

開口が多い既存補強コンクリートブロック造建物の水平耐力に関する研究

補強コンクリートブロック構造 耐震診断
荷重増分解析 低強度 終局せん断強度

準会員 ○日下翔太*1 正会員 秋田知芳*2
正会員 稲井栄一*3

1.はじめに

補強コンクリートブロック造（以下 CB 造）とは、コンクリートブロックを組積して壁体を作成し建築物を構成するものであり、主として住宅規模の建築物に適用するものである¹⁾。鉄筋を挿入する空洞部のみにコンクリートまたはモルタルが充填されている。CB 造の耐力壁には各階の頂部に鉄筋コンクリートの臥梁が設けられている。ブロック頂部に臥梁を設けることにより、力が適切に伝達されるようになっている。

1981 年「新耐震設計法」制定以前に設計された CB 造建物は、ブロックの圧縮強度が非常に弱いなどの理由から、大地震による倒壊の恐れがある。取り壊して建て直すには多大な費用がかかるため耐震補強する動きがある。本研究では耐震補強される前の CB 造建物の解析を行い、算定した水平耐力と耐震診断において算定されている水平耐力を比較し、耐震診断の妥当性を検証する。

2.対象建物

2.1 建物概要

検討対象建物として、直接基礎の CB 造 2 階建の集合住宅を使用した。X 方向に各 4.16m の 10 スパン、Y 方向に 5.64m の 1 スパンを有し、階高は各階 2.6m、臥梁の高さは 400mm、壁高さは 2200mm、壁厚さは 150mm である。鉄筋は丸鋼（SS39）の 9φ 及び 13φ が用いられている。伏図を図 1 に、軸組図を図 2 に示す。開口の寸法を(a)~(f)に示す。X 方向は全て CB 壁で構成され、開口が非常に多い。Y 方向は、開口が無く、妻壁は RC 造である。Y 方向は十分な耐力を有しているため、本研究では X 方向（Y0 通り及び Y1 通り）の水平耐力について検討する。

2.2 既往の耐震診断

対象建物は、補強コンクリートブロック設計規準^{2), 3)}の要件を満たす建物である。コンクリートブロックは、対象建物の同敷地内にある、同時期に建てられた建物の CB 壁から 3 つ抜き取られて試験が行われている。大きさは平均値で長さ 395.7mm、厚さ 151.3mm、高さ 190.2mm であった。3 つのコンクリートブロックの圧縮強度は 20.9N/mm²、8.0N/mm²、14.4N/mm²であった。また、中性化深さの測定では、測定箇所全 3 箇所が中性化しているのが確認されている。

既往の耐震診断では、耐震性能は RC 診断基準⁴⁾に倣い構造耐震指標 I_s は(1)式、CB 壁の保有水平耐力 Q_u は

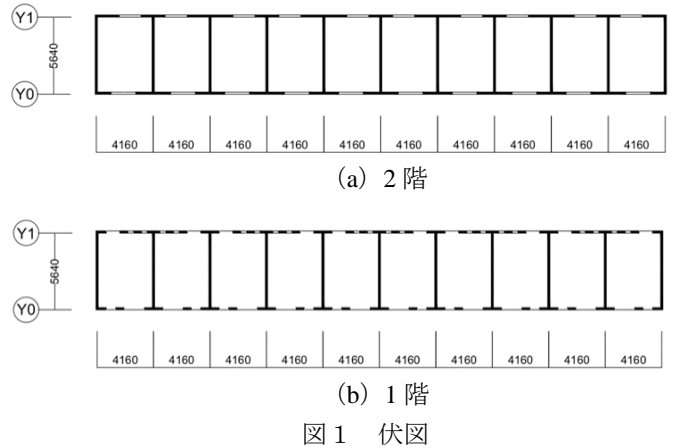


図 1 伏図

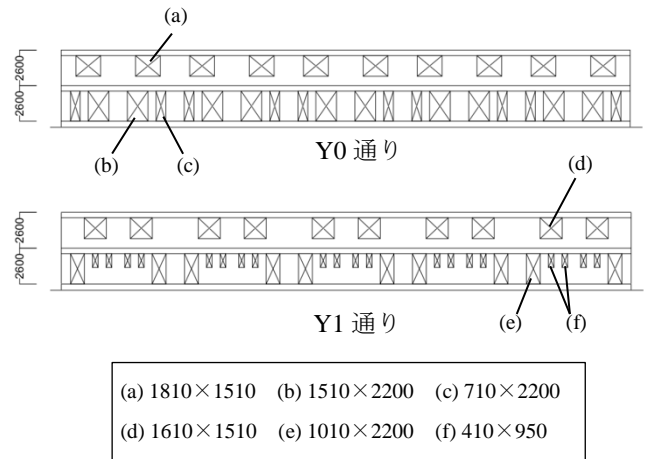


図 2 軸組図

(2)式で算定されている。強度指標 C は各階の保有水平耐力を各階までの建物重量で除して算定し、靱性指標 F は 1.0 とされている。経年指標 T は 1.0、形状指標 S_D は RC 2 次診断基準により算定し、偏心率、剛性率の算定に用いる剛性は壁長さに比例するものとしている。

耐震判定指標 I_{so} は(3)式により判定基準を設定している。地震地域係数 Z は 0.8、地盤指標 G は 1.1 を考慮して判定する。したがって、判定基準は I_s ≥ 0.528 となっている。1 階及び 2 階の CB 壁の耐力を表 1 に示す。耐力は開口によって分けられた CB 壁毎に算定されている。2 階が 6 つ、1 階が 8 つに分けられている。

耐震診断の結果を表 2 に示す。構造耐震指標 I_s が 2 階で 0.25、1 階で 0.45 と耐震判定指標 I_{so} = 0.528 を下回る結果が出ている。

$$I_s = \frac{1}{A_i} \cdot C \cdot F \cdot T \cdot S_D \quad (1)$$

$$Q_u = t \cdot L_w \cdot \tau_{u0} \quad (2)$$

t : CB 壁の厚さ (mm)

L_w : CB 壁の長さ (mm)

τ_{u0} : CB 壁のせん断応力度 (N/mm²)

ただし、CB 壁の τ_{u0} はブロックの品種、BC 壁の立面・平面形状により以下に示す値とする。

$$H_0/L_w \leq 1.0 \text{ の場合 } \tau_{u0} = \alpha \cdot \beta \cdot 0.5 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$$H_0/L_w > 1.0 \text{ の場合 } \tau_{u0} = \alpha \cdot \beta \cdot 0.3 \text{ (N/mm}^2\text{) (本建物)}$$

α 、 β は以下による。

- $\alpha = 1.2$: 1.2m 以上の直行壁が両端にある場合
- $= 1.0$: 上記以外 (本建物)
- $\beta = 1.0$: B 種、C 種ブロック (本建物)
- $= 0.8$: A 種ブロック

$$Iso = 0.6 \cdot Z \cdot G \quad (3)$$

Z :地震地域係数

G :地盤指標

3. 検討方法

対象建物の水平耐力を検討するために、以下の4つの方法により水平耐力を算定する。

- (i) 既往の耐震診断
- (ii) 一貫構造計算ソフトウェアによる増分解析⁵⁾
- (iii) CB 壁の終局せん断強度算定式⁶⁾
- (iv) RC 壁の終局せん断強度算定式^{4),7)}

本研究で使用する一貫構造計算ソフトウェアは、壁式 RC 造用のソフトウェアであるため、水平耐力の算定式には RC 部材の算定式が用いられる。材料強度、荷重、配筋、開口部など対象建物のデータをそのまま使用する。コンクリートブロックの圧縮強度は、対象建物にて行われた試験データのうち、最小の値である $F_c=8.0\text{N/mm}^2$ を用いることとする。CB 壁の水平耐力を求める方法として、CB 壁の終局せん断強度の算定式 (後述の(4)式) があるが、開口部が非常に多い対象建物では、小開口による強度低減率の条件を満たすことができず、算定するのが困難である。また、破壊形式、破壊箇所は調べることができない。そこで、図3に示すように、対象建物の開口が無いと仮定した無開口建物の (iii) CB 壁の終局せん断強度及び (iv) RC 壁の終局せん断強度を求めて、両者の比 CB/RC を求める。そして、対象建物について行った (ii) 増分解析の結果と CB/RC を用いて CB 壁の水平耐力を求める。この値と既往の耐震診断の耐力の値を比較する。

4. 増分解析

対象建物と無開口建物の増分解析を行う。臥梁は壁梁として扱う。対象建物及び無開口建物は左右対称であるため、正加力のみ解析を行う。CB 壁の解析においては、

表1 X方向CB壁の耐力

(a) 2階

	壁厚t (mm)	長さL _w * (mm)	内法H ₀ (mm)	H ₀ /L _w	係数	α	β	τ_{u0} (N/mm)	Q _u (kN)	個所	小計 (kN)
1	150	750	1510	2.01	0.3	1	1	0.3	34	2	68
2	150	1350	1510	1.12	0.3	1	1	0.3	61	5	304
3	150	1350	1510	1.12	0.3	1	1	0.3	61	4	243
4	150	750	1510	2.01	0.3	1	1	0.3	34	2	68
5	150	950	1510	1.59	0.3	1	1	0.3	43	5	214
6	150	1350	1510	1.12	0.3	1	1	0.3	61	4	243
計											1139

*2Fの壁長は1Fの壁長を採用(上下階の連続)

(b) 1階

	壁厚t (mm)	長さL _w (mm)	内法H ₀ (mm)	H ₀ /L _w	係数	α	β	τ_{u0} (N/mm)	Q _u (kN)	個所	小計 (kN)
1	150	750	2200	2.93	0.3	1	1	0.3	20.3*	2	41
2	150	590	2200	3.73	0.3	1	1	0.3	26.6	0	0
3	150	1350	2200	1.63	0.3	1	1	0.3	60.8	5	304
4	150	1350	2200	1.63	0.3	1	1	0.3	36.5*	4	146
5	150	750	2300	3.07	0.3	1	1	0.3	33.8	2	68
6	150	590	1000	1.69	0.3	1	1	0.3	26.6	20	531
7	150	950	1000	1.05	0.3	1	1	0.3	42.8	5	214
8	150	1350	2300	1.70	0.3	1	1	0.3	60.8	4	243
計											1545

*軸組図に記載のない小開口による低減を考慮

表2 X方向CB壁の耐震診断

階	Q _u (kN)	ΣW (kN)	A _i	C	F	T	S ₀	I _s	I _{so}	判定
2	1139	2058	1,183	0.553	1	1	0.975	0.45	0.528	NG
1	1545	4657	1	0.332	1	1	0.780	0.25	0.528	NG

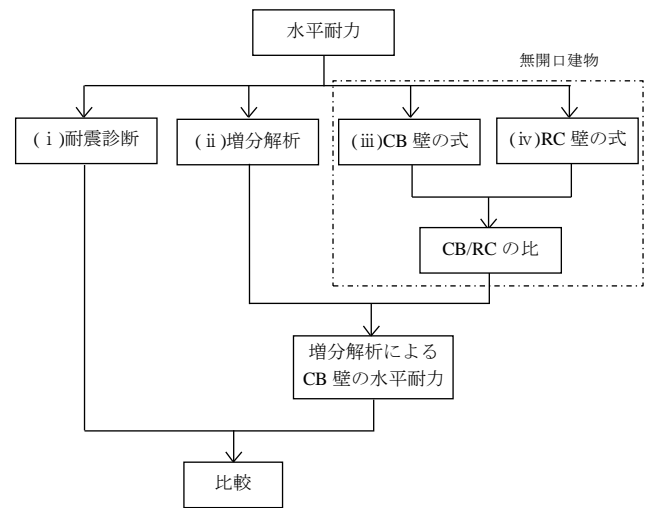
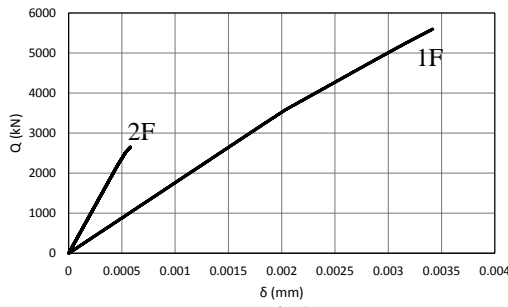
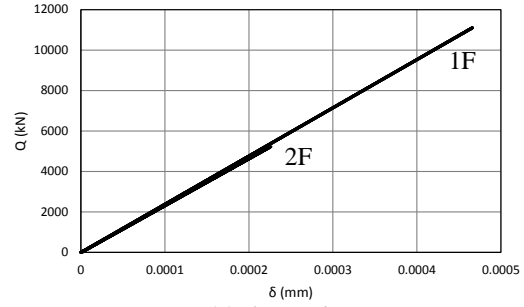


図3 保有水平耐力検討の流れ

既往の耐震診断では臥梁のせん断破壊の考慮がされていないため、壁梁がせん断破壊した場合は、せん断終局強度を保ったまま解析を続け、耐力壁がせん断破壊した場合は、その時点で解析を終了した。増分解析により得られた、各階の層せん断力Q-層間変形 δ 関係を図4に、対象建物のヒンジ発生、せん断破壊箇所を図5に示す。無開口建物では各階の剛性がほぼ同じなのに対し、対象建物では2階に比べ1階の方が剛性が小さいことがQ- δ 図より分かる。対象建物の剛性は、無開口建物の剛性



(a) 対象建物



(b) 無開口建物

図4 各階の層せん断力 Q—層間変形 δ の関係

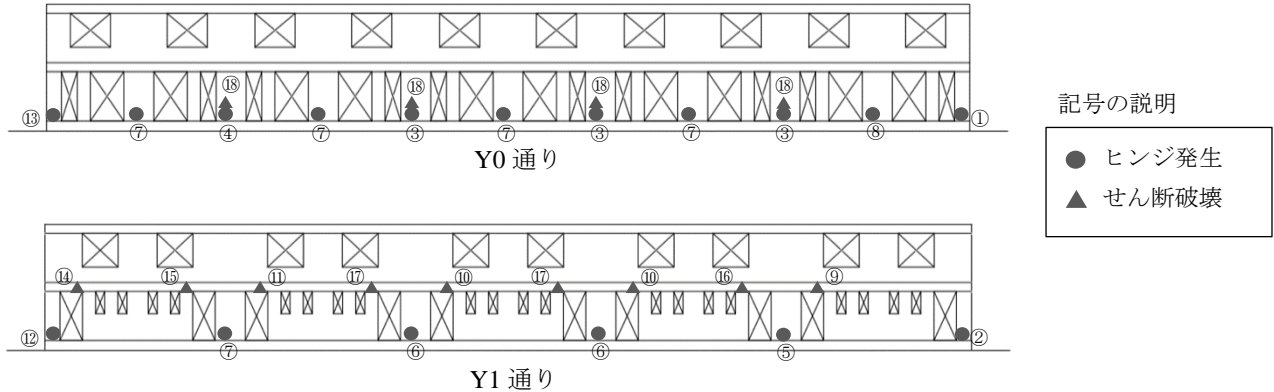


図5 X方向CB壁の破壊形式図

に比べて2階が約21%、1階は約7%であった。これは対象建物の開口面積が非常に大きいことが影響していると考えられる。

破壊の順番①～⑱を図5中に示す。耐力壁のせん断破壊時に解析を終了したが、せん断破壊をするまでに耐力壁のヒンジ発生、Y1 通りに関しては、臥梁のせん断破壊があった。破壊に至るまでの過程としては、最初にY0 通り及びY1 通りの右端のCB壁脚で塑性ヒンジが発生し、その後は図5に示す左端のヒンジ発生箇所以外のCB壁部分で塑性ヒンジが発生した。次にY1 通りの臥梁が4カ所せん断破壊し、Y0、Y1 通りの左端のCB壁脚で塑性ヒンジが発生した後、図5に示すY1 通りの臥梁が5カ所せん断破壊した。最後にY0 通りのCB壁脚4カ所で同時にせん断破壊が起こった。耐力壁のせん断破壊時を終局状態とすると2階の終局強度が2652kN、1階が5597kNである。無開口建物は各階1枚の壁でモデル化され、破壊前に解析が終了したため、終局時の耐力は求められていない。

5. 終局せん断強度の算定式

5.1 CB壁の終局せん断強度の算定式

無開口建物のX方向のCB壁の終局せん断強度を算定する。壁長さ4160mm、高さ2200mmのCB壁1枚分の強度を算定し個数を掛けて算定する。算定には(4)式を用いる⁹⁾。せん断強度低減係数 ϕ はCB造の場合は0.9とする。小開口による強度低減係数 r は、開口が無いと仮定した壁を算定するため1とする。組積体の性質

$$wQ_{su} = \phi r \left\{ k_u \cdot 1.16 p_{te}^{0.3} \left[\frac{0.76}{(h/d) + 0.7} + 0.012 \right] \sqrt{F_m} + 0.18 \gamma \sqrt{p_h \cdot h \sigma_y \cdot F_m} + 0.2 \sigma_0 \right\} t_e \cdot j \quad (4)$$

ϕ : せん断強度低減係数

r : 小開口による強度低減率

k_u : 組積体の性質による係数

$P_{te} = 100 \cdot a_t / (t_e \cdot d)$: 耐力の曲げ補強筋比に関する数値

a_t : 耐力壁の曲げ補強筋の断面積

d : 耐力壁の有効せい

F_m : 組積体の材料強度 (N/mm²)

γ : 水平補強筋の影響係数

p_h : 水平せん断補強筋比

$h \sigma_y$: 水平補強筋の材料強度 (N/mm²)

σ_0 : 軸方向応力度 (N/mm²)

t_e : 壁厚さ (mm)

j : 耐力壁の応力中心間距離 (mm)

による係数 k_u はCB造の場合は0.64とする。耐力壁の曲げ補強筋比に関する数値は $P_{te} = 100 \cdot a_t / (t_e \cdot d)$ で求める。 a_t は耐力壁の曲げ補強筋の断面積、 d は耐力壁の有効せいである。組積体の材料強度 F_m は8.0N/mm²を採用する。水平補強筋の材料強度 γ は390N/mm²とする。2階壁の軸方向応力度 σ_0 は屋根の固定荷重及び積載荷重の1/4と屋上階の臥梁の固定荷重を考慮して、1階壁の軸方向応力度 σ_0 は屋根と2階床の固定荷重及び積載荷重の1/4、屋上階と2階の臥梁の固定荷重を考慮して

算定する。壁厚さ t_e は 150mm とする。耐力壁の応力中心間距離 j は、壁長さ 4160mm に 0.8 を掛けて算定する。CB 壁の終局せん断強度を表 3 に示す。2F が 6780kN、1F が 7640kN と算定された。

5.2 RC 壁の終局せん断強度の算定式

対象建物が RC 造だと仮定して、終局せん断強度を算定する。CB 壁の終局せん断強度算定時と同様に無開口建物の X 方向の壁を計算する。壁長さ 4160mm、高さ 2200mm の RC 壁 1 枚分の強度を算定し個数を掛けて算定する。算定には(5)式を用い⁷⁾、諸数値には CB 壁と同じ値を代入して算定を行なった。RC 壁の終局せん断強度を表 4 に示す。2F が 11260kN、1 階が 11740kN と算定された。

$$Q_{su} = \left\{ \frac{0.053P_{te}^{0.23}(18 + F_c)}{M/(Q \cdot l) + 0.12} + 0.85\sqrt{P_{se} \cdot \sigma_{wy}} + 0.1\sigma_{0e} \right\} \cdot b_e \cdot j_e \quad (5)$$

P_{te} : 耐力の曲げ補強筋比に関する数値

F_c : 組積体の材料強度 (N/mm²)

$M/(Q \cdot l)$: せん断スパン比

$P_{se} = a_h/(b_e \cdot s)$: 等価横筋比

a_h, s : 1 組の横筋の断面積および間隔

σ_{wy} : 横筋の降伏強度 (N/mm²)

σ_{0e} : 軸方向応力度 (N/mm²)

b_e : 等価壁厚 (mm)

j_e : 応力中心間距離 (mm)

5.3 CB 壁と RC 壁の終局せん断強度の比較

CB 壁と RC 壁の終局せん断強度の比較を表 5 に示す。CB 壁と RC 壁の強度の比率 CB/RC は 2 階が 0.6、1 階が 0.65 となっており、CB 壁の強度は RC 壁の強度の約 6 割程度であると判断できる。

6. 水平耐力の検討

(i) 既往の耐震診断、(ii) 文献のソフトによる増分解析、(iii) CB 壁の終局せん断強度算定式、(iv) RC 壁の終局せん断強度の算定式の 4 つの方法により求めたせん断強度を表 6 に示す。表 6 に示す (i) 既往の耐震診断の無開口建物の耐力は(2)式を用いて算定した。無開口建物に関して、(i) 既往の耐震診断と (iii) CB 造の算定式の耐力は、1 階では (i) が 7758kN、(iii) が 7640kN と近い値になっている。一方 2 階では (i) が 7758kN、(iii) が 6780kN と (i) の方が大きくなっているが、これは既往の耐震診断では軸応力度の考慮がされていないためである。対象建物の水平耐力を表 7 に示す。増分解析で求めた終局強度に CB 壁の算定式による強度と RC 壁の算定式による強度の比 CB/RC を掛けた対象建物の水平耐力は 2F が 1591kN、1F が 3638kN

表 3 CB 壁の終局せん断強度

	Q(kN)	個数	計(kN)
2F	339	20	6780
1F	382	20	7640

表 4 RC 壁終局せん断強度

	Q(kN)	個数	計(kN)
2F	563	20	11260
1F	587	20	11740

表 5 CB 壁と RC 壁の強度の比較

	CB壁(kN)	RC壁(kN)	CB/RC
2F	6780	11260	0.60
1F	7640	11740	0.65

表 6 (i) ~ (iv) で算定した耐力 (kN)

		(i) 既往の耐震診断	(ii) 増分解析	(iii) CB造の式	(iv) RC造の式
無開口建物	2F	7758		6780	11260
	1F	7758		7640	11740
対象建物	2F	1139	2652		
	1F	1545	5597		

表 7 増分解析による対象建物の水平耐力

	増分解析(kN)	CB/RC	対象建物の水平耐力(kN)	既往の耐震診断(kN)
2F	2652	0.60	1591	1139
1F	5597	0.65	3638	1545

となる。増分解析によって算定した水平耐力に比べ、既往の耐震診断における水平耐力は小さく見積もっている。

7. まとめ

本研究では CB 造建物の解析を行い、算定した水平耐力と既往の耐震診断における水平耐力を比較した。以下に本研究で得られた知見を示す。

- 1) 対象建物の剛性は、無開口建物と比べて 2 階で約 21%、1 階で約 7%であった。
- 2) 対象建物は、1 階壁脚に塑性ヒンジが発生した後、2 階臥梁にせん断破壊が生じ、最終的に 1 階壁にせん断破壊が生じて水平耐力に至った。
- 3) CB 壁の終局せん断強度は RC 壁の約 6 割程度となった。
- 4) 耐震診断における水平耐力は、増分解析によって算定した水平耐力に比べて小さい値となった。

参考文献

- 1) 日本建築学会：補強組積造建築物の構造性能評価指針(案)・同解説、2009.3
- 2) 日本建築学会：壁式構造関係設計規準集・同解説(メーソングリ編)、1997.11
- 3) 日本建築学会：壁式構造関係設計規準・同解説、1989.11
- 4) 国土交通省住宅局建築指導課監修：既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断規準同解説、2001.10
- 5) ユニオンシステム株式会社：壁式鉄筋コンクリート造 一貫構造計算ソフトウェア「Super Build/WRC」
- 6) 日本建築学会：補強組積造建築物の構造性能評価指(案)・同解説、pp.60-61、2009.3
- 7) 国土交通省国土技術政策総合研究所、国立研究開発法人建築研究所監修：建築物の構造関係技術基準解説書 pp.667-668、2015.6

*1 山口大学工学部感性デザイン工学科 学部生

*2 山口大学大学院創成科学研究科講師 博士(工学)

*3 山口大学大学院創成科学研究科教授 博士(工学)

Student, Dept. of Perceptual Sciences and Design Eng., Faculty of Eng., Yamaguchi Univ.

Lecturer, Graduate School of Sciences and Technology for Innovation, Yamaguchi Univ. Dr. Eng.

Prof, Graduate School of Sciences and Technology for Innovation, Yamaguchi Univ. Dr. Eng.