

分割された FFU セグメントの継手の開発（せん断試験）

大成建設 正会員    ○竹中計行 正会員    尾関孝人  
積水化学工業                      坂本博明  
銭高組                                  八重島吉典

1. 開発の背景

シールドトンネルに分岐・合流部を構築する場合、既設のトンネルの側方のセグメントを直接切削する技術が主流となりつつある．その技術の一つとして FFU（Fiber reinforced Foamed Urethane）セグメント（図-1）があるが、本管に対して接続管の径が大きいケースが増えている．その場合、図-2 に示すように切削する開口率が大きくなり、一体物の FFU セグメントでは施工できないなどの課題が生じた．そこで、筆者らは分割された FFU セグメントの継手の開発を行ったので、本編ではせん断試験を次編では圧縮試験の結果について示す．なお、FFU セグメントとは、高強度で耐薬品性に優れた硬質発泡ウレタンをガラス長繊維で強化した FFU とボックス形状の端部鋼材により構成されるセグメントである．

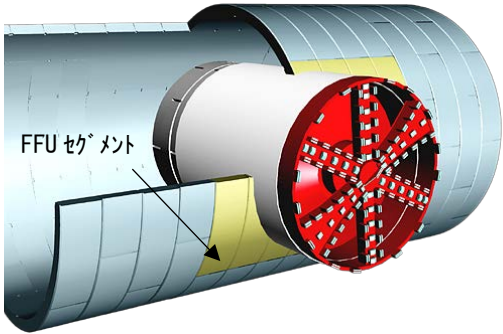


図-1 FFU セグメント

2. 継手方式

FFU セグメントの継手は、継手選定試験、製作精度や施工性などから図-3 に示すほぞ継手を選定した．FFU セグメントは薄い FFU 板を接着積層しながら R 状にするが、ほぞ部分は FFU 端部の長さを変えて凹凸状に製作する．その後、FFU 端部を高強度の樹脂で成形して、A セグメントの凹に B セグメントの凸を挿入して接続する．ほぞ継手はせん断力と軸力を伝達するピン継手となるので、継手部のせん断試験と圧縮試験を実施した．

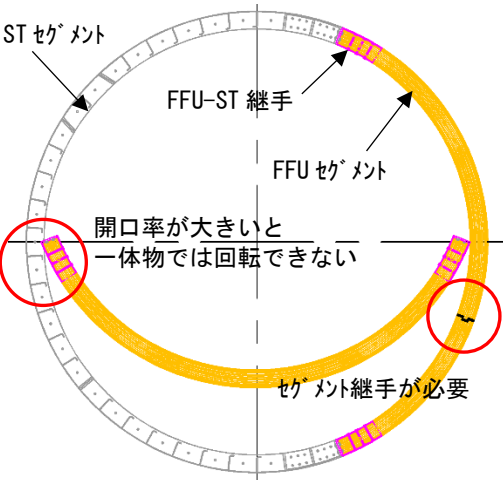


図-2 FFU セグメントの課題

3. 縮小モデルでのせん断試験

縮小モデルでの試験は、ほぞの形状（幅  $b$ ／深さ  $d$ ）とほぞから縁端までの距離をパラメータとして、最大耐力を有する継手形状を確認することを目的とした．試験方法は図-4 に示すように 1 点载荷のせん断試験とし、試験体数は 3 とした．

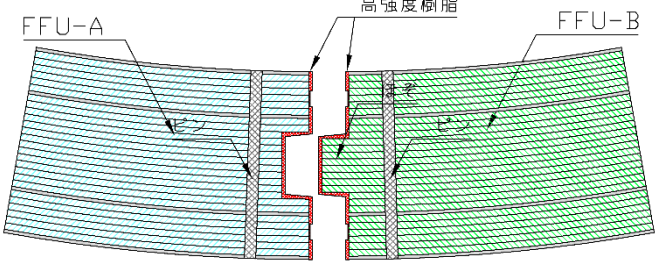


図-3 ほぞ継手

表-1 縮小モデルでのせん断試験

| No | 試験体形状     | ほぞ形状<br>幅 $b$ ×深さ $d$ | ほぞから<br>縁端距離 | 破壊荷重<br>(kN) | せん断強さ<br>(N/mm <sup>2</sup> ) |
|----|-----------|-----------------------|--------------|--------------|-------------------------------|
| 1  | B120×H90  | b30×d10               | 30           | 64.1         | 11.8                          |
| 2  | B120×H90  | b30×d15               | 30           | 56.7         | 10.5                          |
| 3  | B120×H90  | b30×d30               | 30           | 54.9         | 10.2                          |
| 4  | B120×H120 | b30×d10               | 45           | 79.9         | 7.4                           |
| 5  | B120×H120 | b30×d15               | 45           | 82.2         | 7.6                           |
| 6  | B120×H120 | b30×d30               | 45           | 79.8         | 7.4                           |

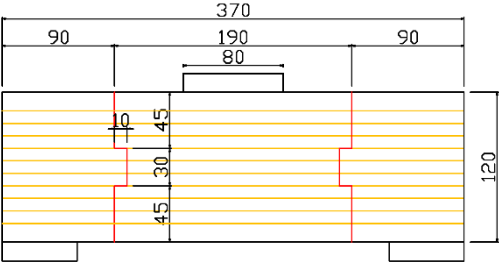


図-4 縮小モデルでのせん断試験（No4）

キーワード セグメント，分岐合流，ほぞ継手，せん断試験，FFU

連絡先 〒245-0051 横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設株式会社 技術センター 生産技術開発部 TEL045-814-7229

試験の結果、破壊はほぞ上部から載荷点付近までの水平クラック（写-1）により発生し、ほぞから縁端距離が大きくなると耐力が増加し、せん断強さは7.4 (N/mm<sup>2</sup>) 以上となった（表-1）。ほぞの形状は、幅と深さの比  $b/d=2$  が最も安定して耐力を確保できることを確認した。

#### 4. 実大モデルでのせん断試験

実大モデルでのせん断試験は、図-5 に示すような端部支点の上下を固定した純せん断試験とした。実大モデルは、試験体高さが200mm、250mm、300mmの3体とし、試験体幅300mm、ほぞの高さと深さの比を2とした（表-2）。試験体は水平方向に隙間が生じないようにPC鋼棒で拘束し、安全側の結果となるように載荷前の水平方向の軸力は0とした。

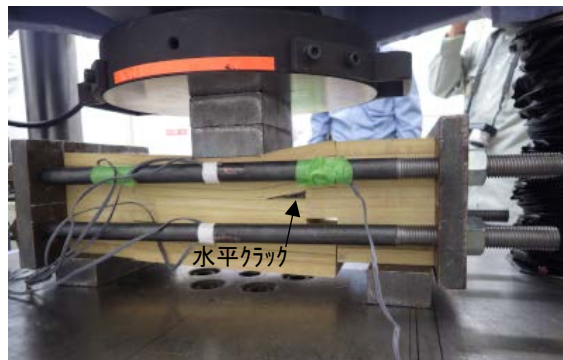
試験の結果、破壊は縮小モデルと同様にほぞ上部から載荷点付近までの水平クラック（写-2）により発生した。図-6 に示す荷重と目違い量の関係から、荷重が130～200kN 以下までは目違い量は小さいが、その後は発生した水平クラックにより目違い量は急増する。なお、目違い量はほぞ部の試験体中央の相対変位の平均値とした。破壊時のほぞ上部には目違いや目開きはほとんど発生しないが、ほぞ中央部や下部では目違いが1mm 以上発生した。よって、止水性確保のためFFU セグメントのほぞ上下部には2段シールの配置が必要となる。

シールド径6m、砂地盤  $N=10$ 、FFU 配置角度  $120^\circ$ 、土被り50mの条件でのFFU セグメントの試設計では、ほぞ部に発生するせん断力は144kN となり、No2 のせん断耐力をセグメント幅1.2m 当りに換算すると699kN であり、試験値が十分安全であることを確認した。

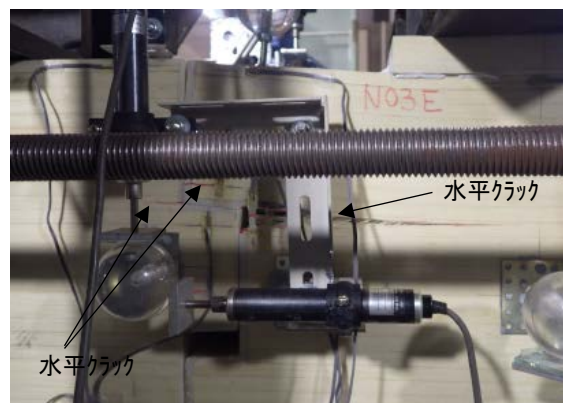
#### 5. まとめ

FFU セグメントのほぞ継手のせん断試験を行い、実用的なほぞ継手の耐力を確認できた。なお、ほぞ継手の耐力は以下の3通りの方法で検討し最小となる耐力で設計を行う（図-7 参照）。

- ①ほぞ上下のせん断耐力
- ②ほぞ部のせん断耐力
- ③ほぞ部の圧縮耐力



写-1 縮小モデルでのせん断試験状況 (No6)



写-2 実大モデルでのせん断試験状況 (No3)

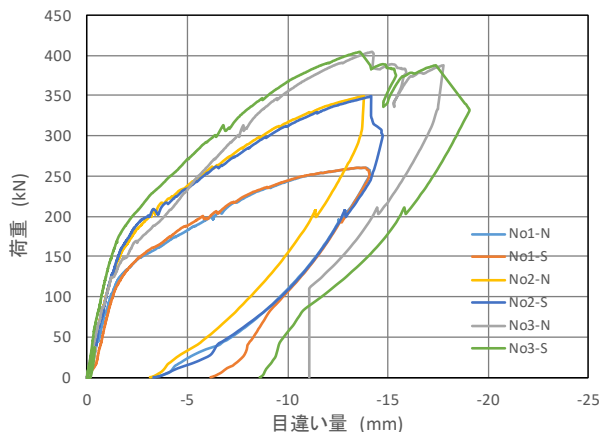


図-6 荷重と目違い量の関係

表-2 実大モデルでのせん断試験

| No | 試験高さ (mm) | ほぞ高さ (mm) | ほぞ深さ (mm) | ほぞから縁端距離 (mm) | 破壊荷重 (kN) | ほぞ上下部せん断強さ (N/mm <sup>2</sup> ) | ほぞ部せん断応力 (N/mm <sup>2</sup> ) | ほぞ部圧縮応力 (N/mm <sup>2</sup> ) |
|----|-----------|-----------|-----------|---------------|-----------|---------------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| 1  | 200       | 60        | 30        | 60            | 260.4     | 7.23                            | 7.23                          | 14.47                        |
| 2  | 250       | 70        | 35        | 80            | 349.4     | 7.28                            | 8.32                          | 16.64                        |
| 3  | 300       | 80        | 40        | 100           | 404.4     | 6.74                            | 8.43                          | 16.85                        |

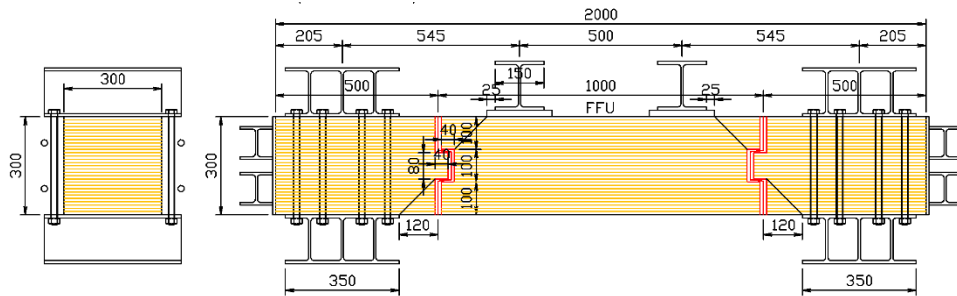


図-5 実大モデルでのせん断試験 (No3)

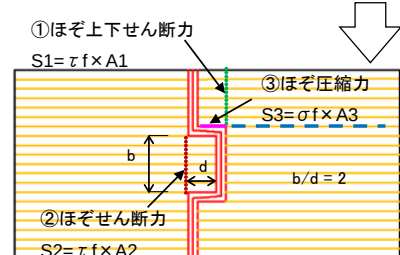


図-7 ほぞ継手の耐力算定