

第 I 部門 引張り力を受ける鋼板に対する CFRP 板接着による補強効果に関する実験的研究

立命館大学院 学生員 ○古川 喬朗

東レ株式会社 正会員 鈴木 研二

立命館大学理工学部 正会員 野阪 克義

1. はじめに

炭素繊維強化樹脂 (CFRP) 板は、その弾性率の高さ、高強度が理由として主にコンクリート桁および柱の補修、補強を目的として、広く用いられるようになってきた¹⁾。鋼構造物を対象としても、炭素繊維強化樹脂を用いた補修・補強の有効性は高いと考えられる²⁾。しかしながら、CFRP 板を用いた補修方法を実橋に適用するにあたり、接着強度や補強効果等、必要なデータは少ないのが現状である。本研究の目的は、2 種類の供試体を製作、接着剤の種類および鋼板の降伏応力を変化させ、引張試験を行い、補強効果や接着強度、はく離の発生など CFRP 板接着による補強方法を実現する上で必要な、基礎的データを収集することである。

2. 実験概要

本実験で製作した供試体は A-Type と B-Type の 2 種類に大別される。A-Type は 1 枚の鋼板の両面に CFRP を貼り付けた供試体であり、B-Type は 2 枚の鋼板を突き合わせ、両面に CFRP を貼り付けたものである。鋼板は、SM400 および SM570 の種類を用いて作製した。供試体製作に使用した材料とその材料特性を表-1 に示す。

表-1 材料特性

	名称	降伏応力 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (N/mm ²)	引張せん断 (N/mm ²)
鋼板	SM400	275	—	176000	—
	SM570	525	—	194000	—
CFRP	トカラミネト(東レ) ML520	—	1500	280000	—
接着剤	DP-460(住友 3M)	—	—	1500	29.0
	シーガデュア 30(東レ)	—	—	3920	9.8

使用する CFRP は MLS20 (厚さ 2mm、幅 50mm) を用い、鋼板はすべて厚さ 19mm、幅 50mm とする。CFRP 板は繊維方向が荷重の作用方向と一致するように常温硬化型エポキシ系の接着剤で貼り付けた。

以上の材料を用いて製作した供試体の種類を表-2 に示す。表中、n は鋼板の片側に貼り付ける枚数を表しており、n=1,2,3 の 3 種類、計 18 体を製作した。

载荷装置は立命館大学理工学部土木工学科に設置されている万能試験機 (最大引張力 2000kN) を用いた。

引張方法は変位制御とし、1 分間に 1mm の変位を与えた。载荷中、CFRP 及び鋼板表面のひずみを測定し、B-Type に関しては鋼板突き合わせ部分の亀裂開口変位を測定した。A-Type、B-Type とともに CFRP が完全にはく離するまで引張り試験を行った。図-1 に A,B-Type 供試体の概略図を示す。(単位はすべて mm)

表-2 供試体の種類

	Type	鋼板の種類	接着剤厚	接着剤
A400-n	A	SM400	0.5mm	DP-460
A570-n	A	SM570	0.5mm	DP-460
A570s-n	A	SM570	1.0mm	シーガデュア 30
B400-n	B	SM400	0.5mm	DP-460
B570-n	B	SM570	0.5mm	DP-460
B570s-n	B	SM570	1.0mm	シーガデュア 30

CFRP を張り合わせる際には接着剤厚さは 0.2mm

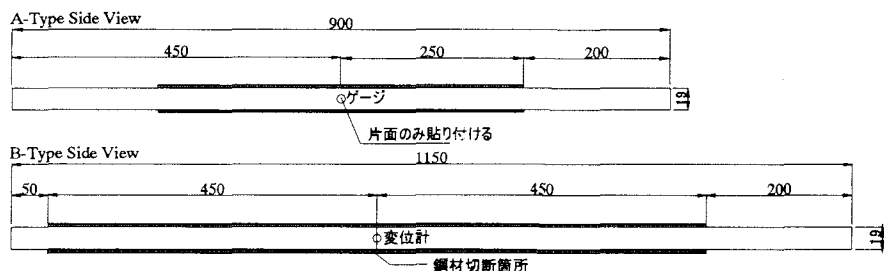


図-1 供試体の概略図

Takaaki Furukawa, Kenji Suzukawa, Nozaka Katsuyoshi

3. 実験結果と考察

右に示した図-2 は、公称応力 $\sigma (=P/A)$ が $100(\text{N}/\text{mm}^2)$ 時の鋼板中央のひずみ ε を、 ε_n (公称ひずみ) で除した値 $\varepsilon/\varepsilon_n$ を CFRP の貼り付け枚数ごとに整理した結果である。 $\varepsilon/\varepsilon_n$ の値が小さいほど、CFRP を貼り付けることで鋼板の応力が低下したと言え、補強効果が高いことを示している。

図中の実線で示した応力の低減率を示す理論値 ξ_o は以下のような式から導いた。

$$Sr = \frac{n \cdot Ec \cdot tc}{Es \cdot ts} \quad (1)$$

$$\xi_o = \frac{Es \cdot ts}{Es \cdot ts + Ec \cdot n \cdot tc} = \frac{1}{1 + Sr} \quad (2)$$

図-2 から判断できるように、最も補強効果が高かった供試体は A570-3s であり、鋼板表面のひずみをほぼ半分に抑えることができた。両面に 3 枚ずつ貼り付けた供試体においても、 $\varepsilon/\varepsilon_n$ の値を理論値と比較してもほぼ同じであり、式(2)を用いて鋼板表面の応力低下を推定することが可能であると考ええる。

B-Type 供試体についての補強効果を示すパラメータとして供試体中央の亀裂変位 δ と貼り付け枚数の関係を図-3 に示した。縦軸に $\sigma = 100(\text{N}/\text{mm}^2)$ 時の供試体中央の亀裂変位 δ 、横軸に貼り付け枚数をプロットした。

シゲア 30 を用いて製作した供試体と DP-460 を用いた供試体を比較すると、貼り付ける CFRP の枚数が少ない場合、前者のほうがより亀裂の拡大を抑制していることが分かる。これは、接着剤のヤング係数の違いが原因だと言える。したがって、はく離を生じない低い公称応力状態において、亀裂拡大を抑制するという点では、ヤング係数の高い接着剤を使用したほうが効果的と言える。

4. おわりに

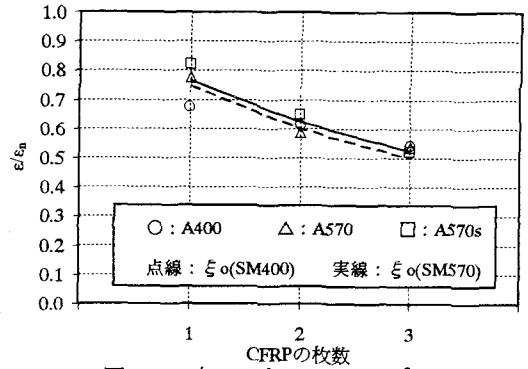
本研究では、鋼板の両面を CFRP 板接着により補強した供試体を製作し、接着剤の種類および鋼板の降伏応力を変化させ、引張試験を行い、主に補強効果に対して考察を加えた。

本実験において得られた主な結論を以下に示す。

- (1) CFRP 接着によって補強した鋼板表面のひずみを、最大で約 50% に低減することができた。
- (2) 式(2)を用いて鋼板表面の応力低下を推定することが可能である。
- (3) 高弾性率の接着剤で接着を行った場合、低い弾性率の接着剤に比べ、亀裂の開口変位は小さい。
- (4) CFRP の貼り付け枚数が増すと、亀裂の開口変位は収束する傾向にある (SM570 材)。

《参考文献》

- 1) Meier, U. and Kaiser, H. P.: Strengthening of Structures with CFRP Laminates, Advanced Composites Materials in Civil Engineering Structures, pp. 224-232, 1991. 2) 大倉一郎, 福井唯夫, 中村圭吾, 松上泰三, 祝賢治: 炭素繊維シートの鋼板疲労亀裂補修への適用, 鋼構造年次論文報告集, 第 8 巻, pp.689-696, 2000.



ここで、

Es : 鋼板のヤング係数 (N/mm^2) ts : 鋼板厚さ (mm)
 Ec : CFRP のヤング係数 (N/mm^2) tc : CFRP の厚さ (mm)
 n : CFRP の貼り付け枚数 とする。

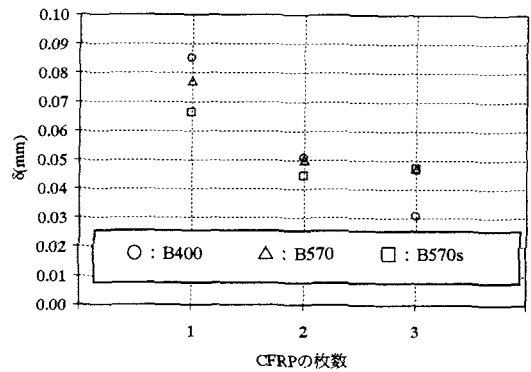


図-3 B-Type 供試体 亀裂変位 δ