

### III-3 突起付鋼板を用いた合成セグメントの 曲げ耐荷性能について

住友金属工業株式会社 正会員○阿部 幸夫 岩橋 正佳  
株式会社鴻池組 金好 昭彦 松村 誠

#### 1. はじめに

近年の地下空間有効利用の高まりから、シールドトンネル工法も大深度化、大口径化あるいは交差、急曲部、異形断面と云った多様化への対応が従来に増して強く求められる状況にある。これに伴いシールド覆工材としてのセグメントに対しても高耐力、高剛性が要求されるようになってきた。

著者等はこれらの要求を満足するセグメントとして、コンクリート上下面に菱目突起付鋼板を配置したサンドイッチ構造の新型合成セグメントを試作し、単体曲げ試験ならびにジャッキ推力試験を行った結果、優れた耐荷特性を有していることを既に確認している<sup>1)</sup>。

そこで本研究では菱目突起付鋼板の附着性能に着目し、一般の縞鋼板を使用した場合との単体曲げ性能比較を行い、つぎに軸力導入単体曲げ試験を実施し、所定の曲げ性能を有する上で必要となる本合成セグメントのスタッド配置ならびに菱目突起高さについて検討を行ったので、その結果について報告する。

#### 2. 実験概要

(1)単体曲げ試験 菱目突起付鋼板と縞鋼板との耐荷性能比較を単体曲げ試験により確認するために行った。

供試体の基本形状は、図1に示すようにトンネル内径4800mmの標準セグメント<sup>2)</sup>(7分割の内のAセグメント)を対象にしたもので、厚さは150mmとし、この径で通常用いられている厚さ200mmの鉄筋コンクリート製セグメントと同等の断面性能を有するように設計した。また、本構造では鋼製側板も設けている。そして表1に示すように上下に菱目突起付鋼板および縞鋼板を用いた2体について実験を行った。

使用した鋼板は表3の通りであり、コンクリートの圧縮強度はA-1が390kgf/cm<sup>2</sup>、A-2が380kgf/cm<sup>2</sup>であった。

実験は、セグメントが上に凸になるように設置し、中央2点载荷による曲げ力を作用させ、破壊まで加力した。

(2)軸力導入単体曲げ試験 実際のセグメントに作用する外力を想定した軸力導入単体曲げ試験により、必要となるスタッド配置、菱目突起高さを検討するために行った。

供試体の部材構成は図1と同様であるが、より大型のセグメントを検討するためトンネル内径5400mm、幅1000mm（厚さは150mm）を対象とした。この基本形状に対し、B-2は側板による拘束効果を期待して側板近傍150mm範囲内のスタッドをB-1より削除したタイプ、B-3はB-1の菱目突起高さを2.5mmに削ったタイプの3体の実験を行った（表2）。

使用した菱目突起付鋼板は表3の通りであり、コンクリートの圧縮強度は270kgf/cm<sup>2</sup>であった。

実験は、セグメントが上に凸になるように設置し、軸力

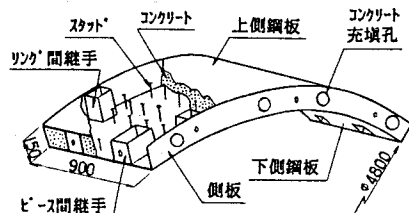


図1 供試体の基本形状（単体曲げ試験）

表1 供試体の種類（単体曲げ試験）

| No. | 上下鋼板種類                  | スタッド(8.5φ×125ℓ)のピッチ(mm) |
|-----|-------------------------|-------------------------|
| A-1 | 菱目突起付鋼板*<br>(突起高さ4.7mm) | ＜上側＞<br>周:330×軸:280     |
| A-2 | 縞鋼板*<br>(突起高さ1.3mm)     | ＜下側＞<br>220×160         |

※寸法及び強度は表3参照

表2 供試体の種類（軸力導入単体曲げ試験）

| No. | 菱目突起付鋼板*突起高さ(mm) | スタッド(13φ×125ℓ)のピッチ(mm) |                                 |
|-----|------------------|------------------------|---------------------------------|
|     |                  | 上側                     | 下側                              |
| B-1 | 3.4              | 周:342                  | 周:228×軸:200                     |
| B-2 | 3.4              | ×                      | 228×200<br>側板近傍150mm範囲内のスタッドは削除 |
| B-3 | 2.5              | 軸:360                  | 228×200                         |

※寸法及び強度は表3参照

表3 使用鋼板の寸法と降伏強度

| 鋼板の種類  |                   | 寸法(mm) | 降伏強度(kgf/mm <sup>2</sup> ) |
|--------|-------------------|--------|----------------------------|
| 単体曲げ   | 菱目突起付鋼板(A-1に使用)   | SS     | 28.0                       |
|        | 縞鋼板(A-2に使用)       | 400    | 31.9                       |
|        | 側板                | 板厚4.5  | 22.6                       |
|        | 軸力導入曲げ            | 側板     | 板厚6.0                      |
| 軸力導入曲げ | 菱目突起付鋼板(B-1.2に使用) | SM     | 38.9                       |
|        | 菱目突起付鋼板(B-3に使用)   | 480    | 40.1                       |
|        | 側板                | 板厚6.0  | 40.1                       |
|        | 側板                | 板厚6.0  | 40.1                       |

を作用させながら中央2点曲げ载荷が可能な方法とした。また载荷順序は、まず上下いずれかの鋼板が許容応力度に達する設計M-N曲線上の5ケース（表5参照）について軸力導入による曲げ実験を行い、つぎにこの供試体を用いて曲げ力のみによる破壊実験を行った。

### 3. 実験結果

(1)単体曲げ試験 実験結果を表4に、荷重と中央変位の関係を図2に示す。ここで設計荷重とは、一体化計算によって下側鋼板が許容応力度に達する荷重、また降伏荷重とは実験値、計算値ともに下側鋼板が降伏強度の試験値に達する荷重である。さらに計算値における終局荷重ならびに図2に示した弾性範囲内の剛性はR C曲げ部材の限界状態計算<sup>3)</sup>から得られたものを用いている。

結果は菱目突起付鋼板を用いたA-1供試体で設計荷重17.5tfの1.5倍を上回る26.5tfまで下側鋼板に剝離が発生せず一体化されていたのに対し、縞鋼板を用いたA-2供試体の場合は設計荷重24.0tfの7割である17.0tfで下側鋼板に剝離が発生した。このことは菱目突起付鋼板の付着性能が縞鋼板に比べ優れ、剝離発生を有効に抑制できた結果といえる。

(2)軸力導入単体曲げ試験 設計M-N条件下での下側鋼板中央の剝離量を表5に示す。結果はすべての供試体において下側鋼板に剝離が発生したが、その値は0.4mm以下と突起高さに比べて十分小さな値であった。

次に、本供試体を用いて曲げのみによる破壊実験を行った結果を表6に、荷重と中央変位の関係を図3に示す。この結果から、突起高さを2.5mm、側板近傍150mm範囲内のスタッドを削除しても、剝離量および降伏荷重、終局荷重に顕著な差は認められず、今回の実験で用いた突起高さ、スタッド配置の範囲内であれば問題なく実用に適用できる構造であることが判った。

### 4. おわりに

今回の実験から菱目突起付鋼板を用いたサンドイッチ型鋼コンクリート合成セグメントは、縞鋼板を用いた場合に比べてコンクリートと鋼板の合成効果が良好であった。またこの性能は菱目突起高さを2.5mm、側板近傍のスタッドを削除しても損なわれないことも確認できた。

最後に本実験に関し御指導いただいた、山本稔東京都立大学名誉教授に感謝の意を表します。

#### ＜参考文献＞

- 1)突起付鋼板を用いた合成セグメントの力学特性，土木学会第46回年次学術講演概要集第3部，pp.114-pp.115，平成3年9月
- 2)日本下水道協会：「シールド」工用標準仕様，1982.11
- 3)土木学会：「コンクリート標準示方書，設計編」，1986.10

表4 実験結果（単体曲げ試験）

| No. | 上下鋼板種類 | 設計荷重 (tf) | 剝離発生荷重 (tf) | 降伏荷重 (tf)<br>実験値 計算値 | 終局荷重 (tf)<br>実験値 計算値 |
|-----|--------|-----------|-------------|----------------------|----------------------|
| A-1 | 菱目突起   | 17.5      | 26.5        | 38.0 45.0            | 52.2 47.8            |
| A-2 | 縞鋼板    | 24.0      | 17.0        | 38.0 55.0            | 61.1 58.4            |

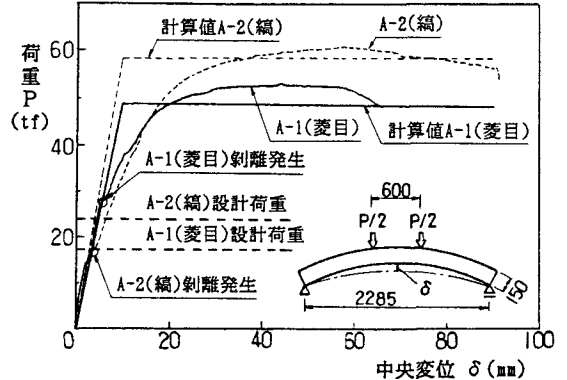


図2 荷重と中央変位の関係（単体曲げ試験）

表5 下側鋼板剝離量（軸力導入単体曲げ試験）(mm)

| No. | 菱目突起高 (mm) | スタッド配置 | M: 18.3tf・N: 20.0tf | 20.3tf・40.0tf | 16.7tf・70.0tf | 17.1tf・100.0tf | 15.6tf・130.0tf |
|-----|------------|--------|---------------------|---------------|---------------|----------------|----------------|
| B-1 | 3.4        | 全面     | 0.38                | 0.38          | 0.28          | 0.25           | 0.23           |
| B-2 | 3.4        | 側板近傍無し | 0.30                | 0.33          | 0.28          | 0.28           | 0.23           |
| B-3 | 2.5        | 全面     | 0.22                | 0.14          | 0.18          | 0.16           | 0.10           |

表6 実験結果（軸力導入単体曲げ後の曲げ载荷試験）

| No. | 設計荷重 (tf) | 下側鋼板剝離量 (mm)<br>設計荷重時 降伏荷重時 | 降伏荷重 (tf)<br>実験値 計算値 | 終局荷重 (tf)<br>実験値 計算値 |
|-----|-----------|-----------------------------|----------------------|----------------------|
| B-1 | 36.0      | 0.22 0.77                   | 72.8 82.7            | 88.1 88.0            |
| B-2 |           | 0.28 0.71                   | 68.7 81.7            | 84.2 86.9            |
| B-3 | 35.5      | 0.20 0.35                   | 66.8 81.7            | 82.5 86.9            |

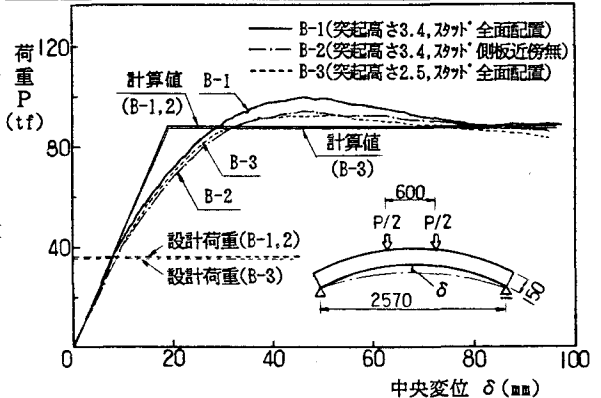


図3 荷重と中央変位の関係（軸力導入単体曲げ後の曲げ载荷試験）