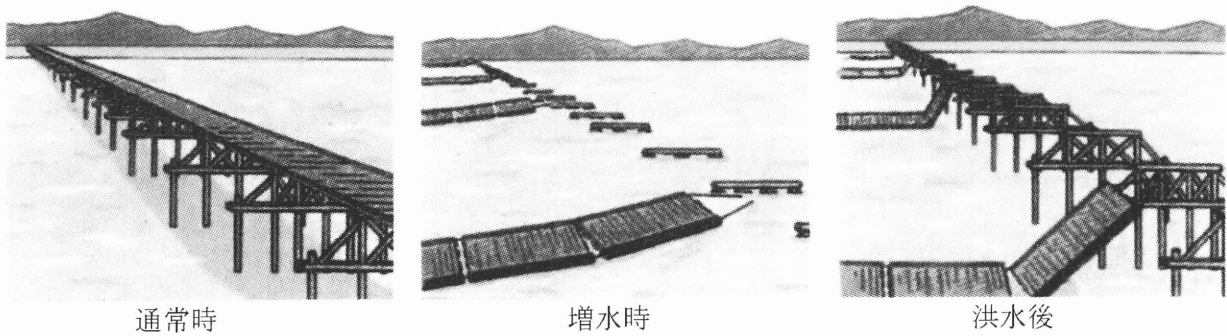


図-1 流れ橋のメカニズム²⁾

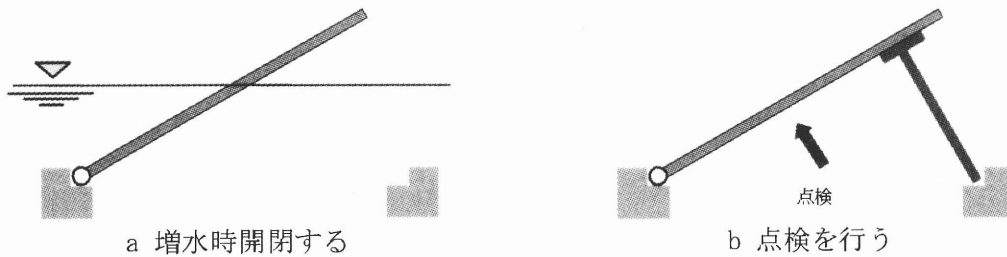


図-2 提案する開閉式木橋の特長

表-1 木桁橋の形式毎の利点と欠点の比較

	桁橋 (外材)	桁橋 (国産材)	流れ橋	開閉式木橋
下部工の負荷	△	△	○	○
点検の容易さ	×	×	○	○
復旧費用	—	—	×	○

* ○：開閉式木橋と同等の機能を有するもの、△：機能が若干劣るもの、×：機能が劣るもの

** 下部工の負荷については、浸水時に浮力による下部への負荷の大小を評価対象としたもの。

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⁾²⁾である。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メリットもあるが、橋の流出後の復旧費用や労力が問題点となっている場合がある。

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木橋として提案された「開閉式木橋」³⁾に対して、実橋をモデルとし、静水時の水位の上昇に対する実験的検証を行い、静水時の水位の上昇に対する開閉のメカニズムを検討した。

2. 提案する開閉式木橋

2.1 開閉式木橋のコンセプト

開閉式木橋は、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することにより橋を開閉可能な可動システムを有した構造である。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。また、従来の橋台固定式橋で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るが、開閉式木橋では定期点検時に橋を跳開させることで、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。また、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 は開閉式木橋と他形式の橋の利点と欠点を比較したものである。

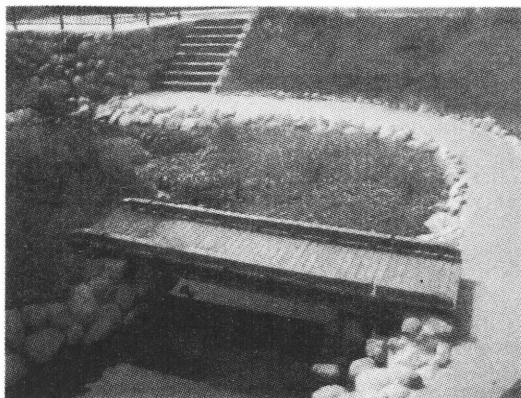


写真-3 モデル橋全景

表-2 モデル橋の諸元

項目		
V	体積	0.598 m ³
W	重さ	3.11 kN
ρ_t	橋の単位体積重量	5.2 kN/m ³
ρ_w	水の単位体積重量	9.8 kN/m ³
θ	回転角	$0^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$

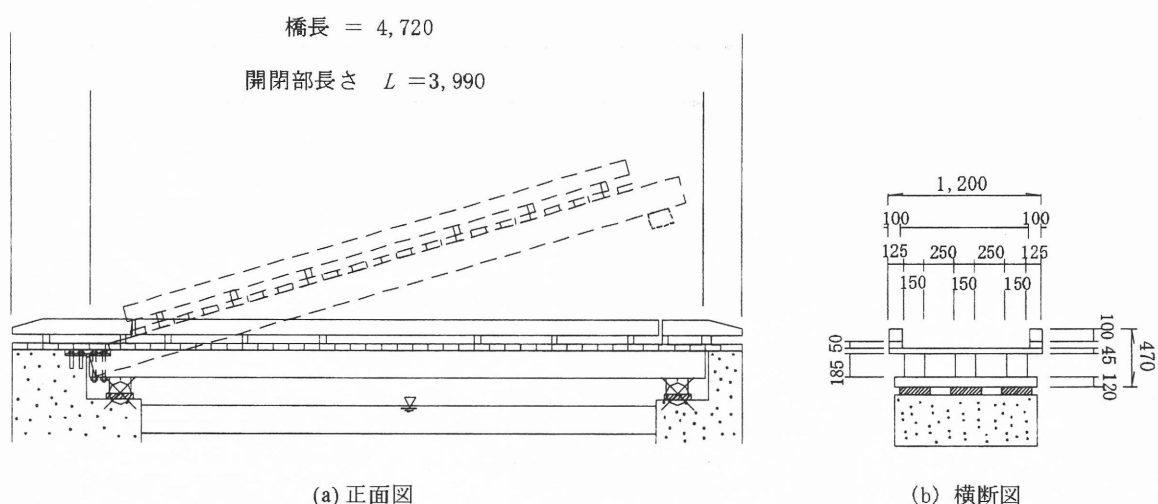


図-3 モデル橋一般図 (単位 mm)



写真-4 モデル橋の開閉状況

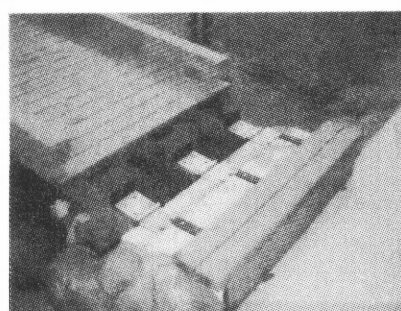
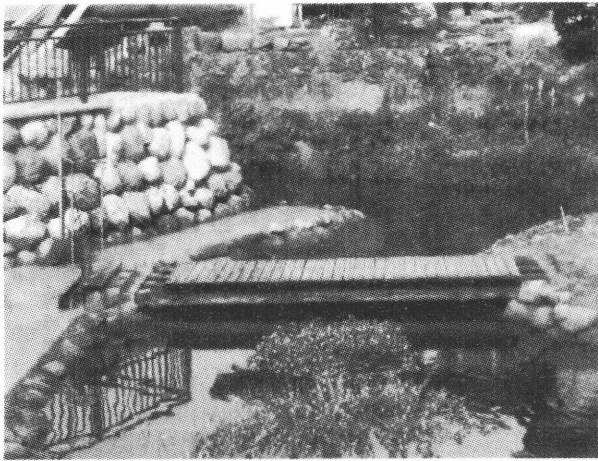


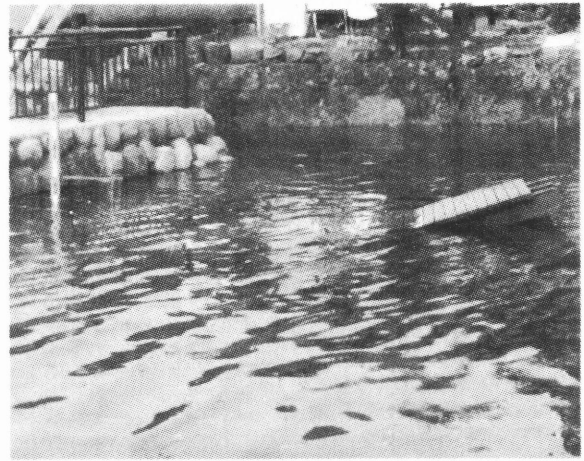
写真-5 モデル橋のヒンジ部

2.2 モデル橋

開閉式木橋のコンセプトに基づいた木橋が、平成 16 年夏に、熊本県小国町に竣工した。本論文では、この橋をモデル橋として静水時の水位の上昇に対する提案橋の開閉のメカニズムの検討を行った。この橋は河川環境整備工事の一環として施工されたもので、架設場所は写真-3 に示すように、河川から水を引き込んだ播鉢状の親水空間となっている。木橋の諸元を表-2、形状寸法を図-3 に示す。また、写真-4 に示すように、特殊な機材を用いることなく、人力で木橋を持ち上げ点検や補修が簡単に行えることが確認できた。可動ヒンジ部については写真-5 に示すように、建材店等で入手できる一般的なステンレス製の蝶板を用いたもので、開閉式木橋とすることによるコストアップは 10%以下となっている。可動システムの付加は、点検や補修のコストを抑える効果があるという点においても有益であると考えられる。



水位上昇前



水位上昇後

写真-6 実験状況

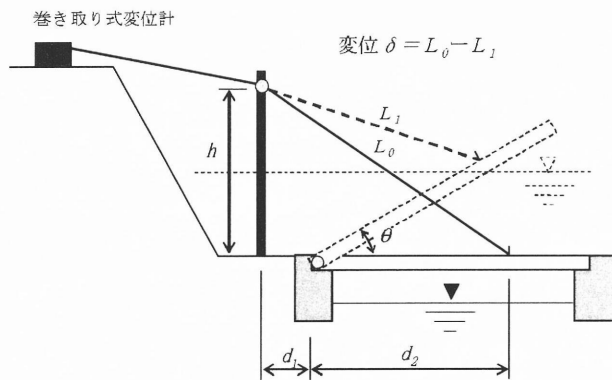


図-4 静水時のモデル橋の挙動試験の概要

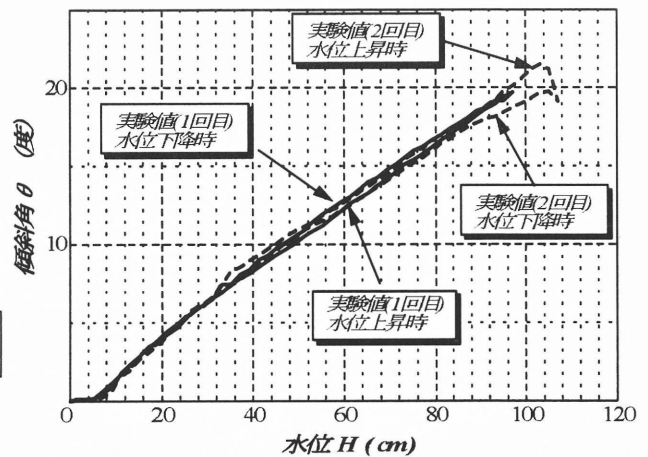


図-5 モデル橋の傾斜角と水位の関係

3. 木橋開閉メカニズムの実験

3.1 実験の概要

モデル橋を用いて、写真-6に示すように水位上昇にともなう橋の静的な開閉メカニズムの実験を行った。

水位の上昇については、前述のとおり、施工箇所は播鉢状の親水空間であるため、親水空間の出口部分を閉塞させ、ポンプアップにより河川の水を取り入れることで、水位を上昇させた。

傾斜角については、図-4に示すように、支柱を介して水系を床板と巻き取り式変位計の間に張り、橋の上昇に伴う水系の巻取り量を測定し、上下流2箇所の測定結果の平均値から傾斜角 θ を算定した。なお、変位と角度の関係は次式で表すことができる。

$$\delta = L_0 - \sqrt{(h - d_2 \cdot \sin \theta)^2 + (d_1 + d_2 \cdot \cos \theta)^2} \quad (1)$$

ここで、 h_0 : 支柱高さ

L_0 : 支柱から水系の床版結節点までの距離

d_1 : 支柱から回転中心までの距離

d_2 : 回転中心から水系の床版結節点までの距離

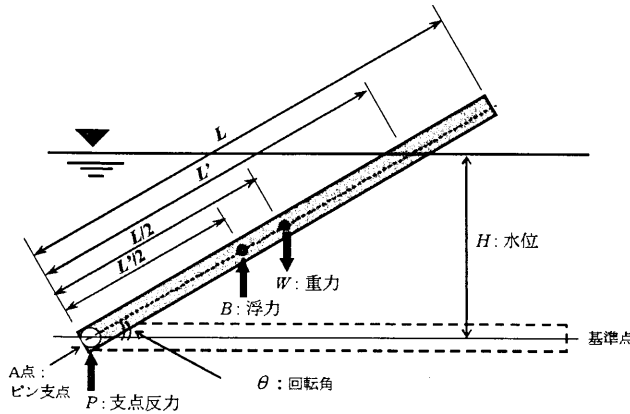


図-6 橋が傾斜した場合の力の作用

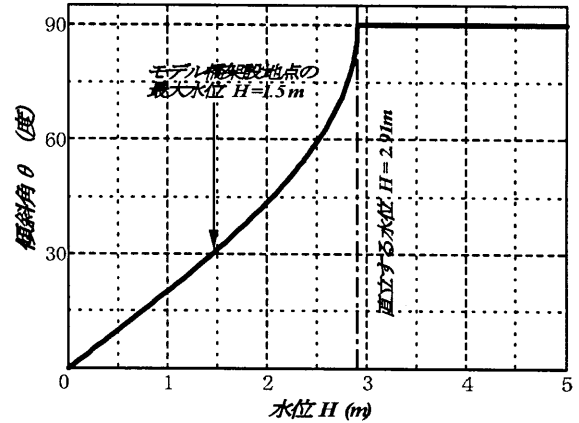


図-7 水位と橋の傾斜

3.2 実験結果

実験は、水位の上昇から下降までを1サイクルとし、2回の測定を行った。図-5は、この2回の実験の傾斜角と水位の関係を示している。水位と傾斜角は比例関係にあり、2回の実験結果とも同様の傾向を示しており、良好な測定が行われたと考えられる。このことから、今後の考察は、より安定した計測が行われた1回目の計測をもとに検討を行う。

4. 木橋開閉メカニズムの解析

水位の上昇により桁が傾斜した場合の力の作用を図-6に示す。なお今後の検討では簡単のため、断面は桁全体の重量を体積で除した均一断面として近似するとともに、断面の図心は部材の軸線上にあるとした。桁の回転中心であるピン支点の位置をA点とする。

橋の傾斜が $0^\circ < \theta < 90^\circ$ 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。

$$H = L' \cdot \sin \theta \quad (2)$$

H : 水位

L' : 水中に沈む部分の長さ

θ : 傾斜角

また、A点に作用するモーメントは、

$$M_o = W \cdot \frac{L}{2} \cdot \cos \theta - B \cdot \frac{L'}{2} \cdot \cos \theta \quad (3)$$

W : 桁の重量 ($= \rho_t \times A \times L$) ρ_t : 木材の単位体積重量

B : 桁に作用する浮力 ($= \rho_w \times A \times L'$) ρ_w : 水の単位体積重量

L : 桁の長さ A : 断面積

$M_o = 0$ としてこの式を整理すると、 L' は以下のように表される。

$$L' = \sqrt{\frac{W \times L}{\rho_w \times A}} = L \cdot \sqrt{\frac{\rho_t}{\rho_w}} \quad (4)$$

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 L' 以上になると、桁は直立した状態になり、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-7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 $L' = 2.9\text{m}$ となる。この地点での最高水位である 1.5m のとき傾斜は約 30 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。

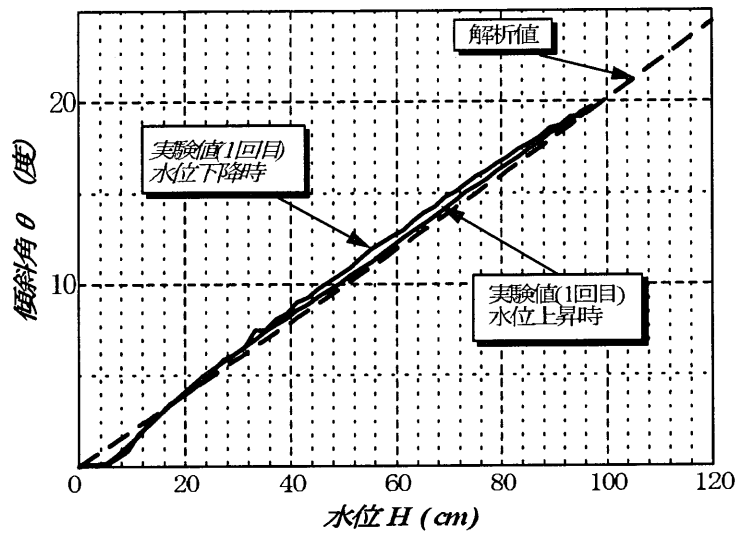


図-8 モデル橋の水位と傾斜角の関係（解析値と実験値の比較）

5. 考察

図-8 は、実験値と解析値の水位と角度の関係を示している。それらは、よく一致しており、実橋が釣り合い式のとおり挙動しており、今回の解析の妥当性が検証された。

今回の実験では、現場条件の制約から、傾斜角約20度までの確認に留まったが、さらに水位を上昇させた場合においても、同様の傾向がみられると考えられる。開口の直後と閉塞の直前に、実験値は角度が小さくなる傾向があるが、これは解析では桁全体の重量を体積で除した均一断面として近似しているのに対して、実橋では端部に枕桁があること等の構造上に若干の違いがあることやヒンジ部の静止摩擦係数等が影響していると考えられる。

6. 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開閉式木橋を提案し、静水時の水位の上昇に対する提案橋の開閉のメカニズムの検討を行い、実証実験により妥当性を検証した。本研究における成果をまとめると以下ようになる。

- (1) 実験値と解析値はよく一致し、実橋は釣り合い式のとおり挙動することが確認された。
- (2) 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。

以上より、本研究における開閉式木橋は、遊水地のように水位が小さく流速が抑えられる場所においては、十分供用可能な橋であることがわかった。また、開閉式木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) 上月裕、田畑健太郎、渡辺浩：可動システムを有する歩道木橋の提案と試設計：第2回木橋技術に関するシンポジウム論文報告集