解 説

一方向強化 FRP 緊張材を用いた プレストレストコンクリート構造

小林 一輔*, 魚本 健人**, 趙 力采***

1. は し が き

この数年来、海岸などの海洋環境下に設置されているプレストレストコンクリート構造物の緊張材（高張力鋼製）の塩分腐食が問題になっている。この緊張材の腐食が鉄筋コンクリート部材における鉄筋の腐食と根本的に異なる点は、鋼材自体の降伏点が著しく高いこと（通常 150 kgf/mm^2 程度）と、これに常時 $80 \sim 90 \text{ kgf/mm}^2$ の引張り応力度が作用している点であって、このために塩分腐食以外に応力腐食割れによる破断を招くおそれがある。このことはプレストレストコンクリート部材の崩壊につながる危険性が高いことを意味する。

筆者らは前記のような環境に建設されるプレストレストコンクリート構造物の抜本的な防食策として、現在の高張力鋼製緊張材を、これとほぼ同等の引張り耐力を有する FRP 製緊張材に置き換える方法を取り上げ、その実用化を目指して研究を進めている。本文は筆者らの研究²⁻⁶⁾を中心として開発の現状と課題について述べたものである。

2. 内外における開発研究の過程

高張力鋼に代わり、一方向強化 FRP 材を緊張材として用いるプレストレストコンクリート構造に関する開発研究は、1950 年代から 1960 年代にわたり、米国、ソ連および英国において行なわれたが、実用化の見通しが得られるような段階にまで研究は進展しなかった。これらの国々が緊張材として FRP に着目したおもな理由は、ガラス繊維が鋼材に比べて著しく高い引張り強度を与える可能性を秘めていたからである。たとえば、直径が $3 \mu\text{m}$ のモノフィラメントによる試験では $3,620 \text{ kgf/mm}^2$

の引張り強度が得られたという記録があり、これを集合してストランドやロービングとした場合でも 700 kgf/mm^2 程度の引張り強度を得ることが可能であるとされたからである。

繊維の容積混入率を 60% とした場合の FRP の引張り強度は、約 400 kgf/mm^2 となり、この値は冷間引抜鋼線の高強度品に相当する 160 kgf/mm^2 をはるかに上回るのである。しかし、問題は FRP に持続荷重を加えた場合の引張り強度の低下現象、すなわち静的疲労であった。持続荷重を無限に加えた場合の引張り強度は短期荷重を受けた場合の約 65% に低下することが予想された。導入するプレストレスをその値の 70% とすれば、利用できる強度は短期強度の 40~50% にとどまることになる。

しかし、1970 年代に入ってから西独において実用化を目指した研究が進められ、1980 年にはデュッセルドルフ市郊外にスパンが 6.50 m の実験橋が建設され、1986 年には橋長 46.9 m の 2 車線の道路橋（2 径間連続桁）が同じくデュッセルドルフ市内に建設された¹⁾。

西独グループの用いた FRP 材は容積混入率が 68% のガラス繊維とポリエステル樹脂から成る直径 7.5 mm の緊張材で、引張り強度が 150 kgf/mm^2 、ヤング率は $5,100 \text{ kgf/mm}^2$ である。西独における研究の進展は 1970 年代に英国で開発された Prutrusion 方式と呼ばれる FRP の成形方法の導入によるものである。これは等断面の FRP 製品を、強化用繊維に一定の張力を加えつつ成形するもので、この技術の開発により上記の静的疲労による荷重低下は大幅に改善されることになったのである。

高張力鋼の代りに一方向強化 FRP 材をプレストレストコンクリート用緊張材として用いることの利点は、その耐食性の他に、コンクリートの時間依存性の塑性変形による応力損失が小さくなることである。たとえば GFRP のヤング率は鋼材の 1/4 程度になるので、上記の応力損失は著しく小さくなる。さて、緊張材として

* Kazusuke KOBAYASHI, ** Taketo UOMOTO :
東京大学生産技術研究所 (106 東京都港区六本木
7-22-1)

*** Ryokche CHO : 読売東京理工専門学校 (108 東
京都港区芝 5-26-16)

表1 各種高張

種 類 諸 元	炭 素 織 維			
	PAN 系		ビッチ系	
	高強度品	高弾性品	汎用品	高強度高弾性品
引張り強度 (kg/cm ²)	2万6000～4万5000	2万～2万5000	1万	3万～
ヤング率 (kg/cm ²)	200万～240万	350万～450万	40万	400万～800万
伸び (%)	1.3～1.8	0.4～0.6	2.5	0.4～0.6
比重	1.7～1.8	1.8～1.9	1.6	1.9～2.1
直径 (μm)	7～8		10	

FRP 材を用いようとする際に解決を要する最大の課題は緊張・定着装置の開発である。FRP 材は一方向にのみ強化されているので、これを高張力鋼用の装置を用いて緊張すると、軸方向の引張り応力と同時に横方向の圧縮応力とこれに伴う剪断応力を生じ、途中で破壊してしまうのである。

筆者らは、1980年に研究に着手したが、まず1本のFRP材の緊張・定着装置を本所の試作工場の協力を得て開発し、これを用いてガラス繊維、炭素繊維ならびにアラミド繊維によって強化した各種のFRP材の性能評価を行なった。この結果と、上記の応力損失にかかわる繊維のヤング率の値を考慮してアラミド繊維を強化材として選定し、実用化を図る場合に必要基本的な問題について検討を行なった。1985年より、住友建設(株)と共同で実橋建設を目指した開発研究を進めている。

3. FRP 緊張材の素材と製造

プレストレストコンクリート用緊張材として利用する一方向強化FRP緊張材の繊維素材に要求される性質としては、従来の高張力鋼に比し引張り強度が高く、耐食性に優れていること、ならびにFRP緊張材とした場合のレラクセーションが小さいことである。これらに該当する素材繊維としては、表1に示す諸性質を有する炭素繊維、アラミド繊維、ガラス繊維および高強度・高弾性の有機繊維などである。炭素繊維は、コンクリート構造に関連する耐水性、耐アルカリ性、耐海水性などの化学的抵抗性に優れているが、ガラス繊維は耐アルカリ性に関して若干難点がある。またケブラーおよびテクノラなどのアラミド繊維は、炭素繊維よりも軽くしかもこれと同等の強度を有するが、ヤング率は小さい。このこ

とはアラミド繊維は炭素繊維よりも靱性が大きいことを意味し、炭素繊維系のFRPは破壊靱性や衝撃抵抗が劣るという欠点を有する。一方、アラミド繊維は炭素繊維と同様、化学抵抗性に優れているが、紫外線照射による強度低下の大きいことと圧縮に弱いことが弱点である。しかし、ガラス繊維の耐アルカリ性についての弱点もFRPとすることにより、また、アラミド繊維の紫外線照射による弱点もコンクリート構造中に使用されることにより解決されることになる。

一方向強化FRP緊張材はこれらの繊維を、すでに述べたPultrusion法により、ビニルエステル、エポキシ系などの樹脂に含浸し、集束・成形したままの滑らかな表面のものと、コンクリートとの付着力を増すとともに取扱いや、チャック部における損傷を防止するために、表面を軸直角方向にスパイラル状やメッシュ状に繊維強化したものも製造されている。

4. FRP 緊張材の諸特性

4.1 概 要

FRP緊張材をプレストレストコンクリート用緊張材として用いる場合、明確にしておかなければならない問題点としては、FRP緊張材のヤング率、許容応力度ならびに見掛けのレラクセーション率などである。現時点ではそれらの値を明確に定められないが、基礎資料として求めた結果に基づき、解説することにする。

4.2 FRP 緊張材の引張り特性と温度依存性

FRP緊張材の引張り応力-歪み特性は、図1に示すように最大応力時まではほぼ直線で近似することができることであって、ヤング率は高いがFRP緊張材に比し相当に低い伸び(1%前後)で降伏し、その後は伸度が急激

力 繊 維 の 特 性²⁾

アラミド繊維		ポリエチレン繊維		ビニロン繊維	ガラス繊維	(参考) 鉄 筋
ケブラー		テクミロン		クラロン		
ケブラー49	ケブラー29	HM50				
2万8000	2万8000	3万1000	1万5000～3万5000		2万5000～3万5000	3500～5000
130万	63万	77万	80万～100万		70万～80万	195万～210万
2.3	4.0	4.4	3.0～6.0		4.5～6.0	—
1.45	1.44	1.39	0.96		2.5	7.8
12		12	50～100		12	—

図 1 各種 FRP 緊張材の引張り応力度-伸度曲線^{3,4)}

表 2 FRP 緊張材と繊維素材の破断時伸び^{3,4)}

	繊 維	FRP ロッド
アラミド繊維	4.2%	3.8%
ガラス繊維	4.0%	3.3%
炭素繊維	1.3%	1.7%

に増加する PC 鋼線と異なる。このことは、プレストレストコンクリート構造部材に用いた場合、荷重-撓み性状が PC 鋼線を用いたものと異なってくることを示唆している。

3 種の FRP 緊張材の破断時の伸びを繊維素材の場合と比較して示したものが表 2 であるが、当然のことながら、その傾向はよく一致していることがわかる。この結果から明らかなように、CFRP は伸びが小さく脆性的な破壊を示すのに対して、AFRP は靱性が大きいといえるようである。また、いずれの FRP 緊張材の場合にも、環境温度が低くなるにつれ図 1 のおのおのの曲線の傾き

が大きくなり、破断時伸びもやや小さくなる傾向となる。これらの曲線の傾きから求めたヤング率(引張り弾性率)は同様に環境温度が低くなるにつれて高くなる。たとえば、常温(20℃)での AFRP 緊張材(繊維量 63%)のヤング率は $43.5 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$ (混合則による計算値の 93%) であって、PC 鋼線の約 1/5 である。

一方、FRP 緊張材の引張り強度の温度依存性は、常温(20℃)において、CFRP (183 kg/mm²)、AFRP (152 kg/mm²)、GFRP (114 kg/mm²) の順の強度結果が得られている。これらの値は一般に用いられる高張力鋼の引張り強度とはほぼ同等な値であるが、とくに GFRP や AFRP の場合には 160 kg/mm² 級の冷間引抜き PC 鋼材に匹敵する強度を有している。しかし、ヤング率における場合と同様に、引張り強度も環境温度が高くなるにつれ、強度が低くなる特性をもつ。

以上のように、FRP 緊張材は一般の FRP と同様に繊維よりもマトリックスである合成樹脂の影響に起因すると考えられる温度依存性を有するのである。

4.3 FRP 緊張材の純レラクセーション率

初期荷重をそれぞれの最大引張り荷重の 70～80% に相当する荷重として、CFRP、AFRP および GFRP 緊張材の常温時の純レラクセーション率と時間との関係を示したものが図 2 である。

いずれの繊維を用いた場合でも、FRP 緊張材の純レラクセーション率と時間(対数表示)との関係が直線関係にあることは、一般に用いられる PC 鋼材の場合と同様である。また、図 2 から明らかなように、もしこの関係が 30 年後までも成立すると仮定した場合、FRP 緊張材の純レラクセーション率は約 14% 程度であることになる。一般の PC 鋼棒の純レラクセーション率は約

図2 純レラクセーション率の経時変化 (20°C)^{3,4)}

7% 程度, また PC 鋼線の場合には約 15% 程度であることから, FRP 緊張材の純レラクセーション率は PC 鋼線とほぼ等しく, PC 鋼線の約 2 倍である。

なお, GFRP および CFRP は引張り荷重を負荷した後, 緊張材自体にチャックや測定用治具の取付けなどによっても局所的破断が生じることが多く見受けられた。このことはこれらの緊張材をプレストレストコンクリート部材に適用した場合, シースとの接触部における緊張材の破断が懸念される。

筆者らは前述の引張り特性と温度依存性およびレラクセーション試験等の結果より, 脆性的挙動を示す他の FRP 緊張材に比し靱性が大きいアラミド繊維を用いた AFRP を選定し, さらに検討を加えることにした。

たとえば, 日照によりコンクリート表面が高温となった場合を想定した 60°C の条件下における純レラクセーション率の推定値は常温時の 14% に比して大きく, 17% 程度である。また繊維混入率が低くなるに従い, AFRP 緊張材の純レラクセーション率は小さくなる。

これらの結果より, AFRP は 20°C から 60°C ではほぼ安定したレラクセーション特性を示すが, 引張り特性と同様に温度依存性を有している。

4.4 FRP 緊張材の疲労特性

AFRP 緊張材を用いて, 下限応力を静的引張り強度の 10% として行なった疲労試験では, 図 3 に示すように 100 万回疲労強度が静的引張り強度の約 45% という結果が得られている。この値は PC 鋼線とほぼ同等であるが, 緊張材表面のスパイラル状補強繊維と軸方向繊維との間でのすべりによって, 緊張材が破断している例が見られた。緊張材の補強繊維と軸方向繊維の付着を改善すれば, 疲労特性が向上するものと思われる。

5. FRP 緊張材の緊張・定着装置

FRP 緊張材が通常の高張力鋼製緊張材に用いられて

図3 AFRP 緊張材の疲労特性⁶⁾

いる装置を用いて緊張できないことは, 2 章で述べたとおりである。筆者らは, 管接着型, スエーピング加工型および圧縮摩擦型等の種々の方法を検討し, クサビ定着具と摩擦定着具から成る高性能の緊張・定着装置を開発した。

クサビ定着具は, 外部コーンとその内部に同一テーパ状接合面をもち, 中心部に FRP 緊張材を挿入・把握する半円溝をうがった二つ割りチャックから成っている。この治具を用いて行った引張り試験結果によれば, FRP 緊張材の混合則による理論引張り強度の約 93% のものも得られており, 破断箇所も緊張材中央部で生じるという良好な結果であった。

一方, 摩擦定着具は外部コーンにクサビ定着具を逆向きに挿入したような構造のものであって, 応力損失が非常に少ない状態で定着することができる。筆者らは, 現在, 多数本 (7~8 本) の FRP 緊張材を同時に緊張・定着する装置を開発し, 大型梁の実験に供している。

6. プレストレストコンクリート構造

プレストレストコンクリート構造物を設計・施工するためには, 所要のプレストレスをコンクリートに与え, 構造物として必要な耐力および諸特性を有することが重要である。その際問題となるのは, コンクリートに所要のプレストレスを導入するための方法とプレストレスの減少量の把握, ならびに, プレストレストコンクリート構造物としての耐力および特性を明らかにすることである。ここではプレストレスの減少量とプレストレストコンクリート構造としての耐力と特性について記述する。

6.1 プレストレスの減少

プレストレストコンクリート構造物は, その構造物としての耐力や特性が導入されたプレストレスによって決定されるといっても過言ではない。しかし, コンクリ

表 3 摩擦係数測定結果⁶⁾

緊張材		PC 鋼線			FRP ロッド		
シース		鋼	塩化ビニル	ポリエチレン	鋼	塩化ビニル	ポリエチレン
摩擦係数	曲率 (ラジアン)						
	0.583	0.0784	0.174	0.0404	0.154	0.238	0.0484
	0.395	0.1020	0.236	0.0414	0.182	0.215	0.0433
	0.199	0.1540	0.217	0.0517	0.118	0.226	0.0621
	平均	0.1115	0.209	0.0445	0.151	0.226	0.0513

表 4 セットによる応力損失⁶⁾

緊張材	PC 鋼線			FRP ロッド						
試験体番号	No. 1	No. 2	平均	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6	No. 7	No. 8	平均
減少量 (kg)	329	333	331	100	71	100	108	62	62	84
	309*	299*	304*	79*	70*	90*	100*	78*	71*	82*
減少応力 (kg/m ²)	16.8	17.0	16.9	3.5	2.5	3.5	3.8	2.2	2.2	3.0

* は緊張側のロードセルによる定着前後の荷重減少量

ートに導入されるプレストレスは種々の原因で減少するため、どのように、またどの程度減少するかを明らかにしなければならない。一般に、プレストレスの減少を起こす原因としては、おもに次のものが考えられている。

- 1) 緊張材とシースとの摩擦
- 2) 応力導入時のセットによる引張り力の減少
- 3) プレストレス導入後の緊張力の経時変化

PC 鋼材の場合には既に明らかにされているため、以下に FRP 緊張材を用いた場合のプレストレスの減少について PC 鋼材と比較して説明する。

- (1) 緊張材とシースとの摩擦

鋼製フレームを用い、FRP 緊張材および PC 鋼線と各種シースとの摩擦係数の測定結果を表 3 に示す。

PC 鋼材と FRP 緊張材とを比較するといずれのシースを用いた場合でも、FRP 緊張材を用いたほうが 1 割から 3 割大きな値を示している。また、PC 鋼材および FRP 緊張材のいずれの場合にも、シースの違いによる摩擦係数 (μ) は、ポリエチレン製、鋼製、塩化ビニル製シースの順に摩擦係数が大きくなっている。

通常、PC 鋼材とシースとの摩擦係数は 0.2~0.6 といわれており、土木学会の「コンクリート標準示方書」では μ を 0.3 とすることになっているが、FRP 緊張材を用いたプレストレスコンクリート構造物を設計・施

工する場合には、PC 鋼材とあまり変える必要がないといえよう。ただし、シースの耐食性および摩擦係数を考慮すると鋼製シースよりも上記の硬質ポリエチレン製シースを用いることが望ましい。

- (2) 応力導入時のセットによる引張り力の減少

表 4 は、PC 鋼材と FRP 緊張材を用いた場合のプレストレス導入時のセットによる引張り力の減少の違いを示したものである。この表から明らかにように、FRP 緊張材は PC 鋼材に比べセットによる引張り力の減少が少なく、プレストレスコンクリート構造物を設計・施工する上でより望ましい。

セットによる引張り力の減少量から摩擦抵抗がないとしてセット量 (定着装置でのずれ変形量) を求めると PC 鋼材は 1.8 mm、FRP 緊張材は 1.4 mm となり、通常用いられている PC 鋼材のセット量 (2~4 mm) より小さな値となっている。表 4 に示したように FRP 緊張材のほうが PC 鋼材よりもセットによる引張り力の減少が小さな値となったのは、セット量が小さいことと弾性係数が小さいことが原因である。

- (3) 緊張材引張り力の経時変化

プレストレス導入後の緊張材の引張り力は、コンクリートのクリープ・乾燥収縮、緊張材のリラクセーション等によって時間の経過とともに減少する。図 4 は FRP

図4 プレストレス導入後の引張り力の変化 (FRP 緊張材使用)⁶⁾

図6 荷重-中央点撓み曲線⁶⁾ (FRP 緊張材使用)

図5 プレストレストコンクリート梁⁶⁾

緊張材を用いた場合のプレストレス導入後の引張り力の経時変化を測定した結果を示したものである。

この図から明らかなように、緊張材の引張り力と対数表示した時間とはほぼ直線近似することができる。この直線関係が30年後まで成立すると仮定した場合、PC鋼材で初期プレストレスの約85%、FRP緊張材で約82%が有効プレストレスとして残存すると考えられる。これはFRP緊張材のほうがPC鋼材に比べリラクセーション率が大きいためであるが、セットによる応力損失までを考慮にいれると、FRP緊張材は最大緊張応力の約79%、PC鋼材は約77%となり、逆にFRP緊張材のほうが有利となる。

6.2 FRP 緊張材を用いたプレストレストコンクリート構造の特性

プレストレストコンクリート構造としては種々あるが、ここでは最も一般的でまた最も多く使用されている構造である梁構造について説明する。図5は、実験用に

作製したポストテンション方式のプレストレストコンクリート梁である。また、図6は、FRP緊張材を使用した荷重-中央点撓み曲線の一例を示したものである。

ひび割れ荷重の4.0 ton までは弾性的挙動を示し、弾性計算より求めた変形量とほぼ一致した。引張り鉄筋が降伏した後は、PC鋼材を用いた場合には一般にPC鋼材の降伏に伴って撓みが急に増加することになるが、FRP緊張材を用いた場合には梁の破壊時まで荷重-撓み曲線はほぼ一定の割合で増加していることがわかる。これは緊張材の応力-歪み曲線の違いが明瞭に現われたものであると考えられる。

最大耐荷力は理論値とほぼ等しく、FRP緊張材の場合にもPC鋼材と同じ考え方が適用できることを示している。

7. あとがき

以上、筆者らの研究を中心に、プレストレストコンクリート構造用FRP緊張材の開発の現状と課題について説明したが、本文で明らかなように、FRP緊張材は従来のPC鋼材と同等以上の性能を有し、ほぼ同じ扱いをすることができる。今後の課題は、大型の実構造物へ適用する場合に生じる設計・施工上の問題であり、とくに大きなプレストレスを導入するための実際的な手法であるといえよう。

この緊張材は厳しい塩分環境下においても腐食するおそれがなく、有効プレストレスの減少が小さいことから、今日問題となっているコンクリート構造物の劣化を容易に防止する方法としてのみならず効率の良いプレストレスの利用など多くの利点を有している。今後、実構造物へのFRP緊張材の適用が進められれば、従来にない新しい建設用構造材料として高い評価を受けるものと思わ

れる。

参 考 文 献

- 1) E. Waaser & R. Wolf : Ein neuer Werkstoff für Spannbeton, HLV-Hochleistungs-Verbundstab aus Glasfasern, beton (1986), H. 7.
- 2) 小林一輔：コンクリート用補強材，コンクリート工学，コンクリート工学協会 (1986)。

- 3) 小林一輔：繊維強化複合材料プレストレストコンクリート用緊張材の開発研究，昭和 59 年度科学研究費（試験研究 2）研究成果報告書（1984）。
- 4) 小林一輔，趙 力采：生産研究，36，8（1984）。
- 5) 小林一輔，趙 力采，西村次男：生産研究，37，6（1985），7-10。
- 6) 石田博彰，小林一輔，趙 力采，則武良具：第 8 回コンクリート工学年次講演会論文集，コンクリート工学協会（1986），pp. 657-660。

解 説

繊維材料による粘性土盛土の補強

山内 裕元*，龍岡 文夫**，佐藤 剛司***

1. は じ め に

鉄筋コンクリート（とくに引張り鉄筋を用いる場合）と同様に，土の内部に細長比が大きく引張り剛性のある補強材（鉄筋，繊維など）を配置して，土塊の内部に発生しようとする引張り歪み ε_s の発生と発達を抑制して土自身の強化もしようとする工法を一般に「補強土工法」と呼んでいる。従来の地盤，斜面の安定性を向上させる一般的な工法では，土塊内部に手を加えず，法面勾配を小さくしたり，マッシュな擁壁，基礎構造物等を用いたりする。補強土工法はこれとは対照的な複合材料的な新しい工法である。

近代的な補強土工法は，フランスのテールアルメ工法，イタリアのルートパイル工法，ドイツのネイリング工法，イギリスの延伸プラスチックネットを用いる工法など，おもに砂質土が対象となっていた。ところがわが国では内陸部でも火山灰性の粘性土（関東地方では関東ローム）が多いし，また，降雨量もヨーロッパと比べると比較にならないほど多い。したがって，粘性土を補強するためには金属性の帯（ストリップ）や鉄筋ではなく排水機能がある補強材を用いる必要があろう。すなわち，引張り補強材が機能するためには鉄筋コンクリートでの

付着強度に相当する「補強材表面で発揮しうる剪断強度 τ_μ 」が十分大きくなければならない。しかし，

$$\tau_\mu = (\sigma_n - u) \tan \phi'_\mu \quad (1)$$

で示されるように， τ_μ は全上載圧 σ_n ，間隙水圧 u ，土と補強材表面間の摩擦係数 $\tan \phi'_\mu$ の関数である。したがって， u がゼロ，できうればマイナスであることが望ましい。ここから，以上に述べる排水機能がある繊維材料による粘性土の補強工法が現実的なものとして考えられてきた。

2. 不織布による盛土の急勾配法面の補強

図 1 に示すように急勾配法面をもつ盛土を排水性があり，適切な引張り剛性がある面状の不織布で補強するとする。このとき，不織布には次の三つの機能が期待される。

(1) 締固め管理：一般に法面近くは弱いので施工機械が近寄れないので，締固めが不十分になる。すでに実証されていることであるが，図 1 のように補強してある場合には施工機械が法面間際まで近づける¹⁾。さらに本質的なことは土中に水平方向の伸び歪みが生じないようにするとき，すなわち一次元的に圧縮が生ずるときは土は有効に押し締め固められる。補強材はこの役割をする。さらに，含水比の高い粘性土は締固めの中に，また，盛土高の増加による上載圧の増加の際に間隙水が絞り出される必要がある。排水性のある不織布はこのときの排水を速やかに生じさせる。一般に，他の条件が同一ならば，土がよく締め固まっているほど，補強効果も大きく

* Hiromoto YAMAUCHI：五洋建設（株）技術本部（112 東京都文京区後楽 2-2-8）

** Fumio TATSUOKA，*** Takeshi SATOH：東京大学生産技術研究所（106 東京都港区六本木 7-22-1）