

機関番号：12608

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2008～2010

課題番号：20686037

研究課題名(和文) 鉄筋コンクリート部材の曲げ降伏前における履歴性状と減衰のメカニズム

研究課題名(英文) Hysteresis and damping mechanism of reinforced concrete member before flexural yielding

研究代表者

日比野 陽 (HIBINO YO)

東京工業大学・応用セラミックス研究所・助教

研究者番号：50456703

研究成果の概要(和文)：

本研究では曲げ降伏がせん断破壊に先行する鉄筋コンクリート部材の降伏に至るまでの履歴性状と減衰のメカニズムを明らかにすることを目的とし、鉄筋コンクリート梁部材載荷実験を行った。実験結果より、曲げ降伏前後における履歴減衰の発生の原因として、付着の劣化が大きく影響することを明らかにした。また、付着力の余裕度によって履歴曲線が異なり、余裕度が大きいほど等価減衰定数も大きいことが分かった。

研究成果の概要(英文)：

Cyclic loading tests of reinforced concrete member fails in flexural yielding were conducted to study hysteresis and mechanism of damping. The experimental test results showed that hysteresis damping between before flexural yielding and after was greatly affected by deterioration of bond between steel rebar and concrete. Equivalent damping factor obtained from the test result was increased as the margin of ultimate bond strength between steel rebar and concrete to design bond strength was increased.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,900,000	570,000	2,470,000
2010年度	3,100,000	930,000	4,030,000
2011年度	2,500,000	750,000	3,250,000
年度			
年度			
総計	7,500,000	2,250,000	9,750,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学・建築構造・材料

キーワード：鉄筋コンクリート構造, 履歴減衰, 付着, 曲げ降伏,

1. 研究開始当初の背景

(1) 建築構造設計において動的解析に用いられる履歴減衰は建物の動的応答を推定する上で、重要なパラメータである。靱性能の確保が比較的困難な鉄筋コンクリート造建物の場合には、大きな塑性化を許容しない設計が一般的である。また、応答解析が耐震設計に重要な位置を占め大きな塑性化を許容しない高層の建物の場合や免震建物の上部構造の性能において、構造部材の曲げ降伏に

至るまでの履歴減衰が構造性能評価に大きく関わる。しかしながら、既往の研究では曲げ降伏前の履歴性状は深く言及されていない。

(2) 地震応答解析等で一般的に用いられる鉄筋コンクリート部材の復元力特性には、繰返し載荷に伴う耐力の低下など考慮されておらず、骨格曲線が降伏強度や降伏時剛性によって一義的に決まってしまうなど、実際

の部材の変形が必ずしも再現されているとは言えない。それにより履歴減衰は大きく変わってくる可能性がある。

2. 研究の目的

(1) 本研究では付着特性が履歴性状に影響を及ぼすと考え、曲げ降伏がせん断破壊に先行する鉄筋コンクリート部材の繰り返し載荷実験を行い、曲げ降伏前において、付着特性が履歴性状に及ぼす影響を実験的に明らかにすることを目的とした。

(2) 本研究では、履歴減衰が付着力の余裕度によって異なると考え、曲げ降伏がせん断破壊に先行する鉄筋コンクリート部材の繰り返し載荷実験を行い、曲げ降伏前後の付着劣化に伴う履歴減衰の変化について考察し、付着力の余裕度が履歴減衰に及ぼす影響について明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 地震応答時のエネルギー吸収を主に担う梁部材を対象に、ひび割れ後から曲げ降伏までの履歴性状を調べるための実験を行った。鉄筋コンクリート梁試験体は全部で3体とし、いずれも曲げ降伏先行型とした。試験体断面寸法は、 $b \times D = 200 \times 350\text{mm}$ 、長さ $l = 1200\text{mm}$ である。曲げ降伏前に履歴に影響すると考えられる付着特性の違いを見るために、実験パラメータは、主筋径 (D13, D19) とコンクリート強度 (18MPa, 27MPa) とした。また、履歴曲線から載荷装置の減衰特性を排除するため、3体の鉄骨試験体を作製した。鉄骨の剛性は、鉄筋コンクリート梁試験体の曲げひび割れ前、曲げひび割れ後、(曲げひび割れ強度と曲げ降伏強度を平均した強度での剛性)、曲げ降伏時の3種の剛性を想定したものをを用いた。

加力方法は、逆対称形式の正負交番繰り返し載荷とした。水平ジャッキの押し側を正、引き側を負とした。加力は水平変形角 (= 水平変位/長さ 1) による制御とし、剛性の比較を詳細に行うため、所定のサイクル (1/12000, 1/1600, 1/800, 1/400, 1/200, 1/150, 1/100) を複数回繰り返した。

(2) せん断スパン比 $M/QD = 1.9$ とする曲げ破壊先行型の鉄筋コンクリート梁試験体を5体作製した。試験体断面は $250\text{mm} \times 350\text{mm}$ とし、パラメータには日本建築学会の「靱性保証型耐震設計指針・同解説」における付着信頼強度 τ_{bu} を設計用付着応力度 τ_f で除した τ_{bu}/τ_f を用いた。配筋は、鉄筋比は同じで、主筋径と本数と強度が異なる3種類の断面を設定した。また、コンクリート強度は2種類 (25MPa, 50MPa) を目標とした。

加力方法は、逆対称形式の正負交番繰り返し

し載荷で水平変形角により制御し、剛性の比較を詳細に行うために所定のサイクル ($\pm 1/12000$, $\pm 1/1600$, $\pm 1/800$, $\pm 1/400$, $\pm 1/300$, $\pm 1/200$, $\pm 1/150$, $\pm 1/100$, $\pm 1/50$) をそれぞれ3回繰り返した。

4. 研究成果

(1) 鉄骨試験体の履歴曲線は完全な直線とはならずループが描かれ、等価減衰定数 $heq = 2.0 \sim 3.0\%$ となる履歴減衰が生じた。鉄骨試験体においては、荷重-変位関係は理想的には直線となり、履歴ループを描くことは考えにくい。載荷装置に減衰機構があるためであると考えられることから、載荷装置による減衰の排除を行い、鉄筋コンクリート試験体そのものの履歴曲線と履歴減衰を求めた。曲げ降伏前における等価粘性減衰定数 heq は、1 サイクル目、2 サイクル目ともに変形角、試験体の付着強度の違いにより大きく異なることはなかった。

図1に復元力特性モデルと実験値から求めた heq の関係を示す。Takeda モデルは、1 サイクル目の heq は概ね正確に評価できたが、2 サイクル目の heq は、正確な評価ができなかった。また、曲げ降伏後における heq は、いずれの試験体も Takeda モデルは過大評価となった。原点指向型では、いずれの試験体も曲げ降伏前、曲げ降伏後ともに過小評価になる傾向が見られた。

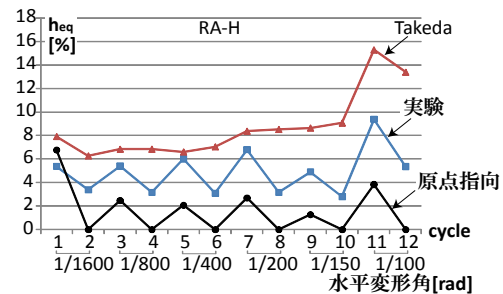


図1 復元力特性モデルと実験値の heq

図2に部材の試験区間における平均付着応力度増分と変形角の関係を示す。平均付着応力度の増分は、繰り返し載荷によって減少する傾向が見られた。付着の損傷が原因であると考えられ、1 サイクル目では、損傷が大きく、履歴減衰も大きなものとなるが、2 サイクル目では、損傷は小さく、履歴減衰も小さなものとなった。これらの結果から、付着の劣化が曲げ降伏前において履歴減衰が発生することの原因の1つであることが考えられる。

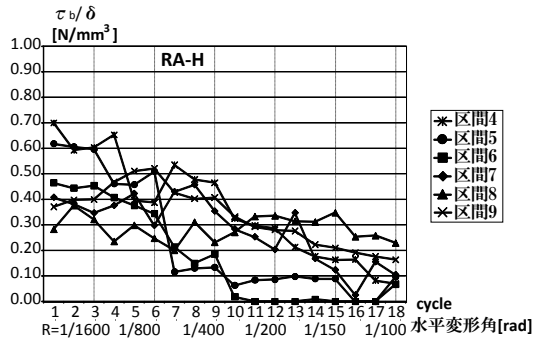


図2 平均付着応力度増分-変形角関係

(2) 主筋本数が多く、 τ_{bu}/τ_f が小さい試験体において、主筋に沿った付着割裂ひび割れが生じて破壊に至った。 τ_{bu}/τ_f が大きい試験体は曲げ破壊の性状を示して終局に至った。

図3に等価減衰定数 h_{eq} と変形角の関係を示す。各変形角の等価減衰定数 h_{eq} は τ_{bu}/τ_f に比例して大きくなっている。これは付着特性により履歴性状が異なることを表している。研究において、付着強度の差による減衰の差は見られなかったが、付着力の余裕度によっては異なることが明らかになった。以上のことから、鉄筋コンクリート部材の復元力特性は付着力の余裕度によって異なると考えられる。減衰特性を考慮できる合理的な履歴モデルの作成が今後の課題であり、さらなる検討が必要である。

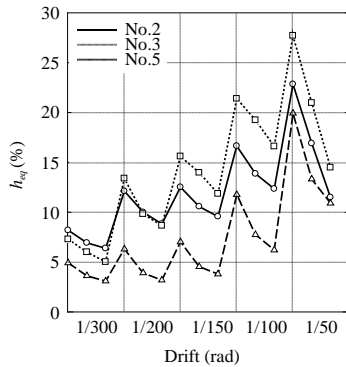


図3 等価減衰定数 h_{eq} - 変形角関係

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計5件)

- ① 日比野陽, 塚勤, 篠原保二, 林静雄: 高強度鉄筋を主筋に用いた場所打ち杭の曲げ性状に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol. 32, No. 2, pp. 853-858, 2010. 7 (査読有り)
- ② 徐霖, 日比野陽, 勅使川原正臣, 伴幸雄,

梅野達三: 連層耐震壁を模擬した壁柱の曲げ降伏後のスリップ挙動評価, 日本建築学会構造系論文集, Vol. 75, No. 649, pp. 617-624, 2010. 3 (査読有り)

- ③ 日比野陽, 勅使川原正臣, 福山洋, 井上芳生: 既存壁式鉄筋コンクリート造建物の梁せい低減に対する補強方法, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 31, pp. 253-258, 2009. 7 (査読有り)
- ④ 田内浩喜, 日比野陽, 勅使川原正臣, 井上芳生. 外付け壁梁と壁の接合部耐力, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 31, pp. 259-264, 2009. 7 (査読有り)
- ⑤ 徐霖, 日比野陽, 勅使川原正臣, 伴幸雄, 梅野達三: 連層耐震壁の曲げスリップに関する研究, 構造工学論文集, Vol. 55B, pp. 401-407, 2009. 3 (査読有り)

〔学会発表〕(計10件)

- ① 中谷好志, 日比野陽, 勅使川原正臣: 曲げ降伏型鉄筋コンクリート造梁部材の繰返し載荷における履歴減衰, 日本建築学会大会学術講演梗概集(北陸), 構造IV, pp. 171-172, 2010. 9. 9-11
- ② 洪健耀, 日比野陽, 篠原保二, 林静雄: 高強度鉄筋を主筋に用いた場所打ち杭の曲げ性状(その1 実験概要と荷重変形関係), 日本建築学会大会学術講演梗概集(北陸), 構造I, pp. 585-586, 2010. 9. 9-11
- ③ 日比野陽, 洪健耀, 篠原保二, 林静雄: 高強度鉄筋を主筋に用いた場所打ち杭の曲げ性状(その2 実験結果の考察), 日本建築学会大会学術講演梗概集(北陸), 構造I, pp. 587-588, 2010. 9. 9-11
- ④ Yo Hibino, Hiroki Tauchi, Masaomi Teshigawara, Hiroshi Fukuyama, Yoshio Inoue: Structural Retrofit for Depth Reduced Beam in Mid-rise Existing Reinforced Concrete Boxed Wall-buildings, Proceedings of 7th CUEE and 5th ICEE Joint Conference, pp. 751-759, 2010. 3. 3-5
- ⑤ 中谷好志, 日比野陽, 勅使川原正臣: 曲げ降伏型 RC 部材の低変位載荷履歴減衰, 日本建築学会東海支部研究報告集, No. 48, pp. 121-124, 2010. 2. 19-20
- ⑥ 日比野陽, 勅使川原正臣, 福山洋, 井上芳生, 村瀬広導, 川西泰一郎: 鉄筋コンクリート・鉄骨並列合成梁の曲げ終局強度, 日本建築学会大会学術講演梗概集(東北), 構造IV, pp. 208-209, 2009. 8. 26-29
- ⑦ 徐霖, 日比野陽, 勅使川原正臣, 伴幸雄, 梅野達三: RC 造連層耐震壁の曲げ降伏後のスリップ時剛性とすべり量評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集(東北),

- 構造 IV, pp. 473-474, 2009. 8. 26-29
- ⑧ 日比野陽, 勅使川原正臣, 福山洋, 井上芳生, 村瀬広導, 川西泰一郎: 既存 RC 梁の梁せい低減に対する補強方法, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (中国), 構造 IV, pp. 97-100, 2008. 9. 18-20
- ⑨ 徐霖, 日比野陽, 勅使川原正臣, 伴幸雄, 梅野達三: 連層耐震壁の曲げスリップに関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (中国), 構造 IV, pp. 361-362, 2008. 9. 18-20
- ⑩ Yo Hibino, Masaru Kikuchi, Masaomi Teshigawara: Cumulative Strength Index Distribution along Building Height and Story Collapse Rate in Reinforced Concrete Buildings, 14th World Conference on Earthquake Engineering, Proceedings of the 14th World Conference on Earthquake Engineering, Paper ID 05-01-0440 (CD-ROM), 2008. 10. 12-17

6. 研究組織

(1) 研究代表者

日比野 陽 (HIBINO YO)

東京工業大学・応用セラミックス研究所・助教

研究者番号: 50456703