

断層変位を受けるボックスカルバートの要求性能に応じた損傷評価

東北電力(株) 正会員 ○山口 和英 正会員 伊藤 悟郎 正会員 肥田 幸賢
 (株)大林組 正会員 永井 秀樹 正会員 渡辺 伸和 正会員 堤内 隆広

1. はじめに

断層変位を受ける鉄筋コンクリート製ボックスカルバートの損傷評価を行う場合、一般に断層線と構造物が任意の角度で交わることで、図1に示すような三次元非線形解析モデルが求められる。このような場合、通常の断面計算等で損傷評価を行うことが難しい。一方で三次元のモデルでも適用可能な様々な損傷指標が提案されているものの、要求性能に対する整理がされていないため、要求性能に応じた損傷指標とその閾値について各指標の適用性を検証する必要がある。本稿では、原子力発電所の屋外重要土木構造物を模擬した土被り8mと25mのカルバートに逆断層変位を与えたケースについて、要求性能に応じた損傷指標の適用性を評価した結果を報告する。

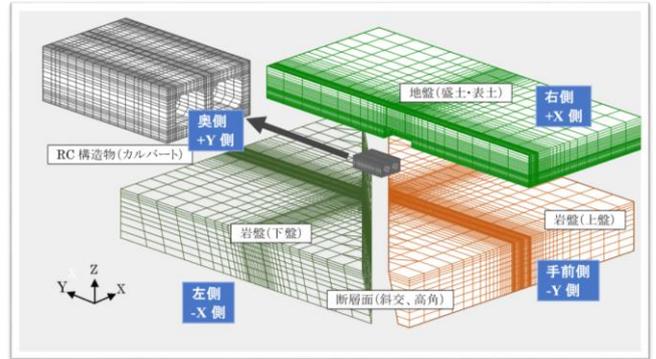


図1 今回適用する三次元解析モデル

表1 ボックスカルバートの要求性能 (原子力発電所の屋外重要土木構造物)

要求性能	構造性能	目標性能
支持性能	耐荷性能	構造物が崩壊しない 機器・配管支持部の健全性確保
	耐荷性能 (変形)	隣接ブロック、建屋間に有害なズレ等が生じない
貯水性能	耐荷性能	構造物が崩壊しない
	止水性能	過大漏水の回避 土砂流入、内水流出しない
通水性能	耐荷性能	構造物が崩壊しない

2. 要求性能に応じた損傷指標の整理

屋外重要土木構造物のカルバートの要求性能は、表1に示すように、支持性能、貯水性能および通水性能の3種類である。各性能に対して目標性能を満足するように損傷指標を選定する必要がある。損傷指標には、図2に示すように局所の損傷を示す指標から、構造物全体を1つの指標として示す指標がある。また各指標の閾値との対応により、構造物の様々な損傷状態を示すことが可能である。

カルバートの要求性能に応じて、表2に示すような損傷状況より損傷指標の種類およびその閾値を設定した。支持性能では、カルバート内に配置される機器・配管等の支持架台の性能が確保される損傷状況として、その限界値を部材耐力程度とし、損傷指標として主筋降伏 σ_s 、 W_n (正規化累加ひずみエネルギー)、 $\sqrt{J_2}$ (偏差ひずみ第2不変量)を選定した。なお、せん断損傷として $\sqrt{J_2}$ を選定しているが、詳細な検証が別途必要であると考え。貯水性能では、ひび割れ幅と $\sqrt{J_2}$ の関係性より新たに閾値を設定して評価した。通水性能では、様々な指標がある中で、局所を示す指標のコンクリート圧縮限界歪を用い、その分布状況を確認して評価した。



図2 要求性能と損傷指標の関係

3. 損傷指標による評価

要求性能に応じた損傷指標およびその閾値により、断層変位の限界変位量をまとめた結果を表2に示す。土被り8mの損傷評価を図3に示し、土被り25mの損傷評価を図4に示す。

キーワード 地中構造物, 断層変位, 三次元非線形有限要素法, 損傷指標, 要求性能

連絡先 〒980-8550 仙台市青葉区本町1-7-1 TEL 022-799-6103

表 2 損傷評価の結果まとめ

要求性能	損傷状況	損傷指標	閾値	限界変位量	
				土被り 8m	土被り 25m
支持性能	引張損傷	主筋降伏 σ_s	1,725 μ	$\delta = 149\text{mm}$	$\delta = 58\text{mm}$
	圧縮損傷	W_n	1,500 μ	$\delta = 310\text{mm}$	$\delta = 82\text{mm}$
	面外せん断損傷	$\sqrt{J_2}'$	2,000~2,500 μ	$\delta = 140\text{mm}$	$\delta = 78\text{mm}$
貯水性能	ひび割れ幅: 0.2mm 以下 ひび割れ幅: 2.0mm 以下	$\sqrt{J_2}'$ $\sqrt{J_2}'$	1,000 μ 5,000 μ	$\delta = 32\text{mm}$ $\delta = 286\text{mm}$	$\delta = 30\text{mm}$ $\delta = 104\text{mm}$
通水性能	構造物全体の崩壊	頂版・側壁の変形 (コンクリート主圧縮歪)	頂版の崩壊 (10,000 μ)	最大変位量 $\delta = 500\text{mm}$	$\delta = 130\text{mm}$

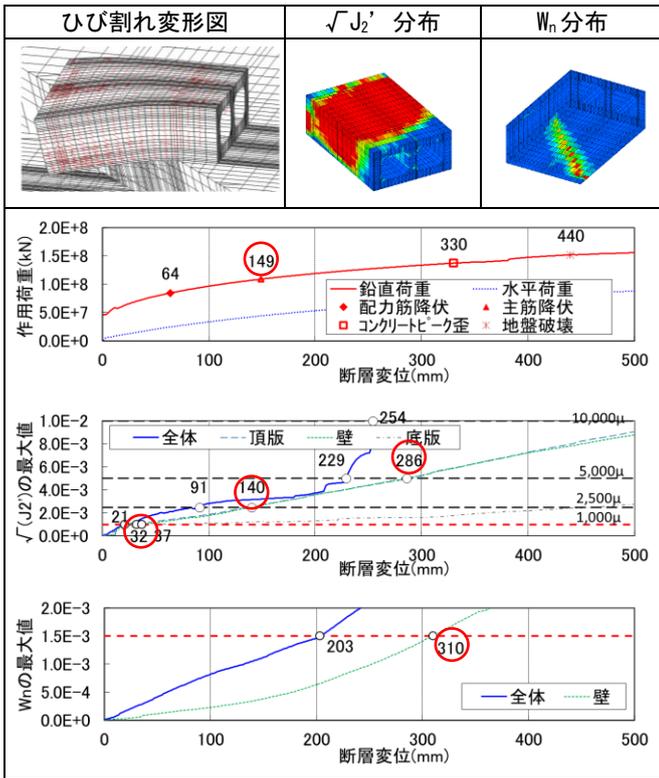


図 3 土被り 8m の損傷評価

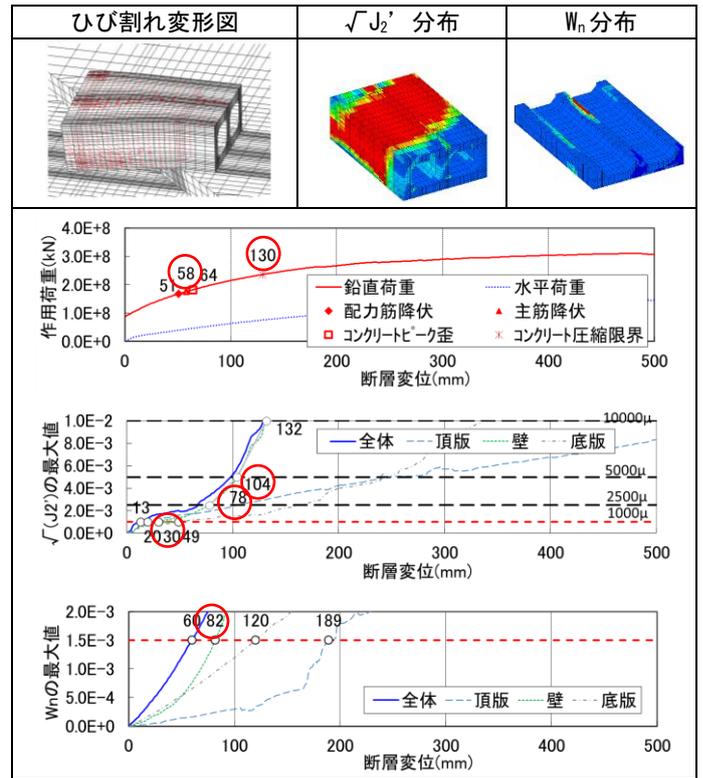


図 4 土被り 25m の損傷評価

(1)土被り 8m ケース・・・構造物全体系での曲げモードの損傷であるため、解析の断層変位の最大変位量 ($\delta = 500\text{mm}$) まで安定した解析となった。最大変位量まで頂版・側壁に大きな損傷は見られず、断層線上の底版下面でもコンクリート圧縮限界歪に達せず、通水性能が確保される。支持機能は、断層変位 $\delta = 149\text{mm}$ で断層線付近の壁主筋において降伏が発生するため、支持機能を失うことになる。ただし、支持機能は配管支持の位置をずらすなどの対応が可能である。貯水性能は、ひび割れ幅 0.2mm 以下を $\delta = 32\text{mm}$ で超える結果となり、ひび割れ幅 2.0mm 以下までとした場合には、 $\delta = 104\text{mm}$ となった。

(2)土被り 25m ケース・・・初期に構造物全体系での曲げモードの損傷が発生するもの、 $\delta = 82\text{mm}$ で中壁下端において圧縮損傷が発生し、 W_n が閾値 1500 μ を超える。その後 $\delta = 130\text{mm}$ でコンクリート主圧縮歪が 10,000 μ を超えて、その後に中壁下端の平面全体に広がり、構造物全体の破壊に至る。貯水性能は、ひび割れ幅 0.2mm 以下の場合、土被り 8m ケースと同等の $\delta = 30\text{mm}$ で閾値を超える結果となった。

4. おわりに

要求性能に応じた損傷指標とその閾値による損傷評価を行うことができた。これら関係は、センター共通研究の中で実施された载荷実験を基に決めているため、今後の実験や検証により精度向上が図られると考える。今後、その他構造物に対しても、今回決定した損傷指標とその閾値の関係を用いて評価していきたいと考える。

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。