(59) 緊張力を導入する建築物の構造上の有効性に関する研究 −熱可塑性樹脂を用いた炭素繊維複合材の活用−

北川　貴大[1]・持田　泰秀[2]・櫻井　祥人[3]

[1]非会員　立命館大学大学院　理工学研究科環境都市専攻（〒525-8577 滋賀県草津市野路東一丁目 1-1）
E-mail: ru0043er@ed.ritsumei.ac.jp

[2]非会員　立命館大学教授　理工学部建築都市デザイン学科（〒525-8577 滋賀県草津市野路東一丁目 1-1）
E-mail: mochida@fc.ritsumei.ac.jp

[3]非会員　株式会社フジタ　建築本部設計エンジニアリングセンター構造設計部（〒151-8570
東京都渋谷区千駄ヶ谷 4-25-2　修養団 SYD ビル）
E-mail: yoshihito.sakurai@fujita.co.jp

現在、炭素繊維強化プラスチック（以下 CFRP）は建築分野において構造部材としての使用が認められていない。そこで本研究では建築分野における CFRP の普及のため、CFRP の中でも製造コストが安価でリサイクル性に優れた、熱可塑性樹脂を用いた CFRP（以下 CFRTP）の有用性を示すことを目的とし、CFRTP ストランドロッドをブレース材に用いた場合の有効性の評価を行った。丸鋼、PC 鋼より線、CFRTP をブレースに用いて固有値解析による比較を行った結果、CFRTP ブレースの架構の使用により長周期化が確認できた。そこで、立体骨組みモデルを用いて耐震モデルと最下層に CFRTP ブレースとオイルダンパーを用いた免震ブレースモデルで時刻歴応答解析による比較を行った。その結果、入力地震動に対して免震ブレースが従来の免震装置と同等の低減性能を示すことがわかった。

Key Words: *carbon fiber reinforced thermo plastics, strand rod, brace of isolation*

1.　はじめに

炭素繊維強化プラスチック（Carbon Fiber Reinforced Plastics：以下 CFRP）は、軽量、高強度、耐腐食性、非磁性等優れた特性から様々な分野で利用されている素材である。その中でも母材樹脂に熱可塑性樹脂を用いた CFRP（以下 CFRTP）は一般に普及している熱硬化性樹脂を用いた CFRP よりも安価に製造でき、運搬が容易で、母材と炭素繊維を加熱することで分離できることからリサイクル性にも優れている。そのため、今後建築分野での普及も期待できる材料である。しかし、現在 CFRP は土木分野においては鉄筋代替や炭素繊維シート巻き付け補強工法などで使用されているが、建築分野においては建築基準法施工令 37 条の指定建築材料に指定されていないことから構造部材への使用が認められておらず、一般的に普及には至っていない。

本研究では PC 鋼材の使用法を参考に CFRTP ストランドロッドをブレース材に用いた場合の建築物への有効性を評価し、ストランドロッドに適した活用法としてブレース架構の免震装置『免震ブレース』（図-1）への適用を検討し、建築分野での CFRTP の普及に寄与することを目的とする。

なお、本研究の解析には構造解析ソフト midas iGen を用いた。

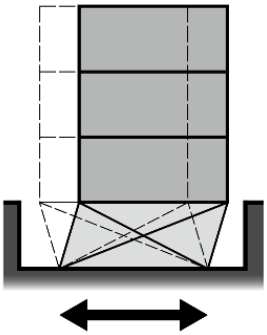


図-1　免震ブレース

2. CFRTP の撚り性能に関する検討

既往研究により内ねじ切り鋼管を用いた CFRTP の接合方法において、撚りを加えた部材を使用することで接着樹脂との付着力が高まり、接合部の引張り剛性が高まるという利点が得られることが確認できている。そこで本章では CFRTP ストランドロッドの撚り角度と部材の引張剛性、引張強度の評価式を導出し、その関係性を明らかにする。(1a), (1b)式は鋼材のストランドロープの撚り角度に関する評価式[2] である。

$$E_w = E(cos^3\alpha - \nu sin^2\alpha cos\alpha)(cos^3\beta - \nu sin^2\beta cos\beta) \quad (1a)$$

$$P_w = m \cdot n \cdot EA(cos^3\alpha - \nu sin^2\alpha cos\alpha)(cos^3\beta - \nu sin^2\beta cos\beta)\varepsilon_z \quad (1b)$$

E_w ：部材のヤング係数　P_w ：子線の軸力（鋼材）
α ：素線の撚り角度　　β ：子線の撚り角度
E：子線のヤング係数　ν ：子線のポアソン比
m,n : $m \times n$ 本のストランドロープ

この式を CFRTP ストランドロッドに適合させると引張剛性、引張強度の評価式は以下のようになる。

$$E_c = E(cos^3\beta - \nu sin^2\beta cos\beta) \quad (1c)$$

$$\sigma_{c\,max} = \frac{\sigma_{s\,max}}{cos^3\beta - \nu sin^2\beta cos\beta} \quad (1d)$$

E_c ：CFRTP ストランドロッドのヤング係数
$\sigma_{c\,max}$ ：CFRTP ストランドロッドの破断強度
$\sigma_{s\,max}$ ：素線の破断強度

(1c), (1d)式より表-1 の物性値を用いて撚り角度とヤング係数、破断強度の関係をグラフに示すと図-2 のようになる。ヤング係数は撚り角度が大きくなるにつれて減少する性質が見てとれ、破断強度に関しては逆に撚り角度が大きくなるにつれ強度が上がるという結果となった。

また、評価式より求めた撚り角度 14.7°の値は同じ撚り角度の試験体から計測した実験値の値と比較しても大差ない結果となり、この評価式を概算的に用いることができると確認できた。

表-1　ストランドロッドの物性値

子線のヤング係数(kN/㎟)	94
素線の破断強度(N/㎟)	1644
ポアソン比	0.06

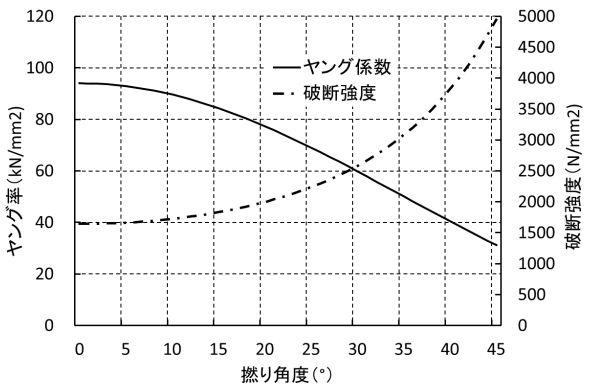


図-2　撚り角度と物性値の関係

3. 数値解析による緊張材の比較検討

(1) 解析モデルの概要

図-3 に示すスパン 8000mm、高さ 3500mm の鉄骨フレームの検証モデルに表-2 のブレース部材を用い、CFRTP ストランドロッドを用いた場合と、PC 鋼より線や丸鋼を用いた場合での緊張材の影響及びプレ緊張力による変形性能や固有周期の変化を検証する。なお、CFRTP は塑性域がなく脆性的に破断する特徴を持つ材料であるため、本解析は弾性範囲のみを考慮するものとし、ブレース断面は弾性域に留まるよう設定した。

(2) 静的解析

静的解析ではモデル上部梁に 100ｋN の水平荷重を加え水平変位を確かめた。図-4 に結果を示す。

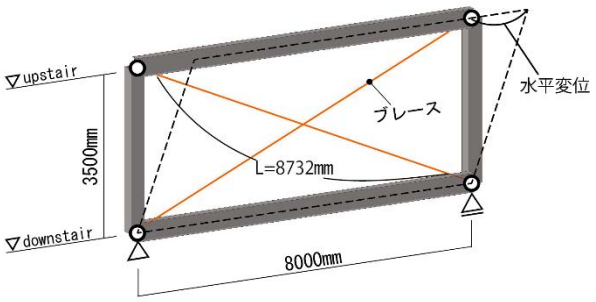


図-3　解析モデル

表-2　比較ブレース部材

ブレースの種類(呼名)	ヤング係数(kN/㎟)	降伏点強度(N/㎟)	直径(mm)	緊張力(kN)
丸鋼(SS400)	205	235	27	0
PC鋼より線(SWPR7B)	200	1583	10	0
				61
CFRTP(24K3P×7)	85	1629	10	0
				61

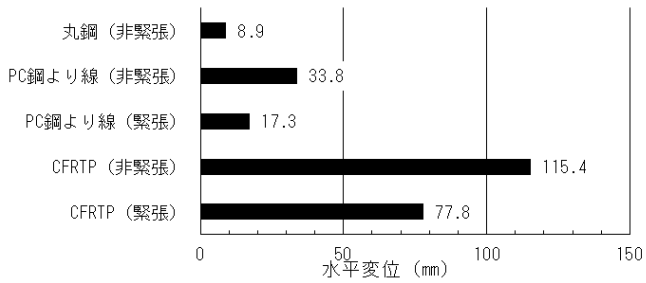
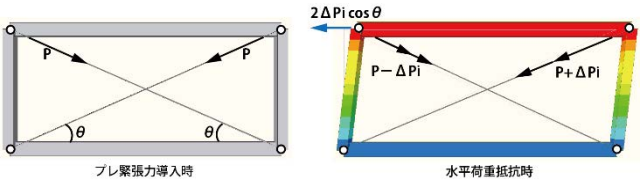


図-4　モデルの水平変位



$$(P+\Delta P_i)cos\theta-(P-\Delta P_i)cos\theta=2\Delta P_i cos\theta$$

図-5　水平抵抗の考え方

表-3　固有周期

ブレース部材	固有周期(s)
丸鋼（非緊張）	0.46
PC鋼より線（非緊張）	1.26
PC鋼より線（緊張）	0.89
CFRTP（非緊張）	1.93
CFRTP（緊張）	1.37

部材別では軸剛性の小さい CFRTP が最も変位が大きく、同じ部材ではプレ緊張力を導入したほうが図-5 に示すように引張側、圧縮側ブレース両方が水平力に抵抗するため変位は小さくなった。

(3)　固有値解析

表-3 のように固有周期は CFRTP、PC 鋼より線、丸鋼の順に長く、緊張したものと非緊張のものでは緊張力の導入により架構の水平剛性が大きくなるので非緊張材のモデルの方が固有周期が長い結果となり、CFRTP の非緊張が最大で 1.93s の固有周期となった。これより、非緊張の CFRTP のブレース部材としての利用により架構の長周期化が図れることが明らかになった。

4.　免震ブレース単体での検討

(1)　解析概要

本解析では図-6 のような架構モデルのスパン長さ（2000-6000m を 1000mm 毎）、ブレース断面（直径 9,10,16mm）、ブレースの撚り角度（14.7°，30°）の 3 種類のパラメータを変更して時刻暦応答解析を行い、限界水平変位、ブレース耐力使用率、固有周期、上部梁の最大加速度、水平剛性との関係性を明らかにし、免震ブレースに適したブレース架構の形状を検討した。上部梁には 300kN/m の等分布荷重を載荷し、時刻歴応答解析時には質量として換算されるように設定した。入力波は Tohoku1978 NS の地震波を最大加速度 500gal として用いた。

(2)　解析結果

a)　スパン長さ（図-7,8）

限界水平変位は 2000mm スパンと 6000mm スパンのモデルで比較的大きくなった。これは特に短いスパンの場合では架構のアスペクト比が大きくなり、ブレースの変形が柱の傾きに与える影響が大きいため水平変位が大きくなった為と考えられる。また、スパンが長い場合、ブレースが長くなるため軸剛性が低下し、変形量も大きくなったと言える。（図-7）

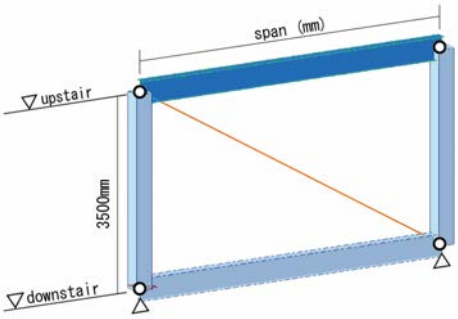


図-6　免震ブレース解析モデル

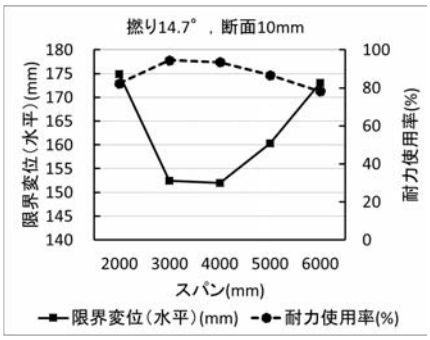


図-7　スパンによる比較結果-1

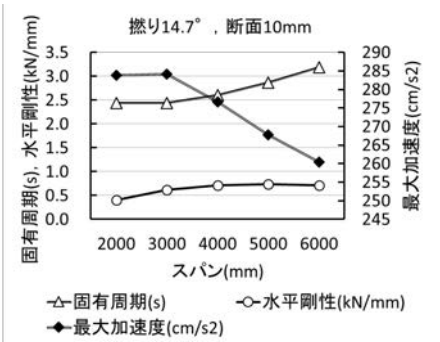


図-8　スパンによる比較結果-2

ブレース部材の耐力使用率（＝断面力/破断荷重）は 2000，6000mm スパンで比較的小さく抑えられたが、スパン間での大きな差異は認められなかった。（図-7）

固有周期は架構のアスペクト比とブレースの軸剛性が影響するが、モデル比較全体としてはスパンが長くなるほど固有周期は長くなる傾向が見られた。（図-8）

上部梁の最大加速度は固有周期に影響を受けているため、スパンが長く固有周期が長いモデルほど最大加速度を小さく抑えることができた。（図-8）

モデルの水平剛性はスパンが大きくなるにつれてブレースの角度が水平方向へ向くため、長いスパンほど大きな剛性となった。（図-8）

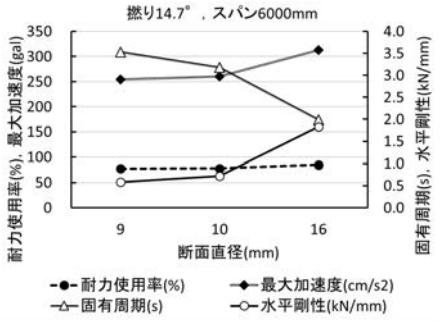


図-9　ブレース断面による比較結果

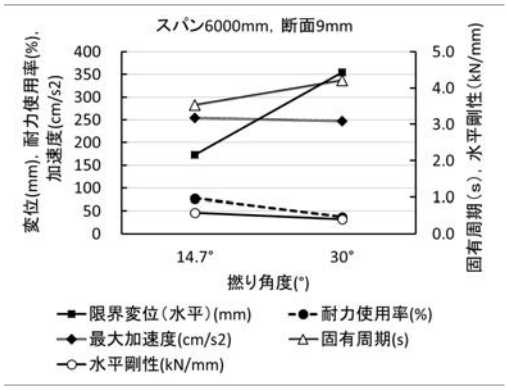


図-10　撚り角度による比較結果

表-4　各撚り角度の物性

材料	撚り角度(°)	ヤング係数(kN/mm2)	破断強度(N/mm2)
CFRTP	14.7	85	1810
ストランドロッド	30	60	2583

表-5　解析結果一覧（免震ブレース単体）

スパン(mm)	材料	断面直径(mm)	限界変位(水平)(mm)	断面力(kN)	変位DX(mm)	耐力使用率(%)	固有周期(s)	最大加速度(cm/s2)	水平剛性(kN/mm)
2000	24K3P*7-14.7°	9	174.9	92.9	-139.6	80.7	2.7	272.9	0.33
		10	174.9	117.2	-142.6	82.4	2.4	283.8	0.41
		16	174.9	300.8	-143.1	82.7	1.5	379.6	1.04
	24K3P*7-30°	9	358.3	-62.4	133.3	38.0	3.2	259.5	0.23
		10	358.3	79.3	-137.1	39.1	2.9	266.8	0.29
		16	358.3	214.8	-145.1	41.4	1.8	331.3	0.73
3000	24K3P*7-14.7°	9	152.4	106.6	-139.6	92.6	2.7	273.1	0.50
		10	152.4	134.5	-142.7	94.6	2.4	284.1	0.61
		16	152.4	345.0	-143.0	94.8	1.5	380.3	1.57
	24K3P*7-30°	9	312.4	71.7	-133.4	43.6	3.2	259.6	0.35
		10	312.4	91.0	-137.2	44.9	2.9	267.0	0.43
		16	312.4	246.3	-145.1	47.4	1.8	331.8	1.11
4000	24K3P*7-14.7°	9	152.0	105.1	-137.2	91.2	2.9	267.1	0.58
		10	152.0	133.1	-140.8	93.6	2.6	276.6	0.71
		16	152.0	348.4	-144.0	95.7	1.6	358.8	1.82
	24K3P*7-30°	9	312.4	-71.6	132.9	43.6	3.5	255.6	0.41
		10	312.4	89.6	-134.7	44.2	3.1	262.0	0.50
		16	312.4	247.5	-145.3	47.7	1.9	317.4	1.28
5000	24K3P*7-14.7°	9	160.3	97.1	-133.8	84.3	3.2	260.3	0.59
		10	160.3	123.3	-137.6	86.7	2.9	267.8	0.73
		16	160.3	332.6	-145.0	91.4	1.8	334.2	1.88
	24K3P*7-30°	9	328.5	-67.4	131.9	41.0	3.8	251.0	0.42
		10	328.5	-83.9	133.0	41.4	3.4	256.1	0.52
		16	328.5	234.0	-144.9	45.1	2.1	301.2	1.32
6000	24K3P*7-14.7°	9	173.1	-89.2	132.7	77.5	3.5	254.4	0.58
		10	173.1	111.1	-133.9	78.2	3.2	260.5	0.72
		16	173.1	308.8	-145.3	84.8	2.0	313.2	1.84
	24K3P*7-30°	9	354.6	-61.6	130.1	37.5	4.2	247.1	0.41
		10	354.6	-77.1	131.9	38.0	3.8	251.1	0.50
		16	354.6	214.4	-143.3	41.3	2.4	287.2	1.29

以上のことから、スパン長さの観点から免震ブレースの適正を考えると、スパンの長い架構が適していると言える。

b)　ブレース断面（図-9）

断面が大きいほど軸剛性、架構の水平剛性が上がり、短い固有周期を示した。一方、軸剛性の小さくなる小断面ほど固有周期は長くなり水平剛性は小さくなった。

上部梁の最大加速度は固有周期の長い小断面のモデルほど小さくなった。

ブレース部材の耐力使用率は断面が大きくなるにつれて微増傾向となっているが、大きな差異は出なかった。各断面で同程度の使用率に抑えられている現象は、細いブレースの方が架構全体として柔らかい構造となり、ブレース材が負担する軸力が小さいためだと考えられる。

以上のことから、ブレースの断面が小さいほど免震装置としての性能が優れていると言える。

c)　ブレースの撚り角度（図-10）

2 章で示した通り、撚り角度を大きくすると部材の強度上昇と剛性低下の物性変化があることが分かっている。そのため、ヤング係数が小さく破断強度の大きい撚り角度 30°の方が限界水平変位は大きく、固有周期も長くなり、ブレース材の耐力使用率は低くなった。また、固有周期が長くなったことで最大加速度が低減され、水平剛性は下がった。

撚り角度が大きいストランドロッドを利用した方が長周期化になり免震に適していると言える。

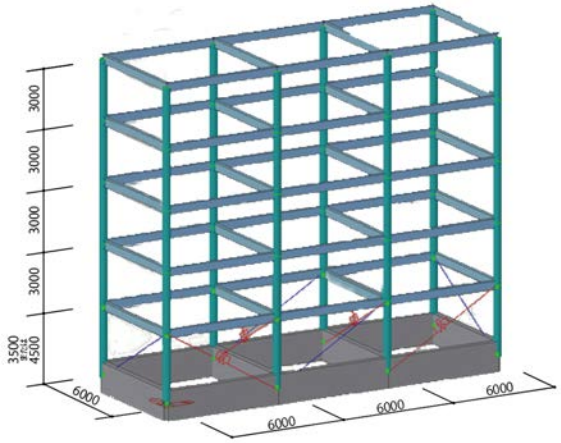


図-11　立体骨組み解析モデル（免震ブレースモデ

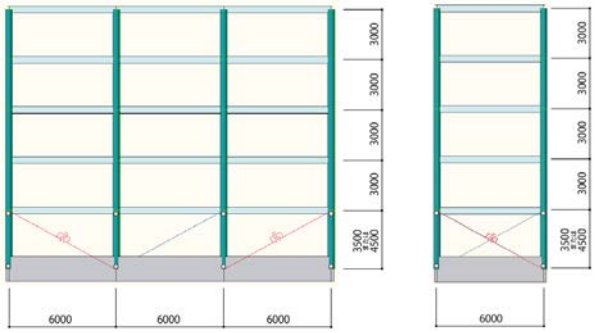


図-12　架構イメージ

表-6　オイルダンパー性能

種別	オイルダンパー
会社	カヤバシステマシナリー株式会社
製品	BDS型500kNストローク500-1400
型番	BDS901400-L-4
初期減衰係数	0.25 kN*s/mm
バネ剛性	155 kN/mm

表-7　解析モデル一覧

モデル記号	免震層（1階）階高(m)	形式	ブレース断面(mm)	ダンパー
3.5 - 耐	3.5	耐震	—	ー
3.5 - 9d	3.5	免震ブレース	9	○
3.5 - 10d	3.5	免震ブレース	10	○
4.5 - 耐	4.5	耐震	—	ー
4.5 - 9d	4.5	免震ブレース	9	○
4.5 - 10d	4.5	免震ブレース	10	○

5.　立体骨組みモデルでの検討

(1)　解析概要

ここでは図-11 に示す 5 階建て立体骨組みモデルにおいてS造純ラーメンの耐震構造モデルと同モデルに免震ブレースを組込んだモデルで時刻暦応答解析を行い各応答値から免震ブレースの免震装置としての性能を評価した。免震ブレースモデルでは1階柱の上下端のみピン接合し、そこに CFRTP ブレースを取り付けることで免震ブレースを取り付けた。免震ブレース取付け位置はX方向は中央の架構の1階、Y方向は外側の架構の1階に設定した。

表-8　床荷重

層	荷重ケース(kN/m2)		
	DL	LL	LL(地震時)
屋根	−5.0	−0.6	−0.4
一般階	−5.0	−1.3	−0.6
1階	−6.0	−1.3	−0.6

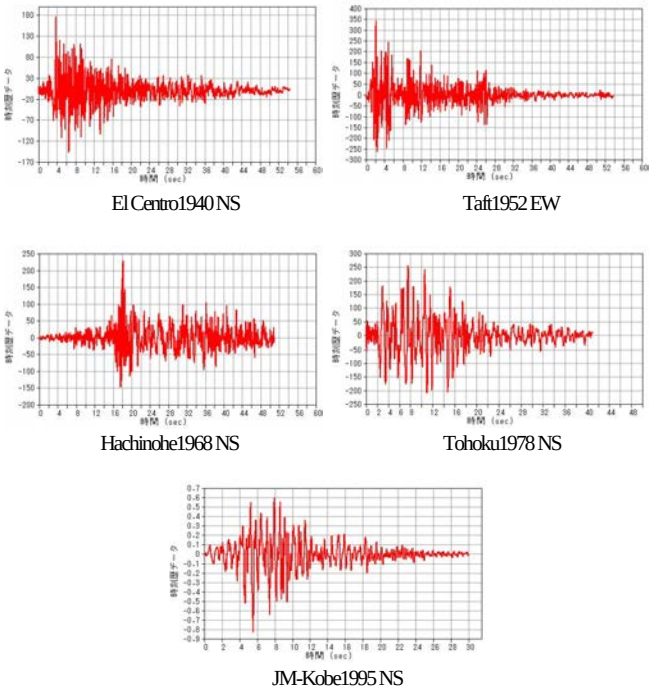


図-13　入力地震波の波形

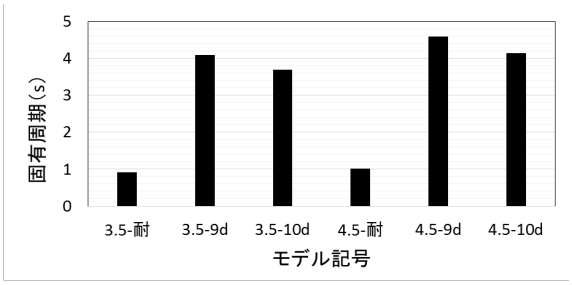


図-14　固有周期比較結果

1階階高は3500，4500mmのモデルを設定した。4章の結果で免震性能が高かったものを参考にスパンを6000mm とし、ブレースには撚り角 30°の CFRTP ストランドロッドを直径9mmと10mmで2通り使用した。さらに免震ブレースモデルにはオイルダンパーを組込んでおりその性能を表-6 に示す。

解析モデルの種類は1階階高、構造、ストランドロッドの径による違いから計6種類で、表-7 の通りである。

入力波として El Centro1940 NS, Taft1952 EW, Hachinohe1968 NS, Tohoku1978 NS, JM-Kobe1995 NS の5種類の地震波（図-13）を採用し、それぞれの地震波で時刻歴応答解析を行った。地震波は最大加速度 500gal として X, Y 軸方向で用いた。

(2) 解析結果

a) 固有周期

モデルごとの固有周期を図-14 に示す。耐震構造モデルの 0.9-1.0s 程度と比べ、免震ブレースモデルでは 3.6-4.5s と長周期化されていることが確認できる。4 章の結果と同様、同じ免震ブレースモデルでもブレースの断面が小さいモデルの方が固有周期は長くなり、1 階階高が高くブレース断面の小さい 4.5-9d モデルが最も長い固有周期を示した。

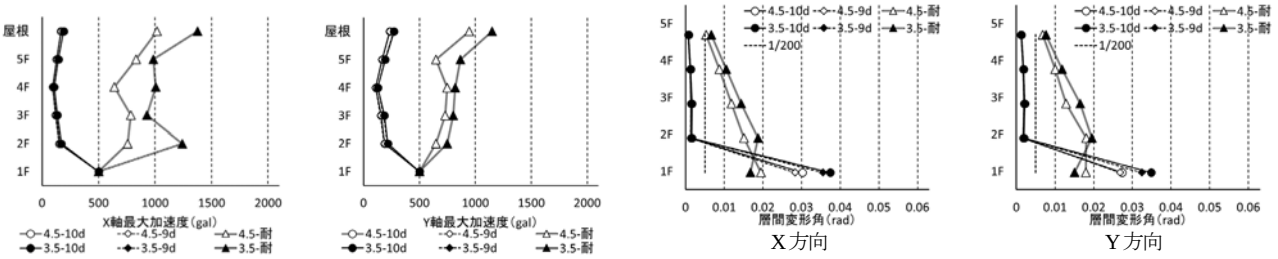


図-15 最大加速度及び層間変形角（El Centro）

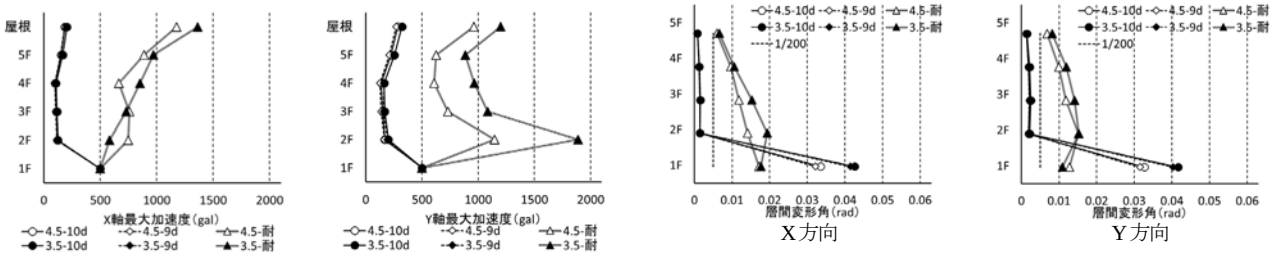


図-16 最大加速度及び層間変形角（Taft）

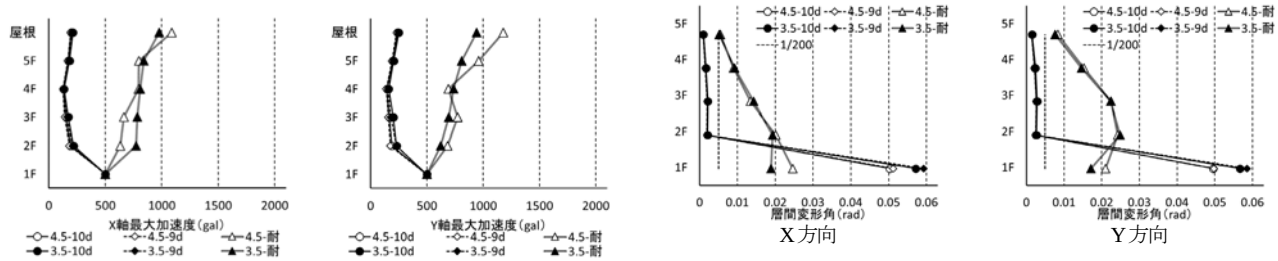


図-17 最大加速度及び層間変形角（Hachinohe）

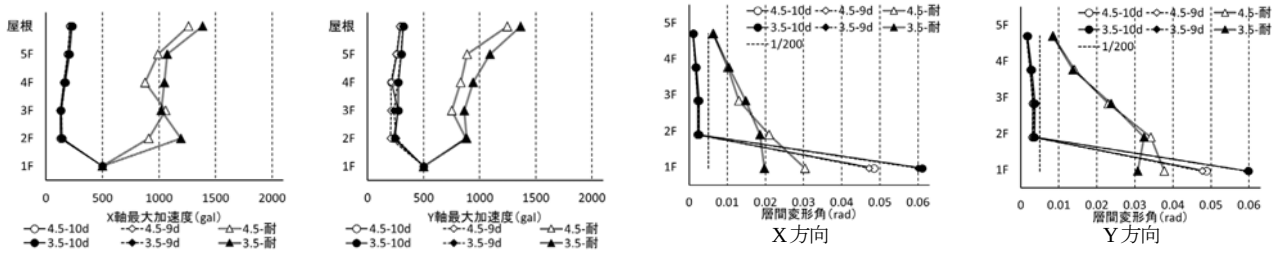


図-18 最大加速度及び層間変形角（Tohoku）

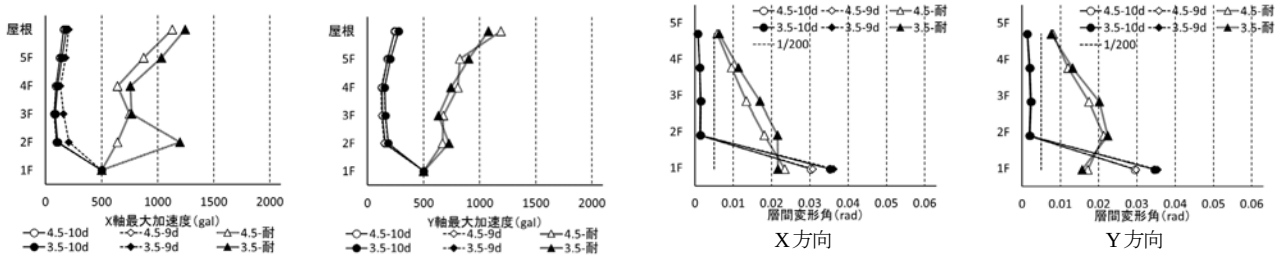


図-19 最大加速度及び層間変形角（Kobe）

表-9　最大加速度（Taft）

	X軸最大加速度(cm/s2)						Y 軸最大加速度(cm/s2)					
モデル記号	1F	2F	3F	4F	5F	屋根	1F	2F	3F	4F	5F	屋根
3.5-耐	500	581.91	730.49	849.63	969.49	1361.27	500	1888.38	1083.10	963.69	886.38	1200.05
3.5-9d	500	125.31	115.29	108.94	167.33	204.84	500	191.54	158.57	162.57	254.23	320.94
3.5-10d	500	124.24	116.88	107.68	166.47	203.94	500	200.41	169.13	162.36	254.59	321.65
4.5-耐	500	746.99	758.94	662.57	885.65	1173.39	500	1143.90	729.25	608.60	623.76	961.95
4.5-9d	500	113.68	106.03	95.75	148.07	181.93	500	163.87	138.28	126.49	209.75	270.58
4.5-10d	500	118.90	111.47	99.04	151.94	185.87	500	167.57	149.78	138.30	223.28	285.02

表-10　層間変位、変形角（Tohku, 3.5-耐）

	層	層高さ(mm)	許容層間変形角	時間/ステップ(s)	層間変位(mm)	層間変形角	判定
X方向	5F	3000	1/200	15.79	19.2496	0.0064	NG
	4F	3000	1/200	7.71	−31.0742	−0.0104	NG
	3F	3000	1/200	7.73	−44.4483	−0.0148	NG
	2F	3000	1/200	15.87	55.9339	0.0186	NG
	1F	3500	1/200	11.67	−69.0367	−0.0197	NG
Y方向	5F	3000	1/200	7.72	−26.1473	−0.0087	NG
	4F	3000	1/200	10.91	−41.0678	−0.0137	NG
	3F	3000	1/200	10.86	−71.0489	−0.0237	NG
	2F	3000	1/200	10.83	−97.182	−0.0324	NG
	1F	3500	1/200	10.81	−107.4169	−0.0307	NG

表-11　層間変位、変形角（Tohoku, 3.5-10d）

	層	層高さ(mm)	許容層間変形角	時間/ステップ(s)	層間変位(mm)	層間変形角	判定
X方向	5F	3000	1/200	10.86	−3.3933	−0.0011	OK
	4F	3000	1/200	10.86	−5.8229	−0.0019	OK
	3F	3000	1/200	10.86	−7.778	−0.0026	OK
	2F	3000	1/200	10.86	−7.8425	−0.0026	OK
	1F	3500	1/200	6.45	213.8396	0.0611	NG
Y方向	5F	3000	1/200	10.88	−5.3801	−0.0018	OK
	4F	3000	1/200	10.88	−8.5583	−0.0029	OK
	3F	3000	1/200	10.88	−10.9508	−0.0037	OK
	2F	3000	1/200	10.88	−10.7492	−0.0036	OK
	1F	3500	1/200	6.45	209.7661	0.0599	NG

b)　最大加速度

地震波ごとの各階の最大加速度及び層間変形角を図-15~図-19に示す。いずれの地震波においても加速度応答の低減が確認できる。耐震モデルは1層目に比べ上層階で最大加速度が増幅されているのに対し、免震ブレースモデルの2層目以上の層では最大加速度応答が1層目より小さい値を示していることが分かる。このことから、1層目が免震層として機能していると言える。耐震構造では 1000gal を超える加速度応答を示す層もいくつか見受けられ、最も大きい所で1888.38gal（表-9）の最大加速度を示すケースがあったが、免震ブレースモデルでは全てのケースにおいて最大加速度が 500gal を下回る結果となった。免震ブレースの導入により入力地震動の 70-90%程度の低減が可能であると確認できた。

c)　層間変形角

耐震構造モデルでは全ケース、全層で許容層間変形角1/200以上の変形が生じているが（表-10）、免震ブレースモデルでは、免震層である1層目を除いて層間変形角が1/200未満に収まっていた。2-5階の層間変形角が各モデル共に免震層上部の2-5階ではX軸方向で1/750程度、Y軸方向で1/600程度まで抑えられた（表-11）。一方で、免震ブレースモデルにおいて1層目の層間変形角が耐震構造モデルと比べ大きくなり最大のもので層間変形角1/17程度とかなり大きな変形となった。

d)　耐力使用率

表-12にCFRTPブレースの最大軸力及び耐力使用率を示す。階高が低い方が固有周期も短くなるので、耐力使用率は大きな値を示した。その中でも 3.5-10d モデルの地震波 Tohoku では Y 方向耐力使用率が 96.27%と破断強度直前まで軸力がかかっていたことが確認できる。同じ地震波でも CFRTP ストランドロッドの径が小さく、階高が高い 4.5-9d モデルでは耐力使用率が 76.20%まで抑えられているので、免震ブレースを検討する上で、階高、部材径は重要なパラメータであると言える。また、この

表-12　CFRTPブレース材の最大軸力、耐力使

モデル記号	免震層階高(m)	部材径(mm)	地震波	X方向		Y方向	
				最大軸力(kN)	耐力使用率(%)	最大軸力(kN)	耐力使用率(%)
3.5−9d	3.5	9	El Centro	−61.611	43.21	62.604	43.90
			Taft	74.157	52.00	−83.599	58.62
			Hachinohe	99.411	69.71	−107.840	75.62
			Tohoku	111.473	78.17	−135.450	94.99
			Kobe	62.599	43.90	−66.468	46.61
3.5−10d		10	El Centro	−78.712	44.71	−79.271	45.03
			Taft	93.686	53.22	−104.600	59.41
			Hachinohe	117.868	66.95	131.337	74.60
			Tohoku	140.499	79.81	−169.490	96.27
			Kobe	74.674	42.42	84.031	47.73
4.5−9d	4.5	9	El Centro	−57.282	40.17	62.712	43.98
			Taft	63.529	44.55	−71.746	50.31
			Hachinohe	94.574	66.32	−99.936	70.08
			Tohoku	92.577	64.92	−108.660	76.20
			Kobe	59.057	41.41	−63.716	44.68
4.5−10d		10	El Centro	−73.006	41.47	76.594	43.51
			Taft	81.030	46.03	−90.698	51.52
			Hachinohe	114.088	64.80	−121.920	69.25
			Tohoku	118.440	67.28	−140.700	79.92
			Kobe	71.120	40.40	−75.749	43.03

結果は5章の結果の傾向とも一致する。

6. まとめ

CFRTPの有用性を示すために本研究ではCFRETPの性能の検討及び CFRTP をブレース材として用いたときの性能の評価を行った。

CFRTP のヤング係数と撚り角度に関する評価式を導出し、CFRTP ストランドロッドは撚り角度を大きくするに従いヤング係数が低下し、破断強度が上昇することが分かった。

ブレース架構に CFRTP を用いた場合、鋼材より変形性能に富み、固有周期が比較的長くなったことから免震ブレースとしての適用に至った。

免震ブレース単体モデルでの検討により、免震ブレースの形状はアスペクト比が1以下でブレース部材は長くかつ細く、撚り角度は大きいほど免震性能は向上するという結果になった。

5階建て S 造の立体モデルに免震ブレースを組込むと、最大加速度を入力地震動の 70-90%に低減する 4 秒免震にすることができたが、免震層である1層目の変形が耐震構造より大きくなる点は課題である。また、ブレース材の耐力使用率を抑えるために免震層の階高の確保、部材の小断面化が有効であると分かった。

参考文献

1) 前田豊、木村耕三：炭素繊維の最先端技術、p213-216、2007.1.
2) 島田静雄：弾性針金の変形と応力、土木学会論文集、1961巻72Appendix1号p.1-16、1961.
3) 濵田直明：斜め PC 鋼材を用いた学校施設の外付け耐震補強工事の施工、p.377-378、2010.10.
4) 斎藤公男，岡田章：建築におけるケーブル構造の課題と展開，p1-4，1994.9.
5) 濵田直明：斜め PC 鋼材を用いた学校施設の外付け耐震補強工事の施工，p.377-378，2010.10.
6) 引張試験成績書：一般財団法人ベターリビング，2013.5.
7) 日本建築学会：ケーブル構造設計指針・同解説，p85-87，1994.6.
8) 島田静雄：弾性針金の変形と応力，土木学会論文集，1961巻72Appendix1号p.1-16，1961.
9) 島津製作所分析計測事業部応用技術部：島津試験CSCニュース No.270，2007.

(Received August 30,2019)

STUDY ON THE EFFECTIVENESS OF A BUILDING STRUCTURE SUBJECTED TO TENSIVE FORCE
-UTILIZATION OF THERMO-PLASTICS CARBON FIBER REINFORECEMENT –

Takahiro KITAGAWA, Yasuhide MOCHIDA and Yoshito SAKURAI

Using the carbon fiber reinforced plastics (CFRP) for the structure of the main is not accepted in the field of architecture. In order to promote CFRP in the field of architecture, we work on this research with the aim to establish usefulness of the carbon fiber reinforced thermo plastics (CFRTP) which it is possible to manufacture at low cost and it is easy to recycle and we evaluated the effectiveness of the CFRTP strand rod when it is used for brazing material. We found using CFRTP strand rod brace make the characteristic period of the simple frame made of steel longer as a result of characteristic vlue analisis for the simple falme using round steel tube, PC steel starand wire or CFRTP strand rod. We made the solid model which was aseismatic structure and the brace of isolation model introducing CFRTP braces and oil dampers and compared the results of earthquake response analysis for them. Thereby we found the barace of isolation has the efficiency reducing earthquake response like the covenntional isolation devices.