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

電力中央研究所　　正会員　○宮川　義範

１．はじめに

鉄筋コンクリート製ボックスカルバートを主体とする原子力発電所屋外重要土木構造物に求められる耐震性能は，極めて稀に発生する可能性がある地震動（Ss 地震動）[1)]に対して崩壊しないことである[2)]．しかし，構造物の水平耐力が低下し始めてから崩壊に至るまでの現象を解析することはまだ難しく，実際に用いられている照査の限界値は，気中構造物と変わらず，構造物単体の水平耐力維持に対応する内容となっている[2)]．そこで，内空確保に直接対応する判定基準の作成を目的とする研究を開始した．本報告では，その中で基礎的なデータを取得するために実施した載荷実験について述べる．

２．実験計画

載荷のイメージを図-1(a)に，それを具体化した装置を同図(b)(c)にそれぞれ示す．試験体下端には水平移動自由・鉛直移動拘束・回転拘束，上端には水平移動拘束・鉛直移動自由・回転拘束，という境界条件を与える．図(b)(c)の三角形の反力フレームは，上端における水平移動と回転の拘束の役割を担っている．試験体上部には，載荷ヘッドと重錘合わせて最大約 10t の物体を積載する．鉛直荷重の大きさは，1 個約 300kg の重錘の増減によってケース毎に設定する．試験体のみによって鉛直荷重が支持されている状態で，下端に水平方向の正負交番強制変位を与える．鉛直部材の損傷が進行して試験体上部が一定量沈下すると，載荷ヘッドが鋼棒を介して衝撃吸収用のバネと接触し，実験が終了する．試験体上部の沈下は動的現象であるため，変位計を主体とした静的計測と，加速度計を主体とした動的計測を両方行う．

実験ケースを表-1 に，試験体の形状と寸法を図-2 にそれぞれ示す．試験体は，図-2 の部材タイプ 2 個，架構タイプ 2 個の計 4 個である．実験装置の制約から，部材厚 100mm の縮小模型になっている．コンクリートの粗骨材として，最大骨材径 5mm の 7 号砕石を用いた．鉛直部材の補強材は，縮尺および加工・定着の容易さを勘案して，異形鉄筋の代わりに直径 3mm の SUS304 全ネジ棒を用いた．水平耐力の低下が発生しやすい条件とするため，面外方向のせん断補強筋は与えなかった．部材タイプの 2 ケースは，鉛直荷重の大きさが異なる．架構タイプの No.4 試験体では，側壁外面に図-3 のような鋼製の拘束体を設けた．拘束体は，初期状態で試験体との間に 3mm のあきを有するが，試験体鉛直部材が外向きにはらもうとすると，ちょうど縦にした単純支持梁が二点載荷を受けるような格好となって抵抗する．拘束体にはひずみゲージを添付し，拘束力を推算できるようにした．地盤そのものとは言えないが，地中にある場合の傾向を捉えることを意図したケースである．

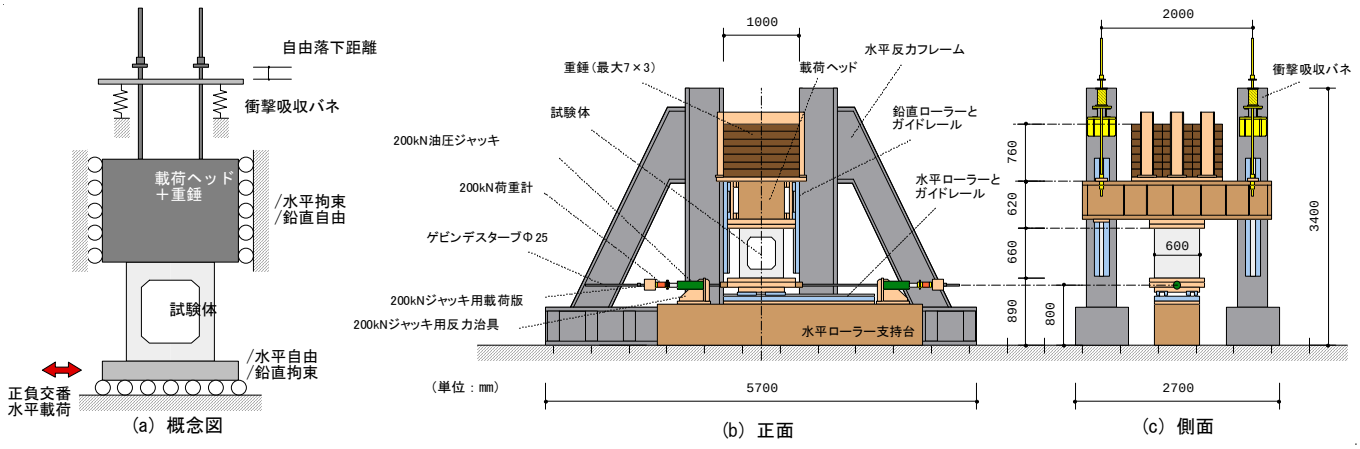


図-1 実験装置

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　ＴＥＬ04-7182-1181

表-1 実験ケース一覧

No.	試験体タイプ	重錘質量(載荷ヘッド含む)[ton]	衝撃吸収開始までの落下距離[mm]	コンクリート圧縮強度(封緘)[N/mm^2]	軸応力度[N/mm^2]	側方拘束
1	部材	9.94	50	22.7	1.624	×
2	部材	4.69	120	23.4	0.766	×
3	架構	9.94	80	24.1	0.812	×
4	架構	9.94	50	24.9	0.812	○

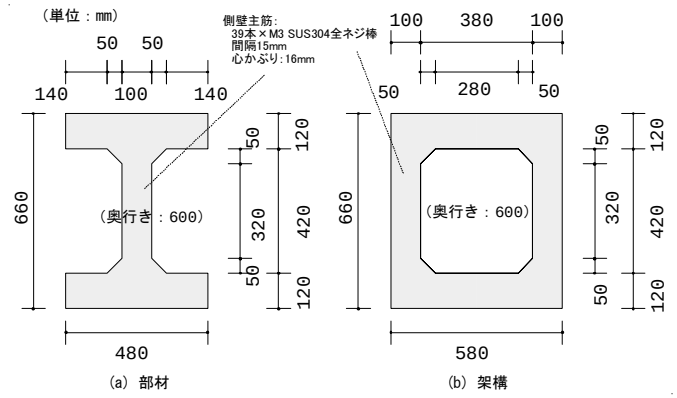


図-2 試験体の形状・寸法

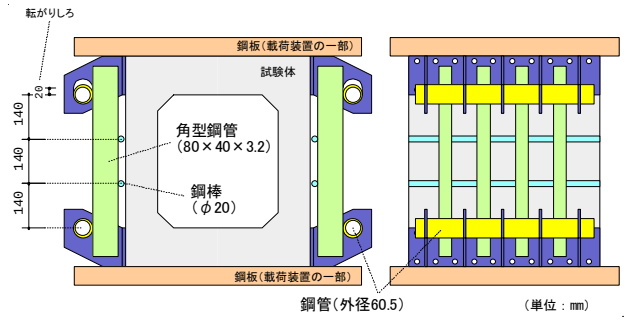
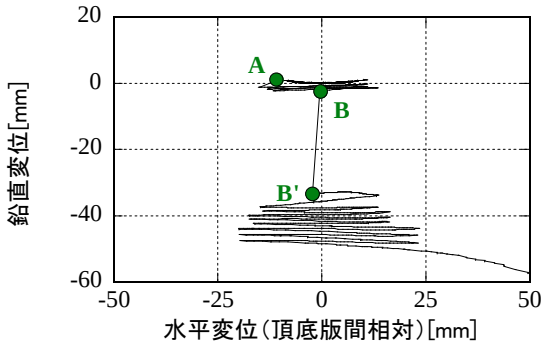
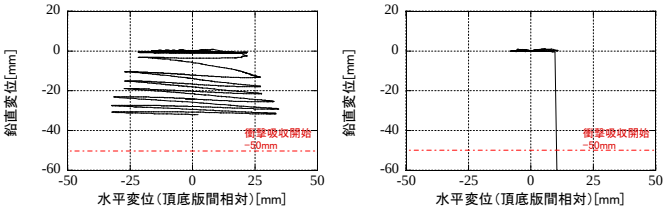


図-3 試験体 No. 4 の側方拘束体

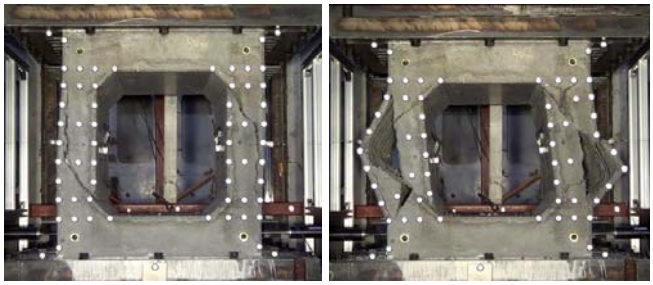


(a) No. 3



(b) No. 4　　(c) No. 1

図-4 水平変位－鉛直変位関係



(a)せん断破壊時点　　(b)主筋座屈時点

写真-1 試験体 No. 3 の損傷状況

3．実験結果

No. 3 を例に，図-4(a)の頂底版間相対水平変位－頂部鉛直変位関係に基づいて，おおまかな損傷過程を記す．まず，図の A 点でせん断破壊が発生し，水平耐力が急激に低下した（写真-1(a)）．この時点における鉛直変位の動きを見ると，それまでひび割れの拡幅等によって伸長傾向を示していたものが，沈下に転じている．ただし，より大規模な沈下は，水平抵抗がほとんど失われた状態でさらに繰返し載荷を行った後の B 点で発生した．B 点は，主筋の座屈によって特徴付けられる．面外方向のせん断補強筋を持たないために座屈長が長く，かぶり全体が押しのけられる様子が観察された（写真-1(b)）．B-B’点間の沈下はおよそ 0.2 秒間で進行した．

No. 2 は，鉛直部材の数が異なるものの鉛直荷重による軸応力度がほぼ等しいため，No. 3 と類似の過程を辿った．側方に拘束体を持つ No. 4 の場合，せん断破壊は No. 3 とほぼ同じように発生したが，図-4(b)に示すとおり，上述の B 点に対応する点が現れなかった．軸応力度が他の 3 ケースよりも大きい No. 1 は，図-4(c)に示すように，主筋の座屈に伴う頂版の沈下量が最も大きかった．これらの結果から，沈下の有無と程度には，軸応力度や側方拘束条件が有意な影響を及ぼすことが示された．

4．まとめ

鉄筋コンクリート部材・架構の崩壊に至るまでの載荷実験を行い，軸応力度や側方拘束条件が耐崩壊性に及ぼす影響を捉えた．今後，実験結果を再現できる解析モデルを開発し，数値実験を積み重ねたいと考えている．

参考文献

1) （旧）原子力安全委員会：発電用原子炉に関する耐震設計審査指針，2006.9
2) 土木学会原子力土木委員会：原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル，2005.