

0-5 札幌市のカトリック北一条教会耐震補強計画

(北大院農) ○富高亮介 (北大農) 片山知美 (北大院農) 平井卓郎, 澤田圭

1. 概要

カトリック北一条教会（札幌市中央区北一条東 6 丁目）（木造一部石造）の耐震補強計画を検討した。

張間方向の軸組一連あたりの地震力を基に改修設計用目標せん断耐力（軸組一連あたり）を設定し、各水平方向の耐震性能を評価した。桁行方向は耐力壁方式による耐震計画が可能であると判断した。一方、張間方向においては耐力壁方式による耐震計画を考えると、何らかの空間変更が必要となり、歴史的・意匠的価値を損なう恐れがある。これより、小屋裏部分のみで施工可能な、柱-横架材接合部の補強、及び内部柱と横架材とをつなぐ鋼製方杖部材のとりつけによる補強を施すこととした。

2. 基本方針

カトリック北一条教会は 1916 年（大正 5 年）建造の木造建築で、2008 年（平成 20 年）に札幌景観資産（旧都市景観重要建築物）にも指定された、札幌で最も古い教会のひとつである（図-1）。

この建物は布基礎が無いことなど、いくつかの点で現行建築法規の想定する標準的な仕様から外れている¹⁾。このため、基礎に緊結された耐力壁配置を基本とする、一般木造の標準的な考え方で耐震性能を確保しようとする、屋内空間の機能や内外装意匠の大幅な変更が必要になる（図-2）。そのような耐震改修は、上記のような歴史的・意匠的価値、この



図-1 カトリック北一条教会聖堂



図-2 聖堂内部

表 1 軸組一連あたりの必要せん断耐力

	単位荷重 N/m ²	負担面積 m ²	負担荷重 kN	せん断 力係数	必要せん断耐力 (荷重計算) kN	必要せん断耐力 (壁量計算) kN	改修用目標 せん断耐力 kN
外壁	300	13.25	3.98				
内部柱等 ^{注1)}	210	48.30	10.14				
屋根	600	48.30	28.98				
積雪(中央部)	576	25.66	14.79				
積雪(周辺部)	1152	22.63	26.09				
積雪無			43.09	0.2	8.62	10.41	10.41
積雪有			83.97	0.2	16.79	21.77	21.77

注 1) 内部柱等は柱材、天井材等の概算値。

注 2) 壁量計算による必要壁長は積雪無 11cm/m²、積雪有 23cm/m²。

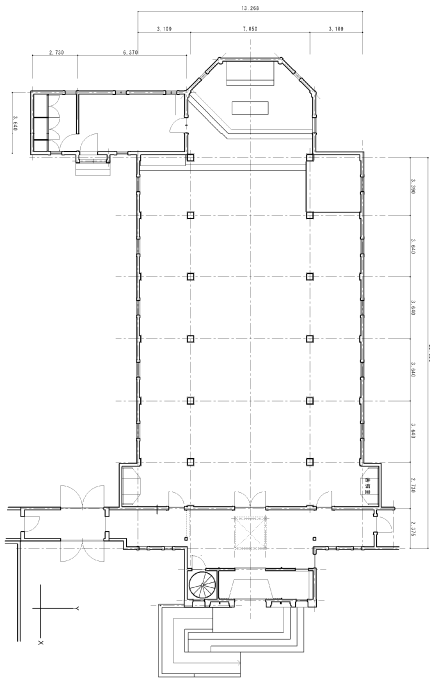


図-1 聖堂平面図

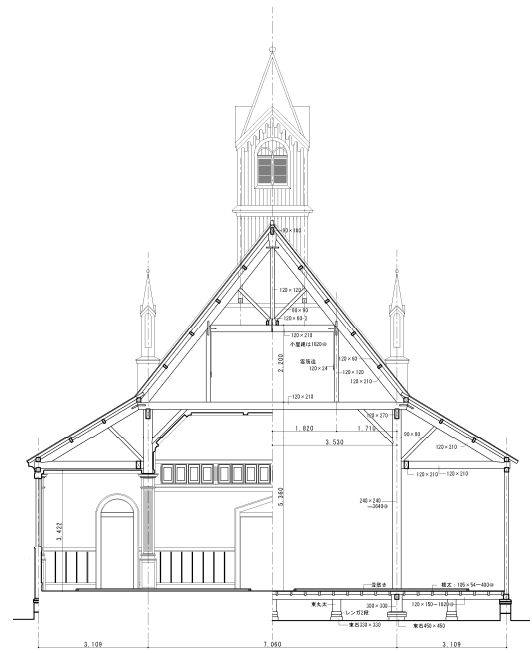


図-2 聖堂断面図

建物に親しんできた関係者の心情、改修に要する所要経費などから総合的に判断すると、必ずしも現実的ではないと判断した。そこで、今回の耐震改修では、現行法規に従って建築された木造建築と同等の耐震性能確保を必須要件とはせず、内部空間や内外装に影響を与えない範囲で可能な耐震補強案を考えることにした。したがって、この耐震改修は現行建築法規の想定する耐震性能を満たすものではなく、あくまでも大地震時の倒壊危険性を低減することを目標としたものである。

3. 地震力の想定

当該建物は図-2 に示されるように耐力壁線区画（張間方向約 13m、桁行方向約 20m、面積約 270m²）が木造としてはかなり広く、かつ天井部分に剛性の高い水平構面が存在しない。このため、仮に建物全体としては必要な耐震要素が配置されていても、実際にはその耐震要素まで地震力が有効に伝わらない可能性が高い²⁾。そこで、建物を全体的に捉える一般的な基本仮定ではなく、張間方向の軸組一連あたりの地震力と耐震補強案を考えることにした。この考えに従い、軸組一連あたりの荷重概算値³⁾及び壁量計算規定に基づく必要せん断耐力⁴⁾を計算した結果を表 1 に示す。

計算上の必要耐力は積雪の有無により大きく異なっているが、今回対象としている教会においては、実際には自然落雪や雪下ろしにより、屋根上に留まっている積雪は僅かであると聞き及んでいる。この実態を考慮した結果、積雪荷重は無視し、改修設計

用の目標せん断耐力（軸組 1 連あたり）を 10.41kN（荷重計算による数値と壁量計算による数値の大きい方）とした。ただし、この設定は自然落雪と雪下ろしを前提としている。

4. 耐震改修計画

4.1. 桁行方向の計画

当該建物は桁行方向には長い外壁があり、耐力壁方式による耐震計画が可能である（図-2）。この部分を両面木ずり壁（片面 0.98kN/m、両面 1.96kN/m）と仮定して概算すると軸組一連あたりのせん断耐力が 9.41kN となり、現状でも目標せん断耐力 10.41kN の 90%程度は満たしているとみなせる。外壁の下には一体化された布基礎が無いと脚部の固定が困難であり、これ以上の外壁部分の強化による耐震性能の向上は期待しにくい。以上より、柱脚・柱頭部、筋かい端部の接合補強と、外壁下見板（新規部材）の接合仕様の指定のみを行うことにした。

4.2. 張間方向の計画

一方、張間方向には壁面がわずかしがなく、また壁線間隔が極めて長い（図-3）。このため、聖堂内部に面材耐力壁や筋かい軸組を取り付けるなど、何らかの空間変更を行わない限り、耐力壁方式による耐震計画は成り立たない。しかし、聖堂としての使用性や内装・空間の意匠価値への影響を考えると、このような改修は行いにくい。そこで、聖堂内部の改修は避け、人目に触れない小屋裏部分のみで施工可能な柱・横架材接合部の補強と、内部柱と横架材とをつなぐ鋼製方杖部材の取り付けによる補強を施し、

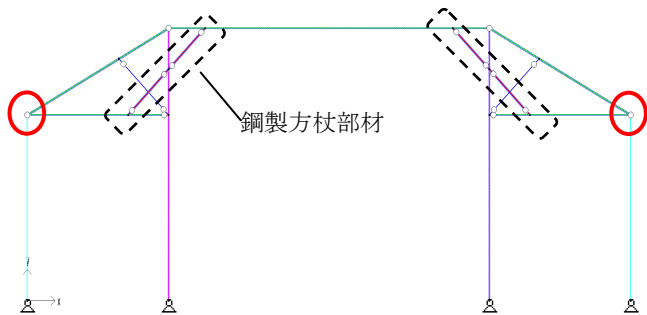


図-5 軸組の基本構造モデル
(外壁柱頭部で圧縮力、引き抜き力ともに伝達可能)



図-6 小屋裏から見た鋼製方杖部材
(図-5の破線で囲まれた部材)

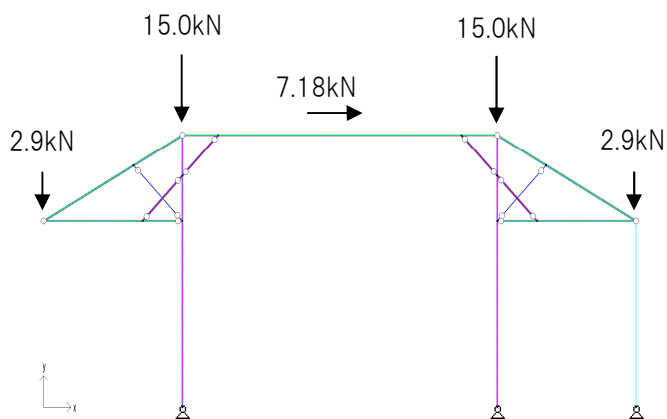


図-7 軸組の基本構造モデル
(外壁柱頭部で圧縮力のみ伝達可能)

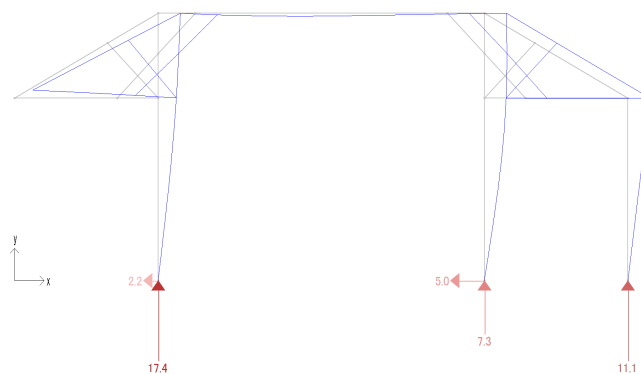


図-8 変位図

地震時の倒壊危険性を低減することにした。対象としている軸組の構造モデルを図-4に示す。ただし、接合部は全てピン接合と仮定し、補強材として図-5に示すような鋼製アングルの方杖材を取り付けてある。

外壁柱頭部(図-4内○囲み部分)は小屋裏の空間が狭く、接合補強が困難であるため、地震力が大きくなるとこの部分の柱に引き抜き力が伝達されず、図-4の構造モデルとは適合しない。そこでこれを考慮し、外壁柱は圧縮力のみを伝達し、引き抜き力に対しては抵抗できないと仮定すると、軸組を図-6のように再モデル化することができる。

図-6の内部柱柱頭部と負担幅3.64mの範囲にある外壁柱頭部に加わる鉛直荷重を概算し、この鉛直荷重が加わった状態で、梁に加わる水平力を変えながら、汎用FEMフレーム解析ソフト「Multiframe 3D」(開発元: Formation Design Systems, 日本語版: フォーラムエイト)を用いて試行錯誤計算を行った。

現行の許容応力度設計レベルにおける木造建築(在来構法)の許容層間変形角は $1/120\text{rad}$ であるが、図-3の軸組は耐力壁構造に比べて水平剛性が低く、この変形角を確保することは難しい。また、聖堂内部では一般住宅などに比べ、家具転倒などの危険性が少ないこと、倒壊防止を主目的とした耐震改修であることを考慮し、許容変形角を $1/60\text{rad}$ と設定した⁵⁾。

接合部をピンと仮定して変形角 $1/60\text{rad}$ に対する水平力を計算すると、目標せん断耐力の69%(7.18kN: 図-6参照)に相当するという結果が得られた。ただし、この計算ではピン接合を仮定しているが、木造軸組では実際には接合部変位が生じるため、軸組み全体の水平変位が増大する。この変位増大を正確に計算するには、個々の接合仕様に対する荷重-すべり曲線を実験的に把握する必要がある。そのため、ここでは経験的概算値として、実際の水平変位を図-7の変位図に見られる数値の2倍と見積も

り、この概算値が 1/60rad.となるときの水平力を採用した。この軸組は脚部が布基礎に固定されていないこと、外壁柱頭部と上部小屋組とが引き抜き力に対して有効に接合されていないことなどから、空間の限られた小屋裏部分での耐震補強はこれが限界であると考えられる。

以上により、現状の内外装を変更しない範囲でも、桁行方向には目標せん断耐力の 90%程度、張間方向には目標せん断耐力の 69%程度の耐力確保が可能であるという結果となった。

4.3. 接合部・水平構面補強計画

上記の性能を担保するための各部補強を行うことにした。接合部補強に際しては、使用接合耐力を次のように定めた。

- (1) 市販接合金物を使用する接合部については、その短期許容耐力を基準とした。
- (2) 鋼製方杖部材の接合部耐力については既存の設計資料が無いため、使用する接合具（東日本パワーファスニング製パネリド P6×110 II⁺）と密度の低いスギ材を用いた実験を行い、安全を見込んだ接合具 1 本あたりの短期許容耐力を 1.93kN とした。

汎用 FEM フレーム解析ソフト「Multiframe 3D」を用いて求めた軸力から得られた各接合部の必要耐力より、上記の性能を確保するための耐震補強仕様を決定した。

この耐震改修では軸組一連を単位として必要耐力の計算を行っているため、建物全体で水平耐力を考える場合と比べると、水平構面剛性の重要性は相対的には低い⁶⁾。しかし、実際に水平力が加わったときの軸組の面外曲げや横倒れに対する抵抗は、このままでは不十分であると考えられるため、鋼製ブレースを用いて図-8 のように水平構面補強を行った。

文献

- 1) 平成 12 年建設省告示第 1347 号
- 2) (財) 日本建築防災協会編：” 木造住宅の耐震

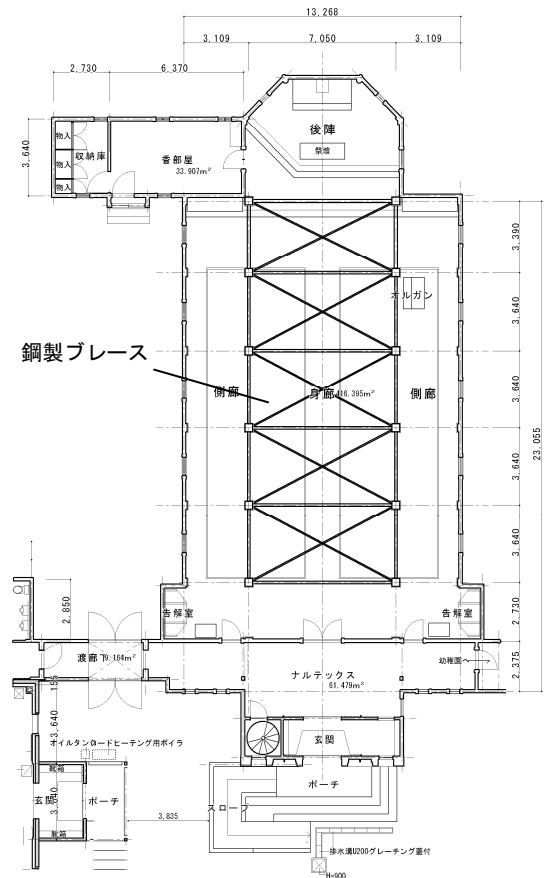


図-9 水平構面の補強

診断と補強方法 木造住宅の耐震精密診断と補強方法（改訂版）”，日本建築防災協会，東京，p124，2005.

- 3) 建築基準法施行令第 84 条
- 4) 建築基準法施行令第 46 条
- 5) 日本建築学会編：” 木質系耐力壁形式構造に関する Q&A”，日本建築学会，東京，p4-5，2011.
- 6) 平井卓郎，宮澤健二，小松幸平：” 木質構造[第 3 版]”，東洋書店，東京，p194-215，2009.