

動的水平载荷を受けて損傷した鉄筋コンクリート部材の崩壊挙動

電力中央研究所 正会員 ○宮川 義範

1. はじめに

鉄筋コンクリート部材には、ひび割れ、降伏、終局（水平耐力維持限界）などの損傷状態があり、一般にそれらが性能照査の判定基準とされる。しかし、側方地盤が存在する地中の多連多層ラーメン構造物のように高い不静定性を有する場合、部分的損傷が全体としての限界に直結しない可能性がある。こうした冗長性を「複数回の地震入力を受けても、層間の相対的な鉛直変位が（伸びを正として）或る閾値以上である」ことの確認を通じて評価するという考え方の成立性を検討している。損傷を受けた構造物の鉛直方向の挙動に着目した研究例は少ないため、基礎的な実験から着手しており¹⁾、本報はその第2シリーズに当たる。

2. 実験計画

試験体の形状、寸法を図-1に示す。部材タイプ2体（No. 5、6）と架構タイプ1体（No. 7）の計3体を作成した。部材厚がいずれも100mmと小さいため、最大骨材径5mmのモルタルを母材として使用した。モルタルの特性は、試験期間直前で、ヤング係数23.9kN/mm²、圧縮強度29.3N/mm²、割裂強度2.39N/mm²であった。また、主筋についてもできるだけ縮尺を揃えるため、M3のステンレス製ねじ棒を使用した。ねじ棒の有効断面積を用いたとき、引張鉄筋比は0.389%となる。面外方向のせん断補強筋は配さず、せん断破壊が発生するように設計した。ねじ棒の特性は、ヤング係数181.3kN/mm²、降伏強度465.5N/mm²、引張強度751.4N/mm²であった。明瞭な降伏点を持たず、降伏強度はオフセット処理によって得た。材料特性の若干の変動を除いて前報のNo. 1～No. 3と同じ条件で、水平载荷を静的から動的に変更した点のみ異なる。部材の終局を超えた状態については、静的／動的の違いによる影響が既知でないため、今回実験パラメータとした。

実験装置の概要を図-2に示す。試験体下方の簡易的な振動台は、500kNの動的加振機と接続されており、動的に強制変位を与えることができる。リニアローラーによって水平方向に自由に移動でき、鉛直方向の移動と回転は拘束される。試験体上方の载荷ヘッドに伝達された水平力は、鉛直ローラーを介して鋼製三角反力壁が受ける。上方の境界条件は、水平方向移動と回転に対して拘束、鉛直方向移動に対して自由となっている。载荷ヘッド上に積載する重錘の数によって鉛直荷重の大きさを調整する。ケースNo. 5の積載質量は4.92t、No. 6、No. 7の積載質量は10.33tである。水平载荷により試験体の損傷が進行すると、鉛直荷重を支持できなくなって重錘が落下する。加振波形は漸増域3波、定常域5波、漸減域3波から成る正弦波とし、段階的に振幅を増大させて複数回の加振を行った。正弦波の振動数は2Hzを基本としたが、加振機に速度100mm/sの上限があるため、振幅の大きな後半の波形では徐々に振動数を下げた（表-1）。また、部材にせん断破壊が発生して以降

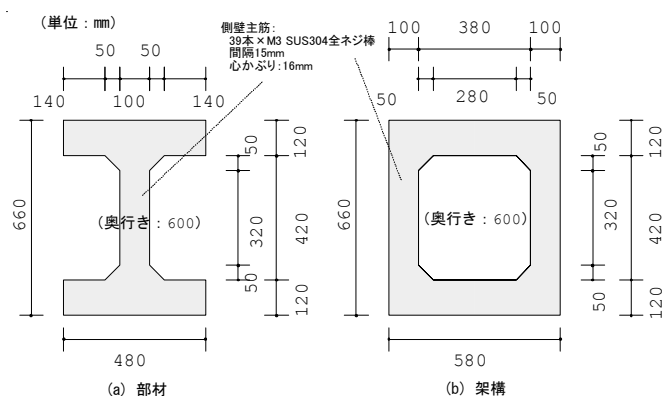


図-1 試験体の形状と寸法

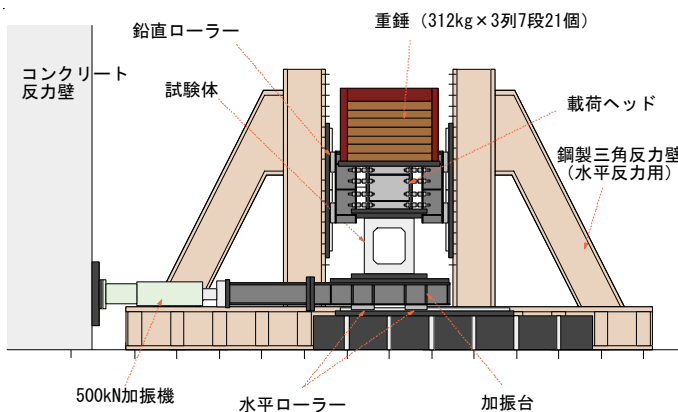


図-2 実験装置

キーワード 鉄筋コンクリート、地中構造物、崩壊、せん断破壊、冗長性

連絡先 〒270-1194 千葉県我孫子市我孫子 1646 (一財)電力中央研究所 TEL 070-6568-9680

表-1 実験条件と結果の一覧

(a) 試験体の特性・初期条件				
試験体No.	No.5	No.6	No.7	
試験体タイプ	部材	部材	架構	
初期軸応力[N/mm ²]	0.804	1.687	0.843	
軸力比	0.027	0.058	0.029	
曲げ耐力[kN](断面計算による)※	62.9	70.7	63.3	
せん断耐力[kN](二羽式による)※	61.9	67.7	62.2	
せん断耐力／曲げ耐力比	0.99	0.96	0.98	
※ハンチを無視してせん断スパン比 $a=0.21[m]$ とした場合の鉛直部材1本当たりの値				
(b) 実験結果(加振回数)				
振幅[mm] ※括弧内は 層間変形角[rad]	振動数 [Hz]	No5	No6	No7
0.54 (0.10%)	2.00	1	1	1
1.08 (0.20%)	2.00	1	1	1
2.70 (0.50%)	2.00	1	1	1
4.05 (0.75%)	2.00	1	1	1
5.40 (1.00%)	2.00	1	1	1
6.75 (1.25%)	2.00	1	1	1
8.10 (1.50%)	1.96	1	1	1
9.45 (1.75%)	1.68	1	1	1
10.80 (2.00%)	1.47	4	1	1
13.50 (2.50%)	1.18	4	1	1
16.20 (3.00%)	0.98	4		3

は、繰返しによる損傷の進行を確認するため、同じ振幅の加振を4回繰り返した後に次の波形に移行した。荷重、加速度、変位、コンクリートひずみの点計測に加え、高速度カメラと格子状に貼付したマーカーとによる画像計測を行った。

3. 実験結果

表-1(b)に、崩壊に至るまでの振幅毎の加振回数を示す。No. 5 は、層間変形角 2.0%の加振でせん断破壊し、3.0%の加振の4回目で崩壊した。図-3は、No. 5について、水平変位と加振機備付けの荷重計による水平荷重との関係を全加振分集積した結果である。このように、せん断破壊が生じると水平荷重は大きく低下するが、加振自体は継続できた。No. 6 は、2.5%の加振でせん断破壊し、同加振中に崩壊に至った。No. 7 は、3.0%の加振の1回目、2回目でそれぞれ1本の鉛直部材がせん断破壊し、3回目で崩壊した。せん断破壊が発生するまでの変形性能は、No. 5、6、7の順に微増する傾向となっていて、軸力との間に有意な相関は認められない。ただし、No. 5、7は、せん断破壊が発生した加振ケースでは崩壊せず、今回考慮した程度の差でも、軸力比の小さい方が耐崩壊性の点で有利という結果になった。図-4は、画像解析から得られた、No. 6が崩壊する前後6秒間の部材の厚さ方向の膨張および頂版の鉛直位置の時刻歴である。顕著な沈下が発生する前に、10mm以上厚さ方向に膨張していることが分かる。斜めひび割れの幅の増大によって部材軸方向の抵抗に係るコンクリートの有効断面積が縮小し、主筋もまた幾何学的な変形の進行によって軸方向の抵抗力を失っていくためと考えられる。すなわち、鉛直荷重を支持する耐力の低下には、部材の厚さ方向の膨張量が密接に関係していると推察される。

4. まとめ

動的な水平载荷によって鉄筋コンクリート部材・架構に損傷を与え、鉛直荷重を支持できなくなつて崩壊する瞬間の挙動を調べた。今後、面外せん断補強筋や側方拘束の影響をパラメータとした追加ケースを実施予定であり、シリーズ間の比較や解析的フォローについて改めて報告する。

参考文献

- 1) 宮川義範：水平载荷を受ける鉄筋コンクリート製ボックスカルバートの崩壊挙動，土木学会第68回年次学術講演会講演概要集，pp. 3-4，2013.

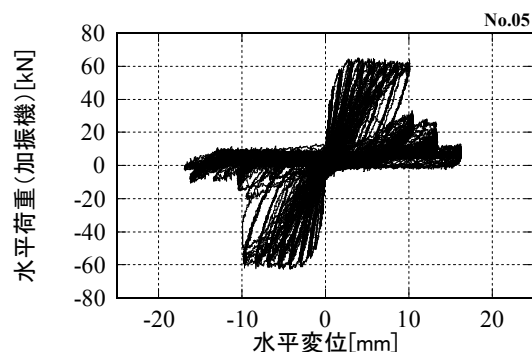
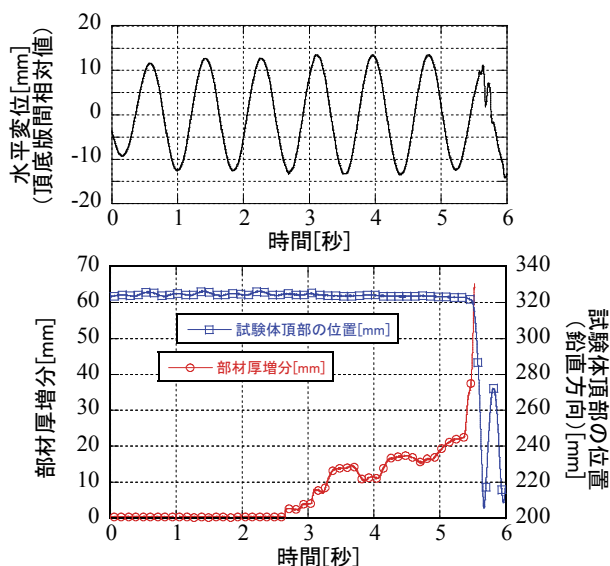


図-3 No. 5 の水平変位－水平荷重関係

図-4 No. 6 の崩壊前後の挙動
(上段は対応する時間の水平変位入力波形)