

# 論文 アーチ形状埋設型枠の耐力試験

森山 智明\*<sup>1</sup>・鎌田 則夫\*<sup>2</sup>・鶴田 健\*<sup>3</sup>・小森 久幸\*<sup>4</sup>

要旨：床版、梁のプレキャスト型枠として、薄肉のアーチ形状の鉄筋コンクリート埋設型枠を用い、コンクリート打設時荷重をアーチに繋ぎ材（タイドバー）を設けたタイドアーチとして受けもたせる。今回、打設荷重を等分布載荷、破壊耐力は3等分点載荷によってタイドアーチの挙動と応力状態について検討した。その結果、打設荷重程度では、タイドバーの初期または途中の緊張により型枠の発生応力の制御が行える事が確認された。また、タイドアーチの破壊耐力の算定方法について検討を行った。

キーワード：埋設型枠、タイドアーチ、タイドバー、剛性低下

## 1. はじめに

都市部での鉄道高架橋建設現場は、狹隘箇所（両側が線路や私有地）が多く、梁、床版等に埋設型枠を使用したハーフプレキャスト工法を採用し、作業用通路等を確保することは工期短縮、工事費節減が可能となる。しかし、型枠スパンが長くなるとコンクリート打設時荷重を受け持つため、埋設型枠の重量が大きくなり、サポートが必要となったり、作業機械による重量制限の問題が生じる。今回、施工時荷重をアーチ型枠に繋ぎ材を設けタイドアーチとして受け持つ、薄肉のアーチ型埋設型枠の施工時の挙動と耐荷性状を実験により検討した。

## 2. 試験概要

### 2.1 供試体

供試体の形状および使用材料を表-1、図-1に示す。アーチ型枠は、縮小モデルとしてスパン5000mm、幅600mm、中央部厚さ150mm、端部厚さ200mm、中央断面でのタイドバーからアーチ部材軸線までの高さアーチライズ 326mmの主鉄筋にD22を10cmピッチに配筋した鉄筋コンクリートである。繋ぎ材（タイドバー）は、PC鋼棒φ17mmを2本並列に配置し、それぞれ中央部にセットした油圧ジャッキにより張力の調整を行い、端部のPC鋼棒に挟んだセンサーホール型ロードセルでタイドバー張力の計測を行った。支点での拘束を取り除くため、一方にテフロン板を設置した。

表-1 使用材料および物的特性

コンクリート	セメント	早強ポルトランドセメント
	骨材の最大径	20mm
	圧縮強度	$f_c' = 450 \text{ kgf/cm}^2$ , 円柱供試体
	ヤング係数	$E = 410,000 \text{ kgf/cm}^2$
鉄筋	主鉄筋	SD345 D22
	組立鉄筋	SD295 D10
タイドバー	PC鋼棒	SBPR C種 φ17mm
	降伏強さ	$\sigma_y = 1,080 \text{ N/mm}^2$

- \*1 東日本旅客鉄道(株)東京工事事務所工事管理室、工修（正会員）
- \*2 東日本旅客鉄道(株)東京工事事務所工事管理室（正会員）
- \*3 小沢コンクリート工業(株)新製品開発室副部長、工修（正会員）
- \*4 小沢コンクリート工業(株) 技術研究所

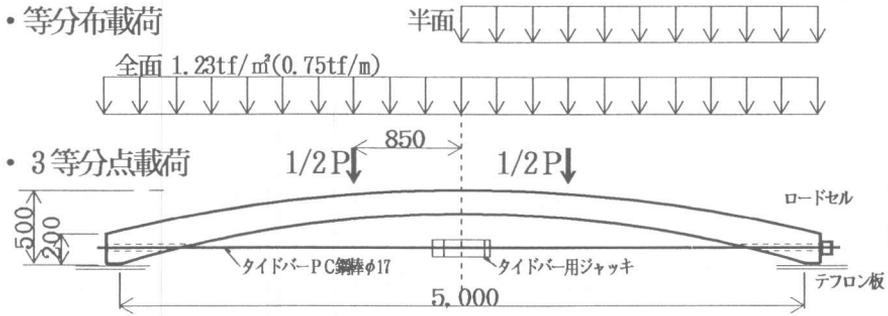


図-1 アーチ型枠形状および荷重方法

## 2. 2 試験方法

荷重方法は、施工時のコンクリート打設荷重を想定した等分布荷重と破壊耐力の確認のための3等分点荷重により行った。等分布荷重は、全面と半面にセメント袋を積み上げる事により行い、荷重荷重は、コンクリート打設平均厚さ35cm+作業荷重 $0.35\text{t}/\text{m}^2 = 1.23\text{tf}/\text{m}^2$  (幅 $b=60\text{cm}$ 当たり $0.75\text{tf}/\text{m}$ ) まで荷重した。

荷重試験に先立ち、アーチ型枠製作時の型枠に置き、この時の鉄筋、コンクリートのひずみを0とした。荷重台にセットしたときの自重による応力を打ち消すため、タイドバーを緊張したところ計算値 $2.6\text{tf}$ ではほぼひずみは0になることを確認した。

## 3. 結果及び考察

### 3. 1 等分布荷重

図-3に荷重による変位、タイドバー張力  
図-4に中央断面でのコンクリートのひずみ状態を示す。はじめにタイドバーに $4.0\text{tf}$ の張力を与え上側に引張応力を発生させた。その後、等分布荷重により、変位、タイドバー張力が増加し、ひずみは下側引張に移す。荷重荷重 $0.58\text{tf}/\text{m}$ で下側の引張ひずみが大きくなったため、タイドバーを $5.8 \rightarrow 8.0\text{tf}$ に緊張し、曲げによるひずみを減少させ、 $0.75\text{tf}/\text{m}$ まで荷重を行った。最終の下面ひずみ $42 \times 10^{-6}$ は、ヤング係数より引張応力 $16\text{kgf}/\text{cm}^2$ となる。変位、タイドバー張力、コンクリート断面のモーメントによるひずみは、タイドアーチとして骨組解析で計算した値より小さいもので

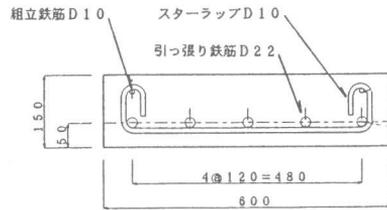


図-2 アーチ部材中央断面図

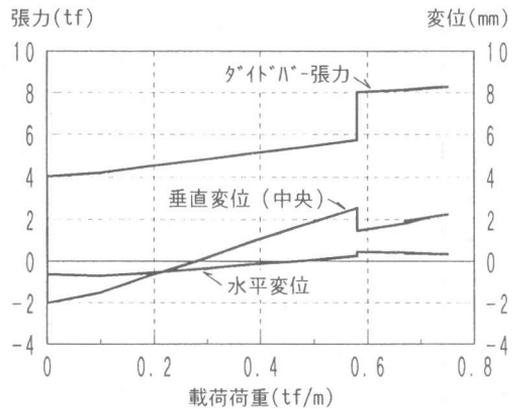


図-3 等分布荷重時のタイドアーチの挙動

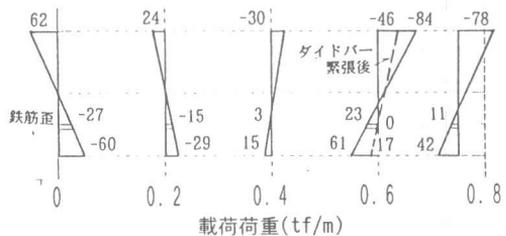


図-4 アーチ部材中央断面のひずみ分布

全体的に約6割程度であった。この原因として、解析では、支点部を水平ローラーとしているため、アーチ部材の水平変位（ひらき）をタイドバーにより拘束し、水平変位に比例した曲げモーメント、タイドバー張力が発生する。支点部の摩擦力は、水平変位を拘束するため部材に発生する応力は小さくなる。載荷荷重が大きくなるに従い、タイドバー張力、コンクリートのひずみの増加量が減少していることから、支点部の摩擦力により水平力が拘束されたと考えられる。

半面載荷も計算値より小さいものの計算と同じ挙動を示し問題となる挙動は見られなかった。

### 3. 2 3等分点載荷

#### 1) タイドアーチの挙動

図-5に3等分点載荷による荷重-変位曲線、図-6にタイドバーの張力を示す。支点での拘束を無くすためテフロン板を2枚にした為、初期ひび割れ発生荷重約3tfまでは、計算結果と比較的よく一致する。その後、ひび割れは、載荷点間に等間隔で発生し、変位、張力とも大きくなり計算値と一致しなくなる。タイドアーチは外部的には、単純梁と同様に静定構造であるが、内部的にはアーチにタイドバーがある1次不静定である。これは、各断面で単純梁とした曲げモーメントをアーチ部材の剛性とタイドバーにその点のアーチライズをかけたモーメントで受け持っている。荷重の増加によりひび割れが発生し、剛性が低下するとその分タイドバーで負担するためである。

表-2は、単位荷重 $P = 1$ tf当たりの計算値で、断面剛性をひび割れ発生前の全断面と断面の剛性低下を考慮し降伏剛性低下率 $\alpha = 0$

表-2 タイドアーチの計算結果

荷重 P (tf)	断面剛性 低下率 $\alpha$	曲げモーメント M 載荷点 RC断面	タイドバー張力 (tf)	垂直変位 (mm)	水平変位 (mm)
1.0	1.0	0.49tfm	1.16	0.70	0.54
1.0	0.3	0.31tfm	1.79	0.95	3.10

・断面剛性低下率  

$$\alpha = (0.043 + 1.64nPt + 0.043 \frac{a}{D} + 0.33P_0 (\frac{d}{D})^2) [2]$$
 a : シャースパン      d : 有効高  
 n : ヤング係数比      D : はり高さ  
 Pt : 引張鉄筋比      P<sub>0</sub> : 圧縮鉄筋比

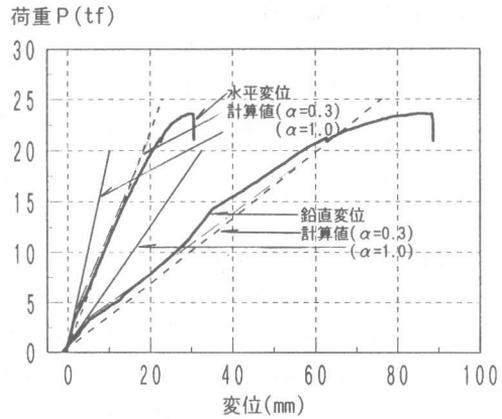


図-5 3等分点載荷時の荷重-変位曲線

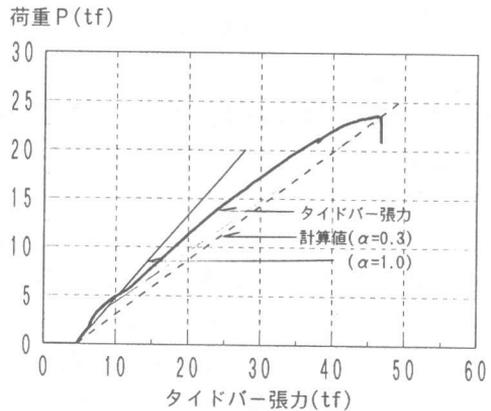


図-6 3等分点載荷時のタイドバーの張力

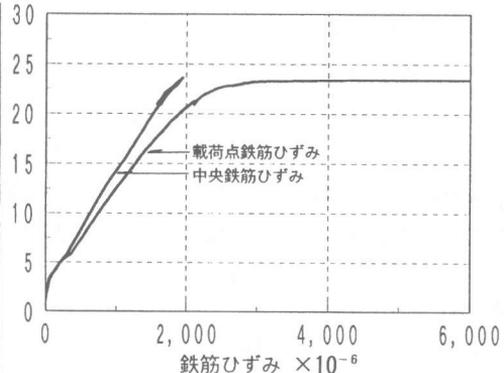


図-7 3等分点載荷時の引張鉄筋ひずみ

.311で計算した値である。図-5、6の変位曲線、タイドバーの張力にRC断面剛性低下を考慮した計算値 ( $\alpha=0.3$ ) は---に示すようになり、ひび割れ発生後は徐々に剛性が低下していくため、ひび割れ発生後の3tfまでは実線で、その後は鉄筋の降伏する載荷荷重 $P=20.0\text{tf}$ の剛性低下を考慮した点を結ぶと---線になる。変位については、比較的実験値と同じ傾向を示しており、タイドバーは途中ややずれているが、破壊時の張力は一致している。

## 2) タイドアーチの破壊耐力

図-7に中央断面と載荷点断面での引張鉄筋(D22)のひずみを示す。破壊は、荷重 $P=23.6\text{tf}$ の時、載荷点で引張鉄筋が降伏後のコンクリートの圧壊であった。

RC部材とタイドバーを1部材(外ケーブル方式)の単純梁と考え、破壊荷重時の載荷点断面での曲げモーメントは $M_u=18.8\text{tf}\cdot\text{m}$ である。載荷点断面での鉛直変位を考慮した(図-8参照)RC断面耐力とタイドバーによる抵抗モーメントは $M_u=7.8+10.8=18.6\text{tf}\cdot\text{m}$ と一致する。鉛直変位によるタイドバーの有効高さの減少量(75mm)を考慮しないと $M_u=7.8+14.3=22.1\text{tf}\cdot\text{m}$ となる。

また、PC鋼棒も降伏に達してなく、タイドバー張力を求めなければならないため、単純梁と考え耐力を算定する事は困難である。

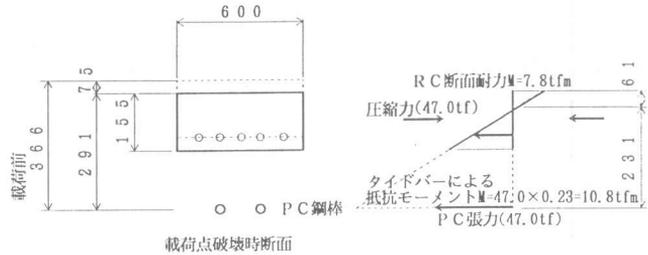
図-9に載荷点RC断面のM-N図を示す。RC断面耐力のM-N曲線と断面剛性低下を考慮したRC断面に作用する曲げモーメント-軸力の交点が断面耐力を越えるため、破壊に至ると考えられ この時のタイドバー張力は $46.0\text{tf}$ となり、載荷荷重を計算すると表-2より $P=46.0/1.79=25.7\text{tf}$ と実験値とはほぼ一致する。このことから、耐力算定は、部材の剛性低下を考慮したRC部材の耐力より求めることが可能である。

## 4. まとめ

- 1) 今回の等分布載荷試験により、型枠に発生する応力は弾性の範囲であり、タイドバーの初期または途中の緊張により発生応力の制御が行える事が確認された。
- 2) タイドアーチ形式では、大きな鉛直変形後破壊に達し、破壊モードは、タイドバーのPC鋼棒は降伏に達する前にRC断面での曲げ圧縮破壊であった。
- 3) ひび割れ発生後のタイドアーチの挙動、破壊耐力の算定には、アーチ部材の断面剛性低下を考慮することにより、実験値と一致する事が確認出来た。

## 参考文献

- 1) 松田 浩ほか:高耐久性PIC版を用いたアーチの構造特性に関する基礎的研究, 髓工学集, Vol. 39A
- 2) 鉄筋コンクリート構造計算基準・同解説、建築学会



載荷点破壊時断面

図-8 載荷点断面状態

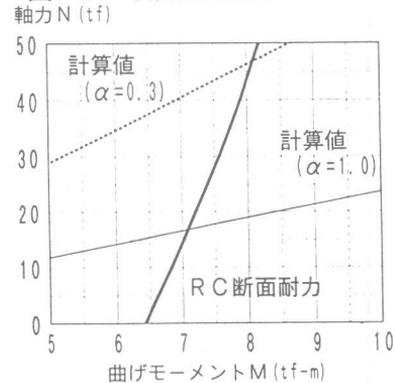


図-9 載荷点アーチ部材のM-N図