

京都府 禅林寺御影堂（祖師堂）修理について

室長 鴨 昌和

禅林寺は「もみじの永観堂」や「みかえり阿弥陀」として全国にその名が知られ、11月に入ると紅葉狩りの観光客で境内は大変な賑わいを見せる。

禅林寺は真言密教の寺として始まるが、中興の祖とされる七世住持の永観（1033～1111）が入寺した頃より、次第に浄土宗の寺院となり、元和元年（1615）には、長岡京市の光明寺とともに浄土宗西山派本山と認められた。

御影堂（祖師堂）は、東山を背景とする境内のほぼ中央に西面で建ち、正面7間、側面7間（ともに21.43メートル）の入母屋造、向拝三間、本瓦葺、檜造り（軒廻りはヒバ材）で、平面積459.24平方メートル、屋根面積1100平方メートルである。棟札によると棟梁は伊藤平左衛門で、明治42年（1909）に起工し、大正2年（1913）に上棟している。今回、宗祖法然上人八百回御遠忌記念事業として、屋根の葺替と耐震補強を平成19年11月より1年の工期で行なった。11月末の紅葉の季節の終了とともに工事に着手し、翌年の10月末の紅葉の季節に入る前に工事を完了することが絶対条件の中で、1100平方メートルもの屋根の葺替と部分修理、耐震補強を行うのはかなり綱渡り工程であったが、どうにか無事完了出来た。

今回は、木材の劣化のひとつである白蟻の被害と対策及び耐震補強について報告させていただく。



写真1 防蟻シート敷込作業

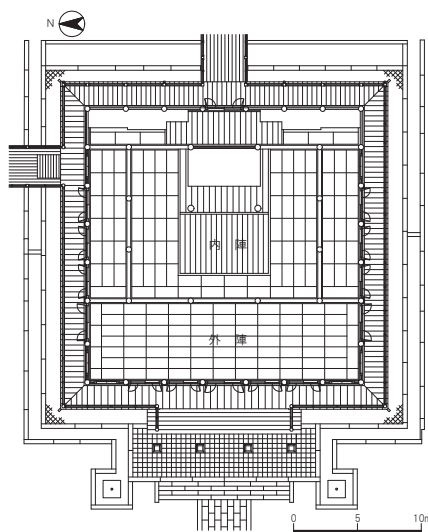


図1 御影堂（祖師堂平面図）

白蟻について

建立年代が大正初期とあって、建物の状態は比較的良好で、設計にあたっての事前調査では、雨漏りによる腐朽が小屋組の一部に見られるほかは、特に著しい劣化部位はみとめられなかった。足固に蟻道の跡が見られたが、構造上特に問題になるほどではなかった。根太や大引、床束等が近年全て取替えられていることから、過去に白蟻被害が床組全体にあったと思われるが、現在白蟻が活動している痕跡はみとめられなかった。以上の調査結果から、修理方針として野地板の張替えと小屋組の腐朽材の取替えを主として設計し、床下の防蟻対策としては防蟻薬剤の撒布を行うこととした。

工事が始まって、瓦と葺土を卸すと土居葺の表面に蟻道が広範囲に広がり、野地板を食害貫通し、垂木や土居桁、登梁の上端にも食害が広がっていた。御影堂の背面は崖地となっており、松の太木が屋根に覆い重なるように林立している。恐らく、これらの樹木より飛来した羽根蟻が、瓦の隙間から侵入し、葺土の中にコロニーを作って食蟻等を産卵して大きくなったと思われる。特に珍しいケースでは無い様であるが、私自身は初めてであったので、上部からの侵入を念頭にいれておらず、事前調査で発見出来なかったのが悔まれた。幸いにして想定取替え材の材積内で処理できたので、工事費の増額は生じなかった。

白蟻の侵入経路に屋根からの経路が加わったことにより、地面からの侵入とあわせて、二方向からの侵入対策が必要となった。さらに今回の修理工事は、建物を使用しながらの工事であったため、人体への影響も十分考慮する必要があった。長年文化財修理に携っておられる先輩諸氏には、釈迦に説法かと思われるが、白蟻は普通の黒蟻のように地表を這って建物にたどり着くことは決してなく、必ず身体の廻りに水分を得る為のシールドが必要である。そのため、地中を進んで建物にたどり着くと、礎石の表面などに蟻道を作って柱等の木部に侵入してゆく。よって、白蟻の最大の侵入経路である床下及び建物周辺の地中に対して薬剤による防蟻処理を行うことが一般的に行われている。今回の工事でも当初、薬剤散布による土壌処理を行う予定であったが、屋根面の防蟻処理について専門家と協議するなかで、アルミシートによる防蟻方法を知り、設計変更を行った。このアルミシートはアルミ箔の両面を耐酸性等を高める為、特殊樹脂シートで保護したもので、床下の土間全面に敷き詰めるだけで工事完了である。今回はシート保護の為に押えモルタルを設けた。アルミの厚みは二十ミクロンという非常に薄いものであるが、この厚みは白蟻が貫通出来ないもので、地中からの白蟻の侵入を防ぐことが出来る。さらに、水分を通さないので防湿効果もある。シートの継目は同基材のジョイントテープを使用して処理する。柱礎石や床束石などシートと隙間が生じる箇所については、予め礎石等の四周に巾五センチ、深さ五センチ程度の溝を作っておき、その溝に液晶ガラスを粉碎した粒剤を充填した。液晶テ

レビ等の製造過程で生じる廃棄材（所謂、バリ）を細かく粉碎したもので、このガラスの層が厚さ二センチ以上になると白蟻は蟻道を作れないことが、室内及び野外の試験で確認されている。この二つの防蟻材料は殺虫防蟻薬剤を一切使用していないため人体への影響が皆無であり、無機質であることから半永久的な防蟻性が期待出来る。但し、この工法も万全ではなく、基壇床や亀腹などシートを敷き込んでも、その上に白蟻の侵入経路となるような叩きなどの化粧を行わなければならない箇所については、シートの上の仕上層で蟻道が作られてしまう可能性がある。その為、一部薬剤散布を併用せざるを得ない部分が生じる。これに対する工夫は今後の課題であるが、薬の効果が数年で薄れてしまう従来の薬剤による防蟻処理とは違うアプローチの防蟻処理として、今回の方法は防蟻処理の選択肢のひとつに十分なりうると思う。

屋根面における最善の防蟻対策は、あたり前であるが雨を漏らさないこと、土を置かないことである。今回、瓦葺替に伴い、土葺から空葺に変更した。よって、白蟻の巣形成に必要な葺土が無くなり、雨漏りによる水分補給も無くなった。経年による瓦のズレ等による雨漏りが生じない限り、白蟻繁殖の可能性は非常に少なくなったと考える。しかし、万が一の為に土居葺完了後、防蟻剤の撒布を行った。使用した薬剤は、人体及び周辺環境への影響を考慮して、除虫菊エキスとヒバから抽出した成分を主としたものを採用した。

今回、防腐・防蟻について専門家に相談しながら修理を行ったが、日々の維持管理が最善の防蟻処理であることを認識した。



写真2 ジョイントテープ施工



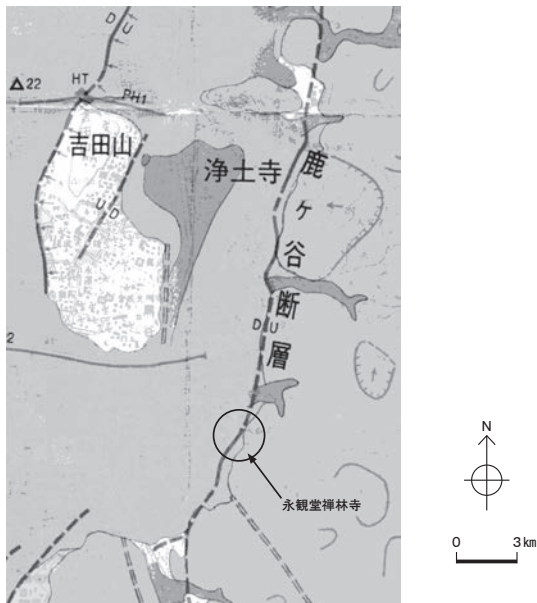
写真3 ガラス粒剤充填作業



写真4 礎石廻り防蟻処理完了

耐震補強について

禅林寺御影堂は、京都市左京区永観堂町に位置する、大規模な伝統的木造建築物である。京都市の地震環境は、周辺に活断層が多くあり禅林寺も活断層に近い。



植村善博『京都の地震環境』ナカニシヤ出版より

阪神大震災以後に各研究機関によって木造建築の耐震性能の研究が進み、建物の傾き(変形角)と被害の関係が下記に示すようになった。

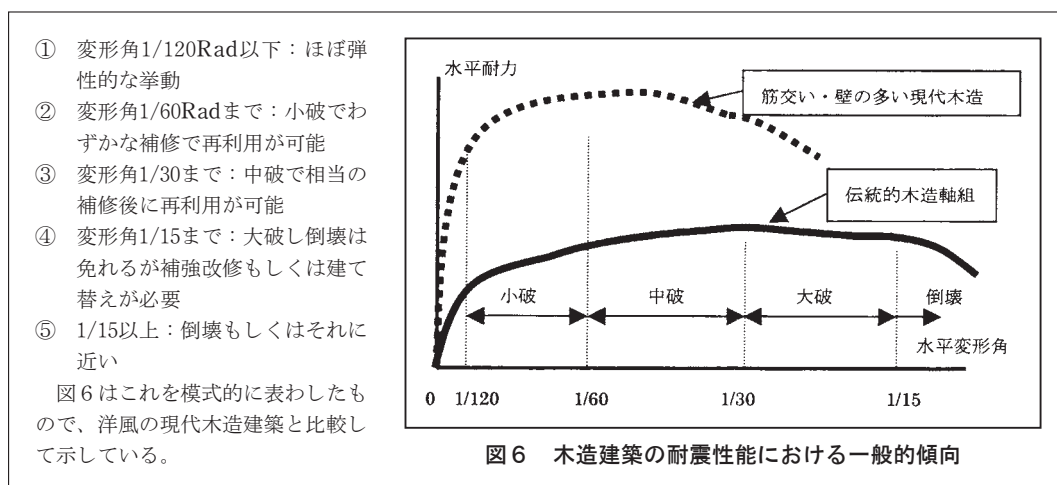


図6 木造建築の耐震性能における一般的傾向

日本建築学会近畿支部「木構造と木造文化の再構築」より抜粋

変形角1/120以下は、弾性的な挙動を示す。

これは、水平力が建物にかかって変形しても水平力がなくなれば建物は元にもどる状態で建物に被害はほとんど生じない。

木造建築で1/120以下にするためには多くの補強が必要である。

変形角1/60までは、小破でわずかな補修で再利用できる。

柱の傾斜、土壁にひび割れが生じるがわずかな補修で建物は再利用が可能。

変形角1/30までは、中破で相当な補修で再利用できる。

柱の傾斜、土壁にひび割れが発生、仕上げ材の剥離が生じるが補修で建物は再利用が可能。

変形角1/15までは、大破で倒壊は免れるが補強改修が必要となる。

倒壊はしないが、建物は傾斜し、土壁に大きな割れが生じ補強改修、または建て替えが必要となる。

変形角1/15以上は、倒壊の可能性が大きい。

倒壊の可能性が大きく、建て替えが必要である。

寺院の建物は伝統的木造軸組によって構成されており、主に木材がもつ「ねばり」を有効に発揮させる構造になっており、倒壊するまでの変形が大きい構法となっている。実験による検証では変形が1/10となっても倒壊はしないが、建て替えは必要な状態となる。今回の計算は、震度を0.3としており変形角1/30以下でよいと考えた。よって、本耐震補強は変形角を1/30程度を目標とした。

診断計算（現状）

御影堂の平面は対称形であるが、東面に土壁が多く配置されている。

診断方法

診断手法は、木材接合部の回転剛性を生かした計算を行った。

解析ソフトは3次元応力解析ソフトを使用した。

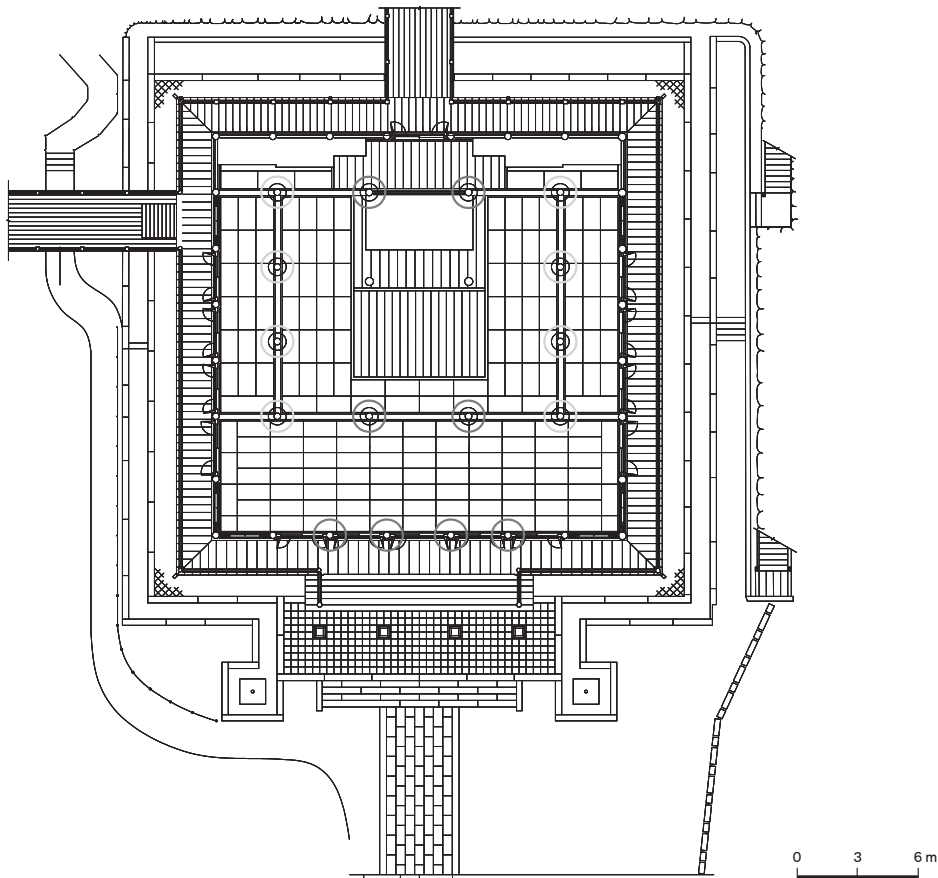
診断結果（現状）

	X方向(南-北)	Y方向(東-西)
層間変形角	1/23	1/25

現状では大破と判定され、補強を行う必要があると考えられる。

補強計画

補強としては、新たに耐震壁を設ける手法ではなく木材接合部の剛性を高める構法とした。また、小屋組にはトラスの横方向につなぎ材を設け一体化を図る。



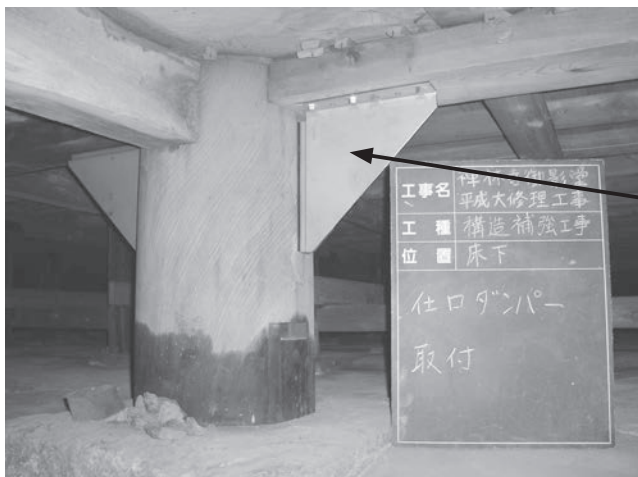
- 柱 頭 ダンパー取付け位置を示す。
- 床下・柱頭 ダンパー取付け位置を示す。

診断結果（補強後）

	X方向(南-北)	Y方向(東-西)
層間変形角	1/48	1/52

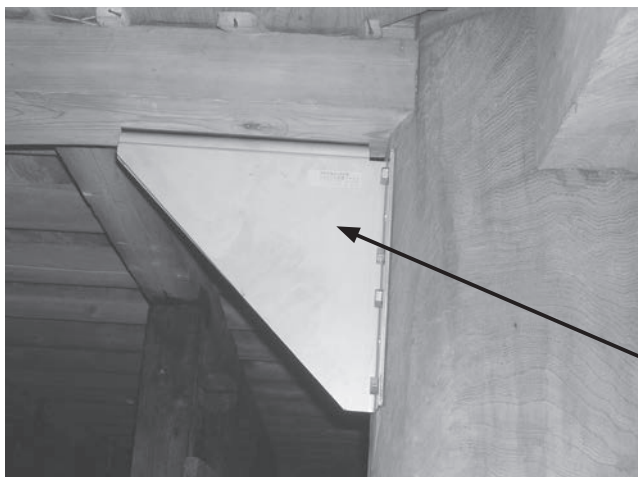
以上のようになり1/30目標値を満足した。

補強関係の写真



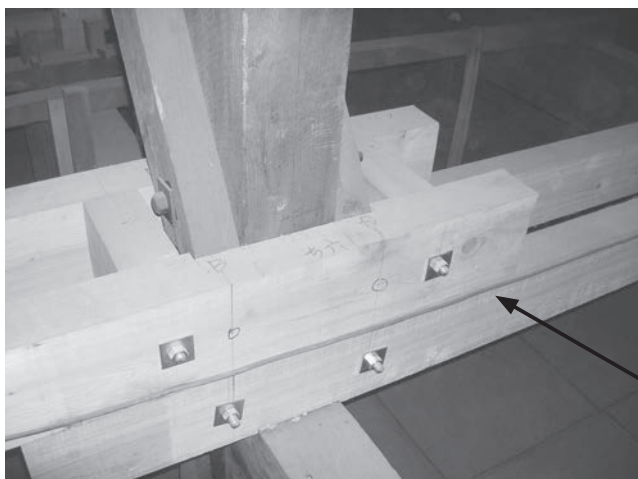
床下接合部の補強
仕ロダンパー取付け

仕ロダンパー



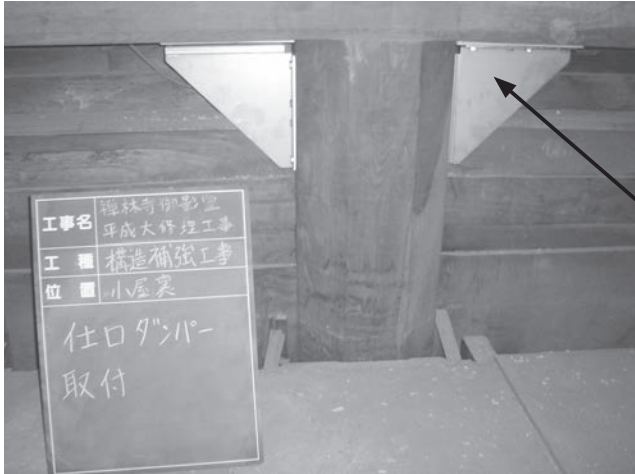
床下接合部の補強
仕ロダンパー取付け

仕ロダンパー



小屋組の補強
つなぎ材取付け

補強つなぎ材



小屋組の補強

仕口ダンパー取付け

仕口ダンパー



柱脚部の補強

補強バンド（ステンレス製）

取付け



柱脚部の補強

補強バンド（ステンレス製）

取付け

計算假定 1 ・柱及び横架材の接合は、回転剛性を考慮する。

参考資料 木構造と木造文化の再構築（日本建築学会近畿支部）によって、検討する。

4.1 通し桁接合部の回転剛性と降伏モーメントの検討

桁の回転剛性

・柱と桁断面（12×22cm）の場合

$$K_R = x_p^2 \cdot y_p \cdot E_{\perp} \cdot \{x_p/Z_o \cdot (C_{xm} - 1/3) + 0.5C_{xm}\} \quad (\text{kg} \cdot \text{cm}/\text{rad})$$

$$x_p = \text{柱幅} \times 0.5$$

$$\text{柱幅 } 42.5 \quad 21.2 \text{ cm}$$

$$\text{柱幅 } 37.2 \quad 18.6 \text{ cm}$$

$$\text{柱幅 } 18.0 \quad 9.0 \text{ cm}$$

$$y_p = \text{貫幅} \quad 6.0 \text{ cm}$$

$$E_{\perp} = 110,000/50 \quad 2,200$$

$$C_{xm} = 1 + 4Z_o/3x_p$$

$$Z_o = \text{貫成} \quad 18.0 \text{ cm}$$

$$C_{xm} = \text{柱幅 } 42.5 \quad 2.13$$

$$\text{柱幅 } 37.2 \quad 2.29$$

$$\text{柱幅 } 18.0 \quad 3.67$$

$$C_{xm} = 1 + 4Z_o/3\eta y_p$$

$$\eta = \quad 7.0 \text{ 置換係数}$$

$$C_{ym} = \quad 1.57$$

$$F_m = 2.4 \times \text{長期許容めり込み応力度} \quad 72.0 \text{ kg}/\text{cm}^2$$

端部貫	$K_R =$	柱幅 42.5	12,553,838	採用値	12,553,000	(kg · cm/rad)
		柱幅 37.2	9,233,303		9,233,000	(kg · cm/rad)
		柱幅 18.0	1,783,782		1,783,000	(kg · cm/rad)
貫通貫	$K_R =$	柱幅 42.5	18,872,066	採用値	18,872,000	(kg · cm/rad)
		柱幅 37.2	6,365,628		6,365,000	(kg · cm/rad)
		柱幅 18.0	3,745,764		3,745,000	(kg · cm/rad)

貫の降伏モーメント

$M_y = K_R \cdot Z_o \cdot F_m / (x_p \cdot E_{\perp} \cdot \sqrt{C_{ym}})$					
端部貫	My =	柱幅 42.5	278,384	採用値	278,000 (kg・cm)
		柱幅 37.2	233,379		233,000 (kg・cm)
		柱幅 18.0	93,141		93,000 (kg・cm)
貫通貫	My =	柱幅 42.5	418,518	採用値	418,000 (kg・cm)
		柱幅 37.2	160,886		160,000 (kg・cm)
		柱幅 18.0	195,633		195,000 (kg・cm)

算定一覧

	柱断面	貫位置	貫断面	回転剛性(kg・cm/rad)	降伏モーメント(kg・cm)
●	480φ	端部貫	12×22.5	12,553,000	278,000
		貫通貫		18,872,000	418,000
●	420φ	端部貫		9,233,000	233,000
		貫通貫		6,365,000	160,000
●	180×180	端部貫		1,783,000	93,000
		貫通貫		3,745,000	195,000

・柱と桁断面（19×30cm）の場合

$$K_R = x_p^2 \cdot y_p \cdot E_{\perp} \cdot \{x_p/Z_o \cdot (C_{xm} - 1/3) + 0.5C_{xm}\} \quad (\text{kg} \cdot \text{cm}/\text{rad})$$

$$x_p = \text{柱幅} \times 0.5$$

$$\text{柱幅 } 42.5 \quad 21.2 \text{ cm}$$

$$\text{柱幅 } 37.2 \quad 18.6 \text{ cm}$$

$$\text{柱幅 } 18.0 \quad 9.0 \text{ cm}$$

$$y_p = \text{貫幅} \quad 6.0 \text{ cm}$$

$$E_{\perp} = 110,000/50 \quad 2,200$$

$$C_{xm} = 1 + 4Z_o/3x_p$$

$$Z_o = \text{貫成} \quad 21.0 \text{ cm}$$

$$C_{xm} = \text{柱幅 } 42.5 \quad 2.32$$

$$\text{柱幅 } 37.2 \quad 2.51$$

$$\text{柱幅 } 18.0 \quad 4.11$$

$$C_{xm} = 1 + 4Z_o/3\eta y_p$$

$$\eta = \quad 7.0 \text{ 置換係数}$$

$$C_{ym} = \quad 1.67$$

$$F_m = 2.4 \times \text{長期許容めり込み応力度} \quad 72.0 \text{ kg}/\text{cm}^2$$

端部貫	$K_R =$	柱幅 18.0	11,898,363	採用値	11,898,000	(kg · cm/rad)
		柱幅 15.0	8,804,109		8,804,000	(kg · cm/rad)
		柱幅 12.0	1,730,577		1,730,000	(kg · cm/rad)

貫通貫	$K_R =$	柱幅 18.0	18,780,189	採用値	18,780,000	(kg · cm/rad)
		柱幅 15.0	6,919,255		6,919,000	(kg · cm/rad)
		柱幅 12.0	3,927,783		3,927,000	(kg · cm/rad)

貫の降伏モーメント

$$M_y = K_R \cdot Z_o \cdot F_m / (x_p \cdot E \perp \cdot \sqrt{Cym})$$

端部貫	My =	柱幅 18.0	298,476	採用値	298,000	(kg・cm)
		柱幅 15.0	251,732		251,000	(kg・cm)
		柱幅 12.0	102,229		102,000	(kg・cm)
貫通貫	My =	柱幅 18.0	471,119	採用値	471,000	(kg・cm)
		柱幅 15.0	197,834		197,000	(kg・cm)
		柱幅 12.0	232,054		232,000	(kg・cm)

算定一覧

	柱断面	貫位置	貫断面	回転剛性(kg・cm/rad)	降伏モーメント(kg・cm)
●	480Φ	端部貫	19.5×30	11,898,000	298,000
		貫通貫		18,780,000	471,000
●	420Φ	端部貫		8,804,000	251,000
		貫通貫		6,919,000	197,000
	180×180	端部貫		1,730,000	102,000
		貫通貫		3,927,000	232,000

* 円柱を四角柱に換算4する

径	断面積	換算(cm)
480Φ	1,808	42.5
420Φ	1,384	37.2

4.2 通し貫接合部の回転剛性と降伏モーメントの検討

貫の回転剛性

・桁 (12×12cm・12×24cm) と束断面 (12×12cm) の場合

$$K_R = x_p^2 \cdot y_p \cdot E_{\perp} \cdot \{x_p/Z_o \cdot (C_{xm} - 1/3) + 0.5C_{xm}\} \quad (\text{kg} \cdot \text{cm}/\text{rad})$$

$$x_p = \text{桁幅} \times 0.5$$

$$\text{桁幅 } 12.0 \quad 21.2 \text{ cm}$$

$$\text{桁幅 } 12.0 \quad 18.6 \text{ cm}$$

$$y_p = \text{束 (ほぞ) 幅} \quad 3.0 \text{ cm}$$

$$E_{\perp} = 110,000/50 \quad 2,200$$

$$C_{xm} = 1 + 4Z_o/3x_p$$

$$Z_o = \text{貫成} \quad 9.0 \text{ cm}$$

$$C_{xm} = \text{桁幅 } 12.0 \quad 1.57$$

$$\text{桁幅 } 12.0 \quad 1.65$$

$$C_{xm} = 1 + 4Z_o/3\eta y_p$$

$$\eta = \quad 7.0 \text{ 置換係数}$$

$$C_{ym} = \quad 1.57$$

$$F_m = 2.4 \times \text{長期許容めり込み応力度} \quad 72.0 \text{ kg}/\text{cm}^2$$

端部貫	$K_R =$	桁幅 12.0	8,640,953	採用値	8,640,000	(kg・cm/rad)
		桁幅 12.0	6,213,211		6,213,000	(kg・cm/rad)
貫通貫	$K_R =$	桁幅 12.0	10,969,502	採用値	10,969,000	(kg・cm/rad)
		桁幅 12.0	2,434,924		2,434,000	(kg・cm/rad)

貫の降伏モーメント

$$M_y = K_R \cdot Z_o \cdot F_m / (x_p \cdot E_{\perp} \cdot \sqrt{C_{ym}})$$

端部貫	$M_y =$	桁幅 12.0	95,803	採用値	95,000	(kg・cm)
		桁幅 12.0	78,522		78,000	(kg・cm)
貫通貫	$M_y =$	桁幅 12.0	121,628	採用値	121,000	(kg・cm)
		桁幅 12.0	30,762		30,000	(kg・cm)

算定一覧

	桁断面	貫位置	束断面	回転剛性(kg・cm/rad)	降伏モーメント(kg・cm)
●	12×12	端部貫	12×12	8,640,000	95,000
		貫通貫		10,969,000	121,000
●	12×24	端部貫		6,213,000	78,000
		貫通貫		2,434,000	30,000

4.3 通し桁接合部の回転剛性と降伏モーメントの検討

貫の回転剛性

・ 柱 (18×18cm) と桁断面 (7.5×18cm) の場合

$$K_R = x_p^2 \cdot y_p \cdot E_{\perp} \cdot \{x_p/Z_o \cdot (C_{xm} - 1/3) + 0.5C_{xm}\} \quad (\text{kg} \cdot \text{cm}/\text{rad})$$

$$x_p = \text{柱幅} \times 0.5$$

$$\text{柱幅} \quad 18.0 \quad 9.0 \text{ cm}$$

$$y_p = \text{桁幅} \quad 6.0 \text{ cm}$$

$$E_{\perp} = 110,000/50 \quad 2,200$$

$$C_{xm} = 1 + 4Z_o/3x_p$$

$$Z_o = \text{桁成} \quad 12.0 \text{ cm}$$

$$C_{xm} = \text{桁幅} \quad 12.0 \quad 2.78$$

$$C_{xm} = 1 + 4Z_o/3\eta y_p$$

$$\eta = \quad 7.0 \text{ 置換係数}$$

$$C_{ym} = \quad 1.38$$

$$F_m = 2.4 \times \text{長期許容めり込み応力度} \quad 72.0 \text{ kg}/\text{cm}^2$$

端部貫	$K_R =$	桁幅	7.5	1,961,982	採用値	1,961,000	(kg・cm/rad)
貫通貫	$K_R =$	桁幅	7.5	3,448,170	採用値	3,448,000	(kg・cm/rad)

貫の降伏モーメント

$$M_y = K_R \cdot Z_o \cdot F_m / (x_p \cdot E_{\perp} \cdot \sqrt{C_{ym}})$$

端部貫	$M_y =$	桁幅	12.0	72,843	採用値	72,000	(kg・cm)
貫通貫	$M_y =$	桁幅	12.0	128,079	採用値	128,000	(kg・cm)

算定一覧

	柱断面	貫位置	束断面	回転剛性(kg・cm/rad)	降伏モーメント(kg・cm)
	18×18	端部貫	7.5×18.5	1,961,000	72,000
		貫通貫		3,448,000	128,000
		端部貫			
		貫通貫			