

(69) 付帯柱と絶縁したプレキャスト壁の耐力評価方法

オリエンタル建設(株)プレキャスト・プロジェクト	正会員	○鎌田 裕康
同	上	正会員 木村 義男
同	上	正会員 小山内 裕
同	上	森山 毅子彦

1. はじめに

本研究はスリットで分離されたプレキャスト (PCa) 耐震壁 (図-1) を PCa 組立ラーメン構造に適用するために模型実験 (図-2) 及び技術検討により構造特性を把握し、耐力評価方法を提案するものである。開発の目的は以下の通りである。

- 1) 耐震壁のせん断破壊が柱のせん断破壊を誘発しない。
- 2) 靱性の高い耐震壁の実現。
- 3) 応力の流れが明解で精度の良い耐力評価方法を構築する。
- 4) 柱との接合を省略して現場施工性の向上を図る。

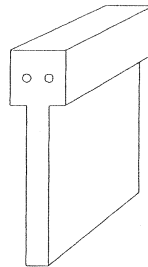


図-1 PCa 耐震壁部材

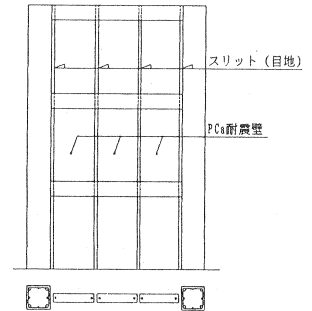


図-2 PCa 耐震壁モデル図

尚、本報告は以前に報告したもの^{1),2)}を修正、再検討したものである。

2. 耐震システムの耐力算定方法

分割された PCa 耐力壁と柱梁より成る耐震システムの耐力算定は以下による。

1) 仮定

本供試体の変形は転倒モーメントによる変形と層間変位による変形とに分離し、それらの変形に対して抵抗する耐力をそれぞれ転倒崩壊耐力、(図-3) 層崩壊耐力 (図-4) と称し、独立に設定する。

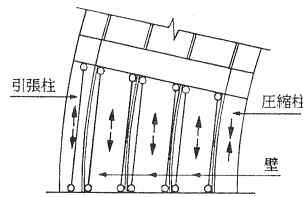


図-3 転倒抵抗機構モデル

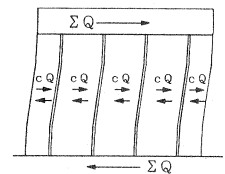


図-4 層せん断抵抗機構モデル

2) 崩壊形式の定義

転倒崩壊耐力とは転倒モーメントに対し、柱及び壁の鉛直方向鉄筋により抵抗し、すべての層において、圧縮側柱の上下端のうちどちらかが終局耐力に達しておらず、水平荷重により変形は増加するが水平荷重は増加しない状態での耐力とする。

層崩壊耐力とは特定の層において、すべての鉛直部材の両端が曲げ降伏するかまたはせん断耐力に達しており、水平荷重により変形は増加するが水平荷重は増加しない状態での耐力とする。

3) 転倒崩壊モデルの水平耐力

転倒モーメントに対する抵抗力は、圧縮柱の終局曲げ耐力、軸引張り力を受ける柱及び壁に配置された鉄筋の軸引張り力及び鉛直方向荷重によるものとする。圧縮応力は圧縮柱のみで負担し、引張り応力は引張り柱の主筋及び壁の両縁に配置された鉛直方向補強筋で負担する。コンクリートは引張り応力を負担しない。

a) 転倒モーメントに抵抗する力の算定

上下に連続した鉛直方向鉄筋の引張り力により次式により求める。鉄筋の応力度分布例を (図-5) に示す。

$$M_T = \sum (\sigma \cdot at \cdot x) \quad (x: \text{圧縮柱中心から鉄筋までの距離})$$

M_T を生ぜしめる水平力は次式で表され、このせん断力は圧縮側柱が負担する。

$${}_cQ_T = 1.4 \cdot M_T / h < {}_cQ_U \quad (h: \text{着目点から加力点までの距離 } {}_cQ_U: \text{柱のせん断耐力})$$

b) 圧縮側柱の圧縮合力は次式による。

$$C_c = N + \sum (\sigma_y \cdot at) \quad (N: \text{試験体の柱に作用する鉛直方向の荷重の和})$$

また、 C_c は次式を満足すること。

$$C_c / (b \cdot D) < F_c \quad (b, D \text{ は柱の幅およびせい})$$

c) 曲げ降伏先行の確認

壁筋の降伏点応力度から転倒モーメント M_T を受けたときの応力度を差し引いた余剰強度による各壁の耐力 ${}_wM_{RT}$ および、壁の ${}_wQ_{RT}$ を求める。次式により曲げ降伏先行を確認する。

$${}_wM_{RT} = 1.4 \cdot \sum {}_wM_{RT} / h < {}_wQ_U$$

d) 鉛直荷重による転倒に抵抗するモーメントの ${}_R M$ を次式により算定する。

$${}_R M = \text{鉛直荷重} \times \text{柱心間距離} / 2$$

4) 層崩壊型の水平耐力

a) 層せん断力は次の仮定条件により算定する。

- ① 保有水平耐力は着目層の鉛直方向部材上下端ヒンジ形成時の耐力の和とする。
- ② 長期鉛直荷重を考慮して壁版に生じる圧縮ストラットによる水平抵抗力を計算する。
- ③ 圧縮柱のせん断耐力の算定には転倒モーメントによる付加軸力を考慮する。

b) 転倒モーメントによる付加軸力のもとでの圧縮柱の耐力 ${}_cM_U$ 、 ${}_cQ_U$ を求める。

次式により曲げ降伏先行を確認する。

$${}_cQ_{MU} = 1.4 \cdot \sum {}_cM_{MU} / h < {}_cQ_U$$

c) 長期荷重を考慮した圧縮ストラット (図-6) による分割壁の水平抵抗力は次の仮定条件により算定する。

- ① ストラットは引張り抵抗力は無いものとする。
- ② ストラットは初期状態の圧縮力が開放されるまで抵抗するものとする。

d) ストラットの抵抗力は幅広の部材に回転変形が生じれば、対角線上に圧縮ストラットが形成され、トラス部材的挙動を示す。(図-7)

e) 軸力を考慮した圧縮ストラットによる転倒抵抗力 (図-8、9)

転倒抵抗力は次式により算定する。

$$Q_u = (dt/h \times \sigma \times wA) \times (n-1) + dt/h \times (\sigma_n \times at)$$

- dt: 圧縮縁から引張り鉄筋芯までの距離
- h: PCa 壁の高さ
- n: PCa 壁の枚数
- σ : 鉛直荷重による PCa 壁に力作用する圧縮力
- σ_n : 分割壁の圧縮側上端の曲げ鉄筋の余剰応力 σ_y から転倒モーメントにより生じる応力を差し引いた値
- wA: PCa 壁の断面積
- at: 鉄筋の断面積

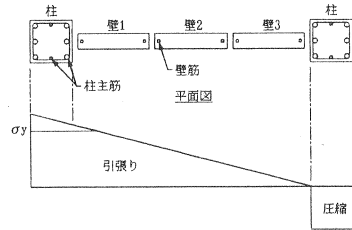


図-5 鉄筋の応力度分布

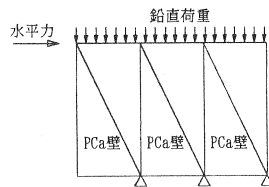


図-6 ストラット概念図

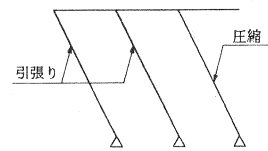


図-7 ストラットモデル図

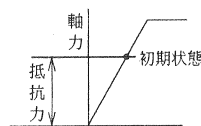


図-8 ストラット応力関係図

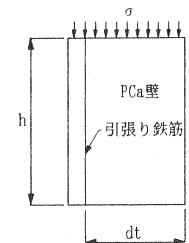


図-9 ストラットの転倒抵抗力

f) システムの安全性の検討

システムの水平耐力は転倒モーメントに対する耐力Mと層せん断力Qがセットになっており、M/Qは作用する外力の高さに等しい。(図-10) したがってシステムの応力が耐力に達した時のMとQの比は外力の作用高さによって値が異なる。システムの安全性の検討は次の手順で行う。まず仮定した応力分布を漸増させ、算定される転倒モーメントが、外力Mに一致する応力分布を決定する。その時の転倒モーメントが転倒抵抗力より小さくかつせん断耐力が外力より大きければシステムは崩壊しない。この時のM、Qが推定される試験体の応力であり、これを実験値(荷重の大きさと载荷点の高さ)と比較して算定方法の適合性を確認する。

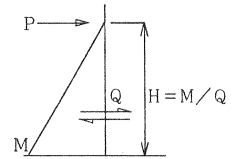


図-10 H=M/Q 関係図

3. 解析方法

柱と絶縁され水平方向に分割された壁版についての解析方法は次の通りである。

耐震壁を梁柱からなる3層の構造体としてモデル化した耐震壁システムを(図-11)に示す。これらのモデルは以下の仮定に従う。

- ・壁部材は弾性体とし、梁の断面中心から梁の上下端までをバネ置換し、曲げバネを壁の主筋の位置に、せん断バネを壁中心に配置する。それ以外は剛部材とする(図-12)。
- ・バネモデル K1,K3は非対称バイリニアモデルとし、(図-13)にその特性を示す。バネモデル K2,K4は対称バイリニアモデルとし、(図-14)にその特性を示す。
- ・モデル化するための材料特性は材料実験より得られた実強度を用いた。

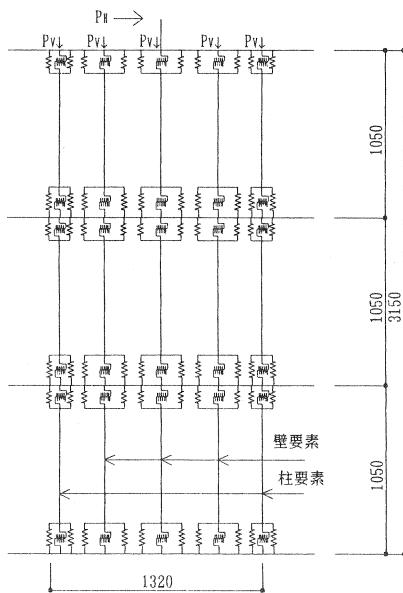


図-11 解析モデル

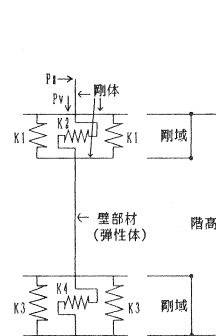
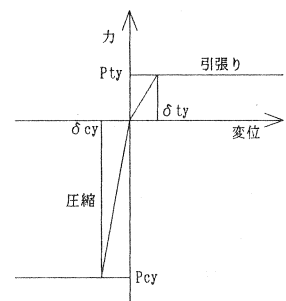
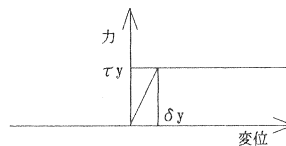


図-12 PCa 壁版単体の解析モデル



(バネ K1, K3の特性)

図-13 非対称バイリニアモデル



(バネ K2, K3の特性)

図-14 対称バイリニアモデル

4. 設計値、解析値、実験値の比較

解析は軸力を柱壁に均等応力度となるように載荷し、その後水平荷重を載荷したとき、1階壁の引張り側バネが上下端とも降伏した時の値を最大耐力と仮定した。

- 1) プレキャスト耐震壁と柱梁からなる3層の耐震壁システムを構築し、実験値と解析値の最大耐力を比較し、解析方法の適合性を検討する。(表-1)

表-1 実験値と解析値(実強度)の耐力の比較

試験体	軸力(N)	実験値(N)	解析値(N)	割合(実験値/解析値)
PW1	5.78E+05	3.36E+05	3.07E+05	1.09
PW2	5.74E+05	3.79E+05	3.45E+05	1.09
PW3	5.69E+05	3.96E+05	3.43E+05	1.15
PW5	4.88E+05	3.01E+05	2.70E+05	1.11

※軸力は実験より得られた値を用いた。

- ・実験値は解析値の109%~111%でよく適合している。

- 2) 本報告で示した設計手法を用いて、載荷実験を実施した試験体の最大水平耐力を計算により求め、これらを実験結果、解析結果と比較対照し、提案した耐力算定方法の適合性を検証した。(表-2、3)

表-2 実験値と設計値の耐力の比較

試験体	実験値(N)	設計値(N)	割合(実験値/設計値)
PW1	3.36E+05	2.99E+05	1.12
PW2	3.79E+05	3.40E+05	1.11
PW3	3.96E+05	3.60E+05	1.10
PW5	3.01E+05	2.90E+05	1.03

※軸力は実験より得られた値を用いた。

表-3 解析値と設計値の耐力の比較

試験体	解析値(N)	設計値(N)	割合(解析値/設計値)
PW1	3.07E+05	2.99E+05	1.02
PW2	3.45E+05	3.40E+05	1.01
PW3	3.43E+05	3.60E+05	0.95
PW5	2.70E+05	2.90E+05	0.93

※軸力は実験より得られた値を用いた。

- 1) 実験値は設計値の103%~112%でよく適合しており設計値よりも大きい。
- 2) 解析値は設計値の93%~102%で適合している。

試験体概要

- PW1 : PCa 耐震壁を分割せず付帯柱と絶縁してスパン内に配置したもの。
 PW2 : PCa 耐震壁を2分割し、付帯柱と絶縁してスパン内に配置したもの。
 PW3 : PCa 耐震壁を3分割し、付帯柱と絶縁してスパン内に配置したもの。
 PW5 : PCa 耐震壁を3分割し、付帯柱と絶縁してスパン内に配置したもの。(PW3の壁鉄筋の本数を減らしたもの)

5. まとめ

本報告で示した設計手法を用いて求めた最大水平耐力の設計値は、実験値、解析値とよく一致し、提案した耐力算定方法の適合性が確認された。これにより分割したPCa壁を組込んだラーメンの耐力を精度よく評価することができ、靱性の高い耐震壁の設計を行うことが可能になると考える。

謝辞

本研究は(社)建築研究振興協会に設置された「プレキャスト耐震壁の性能検討委員会(委員長:渡辺史夫、委員:岡本伸、勅使川原正臣、加藤博人、立花正彦、世良耕作、小幡学)」で行われたことを報告します。各委員には多くの助言を頂き、ここ感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 小山内裕、大島幸、木村義男、今井昌文:付帯柱と絶縁したプレキャスト壁版の耐震性に関する実験的研究、第4回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集 P135~138、1994年10月
- 2) 森山毅子彦、小山内裕、大島幸、木村義男:付帯柱と絶縁したプレキャスト壁版付きPCフレームの弾塑性解析、第5回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集 P245~250、1995年10月