

(52) 静的破砕剤を用いたFRP緊張材の定着方法

長崎大学	工学部	○原田 哲夫
九州工業大学	工学部	出光 隆
九州工業大学	工学部	渡辺 明
九州共立大学	工学部	高山 俊一

1. まえがき

最近、PC構造物の緊張材の抜本的な防食対策として、従来のPC鋼材から、ハイテク繊維を用いたFRPロッドおよびストランドの利用が盛んに試みられている。FRPを緊張材として用いる場合の最大の問題点は、定着方法をどのようにするかである。これは、鋼材に比べてFRPは繊維直角方向の支圧およびせん断に対して弱いため、PC鋼材と同様に定着することが難しいためである。そのため、これまでに種々の工夫を施したいくつかの定着方法が開発されてきているが、筆者らは静的破砕剤の高膨張圧を利用した、より確実で、簡便なFRP緊張材の定着方法を開発した。

ここでは、本定着方法をポストテンション用として用いる場合に、解決しておかなければならない諸問題のうち、主として、定着耐力、定着部の長期安定性の2項目について検討を行った。

2. 静的破砕剤を用いた定着方法

定着方法の概略を図1に示す。長さ10～20cm程度のスリーブ中（鋼管またはFRP管）にFRP緊張材を挿入して、その周りに静的破砕剤スラリーを充填するだけで、数時間後には硬化し、高膨張圧が発生するため、鋼管とFRP緊張材が一体になった定着体とすることができる。この定着体自体を、ナット定着等で、固定するという方法である。図1の鋼管両端部には、静的破砕剤スラリーの漏れ止めと緊張材支持を兼ねたスペーサがセットされる。

図2は、外管法および内管法とよばれる方法¹⁾で、それぞれの鋼管に作用する膨張圧を測定した結果の1例である。静的破砕剤スラリー充填厚さが、3mm程度と薄くて

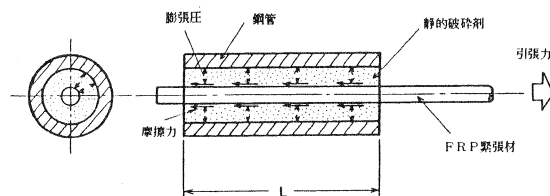


図1 FRP緊張材定着方法

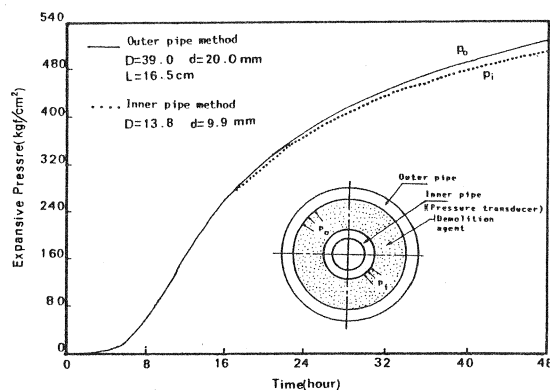


図2 外管法および内管法による膨張圧測定結果

も500kgf/cm²以上の高膨張圧が発生し、しかも膨張圧はそれぞれの鋼管に等しく液圧的に作用していることがわかる。このような特性があるため、応力集中が少なく、ソフトタッチで確実な定着が可能である。その上、従来の方法に比べ施工が容易でかつ極めて安

値である。また、スリーブやスペーサを工夫すれば、マルチブルケーブル配置も容易に行える。

3. 定着部引き抜き耐力試験

高緊張力により、定着部自体異常な変形や破損を生じてはならないことはいうまでもないが、定着部は図1に示す構造であるため、緊張材の破断荷重以下で定着部からの抜け出しや破断が生じないかを調べておく必要がある。そこで、まず定着部から抜け出さないために必要な膨張圧、鋼管長の関係を調べるために、引き抜き試験を実施した。

3.1 実験方法

緊張材は、表1に示す特性を有するCFRPストランド（φ12.5mm）を、膨張圧拘束用スリーブには、鋼管（STKM-13A）を用いた。鋼管の形状、寸法は、図3に示すとおりで、内部には静的破砕剤との一体性をより確実なものとするために、M22ピッチ2のねじをきって、溝部を設けた。静的破砕剤は市販のもの（夏用）を、水破砕剤比25%で使用した。充填は、ストランドを挿入した鋼管を立てて、口元側から行った。定着部鋼管2箇所のうち、まず片方への充填を行い（1次充填）、残り一方（試験側）への充填（2次充填）は8～12時間後に行った。これは鋼管長が同じため、1次充填側の膨張圧を2次充填側の膨張圧より常に大きくとり、引き抜ける場合は必ず試験側（2次充填側）で生じるようにするためである。定着部鋼管長は、10、16.5、30cm、膨張圧は150、300、500kgf/cm²とそれぞれ変化させた場合について検討した。膨張圧の管理は、鋼管表面に直交方向に貼付したひずみゲージの値より、式（1）を用いて膨張圧pを求める外管法によった。

$$p = \frac{E_s (k^2 - 1)}{2 (1 - \nu^2)} (\epsilon_\theta + \nu \epsilon_z) \quad \text{--- (1)}$$

引き抜き試験は、図4に示すようにアムスラー試験機を用い、引き抜き荷重または破断まで載荷した。荷重の検出はロードセルを用い、各荷重段階で、口元変位、自由端変位をそれぞれクリップ型変位計、高精度型変位計を用いて測定した。なお、CFRPストランドの全長は、試験機のクリアランスの関係から、定着部鋼管長によらず、すべて120cmとした。

3.2 実験結果および考察

図5（a）に、鋼管長（破砕剤充填長L）をパラメータにとった、引き抜き荷重（T）と膨張圧（p）の関係を示す。いずれの鋼管長の場合も、引き抜き荷重は膨張圧に比例して高くなり、また鋼管長が長くなるにしたがって、引き抜き荷重も高くなっていることがわかる。図5（b）には、図5（a）の結果を、縦軸をT/ULとして表わした。ここにUはCFRPストラ

表1 CFRPストランド（φ12.5）の特性

断面積（mm ² ）	76.0
保証破断荷重（kgf）	14500
弾性係数（kgf/mm ² ）	14400
伸び（%）	1.6

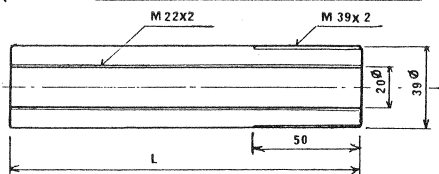


図3 スリーブ用鋼管寸法

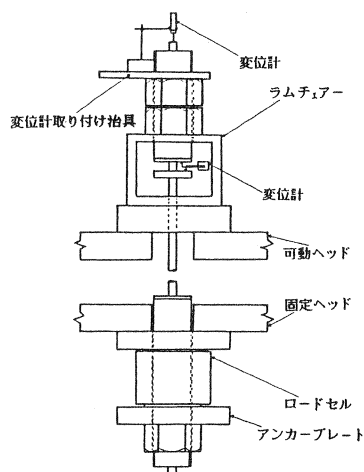


図4 引き抜き試験方法

Dの周長である。L = 30 cmの場合は、やや下回っているが、L = 10, 16.5 cmの場合は、ほぼ同一の直線上にのっている。これらの結果より、引き抜け荷重と膨張圧および鋼管長の関係は、次式で表わせる。

$$T = UL(\tau_o + \mu p) \dots (2)$$

ここに、μ：CFRPストランドと

静的破砕剤間の摩擦係数

τ_o：付着応力

L = 10, 16.5 cmの場合のτ_o、μの値を最小自乗法で求めると、τ_o = 45.5 kgf/cm²、μ = 0.244となった。これらの値を式(2)に代入し、膨張圧500 kgf/cm²のときにCFRPストランドの破断荷重

16.95 tfに必要な鋼管長を求めると、L = 18.9 cmとなる。逆に、鋼管長を決めて、定着必要膨張圧を式(2)より算定できる。

図6は、ナット定着位置によって、引き抜け荷重に違いがみられるかどうかを検討した結果をL = 16.5 cmの場合について示した。ナット定着位置は、図7のように自由端側より1.5 cmの位置にセットする場合を標準(N)とし、口元側より1.5 cmにセットした場合(R)と比較した。図6の結果によれば、鋼管の肉厚が薄いほうが、引き抜け荷重が全体的にやや低くなっているが、口元側に定着した場合の平均的な低下率は、鋼管外径39 mmの場合で、6% 34 mmの場合で3%である。

L = 30 cm、p = 300 kgf/cm²

の場合には逆に口元側に定着した方が、引き抜け荷重が高くなる場合があった。これらのことから、極端に口元に近づけた位置でナットを定着しないかぎり、影響は少ないものと思われる。また、今回の実験では、鋼管内周面に設けた溝部の有無で引き抜け荷重に差は

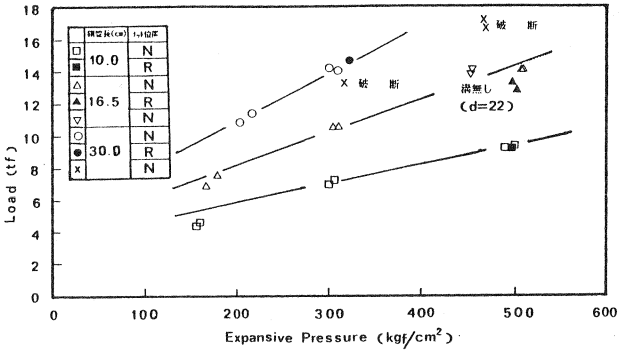


図5(a) 引き抜け荷重と膨張圧の関係

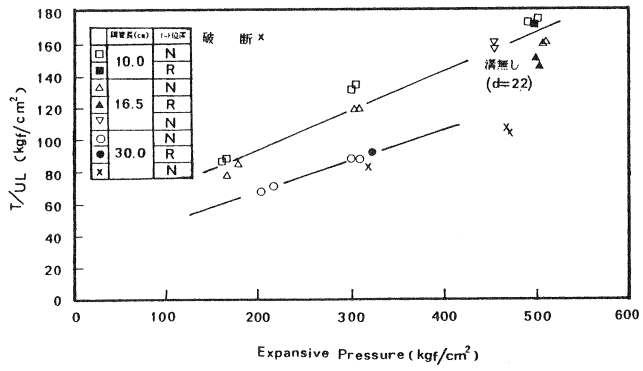


図5(b) T/ULと膨張圧の関係

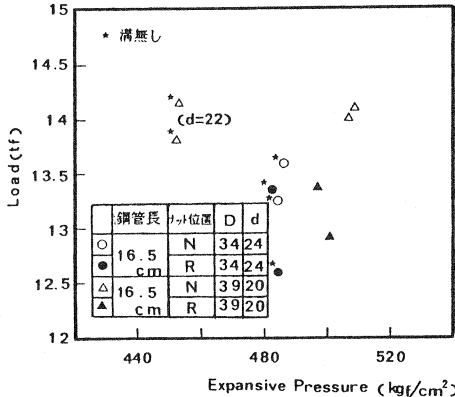


図6 ナット定着位置の引き抜け荷重に及ぼす影響

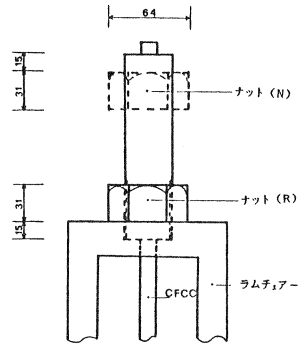


図7 ナット定着の位置

みられず、引き抜く際のすべりは、すべてCFRPストランドと静的破砕剤間で生じており、鋼管と静的破砕剤間では観察されなかったことから、溝部の有無が引き抜け荷重へ及ぼす影響はほとんどないと思われる。

図8(a), (b)は、それぞれ $L = 16.5\text{ cm}$, 30 cm の場合の引き抜けるまでの荷重と変位の関係の1例である。口元変位は、膨張圧が小さい方が、荷重の低い段階から大きくでて、引き抜けに至っている。一方、自由端変位は、引き抜ける直前までほとんど変化していない。実際、引き抜ける際には、轟音とともに一気に引き抜けた。

4. 長期載荷試験

本定着法では、破断まで定着が良好な場合でも、破断荷重の70%で口元から約1.5mmの抜け出しがある。長期には、さらにその値が増大して、緊張力の低下を引き起こすことが懸念されるため、長期載荷試験

を実施し、長期における緊張力および口元変位の経時変化を調べた。

4.1 実験方法

実験は、図9(a), (b)に示す装置を用いて行った。供試体はA, B, Cの3水準とした。Aの定着部鋼管長22cmで、Cは30cmと長くした場合である。Bは、破断荷重の70%まで緊張後、図9(b)に示す中央の固定部に静的破砕剤を充填し、膨張圧が 500 kgf/cm^2 以上になった段階で、緊張力を解放して、中央の固定部で定着させる方法である。これは、現場施工では、定着体自体に十分なひきしろをとることが困難になるため、その解決法の1つとして考えた。

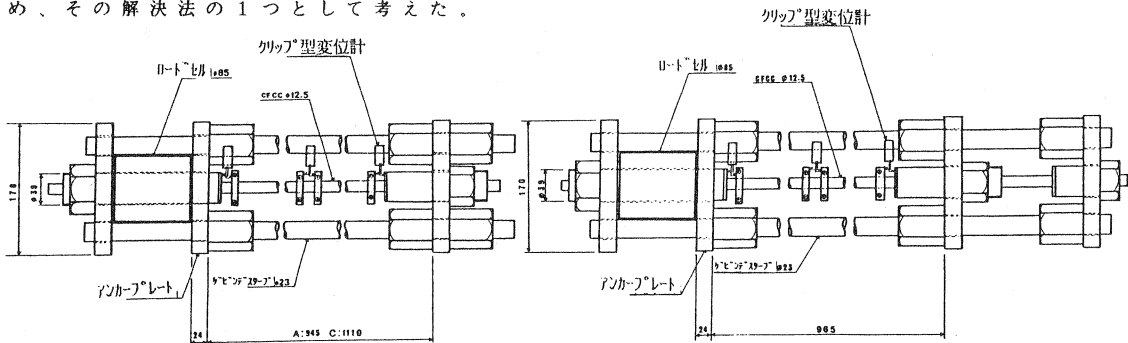


図9(a) 長期用測定装置(A, C水準)

図9(b) 長期用測定装置(B水準)

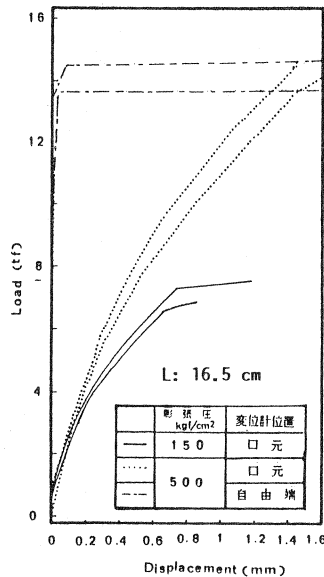


図8(a) 緊張力と口元変位の関係
($L = 16.5\text{ cm}$)

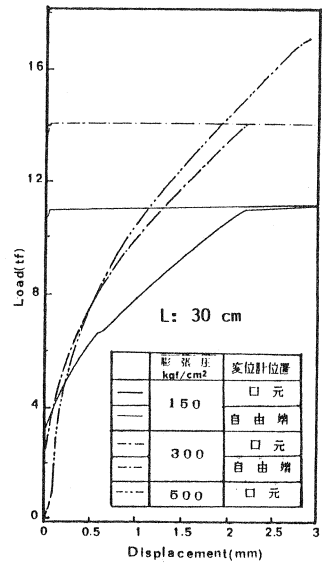


図8(b) 緊張力と口元変位の関係
($L = 30\text{ cm}$)

静的破砕剤の充填は、A、Cについては1次充填で固定側、2次充填で緊張側とわけて行った。1次充填では、気温を30℃とし、2次充填以降は25℃とした。A、Cの緊張は、2次充填側の膨張圧が500 kgf/cm² 以上になった時点で行い、破断荷重の70% (11.5 tf) まで緊張後ただちにナット定着を行った。銅管長22 cmは、3.2の結果をもとに、ねじ部分15 mmの銅製スペーサの取り付けを考慮して決めた値である。銅製スペーサは、口元側のみに取り付けた。変位の測定は、口元2ヶ所とCFRP中央部でクリップ型変位計を用いて行った。中央部での変位計取り付け治具の間隔は、口元のそれのおよそ2倍にとった。緊張力はロードセルで測定した。CFRPストランドの試験区間は、いずれも80 cmである。実験はすべて恒温槽で行った。

4.2 実験結果および考察

ナット定着であるため、0.1～0.3 tfと定着によるロスは少なかった。図10はBの場合の緊張力の変化である。途中急激に緊張力が減少しているのは、中央の固定部で定着させたときで、損失が大きいのは、静的破砕剤の充填面積が小さく、弾性係数が10⁴ kgf/cm² のオーダーと小さいためと思われる。しかしながら、緊張した状態で、膨張圧が作用しているため、緊張力解放時のCFRPのボアソン効果も加わって、より強固な定着になっていると考えられる。図11(a)、(b)には、定着直後からの緊張力の経時変化を示しているが、Bが最も低い低下率を示している。図11(b)では、30時間あたりから、緊張力の低下率はほぼ直線となっており、このまま直線的に低下すると仮定した場合、30年後でおよそBの場合で4%、Cで10%、Aで13%となる。この荷重の低下率は、図12に示す口元変位と対応している。すなわち、口元変位が大きいほど緊張力の低下も大きくなっている。今回の結果は、試験区間が80 cmのものであり、実際には長尺で使われることを考えれば、緊張力の低下率はさらに小さいものとなる。

いま、口元変位を一種のクリープ変形とみなし、650時間後の実測値をもとに、式(3)を用いて緊張力の低下 ΔT を計算した結果を表2に示す。ただし、CFRPストランドのクリープは考慮していない。

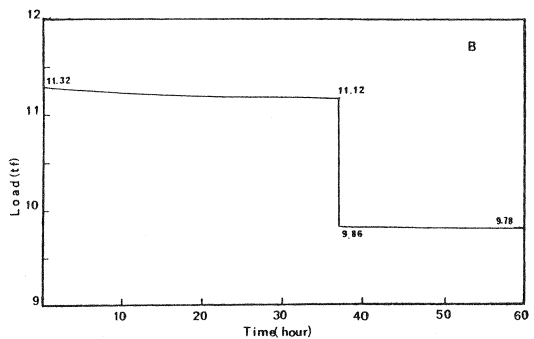


図10 B水準緊張力の経時変化

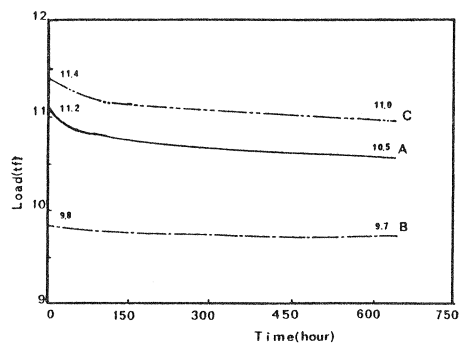


図11(a) 緊張力の経時変化

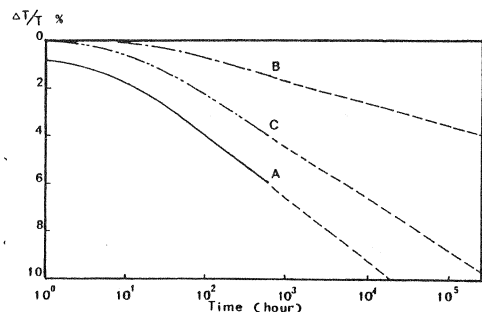


図11(b) 緊張力低下率の経時変化

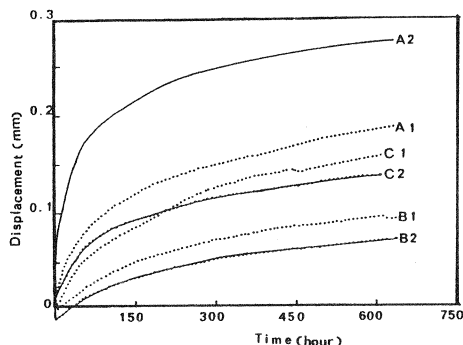


図12 口元変位の経時変化(1次, 2次充填側)

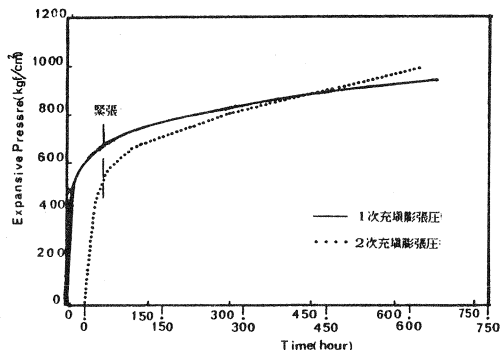


図13 1次, 2次充填膨張圧の経時変化

$$\Delta T = T (1 - \exp(-\alpha \phi_t)) \quad \text{--- (3)}$$

α : 実験装置と緊張材との換算断面積比

$$n A_s / (n A_s + A_p)$$

ϕ_t : 時間 t における 口元変位より求めたクリープ係数

表2 緊張力低下率の実測値と計算値の比較

	実測値 (%)	計算値 (%)
A	6.2	6.3
B	1.5	2.2
C	4.1	3.5

表2によれば、緊張力の低下率は実測値に近い値となつて

おり、今後CFRPストランドのクリープを考慮した ϕ_t をより正しく評価できれば、式(3)を用いた緊張力低下の推定が行える。図13は、膨張圧の経時変化である。膨張圧は650時間で1000kgf/cm²に達し、さらに増加しており減少の傾向はみられない。長年月にわたって、定着に必要な膨張圧は確保されると思われるが、膨張圧の安定性または増加率と口元変位との関係については、さらに計測を継続して調べる必要がある。

5. まとめ

本研究で得られた結果は以下のとおりである。

(1) 高膨張圧が液圧的に作用するという静的破砕剤の性質を利用した新たな定着法を開発し、CFRPストランドについて、ソフトタッチで確実な定着が容易に行なえることを確認した。

(2) 定着に必要な膨張圧と定着長(鋼管長)の関係は、簡単な式 $T = UL(\tau_0 + \mu p)$ で表わされることが明らかになった。 $\phi 12.5$ のCFRPストランドの場合は、膨張圧500kgf/cm²に対し、鋼管長はわずか20cm程度でよい。

(3) 本定着方法による長期特性は、今後も継続して計測していく必要があり、また、鋼管長、定着方法によって異なるが、現時点では数%の緊張力の減少しかみられない。

(謝辞) 本研究を行うにあたり、膨張材による定着法研究会から、静的破砕剤、CFRPストランド等の提供ほか、種々のご協力をいただいた。ここに記して、深く感謝申し上げます。

(参考文献)

- 1) 原田哲夫、出光隆、渡辺明：静的破砕剤を用いたコンクリートの解体に関する基礎的研究、土木学会論文集、第360号 / V-3 pp61~70, 1985