

木材が挿入されている角形鋼管短柱の圧縮特性に関する基礎研究(その2)

Compressive Behavior of Square Steel Tube Short Column with Wood Inserted (No.2)

圧縮試験 圧縮靱性 最大圧縮力
周応力度 幅厚比

会員外 ○荒井 雅暉* Masato ARAI
同 川瀬 翼* Tsubasa KAWASE
正会員 山本 貴正** Takamasa YAMAMOTO

1. はじめに

前報1)に引き続き、角柱木材を挿入させた角形鋼管(以下、挿入型)短柱の圧縮特性について検討している。なお、木材を挿入させた鋼管は、離島や山間部のような重機を使用できない地域において施工可能であること、かつ鋼管と充填コンクリートの拘束効果・局部座屈抑制効果などによる優れた耐力・変形性能を有するコンクリート充填鋼管の軽量化を図ることを目指して考案した建設用部材である。

2. 実験について

2.1 短柱試験体の種類

挿入型の木材のみに圧縮力を載荷する短柱(以下、挿入UB型短柱)の圧縮試験を実施した。なお、挿入UB型短柱で使用している鋼管および木材それぞれの短柱の圧縮試験を併せて実施している。

鋼管については、シーム面を除く3面の平板部から引張試験片を採取した。この試験片の引張試験を JIS Z 2241

に準拠して実施した。

2.2 使用材料

鋼管は STKR400-100×100×4.5 と STKR400-100×100×2.3 を使用した。各鋼管の高さは、公称幅の3倍の300mmとしている。鋼管のヤング係数は205kN/mm²、ポアソン比を0.3とした。木材は市販されている国産スギの角柱の芯材かつ節ありである。

2.3 試験体作製

市販の幅120mmの角柱木材を、鋼管内に挿入できる幅となるように、隣り合う2面を長手方向にカンナで削り加工かつ隅角部をトリマで研いだ。各挿入UB型短柱に使用する木材を切り出した挽き材から、木材短柱の試験体を採取している。この公称高は340mmとしている(後掲図-1参照)。

2.4 試験方法

(a) 挿入UB型短柱・鋼管短柱

挿入UB型短柱と鋼管短柱の圧縮試験の概略を図-1に

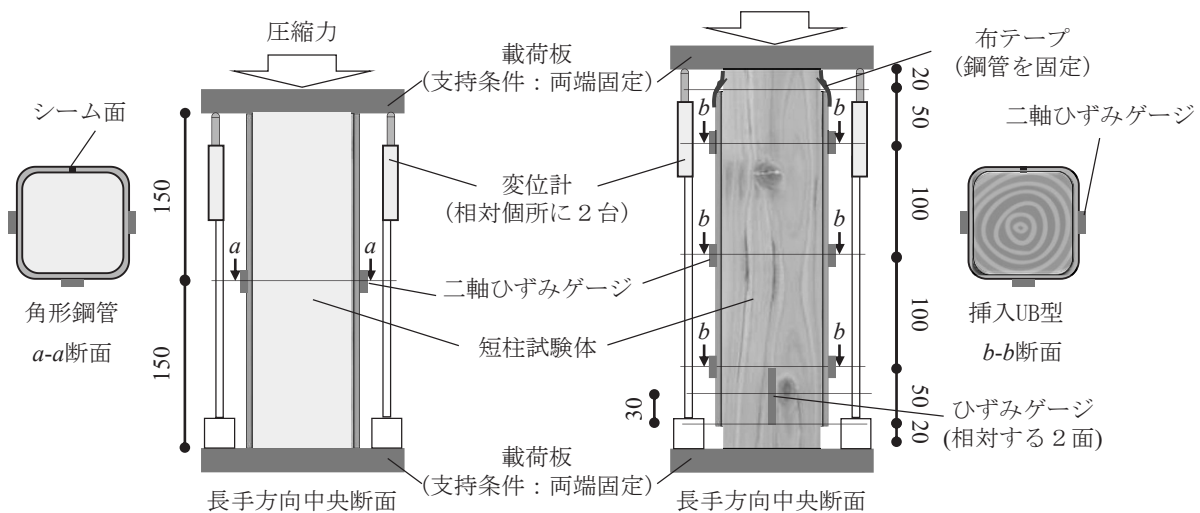


図-1 鋼管短柱・挿入UB型短柱の圧縮試験方法の概略

* 愛知工業大学工学部建築学科 学部生

Undergraduate Student, Dept. of Architecture, Faculty of Engineering, Aichi Institute of Technology

** 愛知工業大学工学部建築学科 准教授 博士(工学)

Assoc. Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Engineering, Aichi Institute of Technology, Dr. Eng

示す。同図に示すように、固定した上下載荷板の変位を、相対する2台の変位計で測定した。また二軸ひずみゲージを、角形鋼管短柱にはシーム面を除く3面の平板部の中央に貼付し、軸周ひずみ度を測定した。挿入UB型は、角形鋼管上下端から50mmの箇所にも同様に二軸ひずみゲージを、また挿入する角柱木材の相対する2面の下端から50mmの箇所に、ひずみゲージを軸方向に貼付した。この角柱木材と角形鋼管は、上端にて布テープで固定している。

(b) 木材短柱

木材短柱の圧縮試験において、固定した上下載荷板の変位を相対する2台の変位計で、また軸ひずみ度を相対する中央側面に貼付したひずみゲージで測定した。なお、挿入UB型に用いた木材の短柱試験体は、ひずみゲージを相対する2面の下端から50mmの軸方向にも貼付している。木材短柱の縦ヤング係数を、日本住宅木材・技術センターの構造用木材の強度試験マニュアル²⁾の縦圧縮試験に準拠して測定した。

(c) 実験データの測定方法

各短柱の圧縮試験において、圧縮ひずみ度を、最大耐力到達までは軸ひずみ度、最大耐力到達後は、最大耐力時の軸ひずみ度と試験体高さに対する変位計で測定した最大耐力到達後の変位増分量の和とした。軸ひずみ度はひずみゲージによる測定値の標本平均、変位増分量は、相対する2台の変位計による測定値の標本平均である。

挿入UB型および鋼管それぞれの短柱においては、鋼管表面を平面応力状態と仮定し、ひずみゲージで測定した軸周ひずみ度と弾塑性理論³⁾より鋼管の軸周応力度を測定(以下、モデル値)している。

鋼管は、短柱の圧縮試験の結果より、実測幅厚比24は、鋼管短柱の圧縮試験結果より、直交異方性材料として扱いHillの相当応力を、公称幅厚比47は、軸周ひずみ増分比の塑性成分が不明であるため、等方性材料として扱いVon-Misesの相当応力をそれぞれ用いている。各鋼管の相当応力度と相当ひずみ度の関係は、Ramberg-Osgoodモデルを用いて次式とした。

$$\epsilon_{eq} = \frac{\sigma_{eq}}{E_s} + 0.2 \times 10^{-2} \left(\frac{\sigma_{eq}}{\sigma_{eqy}} \right)^\mu \quad (1)$$

ここに ϵ_{eq} : 相当ひずみ度 σ_{eq} : 相当応力度 E_s : 鋼管のヤング係数 σ_{eqy} : 相当降伏応力度 μ : 硬化指数

式(1)の硬化指数は、引張試験片の軸ひずみ度2.0%までの各軸応力度の観測値と、式(1)の相当応力度のモデル値を用いた最小二乗法により求めた。ここでの式(1)の相当降伏応力度および相当ひずみ度には、それぞれ引張降伏

応力度の標本平均および軸ひずみ度の標本平均を代入している。

直交異方性材料として扱う鋼管のマイナスを乗じた軸ひずみ度増分に対する周ひずみ度増分(以下、軸周ひずみ増分比)の塑性成分は、軸周ひずみ増分比の観測値の標本平均と、次式から得られる軸周ひずみ増分比のモデル値を用いた最小二乗法により求めた。

$$v_{ep} = \frac{v \cdot d\epsilon_e + v_p(d\epsilon - d\epsilon_e)}{d\epsilon} \quad (2a)$$

$$d\epsilon_e = \frac{d\sigma}{E_s} \quad (2b)$$

ここに v_{ep} : 軸周ひずみ増分比 v : 鋼管のポアソン比 ϵ : ひずみ度 v_p : 軸周ひずみ増分比の塑性成分 σ : 応力度

ここでの式(2a)のひずみ度には鋼管短柱の軸ひずみ度の標本平均を、式(2b)の応力度には式(1)の相当応力度のモデル値を代入している。

3. 実験結果・考察

3.1 鋼管短柱

表-1(a)(b)に、各鋼管短柱の圧縮試験結果および角形鋼管から採取した試験片の引張試験結果をそれぞれ示す。表中のID01は実測幅厚比24の鋼管を有する挿入UB型(以下、幅厚比24挿入UB型)、ID02は実測幅厚比47の

表-1 鋼管の材料試験結果
(a) 鋼管短柱の圧縮試験

ID	公称幅厚比	圧縮降伏応力度 (N/mm ²)	最大圧縮応力度 (N/mm ²)	最大耐力時ひずみ度 (%)	v_p	標本数
01	22.2	401	444	1.077	0.65	1
02	43.5	-	315	0.201	0.50*	2

*降伏到達前に最大耐力を発揮したため0.50とした。

(b) 角形鋼管から採取した試験片の引張試験

ID	引張降伏応力度*			最大引張応力度 (N/mm ²)	破断伸び率			硬化指数
	m	max	min		m	s/m	s	
01	386	386	385	483	0.239	35.0	2.30	11.7
02	418	422	415	475	0.521	29.5	2.51	26.9

m : 標本平均 s : 標本標準偏差

max : 最大値 min : 最小値 *サンプル数2

表-2 鋼管の軸周応力度の観測値とモデル値の誤差

	標本平均	標本標準偏差	最大値	最小値
σ_y 以下	0.016	0.032	-0.082	0.112
σ_y 超 σ_u 以下	0.017	0.040	-0.070	0.062

σ_y : 鋼管の圧縮降伏応力度 σ_u : 鋼管の最大圧縮応力度

表中の値=(モデル値-観測値)/ σ_y 観測値=0.0

鋼管を有する挿入 UB 型(以下、幅厚比 47 挿入 UB 型)に使用した角形鋼管であることを示している。後掲する各表中の ID も同様である。なお、各表中の降伏応力度は、全て 0.2%off-set 法で算出した。また各引張試験の同一条件試験体数 3 の内 1 体は、ひずみゲージが正確な値を測定できていないため、引張降伏応力度のサンプル数は 2 である。鋼管短柱は、最大耐力到達後に隣合う鋼管平板部が凹凸に変形する不伸張型の局部座屈が生じた。これらは最大耐力到達付近から発生した。なお、表-2 には、前述 2.4(c)項の方法で測定した ID01 の鋼管短柱の圧縮降伏応力度に対する周応力度の観測値とモデル値の誤差が示してある。ここでは、周応力度の観測値はゼロとしている。

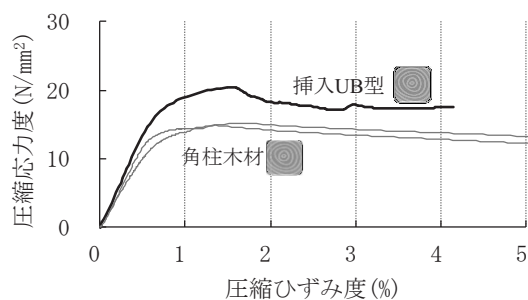
3.2 木材短柱

表-3に、木材短柱の圧縮試験結果を示す。表中には、中央と下側それぞれのひずみゲージで測定した縦ヤング係数と強度時ひずみ度が示してある。ID02の各計測箇所

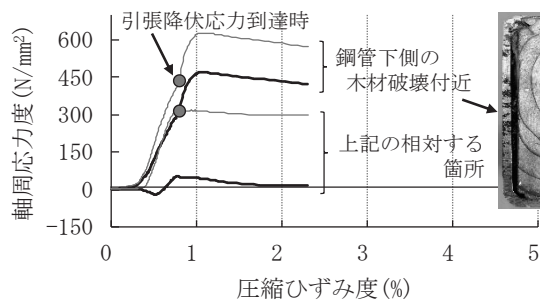
表-3 木材短柱の材料試験結果

ID	縦圧縮強度		縦ヤング係数		強度時ひずみ度		備考
	<i>m</i>	<i>s/m</i>	<i>m</i>	<i>s/m</i>	<i>m</i>	<i>s</i>	
	(N/mm ²)	(%)	(kN/mm ²)	(%)	(%)	(%)	
01	15.0	-	1.93	-	1.263	-	試験体中央
			2.23	-	1.301	-	試験体下側
02	22.6	2.46	5.95	11.4	0.327	0.038	試験体中央
			7.52	11.1	0.363	0.117	試験体下側

標本数：ID01は2、ID02は3



(a) 木材部の圧縮応力度



(b) 鋼管下部の平板部の軸周応力度

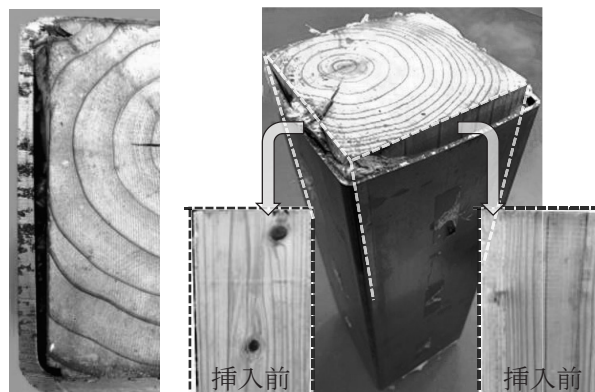
図-3 幅厚比24挿入UB型の応力度と圧縮ひずみ度

の平均値は、t検定をすると有意水準5%で差ありとはいえない。このことから、挿入型の軸ひずみ度は、挿入する木材の下部に貼付したひずみゲージで測定した値とした(後述3.3(b)参照)。なお、目視によると、ID01の木材は、最大耐力到達後に屈曲した。ID02の木材は、最大耐力到達後にキックバンドが生じた後に、節近傍で繊維方向の割れが発生した。

3.3 挿入 UB 型短柱

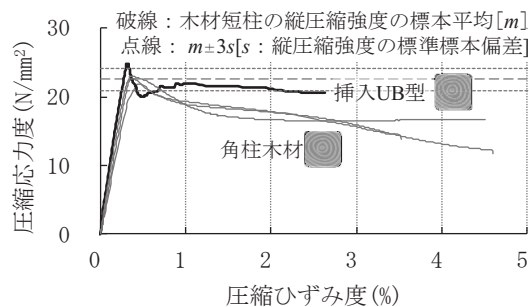
(a) 最終破壊状況

幅厚比24挿入UB型短柱は、写真-1に示すように、木材部の下端の側面一面が破壊した。なお、鋼管の各側面の

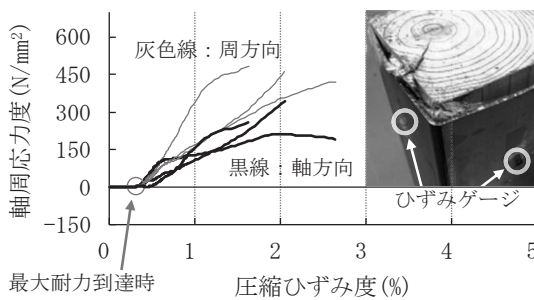


左側：写真-1 幅厚比24挿入UB型の最終破壊状況 (下端の木材の破壊箇所付近)

右側：写真-2 幅厚比47挿入UB型の最終破壊状況と挿入前の木材の表面(破壊箇所)



(a) 木材部の圧縮応力度



(b) 鋼管上部の平板部の軸周応力度

図-4 幅厚比47挿入UB型の応力度と圧縮ひずみ度

破壊は、目視で確認できない。

幅厚比47挿入UB型短柱は、試験中の目視によると、最大耐力到達後に、隣接する2面の鋼管部が外側に膨らんだ。なお、写真-2に示すように、その膨らみ付近の木材には、片面に節が存在していることを、木材を鋼管へ挿入する前に確認している。

(b) 圧縮特性

図-3, 4(a)に、それぞれ幅厚比24および幅厚比47挿入UB型短柱の木材部の圧縮応力度と圧縮ひずみ度関係を示す。圧縮応力度は、圧縮力を木材部の断面積で除した値である。木材の軸ひずみ度は、前述3.2より、下端に貼付したひずみゲージの測定値である。なお、図-4の横破線は、木材短柱の縦圧縮強度の標本平均 $[m]$ を、横点線は $m\pm 3s$ [s:木材短柱の縦圧縮強度の標本標準偏差]を表している。

図-3, 4(a)に示すように、各挿入UB型短柱は、木材短柱と比較して、圧縮強度到達直後の劣化勾配は激しいが、それ以降の応力度は大きい。なお、幅厚比24挿入UB型の圧縮強度は、木材短柱の縦圧縮強度を超えている。また幅厚比47挿入UB型の圧縮強度は、木材短柱の縦圧縮強度の $m+3s$ を超えている。前者は、鋼管により、木材短柱の最大耐力到達後に生じた屈曲の変形が抑制されていると考えられる。後者については、圧縮強度到達までの鋼管平板部に貼付してある各ひずみゲージで測定した軸周ひずみ度は、最大値で圧縮側が0.002%、引張側が0.002%であるため、また統計学的な推定に、標本平均および標準偏差それぞれを用いていることから、木材の不均一性による変動が影響している可能性がある。

図-3,4(b)は、それぞれ幅厚比24挿入UB型短柱の木材破壊付近とその相対する箇所貼付したひずみゲージおよび幅厚比47挿入UB型短柱の鋼管上部の最も鋼管の膨らみが大きい箇所付近である平板部3面にそれぞれ貼付したひずみゲージから測定した軸周応力度と圧縮ひずみ度の関係が示してある。図-3(b)の円印は、相当応力度が試験片の引張降伏応力度の標本平均に到達した点を、図-4(b)の軸周応力度は、相当応力度が試験片の引張降伏応力度の標本平均に到達(以下、降伏)するまでのモデル値である。ただし3面中1面は、試験終了まで降伏していない。

幅厚比22挿入UB型短柱の図中の箇所を除く試験終了までのひずみゲージで測定した軸周ひずみ度は、最大で圧縮側が0.047%、引張側が0.025%であり、また幅厚比47挿入UB型短柱の鋼管中央部と下部に貼付したひずみゲージで測定した試験終了までの軸周ひずみ度は、最大で圧縮側が0.056%、引張側が0.065%であり、それぞれ軸周

応力度が図中の値と比較して、圧縮、引張側ともに著しく小さいことが推測される。なお、各挿入UB型短柱の軸周応力度ともに圧縮であるのは、鋼管部上端の膨らみにより、鋼管平板部の側面が1.5波の形状となり、この曲げ圧縮されている面にひずみゲージが貼付してあることが起因していると考えられる。

幅厚比24挿入UB型は、図-3(a)(b)より、鋼管平板部の軸周応力度が上昇する付近で、木材と比較して剛性が大きくなることを見受けられる。これは、木材短柱は、最大耐力到達後に屈曲したが、挿入型は、鋼管により、この屈曲の進行を抑制していることが起因していると考えられる。幅厚比47挿入型は、図-4(a)(b)より、鋼管平板部各3面ともに、最大耐力到達後、軸周応力度が圧縮側に著しく上昇していることがわかる。これらのことから、挿入UB型は、木材部が圧縮強度に到達した後の高圧縮ひずみ度領域で比較的大きな圧縮靱性を発揮すると考えられる。

4. おわりに

既報¹⁾に引き続き、角柱木材を挿入させた角形鋼管(以下、挿入型)短柱の圧縮特性について検討した。その結果、挿入UB型は、木材部が圧縮強度に到達した後の高圧縮ひずみ度領域で比較的大きな圧縮靱性を発揮する可能性があるなどの知見を得た。

謝辞

本稿の研究成果は、愛知工業大学耐震実験センター研究助成の支援による。

参考文献

- 1) 山本貴正：木材が挿入されている角形鋼管短柱の圧縮特性に関する基礎研究，日本木材学会大会研究発表要旨，CD-ROM，2021. 3
- 2) 日本住宅木材・技術センター：構造用木材の強度試験マニュアル，pp. 13-14，2011. 3
- 3) 山田嘉昭：塑性・粘弾性，培風館，初版，1980. 12