

江田島・海友舎の耐震性調査

木質構造
実測調査

洋館
耐力壁

耐震診断
壁倍率

正会員 ○光井 周平*1 正会員 松本 慎也*2
正会員 谷村 仰仕*3

1. はじめに

文化財として価値のある既存木造建築物を後世に残し伝えていくことは、我が国の木造文化の継承のため大変重要である。一方、近い将来に発生が予想される大地震に備えて、こうした既存建築物の耐震性の確保は喫緊の課題である。本報では、明治期に建築された木造洋館の耐震性を確認するために実施した実測調査ならびに耐震診断の結果について報告する。

2. 調査対象建物の概要

調査対象は広島県江田島市にある旧海軍江田島兵学校下士卒集会所（以下、海友舎）である。現況の外観写真を図1に示す。文献1)には明治39年（1906年）に着工したとの記述があり、明治40年（1907年）頃には竣工していたものと考えられる。大正2年の写真が現存しており（図2参照）、図1と比較するとバルコニーの部分で屋根形状等が一部異なるものの、建設当初から概ね同様の外観であることが分かる。



図1 調査対象建物外観（西面・南面）

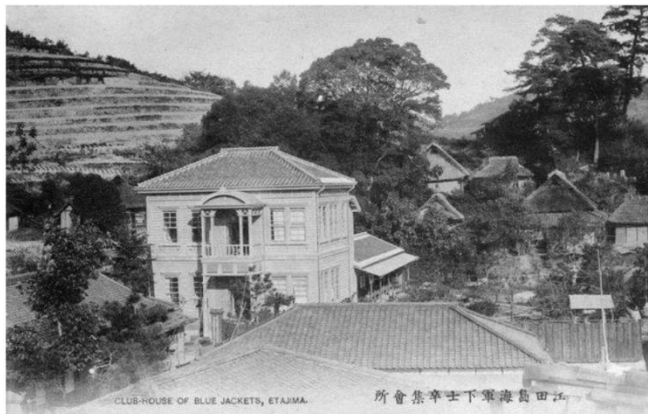


図2 大正2年の建物外観

第二次大戦後に民間に払い下げられて以降、事務所等として利用されてきたが廃業のため現在は空き家となっており、建物の保存活用を目的として2012年に設立された「ぐるぐる海友舎プロジェクト実行委員会」²⁾によって各種イベントの会場として利用されている。

建物概要を表1に示す。

表1 調査対象建物の概要

建物名称	旧海軍江田島兵学校下士卒集会所 (海友舎)
所在地	広島県江田島市江田島町中央 2-7-10
竣工年	1907年(明治40年)頃
建物仕様 (小屋組)	トラス構造(真束小屋組)
(屋根仕上げ)	スレート葺き
(壁仕上げ)	イギリス下見板張り(外周壁外側) 木摺下地漆喰塗(内壁・外周壁内側)
(基礎)	れんが積

3. 建物平面および柱配置

実測調査に基づく1階、2階平面図を図3および図4に示す。平面形状は1、2階で同様であり、いずれの階にも4つの部屋が配置されている。建設当初は東南隅の部屋が階段室として使用されていたが、後に中廊下の東端に階段を移設している。

耐震診断を行うためには耐力壁の配置および仕様を確認する必要があるが、壁はすべて大壁であり柱の位置や寸法を室内からの目視により確認することは困難である。そこで、小屋裏から柱の位置や壁内部の仕様、筋かいの有無等を調査することとした。これにより確認できるのは2階の壁についてのみであるため、1階については2階の壁仕様等を参考に推測することとした。柱の配置を図5および図6に示す。図中黒色で示した部分は無開口壁、灰色で示した部分是有開口壁である。ただし、後述する耐震診断法の規定に基づき壁の長さが600mmに達しないものは耐力の算定から除外している。図6において北側2室の間仕切り壁が欠落しているが、これはこの部分が垂れ壁であり耐力に加算されないためである。

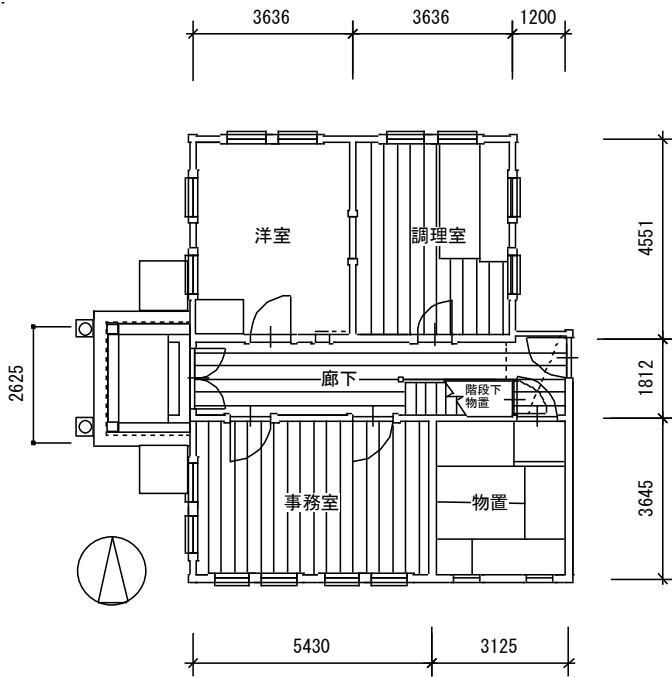


図3 1階平面図

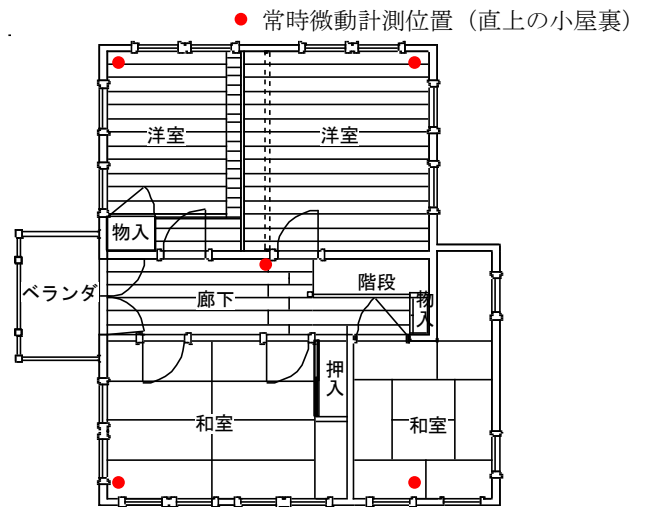


図4 2階平面図

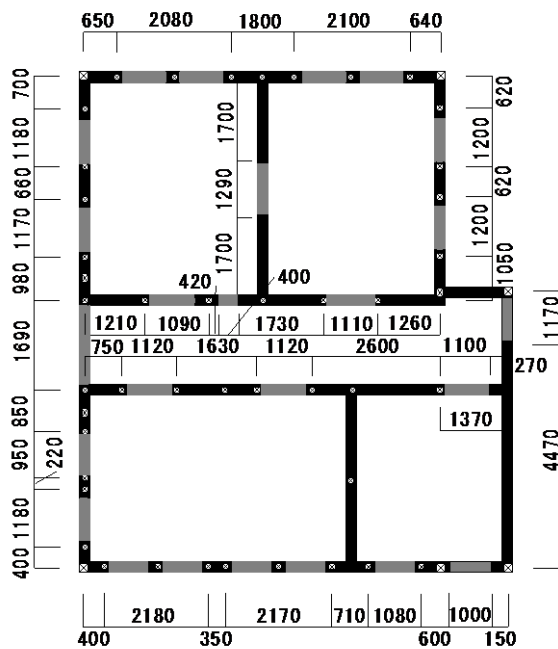


図5 1階柱配置図

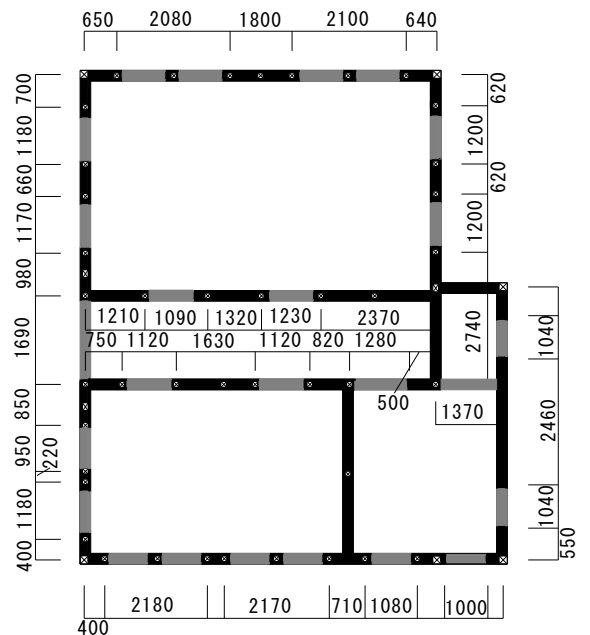


図6 2階柱配置図

その他の主な構造的特徴に触れておく。基礎はれんが積であり、その上に 120mm 角の土台が設置されている。基礎と土台とが緊結されているかどうかは不明である。外周壁の外側は土台から窓下のラインまでは羽目板張り、その上部はイギリス下見板張りである。下見板は幅 180mm、厚さ 15mm であり、上下に 15mm ずつ重ねて柱に直接打ち付けてある。外周壁の内側および内壁の両面は木摺下地漆喰塗である。木摺りは幅約 50mm であり 15mm 程度ずつ開けて柱に打ち付けてある。漆喰の塗厚

は詳細には確認できないが木摺りの厚さを含めて 50mm 程度である。また、小屋組はトラス構造である。

壁には筋かいが設置されているが、端部が柱に釘で打ち付けてあるものがある一方で一部は間柱に打ち付けてある。高さ方向については横架材間ではなく柱や間柱の途中に設置されている。こうした筋かいは地震時等に有効に機能することが期待できないことから、今回の耐震診断では筋かいは考慮しないものとした。筋かいの設置状況の例を図7に示す。



図7 筋かいの設置状況

4. 微動計測による建物固有周期の測定

耐震診断の参考のため対象建物の常時微動計測を行った。計測は図4に示す5か所の直上の小屋裏と2階中央の床面、建物外の地盤面の計7か所に無線加速後センサー（検診技術研究所製 RS-AD24）を設置して行った。100Hz サンプリングで15分間（900秒間）計測した微動波形から2048データを1セットとし、時間軸を25%オーバーラップさせながら抽出した複数のデータセットに対する平均フーリエスペクトルを算出し、地盤での観測値に対する各計測値のスペクトル比を応答倍率として算出した。得られた固有周期および固有振動数を表2に示す。小屋裏レベルでの振動特性を確認したところ床面がひし形となるような変形モードが見られた。小屋裏での調査で火打ち梁が建物四隅にしか確認できなかったことを踏まえると、火打ち梁が少なく床水平構面の剛性が低いことが推察される。

表2 常時微動計測結果（1次モード）

	固有周期 T(s)	固有振動数 f(Hz)
X(東西)方向	0.223	4.48
Y(南北)方向	0.244	4.10

5. 耐震診断

前節までに示した実測調査ならびに常時微動計測の結果を踏まえ耐震診断を行う。診断は文献3)の一般診断法を適用する。一般診断法には対象とする建物の構法に応じて方法1と方法2があるが、今回は壁を主な耐震要素とした建物を対象とする方法1を用いる。

文献3)の診断法には大きく分けて(a)地盤・基礎、(b)上部構造の2つの項目がある。(a)は上部構造の評価には含まれないが地震時に注意すべき点を指摘するものである。(b)は必要耐力 Q_r を建物が保有する耐力 edQ_u で除して得られる上部構造評点により評価される。 edQ_u は「壁・柱の耐力 Q_u 」「耐力要素の配置等による低減係数 eK_{f1} 」「劣化度による低減係数 dK 」の積により計算される。

(1) 壁・柱の耐力 Q_u

当該建物の必要耐力 Q_r は各階の床面積に建物仕様に応じて定められた床面積あたりの必要耐力を乗じて算出される。対象建物は仕様を考慮して「重い建物」に該当するものと判断し、次式により必要耐力を算出した。なお、床面積は各階とも80.28(m²)である。

$$(1階) \quad {}_1Q_r = 1.06Z \times 80.28 = 76.59 \text{ (kN)}$$

$$(2階) \quad {}_2Q_r = 0.53Z \times 80.28 = 38.30 \text{ (kN)}$$

ここに、Zは地域係数であり広島県では0.9である。

「壁・柱の耐力 Q_u 」は、方法1を用いる場合には次式で算出される。

$$Q_u = Q_w + Q_e = \sum(F_w \cdot L \cdot K_j) + Q_e \quad (1)$$

ここに、 Q_w は無開口壁の耐力、 Q_e はその他の耐震要素の耐力であり、また、 F_w は壁基準耐力(kN/m)、 L は壁長(m)、 K_j は柱接合部による低減係数である。

対象建物に用いられている壁は「壁の両面が木摺下地漆喰塗」と「片面がイギリス下見板張りでもう一面が木摺下地漆喰塗」の2種類である。いずれの仕様も文献3)には壁基準耐力が示されていないが、既往の研究^{4),5)}を参考に、ここでは以下の値を用いて計算することとした。

表3 壁基準耐力

壁仕様	使用箇所	壁基準耐力 (kN/m)
(a)両面木摺下地漆喰塗	内壁	4.0
(b)片面イギリス下見板張り 片面木摺下地漆喰塗	外周壁	2.8

実測調査に際して柱と横架材との接合部を確認したところ、小屋組の一部を除き金物は用いられていなかった。調査を行った範囲以外においても接合部は同様の仕様であるものと仮定し、 K_j の算定の基礎となる接合部の仕様は最も評価の低い「接合部IV」とした。 K_j は壁基準耐力に応じて計算され表3の壁仕様(a)では1階が0.75、2階が0.3、壁仕様(b)では1階が0.84、2階が0.42となる。

その他の耐震要素の耐力 Q_e は、窓型開口の場合は0.6、掃き出し型開口の場合は0.3に開口壁長を乗じて算出される。対象建物では内壁はすべて掃き出し型開口であり、外周壁では一部を除き窓型開口である。

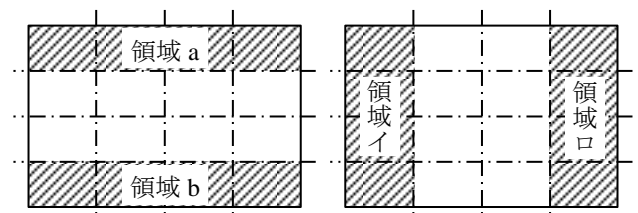


図8 各領域の呼称

後述する耐力要素の配置に関する検討に必要となるため、平面を図8のように4分割して各領域に存在する壁量を確認する。各領域の無開口壁耐力の一覧を表4に示す。有開口壁についても同様に算定する。

表4 各領域の無開口壁の耐力

階	方向	領域	壁仕様	F_w (kN/m)	L (m)	K_j	Q_{wi} (kN)	Q_w (kN)
1	X	a	(b)	2.8	3.09	0.84	9.49	42.57
		中	(a)	4.0	10.00	0.75	30.00	
		b	(b)	2.8	1.31	0.84	3.08	
	Y	イ	(b)	2.8	3.19	0.84	7.50	44.79
		中	(a)	4.0	7.00	0.75	21.00	
		ロ	(b)	2.8	6.93	0.84	16.29	
2	X	a	(b)	2.8	3.09	0.42	3.63	16.53
		中	(a)	4.0	9.47	0.3	11.36	
		b	(b)	2.8	1.31	0.42	1.54	
	Y	イ	(b)	2.8	3.19	0.42	3.75	15.64
		中	(a)	4.0	3.60	0.3	4.32	
		ロ	(b)	2.8	6.44	0.42	7.57	

(2) 耐力要素の配置等による低減係数 eK_{fl}

両端 1/4 内の必要耐力に対する保有する耐力の充足率と床仕様によって、次式を用いて低減係数を算定する。4節に示した常時微動計測の結果を踏まえ、床仕様は火打ちなしとして床倍率を 0.5 未満と想定する「床仕様Ⅲ」とした。

$$eK_{fl} = (eK_1 + eK_2) / (2.5 eK_2) \quad (2)$$

ここに、 eK_1 は充足率の低い領域、 eK_2 は高い領域の充足率を表す。表4に eK_{fl} の算出過程を示す。

表5 耐力要素の配置等による低減係数 eK_{fl} の計算

階	方向	領域	床面積 (m ²)	必要耐力 (kN)	保有耐力 (kN)	充足率	eK_{fl}
1	X	a	18.13	17.29	9.49	0.55	0.51
		b	21.55	20.56	3.08	0.15	
	Y	イ	21.55	20.56	7.50	0.37	0.54
		ロ	15.61	14.90	16.29	1.09	
2	X	a	18.13	8.64	3.63	0.42	0.54
		b	21.55	10.28	1.54	0.15	
	Y	イ	21.55	10.28	3.75	0.37	0.55
		ロ	15.61	7.45	7.57	1.02	

(3) 劣化度による低減係数 dK

劣化度による低減係数 dK は、専用のチェックシートを用いて算出される。詳細については紙面の都合上割愛する。対象建物では $dK = 0.62$ となった。

(4) 上部構造評点

以上の計算結果をもとに、上部構造評点は表6のように算出される。これらの値の最小値が対象建物の上部構造評点となるため、今回は 0.19 となり「倒壊の可能性が高い」と判定される。

表6 上部構造評点

階	方向	edQ_u (kN)	Q_r (kN)	上部構造評点 edQ_u/Q_r
1	X	15.99	76.59	0.21
	Y	16.78		0.22
2	X	8.24	38.30	0.22
	Y	7.29		0.19

6. まとめ

本報では、江田島市にある明治期に建築された木造洋館の実測調査ならびに耐震診断の結果について報告した。上部構造評点が低く「倒壊の可能性が高い」と判定されたが、耐力壁の不足もさることながら耐力要素の配置や接合部、床の仕様による低減が大きく影響する結果となった。今後は接合部の補強や床剛性を高めることに加えて、適切に筋かいを設置するなど耐震性の向上に向けての検討を行いたい。

謝辞

本報の実測調査ならびに耐震診断は、近畿大学工学部建築学科松本研究室、広島国際大学工学部住環境デザイン学科谷村研究室、呉工業高等専門学校建築学科光井研究室の学生諸氏の協力を得て実施した。ここに記して感謝の意を表す。

参考文献等

- 1) 呉新興日報社編：大呉市民史 明治編、p.564、1943
- 2) 「ぐるぐる海友舎プロジェクト」ホームページ：
<http://www.kaiyousya.com/>
- 3) 日本建築防災協会編：2012年改訂版 木造住宅の耐震診断と補強方法 指針と解説編、2012年
- 4) 片山知実、富高亮介、澤田圭、平井卓郎：カトリック北一条教会における耐力壁の評価、日本木材学会北海道支部講演集、第44号、pp.23-26、2012.11
- 5) 片山知実、佐々木義久、平井卓郎：西洋下見板貼り耐力壁のせん断性能評価、日本木材学会北海道支部講演集、第45号、pp.23-26、2013.11

*1 呉工業高等専門学校 助教・博士(工学)
*2 近畿大学工学部 准教授・博士(工学)
*3 広島国際大学工学部 講師・博士(学術)

*1 Assistant Prof., National Institute of Tech., Kure College, Dr. Eng.
*2 Associate Prof., Kindai Univ., Dr. Eng
*3 Lecturer, Hiroshima International Univ., Ph.D.