

新勝寺額堂における柱四方松皮継の曲げ試験

- 種別：材料試験 [木材・煉瓦・鉄・コンクリート・その他]、重量測定、
要素試験 [接合部・軸組・壁・水平構面 (床・天井・小屋組・屋根)・非構造部材・その他]、
補強性能試験 [接合部・軸組・壁・水平構面 (床・天井・小屋組・屋根)・非構造部材・その他]

●基本情報

文化財名称：新勝寺額堂

文化財種別 (指定年月日)：重要文化財 (昭和55年5月31日)

所在地：千葉県成田市

所有者 (管理団体)：新勝寺

構造形式：桁行正面三間、背面六間、梁間二間、入母屋造、棧瓦葺

建築年：江戸末期 (文久元年 (1861) 頃)

事業名称：重要文化財新勝寺額堂耐震対策工事事業

事業期間：平成26年6月2日～平成28年6月30日

工事種別：耐震対策工事

事業者：宗教法人成田山新勝寺

設計監理：公益財団法人文化財建造物保存技術協会

実験計画者：有限会社安芸構造計画事務所

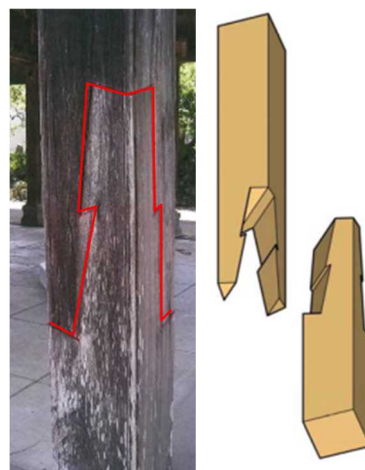
実験機関：高度ポリテクセンター

実験年月日：—

引用・参考文献：—

●実験に至る経緯と目的

本建物の耐震要素は垂壁付の独立柱であるため、柱の曲げ性能が耐震性能に大きく影響する。一方で、本建物は15本ある柱のうち8本に根継を施してあり、そのうち3本の継手は金輪継、5本の四方松皮継となっている。四方松皮継は四面から金輪継のようにみえる継手で、大工の腕自慢で用いられたとの話もある特殊なものである。金輪継については実験事例があるが、四方松皮継はなく、性能が不明であった。そこで四方松皮継を施した柱の曲げ性能を確認するとともに、その継手の補強方法を検討するための模型実験を実施した。



● 姿図・寸法

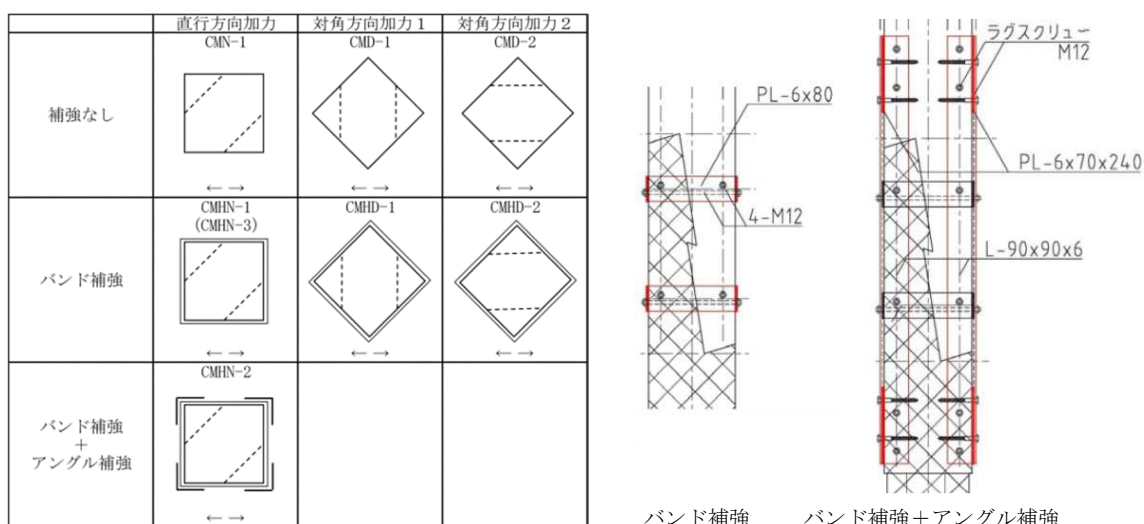
【使用材料】

柱 280×280×2730（うち継手部 700） ベイマツ（実物はケヤキ）

【試験体寸法】

継手部は、対角二隅に柱断面の約 1/8 を残した上部と、中央に約 3/4 を残した下部からなり、継手中間に頸を設けている。この上下の柱材を対角方向に滑りこませるように組み合わせる。

- ・ 補強なし：加力方向の異なるもの 3 体（CMN-1, CMD-1, CMD-2）
- ・ バンド補強：継手部に上下二段廻した鋼板（PL-6×80）をボルト（4-M12）で留め付け、加力方向の異なるもの 3 体（CMHN-1, CMHD-1, CMHD-2）
- ・ バンド補強+アングル補強：上記に加え、四隅に山形鋼（L-90×90×6）を配置し継手部の上下にてラグスクリュー（4-M12）で緊結（CMHN-2）



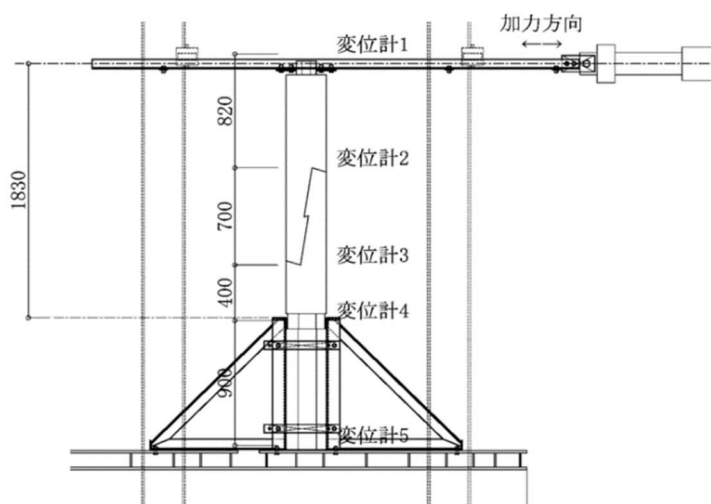
なお、CMHN-1, CMHD-1, CMHD-2 の破損状況が支点付近の折損部分の割裂の影響が大きかったことから、新たに支点付近の断面欠損を設けずに作成した試験体 CMHN-3N（鋼板バンド補強、建物の軸力方向に加力）に再度加力試験を実施した。

● 概要

四方松皮継を有する 280mm 正角柱の試験体（3 体）に、上下二段に廻した鋼板をボルトで締め付けた試験体を 3 体、それに加え四隅に山形鋼を配置し、上下の柱をラグスクリューで緊結した試験体を 1 体用意し、水平加力試験を行った。

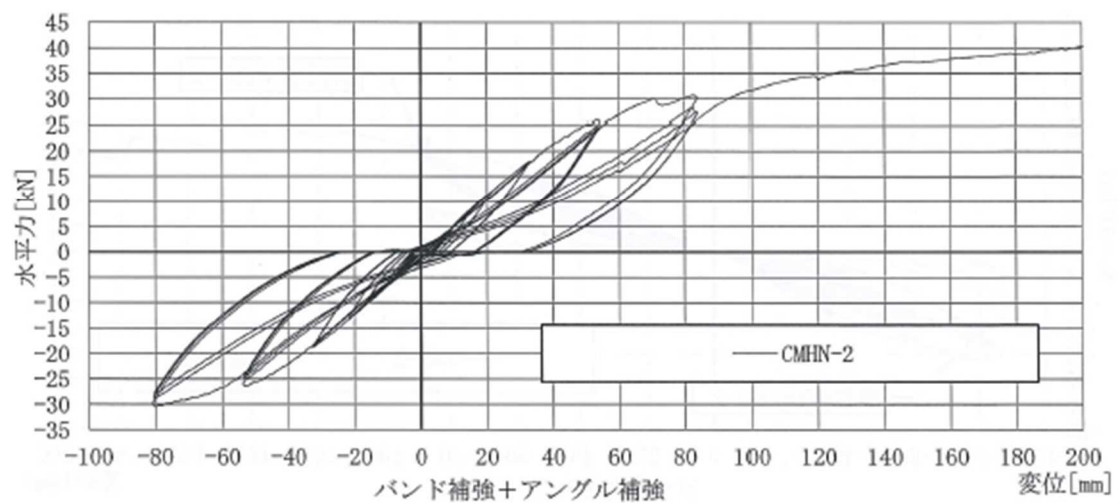
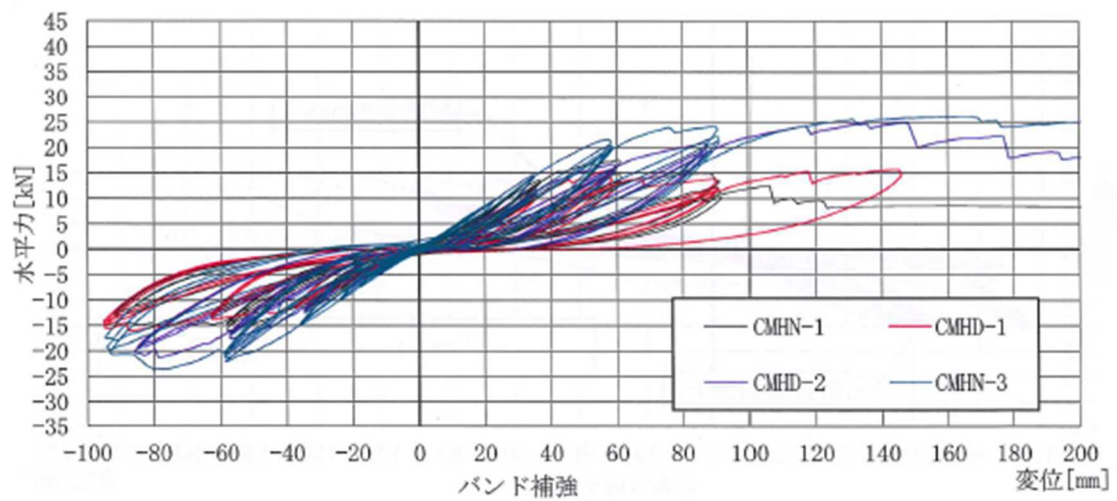
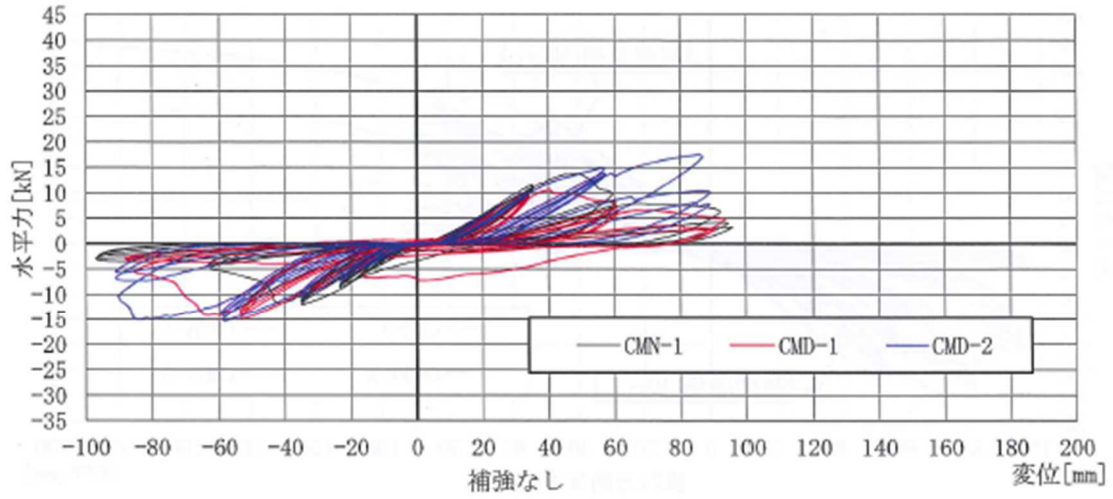
●実験方法

柱の上下を逆にして、下になった垂壁下端に相当する部分を反力治具に固定し、上になった柱脚に水平力を加え、継手部分の荷重変形を測定した。軸方向と継手挿入方向（対角）、継手挿入直行方向（対角）の3方向からの加力試験を実施した。破壊状況を確認しながら層間変形角 1/20 まで加力した後、測定機器を盛り変え、破壊に至るまで加力した。

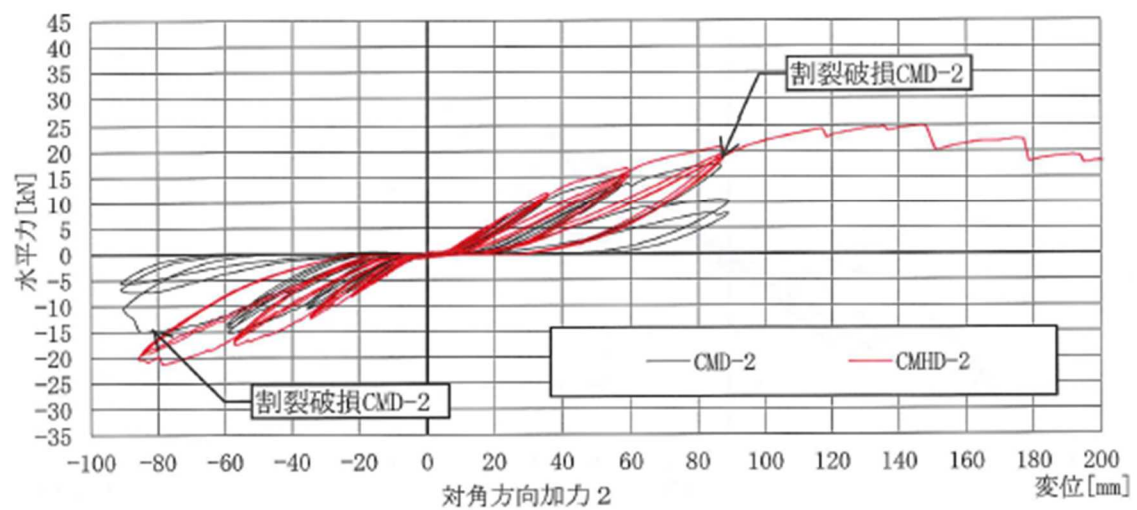
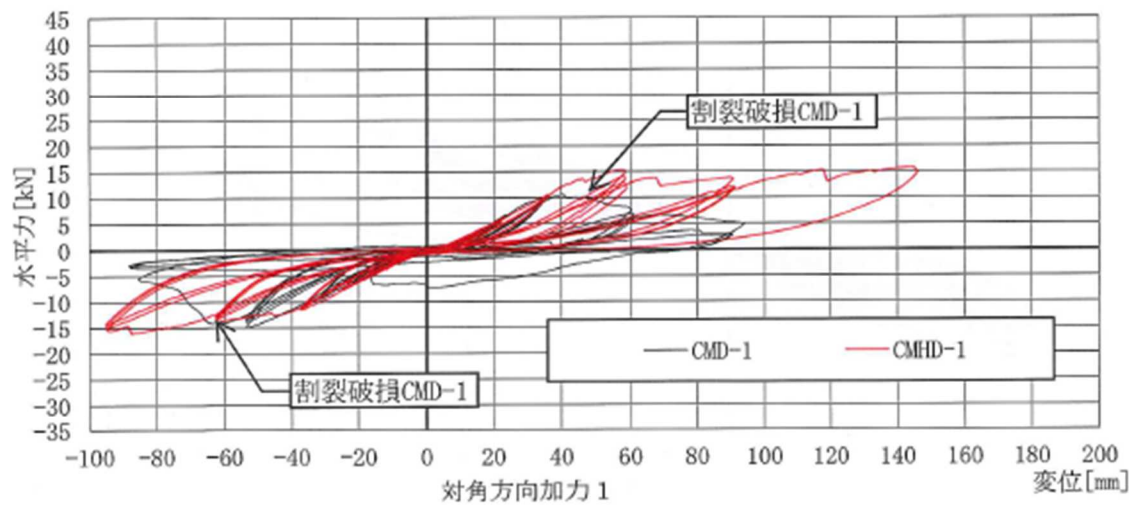
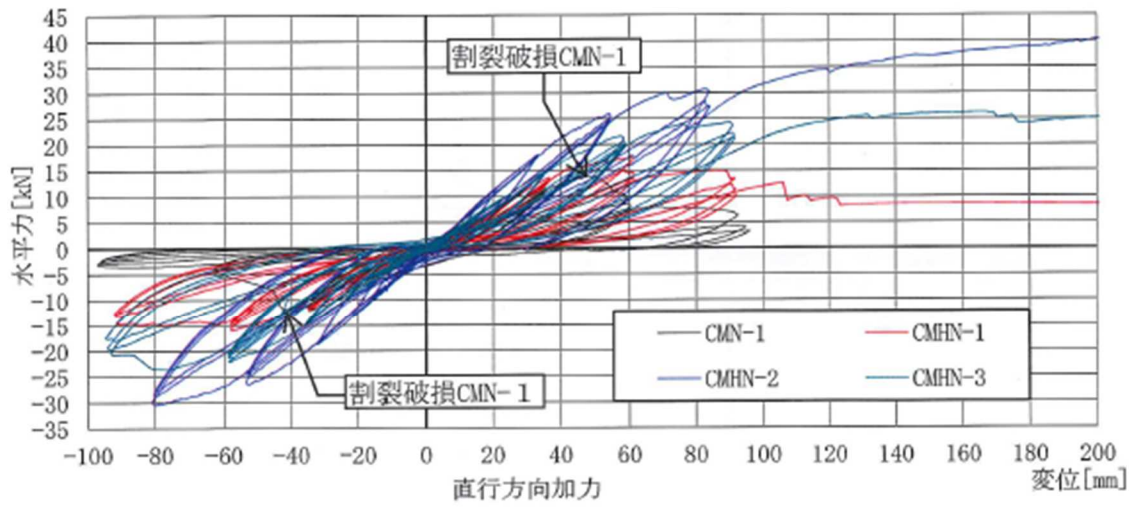


●荷重変形関係

- ・加力方向による比較



・補強効果による比較

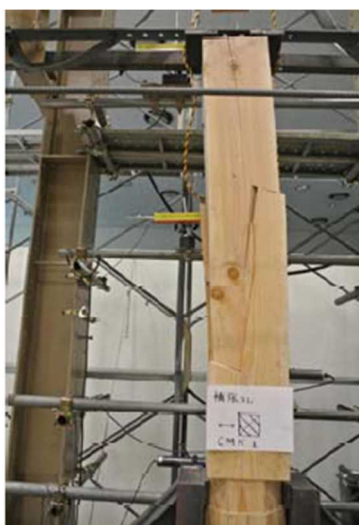


●破壊形状

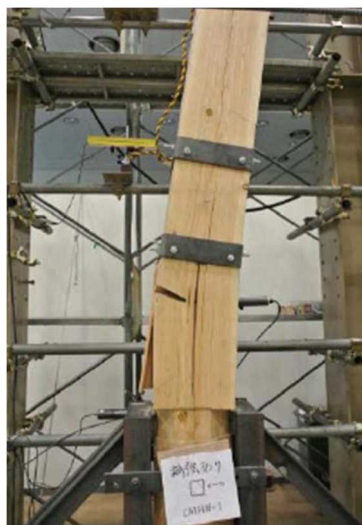
補強なしの試験体は、層間変形角 1/50 を超えると、中間の顎に割裂が発生し、以降は耐力の低下が進み、上部と下部が大きくずれるため、鉛直荷重支持性能が期待できない。三方向の加力試験の結果を比較すると、挿入方向への加力が最も安定した履歴となっているが、耐力や変形性上などに大きな違いは見られなかった。

バンド補強の試験体は、中間の顎に割裂が発生するが、以降の加力に対しても上部下部のずれや耐力低下も小さく、層間変形角 1/20 程度まで鉛直荷重支持性能が期待できる。

バンド補強+アングル補強の試験体は、中間の顎の割裂以降も耐力増大が期待できる。



補強無し CMN-1



鋼板バンド CMHN-1



鋼板バンド+アングル CMHN-2



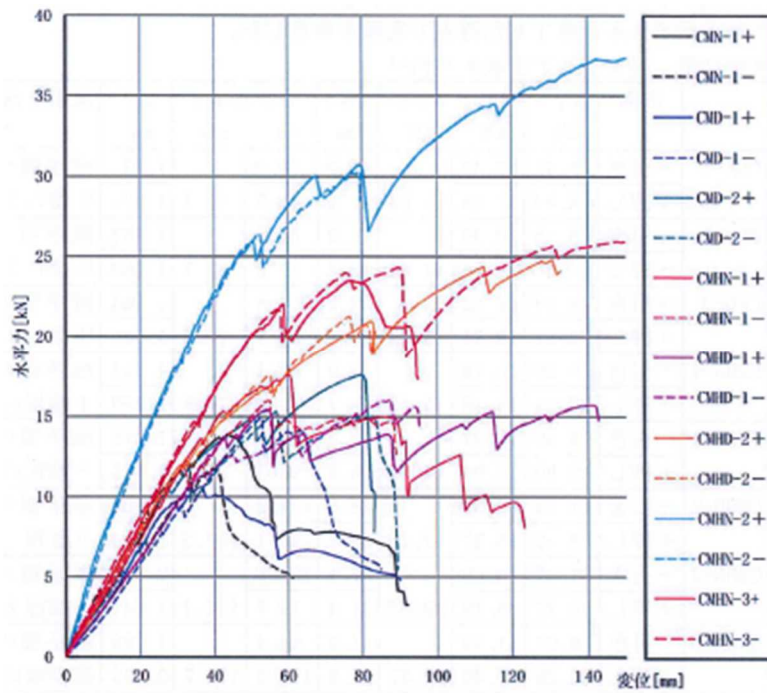
破損状況 (鋼板バンド CMHN-3)

●理論式

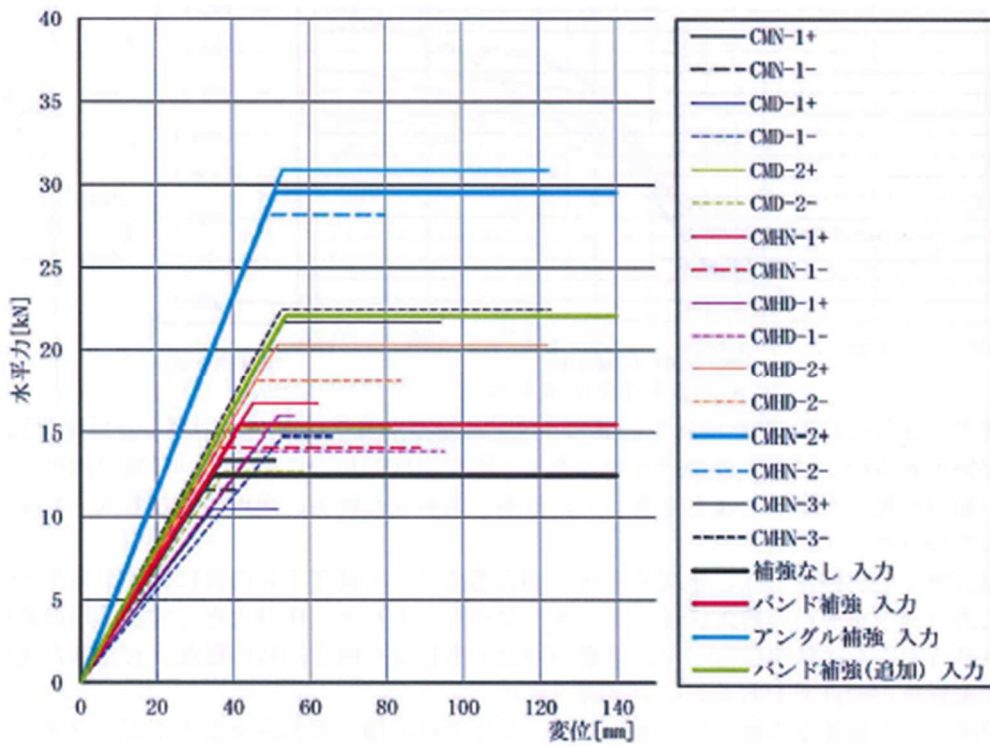
—

●モデル化

水平加力試験の荷重変形関係の包絡線よりバイリニア形の復元力特性を算定した。



荷重変形関係の包絡線



バイリニア型復元力特性

<水平加力試験結果 バイリニア型復元力特性>

試験体		方向	Py kN	Pu kN	avPu kN	δy mm	δu mm	av δu mm	μ mm	破損状況等
補強無し	CMN-1	ー引き	5.42	13.42		15.0	50.9		1.374	継手部の割裂後、 圧潰により破損
		+押し	4.88	11.66	12.54	11.9	42.5	46.7	1.497	
	CMD-1	ー引き	3.35	10.49		11.0	34.5		1.493	継手部の割裂後、 圧潰により破損
		+押し	4.34	14.78	12.64	15.5	52.8	43.7	1.263	
	CMD-2	ー引き	8.64	15.23		22.2	81.6		2.084	継手部の割裂後、 圧潰により破損
		+押し	5.82	12.74	13.99	17.2	58.7	70.2	1.560	
鋼板バンド	CMHN-1	ー引き	6.96	16.75		18.9	62.1		1.365	継手部の割裂後、 下端部の割裂破損
		+押し	7.31	14.15	15.45	18.7	89.0	75.6	2.459	
	CMHD-1	ー引き	5.30	15.97		17.2	55.9		1.076	継手部の割裂後、 下端部の割裂破損
		+押し	8.00	13.96	14.97	25.8	95.3	75.6	2.118	
	CMHD-2	ー引き	11.24	20.31		28.6	122.3		2.364	継手部の割裂によ り破損
		+押し	9.32	18.07	19.19	23.8	84.1	103.2	1.824	
鋼板バンド 4隅アンクル	CMHN-2	ー引き	21.67	30.90		37.1	122.5		2.315	継手部の割裂後、 下端部の割裂破損
		+押し	18.77	28.19	29.55	32.4	79.7	101.1	1.641	
鋼板バンド	CMHN-3	ー引き	9.94	21.68		24.2	94.4		1.785	継手部の割裂後、 継手端部曲げ破断
		+押し	12.25	22.46	22.07	28.8	123.0	108.7	2.333	

●考察

- ①現状の四方松皮継手の水平耐力は 15kN 以下で、垂壁下端における柱の曲げ破損に先行し継手の破壊が発生し、割裂破損した継手部分の鉛直荷重支持性能に問題があるために、建物が倒壊に至る危険性が大きい。
- ②現状及び鋼板バンド補強を行った四方松皮継手の柱に対して、建物の軸方向、継手の挿入方向とその直交方向からの水平加力試験を行った結果、特定の加力方向に対して極端な水平耐力の低下は認められなかった。
- ③継手部分を鋼板バンドで補強することで、水平耐力は 22kN 程度まで向上し、継ぎ手部分に割裂が発生しても即倒壊に至ることはない。しかし、負担水平力と柱軸力の比： $22\text{kN}/58\text{kN}=0.38$ と小さく、柱の曲げ破損に先行することから、正面のように全ての柱が継手を有する構面等に対しては、鋼板バンド+四隅のアンクル補強を採用するか、追加的な補強が必要である。
- ④測定したヤング率（平均 972 kN/cm^2 ）より $F_b=2.54\text{ kN/cm}^2$ を基に、柱の曲げ強度を算定すると $\sigma_{Mu}=92.9\text{ kN}\cdot\text{m}$ となる。継手の中央の高さ ($H=1.07\text{ m}$) で除した $\sigma_{Qu}=82.8\text{ kN}$ に対して、現状補強前 (CMN-1)、鋼板バンド補強 (CMN-3)、鋼板バンド+四隅のアンクル補強 (CMHN-3) の水平耐力を比較すると、 $12.5/82.8=0.15$ 、 $22.1/82.8=0.27$ 、 $29.6/82.8=0.36$ となり、金輪継等に比べ接合部の耐力低下が著しいことがわかった。
- ⑤実験結果より得られた片持ち柱の復元力特性に近似するように、継手長さ 700mm の曲げ剛性を低減した等価剛性を算定すると、挿入と直交方向の加力の剛性が小さく、軸方向と挿入方向が同じような剛性であった。軸方向の等価平均剛性について見ると、補強無しで 0.096、追加試験の鋼板バンド補強で 0.107、鋼板バンド+四隅アンクル補強で 0.172 で、水平耐力と同様に金輪継手等に比べ剛性低下が著しいことがわかった。