

合成構造コンクリート中詰め鋼製セグメント

新日本製鐵(株) 正会員 中山裕章 三宅正人 豊島径

1. 目的

二次覆工省略型のシールドトンネルに用いられる鋼製セグメントでは、内面を平滑化するために鋼殻内部にコンクリートを打設して使用されているものもあるが、中詰めコンクリートと鋼殻の一体化のメカニズムが未解明なため設計上の取り扱いとしては、鋼製セグメント部分のみで荷重に抵抗するとされ、コンクリートと一体化した場合に比較して不経済となっている場合がある。今回、筆者らは鋼殻と中詰めコンクリートとが一体となって荷重に抵抗する新たな合成セグメントの開発に取組み、実大セグメントを用いた正曲げ・負曲げ試験を行って構造性能に関する検討を実施したので、その結果を報告する。

2. 構造仕様

合成構造CPセグメントは、鋼殻とその内部に配置した鉄筋コンクリートの両者を一体化した構造形式の鋼製系合成セグメントである。構造的な特徴を以下に示す。

主桁・縦リブ・スキンプレートで鋼殻ブロックを形成し、ブロック内に鉄筋コンクリートを配置

縦リブに開孔を設け主鉄筋を挿通することで鉄筋コンクリートと鋼殻を一体化

M型に折り曲げた斜め引張り鉄筋によりせん断耐力を補強



図-1 コンクリート打設前の構造仕様

表-1 合成構造としての設計法

| | |
|-----------|---|
| 主桁 | 主桁断面をRC断面計算に組み込む。 |
| スキンプレート | スキンプレートの有効幅 = 25t (= 75mm) (「セグメントの設計」, 平成6年6月, 土木学会) とし、各図心位置に鉄筋があるものとしてRC断面計算に組み込む。正曲げ・負曲げともに同様の有効幅とした。 |
| 主筋 | 複鉄筋コンクリート断面として設定する。 |
| 中詰めコンクリート | |

3. 合成構造として提案する設計法

曲げ荷重に対して、主桁・スキンプレートを鉄筋換算して鋼殻内部のRC断面に組み込み、合成構造としてSRC断面として取り扱う。各部位の設定方法は表-1のように仮定した。

表-2 鉄筋比

| |
|---|
| $642.4 \times 24 / (250 \times 1200) \times 100 = 5.14\%$ |
| 鉄筋比 = 主筋合計面積 / 全断面積 (= 桁高 × 幅) |

4. 試験方法

載荷点間隔を600mmとした2点支持2点載荷の等曲げ試験を実施した。平板の正・負曲げ、舟形正曲げの合計3体を実施した。図-2に舟形

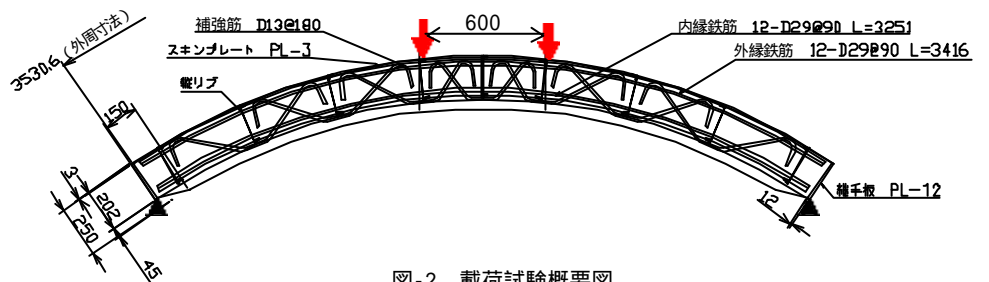


図-2 載荷試験概要図

正曲げ試験の載荷試験概要図を示す。載荷は、ひび割れ荷重・許容荷重・降伏荷重の順に各荷重まで一度載荷した後に除荷・再載荷することを繰り返し、最後に試験続行が可能な範囲まで荷重を載荷して試験を終了した。上下12本ずつD29の鉄筋を用い、鋼殻部を除く鉄筋比は表-2に示すように5.14% (引張鉄筋比2.57%) とした。

5. 試験結果

5-1. 耐力 図-3に載荷中央部の鉛直変位-荷重関係を示す。各試験とも試験体自体破壊には至らなかったが、ジャッキストロークが限界に達した時点で載荷を終了している。平板試験において、正曲げ・負曲げともに降伏後コン

クリートの圧壊に伴って耐力が一時的に低下する傾向が見られたが、その後、変位の増加と共に耐力が漸増した。コンクリート圧壊後(変位42mm以降)に主桁圧縮縁・圧縮鉄筋のひずみが急増しているが(図-4)、これは鋼材への応力の再配分が行われたことで急激な耐力低下を起こさず高い変形性能を発揮した主因と考えられる。また、負曲げ試験体の方が正曲げ試験体に比較して大きな耐力を発揮しているが、これは負曲げ試験体においてはトンネル内縁側のかぶりコンクリート分だけ有効桁高が大きいためと思われる。

5-2. 曲率の影響 図3に示すように正曲げ試験において、平板と船形の挙動に大きな違いは認められなかった。

5-3. 鉄筋比の影響 本試験体は、文献1)に記載されている二次覆工を省略する場合の引張鉄筋比の上限1.2%を超えているが、今回与えた変位の範囲内では脆性的な破壊性状を示すことなく、降伏後も高い変形性能を示した。平板正曲げ試験において、設計抵抗モーメントに対する終局抵抗モーメントの比は2.66であり、文献1)に定められている2.5を上回っていることが確認できた。また、スランプ15cmのコンクリートを用いて試験体の製作を行ったが、コンクリート打設時に鉄筋が支障となることはなく、試験後にスキンプレーートを剥がして外観検査を行ったが、コンクリートの未充填部分は見当たらなかった。

5-4. 提案する設計法との比較 舟形正曲げ試験を対象として、降伏耐力以下の領域に於いて今回設定した設計法と実験結果との比較を行った。

(1) M- 関係 実験で測定したひずみゲージの値から計算した曲率とモーメントの関係と計算値との比較を図-5に示す。設計では引張りコンクリートのひび割れ・主桁引張り縁の降伏点を求めたが、これらを結び直線は実験から求められた曲線と良く一致した。

(2) 桁高方向 載荷点中央の鋼材(スキンプレーート・主桁・鉄筋)における軸方向ひずみの分布を図-6に示す。鋼殻と内部の鉄筋とで概ね平面保持が成り立ち、設計から求めた中立軸と実験での中立軸がほぼ一致し、鋼殻と内部の鉄筋コンクリートが一体化して挙動していることが分かる。

(3) 幅方向 上下3本ずつの鉄筋に貼付したひずみゲージから得られた軸方向のひずみ分布を図-7に示す。降伏荷重レベルで引張側鉄筋の中央付近のひずみが端部のひずみよりやや大きくなるものの、概ね幅方向でのひずみのバラツキは見られず全幅一様に荷重負担している。

6. まとめ

今回実施した試験により、本セグメントが 曲率の有無に関わらず鋼殻と内部コンクリートが一体化して挙動しており合成構造化している、鉄筋比5.14%(引張鉄筋比2.57%)と通常のコンクリート系セグメントよりも高い鉄筋比であるが製作上の問題もなく、高い変形性能を有することを確認した。

[参考文献] 1)土木学会・日本下水道協会、シールド工用標準セグメント、2001

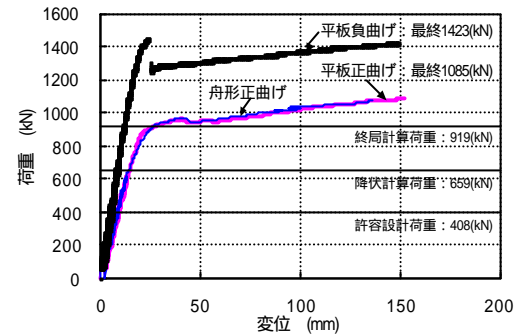


図-3 中央鉛直変位 荷重関係

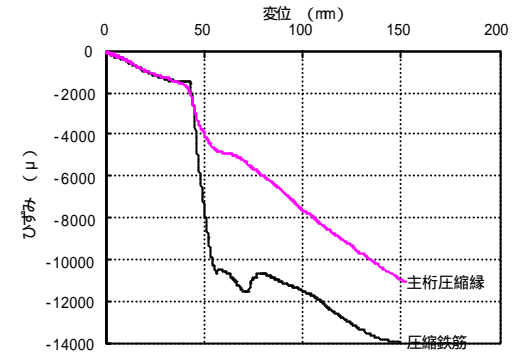


図-4 中央鉛直変位 載荷点中央ひずみ関係(平板正曲げ)

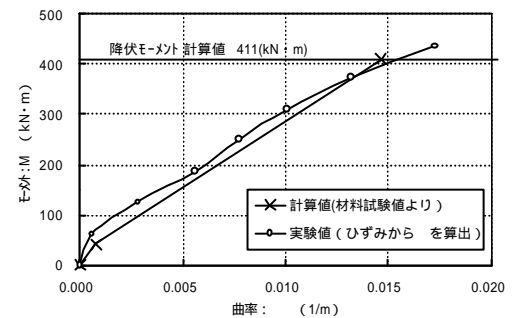


図-5 M- 関係(舟形正曲げ)

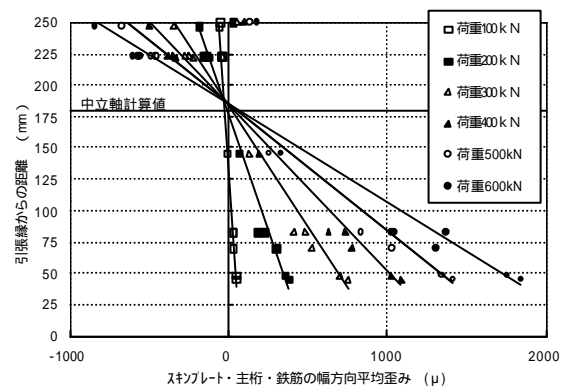


図-6 鋼材の維ひずみ分布(舟形正曲げ)

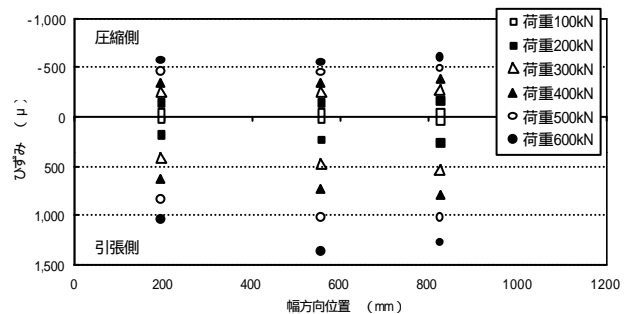


図-7 鉄筋の幅方向の軸ひずみ分布(舟形正曲げ)