

中部電力㈱ 正会員○三浦真治  
 同上 正会員藍田正和  
 同上 正会員西野健三

### 1. はじめに

セグメントは、セグメント間の継手とリング間の継手により、現場において遂次組み立てられ、施工時および長期の覆工を形成する。このリング内における数個のセグメント間継手は、継手構造上の理由から曲げに対して弱点となるので、一般には、トンネル軸方向に重複しないよう千鳥組される。その結果、セグメント間継手において伝達されるべき曲げモーメントの一部が、リング間継手のずれ変形によるせん断伝達機能で、隣接リングの一般部に分担されると考えられる。しかしながら、現状では、これら継手部の応力伝達機構について十分な究明がされておらず、慣用設計法においては、主として、セグメント間継手の曲げ耐力のみが検討され、リング間継手は、千鳥組を形成させるための施工上の継手として取り扱われている。そこで、このリング間継手について、そのせん断伝達機構を究明し、継手設計上の位置を明確なものにすることと、セグメントトリング設計モデルとしての、はり・回転バネ・せん断バネを用いた骨組解析モデルの再現性を確認する目的で、R C直線部材による千鳥組モデル曲げ試験を行った。なお、試験対象としたのは、中口径（外径4.5m、厚さ0.2m、巾1.0m）のR C平型継手板式セグメントである。

### 2. 試験概要

図-1に試験の概要を示す。荷重は②⑤部材に載荷され、リング間継手により結合された⑥部材には、継手を介して伝達されるせん断力により、曲げが作用することを期待した。継手はセグメント間、リング間とも、実セグメントに用いるものと同じ構造のものを採用した。また、試験体は、正曲げ[MB0]、負曲げ[MB1]用の2体用意してそれぞれ破壊までの載荷を行った。図-2に示すモデルが、試験に対する骨組解析モデルである。一般部をはり(EI)、セグメント間継手を回転バネ( $K_\theta$ )、リング間継手をせん断バネ( $K_s$ )からなる骨組とし、コンクリートは放物線、鉄筋はバイリニア、回転バネせん断バネはトリリニアなる非線形性を考慮した。本試験に際しては、予め、材料試験をはじめとし、コンクリート一般部の曲げ試験[MO]、セグメント間継手部曲げ試験[MA0]、

表-1 コンクリート試験

MA1]、リング間継手部せん断試験[SY, SX]などを実施しており、その結果の一部を表-1、図-11に示す。

なお、継手部曲げ試験およびせん断試験については、試験結果を参考にして、図-3、4に示すモデル化を行った。

	個数n	平均値 $\bar{x}$	標準偏差 $s_{\bar{x}}$
圧縮	强度 $\sigma_{ck}$ [kg/cm <sup>2</sup> ]	47	26.2
	ひずみ $E_{cv}$ [10 <sup>-6</sup> ]	30	21.8
	弾性係数 $E$ [kg/cm <sup>2</sup> ]	30	4.29x10 <sup>8</sup>
	ボアソン比 $\nu$	30	0.233
			0.0213

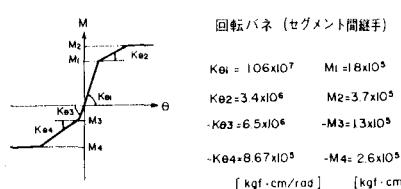


図-3 回転バネ

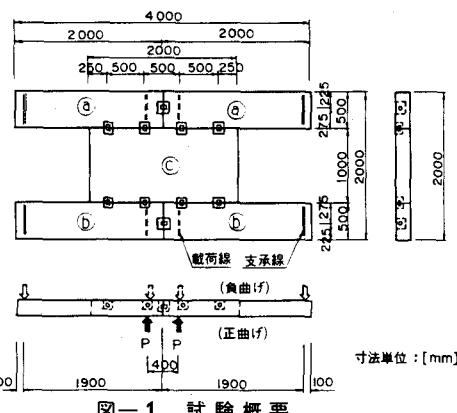


図-1 試験概要

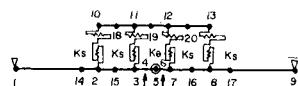


図-2 骨組解析モデル

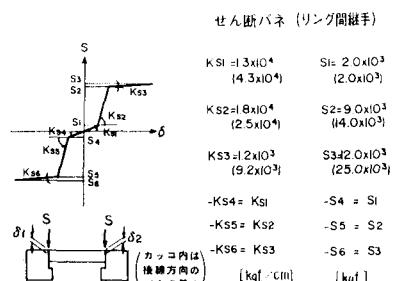


図-4 せん断バネ

### 3. 試験結果

図-5に変形状態と、正曲げ試験の破壊状況を示す。曲げによるひび割れの他、リング間継手せん断力（引き上げ力）によるひび割れが数多く見られる。図-6、7は、正負曲げ試験における○部材中央での荷重～変位関係である。図中の荷重Pは全体に作用しているものの $\frac{1}{2}$ の値である。それぞれの最終荷重は約12[tf]と10[tf]であり、それに対する曲げ耐力は $M_r = 10.2$ [tfm]（正）、 $M_r = 8.5$ [tfm]（負）となる。図-8、9は、作用荷重に対する、継手部（A）と○部材中央（B）の発生曲げモーメントの変化である。なお、曲げモーメントの想定としては、セグメント間継手部曲げ試験（MA0, MA1）での $M \sim \theta$ 関係図と継手部の回転変形 $\theta$ （実測）により、継手部の曲げモーメントを想定した。

継手部の回転バネ剛性の小さい負曲げの場合の方が、○部材分担比（ $MB/MA+MB$ ）が大きく、この傾向は、荷重レベルが大きくなるほど顕著になるようである。図-11は、各試験の曲げ耐力比較であるが、正負曲げとも $[MB] < [MO] < [MA]$ なる関係にある。これは、リング間継手部の破壊が先行するためで、観測および解析の両方で確認された。最後に、解析値との比較に関しては、各図中の細線が示すとおり、妥当な再現性を示した。

### 4. おわりに

本試験によって、千鳥組されたセグメントリングの曲げ耐力に、リング継手がかなり支配的な位置を占めていることが、明確にされた。慣用設計法におけるセグメント間継手に対する曲げ耐力の検討のみでは不十分であり、リング間継手に対する設計検討が、ぜひ必要であると思われる。

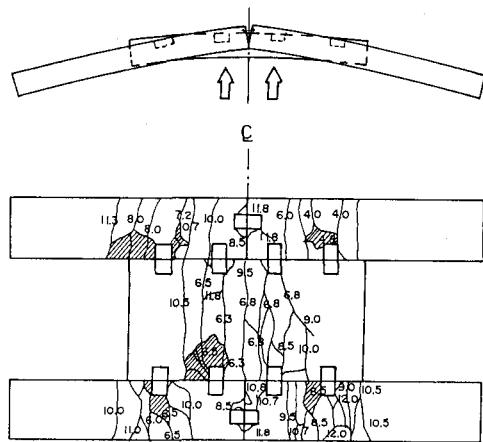


図-5 ひび割れ状況

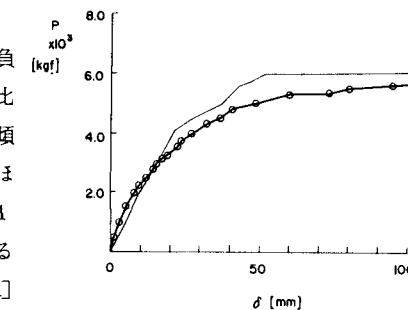


図-6 荷重～変位関係（正）

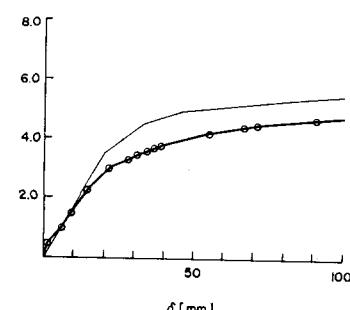


図-7 荷重～変位関係（負）

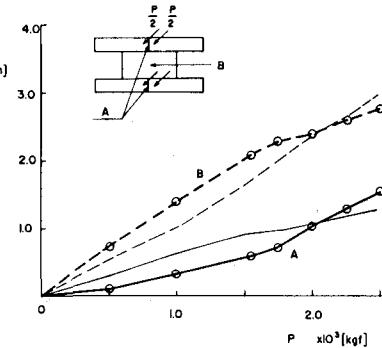


図-8 荷重～曲げモーメント関係（正）

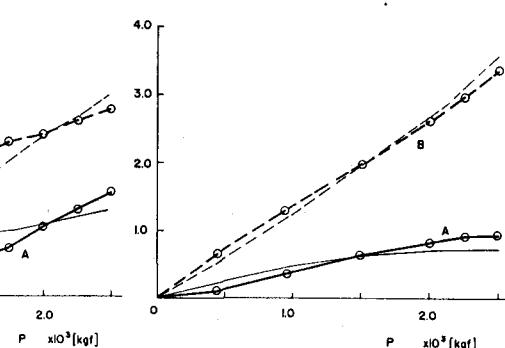


図-9 荷重～曲げモーメント関係（負）  
[MO] 一般部曲げ試験  
[MA] 継手部曲げ試験  
[MB] 千鳥組曲げ試験

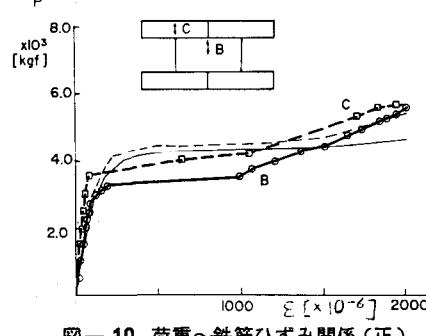


図-10 荷重～鉄筋ひずみ関係（正）

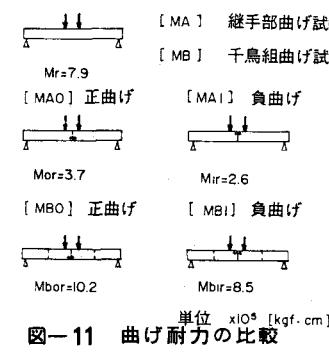


図-11 曲げ耐力の比較