

八ニカムセグメントリング載荷試験シミュレーション - 八ニカムセグメントの三次元解析 -

大阪市交通局
大阪市交通事業振興公社
奥村組

正 隅野洋治 正 島 拓造
正 太田 拓 正 寺田幸紀
正 柳原純夫 正 三木英通

1. まえがき

前報の八ニカムセグメントリング載荷試験において、八ニカムセグメントの実耐力は設計耐力よりかなり大きいことがわかった。この八ニカムセグメントの終局耐力レベルにおける抵抗メカニズムを明らかにする目的で静的三次元解析を実施したので、その結果について報告する。

2. 解析方法

セグメントはソリッド要素でモデル化した。1ピースの八ニカムセグメントは $8 \times 8 \times 4$ 層 = 256個の要素に分割した。斜辺間ボルトはトラス要素とし、図-1に示すように実際の位置に配置し、セグメントピース間を連結した。セグメント間は圧縮力に対しては反力が発生し引張力に対しては抵抗が働かない、図-2に示す接触、非接触の判定が可能な要素を配置した。これにより、セグメントピース間のコンクリートブロックの抵抗挙動を表現すること試みた。八ニカムセグメントの斜辺継手部において、斜辺継手に作用する力は図-3に示すように継手を目開き変形させる力と斜辺中央を中心とした回轉變形力に分散され、斜辺形状に依存して斜辺を捻り変形させるような応力伝達形態になっていると考えられる。したがって斜辺中央を中心とした回轉變形に対する抵抗が継手全体の抵抗挙動に大きな影響をおよぼす。この抵抗力としてセグメントブロック間の摩擦抵抗と図-4に示す斜辺に2箇所設置した凸状のプラグのせん断抵抗が考えられる。ここではプラグ位置にトラス要素を挿入し斜辺中央を中心とした回轉變形を拘束した。荷重はまずリング載荷試験で導入した1109.5 kN/ringのリング方向軸力を導入するため、各セグメントブロック間の各要素に初期軸力を設定した。つぎに継手ボルト要素（トラス要素）に、初期締付力として許容軸力の80%に相当する139.5 kN/本の初期応力を設定した。水平荷重はリング載荷試験における最終荷重 $Ph_2 = 617.2$ kNを10分割し61.72 kNずつ10段階に分けて荷重した。荷重作用位置はリング載荷試験と同様の図-5に示す位置の解析モデル各節点とした。

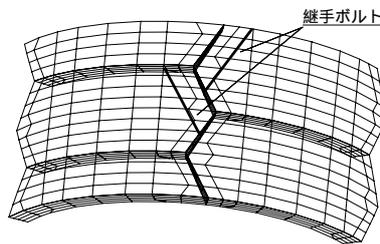
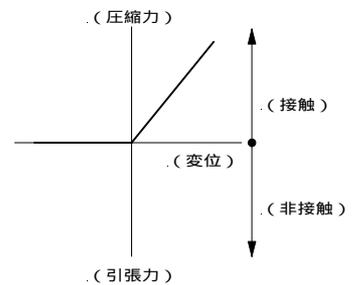


図-1 ボルト配置



M_j : 継手リング方向曲げモーメント(1リング)
 N_j : 継手リング方向軸力(1リング)

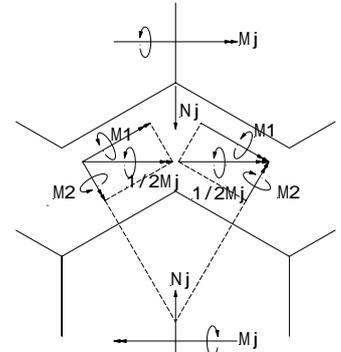


図-3 斜辺継手応力分散

相当する139.5 kN/本の初期応力を設定した。水平荷重はリング載荷試験における最終荷重 $Ph_2 = 617.2$ kNを10分割し61.72 kNずつ10段階に分けて荷重した。荷重作用位置はリング載荷試験と同様の図-5に示す位置の解析モデル各節点とした。

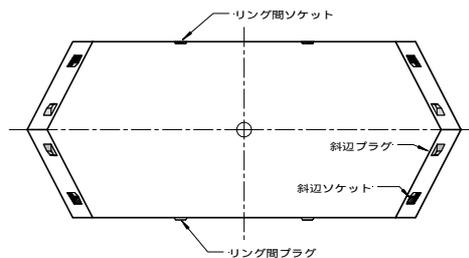


図-4 斜辺プラグ

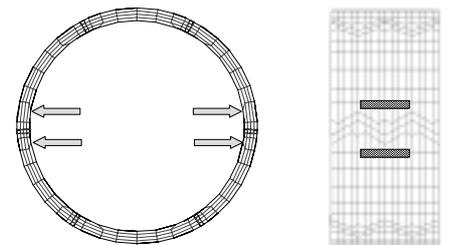


図-5 荷重載荷位置

キーワード：八ニカムセグメント、シールドトンネル、三次元解析、リング載荷試験、レベル2地震動、地中構造物、継手
連絡先：〒545-8555 大阪府大阪市阿倍野区松崎町2-2-2 TEL 06-6625-3569 FAX 06-6623-7699

3. 解析結果

図 - 6 に曲げモーメント - 内空変位量の解析結果と試験結果を示す。セグメントブロック間は接触、非接触の判定をしており、ブロック間に引張力がはたらき非接触となることは、中立軸の移動と解釈できる。図中に中立軸の移動状況(~)を示す。最終荷重段階(曲げモーメント約 390 kN・m)で試験結果が $X= 64.3$ mm、 $Y= 44.88$ mm に対し解析結果は $X= 76.4$ mm、 $Y= 49.2$ mm となる。両者の差は荷重増分過程における中立軸の移動過程に差があることによるものと考えられる。解析結果をみると中立軸の移動に伴い変位の非線形傾向が大きくなるのがわかる。特にボルトが引張側になる中立軸位置の段階から変位の増分が大きくなる。この段階にいたると変位が急激に増加する。

この段階では解析においては接触している最上部の節点のみで圧縮力を伝達している状態である。荷重増分過程で定量的な一致はみえていないものの、試験結果においても解析結果においても、継手部におけるセグメントブロック間の接触状態がセグメントリング全体の变形挙動に大きな影響を及ぼし、継手部の中立軸の移動とボルトの抵抗メカニズムに大きな影響を及ぼすという特性が、本解析によりよく再現されているといえる。ハニカムセグメントの抵抗は、ブロック間の接触状態が大きな影響を及ぼし、中立軸が ~ にいたる過程でセグメントピース間抵抗が発現する機構を有することが重要である。図 - 7 に最終荷重段階におけるリング全体の変形モードを示す。継手部における変形が全体の変形モードに対して支配的あり、セグメント本体はあまり変形していないことがわかる。継手ボルト応力の解析結果と試験結果の比較を図 - 8 に示す。継手ボルトを鉄筋とみなした RC 断面としたときのボルト応力を併記している。解析結果は曲げモーメントが 150 kN・m 以下では試験結果と良く一致している。荷重が初期締付力(曲げモーメント 139.5 kN・m)以上、継手ボルトの応力が増加し始める段階で、解析結果と試験結果は良く一致する。曲げモーメントが 150 kN・m ~ 300 kN・m の範囲では解析結果が試験結果を上回る。これは内空変位もこの段階で試験結果を上回っていることと対応している。試験結果では曲げモーメントが 300 kN・m 以上からボルト応力が急増する。最終荷重段階では解析結果が 599 N/mm² (B1、B2の平均値)、試験結果が 596 N/mm² と良く一致している。RC断面としたときのボルト応力と比較すると解析結果は試験結果と同様に 150 ~ 300 kN・m において小さく、試験結果でみられたセグメントピース間のせり合い効果が解析でも再現できている。

4. まとめ

今回の検討結果により、継手ボルトをトラスとしセグメントピース間の接触・非接触を評価した三次元モデルにより、ハニカムセグメントの静的な挙動を精度良く評価できることが明らかとなった。

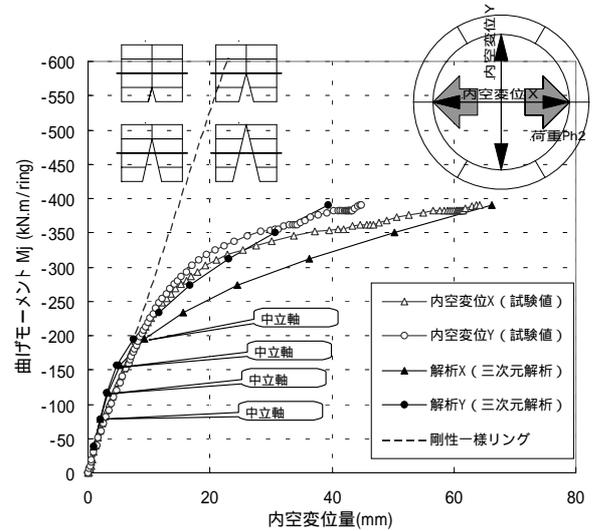


図 - 6 内空変位

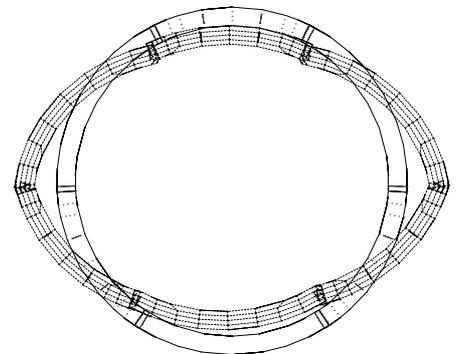


図 - 7 リング全体変形

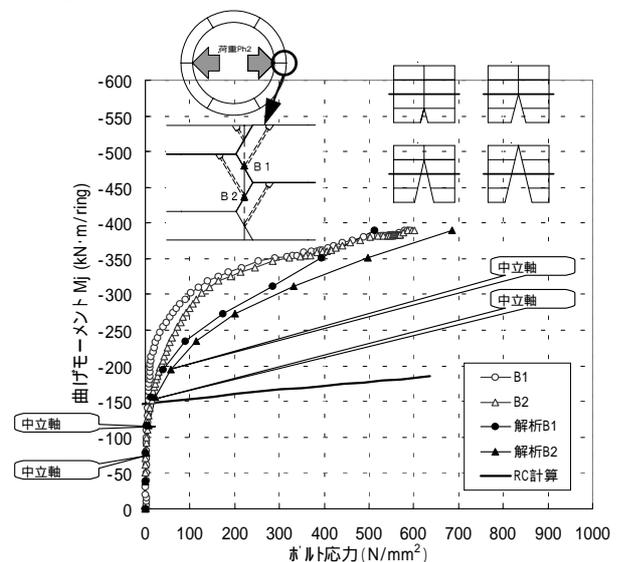


図 - 8 ボルト応力