

V-32

膨張材によるFRPロッドのマルチ定着法に関する実験的研究

三井建設(株) 技術研究所 正員 中島 規道
三井建設(株) 技術研究所 正員 三上 浩
三井建設(株) 技術研究所 正員 田村 富雄
長崎大学工学部 正員 原田 哲夫

1. はじめに

近年、連続繊維補強材(FRPロッド)のPC緊張材への適用研究が進み、一部の橋梁等においては実用化もなされている。しかしながら、現在開発されているFRPロッドは、1本当たりの耐力が30tf程度までであり、より高耐力のFRPロッドが要求されている。緊張材として大容量を得るためには、FRPロッドのマルチ配線化が有効であるが、定着部やシースの大型化等の欠点を持ち問題となっている。また、マルチ配線の形式が任意に調節可能であれば、実用性の高い定着法と成り得ると思われる。このため、本研究では膨張材による定着方式に着目し、任意のマルチ配線形式でFRPロッドの定着を試みた。そして引張試験を行い、配線形式、膨張圧等が定着性能に与える影響を実験的に検討したものである。

2. 試験概要

2. 1 試験体

FRPロッドは、アラミド繊維を組紐状に編みエポキシ樹脂を含浸・硬化したものをを使用した(AFRPロッド)。AFRPロッド単体の機械的性質を表-1に示す。マルチ配線の形式は、公称径7mmのAFRPロッドを12本束ねたもの、および公称径9mmのAFRPロッドを7本束ねたものの2種類とした(図-1参照)。それらのマルチ配線は、試験体全長に渡って同一断面となっており、圧力を受ける端部区間のみ充填材を兼ねたエポキシ樹脂で一体化されている。

定着具は、外径90mm、内径45mmの鋼管(STKM15A)を使用した。また定着長は、20cm、30cm、40cm、そして50cmの4種類を使用した。

膨張材は、定着用に開発された石灰系の膨張材を使用した。目標膨張圧は、500kgf/cm²と800kgf/cm²とし、定着体内に膨張材を注入後、所定の圧力に達するまで養生を行なった。なお、膨張圧管理は、ダミー試験体に取り付けた圧力計および熱伝対により実施した。また、膨張圧を800kgf/cm²に

表-1 FRPロッドの諸元

名称	公称径 (mm)	断面積 (mm ²)	保証荷重 (tf)	弾性係数 (kgf/mm ²)
RA7	7.3	42	6.4	7.0
RA9	9.0	63	9.6	7.0

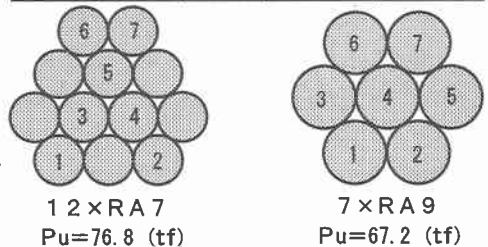


図-1 マルチ配線形式

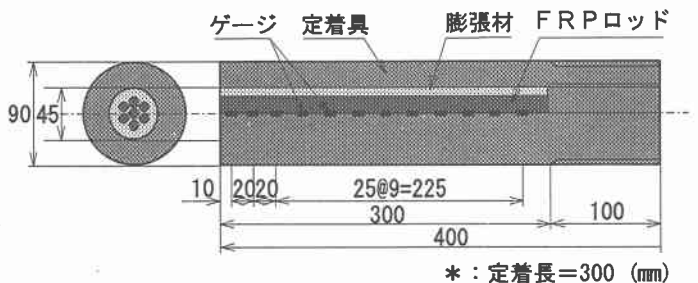
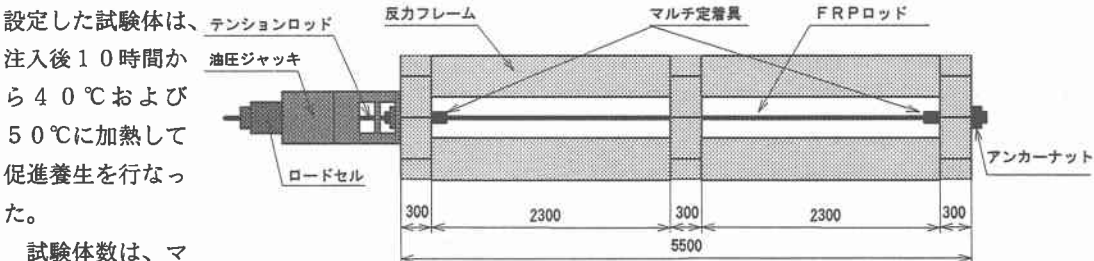


図-2 定着具(MB4試験体)

Experimental Study for Multi Cable Anchor System of FRP Rods using Expansive Cement
by Norimichi Nakajima, Hiroshi Mikami, Tomio Tamura, Tetsuo Harada



図－３ 試験装置

試験体数は、マルチ配線形式、定着長、および膨張圧を試験水準とし、その組み合わせにより合計 8 体とした。試験体名一覧を表－２に示す。表中の保証荷重は、各 AFRP ロッド単体の保証耐力をマルチの本数分合計した値である。

表－２ 試験体一覧

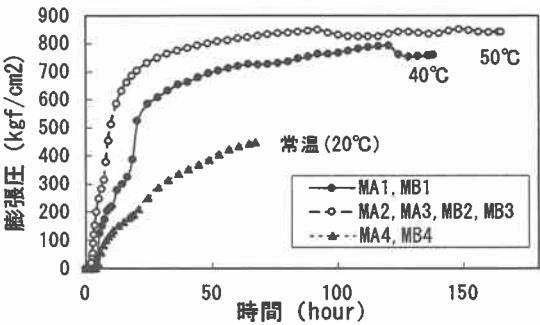
試験体名	緊張材		定着具	
	形式	保証荷重 (tf)	定着長 (cm)	膨張圧 (kgf/cm ²)
MA－１	12×RA7	76.8	30	800
MA－２			40	
MA－３			50	
MA－４			40	500
MB－１	7×RA9	67.2	20	800
MB－２			30	
MB－３			40	
MB－４			30	500

2. 2 引張試験

図－３に試験方法を示す。引張試験は、鋼製反力フレームにセットした油圧ジャッキを用い、定着具の後部よりテンションロッドを介して実施した。マルチ配線の各ロッドの長さ違いの影響を排除するために、試験体の全長は 5.9 m とした。試験時の荷重をロードセルにより、。また、定着具外周および AFRP ロッドのひずみをひずみゲージによりそれぞれ測定した。（図－１および図－２参照）。

3. 膨張圧の経時変化

膨張圧注入後の経過時間と膨張圧の関係を図－４に示す。注入後 4 8 時間の膨張圧は、常温放置で養生した試験体で 3 8 4 kgf/cm² であり、促進養生を行なった試験体は、5 9 1 kgf/cm² および 7 5 5 kgf/cm² となった。定着用膨張材は、初期反応の温度依存性が大きく、自己発熱も大きい為、練り混ぜ直後の温度上昇極めて危険であるが、1 0 時間程度の間隔を置く事により促進養生も可能である事が確認できた。しかしながら、養生温度の違いが膨張圧の発現性状に与える影響については、明確にできなかった。



図－４ 膨張圧の経時変化

4. 引張試験結果

4. 1 定着具のひずみ

図－５から図－７に RA 9 × 7 本マルチの荷重と定着具のひずみを示す。また、図－８に RA 7 × 1 2 本マルチについて同様に示す。なお、凡例の数値は、定着具の口元よりゲージ位置までの距離を示している。また、図中、各測定点の曲線が直線部から離れる点の荷重は、その位置で付着切れが生じた事を示している。

図-5および図-6について引抜けが生じたMB1とAFRPロッドの破断となったMB2を比較すると、両試験体の低荷重時の挙動はほぼ同一であり、長さの違いのみにより破壊形式が異なった事が明らかである。また、MB2は終局状態においても口元から20cm以上の離れた領域では、付着切れが認められず、定着能力に余裕のあったことが示唆された。

図-7に示すMB4について、同一位置で付着切れが生じる荷重を他の試験体と比較すると、MB4は、その荷重が小さくなった。これは、膨張圧の低下により付着力が低下している為であり、膨張圧の増加が定着長の短縮に効果的がある事が認められた。

図-8に示した12本マルチのMA1は、終局状態まで7本マルチのMB1と同様の挙動を示しており、定着具のひずみにおいて多数のロッドを変則配置とした影響は明確には認められなかった。

4. 2 AFRPロッドのひずみ

図-9および図-10に荷重とAFRPロッドのひずみとの関係を示す。共に12本マルチ配線で、ロッドの引抜けが生じた試験体である。MA4は、引抜け荷重は低いものの終局までマルチ配線が一体として挙動しているのに対し、MA1は、マルチ配線の内部のロッドから徐々に滑りが進行し最終的にロッド束の拔出に至る挙動を示した。

この内部のロッドの滑りは、7本マルチとした試験体では認められなかった。膨張圧、定着長等の要因も影響しているものの、この現象は、多数のAFRPロッドを変則配置した事による影響の可能性が示唆された。

なお、試験後の観察によると、MA4の表面は比較的滑らかであったが、MA1のロッド束表面は損傷が著しく、高膨張圧による付着力の強さがここにおいても認められた。

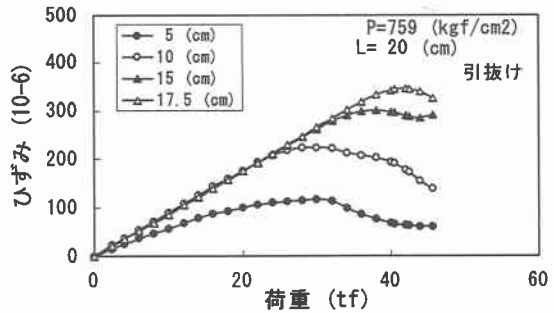


図-5 荷重と定着具のひずみの関係(MB1)

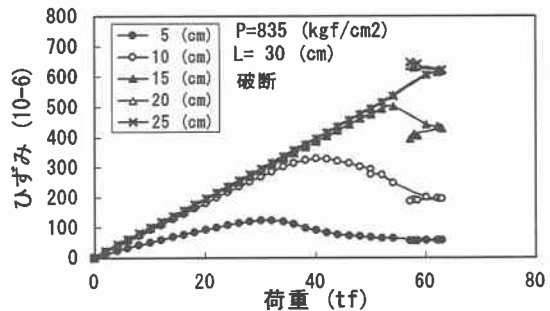


図-6 荷重と定着具のひずみの関係(MB2)

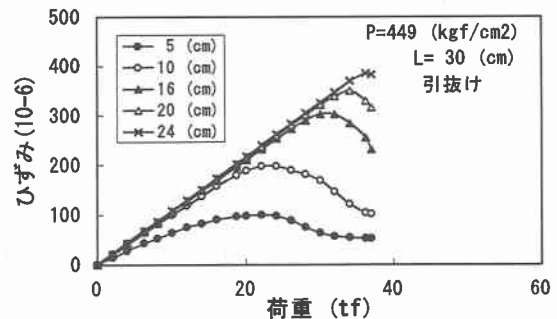


図-7 荷重と定着具のひずみの関係(MB4)

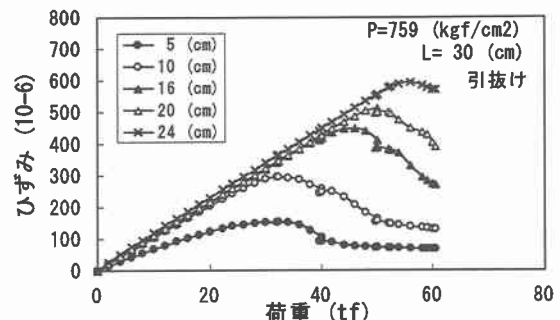


図-8 荷重と定着具のひずみの関係(MA1)

4. 3 破壊形式

表－3に各試験体の最大荷重および破壊形式を示す。8体の試験体中、AFRPロッドの破断に至ったものは、膨張圧が高く、定着長が長い4体であるが、その何れにおいても最大荷重は保証荷重を下回っている。その割合は、保証荷重の85%から94%であり、ロッド単体の実耐力から判断すると極めて低い値となっている。また、ロッドの破断位置は全ての試験体同一であり、定着具の口元部分においてマルチ配線の内側部分のロッドで生じた。破断位置およびAFRPロッドの幾何学的性質から、破断荷重の低下原因として次の事が類推される。

(1)口元部分は、自由表面であるため膨張圧の変化が生じている事、およびAFRPロッドと定着具との応力伝達が行われる区間である事から応力状態が複雑なものとなっている。

(2)組紐状AFRPは、表面の凹凸が大きい為、ロッドを接触させた場合、充填材を介してもロッド間で応力集中が生じやすい。

総じて、AFRPロッドに作用する引張力が大きい段階では、高い膨張圧が負の要因として作用する事が示唆された。

5. まとめ

膨張材を用いた定着法によりFRPロッドのマルチ定着を任意の配線形式で自由に行なえる可能性が示唆された。また、本試験で用いた形式では、膨張圧の増加は付着力の増加と破断耐力の低下という相反する効果を示していると思われる。今後は、適切な配線形式および膨張圧を明らかにすると共に、マルチ定着における定着機構のより詳細な解明を課題として行きたい。

今後は、適切な配線形式および膨張圧を明らかにすると共に、マルチ定着における定着機構のより詳細な解明を課題として行きたい。

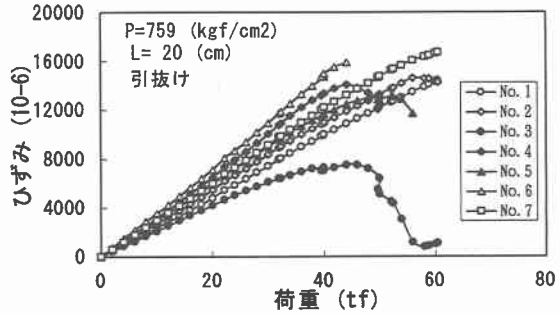
参考文献

- 1)原田他：定着用膨張材を用いたFRP緊張材の必要定着長に関する一考察、土木学会第49回年次公博会概要集V部門
- 2)中島他：マルチ配線PC緊張材の中間定着法の研究、土木学会第49回年次学術公博会概要集V部門

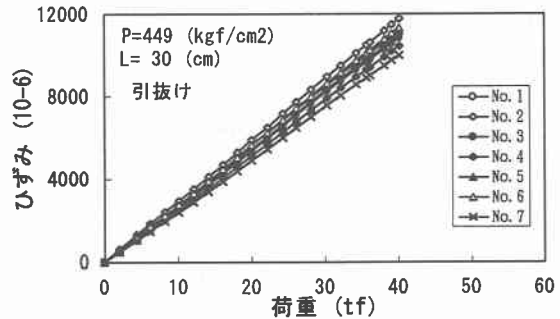
表－3 試験結果

試験体名	試験体元		試験結果			
	形式	保証荷重 (tf)	定着長 (cm)	膨張圧 (kgf/cm ²)	最大荷重 (tf)	破壊形式
MA-1	12×RA7	76.8	30	*759	60.5	引抜け
MA-2			40	835	68.0	破断
MA-3			50	835	65.1	破断
MA-4			40	449	40.1	引抜け
MB-1	7×RA9	67.2	20	*759	45.7	引抜け
MB-2			30	835	63.1	破断
MB-3			40	835	59.1	破断
MB-4			30	449	37.0	引抜け

*：定着具の円周方向ひずみより算定



図－9 荷重と緊張材ひずみの関係 (MA1)



図－10 荷重と緊張材ひずみの関係 (MA4)