

## P C L 版の部分薄肉部に関する要素試験結果報告

日本サミコン(株)  
石川島建材工業(株)

正会員 ○音田 奨  
正会員 中山 壮一郎

独立行政法人土木研究所  
ジオスター(株)  
日本コンクリート工業(株)

正会員 真下 英人  
正会員 小高 武  
正会員 石川 高志

## 1. はじめに

変状の発生した既設トンネルの耐荷力強化を目的とする補強工法の実現は、緊急の開発課題である。しかも、内空断面に余裕の無い場合では、トンネル肩部で建築限界を確保できないといった難点があった。そこで、図-1に示すように、内巻工法の一つであるPCL工法（プレキャストコンクリートライニング工法）に用いるプレキャスト（PCL）版の一部を、部分的に薄肉化することで建築限界の確保を目差した。また、部分薄肉化PCL版を実現するために、新素材である反応性微粉末を含んだ鋼繊維モルタルに着目し、適用するための要素試験と、実大規模のトンネル覆工を用いた補強効果に関する載荷実験を実施した。

本報告は、部分薄肉化PCL版に関する要素試験結果について述べる。

## 2. 載荷試験方法

部分薄肉化PCL版に相当と思われる形状と材料を探すため、表-1に示す5種類の試験体を用いてその曲げ性能を比較した。本試験体の形状や鉄筋量は、内空幅が9100mmであるトンネルと製造・運搬・施工時荷重を想定して、厚さが140mmで鉄筋の応力度が約145N/mm<sup>2</sup>になるように決定した。

そこで、試験体には、図-2に示す厚さ140mm、幅500mmの鉄筋コンクリート部材（複鉄筋矩形断面）を標準部材Aとし、部分薄肉部材Bを図-3に示す厚さ75mm～140mm、幅500mmのような形状に設定した。部分薄肉部材Bの種類は、鋼繊維の混入有無、鉄筋補強の有無および養生の違いを組合せて合計4種類とした。鉄筋で補強した試験体3、4、5の場合、標準部材Aの引張鉄筋の応力度が145N/mm<sup>2</sup>に達する時の曲げモーメントを作用させ、鉄筋の応力度が200N/mm<sup>2</sup>に達するように鉄筋量を設定した。鋼繊維の形状は長さ15mm、径0.2mmで、混入量は2%（体積比）とした。試験体2は鋼繊維混入・鉄筋無し、試験体3は鋼繊維無し・鉄筋補強、試験体4と5には養生条件に相違があり、試験体5では蒸気養生を行わなかった。載荷試験は、支間長2800mmで支間中央から左右に150mm離れた箇所二点に鉛直荷重を載荷して行った。

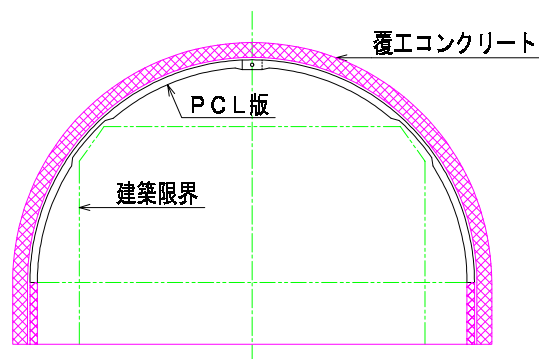


図-1 薄肉部を有すPCL工法

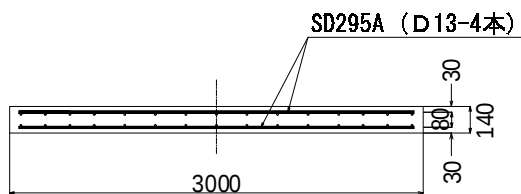


図-2 標準部材：A

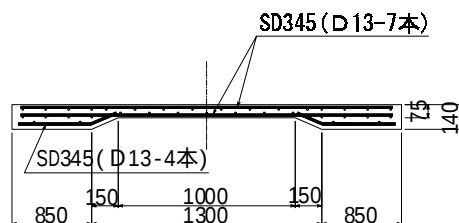


図-3 部分薄肉部材：B

表-1 試験体の種類

| 試験体番号 | 部材種別 | 部材略称  | 結合材種類          | 鉄筋の有無 | 養生条件               | 材齢(日) | 結合材圧縮強度(N/mm <sup>2</sup> ) | 結合材静弾性係数(kN/mm <sup>2</sup> ) |
|-------|------|-------|----------------|-------|--------------------|-------|-----------------------------|-------------------------------|
| 1     | A    | RC    | コンクリート         | 有り    | 気中養生               | 18    | 44.1                        | 33.1                          |
| 2     | B    | D     | 高強度鋼繊維モルタル     | 無し    | 80, 72時間<br>+ 気中養生 | 25    | 186.1                       | 52.6                          |
| 3     | B    | G-RC  | 高強度モルタル(鋼繊維なし) | 有り    |                    | 24    | 154.9                       | 52.9                          |
| 4     | B    | D-RC1 | 高強度鋼繊維モルタル     | 有り    |                    | 12    | 189.3                       | 53.3                          |
| 5     | B    | D-RC2 | 高強度鋼繊維モルタル     | 有り    | 気中養生               | 20    | 123.1                       | 51.2                          |

キーワード トンネル，補修・補強，PCL工法，部分薄肉，高強度鋼繊維モルタル

連絡先 〒113-0024 東京都文京区西片1-17-8 K Sビル ジオスター(株)内PCL協会事務局 TEL.03-5844-1208

### 3. 試験結果および考察

載荷試験の状況を写真 - 1，載荷試験で得られた支間中央の荷重 - 変位関係を図 - 4 に示す．また，一例として，試験体番号 4 の載荷試験後のクラックの発生状況を写真 - 2 に示す．

載荷試験の結果より以下の点が確認できた．

- 1) 標準部材の引張鉄筋の応力が  $145\text{N/mm}^2$  に達する設計上の荷重 (9.4 kN) と比較して，いずれの部材も，終局荷重は 3 ～ 5 倍程度あった．
- 2) 部分薄肉部材 B の断面変化部（断面厚さが 140mm から 75mm へ縮小する箇所）には，4 種類の試験体全てにおいて，引張応力が集中したと思われるクラックは認められなかった．従って，実物大試験ではこの断面変化部の形状を変更せずこのままで使用できると判断した．
- 3) 初期の荷重 - 変位関係は，標準部材の A の厚さが部分薄肉部材 B より厚いため，曲げ剛性の大きさに比例して急勾配となった．
- 4) 蒸気養生を行った試験体 4 (D - RC1) と気中養生だけ行った試験体 5 (D - RC2) では，終局荷重に殆ど差が見られなかった．両者の相違点は，養生方法の相違による圧縮強度だけであることから，その圧縮強度の差が終局荷重時の支間中央変位の最大値に現れているものと推測される．また，RC 理論による計算結果においても，コンクリートに生じる圧縮応力が結合材の圧縮強度より十分小さかったことから，本試験においては，両者の結合材の圧縮強度は低くても同程度の終局荷重を得ることができたものと思われる．
- 5) 鉄筋を配置していない試験体 2 (D) 部材では，終局荷重時でも圧縮破壊を生じなかった．また，荷重 - 変位関係は，他の部材と異なり，終局荷重に達した後でもなだらかに荷重が減少しながら変位が増加していた．これらの現象は，引張縁から次第に鋼繊維が抜け出したため，引張鋼材量が荷重の増加とともに減少したためと考えられる．一方，初期の荷重 - 変位関係が他の部分薄肉部材より勾配が急であったが，目視観察の結果，鋼繊維が他の部材より下縁に多く集積したことの影響と考えられる．

6) 試験体 3 (G - RC) の初期の荷重 - 変位関係は，同程度の曲げ剛性 ( $=EI$ ) を有する試験体 2 (D)，試験体 4 (D - RC1) および試験体 5 (D - RC2) より緩やかであった．これは，試験体 3 が，鋼繊維を混入していないために気中養生中に発生したと思われる収縮クラックの影響によるものと推測される．

### 4. まとめ

PCL 版の部分薄肉化を実現するために，新素材である反応性微粉末を含んだ鋼繊維モルタルに着目し，標準部材 A (RC) とあわせて 5 種類の試験体について曲げ試験を行った．その結果，高強度鋼繊維モルタルに鉄筋を配置した試験体 4 (D - RC1) は，曲げによるクラックが細かく分散し最も大きな終局荷重を示した．そこで，耐荷力の観点から試験体 4 が部分薄肉部材として最もふさわしいと判断した．今後はこの部材を用いて行った裏込め材に関する付着性能試験や実物規模の試験体を用いた補強効果に関する試験結果について報告する予定である．

### 参考文献

- 1) 箱石・真下・石村・森本：損傷トンネル覆工にける内巻きコンクリートの補強効果に関する実験的研究，土木学会トンネル工学研究論文・報告集，2003．
- 2) 砂金・真下：トンネル覆工の耐荷力に及ぼす鋼繊維補強コンクリートの効果，土木技術資料 44-12 (2002)



写真 - 1 載荷試験状況



写真 - 2 載荷試験状況

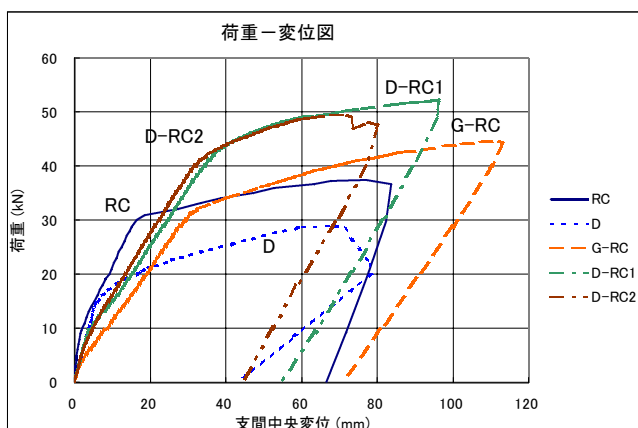


図 - 4 荷重変位図