

CFRPシート・コンクリート間の引張付着強度の温度依存性

茨城大学工学部 正会員 ○三井 雅一
 茨城大学工学部 正会員 福澤 公夫
 日鉄コンポジット（株） 齊藤 誠

1. はじめに

FRP シートによる補強効果の定量的評価を行うためには、FRP シート・コンクリート間の応力伝達メカニズムの解明が重要である。また、一般に FRP シートに使用するエポキシ樹脂は高分子材料であることおよび補強部位は外気温や日射等の熱的変動因子を考慮しなければならないことを考えると、FRP シート・コンクリート間の応力伝達メカニズムの温度依存性を明確にする必要がある。そこで、本研究では、直接引張試験を試験時温度を変化させた環境下で行い、引張付着強度に及ぼす試験時温度の影響について実験的に検討した。さらに、ガラス転移温度 T_g を向上させた樹脂（耐熱樹脂）による引張特性の向上に関する検討も併せて行った。

2. 直接引張試験

FRP シート・コンクリート間の引張付着特性は、直接引張試験により求めた。図-1に引張付着試験供試体を示す。図に示すように、 $100 \times 100 \times 200\text{mm}$ のコンクリート角柱に CFRP シートを接着し、 $40 \times 40\text{mm}$ の接着面を有する鋼製アタッチメントを取り付けた。なお、コンクリート表面は、ディスクグラインダーによりケレン処理を行うとともにレイタンスや汚れの除去を行った。コンクリートの配合を表-1に示す。また、一連の作業は、 20°C 、 $60\%RH$ に設定した恒温恒湿室にて行い、接着作業から約 1 ヶ月の硬化・養生の後、直接引張試験を行った。

図-2に直接引張試験方法を示す。試験機は、冷・熱気循環方式の箱形恒温槽を付属した 100kN の変位制御万能試験機であり、供試体には毎分 0.5mm の変位速度にて载荷を行った。供試体は、予め試験時温度に設定した恒温恒湿槽に約 6 時間静置した後、図-2に示す試験機にすばやく取り付けた。なお、取り付け作業時の温度変化を考慮して、取り付け後 15 分程度まで载荷を行わず試験時温度に保った。表-2に試験の因子と水準を示す。因子としては、試験時温度と樹脂の種類を設定した。試験時温度は、 -15°C から 60°C まで 5 水準を行った。樹脂の種類は、

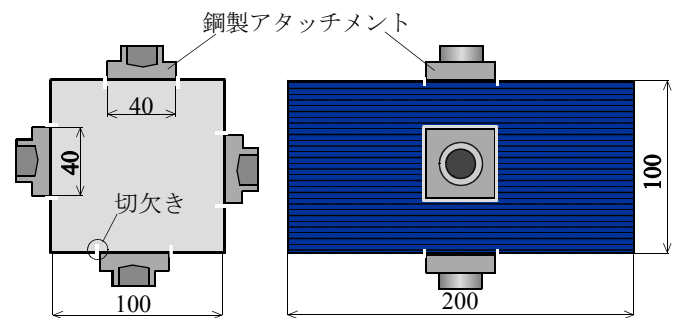


図-1 引張付着試験供試体

表-1 コンクリートの配合

W/C [%]	s/a [%]	空気量 [%]	単位量 [kg/m^3]				
			W	C	S	G	Ad.*
42	44	4.0	170	405	742	991	1.00

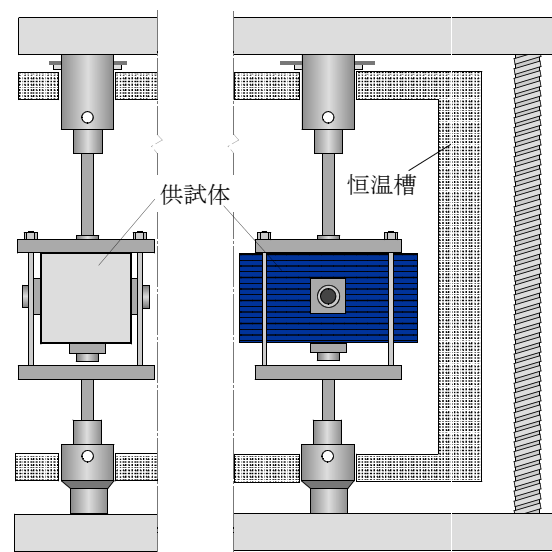
*AE 減水剤を使用, $f_c'_{28d} = 51.2\text{N}/\text{mm}^2$ 

図-2 直接引張試験方法

キーワード：FRP シート，引張付着，温度依存性，耐熱樹脂，ガラス転移温度

連絡先：〒 316-8511 茨城県日立市中成沢町 4-12-1, 茨城大学工学部 SVBL, www.civil.ibaraki.ac.jp/civil/mat/

一般に使用されているエポキシ樹脂（ここでは、普通樹脂と呼ぶ。）とガラス転移温度 T_g を高めた樹脂（ここでは、耐熱樹脂と呼ぶ。）の 2 水準を行った。それぞれの樹脂とも、表-2に示す全ての試験時温度について試験を行い、各水準で 8 箇所、計 80 箇所の直接引張試験を行った。表-3に使用した樹脂の物性を示す。表に示すように、耐熱樹脂は普通樹脂に比べ高いガラス転移温度 T_g を有する樹脂を用いた。

3. 試験結果および考察

図-3に直接引張試験により得られた引張付着強度と試験時温度との関係を示す。なお、引張付着強度 f_{bt} は式(1)により算出した。

$$f_{bt} = P_{max} / A \quad (1)$$

ここに、 P_{max} は最大荷重[N]であり、 A は接着面積で 1600mm^2 である。

図に示すように、試験時温度が -15℃ から 25℃ までにおいては、樹脂の種類の違いが見られず、約 3N/mm^2 の引張付着強度を示す。しかしながら、試験時温度が 40℃ および 60℃ の条件下では引張付着強度が大きく変化する。とくに、普通樹脂では 40℃ 、 60℃ と試験時温度が高くなるに従い、引張付着強度の低下が著しい。 60℃ の場合では、付着強度が 1.8N/mm^2 まで低下する。それに対し、耐熱樹脂では試験時温度が高くなるに従い、わずかな引張付着強度の低下が認められるが、 60℃ の場合にて付着強度は 2.8N/mm^2 であり、普通樹脂のような著しい低下は示さない。これらは、樹脂のガラス転移温度 T_g により説明できる。つまり、樹脂のガラス転移温度 T_g を試験時温度が超えることによりゴム化し、樹脂の有する凝集力が低下するため、引張付着強度が著しく低下する。なお、破面の観察結果からも説明できる。表-4に破面の観察結果を示す。耐熱樹脂を用いた供試体では、試験時温度が 60℃ の場合でも、ほとんどの破面がコンクリートによる破壊を示すのに対し、普通樹脂を用いた供試体では、試験時温度が 40℃ の場合から樹脂における凝集破壊を示す供試体が増加する。このように、使用する樹脂のガラス転移温度 T_g が引張付着特性に大きく影響することが確認された。

4. まとめ

直接引張試験により試験時温度を変化させて、FRPシート・コンクリート間の引張付着強度を測定した。その結果、試験時温度が使用するエポキシ樹脂のガラス転移温度を超えるような場合には、著しく引張付着強度が低下することを確認した。このような温度によるFRPシート・コンクリート間の引張付着特性の劣化を防ぐためには、ガラス転移温度を向上させた樹脂を使用することが有効である。

[参考文献]

福澤，三井：CFRPシート・コンクリート間のはく離付着特性の温度依存性，材料，Vol.50，No.12，pp.1349-1356 2001。

表-2 試験の因子と水準

因子	水準
試験時温度 [℃]	-15, 0, 20, 40, 60
樹脂の種類	普通, 耐熱

表-3 使用樹脂の物性

樹脂の物性	普通	耐熱
混合比（主：硬化）	2：1	3：1
混合粘度 [mPa s]	20000	8000
ガラス転移温度 T_g [℃]	25	50

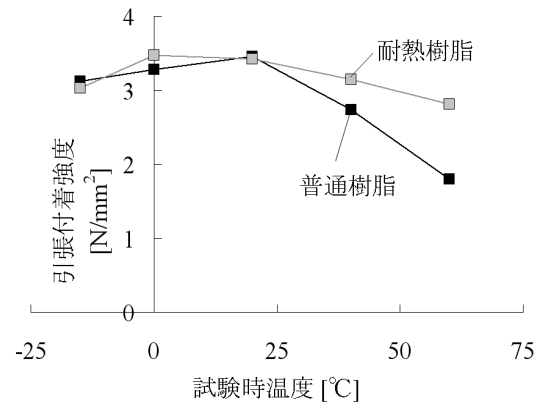


図-3 引張付着強度と試験時温度との関係

表-2 試験の因子と水準

樹脂	試験時温度 [℃]				
	-15	0	20	40	60
普通	AAAA	AAAA	AAAA	AABB	ABBB
	AABB	AABC	AAAE	BCCE	CCDE
耐熱	AAAA	AAAA	AAAA	AAAA	AAAA
	ABBB	AAAB	AADD	AAAE	AABE

[破壊性状の判定]

- A：コンクリート破壊
- B：コンクリート／樹脂混合破壊
- C：樹脂破壊
- D：FRPシートの層間破壊
- E：アタッチメントはずれ