

## シールド工事用標準鋼製セグメント-鋼製セグメントの圧縮挙動に関する研究

新日本製鐵(株) 鋼構造研究開発センター 正会員 ○ 豊島 径  
 新日本製鐵(株) 建材開発技術部 正会員 三宅正人  
 マルケイ工業(株) 技術課 神津広光  
 三井造船(株) 産業機械設計部 安藤幸作

## 1. はじめに

本研究の目的は、これまで明確にされていない鋼製セグメントの圧縮力に対する終局域までの挙動を実験的に確認することである。主桁の座屈に対して最も厳しい条件である純圧縮力のみを負荷した実験を行い、鋼製セグメントの圧縮力に対する終局域での性能確認、特に塑性域での主桁の座屈性状を実験により確認した。

## 2. 試験概要

試験ケースを表 - 1 に、試験体寸法を表 - 2 に、標準鋼製セグメントの幅厚比を図 - 1 に、試験概要ならび試験体を図 - 2 に示す。試験体は、シールド工事用標準鋼製セグメント<sup>1)</sup>のうち幅厚比の異なるタイプS9ならびにS59を模した試験体である。本タイプは幅厚比が大きく座屈を生じやすいS9と中間的なS59である。試験体の幅は、スキンプレーットの有効幅を確保した寸法とし、曲率を有しない平板型試験体とした。またリング継手のボルト締結による主桁厚の減少ならびにボルト孔の断面欠損を考慮するために、主桁にボルトを配し、初期導入軸力にて締結した。なお試験体の初期形状の寸法誤差(初期不整)の最大値は1.0mm程度であった。

表 - 1 試験ケース

| 試験<br>ケース | 標準<br>番号 | トコ外径<br>(mm) | 主桁高<br>(mm) | 主桁厚<br>(mm) | 縦リブ<br>ピッチ(mm) | 幅厚比<br>補正值 | セグメント幅<br>(mm) | スキンプレー<br>ット(mm) |
|-----------|----------|--------------|-------------|-------------|----------------|------------|----------------|------------------|
| 1         | S9       | 2000         | 100         | 8           | 349            | 11.36      | 750            | 3                |
| 2         | S59      | 4050         | 150         | 14          | 398            | 9.17       | 1000           | 3                |

表 - 2 試験体寸法

|       |                                                              |            |
|-------|--------------------------------------------------------------|------------|
| ケース 1 | 試験体幅192mm, 試験体高103mm, 試験体長592mm<br>スキンプレーット幅176mm, 試験体長567mm | 重量<br>20kg |
| ケース 2 | 試験体幅204mm, 試験体高153mm, 試験体長641mm<br>スキンプレーット幅176mm, 試験体長616mm | 重量<br>39kg |

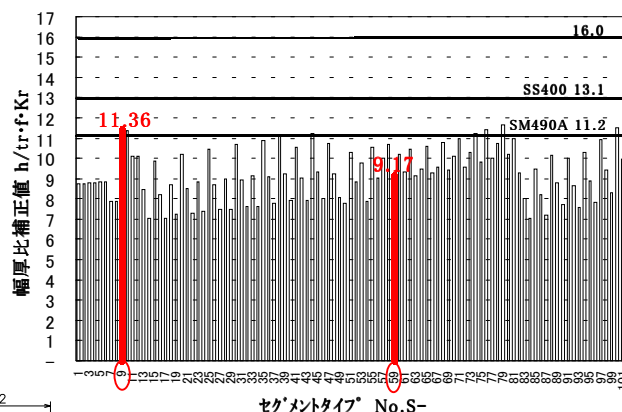
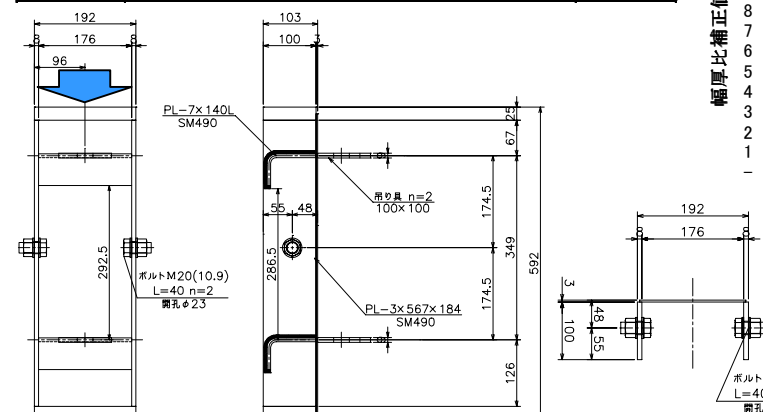


図 - 1 標準鋼製セグメントの幅厚比

図 - 2 試験概要ならびに試験体

## 3. 実験結果および考察

## 3.1 試験概況ならびに荷重と変位との関係

2つの試験結果である圧縮荷重と鉛直変位との関係を図 - 3 に、試験終了後の試験体を図 - 4 に示す。

ケース 1 について、荷重414kN程度にてスキンプレーットが面外方向に座屈した。その後、最大荷重756kNのとき、2枚の主桁がそれぞれ同じ方向(左側)に座屈し、一方の縦リブのフランジ先端と他方の縦リブのウェブ先端を端とする1次の座屈モードを呈することを確認した。

ケース 2 について、最大荷重1800kNのとき、スキンプレーットが面外方向に座屈していることを確認した。そして同じとき、2枚の主桁がそれぞれ同じ方向(右側)に座屈し、一方の縦リブのフランジ先端と他方の縦リブのウェブ先端を端とする1次の座屈モードを呈することを確認した。

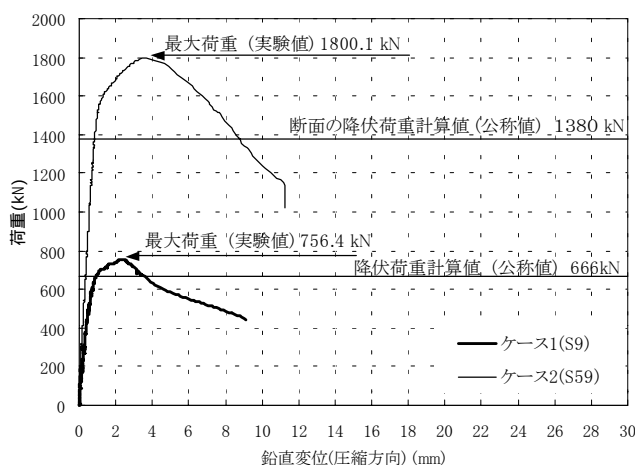


図 - 3 圧縮荷重と鉛直変位との関係

キーワード：シールドトンネル，鋼製セグメント，圧縮力，座屈，実験

連絡先：〒293-8511 千葉県富津市新富20-1 Tel 0439-80-2206

なおケース 1 ならびにケース 2 の試験体とも、試験終了後の観察では、溶接部の破断等、座屈以外の試験体の損傷は確認されなかった。

### 3.2 荷重とひずみとの関係

2つのケースの圧縮荷重と主桁のひずみとの関係を図-5, 6に示す。図中の2つの曲線は、主桁の同位置において主桁の表(hg1)と裏(hg2)に貼付したゲージ値である。2つの曲線が同一の軌跡を辿る間は、主桁には圧縮力のみ作用し、曲げは作用していないものの、2つの曲線が分岐する、すなわち異なる挙動を辿ると、座屈による面外方向の曲げの影響を受けていると考えられる。この結果、2つのケースとも概ね、断面の降伏荷重計算値を超える荷重において、主桁が塑性化した後、2つの曲線が分岐し、座屈を生じていることがわかる。また分岐は、最大値程度にて顕著化しており、主桁の座屈が鋼製セグメントの圧縮力に対する耐力に支配的となっていると考える。



図-4 試験終了後の試験体（左ケース1、右ケース2）

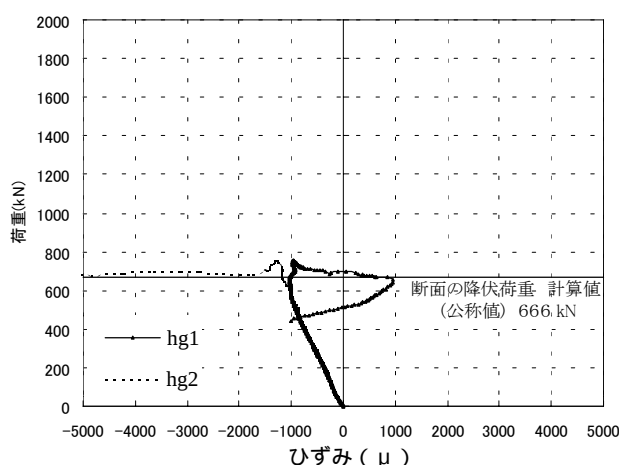


図-5 圧縮荷重と主桁のひずみとの関係（ケース1）

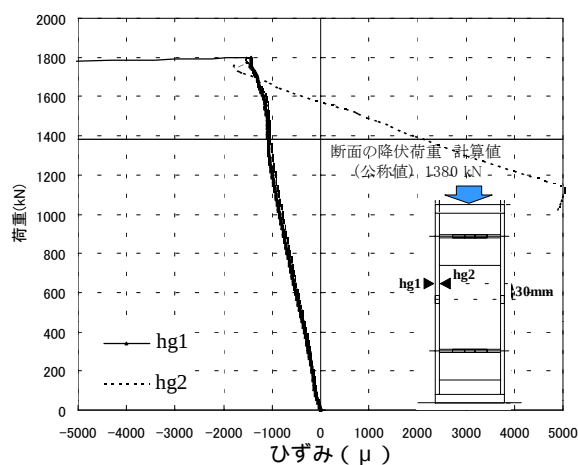


図-6 圧縮荷重と主桁のひずみとの関係（ケース2）

### 4. 数値解析による検討

主桁の座屈に対するボルト孔の影響ならびにボルト締結に伴う主桁厚の減少の影響を評価するために、3次元FEM弾性座屈解析を実施した（シェル要素にて試験体をモデル化、MARC2001による固有値解析を実施）。

数値解析結果を図-7に示す。スキンプレートならびに主桁の座屈モードは、実験結果と同じモード\*となること（中図ならびに右図は主桁のスキンプレート側の水平変位を拘束）、またボルト孔による主桁の断面欠損、主桁板厚の減少は、座屈荷重には若干の影響を与えるものの、座屈モード\*の顕著な違いは確認できなかった。

### 5. まとめ

- 1) 鋼製セグメントの圧縮力に対する耐力において、主桁の塑性域における座屈が支配的となることを確認した。また座屈モードは両ケースとも、一方の縦リブのフランジ先端と他方の縦リブのウェブ先端を固定端とする1次の座屈モードを呈し、縦リブならびに主桁との接合部は、座屈の基点となることを確認した。
- 2) 鋼製セグメントの純圧縮力に対する最大荷重は、主桁の塑性域での座屈が支配的となり、耐震設計<sup>2)</sup>等において算定する断面の降伏荷重を十分上回ることを確認した。

なお本研究は、鋼製セグメント工業会より受託して行なったものである。

### [参考文献]

- 1) (社)日本下水道協会: シールド工事用標準セグメント 平成13年7月1日
- 2) (社)日本下水道協会: 下水道施設耐震計算例 管路施設編 -2001年版-

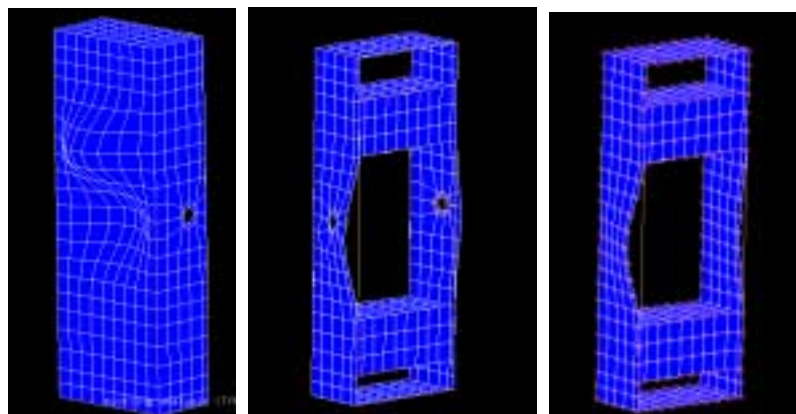


図-7 数値解析結果の座屈モード  
（左図 スキンプレートの座屈, 中図 主桁（ボルト孔有）の座屈, 右図 主桁（ボルト孔無）の座屈）