

論文 型枠の構成方法の違いが曲げ剛性に及ぼす影響

久保田 英樹^{*1}・中田 善久^{*2}・大塚 秀三^{*3}・清水 五郎^{*4}

要旨:本研究は, 型枠の構成方法の違いが曲げ剛性に及ぼす影響を明らかにするために, 曲げ試験における標点距離をセパレータの間隔である600mmとして, 栈木の種類, 栈木の本数, 鋼管の本数および釘の種類などを指標として検討したものである。その結果, 荷重/たわみと鋼管の本数は, 比例関係になる傾向を示した。また, 1mの側圧を受けたときのたわみは, 釘の種類がL=50~38の範囲であれば小さくなる傾向を示し, L=38およびL=25でほぼ同等となる傾向を示した。さらに荷重/たわみと1mの側圧を受けたときのたわみの推定式を提案した。

キーワード: 型枠, 型枠合板, 栈木, 鋼管, 曲げ剛性, たわみ

1. はじめに

近年, 建築工事におけるコンクリートの型枠工事では, コンクリート型枠用塗装合板に枠材として栈木と端太材として鋼管を複合させたもの(以下, 型枠合板と称する)が多く用いられている。型枠の設計・施工指針案¹⁾(以降, 型枠指針案と記す)では, 型枠の構造計算を行うときは, 型枠に作用する荷重を求め, この荷重が型枠合板を構成する材料ごとに作用したときのたわみを算出し, 算出された, たわみと選定した型枠材料の許容応力を用いて, 部材に対して安全であるかどうかを判断すると記されている。この計算方法は, 選定した型枠合板の構成材料を個々に評価していることになる。しかし, 複数の材料が複合されている型枠合板のたわみは, 構成材料の中で最も剛性の高い鋼管の強度に依存していることが考えられるため, 複合部材としての検討も必要であると考えられる。また, 型枠の構造計算のもととなっている型枠指針案中の山井の研究²⁾におけるくぎ打ち間隔と合板に栈木を接合したものの(以下, 合板パネルと称する)の関係は, スパン1500mm, 3分点荷重250kg(2500N)で行われており, 合板パネルの曲げ剛性についても栈木の寸法が27×58mmとなっているため, 現在, 関東の建築工事に多く用いられている栈木の寸法である24×48mmのものと異なる可能性が考えられる。

そこで, 本研究は, 型枠の構成方法の違いが曲げ剛性に及ぼす影響を明らかにするために, 曲げ試験における標点距離を実際の建築工事で用いられている型枠合板のセパレータの間隔である600mmとし, 栈木の種類, 栈木の本数, 鋼管の本数および釘の種類などを指標として検討したものである。ここでは, 栈木の曲げ強度およびヤング係数, 型枠合板の構成方法の違いが曲げ剛性に及ぼす影

響, 栈木と合板の接合方法の違いが曲げ剛性に及ぼす影響および型枠合板における1mの側圧を受けたときのたわみと荷重/たわみの推定式の提案について検討を行った。

2. 実験概要

2.1 栈木の曲げ強度試験

栈木の曲げ強度試験は, 赤松特級, 赤松一級, 米桐, 杉およびラワンの5種類それぞれ7本ずつ, JIS Z 2101-1994 木材の試験方法に準じて行った。ただし, 標点距離はセパレータの間隔を考慮し, 600mmとした。試験に用いた栈木は, 現場での養生条件を想定して気中にて静置した。なお, 含水率は, 全ての樹種において10%程度であった。

2.2 型枠合板の曲げ試験

(1) 実験の要因と水準

実験の要因と水準を表-1に示す。型枠合板の構成の要因は, 栈木の間隔を600(栈木2本), 300(栈木3本)および200(栈木4本)mmの3水準, 鋼管の間隔を300(鋼管1本), 200(鋼管2本)および150(鋼管3本)mmの3水準, 栈木+鋼管を3+2(栈木の本数+鋼管の本数)および4+3(栈木の本数+鋼管の本数)の2水準とした。型枠合板に用いた樹種は, 無節であり, 反りや変形が少ない赤松特級を用いた。接合方法の違いに関する要因は, 釘の間隔を300mmとして「釘の長さ」を25, 38, 45, 50およびビス45mmを用いて行った。また, 使用樹種は, 赤松特級, 赤松一級, 米桐, 杉およびラワンの5種類を用い, 樹種の違いによる検討を行った。なお, 本研究で用いた木材は, 赤松特級のみが無節である。

(2) 試験体の概要

試験体の概要(栈木の本数2本の場合)を図-1に示す。実際の構造体における柱および壁を対象としたため600×

*1 日本大学大学院 理工学研究科建築学専攻 (正会員)

*2 日本大学 理工学部建築学科 准教授 博士(工学) (正会員)

*3 ものつくり大学 技能工芸学部建設技能工芸学科 助教 修士(工学)

*4 日本大学 非常勤講師 博士(工学) (正会員)

表-1 実験の要因と水準

要因		水準			対象とした樹種
型枠合板の構成	栈木の間隔 (mm)	600	300	200	赤松特級
	鋼管の間隔 (mm)	300	200	150	
	栈木+鋼管 (本)		3+2	4+3	
型枠合板の接合方法	釘の長さ (mm)	25, 38, 45, 50, ビス45			赤松特級, 赤松一級, 米桐, 杉, ラワン

表-2 栈木の性状

曲げ強度 (N/mm ²)	米桐 (78.4)	赤松特級 (72.7)	ラワン (66.8)	杉 (58.7)	赤松一級 (53.5)
曲げヤング係数 (kN/mm ²)	米桐 (8.70)	赤松特級 (7.93)	ラワン (7.24)	赤松一級 (5.21)	杉 (5.19)
曲げ強度の変動係数 (%)	赤松特級 (6.61)	米桐 (8.00)	赤松一級 (15.3)	ラワン (20.8)	杉 (21.4)

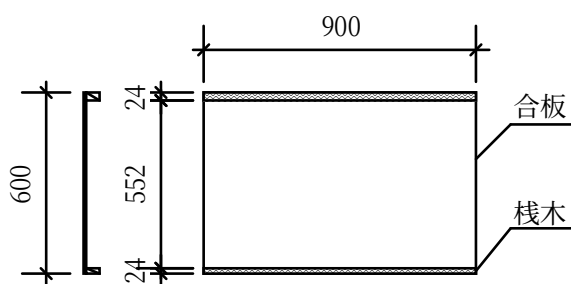


図-1 試験体の概要 (栈木の本数2本の場合)

900×12mmの寸法のものを用いた。また、JAS規格品であるコンクリート型枠用塗装合板に24×48×900mmの栈木および鋼管を接合したものを基準として用いた。

(3) 型枠合板の曲げ試験方法

型枠合板の曲げ試験状況 (栈木の本数2本の場合) を写真-1に示す。型枠合板の曲げ試験方法は、JAS「コンクリート型枠用塗装合板」-2001に準じて行い、スパンを辺長の900mmとし、中央部に集中荷重をかけ、最大荷重および型枠合板のたわみ量を測定した。ただし、標点距離は、実施工において想定される型枠の高さ方向におけるセパレータの間隔である600mmとした。なお、型枠合板のたわみ量は、載荷棒直下にダイヤルゲージを4つ配置し、その平均を用いた。



写真-1 型枠合板の曲げ試験状況 (栈木の本数2本の場合)

えられる。

(2) 型枠指針案に示されている値と本実験の値との比較

型枠指針案に示されている許容曲げ強度と本実験の曲げ強度から算出した許容曲げ強度の関係を図-2に示す。なお、ここでは、建築基準法施行令第89条「木材」を基に下式の曲げ強度から許容応力を求めた。

$$f_b = \frac{1.1 F_b}{3} \quad (1)$$

ここに、 f_b : 許容曲げ応力 (N/mm²)

F_b : 栈木の曲げ強度 (N/mm²)

3. 結果および考察

3.1 栈木の曲げ強度およびヤング係数

(1) 栈木の曲げ強度試験

栈木の性状を表-2に示す。栈木の曲げ強度は、米桐>赤松特級>ラワン>杉>赤松一級の順となっており、従来から言われている結果¹⁾とほぼ同じ傾向であった。曲げヤング係数は、曲げ強度とほぼ同様の傾向を示したが、杉および赤松一級では、曲げヤング係数がほぼ同等の結果となった。この理由は曲げ強度の変動係数が影響しているものと考えられ、変動係数が赤松一級で15.3%、杉で21.4%と大きなものであるため、ばらつきによるものと考

曲げ強度から算出した許容曲げ強度は、全ての樹種において、型枠指針案に示されている許容曲げ強度より大きくなる傾向を示した。

型枠指針案に示されている曲げヤング係数と本実験の曲げヤング係数の関係を図-3に示す。曲げヤング係数は、米桐を除き、若干ではあるものの、本実験の曲げヤング係数の方が小さくなる結果となった。これは、本実験の

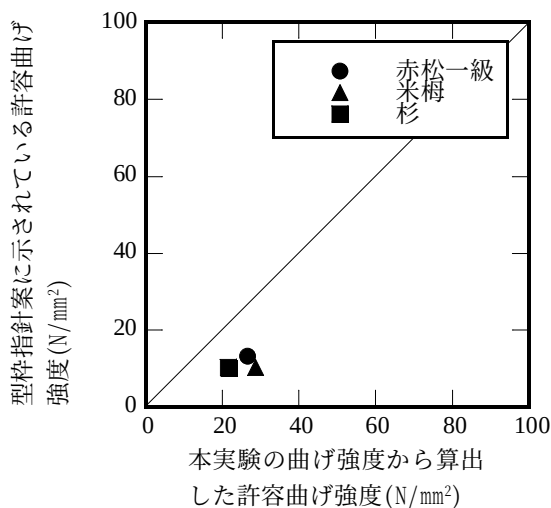


図-2 型枠指針案に示されている許容曲げ強度と本実験の曲げ強度から算出した許容曲げ強度の関係

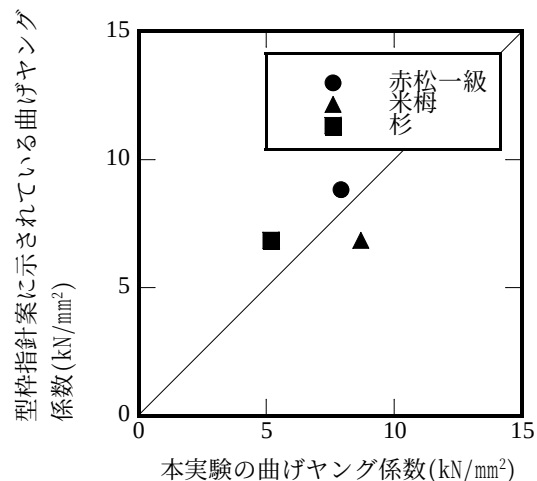


図-3 型枠指針案に示されている曲げヤング係数と本実験の曲げヤング係数の関係

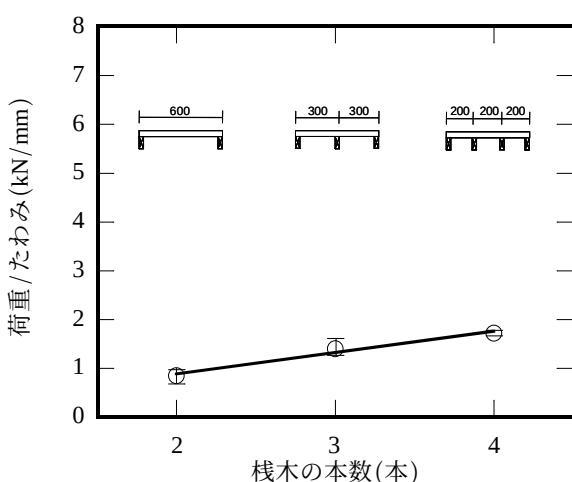


図-4 栈木の本数と荷重／たわみの関係

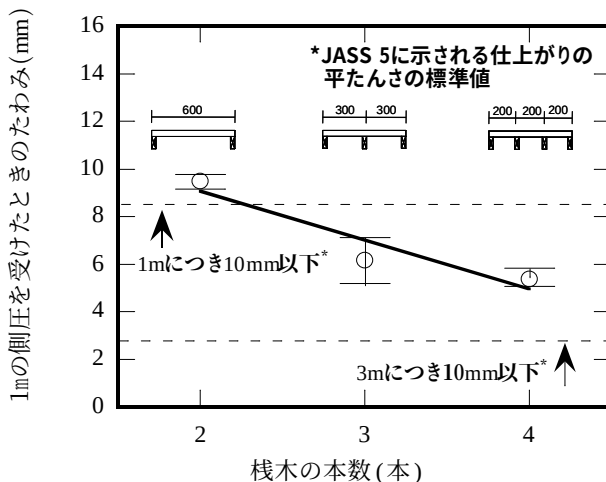


図-5 栈木の本数と1mの側圧を受けたときのたわみの関係

栈木の曲げ試験において標点距離をセパレータの間隔である600mmとしたことが原因と考えられる。

3.2 型枠合板の構成方法の違いが曲げ剛性に及ぼす影響 (1) 栈木の間隔の影響

栈木の本数と荷重／たわみの関係を図-4に示す。なお、荷重／たわみは、型枠合板の荷重-たわみ曲線の比例域において抽出した値とした。栈木の本数と荷重／たわみの関係は、ほぼ比例関係にあり、栈木の本数が1本増えるごとに、荷重／たわみが40%程度増加する結果となった。これは、当然のことながら断面二次モーメントが大きくなったためと考えられる。

栈木の本数と1mの側圧を受けたときのたわみの関係を図-5に示す。ここでいう1mの側圧を受けたときのたわみとは、型枠合板が打込み高さ1mの側圧を受けた際のたわみを想定したもので下式から算出した。

$$P = W_0 H$$

(2)

ここに、 W_0 :フレッシュコンクリートの単位容積質量 (t/m^3)に重力加速度を乗じたもの(kN/m^3)
H:フレッシュコンクリートのヘッド (m)

また、図中に示した破線は、「建築工事標準仕様書・同解説 JASS 5 鉄筋コンクリート工事」⁴⁾に示されている 仕上りの平たんさ1mにつき10mm以下の標準値、3mにつき10mm以下の標準値および3mにつき7mm以下の標準値を示している。1mの側圧を受けた際のたわみと栈木の本数は、負の相関性を示した。この理由として、前述したように断面二次モーメントが大きくなったためと考えられる。これにより、栈木の場合、栈木(2本)だとJASS 5に示される仕上りの平たんさ1mにつき10mm以下の標準値を満足できず、栈木(4本)の場合においても仕上りの平たんさ3mにつき10mm以下の標準値には満足しないため、鋼管を用いない場合は、コンクリートの側圧を受けた型枠のたわみにより凸凹が生じてしまう可能性が考えられる。

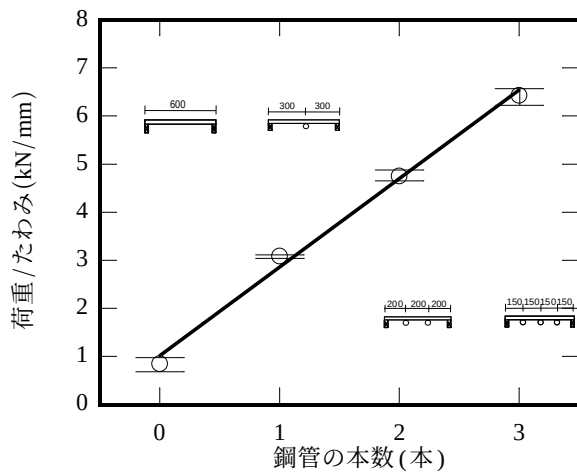


図-6 鋼管の本数と荷重/たわみの関係

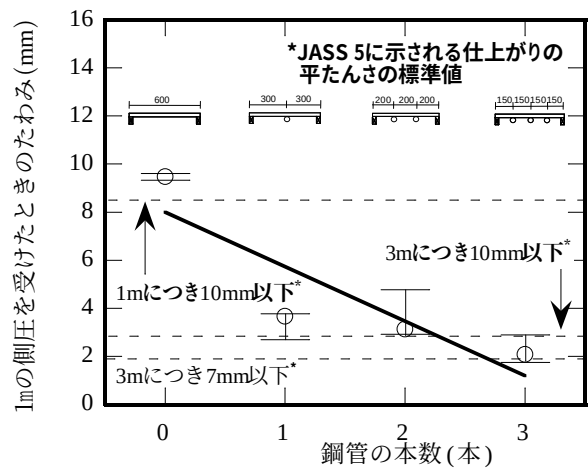


図-7 鋼管の本数と1mの側圧を受けたときのたわみの関係

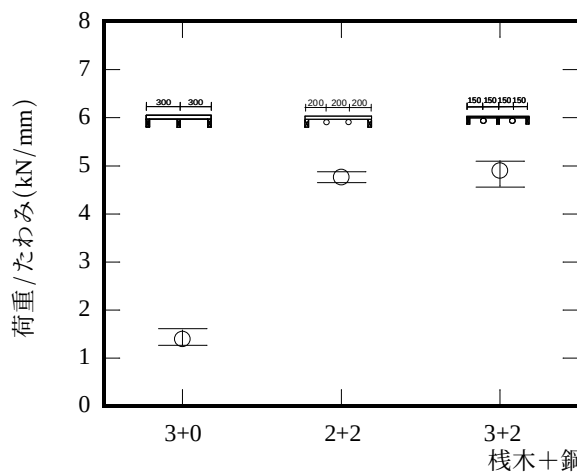


図-8 栈木+鋼管の本数と荷重/たわみの関係

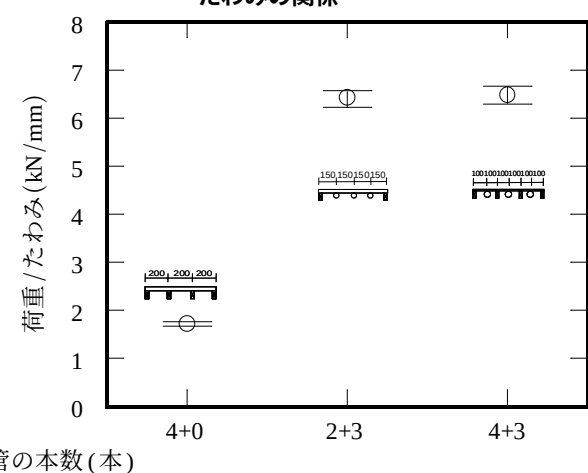


図-9 栈木+鋼管の本数と1mの側圧を受けたときのたわみの関係

(2) 鋼管の間隔の影響

鋼管の本数と荷重 / たわみの関係を図-6に示す。荷重 / たわみと鋼管の本数は、比例関係になる傾向を示した。これは、当然のことながら前述したように断面二次モーメントが大きくなったためと考えられる。これにより鋼管の本数を増やすことで型枠合板の剛性がより大きくなると考えられる。

鋼管の本数と1mの側圧を受けたときのたわみの関係を

図-7に示す。鋼管の本数の増加により、1mの側圧を受けたときのたわみは、小さくなる傾向を示した。また、この傾向は、鋼管の本数が0本と1本で顕著となった。この理由として、前述したように型枠合板の曲げ剛性は、鋼管に依存していることが考えられる。また、この結果は、仕上がり平たんさ1mにつき10mm以下の標準値を満足する結果となった。さらに、鋼管を3本に増やすと仕上がりの平たんさ3mにつき10mm以下の標準値を満足する結果と

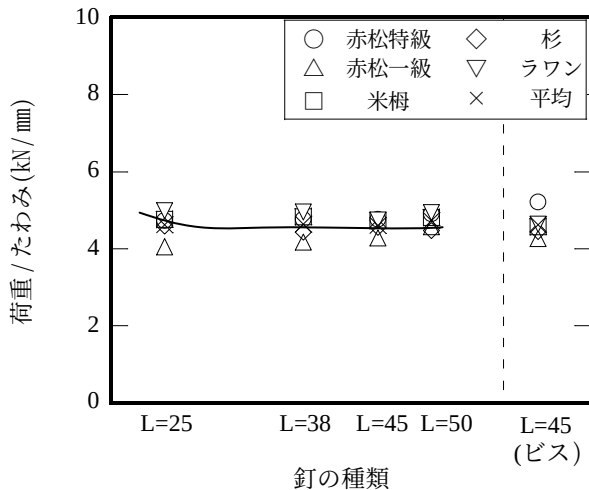


図-10 釘の種類と荷重 / たわみの関係

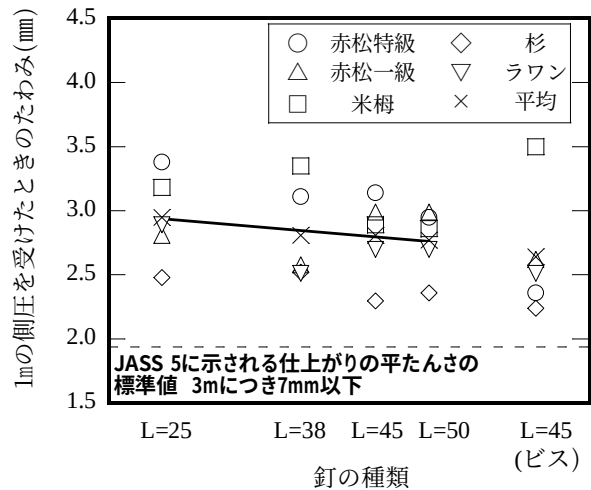


図-11 釘の種類と1mの側圧を受けたときのたわみの関係

なった。これより仕上がり平たんさ3mにつき7mm以下と最も厳しい標準値を満足するには、締付け金物およびセパレータ等の型枠支保工が重要であると考えられる。

(3) 栈木+鋼管の影響

栈木+鋼管の本数と荷重 / たわみの関係を図-8に示す。3+0の場合が最も小さくなり、2+2および3+2の本数を増やした場合の値は、ほぼ同等となった。このことから、荷重 / たわみの関係は鋼管の本数に依存すると考えられる。

栈木+鋼管の本数と1mの側圧を受けたときのたわみの関係を図-9に示す。2+3と4+3の1mの側圧を受けたときのたわみは、ほぼ同等であった。このことから、栈木の本数を増やすことにより、载荷初期における荷重-たわみ曲線のたわみの立上がりには影響があるが、型枠合板の曲げ剛性に対しては大きな影響は見られないことが観察された。

3.3 栈木と合板の接合方法の違いが曲げ剛性に及ぼす影響

釘の種類と荷重 / たわみの関係を図-10に示す。1mの側圧を受けたときのたわみは、釘の種類がL=50～38の範囲であれば小さくなる傾向を示し、L=38およびL=25でほぼ同等となる傾向を示した。この理由は、釘の長さの違いが釘の引抜き抵抗に影響していると考えられる。また、L=38およびL=25で同等となる理由として、栈木に対する釘の打込み長さがL=35以下だと栈木のせい(48mm)の半分以下となることにより影響が小さくなったものと考えられる。しかし、今後は、引抜き抵抗試験についても検討する必要がある。

釘の種類と1mの側圧を受けた際のたわみの関係を図-11に示す。木材の種類でばらつきが多いものの1mの側圧を受けたときのたわみの平均値は、釘の長さが短くなるにつれ若干ではあるが、小さくなる傾向を示した。これは、

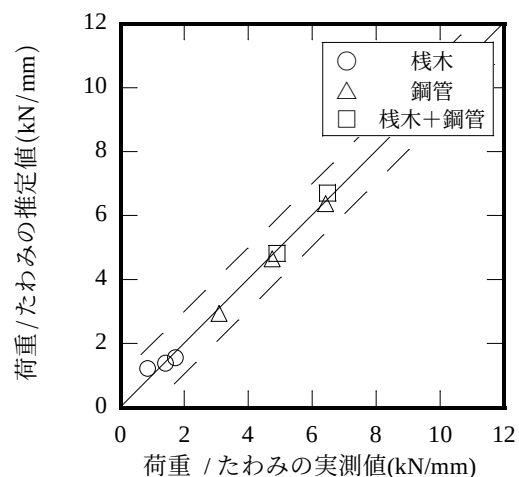


図-12 荷重 / たわみの実測値と推定値の比較

前述したように釘の引き抜き抵抗に影響していると考えられる。

4. 型枠合板における1mの側圧を受けたときのたわみと荷重 / たわみの推定式の提案

荷重 / たわみの実測値と推定値の比較を図-12に、1mの側圧を受けたときの実測値と推定値の比較を図-13に示す。前項までの結果から、荷重 / たわみと栈木の本数および鋼管の本数ともに荷重 / たわみと比例関係を示していることから、重回帰分析を行うことで型枠合板における荷重 / たわみを推定することが可能であると考えられる。荷重 / たわみに影響を及ぼす要因として栈木の本数および鋼管の本数が挙げられる。そこで、これらの要因を説明変数とし、荷重 / たわみを従属変数として重回帰分析を行うと重相関係数が0.99となり、荷重 / たわみは、下式で表される。

$$E' = -0.17W + 1.72S + 0.88 \quad (3)$$

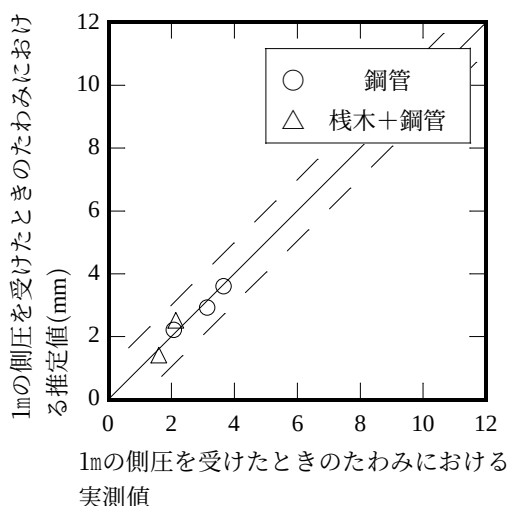


図-13 1mの側圧を受けたときの実測値と推定値の比較

ここに、 E' : 荷重 / たわみ

W : 栈木の本数(本)

S : 鋼管の本数(本)

ただし、 $3 \leq S \leq 0$, $4 \leq W \leq 2$ とする。

また(2)式より得られる推定値と実測値とを比較すると図-12のようになり精度よく推定できることがわかる。

前述したように、栈木の本数および鋼管の本数ともに1mの側圧を受けたときのたわみと負の相関性を示しているため重回帰分析を行うと、重相関係数が0.96となり、1mの側圧を受けたときのたわみは、下式で表される。

$$\delta = -0.63 W - 1.77 S + 8.36 \quad (4)$$

ここに、 δ : 1mの側圧を受けたときのたわみ(mm)

W : 栈木の本数(本)

S : 鋼管の本数(本)

ただし、 $3 \leq S \leq 1$, $4 \leq W \leq 2$ とする。

また、(3)式より得られる推定値と実測値とを比較すると図-13のようになり精度よく推定できることがわかる。

5. まとめ

本研究は、型枠の構成方法の違いが型枠合板の曲げ剛性に及ぼす影響を明らかにするために、栈木の曲げ強度およびヤング係数、型枠合板の構成材料の違いが曲げ剛性に及ぼす影響、栈木と合板の接合方法の違いが曲げ剛性に及ぼす影響および型枠合板における1mの側圧を受けたときのたわみと荷重 / たわみの推定式の提案について

検討を行った。本研究で得られた知見を以下に示す。

- (1) 栈木に用いた木材の曲げ強度から算出した許容曲げ強度は、全ての樹種において、型枠指針案に示されている許容曲げ強度より大きくなる傾向を示し、曲げヤング係数においては、米杓を除き、若干ではあるものの、本実験の曲げヤング係数の方が小さくなる結果となった。
 - (2) 栈木の本数と荷重 / たわみの関係は、ほぼ比例関係にあり、栈木の本数が1本増えるごとに、荷重 / たわみの値が40%程度増加する結果となった。
 - (3) 1mの側圧を受けた際のたわみと栈木の本数は、負の相関性を示したが、栈木の場合、栈木(2本)だとJASS 5に示される仕上りの平たんさ1mにつき10mm以下の標準値を満足できず、栈木(4本)の場合においても仕上りの平たんさ3mにつき10mm以下の標準値には満足しない結果となった。
 - (4) 荷重 / たわみと鋼管の本数は、比例関係になる傾向を示した。また、鋼管の本数の増加により、1mの側圧を受けたときのたわみは、小さくなる傾向を示した。
 - (5) 1mの側圧を受けたときのたわみは、釘の種類がL=55～38の範囲であれば小さくなる傾向を示し、L=38およびL=25でほぼ同等となる傾向を示した。また、釘の長さが短くなるにつれ若干ではあるものの、荷重 / たわみは大きくなる傾向を示した。
 - (6) セパレータの間隔を600mmとした場合の荷重 / たわみ1mの側圧を受けたときのたわみの推定値は、推定式より精度よく求めることができた。
- 今後は、釘の引抜き抵抗試験を行い、型枠合板の曲げ剛性と釘の引抜き抵抗の関係について検討をおこなってみたい。

謝辞

本実験を行うにあたり、ものづくり大学建設技能工芸学科澤本研究室および日本大学理工学部建築学科中田研究室的の学生から多大な協力をいただきました。ここに記して深謝します。

参考文献

- 1) 社団法人 日本建築学会：型枠の設計・施工指針案，社団法人 日本建築学会，1988.7
- 2) 山井良三郎：型枠用標準合板の強度的性質，建築技術，No.177，pp.159-175，1966.4
- 3) 社団法人 日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説 JASS 5 鉄筋コンクリート工事 2003，社団法人 日本建築学会，2003.6