

## I-94

## 円筒形連壁の座屈解析手法に関する検討

大成建設(株) 正会員 山本 平・三坂浩昭

正会員 加納宏一・岡本剛治

## 1. はじめに

高強度コンクリートを用いた円筒形連壁は、従来よりも壁厚を薄くできるが、構造不安定(座屈)現象を引き起こす可能性があるため、その設計においては構造安定性の検討が必要となる。

鉄筋コンクリートの座屈問題については、線形固有値解析より算定される線形座屈荷重(固有値)にクラックや初期不整、塑性化など種々の要因を低減係数として乗じ、安全係数を求めることにより座屈安全性の検討を行う方法がある<sup>1)</sup>。しかし、地中構造物である連壁は地盤の影響を考慮する必要があり、線形固有値解析では地盤バネも線形としてモデル化されるため、Tension Cut-offの様な非線形バネのモデル化は不可能である。また、連壁のエレメント間では円周方向鉄筋は全ての断面で結合されているとは限らない。このエレメント間の円周方向鉄筋の結合(以降、円周筋結合とする)の有無による構造安定性への影響も考えられるが、これも線形固有値解析では考慮することはできない。

そこで本稿では、円筒形連壁の座屈解析手法に関して、地盤の影響や円周筋結合の影響を考慮した幾何学的非線形FEM解析による検討を行う。

## 2. 解析モデル

本解析の対象とした連壁は、内径約40m、壁厚1.3m、連壁長約100m(掘削深さ約50m)、設計基準強度 $f_{ck}=600\text{kgf/cm}^2$ 、先行エレメント1ガットと後行エレメント3ガット、全周44エレメントから成り、エレメント間は仕切鋼板にて仕切られている。また、エレメント間の円周筋結合のモデル化は、連壁上部の約20mのみが結合され、全ての力を伝達するものとし、それ以深は仕切鋼板を介し、円周方向に対し圧縮力とせん断力を伝達し引張力は伝達しないものとした。

コンクリートのモデル化には2次のアイソパラメトリック要素である3次元ソリッド要素を、円周筋結合のない部分は接触要素を用いた。

解析モデルは $90^\circ$ 範囲とし、ソリッド要素は1要素/ガット(22要素/ $90^\circ$ )、鉛直方向には23要素、部材厚方向には1要素の計506要素とした。解析メッシュ図を図-1に示す。

また、地盤はバネ要素を用いてモデル化を行った。連壁の外側は全周に、内側は床付け面以深に全周に配した。バネ分布の模式図を表-1に示す。各節点には半径、円周、鉛直方向のバネがそれぞれ付き、半径方向バネはTension Cut-offの非線形バネ、円周・鉛直方向バネは弾性バネとした。

荷重条件は、最終床付け面掘削時の土水圧と偏土圧を考慮した。土水圧は等圧荷重として、偏土圧は、土圧の20%が両押し荷重として作用するものとした。荷重載荷パターンを表-2に示す。

解析は材料線形の幾何学的非線形解析にて行い、前述の荷重を一律に増加させ、構造モデルに初期不整はないものとした。

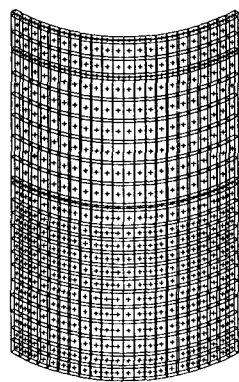


図-1 解析メッシュ図

表-1 バネ分布模式図

| 鉛直分布 | 水平分布 |      |
|------|------|------|
|      | 床付け浅 | 床付け深 |
|      |      |      |

注) バネ値:  $k_r=0.1 \sim 0.25\text{kgf/cm}^2$  (GL-0~12)  
 $k_\theta=1.8 \sim 3.0\text{kgf/cm}^2$  (GL-12B底)

表-2 荷重載荷パターン

|     | 鉛直分布 | 水平分布 |      |
|-----|------|------|------|
|     |      | 床付け浅 | 床付け深 |
| 土水圧 |      |      |      |
| 偏土圧 |      |      |      |

### 3. 解析結果

変形図を表-3に、変位が最大となる床付け面上約20mにおける荷重倍率-変位関係及び荷重倍率-応力(接触要素)関係を図-2、図-3に示す。

図-2に示されるように、荷重倍率8倍程度までは弾性的な挙動をしているが、その後荷重の増加と共に、変形が進行する部分と戻る部分とが現れ、円周方向に波打つ変形モードとなった(表-3)。荷重倍率は約13倍でピークを迎え、その後変形のみが進行している。これより、座屈荷重倍率は約13倍と判断される。

図-3は、53°方向の接触要素を表しており、荷重倍率9倍程度までは圧縮力は増加し続ける。この部分は外側に波打つ変形モードであるため、その後の曲げ変形の増大に伴って外側の応力が減少し、内側の応力が増大している。応力が0となった時点がエレメント間の開き始めであるため、この部分が開き始めた時点では、荷重倍率は既に13倍に達していることがわかる。

また、全ての断面の円周筋を結合したモデルにより同様の解析を行なった結果、図-2に示した荷重倍率-変位関係とはほぼ同等な傾向が見られたため、本構造モデルと荷重条件においては、円周筋結合の有無の影響はほとんどないものと考えられる。

### 4. まとめ及び今後の課題

線形固有値解析では困難な、地盤の影響や円周筋結合の有無を考慮した円筒形連壁の座屈解析に対する一方策を、幾何学的非線形解析により示すことができた。

解析の結果より、荷重倍率のピークとなった13倍を座屈荷重倍率と判断したが、構造条件や荷重条件、初期不整の影響等により荷重倍率のピーク値が変動したり、ピークが現れない場合が考えられる。このような場合に幾何学的非線形解析結果から座屈荷重を判断する方法は、今後明確にする必要がある。

今回用いた構造モデルと荷重条件では円周筋結合の有無による構造安定性への影響がほとんど現れなかったが、壁厚が薄くなった場合や根入れ長が短くなった場合などには、円周筋結合の有無が構造安定性に顕著な影響を及ぼすことも考えられ、今後の検討を要する。

また、カッティングなどの仕切鋼板のないタイプに対しては、エレメント間に摩擦等を考慮した新たなモデル化が必要となる。

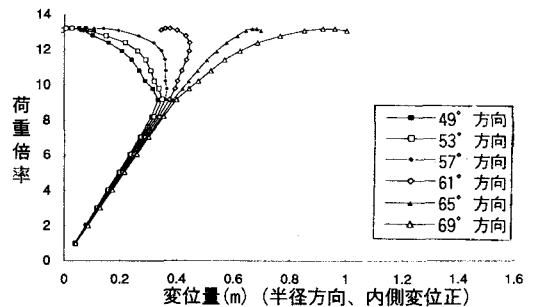


図-2 荷重倍率-変位曲線

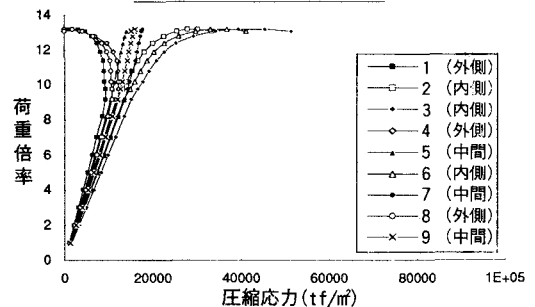


図-3 荷重倍率-応力曲線(接触要素)

表-3 変形図

| 荷重倍率 | 9.18 | 12.4 | 13.2 |
|------|------|------|------|
| 変形図  |      |      |      |

### <参考文献>

- 例えば、"Explanation of the chapter on stability of the 《Recommendations for reinforced concrete shells and folded plates》 and a proposal to its improvement" IASS Bulletin, No.77, 1981