

多ヒンジ系セグメントの継ぎ手挙動 3 —設計値の提案—

近畿コンクリート工業	正会員	岩本 勲	
関西電力	正会員	三鼓 晃	前川岳康
青木建設	正会員	○高山慎介	渡部隆広

1. 目的

筆者らは、リング間継ぎ手をナイロン製継ぎ手、セグメント間継ぎ手を曲がりボルトとした「多ヒンジ系セグメント¹⁾」を開発している。ここでは、セグメント間継ぎ手の曲げ挙動特性について報告する。さらに、前報で得られたナイロン製リング間継ぎ手の力学的特性と合わせて、ばね定数等の設計値を提案し「多ヒンジ系セグメント」の設計方法について報告する。

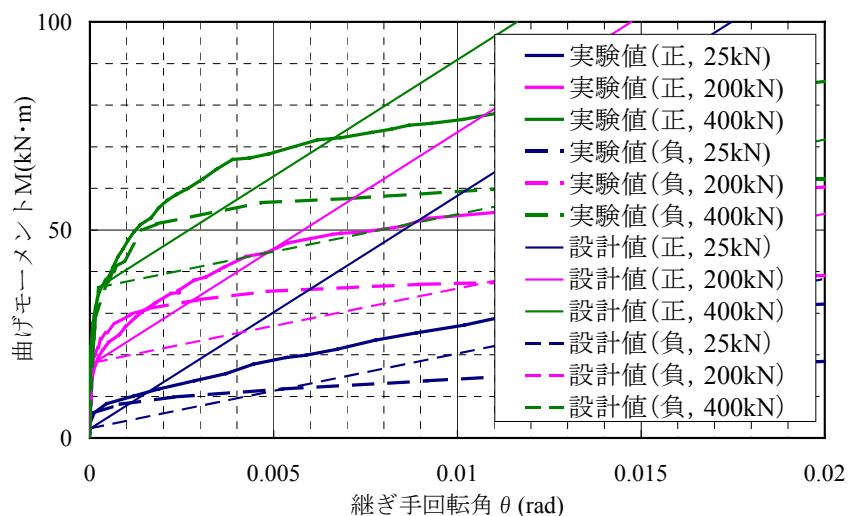
2. セグメント間継ぎ手曲げ実験

2.1 実験概要

多ヒンジ系セグメントは、セグメント間継ぎ手に回転ばねを持つリングとして扱う。支持スパン 2.4m、曲げスパン 0.8m の 3 等分点荷重方法による曲げ実験を行い、セグメント間継ぎ手の回転ばね定数を求めた。供試体は幅 1.0m × 長さ 1.6m × 高さ 0.3m の鉄筋コンクリート製であり、2つの供試体をセグメント間継ぎ手に曲がりボルト 1 本を用いて組み合わせる。曲がりボルトは直ボルト（規格 SCr440, M24, 強度区分 8.8）を曲げ半径 $r=350\text{mm}$ で加工している。検討ケースは、正方向および負方向の曲げ荷重で導入軸力がトンネル土被りを 15m に想定した 400kN とその 1/2 の 200kN、および無負荷状態を想定した 25kN の 3 水準としている。

2.2 実験結果

実験結果として曲げモーメント M と継ぎ手回転角 θ の関係を図-1 に示す。この図には 3.1 章で説明する曲がりボルトの引張抵抗を考慮したレオンハルト式による設計値も併せて示した。なお、回転角はセグメント間継ぎ手上下面に生じた目開き変化量の差を計測高さで除して算出した。加力初期段階では曲げモーメントが増加しても軸力の作用によって回転角はほとんど増加しない。次に $M-\theta$ 曲線は、曲げモーメントが増加するにつれ回転角が増加し始める。回転角が増加し始めるときの曲げモーメントは導入軸力が大きいほど大きくなっている。最終的に曲げモーメントは増加しないが、回転角だけが增加していくヒンジ構造のような状態となる。このときの曲げモーメントは導入軸力が大きいほど大きく、負方向より正方向の曲げ荷重で大きくなっている。設計で考慮される回転角は、シーリング材などで防水可能な目開き量とすれば 0.01(rad)程度と考えられるので、セグメント間継ぎ手の回転ばねは完全なヒンジ構造になる前の状態にあり、曲がりボルトの引張抵抗を考慮したレオンハルト式によってモデル化することができる。

図-1 曲げモーメント M と継ぎ手回転角 θ の関係

3. 設計方法

3.1 トンネル横断方向の設計方法

セグメントは常時および地震時でト

キーワード 多ヒンジ系セグメント, ナイロン製継ぎ手, 曲がりボルト, 設計値

連絡先 〒530-8270 大阪市北区中之島 3-3-22 関西電力(株)土木建築室 土木建設グループ Tel06-7501-0408

ンネル横断方向の設計を行う。このとき、セグメントリングはセグメント間継ぎ手で回転ばねを持つはりと考え、リング間継ぎ手の千鳥組による添接効果をせん断ばねで評価する方法（以下、「はりーばねモデルによる計算」と呼ぶ）により行うことにする。ここで、セグメント間継ぎ手の回転ばね定数は、荷重偏心率によって（式－１）のレオンハルト式²⁾で設定する。

$$k_{\theta}=9 \cdot a^2 \cdot b \cdot E_c \cdot m \cdot (1-2m)^2 / 8 \quad (\text{式－１})$$

ここで、 k_{θ} ：セグメント間継ぎ手の回転ばね定数 m ：荷重偏心率 $m=M/(N \cdot a)$ M ：曲げモーメント

N ：軸力 a ：継ぎ手面の接触幅 b ：セグメント幅 E_c ：コンクリートの弾性係数

ただし、偏心率が大きくなった場合（ $m>1/3$ ）は、セグメント間継ぎ手（曲がりボルト）の引張抵抗を考慮したばね定数とする。

ナイロン製継ぎ手 1 本当当たりのせん断ばねは、せん断実験³⁾で得られた 14,000kN/m（/本 継ぎ手の種類 Medium Duty）を用いて設定しモデル化する。「はりーばねモデルによる計算」で、セグメント間継ぎ手およびリング間継ぎ手の断面力が計算されるので、セグメント間継ぎ手の曲がりボルトは、曲がりボルトを鉄筋とみなした RC 断面計算を行い応力照査する。リング間継ぎ手については、計算されたせん断力と継ぎ手のせん断耐力と比較することで照査する。ここで、継ぎ手 1 本当当たりのせん断耐力はせん断実験³⁾で得られた $100\text{kN} \times 70\% = 70\text{kN}$ （/本 Medium Duty）とした。

3.2 トンネル軸方向の設計方法

セグメントは地震時でトンネル軸方向の設計を行う。一般的にトンネルを弾性床上一様連続なはりとして扱い、等価軸剛性および等価曲げ剛性を考慮したモデル化を行い、断面力を計算している。モデル化では軸圧縮方向の力にはセグメント本体を考慮し、軸引張方向の力にはリング間継ぎ手を考慮する。

ナイロン製リング間継ぎ手の引張剛性は引き抜き実験⁴⁾で得られた 4,000kN/m（/本 Medium Duty）を用い、断面力の計算をすることができる。この値を用いて、等価軸剛性および等価曲げ剛性を求めた結果、ナイロン製継ぎ手は従来の金物継ぎ手と比較して耐力は小さいが、剛性も小さくなるため計算される断面力も小さくなり、耐震性に優れていることがわかる。

軸圧縮力については一般的なセグメント本体の圧縮応力度によって照査し、軸引張力はリング間継ぎ手の引き抜き耐力と比較して照査する。ここでリング間継ぎ手の引き抜き耐力は引き抜き実験⁴⁾で得られた値 $25\text{kN} \times 70\% = 18\text{kN}$ （/本 Medium Duty）とした。このナイロン製継ぎ手は、一度引き抜けてもボルトがカプラー内に収まっていれば引き抜き力より小さい荷重で押し込まれる、耐震性に優れた継ぎ手構造になっているため、リング間継ぎ手の引き抜き量で照査することも可能であると考えられる。この場合の許容引き抜き量は、Medium Duty で 1 本当当たり 30mm とした。これはカプラー全長 90mm の 1/2 に余裕を見込んだ値である。

4. まとめ

リング間継ぎ手にナイロン製継ぎ手、セグメント間継ぎ手に曲がりボルトを用いる「多ヒンジ系セグメント」は、セグメント間継ぎ手の回転ばねを曲がりボルトの引張抵抗を考慮したレオンハルト式、リング間継ぎ手のせん断ばねおよび等価軸引張剛性を、表－１に示すナイロン製継ぎ手の特性値で設定することにより、「はりーばねモデルによる計算」によって設計することができる。解析における本セグメントの挙動については、参考文献¹⁾に示す。

表－１ ナイロン製継ぎ手の特性値
(/本 Medium Duty)

	ばね(kN/m)	耐力(kN)	変位量(mm)
せん断	14,000	70	25
引き抜き	4,000	18	30

参考文献

- 1) 岩本勲，他：多ヒンジ系セグメントの耐荷特性について，トンネル工学研究論文・報告集，第 12 巻，pp. 489-494，2002. 11
- 2) F. Leonhardt und H. Reimann：Betongelenke, Der Bauingenieur, 41, pp. 49～56, 1966
- 3) 舟川勲，他：多ヒンジ系セグメントの継ぎ手挙動 2－曲げおよびせん断特性－，土木学会 第 58 回年次学術講演会 投稿中
- 4) 岩本勲，他：多ヒンジ系セグメントの継ぎ手挙動 1－押し込みおよび引き抜き特性－，土木学会 第 58 回年次学術講演会 投稿中