

論文 方立て壁型二次壁を組み込んだ梁降伏型骨組の損傷に関する考察

中山 治美*1・大久保 全陸*2

要旨：方立て壁型二次壁が付加した梁降伏型 RC 骨組の実験から得られたひび割れ長さをもとに、梁と方立て壁のひび割れ損傷を、壁の破壊形式、取り付け位置、スリットの有無から考察した。その結果、梁と壁の損傷は壁の破壊形式により違いが観られ、方立て壁の損傷は、せん断破壊型の場合は隅角部圧壊型の場合より大きくなり、一方、梁については、壁が隅角部圧壊型の場合、方立て壁に発達する斜め圧縮ストラットの梁への影響が高まり、壁がせん断破壊型の場合より損傷は大きくなること、また、同じ破壊形式でもスパン中央に設置されたものほど壁の損傷は大きくなることを示した。

キーワード：損傷，二次壁，梁降伏型骨組

1. はじめに

鉄筋コンクリート造建物における耐震設計上の二次壁の取り扱いに関しては、1981年の基準法改正以降は、1968年十勝沖地震の被害教訓を踏まえ、「構造部材に悪影響を及ぼさないように、二次壁の先行破壊を許容する」という考え方があった。

1995年阪神・淡路大震災の被害では、この考え方を反映するような「二次壁の損傷は大きい、構造部材の損傷は軽微である」という被害形態が1981年の新耐震基準法施行以降の建物に多く観察された。これは、構造設計者の是認するところであったが、建物所有者や使用者側においてはその後の使用性や補修費といった観点から大きな問題となった。

阪神・淡路大震災後、建築設計も性能規定型設計法へ移行することとなり、そのガイドラインも示されているが、未だ「性能」を力学的観点だけからみているところが多く、損傷に関する研究が少ないこともあり、性能に損傷も含めたものとなっていないのが現状である。特に、二次壁の形状は様々であるためその損傷形態も

多様であり、二次壁や二次壁が組み込まれた骨組についての損傷に関する研究は少なく、資料の蓄積が必要であると考えられる。

そこで、本論文では、以前行った方立て壁型二次壁付き骨組の実験¹⁾で得られたひび割れデータを元に、特にひび割れ長さについて損傷という観点から検討する。

2. ひび割れ損傷に関する視点

ひび割れを損傷という観点から性能評価の基準とする場合には、[1]補修費、[2]雨漏り等の漏水、[3]美観、[4]安全性に対する不安感等の心理的要因、等の建物ユーザ側からの視点が考えられ、それらの大小、強弱等には、ひび割れの本数、長さ、幅、等の数量化可能なデータに基づいて、統計的に捉える必要があると思われる。

志賀らは、耐震壁について、上記のひび割れ量と経験変形量との関係を定量的に把握し、ひび割れ面積率（ひび割れ幅の平均値と全ひび割れ長さの積を壁の見付面積で除した値）を用いると最大経験変形を推定することが可能であると考えられるとした。^{2)・3)}

*1 九州芸術工科大学大学院 芸術工学研究科生活環境専攻 (正会員)

*2 九州芸術工科大学教授 芸術工学部環境設計学科 工博 (正会員)

しかし、二次壁は耐震壁と違いその損傷形態も多様であり、志賀らの研究をそのまま当てはめることは困難である。また、ひび割れ幅については、実験でもすべての個所について測定することもできず、本数については、どこからどこまでを1本のひび割れとして捉えるかが極めてあいまいとなることも多い。一方、ひび割れの長さについては、ひび割れ図があればコンピュータによって数量化は容易である。

以上のことから、本論文では、文献1)で発表した二次壁付き試験体の実験で観察したひび割れ長さを数量化し、その結果を壁の破壊形式、方立て壁の取り付け位置、袖壁の鉛直完全スリットの有無、経験変形角等の観点から整理することとした。

3. 実験概要

検討の対象とした試験体の種類を表-1に示す。試験体は、実物の約1/3~1/4程度の壁付き骨組4体(図-1参照)、壁無し骨組2体の計6体である。方立て壁型二次壁の位置と枚数をパラメータとし、壁の形状はすべて同じで、壁無しのO-FRAMEは梁降伏型に設計されている。

実験で観察された、層間変形角 $R=0.25\%$ 、 0.5% 、 1% 、 2% の正負1サイクル終了時のひび割れ性状および梁主筋降伏位置を示す。なお、

表-1 試験体一覧

シリーズ	試験体	壁の位置	壁枚数
I, II	O	—	—
I	1W	スパン中央	1
	2WS	柱際(鉛直完全スリット付)	2
II	3W	スパン中央, 柱際	3
	SW	柱際(袖壁)	4

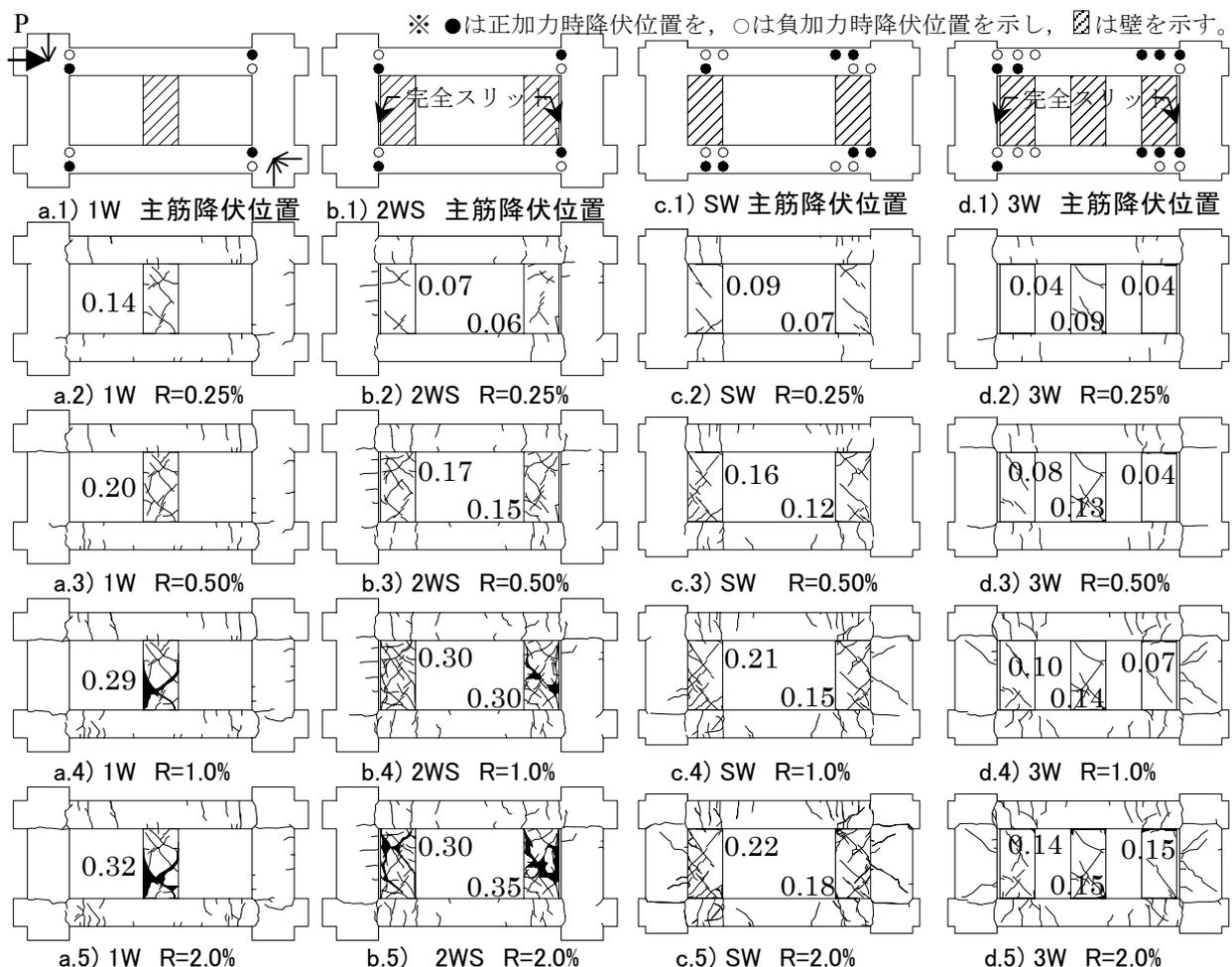


図-1 ひび割れ性状と主筋降伏位置

図中の壁の横に示した数値は、後述する壁のひび割れ損傷指標値である。

すべての試験体において、約 $R=0.7\sim 1.0\%$ の変形で梁の主筋が引張降伏し骨組のメカニズムが形成された。梁の曲げ降伏位置は、1W-FRAME（以下、1W）と2WS-FRAME（以下、2WS）はO-FRAMEと同様、梁端危険断面位置であった。3W-FRAME（以下、3W）と袖壁型のSW-FRAME（以下、SW）では、曲げ降伏位置は梁端からスパン中央側へ移動し、広がりが見られた。壁の破壊形状は、1Wと2WSがせん断破壊、3WとSWは圧壊となった。なお、実験方法、結果についての詳細は文献1）を参照されたい。

4. ひび割れ長さ測定方法

梁と壁について、震後の状態を想定して各変形レベルにおける正負1サイクル終了時に発生していたひび割れを対象とすることとした。

ひび割れ長さの測定は、実験中に目視により観察したひび割れ図に基づいて数量化した。コンクリートの剥落部分の取り扱いについては、その部分の周長や面積の平方根の値をひび割れ長さとしみなす方法についても検討したが、剥落部分が大きくなると、この方法では過小評価となり、ひび割れ長さの総和にうまく反映させることができなかつた。そこで、今回は剥落部分については、長さとし面積とは次元は異なるが、無数のひび割れが集中しているものと考え、その面積の値を剥落部分に生じているひび割れの長さの値と考えることとした。この取り扱いについては、今後さらに検討が必要である。なお、剥落開始サイクルは図-1を参照されたい。

梁については、生じたひび割れの長さの総和 L_B をその見付面積 A_B で除した値 L_B/A_B を、壁については、ひび割れ長さの総和 L_W を壁の見付面積 A_W で除した値 L_W/A_W をそれぞれひび割れ損傷指標として扱うこととした。

図-1に示した L_W/A_W と壁の損傷状態、実験中の状況から判断すると、1Wと2Wの壁でせ

ん断破壊が観られたときの L_W/A_W は約0.3であり、SWと3Wの壁で隅角部圧壊が観られたのは、SWで約0.18、3Wで約0.15であった。

なお、以降の本文中と図中の凡例で用いる記号LW, CW, RWは、ひび割れ観測面に向かってそれぞれ左柱際、スパン中央、右柱際の壁を示す。

5. 損傷指標に関する考察

5.1 壁の破壊形式の違い

ここでは、方立て壁型二次壁の破壊形式による違いについて考察する。

(1) 壁のひび割れ損傷指標

図-2はスパン中央に、図-3は柱際にそれぞれ設置された方立て壁のひび割れ損傷指標 L_W/A_W と層間変形角 R の関係を示したものである。各図にせん断破壊型と隅角部圧壊型の破壊形式の異なるものがある。

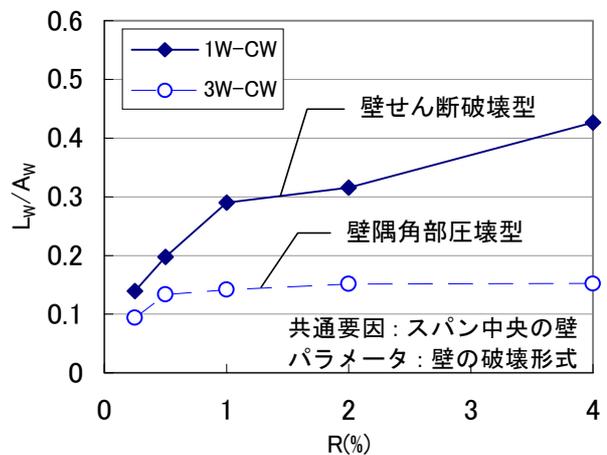


図-2 壁のひび割れ損傷指標の推移

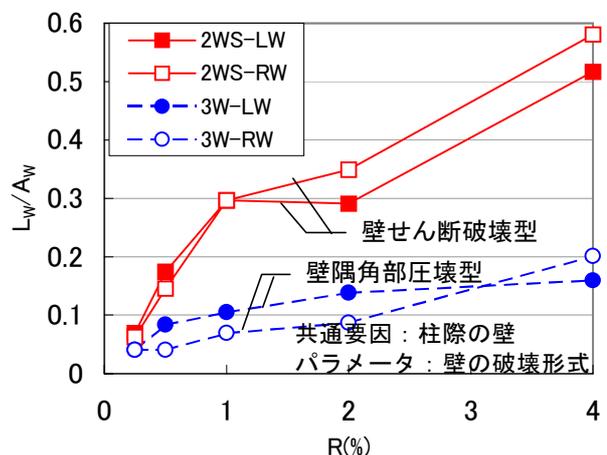


図-3 壁のひび割れ損傷指標の推移

壁の設置位置にかかわらず、せん断破壊型の方立て壁の L_w/A_w は、隅角部圧壊型のものより大きな値を示しており、 $R=0.5\%$ 以降その差は顕著になっている。

(2) 梁のひび割れ損傷指標

図-4に梁のひび割れ損傷指標 L_B/A_B と層間変形角 R との関係を示す。すべての試験体において、梁が降伏する約 $R=1.0\%$ サイクルまでは、ひび割れ長さは増加し、その後の長さの増加量はあまり変わらない性状を示している。

(3) 壁の損傷と梁への影響

それぞれの壁付き試験体の梁のひび割れ損傷指標 L_B/A_B を対応するシリーズの O-FRAME のそれで除したものを壁の存在による梁への影響量として算出した。この値が1に近いほど、壁付き骨組の梁のひび割れ損傷指標が O-FRAME のそれに近い、つまり壁の存在による影響が少ないと考えることができる。

この壁による梁への影響量を縦軸に、壁の L_w/A_w を横軸にとったものを図-5に示す。

壁がせん断破壊型のもの、壁による梁への影響量が1近傍において横に広がっており、壁の損傷が大きくなっても梁への影響はほとんど観られないことがわかる。これに対し、壁が隅角部圧壊型のもの、右斜め上がりに広がっており、壁の損傷が大きくなるとともに梁への影響量も大きくなっていることがわかる。

また、この影響量と R との関係を図-6に示す。壁がせん断破壊した 1W と 2WS は、変形にかかわらず影響量は1に近い値を示している。これに対し、壁の隅角部が圧壊した 3W と SW のそれは 1.2 以上の値で、変形の増加とともにこの影響量は大きくなり、梁が降伏する約 $R=1.0\%$ サイクルでピークとなっている。その値は SW で約 1.8、3W で約 1.6 であった。

以上から、梁のひび割れ損傷指標は、壁の破壊形式による影響を大きく受けており、せん断破壊型の方立て壁付き骨組より、隅角部圧壊型の壁付き骨組の方が梁のひび割れ損傷指標は大きくなることを示している。

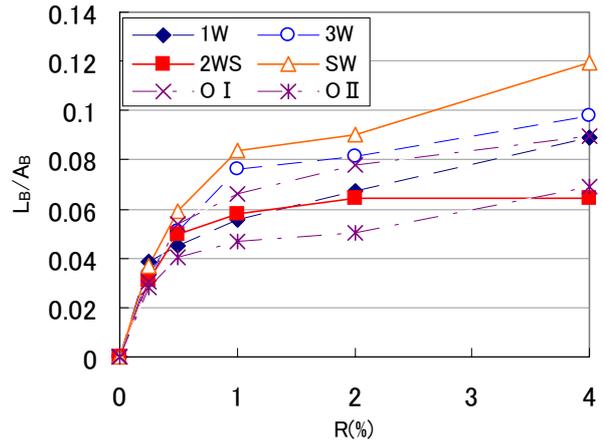


図-4 梁のひび割れ損傷指標の推移

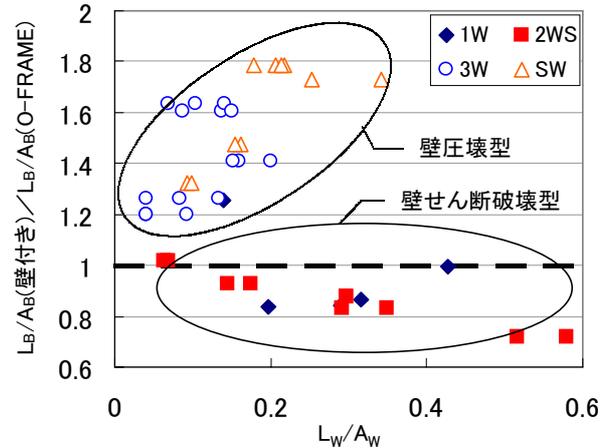


図-5 壁と梁の損傷量の関係

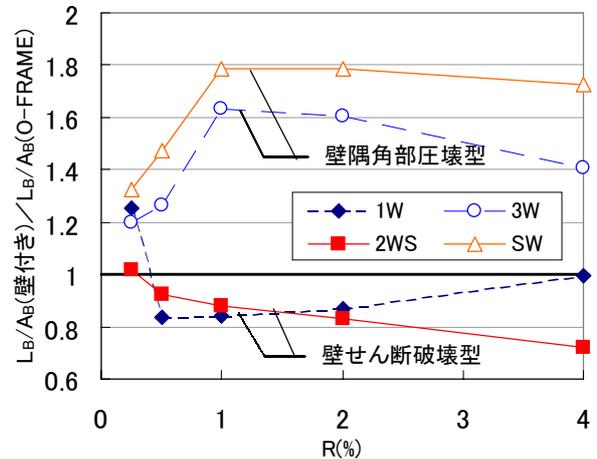


図-6 壁による梁への影響量の推移

5.2 方立て壁の位置の違い

ここでは、方立て壁の位置の違いによる壁のひび割れ損傷指標について考察する。壁の L_w/A_w と R との関係は壁の破壊形式ごとに図-7、図-8に示す。

図-7に示すせん断破壊型の場合には、各壁の L_w/A_w と R の関係は、1W-CW と 2WS-RW は $R=1.0\%$ 、2WS-LW は $R=2.0\%$ まで直線的に増加

し、その後は緩やかな勾配となっている。折れ点となっているRは、せん断破壊に伴うコンクリートの剥落が激化したサイクルと一致する。壁がせん断破壊するまでの L_w/A_w は、スパン中央にある 1W-CW は柱際にある 2WS-LW, 2WS-RW より大きく、小変形域においてその傾向は顕著で、 $R=0.25\%$ では約 2 倍となっている。

図-8 に示す隅角部圧壊型の場合には、壁の位置による損傷性状の違いは顕著で、 $R<1\%$ ではスパン中央の壁の L_w/A_w は柱際の壁のそれより約 1.4~2 倍の値を示している。 L_w/A_w は最終的にコンクリートの剥落量で決定しており、 $R=4\%$ において剥落が比較的少なかった CW と LW は、位置に関係なくほぼ同値となっているが、剥落が大きかった RW は他と逆転している。

5.3 柱際の鉛直完全スリットの有無

ここでは、袖壁型骨組の柱際鉛直完全スリットの有無の影響について考察する。

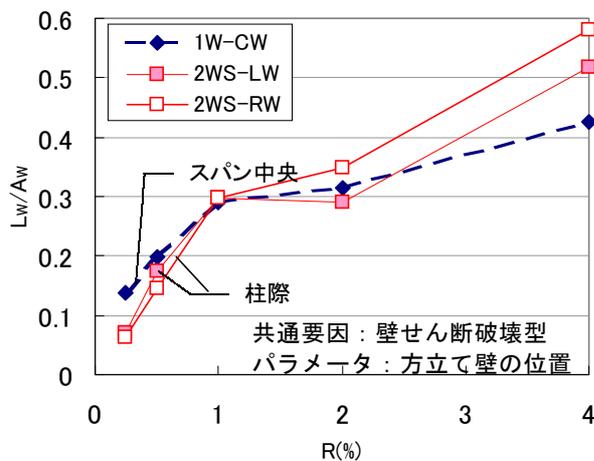


図-7 壁のひび割れ損傷指標の推移

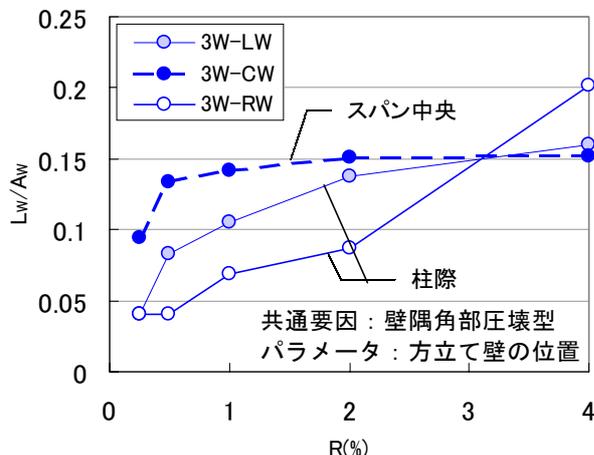


図-8 壁のひび割れ損傷指標の推移

(1) 壁のひび割れ損傷指標

図-9 に各サイクルの各壁の L_w/A_w と R との関係を示す。各壁の L_w/A_w は $R=0.5\%$ までほぼ同値を示し、鉛直完全スリットの有無による影響は観られないが、 $R=1.0\%$ 以降ではその差が顕著になり、完全スリットを設置した 2WS では、壁の破壊が進行し、 L_w/A_w は SW のそれの約 1.5~2 倍の値となった。

この違いは、2WS がせん断破壊であったのに対し SW は隅角部圧壊であり、スリットの有無が壁の破壊形式の違いとなって表れ、ひび割れ損傷指標 L_w/A_w の違いとなって表れたものである。

(2) 梁のひび割れ損傷指標

前述の場合と同様に壁の梁への影響量（壁付き試験体の梁の L_B/A_B の O-FRAME のそれに対する比）と R との関係を図-10 に示す。スリットを設けた 2WS の梁への影響量は 1 に近い

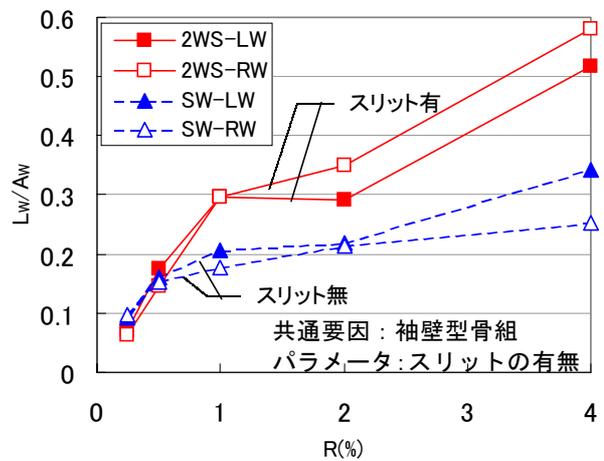


図-9 壁のひび割れ損傷指標の推移

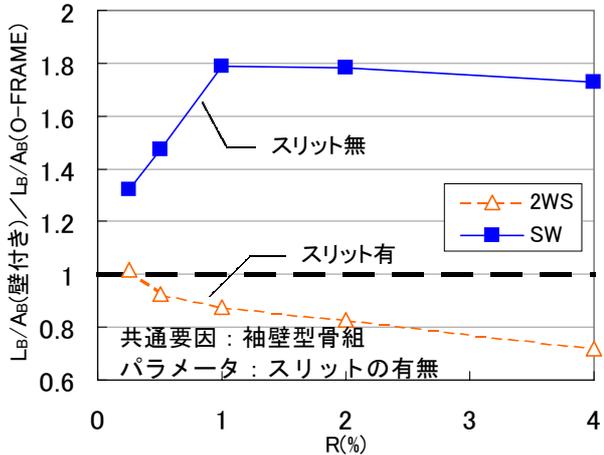


図-10 壁による梁への影響量

値を示しているのに対し、スリット無し SW のそれは 1.2~1.8 となっている。

前述したように、梁のひび割れ損傷指標は、壁の破壊形式の影響を大きく受けており、スリット無し袖壁付き骨組では、壁の破壊形式が隅角部圧壊型であるため、梁に大きな影響を及ぼす結果となったものと考えられる。

6. 壁のひび割れ損傷指標と負担せん断力

文献1)において、実験による水平力 (P) は、ヒンジ機構による負担せん断力 (Q_F) と壁の負担せん断力 (Q_W) の和であると考え、式(1)によって各試験体の方立て壁全体の負担せん断力 (Q_W) を算出し、 Q_W を壁の枚数で除したものを各壁一枚当たりの負担せん断力 ($Q_W/1$) とした。

$$Q_W = P_w - P_o \quad (1)$$

この $Q_W/1$ から算出した各壁の各サイクルピーク時の平均せん断応力度 (τ_w) と壁のひび割れ損傷指標 (L_w/A_w) との関係を図-11に示す。なお、鉛直完全スリットを設けていない袖壁型の SW は柱と壁が一体となってヒンジ機構を形成しており、SW 試験体の Q_W を式(1)で表すことには厳密さに欠けるが、ここでは壁の付加による影響量として捉えることとした。

壁の負担力とひび割れ損傷指標は、負担力がピークとなるまでは、ほぼ比例しているが、負担せん断力が減少過程になって、入力せん断力が低下しても二次壁の損傷は骨組からの強制変形によって増加する性状が表れている。

7. まとめ

方立て壁型二次壁付き骨組の実験から得られたひび割れを基に、梁と壁の損傷について検討した。結果を以下にまとめる。

- (1) 方立て壁の損傷 (ひび割れ総長さ) は、壁の破壊形式によって決まり、せん断破壊型の壁の損傷は隅角部圧壊型の場合より大きい。
- (2) 方立て壁付き骨組の梁の損傷 (ひび割れ長

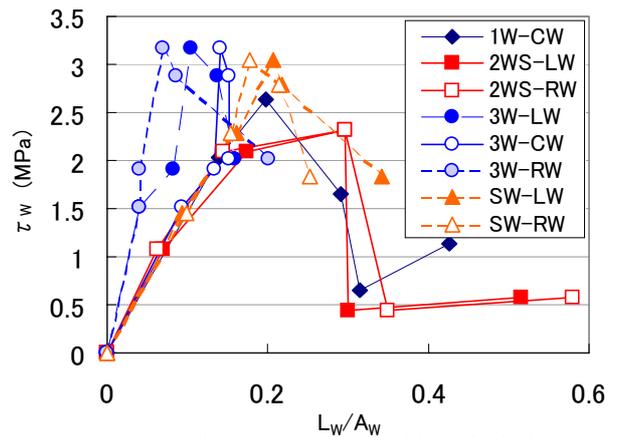


図-11 壁の負担力とひび割れ損傷指標

さ) は、方立て壁の破壊形式の違いの影響を受け、方立て壁が隅角部圧壊型の場合には、せん断破壊型の場合より方立て壁に発達する斜め圧縮ストラットの梁への影響が高まり、梁の損傷は大きくなる。

- (3) 方立て壁の損傷は、その存在位置の影響を受け、同一変形レベルにおいて、スパン中央にあるものは柱際にあるものより大きくなっている。
- (4) 袖壁付き骨組において、鉛直完全スリットの有無は、壁の破壊形式に影響を及ぼすとともに、壁と梁の損傷にも影響を及ぼし、スリットを設けると壁の損傷を大きく、スリットを設けないと梁の損傷を大きくする結果となった。

参考文献

- 1) 中山治美, 大久保全陸: 梁降伏型RC造骨組に組み込まれた方立て壁型二次壁の強度破壊性状, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.23, No.3, pp.1111-1116, 2001.7
- 2) 志賀敏男ほか: 鉄筋コンクリート造連層耐震壁の変形履歴とひび割れ量, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1853-1854, 1984.10
- 3) 志賀敏男ほか: 鉄筋コンクリート造連層耐震壁のひび割れ指標に基づく震害度評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.2963-2964, 1986.8