

タイドアーチセグメントの開発とリング載荷試験

Development of Tied Arch Segment and Ring Load Test

加島 豊*・近藤紀夫**・富沢 勉***・橋本博英****・菊池征祐*****

Yutaka KASHIMA, Norio KONDOH, Tsutomu TOMIZAWA, Hirohide HASHIMOTO and Masahiro KIKUCHI

The Tied Arch Segment is a rational segment rectangular or oval in cross-sectional shape fitted with tie bars to reduce the bending moment that occurs in the members.

We fabricated a working segment (4.2 m x 3.1 m x 0.15 m) and subjected it to a ring load test. As a result, it was found that the segment as a ring had sufficient strength. It was also found from measurement of displacement of the segment and strain in the reinforcement and tie bars that the segment could be designed by the beam-spring model design method.

Keywords:Tied Arch Segment,tie bars,ring load test,beam-spring model design method

1. はじめに

地下の有効利用、断面節約による掘削残土量の抑制をはかる目的で矩形や楕円形などの非円形断面のシールド工法が開発されつつある。

一般に、地下の土圧、水圧に対抗するために、円形断面は力学的に合理性があり、矩形断面や楕円形断面では大きな曲げモーメントが発生するため、セグメントにおいても、円形に比べ部材厚が大きくなる。セグメントの厚さが大きくなると重量も大きくなり、エレクション、運搬、コスト高などの問題が生じる。この様な問題を解決したのが、タイドアーチセグメントであり、セグメントに引張部材を取り付けることにより、セグメント厚を小さくすることができるものである。本文は、本セグメントのリングとしての安全性および設計手法を確認するために、大断面タイドアーチセグメントの1/3スケールのセグメントによるリング載荷試験を実施した結果をまとめたものである。

* 正会員 大豊建設(株)技術本部技術開発部 **** 正会員 石川島建材工業(株)セグメント事業部技術部
** 正会員 大豊建設(株)技術本部技術開発部 *****正会員 石川島建材工業(株)セグメント事業部技術部
*** 大豊建設(株)技術本部技術開発部(前)

2. タイドアーチセグメントの概要

タイドアーチセグメントは図-1に示す様に円弧状矩形セグメントの上下部にそれぞれ水平連結部材（タイバー）を配置してセグメントと連結したものである。このタイバーと円弧状セグメント部分は、「弓が弦を張った状態」に例えることができる。すなわち弓（円弧状セグメント）を押しつぶす力が作用すると、弦（タイバー）には張力が作用して、弓と弦とが一体になって外力に対抗する。この作用によりタイドアーチセグメントは部材に発生する曲げモーメントを低減することが可能となり厚さを通常の円形断面程度にできる合理的構造のセグメントである。

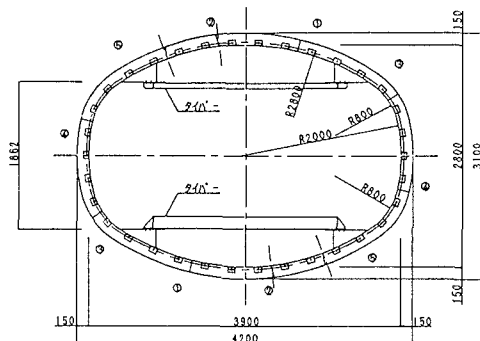


図-1 セグメント形状図

3. 試験概要

タイドアーチセグメントにおける継手ボルト、タイバーの存在および千鳥組効果を考慮し、荷重作用時のセグメントの（変形、断面力）を把握すると共に、本セグメントの設計手法を確認することを目的として、リング載荷試験を実施した。本実験に用いたセグメントの形状を図-1に載荷試験装置を図-2にまた試験状況を写真-1に示す。縦径3.1m×横径4.2m×幅0.75m×10分割のセグメントを2リング分(1/2+1+1/2)千鳥組し、図-2に示すようにPC鋼棒とセンターホールジャッキを用い、断面の中央部に集中荷重を載荷した。本体は鉄筋コンクリートセグメント（平板型）、継手は鋼板式ボルト継手とした。表-1に載荷試験に使用したセグメントの仕様を示す。

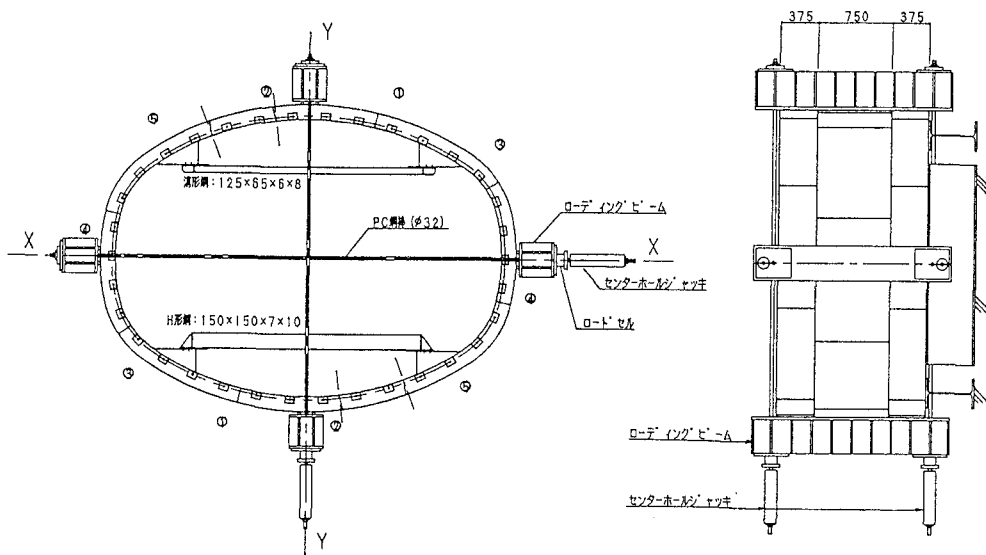
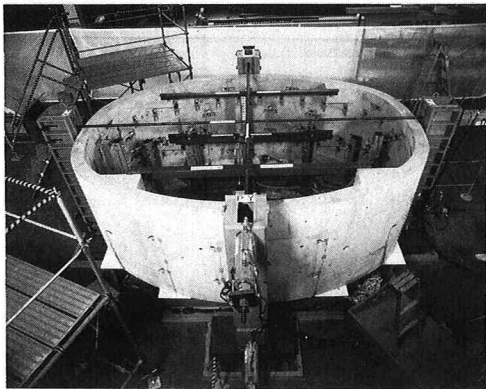


図-2 載荷試験概要図

表－１ セグメント諸元



写真－１ 試験状況写真

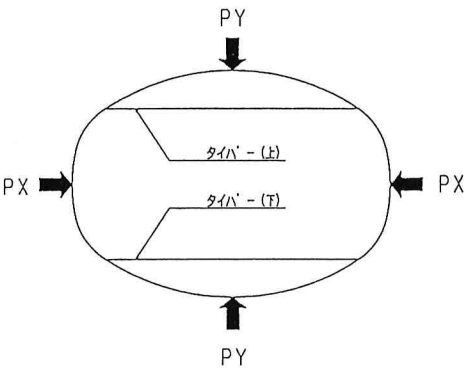
本体部	幅	75.0 cm
	厚さ	15.0 cm
主鉄筋	鉄筋比	D13×4本 (SD345)
	鉄筋比	0.84 %
	抵抗モーメント	0.89 tf・m/R
	コンクリートのヤング率	4.19×10 ⁵ kgf/cm ²
継手部	ボルト アンカー筋	M18 (8.8) × 2本 D13×4本 (SD345, L=200)
タイバー 取付部	ボルト アンカー筋	M20 (F10T) × 4本 D22×350 6本 (SD345, L=350)
タイバー	上部溝形鋼	C-125×65×6×8
	下部H形鋼	H-150×150×7×10

4. 試験方法

載荷ケースは土質条件と使用形態を想定し図－３および表－２に示す４種の荷重比率に加え、タイバーの種類を変えることで剛性を変化させたものを加えて６つの載荷ケースで実施した。

測定項目は、リングの変形量、セグメント間継手の目開き量、および鉄筋、コンクリート、ボルト、タイバーの各ひずみ量である。

梁ばねモデル設計法を用いてリング載荷試験に先立ち、変形、ひずみなど理論値を数値解析により求め、実荷重による実測値と比較した。この解析に用いたセグメント継手の回転ばね定数は、リング載荷試験に先立ち実施した正負の継手曲げ試験から得られた値を用いた。また、リング継手のせん断ばね定数は、無限大（∞）を設定した。図－４に梁ばねモデルを、図－５にセグメント継手の回転ばね定数を示す。



図－３ 載荷ケース概要図

表－２ 載荷ケース

CASE	タイバー	荷 重 比 率	
		PX	PY
1-1	溝形鋼	1.0	1.0
1-2	溝形鋼		
2	溝形鋼	0.75	1.0
3-1	溝形鋼	0.5	1.0
3-2	溝形鋼		
4	溝形鋼	0	1.0

5. 試験結果

5.1 変形量

図-6は、ケース2で最終荷重($PY=60.0\text{tf}$, $PX=45\text{tf}$)まで載荷した時のPY載荷点の変位を示す図であり、ひび割れ発生までは梁ばねモデルによる全断面有効の計算値とほぼ一致した変位を示し、以降は荷重の増大とともに、ひび割れによる剛性の低下によって、変位量も大きくなっている。

図-7は、ケース2の設計荷重付近($PY=9.00\text{tf}$, $PX=6.75\text{tf}$)の内空変位を示すものであり、全体として梁ばねモデルによる理論値と概ね一致した。

5.2 鉄筋ひずみ

図-8は、ケース2の最終荷重($PY=60.0\text{tf}$, $PX=45\text{tf}$)まで載荷した時のPY載荷点直下の引張側主筋ひずみを示す図である。 $PY=10\text{tf}$ までは梁ばねモデルによる全断面有効の理論値とほぼ一致した。 $PY=10\text{tf}$ 以降はひび割れの発生と共にRC断面の理論値と勾配がほぼ一致した。

図-9は、ケース3-2の設計荷重($PY=10.0\text{tf}$, $PX=5.0\text{tf}$)まで載荷した時のPY載荷点直下の圧縮側および引張側主筋ひずみを示す図である。圧縮側及び引張側共に、梁ばねモデルによる全断面有効の理論値と近似している。

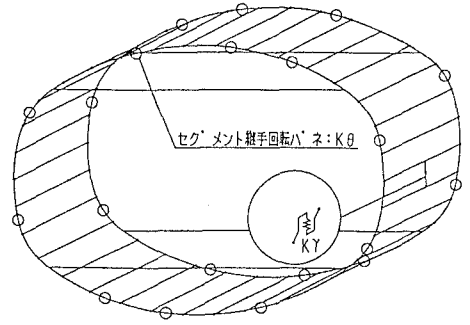


図-4 梁ばねモデル図

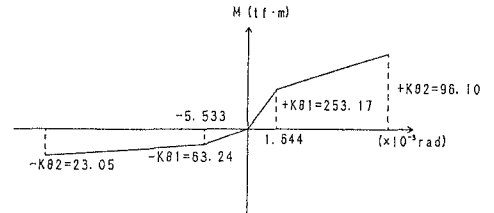


図-5 セグメント継手回転ばね定数

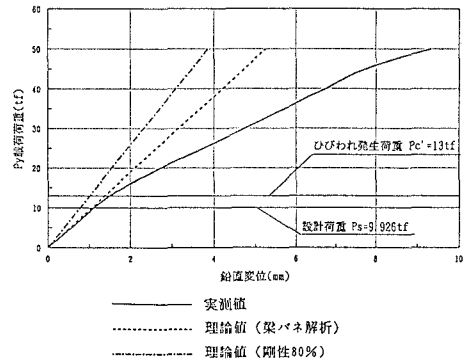


図-6 ケース2 荷重-鉛直変位図

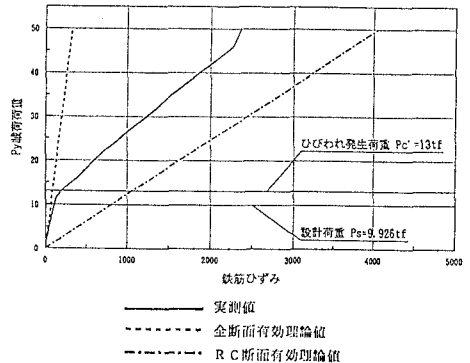


図-8 ケース2 荷重-鉄筋ひずみ図

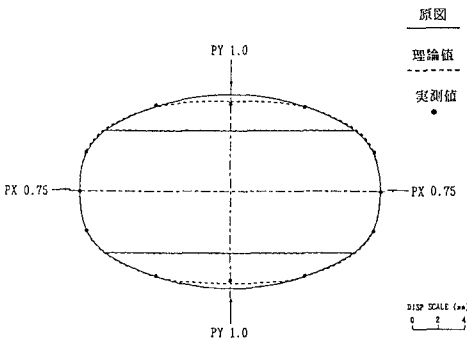


図-7 ケース2 内空変位図

5.3 コンクリートひずみ

図-10は、ケース1-2のひび割れ発生荷重(PY=11.0tf, PX=11.0tf)まで載荷した時のPY載荷点直下の圧縮側及び引張側コンクリートひずみを示す図である。圧縮側及び引張側共に、梁ばねモデルによる全断面有効理論値と近似している。引張側の10.0~11.0tf時のひずみの増大は、ひびわれの発生に伴うものと考えられる。

5.4 タイバーひずみ

図-11は、ケース2の最終荷重(PY=60.0tf, PX=45tf)まで載荷した時のPY載荷点内側のタイバーひずみを示す図である。PY=10tf付近までは全断面有効理論値とほぼ一致した。

図-12は、ケース3-2のひび割れ発生荷重(PY=10.0tf, PX=5.0tf)まで載荷した時のPY載荷点内側のタイバーひずみを示す図であり全断面有効理論値とよく一致した。

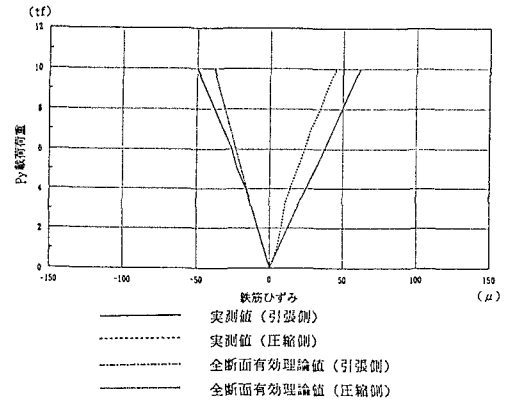


図-9 ケース3-2 荷重-鉄筋ひずみ図

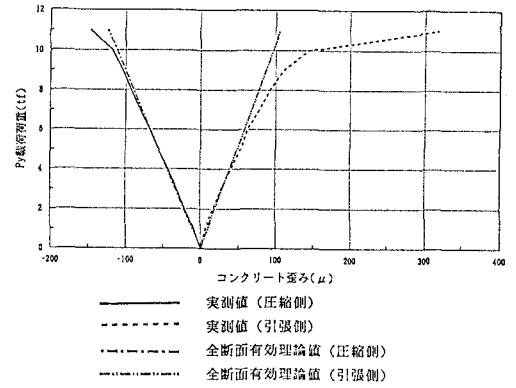


図-10 ケース1-2
荷重-コンクリートひずみ図

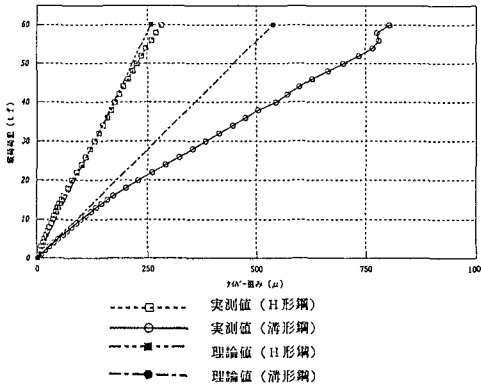


図-11 ケース2
荷重-タイバーひずみ図

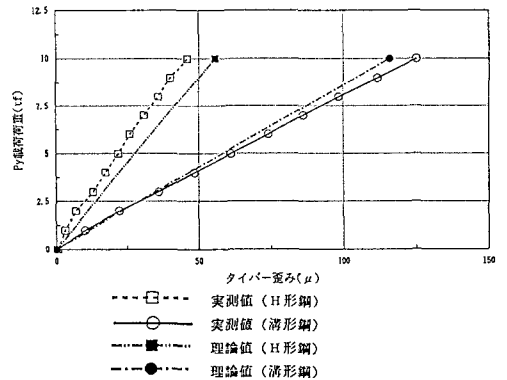


図-12 ケース3-2
荷重-タイバーひずみ図

6. 結果のまとめ

今回のリング載荷試験により得られた結果をまとめると以下の通りである。

- 1) 変位は、各載荷ケースとも梁ばねモデルによる計算値にほぼ一致した。
- 2) 鉄筋、コンクリートおよびタイバーのひずみは、全体として梁ばねモデルによる理論値とほぼ一致するか、やや小さく、ひび割れ発生状況から隅角部やタイバー取付部を含めリングとして弱点になる部分は見受けられず、荷重に対して十分な強度を持っていることが確認できた。
- 3) 変位および鉄筋、コンクリート、タイバーの各ひずみの結果から、梁ばねモデルを用いることで、本セグメントの安全な設計が可能である。
- 4) セグメントの継手構造は、従来から用いられている鋼板式ボルト継手で対処できる。
- 5) 円弧状矩形セグメントにタイバーを取り付けることによりタイバーのないセグメントに比べ剛性が大きくでき、セグメント厚の小さい合理的な設計が可能である。

7. おわりに

タイドアーチセグメントは、矩形、楕円形などの断面のみでなく、円形断面にも適用することができ、セグメントに発生する曲げモーメントを最小限にできることから、特に大断面のセグメントで課題となっているセグメントの厚さを小さくできる利点がある。またタイバーは鉄道や道路などの建築限界を避けて設置することが可能であり、施工時の枕木や、完成時の天井板などに利用できる。

本セグメントの組立方法を含む施工法については、既に検討済みであり、今回のリング載荷試験によって構造上の安定性や合理性を確認すると共に、その設計法についても、円形断面で用いられている梁ばねモデルなどの設計法が適用できることが確認できた。

最後に、本セグメントの開発およびリング載荷試験を実施するにあたり、ご指導、ご助言を頂いた東京都立大学名誉教授 山本稔先生に謝意を表します。

8. 参考文献

- 1) 近藤紀夫・井上正巳・本田和之：円弧状矩形セグメントの開発実験，土木学会第48回年次学術講演会概要集Ⅲ-7