

兵庫県入佐川遺跡出土の橋脚構造について *

The study on structure of piers excavated in the Iruasagawa site in Hyogo prefecture

松村 博** 藤田 淳*** 鈴木 敬二***

by H. Matsumura K. Fujita K. Suzuki

概要

古い時代の土木構造物の研究においては土木工学上の知識や解析手法を適用することが有効な手段の一つとなりうると考えられる。本論文では、入佐川遺跡で出土した橋杭について、まず考古学的な見地から遺構の内容や遺跡における位置付けを明確にした上で、「橋」の構造の復元と年代推定を行った。過去の橋の発掘事例が十分ではないため、比較的古い時代に画かれた絵巻物の中から橋の構造がわかるものを検出するとともに、地盤の支持力や構造形の違いによる変位の差などを計算して推論の裏付けとした。その計算結果をもとに元の橋の形式を提案し、考古学の研究においても土木工学的な手法の適用が有力な補助手段となることを示した。

はじめに

兵庫県出石町の入佐川（いるさがわ）遺跡から規則的に並んだ木杭列が出土した。この木杭列は橋の杭であった可能性が高いと考えられるので、橋を前提にしてその構造の復元を試みた。橋の構造は荷重を直接支える上部工と上からの力を地盤へ伝える下部工とから成る。そして橋柱、梁、桁、床板で構成される木橋の基本的な形は古代から近世までほとんど変化はなかったと考えられる。古代の橋の遺構としては平城京内の橋をはじめかなりの数が発見されているが、橋の構造を正確に復元できる遺構はほとんど発見されていない⁽¹⁾⁽²⁾。また、構造が推定できる詳細な資料もない。したがって現状では中世に描かれた絵巻物の中から橋を抽出して、その構造を推定するのが最も有力な手法である。一方、工学的な計算手法を適用して遺構面の位置や構造形の範囲が設定できれば年代推定や構造復元の一助となる。以下では杭の支持力や橋脚の構造形による変位の違いなどを算定し、それらのデータを加えて橋の構造形を推定することにした。

1. 遺跡の概要

(1) 遺跡の立地と周辺遺跡

入佐川遺跡は兵庫県の北部、出石郡出石町宮内に所在する。地形的に見れば、遺跡は出石川の支流、入佐川左岸の沖積地に立地し、現在の海岸線からは約20kmほど内陸部になるが、周辺の標高は約5mである。入佐川遺跡が所在する出石町の北部一帯の水田地帯では、山裾に沿って3本の小河川―小野川、袴狭川（はかさがわ）、入佐川―が東から西方向に流れる。小野川は六方川となって円山川へ、袴狭川と入佐川は合流した後、円山川の支流である出石川へ注ぎ込む。

兵庫県教育委員会では、建設省の計画する放水路建設事業に伴って、1987年度からこれら3河川流域の発掘調査を実施してきた。

* keywords 古代 橋梁 技術史、

** 正会員 大阪地下街（株）（〒530 大阪市北区小松原町2-4 大阪富国生命ビル）

*** 兵庫県教育委員会埋蔵文化財調査事務所（〒652 神戸市兵庫区荒田町2-1-5）

発掘調査はそれぞれの河川の流域ごとに行われ、最も北よりの小野川流域を砂入遺跡(すないりいせき)、その上流部を荒木遺跡、中央の袴狭川流域を袴狭遺跡、そして最も南の入佐川流域を入佐川遺跡と便宜的に呼び分けている(図-1)。これまでの発掘調査では、奈良時代～平安時代の人形・馬形・斎串などの木製祭祀具が大量に出土し、遺跡の性格をひととき特徴づけている。また、これらの遺跡のなかでも袴狭遺跡・荒木遺跡では、「官衙」と考えられる建物跡などの遺構が検出されている。残念ながらその性格を決するには至っていない。どのような支配階級のもとでこのような大規模な祭祀行為が行われたか、注目されるところ

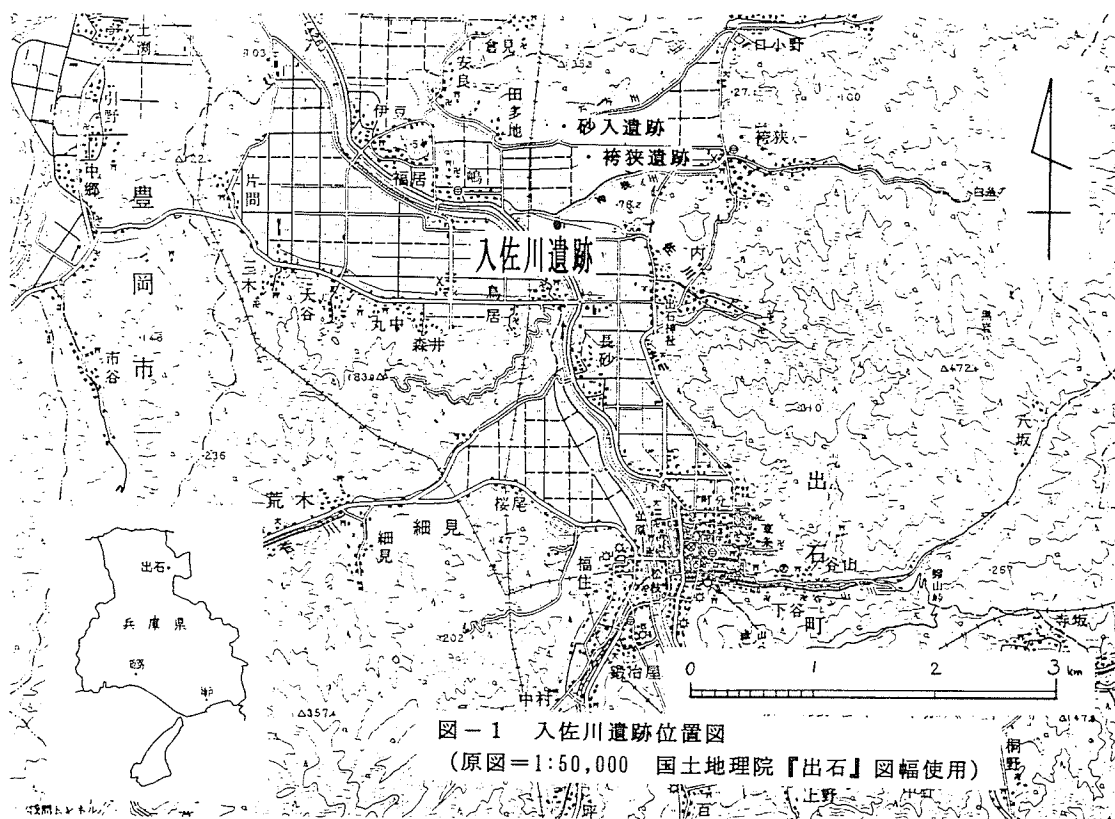


写真-1 入佐川遺跡杭列出土状況

である。

(2) 入佐川遺跡の概要

入佐川遺跡においては、1992年度の第1次全面調査で古墳時代から平安時代にかけての河川跡や水路、水田を検出している。袴狭遺跡や砂入遺跡にみられる木製祭祀具の大量出土は見られず、律令期の祭祀遺跡としての性格は薄い。古墳時代の河川の堤防上からは、祭祀に使用された多量の土器が出土している。また、河川や水路に関連した遺構としては、井堰や橋脚杭などが発見されている。井堰は古墳時代の扉板を再利用したものと、その下層から発見された樹皮を編んだ網代を使用したものがある。橋脚杭は幅約3mの小河川の肩付近に片側2本、計4本が打ち込まれており、今回報告する橋脚よりも小規模なものである。

1993年度は、北側を流れる袴狭川との合流地点付近にあたる、入佐川遺跡の範囲の中では最も下流部の発掘調査を実施した。この調査でも、前年度の発掘調査と同じく東西方向に流れる河川が検出された。さらにこの川を南北方向に横断するような形で杭列が出土し、杭の形状や検出状況からこの杭列は橋脚杭であると判断した。そこで、まずこの杭列（橋脚）の検出状況を説明し、存続年代について検討を加える。

2. 発見された杭列

(1) 川と杭列の検出状況

今回発見された杭列が横断していた川は、発掘調査区域内を東から西に向かって流れている。現在の入佐川も調査区のすぐ真北を流れているが、同様に東から西に向かって流れている。

杭が横断していた川幅の正確な数字は不明である。というのは、川の北側の岸は調査区内で見つかったものの、南岸は調査区の範囲外に広がっており、正確な位置が不明なことによる。

そこで、調査区の壁面にあらわれる土層の堆積状況（図-2）に目を向けると、川底の調査区の南側に向かって川底が徐々に浅くなっていく状況が観察される。このため川の南岸は、調査区の南端からさほど遠くない場所、すなわち調査区の南端から3mほど南側に位置しているものと考えられる。

そうすると、調査区内で確認された川幅がおおよそ12mであり、それに調査区外に広がる3mを合わせると、川幅は15mと推定できる。また、川の深さは最も深い時期で約2mである。

このような川の中で、大小あわせて39本の杭が林立するように発見された（写真-1）。杭の大半が長さ2mを越え、中には3mを越えるものがある。一部の杭では川底に倒れた状態のものも認められたが、ほとんどの杭は多少の傾きはあるものの川底のシルト層に達するまでしっかりと打ち込まれて立ち並んでいた。これらの杭は、川を南北方向に横断するように幅1.5mほどの帯状に細長く分布するが、川の中心部付近ではこれから西側へ飛び出すような分布を示す（図-3）。

(2) 杭の分類（1類＝網かけ、2類＝斜線、3類＝白抜き）

杭は上端部の形状等により、次のように分類される。

〔1類〕杭の上端部に、人工的な凹形の切り込みを持つタイプで、7本確認できる。上端の遺存状態が悪く、杭そのものからは断定できないが、後述のようにこの切り込みは梁を通す貫穴の一部と考えられる。貫穴の大きさは、幅約10cm、高さは10cm以上である。杭に用いられた材木は、いずれも真っ直ぐで、2類・3類に比べ太く長いものが占める。大きさと断面形によってさらに2分できる。

杭①～③は、断面多角形を呈し、残存長約1.6～2m、胴回り約45～50cm、断面積約125～150cm²を測る。杭④～⑦は断面円形を呈し、残存長3m前後、胴回り約50～60cm、断面積約200～290cm²を測る。杭①～③の杭の表面には手斧によるハツリ痕が明瞭に残る。橋脚とは直接関係のないほぞ穴や柄釣り穴等の加工の跡が見られるものもあることから、建物の建築材等を転用しているのであろう。

〔2類〕杭の上端部に自然の二股に分かれた部分をもつタイプで、11本認められる。自然の股は杭と梁との結合のためのものと考えられ、股の部分が平坦になるように整形したものがある。残存長はおおよそ2.2～2.9mで1類に劣らないが、胴回りは40cm以下のものがほとんどで、細めのものが多い。自然木をそのまま利用していることから曲がりが大きく、真っ直ぐなものはほとんど認められない。

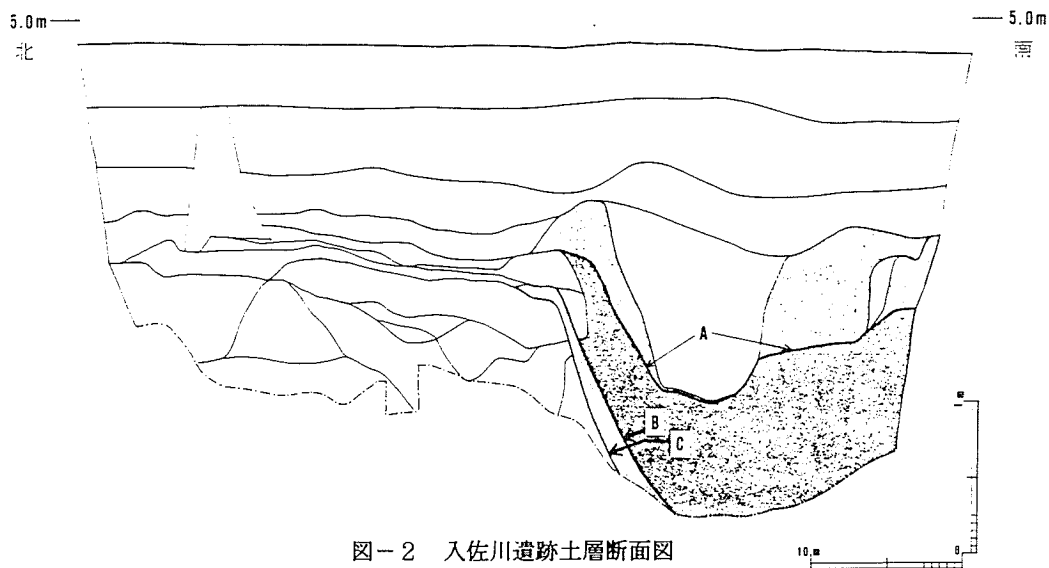


図-2 入佐川遺跡土層断面図
(調査区東壁)

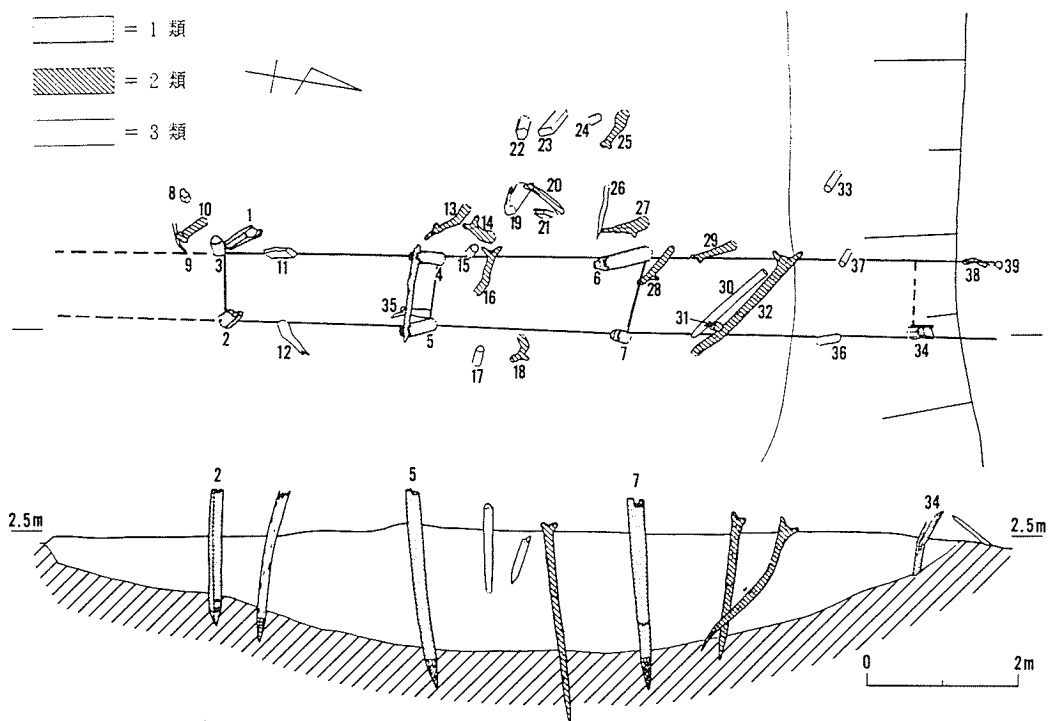


図-3 杭列配置図

〔3類〕折れるなどして上端部の形状がわからないもの。本来1類か2類に分類されるべきものとそれ以外のものがあると考えられる。後者には橋脚杭とは考えられないような極端に細く短いものも含まれる。

(3) 橋脚の復元

これら3種類の杭のうち、2類、3類については橋脚としての配列を復元することは困難である。しかし、

1 類（上端部に凹形の切り込みを持つタイプ）については、東西に対をなす 2 本が南北に 3 列、規則正しく長方形に並んでいる状態が観察された。これに東側の南北ラインの延長線上、川の北肩付近に位置する 1 本（杭 34・3 類）を加え 4 列の橋脚が復元できる。それぞれの杭の間隔は、東西方向の「梁間」が 0.9 m、南北方向の「桁行」が先端部間を測って、南から 3.0 m・2.8 m・3.6 m である。さらに、川幅によっては南肩側にもう 1 列が想定できるかもしれない。ただし、北肩付近の 1 本は対となる杭が検出されず、桁行もやや長いことから、一連の橋脚とするには問題があるかもしれない。

復元される 4 列の橋脚のなかで、川中央部の 2 列 4 本の杭は 1 類の中でも最大の一群で、円形断面を呈する。先端は鋭く尖っており、川底のシルト層へも約 50 cm の深さまで打ち込まれていた。南側の 1 列 2 本の杭は、これよりやや細く短めで、明らかな転用材である。北肩の 1 本は機械掘削の段階で上端部を引っかけてしまい、北側への傾きが大きくなってしまった。この杭は川底まで掘削を進める途中で、自重で倒れてしまったが、これはシルトへの打ち込みがやや浅かったことだけでなく、機械掘削時の不注意によるところも大きいと考えられる。

さらに梁と推定される横木が杭⑤の上端の切り込みに乗った状態で検出されている。この横木は長さ約 1 m、径 5～10 cm の加工材が使われている。梁とするには橋脚の切り込み幅に較べてやや細く、加工が貧弱である。しかし、偶然に杭の上に乗ったとは考えにくい梁と考えておく。

3. 杭列の存続年代

杭列が発見された川は、現地表から約 1 m の深さで検出された。川底は、最も深いところで橋脚検出面から約 2 m の深さにあり、暗灰褐色のシルトで構成される。川の中の堆積状況は、シルトおよび細礫をまじえた細砂～粗砂が幾重ものラミナを形成している。これは、川の中には常に速い水流があり、場合によっては川岸から外にもあふれるように強い水流が何度か襲ってきたことを示している。

図-2 の土層断面図を見る限り、橋の架かっていた川の底は大まかに A～C までの 3 段階に分けられる。これらの川底 A～C によって分けられる川の各層の出土遺物は以下のとおりである。

A 上の川より更に上の溝内から平安時代後半（12 世紀後半）の土器（土師器）の小皿が出土している。

B 上の川に堆積する砂の上部からは木製祭祀具の人形が出土している。人形は顔の表情などは写実的な描写がなされているものの、手や腰の表現が省略されている。手が表現されない人形は、大平の分類においては IV 類に当てはめられ、時期はおよそ 10 世紀のものとされている⁽⁴⁾。

C の川底直上からは、古墳時代前期（4 世紀）の高杯が出土している。

以上の出土遺物の製作年代から川の存続あるいは埋没の年代は次の通りになる。A を川底とした川は 12 世紀後半以前に埋没した。B を川底とした川は 10 世紀後半にはほぼ埋没していた。C を川底とした川は 4 世紀には存在していた

さて川底が A である場合、川は浅いものとなり、川底から橋脚の梁を通す貫穴までの高低差は 30 cm 程にしかない。このような浅い川に長さ 3 m を越えるような橋梁を打ち込んだとは考えにくく、また、川の肩よりも低い位置に橋桁を渡すことになる。したがって、橋脚と推定される杭列に対応すると考えられる川は B あるいは C を川底とするものであり、10 世紀後半以前に溯ると考えるのが妥当であろう。橋の架設年代は、現時点では 4 世紀～10 世紀後半までの幅の中で考えておきたい。

4. 橋の構造の推定

(1) 下部工の構造

木橋の下部工は基本的には橋杭と梁で構成される。橋杭はわずかの例外を除くと、地中に打ち込まれるか、建て込まれる。つまり、打ち込み杭か、掘立て杭かのどちらかである。この遺構の杭はいずれも先端を尖らせているので打ち込み杭であったと考えられる。上部工が直接乗せられる梁には、橋杭を連結してできるだけ変位を少なくするという役割もある。

絵巻物などに画かれた橋を見ると杭と梁の結合方法には図-4のようにいろいろな形式のものがある。これらを分類すると下のような6つの形式に分けることができる。

(1) 両部材を単に紐などで結び付けたもの

(2) 股のある木を杭に用い、梁を乗せたもの

(3) 2本の杭の間に梁を挟みつけたもの

(4) 杭の横に切り込みを設けて梁を組み合わせたもの

(5) 梁を貫状に通したもの

(6) 杭の頂部にほぞを作り、梁を固定したもの

これらの具体的な構造の例を絵巻物⁽⁵⁾

から写し取ったものを図-5に示す。

図-4 杭と梁の結合方法

比較的規模の大きな桁橋ではほとんどが、⑥のような構造である。すなわち、地盤に立てられた橋杭の頂部には梁が置かれる。梁にはほぞ穴がけられ、杭頂部のほぞが差し込まれて固定される。詳しくは解らないが、鋸などでしっかりと止められることもあったと思われる。丁寧な構造では中間に水貫が入れられる。貫材は橋杭の横方向への変位を小さくするために設けられる。つまりラーメン構造に近い形を作る。このため貫通部には楔などが打ち込まれ、しっかりと固定されたと思われる。

比較的簡易な橋では⑥のような形式もあったが、②、④、⑤のような形式のものがほとんどである。入佐川遺跡の1類の杭列は図-6のように径間長2.8~3.6mで、2列の杭配置の復元が可能である。

この杭の元の形を推定しようとするといくつかの形式が考えられる。すなわち、

a. 現存の杭より上はほとんどなく、切り込みの上に梁を乗せ、紐などで結んだもの

b. 杭の頂部はもう少し上にあり、切り込み部には梁となる貫材が入れられたもの

c. 杭の頂部に⑥のようなほぞ形式の梁が乗せられ、切り込み部には水貫が通されたもの

の三つの形式が推定される。このうちbの形式が最も可能性が高いと思われる。aのような固定方法では後に述べるように水平方向の固定が弱いため、橋の横方向の安定性がよくない。しっかりと貫材で止めたほうが安定した構造になる。cの形式も考えられるが、橋面が周辺地盤よりもかなり高くなる。下の川にかなり大きな舟でも通らない限り、桁下をそれほど高くする必要はなく、可能性は低いと思われる。このため、bのような固定方法を推定しておきたい。

このような形式の構造は『一遍上人絵伝』の中にもいくつかの例があり(図-5⑤参照)、中世の板橋では最も一般的な構造であった。また、時代は下るが、室町時代末期に画かれたいくつかの『洛中洛外図』⁽⁶⁾の中の五条橋などの構造はbの形式の少し丁寧なものが用いられている(写真-2)。このように考えていくと、遺構の杭の原形は少なくとも20~30cmは長かったものと考えられる。

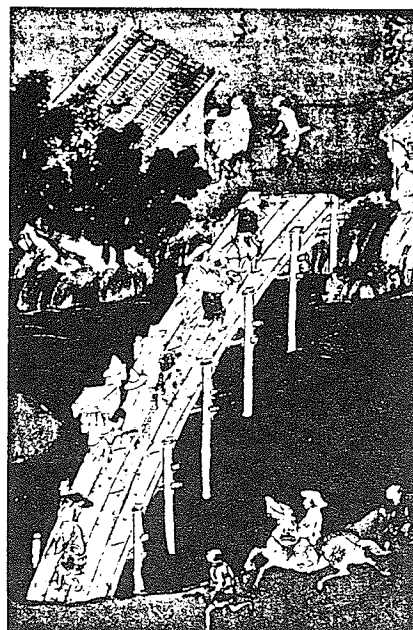


写真-2 『上杉本洛中洛外図』⁽⁶⁾の五条橋

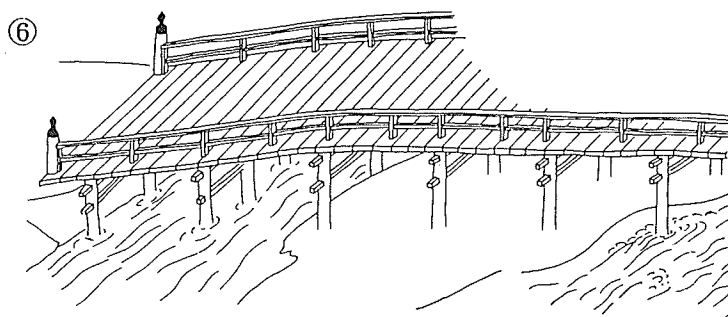
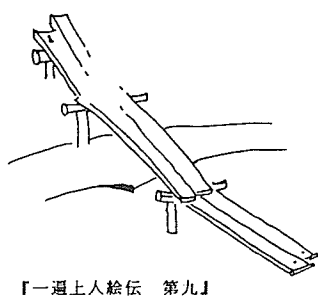
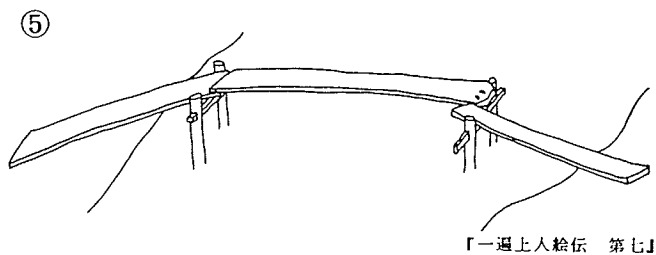
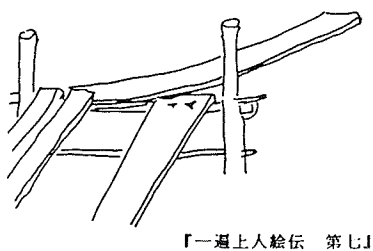
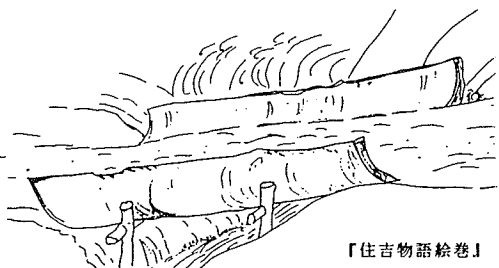
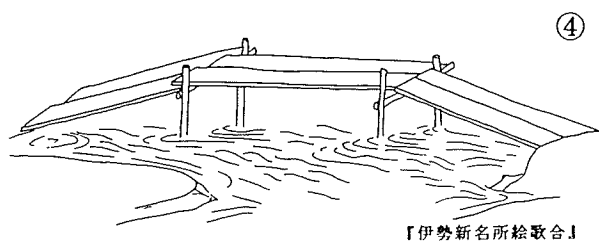
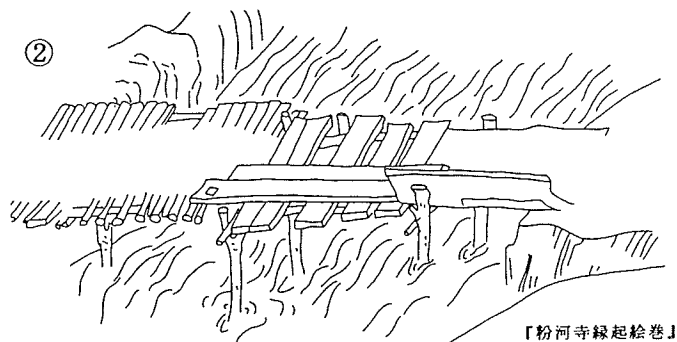
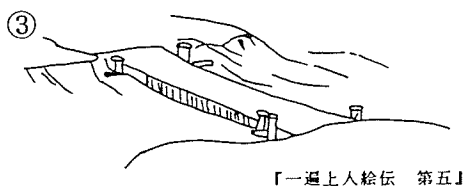
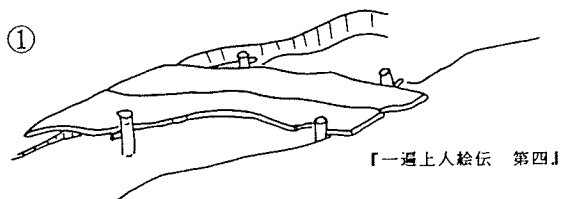
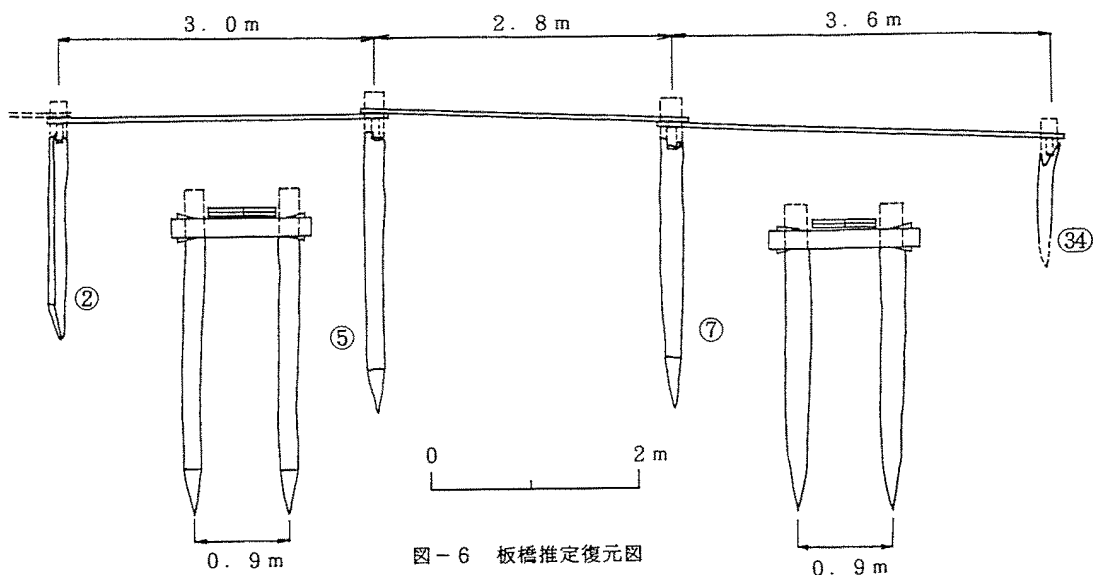


図-5 絵巻物に画かれたいろいろな構造の橋



(2) 上部工の構造

木橋の上部構造には桁橋と板橋の二つの種類がある。桁橋は橋軸方向に桁を置き、そのうえに人や車が直接に乗る床板を乗せた構造である。木橋の床の部分には一般的に板が張られるが、簡易なものでは棒状の木が並べられたものを竇の子橋と呼び、丸木などを並べた上に土を乗せたものを土橋と呼んで区別している(図-5②参照)。板橋は橋軸方向に板を渡し、その板のみで荷重を支える簡易な橋をいう。板の代わりに数本の丸木を渡しただけのものや削り貫き材を使った橋もあった(図-5②④参照)。

入佐川遺跡の杭列は、幅が90cm弱、純間隔では70cm弱であるから車を通すこともできず、人がすれ違える広さもない。したがって桁橋形式ではなく、図-6のような板橋形式の橋であったと考えられる。

5. 構造計算による検証

橋としての元の姿を復元する参考にするため、この遺構の杭としての耐荷力を推定してみた。現地において載荷実験を行うのがのぞましいが、今回はその余裕がなかったので計算上の予測にとどめた。

(1) 杭の鉛直支持力

小規模な木杭の支持力に関するデータが少ないため、正確な推定は難しい。大略の見当をつけるため、日本建築学会の『建築基礎構造設計指針』⁽⁷⁾に基づいて以下のような計算を行った。杭の極限鉛直支持力は、一般には杭先端の抵抗力と杭周面の摩擦抵抗力から成り立つ。

$$R_u = R_p + R_f = R_p + \phi \sum \tau H$$

但し R_u : 杭の極限鉛直支持力

R_p : 杭先端の極限抵抗力 R_f : 杭周面の極限摩擦抵抗力

ϕ : 杭周長 τ : 杭周面の各層の摩擦力度

H : 各層の層厚

粘性土層を支持層とする場合

$$R_p = 6 C_u \cdot A_p$$

但し C_u : 粘性土層の非排水せん断強さ(t/m^2) $C_u = q_u / 2$

A_p : 杭断面積 q_u : 一軸圧縮強度

$\tau = \beta \cdot q_u / 2$ β (低減係数) = 1とし、根入れが均一な上層とすると、

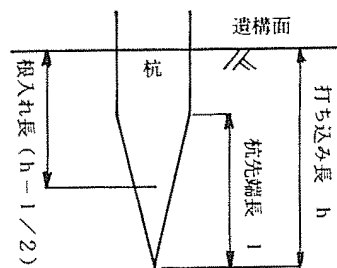


図-7 杭端の諸元

$$Rf = (qu/2) \cdot \phi \cdot Hc$$

Hc: 粘性土部分の杭長さ (杭の根入れ長)

quをN値から推定するのに次式がよく使われる⁽⁸⁾。

$$qu = N/8 \text{ (kg/cm}^2\text{)} \quad N: \text{標準貫入試験N値}$$

この式ではかなり安全側になるとされるが、目安を得るため上式を用いた。

$$Ru = 6 \times 1/2 \times 10/8 \times N \cdot Ap + 1/2 \times 10/8 \times N \cdot \phi \cdot Hc = (15 Ap/4 + 5 \phi \cdot Hc/8) N \text{ (t/m)}$$

入佐川遺跡の杭が打ち込まれている層の土質は軟弱なシルトでN値の平均値が約3となっている。また、根入れ長は遺構面によって決まるが、それを特定するのが難しいため仮に50cmと仮定して杭の極限支持力を計算すると、杭②③ではおよそ0.5t、杭④⑦では0.7～0.9tほどになる。

これに対して杭にかかる荷重を求めてみる。

a) 死荷重—橋本体の重量

$$\cdot \text{杭自重 } W_p = \gamma \cdot Ap \cdot L \quad \gamma: \text{比重 (0.6と仮定)} \quad Ap: \text{杭断面積} \quad L: \text{杭長}$$

\cdot \text{梁、橋板など (杭1本当たり)}

$$W_b = \text{橋幅} \times \text{載荷長} \times \text{平均厚} \times \gamma \div 2 \quad \text{平均厚を60cmと仮定する。}$$

b) 活荷重 (W_L) は荷物をかついだ人 (100kg) が1m辺り1人乗ったと仮定する。

上の条件から死荷重はおおよそ0.1t、活荷重はおおよそ0.15tで、杭1本にかかる荷重 (W) はおおよそ0.25tになる。この結果、かなりの人数が乗っても $Ru > W$ となり、橋杭の根入れが50cm程度あれば鉛直支持力は十分あることになる。したがってこの橋の架設年代はかなり古くまで溯らせることが可能である。

(2) 杭の水平方向の変位

杭の水平方向の変位は杭の根入れによって左右される。ある程度深く打ち込まないと杭は自立しない。杭の先端が固定された状態、すなわち杭のもつ曲げ抵抗が十分発揮されるためには、これらの杭では2m程の根入れが必要である。この状

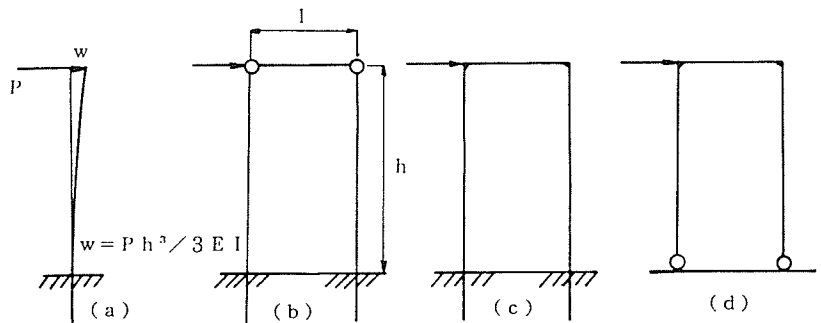


図-8 橋脚の基本構造形

態での杭の変位は図-8 (a) のようになる。(b) のように2本の杭が一本の梁でつながれていても結合がピンと同じ場合には変位は $l/2$ になるだけである。しかし、梁が柱にしっかりと固定されている場合 (c) には、柱と梁が同じ材質とすると、その変位は次式で求まる。

$$w = (Ph^3/6EI_1) \cdot \{1 - 9hl/2(lI_1 + 6hI_2)\}$$

但し I_1 : 柱の断面2次モーメント I_2 : 梁の断面2次モーメント h : 杭の突出長さ l : 梁の長さ

仮に、柱を15cm角、梁を10cm角とすると、 $I_2 \approx I_1/5$ となり、また $l = h/3$ とすると、(c) の変位は (b) に比べて0.4程度になる。また、根入れがほとんどなく、杭の下端がピンの状態の場合でも (c) と同じように梁で剛結すると (d)、変位は

$$w = (Ph^3/6EI_1) \cdot (1 + lI_1/2hI_2)$$

となり、同じ条件とすると、(b) の場合の2.5倍になるが、杭の根入れがなくても橋の機能を保つことができる。実際は杭にかなりの根入れがあるから、変位は (d) の場合よりかなり小さくなる。

このように橋軸直角方向に対しては2本の杭どうしを梁を介してラーメン構造、つまり曲げモーメントが伝わるような構造にすれば変位は大幅に減少する。このため杭の横に穴を開け、梁を通して楔などでしっかり固定すれば、杭の根入れが浅くても安定を保つことができたはずである。したがってこの遺構の杭は図-

6のように梁を貫状に入れた構造にするように作られていたと考えるのが妥当であろう。

また残存していた梁のようにかなり細いものでも杭にある程度の根入れがあれば、成り立たないことはない。その場合柱とは紐でしっかりと結び付けられたと思われる。しかし横方向の変位が大きくなるので、多くの人が一度に渡るのは難しくなる。

(3) 橋板厚の推定

2列の杭間隔が狭いため車を渡したとは考えにくく、人が一方に渡るのがやっとであったと思われるから、桁橋ではなく、単に板を渡しただけの板橋構造であったと思われる。板の総幅は60cm強と考えられるが、これを一枚板でつくるのは難しかったと思われるから、20~30cmの板が2~3枚並べられていたと考えるのが自然であろう。以下では材料を檜の一枚板とし、荷重として100kgの人が1m当たり1人乗ると仮定して、たわみと応力度をもとめてみた。

弾性係数 $E = 55 \sim 115 \times 10^9 \text{ kg/cm}^2$

圧縮強度 $\sigma_c = 300 \sim 400 \text{ kg/cm}^2$

引張強度 $\sigma_t = 850 \sim 1500 \text{ kg/cm}^2$

曲げ圧縮強度 $\sigma_b = 510 \sim 850 \text{ kg/cm}^2$ で、

また支間長3.6mのとき、板厚を4cmとすると、

最大曲げモーメント $M_{\max} = q l^2 / 8 = 16200 \text{ kgcm}$

最大たわみ $w_{\max} = 5 q l^4 / 384 E I = 8.1 \text{ cm}$

最大曲げ応力度 $\sigma_{\max} = M / W = (q l^2 / 8) / (b h^2 / 6) = 100 \text{ kg/cm}^2$

となり、4cm厚の板であれば十分安全である。ただ2枚の板が並べられたとして一方に荷重が偏載するとたわみ差が10cmを越え、大変歩きにくい。また仮に100kgの人一人だけが渡るとすると、3cm厚の板でも最大曲げ応力度は103 kg/cm²、最大たわみは8.5cmで、たわみを苦にしなければ十分に渡ることができる。さらに杭間が2.8mとすると、3cmの板でも $\sigma_{\max} = 109 \text{ kg/cm}^2$ 、 $w_{\max} = 15 \text{ cm}$ となり、特に問題はない。板橋の床板の厚さは、たわみをどの程度許容するかで決められたと考えられる。

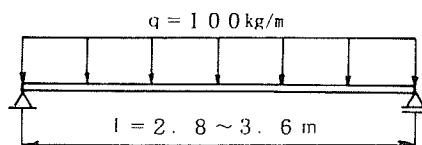


図-9 単純桁

おわりに

以上のような推論から入佐川遺跡の1類の杭列は橋脚杭であった可能性が非常に高く、その架設年代は10世紀以前に溯るものと考えられる。今後は周辺で検出されている条理型地割りととの関係、転用された建築部材の検討などを通してさらにその年代幅を狭めていきたい。また橋としての構造形もある程度の確度で推定することができた。しかし、今回の解析は一定の仮定のもとで行ったにすぎず、今後の同様の調査においては計画的に現場での載荷試験を行うなど、より精度の高いデータを得る必要がある。古い時代の土木構造物の推論には土木工学の解析手法が有効で、この分野への積極的なアプローチが望まれる。

参考文献

- (1) 天野光三「奈良時代後期の「橋」に関する考察」『第二回日本土木史研究発表論文集』1992年6月
- (2) 奈良国立文化財研究所『平城京東堀河左京九条三坊の発掘』1983年3月
- (3) 奈良国立文化財研究所『木器集成図録』1985年
- (4) 大平 茂「木製人形年代考(上)」『古文化談叢』第30集(中) 1993年
- (5) 『日本絵巻大成5、12、19、別巻』中央公論社 1977年6月、1978年5月、1978年2月、1978年7月
- (6) 岡見正雄、佐竹昭広『標柱洛中洛外屏風上杉本』岩波書店 1983年3月
- (7) 日本建築学会『建築基礎構造設計指針』pp.217~227 1988年1月
- (8) 土質工学会『N値および $c \cdot \phi$ 』pp.82~83 1992年2月

なお解析にあたっては竹中工務店の寺田邦雄氏にご教示を得た。