

## 水平二方向地震動に対する地下構造物の耐震性能評価手法の提案

東北電力(株) 正会員 ○土田 恭平 伊藤 悟郎  
 (株)大林組 正会員 渡辺 伸和 米澤 健次

### 1. 概要

通常、奥行き一様断面を有するボックスカルバート等の地下構造物は弱軸断面である横断面を二次元モデルとして設計する。一方、設計に用いる地震力は、水平一方向の地震動以外に断層モデルで作成される水平二成分+鉛直動の三成分で与えられるケースがある。近年、設計用地震力の増大に伴い、通常の横断面(弱軸断面)による耐震性能評価において裕度が小さい場合には、縦断方向加振の影響を考慮することもある。この場合、ボックスカルバート等に対し、三次元での耐震安全性の評価が必要となる。

本報告では、水平二方向地震動に対する地下構造物の耐震性能評価手法を提案し、さらに三連ボックスカルバートを例とし水平二方向の地震動に対する耐力/応答評価結果を示した。

### 2. 水平二方向地震動に対する耐震性能評価手法

構造体(二次元, 三次元を問わず)の x,y 平面内任意の角度の荷重に対する耐力曲線を次式で定義する。

$$(P_x/P_{ux})^\alpha + (P_y/P_{uy})^\alpha = 1$$

$\alpha$  は構造物の形状, 配筋, 更に目標性能によって異なる。 $\alpha=2$  で耐力曲線は楕円,  $\alpha=1$  で菱形,  $\alpha=\infty$  で長方形となる。

弱軸方向 x と強軸方向 y が明確なボックスカルバートで、例えば、 $P_{uy} = 2 \times P_{ux}$  とすると弱軸方向の耐力で正規化した耐力曲線は  $\alpha$  によって図-1 のようになる。実際には、x 方向耐力, y 方向耐力と、それ以外の角度、例えば 45° 方向の耐力が求まると構造物形状により  $\alpha$  を設定できる。作用地震力の xy 平面内の分布を耐力曲線に重ね合わせ、照査を実施する。正規化耐力曲線に対し、任意の 1 方向での照査結果により全方向評価が可能である。

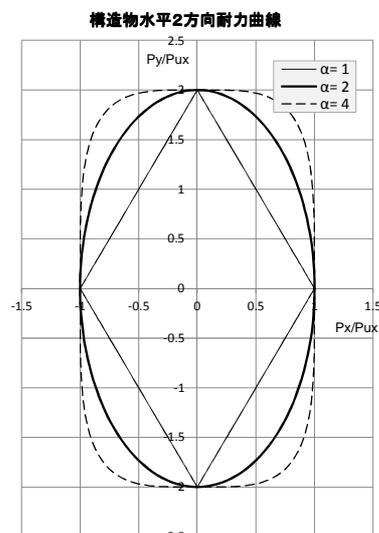


図-1 構造物の水平面内耐力曲線

### 3. 評価対象構造物

評価対象とするカルバートの横断面及び配筋を図-2 に示す。三連のボックスカルバートで奥行き方向は 16m を 1 ブロックとし、隣接するブロックとは軟質目地材を介して接するがここではその影響は無視する。

カルバート底面は岩盤に直接接し、側面及び上面は埋戻し土で覆われ、土被りは約 8m である。

### 4. 耐力曲線の設定

耐力は、三次元材料非線形モデル(解析コード Final-Geo)によって算定した。解析モデルを図-3 に、コンクリートおよび鉄筋の構成則を表-1 に示した。構造物の耐力は、単調載荷解析による最大耐力とする。耐力値は、構造物の荷重-変位関係、部材の変形角、収束計算時の不釣合い力の推移、構造物の損傷状態などから選定した。

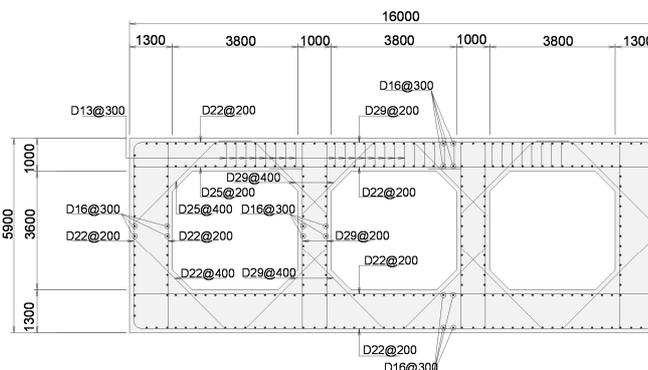


図-2 評価対象ボックスカルバート

非線形解析による鉄筋コンクリートの終局耐力の判定には現在、いくつか先進的な研究がなされている。本検討においても終局耐力の設定は重要な意味を持つ。構造物の不静定次数が高く形状が複雑で、更に荷重の載荷方向も固定しない本検討では、上記の複数の指標から総合的に設定した。荷重は、躯体の水平慣性力(要素物体力)を漸増させる(C1)。これにより、地盤特性や地震動特

性、強度等に依存しない構造物の特性としての正規化した耐力曲線を得る。また頂版上の土被り重量も含めた慣性力を载荷したケース(C2)の耐力も算定した。

载荷方向は x (弱軸, 横断) 方向, 直交する y (強軸, 縦断) 方向と 45° 方向の 3 方向とする。

解析は, 最初の 2step で常時荷重 (自重, 土圧, 土被り重量, 水圧等) による初期解析を実施し, その後, 水平に物体力を各 step 毎に重力加速度 G の 1/10 刻みで漸増させた。

結果を表-2 に, 耐力曲線を図-4 に示す。係数  $\alpha$  は 3.0~4.0 で耐力曲線を定義できる。異なった载荷荷重の C1, C2 で正規化した耐力曲線はほぼ一致し, 荷重分布の影響は極めて小さい。

表-2 カルバート XY 平面内算定耐力のまとめ

载荷方向	X 方向		Y 方向		XY45°方向	
	C1	C2	C1	C2	C1	C2
耐力(等価震度 G)	10.3	2.0	22.1	4.3	14.5	2.9
正規化耐力	1.0	1.0	2.15	2.15	1.41	1.45

5. 作用地震力に対する耐震安全性の評価

作用地震力が, ①一方向 (方向を限定せず), ②一方向+同時作用直交成分 0.4, の成分を設定した耐力曲線に接する図形を図-5 に示した。

①は半径 1.0 の円が耐力曲線と x 軸上で内接することから一方向の地震力は, 横断(x)方向二次元の照査により安全性が確認されれば, 全方向に地震動が作用した場合も安全性が確保される。

②は長短辺比 1 : 0.4 の長方形が耐力曲線と頂点位置で内接し, その時の x 座標は 0.998 である。つまり地震動 x 成分に対する一般的な横断(x)方向二次元の照査で, 0.002 の余裕を残していれば直交成分比率 0.4 も含め地震時の安全性を確認できる。

6. 結論

入力地震動の方向, 成分に対応して構造物の xy 平面内の耐力曲線の算定方法を示した。正規化により荷重分布形状に依存しない構造物の耐力曲線を定義できる。

カルバートのような一般的な二次元構造物で弱軸と強軸耐力に差がある構造物では, 作用地震力の方向, あるいは同時に直交方向の地震動作用に対しても, これまでの弱軸方向のみの二次元照査によってほぼ地震時の安全性確保が可能であることがわかった。

参考文献

- ・宮川義範; 水平二方向の変形を受ける鉄筋コンクリート壁体のマクロモデルに関する検討 電力中央研究所報告 研究報告: N05055 平成 18 年 6 月 財団法人電力中央研究所
- ・日本建築学会: 鉄筋コンクリート造建物の靱性保証型耐震設計指針・同解説, 1999

表-1 材料構成則と使用材料

各種特性	鉄筋がある要素	無筋要素
引張硬化特性 (テンションスティフニング)	長沼・山口モデル	Cut off モデル
引張軟化特性 (テンションソフトニング)	なし (スティフニングで考慮)	破壊エネルギー (コンクリート示方書)
圧縮応力-ひずみ曲線	修正 Ahmad モデル	
圧縮軟化領域特性	修正 Ahmad モデル	
ひび割れ後せん断伝達特性	長沼モデル	

①コンクリート材料

ヤング係数  $E_c=24800$  (N/mm<sup>2</sup>), 一軸圧縮強度  $f_c=23.5$  (N/mm<sup>2</sup>), 一軸引張強度  $f_{tk}=1.887$  (N/mm<sup>2</sup>)

②鉄筋材料

ヤング係数  $E_s=200000$ (N/mm<sup>2</sup>), 降伏強度  $f_{sy}=345$ (N/mm<sup>2</sup>)  
降伏後の剛性低下率=0.01

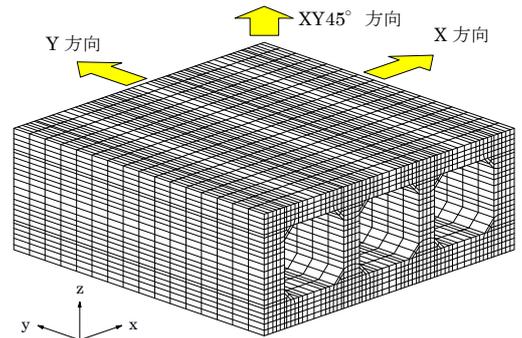


図-3 耐力算定モデルと载荷方向

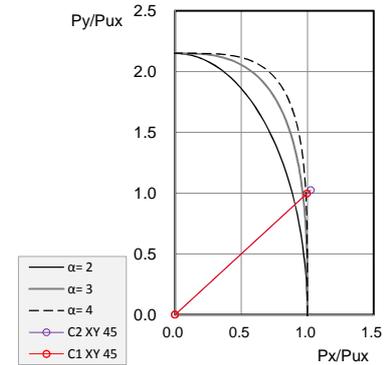


図-4 カルバート x-y 面内耐力曲線

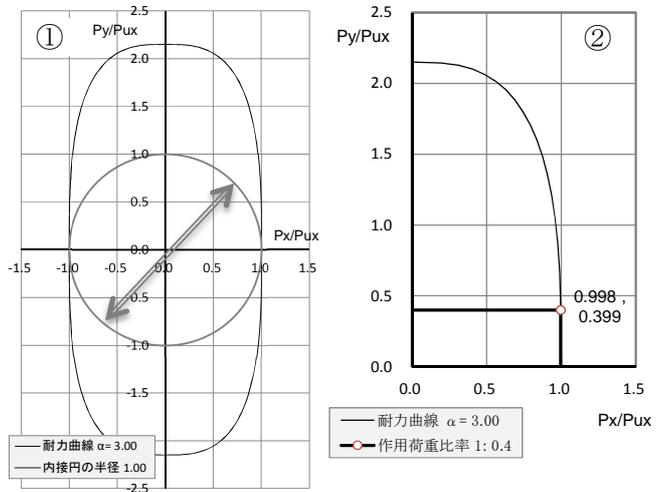


図-5 カルバートの耐力曲線と作用地震力