

ポストピーク領域を考慮したカルバートの地震時限界変位

東北電力(株) 正会員 ○大内 一男 伊達 政直
(株)大林組 正会員 永井 秀樹 米澤 健次

1. はじめに

地中構造物の地震時の応答(変位)は、周辺地盤との相互作用により決まることから、大地震時(大変形時)におけ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。

変位照査として、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場合、要求性能として局所的な損傷が許容されるならば、最大水平耐力を超えた領域(ポストピーク)に限界値を設定する場合も考えられる。(図-1)

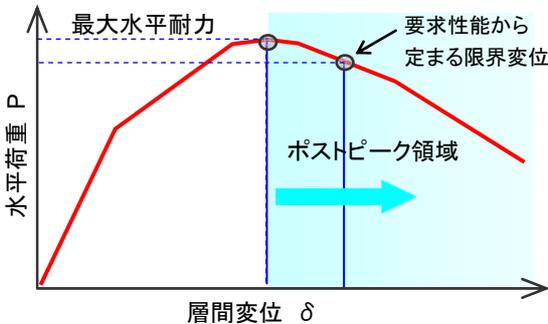


図-1 荷重～変位曲線とポストピーク領域

本報告では、壁のせん断破壊が先行する地中ボックスカルバートの変位照査の限界変位をポストピーク領域に設定する可能性について、非線形解析により検討・考察した。

2. 変位制御交番荷重による限界変位の把握

(1) 解析モデル

隔壁のせん断破壊によって限界変位(終局)が決定される6連の導水路ボックスカルバート(図-2)を対象とする。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。

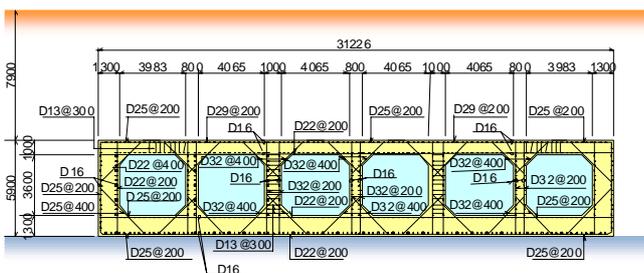


図-2 ボックスカルバート断面図

(2) 要求性能の定量化

「非常に稀な地震に対して、導水路として最低限の水を流す内部空間を確保できること」を要求性能とし、これに対応する解析上の指標として、解析により追従が可能な範囲で、カルバート内部空間が維持される最大の頂底板間相対変位(層間変位)を限界変位として設定することとした。

(3) 限界変位とポストピーク

コンクリート構造物非線形有限要素法プログラム「FINAL」²⁾を用いて、変位制御による交番荷重非線形解析を実施し、荷重～変位曲線を得た(図-3)。

限界変位は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ず、ポストピーク領域には達していない。

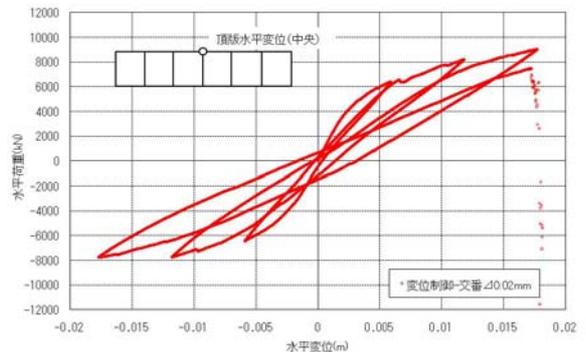


図-3 変位制御交番荷重における荷重～変位曲線

一方、せん断補強筋の有無による荷重～変位関係の傾向を比較したところ、せん断補強されていない隔壁では12mm程度の変位量で最大荷重を示し、以降は荷重が低下していることが確認できる(図-4)。

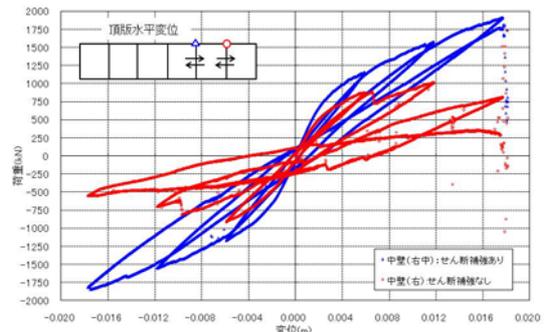


図-4 隔壁による荷重～変位関係の違い

キーワード 電力施設, 変位制御, 変形照査, ポストピーク, せん断補強

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

このことから、構造物としては最大耐力以下の変位であってもせん断補強がない隔壁では部材としてはポストピーク領域にある。その水平負担荷重が、最大荷重の 1/4 程度にまで減少した時点で、これら部材より解析上不安定な状態となり、構造物全体の限界変位が決定されている、と考えられる。

一方、せん断補強鉄筋のある隔壁部では、限界変位に達した時点でも最大水平耐力に至っていない。

3. せん断補強による構造物の限界変位の改善

せん断補強鉄筋の配置されていない隔壁に対して追加配置したケース(図-5)について、同じく変位制御交番载荷によって限界変位を設定した。仮定したせん断補強鉄筋量は約 0.1%と少なく、破壊が隔壁のせん断破壊モードであることに変化はない(図-6)。

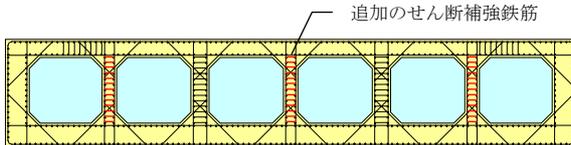


図-5 せん断補強鉄筋の追加位置 (P_w=0.1%)

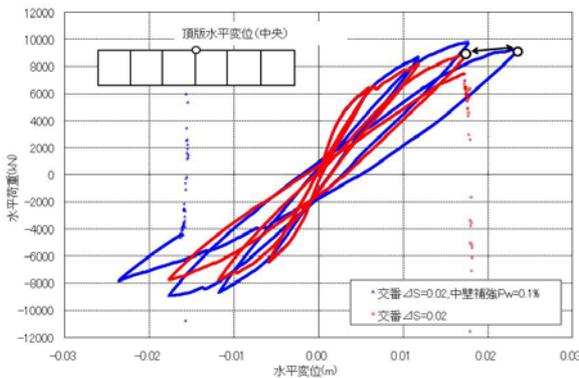
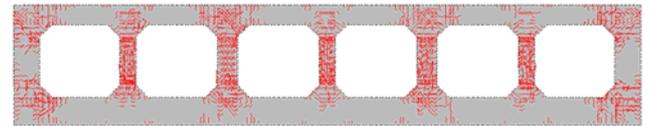


図-6 せん断補強前後の荷重～変位曲線

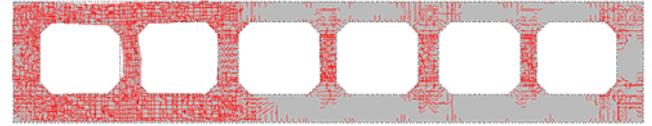
せん断補強後の限界変位は、正側 4 サイクル目の 23.6mm と設定した。正側 3 サイクル目が最大荷重となることから、設定した限界変位はポストピーク領域にあり、補強前に比べ 30%程度改善されている。また、補強により最大荷重が 10%程度向上している。

4. 破壊モードに関する考察

解析が不安定となる直前と直後の解析ステップでのカルバートの変形状況とひびわれ分布を図-7 に示す。



(a) 終局時



(b) 終局直後

図-7 終局時とその直後のひび割れ変形図
(変位スケール：1倍)

解析が不安定な状況での結果であるものの、隔壁のせん断破壊の進展により隔壁が軸力を保持できず、頂版が崩落に至る状況に対応するものと考えられる。

最終的に構造物の崩壊に直接関与した荷重は、常時から作用している自重と土被り重量であり、地震時荷重によって損傷を受けた部材の残存耐力でそれらの常時荷重を保持できなくなり、構造物の崩壊に至るモードが読み取れる。

5. まとめ

本構造物は、高次の不静定構造物であるため、一部隔壁でポストピーク領域に達した(負担せん断力の低下)後も構造物としては安定した状態にある。その応力再配分による変形性能(靱性)について、ある程度解析により表現できることが分かった。

また僅かなせん断補強鉄筋であってもそれを配置することで変形性能はさらに改善され、全体系でのポストピーク領域に限界変位を設定できる可能性があることが確認できた。

今後は、設定した限界変位と、地盤～構造物連成時刻歴非線形解析により算定する応答変位の比較による照手法の適用範囲と部分安全係数の設定方法について検討を進める予定である。

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)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