

定着法の違いが CFRP より線の疲労特性に及ぼす影響とその考察

長崎大学工学部 学生会員 久保田慶太
 長崎大学工学部 正会員 阪上 直美
 福岡大学工学部 正会員 添田 政司
 長崎大学工学部 正会員 原田 哲夫

1. はじめに

CFRP より線のような連続繊維緊張材の定着には、定着用膨張材を用いる定着法（HEM 定着法）やエポキシ樹脂による定着法が開発され実施されている。HEM 定着とエポキシ樹脂定着（以下樹脂定着と略記する）とは、CFRP より線の静的引張強度には定着法による差はみられないが、図-1のように CFRP より線の疲労特性は、HEM 定着の方が格段に向上することが分かった。ここでは、定着法の違いによって CFRP より線の疲労特性がなぜ異なってくるのかについて考察する。

2. HEM 定着部および樹脂定着部の挙動

HEM 定着とは、鋼管スリーブと CFRP より線の間に HEM スラリーを充填した後に、HEM の硬化膨張にともなう 50MPa 以上の高膨張圧によって定着する方法である。図-2(a)に HEM 定着体の概略図を示す。CFRP より線に引張力を作用させた場合、微小部分 dx におけるスリーブ、膨張材、CFRP より線間に働く力は図-2(b)のように示される。ここで、HEM はせん断伝達層と考え、単位長さ当たりのせん断力 q によって引張力が伝達される。このときのスリーブ、HEM 層、CFRP より線の変形状態は、図-2(c)のように示され、 q と γ の値は、スリーブ表面のひずみ値より算出できる。

ここでは、疲労試験を模擬して 20 回の静的繰返し载荷を CFRP より線 $\phi 15.2$ を用いて行った。HEM 定着、樹脂定着の場合の $q \sim \gamma$ 関係をそれぞれ図-3、図-4に示す。HEM 定着の場合の $q \sim \gamma$ 曲線の傾きは一定であるのに対して、樹脂定着では、繰返し回数が増加するたびに $q \sim \gamma$ 曲線の傾きが変化している

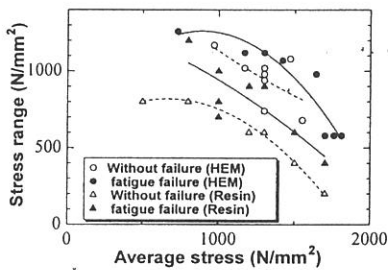


図-1 200 万回の疲労試験結果

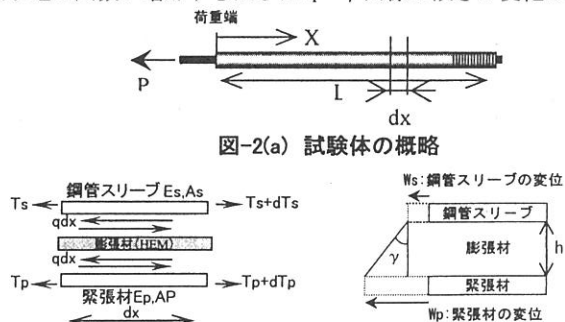


図-2(a) 試験体の概略

図-2(b) 微小要素モデル

図-2(c) 定着部の変形状態

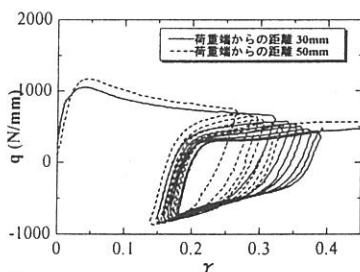


図-3 HEM 定着 $q \sim \gamma$ 曲線

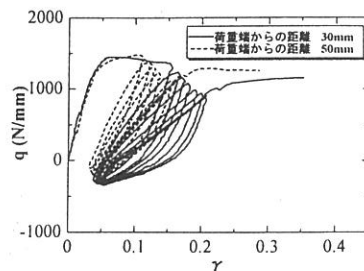


図-4 樹脂定着 $q \sim \gamma$ 曲線

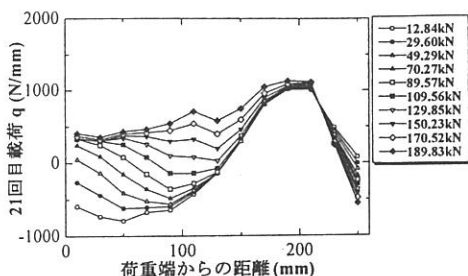


図-5 HEM 定着 q 分布 21 回目載荷

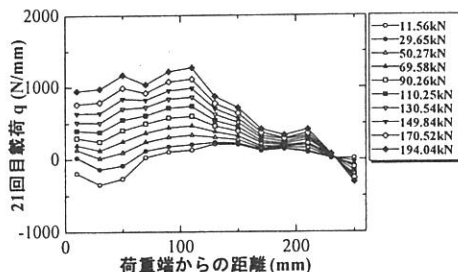


図-6 樹脂定着 q 分布 21 回目載荷

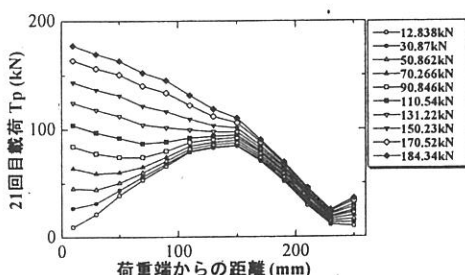


図-7 HEM 定着 Tp 分布 21 回目載荷

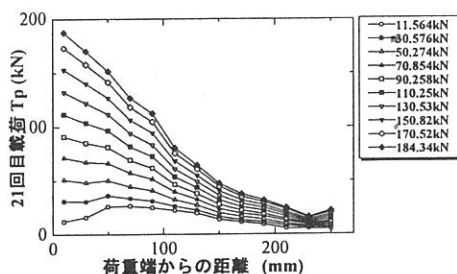


図-8 樹脂定着 Tp 分布 21 回目載荷

ことが分かる。これは、HEM 定着では繰り返し回数が増しても膨張圧が継続的に作用しているためであり、樹脂定着の場合、繰り返しにともなう樹脂の劣化が起きていることが考えられる。

図-5、図-6 には 21 回目載荷時の q 分布を示した。HEM 定着では、低荷重時に荷重端から約 130mm の位置までは負の領域となっている。このことは、樹脂定着の場合には観察されない。

図-7、図-8 には定着部内の CFRP より線に作用する引張力 T_p の分布を示した。定着内部の任意断面において、 T_p と鋼管スリーブに作用する T_s の和は、引張荷重 P と釣り合わなければならないという条件式から算出した。HEM 定着の場合には除荷時のピークが 130mm あたりにあり、図-5 の $q=0$ の位置と一致している。これは、 $q = -dT_p/dx$ なる関係があるからである。一方の樹脂定着の場合には、このような顕著なピークは観察されない。

HEM 定着に見られるこれらの現象は次のように考えられる。すなわち、引張荷重が作用しても膨張圧の低下がないため、荷重端側へ引き抜けた変位が除荷過程において元に戻る際に、膨張圧による摩擦抵抗によって拘束されるために、CFRP より線表面には負の摩擦力（せん断力）となって現れるためと考えられる。この負のせん断力は一種のプレストレスと考えられ、逆のずれ抵抗であり、「せん断プレストレス」と呼称している。このせん断プレストレスが HEM 定着の大きな特徴である。

3. CFRP より線の疲労特性に違いが生じることの考察

HEM 定着部内では、せん断プレストレスの存在により、CFRP より線の荷重振幅が樹脂定着に比べて小さくなっていることが図-7、図-8 より分かる。樹脂定着では、荷重振幅にともなうエポキシ樹脂との摩擦によって摩擦熱が発生し、定着部内の温度を上昇させ、CFRP より線のマトリックス樹脂を劣化させていることが推定される。HEM の場合には、樹脂定着ほどの温度上昇はないものと考えられる。どの程度の温度上昇があるかについては目下検討中である。