

場所打ち鉄骨コンクリートライナーの開発（その2） ー本体部の曲げ実験ー

川崎製鉄(株) 正会員 大久保浩弥 非会員 篠原 雅樹
大豊建設(株) 正会員 濱田 孝義 正会員 鈴木 佳樹

1. はじめに

筆者らは、鋼枠と場所打ちコンクリートからなる新しいトンネル構造（場所打ち鉄骨コンクリートライナー）の開発を進めている。この鋼枠は、①スキンプレート、リング継手板、ライナー継手板でコンクリートを拘束する、②打設したコンクリートが硬化するまで、土水圧や裏込め圧等の外荷重を内型枠に伝達するための連結材が分散配置されている構造である。このような鋼枠の中にコンクリートを充填した覆工体本体部を対象に、両者の一体化の度合い、および鋼枠を鉄筋に置換したRC理論の適用性を評価することを目的に、曲げ実験を実施した。

2. 実験方法

試験体の形状および寸法を図-1に示す。試験体は、別途実施した試設計で得られた断面をほぼ1/2の大きさに縮小したものとした。鋼枠の材質はSS400である。試験体には、試設計結果に基づいて軸力（2156 kN）を導入した。軸力の導入は、試験体の断面内に挿入したPC鋼棒によって行った。実験ケースは、本体部を対象にした正曲げ実験（CASE-1）、および負曲げ実験（CASE-2）の2ケースである（表-1）。

コンクリートは、呼び強度 30N/mm² のレディーミクストコンクリート（早強、G_{max}=20mm）を使用した。コンクリートは、試験体をスキンプレートが下側に位置するように横置きにしてその上方から打設した。

載荷は等曲げ区間 80cm、せん断区間 100cm の2点載荷とし、載荷に伴うたわみ、歪みなどを計測した。

3. 実験結果

図-2に、荷重と支間中央点のたわみの関係を示す。ひび割れ発生前までのたわみの実験値は2ケースとも、試験体の全断面を有効とした理論値と良く一致した。CASE-1では1400kNあたりで僅かながらグラフの傾きが急に変わっているが、これはスキンプレートが座屈し始めたためであった。今回の試験体は、主材（CT、アングル）とスキンプレートを250mmピッチで溶接したが、この溶接位置が全ての主材で同じであったため、等曲げ区間内の溶接していない250mmの長さで、ほぼ試験体の幅に近い範囲でスキンプレートが膨れ上がるような座屈が起こった。今後、例えば溶接位置を千鳥配置にするなどにより、座屈耐荷力を向上させる改良を行う予定である。

CASE-1で許容荷重 795kN の約 1.8 倍の荷重（1400kN）でスキンプレートの座屈が発生したものの、

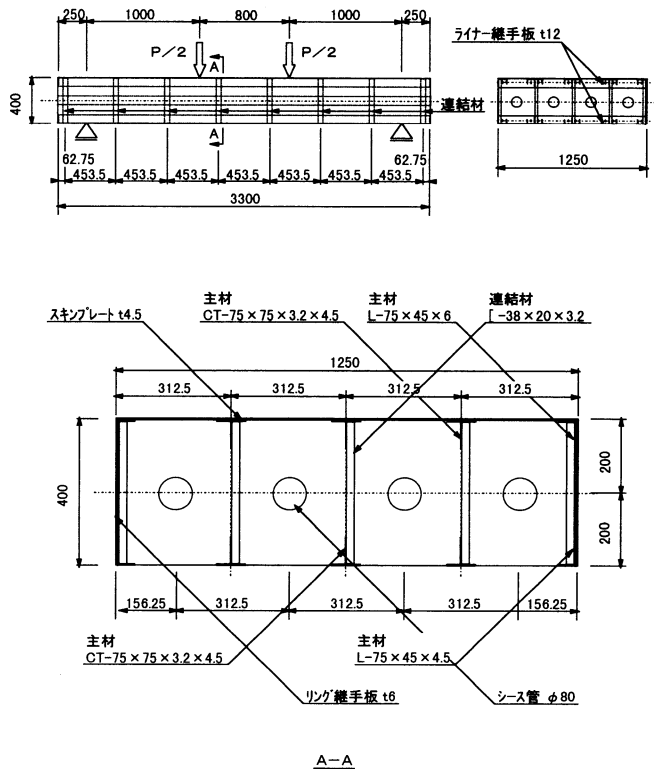


図-1 試験体の形状および寸法（CASE-1）

表-1 実験ケース一覧

実験ケース	曲げの向き
CASE-1 単体正曲げ実験	正曲げ（スキンプレートが載荷点側）
CASE-2 単体負曲げ実験	負曲げ（スキンプレートが支点側）

表-2 終局荷重と許容荷重の比

項 目	CASE-1	CASE-2
圧縮縁コンクリート許容応力度到達荷重 計算値 (kN) ①	795	618
終局荷重 実験値 (kN) ②	2052	3327
②/①	2.6	5.4

表-3 解析結果一覧

項 目	CASE-1	CASE-2
ひび割れ発生荷重 (kN)	562	685
圧縮縁コンクリート許容応力度到達荷重 ¹⁾ (kN)	795	618
主鋼材降伏 ^{2) 3)} (kN)	1545	2407
終局荷重 ³⁾ (kN)	2242 (1870 ⁴⁾)	3314

- 1) コンクリート許容応力度 $\sigma_{ca} = 11\text{N/mm}^2$
- 2) 圧縮側、引張側主鋼材の何れかが降伏強度に到達する荷重。
ちなみに、CASE-1は引張側、CASE-2は圧縮側が先に降伏。
- 3) 圧縮側主鋼材の座屈を考慮していない値。
- 4) 圧縮側スキンプレートが座屈した後の値(スキンプレートを無視した場合の値)。

荷重はその後も順調に増加し続け、2052kN（許容荷重の約 2.6 倍）で圧縮側のコンクリートが圧壊して破壊に至った。CASE-2 も座屈が起こらなかった以外は CASE-1 と同様で、主鋼材が降伏した後、3327kN（許容荷重の約 5.4 倍）で圧縮側のコンクリートが圧壊して破壊に至った。表-2 に終局荷重と許容荷重の比をまとめて示した。

支間中央断面における主鋼材とコンクリートの歪み分布

を図-3 に示す。図中には実験値の他に、主鋼材とコンクリートの断面保持を仮定した RC 理論による歪み分布も併記した。CASE-1 では座屈発生前の 1300kN まで、CASE-2 では圧縮側主鋼材が計算上降伏する荷重である 2407kN までの歪みを示した。CASE-2 において、許容荷重 618 kN の約 3.9 倍の荷重レベルである 2407 kN で主鋼材の一部の歪みが理論値と異なっているものの、許容荷重の約 2.3 倍の荷重レベルである 1450kN までは理論値とほぼ一致しており、主鋼材とコンクリートの歪みはほぼ一直線上に分布していた。一方、CASE-1 でも、座屈発生前の 1300kN まで主鋼材とコンクリートの歪みは理論値とほぼ一致していた。

この RC 理論によって各試験体の耐荷力を計算した結果を表-3 に示した。CASE-1 の終局荷重の実験値は、スキンプレートが座屈しない場合と座屈した場合の理論値の間にあった。一方、CASE-2 の終局荷重（最大荷重）の実験値 3327kN は、理論値 3314kN の 1.004 倍であった。これらの結果から、本構造が RC 理論によって設計可能であると考えられる。

4. あとがき

鉄骨コンクリートライナーを対象にした本実験の範囲内では、①ひび割れ発生前までのたわみ（初期剛性）の実験値が、全断面を有効とした理論値と良く一致した。②終局荷重に至るまで、耐荷力が主鋼材を鉄筋に置換した RC 理論によって評価可能であった。今後、せん断性能およびその設計法の確認、さらには、コンクリートの充填方法やその充填性を確認する手法などに関する検討を引き続き行っていきたいと考えている。

最後に、本研究をご指導頂いた足立紀尚京都大学教授、および関係各位に深く感謝の意を表します。

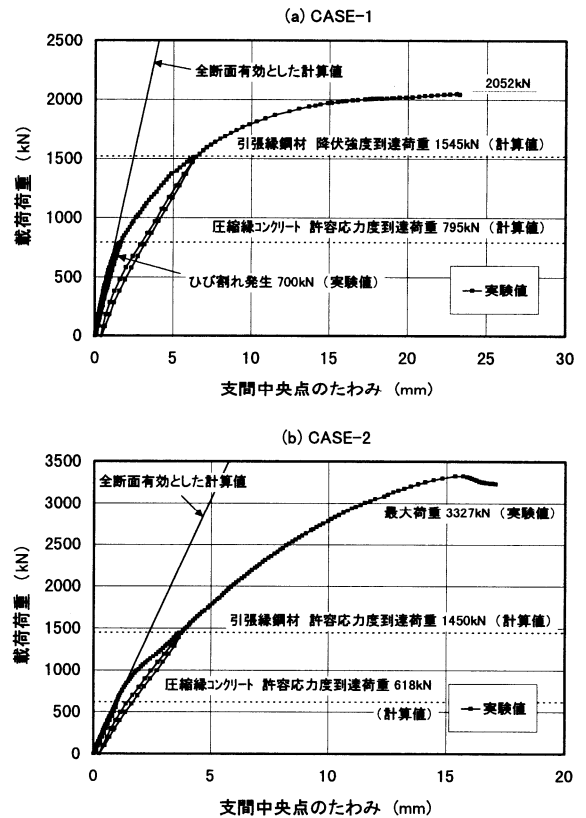


図-2 荷重とたわみの関係

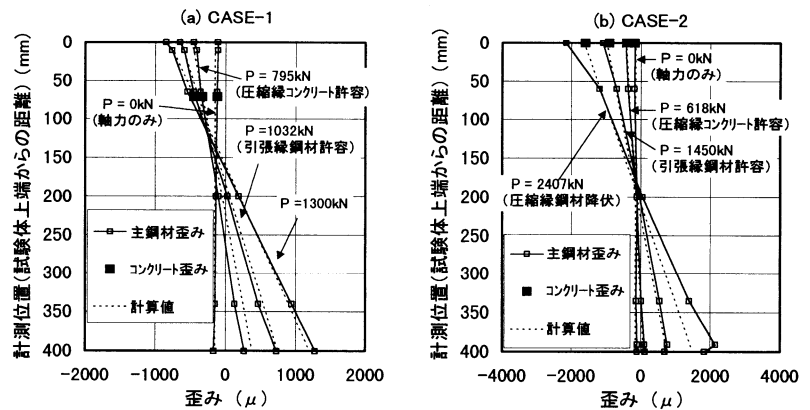


図-3 支間中央断面のひずみ分布