

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2 ー合成構造確認のための基礎試験ー

清水建設 正会員 入田健一郎, ○小瀧伸也, 鹿島竜之介, 小野塚直紘
JFE 建材 長岡省吾

1. はじめに

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、文献1)に報告した新しい合成セグメントの本体構造が合成構造であるかの検証と、スキン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ドジベル間隔および仕様の設計の妥当性の確認を目的として実施した基礎試験の試験結果について報告する。

2. 平板単体曲げ試験

スタッドジベルを設置したスキンプレート、主桁、内側の主鉄筋で構成される本体構造を合成構造とみなすことができるか、およびスキンプレートを全幅有効な構造部材と評価できるかを確認するため、大断面シールドの形状寸法を想定した平板単体曲げ試験を実施した。合成構造であるための条件として、①耐力の保有、②断面の平面保持の成立性、③合成構造としての曲げ剛性の保有が挙げられる。さらに、スキンプレートが全幅有効な構造部材であるための条件として、④スキンプレート全幅にわたりコンクリートと一体な挙動（一様なひずみの分布）を示すこと、⑤設計で想定された荷重の範囲では局部座屈が発生しないことが挙げられる。試験ではこれらの確認のための計測を行った。



写真-1 平板単体曲げ試験体
(コンクリート打設前)



写真-2 載荷状況

2.1 試験体

試験体形状は、覆工厚 350mm、幅 2000mm、長さ 5000mm とした。スタッドジベルの配置ピッチは 230mm、280mm の 2 種類（文献1）参照）、正曲げ（外縁圧縮）試験用と負曲げ（内縁圧縮）試験用としてそれぞれ 2 試験体、計 4 試験体を製作した（写真-1 参照）。試験体の諸元を表-1 に示す。

2.2 試験方法

試験体の中央部を 900mm の離間をとって 2 線載荷し、試験体が破壊に至るまで載荷した（写真-2 参照）。

2.3 試験結果

正曲げ（スタッドジベル間隔 230mm）の結果について述べる。荷重-変位曲線を図-1 に示す。試験体の最大載荷荷重時の変位は $\Delta_{max}=100\text{mm}$ を超過しており、スパン $L=3900\text{mm}$ に対するたわみの比率は、 $1/39(=\Delta/L=100/3900)$ であるため、試験体には十分な変形性能があることが確認された。

また、材料試験値で計算した合成構造としての試験体の破壊時の荷重 3416kN に対し、計測された最大載荷荷重はこれと同等以上の 3689kN であり、試験体は合成構造としての耐力を有すると考える。

最大載荷荷重 3689kN でスキンプレートの座屈が発生し試験体が破壊に至ったが、主断面の部材の降伏前にはスキンプレートに座屈が生じなかったことから、設定したスタッドジベルの配置は適正であると考える。

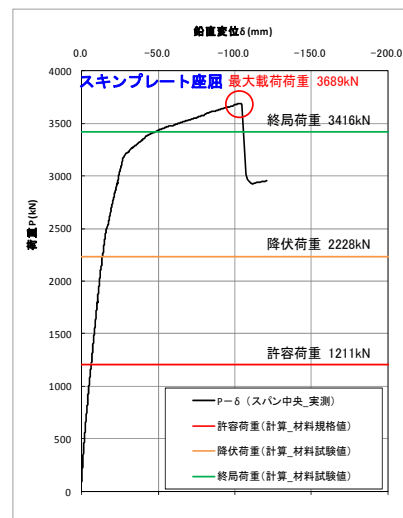


図-1 荷重－変位曲線

表-1 試験体の主な部材の諸元

	鋼種 強度	寸法 (mm)
スキンプレート	SM490Y	9
主桁、継手板	SM490Y	19
主鉄筋	SD345	D35×16 本
コンクリート	$f'_{ck}=42\text{N/mm}^2$	-
スタッドジベル	JIS B 1198 適合	φ22, L=130

キーワード 合成セグメント, スタッドジベル, 単体曲げ試験

連絡先 〒104-8370 東京都中央区京橋 2-16-1 清水建設(株)土木技術本部シールド統括部, TEL 03-3561-3892

曲げモーメント-曲率曲線(M- ϕ 曲線)を図-2に示す。弾性範囲においては、計測値と計算値が整合しており、試験体は弾性範囲において合成構造としての曲げ剛性を有していることを確認した。

試験体スパン中央部の各部材のひずみについて、覆工厚方向の分布を図-3に試験体幅方向の分布を図-4に示す。「許容時」は、トンネル標準示方書による材料規格値をもとに試験体のいずれかの部材の応力度が許容応力度に達するときの荷重レベル、「降伏時」は、試験体のいずれかの部材の応力度が材料試験値の降伏応力度(降伏点)に達するときの荷重レベルのひずみを抽出した。覆工厚方向のひずみの分布は概ね直線分布であり、断面の平面保持が成立しているものと判断される。

また、スキンプレートの試験体幅方向のひずみ分布は全幅にわたって概ね一定の値を保っており、スタッドジベルの設置により、本試験体のスキンプレートは全幅有効な圧縮部材であると判断される。

スタッドジベル間隔が280mm(初期不整を考慮する低減係数 $\alpha=1/1.0$)の正曲げ試験においても同様な結果を確認した。また、負曲げ試験においても本体構造が合成構造であること、およびスタッドジベルの有効性を確認した。以上より、文献1)に報告した方法により設定されたスタッドジベル間隔および仕様が適正であることを確認できた。

3. 実物形状を模した単体曲げ試験

実物形状を模した合成セグメント(外径4700mm、覆工厚225mm、幅1400mm)により、本体構造を合成構造とみなすことができるかを確認するために単体曲げ試験を実施した(写真-3参照)。試験体の諸元を表-2に示す。

スタッドジベル間隔は、他の部材の配置も考慮しスキンプレート厚6mmに対して163mm(千鳥配置)とした。これは、平板単体曲げ試験で得られた知見を考慮し、文献1)に示す方法において座屈係数 $k=2.35$ 、初期不整を考慮する低減係数 $\alpha=1/1.0$ として設定した値である。

荷重-変位曲線を図-5に示す。計算した合成構造としての試験体の破壊時の荷重619kNに対し、計測された最大載荷荷重はこれと同等以上の829kNであり、試験体は合成構造としての耐力を有することを確認した。さらに、試験体には十分な変形性能があること、および試験体は弾性範囲において合成構造としての曲げ剛性を有することも確認した。

4. まとめ

基礎試験より本合成セグメントの主断面が合成構造であること、およびスキンプレートが全幅にわたって有効な構造部材であることを確認し、文献1)に報告した設計の妥当性が確認された。今後は大断面トンネルへの適用に向けて今回の基礎試験で得られた知見を踏まえ、継手の選定検討、設計細目など更なる検討を行っていく予定である。

表-2 試験体の主な部材の諸元

	鋼種 強度	寸法 (mm)
スキンプレート	SM490	6
主桁、継手板	SM490	14
主鉄筋	SD345	D16×12本
コンクリート	$f'_{ck}=42\text{N/mm}^2$	-
スタッドジベル	JIS B 1198 適合	$\phi 16$, L=90

参考文献 1) 入田ら、「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—」平成25年度土木学会全国大会 投稿中

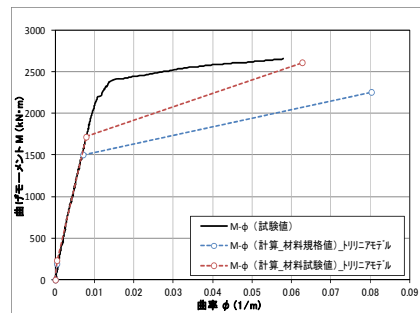


図-2 曲げモーメント-曲率曲線

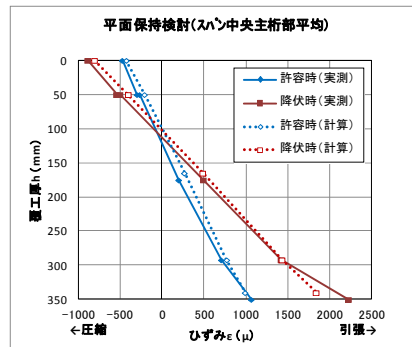


図-3 ひずみの覆工厚方向分布

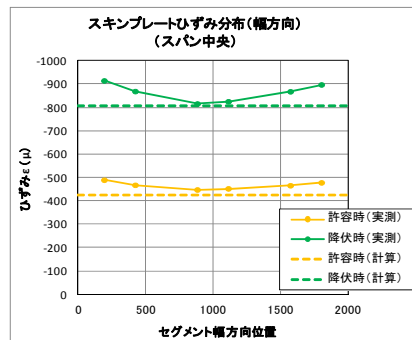


図-4 ひずみの試験体幅方向分布

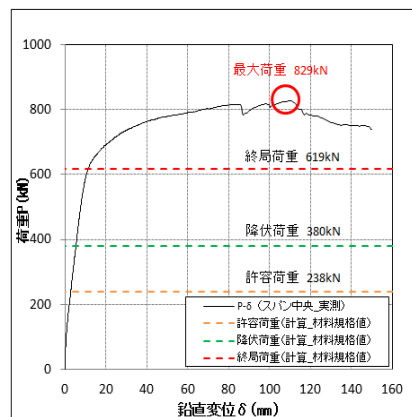


図-5 荷重-変位曲線



写真-3 載荷状況