

分割された FFU セグメントの継手の開発（圧縮試験）

錢高組
 大成建設
 積水化学工業

正会員
 正会員
 高見 昂亮

○原田 尚幸
 西田 与志雄

1. はじめに

硬質発泡ウレタンをガラス長繊維で補強した複合材料である FFU を用いてシールド機による直接切削を容易にした分割された FFU セグメントの継手を開発した。本編では、FFU セグメントのほぞ形式のセグメント継手の性能確認試験の内、圧縮試験について報告する。

2. ほぞ継手構造と材料特性

継手を有する FFU セグメントは、薄い FFU74 板をほぞ形状になるように接着積層し、嵌合精度の確保のため、嵌合部の表層をウレタン樹脂で成型した構造とした（図-1）。FFU74 と成型樹脂の基本物性を表-1 に示す。成型樹脂は FFU74 の繊維方向と同等以上の圧縮強度となるようフィラー（水酸化アルミニウム粉末）を配合したウレタン樹脂を選定した。

3. 縮小モデルでの圧縮試験

(1) 試験方法

FFU セグメントのほぞ継手は軸力が卓越し全断面圧縮となることから圧縮試験を実施した。ほぞ形状比（ほぞ幅 b / ほぞ深さ d ）を 2 として縮小モデルで一軸圧縮試験を行った。試験体は $w60\text{mm} \times h100\text{mm} \times L200\text{mm}$ とし、ほぞ寸法は実物の 1/2 と 1/3 モデルで設定した。また、樹脂厚みによる圧縮強度への影響を確認するため、3 種類の樹脂厚み（2.5mm, 5mm, 10mm）で試験を行った。試験数は FFU74 単体を 3 体、ほぞ継手ありは 1/2 モデル、1/3 モデルともに各樹脂厚 1 体ずつとした。

(2) 試験結果

試験結果を表-2 に示す。ほぞ継手ありの試験体の圧縮強さは、FFU74 単体に比べ約 85%程度となった。破壊形態は、FFU 単体の場合は載荷点付近の座屈破壊、ほぞ継手ありの試験体は、載荷点付近および FFU と樹脂の界面の座屈破壊となった。また、樹脂厚みが 2.5mm と薄い場合、成型樹脂の突合せ面にも圧縮破壊がみられ、強度が小さくなる傾向にある。これは FFU のガラス長繊維が圧縮力で成型樹脂に貫入したことによる局所的な応力集中が原因であると考えられる。樹脂厚を 5mm 以上とすることで突合せ面の破壊が緩和されたため、樹脂厚は 5mm 以上として設計することとした。

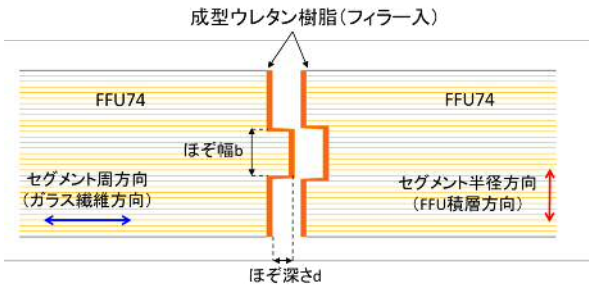


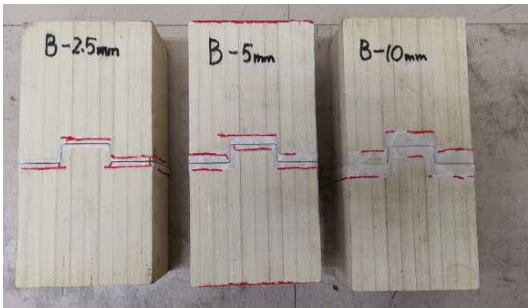
図-1 FFU セグメントほぞ継手概略図



写-1 ほぞ継手製作状況

表-1 FFU74 と成型樹脂の物性

(23℃)	FFU74 繊維方向	ウレタン樹脂 (フィラー入)
比重	0.74	1.65
圧縮強度 [N/mm ²]	63.1	67.2
圧縮弾性率 [N/mm ²]	11290	3880



写-2 縮小モデル試験体の破壊状況(1/2 モデル)

表-2 縮小モデル試験結果

	樹脂厚 [mm]	破壊荷重 [kN]	圧縮強度 [N/mm ²]	対 単体比
FFU 単体(N3 平均)	—	459.2	76.5	—
ほぞ継手あり (桁高 200 1/2 モデル)	2.5	378.4	63.0	82%
	5.0	397.3	66.2	87%
	10.0	397.3	66.3	87%
ほぞ継手あり (桁高 300 1/3 モデル)	2.5	373.6	62.1	81%
	5.0	399.4	66.5	87%
	10.0	383.7	64.0	84%

キーワード セグメント, 分岐合流, ほぞ継手, 圧縮試験, FFU

連絡先 〒102-8678 東京都千代田区一番町 31 錢高組 技術本部 技術研究所 TEL03-5210-2440

4. 実大モデルでの圧縮試験

(1) 試験方法

FFU 形状 $\square 200 \times 200$ ，ほぞ形状比を 2，樹脂厚を 5mm として実大モデルの一軸圧縮試験を行った．試験体は単体 1 体，ほぞ継手 2 体の 3 体で実施した．荷重方法は，初期段階は荷重制御で行い，その後 1500～2200kN で変位制御に切り替えた．

(2) 試験結果

試験結果を表-3 に示す．ほぞ継手ありの試験体の圧縮強さは，FFU74 単体に比べ 90%程度の圧縮強度となった．ほぞ継手なしの試験体は上下の荷重点付近の座屈破壊となったが，ほぞ継手ありの試験体は上下の荷重点付近の座屈破壊に加えて，ほぞ継手の樹脂－FFU 界面の座屈破壊となった．荷重と鉛直変位の関係を図-3 に示す．荷重と鉛直変位の関係は全ての試験体で同じ傾向を示し，圧縮応力 55N/mm² 付近までは比例関係で，その後は変形が伸びるようになった．圧縮応力 55N/mm² 付近では，ほぞ継手は単体に比べて 20%程度変位量が大きくなった．ほぞ継手-1 の荷重と鉛直ひずみの関係を図-4 に示す．圧縮応力とひずみの関係は破壊までほぼ比例関係であった．ほぞ継手面の上下ではひずみ量に差はほとんど見られなかったが，断面で整理すると F3-F6 断面のひずみは他の断面に比べて 2000(μ)程度小さくなっており，長さに換算すると約 0.8mm 程度の微小な片当りが生じていたことが確認できた．

ほぞ継手の圧縮耐力が低下した原因は，縮小モデルの試験と同様に，成型樹脂にガラス繊維が貫入し，ほぞ継手部に局所的な応力集中が発生したことや片当りが発生したことが考えられる．また，ほぞ継手の変位量が単体に比べて大きいのは成型樹脂の弾性率が FFU74 繊維方向より小さいためと考えられる．

シールド径 6m，砂地盤 $N=10$ ，FFU 配置角度 120° ，土被り 50m の条件での FFU セグメントの試設計では，ほぞ部に発生する軸力は 3625kN で圧縮応力に換算すると約 12N/mm² となり，試験値が十分安全であることが確認できた．

5. おわりに

FFU セグメントにおけるほぞ継手の圧縮試験を行い，実用的なほぞ継手の耐力を確認できた．以上より，ほぞ継手の圧縮耐力は，FFU 単体の 80%の耐力で設計を行うこととする．

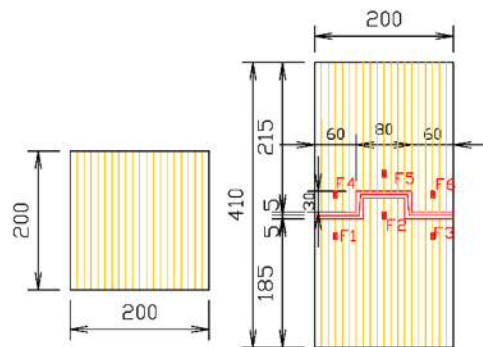


図-2 実大モデル試験体寸法



写-3 実大モデル試験状況

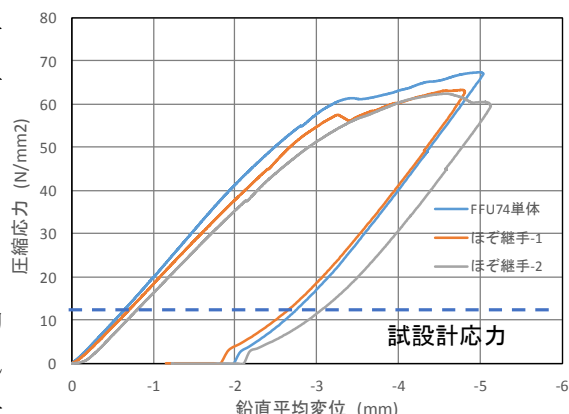


図-3 圧縮応力と鉛直変位

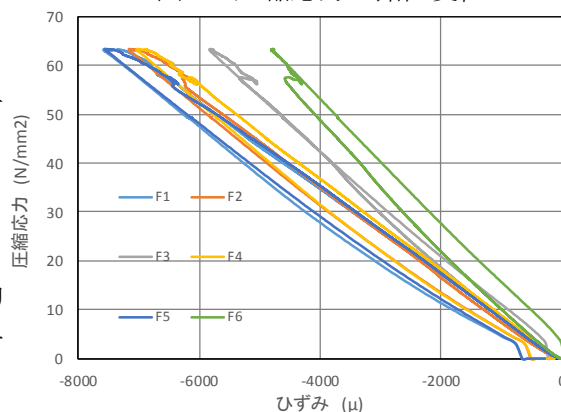


図-4 圧縮応力と鉛直ひずみ

表-3 実大モデル試験結果

	ほぞ幅 [mm]	ほぞ深さ [mm]	破壊荷重 [kN]	圧縮強度 [N/mm ²]	対単体比
FFU74 単体	—	—	2697	67.4	—
ほぞ継手-1	60	30	2534	63.4	94%
ほぞ継手-2	60	30	2492	62.3	92%



写-4 破壊部拡大写真