

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

東北電力(株) 正会員 ○伊達 政直 大内 一男
(株)大林組 正会員 山口 裕和 渡辺 伸和

1. はじめに

一般に鉄筋コンクリート構造物において、引張側はコンクリートのひびわれ、鉄筋降伏、圧縮側についてはコンクリートの $\sigma \sim \varepsilon$ 関係などから、変位が増大するに従いその剛性は低下する。その結果、構造物の荷重～変位曲線は、最大荷重の近傍では僅かな荷重増分で大きく変位が増加する、上に凸の形状を示す。この傾向は曲げ破壊モードの構造物で顕著であるが、一部の部材がせん断破壊する場合も高次の不静定構造物であれば、応力の再分配が起こり、同様な傾向を示す。(図-1)

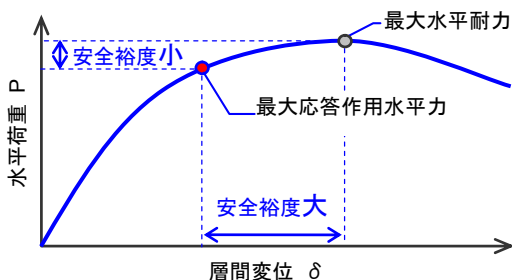


図-1 荷重～変位曲線と耐力／変位照査

地中構造物の地震時の応答は、周辺地盤との相互作用により決まることから、大地震に対する構造物の限界性能を探る場合、構造物の耐震性能は変形性能に依存する可能性が高い。従って、構造物の応答変位と要求性能に対応した限界変位の関係から、耐震性能を評価することができる(変位照査)。例えば、稀で大きな地震入力を想定し、要求性能として局所的な損傷を許容し、最大耐力近傍の変位を限界変位と設定できる場合は、変位照査は従来の耐力照査に比較して、より合理的な結果を与える。(図-1)

本報告では、せん断破壊する地中ボックスカルバートを対象とした変形特性の評価から、変位照査の適用可能性および有効性を検討した事例を紹介する。

2. 変位制御交番载荷による限界変位の算定

(1) 検討対象構造物

岩着した6連の地中ボックスカルバートを対象としている。外壁および隔壁の一部にはせん断補強筋が配置されていない(図-2)。部材単位でのせん

断耐力式による照査では、せん断補強筋が配置されていない隔壁が最も厳しく、その隔壁のせん断破壊により耐力が決定される構造物である。

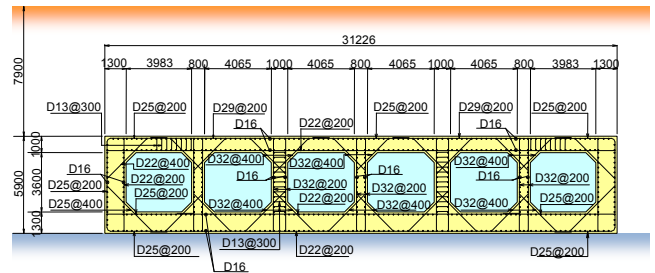


図-2 ボックスカルバート断面図

(2) 解析条件

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」²⁾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(図-3)。コンクリートの構成則は修正 Ahmad および長沼モデル²⁾、鉄筋はバイリニアでモデル化している。载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、各壁の上端(図-3の強制変位定義点)に5.9mm(層間変形角約1/1000)の水平方向変位を与え、交番で5.9mmずつ漸増させた。

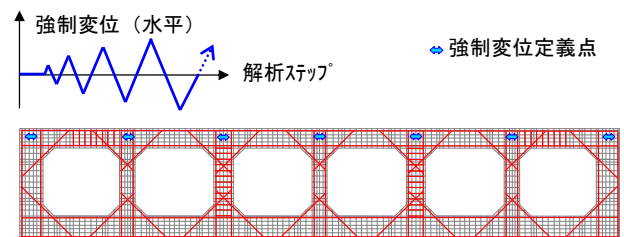


図-3 変位制御交番载荷非線形解析モデル

(3) 解析結果

荷重～変位曲線を図-4に示す。正側4サイクル目で脆性的な破壊に至るため、限界変位は正側3サイクル目の17.7mmと設定した。限界変位の段階で荷重の低下は認められなかった。

また、終局時のひび割れ状況を図-5に示す。せん断補強筋が配置されていない隔壁にひびわれが集中している。

キーワード 電力施設, 変位制御, 変形照査, せん断破壊

連絡先 〒980-8550 仙台市青葉区本町 1-7-1 TEL 022-799-6103 FAX 022-262-5851

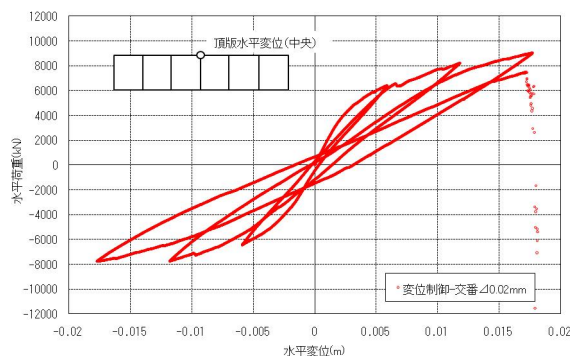
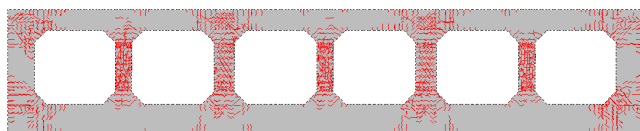


図-4 変位制御交番载荷における荷重～変位曲線

図-5 変位制御交番载荷における終局時ひびわれ変形図
(変位スケール：1倍)

3. 荷重制御単調载荷との比較

(1) 解析条件と解析結果

図-2 に示す構造物に対して、構造物の耐震性能を荷重により評価する耐力照査を行った。

初期応力状態を再現した後、地盤～構造物を連成させた動的応答解析 (SuperFLUSH) から設定した地震時土圧および躯体慣性力を一方向に静的に作用させ、これらの荷重分布形状を保持しながら、漸増して押し切る計算を実施した。(図-6)

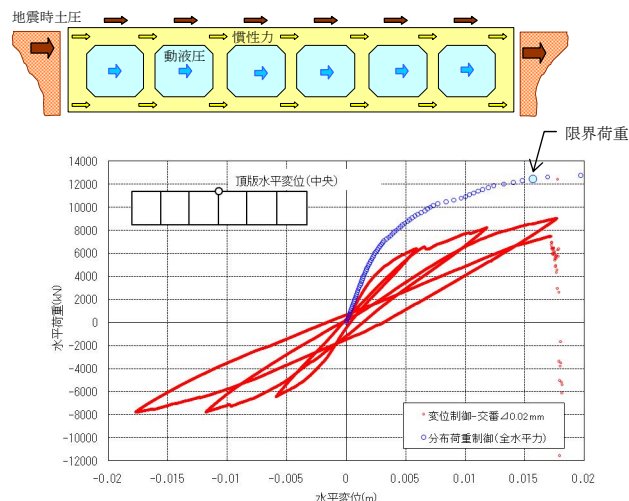
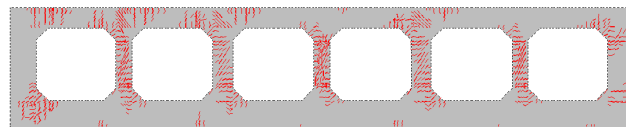


図-6 荷重制御単調载荷荷重～変位曲線との比較

限界荷重は、解析の収束状況やひびわれ分布などから 12,300kN (総水平力) と設定した。また、この荷重に対応する層間変位は約 16mm であった。

限界荷重におけるひびわれ図を図-7 に示す。せん断補強筋が配置されていない隔壁にひびわれが集中しており、変位制御交番载荷したひびわれ図 (図-5) とよく一致している。

図-7 荷重制御における限界荷重時ひびわれ図
(変位スケール：1倍)

(2) 解析結果の比較

変位制御解析による限界変位が 17.7mm であったのに対し、荷重制御解析による最大耐力時の層間変位は 16mm であった。両解析の主な相違点は、交番载荷による剛性低下の影響と载荷荷重の分布形状の差 (荷重制御解析は地震時の土圧等の分布を再現、変位制御解析は頂版に集中载荷) であり、総水平力の差はこの影響であると考えられる。このような相違点がある上で、両解析の限界変位に大きな差はなかったことから、層間変位は構造物の地震時の限界状態を示す指標として有効であることを示唆しているものと考えられる。

まなお、両解析の終局時における隔壁部のひびわれ状況から、同様の崩壊機構 (塑性ヒンジおよびせん断破壊の位置) であったことがわかる。

4. まとめ

隔壁がせん断破壊する地中構造物を対象に、頂版に強制変位を与える変位制御による解析を行い、荷重～変位関係から構造物の限界変位を設定した。また、荷重制御との比較から、限界変位は構造物の限界状態を表す指標として有効であることを確認した。

今後、上記指標を用いた変位照査手法を一般化していく上では、破壊モードに差があるケースなどから本照査手法の適用範囲を明らかにすること、部分安全係数の取扱いを整理することなどが課題と考えられる。

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) K.Naganuma, K.Yonezawa, 「SIMULATION OF NONLINEAR DYNAMIC RESPONSE OF REINFORCED CONCRETE SCALED MODEL USING THREE-DIMENSIONAL FINITE ELEMENT METHOD」 2004/8, 13th World Conference on Earthquake Engineering