

動的繰返し荷重下のCFRP補強桁の接着特性に関する実験的研究

首都大学東京 大学院 都市環境科学研究科 ○ 学生員 大久保智
株式会社 平設計 正会員 山田 稔
首都大学東京 大学院 都市環境科学研究科 正会員 長嶋文雄

1. はじめに

炭素繊維強化プラスチック（以下CFRP）を板状に成形したCFRP板を鋼構造物の補強材料として用いる工法は、鋼に比べて軽量な材料の取り付けを接着剤で行うため現場施工が容易であることや死荷重増加をほとんど伴わないこと等の利点があり、実用化に向けて開発・研究が行われている。しかし供用下などでの接着性能に関するデータが少ないため実橋での適用事例は未だに少ないのが現状である。そこで本研究では供用下の橋梁の振動が接着特性に及ぼす影響を実験的に明らかにすることを目的とした。

2. 動的繰返し載荷試験の概要

動的に繰返し荷重を受ける梁の下フランジに補強材としてCFRP板を貼付して載荷試験を実施した。試験は接着剤でCFRP板を貼付した後、直ちに載荷を開始し概ね24時間継続して載荷を行った。繰返し荷重作用下で、H型鋼支間中央およびCFRP板端部のひずみおよび支間中央の変位を計測した。梁はH形鋼100×50×5×7（SS400）を用い、CFRP板は弾性係数を2MPaとして設計した幅50mm、厚さ5mmのものを用いた。試験体形状を図-1に、試験装置を図-2に示す。繰返し載荷荷重は繰返し速度と大きさをパラメータとして以下のケースで試験を実施した。繰返し速度は実橋の固有振動数を考慮して周波数を3Hz、1Hz、0.25Hzの3ケース、荷重振幅は梁のたわみと作用応力度を考慮して最大荷重が55kN、30kNの2ケースとした。また動的荷重を載荷せずに接着剤を硬化させたケースも対象とした。

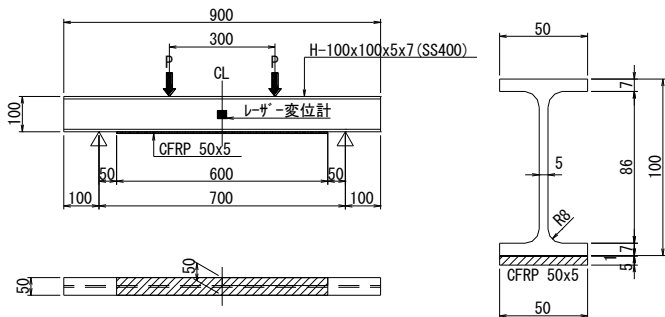


図-1 試験体形状

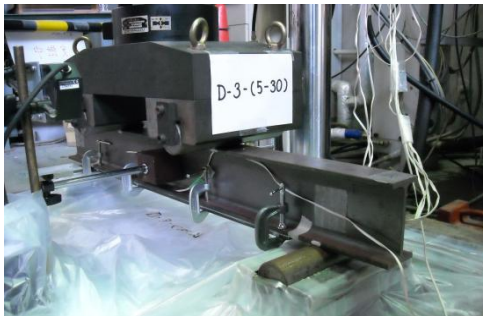


図-2 試験装置と試験体

3. 動的繰返し載荷試験結果

3.1 繰返し載荷試験結果

表-1に繰返し載荷試験結果を示す。載荷速度が3Hzで最大荷重が55kNのケースは全試験体で載荷中にCFRP板が剥離した。接着が完了した試験体では、載荷速度が速いほど、最大荷重が大きいほど接着剤硬化に要する時間は短い傾向が認められた。

3.2 硬化時間と温度の関係

動的荷重を載荷せずに養生する場合（標準養生）に、養生温度が接着剤硬化に要する時間に与える影響を確認するために簡易な方法で接着剤硬化の判定を行った。試

表-1 繰返し載荷試験結果

シリーズ	項目	試番	繰返し載荷試験				静的載荷 破壊荷重	硬化に要 した時間
			載荷速度	最小荷重	最大荷重	載荷時間(h)	載荷結果	
D-3-(5-55)		1	3Hz	5	55	140	×(硬化後3hで剥離)	105
		2				90	×(硬化途中で剥離)	—
		3				100	×(硬化途中で剥離)	—
D-3-(5-55)L=500mm		1	3Hz	5	55	5.0	×(硬化途中で剥離)	—
D-3-(5-55)L=400mm		1	3Hz	5	55	6.0	×(硬化途中で剥離)	(6.0)
D-3-(5-55)L=300mm		1	3Hz	5	55	10.0	×(硬化途中で剥離)	(10.0)
D-3-(5-30)		1	3Hz	5	30	23.3	○	74kN 11.3
D-1-(5-55)		1	1Hz	5	55	22.8	○	89kN 11.5
D-1-(5-30)	1	1	1Hz	5	30	22.7	○	ND 14.5
	2					23.0	○	72kN 14.5
D-025-(5-55)		1	0.25Hz	5	55	22.8	○	65kN 12.5
D-025-(5-30)		1	0.25Hz	5	30	23.5	○	75kN 18.5
S(標準養生試験体)		1	—	—	—	—	—	ND —
NR(無補強)		1	—	—	—	—	—	ND —

注1) 載荷結果の○は載荷完了した試験体を示す。注2) NDは100kNでも破壊しなかった試験体を示す。

キーワード：動的繰返し荷重，CFRP板，接着特性

連絡先：首都大学東京大学院都市環境科学研究科〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1，TEL042-677-1111

験は 20℃、25℃、28℃の 3 ケースで、図-3 のように六角ボルト頭頂部に十分な接着剤を盛り付け CFRP 板に押し当て貼付した。貼付後 1～10 時間までは 1 時間毎に、10 時間以降は 30 分毎に六角ボルトのネジの端部に水平力を

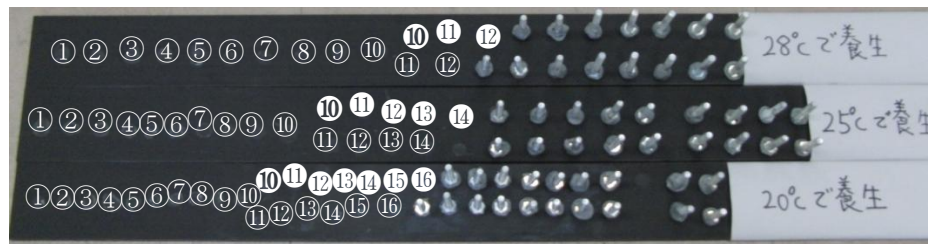


図-3 養生時間と接着剤硬化時間の関係 (○数字は界面剥離したボルトを示す)

与えることにより接着部にモーメントを加えて接着剤と CFRP 板の界面剥離を試みた。剥離させる作業は素手で行い、剥離が困難になった時点で硬化完了とした。20℃で 16.5h、25℃で 14.5h、28℃で 12.5h となり、養生温度が高いほど硬化時間が短いことが明らかになった。

3.3 ひずみ速度が接着特性に及ぼす影響の考察

最大荷重から最小荷重へ変化する時のひずみの変化量と変化に要する時間に着目し、荷重の周波数および振幅の違いが接着特性に与える影響を確認した。ひずみの変化量は H 型鋼の支間中央下フランジのひずみと CFRP 板端部のひずみに着目し、その相対ひずみ差を $\Delta\epsilon$ とした。最大荷重時のひずみ差を $\Delta\epsilon_{\max}$ 、最小荷重時のひずみ差を $\Delta\epsilon_{\min}$ とし、両者の差を最大荷重から最小荷重への変動に要する時間（半周期に相当）で除した値を接着剤が硬化する際のひずみ速度 $\Delta\dot{\epsilon}$ と定義し(1)式より求めた。図-4 に標準養生と繰返し荷重作用下での接着時間の比較を示す。繰返し荷重下では載荷速度が速いほど最大荷重が大きいほど接着剤硬化時間が短い傾向がある。これは接着剤の分子が振動することで熱が発生し硬化が促進されるためと考えられる。しかし、ひずみ速度が $1.5 \sim 2.0 \times 10^{-3} \text{ (sec}^{-1}\text{)}$ を超えるケースでは硬化が完了しないおそれがあることから、注意が必要である。

3.4 荷重-たわみ関係による補強効果の考察

図-5 は D-0.25-(5-55)試験体で動的繰返し荷重載荷時の支間中央のたわみの変化を、接着直後と硬化完了 2 時間後で示したグラフである。載荷直後に対し硬化完了 2 時間後の荷重-たわみ曲線では梁の剛性が上がっていることがわかる。また図-6 は動的繰返し載荷完了後に実施した静的載荷試験の荷重-たわみ関係を示したものである。全ての試験体の傾きは無補強梁と標準養生による補強梁の間に位置しており、CFRP 板貼付による補強効果が得られていることがわかる。図-5 および図-6 とも、すべての試験体のたわみは標準養生で補強した梁の剛性を下回っているが、ひずみの計測結果や接着剤硬化後の梁の重心位置などからも概ね期待された補強効果は得られていることが確認できている。

4. おわりに

動的繰返し荷重下における載荷試験を実施することで、接着剤の硬化状況および補強効果について検討を行った。本補強工法が広く利用されるためには、動的繰返し荷重が載荷される環境下で接着剤施工が確実にを行うことができ、補強効果が得られることが重要である。

【参考文献】姜，山谷，中村，前田，井原：温度変化時における鋼板と CFRP 板の接着継手強度，鋼構造年次論文報告集，Vol17，PP651～658，2009.11

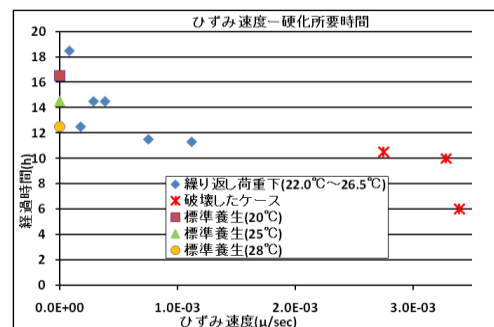


図-4 ひずみ速度—硬化時間

$$\Delta\dot{\epsilon} = \frac{\Delta\epsilon_{\max} - \Delta\epsilon_{\min}}{\Delta t} \quad \dots (1)$$

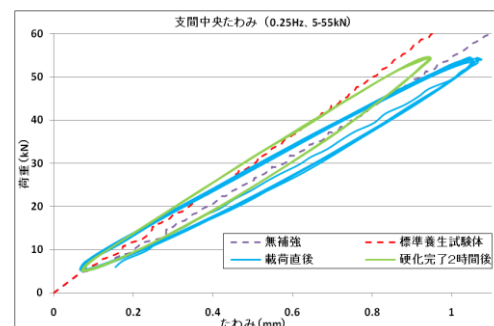


図-5 繰返し載荷試験時の荷重たわみ曲線

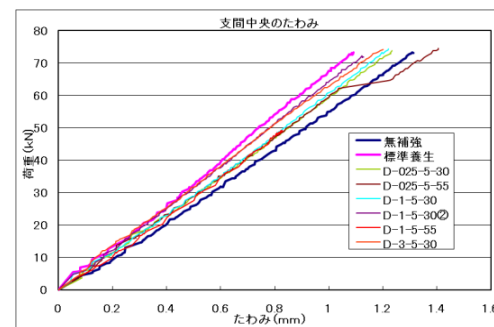


図-6 静的載荷試験時の荷重たわみ曲線