

スキンプレートにスタッドジベルを配置した新しい合成セグメントの開発その1 —合成セグメントの構造と設計概要—

清水建設 正会員 入田健一郎, ○青木孝憲, 荒木尚幸, 馬場崎宗之助
JFE 建材 長岡省吾

1. はじめに

近年、シールドトンネルは大断面化に加え、軟弱地盤、低土被り、超近接での併設や急曲線部等、その適用範囲は広がっており、セグメントに高い性能が要求されるようになってきた。このような特殊な荷重が作用する箇所にはRCセグメントよりも高い耐力を有する合成セグメントの採用が増えている。当社では、高耐力で合理的な構造の合成セグメントの開発を進めてきた。本稿では、この合成セグメントの構造および構造上の特徴であるスキンプレートとスタッドジベルの設計について概説する。

2. 新型合成セグメントの概要

本合成セグメントは、トンネル内空側の面を除く5面を鋼板で囲み、内面側に鉄筋を配置してコンクリートを中詰めした構造となっている(図-1参照)。主な部材は、外面側のスキンプレート、主桁、内面側の鉄筋および中詰めコンクリートである。従来の合成セグメントや鋼製セグメントではスキンプレートの有効幅の範囲のみを構造部材としていたが、スタッドジベルを設置しコンクリートと一体化することにより、その全幅を構造部材とした。これにより鋼材を有効に活用した合理的な構造を実現した。(図-2参照)。

また、①厚板を使用しないため溶接量が少なく、製作精度を確保しやすいこと、②全幅にわたって均一な構造体なので幅広化が容易であること、③内面はコンクリートであり防食や耐火対策が容易であることも本合成セグメントの特徴として挙げられる。

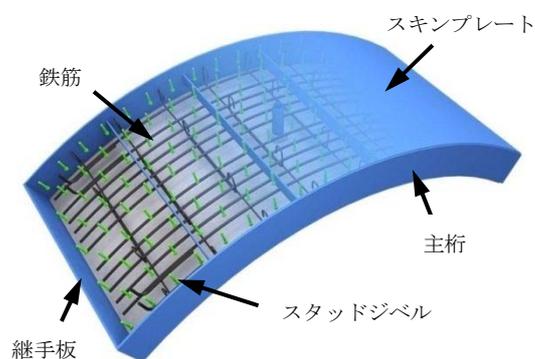


図-1 合成セグメントの構造

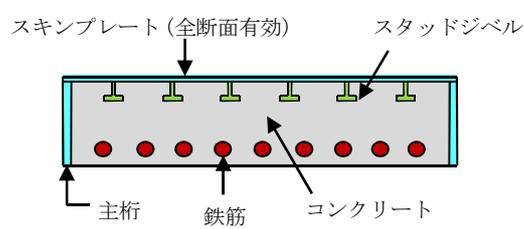


図-2 主断面構造(イメージ)

3. 主断面の部材の役割

図-2に示す主断面の部材には、合成構造を実現するため、設計で想定された荷重の範囲では、断面の平面保持の仮定が成立する必要がある。とくにスキンプレートを全幅有効とするためには、スキンプレート全幅にわたりコンクリートと一体となって挙動し、局部座屈に対して十分な安全性を有することが要求される。スタッドジベルは、スキンプレートとコンクリートを一体化させるだけではなく、正曲げ時のスキンプレートの局部座屈に対する拘束部材としても機能する。スタッドジベルの仕様はスキンプレート座屈防止のための配置(間隔)、せん断力に対する耐力から決定される仕様(径および埋込長)の検討が必要になる。

スキンプレートとスタッドジベルに求められる機能を表-1に示す。

表-1 スキンプレートとスタッドジベルの機能

	正曲げ	負曲げ
スキンプレート	曲げ圧縮力に対して局部座屈することなく全断面で圧縮部材として機能する	全断面で曲げ引張力に抵抗する。
スタッドジベル	スキンプレートの局部座屈を防止してスキンプレートとコンクリートが一体で挙動する	スタッドジベルが曲げに伴う周方向のずれせん断力に対抗し、スキンプレートとコンクリートが一体で挙動する

キーワード 合成セグメント, スタッドジベル, FEM 弾性座屈解析

連絡先 〒104-8370 東京都中央区京橋2-16-1 清水建設(株)土木技術本部 設計第一部, TEL 03-3561-3897

4. スタッヂベルの検討

4.1 スタッヂベルの配置の検討

スタッヂベルの配置についてはスキムプレートが降伏するまでは、座屈が生じないように設定することとした。

スキムプレートの座屈およびこれを拘束するスタッヂベルの配置の検討には、文献1)に示される弾性座屈理論の(式1)を用いることとした。

$$\sigma_{cr} = \alpha \cdot k \cdot \frac{E \cdot \pi^2}{12(1-\mu^2)} \cdot \left(\frac{t}{b}\right)^2 \quad (式1)$$

σ_{cr} : 座屈応力(N/mm²)

α : 初期不整を考慮する低減係数(文献1)では $\alpha=1/2$)

k : 座屈係数, E : 鋼材のヤング係数(N/mm²)

μ : ポアソン比, b : 板幅(mm), t : 板厚(mm)

(式1)の座屈係数 k は、スキムプレートの厚さ、スタッヂベルの配置を考慮した図-3, 4に示すFEM弾性座屈解析によって設定した。スタッヂの配置については格子配置より千鳥配置の方がスキムプレートの座屈に有利であることが判明したため千鳥配置とし、 $k=2.0$ を設定した。

設定した座屈係数を(式1)に用い、座屈応力 σ_{cr} が鋼材の降伏点(耐力)を下回らないようにスタッヂベル間隔を決定した。検討の結果、スキムプレート厚9mmの場合、スタッヂベルの間隔は初期不整を考慮する低減係数 $\alpha=1/1.0$ において280mm、 $\alpha=1/1.5$ において230mmと設定された。

4.2 スタッヂベル仕様の検討

スタッヂベルの仕様に関しては、4.1で設定したスタッヂピッチおよび周方向のずれせん断力から、スタッヂベル1本あたりに作用するせん断力 S を算出し、許容値を満足するスタッヂ径を決定した。なお、スタッヂベル1本あたりに作用するせん断力は、文献2)に示される(式2,3)を用いて算出し、せん断耐力 Q_u 、許容せん断力 Q_a に関しては、文献3)に示される算定式(式4,5)を用いた。

$$S = \tau_s \cdot L1 \cdot L2 \quad (式2)$$

$$\tau_s = \frac{Sd \cdot G}{b \cdot I} \quad (式3)$$

$$Q_u = 0.5 A_s \sqrt{f'_{ck} \cdot E_c} \quad (式4)$$

$$Q_a = 0.4 \cdot Q_u = 0.4 \cdot (0.5 A_s \sqrt{f'_{ck} \cdot E_c}) \quad (式5)$$

- Sd : 構造計算等により得られる設計せん断力 (N)
- τ_s : スタッヂベルに発生するせん断応力 (N/mm²)
- G : スキムプレートの図心に関する断面一次モーメント (mm³)
- b : セグメント幅 (mm)
- I : 主断面の断面二次モーメント (mm⁴)
- L1, L2 : スタッヂベルの周方向・幅方向のピッチ (mm)
- A_s : スタッヂベルの有効断面積 (mm²)
- f'_{ck} : コンクリートの設計基準強度 (N/mm²)
- E_c : コンクリートのヤング係数 (N/mm²)

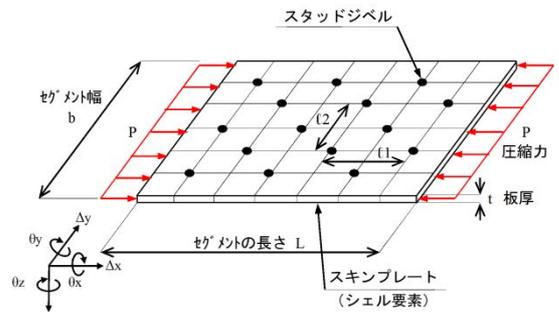
5. まとめ

本稿では、当社で開発を行ったスキムプレートにスタッヂベルを配置した合成セグメントの構造を紹介した。

本合成セグメントは、従来構造部材として100%活用されていなかったスキムプレートを全幅有効とし、正曲げ、負曲げそれぞれに対して最適なスキムプレート、鉄筋を配置することにより、最小鋼材量で必要耐力を実現できる合理的な構造を有している。また、スキムプレートを全幅有効で完全合成構造とするためのスタッヂ間隔と仕様の設計方法を示した。

本稿で示した設計の妥当性の確認と構造の検証を目的とした基礎試験については、文献4)で報告する。

参考文献 1) 道路橋示方書・同解説 II 鋼橋編 日本道路協会 平成24年3月
 2) 道路橋示方書・同解説 III コンクリート橋編 日本道路協会 平成24年3月
 3) H鋼材を芯材とする土留め壁本体利用の設計手引き 日本トンネル技術協会 平成14年
 4) 入田ら、「スキムプレートにスタッヂベルを配置した新しい合成セグメントの開発その2—合成構造確認のための基礎試験— 平成25年度土木学会全国大会 投稿中



境界条件

部 位	Δx	Δy	Δz	θx	θy	θz
長 辺	Fix	Fix	Fix	Fix	Fix	Fix
短 辺	Free	Fix	Fix	Fix	Fix	Fix
スタッヂ部	Free	Free	Fix	Fix	Fix	Fix

図-3 FEM弾性座屈解析モデル

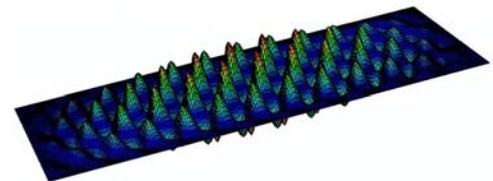


図-4 解析結果の例