

## 良質地盤対応のダクトイルセグメントの開発

株式会社クボタ 正会員 ○浜田 要  
正会員 青木敏行  
正会員 向野勝彦

### 1. はじめに

近年、シールドトンネルが郊外に建設されたり、大深度化により良質地盤を通るトンネルが増加している。良質地盤では、セグメントに作用する曲げモーメントが小さく、セグメントは高い曲げ剛性は必要なく、セグメントの桁高は小さくなる。また、大深度トンネルでは、シールドマシンに高水圧が作用し、トンネル掘進時のジャッキ推力が増加するので、ジャッキ推力に対して十分な強度を持つセグメントが必要となる。

今回、大深度、良質地盤対応セグメントとして、スキンプレートを内径側にもち、外径側にコンクリートを充填した合成セグメント（以下、逆主桁型セグメントと呼ぶ）を開発した。（図1）本論文では、構造評価として単体曲げ試験・推力試験を行ったので、その結果について報告する。

### 2. 逆主桁型セグメントの特徴

#### （1）推力分担の合理化

ジャッキ推力をコンクリートと内径スキンプレートで負担する。（図2）逆主桁構造では、ジャッキセンターの偏心に対して強いので、コンクリート強度を極端に大きくすることなく、桁高を小さくし、縦リブを薄くできる。

#### （2）合成構造の適用

コンクリートを強度部材とすることで、ダクトイルセグメント本体の部材厚の最小肉厚化を図る。

#### （3）トンネル外径縮小によるコスト低減

桁高を小さくすることでトンネル外径の縮小が図れ、シールドマシンの小型化や建設残土の削減による総合的なコスト低減ができる。

### 3. 試験内容

平板供試体の材料、サイズを表1、2に表す。

#### （1）単体曲げ試験（図3）

合成構造の確認のため、単体曲げ試験を行った。軸力なしの場合、破壊モーメント相当の荷重まで载荷した。軸力ありの場合、曲げモーメントと軸力の比（ $e=M/N$ ）を一定にして許容応力度の1.5倍相当まで载荷した。（表3）

#### （2）推力試験

推力分担の合理性を確認するため、推力試験を行った。ジャッキ推力相当の荷重として1500kNまで载荷し、セグメントの内外縁のひずみを計測した。载荷位置はテールクリアランス分の偏心を考慮してセグメント外径から150mmの位置とした。

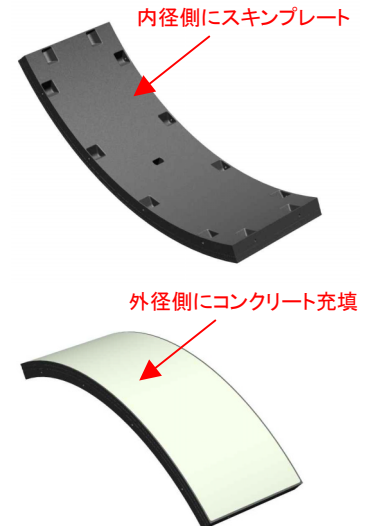


図1 逆主桁型セグメント

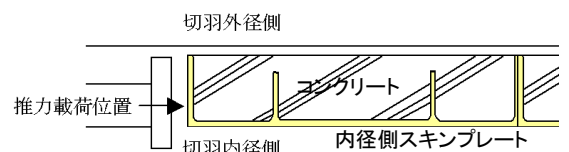


図2 ジャッキ推力载荷の状態

表1 使用材料

| 材質                                  | ヤング率<br>(kN/mm <sup>2</sup> ) | 許容応力度<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 供試体の<br>種類     |
|-------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|----------------|
| ダクトイル鋼鉄<br>FCD500-7                 | 170                           | 曲げ圧縮:190<br>曲げ引張:220          | ジベル<br>あり、なし   |
| コンクリート<br>$f'_{ck}=21\text{N/mm}^2$ | 23.5                          | 8                             | 鉄筋 D6<br>あり、なし |

表2 供試体のサイズ

| 長さ     | 幅      | 桁高    |
|--------|--------|-------|
| 2880mm | 1250mm | 200mm |

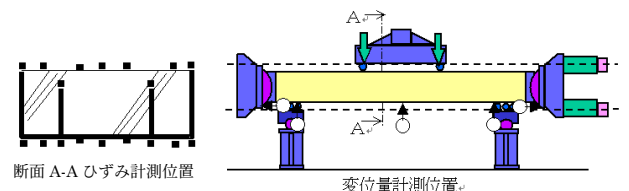


図3 単体曲げ試験概要図

表3 载荷ケース

| 曲げ<br>方向 | 軸力<br>(kN) | 鉛直荷<br>重(kN) | 曲げモー<br>メント(kN・m) | 備考          |
|----------|------------|--------------|-------------------|-------------|
| 正曲げ      | 1125       | 421.9        | 168.8             | 許容応力度相当×1.5 |
| 正曲げ      | 0          | 1309.5       | 523.8             | 終局荷重        |
| 負曲げ      | 1500       | 288.7        | 115.5             | 許容応力度×1.5   |
| 負曲げ      | 0          | 675.0        | 270               | 終局荷重        |

キーワード シールドトンネル、ダクトイルセグメント、合成構造、大深度、逆主桁

連絡先 〒103-8310 東京都中央区日本橋室町3丁目1番3号 (株)クボタ 素形材技術部 TEL 03-3245-3561

## 4. 単体曲げ試験結果

### (1) 中央変位量

図4に荷重と中央変位量の関係の代表例を示す。ジベル・鉄筋なしの場合でも合成構造での計算値に近い結果が得られた。（合成断面の等価剛性算出に用いるヤング係数比は実ヤング係数比  $n=7.234$  とし、コンクリート断面の引張り領域は無効とした。応力度照査時も同様。）

### (2) 主桁のひずみ

図5に荷重と内外縁のひずみ量（ダクトイル鋳鉄部分）の関係の代表例を示す。ジベル・鉄筋なしで合成構造での計算値に近い結果が得られた。また、桁高方向のひずみ分布の代表例を図6に示す。ダクトイル鋳鉄、コンクリート表面、コンクリート内部のひずみが桁高方向に対して線形に分布しており、合成構造の計算値に近似していた。

### (3) コンクリートのクラック発生状況（負曲げ時）

クラック発生荷重は、軸力ありで 58kN であった。許容応力度相当の荷重時のコンクリートクラック最大幅は、軸力ありで 0.3 mm であり許容値以下であった。

### (4) 破壊試験結果（軸力なし）

正曲げ時は、破壊モーメント相当の鉛直荷重 1310kN まで載荷したが、破壊に至らず終了した。負曲げ時は破壊モーメント相当の鉛直荷重 675kN に達した後、コンクリート、主桁およびスキンプレートの一部が破断して終了した。破壊時にコンクリートの抜け落ちはなかった。

## 5. 推力試験結果

1500kN まで載荷したが、コンクリートのクラック発生はなく、ダクトイル鋳鉄、コンクリートの発生ひずみは許容値以下であった。（図7）なお、スキンプレートとコンクリートの発生ひずみが計算値と少し異なっている。これは、計算では集中荷重としているが、実際は分布荷重的な挙動をしているためと考えられる。

## 6. まとめ

今回、逆主桁形状の合成セグメントを開発し、構造試験を行った。その結果、合成構造として評価でき、大深度・良質地盤対応の合理的なセグメントであることが確認できた。最後に、本研究をご指導いただいた小泉淳早稲田大学教授、および関係者各位に深く感謝の意を表します。

## 参考文献

・白子他、「二次覆工と一体化したコンクリート内面打設型ダクトイルセグメントの採用及び設計について」、土木学会第56回年次学術講演会講演概要集 p34-35、2001

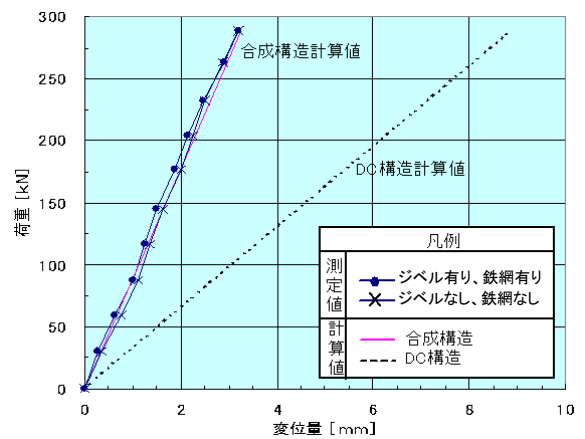


図4 単体曲げ試験・荷重－中央変位量図（負曲げ、軸力あり）

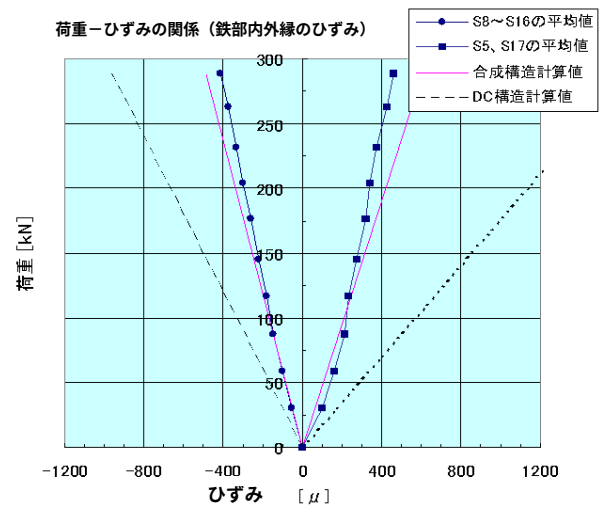


図5 単体曲げ試験結果・荷重－ひずみ図（負曲げ・軸力あり、ジベル・鉄筋なし）

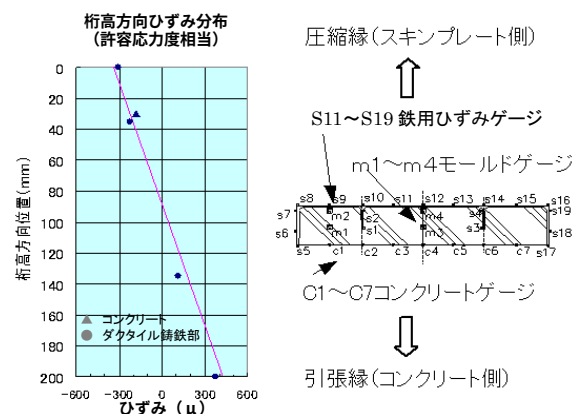


図6 単体曲げ試験結果・桁高方向ひずみ分布（負曲げ・軸力あり、ジベル・鉄筋なし）

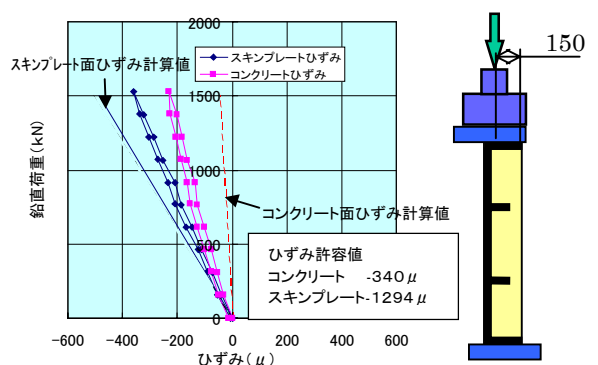


図7 推力試験結果（荷重－ひずみ）