

論文 鋼管に木とグラウトを充填した合成構造部材を用いた圧縮抵抗型ブレースの開発に関する予備的研究

中原 浩之*1・塚本 涼太*2・陳 逸鴻*3・坂井 実佳子*2

要旨: 著者らは、コンクリート充填鋼管 (CFT) 部材を耐震補強に用いる研究を進めてきている。この補強法は、簡易施工が特徴であるが、高流動コンクリートが入手できない場合の対応や、補強材のさらなる軽量化の要請が出てきている。そこで、これらの問題点を解決するために、鋼管の中心に木材を配置し、その隙間にグラウトを充填する構造部材を考案した。本研究では、これの中心圧縮実験を実施してその最大耐力を単純累加耐力でおおよそ評価可能であることを示した。

キーワード: 耐震補強, CFT ブレース, 短柱, 長柱

1 はじめに

著者らは、コンクリート充填鋼管 (CFT) に関する基礎的な性状を明らかにするべく、実験および解析的研究を継続して実施してきている¹⁾。CFT は、鋼管の内部にコンクリートを充填した構造で、これまでの研究から強度、剛性、靱性に優れた性能を示すことが明らかとなっている²⁾。上記の知見を踏まえ、著者らは、CFT を耐震補強材として利用する研究も進めている。現在、日本だけでなく世界中で耐震補強の重要が高まっている。しかし、離島や山間部のような重機を使用できない地域では、従来の耐震補強法の適用が難しく、普及が進んでいない。著者らが開発した CFT を用いた耐震補強法は、補強部材を圧縮のみに抵抗させるため、枠材を不要とした簡易施工を可能としている³⁾。また、先に鋼管のみを補強対象建物に設置して、その後、コンクリートを充填する為、施工時重量が著しく小さくなる。そのため、手作業による設置も可能となり、実証実験によりその施工性能を検証済みである^{3), 4), 5)}。このように、耐震補強材の軽量化と簡易施工を実現してきたが、耐震補強材のさらなる軽量化と施工方法の簡便化の要請が出てきている。本耐震補強法は、発展途上国での普及も視野に入れて進めており、高流動コンクリートが入手できない地域での補強材の施工の問題も解決する必要がある。そこで、本研究では、鋼管内に木材を内蔵し、鋼管と木材の間にできる隙間にグラウト (無収縮モルタル) を充填した新しい合成構造材 (以下、WGFT と呼ぶ) を提案する。木材は、国内外を問わず比較的入手可能な材料である。また、木材を内蔵することにより軽量化を図ることができる。一方で、CFT に使用する高流動コンクリートは、発展途上国で入手することが難しい。本提案では、高流動コンクリートの代替材として、市販のグラウト (プレミックスタ

イプのセメント系無収縮モルタル) を使用することにした。木材を内蔵することにより、グラウトの使用量を減じることで現場作業の効率化も図る。こうした新しい構造を提案するに当たり、まず最も基本的な短柱の中心圧縮性状を実験研究により調べ、WGFT 実用の可能性を検討する。

基礎的な性状を確認できた後、WGFT 長柱の実験を実施して、これを耐震補強材として実用できるかどうか確認する予定である。本研究により、WGFT の基礎性能が保証されれば、将来的に手作業での施工を可能とした当研究室の簡易耐震補強のさらなる発展に貢献できると考える。

2 実験概要

2.1 実験計画

本研究では、新しく提案した WGFT について、短柱と長柱の 2 シリーズの試験体を作製して、実験を実施することを企画した。これらは、長さ 300mm と 600mm の基礎的な性状検討用短柱試験体シリーズ (以下、短柱シリーズ) と長さ 1700mm と 2000mm の実用性状検討用長柱試験体シリーズ (以下、長柱シリーズ) である。本論では、短柱シリーズの中心圧縮実験について述べる。

2.2 使用材料と試験体

試験体の使用材料一覧を、鋼材を表-1、グラウトを表-2 に示す。実験は、5 回に分けて実施した為、5 通りの材料の組み合わせとなっており、表中の記号 A,B,C,E,F によりグループ分けしている。このグループ記号を Material Group (M.G.) と表すことにする。円形鋼管は $\bigcirc_{101.6 \times 3.2}$ (STK400)、角形鋼管は $\square_{100 \times 3.2}$ (STKR400) を使用している。ここで鋼材の材料試験結果は、鋼管から切り出した試験片の引張試験より得られたものである。

*1 長崎大学大学院工学研究科 教授・博士 (工学) (正会員)

*2 長崎大学大学院工学研究科 大学院生

*3 長崎大学大学院工学研究科 助教・博士 (工学)

グラウトの圧縮強度算定に用いる供試体作製には、ブリキ製の使い捨て軽量型枠を用いた。グラウトの圧縮強度は、試験体打設の際に製作したφ100×200の圧縮強度試験用供試体を、軽量型枠に入れたまま、試験体と同様に室内養生し、端面研磨処理後に中心圧縮試験を実施した結果から得られている。木材の強度とヤング係数は、鋼材、グラウトのそれに比べて非常に小さい。本研究では、木材の素材試験は行わず、木材の圧縮強度は18N/mm²、ヤング係数は7kN/mm²を用いた。^{6), 7)} 試験体形状および名称の例を図-1に示す。

2.3 試験体詳細

試験体一覧を表-3に示す。表に示されている記号A,B,C,E,Fは、表-1、表-2のM.G.に対応している。実験変数は、断面形状(C-円形鋼管, S-角形鋼管)、試験体長さ、木径とした。試験体長さは、300mm ($l_k=404\text{mm}$)と600mm ($l_k=606\text{mm}$)である(l_k :座屈長さ)。木径(幅)は0mm, 50mm, 70mmの3種類、木材長さは試験体長さ300mmにおいて160mm、試験体長さ600mmにおいて260mmである。試験体長さ300mmの試験体数は、円形試験体31本、角形試験体31本の計62本である。試験体長さ600mmの試験体数は、円形試験体6本、角形試験体6本の計12本である。

2.4 制作方法

試験体作製の工程は以下の通りである。

- 1) 鋼管の中央に木材が配置されるように、鋼管と木材に孔を設け寸切りボルトとナットで固定。
写真-1を参照。
- 2) 試験体上下に加力用プレートを溶接する。
- 3) 試験体にグラウト注入。
- 4) 4~8週間の室内養生。
- 5) 上端エンドプレートの凹凸のあるグラウト打設面を平滑にする。

試験体の制作で、最も注意したのは、木材を試験体の中央に設置することである。鋼管の側面には木材を固定する寸切りボルトを通すための孔を設けた。寸切りボルトは、直交方向に上下互い違いで通し、木材を中心に固定する。剛性の低い木材を断面中心に配置しても、材全体としての曲げ剛性は大きく低下しない。そのため、WGFT長柱を耐震補強材として使用した場合の座屈耐力低下を抑える効果があると考えている。また、この試験体では、虫害や腐食による木材の劣化防止のために、木材をグラウト充填により試験体内に完全封函し、外気に触れないように考慮した。

300mm, 600mm試験体には、鋼管の上下に厚さ6mm, 12mmの加力用プレートを設け、さらに上端プレートにはグラウト材打設用の孔を設けた。

本実験では、打設する際に、試験体の中に木材が固定

されており、狭所へグラウトを流し込む必要がある。そこで、流動性、充填性に優れた無収縮グラウトを用いた。グラウトの打設は縦打ちとし、試験体上端プレートに設けた孔から行い、同一強度のグラウトの打設は、一括して同一日に実施した。グラウト充填作業の際、試験体を木製のハンマーを用いて打設口から空気が出てこなくなるまで振動を与えることでグラウトの充填を確認した。

2.5 実験装置

実験の加力方法と測定方法を図-2に示す。試験体上下の拘束条件をピン固定として中心圧縮力を加え、軸ひずみが2%に達することを原則に単調に載荷した。

変位計により試験体上下プレート間の軸方向変形を測定した。試験体中央高さ位置の鋼管ひずみを弾性ひずみゲージにより測定した。円形試験体では弾性二軸ゲージを3枚貼付し、角形試験体では弾性一軸ゲージを4枚貼付した。荷重の測定はアムスラー試験機と試験体の間に設置したロードセルを用いて行った。

表-1 使用材料一覧(鋼材)

M.G.	Spec	Yield Stress	Young's Modulus
		N/mm ²	kN/mm ²
A	STK400	359	208
	STKR400	357	195
B	STK400	359	208
	STKR400	357	195
C	STK400	365	205
	STKR400	351	205
D	STK400	383	202
	STKR400	416	208
E	STK400	359	208
	STKR400	357	195
F	STK400	326	207
	STKR400	353	188

表-2 使用材料一覧(グラウト)

M.G.	Compressive Strength	Young's Modulus
	N/mm ²	kN/mm ²
A	62.4	23.0
B	68.5	22.5
C	67.9	32.1
D	70.6	29.9
E	69.5	34.4
F	65.9	27.2

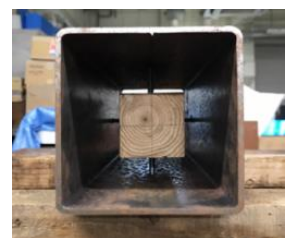


写真-1 試験体断面(グラウト充填前)

表-3 短柱試験体一覧

Test Specimen	Depth of Wood <i>d</i> mm	Axial Stiffness			Compressive Strength			M.G.	
		EA_{exp} MN	EA_{cal} MN	EA_{exp}/EA_{cal}	N_{exp} kN	N_o kN	N_{exp}/N_o		
C3-01A	0	263	370	0.71	837	799	1.05	A	
C3-02A	0	326	370	0.88	825	799	1.03		
C3-03A	0	259	370	0.70	842	799	1.05		
C3-51A	0	276	370	0.82	731	799	1.03		
C3-52A	50	292	338	0.86	730	712	1.03		
C3-53A	50	284	338	0.84	636	712	0.89		
C3-71A	50	258	308	0.84	603	628	0.96		
C3-72A	70	270	308	0.88	587	628	0.94		
C3-73A	70	269	308	0.87	639	628	1.02		
S3-01A	0	429	434	0.99	1075	971	1.11		A
S3-02A	0	529	434	1.22	1027	971	1.06		
S3-03A	0	411	434	0.95	1002	971	1.03		
S3-51A	50	422	394	1.07	811	860	0.94		
S3-52A	50	427	394	1.09	700	860	0.81		
S3-53A	50	399	394	1.01	807	860	0.94		
S3-71A	70	376	355	1.06	743	754	0.99		
S3-72A	70	374	355	1.05	681	754	0.90		
S3-73A	70	355	355	1.00	736	754	0.98		
C3-01C	0	190	431	0.44	875	845	1.03	C	
C3-02C	0	251	431	0.58	882	845	1.04		
C3-03C	0	168	431	0.39	899	845	1.06		
C3-51C	50	282	381	0.74	742	747	0.99		
C3-52C	50	293	381	0.77	750	747	1.00		
C3-53C	50	305	381	0.80	726	747	0.97		
C3-71C	70	290	334	0.87	618	653	0.95		
C3-72C	70	312	334	0.93	636	653	0.97		
C3-73C	70	276	334	0.82	630	653	0.96		
S3-01C	0	364	524	0.69	986	1013	0.97		C
S3-02C	0	327	524	0.62	1085	1013	1.07		
S3-03C	0	433	524	0.83	1080	1013	1.07		
S3-51C	50	301	462	0.65	825	888	0.93		
S3-52C	50	344	462	0.75	894	888	1.01		
S3-53C	50	337	462	0.73	884	888	1.00		
S3-71C	70	340	402	0.85	675	768	0.88		
S3-72C	70	387	402	0.96	700	768	0.91		
S3-73C	70	259	402	0.64	611	768	0.80		
C3-51D	50	429	368	1.17	855	780	1.10	D	
C3-52D	50	423	368	1.15	857	780	1.10		
C3-51PD	50	423	368	1.15	837	780	1.07		
C3-52PD	50	396	368	1.08	848	780	1.09		
S3-51D	50	-	-	-	-	984	-		
S3-52D	50	449	452	0.99	1043	984	1.06		
S3-51PD	50	375	452	0.83	1066	984	1.08		
S3-52PD	50	420	452	0.93	1066	984	1.08		
C3-01F	0	517	398	1.30	880	791	1.11		F
C3-02F	0	368	398	0.93	820	791	1.04		
C3-03F	0	523	398	1.31	887	791	1.12		
C3-51F	50	452	411	1.26	750	877	1.08		
C3-52F	50	382	411	1.07	749	877	1.08		
C3-53F	50	428	411	1.19	764	877	1.10		
C3-71F	70	350	363	1.09	673	762	1.11		
C3-72F	70	414	363	1.29	671	762	1.11		
C3-73F	70	391	363	1.22	607	762	1.00		
S3-01F	0	465	462	1.01	982	997	0.99	F	
S3-02F	0	480	462	1.04	1065	997	1.07		
S3-03F	0	495	462	1.07	1102	997	1.11		
S3-51F	50	437	411	1.06	971	877	1.11		
S3-52F	50	928	411	2.26	793	877	0.90		
S3-53F	50	531	411	1.29	919	877	1.05		
S3-71F	70	400	363	1.10	719	762	0.94		
S3-72F	70	454	363	1.25	838	762	1.10		
S3-73F	70	424	363	1.17	839	762	1.10		

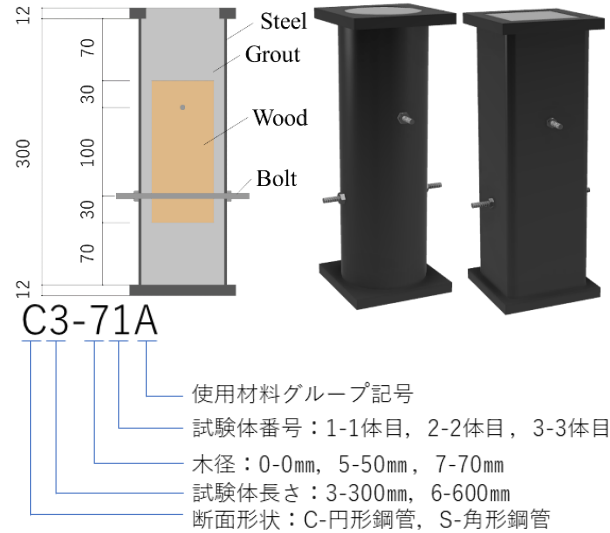


図-1 試験体形状と名称

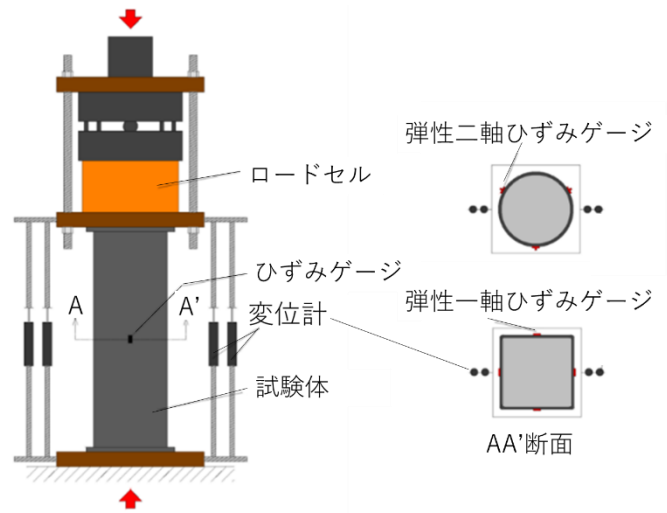


図-2 加力方法と測定方法(短柱試験体)

3 実験結果

表-3 には、実験の軸剛性と、圧縮耐力が示されている。これらは、後述する計算結果との比較がなされている。

3.1 荷重-軸ひずみ関係

荷重-軸ひずみ関係を図-3.1,2, 図-4.1,2 に示す。また、実験結果で用いている軸ひずみは、鋼材表面に貼付したひずみゲージの値を用いている。本論では、紙面の関係上、使用材料 C,E の実験シリーズの材長 300mm, 600mm の試験体の実験結果のみを示す。

図-3.1 には、300mm 円形試験体の実験結果を木径 0,50,70 mm に対して各 3 本ずつ示す。図-3.2 には、角形試験体のものを示す。同一試験体は、剛性と耐力にばらつきはあるものの、ほぼ同様の荷重-ひずみ関係が得られている。図からは、木材の断面が大きくなるほど、軸剛性および圧縮耐力が小さくなる傾向が分かる。図-3.4 のグラフの上の数字は、木材無しの試験体の圧縮耐力の

Test Specimen	Depth of Wood <i>d</i> mm	Axial Stiffness			Compressive Strength			M.G.
		EA_{exp} MN	EA_{cal} MN	EA_{exp}/EA_{cal}	N_{exp} kN	N_o kN	N_{exp}/N_o	
C6-01B	0	424	366	1.16	828	842	0.98	B
C6-51B	50	519	336	1.55	701	743	0.94	
C6-71B	70	340	306	1.11	578	648	0.89	
S6-01B	0	416	429	0.97	987	1025	0.96	
S6-51B	50	435	390	1.11	865	898	0.96	
S6-71B	70	394	353	1.12	675	777	0.87	
C6-01E	0	284	448	0.63	871	853	1.02	E
C6-51E	50	-	395	-	-	751	-	
C6-71E	70	297	344	0.86	632	653	0.97	
S6-01E	0	494	530	0.93	1026	1038	0.99	
S6-51E	50	373	462	0.81	970	908	1.07	
S6-71E	70	434	397	1.09	763	783	0.97	

平均実験値に対して、各木径の試験体の圧縮耐力の平均実験値がどれだけ減少したかを示したものである。例えば、図-3の木径50mmの試験体では、グラウト断面の25%が木材に置換されても、圧縮耐力の低下は、円形で16%、角形で17%に留まっている。これは、鋼管が負担する軸力の割合が大きいため、グラウト断面と木材断面の置換率よりも圧縮強度の低下は小さいことが示されている。木材の有無で、局部座屈の形状や位置などの実験挙動の外観を比較したところ、木材を挿入したことによる、大きな変化は観測できなかった。

図-4.1,2は、材長600mmの試験体の結果を示している。ここでは、木径0,50,70mmに対して各1本ずつ実験結果を示す(a:円形試験体, b:角形試験体)。図-4.1の木径50mmの円形試験体の実験結果は、データ保存の不手際のため、変形データが得られていないので、この図には載せていない。

図-3,4の中から木径が最も大きいC3-71, S3-71, C6-71, S6-71を選択して、を図-5.1,2, 図-6.1,2に示し、実験と著者らが提案した荷重-軸ひずみ関係モデル^{8),9)}を比較する。木材については、詳しい検討を行っていないので、完全弾塑性モデルを仮定した。実験は解析で予想された剛性・耐力を下回る傾向にある。一般に、合成構造の場合、各構成要素の強度時ひずみが異なる事から、実験耐力は、材料強度を単純に累加した場合よりも小さくなることが考えられる。特に角形試験体の図-5.1, 6.1において、WGFTの圧縮耐力は、グラウトの圧縮強度時に発揮されており、この時点で木材は、強度時ひずみ前であることが分かる。このことについて次節で詳述する。また、これらの図には実験後の試験体の写真も載せている。従来のCFTに比して、特に異なる破壊状況は見られない。

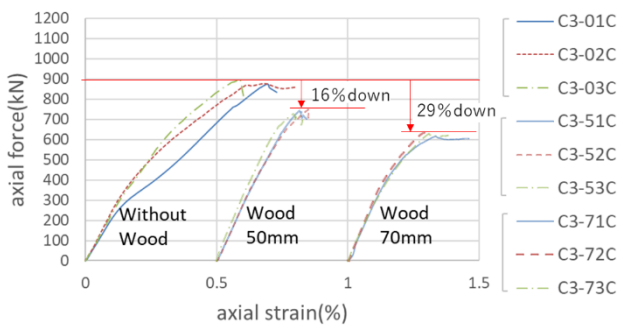


図-3.1 荷重-軸ひずみ関係 (C3) 材料C

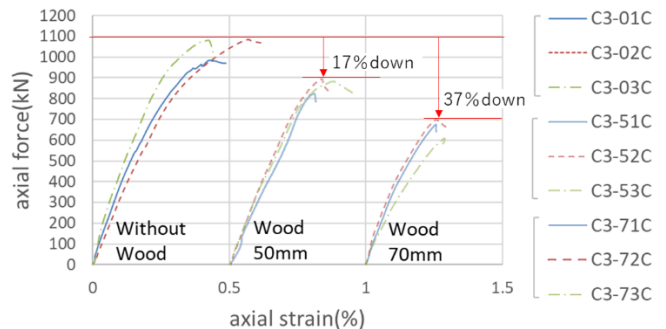


図-3.2 荷重-軸ひずみ関係 (S3) 材料C

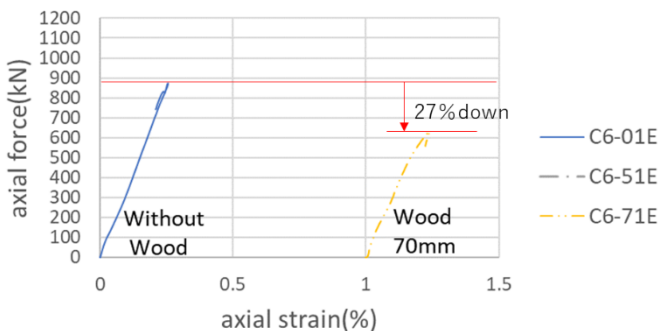


図-4.1 荷重-軸ひずみ関係 (C6) 材料E

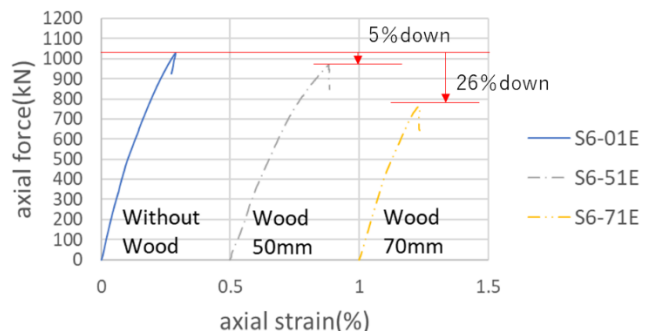


図-4.2 荷重-軸ひずみ関係 (S6) 材料E

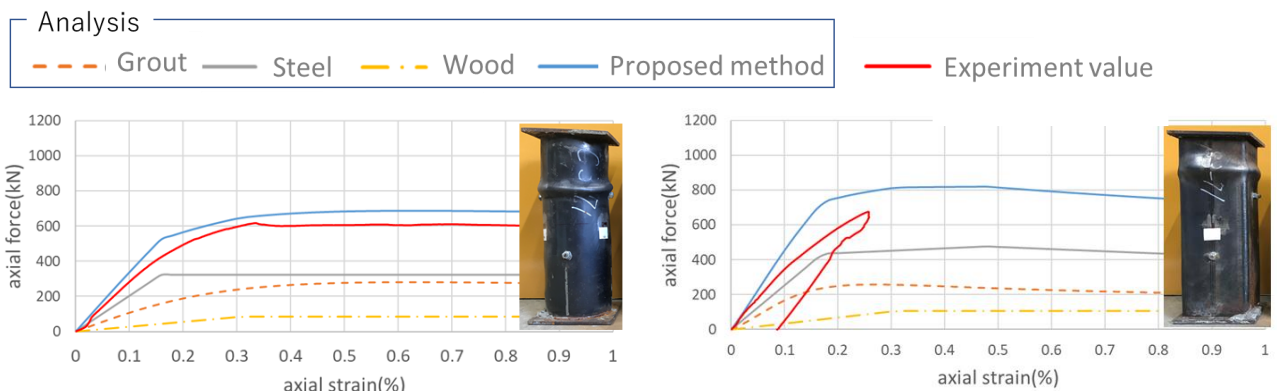


図-5.1 荷重-軸ひずみ関係 (C3-71C)

図-5.2 荷重-軸ひずみ関係 (S3-71C)

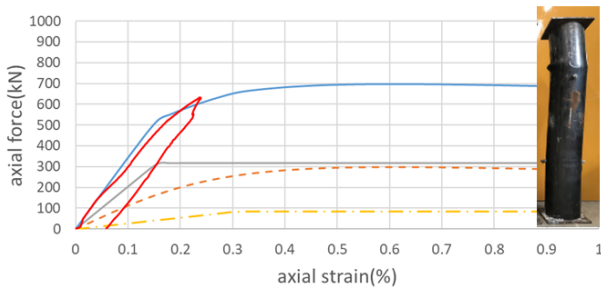


図-6.1 荷重-軸ひずみ関係 (C6-71E)

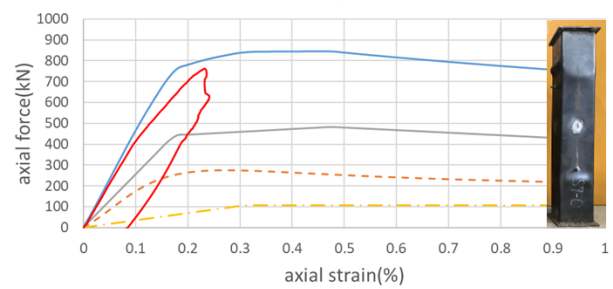


図-6.2 荷重-軸ひずみ関係 (S6-71E)

3.2 軸剛性評価

軸剛性の予測には、以下の式(1)を用いた。

$$EA_{cal} = sE \cdot sA + gE \cdot gA + wE \cdot wA \quad (1)$$

ここで、 EA_{cal} は累加軸剛性、 sE は鋼管のヤング係数、 gE はグラウトのヤング係数、 wE は木材のヤング係数、 sA は鋼管断面積、 gA はグラウト断面積、 wA は木材断面積とする。

表-3に示す実験の剛性は、3節に示す各荷重-軸ひずみ関係上の、最大耐力の1/3までの観測点における最小二乗法による回帰直線である。計算の軸剛性は、構成要素それぞれの断面積に表-1、表-2にまとめたヤング係数を乗じて加算したものである。

3.3 圧縮耐力評価

圧縮耐力の予測には、以下の式(2)を用いた。

$$N_0 = s\sigma_c \cdot sA + g\sigma_c \cdot gA + w\sigma_c \cdot wA \quad (2)$$

ここで、 N_0 は圧縮耐力、 $s\sigma_c$ は鋼管圧縮強度、 $g\sigma_c$ はグラウト圧縮強度、 $w\sigma_c$ は木材圧縮強度とする。

本論では、WGFTの基本的性能を示すうえで、最も重要な項目となる圧縮耐力に着目して結果を示す。

図-7、図-8に、使用材料Cの試験体の木材径と実験の圧縮耐力の関係を示す。図-7の縦軸は、実験の圧縮耐力で、横軸は木径を示している。図-8の縦軸は実験の圧縮耐力のを(2)式の計算値で除したもので、横軸は木径を示している。図-7より木材の置換率が上がることで、圧縮耐力が低下する傾向が確認できる。表-4からも分かるように、一部、例外はあるものの、この傾向は、他のシリーズでも同様であった。

3.1節でも述べたように、 N_{exp}/N_0 (N_{exp} : 実験の圧縮耐力)は、C3-71Cでは、0.95、S3-71Cでは、0.88、C6-71Eでは、0.97、C6-71Eでは、0.97となっており予想圧

縮耐力を下回っている。図-8には、木材の置換率が上がるにつれて、実験の圧縮耐力を式(2)の単純累加耐力で過大評価する傾向が見て取れる。また、表-3より円形・角形を問わず、木径70mmの他の試験体を見ても、実験値が計算値よりも小さい傾向にある。これは、前述のとおり、木材の強度時ひずみが、鋼管やグラウトのそれよりも大きいことなどが影響していると考えられる。一方で、木材を挿入していない試験体の実験結果は、式(2)の単純累加耐力を上回る傾向にある。これは、円形試験体については、コンファインド効果によるもので、角形試験体については、鋼管のひずみ硬化の影響と考えられる。

表-4に全試験体の圧縮耐力と軸剛性についてまとめる。表には、実験を計算で除した平均値と標準偏差を示す。 $(EA_{exp}$: 実験の軸剛性)

表-4より、全体で見れば、試験体の形状や長さに関わらず、圧縮耐力は、 N_0 によって平均がほぼ1となるように評価できている。これは、前述の理由で、実験結果が計算値より大きくなる試験体と、実験結果が計算値より小さくなる試験体が同数存在することによるもので、個別の試験体の耐力評価にはさらなる詳しい検討が必要である。

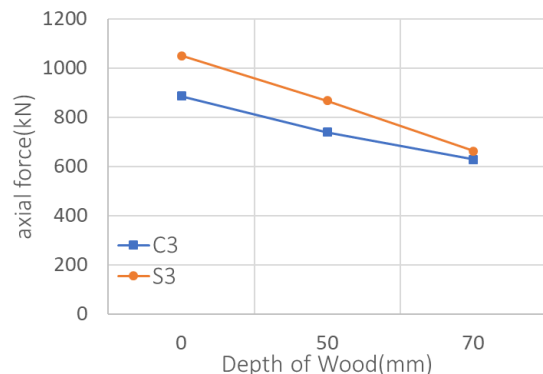


図-7 木材径と最大耐力の関係 材料C

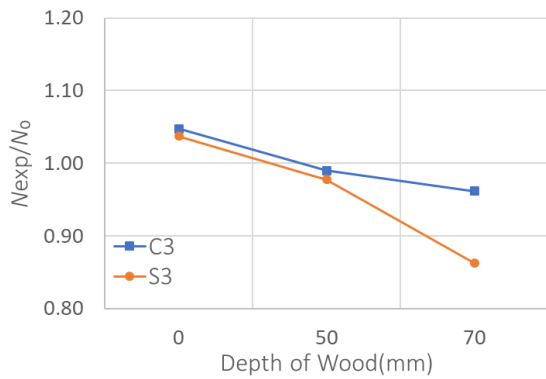


図-8 木材径と実験予測精度の関係 材料 C

表-4 平均値と標準偏差

Test Specimen	Average		Standard Deviation	
	EA exp/EA cal	N exp/No	EA exp/EA cal	N exp/No
C3(N=31)	0.93	1.03	0.24	0.06
S3 (N=30)	1.01	1.00	0.30	0.09
C6(N=5)	1.06	0.96	0.34	0.05
S6 (N=6)	1.01	0.97	0.12	0.06

しかしながら、本研究では、新しい提案である WGFT の基礎資料を提出すること第一の目的としており、個別の試験体の耐力評価には定性的な評価に留めている。この理由は、近く発表予定の長柱 WGFT の中心圧縮実験を含んだ論文において、短柱の最大耐力評価の精度が、長柱 WGFT を建物の耐震補強に実用する際の検討に、あまり影響を及ぼさないためである。長柱 WGFT の中心圧縮耐力は、次式のような累加座屈耐力式による評価を予定している。

$$N_{cr} = \frac{\pi^2}{l_k^2} (sE \cdot sI + gE \cdot gI + wE \cdot wI) \quad (3)$$

ここで、 N_{cr} は累加座屈耐力、 sI は鋼管の断面 2 次モーメント、 gI はグラウトの断面 2 次モーメント、 wI は木材の断面 2 次モーメント ($wE \cdot wI = 0$) とする。

5 結論

本研究で得られた知見を以下に列挙する。

- 1) CFT 構造の軽量化を目的にして、充填材に木材とグラウトを使用した構造材 WGFT を提案し、長さ 300 mm と 600mm の短柱試験体を計画通りに作製することができた。
- 2) 一部の例外を除き、グラウトから木材への置換率が上がるほど、圧縮耐力は下がる傾向が確認できた。
- 3) 実験耐力を構成要素の単純累加耐力で評価した場合、全体的には平均 0.96~1.03 で精度良く評価できた。

- 4) 木材の置換率が上がるにつれて、実験の圧縮耐力を単純累加耐力で過大評価する傾向が観測された。これは、木材の強度時ひずみが、鋼管やグラウトのそれよりも大きいことが影響したと考えられる。

今後、WGFT 長柱試験体シリーズの中心圧縮実験を実施し、WGFT を耐補強部材として実用化する研究を進める。

謝辞

本研究は、令和元年度科学研究費助成事業(研究活動スタート支援)「鋼管に木材とグラウトを充填した合成構造耐震補強材の開発に関する研究」(研究代表者：陳逸鴻，課題番号 19K23552)の助成に基づき実施した。関係各位と実験に協力いただいた皆様に謝意を表す。

参考文献

- 1) Nishiyama, I. *et. al.* : Summary of Research on Concrete Filled Structural Steel Tube Column System Carried Out Under The US-JAPAN Cooperative Research Program on Composite and Hybrid Structures, BRI Research Paper No.147, Jan. 2002.
- 2) 日本建築学会：コンクリート充填鋼管構造設計施工指針,2008
- 3) 中原浩之,他：CFT ブレースにより耐震補強を施した実在建築物の静的水平加力実験,日本建築学会構造系論文集, Vol.78 ,No.688, pp.1131-1138, 2013.6
- 4) Nakahara, H. and Ashida, Y. :Trial Construction for Seismic Retrofit by CFT Brace on an Isolated Island, Proceedings of the 8th International Structural Engineering and Construction Conference, pp.437-442, Nov. 2015.
- 5) Nakahara, H. *et al.* :Low-Cost Method for Seismic Retrofitting by CFT Braces, Proceedings of the 7th International Structural Engineering and Construction Conference, pp.873-878, June, 2013.
- 6) 建築物の構造関係技術基準解説書編集委員会，2007 年版建築物の構造関係技術基準解説書，2007
- 7) 佐治泰次：建築構法，理工学社，1981
- 8) 中原浩之,稲井栄一,崎野健治:コンクリート充填角形鋼管短柱の中心圧縮耐力:構造工学論文集, Vol.44B, pp.167-174,1998.3
- 9) 崎野健治,山口達也,中原浩之,向井昭義:コンクリート充填円形鋼管短柱の中心圧縮耐力,構造工学論文集, Vol.48B, pp.231-236, 2002.3