

歴史的建造物の耐震診断と耐震補強の動向

一煉瓦造および鉄筋コンクリート造の事例一

EHS&S 研究センター研究理事
EHS&S 研究センター上級研究員 兼 構造コンサルティング部長
構造コンサルティング部係長

赤木 久真
中野 時衛
守屋 慎一郎

Keyword：歴史的建造物，耐震診断・補強，煉瓦造，鉄筋コンクリート造，登録有形文化財，オーセンティシティ，京都旧技術史料館，浴風園本館

1. はじめに

1960年以前に建設され50年以上経過した建物は、文化財の対象となる歴史的建造物である。登録有形文化財制度の普及に伴い、歴史的建造物は都市再開発の重要な核になるとともに、一方で構造的な耐震診断と耐震補強を含む保存・活用が重要な課題となっている。

ここでは煉瓦造および鉄筋コンクリート造（RC造）の歴史的建造物の保全にかかわる耐震診断・補強を進めるに当たって考慮すべき事項、診断・補強の現状などを述べるとともに、我々がかかわった煉瓦造とRC造の2つの歴史的建造物の診断・補強事例について言及する。

2. 歴史的建造物の耐震診断・補強に当たって考慮すべき事項¹⁾

2.1 構造的な保全の基本手順

(1) 歴史資産の運用と保全が進んでいる欧米では、補強などの構造対策はオーセンティシティ（Authenticity）^{注)}を損なう可能性が高いと考えられるためか、Structural Intervention（構造的な干渉）として、かなり消極的な評価しか与えられていない。このため、構造技術者は必要最小限の対応（Minimum Intervention）という理念・判断基準を守ることが原則となっている。

(2) 歴史的建造物に対して、構造技術者は特に耐震対策面で、歴史的な価値を損なわず、かつ時代の要請に合致した構造技術上の対応が求められる事例が増えている。

(3) 歴史的建造物では、以下に示す条件を考慮しつつ、現実には個別に調査・分析するとともに、材料・構造実験を行いながら構造強度の評価を行わざるを得ない。このことは、将来とも変わらないであろう。

- 構造材料に自然材が多く、経年劣化の評価が必要
- 構造部材として木材や石材の他に土や石灰が使用されるが、これらの性能は素材や仕様によって大きく変化する
- 建物のある地方や時代によって技法が多様に変化する点で個性が強いが、これらについての研究事例の蓄積が少ない

2.2 構造的な保全対策のレベル（図1）

1) 安定化（Stabilization）

傷みの進行を止めること。たとえば、雨漏りなどで現状以上に木材の腐朽が進行しないようにすること。

2) 固定化（Consolidation）

突発的な事態に対しても、被害を生じないように構造の一体化をやや強めること。振動などで部材が外れたり、風で飛散しないように部材の留め付けを強化すること。

3) 復元（Restoration）

欠失している部位を当初の姿に戻すなどして構造強度を当初建物と同等のレベルまで回復すること。ただし復元の根拠が曖昧な場合には、一種の贋物造りともなるので、Authenticityを損なう可能性がある。この点で復元は消極的な評価となる場合もある。

4) 補強（Reinforcement）

当初建物の強度よりも構造を強化すること。当初よりも強くするという意味では、すでに建物のオリジナルな状態－AuthenticityをViolate（阻害）している。しかしながら、通常は歴史的建造物でも用途転用等に際しては法定強度の確保が要望されることや、耐震・耐風など自然災害に対して人命尊重上も、その必要性は現実には大きい。特に我国では大きな地震力を想定しなければならないので、地震の少ない欧州地域とは状況はやや異なるが、構造補強を気軽に考えることは慎むべきと言える。

注) オーセンティシティ（Authenticity）：「かけがえのない本物の材料、技法、意匠」の意味

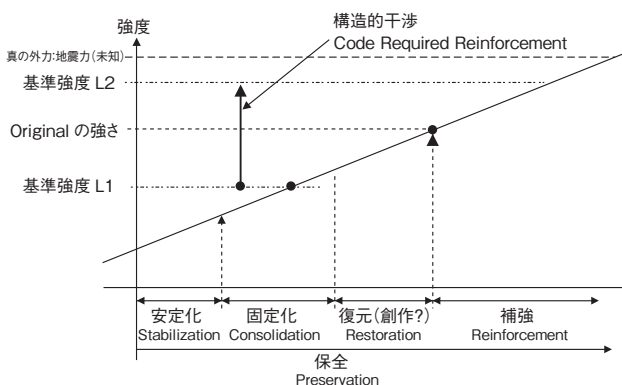


図1 Structural Intervention（構造的な干渉）¹⁾

なお、以上の4段階の構造対策から考えると、歴史的建造物でまず重要なことは、補強よりも安定化や固定化である。過去の地震においても大被害を受けた歴史的建造物の多くは、部材の腐朽劣化や木組の不完全さによる部材の脱落が引き金となった例が多く、安定化や固定化などの保全措置が適切に行われていれば、被害は大幅に軽減されただろうと言われている。

3. 歴史的建造物の耐震診断・補強の現状

日本では重要文化財、登録有形文化財は建築基準法の適用除外により、保存修理工事において耐震規定の既存適用を受けない。文化財であるかどうかにより耐震規定の扱いが異なることが補強方法の選定をより複雑にしている。

日本における煉瓦造建築物は60年間の歴史しか有しておらず、現存する建物の数も600棟以下とわずかである。耐震性能もRC造歴史的建造物よりも劣るものが多いため、診断・補強はRC造建築物に先行して行われている。

3.1 煉瓦造建物の地震被害と耐震補強

1) 地震被害

1891年（明治24年）10月28日、午前6時39分に発生した岐阜県の根尾谷を震源とするM8.4の濃尾地震では、名古屋市付近の煉瓦造の紡績工場に甚大な被害が発生した。被害の最大の原因は、煉瓦を結合する目地（石灰モルタル）の強度不足によって壁体の一体性が損なわれたことが挙げられる。目地の弱い組積造は激しい地震を受けると、図2に示すように壁体が面外に振動して、煉瓦の上に載せただけの小屋組や床組が落下し、壁が倒壊して被害を大きくする。また煉瓦壁が倒壊しない場合でも、壁面には開口部を貫くような大きな亀裂が入ることが多い。

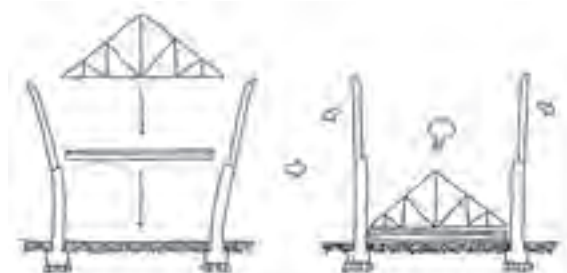


図2 煉瓦造建築の地震時の破壊の模式図¹⁾

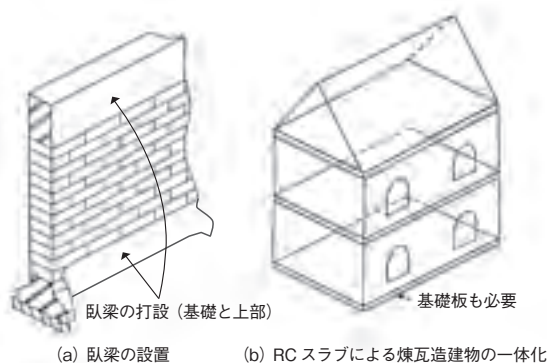


図3 煉瓦造建築の耐震化の技術¹⁾

煉瓦造建物の主要な地震被害をまとめると、以下のようになる。

- a. 壁体の破壊は上階ほど著しい
- b. 切妻壁や煙突などの突出部の破損が鞭振り（Whipping）現象で著しい
- c. 隅角部は破壊されやすい
- d. 窓・出入口等の開口部に被害が集中しやすい
- e. 煉瓦壁体では壁体面外曲げによる曲げ亀裂が支配的であり、せん断では破壊しない

煉瓦造建物の耐震化の基本的な考え方は、煉瓦造を一体式構造に近づけることであり、靱性の極めて低い煉瓦壁の変形量をできるだけ小さくするため、図3のようにRC造の臥梁を入れたり、各階の床スラブをRC造とすることおよび目地をセメントモルタルとすることで面外曲げ強度を高めて面内せん断力で決まる構造とするのが一般的になった。

1923年（大正12年）9月1日、午前11時58分に発生した神奈川県相模湾を震源とするM7.9の大正関東地震では、振動による被害よりも火災による大被害が生じた。

煉瓦造はRC造よりも純構造的な被害は実際には少なかったが、我国の煉瓦造建築が関東大震災をもって江戸時代幕末の導入期からの60年間存続の歴史を閉じた理由の一つは、煉瓦造では法的な制約が強化されて大規模な建築が不可能となり、さらにそのころから急速に発展を遂げたRC造に、構造技術の主役を譲ったということが大きな理由とされる。1920年（大正9年）に施行された市街地建築物法は、関東大地震を契機に1924年（大正13年）改正で耐震基準の規定が追加された。

2) 耐震補強

煉瓦造建物の補強には、RC造内壁補強と鉄骨構造による耐震補強があるが、従来用いられていたRC造壁による耐震補強工法の有していた種々の課題を解決しうる技術として、鉄骨耐震補強の今後の展開が期待されている。また、1995年の兵庫県南部地震以降には免震構法が採用されるようになった。

(1) RC造内壁補強

図4は1977年に実施された重要文化財同志社大学ハリス理科学館の耐震補強の詳細である。既存煉瓦壁の室内側に沿ってRC造の耐震壁を構築するとともに、木造の床を撤去してRC床版に置換している。この補強法の課題を以下に示す。

- a. 曲げ系からせん断系への構造形式の変更があること
- b. 既存の煉瓦壁体を工事中に養生する必要があること
- c. 補強架構の重量が大きいので、基礎の補強が必要となる場合が多いこと
- d. 内壁の配筋等の工数が多いこと
- e. 中性化による鉄筋の腐食損傷およびエフロレッセンス



図4 同志社大学ハリス理科学館の耐震補強の詳細¹⁾



図5 同志社大学礼拝堂の鉄骨補強の概要¹⁾

による煉瓦壁体の急速な劣化があること

(2) 鉄骨構造による耐震補強

曲げ系としての破壊性状を控え柱（Buttress）と鋼板パネルにより線的に補強する。

図5に同志社大学礼拝堂の鉄骨補強の概要を示す。この補強法の特徴を以下に示す。

- 補強架構の重量が小さいため、大掛かりな基礎の補強は不要であること
- 乾式工法のため施工期間が短いこと
- 鉄骨部材は容易に取り外しが可能なため、将来の学術調査や機能の改変に対して柔軟に対処できること
- コンクリートの中性化やエフロレッセンスによる損傷の可能性がなく、保存工学的な信頼性が高いこと

(3) 免震構法

1995年の兵庫県南部地震以降に採用されている。煉瓦造に限らず、RC造、木造の歴史的建造物への適用が増加している。地震入力低減により上部構造物を保存する上で非常に有効であり、文化財保存に適した構法と言える。ただし、補強に要する工期・コストは増大し、基礎構造形式の原型（Original）が全く失われる。

3.2 RC造建物の地震被害と耐震補強の保存方針・補強レベル

RC造建物の地震被害は、1924年（大正13年）の水平震度K=0.1が採用された市街地建築物法改正から1981年（昭和56年）の新耐震設計法適用までほとんど同じ被害形態で、耐震壁・短柱のせん断破壊、捩れ破壊に伴うものである。

煉瓦造建物に比べて歴史的価値を活かしながら耐震補強を実施したRC造建物の事例は少ない。中性化の問題があるRC造躯体を保存対象とすべきか否かについても明確になっていない。もっと大きな問題は、外装、内装の仕上げ材はRC造躯体と一体になっており、補強の阻

害原因となっている。

煉瓦造に比較して大規模建物が多いRC造建造物は全体を保存することが難しいケースもあり、仕上げ材の取り扱いも絡み、表1のように部分保存、ファサード・内装保存などの5つの区分に保存方針が整理される。また、耐震補強のレベルも表1の保存方針の区分に種々な条件を考慮した表2の補強レベルをあてているのが現状である。

4章で示す我々が手がけた歴史的建造物の診断・補強事例は、保存方針が全体の保存（a）で現行耐震レベルの補強を行った事例である。

補強工法も一般的な増設耐震壁、鋼板巻き柱補強などの補強工法とともに、1995年以降は免震構法による補強が増えている。

表1 保存方針²⁾

保存方針の区分				
a	b	c	d	e
全体の保存	主要部分の保存	部分保存	ファサード・内装保存	新築復元
現状建物全体を保存する	現状建物の概ね半分程度を保存する	建物の一部を保存する	仕上の部分を保存、構造躯体は保存しない	躯体、仕上とも新しいもの

表2 補強レベル²⁾

耐震補強のレベル				
A	B	C	D	E
免震レトロフィット	現行耐震レベル	現状に付加した補強	現状レベルのまま	新築復元による現行耐震レベル
建物全体または一部を免震構造とする	耐震壁等を付加し、現行耐震レベルまで補強したもの。免震工法を除く	耐震壁等を付加しているが、現行耐震レベルに達していないもの	仕上の改修のみが行われたもの	建物は新築であり、現行耐震規定が適用されたもの

4. 歴史的建造物の耐震診断・補強事例

4.1 煉瓦造帳壁の京都旧技術史料館の耐震診断・補強³⁾

1) 建物概要と保存経緯

この建物は、1924年（大正13年）に営業を開始した京都中央電話局新上分局の庁舎として、通信省技師吉田鉄郎の設計、清水組の施工により、大正12年に建築されたRC構造3階建、煉瓦造帳壁を有する歴史的建造物である。1984年（昭和59年）6月に京都市の登録有形文化財の指定を受けている（写真1）。

新上分局は1959年（昭和34年）に廃局されたが、この後も建物は他の用途に活用され、1982年度（昭和57年度）には構造補強が行われている。本建物の歴史的価値を考慮し、CSRの観点から保存に努めるため、さらに将来にわたって利活用を図るため、再度建物性能を把握する必要があることから、2011年度（平成23年度）に耐震診断・補強を検討した。

本建物は、煉瓦造とRC造の混合構造であり、昭和57年当時は煉瓦造帳壁の耐力を無視した診断を行っていたが、煉瓦造目地の仕様によっては、煉瓦造帳壁の耐力を



写真1 京都旧技術史料館の東側外観
(旧京都中央電話局新上分局)

見込んだ建物耐力を評価できることがわかってきたため、再度、診断・補強を計画したものである。

2) 昭和57年度の構造補強概要⁴⁾

本建物は、市街地建築物法に耐震規定が制定される以前の設計であるが、耐震診断の第3次診断を実施し、 $E_o \geq 0.5$ となるように、RC造耐震壁の増設を主体とした既存躯体と一体化する計画としている。なお、増設耐震壁を外周に設ける場合には、外観の変更がないように、煉瓦造帳壁の内側に増設壁を設け、その周囲に柱・梁を増設している(図6)。また、剛床の成立しない部分については、梁ブレースで小屋組トラスの水平構面を補強している。診断においては、煉瓦造帳壁はRC部材との変形能力の差を考慮して無視している。また、診断に用いた既存RC部材のコンクリート強度は $F_c=15\text{N/mm}^2$ 、鉄筋の強度は $\sigma_y=235\text{N/mm}^2$ である。なお、新設の増設耐震壁のコンクリート強度は $F_c=18\text{N/mm}^2$ である。

躯体の劣化防止対策として、中性化防止剤の塗布と外

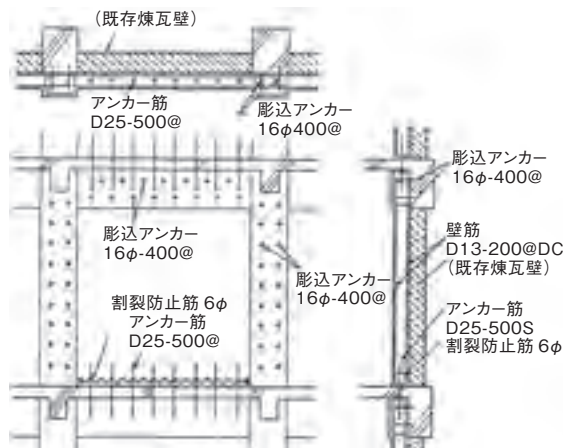


図6 増設耐震壁+煉瓦造帳壁

装タイルの樹脂注入を実施している。

3) 平成23年度の診断・補強計画

耐震診断においては、昭和57年の診断で無視していた煉瓦造帳壁の耐力も考慮して、(1)、(2)式により診断を実施している。

$$I_s = E_o \times G \times S_D \times T \dots\dots\dots (1)$$

$$E_o = (n+1)/(n+i) \times (CR_w + C_{bw} + \alpha_1 \times CRC) \times F_w \dots\dots (2)$$

ここで、 I_s : 構造耐震指標、 E_o : 保有性能基本指標、 G : 地動指標、 S_D : 形状指標、 T : 経年指標、 n : 建物階数、 i : 対象としている階の階数、 CR_w : RC壁の強度指標(アンカー耐力と壁耐力の小さい方で決定。 $\tau=1.08 \sim 1.83\text{N/mm}^2$)、 C_{bw} : 煉瓦造帳壁の強度指標($\tau=1.27\text{N/mm}^2$)、 CRC : RC柱の強度指標($\tau=0.75\text{N/mm}^2$)、 α_1 : RC柱の強度寄与係数=0.7、 F_w : RC壁の靱性指標=1.0

煉瓦造壁の目地の材料はセメントモルタルであり、目地の実験の結果³⁾により、せん断耐力は $\tau=1.27\text{N/mm}^2$ を期待できること、靱性もある程度は期待できることが判明している。

補強は、昭和57年の補強において増設した耐震壁を利用し、耐震壁に鋼板³⁾を貼ることによって、必要耐力を確保することとした。この鋼板耐震壁による補強計算は(2)式の括弧内において、 C_{sw} : 鋼板耐震壁の強度指標(SS400で $\tau=135.9\text{N/mm}^2$ 、SM490で $\tau=187.9\text{N/mm}^2$)を追加して算定している。また、この建物は振れやすい建物であるため、振れに抵抗するために建物隅角部を優先的に補強した。現状と補強後の I_s 値を表3に示す。補強位置、詳細を図7~9に示す。

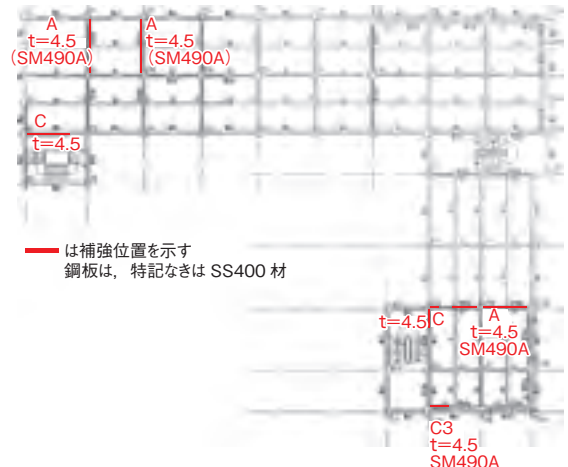
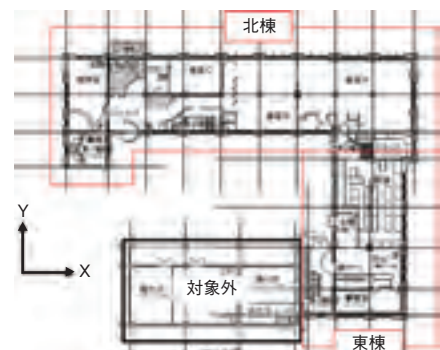


図7 鋼板耐震壁の設置箇所例(1階)

表3 北棟、東棟の現状と補強後の I_s 値(1次診断結果)

		現状				補強後			
		北棟		東棟		北棟		東棟	
		I_s	判定	I_s	判定	I_s	判定	I_s	判定
3階	X方向	0.82	OK	0.73	NG	0.82	OK	0.86	OK
	Y方向	0.89	OK	1.10	OK	1.06	OK	1.10	OK
2階	X方向	1.12	OK	0.57	NG	1.12	OK	0.82	OK
	Y方向	0.88	OK	0.84	OK	0.96	OK	0.84	OK
1階	X方向	0.78	NG	0.57	NG	0.83	OK	0.82	OK
	Y方向	0.66	NG	0.82	OK	0.84	OK	0.85	OK

構造耐震判定指標 $I_{so}=0.80$



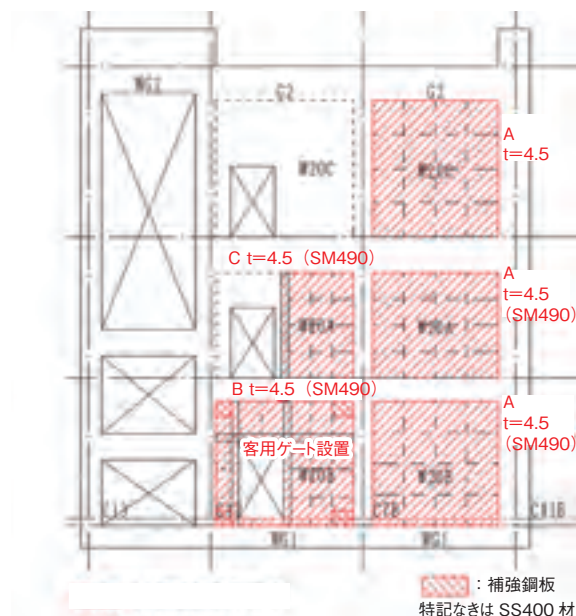


図8 鋼板耐震壁の設置箇所の例 (Y3通り)



図9 鋼板耐震壁の取付詳細図 (1階, Y1通り, X1-X2間)

4) 材料試験結果

(1) コンクリート圧縮強度

補正後強さの平均値は 18.0N/mm^2 であり、ばらつきが大きい。最大値 31.3N/mm^2 を除くと、平均は 15.4N/mm^2 となる。

(2) 鉄筋引張強度

降伏点は現在の JIS 規格の SR235 の規定を満足している。引張強さは一部現在の JIS に欠けるが、標点外破断を除いた試験片の降伏比は、ほとんど 0.8 程度以下である。

(3) 煉瓦の圧縮強度・吸水率試験

強度の平均は 16.4N/mm^2 であり、吸水率の平均は 12.8% であった。日本標準規格 JES「普通煉瓦」(1925 年規定) と比較すれば、上焼: 150kgf/cm^2 (14.7N/mm^2) 以上 吸水率 14% 以下、並焼: 100kgf/cm^2 (9.8N/mm^2) 以上 吸水率 18% 以下より、上焼き程度と考えられる。

(4) 目地のせん断強度

煉瓦壁のせん断耐力は、煉瓦目地の品質、煉瓦と目地の接着性能による目地のせん断強度に依存することから、目地のせん断試験を実施した。1, 2 階は 2 カ所ずつ、3 階は 1 カ所計 5 カ所である。図 10 のように、煉瓦単体の左右の煉瓦を欠きとり、試験体の片方より左右両方向に载荷し、片方に変位計を設置して計測を行った。

目地試験の主目的がせん断耐力の設定であることから、試験用ジャッキの能力限界の 8 割 (80kN 程度) として破壊まで生じさせずに加力を中断した。1 カ所以外はすべてせん断破壊を生ぜず、 1.27N/mm^2 以上のせん断耐力があることがわかった。

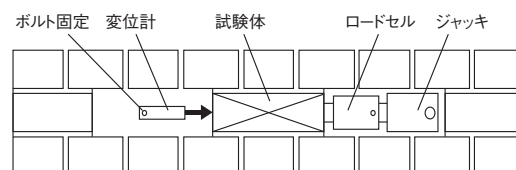


図10 目地せん断試験の概要

5) 鋼板耐震壁の実験

(1) 試験体の概要

表 4、図 11、12 に試験体の概要を示す。実験は架構の寸法が同一な 2 種類の試験体で行った。種類 A は梁・柱からの縦横のアンカーで RC 壁を支持し、種類 B は実際の建物と同様に、上下の梁からのみのアンカーとしている。実験は鋼板パネルなしの架構のみの水平载荷実験を行い、その後鋼板を取付けて実験を行った。種類 A は、RC 壁から 70mm の位置に鋼板を取設け、種類 B は鋼板を RC 壁から 24mm の位置に取設けた。鋼板と RC 壁の間に注入したグラウト材の体積を 1/3 に減らしている。

(2) 実験結果 (図 13)

- ① 鋼板パネルはアンカーとモルタル充填でコンクリート壁と一体化して十分な強度が確保でき、鋼板パネルの強度累加も確認できた。
- ② 試験体 B-2 は、試験体 B-1 で破壊した架構を補修し鋼板パネルを取付けたが、試験体 A-1 と同等以上の強度を示し、部材角 1/120 まで変位するほど変形性能が上がった。
- ③ 鋼板パネル取付け時のグラウト材の量は試験体 B-2 が試験体 A-2 の 1/3 倍でも強度は落ちなかった。よって補強の際グラウト量は 1/3 に減らせることがわかった。

表 4 試験体の概要

試験体の種類	試験体名	鋼板	
		有無	取設け方
A	A-1	なし	
	A-2	あり	壁板にアンカーおよびモルタル充填
	A-3	あり	A-2+四隅 PL 補強
B	B-1	なし	
	B-2	あり	壁板にアンカーおよびモルタル充填

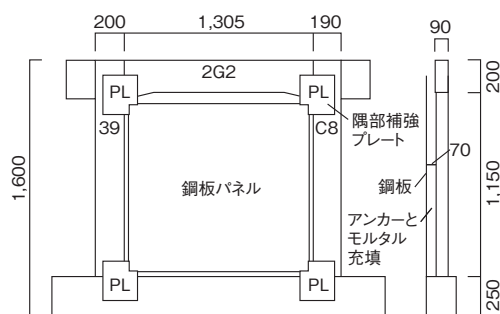


図11 種類 A：鋼板形状・鋼板取付け位置

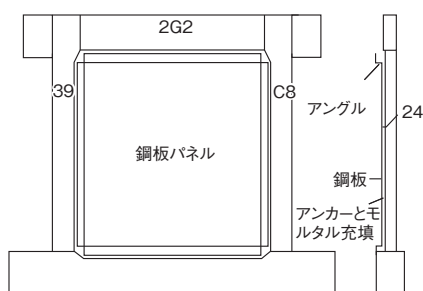


図12 種類 B：鋼板形状・鋼板取付け位置

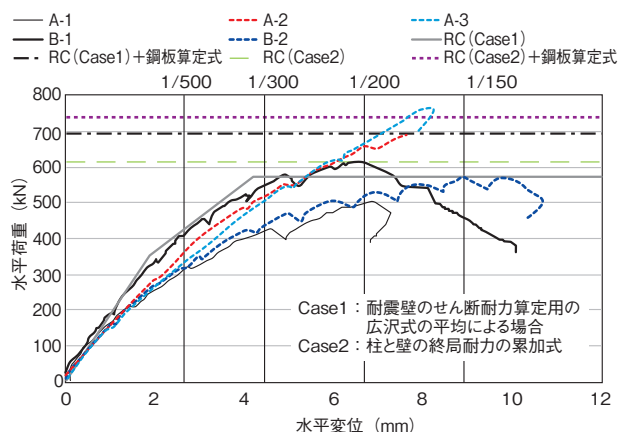


図13 実験による荷重変位関係と算定強度との比較

4.2 RC造の浴風園本館の耐震診断・補強⁵⁾

1) 建物概要と保存経緯

浴風園本館（現在：社会福祉法人浴風会 本館棟）は、関東大震災にて被災した人々を保護するために設立された病院施設であり、1925年（大正14年）に設計され、翌年竣工した。設計は内田祥三とその門下生である土岐達人である。また、2011年（平成23年）に東京都選定歴史的建造物に指定された貴重な建物である（写真2）。現在は事務室として使用されており、耐震性能を確認する



写真2 浴風園本館南面外観

ために構造体調査と耐震診断を実施した。ここでは、大正時代に設計施工された歴史的建造物の構造性能について、市街地建築物法をはじめとする設計当時の技術資料の内容と、対象建物の構造体調査結果および耐震診断結果について述べる。

所在地：東京都杉並区
用途：事務室（元設計：病室・事務室）
設計年：大正14年（1925年）
竣工年：大正15年（1926年）
延床面積：1,708m²
階数：地上3階、地下1階、PH3階
構造種別：鉄筋コンクリート造
構造形式：耐震壁付ラーメン構造
基礎形式：直接基礎
設計：内田祥三・土岐達人
施工：大林組・中村工務所（中村興資平）

なお、本建物は1995年にエレベータ設置、2005年に外壁が一部補修されている。竣工後の大きな被災歴はない。また、建物に顕著な不同沈下は認められなかった。外観調査、ひび割れ調査を実施したが、外壁はタイル張りでも補修済みであること、内壁も補修と塗装直しが行われていることから、明確なひび割れ、鉄筋錆、錆汁などは検出できなかった。一部の底下に鉄筋の露出が見られた程度であった。

2) コンクリートおよび鉄筋の強度

(1) コンクリート強度

全データの平均値は29.9N/mm²であり、地上部分については30.7 N/mm²であった。標準偏差は1.9～8.1 N/mm²とばらつきはあるが、強度は十分な値を示していると言える。

(2) 鉄筋強度

設計当時の市街地建築物法の鉄筋の規格は満足している。現在のJISと比較して引張強度がやや規格値に欠けるものの、降伏点・伸びについてはSR235相当である。

3) 中性化試験結果と中性化曲線

(1) 中性化試験結果

中性化試験の実施位置は、コンクリート圧縮強度試験と同じ位置である。1階の倉庫で最大61mmであるが、全体に30～40mm程度である。全体の平均値は32.5mm、地上階の平均値は34.5mmであった。そのため、ほぼ鉄筋位置まで中性化が進行していると思われる。

(2) 想定した水セメント比による中性化曲線

文献等から推測される水セメント比は0.6程度である。この値を元に、岸谷式から算出した中性化曲線と実測値を図14示す。中性化比率は1.0とした。ややばらつきは大きいものの、想定した水セメント比による中性化速度と平均値は近い対応を示している。また参考データとして竣工年が近く、東京にある学校のデータを2棟プロットした（K：1925年（大正14年）竣工、W：1932年（昭和7年）竣工）。

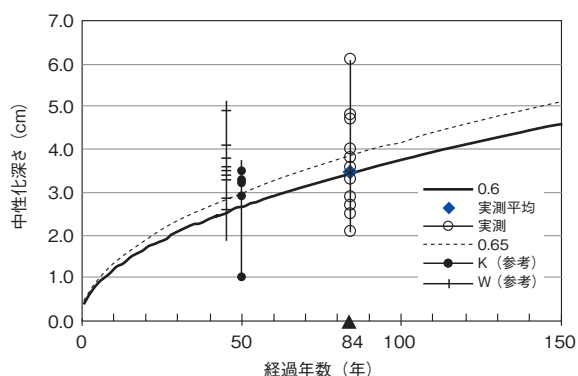


図14 中性化深さ実測値と計算値の比較

4) 配筋調査結果

電磁波レーダー法を用いた配筋間隔の調査と、保存されていた柱断面表、架構詳細図、梁主筋架構詳細および施工中写真により、この建物の配筋を下記のように判断した。

- ①柱の主筋本数については図面と一致している。
- ②柱のせん断補強筋の計測した間隔は平均で191.2mmであり、最大のずれが20mm 未満であったため、計算に採用する間隔は200mm ピッチと判断した。
- ③柱断面表（写真3）では、せん断補強筋の配筋間隔は巻き数として示されている。架構詳細図（写真4）では、巻き数と間隔が示され、柱頭・柱脚では巻き数@0.40（尺）（約120mm）、柱中央部では巻き数@0.60（尺）（約182mm）の表示が読めるが、実際の計測結果では顕著な差が見られないため、柱全長で平均的な間隔（約150mm）と判断した。
- ④柱のせん断補強筋端部のフック形状については、図面（写真3）には135度フックの図が記載されている。施工時の写真5においてもフックが見られることから、135度フックであると判断した。

繫筋、巻筋部分の図の図が鉄筋の加工を示す

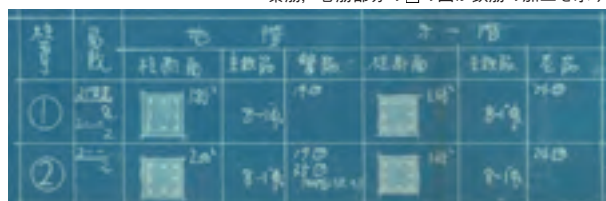


写真3 柱断面表（設計図記述例）

⑤壁の配筋は、図面に記載がないため、実測の結果からチドリ配筋で300mm ピッチと判断し、壁筋の径は9φとした。

⑥梁主筋の定着については、上端筋は柱中央を超えて、下端筋は柱中央部付近で30cm 程度折り曲げている（写真6）。柱幅の最小が約50cm で、主筋径が3/4inch（約19mm）であることから、柱面から29d 以上の定着長さとなっている。よって2次診断における梁の付着破壊の影響は小さいと判断した。

設計図（構造図の記載）と当時の市街地建築物法（大正13年改正後）の構造規定および現在の建築基準法についての比較を表5に示す。図面上、大正13年改正後の構造規定を満足した内容になっている。

5) 耐震診断結果

現地調査・材料試験の結果から、日本建築防災協会の第2次診断による耐震診断・補強案作成を行った。コン



写真4 架構詳細図



写真5 施工中の現場写真

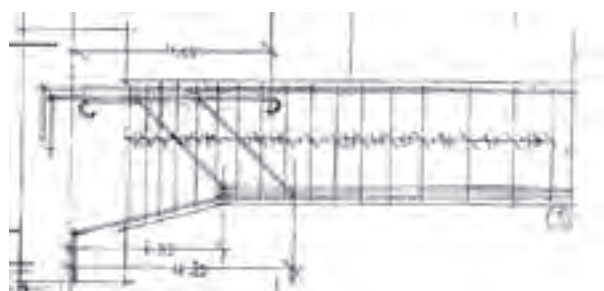


写真6 梁主筋架構詳細

表5 構造規定と設計図の比較

	設計図	市街地建築物法(大正13年改正後)	建築基準法(現行)
鉄筋の定着	梁上端：柱中心を超えて定着 梁下端：柱中心で定着	末端の他構造部への緊結か末端の折り曲げ定着	定着の折り曲げ始端位置の指定 丸鋼末端部 フック付
主筋の継ぎ手長さ	架構図より梁は満足(梁主筋径19φ) 柱は施工中写真より確認	主筋径25D 以上	柱定着の梁の引張鉄筋40D 以上 引張の小さい位置25D 以上
梁せん断補強筋	梁中央せい500mm で間隔最大1尺(303mm) より物法を満足	繫筋の配置 繫筋間隔2/3D 以下	梁：あばら筋力3/4D 以下
梁鉄筋	複配筋	複筋の配置	複筋の配置
柱の構造	8～16本	主筋4本以上	主筋4本以上
	全柱で鉄筋面積は柱面積の1/80以上を満足している(柱主筋径25φ)	コンクリート断面積の1/80 (1.25%) 以上	コンクリート断面積の0.8% 以上
	巻き数表示 (実測平均値191.2mm) 全柱満足している	繫筋間隔1尺(303mm) 以下かつ主筋径15倍以下 柱小径主要支点間距離の1/15以上	柱頭柱脚は10cm (他は15cm) かつ細い主筋径15倍以下帯筋比0.2% 以上 柱小径主要支点間距離の1/15以上

クリート圧縮強度試験の結果の地上部分の平均値から、診断用コンクリート強度は F_{c28} とした。また鉄筋については調査結果より SR235 とした。

塔屋部分については、3階に占める面積が広く影響が大きいことから、3層（4階～6階）として計算した。経年指標については、現地調査のひび割れ調査および中性化の進行、竣工年から0.93とした。

代表部分の伏図・軸組図を図15～17に示す。

翼状の部分について、ほぼラーメン構造であるが、X、Y方向とも端部に耐震壁がある。建物中央部分のコア周りについては、廊下、部屋境界を中心に耐震壁付フレームとなっている。

耐震診断の結果、偏心が大きい3階以外はすべて I_s 値0.6以上、 $C_{TU} \cdot S_D$ は0.3以上を満足している。3階部分も増打壁1枚、開口閉塞1カ所の補強で所定の性能を有することを確認している。耐震診断の結果より、本建物はコンクリートの建築技術者であった内田祥三がかかわっており、建物の剛性が高く、震災の被害を教訓として大地震にも耐えうる建物として設計された意図がうかがえる。コンクリート強度も高く、丁寧な施工が行われたのであろう。また設計当時の図面や施工中の写真から、日本建築学会の基準類が整備される以前の配筋方法などの情報を得ることができた。

5. まとめ

(1) 歴史的建造物の改修には、歴史的価値とオーセンティシティ (Authenticity) を損なわない補強技

術が必要であり、安易な補強は控えるべきである。近年、機能確保の観点も満たす免震構法を採用しているケースが多くなっている。

- (2) 多くの歴史的建造物の補強を図るには、免震構法のような工期・コストのかかる100%保証構法よりも、比較的簡易に耐震性能増大を図ることができる安定化、固定化工法の採用に早めに着手すべきである。
- (3) 煉瓦造建築物は基本的には明治の中期から大正までの30年間、幕末の導入期を含めてもわずか60年の歴史しかない極めて特異な建造物である。その数もわずか600棟弱となっていて、保存の機運が高まっている。煉瓦造の破壊は目地の離間による面外曲げ破壊が多く、RC造の建物と大きく異なる破壊性状を示す。
- (4) 煉瓦造の補強は従来コンクリート壁を内側に作って一体化を図る方法が多かったが、コンクリート中性化による鉄筋の腐食損傷およびエフロレッセンスによる煉瓦壁体の急速な劣化があることより、鉄骨構造による耐震補強が最近、採用されている。
- (5) RC造建物の補強は、中性化の問題がある躯体を保存対象とすべきか、また、仕上げ・外装と一体となっている躯体の補強は困難であることより改修工事が進んでいない。
- (6) 歴史的建造物の指定を受けている2つの建物について、オーセンティシティ (Authenticity) を阻害することなく、現行の耐震規定を満たす改修の実施事例を紹介した。



図15 2階伏図



図16 BX5軸組図

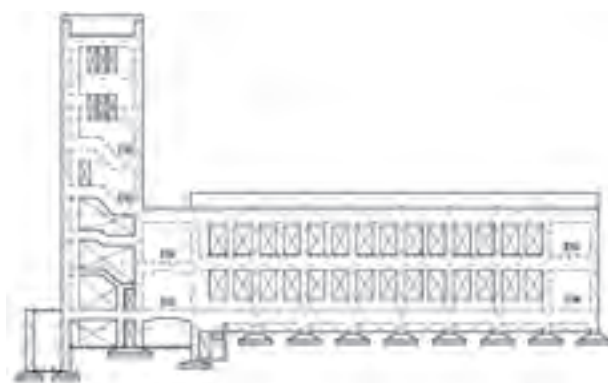


図17 BY4-CY1軸組図

〔参考文献〕

- 1) (財) 国土開発技術開発センター, 監修 京都大学建築学教室西澤研究室: 無補強煉瓦造建築および市街地建築物法期の鉄筋コンクリート造建築耐震性能評価ガイドライン, 1998.3
- 2) 林章二, 福和伸夫, 松波秀子: 歴史的建造物の補修修復事例に基づく保存方針と耐震補強方法の対応関係の分析, 日本建築学会, 構造工学論文集, Vol.57B, pp.653~664, 2011.3
- 3) 中井理貴, 守屋慎一郎, 望月真樹, 赤木久真, 西澤英和, 中野時衛ほか: 京都旧技術史料館の耐震診断と補強 (その1~その3), 日本建築学会大会 (東海) 梗概集, 構造IV, pp.1021~1026, 2012.9
- 4) 石原完爾ほか: 既存建物の耐震構造 Ⅲ. 耐震構造の実例, K資料室, 建築技術, pp.131~135, 1982.9
- 5) 望月真樹, 鈴木幹夫, 二宮利文, 中野時衛: 大正時代に建設された歴史的建造物 (浴風園本館) の構造体調査と耐震性能調査結果, 日本建築学会技術報告集, Vol.16, No.34, pp.973~978, 2010.10



あかぎ ひさのぶ
赤木 久真

EHS&S 研究センター研究理事
建築構造, 防災対策, BCP, リスクマネジメント
等のコンサルティング業務に従事
工学博士, 一級建築士
日本建築学会, 土木学会, 地震工学会, 地震学会,
風工学会会員
構造調査コンサルティング協会会長



なかの ときえ
中野 時衛

EHS&S 研究センター上級研究員 兼 構造コンサル
ティング部長
通信用建物・鉄塔, 事務所ビル等の構造設計, 構
造コンサルティング業務に従事
工学博士, 構造設計一級建築士, 一級建築士, 建
築構造士
日本建築学会, 日本建築構造技術者協会, 地盤工
学会会員, 構造調査コンサルティング協会構造物
評定委員会委員



もりや しんいちろう
守屋 慎一郎

構造コンサルティング部係長
通信用建物・鉄塔, 事務所ビル等の構造設計, 構
造コンサルティング業務に従事
構造設計一級建築士, 一級建築士, 日本建築学会
会員

Synopsis

Trends in Seismic Diagnosis and Reinforcement of Brick and Concrete Construction Historical Buildings

Hisanobu AKAGI

Tokie NAKANO

Shinichiro MORIYA

Buildings more than 50 years old built before 1960 are classed as historical buildings that fall into the category of cultural properties. The spread of the registered tangible cultural property system has brought urban renewal of historical buildings to the fore as an important issue, while, on the other hand, conservation and practical use including seismic retrofits have become important subjects.

In the process of promoting seismic diagnosis and reinforcement for the conservation of historical buildings of brick construction and reinforced concrete construction, reinforcement technologies that do not violate the historical value and authenticity of renovated historical buildings are required and this means that overly simplistic reinforcement must be avoided. Recent years have seen increasing adoption of the base isolation method from the functional assurance point of view.

Brick construction buildings are extremely unique buildings that, basically, were constructed within a period of only 30 years from the middle of the Meiji era to the Taisho period, or a mere 60 years if the beginning of the closing days of the Tokugawa shogunate is factored into the equation. There are fewer than 600 such buildings and the need for their conservation is growing. While damage to brick construction buildings is caused by out-of-plane bending failure due to joint alienation in many cases, reinforced concrete construction buildings show a totally different fracture behavior.

Although, in the past, the approach to reinforcement of brick construction buildings has been to provide concrete reinforcement on the inside of walls to realize a unified structure, because of corrosion damage of rebar due to carbonation of concrete and the rapid deterioration of brick walls caused by efflorescence, reinforcement using steel structures has come to be adopted in recent years.

Regarding the reinforcement of reinforced concrete construction buildings, little progress has been made with repair work due to problems with structures that are suffering from carbonation and difficulties in reinforcing structures in which the finishing and decoration form a unified whole.

This paper introduces practical examples of repairs to two designated historical buildings that satisfy the current seismic code without violating authenticity.