

Ⅲ-605

台形セグメントの開発（セグメント載荷曲げ試験その2）

西松建設 正会員 ○三戸 憲二 東京都立大学 正会員 今田 徹
東京都立大学 正会員 山崎 良一 西松建設 正会員 野本 寿

1. はじめに

台形セグメントはピース間継手面が傾きを持っているため、リング面内の曲げモーメントに対して幅を持って接合される形となること、ねじれによってトンネル軸方向の拘束力が増すことから、継手剛性が低くてもある程度の曲げモーメントを伝達できる形状となっている。筆者らはこの点に着目し、既に光弾性実験で台形セグメントリングが剛性一様リング良く似た内外縁の応力分布を示すことを確認した。^{1)、2)} また、実際のセグメントの挙動を把握し設計に反映させるためには、実物大のセグメント曲げ試験による検証が必要と考え、標準セグメントC-163（ $\phi 6000\text{mm} \times 250\text{mm} \times 1000\text{mm}$ ）を対象に、従来から用いられている矩形（以下矩形と呼ぶ）と台形の比較試験を行った。³⁾ その結果、矩形よりも台形の方が若干継手耐力が下回ったが、この原因として、1)ねじれに対して配筋が足りなかったこと、2)桁高に比べて継手角度が小さくピース間継手の間隔が狭かったため、台形セグメントの特長が十分に活かされてなかったことが判った。そこで、今回、ねじれに対する補強を行い、継手角度を大きくしたケースについて追加実験を行ったので、前回実験結果と併せて以下に報告する。

2. 試験内容

今回はピース間継手の間隔（L）を前回と同じ148mmとしたもの、306mmに増やしたものの2ケースについて、いずれも図-1の凡例に示すねじれ補強筋を配置し、セグメント単体継手曲げ試験を行った。試験方法は $2000\text{mm} \times 250\text{mm} \times 1000\text{mm}$ の平板形供試体を接合し、2点の集中荷重を載荷して、鉄筋、コンクリート、ボルト等のひずみ、変位、継手の目開きを測定した。試験方法は前回と同様であるため、図面の掲載を省略する。なお、ピース間継手のセグメント幅方向の間隔は前回同様全て450mmとし、載荷方法は全て水平載荷とした。

3. 試験結果および考察

一連のセグメント載荷実験をまとめた「試験結果一覧表」を表-1に、表-1を基に台形と矩形の添接効果を比較した「添接効果比較表」を表-2に、台形Case-3の「荷重～補強筋ひずみの関係」を図-1に示す。これらの試験結果から得られた知見を、以下にまとめる。なお、表-1に示す「設計値に対する安全率」とは、曲げ耐力を設計値で除した値で、「標準セグメント」では2.5を規格値としている。

(1) ねじれ補強が無い場合（L=148mm）

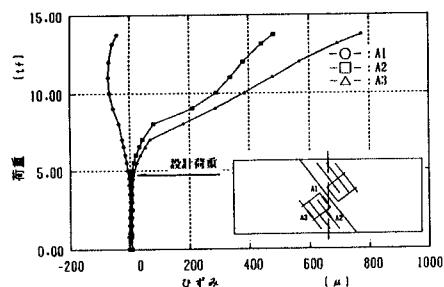
- ① 台形の単体継手曲げ耐力は、「標準セグメント」の規格値を満足した（表-1参照）。
- ② 設計荷重レベルの単体継手回転バネは、台形と矩形は同等であった（表-1参照）。
- ③ 単体継手曲げ試験と添接継手曲げ試験の比較によれば、台形ではある程度変形が進行すると、ねじれ現象でトンネル軸方向の拘束力が増し、添接効果が発揮されることが判った（表-2参照）。

(2) ねじれ補強がある場合（L=148mm、306mm）

- ① ねじれ補強により台形の継手曲げ耐力は改善され、矩形と同等の継手曲げ耐力を得ることができた（破壊時安全率比=矩形/台形Case-3=2.93/2.87 $\approx$ 1.0：表-1参照）。塑性化の進行に伴って、ねじれ補強が有効に作用している状況を図-1に示す。ねじれ補強で破壊時のひび割れは減少した。
- ② Lを大きくとることで、台形セグメントの継手曲げ耐力が向上する傾向が窺えた（表-1参照）。
- ③ 設計荷重レベルの継手回転バネは、台形の方が矩形を上回った（表-1参照）。
- ④ 各計測データ共に、設計荷重の2倍程度までは台形と矩形はほぼ同じ挙動を示しており、有為な差はみられなかった。
- ⑤ 設計荷重レベルでは、台形のような斜めの継手でもピース間ボルトに曲げ応力は作用せず、通常の設計で対応可能と判断された。

表－1 セグメント載荷試験結果一覧表

実験項目	形状	L (mm)	ケース	設計値に対する安全率 初亀裂時 破壊時	設計レベル 継手回転モーメント (tfm/rad)	ねじれに対する補強筋
単体躯体曲げ	—	—	—	1.00 2.92	—	—
単体継手曲げ	矩形	0	—	1.44 2.93	750	無
	台形	148	Case-1	1.36 2.58	750	
		148	Case-2	1.24 2.75	980	
		306	Case-3	1.34 2.87	920	
添接継手曲げ	矩形	0	—	0.85 2.65	—	無
	台形	148	—	0.89 2.52	—	

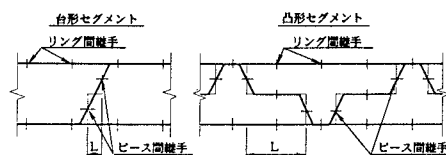


図－1 台形単体継手曲げ試験 Case-3 : 「荷重～補強筋ひずみ」の関係

表－2 添接効果比較表

試験項目	台形耐力／矩形耐力	評価
単体継手曲げ	$2.58 / 2.93 = 0.88 = 88\%$	95% > 88% ⇒ 矩形よりも台形の方が 添接効果が大きい。
添接継手曲げ	$2.52 / 2.65 = 0.95 = 95\%$	

注) 上記は全てねじれに対するせん断補強を行っていない実験結果である。



図－2 台形、凸形セグメント概念図

4. おわりに

台形セグメントは、リング面内の曲げモーメントに対して、ピース間継手の間隔(L)を持って接合されるため、継手単体としても矩形よりも大きな耐力が得られるものと考えていたが、今回の一連の実験では、Lの効果を十分に発揮するまでには至らなかった。台形セグメントでこれ以上Lを大きくする方法としては下記2案が考えられるが、それぞれ以下の問題がある。

(1) ピース間継手位置をリング間に近ずける方法

ピース間～リング間継手のアンカー筋同志が干渉し合うため、配筋に支障を生じる。

(2) 継手面角度をもっと鋭角にする方法

鋭角部が欠け易くなる。

そこで、Lの効果をより顕著に発揮する構造として、図－2に示す凸形セグメントを考案した。今後、この構造についてセグメント載荷試験を行い、継手構造の省力化を追求する予定である。

最後に、セグメント載荷試験にあたって御協力頂いたジオスター(株) 加瀬 明氏、藤野 豊氏、岩田和実氏に感謝の意を表します。

【参考文献】

- 1) 今田徹、山崎良一、野本寿：台形セグメントの力学特性について、土木学会第48回年次学術講演会講演概要集Ⅲ－11、pp. 76～77（平成5年9月）
- 2) 今田徹、山崎良一、野本寿、三戸憲二：台形セグメントの力学特性について（2）、土木学会第49回年次学術講演会講演概要集Ⅲ－608、pp. 1206～1207（平成6年9月）
- 3) 今田徹、山崎良一、三戸憲二、野本寿：台形セグメントの開発（セグメント載荷曲げ試験結果について）、土木学会第49回年次学術講演会講演概要集Ⅲ－609、pp. 1208～1209（平成6年9月）