

論文 在来型枠工法におけるセパレータの割付けおよび内端太の構成が異なる壁型枠の変形に関する一考察

荒巻 卓見^{*1}・中田 善久^{*2}・大塚 秀三^{*3}・宮田 敦典^{*4}

要旨: 本研究は、在来型枠工法における壁型枠のコンクリートの側圧による変形について実験的に明らかにすることを目的とし、せき板に2'×6'合板を縦使いとして用いた壁型枠を対象に、セパレータの割付けおよび内端太の構成を変化させて検討した。その結果、せき板のたわみは、支点間距離となる内端太の間隔が同一の場合、内端太に用いる材料の違いによる差異が小さかった。また、内端太のたわみは、内端太の構成が桟木のみの場合、単管のみの場合に比べて大幅に大きく、コンクリートの打込み方法によってはコンクリートの側圧が過大となり型枠の許容変形量を超える危険性が高い。

キーワード: 型枠、在来型枠工法、せき板、内端太、セパレータ、コンクリートの側圧

1. はじめに

型枠工事は、所要の性能を有した鉄筋コンクリート部材を所定の形状・寸法に成形するための工事であり、鉄筋コンクリート工事の中の重要な工事の1つである。このため、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 2015」¹⁾(以降、JASS 5 とする)および同学会「型枠の設計・施工指針」²⁾(以降、型枠指針とする)では、型枠の移動や変形が許容差の範囲内に収まるように、強度と剛性についての構造計算を行うことが述べられている。また、構造計算上の型枠の変形量の許容値は、型枠を構成するせき板、内端太、外端太および締付け金物などの各部材それぞれの変形量を2mm程度とし、各構成部材の変形量を合計した総変形量を5mm以下とすることが目安として示されている。

これまでに筆者らは、施工現場において型枠の強度と剛性についての構造計算が疎かとなり、程度の差こそあれ型枠の破壊や倒壊が発生している実状を考慮して、在来型枠工法における壁型枠を対象に、型枠を簡易に設計・施工管理できる「在来型枠工法における内端太・セパレータの間隔および合板の転用を考慮した壁型枠の簡易設計方法」³⁾(以降、簡易設計方法とする)を提案している。既報の簡易設計方法³⁾は、コンクリートの側圧に対応した壁型枠を構成する各部材のたわみや応力度などを設計図表から簡易に求めることができる方法である。

一方で、型枠工事に関する既往の研究は、型枠に作用するコンクリートの側圧を対象とした検討に留まっているものが多く、コンクリートの側圧により生じる型枠の変形について検討した例は無く不明な点が残る。

そこで、本研究は、在来型枠工法における壁型枠を対象に、コンクリートの側圧による変形を明らかにすることを目的とし、コンクリートの打込み高さが1.8mの壁型枠を作製し実験的に検討した。また、既報の研究で提案した壁型枠の簡易設計方法³⁾と実験結果との比較検討を行った。

2. 実験概要

2.1 壁型枠の構成および実験の組合せ

壁型枠の構成および実験の組合せを表-1に示す。本研究で対象とした在来型枠工法における壁型枠は、せき板にコンクリート型枠用合板(以降、合板とする)を用いて、内端太(桟木・単管)、外端太(単管2丁使い)および締付け金物(本体、座金、セパレータ、コーン)で構成されるものである。本実験では、せき板に2'×6'合板(幅600×長さ1,800×厚さ12mm)を縦使いとして用いた場合の壁型枠について検討した。壁型枠の構成は、既報の型枠工事業者を対象としたアンケート調査⁴⁾の結果をもとに、施工現場で多く採用されているセパレータの割付けが2水準と内端太の構成が2水準で組み合わせられる計4水準とした。また、打ち込むコンクリートは、呼び強度が異なる3種類とし、表-1に示す壁型枠の構成とコンクリートの種類の組合せで実験を行った。

コンクリートの打込み・締固めは、コンクリートバケットを用いて2層に分けて打ち込み、各層ごとにコンクリート棒形振動機による締固めを行った。なお、本実験におけるコンクリートの打込み速さは、6.2m/hr(1.0m/10min)～9.0m/hr(1.5m/10min)の範囲内であった。

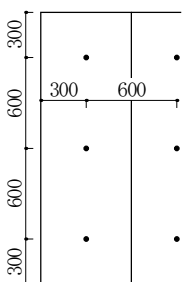
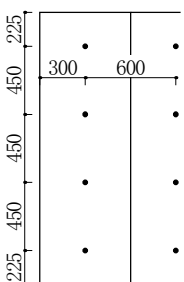
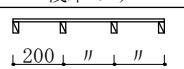
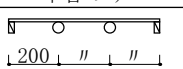
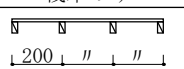
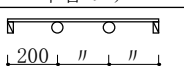
*1 日本大学 生産工学部 ポストドクター研究員 博士(工学) (正会員)

*2 日本大学 理工学部建築学科 教授 博士(工学) (正会員)

*3 ものつくり大学 技能工芸学部建設学科 准教授 博士(工学) (正会員)

*4 日本大学 理工学部建築学科 助手 修士(工学) (正会員)

表－１ 壁型枠の構成および実験の組合せ

壁型枠の構成	せき板	2'×6'合板(幅600×長さ1,800×厚さ12mm)の縦使い			
	セパレータの割付け (単位:mm)	1列3段		1列4段	
					
		セパレータの本数*1: 3本/合板1枚 セパレータの幅方向の間隔 (横間隔): $l_w=600\text{mm}$ セパレータの長さ方向の間隔 (縦間隔): $l_l=600\text{mm}$		セパレータの本数*1: 4本/合板1枚 セパレータの幅方向の間隔 (横間隔): $l_w=600\text{mm}$ セパレータの長さ方向の間隔 (縦間隔): $l_l=450\text{mm}$	
コンクリートの種類	内端太の構成 (単位:mm)	内端太の本数*2:2本, 内端太の間隔: $l_s=200\text{mm}$		内端太の本数*2:2本, 内端太の間隔: $l_s=200\text{mm}$	
		栈木のみ	単管のみ	栈木のみ	単管のみ
					
コンクリートの種類	呼び強度 57	○	○	○	○
	呼び強度 39	○	—	○	—
	呼び強度 24	○	—	○	—

*1 縦使いとした定尺の合板1枚に対するセパレータの本数

*2 セキ板を栈木付きパネルとした際の枠材を除く内端太の本数

表－２ 型枠の構成材料

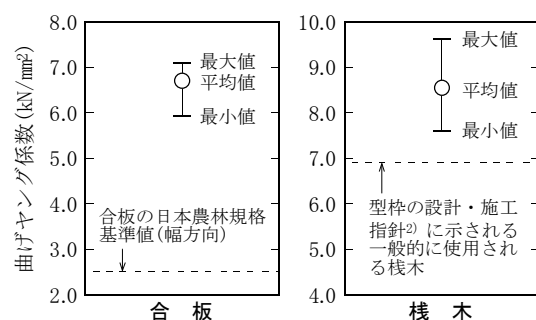
構成材料		形状・寸法	規格
せき板	合板(縦使い)	2'×6'合板(幅600×長さ1800mm), 厚さ12mm, 塗装合板	「合板の日本農林規格(コンクリート型枠用合板の規格)」の適合品
内端太	栈木	48×24mm, 樹種:ペイマツ	—
	単管	φ48.6mm, 厚さ2.3mm	JIS G 3444「一般構造用炭素鋼鋼管」の規格品
外端太	単管(2丁使い)		
締付け金物		【本体】締付け方式:ねじ式, ねじ径:W5/16 【座金】ねじ式の単管用座金 【コーン】長さ(かぶり厚さ):25mm, ねじ径:W5/16 【セパレータ】ねじ径:W5/16(φ7mm), 有効断面積34.0mm ² , 許容引張荷重:14.0kN	

2.2 型枠の構成材料

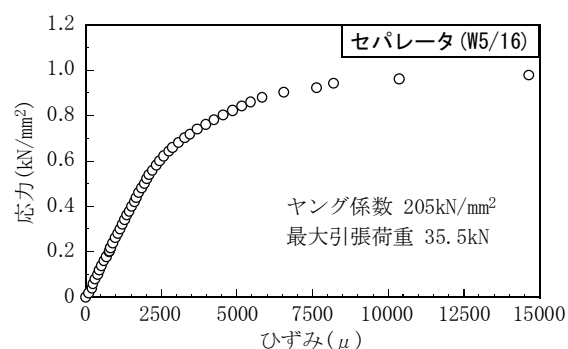
型枠の構成材料を表－2に示す。型枠の構成材料は、既報のアンケート調査⁴⁾において、主に関東地方の型枠工事で多く使用されているものを選定した。せき板に用いる合板および内端太に用いる栈木は、未使用のものとし、締付け金物におけるセパレータは、製造会社が許容引張荷重を保証しているものを使用した。また、合板および栈木の曲げヤング係数について曲げ試験を行った結果を図－1に、セパレータの引張試験を行った結果の一例を図－2に示す。なお、合板の曲げ試験は、合板の日本農林規格(コンクリート型枠用合板の規格)別記の3の(7)曲げ剛性試験に準拠し、栈木の曲げ試験は、JIS Z 2101:2009の曲げ試験の方法を準用して行った。

2.3 コンクリートの種類

壁型枠に打ち込むコンクリートは、コンクリートの側圧に影響する要因の1つである単位容積質量を変化させるために呼び強度57(目標スランプフロー60cm)、39(目標スランプ21cm)および24(目標スランプ18cm)の3種類を用いて検討した。



図－１ 本実験で使用した合板および栈木の曲げヤング係数



図－２ 本実験で使用したセパレータの応力-ひずみ曲線の一例

表－3 測定項目および測定方法

測定項目		測定方法
壁型枠の変形	せき板のたわみ	変位計を用いて測定
	内端太のたわみ	
	外端太のたわみ	
コンクリートの側圧		セパレータのひずみから求める方法

表－4 フレッシュコンクリートの性状

壁型枠の構成		コンクリートの種類	フレッシュコンクリートの性状			
セパレータの割付け	内端太の構成		SL*2 SF*3 (cm)	空気量 (%)	単位容積質量 (kg/m³)	コンクリート温度 (℃)
1列3段	栈木のみ	57*1	SF:62.5	5.0	2,343	28
1列4段	単管のみ		SF:68.0	4.2	2,348	27
1列3段	栈木のみ	39*1	SL:20.5	4.6	2,308	24
1列4段		24*1	SL:17.5	3.9	2,247	24

*1 呼び強度 *2 SL:スランプ *3 SF:スランプフロー

2.4 測定項目および測定方法

測定項目および測定方法を表－3に、壁型枠の変形に関する測定位置の一例を図－3に示す。測定項目は、壁型枠の変形に関する事項とコンクリートの側圧の2項目とし、コンクリートの打込みを開始した時点から打込み・締固めが終了するまで10秒間隔で測定を行った。せき板、内端太および外端太のたわみは、1/1000mm精度の変位計を用いて測定した2～4点の平均値とした。また、コンクリートの側圧の測定は、既往の研究⁹⁾で用いられている測定方法のうち、セパレータのひずみから求める方法とし、式(1)により算出した3点の平均値とした。なお、コンクリートの側圧は、フレッシュコンクリートの単位容積質量に重力加速度を乗じた値とフレッシュコンクリートのヘッドの積で表されるものである。

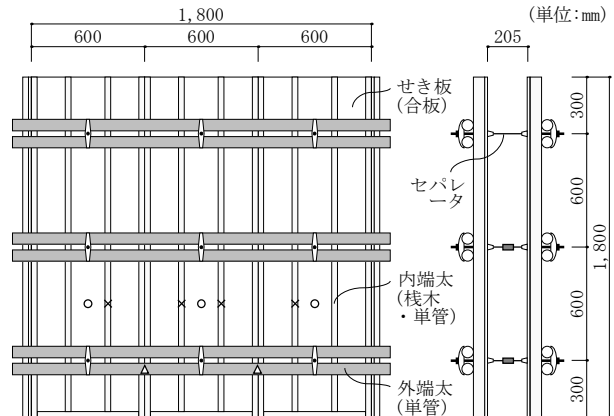
$$P_s = \frac{\varepsilon \cdot E \cdot sA}{A} \quad (1)$$

ここで、 P_s :コンクリートの側圧(kN/m²)、 ε :セパレータのひずみ、 E :セパレータのヤング係数(205kN/mm²)、 sA :セパレータの有効断面積(mm²)、 A :セパレータ1本が負担する面積(m²)

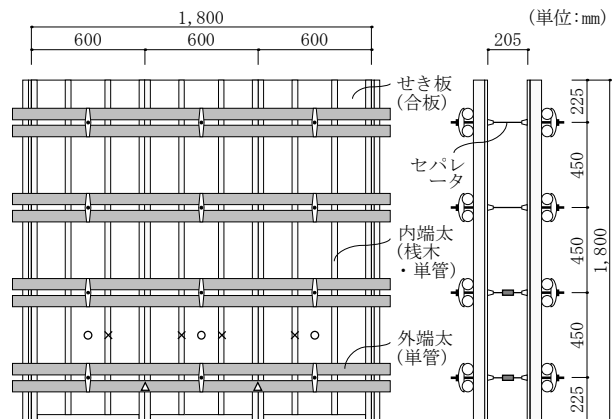
3. 実験結果および考察

実験結果におけるコンクリートの側圧とせき板、内端太および外端太のたわみの関係の図中には、構造計算上の値として、既報の研究で提案した壁型枠の簡易設計方法³⁾の計算方法による値(以下、簡易設計方法の値とする)および型枠の設計・施工指針²⁾の計算方法による値(以下、型枠指針の値とする)を併記し、本実験の測定結果との比較検討を行った。なお、外端太のたわみおよび内端太の構成が単管のみの場合の内端太のたわみは、簡易

○:せき板のたわみの測定位置(計3点)、×:内端太のたわみの測定位置(計4点)、△:外端太のたわみの測定位置(計2点)、■:セパレータのひずみ(コンクリート側圧)の測定位置(各段3点の計6点)



〔セパレータの割付け:1列3段の壁型枠〕



〔セパレータの割付け:1列4段の壁型枠〕

図－3 壁型枠の変形に関する測定位置の一例

設計方法の値と型枠指針の値が同値である。

3.1 フレッシュコンクリートの性状

打ち込んだコンクリートの荷卸し地点におけるフレッシュコンクリートの性状は、表－4に示すとおりである。なお、荷卸し地点におけるスランプまたはスランプフローおよび空気量(目標値4.5%)は、いずれのコンクリートもJIS A 5308:2014に規定される許容差を満足していた。

3.2 せき板のたわみ

コンクリートの側圧とせき板のたわみの関係を図－4に示す。せき板のたわみの測定結果は、いずれの壁型枠の構成においても、コンクリートの種類によらず、コンクリートの側圧に対してばらつきはあるものの概ね比例的に大きくなる傾向を示し、セパレータの割付けおよび内端太の構成の違いによる多少の相違が認められる。ただし、その相違は、明確な傾向が見られないばらつきを含んだ小さい範囲であり、実用上問題にならないものと思われる。すなわち、せき板のたわみは、内端太に用いる材料にかかわらず、支点間距離となる内端太の間隔と使用する合板の曲げヤング係数によって概ね定まるもの

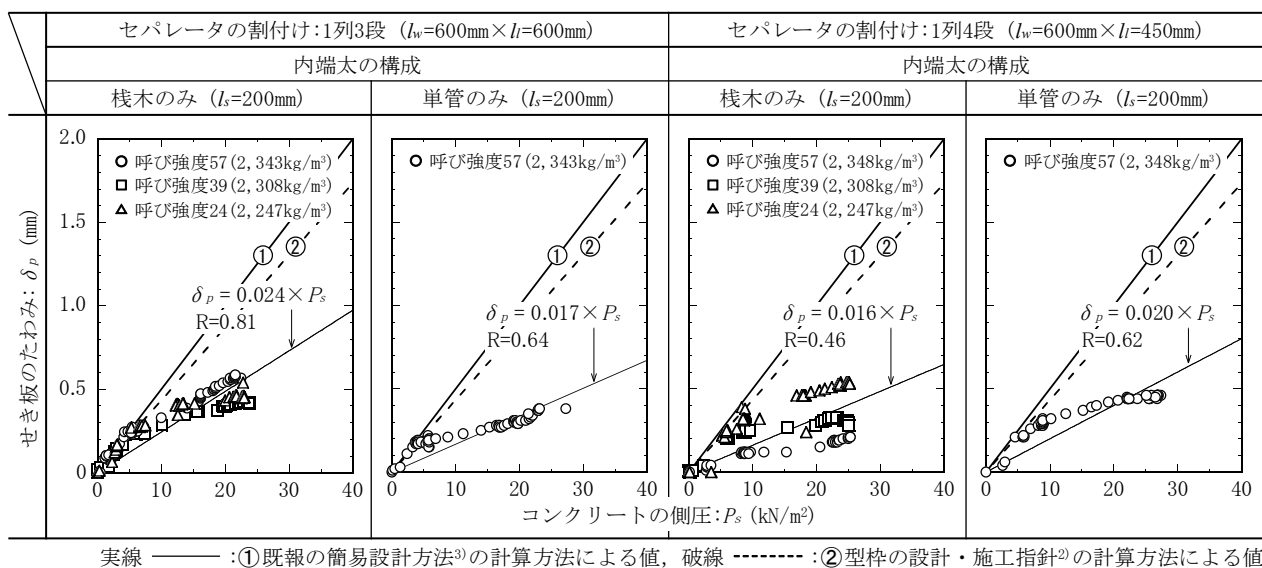


図-4 コンクリートの側圧とせき板のたわみの関係

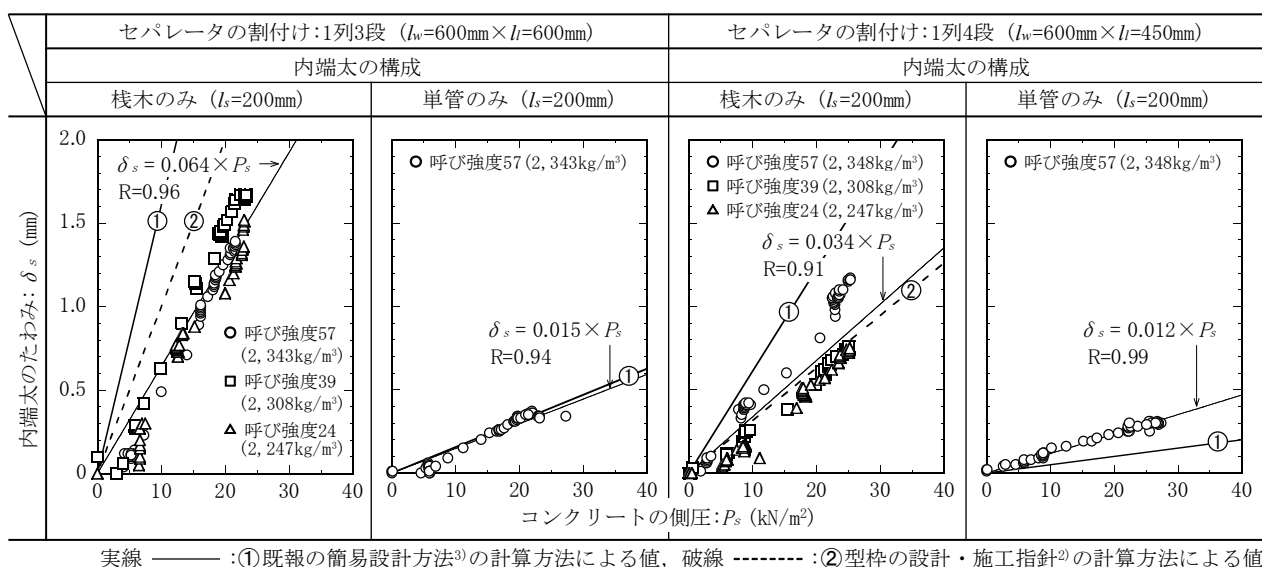


図-5 コンクリートの側圧と内端太のたわみの関係

と考えられる。

また、測定結果に基づき原点を通る1次回帰式を求めると傾きの平均値は約0.020であり、コンクリートの単位容積質量が2,350kg/m³でコンクリートの側圧を液圧と仮定すると、コンクリートの側圧が約92kN/m²となるフレッシュコンクリートのヘッドが4.0mに達しても、せき板のたわみは約1.8mmとJASS 5¹⁾や型枠指針²⁾における型枠の各構成部材の許容変形量(2mm)を満足できることが示唆される。

なお、本実験の検計範囲におけるせき板のたわみの測定値は、いずれの壁型枠の構成においても、簡易設計方法の値に比べて極めて小さな値であった。これは、図-1に示すように本実験に使用した合板の曲げヤング係数が、簡易設計方法の値を求めるために用いた合板の日本農林規格における曲げヤング係数の基準値($2.5 \times 10^3 \text{N/}$

mm²)よりも大きな値であったことが要因と考えられる。

3.3 内端太のたわみ

コンクリートの側圧と内端太のたわみの関係を図-5に示す。内端太のたわみの測定結果は、せき板のたわみと同様に、いずれの壁型枠の構成においても、コンクリートの側圧に対して比例的に大きくなる傾向を示した。

また、測定結果に基づき原点を通る1次回帰式を求めると高い相関性を示した。この傾きは、セパレータの割付けが同一の壁型枠の構成において、内端太の構成が単管のみの場合、栈木の場合に比べて大幅に小さくなることが確認された。これは、材料の曲げ剛性の違いによるものであるが、セパレータの割付けが1列3段で内端太の構成が栈木の場合、コンクリートの単位容積質量が2,350kg/m³でコンクリートの側圧を液圧と仮定すると、コンクリートの側圧が約31kN/m²となるフレッ

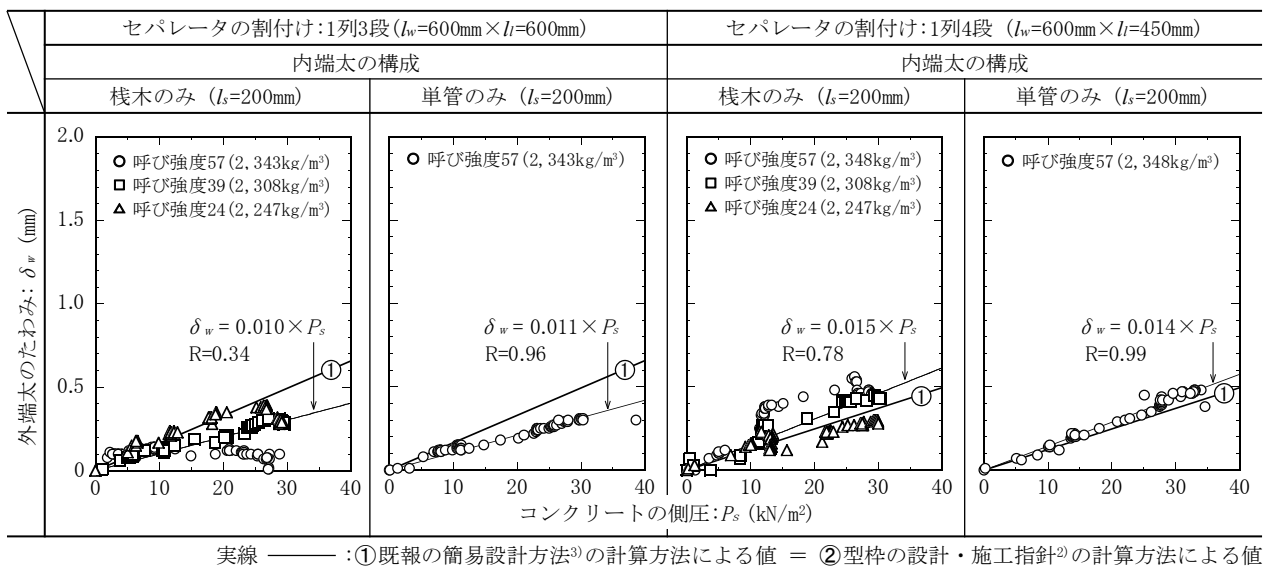


図-6 コンクリートの側圧と外端太のたわみの関係

シュコンクリートのヘッドが約1.4mで内端太のたわみが許容変形量(2mm)を超える可能性が示唆される。このため、型枠の剛性の面だけでなく施工時の安全性の面からもコンクリートの側圧が過大となる場合には、内端太に単管を用いることが望ましいものと思われる。

なお、本実験の検討範囲における内端太のたわみの測定値は、簡易設計方法の値に比べて内端太の構成が栈木の場合小さな値であり、単管の場合同等から僅かに大きな値となる傾向を示した。また、セパレータの割付けが1列4段で内端太の構成が栈木の場合の壁型枠において、内端太のたわみが型枠指針の値よりも大きくなる傾向が見られ、内端太のたわみを過小評価した危険側の設計となっていることが示唆される。一方で、既報の簡易設計方法³⁾が安全側の設計となっているのは、木質材料である栈木の曲げヤング係数に及ぼす支点間距離の影響を考慮しているためである。

3.4 外端太のたわみ

コンクリートの側圧と外端太のたわみの関係を図-6に示す。外端太のたわみの測定結果は、せき板および内端太と同様に、コンクリートの側圧に対してばらつきはあるものの概ね比例的に多くなる傾向を示した。このばらつきは、内端太の構成が栈木の場合において大きくなる傾向が見られ、木材の局部破壊などが生じたことによる影響と考えられる。

なお、本実験の検討範囲における外端太のたわみの測定値は、簡易設計方法の値に比べて同等から僅かに大きな値となる傾向が見られた。しかしながら、単管を2丁使いとし用いる外端太は、壁型枠の構成によらず、コンクリートの側圧が過大となった場合もせき板や内端太と比べて変形量(たわみ)が小さな部材であり、ばらつきを含んだ多少の超過は施工上大きな問題にならないものと

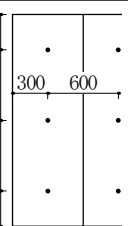
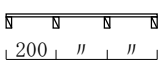
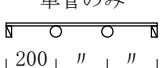
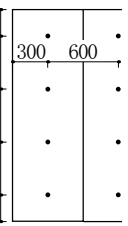
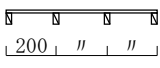
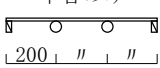
思われる。

4. コンクリートの打込み方法と壁型枠の剛性に関する一考察

本実験は、コンクリートの打込み高さが1.8mの壁型枠について、壁型枠の構成を変化させた。ここでは、本実験で対象とした壁型枠の構成をコンクリートの打込み高さが4.0mの壁部材に用いた場合のコンクリートの打込み方法と壁型枠の剛性の関係について、本実験で得られた結果に基づき検討したものを表-5に示す。ただし、型枠の構成材料は、壁型枠の各構成部材に生じる応力度などが満足できる十分な強度を有したものと仮定していることを付記する。壁型枠の剛性についての可否の判定は、JASS 5¹⁾および型枠指針²⁾に示される型枠の許容変形量を基準とし、各構成部材の変形量が2mm以下と型枠の総変形量が5mm以下を満足する場合を合格とした。また、コンクリートの打込みの条件は、コンクリートを1層で打ち上げる際を打込み速さが20m/hrを超える場合とし、回し打ちとする際を打込み速さが10m/hrを超え20m/hr以下の場合および10m/hr以下の場合とそれぞれ仮定して検討した。なお、打ち込むコンクリートは、単位容積質量が2,350kg/m³のものと仮定し、コンクリートの側圧をJASS 5¹⁾における型枠設計用の算定式により求めた。

内端太の構成が単管のみの壁型枠は、コンクリートの側圧が最も大きくなる打込み速さが20m/hrを超える場合においても、セパレータの割付けによらず型枠の許容変形量を満足した。一方で、内端太の構成が栈木のみの壁型枠は、セパレータの割付けが1列3段の場合、いずれのコンクリートの打込み方法においても型枠の許容変形量を満足できないものの、セパレータの割付けが1列4段の場合、打込み方法を回し打ちとして見掛けの打込み速

表－5 コンクリートの打込み方法と壁型枠の剛性の関係

打込み高さ4.0mの壁部材に用いる壁型枠			コンクリートの打込み方法および打込み速さ		
壁型枠の構成			1層打ち	回し打ち(層分け)	
せき板	セパレータの割付け(mm)	内端太の構成(mm)	20m/hrを超える場合	10m/hrを超え20m/hr以下の場合	10m/hr以下の場合
2×6合板	1列3段 	栈木のみ 	× [内端太のたわみが許容変形量(2mm)を超過]	× [内端太のたわみが許容変形量(2mm)を超過]	× [内端太のたわみが許容変形量(2mm)を超過]
		単管のみ 	○	○	○
	1列4段 	栈木のみ 	× [内端太のたわみが許容変形量(2mm)を超過]	○	○
		単管のみ 	○	○	○

【型枠の許容変形量】各構成部材の許容変形量:2mm, 型枠の許容総変形量(各構成部材の変形量の合計値):5mm
[凡例] 型枠の許容変形量に対する合否 ○:合格, ×:不合格

さを小さくし、コンクリートの側圧を緩和することで型枠の許容変形量を満足する結果となった。なお、型枠の許容変形量を満足できない内端太の構成が栈木のための壁型枠は、いずれも内端太のたわみが許容変形量(2mm)を超えるためである。このことから、壁型枠における内端太の構成を栈木のみとする場合は、セパレータの割付けを考慮するとともに、コンクリートの側圧が過大とならないように打込み方法を十分に検討することが重要である。ただし、コンクリートの側圧を緩和するために回し打ちを行う場合、コールドジョイントが生じないように打重ね時間を配慮して施工する必要がある。

5. まとめ

本研究の範囲内で得られた知見を以下に示す。

- (1) 壁型枠を構成するせき板、内端太および外端太のたわみは、コンクリートの側圧に対して概ね比例的に大きくなる。
- (2) せき板のたわみは、内端太の構成が栈木のみまたは単管のみにかかわらず、内端太の間隔が同一の場合、概ね同等となる。
- (3) 内端太のたわみは、内端太の構成が栈木の場合、単管の場合に比べて極めて大きく、コンクリートの打込み方法によってはコンクリートの側圧が過大となり許容変形量を超える危険性が高い。
- (4) 外端太のたわみは、内端太に栈木を用いた場合、木材の局部破壊などが生じることでばらつきが大きくなるものの、せき板や内端太のたわみよりも比較的小さい。
- (5) コンクリートの打込み高さが4.0mの壁部材に用いる

壁型枠は、内端太の構成を単管のみとすることで、コンクリートの打込み方法によらず型枠の許容変形量を満足することが可能である。一方で、内端太の構成が栈木の場合、セパレータの割付けやコンクリートの打込みによっては型枠の剛性が不足する危険性が高い。

謝辞

本実験の実施にあたり、日本大学理工学部建築学科材料施工研究室およびものづくり大学技能工芸学部建設学科建築材料施工研究の学生より多大なる助力を得た。ここに記して、謝意を表する。

参考文献

- 1) 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 2015, 2015.7
- 2) 日本建築学会：型枠の設計・施工指針, 2011.2
- 3) 荒巻卓見, 中田善久, 大塚秀三, 榎田佳寛:在来型枠工法における内端太・セパレータの間隔および合板の転用を考慮した壁型枠の簡易設計方法の提案, 日本建築学会構造系論文集, Vol.81, No.27, pp.1391-1401, 2016.9
- 4) 荒巻卓見, 中田善久, 大塚秀三, 宮田敦典:型枠工事業者を対象とした在来型枠工法における型枠の構成材料とその構成方法に関するアンケート調査, 日本建築学会技術報告集, Vol.23, No.53, pp.19-24, 2017.2
- 5) 近藤基樹, 山根昭, 麓勉, 奥野亨:コンクリートの側圧に関する研究(その1・その2), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.159-162, 1970.9