

エポキシ樹脂を含浸・硬化させた CFRP シートの材料特性のばらつきの評価

国立研究開発法人土木研究所 正会員 ○竹内 彩, 吉田 英二, 石田 雅博
 炭素繊維補修・補強工法技術研究会 正会員 松井 孝洋
 早稲田大学 正会員 佐藤 靖彦
 弘前大学 正会員 上原子 晶久
 日本大学 正会員 山田 雄太

1. はじめに

道路橋示方書（以下、道示）¹⁾に規定される材料強度の特性値は、JIS などの規格値または強度試験データの統計分析結果などから設定されている。道示に規定のない材料を適用する場合には、実験的検証を通じて材料としての特性や部材に用いた場合の機構に対する信頼性を確認するとともに、長期の使用における外力及び環境条件に対する耐久性の確認など、多様な条件に適応できる条件を明確にする必要がある。

本稿では、高強度・高耐食性・軽量などの優れた特性からコンクリート構造物に広く用いられている炭素繊維シートにエポキシ樹脂を含浸・硬化させた炭素繊維補強樹脂シート（以下、CFRP シート）について、基準への一般化に向け、まずは引張試験データを収集し、引張強度と弾性係数のばらつきを分析した。なお、道示ではこのように整理された各材料強度のばらつきは、最終的に材料強度のばらつきも見込んだ部材耐力のばらつきとして評価することで考慮しており、今回整理したデータについても部材耐力の抵抗係数を算出する際の根拠として使用することを想定している。

2. CFRP シートの材料特性

図-1 及び表-1 に、高強度・中弾性・高弾性の CFRP シート（計 610 本）について、国内の材料メーカー3 社で実施した引張試験により得られた引張強度と弾性係数を示す。なお、引張試験は1 層に対して実施した結果であり、試験法は JIS A 1191 による。

引張強度は、シートの種類にかかわらず概ね同程度のばらつきがある。弾性係数は、高強度のばらつきが中弾性や高弾性に比べて小さい。また、それらは繊維目付量の違いによる差は見られなかった。

3. 引張強度と弾性係数のばらつき

実設計で使用している特性値に対して、前項2の引張強度試験より得られた引張強度と弾性係数のばらつきを図-2、3 にヒストグラムで示す。引張強度及び弾性係数は、概ね正規分布の曲線に沿ってプロットされる。

図-2 より、引張強度の平均値はいずれの種類も特性値の 1.3 倍程度、変動係数が概ね 10%程度である。一般に、標準養生した供試体により確認したコンクリートの圧縮強度の変動係数は 7%程度、鉄筋の降伏強度の変動係数は 4%程度であり²⁾、CFRP シートの引張強度のばらつきが若干大きいことがわかる。この理由は、炭素繊維シートに樹脂を含浸・硬化させる過程に起因し生じるばらつきの影響であると考えられる。図-3 より、弾性係数の平均値はいずれの種類も特性値とほぼ同等であり、変動係数は高強度が 4%、中弾性と高弾性がそれぞれ 5%程度である。一般に、コンクリートの弾性係数の変動係数は 10%程度であり²⁾、CFRP シートの弾性係数のばらつきは小さい。

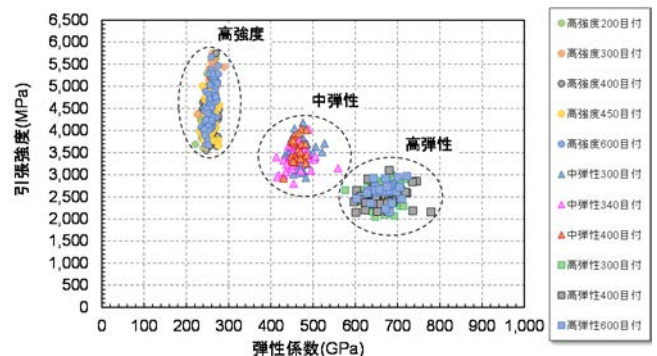


図-1 引張強度と弾性係数の関係

表-1 引張強度と弾性係数の試験結果

種類	特性値		試験値			
			最大値		最小値	
	引張強度 (MPa)	弾性係数 (GPa)	引張強度 (MPa)	弾性係数 (GPa)	引張強度 (MPa)	弾性係数 (GPa)
高強度	3,400	245	5,750	290	3,550	220
中弾性	2,400	440	4,180	560	2,800	410
高弾性	1,900	640	3,100	780	2,000	580

キーワード CFRP, 引張強度, 弾性係数

連絡先 〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6 国立研究開発法人土木研究所 TEL029-879-6773

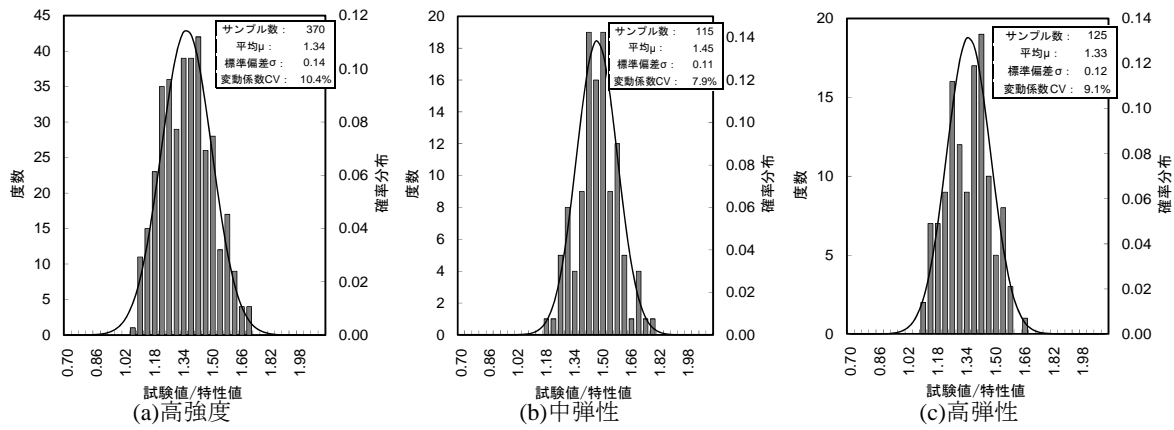


図-2 引張強度のばらつき

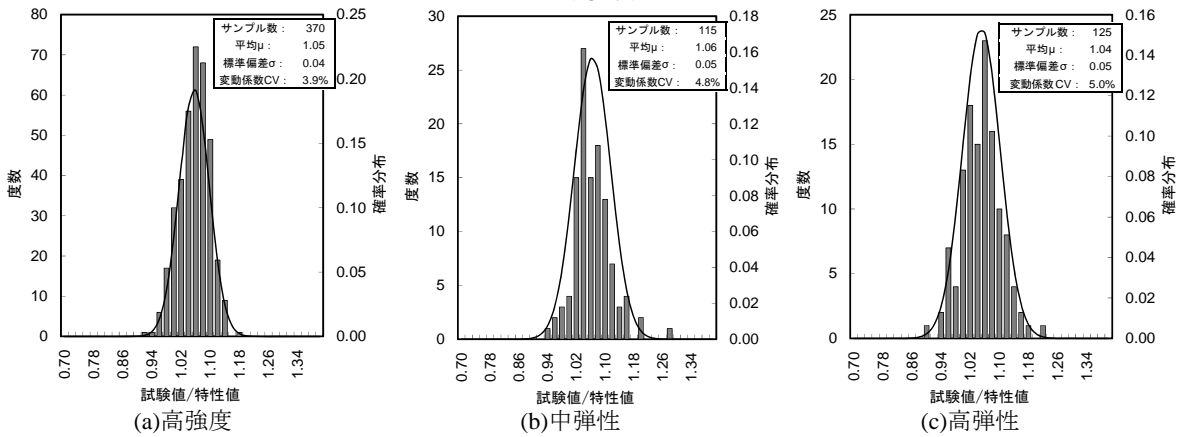


図-3 弾性係数のばらつき

4. 材料の特性値

実設計で使用されている CFRP シートの特性値は、土木研究所の実験結果³⁾より整理された値であり、引張強度は 0.1% フラクタイル値 ($x - 3\sigma_n$) を、弾性係数は平均値が用いられている。一方、道示での材料強度の特性値は、試験値のばらつきを考慮したうえで、試験値がそれを下回る確率がある一定以下となることが保証された値となるように定めており、コンクリートの圧縮強度の場合、5%フラクタイル値 ($x - 1.64\sigma_n$) となるように定められている。そこで、一例として CFRP シートの引張強度の特性値を 5%フラクタイル値となるように定めた結果を表-2 に示す。この場合、引張強度の特性値が実設計で使用している値よりも 1.1 倍程度が大きくなる。

表-2 引張強度の特性値

種類	引張強度 (MPa)			
	平均値 x	標準偏差 σ_n	特性値 $x - 1.64\sigma_n$	特性値 ³⁾
高強度	4,540	472	3,800	3,400
中弾性	3,470	275	3,100	2,400
高弾性	2,530	229	2,200	1,900

5. まとめ

本研究では、①CFRP シートの引張強度のばらつきは、コンクリートの圧縮強度や鉄筋の降伏強度に比べて若干大きな値を示すが、弾性係数のばらつきは小さな値を示すこと、②CFRP シートの引張強度の特性値については、5%フラクタイル値となるように定めた場合、実設計で使用している値よりも 1.1 倍程度大きくなること、が主たる知見として得られた。今後は、シートの積層数を増やした引張試験の実施や、今回整理した材料強度のばらつきをふまえた上で、抵抗係数を整理するため部材耐力のばらつきを整理する予定である。

参考文献

- 1) 社団法人日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅲコンクリート橋編，2017.3
- 2) 国立研究開発法人土木研究所：コンクリート道路橋の性能規定及び部分係数設計法に関する調査研究，土木研究所資料第 4401 号，2020.5
- 3) 建設省土木研究所：コンクリート部材の補修・補強に関する共同研究報告書（Ⅲ），共同研究報告書第 220 号，1999.12