

SF混入吹付けモルタル補修工法の長期補修効果の評価

瀬野 康弘* 大橋 潤一** 伊藤 正憲*

要約： コンクリートの中性化による劣化が顕著であったため、耐久性改善を目的として鋼繊維を混入した超速硬セメントモルタルを乾式吹付け工法（超速硬SF混入吹付け工法）でかぶりコンクリートを打替え補修した鉄道高架橋の18年経過後の補修効果の持続性について追跡調査を実施した。

補修効果の評価は、動的測定により得られた列車荷重と列車荷重により発生する鉄筋応力の関係を相関付け、応力係数を求めることにより行なった。その結果、列車荷重による鉄筋の応力負担低減効果（部材断面剛性の向上）が持続されていることが判明し、補修直後は言うまでもなく本工法による補修効果の長期持続性が確認できた。また、応力係数が増加していた部材については、簡易的な応力係数の予測を行なうとともに、応力係数による評価は、構造物の維持管理指標になり得ることを示した。

キーワード： 鉄道高架橋、補修、超速硬SF混入吹付け工法、維持管理、追跡調査、応力係数

目次：	1. はじめに	5. 追跡調査の結果
	2. 調査対象構造物の概要	6. 応力係数の予測
	3. 超速硬SF吹付け工法の概要	7. まとめ
	4. 追跡調査の方法	8. おわりに

1. はじめに

現在供用中の鉄道高架橋の中には昭和初期に建造され70年以上経過したものや、戦後間も無い建設資材不足の特殊な環境下で建設されたもの、高度経済成長期の最中に慌ただしく構築されたものなど多数存在しており、経年劣化の進行や、施工・材料不良に起因する耐久性の低下が顕著となっているものが少なくない。これらの構造物は直ちに破壊に至る危険性は少ないものの、劣化・変状に応じた対策を施し構造物の安全性の確保と延命化を図る必要があり、補修・補強工法の確立や、維持管理手法の確立が急務となってきている。

鉄筋コンクリート構造物の補修・補強工法の一つに鋼繊維を混入した超速硬セメントモルタルを乾式吹付け工法で施工する方法（以下、超速硬SF吹付け工法と呼ぶ）があり、鉄道高架橋を中心として多くの実績がある¹⁾。鉄道高架橋での補修直後の効果については既に報告されている^{2), 3)}が、補修後長期間経過した後の効果の持続性に関して追跡調査した例は、本工法を含めて少ないようである。

本報では、耐久性改善を目的として、超速硬SF吹付け工法によりかぶりコンクリートを打替え補修した鉄道高架橋の鉄筋応力係数の追跡調査結果を報告する。また、鉄筋の応力係数について簡易的な将来予測を行なった結果も併せて報告する。

2. 調査対象構造物の概要

追跡調査の対象とした高架橋は、戦後間も無い昭和25年に竣工し、昭和57年および平成10年に、超速硬SF吹付け工法により補修された構造物である。昭和57年の補修時の高架橋の状況は、経年劣化が著しく、中性化の進行、遊離石灰、剥離、鉄筋腐食などが多く見られた。これらの変状は、構造上の欠陥となるまでには至っていないが早急な対策が必要であると判断され、超速硬SF吹付け工法により、高架橋スラブおよび梁のかぶりコンクリートの大々的な打替え補修工事が行われた¹⁾。

平成10年に補修を実施したブロックは、それまで高架下のテナントの事情により未補修で残されていたが、耐震補強工事に伴いテナントが立ち退いたことから補修可能となった部分である。このブロックも先に補修したブロックと同様の変状が見られ、特に中性化深さは約75～90mmと鉄筋のかぶり(35～40mm)以上に達していた。

以後本文においては、昭和57年に補修した調査対象ブロックをB-S57、平成10年に補修した調査対象ブロックをB-H10と呼ぶ。

3. 超速硬SF吹付け工法の概要

超速硬SF吹付け工法の特長を以下に示す。

①吹付け工法の特徴により、梁・スラブ下面のような上向きの施工においても型枠なしで任意の厚さに施工でき、施工面と吹付け材料を密着させ、実用上十

分な付着強度が得られる。

- ②初期強度発現性に優れた超速硬セメントを使用することで、供用中の構造物、例えば列車通過中の鉄道高架橋などにおける施工も可能である。
- ③構造部材下縁の引張り部に鋼繊維を混入したモルタルを配置することにより、施工後には部材剛性の向上が期待できる。

超速硬 SF 吹付け工法の施工フローは、昭和 57 年時も平成 10 年時も同様である(図1参照)が、平成 10 年時の補修工事においては以下の 3 点を変更した。

- ①平成 10 年の工事範囲が昭和 57 年施工時に比べ狭いことから、コンパクトなミキサに変更した。
- ②硬化後の物性(曲げ強度、接着性、防水性)の改善を目的として、練混ぜ水を固形分濃度 25% のポリマーエマルジョンに置き換えた (P/C=11%)。
- ③細骨材は表面水管理が容易で配合のバラツキが少ないブレパック砂を使用し、吹付機の閉塞防止、粉塵発生量の低減、リバウンドの減少を期待した。

使用材料および使用機器を表 1 に示す。また、基層吹付け工に使用した SF 混入吹付けモルタルの配合を表 2 に、表層吹付け工に使用した吹付けモルタルの配合を表 3 に示す。なお、いずれのモルタルも設計基準強度は 24N/mm^2 (材齢 7 日)、吹付けモルタルと旧コンクリートとの目標付着強度は 0.5N/mm^2 (材齢 7 日) とした。

図 2 に施工断面を、また、B-H10 における吹付けモルタルの品質管理試験結果を表 4 に示す。

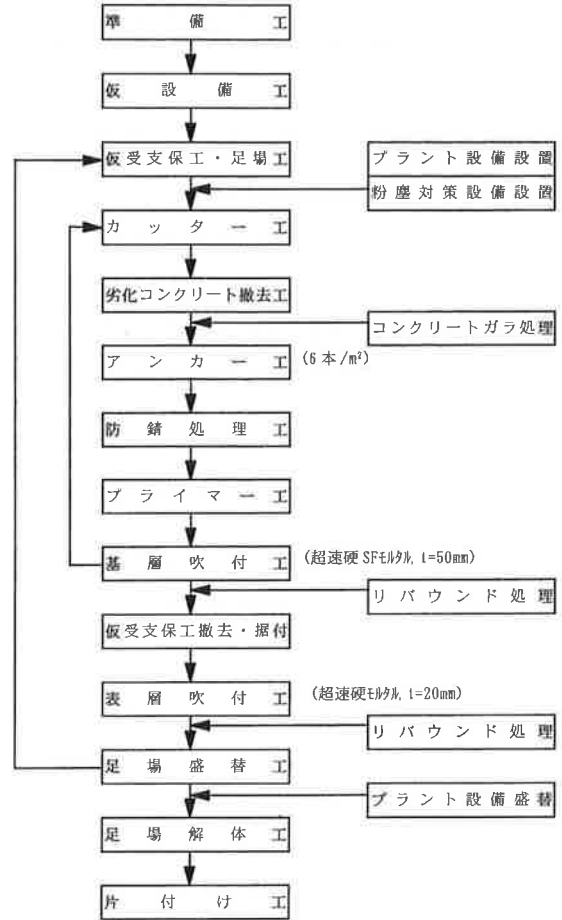


図1 施工フロー

4. 追跡調査の方法

追跡調査は、B-S57は補修直後、平成 10 年(補修 16 年

表1 使用材料および使用機器

補修時期		S57年	H10年
使用材料	セメント	超速硬セメント ($\rho=3.04$)	
	鋼繊維	波型せん断品 (0.25×0.5×25mm)	
	細骨材	鬼怒川産川砂 ($\rho=2.62$)	鹿島産川砂 (ブレパック) ($\rho=2.62$)
	ポリマー	使用せず	7クリエマシジョン ($\rho=1.00$)
使用機器	混練機	コンクリートモービル (連続ミキサ)	ショットミキサ (連続ミキサ)
	繊維投入機	ファイバーフィーダー	
	吹付機	リードガン	
	コンプレッサー	170HP	100HP

表2 基層吹付けモルタル配合表

補修時期	W/C (%)	単 位 量 (kg/m^3)				
		セメント	細骨材	水	ポリマー	鋼繊維
S57年	35	430	1830	150	—	80
H10年	34	510	1530	173	58	80

表3 表層吹付けモルタル配合表

補修時期	W/C (%)	単 位 量 (kg/m^3)				
		セメント	細骨材	水	ポリマー	鋼繊維
S57年	40	430	1800	172	—	—
H10年	34	518	1554	175	58	—

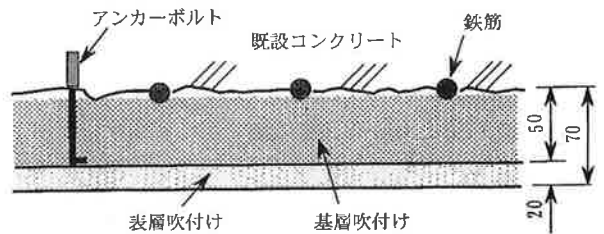


図2 施工断面図

表4 吹付けモルタル品質管理試験結果(B-H10)

試験項目	試験方法	試験対象	試験結果 (単位: N/mm^2)		備考	
			平均	標準偏差		
圧縮強度	JCI-SF3 JIS A 1108	超速硬SF ポリマーモルタル	1回目	37.6	38.2	
				36.7		
			2回目	40.2		
				32.8		
			2回目	35.4		34.1
				34.0		
付着強度	JIS A 6915	超速硬 ポリマーモルタル	1回目	1.10	1.60	母材+一部凝集破断
				1.90		母材+一部凝集破断
				1.80		母材+一部凝集破断
			2回目	0.38	0.59	母材破断
				0.71		母材破断
				0.69		母材破断

後) および平成12年(同18年後)の3回、B-H10については補修直後と補修2年後の平成12年の2回、鉄筋の動的応力測定を主として実施した。

動的応力の測定は、引張り鉄筋にひずみゲージを貼り付け(図3参照)、列車通過時の鉄筋ひずみを測定することにより行なった。測定時には、レールに輪重ゲージを貼り付け(図4参照)、事前にキャリブレーションを行い校正係数を求め、車輪重量を算出できるようにした。なお、昭和57年の補修時にも動的測定を補修前後で実施しているが、車輪重量は2両目先頭台車付近の乗車率を目視にて測定し、空車車輪重量に乗客による荷重(乗車率×定員×55 kgf/人)を加えて求めている¹⁾。鉄筋の応力は、動的測定結果の出力チャートより台車通過時に鉄筋に発生する最大引張りひずみを読み取り、測定値に鋼材の弾性係数200(kN/mm²)を乗じて求めた。

測定した鉄筋の位置は、B-S57については縦梁およびスラブ線路直角方向のスパン中央の2点(図5参照)、B-H10については縦梁、横梁、スラブの線路方向および線路直角方向のスパン中央の4点である(図6参照)。

5. 追跡調査の結果

5.1 外観調査および中性化深さ

平成12年の目視調査の結果、B-S57には、わずかではあるが、にじみ程度の漏水が見られた。しかし、ひび割れなどの変状は、補修後2年時の追跡調査²⁾から大きな変化は見られなかった。吹付けモルタルの中性化深さは20mm程度進行していたが、鉄筋には達しておらず鉄筋の

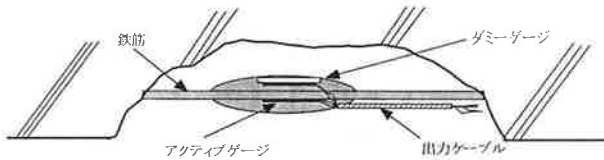


図3 鉄筋ゲージ設置要領

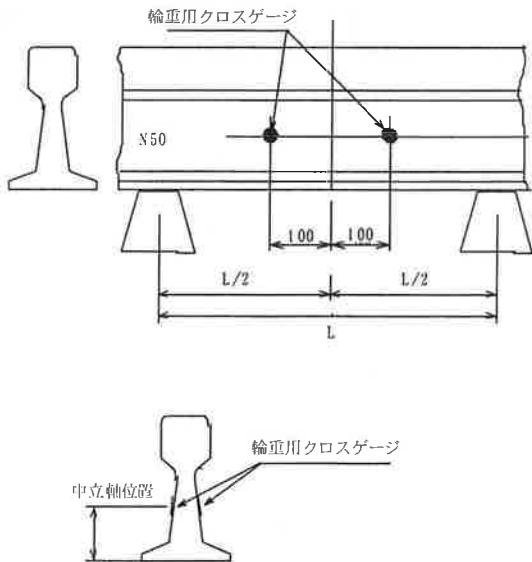


図4 輪重ゲージ設置要領

状態は補修時の状態が保たれていた。

B-H10に関しては変状は見られなかった。

5.2 鉄筋応力の動的測定

表5に測定結果をまとめて示す。表5によれば、台車重量の平均値はいずれの測定時においても20t前後とほぼ同一で、大きな違いは認められなかった。また、測定した鉄筋と軌道との位置関係にもよると思われるが、総じて線路直角方向鉄筋の発生応力が大きくなっていた。

図7は、B-S57の測定で得られた台車重量と各鉄筋に発生する引張り応力度の関係を示したものである。図には昭和57年時の調査結果を再整理して示すとともに台車重量Pを説明変数、列車通過時に各部材鉄筋に発生する応力σを目的変数として原点を通る直線(σ=α×P)で回帰した結果を合わせて示した。この回帰係数αを応力係数と定義する。したがって応力係数αは、台車重量1t当りにより発生する平均的な鉄筋応力に相当する。なお、測定データは、昭和57年の調査時と比較するため2両目先頭台車重量と同台車通過時に発生する鉄筋応力を用い

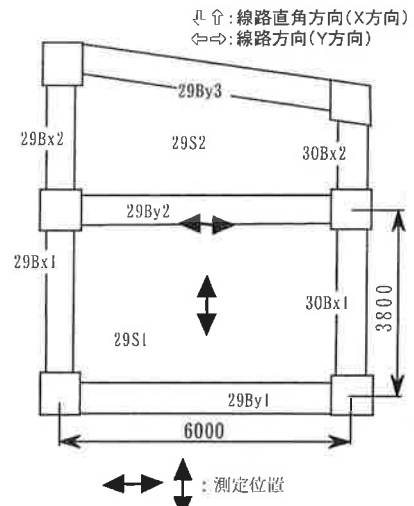


図5 B-S57鉄筋応力測定位置

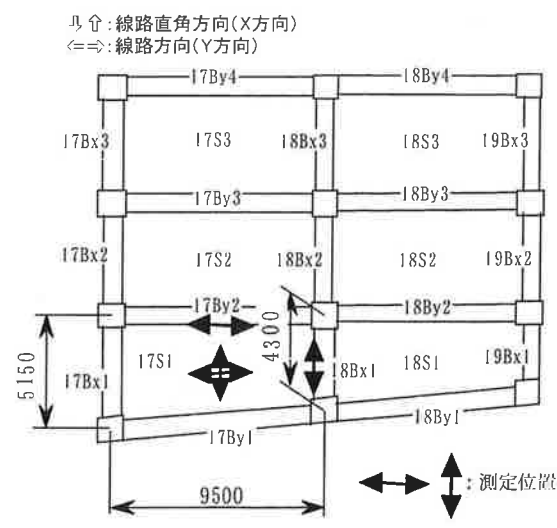


図6 B-H10鉄筋応力測定位置

ている(n=15~20)。

B-H10の測定結果で得られた台車重量と各鉄筋に発生する引張り応力の関係を図8に示す。測定結果の整理においては、輪重ゲージの測定結果から得られる台車重量を使用し、車輛1編成当りの輪重変動幅が大きい10列車分のデータ(n=10列車×8両×2台車=160)を用いている。

また、表6にB-S57の、表7にB-H10の応力係数の算出結果を整理して示す。

これらの図表より補修後の応力係数は現時点(平成12年)まで、補修前の値より小さくなっており、補修効果が持続していることがわかる。

しかし、B-S57については、縦梁・スラブX方向の両部材とも、平成12年の調査により得られた応力係数が、その前(平成10年)の測定結果より大きくなっていった。これは、鋼繊維の荷重負担による疲労などが考えられる。

B-H10については、スラブY方向部材の応力係数のみが大きくなっていった。これは、スラブの線路直角方向に目視では確認できないひび割れが発生したことにより、鉄筋の応力負担が増えたことが考えられる。

また、平成10年時に測定した時に貼り付けたゲージが生きていた(絶縁が保たれ、ゲージ抵抗も規定値を示した)ことから、平成12年時の測定においては、貼り付けてあったゲージをそのまま利用したが、その影響も考えられる。計測の方法が今後の課題である。

6. 応力係数の予測

H10年からH12年にかけて応力係数が増加した3つの部材の応力係数について将来予測を試みた。ただし、応力係数に関する報告例がほとんどなく、理論的な予測も現状では困難なため、ここでは式(1)に示すように、応力係数の年間増分を累積加算して行く簡易的な予測とした。

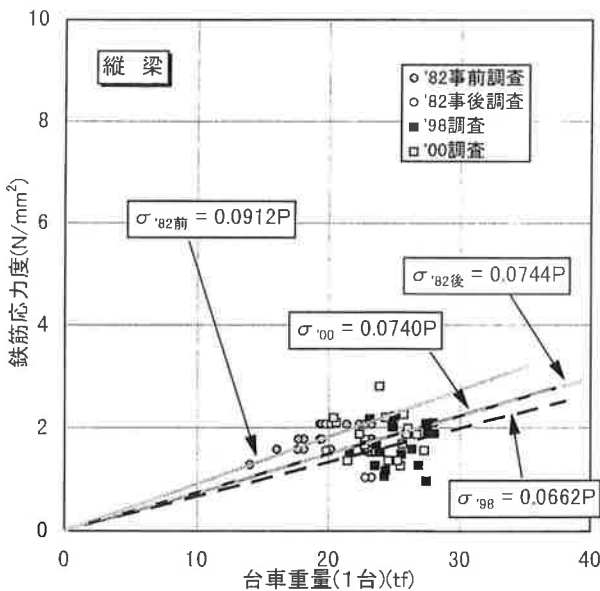


図7 台車重量と鉄筋応力の関係(B-S57)

表5 動的測定結果のまとめ

対象ブロック	測定年	測定項目	測定位置	最大値	最小値	平均値
B-S57	S57年 (補修前)	鉄筋応力 (N/mm ²)	縦梁(Y方向)	2.1	1.3	1.8
			スラブX方向	8.7	5.2	7.4
		台車重量(tf)	23.3	14.0	19.5	
	S57年 (補修直後)	鉄筋応力 (N/mm ²)	縦梁(Y方向)	2.1	1.0	1.7
			スラブX方向	4.1	1.5	3.2
		台車重量(tf)	23.3	19.4	22.1	
	H10年 (補修16年後)	鉄筋応力 (N/mm ²)	縦梁(Y方向)	3.7	0.3	1.6
			スラブX方向	6.8	2.7	4.6
		台車重量(tf)	29.6	15.1	21.4	
	H12年 (補修18年後)	鉄筋応力 (N/mm ²)	縦梁(Y方向)	3.4	0.7	2.1
			スラブX方向	8.6	4.2	6.2
		台車重量(tf)	27.2	16.1	21.5	
B-H10	H10年 (補修前)	鉄筋応力 (N/mm ²)	縦梁(X方向)	7.7	2.3	5.1
			縦梁(Y方向)	6.6	1.3	3.7
			スラブX方向	5.7	1.5	3.4
			スラブY方向	3.0	1.0	1.8
	台車重量(tf)	25.8	15.4	20.8		
	H10年 (補修直後)	鉄筋応力 (N/mm ²)	縦梁(X方向)	4.7	1.7	3.5
			縦梁(Y方向)	2.8	0.6	1.9
			スラブX方向	1.9	0.2	1.2
			スラブY方向	1.4	0.0	0.5
	台車重量(tf)	26.1	15.0	20.5		
	H12年 (補修2年後)	鉄筋応力 (N/mm ²)	縦梁(X方向)	4.8	1.6	3.4
			縦梁(Y方向)	3.0	0.8	1.9
スラブX方向			2.2	0.3	1.2	
スラブY方向			1.9	0.0	1.0	
台車重量(tf)	27.7	14.5	20.9			

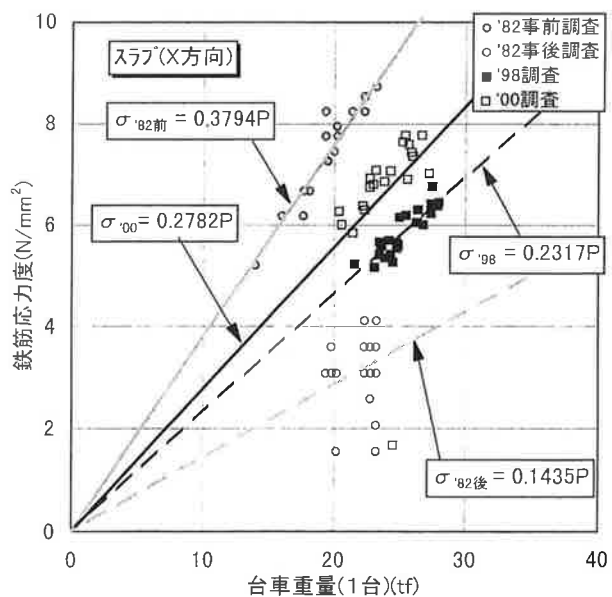
(注)台車重量は、S57年は、目視乗車率により、H10年およびH12年は、輪重ゲージより求めた。

表6 応力係数算出結果(B-S57)

部材	S57年(1982年)		H10年 (1998年)	H12年 (2000年)
	補修前	補修後		
縦梁(Y方向)	0.091	0.074	0.066	0.074
スラブX方向	0.379	0.144	0.232	0.278

表7 応力係数算出結果(B-H10)

部材	H10年(1998年)		H12年 (2000年)
	補修前	補修後	
縦梁(X方向)	0.247	0.169	0.159
縦梁(Y方向)	0.177	0.094	0.091
スラブX方向	0.163	0.060	0.059
スラブY方向	0.085	0.026	0.048



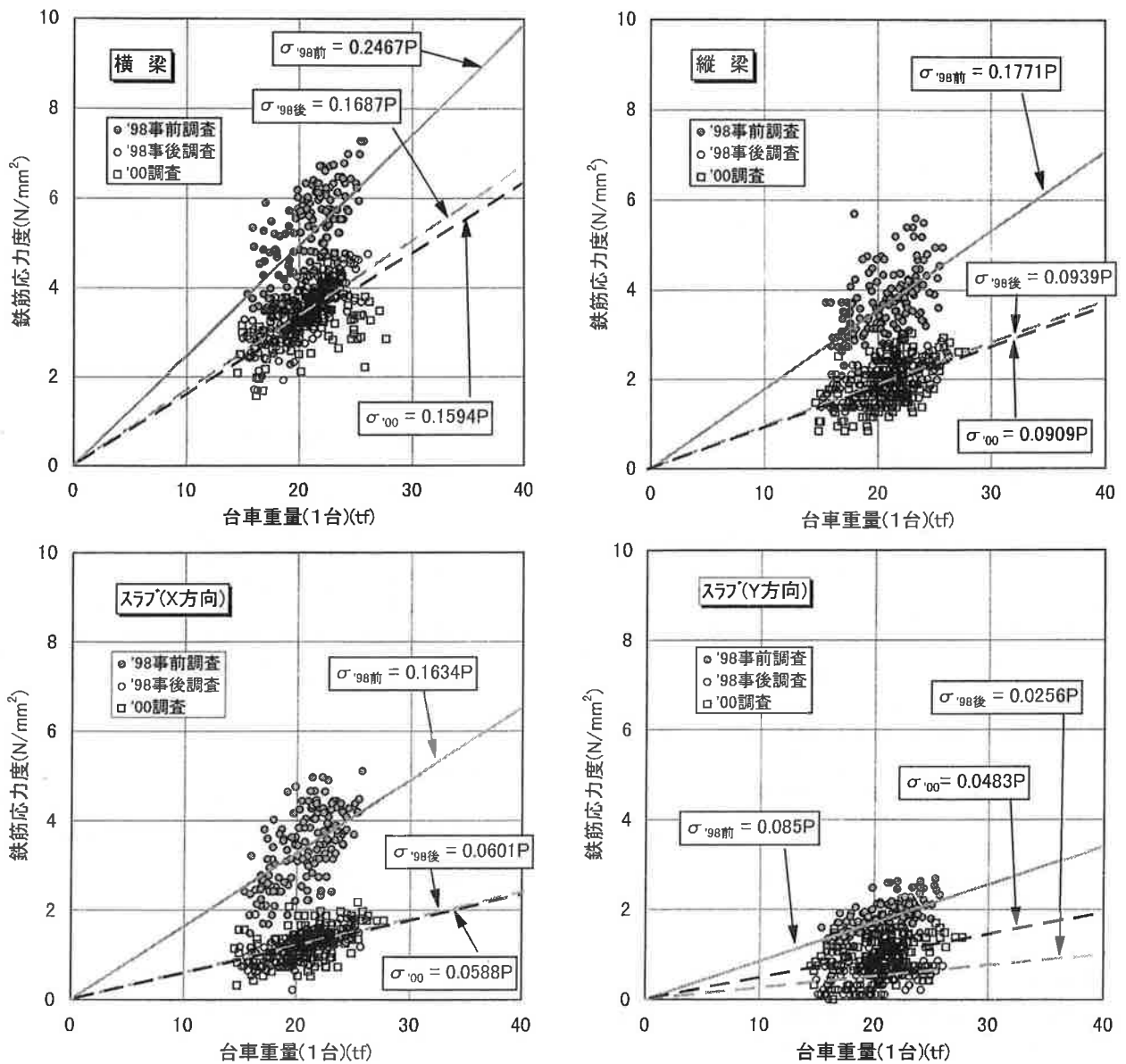


図8 台車重量と鉄筋応力の関係(B-H10)

なお、式中の割増し係数 Δ は、1.0、1.2、1.5、2.0とした。

$$\alpha_{i+1} = \Delta \times (\alpha_i - \alpha_{i-1}) + \alpha_i \quad (1)$$

ここに、 α_i : i年時の応力係数

α_{i-1} : i年の1年前(前年)の応力係数

α_{i+1} : i年の1年後(翌年)の応力係数

Δ : (応力係数の年間増加量に対する)
割増し係数

予測結果を図9および図10に示す。図中には予測の基本とした各部材の応力係数の年間増加量を合わせて示した。

また、維持管理の目的で、補修前の測定で得られた応力係数を各部材の管理基準値として、管理基準値を超え

る時期を整理した結果を表8に示す。外観状況から判断すると、本構造物の劣化状況は、潜伏期にあると判断されるが、応力係数に着目した場合、今の構造物の劣化進行過程がどの時期に当てはまるかが明らかではない。劣化の進展期を超えると性能が急激に低下することもあると予想される⁴⁾。したがって、表8の結果をも考慮し、2年以内に再度、応力係数の追跡調査を実施することとした。

7. まとめ

超速硬SF吹付け工法により補修した鉄道高架橋構造物の鉄筋の応力係数に着目した追跡調査を行なった。その結果、以下のことが確かめられた。

- ①鉄筋の応力係数は補修直前の状態を超えておらず、本工法の補修効果が18年の間持続している。

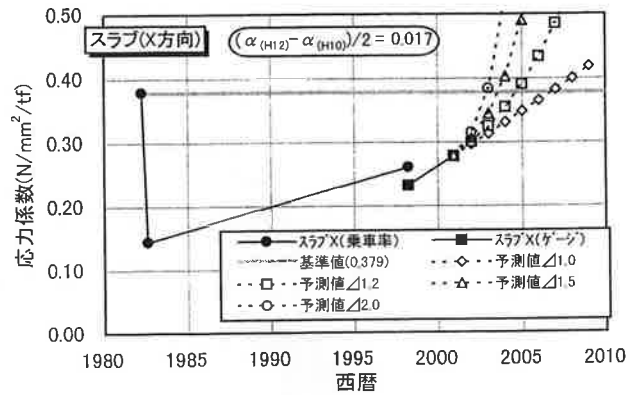
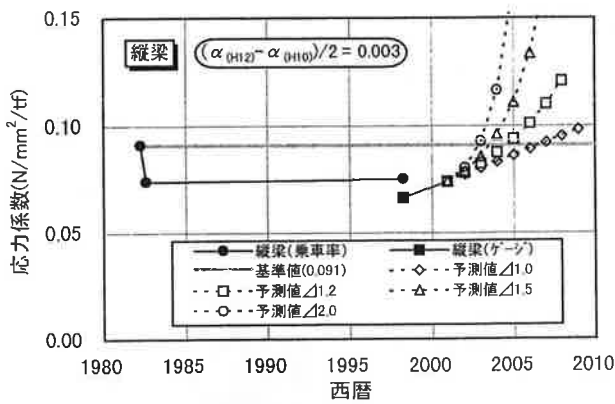


図9 応力係数の予測結果 (B-S57)

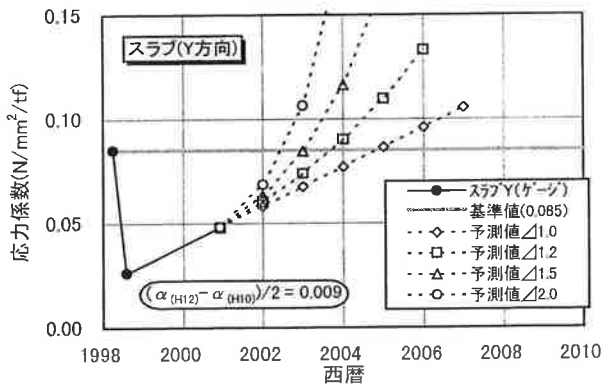


図10 応力係数の予測結果 (B-H10)

表8 応力係数予測結果のまとめ

割り増し 係数△	基準値を超える年(西暦)	
	B-S57縦梁、スラブX	B-H10スラブY方向
1.0	2006 ~ 2007	2004 ~ 2005
1.2	2004 ~ 2005	2003 ~ 2004
1.5	2003 ~ 2004	2002 ~ 2003
2.0	2002 ~ 2003	2002 ~ 2003

②応力係数を定期的に捕らえる手法は、構造物の新設時の性能の持続性や補修後の効果の持続性を監視する指標となり得る。

参考文献

- 1) 浅野昭一・西岡哲・峰松敏和：超速硬セメントと鋼繊維を用いた吹付けコンクリートによる緊急補修工事，コンクリート工学 Vol. 23, No. 2, pp. 28-35, 1985年2月
- 2) 峰松敏和ほか：超速硬セメントと鋼繊維を用いた吹付けモルタルの諸性状，第8回コンクリート工学年次講演会論文集，pp. 437-440, 1986年6月
- 3) 内田美生・峰松敏和・田中喜樹：超速硬セメントと鋼繊維を用いた吹付け工法，鉄筋腐食による損傷を受けたコンクリート構造物の補修技術に関するシンポジウム論文集，pp. 63-70, 1989年1月
- 4) 土木学会：コンクリート標準示方書[維持管理編]，2001年1月

THE EVALUATION OF THE LONG TERM REPAIR EFFECT BY SHOT-CRETING METHOD USING STEEL-FIBER AND JET-CEMENT

Y. Seno, J. Ohashi and M. Itou

The authors carried out the follow-up survey of the railway structure repaired by shot-creting method using steel-fiber and jet-cement to improving durability. Then the stress coefficients of reinforcing steels were investigated and forecasted.

As a results of follow-up survey, the re-bar stress coefficients value are keeping under the value before repair. And it was found that this monitoring method was an effective one to maintenance structures.