

鉄筋コンクリート製ボックスカルバート屈曲部の力学的性状に関する実験研究

電力中央研究所 正会員 ○柴山 淳
 電力中央研究所 正会員 宮川 義範
 関西電力 正会員 審 浩年
 セレス 非会員 重光 信宏

1. はじめに

原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査では、地盤と構造物それぞれの非線形性を考慮したモデルの時刻歴解析によって地震応答を求めることが標準と位置付けられている[1]。最近では、材料非線形構成則を備えた平面要素やソリッド要素を適用する事例も増えているが、照査指標と限界値は十分に整備されていないのが現状である。そこで、著者らは、損傷過程における詳細な変位およびひずみの分布を捉える実験を行ってきた[2]。本研究では、さらなる実験データの充実を図るため、三次元的な形状を有する鉄筋コンクリート製地中構造物として屈曲部を有するボックスカルバートの載荷実験を行った。本報は、上述の目的のために行った載荷実験のうち、力学的性状に関して報告するものである。

2. 試験体概要と載荷方法

試験体の形状・配筋状況を図-1に、試験体諸元を表-1に示す。側壁、頂版の主筋はD13、側壁の配力筋にはD10の異形鉄筋を用いた。頂版の主筋はX方向Y方向ともにダブルで配筋し、側壁に面外のせん断補強筋は配筋していない。鉄筋のひずみゲージは一箇所にX,Y両方向ともに貼付した。表-1には側壁の逆対称曲げの状態を仮定した、単位奥行きあたりの曲げとせん断耐力を示した。載荷は、L字を閉じる方向の変位を正、開く方向の変位を負とし、負側からはじめ、各二周した。繰返し載荷の制御は、一周目は、負側は開口面の層間変形角で行い、正側は開く方向の一周目のピーク荷重に到達した時点を通り返し点とした。二周目の折返し点は、負側と正側ともに一周目の折返し点と同じ層間変形角に達した点とした。

表-1 試験体諸元

試験区間部材厚[mm]		200
底版 コンクリート	圧縮強度[MPa]	31.2
	割裂引張強度[MPa]	2.4
	弾性係数[GPa]	29.3
頂版, 側壁 コンクリート	圧縮強度[MPa]	33.1
	割裂引張強度[MPa]	2.49
	弾性係数[GPa]	29.3
側壁引張鉄筋比($\sum a_t/bd$)[%]		0.48
主筋降伏強度[MPa]		371
主筋弾性係数[GPa]		195
側壁配力筋降伏強度[MPa]		369
側壁配力筋弾性係数[GPa]		196
曲げ耐力時せん断力[kN/m]		104.4
せん断耐力[kN/m]		168.4
せん断裕度(せん断耐力/曲げ耐力)		1.61

曲げ耐力時せん断力、せん断耐力はそれぞれ[3], [4]により算出

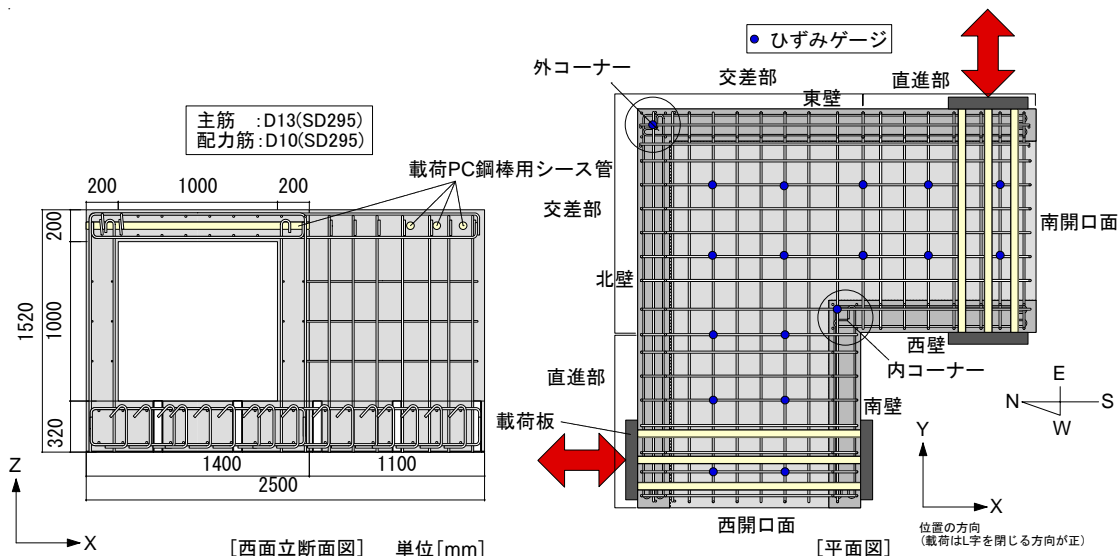


図-1 試験体形状と配筋図

キーワード 鉄筋コンクリート, ボックスカルバート, 屈曲部, 力学的性状, 耐震性能照査
 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

3. 荷重-変位関係

図-2 に荷重-層間変形角関係を示す。西開口面と南開口面の荷重-層間変形角関係は耐力低下の段階まで同じような挙動を呈したことから、ここでは西開口面のみをグラフを示した。負側(開く側)の最大耐力は開口面の層間変形角-1.5%のサイクルで発現し(-784kN)、その後耐力が徐々に低下した。正側(閉じる側)の荷重では、負側の層間変形角が 2.5%の周回までは、折り返し時の層間変形角が小さいが、負側の層間変形角 3.0%の周回では正側の変位が大きくなり、その後正側も耐力が低下した。このことから、負側の荷重による損傷が正側の抵抗機構にも影響を与えたことがわかる。

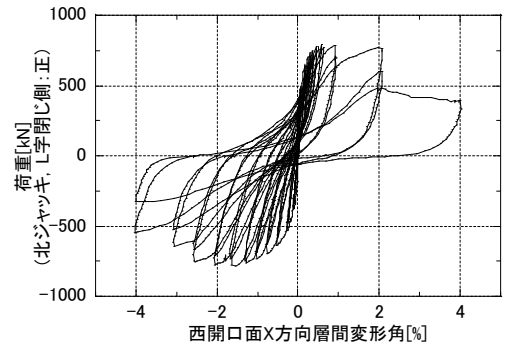


図-2 荷重-層間変形角関係

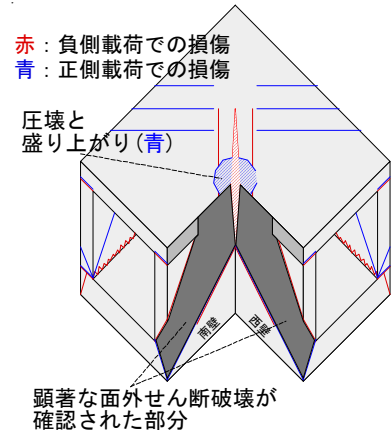


図-3 損傷状況

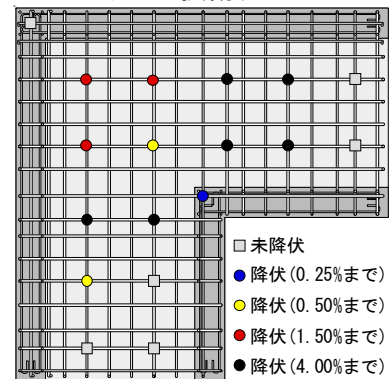


図-4 頂版の鉄筋降伏図

4. 損傷状況と鉄筋の塑性性状
負側の荷重では、ごく初期の段階(層間変形角-0.1%以下)で内コーナーにひび割れが発生し(図-3)、内コーナーのひび割れ幅は荷重の進行と共に非常に大きくなり、内部の鉛直方向の鉄筋が露出するほどまでになった。正側の荷重では、内コーナーの頂版部分のコンクリート圧壊とそれに伴った盛り上がりを確認された。なお、耐力低下の契機となったのは、直進部内側壁(西壁、南壁)の面外せん断破壊である。

頂版の鉄筋のひずみに着目すると(図-4)、負側の荷重のごく初期の段階(層間変形角-0.1%以下)で発生したひび割れに対応するように内コーナーに最も近い鉄筋が最初に降伏した。その後、荷重を進めるに連れて、内コーナーから外コーナーを結ぶ45度方向に降伏域が進展した。

最大耐力を発現した周回の荷重を終えた段階では、頂版交差部内の鉄筋に貼付したひずみゲージは、不動点に近い外コーナー以外の全てで降伏を示した。なお、この時点では交差部と直進部の境界近傍の鉄筋は降伏しておらず、側壁の主筋では鉛直部材と頂版および底版の境界部で数カ所降伏した箇所があったが、配力筋に関しては降伏した箇所はなかった。

最大耐力の発現以降の荷重においては、頂版の主筋は直進部でも降伏が確認され、交差部から直進部へ降伏域が進展した。また、荷重を進めるにつれて、側壁の配力筋でも降伏が確認された。

5. まとめ

- ・本実験の条件下では、L字を開く方向の荷重で発生した損傷が、閉じる側の抵抗機構に影響を与えた。
- ・最大耐力が発現された周回までには交差部と直進部の境界近傍の鉄筋の降伏は確認されず、最大耐力は交差部内の全ての鉄筋の降伏が確認された周回で発現する結果となった。

謝辞: 本研究は、電力9社と日本原子力発電(株)、電源開発(株)、日本原燃(株)による原子力リスク研究センター共通研究として実施した。関係各位に謝意を表す。

参考文献

[1] 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・マニュアル, 2005.6
 [2] 宮川義範, 柴山淳, 安藤明宏, 重光信宏: 水平体力の低下開始時点における鉄筋コンクリート製ボックスカルバートの変位分布, 土木学会第71回年次学術講演会講演概要集, pp.141-142, 2016.9
 [3] 日本建築学会: 鉄筋コンクリート造の靱性保証型耐震設計指針・同解説, 1997.
 [4] 二羽淳一郎, 山田一字, 横沢和男, 岡村甫: せん断補強筋を用いないRCはりのせん断強度式の再評価, 土木学会論文集, No.372/V-5, pp.167-176, 1986.