

V-PS7 鉄筋コンクリート柱の耐震性能評価と映像シミュレーション

横浜国立大学 正会員 山口隆裕
 大成建設 正会員 鶴澤哲史
 横浜国立大学 学生員 滝澤 晶
 横浜国立大学 正会員 池田尚治

1. はじめに 土木学会「コンクリート標準示方書」(以下、示方書と記す)¹⁾の耐震検討の項では、限界状態設計法に基づく耐震設計法が規定されている。具体的には、地震後に要求される構造物の供用性能を設定し、それに応じて降伏変位($1\delta_y$)の4倍までの塑性変形量を許容するという方法である。本研究は力学的性能の異なる鉄筋コンクリート柱(以下、RC柱と記す)供試体を用いて静的正負繰り返し載荷実験を行い、各変形段階のひび割れ発生状況及び耐荷性能を求め、示方書の耐震設計法の妥当性を検証すること、また、準動的載荷システムにビデオ録画システムを組込み²⁾、示方書に示される「かなりの損傷」となる地震波及び破壊に至るような地震波を作用させ、動的な応答挙動を実時間スケールの時刻歴として視覚的に生起させることを目的とした。

2. 供試体と実験方法 本研究で着目した要因は、軸方向鉄筋比、せん断支間-有効高さの比(a/d)、及び軸圧縮応力度である。表-1に実験で使用する供試体の一覧と諸元を、

表-1 供試体の一覧と諸元

| 供試体 No.*1 | 軸方向鉄筋 | | | フープ筋 | | | せん断支間有効高さ比 | 軸圧縮応力度 |
|--------------|-------|------------------------|-------|------|-------|-------|------------|----------------------|
| | 呼び径 | 鉄筋量 | 鉄筋比 | 呼び径 | 間隔 | フープ筋比 | | |
| PS-1 PD-1 | D13 | 25.3400cm ² | 2.82% | D6 | 7.0cm | 0.30% | 2.78 | 10kg/cm ² |
| PS-2 PD-2 | D13 | 25.3400 | 2.82 | D6 | 13.0 | 0.16 | 4.63 | 10 |
| PS-3 PD-3 | D10 | 11.4128 | 1.27 | D3 | 2.5 | 0.19 | 2.78 | 10 |
| PS-4 PD-4 | D13 | 25.3400 | 2.82 | D6 | 4.5 | 0.47 | 2.78 | 48 |

*1...PS:静的載荷試験(Static test), PD:準動的載荷試験(Pseudo-dynamic test)

図-1に供試体の一例を示す。各供試体のフープ筋は計算必要量を d/2 以下の間隔で配置し、せん断に対し十分に補強している。軸方向鉄筋に使用したD13、D10の降伏強度はそれぞれ3640、3620 kgf/cm²、柱部のコンクリートの圧縮強度は270kgf/cm²であった。静的及び準動的載荷には2本のアクチュエーターを使用し、一定の軸圧縮力のもとに水平力または水平変位を作用させた。静的正負載荷の方法は計算降伏耐力時の変位 $1\delta_y$ から最終載荷まで、 $1\delta_y$ ずつ増加させながら各変位で1回の正負繰り返し載荷を行うこととした。準動的載荷においては、作用地震波としてEl Centro 1940(NS)波の0.02~16.00秒を使用した。表-2に準動的載荷に用いたデータの一覧を示す。各供試体の1自由度系換算仮想重量は、地震波の加速度応答スペクトルの2.5倍に対応する値である。作用地震波の加速度の大きさは、「かなりの損傷」の被災程度(4 δ_y レベル)を想定した補正係数 ν_4 の値に対応する値とした。また、RC柱の破壊に至る挙動を録画するため、4 δ_y レベルの2倍の地震波(破壊レベル)も作用させた。ビデオの録画は地震波の生起時刻において0.1秒ごとに行い、各記録時間は可能最小録画時間の0.2秒、記録の合計時間は32秒とした。

3. 実験結果と考察 (1) 静的正負載荷

図-2に降伏耐力及び降伏変位で除して次元化した正載荷側の荷重-変位曲線の包絡線を示す。この図より、せん断補強が十分な場合、最大耐力後の耐力の低下の割合は軸方

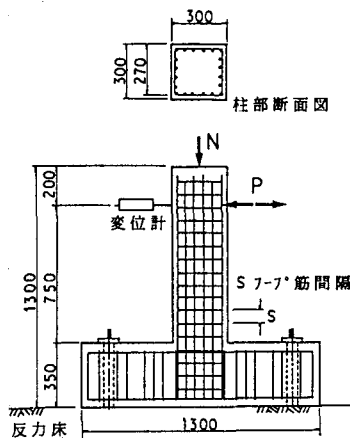


図-1 供試体の形状(No.1供試体)

表-2 準動的載荷実験に用いたデータ

| 供試体名 | PD-1 | PD-2 | PD-3 | PD-4 |
|----------------------|-------------------|------|-------|-------|
| 減衰定数 h | 0.05 | | | |
| 固有周期 T (sec) | 0.5 | | | |
| 初期剛性 K_0 (tonf/cm) | 30.2 | 8.7 | 30.0 | 36.6 |
| 仮想重量 W (tonf) | 187.4 | 54.0 | 186.2 | 227.1 |
| 被災の程度 | 作用地震波の最大加速度 (gal) | | | |
| 1 δ_y レベル | 1.0 | 36.4 | 72.6 | 19.8 |
| 4 δ_y レベル | 0.4 | 90.9 | 181.5 | 49.4 |

向鉄筋比に大きく影響を受けることが示されている。軸方向鉄筋比の小さいPS-3供試体は変位が $10\delta_y$ となってもほぼ最大耐力が保持され、塑性変形性能は最も優れていると言える。これに対して、 a/d の大きいPS-2供試体においては、弾性変形量が大きいため降伏荷重時の変位量がかなり大きくなり、この整数倍の変形量のほとんどを柱根元部の塑性回転量で受け持つこととなり、そのためコンクリートの圧壊を早め、塑性変形性能が劣る結果となった。しかしながら、全ての供試体においてせん断補強が十分であるため、変形量が示方書で示される $4\delta_y$ となっても十分な耐力を保持している。図-3に $4\delta_y$ 載荷時のPS-1、PS-3供試体のひび割れ状況を示す。柱腹部の曲げひび割れがせん断ひび割れに進展したPS-1、PS-4供試体及び柱根元部の曲げひび割れが大きく成長したPS-2供試体と比較して、PS-3供試体はひび割れ幅は小さく、また、ひび割れの数も少なく損傷は軽微であった。なお、PS-2供試体においては $\pm 5\delta_y$ 載荷時に圧縮部のコンクリートの広い範囲での剥離がみられた。³⁾

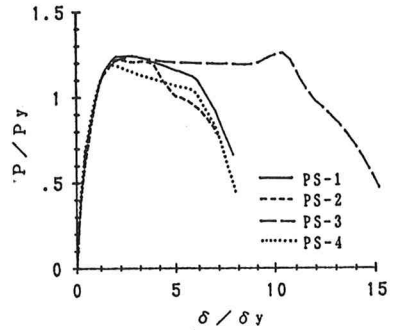


図-2 無次元化した荷重-変位曲線の包絡線の比較

(2) 準動的載荷と映像シミュレーション 図-4に破壊レベルの地震波をPD-1供試体に作用させた時の時刻歴応答曲線を示し、写真-1に図-4に示す生起時刻の柱部の状況を示す。柱部には白色のポスターカラーを塗り、ひび割れの顕在化の向上を図った。その結果、モニター上で確認できる最小ひび割れ幅は、モニター上に柱部の高さが約1mまで入るように撮影した時は0.3mmとなった。写真に示すような地震波の各生起時刻における静止画像を連続再生することにより、せん断ひび割れの伸展に伴い柱腹部のコンクリートが剥離していく様子などを視覚的に動的な挙動として再現することができた。また、これをスローモーションで再生することも可能であり、準動的載荷実験より得られたRC部材の地震応答挙動を詳細に観察するのに、この実験システムは極めて有効な手段であった。

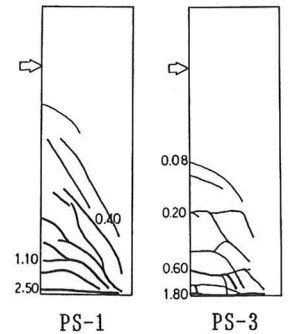


図-3 $4\delta_y$ 載荷時のひび割れ状況

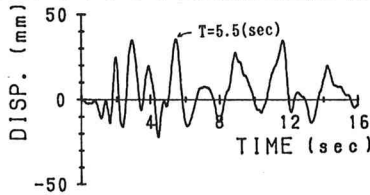


図-4 PD-1供試体の時刻歴応答曲線(破壊レベル)

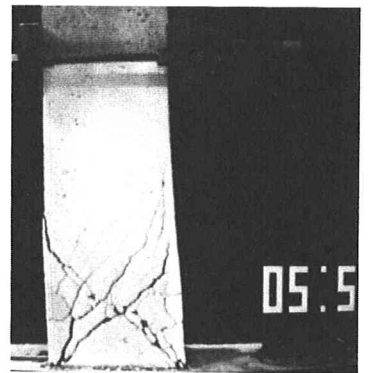


写真-1 PD-1供試体の被災状況(5.5秒)

4. まとめ 1)十分にせん断補強されたRC柱は示方書の示す「かなりの損傷」とされる $4\delta_y$ 載荷時でも耐力が保持されており、示方書の $4\delta_y$ までの設定は妥当であることが検証された。

2)RC柱の地震応答挙動を視覚的にシミュレートすることができた。

謝辞: 本研究を実施するにあたり、森下豊技官および林秀彦君の多大な協力を頂いた。ここに感謝の意を表します。なお、本研究は文部省科研一般研究(B) No.01460174(研究代表者 池田尚治)の一環として行ったものである。

参考文献 1)土木学会:コンクリート標準示方書(昭和61年制定)設計編、9章耐震に関する検討、p.p.89~93

2)池田、山口:準動的載荷システムによる地震応答挙動の映像シミュレーション、第45回JSCE年講、V、1990.9

3)池田、山口、鶴澤、林:断面性能を考慮した鉄筋コンクリート柱の地震応答挙動の定量化について、コンクリート工学年次論文報告集、第13巻に投稿中