

木造橋に用いた継手システムの実験的研究

INTRODUCTION OF A CONSTRUCTION CASE STUDY OF A WOODEN BRIDGE USING A NEW TYPE OF STEEL JOINT

横川和人* 福田 豊** 今野和近***

By Kazuto YOKOKAWA, Yutaka FUKUDA and Kazuchika KONNO

In recent years in Japan, the construction of large-scale wooden buildings has become popular. This can be considered as starting from the preparation of various standards relating to timber, together with the commencement of the Ministry of Construction's General Project in 1986, which lead to the reconsidered material. However, timber still has several problem points which must be understood from the standpoint of design. The authors of this paper are proposing a new Jointing System with extreme toughness and ability to be adjusted to cope with deformation as one example of a solution to several of these problems points. This system was applied to a wooden bridge that was completed in March 1990. This paper reports on the experimental research which was performed relating to this Jointing System.

1. まえがき

近年日本国内に於いて、大規模木造建造物の建設が盛んになってきた。これは、建築基準法改正（1986年）等木材に関する諸規格が整備され始めたと共に、1986年に建設省総合技術開発プロジェクト「新木造設計法の開発」が始まり、これらがきっかけとなり、構造材としての木材の長所が見直された為と考えられる。しかしながら木材には、伸びが少ない、もろい破壊をしやすい、クリープ現象が起りやすい等、設計上解決しなければならないいくつかの問題点を抱えている。筆者等は、これらの問題点の内のいくつかに関する解決法の1例として、じん性に富み、変形に対して調整が可能な新しい継手システムを提案し、1990年3月に竣工した木造橋に適用した。本論文は、この継手システムに関して行なった実験的研究の報告である。

2. 構造概要と設計主旨

木造橋の概略図を図-1に示す。この木造橋は、ゴルフ場内にある高低差約10mのくぼ地に架かる、ゴルフ

* 株式会社石本建築事務所 (〒102 東京都千代田区九段南4-6-12)** Technical Research of Architecture, Inc. (〒169 東京都新宿区高田馬場2-1-2田島ビル401)
(株式会社 ティー・アール・エー)

*** 日本鋼管株式会社 (〒210 川崎市川崎区南渡田町1-1)

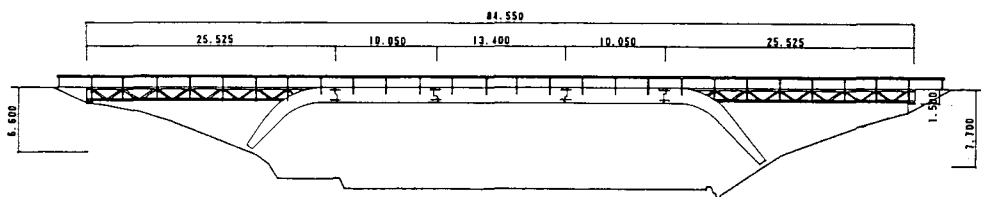


図-1 立面図 (m)

ァーやキャディーの通行の為の専用橋である。支間長53.22m、橋長84.55m、幅2.8mで、橋中央部は、両主構面に大断面集成材(200mm×1,500mm)を用い、その端部を下向きに湾曲させて、橋台にピン支持させている。側径間部は集成材の角材(200mm×150mm～200mm×200mm)でトラス桁を形成し、大断面集成材と剛結、端部はローラー支持としている。

一般的に、大断面集成材を使用した構造物では、継手部の性能が構造全体の性能を支配する割合が高い。従って、この継手部に対する基本設計方針としては以下の3点を設定した。

第1には、じん性に富む継手の採用である。最近の大型木造建造物の継手は、木と木の継手部に鋼板を当ててボルトで締め付け、接合するのが一般的である。しかし、この継手だと破壊位置が木部となる事が多く、じん性に富む継手となり難い場合も多い。今回採用した継手は、危険断面位置が木部でなく金属部の締め付けロッドとなるように、各部材の耐力調整がし易い方式としている。このロッドには、塑性に至っても余剰耐力が大きく、伸びも大きいステンレス鋼を採用する。

第2には、変形に対する調整機能のある継手の採用である。木材は、ヤング係数が小さくかつクリープ現象が起こりやすく、変形を定量的に把握するのは難しい。従って、将来思わぬ変形が生じても橋としての機能が極力低下しないように、レベル調整機構を組み込む事にする。

第3は、腐食に対する耐久性の向上である。対策としては、雨がかりを少なくし、やむを得ず雨がかりする部分には、金物の錆や結露による木の腐食を防ぐため極力金物を露出しないようにする。

3. 継手の機構

以上3つの基本設計方針により設計した継手の機構を説明する。

この継手は、大断面集成材を貫通する上下4本の支持ピンと、支持ピン同士を接続する4本の締め付けロッド、又、支持ピンを木部に固定する4枚の埋め込みプレートと固定ボルトから構成されている。埋め込みプレートは、大断面集成材の上下より挿入されており、外側の埋め込みプレートはネジ切りされていて、ナットも兼用している。固定ボルトは、雨がかりのしない様に内側より締められている。この結果、外側に露出する金物は、支持ピンと締め付けロッドだけとなる。大断面集成材同士の接触部は、腰掛けの形状をしている。応力の伝達メカニズムであるが、曲げモーメントにより発生する大断面集成材の引張応力は、大断面集成材→固定ボルト→埋め込みプレート→支持ピン→締め付けロッドと伝達させ、圧縮応力は、直接大断面集成材同士で伝達させている。せん断力は、圧縮面の摩擦力によって伝達させられるが、万が一摩擦力により伝達し得なくなった場合でも、この腰掛けの形状で伝達できるようにしている。変形に対する調整機能であるが、梁が完成後の思わぬ変形によりたわんだ場合、ジャッキ等で梁を持ち上げ、継手部に隙間が生じた場合には、インサート材を挿入し、締め付けロッドを再度締め付ける。

1700 17

75

1000

75

30 100 30

A-A断面図

500

100 75 75 75 75 100 130 110 110 110 30

50

150

200

350

150

固定ボルト (SUS304N2) 11-M16

支持ピン (SUS304N2) ϕ 55

埋め込みプレート (SUS304) t=7

B

立面図

締め付けロッド (SUS304N2) M27 (軸部 ϕ 20)

500

B-B断面図

(相対変位)

・接合部開き量 (クリップゲージ)

P D 1 ~ P D 5

歪 ----- ・締め付けロッド 引張り側ロッドに2軸歪ゲージを4枚貼付

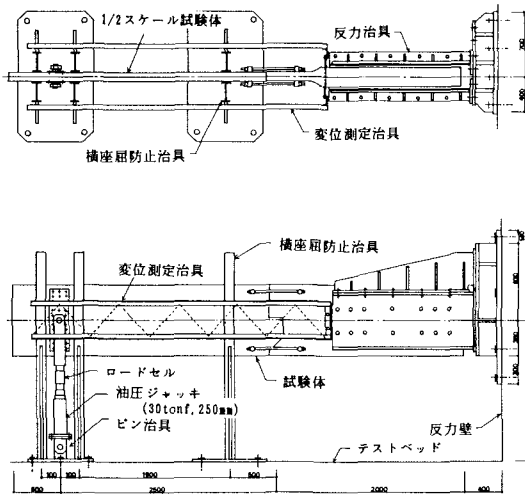


図-4 加力装置

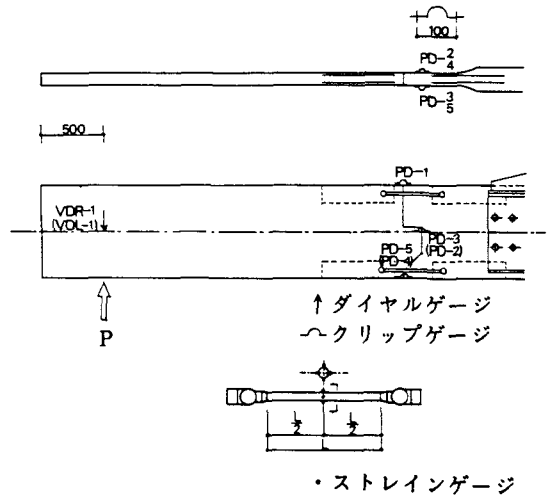


図-5 変位及び歪測定位置

4-4 使用材料の機械的性質

使用材料の機械的性質を表1に示す。

表1 ステンレス材料の機械的性質

鋼 種	板厚 or 径 (mm)	ヤング係数 (kgf/mm ²)	降伏点 (kgf/mm ²)	引張り強さ (kgf/mm ²)	破断伸び (%)	使用部位
SUS304	6.88	20987	28.7	63.0	65.6	埋め込みプレート
SUS304N2	φ55	19200	38.6	69.9	53.3	支持ピン、固定ボルト
	φ27	19067	37.5	72.2	50.7	締め付けロッド、ナット

引張試験片 SUS304 J I S 5号6体 G.L=50mm

SUS304N2 J I S 4号6体 G.L=50mm

5. 実験結果概要

加力点での変形 δ は継手部の回転による変形 δ_1 と、試験体の曲げ変形 δ_2 及びせん断変形 δ_3 とに分け、 δ_2 と δ_3 は線形とし、 δ_1 のみ非線形として扱う。

$$\delta = \delta_1 + \delta_2 + \delta_3 \quad (A)$$

δ_1 は以下による。

δ_1 を求める継手における歪度分布は、図-6に示すように平面保持とし、又、木部の荷重-変形関係を完全弾塑性体とする。

中立軸が図-6のように木部圧縮縁より x の距離とすると、歪の適合条件から次式が成立する。

$$\frac{\varepsilon_1}{x} = \frac{s\varepsilon}{d_j - x} \quad (B)$$

ε_1 : 木部圧縮縁の歪度
 $s\varepsilon$: 締め付けロッドの歪度
 d_j (cm) : 梁の有効成(67.5 cm)

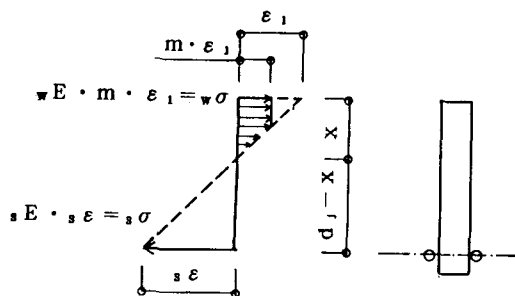


図-6 歪度分布図

木部の縁応力度を $w\sigma$ 、締め付けロッドの応力度を $s\sigma$ とすると、次式が成立する。

$$w\sigma_1 = m \cdot wE \cdot \varepsilon_1 \quad (C)$$

$$s\sigma = sE \cdot s\varepsilon \quad (D)$$

m : 歪度 ε_1 と木部の弾塑性境界の歪度の比(図-6参照)

wE (t/cm²) : 木部のヤング係数(110 t/cm²)

sE (t/cm²) : 締め付けロッドの割線ヤング係数

(図-7参照)

ここで sE と $s\sigma$ は、試験体と同じ締め付けロッドの荷重-変形関係より求められる応力度と等価割線ヤング係数を表す。

図-7より任意荷重 T による sE と $s\sigma$ が求められる。

(B)、(C)、(D)より

$$w\sigma = m \cdot x \cdot s\sigma \cdot sE / \{wE \cdot (d_j - x)\} \quad (E)$$

次に力のつり合い条件より、次式が成立する。

$$\{m \cdot w\sigma \cdot x / 2 + (1 - m) w\sigma \cdot x\} B = s\sigma \cdot sA \quad (F)$$

sA (cm²) : 締め付けロッドの断面積(2π cm²)

B (cm) : 木部断面の幅(10cm)

木部の弾塑性境界の応力度を 木部の基準強度×4/5 とする。

$$w\sigma = 360 \text{ (kg/cm}^2\text{)} \quad (G)$$

次に式(E)、(F)、(G)より中立軸 x が求められる。

$$x = \frac{2 \cdot sA \cdot s\sigma^2 \cdot wE + sE \cdot d_j \cdot w\sigma^2}{B \cdot w\sigma (2 \cdot s\sigma \cdot wE + w\sigma \cdot sE)} \quad (H)$$

この x を用いて(I)式¹⁾より δ_1 の解析値が求まる。

$$\delta_1 = (s\sigma / sE \cdot l + 0.83 \cdot d^{-7/4} \cdot wE^{-3/4} \cdot 10^{3/4} / n) \times L / (d_j - x) \quad (I)$$

n : 固定ボルトの本数(11本)

d (cm) : 固定ボルトの直径(1.6 cm)

l (cm) : 締め付けロッドの長さ(50 cm)

L (cm) : 継手と荷重点の距離(250 cm)

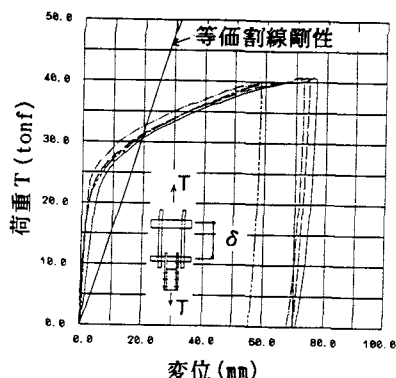


図-7 締め付けロッドと支持ピンによる荷重変位-曲線

δ_2 と δ_3 は、下記による。

$$\delta_2 = P \cdot L^3 / (3wE \cdot wI), \quad \delta_3 = P \cdot L / (wG \cdot wA)$$

wI : 試験体の断面二次モーメント (3.52×10⁵ cm⁴)

wG : 木部のせん断弾性係数 (7,000 kg/cm²)

wA : 試験体木部の断面積 (750 cm²)

以上の手法で求めた加力点での変形 δ と実験結果を図-8、図-9に示す。両者共、変形が120mm前後（部材角で1/20ラジアン）までの、荷重-変形関係はほぼバイリニアール形をしている。解析値の第一折点は、締め付けロッドが塑性化するポイントであり、その時の荷重Pは5.45t、締め付けロッドの応力度は3.75t/cm²、圧縮縁の応力度は162kg/cm²である。

次に、締め付けロッドに貼付した歪ゲージの荷重-歪度を図-10に示す。これによると、締め付けロッドが塑性化するのは、試験体1で荷重4.8tと5.6t、試験体2で荷重4.4tと5.5tとなっている。解析値も実験値も、締め付けロッドが塑性化してから変形 δ が急に増大し、定性的には良く合っている。

耐力について、解析値と実験値とを比較を表2に示す。比較する変形 δ は、6.0cm、12.0cmとし、これらは設計最大荷重時（地震時）の変形の5倍及び10倍に相当する。これによると、実験値の方が10～17%小さくなっている。これは、主に圧縮縁の局所の圧壊の為と考えられる。

次に継手部の引張領域の口の開き具合を、図-11に示す。荷重Pが約4.5t位から口の開きが急に大き

表2. 荷重-変形一覧

	変形 δ cm	荷 重 P (tf)			
		供試体 1	(1)/(2)	供試体 2	(1)/(2)
実験値	6.0	(1) 5.80	0.89	(1) 5.45	0.83
解析値		(2) 6.55		(2) 6.55	
実験値	12.0	(1) 6.88	0.88	(1) 7.05	0.90
解析値		(2) 7.85		(2) 7.85	

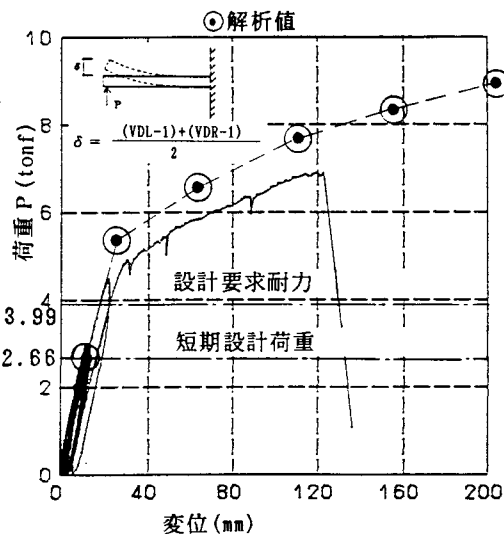


図-8 荷重-変位曲線（試験体1）

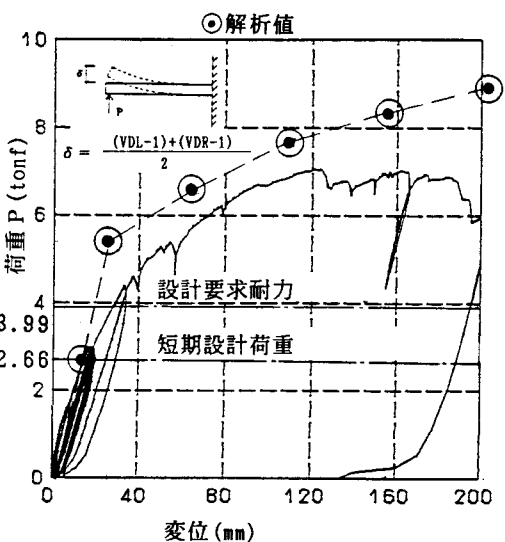


図-9 荷重-変位曲線（試験体2）

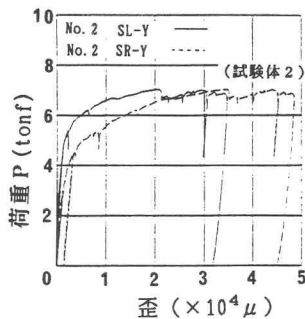
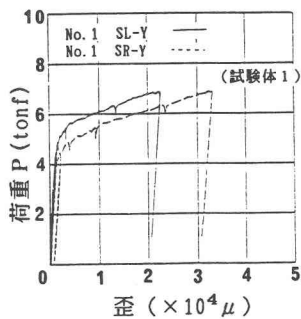


図-10 締め付けロッドの荷重-変曲線

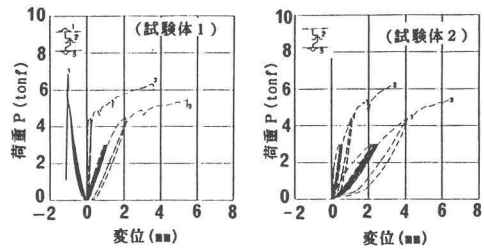


図-11 クリップゲージの荷重-変位曲線

くになっており、締め付けロッドの荷重-変曲関係と良く合っている。又、中立軸の位置も締め付けロッドが塑性化するに伴い、急に圧縮縁側に移行している。最終的な破壊性状は、試験体1は締め付けロッドの塑性変形と埋め込みプレート部の木部のせん断破壊であり、試験体2は締め付けロッドの塑性変形と、継手部圧縮縁の圧壊、腰掛けの形状をしているコーナー部分の材長方向の割れであった。

以上の結果、この継手方式は、充分なじん性と設計要求耐力（短期設計荷重の1.5倍）を保有していることが判明した。耐力については、大変形域において、圧縮縁の局部圧壊の為、実験値と解析値とでは約10～17%の誤差を生じているので、設計上考慮すべき点である。

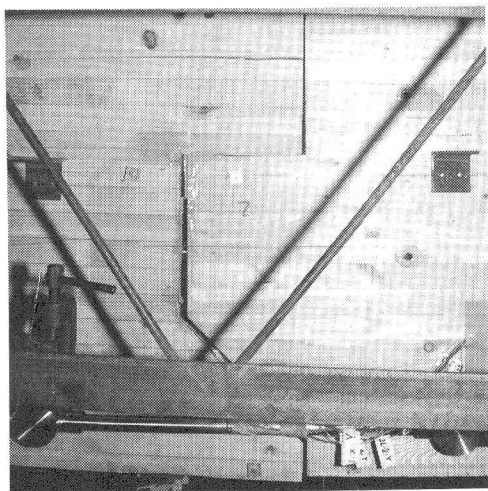


写真-1 最終破壊状況（試験体1）

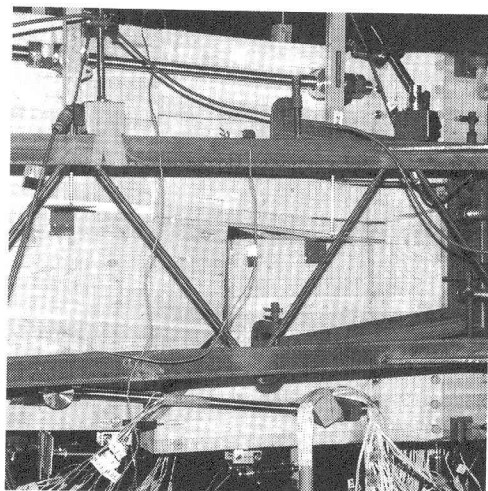


写真-2 最終破壊状況（試験体2）

参考文献

- 1) KUENZL, E. W., Theoretical Design of a Nailed or Bolted Joint, FPL U. S. D. A NO. D1951, March 1955
(1990年10月12日受付)