

京都大学工学部 学生員 ○辰田 翔太 京都大学大学院 正会員 北根 安雄  
 京都大学大学院 学生員 佐藤 顕彦 京都大学大学院 正会員 五井 良直  
 京都大学大学院 正会員 杉浦 邦征

## 1. はじめに

土木構造部材として FRP が使用される際、大きな断面を経済的に得られること、他の繊維と比べ安価に入手できるガラス繊維を用いていることから、GFRP 引抜成形材が広く用いられている。土木構造材料には数十年の耐用期間が設定されるが、長期にわたる GFRP 引抜成形材の屋外暴露試験の報告例は少ない。また、長期的に運用するためには定期的な点検が必要であるが、点検結果と残存性能との関係が明らかになっていないのが現状である。

本論文では引抜成形法を用いて作られた GFRP 角パイプについて、土木研究所で約 20 年間の屋外暴露試験を実施し、その後一軸引張試験を行うことにより力学性能の変化を調べた。また非破壊検査を行い、力学性能変化と照らし合わせることにより、検査結果と実際の性能低下レベルとの関係を検討した。

## 2. 実験方法

### 2.1. 一軸引張試験

本研究では、約 20 年間暴露した引抜成形 GFRP 角パイプに対して、繊維 0°方向に対する一軸引張試験を行った。暴露の影響を評価するために、暴露試験体とは別に、暴露期間と同期間室内にて保管されていた同部材を健全試験体として使用した。実験には、**図 1** に示す各面よりクーポン試験片を切り出し、暴露試験体においては暴露面、設置面、側面の試験片を、健全試験体においては比較対象として A 面、B 面、側面の試験片を作成した。角パイプの母材は不飽和ポリエステル樹脂、強化材は表層にチョップドストランドマット、その他は一方向ロービング材が使用されている。各試験体数、寸法については**表 1 試験体数及び寸法**に示す。ここで寸法については JIS K7164 を参考にしたが、側面においては切り出し元の角パイプ寸法の関係から、幅方向の長さを 25mm から 15mm に変更した。

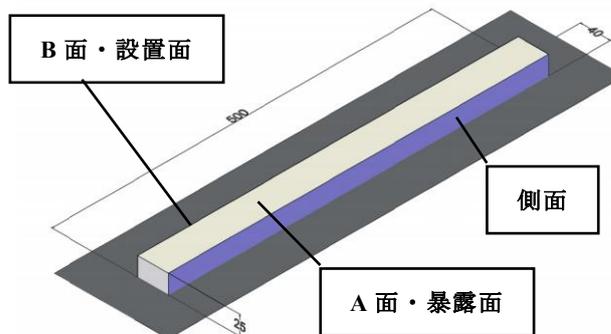


図 1 試験体切り出し位置

表 1 試験体数及び寸法

		A面・暴露面	B面・設置面	側面
試験体数	暴露	2	2	4
	健全	2	2	4
寸法	長さ*幅*厚さ(mm)	250*25*3		250*15*3

載荷試験には、精密万能試験機(島津製作所:AG-Xplus, 最大荷重 50kN)及び MTS 材料試験機(最大荷重 500kN)を用い、JIS K 7164 に従い載荷速度 1mm/minにて試験体が破壊し荷重が下がるまで載荷した。引張強度は最大荷重を断面積で除して算出した。また、試験体には両面の中央部に二軸ひずみゲージを貼り付け、載荷中の縦ひずみと横ひずみを記録し、弾性率及びポアソン比を算出した。

### 2.2. 非破壊試験

#### 2.2.1. 超音波探傷

健全および暴露試験体中の各計測面において超音波伝播速度比較した。計測には超音波探傷器(OLYMPUS EPOCH 650)を用いて、超音波が板厚を伝播する時間を測定し、板厚を測定時間で除することにより伝播速度を算出した。

#### 2.2.2. 打音検査

暴露試験体暴露面および健全試験体の中央部をステンレス製の打音棒で 10 回叩き、得られた音データを Matlab により高速フーリエ変換した。その後

得られたフーリエスペクトルを比較した。また、Matlabにて各周波数の振幅による重みつき平均を式(1)によって算出し、比較した。

$$f_G = \frac{\sum f_i y_i}{\sum y_i} \quad (1)$$

$f_G$  :各周波数の振幅による重みつき平均(Hz)

$f_i$  :各データの周波数(Hz)

$y_i$  :各データの振幅

### 3. 実験結果

各試験結果を表2に示す。弾性率は暴露面において11.7%、側面において7.5%、設置面において5.7%低下した。次にポアソン比は暴露面において15.9%、側面において3.9%、設置面において2.9%低下した。最後に強度は、暴露面において50.7%、側面において38.4%、設置面において33.8%低下した。以上から各物性値は暴露面、側面、設置面の順に変化率が大きいことが分かり、紫外線による劣化が各物性値の低下に影響を及ぼしていると考えられる。また引張強度(0°)には繊維の影響が強くでやすいことから、引張強度の低下は繊維破断、繊維の劣化、繊維/樹脂間の付着の劣化など、何らかの繊維に関する劣化が影響していると考えられる。

超音波探傷試験から超音波伝播速度は、健全試験体のA面とB面の伝播速度平均と比べて、暴露面では9.0%低下、設置面では4.1%低下しており、弾性率、ポアソン比、引張強度などの物性値の変化率が、設置面よりも暴露面において大きい傾向と一致する。

また打音検査により得られたフーリエスペクトルの比較を図2に示す。ここでフーリエスペクトルは振幅24000(Hz)の範囲まで得られたが、両試験体とも3000(Hz)以上はフーリエ振幅(dB・sec)が20未満であったため3000(Hz)までの範囲を図に示した。図2から暴露試験体暴露面では健全試験体と比べて低周波域にもピークが認められる。また表2に示した通り、暴露試験体暴露面におけるフーリエスペクトルの各周波数の振幅による重みつき平均は、健全試験体と比べ小さいことがわかる。このことから、暴露試験体暴露面のフーリエスペクトルが健全試験体と比べ、全体的に低周波域よりに位置していると考えられる。

以上、一軸引張試験及び非破壊検査結果から、力学性能の低下に伴い超音波伝播速度は低下し、また打音の音データから得られるフーリエスペクトルは

表2 FRP角パイプ実験結果

	面	弾性率 (GPa)	ポアソン比	強度 (MPa)	伝播速度 (m/s)	$f_G$ (Hz)
健全	A面	37.5	0.313	726.4	2912	6412
	B面					
	側面	37.2	0.305	744.1		
暴露	設置面	35.4	0.304	480.6	2792	
	暴露面	33.1	0.263	358.5	2648	5357
	側面	34.4	0.293	458.2		
変化率	設置面	-5.7%	-2.9%	-33.8%	-4.1%	
	暴露面	-11.7%	-15.9%	-50.7%	-9.0%	-16.5%
	側面	-7.5%	-3.9%	-38.4%		

$f_G$ :各周波数の振幅による重みつき平均(Hz)

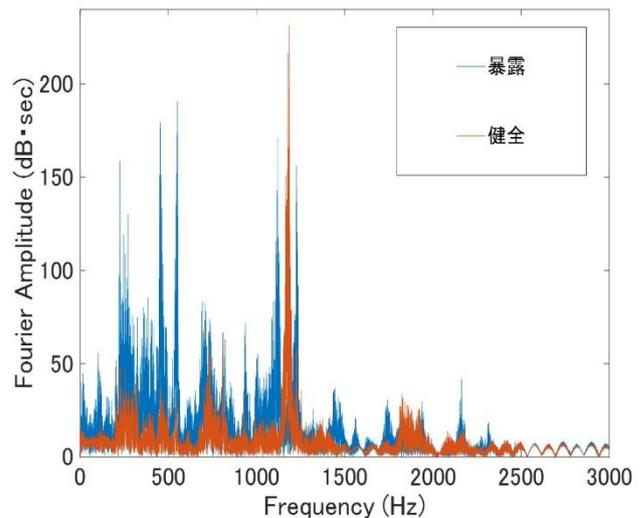


図2 健全・暴露試験体 打音検査結果

低周波域よりに位置することがわかる。よって超音波伝播速度の変化率や、打音の音データから得られるフーリエスペクトルにおける各周波数の振幅による重みつき平均の変化率を調べることにより、GFRP引抜成形材の残存力学性能を評価できる可能性がある。

### 4. まとめ

本論文では約20年間暴露されたGFRP引抜成形材を対象に、一軸引張試験を行うことにより力学性能の変化を調べた。その後、非破壊検査を行い、力学性能の変化と照らし合わせることにより、検査結果と実際の性能低下レベルとの関係を検討した。その結果、暴露による各力学性能の低下及び繊維に関する劣化が認められた。また非破壊検査の結果と力学性能の低下には関連性があることを示した。

### 参考文献

1)土木学会, FRP歩道橋設計・施工指針(案), 2011.