

水平荷重によってせん断破壊した鉄筋コンクリート部材および架構の鉛直支持性能

電力中央研究所 正会員 ○宮川 義範
正会員 小松 怜史
正会員 渡部 龍正

1. はじめに

火力・原子力発電所を構成する鉄筋コンクリート製地中構造物は、横断面がラーメン構造を形成している、周囲を地盤に囲まれているといった理由により不静定性が高く、性能照査時に限界状態として規定されている部材の破壊と、構造物としての安定性の限界との間には乖離があると推察される。部材が破壊すると、部材軸と直交する方向の耐力は低下するため、部材破壊以降・構造物崩壊以前の状態を判別するには、鉛直荷重の支持性能が一つの指標になると考えている。そこで、水平荷重を受けて特にせん断破壊に至った鉄筋コンクリート部材および架構が、鉛直荷重を支持できなくなって崩壊するまでの挙動を調べる実験を行ってきた^{1), 2)}。本報はその第3シリーズに当たり、側方地盤や載荷履歴の影響に着目した追加ケースについて述べる。

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. 9, 11) と架構タイプ1体 (No. 10) の計3体を作成した。部材厚が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29.5kN/mm²、圧縮強度36.4N/mm²、割裂強度2.33N/mm²であった。主筋としてM3のステンレス製ねじ棒を使用した。ねじ棒の特性は、ヤング係数169.7kN/mm²、0.2%オフセット降伏強度379.4N/mm²、引張強度668.0N/mm²であった。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。

試験体下端は、鉛直変位と回転とを拘束した状態で水平方向に変位し、上端は水平変位と回転とを拘束した状態で鉛直方向に変位するようにした。そして、上方に治具を含めて10.33tの重錘(軸力比0.023~0.046)を積載し、下端に動的に水平変位を与えた。水平変位を受けて破壊が進行すると重錘を支持できなくなって落下する。この条件を実現する装置の構成は前報²⁾に示した。基本入力は漸増域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た。せん断破壊が発生した後は、繰返しの影響を確認するため、同振幅の加振を4回繰返した後に次の振幅に移行した。頂版の沈下が40mmを超えた時点で実験を終了した。荷重、加速度、変位の点計測に加え、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。

表-1に示すように、面外せん断補強筋を設けたNo. 9、側方に砂地盤を設けたNo. 10、水平載荷を正負繰返

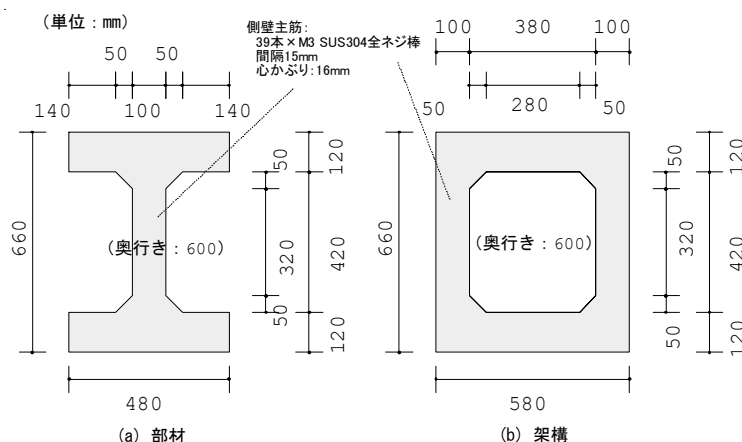


図-1 試験体の形状と寸法

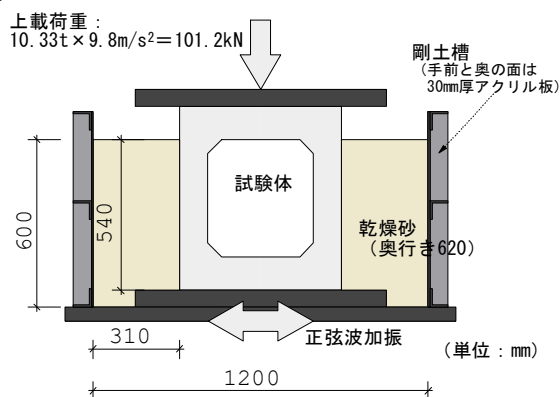


図-2 ケース No. 10 の試験体周り

キーワード せん断破壊, 崩壊, 座屈, 冗長性, 地中構造物

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) 試験ケースと条件				
	試験体タイプ	初期軸応力 [N/mm ²]	軸力比	実験因子
No.9	部材	1.687	0.046	面外せん断補強筋比0.22%
No.10	架構	0.843	0.023	側方に剛土槽と乾燥砂地盤
No.11	部材	1.687	0.046	単調載荷(載荷速度43.2mm/secで装置の限界106.8mmまで押した後、水平変位ゼロまで戻す)

(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]	No.6※	No.7※	No.9 No.10
0.54 (0.10%)	2.00	1	1	1 1
1.08 (0.20%)	2.00	1	1	1 1
2.70 (0.50%)	2.00	1	1	1 1
4.05 (0.75%)	2.00	1	1	1 1
5.40 (1.00%)	2.00	1	1	1 1
6.75 (1.25%)	2.00	1	1	1 1
8.10 (1.50%)	1.96	1	1	1 1
9.45 (1.75%)	1.68	1	1	1 1
10.80 (2.00%)	1.47	1	1	1 1
13.50 (2.50%)	1.18	1	1	1 1
16.20 (3.00%)	0.98		3	1 4
18.90 (3.50%)	0.84			4 4
21.60 (4.00%)	0.74			4 4
24.30 (4.50%)	0.65			2 2

※参考文献2)

しでなく単調とした No. 11 の 3 ケースを追加した。No. 9 では、せん断補強筋比 0.22%に相当する量の $\phi 2.6\text{mm}$ の鋼線（鋼種 SWRCH10R）を配した。引張強度は 632.6 N/mm^2 であったが、計画時に認識不足だった点として、引張ひずみ $4000\sim 6000\mu$ で破断する脆性的な材料であった。No. 10 では、図-2 に示すように、試験体の周囲に剛土槽を組み立て、試験体との間に乾燥した 7 号珪砂（最大密度 1.50 t/m^3 ，最小密度 1.20 t/m^3 ）を、締固めと密度管理を行いながら敷き詰めた。相対密度は 100%であった。

3. 実験結果

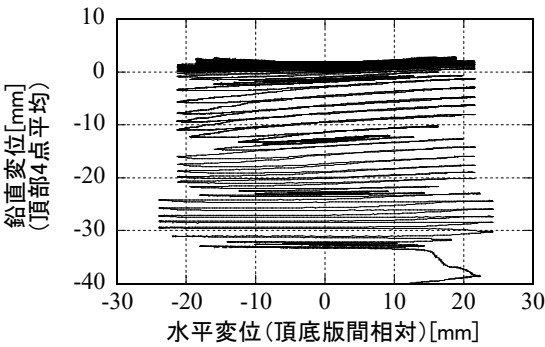
面外せん断補強筋を設けた No. 9 は、水平耐力の低下をもたらしたせん断破壊の発生時点（振幅レベル）、せん断破壊後に崩壊に至る時点とも、その無い前報の No. 6 と大差なかった。せん断補強筋は、水平耐力低下開始までの変形性能を改善する効果を有することが知られているが、今回の事例では、異形鉄筋でないために付着が弱く、かつ上述のように脆性の強い材料を用いたため、その効果を得られなかったと考えている。側方に砂地盤を設けた No. 10 について、せん断破壊の発生時点は前報の No. 7 とほぼ同じであったが、No. 7 のように急激な主筋の座屈を伴う崩壊は見られず、加振を繰り返す過程で徐々に沈下が進行した（図-3(a)）。地盤が、それと接している側の主筋の座屈を押え込んだためと考えられる。単調載荷の No. 11 では、図-3(b)に示すように、他のケースを大きく上回る水平変位を与えても幾何学的成分を除く沈下を生じなかった。他のケースにおいて水平耐力の低下の契機となった対角方向の斜めひび割れが生じず、付着割裂破壊の様相を呈した。破壊モードの変化をもたらしたメカニズムはまだ十分吟味できていないが、これにより、コアコンクリートの鉛直支持力が維持されたことが崩壊に抵抗した直接的原因と考えられる。

4. まとめ

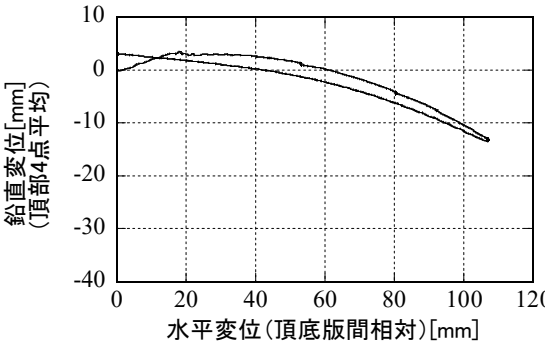
水平載荷によって鉄筋コンクリート部材・架構がせん断破壊した後、崩壊に至るまでの挙動を実験的に調べた。(a)面外せん断補強、(b)側方地盤の存在、(c)載荷履歴（単調載荷）を実験因子とした結果、水平耐力が低下し始める時点の水平変位は大きく変化しないが、(b)と(c)は崩壊に対する抵抗性を高めることが分かった。

参考文献

1) 宮川義範：水平載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。
2) 宮川義範：動的水平載荷を受けて損傷した鉄筋コンクリート部材の崩壊挙動，土木学会第 74 回年次学術講演会講演概要集，I-366，2019。



(a) No. 10



(b) No. 11

図-3 水平変位－鉛直変位関係