

V-249 載荷履歴の異なる RC 単柱のせん断強度の低下に関する研究

*東急建設技術研究所 正会員 服部尚道 正会員 宮城敏明

**武蔵工業大学工学部 正会員 吉川弘道 学生会員 藤田幸弘

1. はじめに

地震時に作用する繰返し荷重が、RC 柱の耐力および変形性能に影響を及ぼすことが知られている。その要因の一つとして、繰返し荷重下における塑性ヒンジ部のコンクリートの損傷が挙げられる。地震により RC 柱に生じる荷重履歴は規則的なものではなく、このような不規則な荷重履歴下におけるコンクリートの損傷程度は不明である。そこで、本論は RC 柱の耐震性能評価の一考察として、静的載荷履歴の異なる RC 柱を対象とし、コンクリートのせん断強度低下について検討するものである。

2. 対象試験体の諸元

対象とした試験体は、藤田ら¹⁾の静的載荷実験に用いたもので、曲げせん断耐力比が 1.0 程度になるように設計した S10 試験体と、1.5 程度になるように設計した S15 試験体である。各試験体の諸元を表 1 に示す。なお、ランダム載荷は、海洋プレート型地震の開北橋記録地震波を入力地震波として動的解析を行い、その応答変位をランダム載荷履歴として静的耐震実験を行ったものである。

表 1 各試験体の諸元

試験体名	断面		せん断 スパン	帯鉄筋			コンクリート		軸力 (N/mm ²)	載荷履歴
	幅 b (cm)	高さ h (cm)		配置	降伏強度 f _{wy} (N/mm ²)	降伏ひずみ ε _{wy} (μ)	弾性係数 E _w (×10 ⁵ N/mm ²)	圧縮強度 f _c (N/mm ²)		
S10-0-M	32	32	120	φ6@330	354	1910	1.91	26.8	0	片側漸増繰返し
S15-1-3								19.6	0.98	正負交番漸増3回繰返し
S15-1-10								23.3	0.98	正負交番漸増10回繰返し
S15-3-3								23.5	2.94	正負交番漸増3回繰返し
S15-3-10								24.7	2.94	正負交番漸増10回繰返し
S15-0-RS								27.2	0	ランダム

3. 作用せん断力の分担

実験における作用せん断力 V は、式(1)に示すようにコンクリートによる負担分 V_c 、せん断補強筋による負担分 V_s 、軸力による増加負担分 V_p に分離する²⁾ものとした。 V_s は式(2)に示すように、帯鉄筋降伏まではせん断ひび割れ発生区間に配置された帯鉄筋に、その区間内の帯鉄筋の最大ひずみが生じるもの(図 1(a)-1 参照)とし、帯鉄筋降伏後は代表するせん断ひび割れを通過する帯鉄筋がすべて降伏している(図 1(a)-2 参照)ものとして算出する。本論では、これにより算出されたせん断補強筋の負担分を V_{s1} と呼ぶことにする。また、 V_p は式(3)により算出する。

一方、帯鉄筋ひずみの測定値を断面高さ方向(2d 区間)に集計(図 1(b)参照)して算出されたせん断補強筋の負担分を V_{s2} と呼ぶことにする。作用せん断力の分離を S15-1-3 試験体を例に図 2 に示す。同図より、 V_{s2} は V_{s1} を下回っていることが確認できる。 V_{s2} は、ひずみ計測位置がひび割れ部であるとは限らないため、帯鉄筋の付着の影響などにより帯筋ひずみが小さく計測され、

$$V = V_c + V_{s1} + V_p \quad \cdots \cdots (1)$$

$$V_c = V - V_{s1} - V_p$$

$$V_{s1} = \sum_{i=1}^n V_{s1i} \\ = \sum_{i=1}^n A_{se1} \cdot \sigma_{se1} \quad \cdots \cdots (2)$$

$$n = k / s (0 \leq \epsilon_{se1} \max \leq \epsilon_{sy}) \\ = d / \tan \phi / s (\epsilon_{sy} \leq \epsilon_{se1} \max \leq \epsilon_{sy}) \\ \sigma_{se1} = E_w \cdot \epsilon_{se1} \max (0 \leq \epsilon_{se1} \max \leq \epsilon_{sy}) \\ = f_{wy} (\epsilon_{sy} \leq \epsilon_{se1} \max) \\ V_p = N \cdot \tan \alpha \quad \cdots \cdots (3)$$

V : 作用せん断力(N)
 V_c : コンクリートによる負担分(N)
 V_s : せん断補強筋による負担分(N)
 V_p : 軸力による増加負担分(N)
 n : 対象とする帯鉄筋(図2参照)の本数
 A_{se1} : せん断補強筋の断面あたりの断面積(mm²)
 σ_{se1} : せん断補強筋の応力度(N/mm²)
 h : せん断ひび割れ発生高さ(mm)
 d : 柱断面の有効高さ(mm)
 s : せん断補強筋のピッチ(mm)
 ϵ_{se1} : せん断補強筋のひずみ
 E_w : せん断補強筋の弾性係数(N/mm²)
 ϵ_{sy} : せん断補強筋の降伏ひずみ
 f_{wy} : せん断補強筋の降伏強度(N/mm²)
 N : 軸力(N)
 α : 軸力による斜め圧縮ストラットと部材軸のなす角度

キーワード：鉄筋コンクリート柱、載荷履歴、せん断強度低下

* 〒229-1124 神奈川県相模原市田奈字曾根下 3062-1 TEL: 0427-63-9507 FAX: 0427-63-9503

** 〒158-0087 東京都世田谷区玉堤 1-28-1 TEL: 03-3703-3111 FAX: 03-5707-1165

実際にせん断補強筋が負担する分より小さく評価されると考えられる。 $Vs1$ は、帯鉄筋降伏までせん断ひび割れが発生した区間に配置された帯鉄筋の最大ひずみを代表値としているので $Vs2$ より大きくなり、実際にせん断補強筋が負担する分と同等もしくは大きく評価されていると考えられる。

4. 検討結果

以下に示す検討結果は、 $Vs1$ により算出した Vc について検討したものである。図3に各試験体のコンクリートのせん断強度 Vc/bd と塑性率 μ との関係を示す。S10-0-M および S15-1-3 試験体を比較すると、試験体諸元は異なるものの、片側繰返し载荷のみを受ける S10-0-M 試験体は Vc/bd の下降勾配が緩やかであった。S15-1-3 および S15-1-10 試験体を比較すると、3回と10回の繰返し载荷に関わらず $\mu=1\sim2$ において Vc/bd の低下が開始している。また、軸力を 2.94N/mm^2 相当载荷した S15-3-3 と S15-3-10 試験体も繰返し回数に関わらず $\mu=1\sim2$ において Vc/bd の低下が開始している。一方、S10-0-R 試験体は $\mu=0\sim4$ の中小振幅の繰返しを数多く受けており、 $\mu=2$ 程度で Vc/bd の低下が開始しているものの、その傾きは3回、10回繰返し载荷試験体よりも緩やかである。

図4に各試験体の初期せん断耐力(鉄道設計標準³⁾に準ずる)に対する作用せん断力の比 $Vc/V_{co-鉄道}$ と塑性率 μ との関係を示す。また、Priestley らの提案式²⁾を、せん断耐力 V_{c-Pri} を初期せん断耐力 V_{co-Pri} で正規化した劣化曲線として併記した。その結果、各試験体とも $\mu=1\sim4$ におけるせん断耐力の低下は、Priestley らの提案式の劣化曲線と同様な下降勾配を示すことが確認できた。

5. まとめ

静的载荷履歴の異なる RC 柱を対象とし、コンクリートのせん断強度低下を検討し、以下のことが確認できた。

- (1) 片側繰返し载荷は、コンクリートのせん断強度の下降勾配は緩やかであった。
- (2) 正負交番漸増3回および10回繰返し载荷ともに、 $\mu=1\sim2$ でコンクリートのせん断強度が低下し始め、Priestley らの提案式と同じ傾向を示した。また、 $\mu=0\sim4$ 程度の中小振幅の繰返しを受けるランダム载荷は、 $\mu=2$ 程度で Vc/bd が低下が開始しているものの、その傾きは3、10回繰返し载荷よりも緩やかである。

【参考文献】

- 1) 藤田・吉川・宮城・服部：载荷履歴が異なる RC 単柱の耐震性能評価に関する研究，土木学会第54回年次学術講演会 V，1999（投稿中）
- 2) Priestley, M.J.N. and Paulay, T. : Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings, John Wiley & Sons, 1995.10
- 3) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・解説 コンクリート構造物，丸善株式会社，1992.11

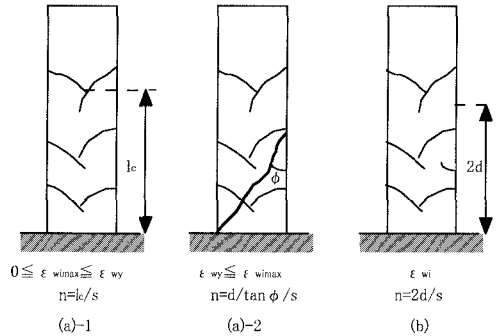


図1 Vs 算定における帯鉄筋の有効本数

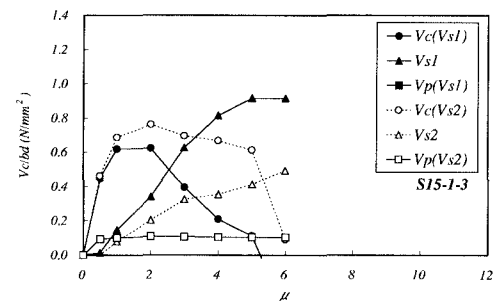


図2 2つの方法による作用せん断力の分離

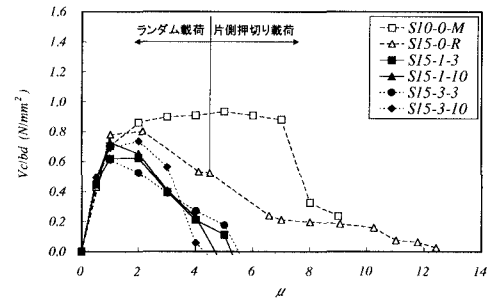


図3 コンクリートのせん断強度 $Vc/bd \sim$ 塑性率 μ

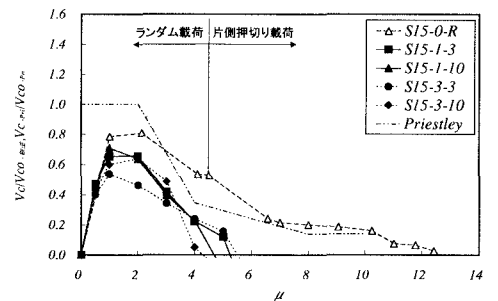


図4 $Vc/V_{co-鉄道}$, $V_{c-Pri}/V_{co-Pri} \sim \mu$