

新設開口を伴う既存壁式プレキャスト鉄筋コンクリート構造耐震壁の性能評価
その3 耐震壁実験の数値解析モデル

正会員 ○高木次郎^{*1}
同 北山和宏^{*2}
同 見波 進^{*3}

WPC 構造 既存集合住宅ストック 接合部
数値解析モデル 静的増分解析 弾塑性ばね

1. はじめに

本報では、前報¹⁾までに示した壁式プレキャスト鉄筋コンクリート (WPC) 構造耐震壁実験を解析的に評価する目的で、静的弾塑性増分解析モデルを構築する。なお、本報は、著者らの論文²⁾の一部を加筆修正したものである。

2. 解析モデルの概要

無開口および無補強の2体の試験体 (W5 および N5S) について、図1のような2次元数値解析モデルを作成した。プレキャスト (PCa) 耐震壁板を上下辺を剛材とするI型弾性線材に置換し、接合部に弾塑性ばねを設けた。直交壁およびスタブについても弾性線材とし、剛域に相当する部分に剛材を用いた。N5Sの新設開口上部の壁板については、梁として機能するには耐力が低いことからモデル化していない。コンクリート断面のヤング係数は、実験時の材料強度³⁾に応じて算出⁴⁾している。

PCa 板の接合部には、弾塑性ばねを設けた (図1)。壁板を弾性線材に置換した本解析モデルでは、接合部の弾塑性ばねの復元力特性が全体挙動に与える影響が相対的に大きくなり、これらのばね特性を評価することが本論の目的の主軸になるが、著者らが実施した耐震壁実験³⁾だけでは、全てのばねを評価するために十分な定量的な情報が得られているとは言えない。そこで、必要に応じて耐震壁実験における水平荷重-変位関係との整合性が得られるように、特に最大水平耐力と崩壊形が一致することを意識して、ばね特性を調整する (本論ではこれを「キャリブレーション」と称す)。これによって、今後、より詳細な接合部特性の評価を行う際の基礎資料を提供すると共に、耐震壁実験の挙動を概ね評価できる解析モデルの一例を示す。

3. 接合部弾塑性ばねの概要

図1の接合部ばねの概要を表1に整理する。各ばねは、常に全体座標系における接続節点間の水平および鉛直方向の相対変位に対して復元力特性を設定しており、ばねとしての部材座標系は定義していない。また、いずれのばねも回転に対する剛性は有していない。

SB ばねは、水平接合部 (セッティング・ベース: SB) 位置にあり、後述の接合部要素実験結果を参考に引張方向の復元力特性を設定した。水平方向については、上下壁板間の水平方向のずれ変形を評価するための完全弾塑性ばねとし、その耐力は文献^{5,6)}と実験結果との比較から設定した²⁾。CR ばねの特性については後述する。GP ばね

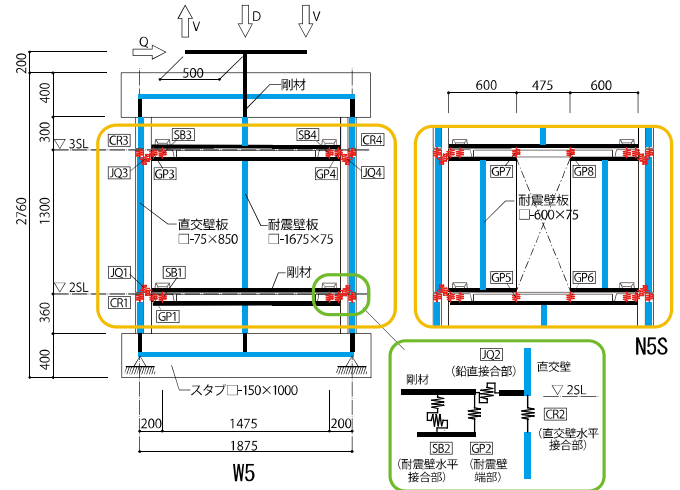


図1 解析モデルの概要

表1 接合部ばねの概要

名称	方向	設定
SB	水平	上下の耐震壁間の水平方向のずれ変形に対して、初期剛性の大きい完全弾塑性ばねとした。水平力によって生じる変動軸力については考慮せず、文献5,6)と実験結果との比較から耐力を決定した。
	鉛直	引張方向については、要素実験と耐震壁実験とのキャリブレーションから復元力特性を設定した。圧縮方向については、弾性高剛性とした。
CR	水平	剛性なし (自由)
	鉛直	引張方向について、鉛直接合筋の寄与分を完全弾塑性ばねとし、鉛直接合筋とSBの復元力特性との和でCRの復元力特性を定義した。圧縮方向については弾性高剛性とした。
GP	水平	剛性なし (自由)
	鉛直	圧縮方向にのみ弾性高剛性とした。
JQ	水平	弾性高剛性
	鉛直	鉛直接合部の耐震壁と直交壁とのずれ挙動を評価するためのばねを設けた。トリリニア型の復元力特性とし、降伏耐力を最大耐力の1/3とした。最大耐力は既往研究 ⁷⁾ に準じて算出した。最大耐力を与える変位も同文献に準じて1mmとした。

は、開口脇の上下壁間に設置し、圧縮方向のみ弾性高剛性とした。JQ ばねは、耐震壁と直交壁の鉛直方向のずれに対するばねであり、既往研究⁷⁾を参考に耐力を算出し、トリリニア型の復元力特性とした。その他のばねの設定の詳細については著者らの論文²⁾を参照いただきたい。

4. 水平接合部ばねの鉛直引張方向の復元力特性

W5 および N5S の実験では、SB の鉛直引張方向の破断が支配的な崩壊形となったことから³⁾、SB の性能評価が重要と考え、1/2 スケールの要素実験を行った。耐震壁実験で使用したものと同形のSBを周辺のPCa耐震壁板も含めて作成した (図2)。製作上の理由から、あらかじめ溶接して一体化しておいたSB金物を上下階の接合部周辺のPCa壁板に埋め込んで一度にコンクリートを打設した。従って、上下階のPCa耐震壁板間にモルタルは充填されて

おらず、代替的に同位置に 6mm 厚の鋼板を挿入し、上下階の PCa 板間のコンクリート部分による引張力の伝達が極力小さくなるよう配慮した。コンクリートの圧縮強度は 52N/mm²、接続筋は D10 (SD295)、鋼板は PL-4.5 (SM490) である。鉄筋の降伏強度は 362N/mm²、引張強度は 502N/mm² であり、鋼板の降伏強度は 329N/mm²、引張強度は 492N/mm² であった。

単純に引張力を载荷した試験体(TS)と、引張力と圧縮力を交互に加えた試験体(TC)の実験結果を図 3 に示す。最大耐力は約 60kN (TS) と 50kN(TC)で、鉛直変位 8mm 程度で溶接部が破断した。両試験体接合部の溶接量を実験後に比較したところ TC は TS の 75%程度となっており、この差が両者の最大耐力の差に影響したと考えられる。

SB ばねの鉛直引張方向の復元力特性は、負剛性を含むトリリニアとした。第 1 折点が溶接部の部分的な破断あるいは接続筋の降伏に対応し、最大耐力を与える第 2 折点が溶接部あるいは接続筋の破断に対応する。解析上は、それぞれの折点に到達した時点で、接合部が降伏および破断したと判断した。実験と予備解析との水平変位と耐力の関係と比較すると、解析における最大水平耐力値が実験を上回ったことから、SB の引張耐力を低減させる形でキャリブレーションを行い、図 3 のように SB ばねの復元力特性を設定した。CR ばねでは、直交壁 1 枚につき各床レベルで 2 箇所存在する SB と鉛直接合筋を考慮している。CR ばね中の SB 寄与分も SB ばね同様の引張特性として図 3 のように鉛直接合筋の寄与分(鉄筋の降伏強度を有する完全弾塑性モデル)との和として定義した。キャリブレーションにより設定した SB ばねの引張耐力が要素実験値よりも低くなった要因として、例えば、耐震壁内および直交壁内の SB が、面内および面外水平方向にも力を受けていたことなどが考えられる。

5. 解析結果

耐震壁実験³⁾と同様に、長期荷重に相当する鉛直荷重(図 1 中の D)を载荷後、せん断スパン比を 1.85 として地震荷重(同図中の Q と V)を载荷した。変位制御の増分解析を汎用ソフト⁸⁾を用いて実施した結果を図 4 に示す。SB と CR ばねの引張耐力をキャリブレーションにより調整していることから、実験と解析の最大水平耐力値はほぼ一致している。また、W5 においては 2 階の SB のみが降伏

しているのに対し、N5S においては耐震壁および直交壁の 2 階 SB の降伏が先行するものの最終的には 3 階 SB の破断によって最大耐力に至った崩壊形も評価できている。なお、図中 SB ばねについては全て鉛直方向の挙動を示す。

6. まとめ

WPC 構造建物の耐震性能評価に向けて、1/2 スケールの WPC 耐震壁の実験結果を参考に、弾塑性数値解析モデルを作成した。モデルでは、PCa 耐震壁板を弾性線材に置換し、接合部を弾塑性ばねとした。ばね特性の評価にあたり、キャリブレーションにより解析結果と耐震壁実験の水平荷重-変位関係との整合性が得られるように調整した。ここでのキャリブレーションについては、その物理的な意味を必ずしも説明できていないが、最大水平耐力と崩壊形を評価できる解析モデルの一例を示すことができた。

開口無試験体 (W5) および開口有補強無試験体 (N5S) では、転倒モーメントによる曲げ破壊が支配的な崩壊形であったことから、上下階の壁板を連結する水平接合部 (SB) の鉛直引張方向の性能が壁全体の挙動に与える影響が大きいと考え、SB 近傍の上下階壁を抽出した 1/2 スケールの要素実験を行った。これらの要素実験の結果を参考に、SB の鉛直引張方向の弾塑性ばねを設定した。さらに、耐震壁実験とのキャリブレーションにより SB の最大引張耐力を調整したところ、同一の SB ばね特性を用いて、W5 と N5S の耐震壁実験の挙動を概ね評価できた。

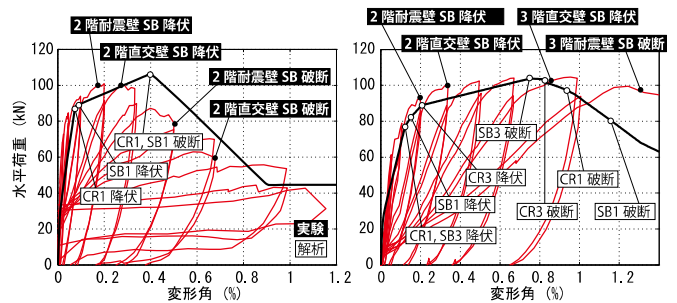


図 4 実験結果と解析の比較

参考文献

- 1) 長谷川俊一他：新設開口を伴う既存壁式プレキャスト鉄筋コンクリート構造耐震壁の性能評価 その1-2，日本建築学会大会学術講演梗概集（関東），2011
- 2) 高木次郎，北山和宏，見波 進：新設開口補強を伴う既存壁式プレキャスト鉄筋コンクリート構造耐震壁の数値解析モデル，日本建築学会構造系論文集，第 663 号，pp1015-1024，2011.
- 3) 和田芳宏，見波進，北山和宏，高木次郎：既存壁式プレキャスト鉄筋コンクリート構造耐震壁における新設開口補強効果の実験的研究，コンクリート工学会年次報告集 Vol. 32, No. 2, pp1075-1080, 2010.
- 4) 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算基準・同解説，2010
- 5) 日本建築防災協会：既存壁式プレキャスト鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断指針，第 2 版 3 刷，2008
- 6) 日本建築学会：壁式プレキャスト鉄筋コンクリート造設計標準・同解説，1984
- 7) 中野克彦，松崎育弘：プレキャスト RC 部材接合面におけるせん断抵抗要素の耐力累加方法，日本建築学会構造系論文集第 550 号，pp151-158, 2001
- 8) Midas GEN Ver. 761, MIDAS Information Technology Co., LTD.

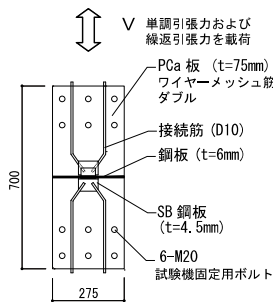


図 2 SB 実験の試験体概要

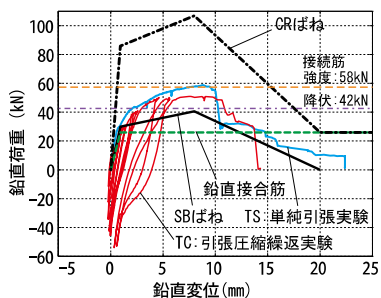


図 3 SB 実験結果とばねモデル

*1 首都大学東京都市環境学部建築都市コース 准教授・Ph.D.
 *2 首都大学東京都市環境学部建築都市コース 教授・工博
 *3 首都大学東京都市環境学部建築都市コース 助教・博士(工学)

*1 Associate Prof., Div. of Architecture and Urban Studies, Tokyo Metropolitan Univ., Ph.D.
 *2 Prof., Div. of Architecture and Urban Studies, Tokyo Metropolitan Univ., Dr.Eng.
 *3 Assistant Prof., Div. of Architecture and Urban Studies, Tokyo Metropolitan Univ., Dr.Eng.