

3. 舗装ひびわれの応急補修工事とモニタリング

3.1 応急補修工の目的

当フォローアップ調査の結果に基づき、舗装の補修工事が実施される予定であるが、補修工事発注までの期間中も、既存アスファルト舗装の損傷は進行すると予測される。

このため、損傷の進行を抑える目的で、現在発生しているひび割れを充填する応急補修工事を実施するものとした。

3.2 補修用材料の選定

補修用材料は、アスファルトのように高熱で溶融するタイプである CMB 社の CETOKOL 200 を選定した。材料の仕様は以下の通りである。

- 針入度 (25°C) 25 ° C : 10 - 30 mm
- 軟化点 : > 95 ° C
- 流動抵抗値 : < 5% (60 ° C x 5 時間)
- 比重 : 1.1 - 1.2 kg / litter
- 引張試験 : Pass (3 cycles of 50% 25° C)
- 外観 (材料納品状況)



写真 3.2.1 注入材外観(納品時)



CETOKOL 200

Advanced system for joints highway bridges

Description :-

*Cetokol 200 joint is an advanced system for providing movement joints in highway bridges.

*Cetokol 200 joint is a combination of rubberised bitumen binder and carefully selected aggregate, the joint is constructed in situ using the hot process.

Advantages :-

*High flexibility and complete water tightness.

*High resistance to longitudinal, transversal and rotational movement.

*Provide a good riding surface without further treatment.

*It can be covered with the road surfacing materials.

*It can be easily and economically repaired or replaced in case of accidental damage without causing damage to the adjacent road surfacing.

*Longitudinal and transversal drainage tubes can be easily placed during joint construction.

Properties of Cetokol 200 :-

Cetokol 200 is rubberised bitumen binder which is mixed with specially selected single size hard aggregate to ensure high binder content and optimum combination of flexibility and load bearing capacity.

Cetokol 200 binder has the following properties :-

*Penetration 25 ° C - Cone : 10-30 dmm

*Softening point : > 95 ° C

*Flow resistance (plate) : < 5 %
60 ° C x 5 hours

*Specific gravity : 1.1 - 1.2 kg/Lit

*Extension test : pass
3 cycles of 50 % 25 ° C

كيمياويات	بناء الحديث	CHEMICALS FOR MODERN BUILDING
كمال مستلزمات وبهجت تصيف وتركاشما (ش.م.م.)		
القاهرة ٣١٩ شارع الاصمكت 3559888 - 35983888 (202) 5499843	القاهرة / ت / ٢٠٢٠٤١١٨ - ٢٠٢٠٢١١٧ - ٢٠٢٠٤١١٨ - ٢٠٢٠٤١١٨ القاهرة / ت / ٢٠٢٠٤١١٨ - ٢٠٢٠٢١١٧ - ٢٠٢٠٤١١٨ - ٢٠٢٠٤١١٨ 3559888 - 35983888 (202) 5499843	Gairo) 319 El Haram St. - Giza Tel.: (202) 35854084 - 35853017 - 35854118 Fax: (202) 3559888 - 35983888 Alexandria Branch : 88 Iskander Ibrahim St, Miami Tel: (203) 5483630 Fax: (203) 5499843 E.mail : cmb@cmhgypt.com

Tel: 011122211 | 1600 7000 | 4128PM Ft

Fax NO: 0228877228

0228877228

図 3.2.1 材料の仕様

3.3 補修工事の実施

舗装ひびわれの応急補修工事は次の順序で作業を実施した。

3.3.1 注入材（CETOKOL 200）の溶解



写真 3.3.1 溶解釜での注入材の溶解作業

3.3.2 クラック内部の清掃



写真 3.3.2 コンプレッサーを用いたクラック内部の清掃作業

3.3.3 クラックへの補修材の充填作業



写真 3.3.3 補修材の充填作業

3.3.4 補修材の充填後の表面処理



写真 3.3.4 補修材の充填後のセメントの散布作業

3.4 鋼床版上面の浸水状況のモニタリング装置の設置

3.4.1 目的

健全度調査において確認した舗装亀裂から雨水が浸水し、鋼床版上面に水分が進入している可能性が高いため、走行に支障がない箇所の舗装に調査孔を開け、直接、鋼床版上面の水の状態を目視で確認することを目的とする。

3.4.2 モニタリング装置構造

- 側帯側地覆から 100mm の位置の舗装に 110mm の孔を開口する
- 孔の開口時に鋼床版に傷をつけないようにする。
- 開口部の鋼床版上面をパワーツールでケレンし、防水シート貼り付け、または防水層塗布による防水処置を行う。
- 塩ビ管 VP100mm(外径:105mm、高さ 100mm)を設置する。
- 塩ビ管の下側に水抜き孔（半径 10mm の半円）を 8 個設ける。
- 塩ビ管の上側に雨水進入防止用の塩ビ材による蓋を取り付ける。蓋の取付方法はネジ方式またはそれに相当する構造とする。
- 舗装上面の塩ビ管周囲にシーリング材とガスケット材で防水し、開口部への雨水浸水を防止する。
- モニタリング装置概略図を以下に示す。

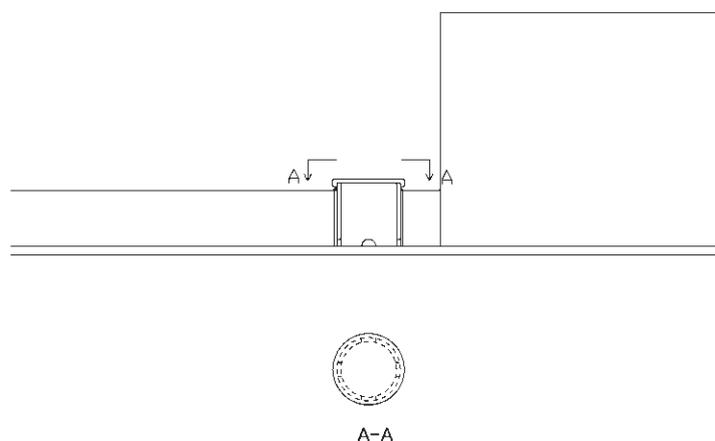


図 3.4.1 モニタリング装置の構造

3.4.3 モニタリング装置設置手順



写真 3.4.1 モニタリング装置の材料



写真 3.4.2 モニタリング孔（直径 110mm）の削孔

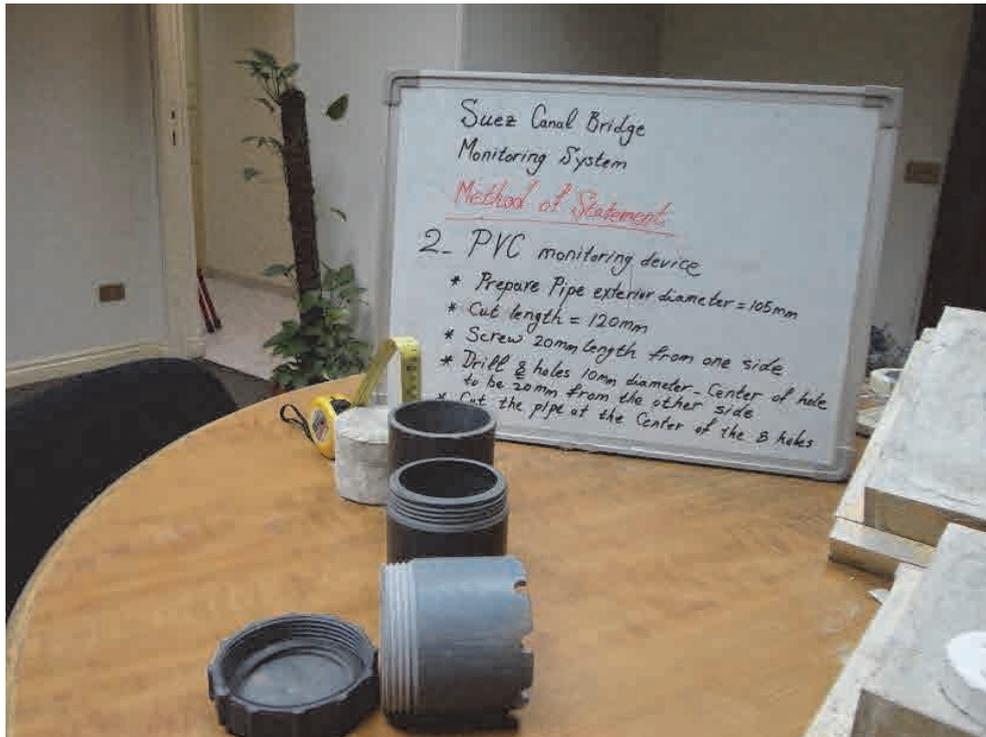


写真 3.4.3 PVC パイプ (直径 105mm)

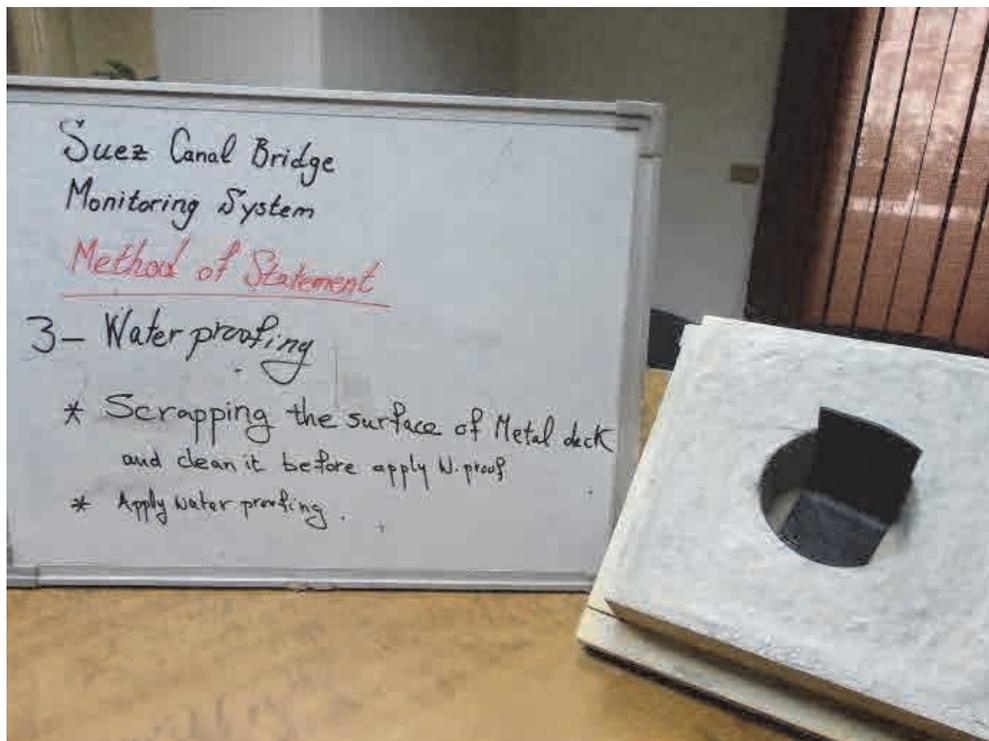


写真 3.4.4 防水シートを鋼床版上に設置

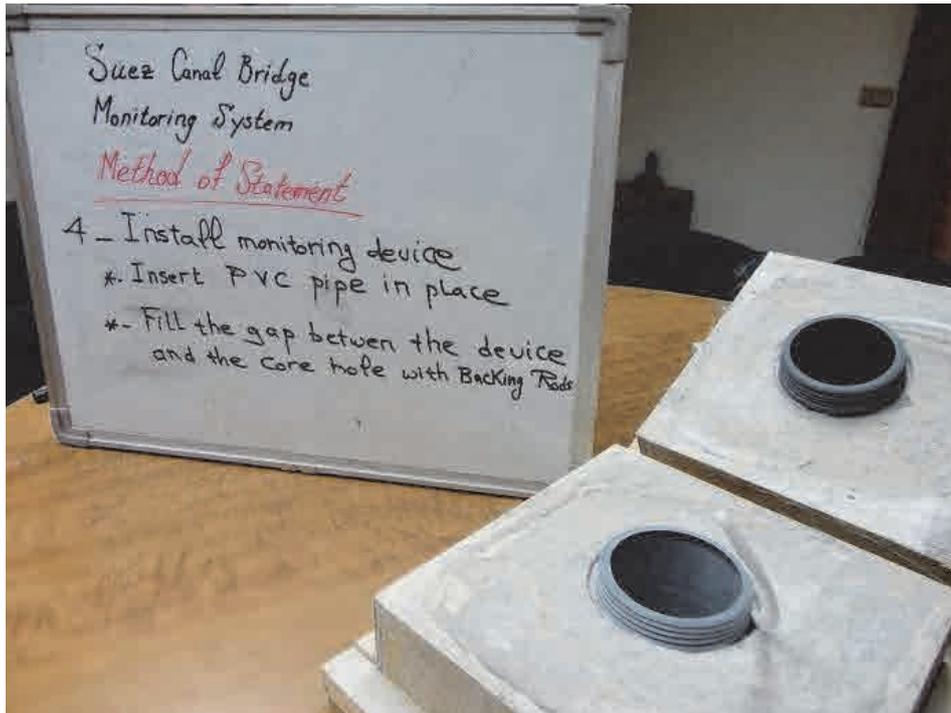


写真 3.4.5 シール材をパイプ外周上面に設置

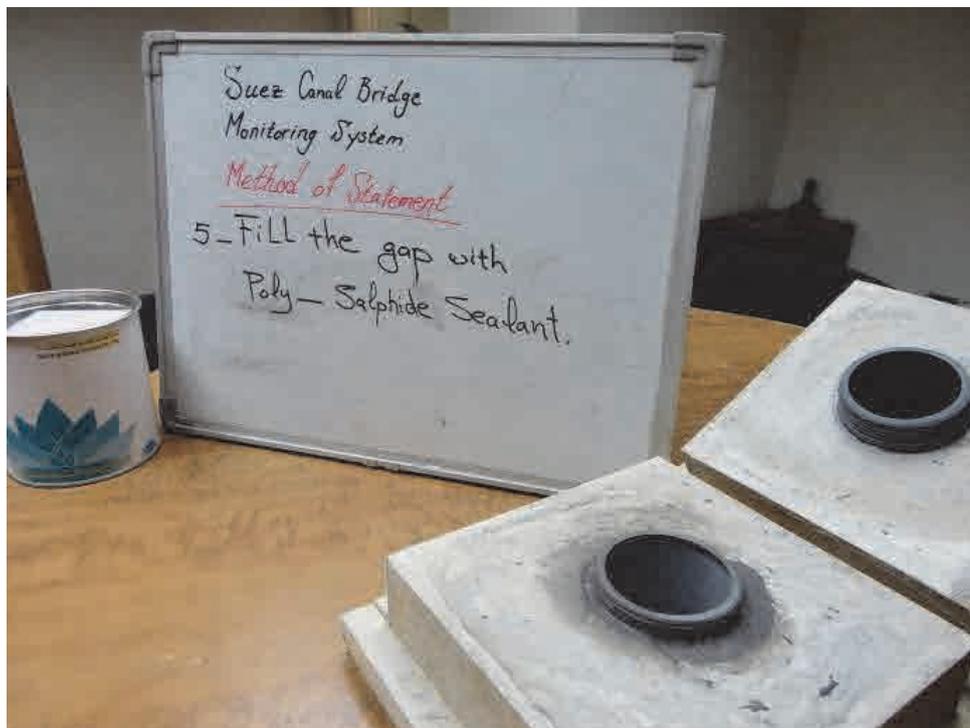


写真 3.4.6 充填剤を設置



写真 3.4.7 ネジ式キャップ

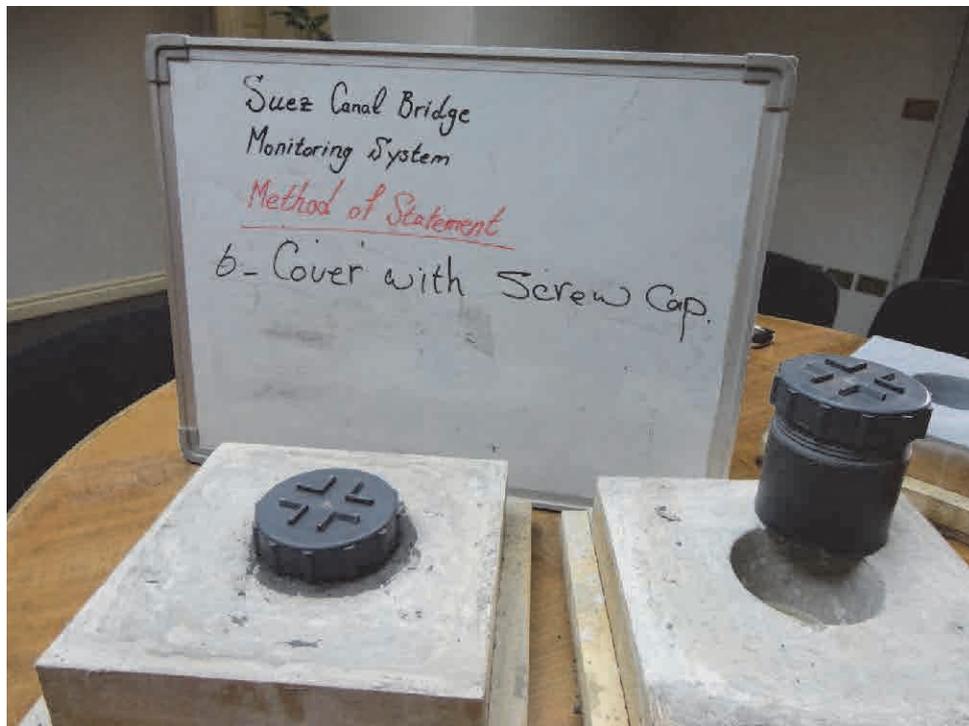


写真 3.4.8 ネジ式キャップの取り付け

3.4.4 モニタリング装置の設置箇所

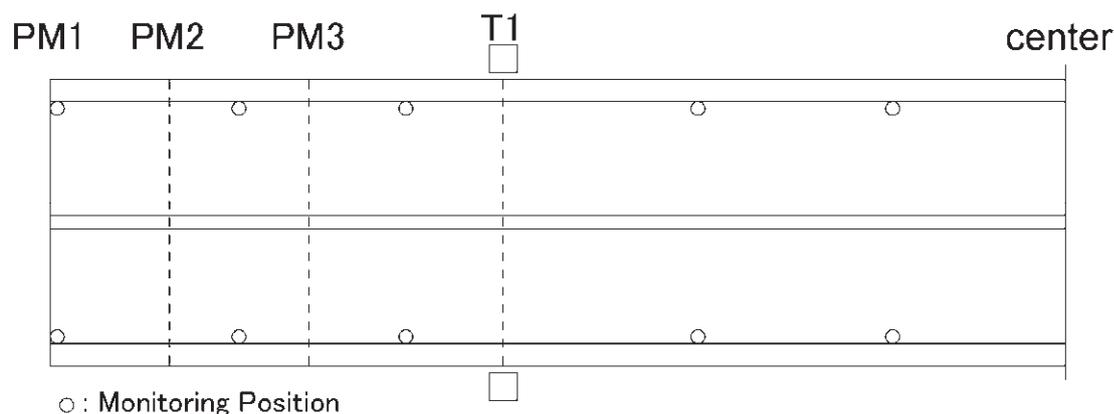


図 3.4.2 モニタリング装置の設置位置

3.4.5 鋼床版上面の浸水状況のモニタリング方法

舗装下面の鋼床版上面の浸水状況を確認するために、モニタリング装置設置段階で試行錯誤しながらモニタリング方法を決定し、通常のモニタリングを実施する

(1) モニタリング装置設置段階（設置から約2ヶ月間）

1) 降雨時

- 水分浸水状況の確認は目視により行い、降雨時から1時間毎に確認を行う。休日、夜間も続けて行う。
- 雨が止み、5時間、5回程度、確認を行い、水分の浸入が認められない時は確認を中止する。水分の浸水が続く場合は、引き続き、1時間毎に確認を行う。
- 水分浸水状況の確認は、指で触り、湿り気度合いの有無を確認する。
- 水分の流量が確認された場合は、水深を確認し、記録する。

2) 霧の発生時

- 冬などで霧が発生すると予測された場合は、休日、夜間も含めて、霧が発生する時間から1時間毎に水分の有無を確認する。
- 霧がなくなった時点から、5時間、5回程度、確認を行い、水分の浸水が認められない時は確認を中止する。
- 水分確認方法は降雨時と同じである。

3) 不降雨時

- 通常の晴天、曇天時では、午前 8 時から午後 2 時までの 1 時間後との 5 回、水分の浸入状況を確認する。
- 水分の浸水が続く場合には、引き続き、1 時間毎に、1 日、24 時間、確認を行う。

4) 水分浸水モニタリング方法の決定

上記の、降雨時、霧発生時、不降雨時の水分浸水確認作業の結果を踏まえて、モニタリングする方法、時間を決定する。

(2) 通常のモニタリング（3 ヶ月以降）

上記のモニタリング決定方法に従い、通常のモニタリング時の水分侵入の確認を行う。
現段階で想定されるモニタリング方法

- 通常の晴天、曇天時では、午前 8 時から午後 2 時までの 1 時間毎の 5 回、水分の浸入状況を確認する。水分の浸入が 5 日以上確認されない場合は、次の降雨時までモニタリングを中止して良い。
- 降雨時から 1 時間毎に水分の浸入状況を確認し、雨が止んで 5 時間、5 回程度、引き続き確認する。水分の浸入が認められない時は確認を中止する。
- 霧の発生時期も、降雨時に準じてモニタリングを行う。
-

3.4.6 本調査期間中のモニタリング結果

GARBLT は定期的にモニタリングを実施し、比較的まとまった降雨の後にモニタリング孔内で水分が認められるケースが有る、という報告がなされている。補修工事まで引き続きモニタリングを継続することをが確認されている。

4. 国内解析

4.1 舗装・鋼床版の健全度評価

4.1.1 舗装の健全度評価

(1) 舗装のひび割れ率の算定方法

はじめに現場で撮影した写真をつなぎ合わせ、50cm のメッシュを割り付ける。その 50cm メッシュに入っているひび割れの数を判読する。1 つの区域に 1 本だけひび割れがある場合はひび割れ面積を 0.15m^2 とし、2 本以上ひび割れがある場合はひび割れ面積を 0.25m^2 とし、ひび割れ率を求める。

$$\begin{aligned}\text{ひび割れ率 (\%)} &= \text{ひび割れ面積} / \text{調査面積} \times 100 \\ &= (0.15 \times N_1 + 0.25 \times N_2) / \text{調査面積} \times 100\end{aligned}$$

ここで

: ひび割れ面積 0.15m^2 の箇所数

: ひび割れ面積 0.25m^2 の箇所数

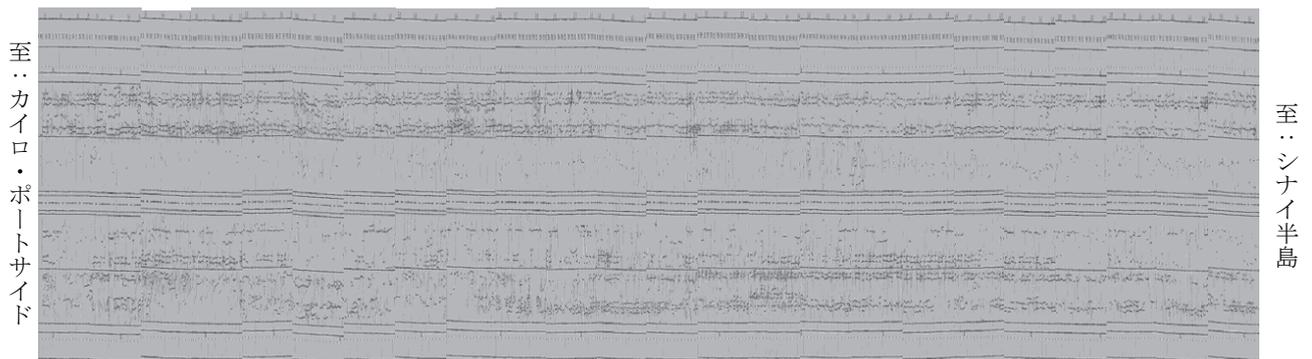


図 4.1.1 ひび割れ図（全体図）

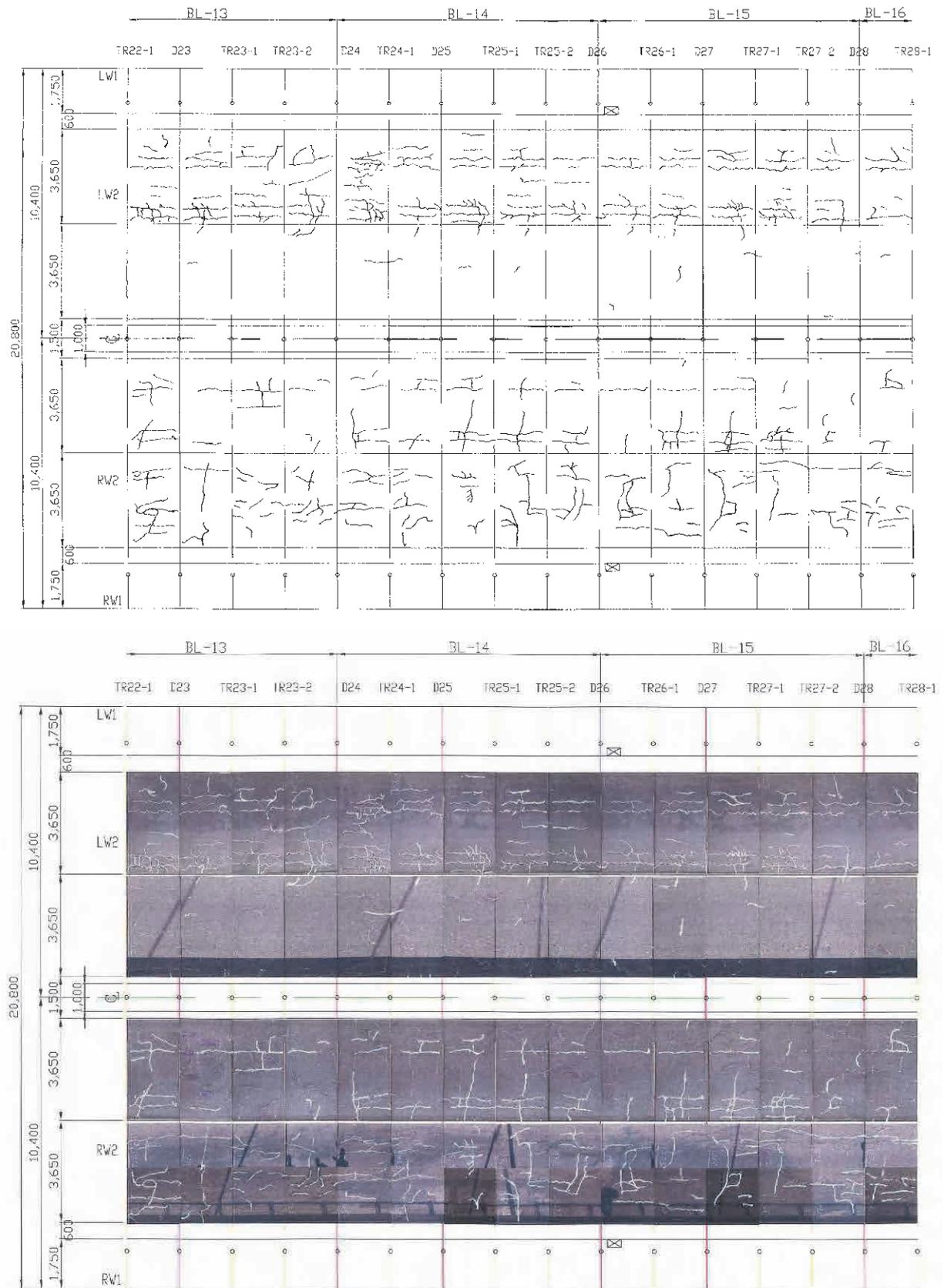


図 4.1.2 鋼床版舗装のひび割れの状況（抜粋）

表 4.1.1 舗装のひび割れ率

区域 (m2)	南側(箇所)				北側(箇所)				
	外側車線		内側車線		内側車線		外側車線		
	0.15m2	0.25m2	0.15m2	0.25m2	0.15m2	0.25m2	0.15m2	0.25m2	
BL01	21.00	34	16	24	12	9		25	26
BL02	35.00	38	6	32	6	8		48	45
BL03	35.00	43	7	8		12		62	28
BL04	35.00	41	21	27	5	14		50	38
BL05	35.00	34	27	27	23	10		42	32
BL06	35.00	48	29	33	20	7		28	47
BL07	35.00	38	44	34	35	8		29	57
BL08	35.00	33	30	49	33	12		34	40
BL09	35.00	30	29	49	19	4		38	49
BL10	35.00	32	10	36	17	8		30	56
BL11	35.00	26	4	45	18	7	3	36	52
BL12	35.00	31	8	40	26	8		27	60
BL13	35.00	47	27	40	16	8		42	39
BL14	35.00	32	27	45	19	9		37	40
BL15	35.00	39	22	34	14	12		27	40
BL16	35.00	50	16	16	2	21		39	54
BL17	35.00	54	25	20		6	2	62	31
BL18	35.00	58	27	18	2	10		59	51
BL19	35.00	46	16	25	6	7		67	37
BL20	35.00	42	16	39	5	3		51	34
BL21	35.00	17	3	36	5	7		45	32
BL22	35.00	44	15	33	7	28	3	34	40
BL23	35.00	45	14	47	24	33	1	35	37
BL24	35.00	16	4	26	3	20	3	28	96
BL25	35.00	44	23	37	8	5		42	65
BL26	35.00	54	36	31	6	7	1	36	80
BL27	35.00	49	33	31	15	17	1	37	34
BL28	35.00	33	39	35	8	15	2	33	67
BL29	35.00	39	19	19	28	13	1	38	39
BL30	35.00	36	29	32	14	17	4	44	39
BL31	35.00	48	47	37	29	11		39	44
BL32	35.00	36	54	44	38	20		48	32
BL33	35.00	45	37	34	17	27	1	41	32
BL34	35.00	25	31	20	8	10	2	27	27
BL35	35.00	44	54	30	9	17		53	30
BL36	35.00	50	38	34	23	19	8	35	53
BL37	35.00	30	48	28	15	25	12	31	39
BL38	35.00	31	43	35	14	12	3	29	44
BL39	35.00	33	52	28	9	8	1	32	42
BL40	35.00	31	76	38	18	15		48	32
BL41	35.00	20	79	26	24	21	7	37	39
BL42	35.00	45	38	51	12	23	7	38	33
BL43	35.00	41	28	24	9	28	4	53	20
BL44	35.00	39	45	51	19	41	12	37	28
BL45	35.00	39	35	25	26	31	6	32	17
BL46	35.00	33	25	27	31	12	2	45	13
BL47	35.00	45	31	25	26	12	6	30	26
BL48	35.00	43	24	24	29	11		32	21
BL49	35.00	24	25	32	20	15	2	28	33
BL50	35.00	61	17	28	15	16	3	38	52
BL51	35.00	41	26	14		8		36	26
BL52	35.00	45	34	38	16		1	42	29
BL53	35.00	58	10	33	11	14	2	37	10
BL54	35.00	47	22	28	19	13	4	52	20
BL55	35.00	44	17	24	8	13	1	40	25
BL56	35.00	36	12	7	4	10	1	47	16
BL57	35.00	40	15	12		6		37	23
BL58	35.00	31	14	19	6	5	1	19	3
BL59	35.00	33	32	29	8	11	1	44	10
BL60	35.00	37	15	26	4	14	2	41	16
BL61	35.00	25	17	24	8	11		45	14
BL62	35.00	28	24	20	10	12		45	18
BL63	35.00	33	15	17	1	10		47	12
BL64	35.00	47	19	14	3	12	1	39	35
BL65	35.00	40	22	19		11	1	38	20
BL66	35.00	37	38	14		10	1	39	32
BL67	21.00	26	22	14		12		27	28
合計	2,317.00	2,584	1,803	1,961	885	903	113	2,633	2,379
ひび割れ面積ごとの合計 (m2)		387.60	450.75	294.15	221.25	135.45	28.25	394.95	594.75
各車線のひび割れ面積 (m2)			838.35		515.40		163.70		989.70
車線ごとのひび割れ率 (%)			36.18		22.24		7.07		42.71
全体のひび割れ率 (%)					27.05				

(2) 舗装の健全度評価方法

舗装の健全度評価は日本の維持管理指数（Maintenance Control Index : MCI）を用いて計算する。算出した MCI の値から健全度を評価する。

$$MCI_0 = 10 - 1.48C^{0.3} - 0.29D^{0.7} - 0.47\sigma^{0.2}$$

$$MCI_1 = 10 - 1.51C^{0.3} - 0.30D^{0.7}$$

$$MCI_2 = 10 - 2.23C^{0.3}$$

$$MCI_3 = 10 - 0.54D^{0.7}$$

C : ひび割れ率(%) : 表 4.1.1 参照

D : わだち掘れ量(mm) : なし

σ : 平坦性(mm) : 2 mm

MCI は、上記の計算式の最小値を MCI 値とする。

2. 健全度と MCI の関係

舗装の健全度と MCI の関係を以下に示す。

表 4.1.2 舗装の健全度と MCI の関係

健全度ランク	路面の状況	MCI
A	舗装が新しく望ましい状況	$6 < MCI$
B	舗装は新しくないが望ましい状況	$5 < MCI \leq 6$
C	一部損傷がある状況	$4 < MCI \leq 5$
D	損傷がある程度進んだ状況	$3 < MCI \leq 4$
E	損傷が著しい状況	$MCI \leq 3$

表 4.1.3 路線ごとの舗装の健全度

	計算式	南側		北側		平均
		外側車線	内側車線	内側車線	外側車線	
	C:ひび割れ率(%)	36.18	22.24	7.07	42.71	27.05
	D:わだち掘れ(mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	σ :平坦性(mm)	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
	$MCI_0 = 10 - 1.48C^{0.3} - 0.29D^{0.7} - 0.47\sigma^{0.2}$	5.12	5.71	6.80	4.90	5.48
	$MCI_1 = 10 - 1.51C^{0.3} - 0.30D^{0.7}$	5.57	6.17	7.29	5.34	5.94
	$MCI_2 = 10 - 2.23C^{0.3}$	3.46	4.35	5.99	3.12	4.00
	$MCI_3 = 10 - 0.54D^{0.7}$	-	-	-	-	-
	MCI値	3.46	4.35	5.99	3.12	4.00
	舗装の健全度	D	C	B	D	D

(3) 舗装の健全度の評価結果

- 全体の健全度はDであった。
- 南北両方の Out-side lane の健全度は $MCI=3.12\sim 4.46$ でDランクである。しかし、車のタイヤ跡に集中してひび割れが亀甲状に発生し鋼床版まで到達していることから、走行車線全面積で除して求めるMCIによる評価以上に悪い状況であり健全度Eに該当する。
- 南側 In-side lane は $MCI=4.35$ で健全度Cである。車のタイヤ跡とダイヤフラム間に起終点を除く全体に深いひび割れが発生していることがひび割れ図から読み取ることができる。このことから損傷がある程度進んでいるため健全度はDに該当する。
- 北側 In-side lane は $MCI=5.99$ で健全度Bである。BL37とBL42の区間にダイヤフラム間に大きなひび割れが発生していることがひび割れ図から読み取ることができる。よって一部損傷がある状況に該当し健全度Cに該当する。

4.1.2 鋼床版の健全度評価

鋼床版の健全性の評価を以下に示す。

(1) 鋼床版上面調査

- 接着層の下側にも水分が侵入し、全ての舗装開削位置でデッキプレート上面は腐食していた。
- 腐食の進行を抑えるために、最初にショットブラストでデッキプレート上面の錆を除去し、防水層とともに全面的に新しい舗装を打ち換える必要がある。

(2) デッキプレート板厚調査

- L2の腐食領域の板厚減少平均値は0.5mmで、5箇所の開削位置で最大であった。デッキプレート上面には腐食による小さな窪みが存在したが、板厚測定からは除外された。
- 腐食による板厚の減少は構造の観点から現時点では大きな問題にはならないが、このまま放置すれば、デッキプレート上面から疲労亀裂を誘発する可能性や、鋼床版の変形性能に影響を及ぼす可能性が高まる。

(3) 目視調査

- 舗装開削位置直下の詳細点検範囲と鋼床版 U-rib No. 7, 8 の両方で鋼材の疲労亀裂は検出されなかった。
- 品質不良の疲労が発生しやすい詳細構造や溶接部が数箇所で見えられた。

(4) 磁粉探傷調査

- 疲労亀裂の疑いのある塗装塗膜亀裂を磁粉探傷で調査したが、塗装塗膜亀裂だけや溶接不良のみで、疲労亀裂は検出されなかった。
- 選定された近接調査部位の経過年数は10年であり、疲労亀裂は発見されなかった。
- 現時点では本橋は疲労亀裂発生リスクは小さいと言える。
- しかし、定期的な点検により、疲労亀裂の発生しやすい部位を検査することを推奨する。

(5) 超音波探傷調査

- 超音波探傷の利用により、デッキプレートを貫通するような亀裂を検出することは可能である。
- 調査の結果、疲労亀裂は検出されなかった。
- デッキプレート上面の腐食を示す反射エコーが観測された。
- 調査箇所中の幾つかの U-rib に平行して超音波探傷を適用することによって、デッキプレート上面の2次元腐食分布が得られる。

(6) リブ内堆積物調査

- 点検用ハンマーによる打音を確認した結果、U-rib 内に堆積物はなく、デッキプレートに貫通亀裂はないと推定された。

(7) 鋼床版内温度測定

- 年間で最低気温を示す12月に測定した箱桁の内外の温度は12°Cから22°Cで、温度差はほとんどなく、箱桁内の相対湿度も23%以下であることから、桁内で結露が発生する可能性はない。
- 2011年に測定された箱桁内の相対湿度最大は51%で、錆の発生の目安とされる60%以下で、箱桁内の腐食が進行する可能性はない。

(8) 軸重制限調査

- 重車両の選定はGARBLT 職員の判断で実施されていたが、軸重制限を超過する重車両を検出には熟練している。
- GARBLT 職員に面接を行った結果、最近では軸重制限超過車両の通行はない状態が続いている。ここでの軸重点検は長期間に渡って実施されている。（重車両は運河を横断するフェリーを利用している。）
- 大型車の通行料金は10LE（ポンド）で、これが過積載の車両が通行しない理由と思われる。
- X線スキャナー装置の導入後、軸重制限の検査はより効率的になるとと思われる。

(9) 鋼床版の健全度評価

- 舗装が開削されたデッキプレート上面には腐食が検出された。
- デッキプレートの最大減少板厚は 0.5mm であった。（設計板厚 12.0mm に対して板厚は 11.5mm を示す。）
- 磁粉探傷調査、超音波探傷調査を実施した結果、鋼床版に疲労亀裂は検出されなかった。
- 腐食による板厚の減少は構造の観点から現時点では大きな問題にはならないが、このまま放置すれば、デッキプレート上面から疲労亀裂を誘発する可能性や、鋼床版の変形性能に影響を及ぼす可能性が高まる。
- デッキプレートの板厚が 12.0mm、11.5mm、11.0mm の場合の、縦リブの設計応力を表 4.1.4 に示す。デッキプレートの板厚が 11.0mm になった場合でも、応力変動は 1%未満で問題なく、許容応力度 $\sigma_a=1400\text{kg/cm}^2$ に対しても十分余裕がある。

表 4.1.4 デッキプレート板厚別の縦リブ設計応力の比較 $\sigma:\text{kg/cm}^2$

デッキプレート板厚	t=12.0mm	t=11.5mm	t=11.0mm
曲げモーメント Mmax	$\sigma= 1097 (1.000)$	$\sigma= 1102 (1.005)$	$\sigma= 1106 (1.008)$
曲げモーメント Mmin	$\sigma= -1134 (1.000)$	$\sigma= -1139 (1.004)$	$\sigma= -1144 (1.009)$

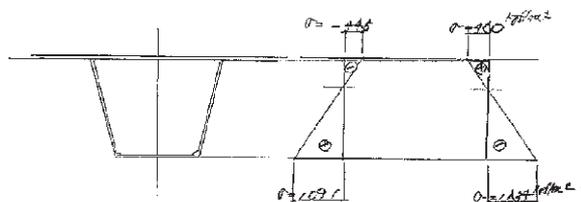
1. Thickness of Deck Plate = 12mm

U-RIB : Modulus of Section

SECTION	A (cm^2)	Y (cm)	A x Y (cm^3)	A x Y ² +I ₀ (cm^4)
1-Deck 456 x 12	54.72	15.74	861	13563
1-U RIB 320 x 240 x 6-40	40.26	-	-	2460

$$A= 94.98 \text{ cm}^2$$

$$I_r= 8209 \text{ cm}^4$$



$$\delta = 9.07 \text{ cm}$$

$$YU = -7.27 \text{ cm}$$

$$YL = 17.93 \text{ cm}$$

$$ZU = -1129 \text{ cm}^3$$

$$ZL = 458 \text{ cm}^3$$

Stress check of U-RIB

(1) Stress check for Mmax

$$\sigma_U = 502300 / ZU = -445 \text{ kgf/cm}^2 < \sigma_{ca} = -1400 \text{ kgf/cm}^2 : \text{OK}$$

$$\sigma_L = 502300 / ZL = 1097 \text{ kgf/cm}^2 < \sigma_{ta} = 1400 \text{ kgf/cm}^2 : \text{OK}$$

(2) Stress check for Mmin

$$\sigma_U = -519400 / ZU = 460 \text{ kgf/cm}^2 < \sigma_{ta} = 1400 \text{ kgf/cm}^2 : \text{OK}$$

$$\sigma_L = -519400 / ZL = -1134 \text{ kgf/cm}^2 < \sigma_{ca} = -1400 \text{ kgf/cm}^2 : \text{OK}$$

2. Thickness of Deck Plate = 11.5mm

U-RIB : Modulus of Section

SECTION		A (cm ²)	Y (cm)	A x Y (cm ³)	A x Y ² +I ₀ (cm ⁴)
1-Deck	456 x 11.5	52.44	15.715	824	12956
1-U RIB	320 x 240 x 6-40	40.26	-	-	2460
A=		92.7 cm ²		824	15416
					-7326
δ =		8.89 cm		Ir=	8090 cm ⁴
YU=		-7.4 cm			
YL=		17.75 cm			
ZU=		-1093 cm ³			
ZL=		456 cm ³			

Stress check of U-RIB

(1) Stress check for Mmax

$$\sigma_U = 502300 / Z_U = -460 \text{ kgf/cm}^2 < \sigma_{ca} = -1400 \text{ kgf/cm}^2 : \text{OK}$$

$$\sigma_L = 502300 / Z_L = 1102 \text{ kgf/cm}^2 < \sigma_{ta} = 1400 \text{ kgf/cm}^2 : \text{OK}$$

(2) Stress check for Mmin

$$\sigma_U = -519400 / Z_U = 475 \text{ kgf/cm}^2 < \sigma_{ta} = 1400 \text{ kgf/cm}^2 : \text{OK}$$

$$\sigma_L = -519400 / Z_L = -1139 \text{ kgf/cm}^2 < \sigma_{ca} = -1400 \text{ kgf/cm}^2 : \text{OK}$$

3. Thickness of Deck Plate = 11mm

U-RIB : Modulus of Section

SECTION		A (cm ²)	Y (cm)	A x Y (cm ³)	A x Y ² +I ₀ (cm ⁴)
1-Deck	456 x 11	50.16	15.69	787	12353
1-U RIB	320 x 240 x 6-40	40.26	-	-	2460
A=		90.42 cm ²		787	14813
					-6844
δ =		8.7 cm		Ir=	7969 cm ⁴
YU=		-7.54 cm			
YL=		17.56 cm			
ZU=		-1057 cm ³			
ZL=		454 cm ³			

Stress check of U-RIB

(1) Stress check for Mmax

$$\sigma_U = 502300 / Z_U = -475 \text{ kgf/cm}^2 < \sigma_{ca} = -1400 \text{ kgf/cm}^2 : \text{OK}$$

$$\sigma_L = 502300 / Z_L = 1106 \text{ kgf/cm}^2 < \sigma_{ta} = 1400 \text{ kgf/cm}^2 : \text{OK}$$

(2) Stress check for Mmin

$$\sigma_U = -519400 / Z_U = 491 \text{ kgf/cm}^2 < \sigma_{ta} = 1400 \text{ kgf/cm}^2 : \text{OK}$$

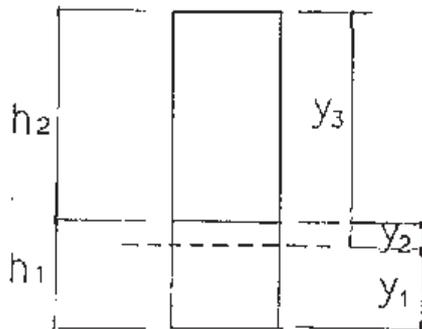
$$\sigma_L = -519400 / Z_L = -1144 \text{ kgf/cm}^2 < \sigma_{ca} = -1400 \text{ kgf/cm}^2 : \text{OK}$$

-
-
-

- デッキプレートの板厚が 12.0mm、11.5mm、11.0mm の場合の、デッキプレートと舗装とが完全合成状態の断面 2 次モーメントを表 4.1.5 に示す。この断面 2 次モーメントは輪荷重が作用した場合のデッキプレートと舗装の変形性能を示すもので、デッキプレート板厚が減厚されると、この断面 2 次モーメントも低下する。しかし、デッキプレート板厚が 11.0mm になった場合でも 3.6% の低減で、その変形性能に与える影響は少ないと判断される。デッキプレート板厚のこれ以上の減厚は避けるべきである。

表 4.1.5 デッキプレートと舗装との断面 2 次モーメントの比較（完全合成状態）

デッキプレート板厚 : h_1	12.0mm	11.5mm	11.0mm
デッキプレート弾性係数 : E_1	2100000kg/cm ²	2100000kg/cm ²	2100000kg/cm ²
舗装の厚さ : h_2	80.0mm	80.0mm	80.0mm
舗装弾性係数 : E_2	20000kg/cm ²	20000kg/cm ²	20000kg/cm ²
デッキプレートと舗装の合成断面 2 次モーメント（完全合成） : I	2.0663cm ⁴ /cm (1.000)	2.0287cm ⁴ /cm (0.982)	1.9924cm ⁴ /cm (0.964)



$$I = \frac{1}{3} \{ h_1 y_1^2 + n h_2 y_3^2 \}$$

$$y_1 = \frac{1}{m h_1 + h_2} \left\{ \frac{m h_1^2}{2} + h_2 \left(h_1 + \frac{h_2}{2} \right) \right\}$$

$$y_3 = h_1 + h_2 - y_1$$

$$n = E_2 / E_1$$

$$m = 1/n$$

(10) 補修施工時の構造系の安定について

- 舗装補修施工は既存の舗装を完全に撤去し、再舗装を行うが、舗装死荷重は 2.999t/m で全体の主桁死荷重強度 18.152t/m の 16.5% に相当する。主桁設計死荷重強度を表 4.1.6 に示す。舗装補修施工時に舗装を全て撤去しても、斜張橋施工時の主桁閉合後の状態を再現するだけで、橋体の構造的な問題はない。舗装死荷重を撤去した場合の主桁の変形量とケーブル張力の変動を以下に示すが、全く問題ないと言える。

表 4.1.6 主桁設計死荷重強度

項目	死荷重強度 (t/m/Br.)
舗装	$2 \times 8.15 \times 0.08 \times 2.3 = 2.999 (0.165)$
地覆、防護柵等	3.973
検査車レール	0.200
鋼製主桁	10.380
フェンダー	0.600
合計	18.152 (1.000)

Case-1: 片側の舗装を撤去した場合

- 橋面の南側の幅員 8.15m の舗装を撤去した場合、死荷重強度は $2.999/2=1.500$ t/m 減少する。この場合の中央部のケーブル張力と中央部桁の変形量を表 4.1.7、表 4.1.8 に示す。片側の舗装を撤去しても、中央部のケーブル張力は北側で 15.6t、南側で 21.8t 減少するだけで、問題ない。また、中央部の主桁変形量も北側で 142mm、南側で 200mm 浮き上がるだけで問題ない。

表 4.1.7 ケーブル張力の変動 (Case-1)

項目	ケーブル張力 (C32NW)	ケーブル張力 (C32SW)	ケーブル許容張力
設計最大張力	$T_{\max}=438.2 \text{ t}$	$T_{\max}=438.2 \text{ t}$	$< T_a=510.8 \text{ t}$
死荷重状態張力(18.152t/m)	$T_D=292.9 \text{ t}$	$T_D=292.9 \text{ t}$	
舗装片側撤去時張力 (W=-1.500t/m)	$T_{RP} = - 15.6 \text{ t}$	$T_{RP} = - 21.8 \text{ t}$	$\Delta=21.8-15.6=6.2\text{t}$
舗装片側撤去時合計張力 ($T=T_D+T_{RP}$)	$T=277.3 \text{ t}$	$T=271.1 \text{ t}$	

表 4.1.8 中央支間中央部の変形

項目	北側	中央	南側
舗装片側撤去時 (W=-1.500t/m)	$D_{RP} = -142\text{mm}$	$D_{RP} = -171\text{mm}$	$D_{RP} = -200\text{mm}$

Case-2: 両側の舗装を撤去した場合

- 橋面の全体の舗装を撤去した場合、死荷重強度は 2.999/m 減少する。この場合の中央部のケーブル張力と中央部桁の変形量を表 4.1.9、表 4.1.10 に示す。両側の舗装を撤去しても、中央部のケーブル張力は 37.6t 減少するだけで、問題ない。また、中央部の主桁変形量も 346mm 浮き上がるだけで問題ない。

表 4.1.9 ケーブル張力の変動 (Case-2)

項目	ケーブル張力 (C32NW)	ケーブル張力 (C32SW)	ケーブル許容 張力
設計最大張力	$T_{\max} = 438.2\text{ t}$	$T_{\max} = 438.2\text{ t}$	$< T_a = 510.8\text{ t}$
死荷重状態張力(18.152t/m)	$T_D = 292.9\text{ t}$	$T_D = 292.9\text{ t}$	
舗装全体撤去時張力 (W=-2.999t/m)	$T_{RP} = -37.6\text{ t}$	$T_{RP} = -37.6\text{ t}$	
舗装全体撤去時合計張力 Total ($T = T_D + T_{RP}$)	$T = 255.3\text{ t}$	$T = 255.3\text{ t}$	

表 4.1.10 中央支間中央部の変形

項目	北側	中央	南側
舗装全体撤去時 (W=-2.999t/m)	$D_{RP} = -346\text{mm}$	$D_{RP} = -346\text{mm}$	$D_{RP} = -346\text{mm}$

(11) 舗装をコンクリート床版に変更した場合の影響

- GARBLT 側では、舗装を撤去して、厚さ 15cm から 20cm のコンクリート床版に変更する案を想定している。この場合、死荷重強度が大幅に増加となり、橋体全体に大きな影響を与えることになる。どのような影響を与えるか、以下に考察する。
- 舗装を厚さ 15cm から 20cm のコンクリート床版に変更した場合、主桁の設計死荷重強度は 20%から 30%の増加となり、詳細な設計照査を行わないと、橋体の安全性を確認することはできない。

表 4.1.11 主桁設計死荷重強度の比較 (t/m/Br.)

項目	舗装 (t=8.0cm) (現設計)	コンクリート床版 (t=15cm)	コンクリート床版 (t=20cm)
舗装	2 x 8.15 x 0.08 x 2.3 = 2.999	2 x 8.15 x 0.15 x 2.5 = 6.113	2 x 8.15 x 0.20 x 2.5 = 8.150
地覆、防護柵等	3.973	3.973	3.973
検査車レール	0.200	0.200	0.200
鋼製主桁	10.380	10.380	10.380
フェンダー	0.600	0.600	0.600
合計	18.152(1.000)	21.266(1.172)	23.303(1.284)

- 死荷重増加により、橋体に変形し、完成形状の所定縦断が保たれない。コンクリート床版厚に変更した場合の、主桁中央の変形は、359mm から 594mm となる。
- 中央部のケーブル張力はいずれも許容値以内となるが、ほとんど余裕がない状態である。詳細な設計照査をしなければならない。
- 死荷重が増加する場合、橋体の固有振動数が変わるため、耐風性、耐震性の再評価が必要となる。
- 主桁の死荷重増加により、主塔、下部構造、基礎構造の全てに影響を及ぼすため、詳細な設計照査しなければならない。

表 4.1.12 主桁設計死荷重強度増加の影響

項目	舗装 (t=8.0cm) (現設計)	コンクリート床版 (t=15cm)	コンクリート床版 (t=20cm)
死荷重増分	0.0 t/m	3.114 t/m	5.151 t/m
中央支間中央鉛直変形量	0.0	359 mm	594 mm
中央部ケーブル張力(C32)	438.2 t < Ta=510.8 t	477.2 t < Ta=510.8 t	502.7 t < Ta=510.8 t

4.2 補修工事対象範囲

4.2.1 舗装補修工事対象範囲

舗装の健全度はDランク（損層が進行している）である。また、詳細調査でひび割れ幅 10mm の箇所はすべて鋼床版上面まで貫通していた。よって広範囲に損傷が進行し、かつ不備われが鋼床版まで貫通していることから全面打ち替えが必要である。

4.2.2 鋼床版舗装補修工事対象範囲

今回調査において鋼床版補修工事の必要はないと判断する。

5. 補修計画

5.1 補修工法の比較検討

補修工法の選定に当たっては、補修工事費用負担において現時点では決定されていないことからエジプトの建設業者が施工可能なものと日本が施工する場合の2ケースを選定した。

5.1.1 エジプト業者による施工可能な舗装

カイロ市内の鋼床版の高架橋において施工実績がある。しかし、すべての鋼床版高架橋で鋼床版が露呈し舗装損傷し全くない状況にある。エジプトの建設業者はスエズ運河橋の砕石マスティック舗装（SMA）の施工に下請けとして参加しているがSMAの技術は習得できていない。以上のことから技術面で施工可能な一般道路に用いている密粒度・粗粒度アスファルト舗装を選定するものとした。ただし、安価であるがすぐに損傷することは間違いない。

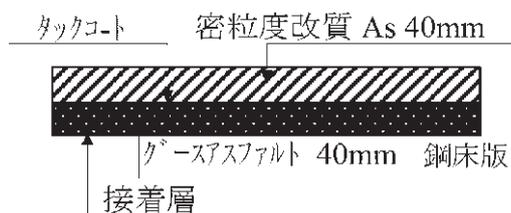
5.1.2 日本の鋼床版舗装技術の活用

日本では、グースアスファルト舗装が鋼床版舗装として大半を占め信頼と実績が高い。しかし、高温で舗設するため特殊機材を必要とすることから、一般の舗装機材で施工可能なSMAが開発された。SMAはグースアスファルト舗装に比べたわみ追従性に劣るデメリットがある。更に近年ではエポキシ樹脂舗装が開発されている。また、鋼床版厚さ12mmの場合に長期疲労による鋼床版の疲労亀裂の発生が日本で確認され、鋼床版補強を目的とした鋼繊維コンクリート舗装およびゴムラテックスモルタル舗装が開発されている。

上記の舗装について比較検討を行った。表5.1.1に比較表を提示する。

5.1.3 グースアスファルト工法の概要・特徴

グースアスファルト工法は高温で流動性の高いグースアスファルト混合物を流し込み施工する舗装工法である。主に鋼床版橋面舗装の基層として用いられる。また、グースアスファルト舗装表面にプレコートチップを散布・圧入して表層として用いることもある。



当工法はドイツにおいて開発されたローラー転圧を行わない流し込み舗装で、アウトバーンを始め同国では多くの道路に適用されている。わが国でも 1950 年代から採用されるようになり、その後着実に実績を伸ばし、1970 年代には本州四国連絡橋でも使用された。わが国の鋼床版長大橋の舗装の殆どでグースアスファルト工法が用いられている。本州四国連絡橋のグースアスファルト舗装は、施工後 20 年以上経過しても、舗装の健全性が実証されている。



写真 5.1.1 長大橋でのグース施工例

材料の特徴

グースアスファルト混合物は、ストレートアスファルトにトリニダッドレイクアスファルト (T.L.A) を混合したアスファルトと、粗骨材、細骨材およびフィラーを配合してアスファルトプラントで混合して製造する。

グースアスファルト混合物は、配合面において、一般の加熱アスファルト混合物と比較してフィラーとアスファルトの量が多いところに特徴がある。また、グースアスファルト混合物に不可欠なトリニダッドレイクアスファルト (T.L.A) は中米カリブ海のトリニダード・トバゴ共和国のトリニダード島内のピッチ湖（天然アスファルト湖）で産する天然アスファルトを精製したものである。



写真 5.1.2 ピッチ湖で産出される天然アスファルト (T.L.A の原料)

施工上の特徴

施工は、流し込み可能な作業性（流動性）と安定性が得られるように、アスファルトクッカーと呼ばれる加熱混合装置を備えた車で 220～260℃に加熱攪拌しながら運搬し、グースアスファルトフィニッシャによって流し込んで敷設する。

鋼床版上のグースアスファルト舗装工法の一般手順						
鋼床版の表面処理	→	接着材の塗布	→	クッカによる混合物の供給	→	グースフィニッシャによる舗設
						

一般のアスファルト舗装工法に比べて優位な点

たわみ追従性： 鋼床版との接着性が高く、鋼床版の温度変化に伴う膨張収縮や、交通荷重による大きなたわみにも追従出来るため、クラックの発生が防げる。

施工性： 施工時の流動性に富むため、鋼床版継手部のボルトや段差部など隅々まで充填できる。流し込みによる施工のためローラーによる締固めを必要とせず、空隙のない舗装が得られる。

防水・水密性： 空隙がほとんどないため水密性に優れており、雨水等が浸透し難いため、防水層としての役割を果す。

5.1.4 セメント系鋼床版補強舗装工法の抽出

第一次～第三次の現地調査の結果、既存の舗装は損傷が著しく全面打ち替え補修の必要性があると判断された。日本側はスエズ運河橋の鋼床版舗装の補修工法の検討を行い、構造的、施工性および経済性において最も有利と判断できるグースアスファルト舗装工法を提案した。

しかし GARBLT は、グースアスファルト工法の優位性を理解するものの、特殊な資機材を諸外国等から輸入する必要やエジプト国内業者実績が無いことに難色を示した。一方エジプト国内ではコンクリート舗装の実績は有り、セメント系の舗装であれば資機材が国内で調達できると考え SFRC 舗装（Steel Fiber Reinforced Concrete；鋼繊維補強コンクリート舗装）の採用を強く望んだ。そして日本の高靱性補強コンクリート（Engineered Cementitious Composite：ECC）を含むセメント系鋼床版補強工法の検討を JICA に要請した。

この要請に対し、セメント系鋼床版補強舗装の各工法についての技術的特徴や必要資機材を検討する。そしてエジプトの調達状況、気候、施工業者能力を勘案した上で複数案を抽出し、比較検討の後に補修工法として最も可能性の有る工法を選択する。さらに選択された工法を実際にエジプト側主体で実施する場合に、施工上必須となる留意事項を列挙した後、最終的にグースアスファルト工法と比較するものとする。

(1) 日本におけるセメント系鋼床版補強舗装工法

日本において本橋建設当時は鋼床版の導入に当たって、鋼床版の厚さを 12mm（現在の指針では 16mm）としてきた。その結果、近年、橋梁のデッキプレートにおいて剛性の不足に起因して交通荷重の載荷時に局所的な変形（主に鋼床版デッキプレートと U リブの溶接部分等に疲労亀裂：図 4. 3. 1 参照）が確認された事例が増加してきた。現行の舗装舗装厚 80mm 以下で合成強度の得られる工法検討が行われた。そこで薄層で高強度の鋼繊維補強コンクリートや高靱製繊維コンクリートを用いて鋼床版と密着させ合成を高めことで疲労亀裂の発生・進展を抑制する目的でセメント系鋼床版補強舗装が開発された。

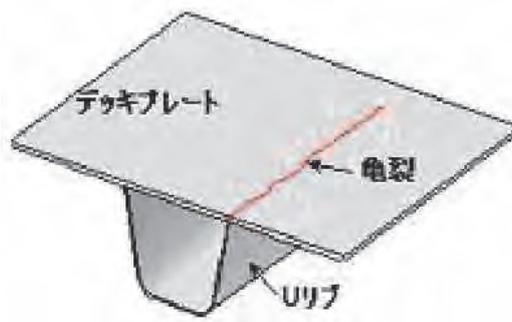


図 5. 1. 1 鋼床版の損傷例

セメント系鋼床版補強舗装の検討は、以下の流れに沿って行った。

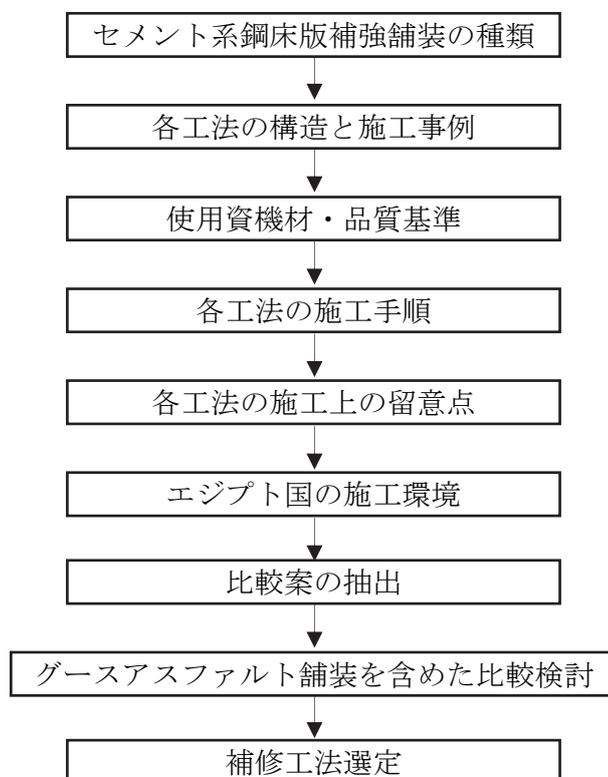


図 5. 1. 2 検討フローチャート

(2) セメント系鋼床版補強舗装工法の種類

セメント系鋼床版補強舗装工法は、大きく分けてセメントに導入する補強材に鋼繊維を用いた鋼繊維補強コンクリート（Steel Fiber Reinforced Concrete: SFRC）と高靱性繊維を用いた高靱性補強コンクリート(Engineered Cementitious Composite: ECC)の2種類がある。さらに SFRC は、スタッドで鋼床版に密着させるタイプ（名古屋高速道路公社等）と高耐久性エポキシ樹脂系接着剤で鋼床版に密着させる SFRC 単体のタイプ（横浜ベイブリッジ等）と SFRC と表層アスファルトを設けたタイプ（首都高速道路）の3種類がある。

なお、SFRC にあつては、「鋼床版橋梁の疲労耐久性向上技術に関する共同研究（その2・3・4）報告書—SFRC 舗装による既設工床版の補強に関する設計・施工マニュアル（案）—」平成21年10月 独立法人土木研究所が発刊されている。

(3) 各工法の構造と施工事例

① SFRC スタッドタイプ

古くは1980年半ばから名古屋高速道路公社にて使用されているが、当時は縦断勾配の大きいランプ部や料金所等における舗装の損傷対策として用いられていた。名古屋高速道路公社タイプの構造は、スタッドを鋼床面全面に250～300mm 間隔で打ちつけ、鋼繊維で補強したコンクリートと鋼床版を接着させ合成を高めた構造である。なお、剥離防止のため端部や施工目地及び負曲げの発生する桁上面に高耐久性エポキシ樹脂系接着剤も合わせて用いている。

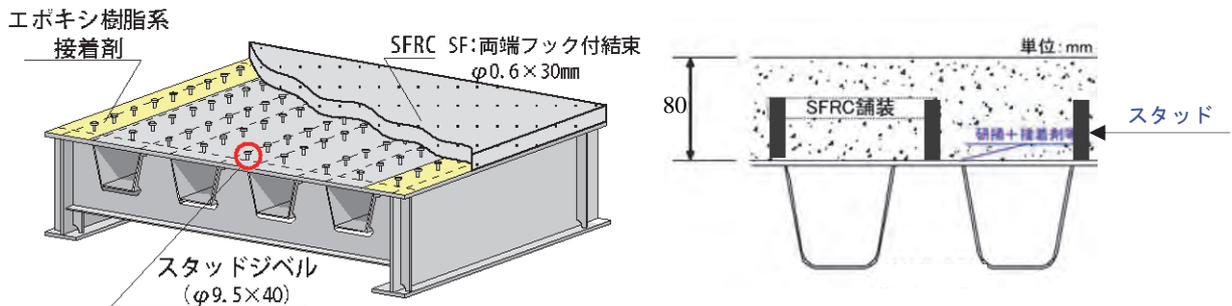


図 5.1.3 SFRC スタッドタイプの構造概要図

施工事例は、名古屋高速道路の縦断勾配の大きなランプ橋および料金所付近。



写真 5.1.3 名古屋高速道路 清洲ジャンクション

② SFRC ボンドタイプ（高耐久性エポキシ樹脂系接着剤使用）

スタッドの代わりにボンド剤—高耐久性エポキシ樹脂系接着剤を鋼床版全面塗布し、鋼繊維入り補強コンクリートと鋼床版を接着させ合成を高めた構造であり、新たな工法として開発された。端部補強や負曲げの発生する桁上面にスタッドを設置する。図 4.3.4 参照。

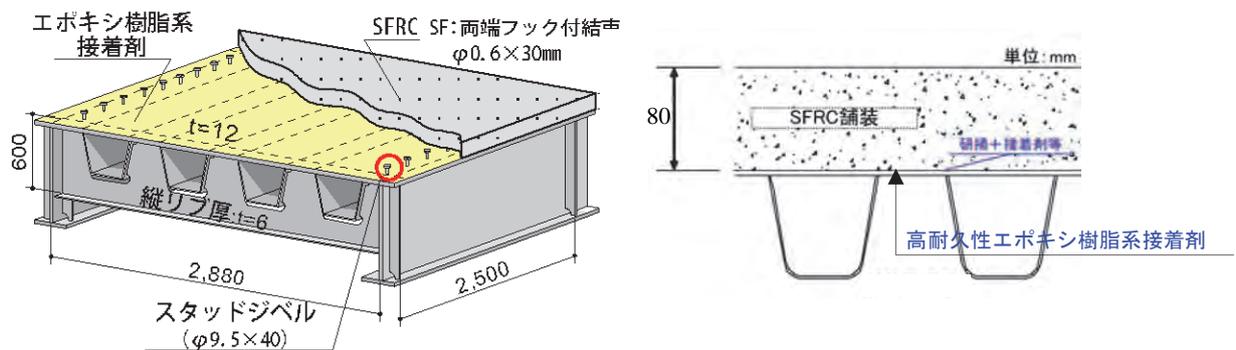


図 5.1.4 FRC ボンドタイプの構造概要

施工事例は横浜ベイブリッジの下層部の国道 357 号



写真 5.1.4 横浜ベイブリッジ下層部 国道 357 の SFRC

③ SFRC ボンドタイプ+表層アスファルト

高耐久性エポキシ樹脂系接着剤を用いて鋼床版と接着させ、負曲げの発生する桁上面に補強材を設ける。なお、首都高速道路においては沿道の道路交通騒音を低減させることを目的に表層アスファルトを適用している。図 4.3.5 参照。

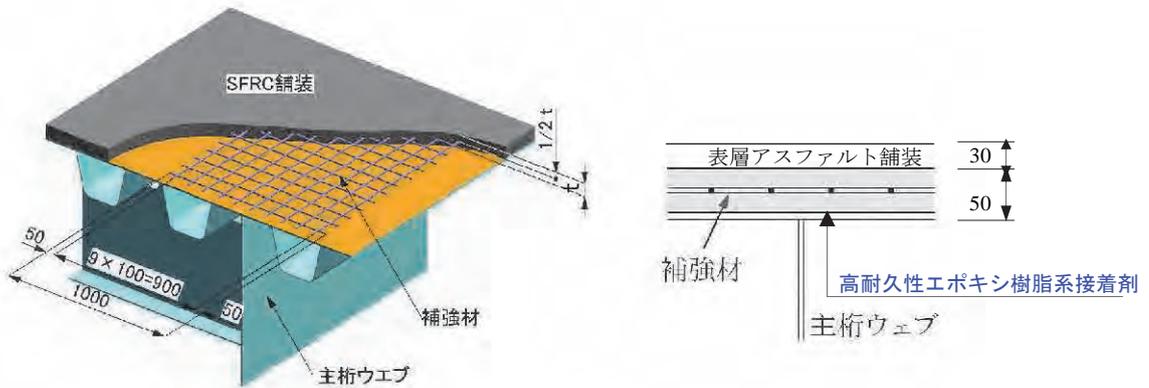


図 5.1.5 SFRC ボンドタイプ+表層アスファルトの構造概要



施工全景



接着剤と炭素繊維製格子筋

写真 5.1.5 首都高速道路 中央環状線の SFRC

④ 高靱性補強コンクリート舗装 (Engineered Cementitious Composite: ECC)

ECC の構造は、ECC 本体、FRP 製プレートジベル、防水層から構成される。ECC 本体の主要材料はセメント、フライアッシュ、水、細骨材、短繊維（繊維径 0.04mm、長さ 12mm のビニロン繊維）から構成され、高靱性の短繊維を配合することで引張強度を確保し高品質なコンクリートを作り、高耐久性エポキシ系接着剤で FRP 製プレートジベルを鋼床版に接着させ鋼床版と一体化させ合成を高める工法である。

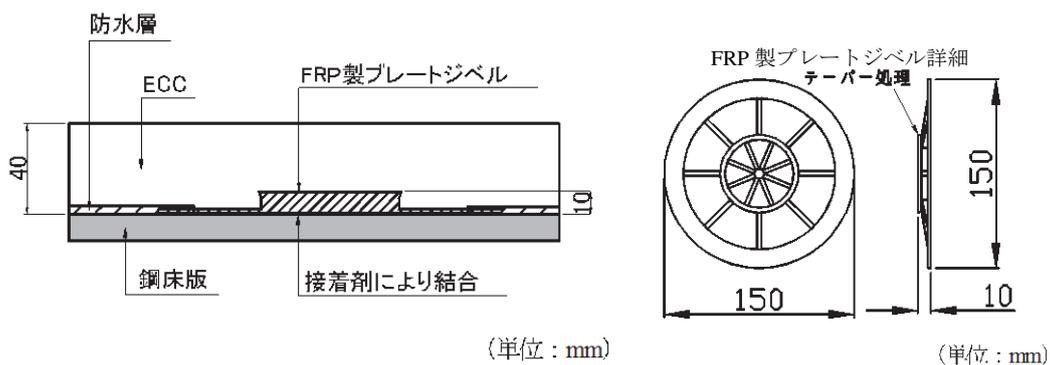


図 5.1.6 ECC 補強工法の構造概要

施工事例は、各種室内試験に基づき美原大橋に試験施工を実施した。試験施工段階であり基準は整備されていない。

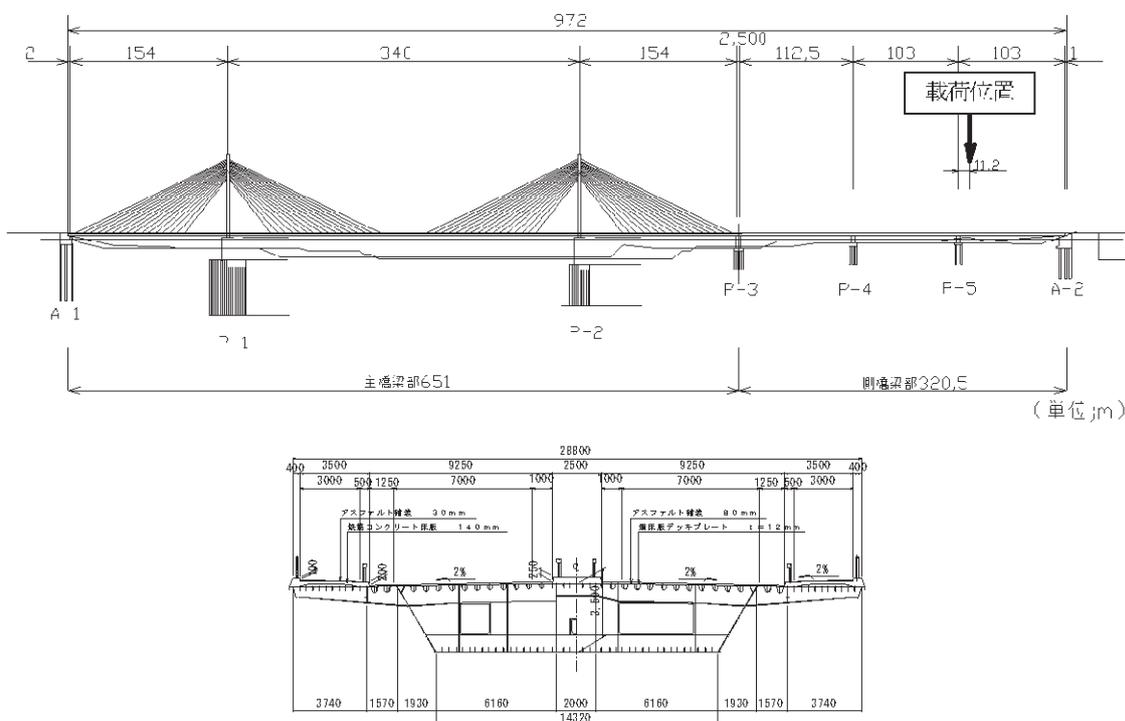


図 5.1.7 美原大橋側面図・断面図



写真 5.1.6 美原大橋全景

美原大橋は2005年3月に供用を開始したが、半年で舗装に損傷が確認された。その後、調査を行い補修工事が行われた。損傷が軽微な箇所は、細粒度ギャップアスコンで当初の舗装厚40mmを50mmに変更。小規模な損傷箇所は、ECC表面を研掃しアラミド繊維で補強。ブロック化した損傷の大きな箇所はECCの打ち替えを実施している。しかし、抜本的な改善が見られないことから2012年7月、グースアスファルト舗装で全面打ち替えが決定している。よって、ECCの実用化に至っていない。



写真 5.1.7 損傷状況

(4) 使用資機材および品質基準

ECCが実用化されていないことから、日本のセメント系鋼床版補強舗装はSFRCに限定される。以下にSFRCの使用資機材および品質基準を記述する。なお、名古屋高速道路公社タイプと首都高速道路タイプで使用する資機材および品質基準は同様である。

● SFRCに使用する資機材

SFRCに使用する資機材は以下のとおりである。写真については施工手順を参照のこと。

- ・ 路面切削機および人力用切削機
- ・ スタッド溶接機
- ・ 接着材塗布の刷毛
- ・ 鋼繊維攪拌アジテータ車および鋼繊維投入機
- ・ コンクリートフィニシャー
- ・ 平板バイブレータ
- ・ 平面仕上げ機

● SFRC舗装の品質基準

SFRCの使用材料はコンクリート、鋼繊維、補強材、接着剤およびスタッドである。その規格および基準は以下のとおりである。

表 5.1.2 コンクリート材料の規格

材料の種類	規格		適用
セメント	JIS R 5210	ポルトランドセメント	早強セメント
水	JIS A 5308	レディミクストコンクリートの練り混ぜに用いる水	
骨材	JIS A 5308	レディミクストコンクリート用骨材	
混和剤	JIS A 6204	コンクリート用化学混和剤	

表 5.1.3 鋼繊維の規格

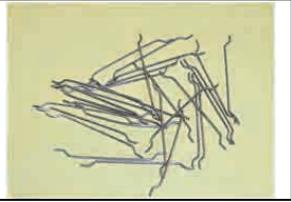
材質	JIS G 3532 に適合した鉄線		
形状	両端フック型		
寸法	直径	0.6mm	
	長さ	30mm	
引張強度	600N/mm ² 以上		

表 5.1.4 補強材の規格例（CFRP 格子筋）

材質	炭素繊維強化プラスチック（CRRP）	
材料寸法	2,000mm * 3,000mm	
筋材断面積	39.2mm ² （約 6.3mm * 3.3mm）	
筋材引張強度	1,400 N/mm ²	
筋材引張弾性率	(イ) * 10 ⁵ N/mm ² 鋼材：2.0 * 10 ⁵ N/mm ² コンクリート：3.0 * 10 ⁴ N/mm ²	
筋材ピッチ	100mm	
単位重量	1,120 g/m ²	

※ 炭素繊維強化プラスチック筋エジプトで調達不可能であることから、施工時間短縮を目的に鉄筋をプレキャスト化し、防錆処理を施した材用を用いることも可能。この場合、鉄筋の重ね合わせは SFRC 断面確保のため避ける。また、引張強度は満足しなければならない。

表 5.1.5 接着剤の規格

項目	主剤	硬化剤
主成分	エポキシ樹脂	脂肪族ポリアミン ポリチオール
混和比	主剤：硬化剤=5～4：1（質量比）	
硬化物比重	1.35±0.05（JIS K 7181）	
圧縮強さ	50N/mm ² 以上（JIS K 7181）	
圧縮弾性係数	1.0*10 ³ N/mm ² 以上（JIS K 7181）	
曲げ強さ	35 N/mm ² 以上（JIS K 7171）	
引張せん断接着強さ	10N/mm ² 以上（JIS K 6850）	

表 5.1.6 スタッドの規格例

項目	基準値	
直径	9 mm	
頭部径	19 mm	
頭部厚	7 mm	
長さ	40 mm	
溶け代	4 mm	
引張強さ	400～500 N/mm ²	
降伏点	235 N/mm ² 以上	
伸び	20%以上	

※ エジプトで製品を調達は不可能なことから、同等の製品を作成することも可能。この場合、寸法は同程度でよいが溶け代を付し、引張強さ・降伏点・伸びが表記基準を満足することを確認する。

(5) SFRC 工法の施工手順

SFRC 舗装の施工手順は既設舗装撤去→研掃→防錆工→スタッド設置→接着剤塗布→補強材設置→SFRC 製造（鋼繊維投入・攪拌）→SFRC 打設→締固め→粗面仕上げ→SFRC 養生の手順で行わなければならない。なお、表層にアスファルト舗装を行う場合は、SFRC の養生後→防水層設置→タックコート塗布→アスファルト混合物舗設→タイヤローラと鉄輪ローラで転圧・締め固めを行う。

● SFRC スタッドタイプの施工状況例



①スタッドジベル設置



②SFRC 打設



③フィンツァーによる締固め



④ほうき目仕上げ



⑤湿潤養生工

写真 5.1.8 SFRC スタッドタイプの施工状況例（幸橋）

● (SFRC ボンドタイプ+アスファルト表層)の施工例



①路面切削機による切削



②人力による舗装下部切削



③研掃 (ショットブラスト)



④スタッド設置工



⑤接着材塗布工



⑥補強材設置工



⑦鋼繊維投入



⑧補強材設置、SFRCの打設



⑨パイププレートによる締固め



⑩フィニシャーでの締固め



⑪粗面仕上げ

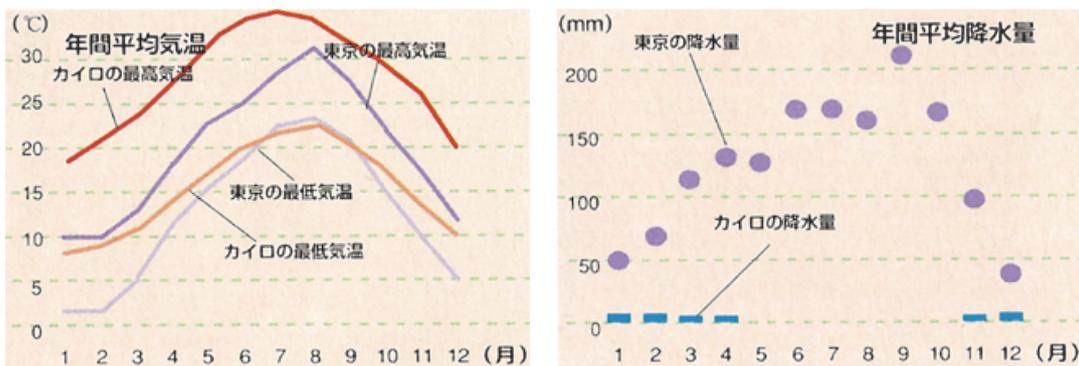


⑫養生

写真 5.1.9 （SFRC ボンドタイプ+アスファルト表層）の施工状況例

(6) エジプト国の施工環境

SFRC 舗装を行う上で、SFRC 打設時に高耐久性エポキシ樹脂系接着剤が乾燥していないことが条件となる。そのため、温度と打ち継ぎ可能時間の関係がクリティカルになる。エジプトの気候は大きく分けて4つに区分される。アレキサンドリアやデルタなど地中海沿岸の地中海性気候。カイロ周辺の半乾燥気候と半砂漠気候。カイロ以南と東方砂漠、西方砂漠の砂漠気候。ほとんど雨の降らないエジプトであるが、アレキサンドリアなど地中海地方は冬期に雨が降る。冬期のカイロ、アレキサンドリアや西方砂漠はかなり寒い。3～5月には砂嵐が吹く。スエズ運河橋の位置はカイロ周辺の半乾燥気候と半砂漠気候に該当する。冬期は気温10度以下まで冷え、スエズ運河の水温との温度差から朝霧が立ちこめ湿度の高い地域である。低温でのSFRC 舗装施工は適しているが湿度が高い（60%以上）環境は、鋼床版の錆の増殖が発生することから好ましくない。



カイロと東京の年間平均気温

カイロと東京の年間平均降水量

※カイロのデータはBBC Weather Centre、東京のデータは東京管区気象台による

図 5.1.8 カイロと東京の年間平均気温と降水量

2012年6月午前10:00の現地調査時の気温は20度前後であった。路面温度は56度であった。詳細は施工時の留意点に詳述するが、高耐久性エポキシ樹脂系接着剤が乾く前にSFRC舗装を舗設しなくてはならず路面温度が影響する。路面温度56度にあつては、SFRC舗設時間は30分となり実質施工は不可能である。



写真 5.1.10 スエズ運河橋路面温度（2012年6月4日：10時撮影）

(7) エジプト国における鋼床版上の鋼繊維補強舗装導入の留意点

GARBLTはセメント系の鋼床版補強舗装であればさほど困難でないことを認識しているようである。SFRCは一般の鉄筋コンクリート舗装とその薄さから根本的に異なることを忘れてはならない。エジプト国の資材調達状況、現地施工者の技術力および気候等を考慮してエジプト製セメント系鋼床版補強舗装の抽出を行なう。そのための留意点を整理した。なお、高靱性繊維補強舗装：ECCは失敗したことからSFRC鋼床版補強舗装を基本とした。

- 各種材料の規格を満足できる資材調達を速やかに行わなくてはならない。特にエジプト国内で調達できない高耐久性エポキシ樹脂系接着剤は近隣諸国もしくは日本からの輸入となる。日本では温度変化に効果のあるKSボンドが主流となっている。
- エジプト国内で調達できる材料においては、基準を満足するために各種材料試験を実施しなければならない。
- エジプト国の施工業者はSFRC鋼床版補強舗装の実績がないことから、日本国の技術指導を受け、試験施工を行うなどして技術の習得および品質管理を徹底しなければならない。

- エジプト国では鋼床版の研掃はサンドブラストが一般的である。しかし、サンドブラストは散らばった砂や埃の除去に時間を要することから更なる錆の発生が懸念される。錆の発生は避けなければならない。ショットブラストで完全に錆を除去し防錆塗膜を行わなければならない。
- 接着剤に用いる高耐久性エポキシ樹脂系接着剤は温度に極めて敏感であり、高い気温時の施工を避けなければならない。エジプト国の気温は高く留意しなければならない。高耐久性エポキシ樹脂系接着剤が乾燥する前に SFRC を打設しなければならないことから、SFRC 打設準備と施工管理に配慮しなければならない。施工時間を考えれば橋面温度 30℃ 以下での施工が必須条件である。
- 施工環境温度は、現場の日照時間等を考慮して適切に予測して、必要に応じ日中の施工を避ける等の配慮が必要である。日中であれば直射日光等の影響で気温より 20℃ 程度高くなる。エジプトの最高平均気温からすると 12 月～1 月に限定される。

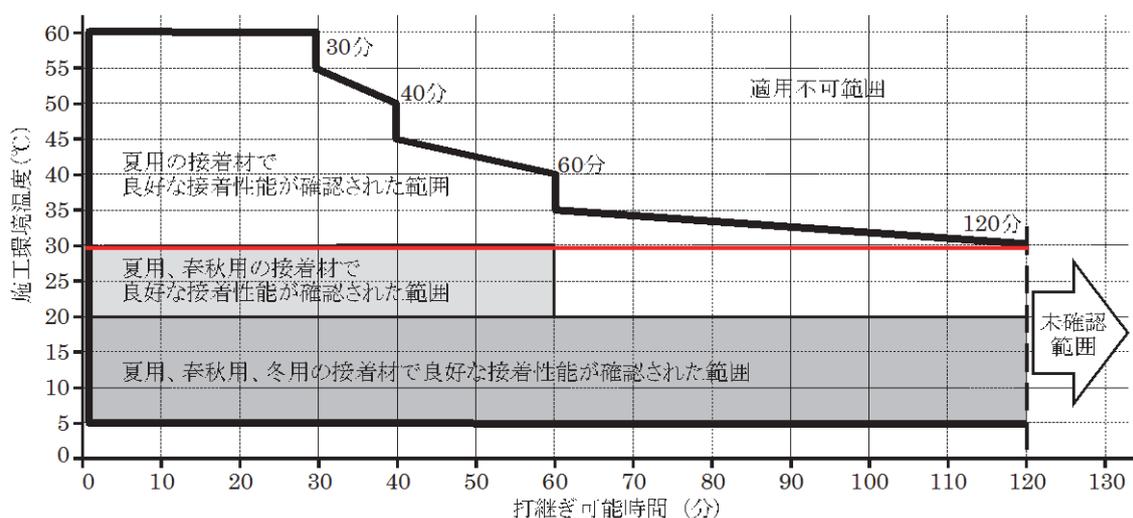


図 5.1.9 温度と打継ぎ可能時間の関係

(8) エジプト国におけるセメント系鋼床版補強舗装の抽出

SFRC に用いる高耐久性エポキシ樹脂系接着剤は温度に非常に敏感で、温度に応じて SFRC の打継ぎ可能時間が限られる。エジプト国の施工業者の技術能力から少なくとも最大施工時間 120 分を確保することが必要である。もしくは高耐久性エポキシ樹脂系接着剤を用いないスタッドタイプが有効である。また、SFRC はその薄さからひび割れが発生する。構造的に問題はないとされるが、ひび割れから水分が浸透し鋼床版に錆を発生させることも全くないと断定できない。そのため SFRC の表面に防水層を設け表層アスファルトを舗装するのも有効である反面、SFRC のひび割れの確認が出来ないなどのデメリットもある。また、層厚が増すことで死荷重増加による橋梁本体への影響照査が必要となる。上記を踏まえ 4 タイプを抽出した。

① SFRC スタッドタイプ

スタッドで鋼床版と SFRC を密着させることで、合成を高めたわみに対応する構造である。端部や負曲げの発生する桁上面に高耐久性エポキシ樹脂系接着剤を用いることから、温度と打継ぎ可能時間の制約に配慮して冬期の気温が下がる期間に施工することになる。

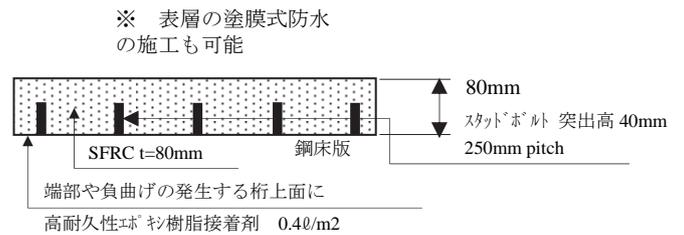


図 5.1.10 スタッドタイプ

② SFRC ボンド（高耐久性エポキシ樹脂）タイプ

スタッドの代わりにボンド：高耐久性エポキシ樹脂系接着剤で鋼床版と密着する。端部や負曲げの発生する桁上面にスタッドを補強する。舗装構成は SFRC 単断面である。



図 5.1.11 SFRC ボンドタイプ

③ SFRC ボンドタイプ アスファルト表層

高耐久性エポキシ樹脂系接着剤で鋼床版と一体化させ表層 As を設けた SFRC（首都高道路タイプ）

高耐久性エポキシ樹脂系接着剤の接着効果により、SFRC と鋼床版を密着させ、合成を高めたわみに対応する構造である。騒音防止目的で表層にアスファルトを設ける。高耐久性エポキシ樹脂系接着剤は温度に非常に敏感であり、高温で乾燥したエジプトの気候に合っては困難が予想されるが、気温の下がる冬期に限り施工の可能性があると判断した。

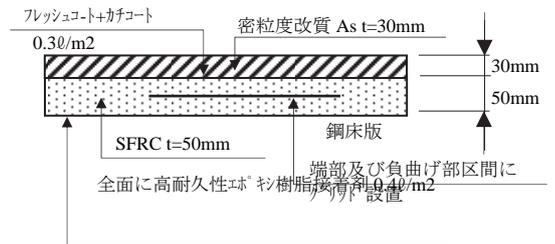


図 5.1.12 SFRC ボンドタイプ+As 表層

④ SFRC スタッドタイプ+防水層+表層

（事例なし）

スタッドボルトは高さ 40mm ある。天端のかぶりは骨材の径から 30mm 以上必要となる。そのためスタッドタイプは 75mm が最小厚となっている。これにひび割れの防水対策を施すため防水層と表層を設置する。死荷重の増加と端部すり付けに課題がある。死荷重増加のため日本では実績がない。

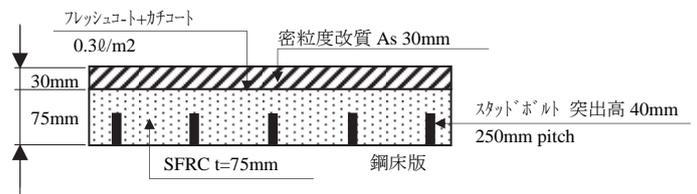


図 5.1.13 スタッドボルト+表層タイプ

5.1.5 検討対象セメント系鋼床版補強舗装工法の選定

エジプトの資機材調達および気候条件等を考慮して、施工可能な SFRC の抽出と比較検討を行った。日本では SFRC は既存の鋼床版舗装補強工法として主に交通量の多い都市部の高速道路に用いられている。そのため、通行している交通への影響を極力少なくすることが条件となっている。スタッドジベルを溶接していたのでは時間を要し、長期間の交通止めとなることから、高耐久性エポキシ樹脂系接着剤（KS ボンド）を用いた SFRC が主流になっている。

これに対し、エジプトの資機材調達事情では高耐久性エポキシ樹脂系接着剤は近隣諸国もしくは日本からの輸入に頼らざるを得ない。また、輸入してもエジプトの高温乾燥の気候条件から高温乾燥に敏感な高耐久性エポキシ樹脂系接着剤の施工に当たっては、気温の下がる冬季に施工することになる。スエズ運河橋はスエズ運河を跨ぐことから、冬季は 5m 先も見えないほどの霧が発生する。霧は鋼床版舗装の研掃後に再び錆が発生を誘発させるといった相反する問題がある。

エジプトでの SFRC 選定に当たっては、失敗しないためにエジプトの資機材調達・気候を考慮した実現性のある工法を選定することが重要である。資機材調達で高耐久性エポキシ樹脂系接着剤はエジプト国内で調達できないことから近隣諸国もしくは日本からの輸入となる。高耐久性エポキシ樹脂系接着剤は高温乾燥のエジプトにあっては適さない。そのため、実現性がある SFRC 工法は高耐久性エポキシ樹脂系接着剤を全面に用いないスタッドジベルによる SFRC が有利である。

表 5.1.7 鋼繊維補強工法（SFRC）の比較表
●いずれの工法も過積載荷重を考慮するものではない。最大交通荷重は軸重 13ton。

種別	セメント系鋼床版補強舗装			
	鋼繊維補強セメント舗装（スタッドジベルタイプ） 名古屋高速道路公社タイプ	鋼繊維補強セメント舗装（高耐久性エポキシ樹脂系接着剤タイプ） 横浜ベイブリッジタイプ	鋼繊維補強セメント舗装（高耐久性エポキシ樹脂系接着剤タイプ+表層） 首都高速道路タイプ	鋼繊維補強セメント舗装（スタッドタイプ+表層） 名古屋高速道路公社タイプ+表層
構造（断面）	<p>※ 表層：塗膜式防水層の設置も可 SFRC t=80mm 鋼床版 スタッドピッチ 250mm pitch 突出高 40mm 高耐久性エポキシ樹脂系接着剤 0.40/m²</p>	<p>※ 表層：塗膜式防水層の設置も可 SFRC t=80mm 鋼床版 スタッドピッチ 250mm pitch 突出高 40mm 高耐久性エポキシ樹脂系接着剤 0.40/m²</p>	<p>フレッシュコート+カチコート 0.30/m² 密粒度改質 As t=30mm SFRC t=50mm 鋼床版 スタッドピッチ 250mm pitch 突出高 40mm 高耐久性エポキシ樹脂系接着剤 0.40/m² グリッド設置</p>	<p>フレッシュコート+カチコート 0.30/m² 密粒度改質 As 30mm SFRC t=75mm 鋼床版 スタッドピッチ 250mm pitch 突出高 40mm</p>
概要	近年、日本において築後 20 年以上の鋼床版（板厚 12 mm）で繰り返し荷重による疲労亀裂が確認された。その対策工として鋼床版のたわみ補強を目的として日本で開発された。薄層のため鋼繊維補強コンクリートを用い強度を確保し、鋼床版とコンクリートの接着にスタッドジベルを用いて鋼床版と一体化を図り、剛性効果で応力集中を抑制する新技術である。スタッドジベルを設けることでスタッドジベルの天端のかぶりを考慮して厚さ 75mm が最小である。古くは 1980 年代半ばに名古屋高速道路で縦断勾配の厳しいランプ橋に採用した。既存の補修のための構造であることから、既往の交通開放を急ぐこととなり、現在は高耐久性エポキシ樹脂系接着剤を用いた SFRC が主流となっている。なお、最近の事例では積雪寒冷地で融雪管を付す構造にするため、高耐久性エポキシ樹脂系接着剤を用いた SFRC ではなく、このタイプが採用された。施工機材は専用のコンクリートフィニッシャー鋼繊維攪拌機が必要。	スタッドジベルの代わりに高耐久性エポキシ樹脂系接着剤で鋼床版と密着させる工法である。端部や負の曲げ応力の発生する桁上面にのみスタッドジベルを設置する。SFRC の 1 層構造である。施工機材は専用のコンクリートフィニッシャー鋼繊維攪拌機が必要。	スタッドジベルは煩雑で施工時間を要する。施工時間短縮のためにスタッドジベルの変わりに高耐久性エポキシ樹脂系接着剤で鋼床版と密着させる工法である。スタッドジベルを設けないことで厚さも低減できる。ひび割れに対する防水としてフレッシュコートを設け、表層に改質アスファルトを設置する工法である。施工機材は専用のコンクリートフィニッシャー鋼繊維攪拌機が必要。	現状の鋼床版上面の錆の状況から防水工が必要と判断し、ひび割れに対する防水としてフレッシュコートを設け、表層に改質アスファルトを設置するものとした。日本でもスタッドタイプの SFRC に表層舗装は行なった事例はない。
構造的性	<ul style="list-style-type: none"> 縦断勾配の厳しい箇所での舗装のずれ防止を目的として開発され、後に合成効果が着目され鋼床版と舗装の合成効果でたわみ耐久性を持たせる構造である。○ SFRC 厚さ 80mm はコンクリートとしては薄く、材料がセメントであることから施工後に伸縮によるひび割れが発生は否めない。構造上問題はない。△ スタッドジベルを密に設置することで SFRC と鋼床版の合成を図る。○ 	<ul style="list-style-type: none"> 優れた高耐久性エポキシ樹脂系接着剤の開発により、煩雑な施工を要するスタッドジベルを使用する箇所が低減できた。○ SFRC 厚さ 80mm はコンクリートとしては薄く、材料がセメントであることから施工後に伸縮によるひび割れが発生は否めない。構造上問題はない。△ 全面に高耐久性エポキシ樹脂系接着剤を用いることで、高温・乾燥地域のエジプトでの使用は品質確保が難しい。冬期に限定する。× 	<ul style="list-style-type: none"> 鋼床版の疲労亀裂の対応として開発され、鋼床版と舗装の合成効果がある。○ SFRC 厚さ 50mm とコンクリートとしては極めて薄く、材料がセメントであることから施工後に伸縮によるひび割れが発生は否めない。表層と SFRC の間に防水層が必要。△ SFRC と鋼床版が高耐久エポキシ樹脂系接着剤で一体となることで合成効果が得られる。万一、剥離した場合に SFRC のその薄さからひび割れの誘発や損傷、強いては破損することが懸念される。△ 	<ul style="list-style-type: none"> 鋼床版の疲労亀裂の対応として開発され、鋼床版と舗装の合成効果がある。○ SFRC 厚さ 75mm はコンクリートとしては薄く、材料がセメントであることから施工後に伸縮によるひび割れが発生は否めない。表層と SFRC の間に防水層が必要。○ スタッドジベルを密に設置することで SFRC と鋼床版の合成を図る。○ 現行の舗装厚 80mm と比べ 105mm となることから、橋梁本体構造の詳細照査が必要となる。×
施工性及び施工実績	<ul style="list-style-type: none"> 専用のコンクリートフィニッシャーと鋼繊維攪拌機が必要。△ SFRC 舗装 80mm あっても収縮によるヘアークラックが必ず発生するので十分な養生と品質管理が重要である。△ 高耐久性エポキシ樹脂系接着剤を端部のみに用いることから、高温乾燥気候のエジプトにあつては全面に高耐久性エポキシ樹脂系接着剤を用いる SFRC（首都高タイプ）より有利である。○ 施工実績は日本に限られる（実績経年：20 年）。【名古屋高速の縦断の大きなランプ橋および料金所】しかし、近年は早期交通解放条件より高耐久性エポキシ樹脂系接着剤を用いた工法が主流となっている。2009 年に福井県で融雪管理施設を条件に行った一例がある。【福井県幸橋】△ 資機材・施工は日本仕様原則。△ スタッドジベルを橋面に 250mm 間隔で設置する作業において、研削した橋面に錆止めとして塗布した防錆材に傷や汚れをつけないよう十分な配慮が必要である。△ 温度に敏感な高耐久性エポキシ樹脂系接着剤を橋面全面ではないものを使用するため、高温乾燥のエジプトの気候にあつて温度の下がる冬期限定となる。△ 薄層のセメント舗装でひび割れ防止の面からも施工時振動抑制と低気温時施工が必須、冬期の全面通行止めとなる。△ 	<ul style="list-style-type: none"> 同左 △ 同左 △ 高耐久性エポキシ樹脂系接着剤を全面に用いることから、高温乾燥気候のエジプトにあつては温度の下がる冬期限定で品質確保が極めて困難。× 施工実績は日本に限られる（実績経年：4 年）。【首都高中央環状線（新宿～池袋線）】△ 資機材・施工は日本仕様原則。（表層の密粒度改質アスファルトは現地施工者で可能）△ 接着層である高耐久エポキシ樹脂系接着剤は温度に非常に敏感である。高温な当該地域では路面温度が 30℃以下に下がる冬期施工が必須である。（路面温度 30℃における SFRC 施工可能時間：120 分、35℃：60 分、50 度：40 分）。橋面全面のため不具合発生は否めない。× 薄層のセメント舗装でひび割れ防止の面からも施工時振動抑制と低気温時施工が必須、冬期の全面通行止めとなる。△ 	<ul style="list-style-type: none"> 専用のコンクリートフィニッシャーと鋼繊維攪拌機が必要。△ SFRC 舗装 50mm の施工は収縮によるヘアークラックが必ず発生するので十分な養生と品質管理が重要である。△ 高耐久性エポキシ樹脂系接着剤を橋面前面に塗布することから、高温乾燥気候のエジプトにあつては端部に高耐久性エポキシ樹脂系接着剤を用いる SFRC（名古屋高速道路公社タイプ）より困難は施工となる。△ 施工実績は日本に限られる（実績経年：4 年）。【首都高中央環状線（新宿～池袋線）】△ 資機材・施工は日本仕様原則。（表層の密粒度改質アスファルトは現地施工者で可能）△ 接着層である高耐久エポキシ樹脂系接着剤は温度に非常に敏感である。高温な当該地域では路面温度が 30℃以下に下がる冬期施工が必須である。（路面温度 30℃における SFRC 施工可能時間：120 分、35℃：60 分、50 度：40 分）。橋面全面のため不具合発生は否めない。× 薄層のセメント舗装でひび割れ防止の面からも施工時振動抑制と低気温時施工が必須、冬期の全面通行止めとなる。△ 	<ul style="list-style-type: none"> 専用のコンクリートフィニッシャーと鋼繊維攪拌機が必要。△ SFRC 舗装 75mm あっても収縮によるヘアークラックが必ず発生するので十分な養生と品質管理が重要である。△ 高耐久性エポキシ樹脂系接着剤を端部のみに用いることから、高温乾燥気候のエジプトにあつては前面に高耐久性エポキシ樹脂系接着剤を用いる SFRC（首都高タイプ）より有利である。○ 全く同じ構造の実績はない。△ 資機材・施工は日本仕様原則。（表層の密粒度改質アスファルトは現地施工者で可能）△ スタッドジベルを橋面に 250mm 間隔で設置する作業において、研削した橋面に錆止めとして塗布した防錆材に傷や汚れをつけないよう十分な配慮が必要である。△ 現行の舗装厚 80mm に対し 105mm となり端部すり付けと本橋構造解析照査が発生する。△ 温度に敏感な高耐久性エポキシ樹脂系接着剤を橋面全面ではないものを使用するため、高温乾燥のエジプトの気候にあつて温度の下がる冬期限定となる。△ 薄層のセメント舗装でひび割れ防止の面からも施工時振動抑制と低気温時施工が必須、冬期の全面通行止めとなる。△
経済性	<p>既設舗装撤去工 11,824m²*0.14/千円 m²*1.83(経費率) 3,000 千円</p> <p>研掃工（ショットブラスト）11,824m²*3.05 千円 m²*1.83 66,000 千円</p> <p>高耐久性エポキシ樹脂系接着剤 1,460m²*3.83 千円 m²*1.83 10,000 千円</p> <p>セメント機械施工 11,824m²*3.1 千円 m²*1.83 67,000 千円</p> <p>シート養生工 11,824m²*1.61 千円 m²*1.83 35,000 千円</p> <p>スタッドジベル 11,824m²*0.6 千円 m²*1.83 130,000 千円</p> <p>区画線工 4,352m*0.063 千円/m*1.83 500 千円</p> <p>交通切替工 200m*0.27 千円/m*1.83 100 千円</p> <p>コンサル施工管理費 34,400 千円</p> <p>合計① 346,000 千円</p>	<p>既設舗装撤去工 11,824m²*0.14/千円 m²*1.83(経費率) 3,000 千円</p> <p>研掃工（ショットブラスト）11,824m²*3.05 千円 m²*1.83 66,000 千円</p> <p>グリッド敷設工 2,920m²*4.4 千円 m²*1.83 24,000 千円</p> <p>高耐久性エポキシ樹脂系接着剤 11,824m²*3.83 千円 m²*1.83 83,000 千円</p> <p>セメント機械施工 11,824m²*2.22 千円 m²*1.83 48,000 千円</p> <p>シート養生工 11,824m²*1.61 千円 m²*1.83 35,000 千円</p> <p>区画線工 4,352m*0.063 千円/m*1.83 500 千円</p> <p>交通切替工 200m*0.27 千円/m*1.83 100 千円</p> <p>コンサル施工管理費 34,400 千円</p> <p>合計① 294,000 千円</p>	<p>既設舗装撤去工 11,824m²*0.14/千円 m²*1.83(経費率) 3,000 千円</p> <p>研掃工（ショットブラスト）11,824m²*3.05 千円 m²*1.83 66,000 千円</p> <p>グリッド敷設工 2,920m²*4.4 千円 m²*1.83 24,000 千円</p> <p>高耐久性エポキシ樹脂系接着剤 11,824m²*3.83 千円 m²*1.83 83,000 千円</p> <p>セメント機械施工 11,824m²*2.22 千円 m²*1.83 48,000 千円</p> <p>シート養生工 11,824m²*1.61 千円 m²*1.83 35,000 千円</p> <p>改質 As 舗装工 11,824m²*0.9 千円 m²*1.83 20,000 千円</p> <p>As ケットル据付 1 式 10,000 千円</p> <p>区画線工 4,352m*0.063 千円/m*1.83 500 千円</p> <p>交通切替工 200m*0.27 千円/m*1.83 100 千円</p> <p>コンサル施工管理費 34,400 千円</p> <p>合計① 324,000 千円</p>	<p>既設舗装撤去工 11,824m²*0.14/千円 m²*1.83(経費率) 3,000 千円</p> <p>研掃工（ショットブラスト）11,824m²*3.05 千円 m²*1.83 66,000 千円</p> <p>高耐久性エポキシ樹脂系接着剤 1,460m²*3.83 千円 m²*1.83 10,000 千円</p> <p>セメント機械施工 11,824m²*3.1 千円 m²*1.83 67,000 千円</p> <p>シート養生工 11,824m²*1.61 千円 m²*1.83 35,000 千円</p> <p>スタッドジベル 11,824m²*0.6 千円 m²*1.83 130,000 千円</p> <p>密粒度 As 舗装工 11,824m²*0.9 千円 m²*1.83 20,000 千円</p> <p>As ケットル据付 1 式 10,000 千円</p> <p>区画線工 4,352m*0.063 千円/m*1.83 500 千円</p> <p>交通切替工 200m*0.27 千円/m*1.83 100 千円</p> <p>コンサル施工管理費 34,400 千円</p> <p>橋梁構造照査 8,000 千円</p> <p>合計① 384,000 千円</p>
	ライフサイクルコスト（50 年）	<p>補修(2 回/10 年)</p> <p>補修 10 回*5,000 千円/回 50,000 千円</p> <p>合計② 50,000 千円</p> <p>トータルコスト（インフラコスト+ライフサイクルコスト）①+② =396,000 千円 (2)</p>	<p>表層打替（10 年毎）、補修(2 回/10 年)</p> <p>補修 10 回*5,000 千円/回 50,000 千円</p> <p>合計② 50,000 千円</p> <p>トータルコスト（インフラコスト+ライフサイクルコスト）①+② =344,000 千円 (1)</p>	<p>表層打替（10 年毎）、補修(2 回/10 年)</p> <p>表層撤去取壊し+表層工 4 回*23,000 千円/回 92,000 千円</p> <p>補修 10 回*5,000 千円/回 50,000 千円</p> <p>合計② 142,000 千円</p> <p>トータルコスト（インフラコスト+ライフサイクルコスト）①+② =466,000 千円 (3)</p>

種 別	セメント系鋼床版補強舗装			
	鋼繊維補強セメント舗装（スタッドジベルタイプ） 名古屋高速道路公社タイプ	鋼繊維補強セメント舗装（高耐久性エポキシ樹脂系接着剤タイプ） 横浜ベイブリッジタイプ	鋼繊維補強セメント舗装（高耐久性エポキシ樹脂系接着剤タイプ+表層） 首都高速道路タイプ	鋼繊維補強セメント舗装（スタッドタイプ+表層） 名古屋高速道路公社タイプ+表層
評 価	<ul style="list-style-type: none"> ・ 構造性は鋼床版の板厚減少に対し合成効果があり鋼床版補強とたわみ減少効果がある。 ○ ・ コンクリート厚さとしては 80mm と薄いことから、構造上問題ないが伸縮によるひび割れが発生しやすい。 △ ・ 端部に用いる接着層の高耐久性エポキシ樹脂系接着剤は、温度に敏感で施工時期に制約がある。高温で資材調達に課題のある当該地域では冬期限定にするなど温度管理が課題である。 △ ・ 日本国内の実績はあるが海外での実績はない。他国での品質保証ができない可能性が高い。 △ ・ 冬期施工およびコンクリートが硬化するまでの振動防止のために全面通行止めが必須。 △ ・ SFRC にひび割れが発生した場合に目視確認でき、補修が可能である ○ <p style="text-align: center;">△</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 同左 ○ ・ 同左 △ ・ 全面に温度・乾燥に敏感な高耐久性エポキシ樹脂系接着剤を用いることから、高温・乾燥地域であるエジプトでの施工は不適である。 × <p style="text-align: center;">×</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 構造性は鋼床版の板厚減少に対し合成効果があり鋼床版補強とたわみ減少効果がある。 ○ ・ コンクリート厚さとしては 50mm と非常に薄いことから、構造上問題ないが伸縮によるひび割れが発生しやすい。 △ ・ 橋面全面に高耐久性エポキシ樹脂系接着剤を塗布するため、高温乾燥の気候のエジプトでは気温の下がる冬期でも温度管理が難しく不具合が発生する確率が極めて高い。 × ・ 経済性はスタッドジベルタイプより高価である。 △ ・ 日本国内の実績はあるが海外での実績はない。他国での品質保証ができない可能性が高い。 △ ・ 冬期施工・全面通行止めが必須 △ ・ SFRC にひび割れが発生しても確認しづらく、表層で確認できた時点では鋼床版まで錆が発生している可能性が高い。 × <p style="text-align: center;">×</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 構造性は鋼床版の板厚減少に対し合成効果があり鋼床版補強とたわみ減少効果がある。 ○ ・ コンクリート厚さとしては 75mm と薄いことから、構造上問題ないが伸縮によるひび割れが発生しやすい。 △ ・ 端部に用いる接着層の高耐久性エポキシ樹脂系接着剤は、温度に敏感で施工時期に制約がある。高温で資材調達に課題のある当該地域では冬期限定にするなど温度管理が課題である。 △ ・ 経済性は4案中最も高価である。 △ ・ 冬期施工およびコンクリートが硬化するまでの振動防止のために全面通行止めが必須。 △ ・ 全く同じ実績はない。 △ ・ 橋梁本体への死荷重加となり、橋梁の耐久性上望ましくない。 × ・ 冬期施工・全面通行止めが必須。 △ ・ 防水性がある反面、SFRC のひび割れ発生確認が困難で表層にひび割れが確認された時点では鋼床版の錆発生の可能性が極めて高い。 × <p style="text-align: center;">×</p>

5.1.6 セメント系鋼床版補強舗装工法に対する品質・施工上の留意点

エジプトの高温乾燥気候を考慮して、高温乾燥に敏感な高耐久性エポキシ樹脂接着剤を極力少なくできる第一案、スタッドタイプを選定した。選定した SFRC の品質確保・施工上の留意点は以下のとおりである。

(1) 品質

- セメント：使用する接着材との相性をせん断強度試験等により確認した上で、材料を選定することが望ましい。一方、連続して交通規制が可能な場合には、レディーミクストコンクリート工場から出荷した早強ポルトランドセメントを用いたコンクリートの使用を標準とする。
- 細骨材：砕砂は単位水量を大幅に増加させる傾向があるので使用しないことが望ましい。やむをえず、砕砂を使用する場合は、JIS A 5005「コンクリート用碎石および砕砂」に適合するとともに、試験練り等を実施して所要の品質を確保できることを確認する必要がある。
- 粗骨材：粗骨材の最大寸法と鋼繊維の長さの関係は SFRC の曲げ強度に影響を及ぼすため、鋼繊維の長さの 2/3 以下、かつ舗装厚の 1/2.5 以下とするのが望ましい。また、アルカリ骨材反応に対する安定性については、無害と判定された骨材以外は用いてはならない。
- 混和剤：打込み時に適切なワーカビリティを有する範囲で単位水量を減じるために、鋼繊維コンクリートには高性能減水剤（もしくは高性能 AE 減水剤）を使用するとよい。超速硬セメントを用いる場合には、専用の凝結遅延剤を使用して可使時間（練り混ぜてから仕上げが不可能となるまでの時間）を確保する。また、乾燥収縮量の低減を図る観点から、早強コンクリートを用いる場合には膨張材を添加することを標準とする。膨張材としては、JIS A 6202「コンクリート用膨張材」に適合し、添加量に対する効果が確認されたものを用いる必要がある。
- 鋼繊維：SFRC の強度、ひび割れに対する抵抗性は、鋼繊維の寸法・形状や混入率によって変化する。鋼繊維補強コンクリートの配合設計基準に順ずる。

－ 鋼繊維補強コンクリートの配合設計基準 －

- ・ SFRC は、強度、耐久性、水密性、作業に適するワーカビリティ等の所要の特性を有し、かつ、品質のばらつきの少ないものでなければならない。
- ・ 使用材料は以下を満足するものとする。
 - SFRC は、所要の強度、耐久性、水密性、打込み時における適切なワーカビリティを有する範囲で、単位水量をできるだけ少なくするように配合設計する。
 - SFRC に使用するセメントは、施工の条件を考慮して適切に選定する。
 - 鋼繊維混入量は、100～120kg/m³ 程度を標準とする。
 - 水セメント比は、SFRC の所要の圧縮強度ならびに耐久性を考慮して定める。原則として水セメント比は 50%以下とする。
 - 粗骨材の最大寸法は鋼繊維長さの 2/3 以下、かつ、部材最小寸法（舗装厚）の 1/2.5 以下を標準とする。
 - 細骨材率は、所要のワーカビリティが得られる範囲内で、単位水量をできるだけ少なくするよう試し練りによって定める。
 - スランプは、6.5±1.5cm を標準とする。
 - 空気量は、早強コンクリートを用いた場合には 4.5±1.5% を標準とする。

- SFRC の設計基準強度は、以下のとおりとする。

表 5.1.8 SFRC の設計基準強度

コンクリート	養生方法	材齢	設計基準強度	試験方法
超早強コンクリート	湿空	3 時間	24N/mm ² 以上	JIS A 1108
早強コンクリート	水中	7 日	30 N/mm ² 以上	

- コンクリートの乾燥収縮量は、その影響によって SFRC 舗装に有害なひび割れを生じることのないよう、十分に小さいものでなければならない。
- 接着材：各種性能確認のための試験項目に対して性能が確認されたものを使用する・

表 5.1.9 接着材の性能確認のための試験項目

項目		試験に考慮する条件等		
		試験頻度および考慮する条件	環境負荷条件	試験方法および試験結果の評価の目安
強度	接合部の接着強度	以下の材料の組合せを考慮して確認する。 ・接着材 ・セメント ・プライマー（使用する場合）	【環境負荷】 なし 【試験温度】 -10℃、20℃、50℃	せん断強度試験 接着材と SFRC との混合層あるいは SFRC での破壊の面積割合が 90%以上
		以下の材料の組合せを考慮して確認する。 ・接着材 ・セメント ・プライマー（使用する場合） また、工事毎に以下の施工条件を考慮して確認する。 ・デッキプレートの温度 ・SFRC 打設までの時間間隔 ・SFRC の配合	【環境負荷】 なし 【試験温度】 20℃	引張接着強度試験 接着材と SFRC との混合層あるいは SFRC での破壊の面積割合が 90%以上
耐久性	接合部の温度変化と水に対する耐久性	以下の材料の組合せを考慮して確認する。 ・接着材 ・セメント ・プライマー（使用する場合）	【環境負荷】 50℃の水中に 27 日間浸漬した後、1 日気中で乾燥 【試験温度】 20℃	せん断強度試験 接着材と SFRC との混合層あるいは SFRC での破壊の面積割合が 90%以上
	接合部の疲労耐久性	以下の材料の組合せを考慮した上で、活荷重の載荷条件、接合部の作用力を適切に反映できる疲労試験方法により確認する。 ・接着材 ・セメント ・プライマー（使用する場合）		

- スタッド：舗装表面から境界面への雨水等の浸入による端部境界面の部分的な劣化や、乾燥収縮等による端部の反り上がりによる劣化を抑制する役割を期待し、SFRC 舗装の打継目、舗装端部の近傍に頭付きスタッドを設置することを標準とした。

(2) 施工上の留意点

- 鋼床版面に錆が残っていると、錆の進展から SFRC が鋼床版と剥離し損傷することが懸念される。十分な錆の除去を行う。サンドブラストでは錆が発生し減厚している本橋にあっては完全な錆の除去は行えない。ショットブラストを用いなければならない。
- 冬期は霧が発生することから、霧の影響を回避し日中にショットブラストで研掃した後、水分の有無を確認し、直ちにプライマーで防錆しなければならない。
- SFRC 表面を平坦にする。平坦に出来ないと道路利用者の走行性・安全性・快適性に不具合が発生する。また、平坦性が確保できないと不均等な応力がかかりひび割れ誘発などの不具合が生じることもある。平坦性は 4m スケールで±2mm 以下とする。
- スタッドジベルは均等かつ垂直に溶接しなければならない。
- 端部の接着層（高耐久性エポキシ樹脂系接着剤）塗布は、温度管理を十分に行いむらの

ないように均等に塗布しなければならない。塗布後、速やかに SFRC を打設しなければならない。図 4.3.8 温度と打ち継ぎ可能時間参照。管理項目は以下のとおり。

表 5.1.10 接着材塗布のための施工管理項目

時期	管理項目	試験方法・確認方法等	管理頻度等	規格値等
作業前	接着材の数量	缶の数量等により確認	1回/施工	施工計画書と合致すること
	鋼床版表面温度	温度計により計測	1箇所/10m	使用する接着材の適用温度の範囲内であること
作業時	混合割合	主剤、硬化剤の計量	接着材混合時	主剤と硬化剤が所定の割合で混合されていること
	混合状況	目視確認	接着材混合時	色むらがなくなるまで十分に混合されていること
	塗布厚さ	未乾燥塗膜厚測定ゲージ等により計測	10m 間隔で 横断横断方向 3 箇所	施工計画書に記載された塗布厚さ（平均 1.0mm、最小 0.5mm を標準とする）であること
	塗布状況	目視確認	施工範囲全体	接着材がデッキプレート全面に均等に塗布されており、また、添接板等のデッキプレート上の突起部や打継目にも確実に塗布されていること
作業後	引張接着強度	別途製作した試験体を用いて引張接着強度を計測	工事用車両の 交通開放前	3 体の平均強度が 1.0N/mm ² 以上であること
	塗布時間	接着材混合からの時間により確認	1回/施工	接着材の可使時間内に塗布を完了したこと

- 鋼繊維が塊状にならないようデスペーサーを用いて分散してアジテータに導入しなければならない。
- SFRC 打設後に速やかに十分な締固めを行わなければならない。表面の仕上げは所定の寸法・形状および品質が得られる仕上げにしなければならない。
- 打設後、一定期間に硬化に必要な温度および湿度に保ち、乾燥、急激な温度変化、活荷重等による有害な影響を受けないように養生しなければならない。
- SFRC が硬化するまでは振動を抑制しなければならない。また、高耐久性エポキシ系接着層を用いるので気温が低くなる冬期に限定され全面通行止めとなる。通行止め期間はコンクリートが所定の強度を確保し硬化するのに 3 日必要である。また、資材の打設が遅ればその分、通行止めの期間が長くなることから、資材供給管理を十分におこなわなければならない。
- SFRC の施工は、一日の最大施工量により施工区間を管理しなければならない。施工量に応じて日打ち継ぎ目地として横目地を設けなければならない。また、車線毎の施工が一般的であり、車線の打ち継ぎには縦目地を設けるものとする。目地の構造はカッターで深さ 20mm、幅 4mm の目地を設けて目地材を注入する。

(3) エジプトで SFRC 施工の予想される不具合

- 鋼床版にスタッドジベルを溶接するに際し、その本数が膨大となることから溶接に時間を要する。そのため研掃した鋼床版面に再び錆が発生する。錆は鋼床版を侵食するばかりでなく SFRC との接着効果を失うことになる。結果、SFRC・鋼床版の損傷が予測される。錆の防止対策として研掃後に速やかに清掃し、防錆処置を行わなければならない。
- スタッドジベル溶接で均等かつ鋼床版に垂直に溶接することが重要である。これを怠ると均一な製品が出来ず、ひび割れ発生や損傷といった不具合が発生する。
- 鋼繊維の攪拌に際し、均等に攪拌しなければならない。均等に攪拌できないと品質にむらが発生し鋼繊維の塊やまったく鋼繊維がない箇所が発生する。この場合、鋼繊維が錆びたり大きなひび割れが発生したりの不具合が発生する。

- 締固め、養生を十分に行わないと求める品質確保が出来ず、ひび割れや表面剥離などの不具合が発生する。

(4) 維持管理

SFRC 舗装を施した鋼床版舗装については、以下の項目について適切な頻度で点検・調査を行うことが重要である。また、仕様や施工方法、維持管理において実施した調査結果は記録を残すものとする。

- 1) ウェブ上の負曲げ部、打継目部等の SFRC 舗装のひび割れ、はく離、破損等の発生、進展
- 2) 鋼床版の新たな疲労き裂の発生、進展

5.2 本調査採用工法の概要と施工計画

5.2.1 採用工法の概要

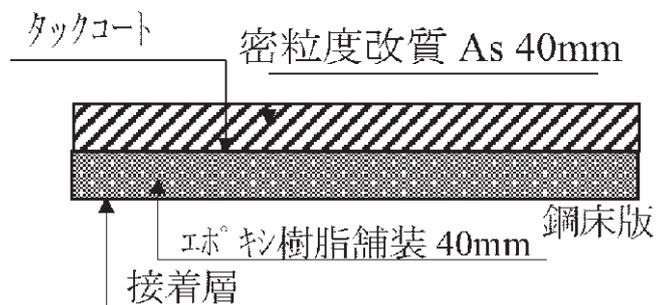
選定した SFRC スタッドタイプとグースアスファルト工法について再比較を行った。

SFRC はコンクリートとしては 80mm と薄層であるが故に、硬化時に伸縮してひび割れが発生しやすいばかりでなく、施工時に高温乾燥時を避けた気温の下がる冬期に限定される。また、コンクリートが固化するまでに振動を抑制する必要があるため全面通行止めとなる。スタッドジベルの膨大な施工と錆止め・高耐久性エポキシ樹脂系接着剤の敏感性から、求める品質確保が難しい。

これに対し、グースアスファルトは温度に影響を受けず交通規制もない。更に配合設計を確立さえすれば施工は鈍感で失敗が少ないのが特徴である。経済性では同程度であるが、SFRC が失敗した場合には倍増する。

よって、再度比較を行ったがグースアスファルトがスエズ運河橋の補修工法として最適であると判断する。したがって同工法を補修工法として選定した。

選定したグースアスファルト工法の技術的特徴及び施工上の留意点の概要を以下にまとめる。



鋼床版桁橋梁の舗装工法としてドイツで開発された工法である。

日本の長大橋梁の鋼床版舗装では殆どがこの工法であり、1950年代から多くの実績がある。たわみ追従性に優れ、鋼床版との接着性が高い。

トリニダットレイクアスファルト (TLA) を混合したグースアスファルト混合物は一般の舗装より高温 (220~260℃) での舗設となるため、専用のクッカー車とフィニッシャーが必須機材である。

TLA は第三国からの輸入、クッカー車とフィニッシャーは日本及び欧州からの調達となる。

表 5.2.1 グースアスファルト舗装と選定した SFRC の再比較

種 別	グースアスファルト舗装 Guss Asphalt	SFRC(鋼繊維補強セメント舗装)スタッドタイプ Steel Fiber Reinforced Concrete (SFRC) Stud type																																		
構 造 (断面)																																				
工法の開発経緯	<ul style="list-style-type: none"> 鋼床版舗装としてドイツで開発された。 日本では 1970 年代に本四長大橋で開発され、今日まで多くの長大橋の鋼床版の舗装に摘要されている。 本四橋梁供用後約 20 年を経て大きな問題は発生していない。 	<ul style="list-style-type: none"> SFRC 工法は劣化した鋼床版の耐力向上を目的として、日本では約 20 年前から開発された。 SFRC 工法を摘要した橋梁は、数例の失敗事例を除いて概ね良好な状態を保っている。 																																		
技術的特徴	<ul style="list-style-type: none"> トリニダッドレイクアスファルト(TLA) を高温 (220～260℃) で混合し混合してグースアスファルトアスファルト混合物を製造する。 	<ul style="list-style-type: none"> SFRC は強度を高めるため鋼繊維をレディーミクストコンクリートに混合して製造する。 スタッドタイプの SFRC では多くのスタッドボルトにより鋼床版と一体化させる。 																																		
特殊材料及び資機材	<ul style="list-style-type: none"> 輸入によるトリニダッドレイクアスファルト(TLA) グースアスファルトアスファルトプラント内に設置する TLA 混合用のアスファルトケトル グースフィニッシャー クッカー車 	<ul style="list-style-type: none"> SFRC を鋼床版と一体化させるためのスタッドボルト SFRC 施工打継目に添って塗布する高耐久エポキシ樹脂接着剤 早強コンクリート 																																		
品 質	<ul style="list-style-type: none"> 鋼床版の変形に対する追従性に優れているため、クラックが発生しにくい 水密性が高い 平坦性に優れている 	<ul style="list-style-type: none"> 鋼床版と SFRC 層との一体化により、鋼床版の変形を制御できる 水密性は小さい 平坦性に難がある SFRC 層が 80mm と薄いためクラックが発生、成長し易い 一旦クラックが発生すると水分の内部浸透により鋼床版の錆を誘発する懸念が有る 高耐久エポキシ樹脂接着剤と早強コンクリートに対する厳し品質管理を必要とする サンドブラストによる錆除去の不徹底、不適切なスタッド溶接、高繊維の不均等な混合などのリスクが有る。 																																		
施 工 性	<ul style="list-style-type: none"> ショットブラストによる鋼床版研磨を必要とする 施工期間は 7 ヶ月 グースアスファルトの施工は温度の影響を受けない 交通規制が必要 (4 車線を 2 車線に) 	<ul style="list-style-type: none"> 通常はショットブラストによる鋼床版研磨を必要とする 施工期間は 11 ヶ月または 19 ヶ月を要する コンクリートの打設は冬季に限定される (12-1 月) コンクリート打設から養生 7 日間までの期間は全面通行止めとする必要がある。橋梁の南北両サイド共に約 1 ヶ月ずつの通行止めとなり経済的・社会的影響が多である 																																		
経 済 性	<table border="1"> <tr><td>既設舗装撤去工 11,824m²</td><td>176,000 \$</td></tr> <tr><td>研掃工 (ショットブラスト) 11,824m²</td><td>254,000 \$</td></tr> <tr><td>接着剤塗布工 11,824m²</td><td>1,054,000 \$</td></tr> <tr><td>グース As 舗装工</td><td>1,462,000 \$</td></tr> <tr><td>改質 As 舗装工 11,824m²</td><td>624,000 \$</td></tr> <tr><td>区画線工 4,352m</td><td>72,000 \$</td></tr> <tr><td>技術料(グース経験国際建設会社ジョイント)</td><td>83,000 \$</td></tr> <tr><td>小 計①</td><td>3,725,000 \$</td></tr> <tr><td>コンサル施工管理費</td><td>42,000 \$</td></tr> </table>	既設舗装撤去工 11,824m ²	176,000 \$	研掃工 (ショットブラスト) 11,824m ²	254,000 \$	接着剤塗布工 11,824m ²	1,054,000 \$	グース As 舗装工	1,462,000 \$	改質 As 舗装工 11,824m ²	624,000 \$	区画線工 4,352m	72,000 \$	技術料(グース経験国際建設会社ジョイント)	83,000 \$	小 計①	3,725,000 \$	コンサル施工管理費	42,000 \$	<table border="1"> <tr><td>既設舗装撤去工 11,824m²</td><td>175,000 \$</td></tr> <tr><td>研掃工 (サンドブラスト) 11,824m²*</td><td>436,000 \$</td></tr> <tr><td>スタッド設置 11,824m²</td><td>213,000 \$</td></tr> <tr><td>高耐久性エポキシ樹脂系接着剤 1,5742m²</td><td>59,000 \$</td></tr> <tr><td>SFRC 11,824m²</td><td>291000 \$</td></tr> <tr><td>施工目地工 1,5742m</td><td>336,000 \$</td></tr> <tr><td>小 計①</td><td>1,581,000 \$</td></tr> <tr><td>コンサル施工管理費</td><td>42,000 \$</td></tr> </table>	既設舗装撤去工 11,824m ²	175,000 \$	研掃工 (サンドブラスト) 11,824m ² *	436,000 \$	スタッド設置 11,824m ²	213,000 \$	高耐久性エポキシ樹脂系接着剤 1,5742m ²	59,000 \$	SFRC 11,824m ²	291000 \$	施工目地工 1,5742m	336,000 \$	小 計①	1,581,000 \$	コンサル施工管理費	42,000 \$
	既設舗装撤去工 11,824m ²	176,000 \$																																		
研掃工 (ショットブラスト) 11,824m ²	254,000 \$																																			
接着剤塗布工 11,824m ²	1,054,000 \$																																			
グース As 舗装工	1,462,000 \$																																			
改質 As 舗装工 11,824m ²	624,000 \$																																			
区画線工 4,352m	72,000 \$																																			
技術料(グース経験国際建設会社ジョイント)	83,000 \$																																			
小 計①	3,725,000 \$																																			
コンサル施工管理費	42,000 \$																																			
既設舗装撤去工 11,824m ²	175,000 \$																																			
研掃工 (サンドブラスト) 11,824m ² *	436,000 \$																																			
スタッド設置 11,824m ²	213,000 \$																																			
高耐久性エポキシ樹脂系接着剤 1,5742m ²	59,000 \$																																			
SFRC 11,824m ²	291000 \$																																			
施工目地工 1,5742m	336,000 \$																																			
小 計①	1,581,000 \$																																			
コンサル施工管理費	42,000 \$																																			
ライフサイクルコスト (50 年)	<table border="1"> <tr><td>表層打替 (10 年毎)、補修(2 回/10 年)</td><td></td></tr> <tr><td>表層撤去取壊し+表層工 4 回*295,000 \$/回</td><td>1,180,000 \$</td></tr> <tr><td>補修 10 回*128,500 \$/回</td><td>641,000 \$</td></tr> <tr><td>小 計②</td><td>1,821000 \$</td></tr> <tr><td>トータルコスト (インシャルコスト+ライフサイクルコスト) ①+②</td><td>=5,588,000 \$</td></tr> </table>	表層打替 (10 年毎)、補修(2 回/10 年)		表層撤去取壊し+表層工 4 回*295,000 \$/回	1,180,000 \$	補修 10 回*128,500 \$/回	641,000 \$	小 計②	1,821000 \$	トータルコスト (インシャルコスト+ライフサイクルコスト) ①+②	=5,588,000 \$	<table border="1"> <tr><td>補修 10 回*128,000 \$/回</td><td>640,000 \$</td></tr> <tr><td>小 計②</td><td>640,000 \$</td></tr> <tr><td>トータルコスト (インシャルコスト+ライフサイクルコスト) ①+②</td><td>=2,236,000 \$</td></tr> </table>	補修 10 回*128,000 \$/回	640,000 \$	小 計②	640,000 \$	トータルコスト (インシャルコスト+ライフサイクルコスト) ①+②	=2,236,000 \$																		
表層打替 (10 年毎)、補修(2 回/10 年)																																				
表層撤去取壊し+表層工 4 回*295,000 \$/回	1,180,000 \$																																			
補修 10 回*128,500 \$/回	641,000 \$																																			
小 計②	1,821000 \$																																			
トータルコスト (インシャルコスト+ライフサイクルコスト) ①+②	=5,588,000 \$																																			
補修 10 回*128,000 \$/回	640,000 \$																																			
小 計②	640,000 \$																																			
トータルコスト (インシャルコスト+ライフサイクルコスト) ①+②	=2,236,000 \$																																			
評 価	○	△																																		

SFRC はコンクリートとしては 80mm と薄層であるが故に、硬化時に伸縮してひび割れが発生しやすいばかりでなく、施工時に高温乾燥時を避けた気温の下がる冬期に限定される。また、コンクリートが固化するまでに振動を抑制する必要があるため全面通行止めとなる。スタッドジベルの膨大な施工と錆止め・高耐久性エポキシ樹脂系接着剤の敏感性から、求める品質確保が難しい。

これに対し、グースアスファルトは温度に影響を受けず交通規制もない。更に配合設計を確立させれば施工は鈍感で失敗が少ないのが特徴である。経済性では同程度であるが、SFRC が失敗した場合には倍増する。

よって、再比較を行ったがグースアスファルトがスエズ運河橋の補修工法として最適であると判断する。

表 5.2.2 概略施工工程－SFRC 工法

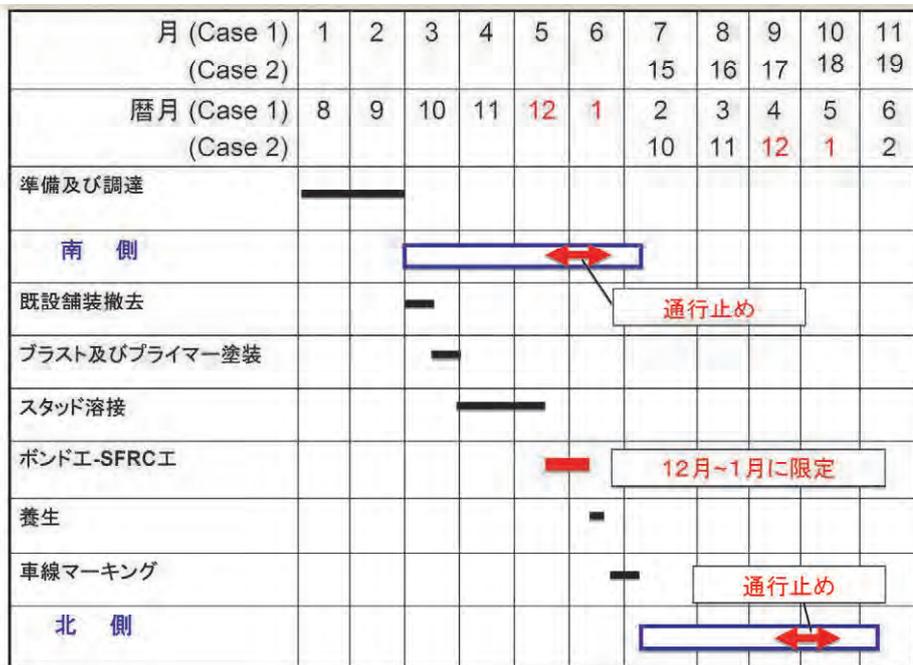
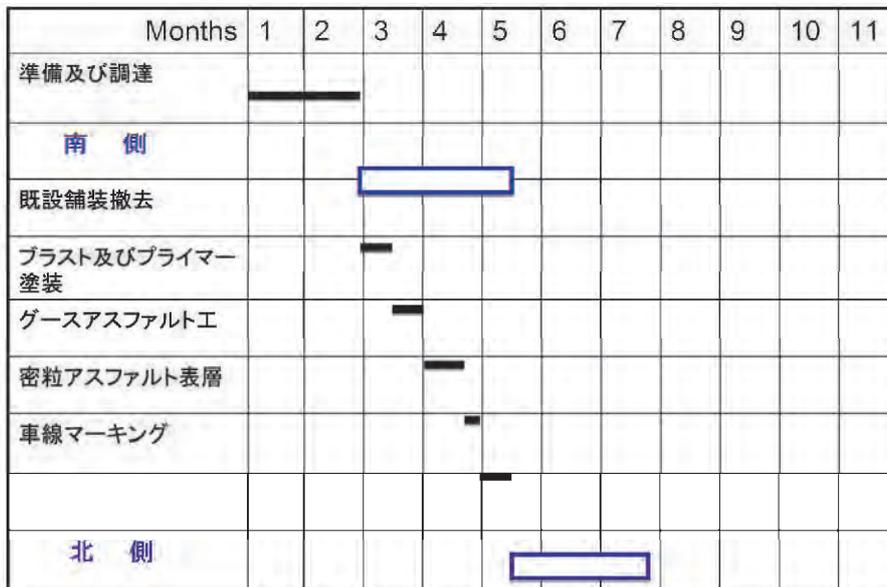


表 5.2.3 概略施工工程－グース工法



5.2.2 施工計画の概要

南北各2車線を、工事中は片側のみを共用し上下合計2車線に交通規制して、北側車線及び南側車線を各々以下の施工手順で進める。

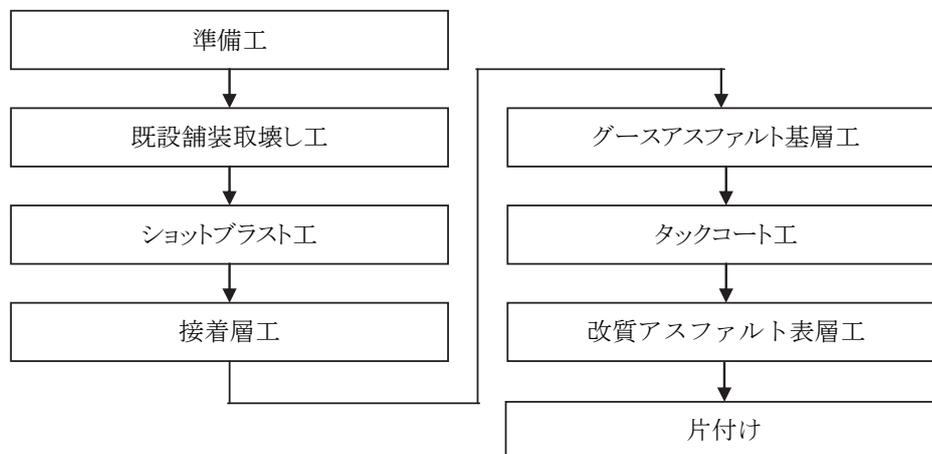


図 5.2.1 施工順序フロー

(1) 既設舗装取り壊し工

既設の表層及び基層を掘削機械、ブレイカーまたは人力にて取り壊す。取り壊した既設舗装ブロックは小割にしてトラックで場外に運搬する。既設の舗装構成は下図のとおりである。

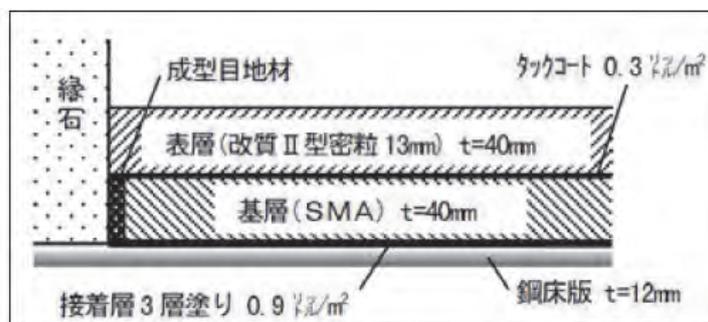


図 5.2.2 既設舗装構成図

(2) ショットブラスト工（鋼床版上面の仕上げ）

接着層施工の準備段階として、既設の接着層、ゴミ、油分劣化した塗装などを除去するためにショットブラスト工を行う。ショットブラスト前は鋼床版上面を乾燥状態にする。研磨後も、鋼床版上面は錆が直ぐに発生しやすいので、直ちに次工程である接着層の施工を開始する必要がある。

使用機械

- ・ショットブラストマシン（研掃機）
- ・集塵機
- ・トラック（ショットブラスト機材及び廃材の運搬）



写真 5.2.1 ショットブラストに使用する機械

(3) 接着層工

グースアスファルト基層工に先立ち、グース層と鋼床版上面を一体化させるために溶解型ゴムアスファルト製の接着層を塗布する。



写真 5.2.2 接着層の施工状況

(4) グースアスファルト基層工

グースアスファルト混合物は、クッカー車により加熱混合（240℃）された後、専用のグースアスファルトフィニッシャーで橋面に施工される。



写真 5.2.3 グースアスファルト用特殊機材

(5) タックコート工

グースアスファルト基層工完了後、表層との付着を確実にするためにタックコート工を施工する。一般にタックコート用の瀝青材料としてはカットバックアスファルト乳剤（Emulsified Cutback Asphalt）やゴム入りアスファルト乳剤（Emulsified Rubberized Asphalt）を用いる。乳剤散布にはディストリビュータを使用する。



写真 5.2.4 ディストリビューター

(6) 密粒度改質アスファルト表層工

改質アスファルトはポリマーやゴムなどの改質剤（Modifying Additive）を加え、性状を向上させたアスファルトである。

密粒度改質アスファルト表層工に使用する施工機械

- ・アスファルトフィニッシャー
- ・ロードローラー
- ・タイヤローラー
- ・振動ローラー



写真 5.2.5 密粒度アスファルト表層工に使用する施工機械

5.3 概算事業費

選定したグースアスファルト基層工(+密粒度改質アスファルト表層工)で実施する補修工法の概略事業費については以下の調査を行った。

第4回現地調査の際に GARBLT はエジプト建設業者主体による工事を前提とする発注方法の意向を示した。調査団はこれを受け、GARBLT を通じてエジプト国内で橋梁工事、舗装工事の実績の豊富な大手コントラクターに対して補修工事の単価見積りを依頼した。

また、見積り依頼に際してはグースアスファルト工法の施工上の留意点と材料の品質基準を明記した Technical Specification(Draft)を添付し、見積り提出に当たり遺漏が無い様に留意することを促した。

その結果、比較的と同工法を技術的に理解している 1 社（SAMCO 社）からの見積もりが有効であると判断し、この工事金額を概略事業費として GARBLT に提示した。

この概略事業費は約 22,573,000 LE（約 3,725,000 ドル、約 291,000 千円（1LE=12.833 円））である。

表 5.3.1 グースアスファルト概略事業費

Unit Price / Total Summay Cost for Repair Work by Guss Asphalt Method

Campany		<u>SAMCO</u>				
Guss Asphalt Method						
No.	Work Items	Unit Price (L.E)		Quantity	Cost (L.E)	USD
1	Removal of Existing Pavement	90	/m2	11,824	1,064,160	176,000
2	Shot-Blasting	130	m2	11,824	1,537,120	254,000
3	Epoxy Primer	290	m2	11,824	3,428,960	566,000
4	Bonding layer	250	m	11,824	2,956,000	488,000
5	Guss As.Binder Layer	750	m2	11,824	8,868,000	1,463,000
6	Tack Coat	120	m2	11,824	1,418,880	234,000
7	Surface Layer (Modified As.)	200	m2	11,824	2,364,800	390,000
8	Traffic Line Marking	100	mL	4,352	435,200	72,000
9	Consulting	500,000	L.s	1	500,000	83,000
					1 (LE) =0.165 \$	
Total Cost					22,573,120	\$3,725,000

また参考として、日本やドイツなどの経験ある建設会社が主体となり補修工事を実施するケースを想定した場合の概略事業費を算定した。

日本の建設会社が補修工事を実施するとして、「協力準備調査 設計・積算マニュアル 補完編（土木分野）2009年3月」に基づき積算した概略工事費を以下に示す。

このケースの概略工事費はコンサルタント費用も含めて約 3.30 億円千円である。

スエズ運河架橋建設計画フォローアップ協力調査（鋼床版舗装）
調査報告書

	種 別	規 格	単 位	施工数量	現地貨 (LE)		米ドル(第三国)		日本円		総合計 (円換算)
					単価	金額	単価	金額	単価	金額	
土木建設費(A+B+C)						1,741,072		226,724		256,280,095	296,446,923
A. 直接工事費(ΣA)						1,331,047		93,922		136,631,622	161,126,998
A1. 舗装打替工事(I+II)						1,595,617		93,741.75		47,843,777	75,733,527
I 舗装工						1,591,546		93,742		47,843,777	75,681,078
	既設舗装撤去工	車道、t=4cm、車道幅b>3.0m	m2	11,824	10.23	120,961	0	0	0	0	1,558,338
	研掃工	鋼床版ショットブラスト	m2	11,824	77.63	917,863	0	0	2,060	24,359,994	36,184,822
	接着剤塗布工	グーアスファルトプライマー	m2	11,824	1.41	16,681	0	0	320	3,779,745	3,994,650
	舗装工(グーアスファルト基層)	車道、t=4cm、車道幅b>3.0m	m2	11,824	12.73	150,562	7.93	93,742	671	7,928,896	17,202,000
	舗装工(密粒度アスファルト表層)	車道、t=4cm、車道幅b>3.0m	m2	11,824	32.21	380,814	0	0	498	5,883,244	10,789,271
	アスファルトケトル据付	日本から購入・輸送後に現地プラントに設置	式	1	3,171.03	3,171	0	0	5,600,000	5,600,000	5,640,852
	区画線工	ペイント式(自走)実線 加熱式	m	4,352	0.34	1,494	0	0	67	291,898	311,145
II 直接仮設工						4,071		0		0	52,449
	交通切替工	既設中央分離帯ブロックの移動	m	200	20.36	4,071	0	0	0	0	52,449
A2. 技能工派遣										50,400,000	46,958,693
	I 技能工派遣		式	1.0		-267,120		0		50,400,000	46,958,693
A3. 機械損料										37,540,679	37,540,679
	I 機械損料		式	1.0		0		0		37,540,679	37,540,679
A4. 輸送梱包費 (日本からの材料輸送費)						2,550		180		847,166.2	894,099
	I 輸送梱包費		式	1.0	2,550.00	2,550	180	180	847,166.2	847,166	894,099
B. 間接工事費(I+II)						410,025		132,802		92,912,025	108,583,478
I 共通仮設費						34,425		132,802		31,981,410	42,814,008
	1. 率計算額		式	1.0	0	0	0	0	13,921,373	13,921,373	13,921,373
	2. 輸送梱包費		式	1.0	34,425	34,425	132,802	132,802	18,060,038	18,060,038	28,892,636
II 現場管理費						375,600		0		60,930,615	65,769,470
	1. 率計算額		式	1.0	0	0	0	0	40,808,595	40,808,595	40,808,595
	2. 海外渡航費		式	1.0	0	0	0	0	5,112,900	5,112,900	5,112,900
	3. 海外滞在費		式	1.0	0	0	0	0	15,009,120	15,009,120	15,009,120
	4. 管理用車両費		式	1.0	375,600	375,600	0	0	0	0	4,838,855
C. 一般監理費										26,736,447	26,736,447

Total Civil Construction Cost

Exchange Rate	1 (US\$) = 78.23 ¥	1 (LE) = 12.883 ¥
---------------	--------------------	-------------------

	Item	Classification	unit	quantity	Local Currency (LE)		US \$		Japanese ¥		Total Amount (Translated into ¥)	Total Amount (Translated into LE)	
					Unit	Amount	Unit	Amount	Unit	Amount			
Total Civil Construction Cost (A+B+C)						1,741,072		226,724		256,280,095	296,446,923	23,010,706	
A. Cost for Direct Works (ΣA)						1,331,047		93,922		136,631,622	161,126,998	12,506,947	
A1. Cost for Placement Work (I+II)						1,595,617		93,741.75		47,843,777	75,733,527	5,878,563	
I Pavement						1,591,546		93,742		47,843,777	75,681,078	5,874,492	
	Removal of Existing Pavement	Total Thickness 80mm	m2	11,824	10.23	120,961	0	0	0	0	1,558,338	120,961	
	Shot-Blasting	On the Steel Deck Plate	m2	11,824	77.63	917,863	0	0	2,060	24,359,994	36,184,822	2,808,726	
	Bonding Layer		m2	11,824	1.41	16,681	0	0	320	3,779,745	3,994,650	310,071	
	Guss Asphalt Binder Layer	Thickness 40mm	m2	11,824	12.73	150,562	7.93	93,742	671	7,928,896	17,202,000	1,335,248	
	Modified Asphalt Surface Layer	Thickness 40mm	m2	11,824	32.21	380,814	0	0	498	5,883,244	10,789,271	837,481	
	Installing Asphalt Kettle	Install in As. Plant	set	1	3,171.03	3,171	0	0	5,600,000	5,600,000	5,640,852	437,852	
	Traffic Line Marking		m	4,352	0.34	1,494	0	0	67	291,898	311,145	24,152	
II Direct temporary Work						4,071		0		0	0	52,449	4,071
	Temporary Traffic Switching	Moving S Setting Center Med	m	200	20.36	4,071	0	0	0	0	0	52,449	4,071
A2. Skilled Worker Dispatch fm JPN										50,400,000	46,958,693	3,645,012	
	I Skilled Worker Dispatch fm JPN		set	1.0		-267,120		0		50,400,000	46,958,693	3,645,012	
A3. Machine Operational Cost										37,540,679	37,540,679	2,913,970	
	I Machine Operational Cost		set	1.0		0		0		37,540,679	37,540,679	2,913,970	
A4. Maritime transport costs						2,550		180		847,166	894,099	69,401	
	I Maritime transport costs of Materials from JPN		set	1.0	2,550.00	2,550	180	180	847,166	847,166	894,099	69,401	
B. Cost for Indirect Works (I+II)						410,025		132,802		92,912,025	108,583,478	8,428,431	
I Cost for Temporary Common Facilities						34,425		132,802		31,981,410	42,814,008	3,323,295	
	1. Estimated amount of rate		set	1.0	0	0	0	0	13,921,373	13,921,373	1,080,600		
	2. Land Transportation Cost		set	1.0	34,425	34,425	132,802	132,802	18,060,038	18,060,038	28,892,636	2,242,695	
II Site Expenses						375,600		0		60,930,615	65,769,470	5,105,136	
	1. Estimated amount of rate		set	1.0	0	0	0	0	40,808,595	40,808,595	40,808,595	3,167,631	
	2. Overseas Travel Expenses		set	1.0	0	0	0	0	5,112,900	5,112,900	396,872		
	3. Living Expenses of Foreigner		set	1.0	0	0	0	0	15,009,120	15,009,120	1,165,033		
	4. Vehicle Costs for Managing		set	1.0	375,600	375,600	0	0	0	0	4,838,855	375,600	
C. Head Office Expenses										26,736,447	26,736,447	2,075,328	

ただし、上記の概略工事費に加え、エジプト国内で調達出来ないグーアスファルト舗装材料や専用建設機械を輸入した場合には、これらに対する関税や付加価値税等（TARRIF、TAX）が負荷される。

現地調査では、工事に必要な資機材の輸入に伴う関税率や付加価値税率を調査し、これに基づき付加金額を下の表のように算定した。

日本からの輸入する際に資機材に付加される金額 約 296,000 千円

TRIFF and VAT imposed to Machinery and Material from Japan

1 (LE)=12.883 ¥

* Rate of Tariff and VAT are set assumed

Item	Name	Classification	Num.		Basic Price(¥)	Tariff and VAT = (Basic Price * %)		Translated into LE
						②	① * ②	
Machinery Transported from Japan					①		① * ②	
	Shot-Blast Mashine No.1	0.7m	1		8,150,000	15.5%	1,263,250	98,100
	Shot-Blast Mashine No.2	0.7m	1		8,150,000	15.5%	1,263,250	98,100
	Shot-Blast Mashine No.3	0.7m	1		8,150,000	15.5%	1,263,250	98,100
	Shot-Blast Mashine No.4	0.7m	1		8,150,000	15.5%	1,263,250	98,100
	Shot-Blast MashineNo.5	0.7m	1		8,150,000	15.5%	1,263,250	98,100
	Shot-Blast Mashine No.6	0.7m	1		8,150,000	15.5%	1,263,250	98,100
	Dust Cleaner No.1	60m3/min	1		3,917,000	15.5%	607,135	47,100
	Dust Cleaner No.2	60m3/min	1		3,917,000	15.5%	607,135	47,100
	Guss Asphalt Finisher	2.5-4.5m	1		26,200,000	15.5%	4,061,000	315,200
	Asphalt Cooker No.1	Capacity 4.0m3	1		21,900,000	32.0%	7,008,000	544,000
	Asphalt Cooker No.2	Capacity 4.0m3	1		21,900,000	32.0%	7,008,000	544,000
	Asphalt CookerNo.3	Capacity 4.0m3	1		21,900,000	32.0%	7,008,000	544,000
	Road Heater		1		43,300,000	15.5%	6,711,500	521,000
Asphalt Kettle		1		2,000,000	32.0%	640,000	49,700	
	Sub-Total				193,934,000		40,590,270	3,150,700
Material imported from Japan					①		① * ②	
	Additive of Modified Asphalt		4.308	ton	5,643,480	100.0%	5,643,480	438,100
	Trinidad Lake Asphalt (TLA)		29.795	ton	5,959,000	100.0%	5,959,000	462,500
	Bonding Material (18 l can * 278no.)		4.966	ton	3,779,126	100.0%	3,779,126	293,300
	Molded Loint (25kg-Package * 51no.)		0.320	ton	121,600	100.0%	121,600	9,400
	Steel Shot for Shot-Blasting		5.415	ton	1,786,950	100.0%	1,786,950	138,700
	Paint (for traffic lane Marking)		0.320	ton	201,600	100.0%	201,600	15,600
	Beads Paint (for traffic lane Marking)		0.270	ton	40,500	100.0%	40,500	3,100
	Sub-Total				17,532,256		17,532,256	1,360,700

これらの税率は、資材によっては危険物や可燃物扱いとなり税率が上がるケース、建設機械の種類・中古車両扱いによる税率の違い等が設定されている。特にグース工法に必要な建設機材については、各機材の日本での使用年数や重量、大きさ等の条件を明確にした上で付加金額が設定されるため、概略事業費を算定する上で不確定な要素が有ると言える。

TRIFF and VAT imposed to Machinery and Material from Japan

1 (LE) = 12.883 ¥

* Rate of Tariff and VAT are set assumed

Item	Name	Classification	Num.		Basic Price(¥)	Tariff and VAT = (Basic Price * %)		Translated into LE
						②	① * ②	
					①	②	① * ②	
Machinery Transported from Japan	Shot-Blast Mashine No.1	0.7m	1		8,150,000	15.5%	1,263,250	98,100
	Shot-Blast Mashine No.2	0.7m	1		8,150,000	15.5%	1,263,250	98,100
	Shot-Blast Mashine No.3	0.7m	1		8,150,000	15.5%	1,263,250	98,100
	Shot-Blast Mashine No.4	0.7m	1		8,150,000	15.5%	1,263,250	98,100
	Shot-Blast Mashine No.5	0.7m	1		8,150,000	15.5%	1,263,250	98,100
	Shot-Blast Mashine No.6	0.7m	1		8,150,000	15.5%	1,263,250	98,100
	Dust Cleaner No.1	60m3/min	1		3,917,000	15.5%	607,135	47,100
	Dust Cleaner No.2	60m3/min	1		3,917,000	15.5%	607,135	47,100
	Guss Asphalt Finisher	2.5-4.5m	1		26,200,000	15.5%	4,061,000	315,200
	Asphalt Cooker No.1	Capacity 4.0m3	1		21,900,000	32.0%	7,008,000	544,000
	Asphalt Cooker No.2	Capacity 4.0m3	1		21,900,000	32.0%	7,008,000	544,000
	Asphalt Cooker No.3	Capacity 4.0m3	1		21,900,000	32.0%	7,008,000	544,000
	Road Heater		1		43,300,000	15.5%	6,711,500	521,000
	Asphalt Kettle		1		2,000,000	32.0%	640,000	49,700
	Sub-Total				193,934,000		40,590,270	3,150,700
Material imported from Japan					①	②	① * ②	
	Additive of Modified Asphalt		4.308	ton	5,643,480	100.0%	5,643,480	438,100
	Trinidad Lake Asphalt (TLA)		29.795	ton	5,959,000	100.0%	5,959,000	462,500
	Bonding Material (18 l can * 278no.)		4.966	ton	3,779,126	100.0%	3,779,126	293,300
	Molded Loint (25kg-Package * 51no.)		0.320	ton	121,600	100.0%	121,600	9,400
	Steel Shot for Shot-Blasting		5.415	ton	1,786,950	100.0%	1,786,950	138,700
	Paint (for traffic lane Marking)		0.320	ton	201,600	100.0%	201,600	15,600
	Beads Paint (for traffic lane Marking)		0.270	ton	40,500	100.0%	40,500	3,100
	Sub-Total				17,532,256		17,532,256	1,360,700

6. 維持管理計画

6.1 現在の維持管理体制

6.1.1 管理事務所概要

スエズ運河橋管理事務所は、幹線道路であるイスマイリアーポートサイド線とスエズ運河橋のほぼ交差する位置（図 8.1.1）に立地している。当事務所に関する基本情報は以下の通りである。

- 事務所：メイン事務所、西側料金所、東側料金所（監視カメラ保有）
- 従業員：常駐、非常勤含めて 30 人が勤務（23 人が西側、7 人が東側に勤務）
- 勤務時間：AM8:30-PM3:00（昼食休憩なし）で金曜と土曜が休日。料金所や監視カメラ及びセキュリティスタッフは 24 時間体制（2 交代制）としている。



写真 6.1.1 管理事務所位置



写真 6.1.2 事務所

6.1.2 現在の点検内容

本調査の対象である主橋梁部について GARBLT は、表 2.7.1 に示すような点検を日常的に行っている。

表 6.1.1 主橋梁部分（鋼）

部材	点検内容	点検方法	点検頻度
箱桁	異常な変形 塗装の劣化	地上 管理用通路（主桁）	日常点検（毎日） 定期点検（1年に1回）
	溶接のひび割れ 異常音、ボルトのゆるみ	管理用通路（主桁） 点検車	定期点検（1年に1回）
主桁調査	主桁の異変 主桁の温度変化 主塔の傾き	橋面 地上の点検路	定期点検（5年に1回）
支承	ボルトのゆるみ ゴム表面・グラウトのひび割れ プレートの損傷 塗装の劣化、溶接のひび割れ プレートの異常音	管理用通路（主塔） 歩道 横桁 管理用通路（主桁） 橋座空きスペース	定期点検（1年に1回）
斜ケーブル	異常なたわみ量 被覆材の損傷	歩道	日常点検（毎日）
	振動の計測 定着具とケーブルのすべり	歩道 点検車 橋梁点検車	定期点検 （異常なケーブルのゆるみが確認された場合）
斜めケーブルのダンパー	ボルトのゆるみ ゴム材のひび割れ アンカーボルトの突出	点検車 橋梁点検車	定期点検 （異常なケーブルの振動が確認された場合）
舗装	劣化	車	日常点検（毎日）
排水装置	詰まり	歩道	日常点検（毎日）
	ジョイント部での水漏れ ボルトのゆるみ、パイプの腐食	管理用通路（主桁）	定期点検（1年に1回）
防護柵／ネットフェンス	異常な変形	歩道	日常点検（毎日）
	ボルトのゆるみ	歩道	定期点検（1年に1回）
伸縮装置	異常音、フィンガーの隙間	歩道	日常点検（毎日）
	ボルトのゆるみ、腐食	桁端のダイヤフラム	定期点検（1年に1回）
	遊間量、フィンガーの隙間 主桁の温度変化	桁端のダイヤフラム	定期点検 （5年に1回）
点検車	ボルトのゆるみ システムの損傷 動力システム	点検車	定期点検（1年に1回）
風速計	異常の有無	歩道	日常点検（毎日）
	ボルトのゆるみ	歩道	定期点検（1年に1回）
照明	異常の有無、火災	歩道	日常点検（毎日）
	ボルトのゆるみ	歩道	定期点検（1年に1回）

本調査に際し、橋梁の外観や橋梁箱桁内をいくらか目視で確認することができたが、照明の欠損はほとんどなく、桁内の換気は常に稼動しており温湿度もほぼ一定に保たれていた。インタビューや現場内での案内もスムーズであり、点検時の写真や台帳も保管していることから、細部状況について把握しており、日常点検をしっかりとやっているという印象を受けた。以下、具体的に確認した状況を写真として添付する。

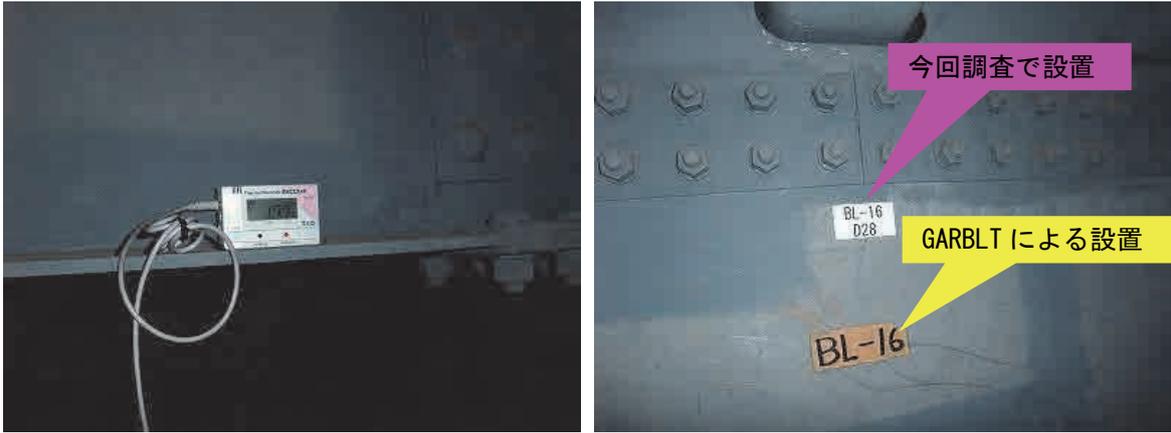


写真 6.1.3 (左) 桁内の温湿度計、GARBLT 設置) と (右) 管理用ダイヤフラムのナンバリング

桁内には、GARBLT 設置による温湿度計が定点 5 箇所、写真 2.7.3 のように設置されており、年間の桁内の温度管理が実施されている。

今回調査では、舗装詳細調査位置と桁内での試験位置との正確な一致を図る必要があったことから、写真 2.7.4 の上のように横断方向の Web フランジに番号振りを行ったが、既に写真 2.7.4 の下のように GARBLT が点検用として番号振りを実施済みであり、今回双方の番号に食い違いはなかった。



写真 6.1.4 (左) 桁内への入口 (右側の穴)、(右) 交通規制 (ポストコン設置)

また、主塔からの桁内への出入りはスムーズであり、桁内への出入 (写真 2.7.5) も慣れていることから、積極的に点検を行っているという印象を受けた。インタビューによると、箱桁内全体の詳細点検は、少なくとも 3 ヶ月に 1 度は実施しているということである。

6.1.3 料金所業務

維持管理事務所は、主業務として点検業務の他に料金所業務を行っており、両側の料金所業務のために 10~12 人が携わっている。料金所業務としては、料金收受業務と軸重測定業務があり、軸重測定業務については、2.4.2 に詳述しているため、ここでは料金収

受業務について記す。

(1) 料金收受業務

通行料金は、以下の通りに設定されている。

表 6.1.2 スエズ運河橋の通行料金

車種	料金 (EGP)
一般乗用車	2.0
マイクロバス、ピックアップカー(1-ボックスカーも含まれる)	3.0
大型バス、小型トラック	5.0
大型トラック	10.0

軍関係、警察、救急車及び GARBLT 車両は無料となっている。



写真 6.1.5 通行料金標示板



写真 6.1.6 料金所ブースと料金收受状況

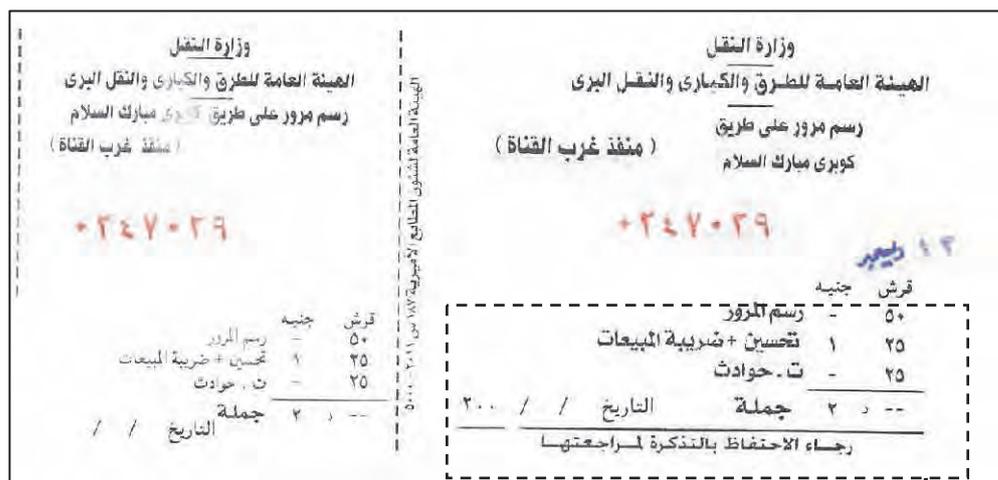


図 6.1.1 通行券（一般乗用車用）

図 2.7.2 は、通行券であるが、表 2.7.2 の車種別に、白色（2.0EGP）、黄色（3.0EGP）、緑色（5.0EGP）、ピンク色（10.0EGP）に分けられている。また、通行券には、料金の内訳が記されており以下の通りである。

	EGP	Q.E.G.P.
通行運賃	0.50	50
維持管理費	1.25	25
保険	0.25	25
合計	2.00	200

図 6.1.2 通行券（料金内訳）

インタビューによると、「保険」はスエズ運河橋通行時の事故に対する保険で、ドライバーがこの通行券を提示することで、事故時に保険が適用される仕組みとなっている。

これらの通行券は毎日 GARBLT 本部のスタッフが補充しに来ることになっており、その際に徴収金も運び出すこととなっている。

(2) 通行止め

スエズ運河は、軍が利用することもあるため、その際にはスエズ運河橋を通行止にすることになっている。その際は料金所を閉鎖するため、料金所を先頭にした渋滞が発生するのが通例となっている。本調査（第一次現地調査時）においてもスエズ運河橋は3度、閉鎖された。



写真 6.1.7 通行止めによる渋滞状況

6.2 維持管理費用

GARBLT スエズ運河橋現地事務所の 2011 年度の年間予算はヒアリングによると約 600,000L.E である。現地事務所の主要職員からの報告によると、年間予算は現地事務所と GARBLT 本部との協議により決定され、当該年度の現地事務所予算は毎年変動している。

現在の GARBLT 現地事務所は技術職員、作業員等の約 30 人がアプローチ部を含む本橋の維持管理に当たっているが、橋梁管理事務所としての維持管理用に使用される主な資機材は日常点検用の小型車両数台のみである。十分なキャパシティを有しているとは言えない。従前と同様の年間予算が確保できるとして、これに加え、スエズ運河架橋全体の適切な維持管理を実施していくための追加年間予算を以下の様に試算した。

必要な対象や内容を大きく分類すると以下のようになる。

- ・ 表層の打換え/（GARBLT 本部予算）
- ・ 舗装面の維持管理/（現地事務所予算）
- ・ 主橋梁の鋼桁本体/（同上）
- ・ アプローチ部橋梁部分（P C 箱桁橋梁）/（同上）
- ・ 現事務所の職員のスキルアップ/（同上）

対象物ごとの維持管理費について追加が必要な予算用を以下の様に試算した。

(1) 表層の全面打換え予算

橋面のアスファルト表層工は過積載車両の通行が無くても磨耗や劣化が進行するため、橋梁本体の損傷を防ぐため、一般的に 10 年に一回の頻度で全面打換えが必要である。本橋の舗装補修工事が完了した後も、この頻度で表層舗装を撤去、更新することが不可欠である。

本調査で試算した表層工打換え工費は既設舗装撤去を含めて約 2,040,000L.E (26,300 千円)である。工事金額や発注手続を勘案し、GARBLT 本部が表層打換え時期の決定と予算確保と工事の実施する必要がある。

一方、以下の②から⑤の項目については本橋の維持管理を担当している現地事務所の予算として扱う。

(2) 舗装面の維持管理に必要な追加の年間予算

舗装面の適切な維持管理のためには日常点検に加えて応急処置のための専用資機材を常時準備しておく必要がある。適切な応急補修をタイムリーに実施することで損傷範囲をアスファルト表層工のみに留め、クラックの拡大を防ぎ、次の表層打換えまでの期間（約 10 年後）まで舗装構造自体の健全性を損なうことなく維持できるからである。

例えば舗装面に発生したクラックを応急処置するには材料となる加熱シーリング材の他に加熱溶解釜（約 50 万円）、コンプレッサー（約 150 万円）、中古クレーン付トラック（約

150 万円) 等の主要機材が不可欠である。この他に応急補修用加熱シーリング材の常備や柄杓や鋸などの消耗品などを考慮すると、現在の主な人件費のみの予算に加えて、年間平均 55,000 ルピーの予算が不可欠である。

- ・ 初期投資の主要機材 600 万円=470,000LE (10 年間使用) →1 年当=47,000LE
(加熱溶解釜、コンプレッサー、中古 2t 車、中古ユニック車、ガスバナー等 : 10 年償却)
- ・ 補修材料の常備 (CMB CETOKOL200 を年間 300 kg) × 20 LE /kg = 6,000 LE
- ・ 作業用消耗品 = 2,000 LE

合 計 55,000 LE . . . (2)

(3) 主橋梁の鋼桁本体の維持管理費用

鋼箱桁本体については、本調査で実施したものと同様の専用測定機器を用いて健全度の調査を 10 年に一度実施するものとする。この健全度調査を実施できる企業はエジプト国内には未だ育成されていないので、例えば日本から測定機器と技術者を有する調査会社を派遣すると想定する。本調査での実施例を参考に費用を試算する。

- ・ 鋼床版の健全度詳細調査と評価 一式 約 800 万円=620,000LE / (10 年に一度) →
1 年当=62,000LE . . . (3)

なお、調査の結果、鋼箱桁部材に疲労亀裂などの損傷が発見され補強工事等が必要になった場合の工事費用は維持管理費用の範疇外である。

(4) アプローチ部橋梁部分の維持管理費用

アプローチ部は P C 箱桁の連続高架橋で構成されている。プレストレスコンクリート橋梁における維持管理の中で定期的に必要な点検内容は、コンクリート部材の劣化の目視点検、支査など付属物の劣化の点検である。特にコンクリート部材については、風雨に直接晒される地覆外面の基部から下に劣化が発生するケースが多いが、これらは橋面からは確認できない。加えてアプローチ部は地上から数十メートル上空に位置するため、更にこれら劣化箇所を点検することは困難である。これに対しては橋面から下部の点検を行うことが出来る専用の橋梁点検車の導入と運用が効果的である。



- ・ 初期投資の主要機材 橋梁点検車 (中古) 500 万円=390,000 LE (10 年間使用)
→1 年当= 39,000LE . . . (4)

(5) 現地事務所職員の維持管理能力向上に必要な費用

エジプト人自らが技術を身につけ、主体的に維持管理を推進出来る様にするためには事務所の所属員のスキルアップが不可欠である。

スキルアップのための講習会を定期的受講すると想定し、毎年職員 2 名とワーカーリーダー 4 名が首都カイロでの講習会に 3 日間参加したと仮定すると、

$$1200LE(200USD)/人 \cdot 日 \times 6人 \times 3日 = 21,600LE \dots (5)$$

$$(2) + (3) + (4) + (5) = 55,000 + 62,000 + 39,000 + 21,600 = 177,600LE、 \text{約 } 180,000LE \text{ (約 } 2,300 \text{ 千円)}$$

以上より、舗装の定期点検と補修及びスエズ運河橋の維持管理用予算として GARBLT 現地事務所は、現在の予算に加え年間約 180,000LE の予算が必要である。

上記に基づき、本橋に関する GARBLT 本部とスエズ運河橋現地事務所の今後の毎年の追加予算の配分事例を以下の表に示す。

表 6.2.1 本橋の維持管理に必要な年間追加予算の配分事例

維持管理に必要な追加すべき予算の配分例 / 単位LE							
FY2012	舗装及び鋼床版の健全度調査の実施						
FY2013	舗装補修工事(損傷箇所発見の場合、鋼床版の損傷を発見した場合は一部補修)						
	① 表層の全面 打換え予算	② 舗装面の維持管理		③ 主橋梁の鋼桁 本体の健全度調 査 (10年に一度)	④ アプローチ 部橋梁部分	⑤ 現地事務所 職員のスキルア ップ	合計
		維持管理に必 須な主要機材 の購入 (10年で更新)	補修材料作と 作業用消耗品		維持管理に必 須な主要機材 の購入 (10年で更新)		
	GARBLT本部で 確保すべき予算	現在の予算時配分に加え、スエズ運河橋現地事務所が今後追加が必要な予算					現地事務所が今後追加 が必要な予算の合計②～⑤
FY2014		470,000	8,000			180,000	658,000
FY2015			8,000		390,000	180,000	578,000
Fy2016			8,000			180,000	188,000
Fy2017			8,000			180,000	188,000
FY2018			8,000			180,000	188,000
FY2019			8,000			180,000	188,000
FY2020			8,000			180,000	188,000
FY2021			8,000			180,000	188,000
FY2022			8,000	620,000		180,000	808,000
FY2023	20,400,000		8,000			180,000	188,000
FY2024		470,000	8,000			180,000	658,000
FY2025			8,000		390,000	180,000	578,000

6.3 今後の維持管理計画の提案

今回の調査によってグースアスファルト工法による基層と密粒度アスファルト工法によ

る改修工事が完成した後も、GARBLTは引続き舗装表面の状況を観察し、もし損傷箇所が発見された場合は、適切な補修方法で復旧させる必要がある。

安全と快適を確保するために維持管理を計画的に行うことが重要である。維持管理計画の基本的な考え方は維持管理システムを構築し、効率的な維持管理を実施し体系的な情報のデータベースを行い今後の維持管理に繋げるものとする。

(1) 維持管理システム

維持管理システムは保全計画(Plan)→点検実施(Do)→点検判定(Check)→対応(Action)のPDCAサイクルを進めることが望ましい。図 8.2.1 参照

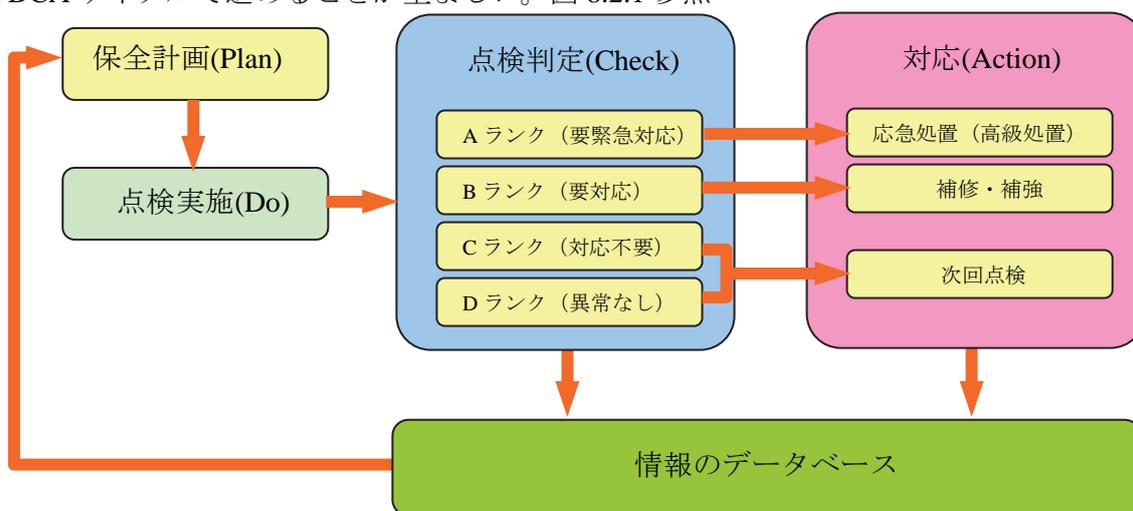


図 6.3.1 維持管理システムの概念図

(2) 体系的な情報のデータベース

各種点検データ・構造物データ・付属施物データ・補修履歴データを一元管理するために体系的な除法データベースが有効である。各損傷に対する対策優先箇所を特定し補修計画の作成及び補修後のフォローアップに繁栄させる。図 8.2.2 参照

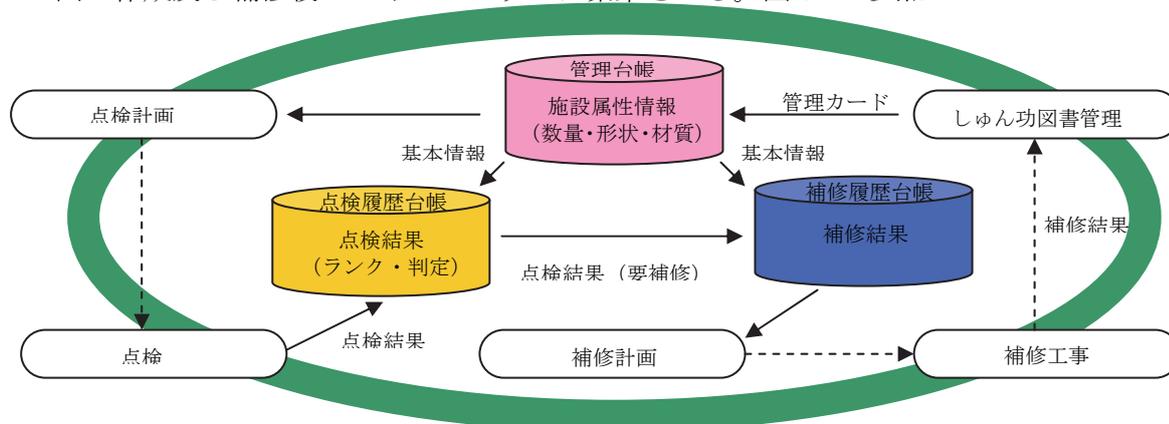


図 6.3.2 体系的な情報のデータベースの概念図

(3) 点検の種別と頻度

総合的な点検は日常的に行う「日常点検」、定期的に行う「定期点検」及び災害時等に

行う「臨時点検」に大きく分けられる。表 6.2.1 参照。

表 6.3.1 点検の種類と頻度（案）

点検種別	点検名	点検概要	点検頻度	
日常点検	巡回点検	橋面巡回点検	パトロールカーによる車上月視・感	2~3 回/週
		下部工巡回点検		覚による点検
		雨天時巡回点検	車上月視による排水施設の点検	雨天時
		交通パトロール	交通管理員による巡回監視	1 回/午前・午後
	徒歩点検	橋面徒歩点検	目視による点検	1 回/5 年
		桁内徒歩点検	目視による点検	1~2 回/2 年
定期点検	接近点検	構造物接近点検 土木	高所作業車を使用した構造物の点検	1 回/5 年
		付属施設接近点検	仮設吊足場等を使用した接近点検	塗装工事の際に実施
		施設関係接近点検	建築、機械、電気設備の点検	設備に応じた頻度
	機器点検	機器を用いた舗装点検（平坦性、ひび割れ）	1 回/年	
	損傷箇所追加点検	経年変化の追跡点検	1 回/年	
臨時点検	異常時点検	地震/暴風雨等の点検	異常時	
	事故発生時点検	事故発生及び類似箇所の点検	事故発生時	
	特別点検	必要に応じて行う点検	イベント開催前	

計画的な維持管理と補修を行うことで長寿命化が図れ、更新リスクが回避できる。長寿命化のイメージは以下のとおりである。

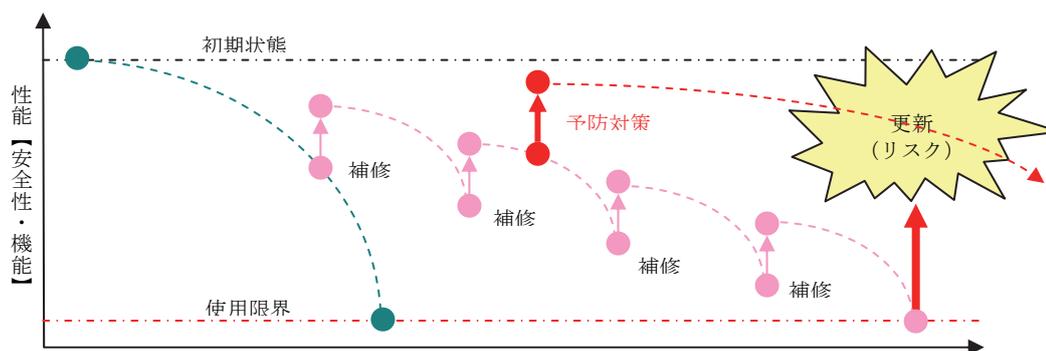


図 6.3.3 長寿命化のイメージ

7. 結論と提言

7.1 本橋の舗装損傷状況と鋼床版の健全度

第1回の詳細調査（2011年11月から12月）によって本橋の既設舗装は全体の95%の範囲でクラックが発生し、70%の範囲で幅10mm以上のクラックが発生していることが確認された。幅10mm以上のクラックは鋼床版まで達しており、また舗装を鋼床版と密着させているべき接着層は、その接着力が殆ど失われている状況であった。

鋼床版については、舗装損傷の著しい箇所を実施した開削試験によって、鋼床版上面に錆が発生しており板厚の減少約0.5mmを招いている。なお同時に実施された鋼床版内部の調査によって、桁部材自体の疲労クラック等の損傷は発生していないことが判った。したがって現段階では、鋼床版本体は構造的安全性を保持していると言えるが、これ以上錆の状況を悪化させることは構造的な危険域に及ぶ可能性がある。

これら舗装の損傷と鋼床版上面の錆の発生原因は、2001年開通直後に過積載車両が通過したことによる初期クラックの発生と成長に起因するものと推定された。そしてこのクラックから雨水が内部に浸透し、接着層が劣化し、鋼床版上面まで浸透したことが上面に錆を発生させる原因であると推測された。

以上より、

結論 1：既設のアスファルト舗装は全面撤去し、鋼床版上面の錆を除去した後に、適切な工法による舗装補修工事を早期に行う。

7.2 グースアスファルト工法の選定

第5章で示したように補修工法の選定にあたっては、2つの観点から選定検討を進めた。

すなわち、

- ① エジプト国内での材料・資機材の調達状況及び自然環境
- ② 本橋の構造的特徴である鋼床版桁の特性に合致した工法の見極め

比較検討の第一段階では、鋼床版桁に適用可能な工法を抽出し比較した。比較対象としたのは、既設舗装であるSMA工法、一般的なアスファルト工法、グースアスファルト工法、日本での新技術であるエポキシ樹脂舗装工法とゴムラテックスモルタル舗装工法である。これら各工法についての技術的特徴、コスト、主要資機材の特性と調達性、施工性を比較しグースアスファルト工法を下記理由により推奨案とした。

- ・日本やドイツで鋼床版舗装として大半を占め信頼と実績が高いこと
- ・鋼床版桁の舗装で課題となるたわみ追従性に優れていること
- ・通常工法より高温で舗設し特殊機材も必要となるが、品質管理体制が整えば、比較的容易に確実な施工を実施出来る可能性が高いこと

調査団が推奨したグース工法に対し、「エ」国はグース工法の優位性に理解を示すものの、主要資機材を自国内で調達可能な対案としてセメント系鋼床版補強舗装の採用を考え、SFRC舗装（Steel Fiber Reinforced Concrete；鋼繊維補強コンクリート舗装）のグース工法との比較を要請した。これに対し調査団は日本国内で実績のある4タイプのSFRC舗装工法の検討を実施し、その中で最も実現性のあるSFRCスタッドとグース工法を比較した。

そして、SFRC舗装は次に示す理由により本橋の補修工法に適していないことが判明した。すなわち、

- ・接着層の高耐久性エポキシ樹脂塗装は、日中高温となるエジプトの気象条件での施工管理が容易では無く、失敗した場合は鋼床版と一体化させることが出来なくなる。これを含め厳格な施工管理が求められること。
- ・ひび割れ発生防止の理由によって、コンクリートの強度発現が確保までの期間、本橋を全面通行止めにする必要があり、経済的・社会的影響が大きいこと。

以上より、

結論 2：舗装補修工法はグースアスファルト基層工および密粒度改質アスファルト表層。

7.3 補修工事実施にあたっての技術的留意事項の提示

グースアスファルト工法による補修工法特有の技術については、「エ」国側に提出した入札図書（案）の一部である技術仕様書（Technical Specification）内の記述として提言した。材料仕様、品質管理基準に加え、「エ」国業者の理解を助力する目的でグースアスファルト工法の施工手順、必要資機材および施工時の留意事項を示した。

また、通常のグースアスファルト舗装工事に加えて鋼床版の健全性を確認する2項目を加えた。ショットブラスト完了後に、磁粉探傷法による鋼床版内部亀裂の有無の確認を行った後、万一亀裂が発見された場合は、スチールデッキ上に鋼板で補強の補強を行うことを提言した。

加えて、特に舗装損傷の激しい南側車線の鋼床版桁内部Uリブと縦桁に沿った箇所での超音波探傷調査を加えた。これは発錆進行によってスチールデッキが、本調査時点に比べて大きく減厚されていないかを確認する調査である。

7.4 施工体制への提言

「エ」側の意向により、本橋の舗装損傷に対して「エ」国内の建設会社を対象とするローカルテンダー形式での補修工事プロジェクトが発注されることとなった。

調査団は4度の現地調査中の協議の中で、当工法の技術的な留意事項についてGARBLT内関係部門の担当者及び建設会社の幹部員達に示してきた。しかし、グースアスファルト工法の施工経験の無い発注者と建設業者の理解度は十分であるとは言えない。

また、補修プロジェクト中に鋼床版に新たに疲労亀裂が発見された場合、鋼板補強工が必要となるが、これについても同様に懸念される。

本橋は無償援助資金で建設された橋梁であるが、完成後の道路施設に対する運営と維持管理に関する責任は被援助国のエジプトが負うことは明白である。しかし維持管理についても技術面、設備面で不十分さが否めない状況であることが本調査によって判明した。したがって、当補修プロジェクトを成功させるためには、日本からのグースアスファルト舗装工法と鋼板補強工法に関する技術支援が不可欠であると考えられる。合わせて、鋼床版橋梁の維持管理に関するエジプト国関係機関の意識と技術力向上の支援に資することも考えなければならない。

具体的には、GARBLT発注の補修プロジェクトのスケジュールに合わせて、グースアスファルト舗装と鋼板補強工法に精通した日本人技術者による技術支援業務を実施することが必要であると考えられる。

提言-1: 「エ」国内建設会社主体の補修工事に当たって、グースアスファルト工事経験の豊富な技術者による技術的支援体制を整える

7.5 維持管理体制の確立への提言

主要幹線道路の計画・整備を担当するGARBLTは、国内の道路インフラの安定維持を担い同国の効率的な経済・社会活動を支える重要な組織である。同国の経済発展とともにインフラ整備が進み、橋梁についても現在の経済指標に見合う多くの橋梁群の管理を行っている。

しかし首都カイロ市内では一部の区間で比較的大きな補修工事を要すると思われる橋梁も見受けられる。また本橋については建設後十数年ではあるが、本調査により十分では無いと推測される補修が原因の一つとなって、舗装全面を打換えする結果となっている。これらは新規の橋梁の計画を重視し予算配分と工事を執行してきた反面、完成後の維持管理への留意が不足していたことが原因の一つになっていると推測される。

わが国でも急速な経済発展に伴って大きなボリュームの道路インフラ施設を得ることが出来た。しかしそれらが更新時期を向かえ、現在まさに補修、維持、延命に真剣に取り組んでいるところである。エジプト国でも今後早期に新規建設と共に、維持管理に必要な資金・人的ソースをバランス良い配分に移行していく必要がある。

橋梁の維持管理技術は単独で成り立つ技術分野では無い。維持管理分野の基礎は新設橋梁の設計・施工がベースとなっており幅広い設計知識、施工での失敗と改善による経験の蓄積が不可欠である。これらを有する組織の構築と所属する人材を育成することによってのみ、適切な日常維持業務の実施と主体的な管理運営が可能となるものである。

今回の調査で調査団が得た情報や把握している状況を踏まえ、維持管理に関してエジプト国内の現状と育成や改善すべき内容を組織別に分けると以下ようになる。

- 1) 設計、施工管理を担当する国内のコンサルタント： 個々の設計知識を保有し、解析業務等を独自で行うことは出来るが、橋梁全体に対する総合的な技術判断が出来る段階には至ってないと推測できる。従って技術水準の高い他国のコンサルタントとの連携を図る一方で、数年後、十年後には企業内で中核や経営層となる若年社員層の技術面での育成が必須である。
- 2) 維持管理工事を請負う建設会社： コンサルタントと同様に橋梁を建設するに必要な個々の技術と施工経験、特にコンクリート製の橋梁本体や一般のコンクリート舗装等についての技術と施工を単独で実施できる能力を保有していると推測できる。また、材料・資機材調達の観点からは、一般的な材料は国内で生産している素材や自国内の商社を通じて入手できるため、コンクリート橋の軽微な補修が必要となった場合には、単独で対応可能なレベルである。しかし、鋼製橋梁の補修工事についての基礎知識や施工が十分では無く、単独で的確に実施できるレベルには達していないと考えられる。また、本橋の様な、大型橋梁については J V 構成員やサブコントラクターとしての経験は有しているが、系統立てた施工経験と技術知識を保有していないため、単独で補修工事を実施できるレベルに到達していない。
- 3) 新設橋梁及び維持管理業務を発注・監理する GARBLT： エジプト国内では従来の予算配分が新橋建設に偏重されていたことや、橋梁の維持管理の重要性がようやく認識された段階である。従って GARBLT 傘下の各現地事務所で、日常点検に欠かせない資機材の拡充や維持管理の基本知識を有する若手職員の育成が立ち遅れている状況である。しかし、国内のコンサルタントや建設会社と同様に、今後維持管理業務の発注や工事監理の蓄積を延ばしていくことで GARBLT 内部の橋梁維持管理の水準も向上されると予測できる。

GARBLT が橋梁の適切な維持管理を実行できる組織作りと人材育成を向上させるために、まずは実行可能な範囲での業務を実施することが重要である。この観点から GARBLT 全体として取り組むべき内容とスエズ運河橋現地事務所として取り組むべき内容を以下に整理する。

7.5.1 維持管理体制強化のため GARBLT 全体として取り組むべき内容

- a) 一般的技術知識で判断と対処が可能な日常点検と定期補修を各現場事務所で確実に実施していくこと。対象とするのは目視や簡易な計測器で判断可能な軽微な劣化、損傷箇所の発見である。これら軽微な劣化の発見、補修、経過観測を記録に残す。そして各現場事務所で整理したものを GARBLT 本部の担当部署に報告する。
- b) 軽微な劣化とは例えばコンクリート橋では錆汁が発生している、部材の接合部に小さなクラックが目立つようになってきた、などの目視やハンマー打設で容易に異常が判別できるものである。軽微な劣化箇所でも放置すると重大な損傷に進展する。言い換えると重大な劣化は軽微な劣化をその都度補修ことで防げるものである。従って損傷箇所を迅速に補修できるように補修材料と専用機材の必要最低限な資機材を各現場事務所に常備しておくことが不可欠である。本橋について最低限必要な資機材は 6.2 維持管理費用の項目に示した舗装補修用の資機材とアプローチ部の橋梁点検車である。

- c) 橋梁点検員や現場事務所配属の技術者がこれらを対象とした点検を定期的かつ継続的に確実に実施する習慣を身に着けることが重要である。また、各現場に配置された点検員、技術者、所長との連絡・報告を緊密にして担当橋梁事務所の管理体制を強化することに尽力する。
- d) 一方、本部の担当部署は橋梁台帳を作成し管理する。工事発注や完成時の書類に加えて重要なのは施工時の品質管理記録、施工時に不具合が発生した場合の現場での対処記録、契約時の技術仕様書と異なった材料や施工方法が採用された場合の記録である。橋梁完成後に発生する劣化は施工中の不具合を原因とするケースが大半を占めるからである。この橋梁台帳と一対にする形で、各事務所からの日常点検結果を1橋ごとに整理、保管する。
- e) 橋梁は本体構造とは別に、アスファルト表層工、支柵周辺の付属物、ジョイント、コンクリート製高欄、鋼橋橋本体の塗装などは大まかな補修時期や修理サイクルが予測できるものである。従って GARBLT 本部は各橋梁に対する補修の工費と時期の概略を予め特定できる。この予測値を橋梁台帳とセットで作成していくことは維持管理予算を効率的に配分する上でも、また損傷リスクを最小に留めるためにも非常に有効である。
- f) 上記の一連の業務は一見地味で退屈な作業に見えるが、これを蓄積していくことで劣化の進行や原因の推測、そして適切な判断が出来る能力が各職員に備わってくる。そして組織全体の維持管理能力が向上する好結果を生み出す。
- g) さらに GALBELT の主要なポジションに属する若手職員に対しては6.2 維持管理費用で述べたように職員のスキルアップのために定期的な技術講習会や勉強会への参加を実施する。

7.5.2 スエズ運河橋現地事務所として取り組むべき内容

- a) 主橋梁の鋼床版箱桁に対して以下の日常検査を実施する
 - ✓ 桁外面の塗装の剥離
 - ✓ 桁内部のボルトの緩み（塗装の薄利により発見可能）
 - ✓ ケーブルの桁側定着のソケット部の異常（錆汁跡、ソケット本体の損傷の有無）
 - ✓ 橋面の排水管（排水桁）周囲の舗装の欠損：（桁内部への漏水を引き起こす恐れ有り。アプローチ部も同様）
- b) アプローチ部 P C 箱桁上部工
 - ✓ コンクリート表面の欠損
 - ✓ 鉄筋の露出
 - ✓ 伸縮装置の異常（段差、橋面の伸縮部分の構成する部材の欠損）

- ✓ 他の部位に比べ表面の色が変わってきたことが遠距離からも判る、桁側面の目視。（橋梁点検車を使用する）

c) 下部工

- ✓ 主橋梁のコンクリート主塔の柱部分の異常の発見は高精度の望遠鏡を使用して、PCコンクリート箱桁と同様の観察を行う。
- ✓ 本調査の関連業務である「スエズ運河架橋建設計画ローアップ協力調査（下部工施工管理）2012年」にて橋脚の補修工事が終了しているアプローチ部の下部工については補修箇所の再劣化や調査時に確認された同様の劣化が発生していないかを目視にて確認する。

提言-2: GARBLT 本部及び各現場管理事務所における確実な定期点検の実施と記録の保管

6.2 維持管理費用の項目でも示したように、本橋に関する維持管理費用については舗装面の適切な維持管理を実行するため日常点検に加えて応急補修のための専用資機材を常時準備しておく必要がある。また主体的に維持管理が出来る様にするために事務所の所属員のスキルアップが不可欠である。これらを実現するため、現在の年間予算に加えて平均で年間約180,000LE（約2,300千円）の年間予算を計上する必要がある。

また表層工は2013年度に実施が予定されている補修工費完了の後も約10年に一度毎の打換え工事を実施することが、本橋の健全性を維持していくためには不可欠である。

提言-3: GARBLT 本部における本橋に対する今後の予算配分の立案と実施

Appendix

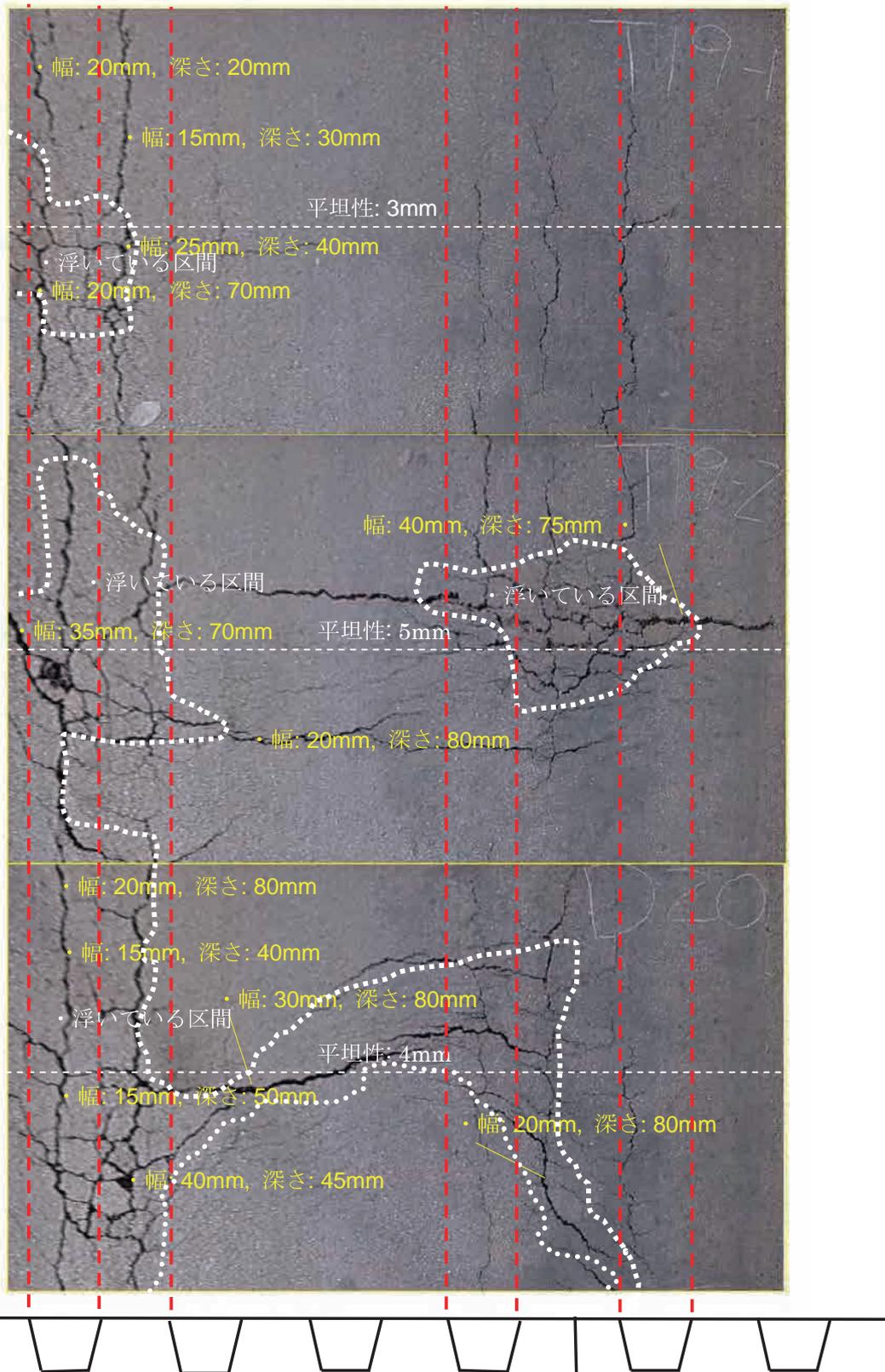
Appendix 目次

	Page
Appendix 1 舗装詳細調査データ -----	1
Appendix 2 磁粉探傷法による調査データ -----	8
Appendix 3 超音波探傷法による調査データ -----	36
Appendix 4 GARBLT計測の温度と湿度測定データ -----	48
Appendix 5 舗装クラック注入作業手順-----	51
Appendix 6 調査団員リスト -----	54
Appendix 7 調査日程 -----	56
Appendix 8 被援助国関係機関人員リスト -----	60
Appendix 9 Minute of Discussion with GARBLT -----	63
Appendix 10 GARBLT との協議資料 -----	69
Appendix 11 Technical Note for Guss Asplalt Method -----	89

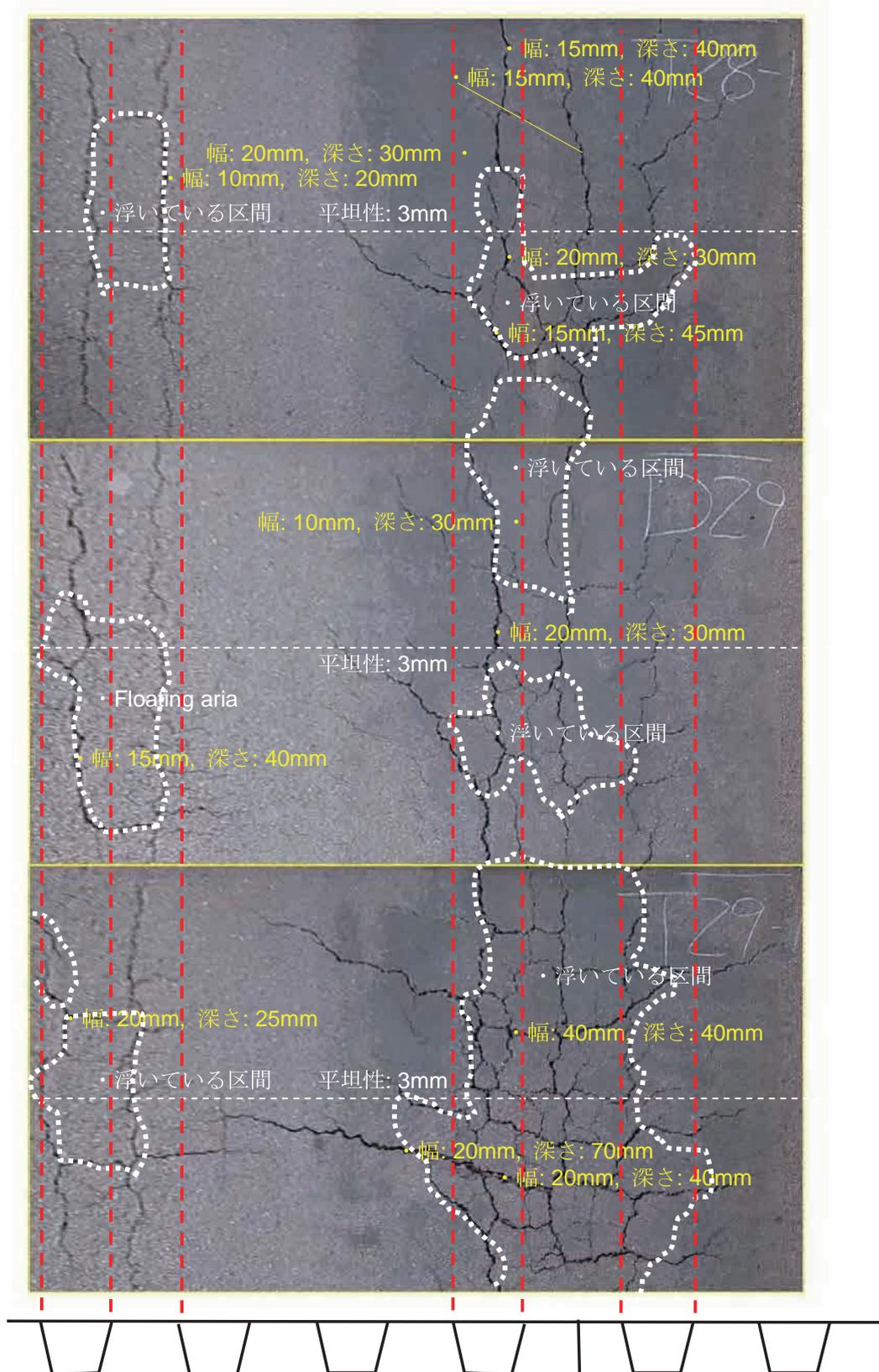
Appendix 1 舗装詳細調査データ

Appendix 1 舗装詳細調査

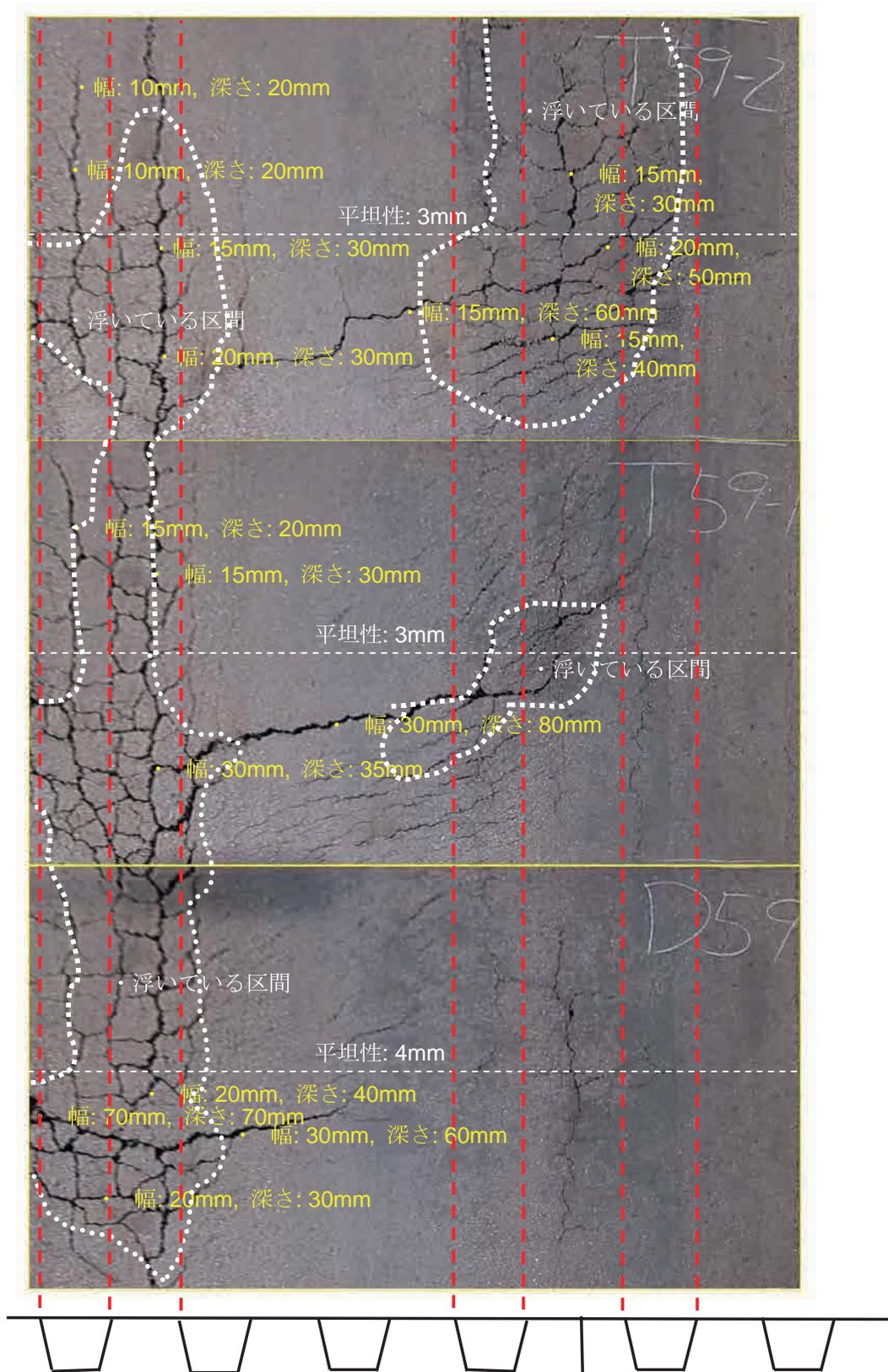
1) N-1 (Tr19-1/Tr19-2/D20)



2) N-2 (Tr28-1/D29/Tr29-1)

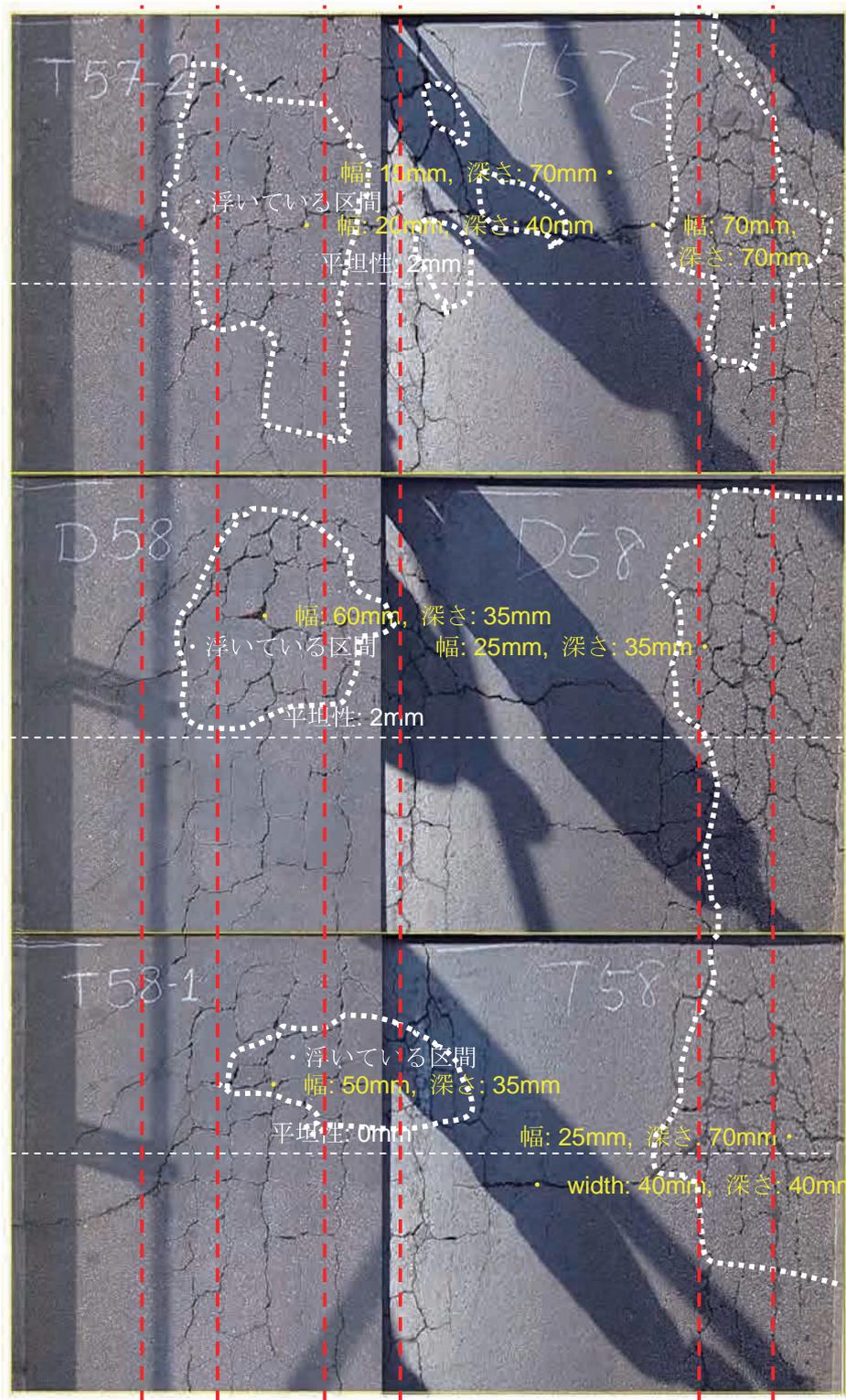


3) N-3 (Tr59-2/Tr59-1/D59)

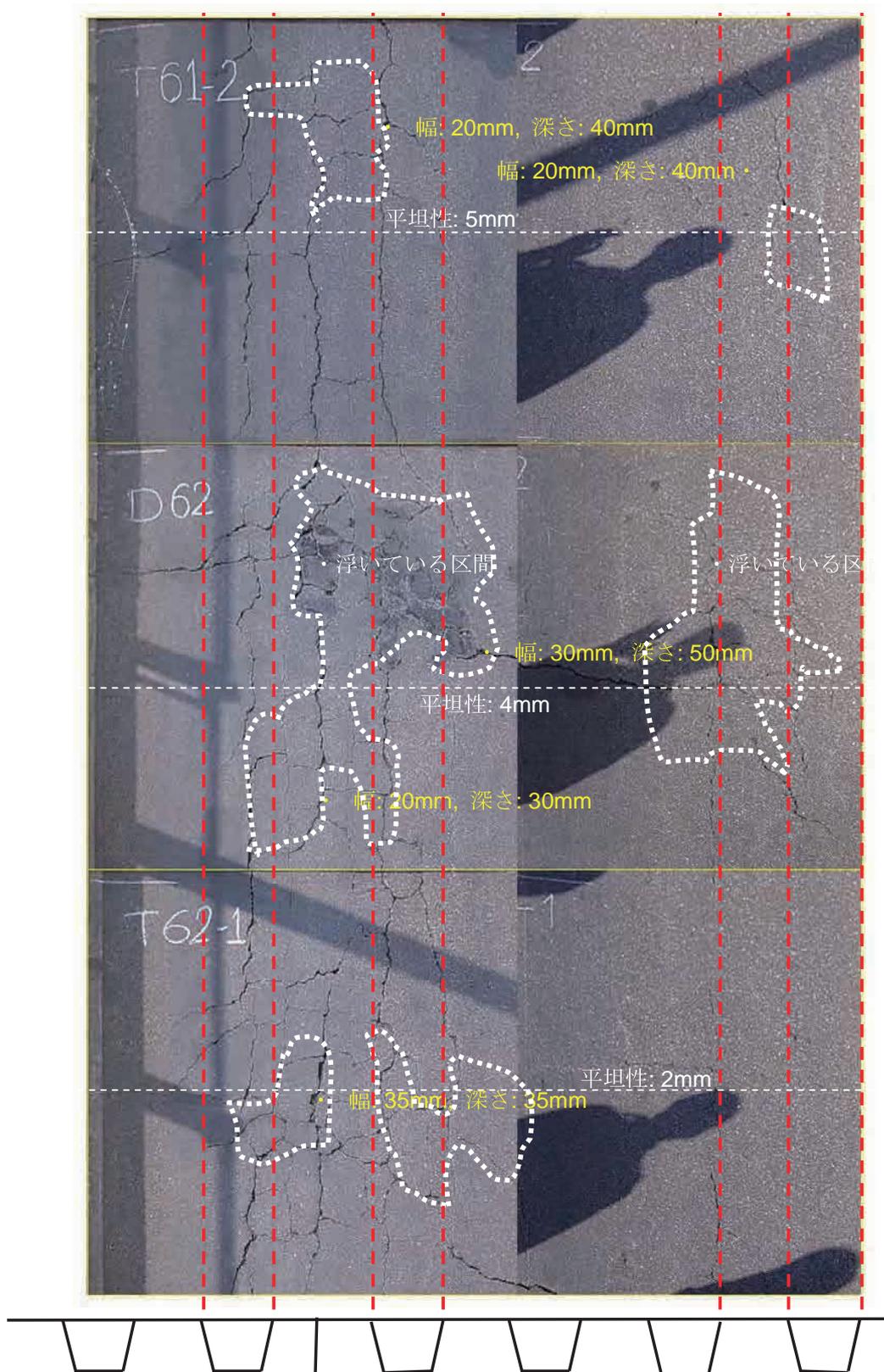


Inspection date of South: 30th November 2011

1) S-1 (Tr57-2/D58/Tr58-1)



2) S-2 (Tr61-2/D62/Tr62-1)



3) S-3 (Tr63-1/D64/Tr64-1)

