

東京都立大学 正員 山本 稔
 久保田鉄工協 正員 木川 富男
 久保田鉄工協 正員 山田 淑郎

1. はじめに

従来、ダクタイトルセグメントは、構造的特殊性を生かし、地下鉄駅部、換気口部、河川・海底下および重荷重部などを中心に使用されてきたが、海底、一般トンネル用として内径側フランジを除いた 3 主桁型構造のダクタイトルセグメントを開発し、名港導水路海底トンネルで試用され好成績を納め、引続き、成田空港航空燃料パイプライントンネルで本格的に採用され、更に、海外でも香港地下鉄に大量に使用されるに至った。

この度、この技術を生かして、地下鉄の中・軽荷重用の大口径用セグメントに適用を考えた。3 主桁ノーフランジ型のセグメントの構造上の長点を上げると次のようになる。

- (1) スキンプレートにかかる等分布荷重に対しては、中央桁により 2 分され、塑性設計による解法においても板のスパン長が短くなり、それだけ強くなる。
- (2) スキンプレート厚が 9mm を越えると 900mm 中セグメントでは全幅有効となるため、主桁の断面積を大きく取れ、軸力に対して強くなる。しかる、耐曲げモーメント性を大きくするための断面係数の向上には主桁のウェブ厚を増す必要がある。
- (3) 縦リブを主桁高さ一杯にすることにより、内径側にフランジのない不利をカバーし、かつ、縦リブ長が 2 分されるため座屈が強くなる。
- (4) 継手板も中央桁で 2 分されるため板剛度が上り、その上、接合ボルトの位置を主桁から等距離で近接できるため、ボルトへの引張応力は均等に働く。また、継手板にボルト座、隅角部に R またはハンケを一体で設けることにより、継手部の剛度を上げている。

この 3 主桁ノーフランジ型のセグメントの性能と設計の妥当性を確認するために、地下鉄単線シールドの平均的断面を想定したセグメントを設計、供試体を製作し、その単体曲げ試験、継手曲げ試験、推力試験を実施した。この報告書はこれらの構造試験の結果をまとめたものである。

2. 試験方法

- (1) 単体曲げ試験は図 2 に示すように、A 型セグメントの中央に鉛直荷重を 20 スピッチで載荷した。(2) 継手曲げ試験は A 型セグメントを 2 分割し、各セグメント継手面同士を M24、10T ボルトにて接合し、鉛直荷重を 10 スピッチで載荷した。(3) 推力試験は図 4 に示すように、縦リブ 1 本に載荷 (1 載荷) と 2 本の縦リブに均等に載荷 (2 載荷) との 2 通りについてジャッキ中心の位置をセグメントの外縁から測って 16, 18, 20cm の 3 条件で最大 150t まで載荷した。供試体は図 5 の通りである。

3. 試験結果と考察

- (1) 単体曲げ試験 (イ) 図 6 に中央断面における荷重-歪線図を、図 7 に中央点の荷重-たわみ線図を示す。歪およびたわみ理論値に近似しており、特に最大応力度の生じる主桁内縁の応力度は、極めて近似している。

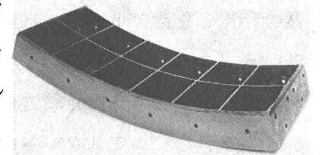


図 1 3 主桁ノーフランジ型セグメント

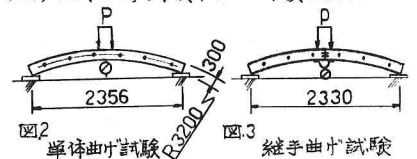


図 2 単体曲げ試験

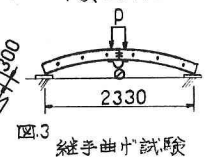


図 3 継手曲げ試験

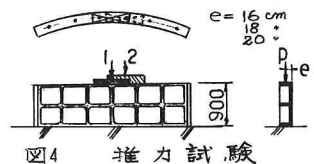
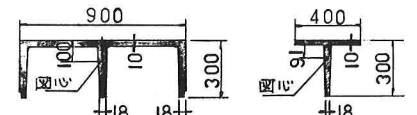


図 4 推力試験



$A = 271 \text{ cm}^2$	$A = 99.5 \text{ cm}^2$
$I = 24.568 \text{ cm}^4$	$I = 914.1 \text{ cm}^4$
$Z_U = 2.462 \text{ cm}^3$	$Z_U = 100.4 \text{ cm}^3$
$Z_L = 1.227 \text{ cm}^3$	$Z_L = 43.7 \text{ cm}^3$

図 5 供試体の断面と断面性能

(d) 破壊は中主桁の中央部の吊孔部の断面にフレが生じた。破壊荷重は160tで理論値128.3tの1.25倍であった。

(e) 図.8に中央断面の60tにおける歪分布図を示す。図よりスキンプレートに生じた圧縮応力度の分布は均等であり、全幅が有効に作用していることがわかった。

(f) 図.8より、主桁の中立軸の位置を求めると、10.2cmとなり、理論値10cmに良く近似している。この結果からもスキンプレートが全幅有効に作用していることがわかる。

(2) 継手曲げ試験

(a) 図.9に接合ボルトの荷重-歪線図を示す。図より実測値のグラフは理論値のそれと近似しており、設計方法の妥当性がわかった。内径側ボルト4本も均等に作用しており、構造的にみて理想的である。

(b) 継手部の破壊は両側部のボルトM24、11Tが引張破断することにより生じ、継手板は変形は少なかったが丈夫であった。その時の荷重は82Tで理論値78.1tの1.05倍であった。そこで、更に、ボルトをM30、10Tに大きくレ載荷した所、92tで破壊した。その時の破壊曲げモーメントは46.0t-mで単体破壊曲げモーメント76.5t-mの約60%であった。破壊は側部のボルト1本が引張破断とセグメントの継手板と中桁の交叉部よりフレた。中桁にはその両側のボルトの応力が伝達するため大きな応力が作用することとなり、ボルトの破断と同時にこの部分より破断するに至った。

(c) 図.10に30t時の継手部の歪分布図を示す。引張ボルトの平均実測応力度は4910kg/cm²で理論値4225kg/cm²より大き目であるが、ボルトに予め初張力を入れたための差であって、前述の如く図.9より近似している。継手板の主桁に近い部分の応力度は480kg/cm²となり理論値の708kg/cm²に對し余裕のある値であった。

(3) 推力試験

(a) 図.11に1載荷と2載荷の理論値との比較を示す。両載荷共理論値よりかなり小さい。これはスプレッダーの剛性が大きいため、ジャッキ荷重がセグメント縦リブの上下方向および周辺の縦リブにも応力がスムーズに分散したためと考える。

(b) 最大荷重について ジャッキの偏心20cmの時200tまで載荷したが破壊に至らなかった。

4. 結 論

以上の結果より 内径側フランジをなくしたハンデを主桁1本を中央に増すことにより新断面および継手の剛度を向上させることを考えたこの3主桁ノーフランジ型ダクタイルセグメントは現在の設計法による理論値に十分合致し、実際の使用に耐え得ることがわかった。

従来の2主桁フランジ型セグメントと比較してリング当りの重量はやや重くなるが、製造面で造型工数の大巾な低減により 逆にリング価格を大きく低減でき、経済性においても優れていることがわかった。

