

名古屋工業大学

○中村卓次

KKショーボンド

土木技術部

福岡昌三

KKショーボンド

名古屋営業所工務課

池田 徹

§ 1. まえがき

プラスチックは道路、橋梁等の材料として静かに浸透している。土木分野ではプラスチックと他の材料との共合、合成という形が採られている。多くの例はコンクリートとの合成である。その1つとして最近の道路事情は、設計荷重をこえた荷重が繰返し作用するため、疲労による橋梁床版の耐荷力の低下は相当あり、その結果、床版の破損、クラック発生など各所で数多く見受けられる。この対策として、交通に支障を与えず、かつ経済的に施工できる補強工法が重要な課題となっている。これらの補強工法の一つとして簡便で交通開放下でも迅速施工が出来るグラウト注入工法、FRP接着工法、鋼板接着工法、ストリンガー増設工法、いずれも変性エポキシ樹脂を使用する工法である。最近ガラス繊維とエポキシ樹脂によって含浸・積層接着させながら、FRP層を形成して床版を補強するFRP接着工法による補強工事が愛知県千鳥橋で行われた。本論文はこの補強

工事と共にを行った載荷試験の結果である。千鳥橋は名古屋市南区柴田本通（一般国道・247号線）の天白川上に位置するワーレントラス橋で昭和12年に架設されたものであるが経年による床版の損傷が著しい。

千鳥橋の諸元は橋長195.141m（トラス支間：

50m×3連、ガーダー支間：20m×4×2連）幅員12m、（車道部：7.5m、歩道：両側各2.2m）で試験の対象としたのは、左岸より3連目のトラス支間中央部の床版である。試験の目的はFRP工法の補強効果を確認することで、ガラス繊維の貼布方向による方向性の比較を併せて行った。

§ 2. FRP工法概要

FRPとはFiberglass Reinforced Plasticを略しにもので、ガラス繊維を主な補強材とする、低压成

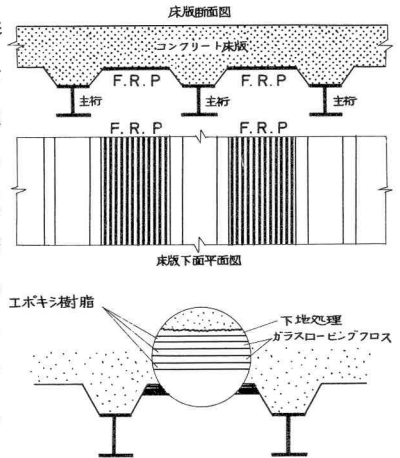


図-1 工法の略図

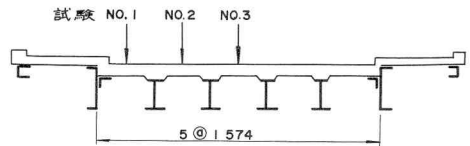


図-3 載荷位置図



写真-1 №1 載荷状況

形樹脂の積層成形品であるこの工法は、ガラスロービングクロスとエポキシ樹脂を床版下面に塗布含浸させて積層接着させながら、FRP層を形成して床版を補強する工法である。FRP層の鋼材と同等程度の引張強度があり引張鉄量不足をFRP層で補ぎなり工法である。

§ 3 千鳥橋床版の損傷状況
図-2に示すようにプレートガーダー部は亀裂及び鉄筋露出等の損傷がほとんど発生していない。1部にRankⅡ～Ⅲ程度の床版が見られる。トラス部については相当亀裂及び鉄筋露出が多く見られる。損傷が生じていない床版は全体の10%程度であり、他の90%は亀裂かもしくは鉄筋の露出が生じている。亀ノ子状に近い状態を示す亀裂が20パネル(全体の6%)も見られる。基本耐荷力Pを求めると、トラス床版は σ_c -T-12、 σ_c -T-11ガーダー床版では σ_c -T-12、 σ_s -T-11である。

§ 4. 試験の概要

試験の内容は大別して、FRP施工前の載荷試験と、FRP施工後の試験の2つで、前者では床版鉄筋の引張応力を測定し、後者では同じ鉄筋の

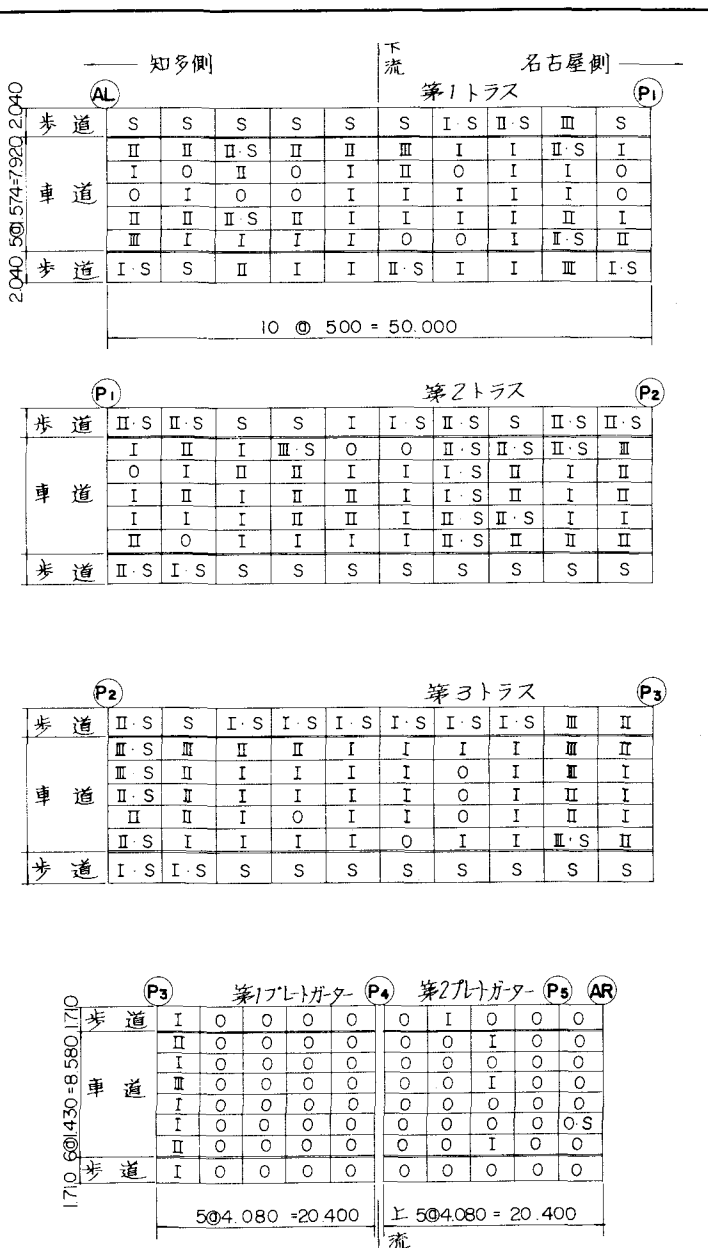


図-2 各床版の損傷状態(Rank)

応力とFRP自体の応力について実測した。同時に両者の載荷位置におけるタワミの測定を行った。応力の測定には電気抵抗線歪計を用いタワミはレベルで読取った。試験荷重としては、鋼塊を積載した大型トラック(約17t)を使用した。FRP施工前の試験は昭和45年3月13日に、施工後の試験は同19日に実施した。

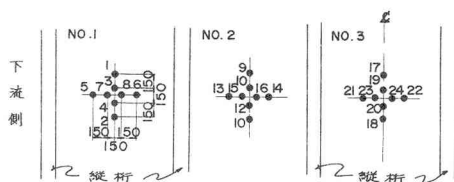


図-4 ゲージ位置

§ 5. FRP施工前の試験

(1) 試験荷重

総重量 18,040 kg 前輪重量 4,220 kg

後輪重量 14,800 kg

実験№1, 2, 3の場合、それぞれ片側の後輪3ケの中、前の2輪の中心が床版の支間中央に来るように載荷した。

(2) 測定方法

測定点：ストレインゲージの貼付位置は、床版の支間中央の主鉄筋、配力筋に、実験№1, 2, 3に対してそれぞれ8点づつ合計24点、橋の上から見て下図のように配置した。

測定器：ストレインメーター

共和電業SM60AT, SS24J

ゲージ、共和KP-6-A-11

接着剤 CO-15, BU-11

タワミの測定は載荷後輪の位置にスケールを立てガーダー支間に据えたレベルにより測定した。

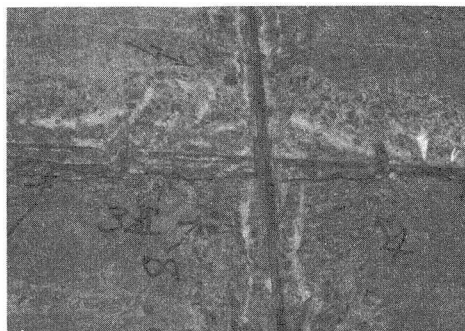


写真-2 №1, ゲージ貼付状況



写真-3 №2 配線状況

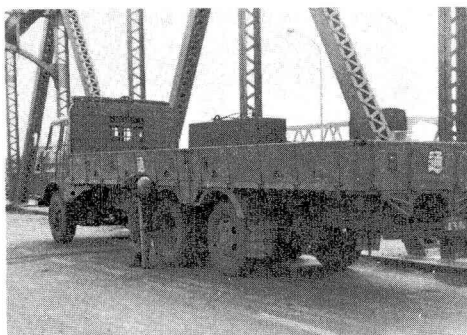


写真-5 №1 タワミ測定状況

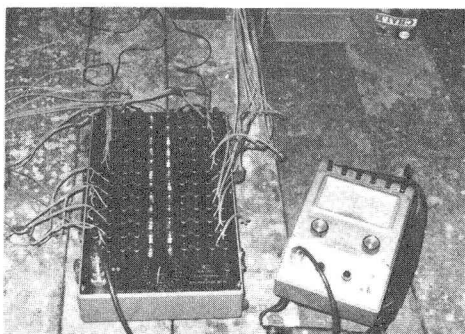


写真-4 ストレインメーター

(3)測定結果

§ 6. F R P 施工後の試験

(1)試験荷重

総重量：17,170 kg

前輪重量：3,870 kg

後輪重量：13,410 kg

載荷方法は F R P 施工前に同じ。



写真－6 第2回目試験車

№1 載荷状況

(2)測定方法

測定点：鉄筋については F R P 施工前のゲージをそのまま埋込んだものについて測定し、F R P には鉄筋の真下の位置で、同数の24点を貼付した。

ガラス繊維の方向は №1 が橋軸方向、№2 が幅員方向、№3 は1層目を橋軸方向、2層目を幅員方向に重ねた。



写真－7 №1 F R P 貼付ゲージ

鉄筋（記号 R）－表－4

試験 番号	ゲージ 番 号	ひ ず み ($\times 10^{-6}$)				応 力 (kg/cm^2)
		1回目	2回目	3回目	平 均	
№ 1	1	10	15	15	13	27
	2	90	80	85	85	179
	3	40	40	40	40	84
	4	110	105	105	107	225
	5	50	50	50	50	105
	6	60	55	55	57	120
	7	40	35	40	38	80
	8	50	50	50	50	105
№ 2	9	30	30	20	27	57
	10	40	40	50	43	90
	11	30	35	30	32	67
	12	40	40	45	42	88
	13	35	30	30	32	67
	14	55	60	60	58	122
	15	60	65	65	63	132
	16	55	60	60	58	122
№ 3	17	50	50	50	50	105
	18	15	15	15	15	32
	19	70	75	70	72	151
	20	80	80	85	82	172
	21	50	55	50	52	109
	22	55	60	60	58	122
	23	45	50	45	47	99
	24	50	50	50	50	105

鉄筋のヤング係数 $E_s = 2.1 \times 10^6 kg/cm^2$



写真－8 №2. F R P 貼付ゲージ

鉄筋（記号R）—表—5

試験番号	ゲージ番号	ひずみ (×10 ⁶)				応力 (kg/cm ²)
		1回目	2回目	3回目	平均	
No. 1	1	10	10	10	10	21
	2	20	25	25	23	48
	3	25	15	25	22	46
	4	50	55	50	52	109
	5	35	40	35	37	78
	6	40	40	35	38	80
	7	30	35	30	32	67
	8	35	35	35	35	74
No. 2	9	10	10	15	12	25
	10	10	10	15	12	25
	11	20	20	15	18	38
	12	20	20	20	20	42
	13	15	20	20	18	38
	14	30	35	35	33	69
	15	40	40	45	42	88
	16	(断線)	—	—	—	—
No. 3	17	20	25	30	25	53
	18	5	5	10	7	15
	19	40	40	50	43	90
	20	60	60	60	60	126
	21	25	20	25	23	48
	22	30	30	35	32	67
	23	40	35	40	38	80
	24	45	40	40	42	88

$E_s = 2.1 \times 10^6 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$

F R P（記号F）—表—6

試験番号	ゲージ番号	ひずみ (×10 ⁶)				応力 (kg/cm ²)
		1回目	2回目	3回目	平均	
No. 1	1	10	15	25	17	4
	2	55	55	50	53	13
	3	60	55	65	60	15
	4	(断線)	—	—	—	—
	5	25	30	30	28	7
	6	55	55	55	55	14
	7	55	50	50	52	13
	8	35	40	40	38	10
No. 2	9	20	20	15	18	5
	10	25	25	20	23	6
	11	25	35	35	32	8
	12	10	15	10	12	3
	13	45	45	35	42	11
	14	55	50	45	50	13
	15	35	30	25	30	8
	16	50	45	45	47	12
No. 3	17	65	60	70	65	16
	18	15	10	15	13	3
	19	80	85	95	87	22
	20	30	30	30	30	8
	21	10	15	25	17	4
	22	30	25	45	33	8
	23	55	50	60	55	14
	24	40	40	45	42	11

$E_{FRP} \text{ のヤング係数 } E = 2.5 \times 10^5 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$

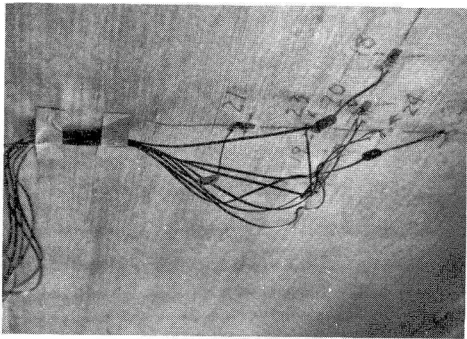


写真-9 No. 3 FRP貼付ゲージ

測定器、ゲージ：FRP施工前と同じ。

コーティング剤：横浜ゴム製ハマタイト。

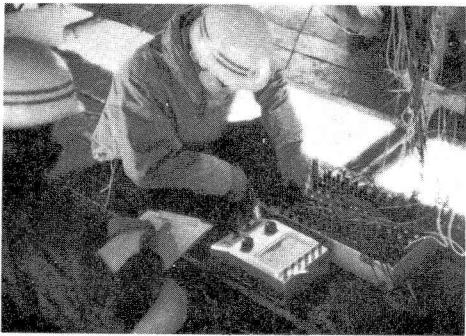


写真-10 測定状況

(3)測定結果

§ 7.測定結果の考察

施工前後の試験車重量に差が出たため、後輪重量の比率による補正（係数： $\frac{13.41}{14.80}$ ）を施工前の応力に対して行い、FRP補強前後の鉄筋応力の比較を行うと次の表および図の通りである。表-7および次の図-5から見て、FRP補強による応力の減少は、かなりのバラツキがあるけれども平均してNo. 1の場合30%、No. 2の場合44%、No. 3の場合32%、全体として35%である。主鉄筋と配力筋を比較した場合、応力の減少は配力筋の方が顕著である。

表-8 からわかるように、FRP 施工後の鉄筋と FRP 自身のひずみは、数点の例外を除いて、FRP の方が大きく、両者は一体となって荷重に抵抗していると考えられる。

測定の際 FRP に貼付したゲージは若干メーターの指針に流れがあり、溶着いてから読取るのに少し時間を要した。

レベルによるタワミの測定結果はいづれも 4 程度で、特に変化は認められなかった。

表-7 FRP 施工前後の比較

鉄筋応力 (kg/cm^2)

No	No1			No	No2			No	No3		
	前	後	減少 (%)		前	後	減少 (%)		前	後	減少 (%)
1	24	21	12	9	52	25	52	17	95	53	44
2	162	48	70	10	81	25	69	18	29	15	48
3	76	46	39	11	61	38	38	19	137	90	34
4	204	109	47	12	80	42	47	20	156	126	19
5	95	78	18	13	61	38	38	21	99	48	52
6	109	80	27	14	110	69	37	22	110	67	39
7	72	67	7	15	119	88	26	23	90	80	11
8	95	74	22	16	110	—	—	24	95	88	7

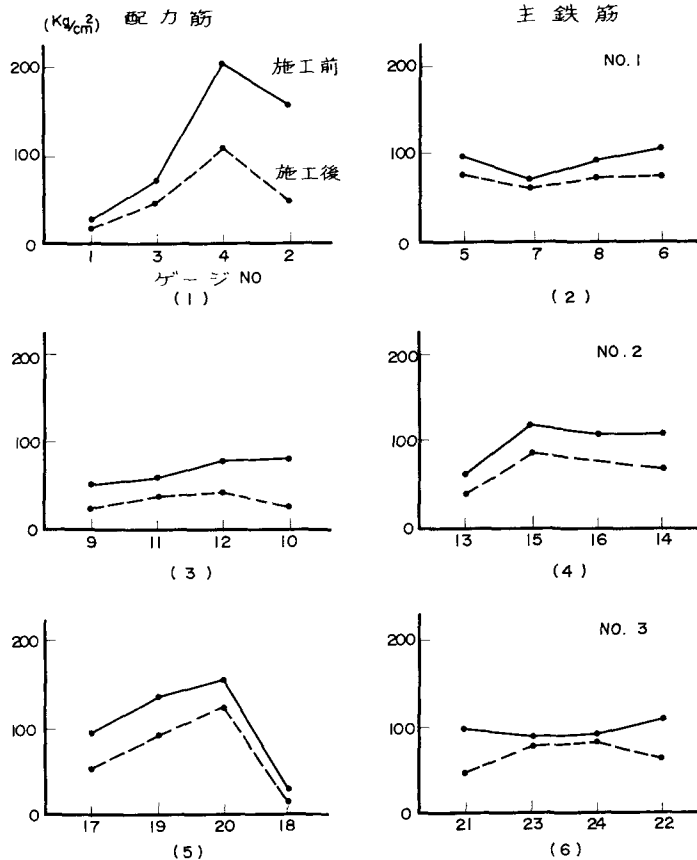
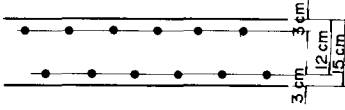


図-5 FRP 施工前後の応力比較

計算値との比較；

FRP 補強前の床版断面に対し、慣用計算による試験荷重載荷時の応力を求めると次の通りである。



12 mm ϕ 150 spacing

12 mm ϕ 150 spacing

支間； $l_x = 1.574 m$ 縦ゲタ中心間隔

$l_y = 5.000 m$ 床ゲタ中心間隔

試験荷重による曲げモーメント（単位幅当り）

$\ell = 1.574 m$ の連続版として計算すると

$P = 6,705 kg$

$$M = \frac{0.2 P \ell}{0.7 \ell + 1} = \frac{0.2 \times 6,705 \times 1.574}{0.7 \times 1.574 + 1}$$

$$= 1,004 kg-m$$

床版の応力

12 mm ϕ ； $A_s = 1.131 cm^2$, $W = 0.888 kg/m$

15 cm 間隔

$$A_s = \frac{1.131}{0.15} = 7.54 cm^2$$

$$A_s' = 7.54 cm^2$$

$$d = 12 cm$$

$$d' = 3 cm$$

$$n = 15$$

$$x = -\frac{n(A_s + A_s')}{b} + \sqrt{\left\{\frac{n(A_s + A_s')}{b}\right\}^2 + \frac{2n}{b}(dA_s + d'A_s')}$$

$$\frac{n(A_s + A_s')}{b} = \frac{15 \times (7.54 + 7.54)}{100}$$

$$= 2.262 cm$$

$$\frac{2n}{b}(dA_s + d'A_s') = \frac{2 \times 15}{100} \times (12 \times 7.54 + 3 \times 7.54)$$

$$= 33.93 cm^2$$

$$x = -2.262 + \sqrt{2.262^2 + 33.93}$$

$$= 3.987 \approx 4.0 cm$$

$$\sigma_c = \frac{M}{\frac{bx}{2}\left(d - \frac{x}{3}\right) + nA_s' \frac{x - d'}{x}(d - d')}$$

表-8 鉄筋とFRPのひずみ比較

(鉄筋)(FRP)

($\times 10^{-6}$)

N_a	R	F	N_a	R	F	N_a	R	F
1	10	17	9	12	18	17	25	65
2	23	53	10	12	23	18	7	13
3	22	60	11	18	32	19	43	87
4	52	—	12	20	12	20	60	30
5	37	28	13	18	42	21	23	17
6	38	55	14	33	50	22	32	33
7	32	52	15	42	30	23	38	55
8	35	38	16	—	47	24	42	42

$$\frac{b \cdot x}{2} \left(d - \frac{x}{3} \right) = \frac{100 \times 4}{2} \times \left(12 - \frac{4}{3} \right) \\ = 2133.3 \text{ cm}^2$$

$$n A_s' \cdot \frac{x-d'}{x} \left(d-d' \right) = 15 \times 7.54 \times \frac{4-3}{4} \times \left(12-3 \right) \\ = 254.5 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_c = \frac{100 \times 4 \times 0}{2133.3 + 254.5} = 4.2 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_t = n \sigma_c \times \frac{d-x}{x} = 15 \times 4.2 \times \frac{12-4}{4} \\ = 1260 \text{ kg/cm}^2$$

これに対し測定応力は大きいものでも 119 kg/cm^2 で、極めて小さいが、計算値はコンクリートの引張を無視した応力で、試験荷重程度の曲げモーメントに対しては、引張側のコンクリート断面がまだ有効に鉄筋と一体となって働いていると考えられる。従って実際には鉄筋にもコンクリートの引張程度の応力しか発生しておらず、クラックが中立軸近くに及んだ時はじめて慣用計算程度の応力に達するものである。

§ 8. まとめ

以上をまとめると次のようなことがあげられる。

- (1) FRP と鉄筋コンクリート床版は一体となって作用しており、補強は有効と認められる。
- (2) 補強の効果としては、床版の引張側鉄筋において応力が大体 30 % は減少している。
- (3) 慣用の計算値に比べ実測値は 10 % 程度で、コンクリートが引張になお抵抗している段階と考えられる。
- (4) ガラス繊維の方向による効果の差異は、これを推定できる程の結果は得られなかった。強いて言えば幅員方向のものが、試験の結果としては他の 2 つよりやや良好であった。
- (5) タワミの測定からは、変形に及ぼす影響は認められなかった。

以 上