

地中構造物の要求性能に応じた限界変位の検討

東北電力(株) 正会員 田村 雅宣 伊達 政直  
(株)大林組 正会員 永井 秀樹 渡辺 伸和

1. はじめに

一般的にボックスカルバートに代表される地中構造物は、地震時には周辺地盤の応答変位の影響を大きく受けて挙動する。この場合に、地中構造物に求められる性能として要求性能に見合った限界変位(ボックスカルバートの場合、頂版と基礎版の層間変位の限界値)を設定できれば、地盤/構造物連成系の非線形応答解析でその応答変位の最大値を求めることで、簡便に構造物の状態を判断できることになる。要求性能に見合った限界変位とは、例えば導水管カルバートであれば、地震後も通水機能が維持される状態であり、カルバートの中壁でせん断破壊が発生したとしても最終的に軸力保持機能が確保されることとなる。壁にアンカーで配管を固定した配管カルバートであれば、配管の支持機能を確保するため、かぶりコンクリートが剥落しないこととなる。

本報告では、この限界変位に関して解析と既往の実験結果との比較により、ポストピーク領域まで含めた解析の追従性の検証を行い、解析による要求性能に見合った限界変位の設定手法について検討した。

対象構造物は、土被り厚さ約 20m の 2 連の鉄筋コンクリート製のボックスカルバートとした。

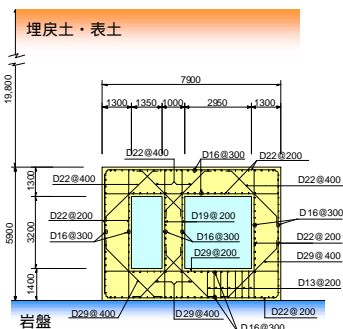


図-1 2連カルバートボックス構造図

2. 限界変位の算出方法

解析にはコンクリート構造物非線形有限要素法プログラム「FINAL」を用いた。構造物はコンクリートを平面歪要素、鉄筋をトラス要素でモデル化した。コンクリートの構成則は修正 Ahmad および長沼モデル

ル、鉄筋はバイリニアでモデル化している。載荷方法は初期状態として常時荷重(自重、土圧、土被り圧)を作用させた後、交番載荷解析では、各壁の上端に 4.55mm (層間変形角約 1/1000) の水平方向変位を与え、交番で 4.55mm ずつ漸増させた。単調載荷解析は、同様に各壁の上端に水平方向変位を与え漸増させた。

交番載荷解析の結果(図-2)より、2 サイクル目に曲げ降伏して、4 サイクル目(  $x=17.6\text{mm}$  )に右壁よりせん断破壊が発生し、構造物全体の壁せん断力の合計がピーク値となった。右壁にせん断破壊が発生した後も、構造体として崩壊することなく、ポストピーク領域(  $x=22.3\text{mm}$  )まで一定の壁せん断力を保持している。単調載荷解析の結果では、不釣り合い力の収束状況(収束計算 3 回目の不釣り合い力 / 収束計算 1 回目の不釣り合い力の平均値が 1.0 となる変位、図-3)を把握することで、限界変位を設定することが可能となり、交番載荷解析と同程度の値(  $x=26\text{mm}$  )となることが分かった。

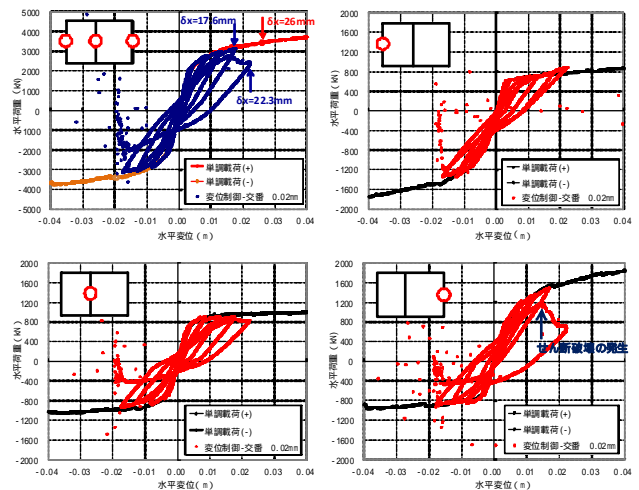


図-2 荷重～変位関係(全体・各壁)

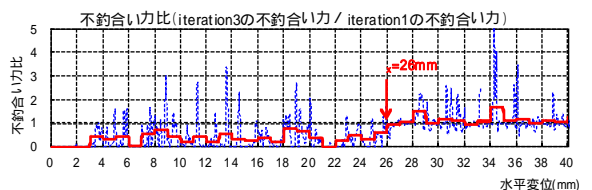


図-3 不釣り合い力の収束状況

キーワード 電力施設, 地中構造物, 変位制御, せん断破壊, 限界変位  
連絡先 〒980-8550 仙台市青葉区本町 1-7-1 TEL 022-799-6103 FAX 022-262-5851

### 3. 解析と実験結果との比較

実験は、ボックスカルバート中壁の 1/2 スケールモデルとした。せん断補強鉄筋がないケース(PW00)の実験では、16.7mm(層間変位=+10/1000)付近でせん断破壊が起こり、その後も緩やかに耐力低下していくのに対して、同スケールの 2 次元モデルによる交番載荷解析では、せん断破壊が 4.8mm(層間変位=+3/1000)で発生して、壁せん断力がピーク値となり、17.6mm(層間変位=+11/1000)で急激な耐力低下が起こった。せん断補強鉄筋(Pw=0.2%)を追加したケース(PW02)では、壁せん断耐力のピーク値は、実験と解析で概ね一致した。実験では、曲げ降伏後のせん断破壊の後も緩やかに耐力低下するのに対して、解析では、最大変位 31mm(層間変位=+19/1000)で急激な耐力低下が起こった。両ケースの結果より、解析結果から設定する限界変位は、実験結果によるよりも小さく、解析では安全側に限界変位を設定できることが分かった。

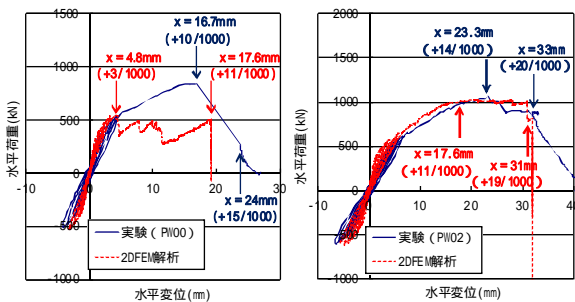


図-4 荷重～変位関係 (PW00、PW02)

### 4. 要求性能に応じた限界変位の設定

せん断補強鉄筋がないケース(PW00)では、せん断破壊直後に大きな斜めひび割れが入り(写-2)、かぶりコンクリートと鉄筋の間に隙間ができ、壁せん断力が急激に低下した。これより、せん断破壊の直後より配管の支持機能を確保することが難しくなったと考えられる。通水断面の確保については、せん断破壊後も一定の軸力保持が確保されており、解析により限界変位を設定する場合、計算可能な範囲を限界変位とすることができると思われる。

せん断補強鉄筋(Pw=0.2%)を追加したケース(PW02)では、せん断破壊直後に斜めひび割れが入るものの(写-3)、かぶりコンクリートへの影響は小さい。ポストピーク領域～崩壊にかけても、かぶりコンクリートに影響するひび割れは起こらない(写-4)。これより、軸力保持の機能喪失まで配管の支持機能

が確保されるものと考えられる。各ケースにおける要求性能に見合った限界変位を、表-1に纏めて示す。



写-1 交番載荷終了時 (PW00、+3/1000)



写-2 せん断破壊直後 (PW00、+10/1000)



写-3 せん断破壊直後 (PW02、+14/1000)



写-4 層間変位 2.0% (PW02、+20/1000)

表-1 要求性能と限界変位の設定例

		配管支持性能の限界変位	通水性能の限界変位
2連カルバート		17.6mm	22.3mm
中壁 1/2 (Pw=0.0%)	解析	4.8mm	17.6mm
	実験	16.7mm	24mm
中壁 1/2 (Pw=0.2%)	解析	31mm	
	実験	33mm	

### 5. 今後の課題

解析と実験の比較では、ピーク値までの荷重～変位関係において、その初期勾配およびひび割れ後の剛性に相違が見られた。これは解析モデルにおいて鉄筋とコンクリートの付着すべりによる影響が考慮されていないためと考えられる。

今後、ポストピーク領域およびかぶりコンクリートに影響する様々な破壊モードに対して、解析により限界変位を精度良く設定できるように、鉄筋とコンクリートの付着の考慮および 3 次元モデルによる解析を行う予定である。

### 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構造健全性評価に関するガイドライン」, 2008/7
- 2) 伊達, 山口,「せん断破壊する地中ボックスカルバートの地震時限界変位」2010/9, 土木学会第 65 回年次学術講演会