エジプト国 運輸省

エジプト国
スエズ運河架橋建設計画
フォローアップ協力調査

フォローアップ協力調査報告書

平成 23 年 11 月
(2011年)

独立行政法人
国際協力機構（JICA）

株式会社 オリエンタルコンサルタンツ
株式会社 長　　大

資金
CR(1)
11-011

エジプト国 運輸省

エジプト国
スエズ運河架橋建設計画
フォローアップ協力調査

フォローアップ協力調査報告書

平成 23 年 11 月
(2011年)

独立行政法人
国際協力機構（JICA）

株式会社 オリエンタルコンサルタンツ
株式会社 長　　大

序　　文

独立行政法人国際協力機構は、エジプト・アラブ共和国スエズ運河架橋建設計画フォローアップ協力調査を実施することを決定し、同調査を株式会社オリエンタルコンサルタンツと株式会社長大の共同企業体に委託しました。

調査団は、平成 23 年 4 月 4 日から平成 23 年 5 月 11 日までエジプトの政府関係者と協議を行うとともに、計画対象地域における現地調査を実施し、帰国後の国内作業を経て、ここに本報告書完成の運びとなりました。

この報告書が、本計画の推進に寄与するとともに、両国の友好親善の一層の発展に役立つことを願うものです。

終わりに、調査にご協力とご支援をいただいた関係各位に対し、心より感謝申し上げます。

平成 23 年 11 月

独立行政法人 国際協力機構
資金協力支援部
部長　三浦　和紀

1. 調査結果総括

1.1 調査目的

調査対象橋梁であるスエズ運河架橋は、エジプト国（以下「エ」国）とわが国両国間の協働事業により建設されたスエズ運河を横断する長大橋であり（日本側は無償資金協力（135 億円））、当該地域の道路交通上で重要な役割を担っている。

スエズ運河架橋は 2001 年 9 月に引き渡されているが、2010 年 3 月に入り、先方実施機関（General Authority for Roads, Bridge and Land Transport）（以下、GARBLT とする）より大使館に対して、“スエズ運河架橋の日本施工箇所が損傷している”との連絡があった。

同月、施工業者が初期の調査を実施し、シナイ半島側（東側）の橋脚の、地面近くにおいて、複数の橋脚においてコンクリートのクラック（亀裂）が確認されている。クラック発生箇所ではコンクリート内部の鉄筋に錆も認められた。

この連絡を受けて、JICA はスエズ運河架橋の橋脚コンクリートの損傷状況を調査し、その影響範囲を推定するとともに、今後必要な調査・分析、及び対策について、「エ」国側関係者と検討することを目的とした事後現状調査を 2010 年 4 月 16 日（金）から 13 日間にわたり実施した。

また、事後現状調査において採取した 17 本のコンクリートコアの分析業務が 2010 年 6 月から 7 月末にかけて行われた。

このような状況下、本フォローアップ協力調査は、わが国無償資金協力で整備したスエズ運河架橋の橋脚に発生した損傷について、「エ」国側工区も含めた全橋脚の詳細調査を実施し、劣化原因の推定及び健全度の評価を行い、補修の範囲を決定するとともに、補修計画・維持管理計画を検討し、今後の維持管理方法について先方実施機関に提言することを目的として実施された。

1.2 調査概要

1.2.1 調査項目

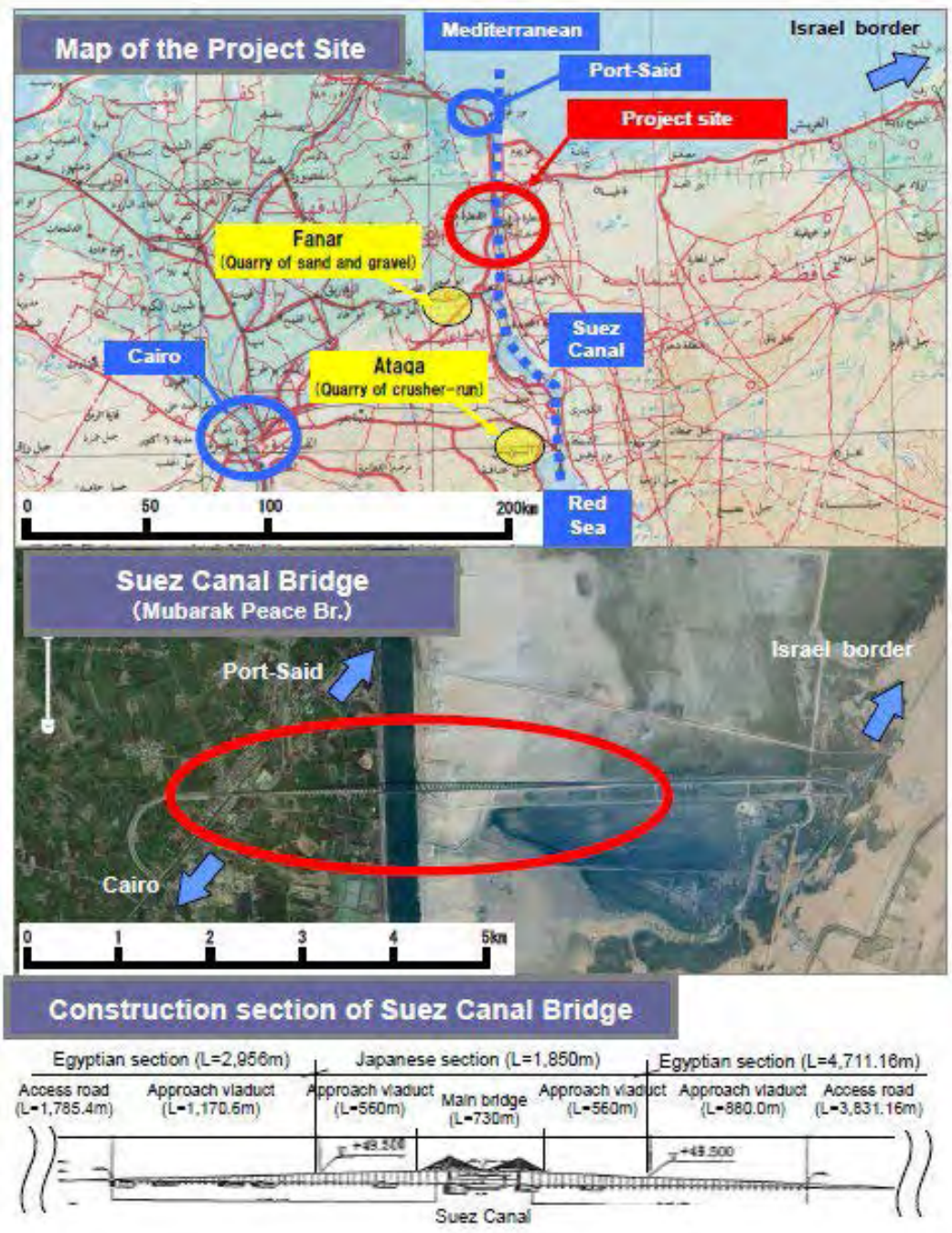
本フォローアップ協力調査における、調査項目を以下に示す。

表1 調査項目

現地／国内	調査項目
現地調査	1. コンクリート橋脚の健全度に係る詳細調査 2. サイト状況調査 3. コンクリート材料の分析
国内解析	1. コンクリートコアの観察 2. 圧縮強度、静弾性係数 3. 中性化深さ 4. 塩化物イオン量 5. コンクリートの組織構造の診断

1.2.2　調査対象箇所

調査対象箇所を下記に示す。



2. 現地調査

2.1 コンクリート橋脚の詳細調査

コンクリート橋脚の詳細調査として、以下の調査を行った。

- 打音調査
- ひび割れ調査
- 赤外線カメラによるコンクリートの剥離・うき調査
- コンクリートかぶり厚さ調査
- はつり調査
- 鉄筋腐食状況調査（自然電位法）

表2　コンクリート橋脚の詳細調査

調査項目	橋脚柱／ﾊﾟｲﾙｷｬｯﾌﾟ	調査対象			
		西側（ﾛｰｶﾙ工区）	西側（日本工区）	東側（日本工区）	東側（ﾛｰｶﾙ工区）
打音調査	橋脚柱	• 全 60 橋脚柱面×4 面 • 計 240 面	• 全 34 橋脚柱面×4 面 • 計 136 面	• 全 34 橋脚柱面×4 面 • 計 136 面	• 全 52 橋脚柱面×4 面 • 計 208 面
	ﾊﾟｲﾙｷｬｯﾌﾟ	• 全 30 橋脚×4 面（ただし、砂に埋もれている面は除く） • 計 98 面	• 全 17 橋脚×4 面 • 計 68 面	—	—
ひび割れ調査	橋脚柱	• 全 60 橋脚柱面×4 面 • 計 240 面	• 全 34 橋脚柱面×4 面 • 計 136 面	• 全 34 橋脚柱面×4 面 • 計 136 面	• 全 52 橋脚柱面×4 面 • 計 208 面
	ﾊﾟｲﾙｷｬｯﾌﾟ	• 全 30 橋脚×4 面 • 計 120 面	• 全 17 橋脚×4 面 • 計 68 面	—	—
赤外線カメラによるコンクリートの剥離・うき調査	橋脚柱	• 全 60 橋脚柱面×4 面 • 計 240 面	• 全 34 橋脚柱面×4 面 • 計 136 面	• 全 34 橋脚柱面×4 面 • 計 136 面	• 全 52 橋脚柱面×4 面 • 計 208 面
コンクリートかぶり厚さ調査	橋脚柱	• 全 60 橋脚柱面×4 面 • 計 240 面	• 全 34 橋脚柱面×4 面 • 計 136 面	• 全 34 橋脚柱面×4 面 • 計 136 面	• 全 52 橋脚柱面×4 面 • 計 208 面
	ﾊﾟｲﾙｷｬｯﾌﾟ	• 全 30 橋脚×4 面（ただし、砂に埋もれている面は除く） • 計 84 面	• 全 17 橋脚×4 面（ただし、砂に埋もれている面は除く） • 計 63 面	—	—
はつり調査	橋脚柱	• 5 橋脚 7 箇所	• 4 橋脚 7 箇所	• 5 橋脚 7 箇所	• 10 橋脚 15 箇所
	ﾊﾟｲﾙｷｬｯﾌﾟ	• 2P/C2 箇所	• 2P/C2 箇所	—	—
鉄筋腐食状況調査（自然電位法）	橋脚柱	• 4 橋脚 6 面	• 4 橋脚 4 面	• 4 橋脚 6 面	• 6 橋脚 22 面
	ﾊﾟｲﾙｷｬｯﾌﾟ	• 3 橋脚 6 面	• 4 橋脚 8 面	—	—

主な調査結果は以下の通りである。

- 約 50%の橋脚柱面でコンクリートかぶり厚不足が見られた。
- かぶり厚が不足する箇所においても、はつり調査の結果、鉄筋の発錆は見られなかった。
- 中性化は、100 年以内に設計かぶり厚 70 mm に到達しない。
- コンクリートかぶり 60 mm 以深の塩化物イオン量は 1.2 kg/m^3 より小さい。

- PE21 において、高い塩化物イオン量（1.5 kg/m³）が見られたが、粗骨材内に固定化されており、鉄筋の腐食に影響を与えない。
- 柱、パイルキャップに見られる「うき」「剥離・鉄筋露出」の原因は、腐食発生環境におかれた鉄筋が、地表面からの水分ならびに酸素の進入により、腐食発生に至った「塩害による損傷」と考えられる。
- パイルキャップに見られる「ひび割れ」の原因は、鉄筋腐食に起因する物では無く、ひび割れパターン、深さから、「セメントの水和熱」による温度応力と考えられる。

2.2 サイト状況調査

サイト状況調査として、以下の調査を行った。

- 地下水ボーリング
- 水質調査
- 土壌調査
- 気象条件調査

表3 サイト状況調査

調査項目	調査対象			
	西側（ﾛｰｶﾙ工区）	西側（日本工区）	東側（日本工区）	東側（ﾛｰｶﾙ工区）
地下水ボーリング	• 1 箇所	• 1 箇所	• 1 箇所	• 1 箇所
水質調査	• 1 箇所	• 1 箇所	• 1 箇所	• 1 箇所
土壌調査	• 14 箇所	• 10 箇所	• 10 箇所	• 14 箇所
気象条件調査	• 1 箇所		• 1 箇所	

主な調査結果は以下の通りである。

- 西側工区では水位が高いが、いずれもパイルキャップ下面より下（-0.15～-0.40m）に位置する。
- 東側工区では水位はおおよそパイルキャップ下面より下（-1.45m）に位置するが、一部（PE6）はパイルキャップ下面より上（0.35m）に位置する。
- 西岸の地下水は塩化物イオン濃度が低く、比較的薄い汽水（CL：0.05%～3.5%）に属する。
- 東岸 PE32 の地下水表面付近のみ高い塩分濃度を示すが一般的な海水よりも低い。
- 東岸架橋位置から南北に離れた箇所（約 20m）には高い塩分濃度を示す箇所があり元々塩湖であったと思われる。
- 東岸で一部において塩分濃度の高い箇所が見受けられるが、西岸は全体的に低い。
- 骨材に含まれている塩化物イオン濃度は BS 基準内の結果であり、極端に高い値を示すものはない。

2.3　コンクリート材料の分析

2.3.1　採石場の砂の分析

現地採石場で採取した細骨材を、走査型電子顕微鏡(SEM)にて観察し、視野中の細骨材粒の化学組成をエネルギー分散型 X 線分析(EDX)にて分析した。

その結果、高濃度の塩化物（Cl）を含有する粒子が確認された。

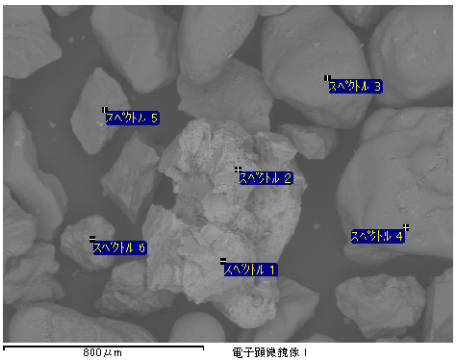


図1　SEM 画像（70 倍）

図2　実態顕微鏡による観察

2.3.2　粗骨材の塩化物イオン濃度

コンクリートコアから採取した粗骨材を JIS A 1154（硬化コンクリート中に含まれる塩化物イオンの試験方法）の 9.［塩化物イオン電極を用いた電位差滴定法］に従い試料中に含まれる塩分の定量分析を実施した。

その結果、粗骨材の塩化物イオン量は、0.015～0.064 wt%の範囲にあり、平均 0.035 wt%であった。

3. 国内解析

3.1 コンクリートコア分析

3.1.1 コンクリートコアの観察

(1) コア表面観察

コンクリートコア側面を 120 度毎に回転して 3 側面の写真観察を行った。その結果、すべてのコンクリートコアにおいて、骨材周辺にゲルの析出、骨材の膨張、異常なひび割れなどは認められなかった。また、日本工区のコンクリートコアは、ローカル工区のコンクリートコアに比べ、3～5mm 程度の空隙が多く認められた。

図3 西 Kajima 工区コアの一例（PW39CS0.5）

(2) 単位容積質量

橋脚の単位容積質量の平均値は、西側ローカル工区 2,380 kg/m^3、西側日本区 2,410 kg/m^3、東側日本工区 2,350 kg/m^3、東側ローカル工区 2,330 kg/m^3 であった。各工区の単位容積質量に大きな相違はなく、また日本国内の一般的コンクリートと比較しても通常の範囲にあった。

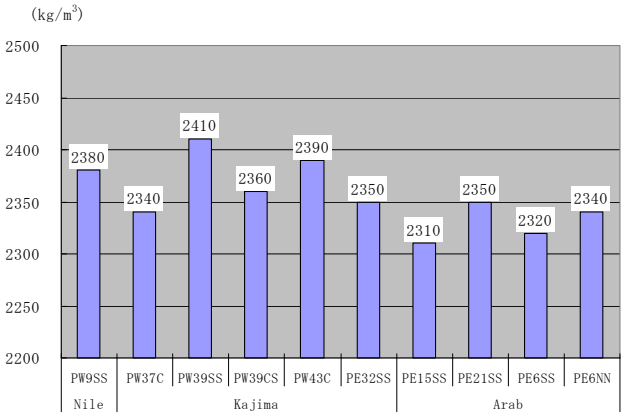


図4 単位容積質量（各橋脚の平均）

(3) 含水率

含水率は 2.87%と国内環境のコンクリートの 5～6 割程度であった。また、相対含水率は 40%となり、既往の研究から十分な耐食性を有する範囲にある。

3.1.2 圧縮強度と静弾性係数の関係（2010 年調査より）

(1) 圧縮強度

圧縮強度は 26.9～65.7 N/mm^2 の範囲にあり、設計基準強度 24.0 N/mm^2 をすべて上回った。

(2) 静弾性係数

静弾性係数は 18.4～47.0 N/mm^2 の範囲にあり、一部小さい値もあるが、圧縮強度と静弾性係数の関係に問題はないものと考えられる。

3.1.3 中性化深さ

(1) 中性化深さの測定結果

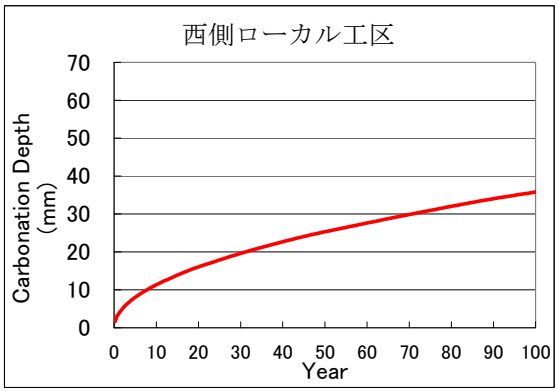
中性化深さの平均値は西側ローカル工区 15 mm、西側日本工区 17 mm、東側日本工区 21 mm、東側ローカル工区 13 mm であった。現地はつり調査の試験結果と同様に、日本工区の中性化深さがローカル工区に比べ大きい。また、橋脚の高さ方向や東西南北面で比較しても、現地はつり調査結果と同様にこれらの違いは認められなかった。また、西側工区パイルキャップひび割れ部の中性化深さは、最大 40 mm 程度であった。

中性化深さの予測値を、以下の式により求めた。

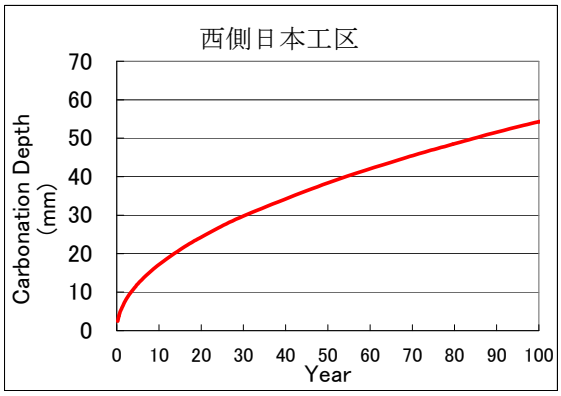
$C=b\sqrt{t}$

ここで、 C：中性化深さ（mm）
b：中性化速度係数(mm/√年)
t：供用年数：年

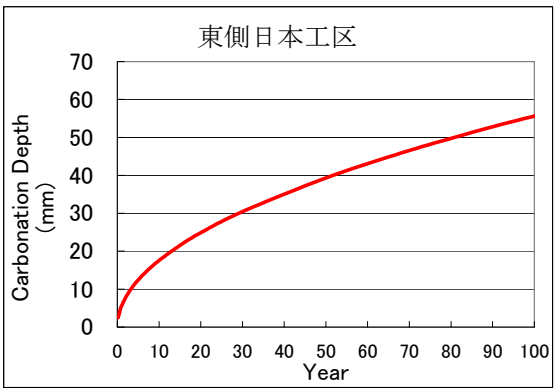
供用年数と中性化深さの関係を、図 5 に示す。



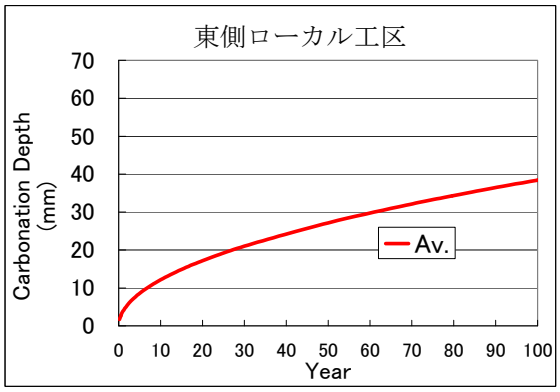
	中性化深さ	中性化深さ+15mm
10年後	16 mm	31 mm
40年後	25.3 mm	40.3 mm
90年後	35.8 mm	50.8 mm



	中性化深さ	中性化深さ+15mm
10年後	24.3 mm	39.3 mm
40年後	38.4 mm	53.4 mm
90年後	54.3 mm	69.3 mm



	中性化深さ	中性化深さ+15mm
10年後	24.9 mm	39.9 mm
40年後	39.3 mm	54.3 mm
90年後	55.6 mm	70.6 mm



	中性化深さ	中性化深さ+15mm
10年後	17.2 mm	32.2 mm
40年後	27.2 mm	42.2 mm
90年後	38.4 mm	53.4 mm

図5　中性化速度から求めた供用年数と中性化深さの関係

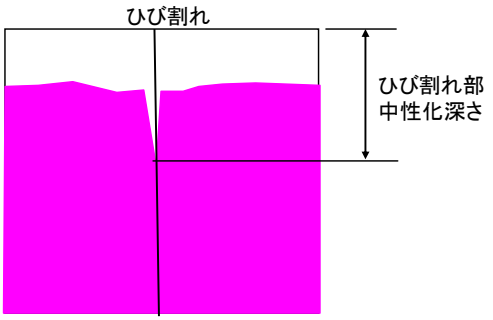


図6　パイルキャップひび割れ部の中性化深さの測定結果の一例（最大値 PW43CNo.2　40.4mm）

(2)　中性化速度係数

中性化速度係数の平均値は、土木学会標準示方書の約 10 倍、岸谷式の約 3 倍と日本国内での値と比較して大きい。

工区毎に比較すると、東側日本工区の中性化速度係数は、東側ローカル工区の 2 倍程度と大きい。

また、かぶり 55 mm[1]に中性化が到達する供用期間を中性化速度係数から予測すると、67～334 年の範囲にある。

	試料名	平均中性化深さ(mm)	最大中性化深さ(mm)	中性化速度係数 b 1) (mm/√年)
西Nile工区	PW9SS 0.5	16.8	19.5	4.63
	PW9SS 1.0	11.9	15.4	3.28
	PW9SS 1.5	15.2	19.2	4.18
西Kajima工区	PW39SS 0.5	20.2	23.3	6.11
	PW39SS 5.0	13.6	17.4	4.12
	PW39SS 10.0	15.8	19.8	4.79
	PW39SS 20.0	17.3	22.3	5.23
	PW39CS 0.5	16.2	19.8	4.89
東Kajima工区	PE32SS 0.5	21.7	26.8	6.25
	PE32SS 5.0	19.7	25.9	5.70
	PE32SS 10.0	23.3	26.3	6.72 Max
	PE32SS 20.0	18.3	21.1	5.28
東Arab工区	PE21SS 0.5 ※	3.0	6.0	0.88 ※
	PE15SS 0.5	11.6	15.3	3.38
	PE6SS 0.5	14.3	15.9	4.04
	PE6SS 1.0	12.6	16.0	3.56
	PE6SS 1.5	13.9	18.8	3.91
	PE6SS 5.0	12.4	14.8	3.50
	PE6SS 10.0	13.8	21.4	3.89
	PE6SS 20.0	11.5	13.2	3.25
	PE6NN 0.5	10.7	13.6	3.01 Min
			中性化速度係数平均値	4.31

※PE21SS は表面被覆工が施されていた部位のため結果評価からは除く。

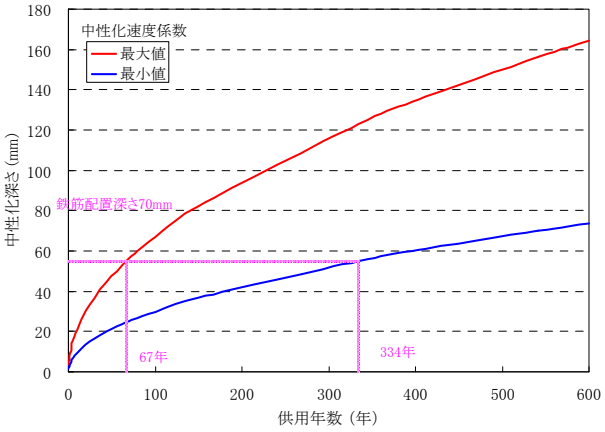


図7　中性化速度係数の算出結果

3.1.4　塩化物イオン量

(1)　塩化物イオン量の測定結果

鉄筋近傍の塩化物イオン濃度は、PE21SS0.5[2]で 1.5 kg/m^3 程度と高く、その他では概ね 1.0 kg/m^3 程度である。PE21SS0.5 は、表層から深部まで、1.3 kg/m^3 以上の塩化物イオンを含有していた。

---

[1] コンクリート中に内在塩分があると中性化残り（かぶり深さ-中性化深さ）が 15 mm に達すると鋼材腐食が開始する場合があるといわれている。

[2] PE21SS0.5 の意味は、左から P：Pier（橋脚）、E：東側工区、21：橋脚番号 21、S：南側橋脚柱、S 南面、0.5：地表面からの高さ 0.5m を表す。

現地で実施したドリル粉を用いた簡易塩化物測定法と試験結果と比較すると、中性化フロントで塩化物イオンが濃縮している傾向が認められた。

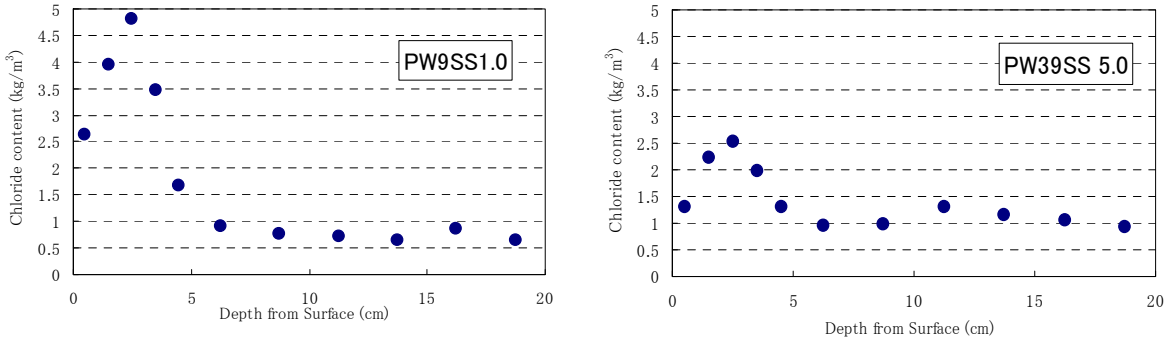


図8　塩化物イオン量の測定結果の一例

(2)　塩化物イオン拡散係数

表面塩化物イオン濃度および初期塩化物イオン濃度、見かけの拡散係数いずれもばらつきが大きい。これにより、鉄筋位置で塩化物イオン濃度が 1.2 kg/m^3 となる供用年数を拡散係数から予測した結果は、各採取コア単位で比較するとおおきくばらつく結果となった。

そこで、各工区の塩化物イオン濃度の平均値を用いて拡散係数を算定した。各かぶり深さで塩化物イオン濃度が 1.2 kg/m^3 となる供用年数を求めた結果を図 9 に示す。

表4　見かけの拡散係数の算定結果

工区	試料名	表面塩化物イオン濃度 C_0 (kg/m^3)	初期塩化物イオン濃度 C_i (kg/m^3)	見かけの拡散係数 D (cm^2/年)	鋼材位置(7cm深さ)で塩化物イオン濃度が1.2kg/m^{3}となる供用年数（年）
西Nile工区	PW9SS 0.5	1.073	0.671	0.531	98.2
	PW9SS 1.0	3.750	0.551	1.489	8.9
	PW9SS 1.5	1.060	0.693	0.357	136.0
西Kajima工区	PW37C No.2	0.282	1.035	1.811	45.1
	PW39SS 0.5	0.370	0.849	16.477	311.9
	PW39SS 5.0	1.111	0.991	2.094	6.8
	PW39SS 10.0	0.164	1.016	1.513	収束しない
	PW39SS 20.0	0.296	0.954	1.788	293.9
	PW39CS 0.5	0.403	0.949	1.297	77.6
	PW43C No.5	0.542	0.827	1.273	119.0
東Kajima工区	PE32SS 0.5	0.484	0.860	5.380	31.2
	PE32SS 5.0	0.361	0.868	0.161	収束しない
	PE32SS 10.0	0.024	1.163	1.003	収束しない
	PE32SS 20.0	0.253	1.050	0.718	117.8
東Arab工区	PE21SS 0.5	0.435	1.499	0.317	0.0
	PE15SS 0.5	1.063	0.738	1.027	38.9
	PE6SS 0.5	1.532	0.798	0.247	78.9
	PE6SS 1.0	0.455	0.799	0.722	1488.9
	PE6SS 1.5	0.603	0.752	0.679	333.2
	PE6SS 5.0	0.633	0.923	0.072	561.3
	PE6SS 10.0	0.230	0.967	0.199	収束しない
	PE6SS 20.0	0.547	0.795	0.038	5938.7
	PE6NN 0.5	1.176	0.766	0.650	46.5

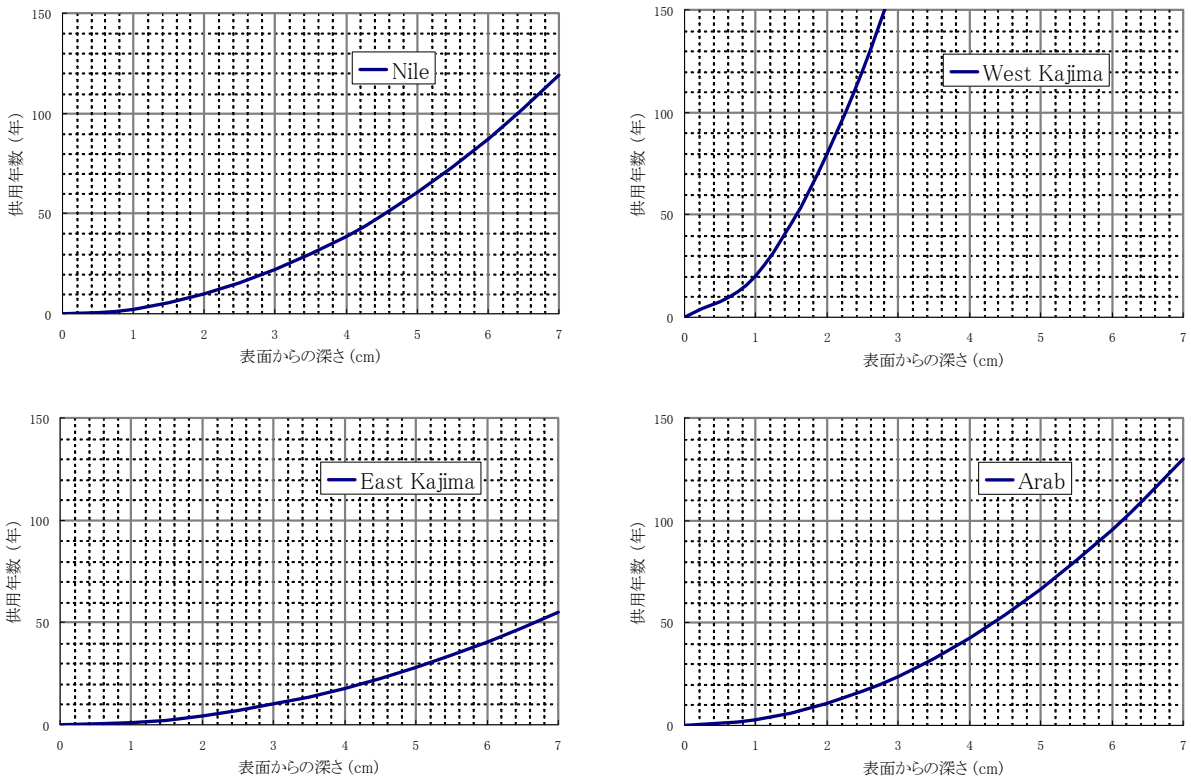


図9　各かぶり深さで塩化物イオン濃度が 1.2 kg/m³ となる供用年数

3.1.5　コンクリートの組織構造の診断

(1)　粉末 X 線回折

2010 年 4 月調査時のかぶりコンクリート片から骨材およびモルタル部分を取出し、粉末 X 線回折を行った。

これらの回折ピークから、白色骨材の主成分はドロマイトと考えられる。また、モルタル部分の主成分は石英、ついでカルサイトであり、硫酸劣化があった場合の生成物と考えられるエトリンガイトおよび石こう類は含まれていなかった。

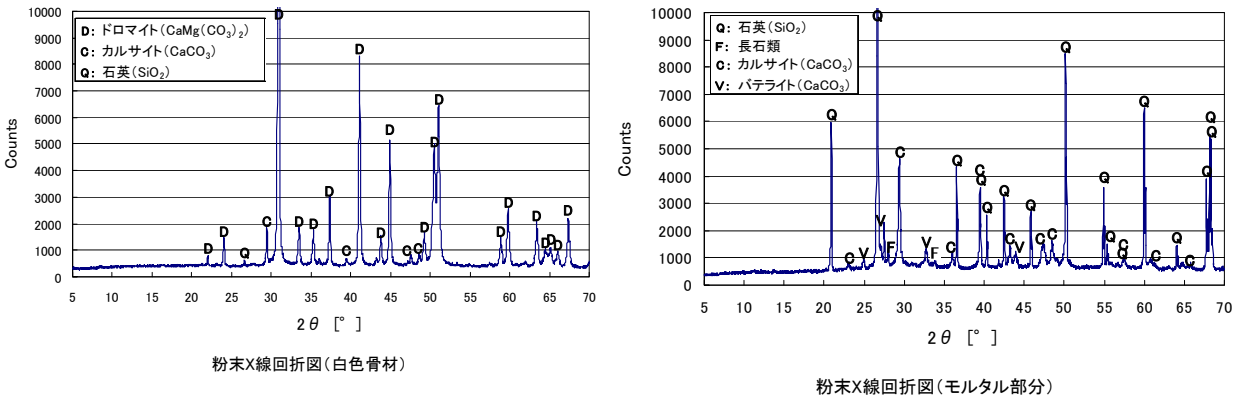


図10　粉末 X 線回折の試験結果

(2)　EPMA

EPMA 法によるコンクリート中の元素の面分析を行った。対象元素は、Ca、Mg、S、Na、K、Cl、C の 7 元素である。

表層部の結果では、Cl が外部から浸透、拡散している状況が確認された。

また、部分的に Cl 濃度の高い部分を含有した粗骨材が観察された。モルタル中に確認される Cl は、広く分散して存在していた。

粗骨材周辺の塩分濃度が高いことから、粗骨材に含有された塩分が打設後に溶出、固定化されたものと推測される。

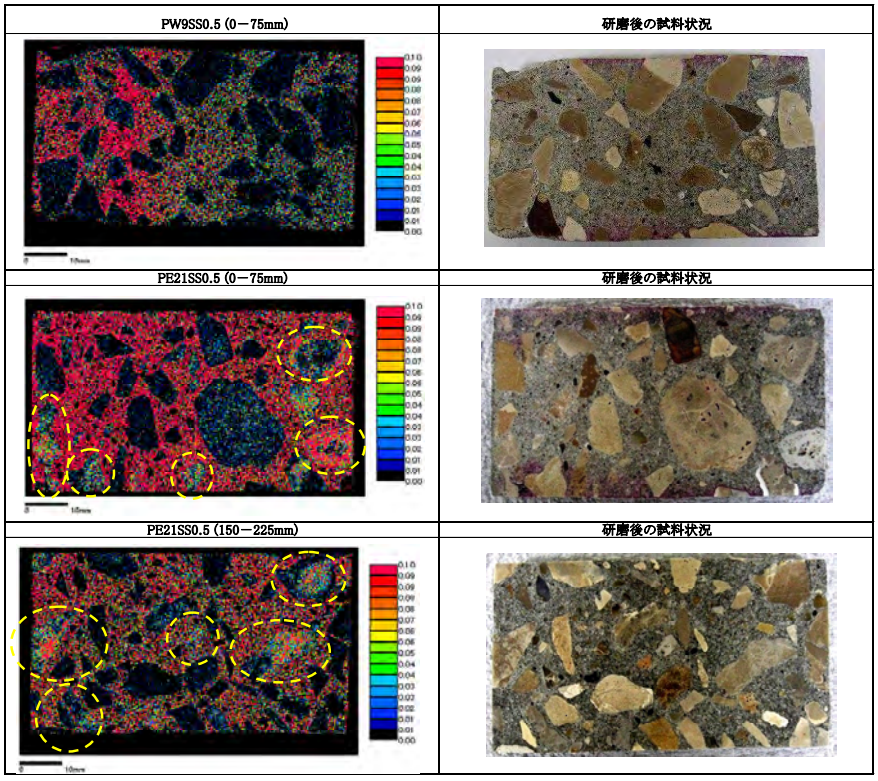


図11　EPMA 試験結果（Cl のスケールを変化させて観察）

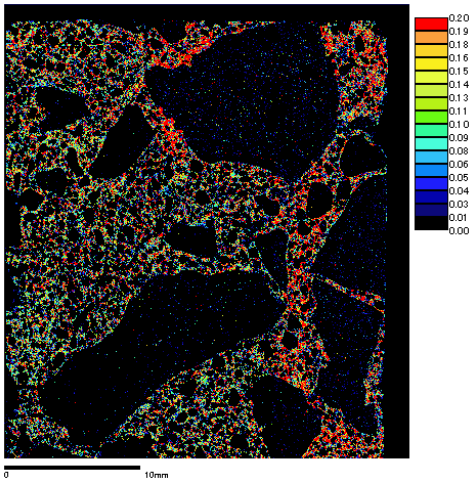


図12　細部の EPMA 試験観察の結果

(3) 元素分析

PE32SS20 のコンクリートコアについて、強熱減量（ig.loss）、不溶残分（insol.）、原子吸光による $Fe2O_3$、MgO、Na2O、K2O、ICP による $Al2O_3$、SiO_2 を測定した。CaO は、EDTA 溶液で滴定、SO_3 は硫酸バリウム質量法で定量した。

その結果、骨材に石灰石が含まれているため ig.loss が高く、また石灰石が塩酸で溶解して CaO が高いため insol.が低くなっているが、日本国内での石灰石骨材コンクリートの組成と比べ、大きな相違は認められなかった。

表5 コンクリートの元素分析結果

試料名	PE32SS 20
ig.loss 1000℃	25.26
insol.	35.51
SiO_2	2.89
Al_2O_3	1.12
Fe_2O_3	0.61
CaO	24.95
MgO	8.15
SO_3	0.17
Na_2O	0.14
K_2O	0.05

3.2 劣化原因の推定および構造物健全度の評価

3.2.1 劣化原因の推定

(1) 柱、パイルキャップに見られる「うき」「剥離・鉄筋露出」

現地調査において、損傷箇所と判定した橋脚柱東岸の 63 面について、劣化原因を推定する。なお、現地調査で確認された表面の薄い部分の「うき」は損傷箇所としない。

1) 腐食発生環境

① 塩化物イオン濃度

建設当時からと考えられる内在塩分により、一様に 0.8～1.0 kg/m^3 程度の塩化物イオン量を呈す。また、外来塩分により、表面近傍では、腐食発生限界塩化物イオン濃度（1.2 kg/m^3）を超える値が確認される。

② 中性化深さ

表面近傍（0～20 mm）は中性化している。

③ コンクリートかぶり

概ね 70 ㎜前後が確認されるが、部分的に 50 ㎜以下の箇所も確認される。

以上より、柱に確認される「コンクリートかぶり」の薄い位置の鉄筋は腐食発生環境におかれていると評価する。（パイルキャップは、1 箇所を除き「かぶり」が厚い）この状況は、東岸、西岸ともにほぼ同じ状況である。

2) 損傷の発生状況

鉄筋腐食による「うき」「剥離」の発生は、東岸柱に集中している。

東岸柱と西岸柱の条件の違いは、「土被り」の違いであり、パイルキャップの露呈している西岸に比べ、東岸の柱は地表面の土に常に接している状況である。

3) 劣化原因

以上より、柱、パイルキャップに見られる「うき」「剥離・鉄筋露出」の原因は、腐食発生環境（上記①②③）におかれた鉄筋が、地表面からの水分ならびに酸素の進入により、腐食発生に至った「塩害による損傷」と考えられる。

(2) パイルキャップに見られる「ひび割れ」

1) ひび割れパターン・深さ

ひび割れはパイルキャップ上面に発生し、ほぼ等間隔（1～2m）、かつ直交二方向に発生している。また表面幅最大 0.5 ㎜に対し、深さは 200 ㎜を超えるひび割れも認められる。

2) 鉄筋腐食状況

現地調査におけるコア削孔による鉄筋の目視調査の結果、鉄筋の腐食発生は確認されない。

3) 劣化原因

以上より、パイルキャップによる「ひび割れ」は鉄筋腐食に起因する物では無く、ひび割れパターン、深さから、「セメントの水和熱」による温度応力に起因すると考えられる。

3.2.2 構造物健全度の評価

健全度の評価は、「塩害による損傷」に対しては、「塩害橋梁維持管理マニュアル（案）平成 20 年 4 月　橋梁塩害対策委員会」を参考として評価する。

また、「ひび割れ」に対しては、「コンクリートのひび割れ調査、補修・補強指針-2009-　日本コンクリート工学協会」により評価する。

(1) 柱、パイルキャップに見られる「うき」「剥離・鉄筋露出」：塩害による損傷

健全度の評価は、現地調査結果から、以下に示すＡ～Ｃの 3 ケースについて評価を行う。

- Ａ：外観に損傷はみられない箇所のうち、所定のかぶり 70㎜が確保されている箇所
- Ｂ：外観に損傷はみられないが、所定のかぶりが確保されていない箇所
- Ｃ：現状で既に外観に損傷がみられた箇所　（所定のかぶりが確保されていない）

「塩害橋梁維持管理マニュアル（案）」では、健全度と対策方針の関係を表 4 の通り定義している。

表6　健全度毎の対策方針の考え方

健全度	対策方法の分類
グレードⅠ	塩害対策は不要
グレードⅡ	塩害による損傷が将来発生する可能性があるため、損傷の発生を制御するための補修対策が必要
グレードⅢ	塩害が原因の損傷が見られるため、損傷の進行を制御または現状の性能を維持するための補修対策が必要
グレードⅣ	塩害が原因の損傷が甚大なため、耐荷性能の確認と評価を行うとともに安全確保のための早急な対策の実施と、更新を含めた恒久対策の検討が必要

ここで、

「Ａ：外観に損傷はみられない箇所のうち、所定のかぶり 70 ㎜が確保されている箇所」は、塩害対策は不要であることから、グレードⅠと判断する。

「Ｃ：現状で既に外観に損傷がみられた箇所　（所定のかぶりが確保されていない）」は、塩害の損傷が見られ、補修対策が必要であることから、グレードⅢと判定する

「Ｂ：外観に損傷はみられないが、所定のかぶりが確保されていない箇所」は、かぶり不足の程度によって将来塩害による損傷が発生する可能性が変わるため、グレードⅠまたはⅡと判定し、補修対象範囲の特定が必要となる。よって、橋脚柱毎に、「コンクリートかぶり」と、「塩化物イオン濃度」ならびに「中性化深さ」の進行予測を基に、対象範囲・箇所を決定する必要がある。

(2)　柱、パイルキャップに見られる「ひび割れ」

「コンクリートのひび割れ調査、補修・補強指針」では、ひび割れ幅の部材性能への影響を表 7 のとおり定義している。

表7　鋼材腐食の観点からのひび割れの部材性能への影響

環境条件		塩害・腐食環境下	一般屋外環境下	土中・屋内環境下
ひび割れ幅 W（mim）	0.5＜W	大（20 年耐久性）	大（20 年耐久性）	大（20 年耐久性）
	0.4＜W≦0.5	大（20 年耐久性）	大（20 年耐久性）	中（20 年耐久性）
	0.3＜W≦0.4	大（20 年耐久性）	中（20 年耐久性）	小（20 年耐久性）
	0.2＜W≦0.3	中（20 年耐久性）	小（20 年耐久性）	小（20 年耐久性）
	W≦0.2	小（20 年耐久性）	小（20 年耐久性）	小（20 年耐久性）

※評価結果「小」、「中」、「大」の意味は以下の通り。

小：ひび割れ幅が性能低下の原因となっておらず、部材が要求性能を満足する。

中：ひび割れ幅が性能低下の原因となるが、軽微な（簡易な）対策により対処が可能。

大：ひび割れによる性能低下が顕著であり、部材が要求性能を満足していない。

カッコ内の数値は、耐久性評価結果を保証できる期間の目安としての年数を示しており、（20 年耐久性）はひび割れの評価時点から 15～25 年後程度の耐久性評価結果を保証できる期間の目安として設定したものであり、15～25 年の平均をとって示したものである。

出典：コンクリートのひび割れ調査、補修・補強指針-2009-、日本コンクリート工学協会

上表より、「一般屋外環境下」に該当すると判断し、

柱：　ひび割れ幅は 0.3 mm 以下であるため、評価は、「小（20 年耐久性）」とする。

パイルキャップ：0.35 mm 以上（最大 0.5 mm）の箇所について、「中～大（20 年耐久性）」とする。

3.3　補修箇所・方法の検討

劣化原因、健全度評価結果を基に、補修要否の判定、補修工法の検討結果を示す。

3.3.1　補修要否の判定・補修箇所の特定

(1)　柱、パイルキャップに見られる「うき」「剥離・鉄筋露出」：塩害による損傷

1)　補修要否の判定

「3.2.2 構造物の健全度の評価」に従い、補修要否の判定は「塩害橋梁維持管理マニュアル（案）」を参考として、以下の通りとする。

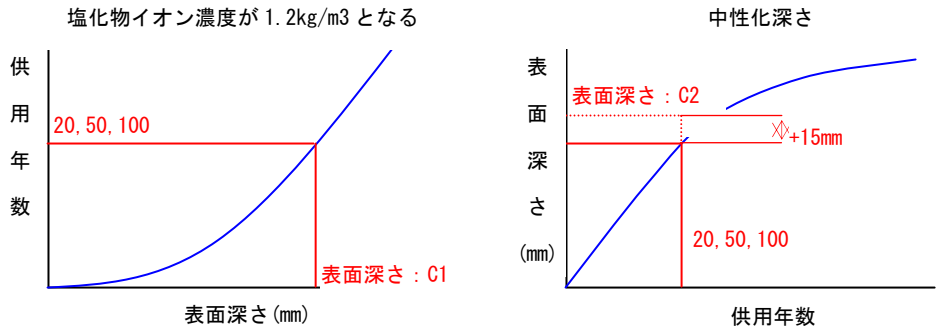
「Ａ：外観に損傷はみられない箇所のうち、所定のかぶり 70mm が確保されている箇所」（グレードⅠ）	⇨	補修不要
「Ｂ：外観に損傷はみられないが、所定のかぶりが確保されていない箇所」（グレードⅠもしくはⅡ）	⇨	補修不要（グレードⅠの場合）もしくは将来に対する予防措置が必要（グレードⅡの場合）
「Ｃ：現状で既に外観に損傷がみられた箇所　(所定のかぶりが確保されていない）」（グレードⅢ）	⇨	補修対策が必要

なお、「Ｂ：外観に損傷はみられないが、所定のかぶりが確保されていない箇所」の補修要否の判定は、「コンクリートかぶり」、「将来塩化物イオン予測」、「将来中性化深さ予測」を基に補修箇所を特定する。

2)　補修箇所の特定

「Ｂ：外観に損傷はみられないが、所定のかぶりが確保されていない箇所」は、塩化物イオン、中性化、それぞれの予測結果から、補修対策の対象箇所を選定する。対象橋脚のかぶりを「C」とし、供用後 20、50、100 年後（現時点から 10、40、90 年後）の予測結果「C1：塩化物イオン」「C2:中性化」を比較し、以下のケースを対象とする。

①塩化物イオンの拡散予測　　②中性化深さの進行予測

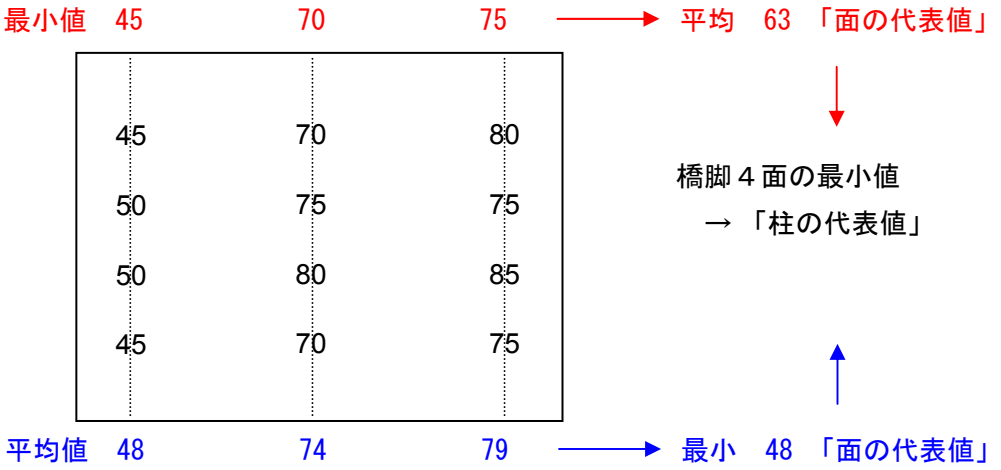


C＜C1　、C＜C2（＋15 mm を含む）	・・・・・・・・・・・・補修対象とする。
C＜C1　、C＞C2（＋15 mm を含む）	・・・・・・・・・・・・経過観察
C＞C1　、C＜C2（＋15 mm を含む）	・・・・・・・・・・・・経過観察
C＞C1　、C＞C2（＋15 mm を含む）	・・・・・・・・・・・・経過観察

上記の考えは、現地調査において RC レーダにより計測したかぶりが最小値（25 mm、33 mm）の箇所（塩化物イオン濃度 1.2 kg/m^3 以上かつ中性化と想定される箇所）において、はつり調査を行った結果、鉄筋の腐食は見られなかったことから、十分妥当な判断であると考える。

ここで、各橋脚柱のかぶり代表値の設定方法については、現地橋脚で観測した RC レーダの結果を基に、以下 2 ケースが考えられる。

①各ラインの最小値の平均を「その面の代表値」とし、４面の最小値を「柱の代表値」とする。
②各ラインの平均値の最小を「その面の代表値」とし、４面の最小値を「柱の代表値」とする。



本調査においては、各橋脚柱のかぶり代表値として、安全側である②を採用した。

(2)　柱、パイルキャップに見られる「ひび割れ」

1)　補修要否の判定

表 8 に基づき、ひび割れに対する補修の必要性を検討した。期待延命期間については、本橋梁の重要性を鑑み、表中最も長い“20 年以上”を採用した。

表8　評価に基づく判定表（鋼材腐食に対する耐久性の観点）

部材への影響	期待延命期間		
	10 年未満	10～20 年未満	20 年以上
小（20 年耐久性）	補修不要	補修不要	補修不要（定期的なひび割れ調査を実施）
中（20 年耐久性）	基本的には補修不要（場合によっては補修必要）	基本的には補修不要（場合によっては補修必要、定期的なひび割れ調査を実施）	補修必要
大（20 年耐久性）	基本的には補修必要	補修必要	補修必要（補強、解体・撤去、立替を含む）

出典：コンクリートのひび割れ調査、補修・補強指針-2009-、日本コンクリート工学協会

上表より、

柱のひび割れ：

評価「小」は補修不要（定期的なひび割れ調査を実施）とする。

パイルキャップのひび割れ：

評価「中～大」となる、0.35 ㎜以上のひび割れについて、補修必要とする。

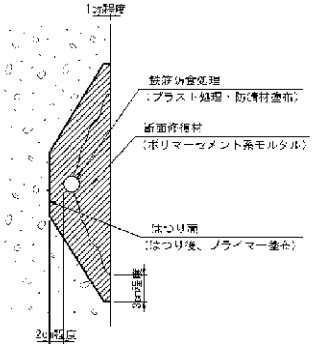
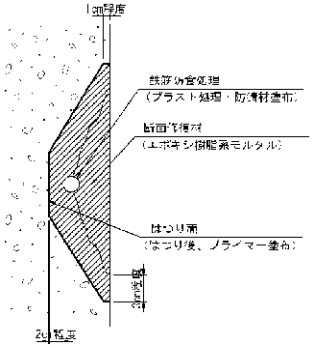
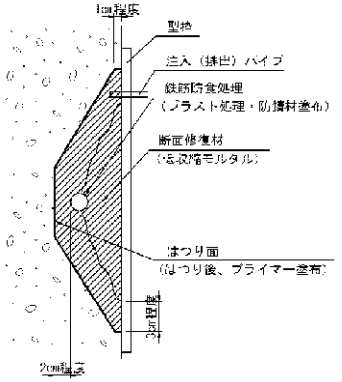
3.3.2　補修工法の検討

前述より、補修項目は以下とする。

- 「うき」「剥離・鉄筋露出」の補修として「断面修復」
- コンクリートかぶり不足箇所に対する予防措置として「表面被覆」
- パイルキャップの「ひび割れ」に対して「ひび割れ補修」

(1)　断面修復

補修範囲が一辺 300 ㎜ を超える箇所は比較表に示すとおり、グラウト材を用いた型枠による補修とし、300 ㎜ 以下の小範囲については、付着性の高いポリマーセメントモルタルを使用する事とする。

名　称		第１案：ポリマーセメント系モルタル	第２案：エポキシ樹脂系モルタル	第３案：低収縮セメントモルタル
概略図				
工法概要		・脈弱箇所、鉄筋露出等の既設コンクリートを鉄筋裏側まではつる。 ・鉄筋の錆を落とし、防錆材を塗布したのちに、ポリマーセメント系モルタルを充填して断面を修復する。	・脈弱箇所、鉄筋露出等の既設コンクリートを鉄筋裏側まではつる。 ・鉄筋の錆を落とし、防錆材を塗布したのちに、エポキシ樹脂系系モルタルを充填して断面を修復する。	・脈弱箇所、鉄筋露出等の既設コンクリートを鉄筋裏側まではつる。 ・鉄筋の錆を落とし、防錆材を塗布したのちに、骨材を充填しながら型枠を設置する。 ・骨材充填後、ポリマーセメントスラリーを充填し、硬化後型枠を撤去する。
施工方法	左官工法	○（30mm/層）　適用規模：30ｃｍ×30ｃｍ以下	○（50mm/層）　適用規模：30ｃｍ×30ｃｍ以下	○（20mm/層）　適用規模：30ｃｍ×30ｃｍ以下
	吹付工法	○（30~50mm/層）　適用規模：50ｃｍ×50ｃｍ以上	×	×
	充填工法	▲（粘性が大きく充填度が低い）	▲（粘性が大きく充填度が低い）	○（型枠併用）
特徴		・施工後、短時間で強度が発現する。 ・硬化収縮が無く、接着性が強いため、ひびわれ、剥離が生じにくい。 ・下地を乾燥させる必要が無く、コテ塗りができるため型枠、特殊な工法を必要としない。 ・１回のコテ塗りが約 3cm であるため、大断面の修復には適さない	・比重が 0.75 と軽量である。 ・硬化収縮が無く、エポキシ樹脂系であるため、接着性に優れている。 ・コテ塗りのみであること、高価であることより大断面の修復には適さない。 ・発熱性を示すものもあるため、施工に当たっては十分に配慮する必要がある。	・ダレが生じやすいため、上向きの施工には不向きで、コテ塗りの場合には、２ｃｍ程度の厚さしか施工できない。 ・他案に比べ安価であるため、大断面の修復に適している。
直接工事費		¥190 千円/m3（はつり、プライマー塗布含まず）	¥580 千円/m3（はつり、プライマー塗布含まず）	¥90 千円/m3（はつり、プライマー塗布含まず）
評　価		・小断面としての品質、施工性に優れている。 ・小断面に適さない第３案と比較し経済性は劣るが、第２案と比較し安価である。	・品質、施工性は優れているが、経済性に劣っているため適さない。	・型枠を用いて施工を行う、大断面としての品質、施工性は問題なく、最も経済性に優れている。
		○（採用：小断面）	△	○（採用：大断面）

(2) 表面被覆

表面被覆は塗装材（有機系、無機系）、含浸材（シラン系、ケイ酸系）で比較検討の結果、以下事由より、含浸材（シラン系）を採用する。

- 今後の維持管理において、ひび割れ等を直接視認できる「無色透明」であること
- 鉄筋腐食発生の要因である、水の進入を防止する事。

また、箇所毎の被覆高さについては、以下事由を踏まえ一律「橋脚柱基部から 4m」とする。

- かぶり不足の顕著な柱基部を対象とする。
- ローカル工区における基部第一リフト高さは 4m。
- 日本工区（スリップフォーム）におけるリフト高さは 7m。ただし、軸方向鉄筋の固定高さは基部から 2.2m。
- 損傷が多く確認される地表部を対象とする。
- 東岸工区における土被り厚は、現状で最大 2.5mであり、余裕量 1.5m程度を考慮し 4mを確保する。
- 現地調査において、基部から 5m位置での鉄筋かぶりは概ね満足している。

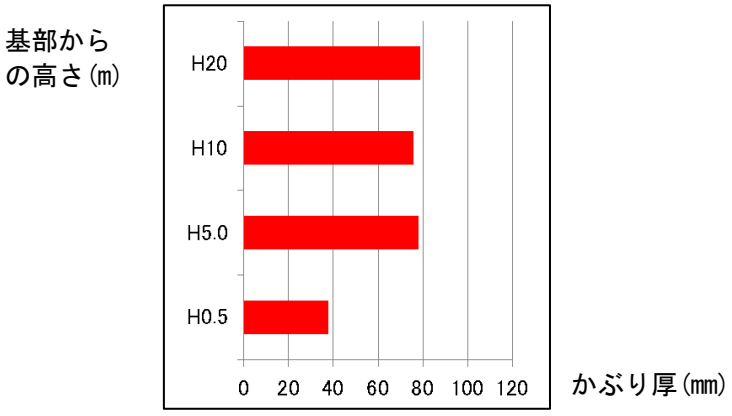


図13 鉄筋かぶり深さ（PE32SS）

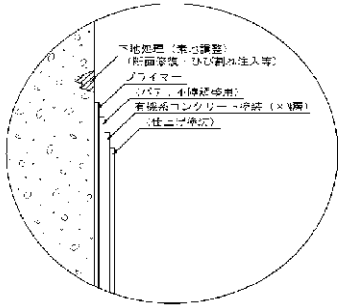
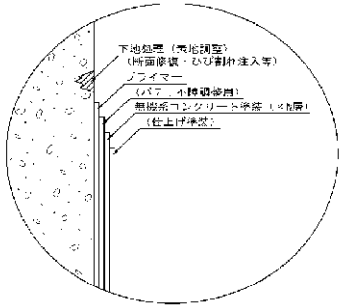
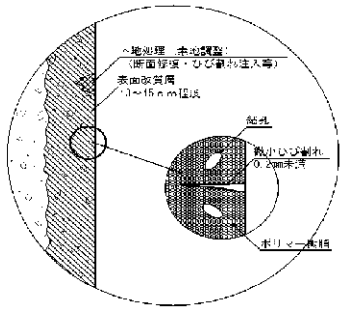
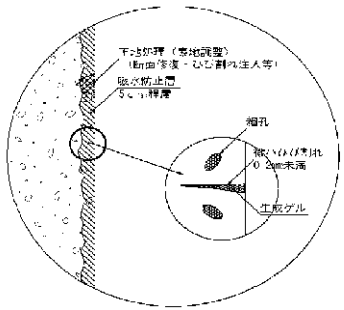
表面被覆工対象橋脚柱は、現時点での断面修復が必要とされる箇所全数に加え、現時点で損傷が確認されていない箇所に対し、供用後の年数（20、50 年、100 年）、鉄筋のかぶり厚に応じて、以下のとおりのオプション案が考えられる。

- オプション１　供用年数 20 年　：　50 柱（180 柱のうち）
- オプション２　供用年数 50 年　：　71 柱（180 柱のうち）
- オプション３　供用年数 100 年　：　101 柱（180 柱のうち）
- オプション４　かぶり不足全箇所　：　172 柱（180 柱のうち）

ここで、最適オプションは、以下に示す理由により、オプション 2（供用年数）50 年とする。

- オプション 1 は、供用後 20 年以内（今後 10 年以内）に損傷が発生すると予想される橋脚柱のみを対象にしており、10 年後に対象としていない橋脚柱で損傷が発生する可能性がある。

- オプション 3 は、供用年数 100 年以内（今後 90 年以内）に損傷が発生すると予想される橋脚柱を対象としたものであり、表面被覆材の効果持続年数（約 20 年を想定）を大幅に超えたスパンで塩分浸透や中性化が予測される箇所においては、表面被覆材適用の費用対効果は高くない。
- オプション 4 は、ほぼ全橋脚柱が対象となり、オプション 3 と同等の理由や経済性の観点からも現実的でない。

	表面塗装工（コンクリート塗装工）		表面含浸工	
	第１案：有機系	第２案：無機系	第３案：シラン系	第４案：ケイ酸ナトリウム系
概要図				
概要・機能	・エポキシ樹脂、ポリウレタン樹脂等の有機系樹脂を主成分とする被覆材料によりコンクリート表面を被覆し、劣化要因の進入を抑制する。	・ポリマーセメントを主成分とする無機系被覆材料によりコンクリート表面を被覆し、劣化要因の進入を抑制する。	・セメント中の水酸基（OH-）とシラン系溶剤が化学反応によりポリマー樹脂を生成することで疎水性に改質し、水分や塩化物イオンの浸入を抑制する。	・セメント中の水酸化カルシウムとケイ酸ナトリウム系溶剤が化学反応により細孔部にゲル（結晶体）を生成することで緻密な吸水防止層が形成され、水分や塩化物イオンの浸入を抑制する。 ・乾燥状態では、浸透性に劣る。
劣化要因の遮断性	・形成される被膜が緻密なため、劣化要因の遮断性は高い。 ◎	・形成される被膜が緻密なため、劣化要因の遮断性は高いが、有機系に比べ劣る。 ・ひび割れ変動に対する追従性が低いため割れが生じた場合は遮断性に劣る。 ○	・コンクリート表面下の改質層(疎水域)により、劣化要因（水）を遮断し、抑制する。 ・浸透厚が厚く、鉄筋の不働態皮膜も形成するため防錆効果もある。 ◎	・コンクリート表面を緻密化することにより、水分、空気を遮断し、抑制する。 ・表面の改質であり、紫外線劣化が生じる環境では、早期の性能低下が考えられる。 ○
透湿性	被膜が緻密なため、透湿性は低い。 ※部材内部に水分等を蓄積する可能性がある。 ▲	・有機系に比べ被膜の緻密性が劣るため、有機系より良い。 △	・コンクリート中に細孔が充填されないため透湿性に優れ内部の乾燥を促進させる。 ◎	・コンクリート中に細孔が充填されるため透湿性は低い。 △
維持管理性	・被膜が有色であるため、既設部材の変状を直接視認できない。 ▲	・被膜が有色であるため、既設部材の変状を直接視認できない。 ▲	・被膜が無色であるため、既設部材の変状を直接視認できる。 ◎	・被膜が無色であるため、既設部材の変状を直接視認できる。 ◎
施工性	工程数が多く、養生期間も長いため施工期間が長くなる。 △	工程数は多いが、養生期間が短いため有機系に比べ施工期間は短くなる。 ○	工程数が短く、養生期間も短いため施工期間は短くなる。 ◎	工程数が短いが、養生期間が長いためシラン系に比べ施工期間は長くなる。 ○
経済性	5千円/㎡ △	4千円/㎡ ○	9千円/㎡ ◎	11千円/㎡ ◎
評価	・施工性に劣り、また皮膜が有色であるため、維持管理が困難となる。	・施工性に劣り、また皮膜が有色であるため、維持管理が困難となる。	・皮膜が無色であるため、維持管理が容易にできる。 ・劣化原因の遮断性、浸透性、施工性に優れる。 ○（採用）	・皮膜が無色であるため、維持管理が容易にできる。 ・劣化原因の遮断性、浸透性、施工性、経済性が、第３案と比べ劣る。

(3)　ひび割れ補修

パイルキャップひび割れ補修は、ひび割れ幅が深く、幅 0.5 mm 程度である事から、ひび割れ充填工を採用する。

なお、充填材はひび割れの原因が「乾燥収縮」「温度応力」であることから、今後の著しいひび割れ幅の進展は想定されないため、ポリマーモルタル系の充填材を使用する。

(4)　補修対象箇所

最適オプションである、オプション 2 の補修対象箇所数は以下の通りである。

- 断面修復工　　：46 柱
- 表面被覆工　　：71 柱
- ひび割れ補修工　：10 基

4.　工程計画

補修工事の工程表を図 14 に示す。施工期間は、準備工、片付け工を含め、5.0 ヶ月となる。

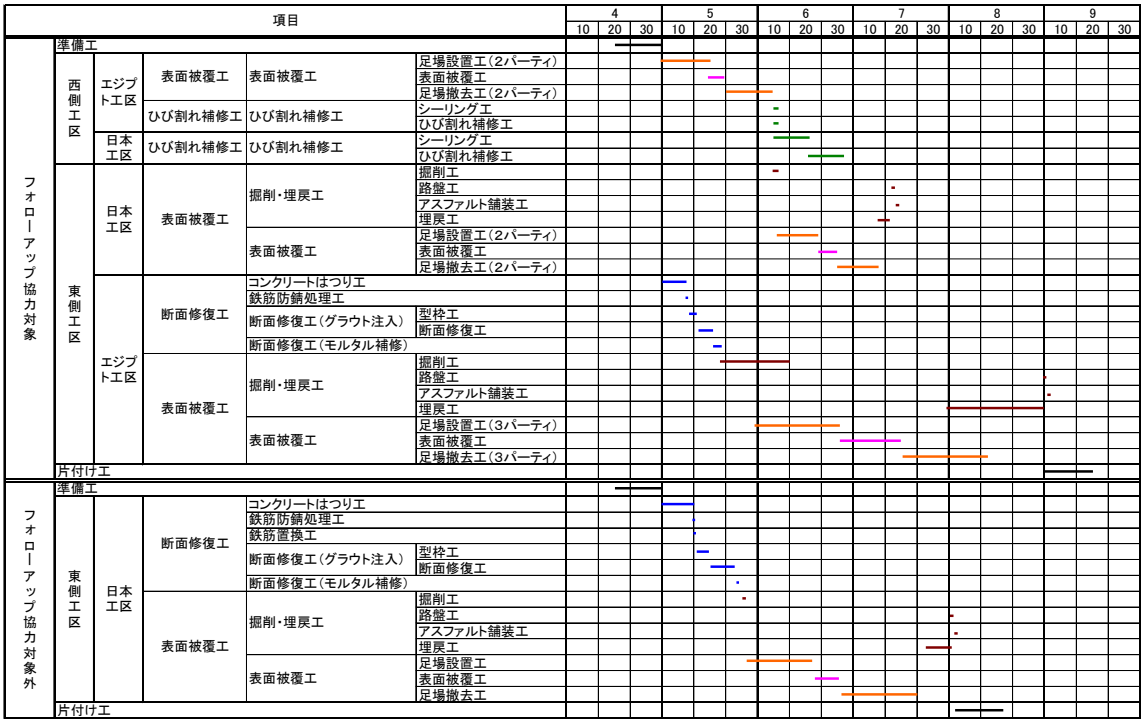


図14　補修工事工程表

5. 概略事業費

5.1 補修工事の担当実施機関

2011 年 8 月 17 日に行われた、現地調査結果報告会議において、各工区の損傷に対する責任および補修工事の担当実施機関（費用負担）が協議された。

協議の結果、当初建設時の施工会社は、下記の理由により費用負担の義務はないと結論付けされたが、同施工会社の提案により、当初建設した工区（西側日本工区、東側日本工区）の断面補修および表面被覆は、自主的に費用を負担し補修を行うこととなった。

- 建設当時の施工記録を確認したところ、セメント、骨材の塩分試験を定期的に実施し、また全て規定値を満足しており、適切に管理していたと言える。
- かぶり不足が認められるものの、建設後 10 年が経過しており、また構造的に大きな問題とならないため、過失は問えない。
- 無償資金協力事業の瑕疵期間である 1 年は既に経過している。

以上より、表 9 に示すとおり、西側のエジプト工区、日本工区、東側のエジプト工区、日本工区の一部を JICA が担当し、東側の日本工区の一部を当初建設時の施工会社が担当することとなった。

なお、施工会社が担当する工区は、本フォローアップ協力の対象外とする。

表9 補修工事担当実施期間

フォローアップ協力	フォローアップ協力対象				F/U 対象外
工区	西側工区		東側工区		東側工区
	エジプト工区	日本工区	日本工区	エジプト工区	日本工区
担当実施機関	JICA				当初建設時の施工会社
断面修復工	0 柱	0 柱	0 柱	36 柱	10 柱
表面被覆工	12 柱	0 柱	11 柱	38 柱	10 柱
ひび割れ補修工	1 基	9 基	0 基	0 基	0 基

5.2 概略事業費

5.2.1 フォローアップ協力対象概略事業費

フォローアップ協力対象の概略事業費（建設費のみ、設計管理費含まず）は、表 10 に示すとおり、59,210 千円（4,314 thousand EGP）となる。

表10　概略事業費（フォローアップ協力対象）

名 称	規 格	単位	数量	単価			金額			日本円換算
				日本円	現地貨	米ドル	日本円	現地貨	米ドル	
橋脚補修工事										
1. コンクリートはつり工		m2	9.175		225			2,064		28,332
2. 鉄筋防錆処理工		m	63.870		85			5,429		74,507
3. 鉄筋置換工		m	-	-	-	-	-	-	-	-
4. 断面修復工(グラウト注入)		m3	0.629		16,000			10,064		138,119
5. 断面修復工(モルタル補修)		m3	0.290		13,500			3,915		53,730
6. 表面被覆工(含浸材)		m2	3,952.000		630			2,489,760		34,169,546
8. 掘削・埋戻し		m3	5,150.300		330			1,699,599		23,325,351
9. ひび割れ補修工		m	647.200		160			103,552		1,421,151
合計								4,314,383		59,210,735

5.2.2　フォローアップ協力対象外概略事業費

フォローアップ協力対象外の概略事業費（建設費のみ、設計管理費含まず）は、表 11 に示すとおり、7,031 千円（512 thousand EGP）となる。

表11　概略事業費（フォローアップ協力対象外）

名 称	規 格	単位	数量	単価			金額			日本円換算
				日本円	現地貨	米ドル	日本円	現地貨	米ドル	
橋脚補修工事										
1. コンクリートはつり工		m2	11.650		225			2,621		35,974
2. 鉄筋防錆処理工		m	78.200		85			6,647		91,224
3. 鉄筋置換工		m	9.000		90			810		11,116
4. 断面修復工(グラウト注入)		m3	1.304		16,000			20,864		286,338
5. 断面修復工(モルタル補修)		m3	0.024		13,500			324		4,447
6. 表面被覆工(含浸材)		m2	664.000		630			418,320		5,741,037
8. 掘削・埋戻し		m3	190.300		330			62,799		861,855
9. ひび割れ補修工		m	-		160			-		-
合計								512,385		7,031,992

6. 事業実施計画

本事業の事業実施工程表を表 12 に示す。

表12　事業実施工程表

項目	年月	2011年					2012年											
		8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
フォローアップ協力調査期間	詳細設計	━	━	━	━													
	入札図書作成			━	━													
コンサルタント調達期間	入札補助・施工監理					━	━											
入札補助・施工管理期間	入札補助						━	━	━	━								
	施工管理									━	━	━	━	━	━			
工事入札期間	入札図書承認						━											
	公示						★											
	図渡し・現説							━										
	入札									★								
	入札評価									━								
	業者契約									★								
工事期間	準備工									━								
	断面修復工										━							
	表面被覆工										━	━	━	━				
	ひび割れ補修工											━						
	片付け工														━			

7. 維持管理計画

7.1 現在の点検内容

「OPERATION AND MAINTENANCE MANUAL（THE KAJIMA - NKK - NIPPON STEEL CONSORTIUM JULY 2001）」に記載されている点検内容を表 13、14 に示す。

表13 メイン部分（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	つまり	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）

表14　アプローチ部分（コンクリート）

部材	点検内容	点検方法	点検頻度
支承	汚れ 塗装の劣化 PTFE ディスク表面の点検 風通しの点検 腐食の点検	未記載	定期点検（5 年に 1 回）
伸縮装置	汚れ 継ぎ目のシール材の状態 コンクリートの状態	未記載	定期点検（6 ヶ月に 1 回）
	舗装の補修後 砂嵐通過後	未記載	緊急点検
排水装置	排水溝のつまり点検	未記載	日常点検（1 週間に 1 回）
	排水管の点検 排水溝の点検	未記載	定期点検（6 ヶ月に 1 回）
主塔ライト装置	接地抵抗の点検 電線の点検	未記載	定期点検（1 年に 1 回）
主塔	梯子の状態 手すりの状態 マンホールの状態	未記載	定期点検（1 年に 1 回）
航空機用警告ライト	通電の点検	未記載	定期点検（6 ヶ月に 1 回）
地震計	通電の点検 記録計の点検	未記載	定期点検（6 ヶ月に 1 回）
電力システム	ケーブルとアースの絶縁測定	未記載	定期点検（6 ヶ月に 1 回）
	電線の固定金物の点検 接続の点検	未記載	（3 ヶ月に 1 回）
	漏電遮断器の点検	未記載	定期点検（1 年に 1 回）
	ねずみの形跡の調査	未記載	（1 ヶ月に 1 回）
アスファルト舗装	変化の点検	未記載	日常点検(1 週間に 1 回)
	ひび割れなどの調査	未記載	定期点検（6 ヶ月に 1 回）
路面表示、縁石表示	表示磨耗の点検	未記載	定期点検（1 年に 1 回）

7.2　橋脚およびパイルキャップの維持管理計画

7.2.1　点検方法

現地調査の結果、橋脚コンクリートの損傷原因は塩害であることが特定され、パイルキャップのひび割れは施工時のセメントの水和熱に起因するものであることが特定された。

橋脚やパイルキャップの点検方法は「OPERATION AND MAINTENANCE MANUAL」に記載されていないことから、「橋梁定期点検要領（案）　国土交通省　国道・防災課　平成 16 年 3 月」を基本として、表 15 に示すとおり点検方法を定めた。

表15　橋脚およびパイルキャップの点検方法

部材	点検内容	点検方法	点検頻度
コンクリート（損傷、劣化）	遊離石灰・漏水	目視点検	毎日／定期点検　(1 年に 1 回) ※1
	うき	たたき試験	定期点検　(5 年に 1 回) ※1
	ひび割れ	クラックゲージ	定期点検　(5 年に 1 回) ※1
	中性化	はつり調査	定期点検　(5 年に 1 回) ※2
	塩害	ドリリングまたは コアサンプリング	定期点検　(5 年に 1 回) ※2
鉄筋　(腐食)	腐食度	はつり調査 自然電位法	臨時点検／緊急点検※3

※1「橋梁定期点検要領（案）　国土交通省　国道・防災課　平成 16 年 3 月」を準用して定めた。
※2 現地調査の結果、塩害・中性化ともに進行していることが判明したため、経過観測の観点より点検頻度を定めた。
※3 鉄筋腐食の点検は定期点検項目に含まれないことから、コンクリートのうきやひび割れ等の進展が見られた場合に点検するように定めた。

7.2.2　補修方法

今後の点検で損傷等が見つかった場合、下記の手順に従って補修を実施する。

(1)　断面修復工

現状の損傷程度（範囲、深さ、鉄筋露出の有無、鉄筋発錆の有無）により、図 15 に示すフローに基づき適切な工法を選択する。

なお、補修範囲が一辺 300 mm を超える箇所は、グラウト材を用いた型枠による補修とし、300 mm 以下の小範囲については、付着性の高いポリマーセメントモルタルを使用する事とする。

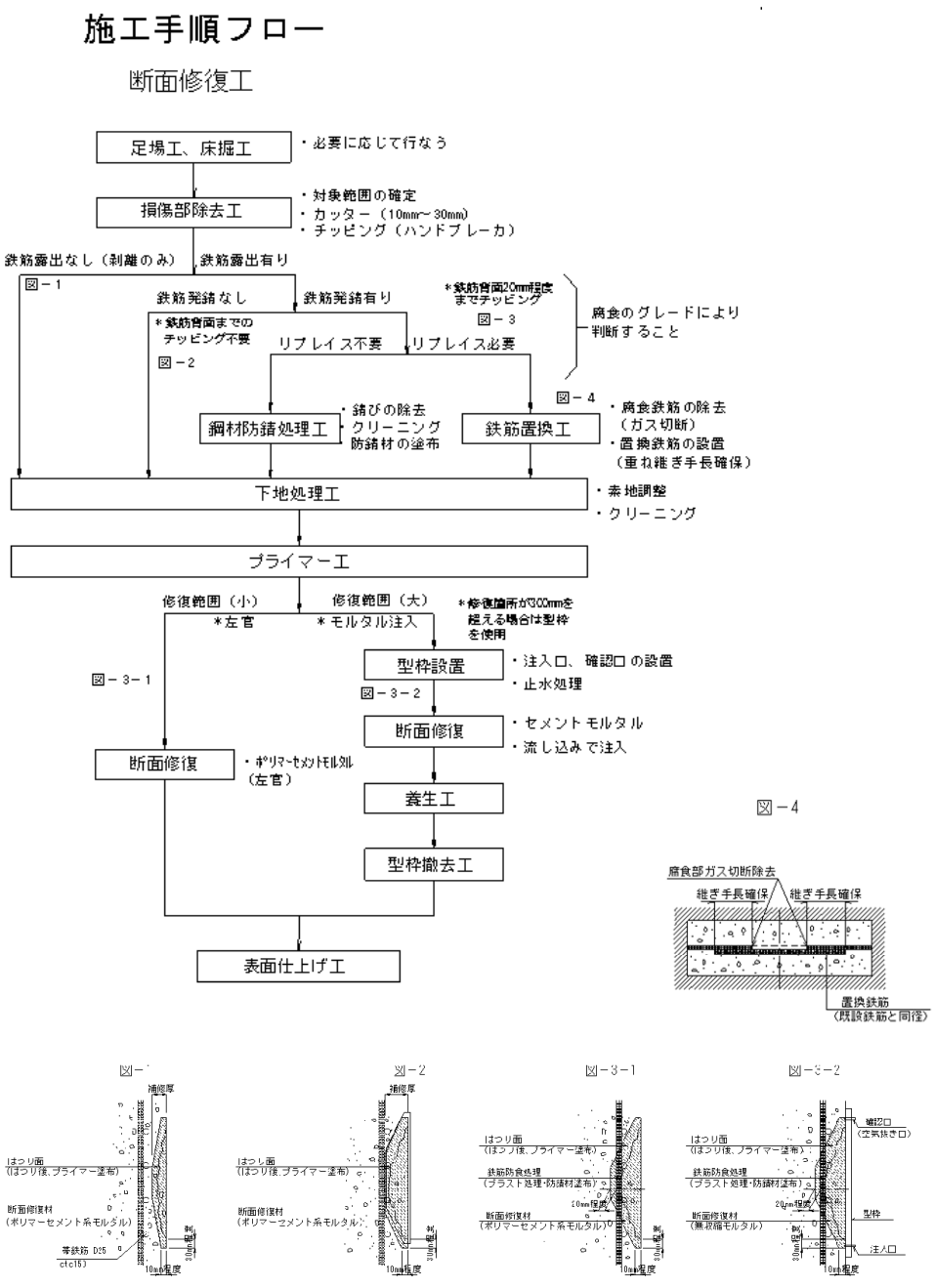


図15　断面修復工施工手順フロー

(2)　ひび割れ補修

パイルキャップひび割れ補修は、ひび割れ幅が深く、幅 0.5 mm 程度である事から、ひび割れ充填工を採用する。

なお、充填材はひび割れの原因が「乾燥収縮」「温度応力」であることから、今後の著しいひび割れ幅の進展は想定されないため、ポリマーモルタル系の充填材を使用する。

エジプト国　スエズ運河架橋建設計画フォローアップ協力調査
フォローアップ協力調査報告書

目　　次

序　文
要　約
目　次
位置図
図表リスト／略語集

ページ

1.　調査結果総括 1-1
1.1　調査目的 1-1
1.2　調査概要 1-2
1.2.1　調査日程 1-2
1.2.2　調査項目 1-3
1.2.3　調査対象箇所 1-4

2.　現地調査 2-1
2.1　コンクリート橋脚の詳細調査 2-1
2.1.1　打音調査 2-1
2.1.2　ひび割れ調査 2-3
2.1.3　赤外線カメラによるコンクリートの剥離・うき調査 2-5
2.1.4　コンクリートかぶり厚さ調査 2-5
2.1.5　はつり調査 2-6
2.1.6　塩化物イオン濃度調査（ドリル粉迅速法） 2-8
2.1.7　鉄筋腐食状況調査（自然電位法） 2-9
2.2　サイト状況調査 2-10
2.2.1　地下水ボーリング 2-10
2.2.2　水質調査 2-11
2.2.3　土壌調査 2-11
2.2.4　気象条件調査 2-12
2.3　コンクリート材料の分析 2-13
2.3.1　採石場の砂の分析 2-13
2.3.2　粗骨材の塩化物イオン濃度 2-14
2.4　形状調査・一般図作成 2-15

3. 国内解析 3-1
3.1 コンクリートコア分析 3-1
3.1.1 コンクリートコアの観察 3-1
3.1.2 圧縮強度と静弾性係数の関係（2010 年調査より） 3-3
3.1.3 中性化深さ 3-3
3.1.4 塩化物イオン量 3-7
3.1.5 コンクリートの組織構造の診断 3-11
3.2 劣化原因の推定および構造物健全度の評価 3-13
3.2.1 劣化原因の推定 3-13
3.2.2 構造物健全度の評価 3-14
3.3 補修箇所・方法の検討 3-16
3.3.1 補修要否の判定・補修箇所の特定 3-16
3.3.2 補修工法の検討 3-19
3.4 詳細設計 3-32

4. 施工計画／調達計画 4-1
4.1 施工計画 4-1
4.1.1 断面修復工 4-1
4.1.2 表面被覆工 4-3
4.1.3 ひび割れ補修工 4-4
4.2 調達計画 4-5
4.2.1 現地建設業者 4-5
4.2.2 労務 4-5
4.2.3 建設資材 4-5
4.2.4 建設機材 4-6
4.3 工程計画 4-6

5. 概略事業費 5-1
5.1 補修工事の担当実施機関 5-1
5.2 工事数量 5-2
5.3 概略事業費 5-2
5.3.1 フォローアップ協力対象概略事業費 5-2
5.3.2 フォローアップ協力対象外概略事業費 5-2

6. 事業実施計画 6-1
6.1 概要 6-1
6.2 事業実施工程 6-1

7. 維持管理計画 7-1
7.1 現在の点検内容 7-1

7.2　橋脚およびパイルキャップの維持管理計画 7-2
7.2.1　点検方法 7-2
7.2.2　補修方法 7-2

8.　結論と提言 8-2
8.1　結論 8-2
8.2　提言 8-2

［資料］
1. 調査団員・氏名
2. 調査工程
3. 関係者（面会者）リスト
4. 討議議事録（M／D）
5. 協議資料

エジプト・アラブ共和国　Arab Republic of Egypt

調査対象地域 位置図

エジプト・アラブ共和国の基礎データ

■面積　約 100 万 km²（日本の約 2.6 倍）

■人口　7,257 万人（2006 年）

■首都　カイロ

■民族　主にアラブ人（その他、少数のヌビア人、アルメニア人、ギリシャ人等）

■言語　アラビア語

■宗教　イスラム教、キリスト教（コプト教）

■主要産業　農業（GDP の 14.6%）、鉱工業（同 17.5%）
貿易・金融・保険（同 18.4%）
石油（同 12.9%）、運輸（同 10.6%）

■GDP　1,516 億ドル（2008／2009 年度）

■1 人当たり国民所得(GNI per capita)
1,800 米ドル（2007／2008 年度）

■実質 GDP 成長率　4.7%（2008／2009 年度）

■物価上昇率　16.5%（2008／2009 年）

■貿易額（2008／2009 年度）
（1）輸出（FOB）：251 億 6,900 万米ドル
（2）輸入（CIF）：503 億 4,200 万米ドル

■通貨　エジプト・ポンド(LE)とピアストル(PT)
LE1＝100PT

■為替ﾚｰﾄ　1 米ドル＝約 5.51LE（2008／2009 年度）

■日本の援助（2008 年度までの累計）
（1）有償資金協力：5,392 億 5,500 万円
（2）無償資金協力：1,447 億 9,300 万円
（3）技術協力：572 億 6,500 万円
（JICA 実績ベース）

出典）外務省「各国・地域情勢」

図リスト

ページ

図 1.2.1　調査日程 1-2
図 2.2.1　スエズ運河と地下水位の関係 2-10
図 2.2.2　埋め戻し砂に含まれる塩化物イオン濃度（%） 2-11
図 2.2.3　埋め戻し砂・骨材に含まれる塩化物イオン濃度（%） 2-12
図 2.2.4　埋め戻し砂・骨材に含まれる硫化物イオン濃度（%） 2-12
図 2.2.5　調査期間中の気温・湿度 2-12
図 2.3.1　SEM 画像（70 倍） 2-13
図 2.3.2　実態顕微鏡による観察 2-13
図 2.3.3　試料の一例（試料①） 2-15
図 3.1.1　西側ローカル工区コアの一例図（PW1SS0.5） 3-1
図 3.1.2　西側日本工区コアの一例（PW39CS0.5） 3-1
図 3.1.3　東側日本工区コアの一例（PE32SS0.5） 3-2
図 3.1.4　東ローカル工区コアの一例（PE6SS0.5） 3-2
図 3.1.5　単位容積質量（各橋脚の平均） 3-2
図 3.1.6　圧縮強度と静弾性係数の関係 3-3
図3.1.7　中性化深さの測定結果 3-5
図 3.1.8　中性化速度から求めた供用年数と中性化深さの関係..... 3-6
図 3.1.9　パイルキャップひび割れ部の中性化深さの測定結果の一例..... 3-6
図 3.1.10　中性化速度係数の算出結果 3-7
図 3.1.11　塩化物イオン量の測定結果の一例..... 3-8
図3.1.12　塩化物イオン量の測定結果 3-9
図 3.1.13　各かぶり深さで塩化物イオン濃度が 1.2 kg/m3 となる供用年数..... 3-11
図 3.1.14　粉末 X 線回折の試験結果 3-11
図 3.1.15　EPMA 試験結果（Cl のスケールを変化させて観察） 3-12
図 3.1.16　細部の EPMA 試験観察の結果 3-12
図 3.3.1　鉄筋かぶり深さ（PE32SS） 3-22
図 3.3.2　各オプションにおける表面被覆工対象橋脚柱..... 3-24
図3.3.3　補修対象箇所図（オプション 1、供用後 20 年） 3-28
図3.3.4　補修対象箇所図（オプション 2、供用後 50 年） 3-29
図3.3.5　補修対象箇所図（オプション 3、供用後 100 年） 3-30
図3.3.6　補修対象箇所図（オプション 4、すべてのかぶり厚不足箇所） 3-31
図 3.4.1　断面修復工 3-32
図 3.4.2　表面被覆工 3-33
図 3.4.3　ひび割れ補修工 3-33
図 4.3.1　補修工事工程表 4-6

表リスト

ページ

表 1.2.1　調査項目 1-3
表 2.1.1　橋脚柱 2-1
表 2.1.2　パイルキャップ 2-1
表 2.1.3　橋脚柱 2-3
表 2.1.4　パイルキャップ 2-4
表 2.1.5　橋脚柱 2-5
表 2.1.6　橋脚柱 2-5
表 2.1.7　パイルキャップ 2-6
表 2.1.8　橋脚柱 2-6
表 2.1.9　パイルキャップ 2-7
表 2.1.10　橋脚柱 2-7
表 2.1.11　パイルキャップ 2-7
表 2.1.12　橋脚柱 2-8
表 2.1.13　パイルキャップ 2-8
表 2.1.14　橋脚柱 2-8
表 2.1.15　パイルキャップ 2-9
表 2.1.16　橋脚柱 2-9
表 2.1.17　パイルキャップ 2-9
表 2.2.1　地下水位の深さ 2-10
表 2.2.2　地下水の硫化物・塩化物イオン濃度..... 2-11
表 2.3.1　SEM 画像の分析結果..... 2-14
表 2.3.2　粗骨材の塩化物イオン濃度分析結果..... 2-14
表 3.1.1　含水率の測定結果 3-2
表 3.1.2　見かけの拡散係数の算定結果 3-10
表 3.1.3　コンクリートの元素分析結果 3-13
表 3.2.1　健全度毎の対策方針の考え方 3-15
表 3.2.2　鋼材腐食の観点からのひび割れの部材性能への影響..... 3-16
表 3.3.1　評価に基づく判定表（鋼材腐食に対する耐久性の観点）..... 3-18
表 4.2.1　建設業者カテゴリーの条件 4-5
表 5.1.1　補修工事担当実施期間 5-1
表 5.2.1　工事数量 5-2
表 5.3.1　概略事業費（フォローアップ協力対象）..... 5-2
表 5.3.2　概略事業費（フォローアップ協力対象外）..... 5-3
表 6.2.1　事業実施工程表 6-1
表 7.1.1　メイン部分（鋼） 7-1
表 7.1.2　アプローチ部分（コンクリート）..... 7-2
表 7.2.1　橋脚およびパイルキャップの点検方法..... 7-2

表 7.2.2　遊離石灰・漏水損傷程度の評価 7-3
表 7.2.3　うき損傷程度の評価 7-4
表 7.2.4　ひび割れ損傷程度の評価 7-4
表 7.2.5　最大ひび割れ幅に着目した程度 7-5
表 7.2.6　最小ひび割れ間隔に着目した程度..... 7-5

写真リスト

ページ

写真 2.1.1 柱(PW40SE)地表面の表面「うき」..... 2-2
写真 2.1.2 柱(PE35NS)角部の表面「うき」 2-3
写真 2.1.3 東岸パイルキャップ上面（掘削調査）..... 2-4
写真 2.1.4 パイルキャップのひび割れ（上面、側面）..... 2-4

略　　語

EPMA	Electron Probe Micro Analyzer 電子線マイクロ分析法
GARBLT	General Authority for Roads, Bridge and Land Transport 運輸省道路橋梁庁
JICA	Japan International Cooperation Agency 独立行政法人国際協力機構
JIS	Japan Industrial Standards Committee 日本工業標準調査会
PE	Pier in East Side 東側橋脚
PW	Pier in West Side 西側橋脚

1. 調査結果総括

1.1 調査目的

調査対象橋梁であるスエズ運河架橋は、エジプト国（以下「エ」国）とわが国両国間の協働事業により建設されたスエズ運河を横断する長大橋であり（日本側は無償資金協力（135 億円））、当該地域の道路交通上で重要な役割を担っている。

スエズ運河架橋は 2001 年 9 月に引き渡されているが、2010 年 3 月に入り、先方実施機関（General Authority for Roads, Bridge and Land Transport）（以下、GARBLT とする）より大使館に対して、“スエズ運河架橋の日本施工箇所が損傷している”との連絡があった。

同月、施工業者が初期の調査を実施し、シナイ半島側（東側）の橋脚の、地面近くにおいて、複数の橋脚においてコンクリートのクラック（亀裂）が確認されている。クラック発生箇所ではコンクリート内部の鉄筋に錆も認められた。

この連絡を受けて、JICA はスエズ運河架橋の橋脚コンクリートの損傷状況を調査し、その影響範囲を推定するとともに、今後必要な調査・分析、及び対策について、「エ」国側関係者と検討することを目的とした事後現状調査を 2010 年 4 月 16 日（金）から 13 日間にわたり実施した。調査の結果、調査団より以下の提言が得られた。

- 西工区（スエズ運河の西側橋脚コンクリート）と東工区にて、損傷に明らかな違いがあり、東工区の損傷の方が程度大。この傾向は日本側及び「エ」国側の施工工区で同じである。
- 日本において詳細な分析（塩分量、中性化程度、圧縮強度等）を実施するためにコアを 17 箇所採取した。
- 打音検査を実施し、コンクリートの浮き、及び初期調査ではつりを行った箇所で鉄筋の錆等を確認した。
- 軍からの入場許可が取れなかったため、はつり検査はできず、鉄筋のかぶり検査も十分にはできなかった。
- 施工中の検査・試験等の関連資料を入手した。
- 東工区への（軍からの）入場許可が取れず、調査に支障をきたした。今後の調査では、確実に許可を入手してから現地調査をするべきである。

また、事後現状調査において採取した 17 本のコンクリートコアの分析業務が 2010 年 6 月から 7 月末にかけて行われ、以下の結果が得られたところである。

- 圧縮強度は 26.9～65.7N/mm^2 の範囲で設計基準強度 24N/mm^2 を全て上回った。
- 静弾性係数は 18.4～47.0N/mm^2 の範囲にあり、一部小さい値もあるが、圧縮強度と静弾性係数の関係には特に問題はないと考えられる。
- 一部中性化の進行が極めて小さいサンプルもあるものの、これらを除くコンクリートコアの中性化深さは 11.0～20.2mm の範囲（平均 16.6mm）にあり、経過年数 10 年のコンクリート（水セメント比 45%）の中性化速度としては 3 倍程度速い進行である。
- 躯体表面から深さ 40mm までの各コアの全塩化物イオン量は、0.62～1.17kg/m^3 の範囲にあり、ほとんどが 1.0kg/m^3 前後と塩化物イオン濃度が高く、腐食発生限界濃度に近い値を示している。これは通常の飛来塩分による劣化とは考えづらく、コンクリート中に潜在的に塩化物イオンが存在していた可能性も考えられる。
- 塩化物イオン濃度と採取位置には相関は認められなかった。いずれにしてもコア深部の塩化物イオン濃度が大きいことから飛来塩分や地下水（土壌）等の外部からの塩化物イオンによる影響は比較的少ないと思われる。

このような状況下、本フォローアップ協力調査は、わが国無償資金協力で整備したスエズ運河架橋の橋脚に発生した損傷について、「エ」国側工区も含めた全橋脚の詳細調査を実施し、劣化原因の推定及び健全度の評価を行い、補修の範囲を決定するとともに、補修計画・維持管理計画を検討し、今後の維持管理方法について先方実施機関に提言することを目的として実施された。

1.2 調査概要

1.2.1 調査日程

本フォローアップ協力調査の調査日程を図 1.2.1 に示す。

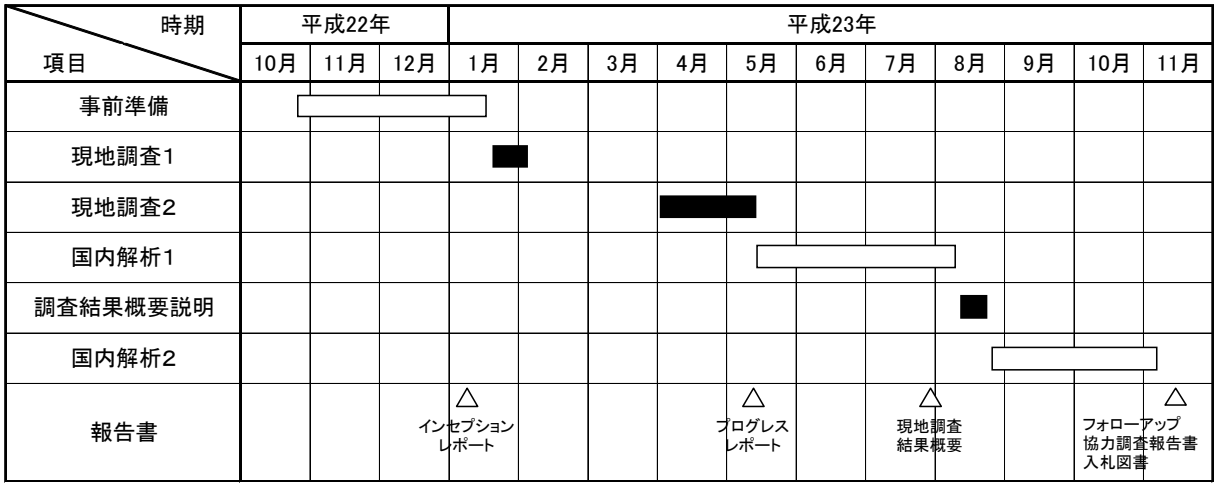


図1.2.1 調査日程

現地調査は、当初、平成 23 年 1 月 22 日から 3 月 7 日の 45 日間を予定していたが、平成 23 年 1 月 28 日、エジプト各地において大規模デモが発生し、調査の続行が困難となったことから、平成 23 年 2 月 4 日に調査を打ち切り、緊急帰国した。

その後、エジプト国内の情勢が比較的安定したことから、平成 23 年 4 月 4 日に現地調査 2 として調査を再開し、5 月 11 日までの 38 日間実施した。

本報告書は、現地調査 1、現地調査 2 における現地調査の結果、および現地調査結果を基に実施した国内解析 1 の結果をとりまとめ、調査結果概要として報告するものである。

1.2.2 調査項目

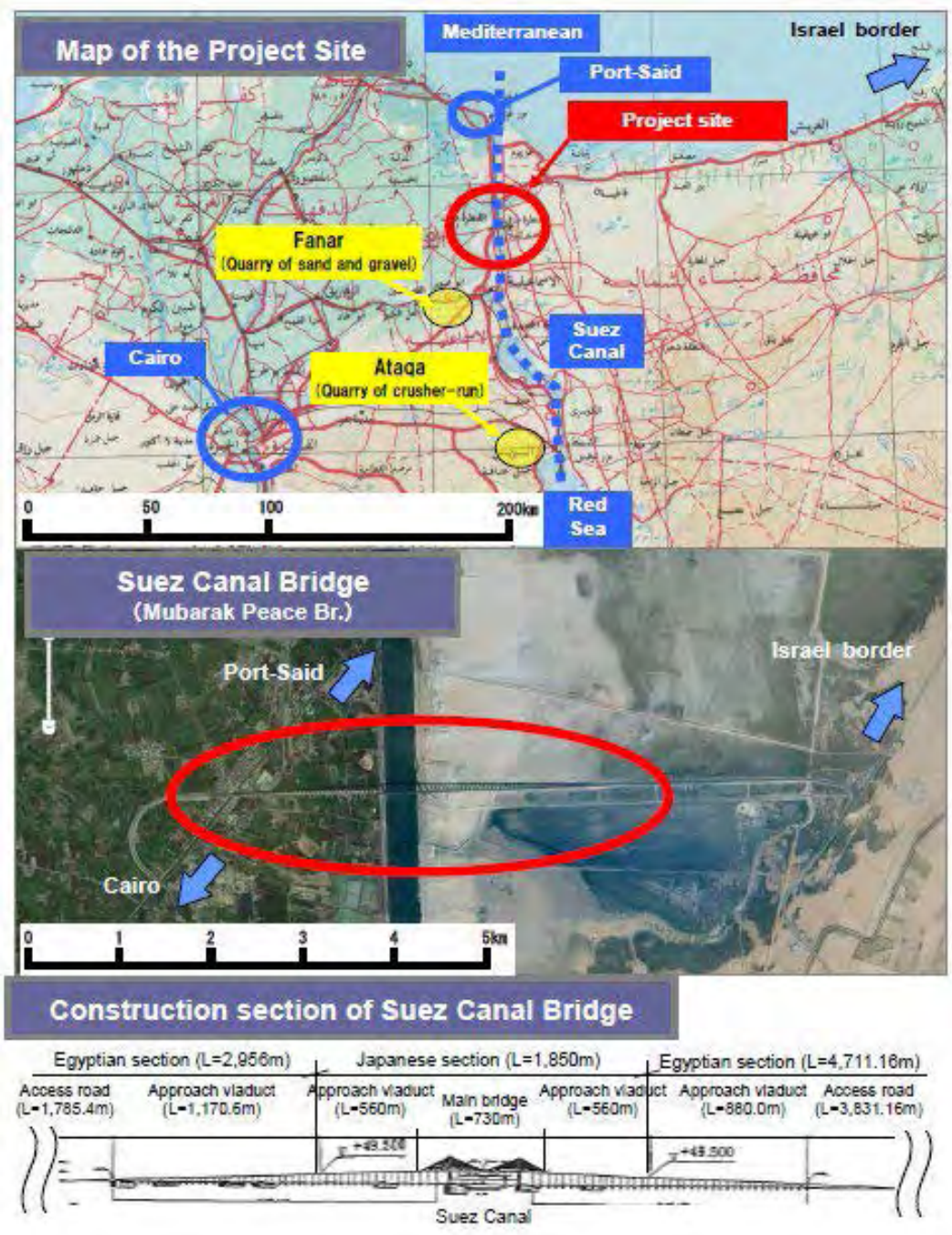
本フォローアップ協力調査における、調査項目を以下に示す。

表1.2.1 調査項目

現地／国内	調査項目
現地調査	1. コンクリート橋脚の健全度に係る詳細調査 ・ 打音調査 ・ ひび割れ調査 ・ 赤外線カメラによる剥離、浮き調査 ・ 電磁波レーダーによるコンクリートかぶり厚調査 ・ はつり調査 ・ ドリル粉塵速法による塩化物イオン濃度測定 ・ 自然電位測定による鉄筋腐食状況調査 2. サイト状況調査 ・ 地下水ボーリング ・ 水質調査 ・ 土壌調査 ・ 気象条件調査 3. コンクリート材料の分析 ・ コンクリート材料分析
国内解析	1. コンクリートコアの観察 ・ コア表面観察 ・ 単位容積質量測定 ・ 含水率測定 2. 圧縮強度、静弾性係数 ・ 圧縮強度試験 ・ 静弾性試験 3. 中性化深さ ・ 中性化深さ測定 ・ 中性化速度係数 4. 塩化物イオン量 ・ 塩化物イオン量測定 ・ 塩化物イオン拡散係数 5. コンクリートの組織構造の診断 ・ 粉末 X 線回折 ・ EPMA ・ 元素分析

1.2.3　調査対象箇所

調査対象箇所を下記に示す。



2. 現地調査

2.1 コンクリート橋脚の詳細調査

2.1.1 打音調査

全コンクリート橋脚および、西側のパイルキャップについて、打音調査おこない、劣化、損傷の位置、範囲を調査した。

(1) 損傷状況

表2.1.1 橋脚柱

	面数 (a)	「うき・剥離」を有する面数（b）	損傷面数 (c)	率	
				b/a	c/a
西岸橋脚柱（ローカル工区）	240	8	0	3%	0%
西岸橋脚柱（日本工区）	136	40	0	29%	0%
東岸橋脚柱（日本工区）	136	16	11	12%	8%
東岸橋脚柱（ローカル工区）	208	5	52	2%	25%

表2.1.2 パイルキャップ

	面数 (a)	「うき・剥離」を有する面数（b）	損傷面数 (c)	率	
				b/a	c/a
西岸パイルキャップ（ローカル工区）	98	22	1	22%	1%
西岸パイルキャップ（日本工区）	68	6	0	0%	0%

(2) 考察

- 損傷面（橋脚柱およびパイルキャップ）は、西側（1 面）より東岸（63 面）に多い。
- 「うき・剥離」が確認される箇所の内、打音検査・はつり調査により、表面の薄い部分のみの「うき」と判断される箇所は、本体の損傷ではなく表面の仕上げ部の損傷であるため、「損傷」として計上しなかった（写真 2.1.1、2.1.2 参照）。
- 損傷の要因は、損傷パターン、塩分量調査、中性化深さ調査の結果から、「塩害」と考えられる。

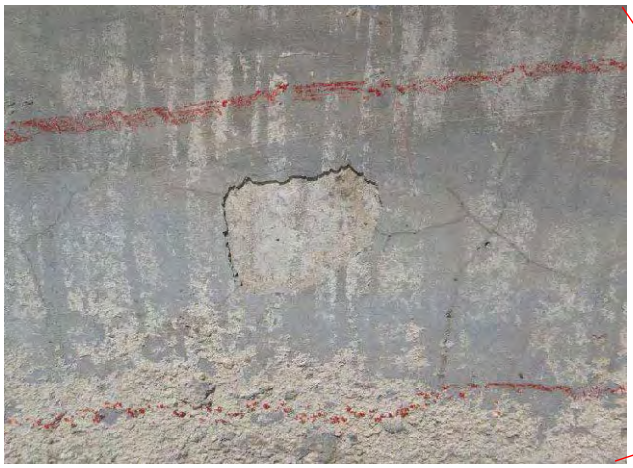
No.	Picture	Comments
1		・ PW40SE ・ 0.2m ・ Center ・ Delamination
2		・ After Chipping
3		・ Thickness 1.5mm

写真2.1.1　柱(PW40SE)地表面の表面「うき」

No.	Picture	Comments
1		・ PE35NS ・ 0.2m ・ Delamination
2		・ After Chipping

写真2.1.2　柱(PE35NS)角部の表面「うき」

2.1.2　ひび割れ調査

全コンクリート橋脚および、西側のパイルキャップについて、近接目視により、地上面付近のひび割れ発生状況を調査した。

(1)　損傷状況

表2.1.3　橋脚柱

	面数 (a)	「ひび割れ」を有する面数 (b)	率 b/a
西岸橋脚柱 (ローカル工区)	240	0	0%
西岸橋脚柱 (日本工区)	136	0	0%
東岸橋脚柱 (日本工区)	136	0	0%
東岸橋脚柱 (ローカル工区)	208	0	0%

表2.1.4　パイルキャップ

	面数 (a)	「ひび割れ」を有する面数 （b）	率 b/a
西岸パイルキャップ （ローカル工区）	128	2	2%
西岸パイルキャップ （日本工区）	85	27	32%

(2)　考察

- 補修の必要な「ひび割れ」の幅は、「コンクリートのひび割れ調査、補修・補強指針-2009-　日本コンクリート工学協会」より 0.35 mm 以上とすることから、補修対象となるひび割れは橋脚・柱にはない。
- 補修を必要とする「ひび割れ」は西岸のパイルキャップのみに確認される。
- 東岸の地中パイルキャップは 3 箇所の掘削調査の結果、ひび割れは確認されていない。

写真2.1.3　東岸パイルキャップ上面（掘削調査）

- 「ひびわれ」のパターン、200 mm 以上の深さから、パイルキャップのひび割れの要因は「温度応力」と考えられる。

写真2.1.4　パイルキャップのひび割れ（上面、側面）

2.1.3　赤外線カメラによるコンクリートの剥離・うき調査

全コンクリート橋脚の地上面（2～10m）について、赤外線カメラにより温度変化（分布）を測定し、測定面の温度差から、コンクリートのうき、剥離の状況を調査した。

(1)　損傷状況

表2.1.5　橋脚柱

	面数	「うき・剥離」が疑われる面数	損傷面数
西岸橋脚柱（ローカル工区）	240	3	0
西岸橋脚柱（日本工区）	136	1	0
東岸橋脚柱（日本工区）	136	8	0
東岸橋脚柱（ローカル工区）	208	6	0

(2)　考察

- 「うき・剥離」が確認される箇所の内、打音検査・はつり調査により、表面の薄い部分のみの「うき」と判断される箇所は、本体の損傷ではなく表面の仕上げ部の損傷であるため、「損傷」として計上しなかった。

2.1.4　コンクリートかぶり厚さ調査

全コンクリート橋脚の地上面（0.5～1.5m）、ならびに西岸のパイルキャップについて、電磁波レーダ（ＲＣレーダ）を用いた、非破壊検査による鉄筋のかぶり厚さを測定した。

なお、かぶり厚調査結果は、かぶり厚不足が比較的小さい箇所として 50～69 ㎜、比較的大きい箇所として 50 ㎜未満に分類した。

(1)　調査結果

表2.1.6　橋脚柱

	面数	かぶり厚が不足する面数		率
		50～69 ㎜	50 ㎜未満	
西岸橋脚柱（ローカル工区）	240	86	22	45%
西岸橋脚柱（日本工区）	136	83	13	71%
東岸橋脚柱（日本工区）	136	44	1	33%
東岸橋脚柱（ローカル工区）	208	83	0	44%

表2.1.7　パイルキャップ

	面数	かぶり厚が不足する面		率
		50～99 mm	50 mm 未満	
西岸パイルキャップ（ローカル工区）	84	72	1	87%
西岸パイルキャップ（日本工区）	63	13	0	21%

(2)　考察

- コンクリートかぶり厚の測定は、柱左側、中央、右側の３ラインで実施した。
- 橋脚柱面の代表値は、中央ラインの平均値とした。
- かぶり厚の薄い PW2(25 mm)、PE17(33 mm)ではつり調査した結果、鉄筋の腐食は確認されなかった。

2.1.5　はつり調査

コンクリート橋脚および、西岸のパイルキャップの内、サンプル箇所においてはつり調査を行い、かぶり厚さ、中性化深さ、鉄筋の発錆状況について目視確認をおこなった。

なお、かぶり厚調査結果は、かぶり厚不足が比較的小さい箇所として 50～69 mm、比較的大きい箇所として 50 mm 未満に分類した。

(1)　コンクリートかぶり厚

1)　調査結果

表2.1.8　橋脚柱

	調査箇所数	かぶり厚が不足する箇所		率
		50～69 mm	50 mm 未満	
西岸橋脚柱（ローカル工区）	7	3	2	71%
西岸橋脚柱（日本工区）	7	2	1	43%
東岸橋脚柱（日本工区）	7	1	1	29%
東岸橋脚柱（ローカル工区）	15	3	1	27%

表2.1.9　パイルキャップ

	調査箇所数	かぶり厚が不足する箇所		率
		50～69 ㎜	50 ㎜未満	
西岸パイルキャップ（ローカル工区）	2	2	0	100%
西岸パイルキャップ（日本工区）	2	2	0	100%

2)　考察

- はつり調査による目視確認箇所は、限られたサンプル箇所における結果であるため、かぶり厚の評価は電磁波レーダ（ＲＣレーダ）を用いた、非破壊検査による鉄筋のかぶり厚さによるものとする。
- かぶり厚が不足するはつり箇所においても、鉄筋の発錆は確認されなかった。

(2)　中性化深さ

1)　調査結果

表2.1.10　橋脚柱

	調査箇所数	中性化平均深さ（㎜）	最大値（㎜）
西岸橋脚柱（ローカル工区）	7	12	15
西岸橋脚柱（日本工区）	7	19	24
東岸橋脚柱（日本工区）	7	18	23
東岸橋脚柱（ローカル工区）	15	14	20

表2.1.11　パイルキャップ

	調査箇所数	中性化平均深さ（㎜）	最大値（㎜）
西岸パイルキャップ（ローカル工区）	2	8	10
西岸パイルキャップ（日本工区）	2	14	16

2)　考察

- 中性化深さは、はつり箇所の４面をフェノールフタレイン法により計測した。
- 日本工区の中性化深さはローカル工区より深い値が計測された。

(3) 鉄筋の発錆状況

1) 調査結果

表2.1.12 橋脚柱

	調査箇所数	発錆箇所	率
西岸橋脚柱（ローカル工区）	7	0	0%
西岸橋脚柱（日本工区）	7	0	0%
東岸橋脚柱（日本工区）	7	0	0%
東岸橋脚柱（ローカル工区）	15	0	0%

表2.1.13 パイルキャップ

	調査箇所数	発錆箇所	率
西岸パイルキャップ（ローカル工区）	2	0	0%
西岸パイルキャップ（日本工区）	2	0	0%

2) 考察

- 鉄筋の発錆状況は、はつり箇所において目視確認をおこなった。
- すべてのはつり箇所において鉄筋の発錆は確認されなかった。

2.1.6 塩化物イオン濃度調査（ドリル粉迅速法）

広範な健全度の分析を行うため、コンクリート橋脚および、西岸のパイルキャップの内、サンプル箇所において、コンクリートコア分析を補完する為の、ドリル粉迅速法による、塩化物イオン濃度の調査をおこなった。

なお、塩化物イオン濃度調査は、1 箇所につき複数の深さで採取した粉末に対して実施し、調査結果は 0～20 ㎜、60～80 ㎜、および 170～200 ㎜ の深さで分類した。

(1) 調査結果

表2.1.14 橋脚柱

	0～20 ㎜ (kg/m^3)	60～80 ㎜ (kg/m^3)	170～200㎜ (kg/m^3)
西岸橋脚柱（ローカル工区）	0.91	0.58	0.47
西岸橋脚柱（日本工区）	1.07	0.86	0.79
東岸橋脚柱（日本工区）	0.95	0.73	0.75
東岸橋脚柱（ローカル工区）	1.61	0.81	0.95

表2.1.15　パイルキャップ

	0～20 mm (kg/m³)	60～80 mm (kg/m³)	170～200 mm (kg/m³)
西岸パイルキャップ（ローカル工区）	－	－	－
西岸パイルキャップ（日本工区）	1.20	0.93	0.82

(2)　考察

- 60 mm より深い位置での塩化物イオン濃度は 1.0 kg/m³ 以下であった。
- 西岸に比べ、東岸の塩化物イオン濃度が高い傾向にある。
- 塩化物イオン濃度の評価は、本結果に加え、サンプルコアの分析結果と共に評価を行う。

2.1.7　鉄筋腐食状況調査（自然電位法）

コンクリート橋脚（地上 0～1.5m）および、西岸のパイルキャップの内、サンプル箇所において、自然電位法による、鉄筋腐食状況の調査をおこなった。

(1)　調査結果

表2.1.16　橋脚柱

	面数	電位測定値 (mV)
西岸橋脚柱（ローカル工区）	6	-067
西岸橋脚柱（日本工区）	4	-125
東岸橋脚柱（日本工区）	14	-138
東岸橋脚柱（ローカル工区）	22	-143

表2.1.17　パイルキャップ

	面数	電位測定値 (mV)
西岸パイルキャップ（ローカル工区）	6	-186
西岸パイルキャップ（日本工区）	8	-208

(2) 考察

- 東岸橋脚柱および西岸パイルキャップの自然電位は、地表面に近いほど低い値を示した。
- 地表面付近の最も低い電位測定値は、-420 mV であった。
- はつり調査を行った５箇所では、自然電位が-360 mV～-420 mV を測定したにもかかわらず、鉄筋の発錆は確認されなかった。
- なお、BS7361 によれば、-350 mV 以下であれば、鉄筋の腐食発生可能性は 95%とされている。

2.2 サイト状況調査

2.2.1 地下水ボーリング

(1) 地下水位

地下水ボーリングにより確認された地下水位高さ、運河との水位の関係を示す。

表2.2.1 地下水位の深さ

橋脚番号		地表面から地下水位までの深さ	パイルキャップ下面から地下水位までの深さ	測定日
PW 9	西岸	-1.95 m	-0.15m	2011/04/27
PW 39		-2.10 m	-0.40m	2011/04/27
PE 6	東岸	-5.65 m	0.35m	2011/04/26
PE 32		-4.95 m	-1.45m	2011/04/26

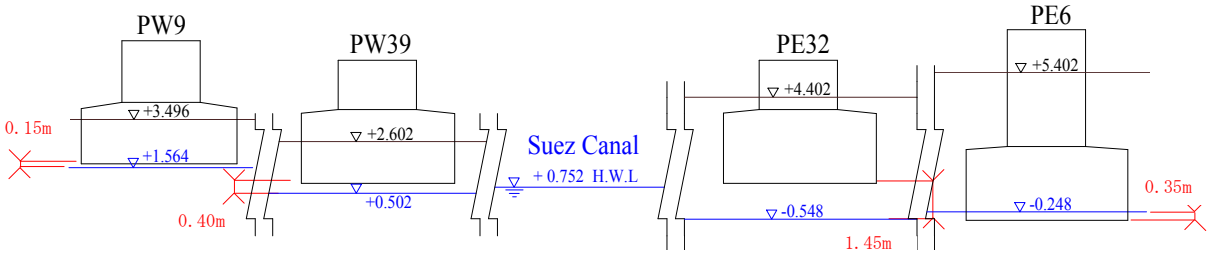


図2.2.1 スエズ運河と地下水位の関係

(2) 考察

- 西側工区では水位が高いが、いずれもパイルキャップ下面より下（-0.15～-0.40m）に位置する
- 東側工区では水位はおおよそパイルキャップ下面より下（-1.45m）に位置するが、一部（PE6）はパイルキャップ下面より上（0.35m）に位置する。

2.2.2 水質調査

(1) 水質調査

地下水表面付近と-5m 以深の地下水質の調査結果を下表に示す。

表2.2.2 地下水の硫化物・塩化物イオン濃度

No.	採取位置	地表面からの採取深さ(m)	SO_3 (ppm)	Cl (ppm)
1	PW 9	-1.95	420	1,170
2	PW 9	-6.95	532	1,697
3	PW 39	-2.1	545	1,287
4	PW 39	-7.1	703	1,170
5	PE 32	-4.95	1,655	22,815
6	PE 32	-9.95	1,204	8,483
7	PE 6	-5.65	1,060	7,020
8	PE 6	-10.65	1,362	9,653

1ppm = 0.0001 %

(2) 考察

- 西岸の地下水は塩化物イオン濃度が低く、比較的薄い汽水（Cl：0.05%～3.5%）に属する
- 東岸 PE32 の地下水表面付近のみ高い塩分濃度を示すが一般的な海水よりも低い

2.2.3 土壌調査

(1) 土壌調査

東西両岸橋脚の南北位置で採取した埋め戻し砂の塩化物イオン濃度分布を図 2.2.2 に示す。

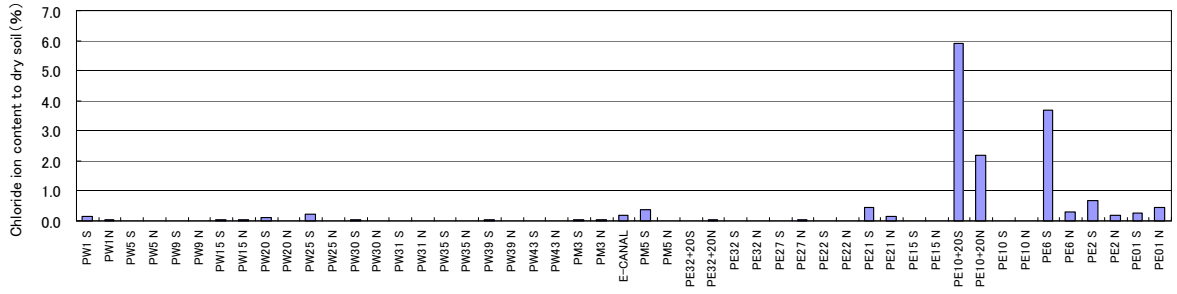


図2.2.2 埋め戻し砂に含まれる塩化物イオン濃度（%）

また、上記埋め戻し砂の室内試験結果（現地再委託にて実施）と採石場にて採取した骨材（粗骨材・細骨材）の試験結果を以下に示す。

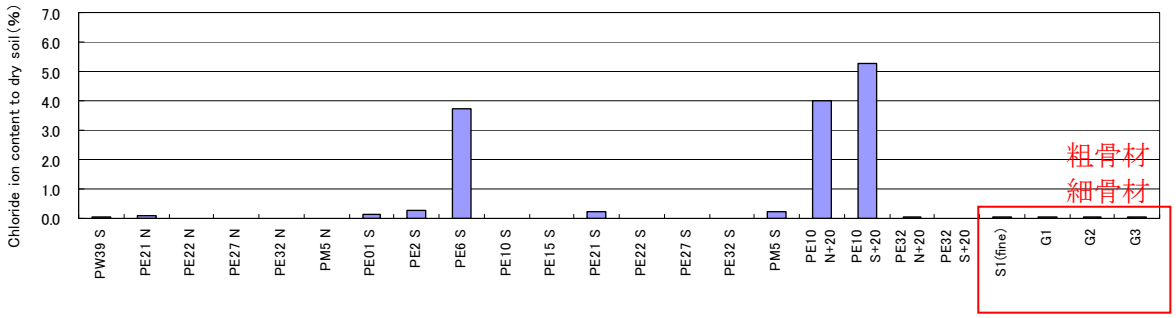


図2.2.3　埋め戻し砂・骨材に含まれる塩化物イオン濃度（%）

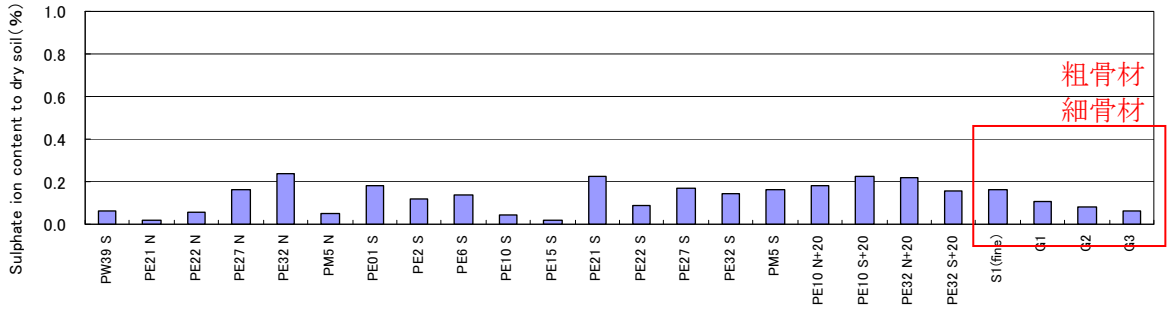


図2.2.4　埋め戻し砂・骨材に含まれる硫化物イオン濃度（%）

(2)　考察

- 東岸架橋位置から南北に離れた箇所（約 20m）には高い塩分濃度を示す箇所があり元々塩湖であったと思われる
- 東岸で一部において塩分濃度の高い箇所が見受けられるが、西岸は全体的に低い
- 骨材に含まれている塩化物イオン濃度は BS 基準内の結果であり、極端に高い値を示すものはない

2.2.4　気象条件調査

(1)　気温・湿度測定

調査期間中（2010 年 4 月 10 日～5 月 4 日）に測定した気温・湿度の結果を下図に示す。

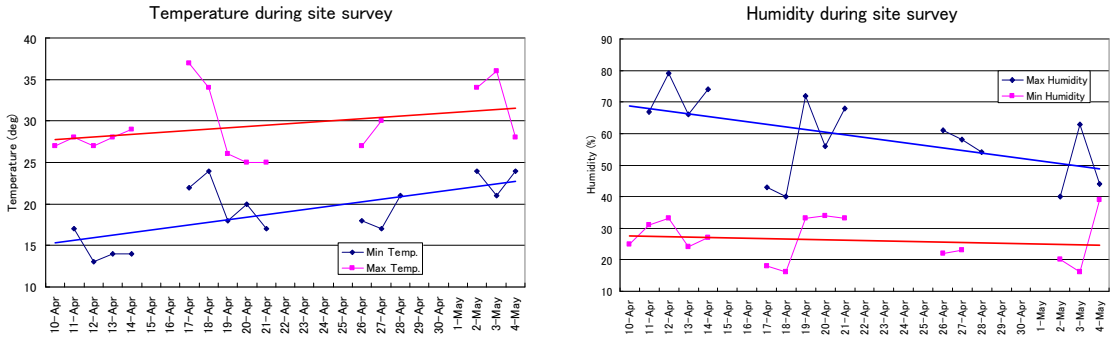


図2.2.5　調査期間中の気温・湿度

(2)　考察

- 降雨はほとんどなく、日照による気温変動が大きい
- 気温は 30 度前後と高く、湿度は日中で 20%以下となる日も有り、非常に乾燥している気象条件である
- 調査時期において、早朝と日中の気温差（日較差）は平均で 11 度、湿度は平均で 33%ほど変動している

2.3　コンクリート材料の分析

2.3.1　採石場の砂の分析

(1)　対象試料

現地採石場で採取した細骨材

(2)　分析方法および試験結果

走査型電子顕微鏡（SEM）にて観察し、視野中の細骨材粒の化学組成をエネルギー分散型Ｘ線分析(EDX)にて分析した。

その結果、高濃度の塩化物（Cl）を含有する粒子が確認された。

また、実態顕微鏡による観察で岩塩の存在が確認された。これにより、細骨材とともに存在する岩塩が建設中の水洗いで溶け出さずに残り、内在塩の供給源となった可能性も考えられる。

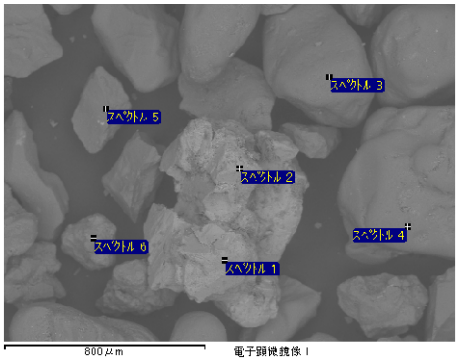


図2.3.1　SEM 画像（70 倍）

図2.3.2　実態顕微鏡による観察

表2.3.1　SEM 画像の分析結果

ｽﾍﾟｸﾄﾙ	C	Na	Mg	Al	Si	Cl	K	Ca	Fe	O	ﾄｰﾀﾙ
ｽﾍﾟｸﾄﾙ 1		*12.60*		*0.71*	*6.48*	*67.82*				*12.39*	*100.00*
ｽﾍﾟｸﾄﾙ 2	*9.23*	*8.05*		*0.45*	*4.22*	*44.67*		*0.54*		*32.83*	*100.00*
ｽﾍﾟｸﾄﾙ 3	3.27				41.15					55.58	100.00
ｽﾍﾟｸﾄﾙ 4	6.64			1.04	34.46					57.86	100.00
ｽﾍﾟｸﾄﾙ 5	11.82	1.94	0.69	5.12	16.07	2.13	0.28	2.95	1.77	57.22	100.00
ｽﾍﾟｸﾄﾙ 6	7.76	0.90	0.57	3.08	19.44	0.97		9.08	1.59	56.61	100.00
最大値	11.82	12.60	0.69	5.12	41.15	67.82	0.28	8.40	1.77	57.86	
最小値	3.27	0.83	0.53	0.45	4.22	0.90	0.28	0.54	1.47	12.39	

2.3.2　粗骨材の塩化物イオン濃度

(1)　対象試料

コンクリートコアから採取した粗骨材　11 試料

(2)　分析方法および分析結果

JIS A 1154（硬化コンクリート中に含まれる塩化物イオンの試験方法）の 9.［塩化物イオン電極を用いた電位差滴定法］に従い試料中に含まれる塩分の定量分析を実施した。

その結果、粗骨材の塩化物イオン量は、0.015～0.064 wt%の範囲にあり、平均 0.035 wt%であった。

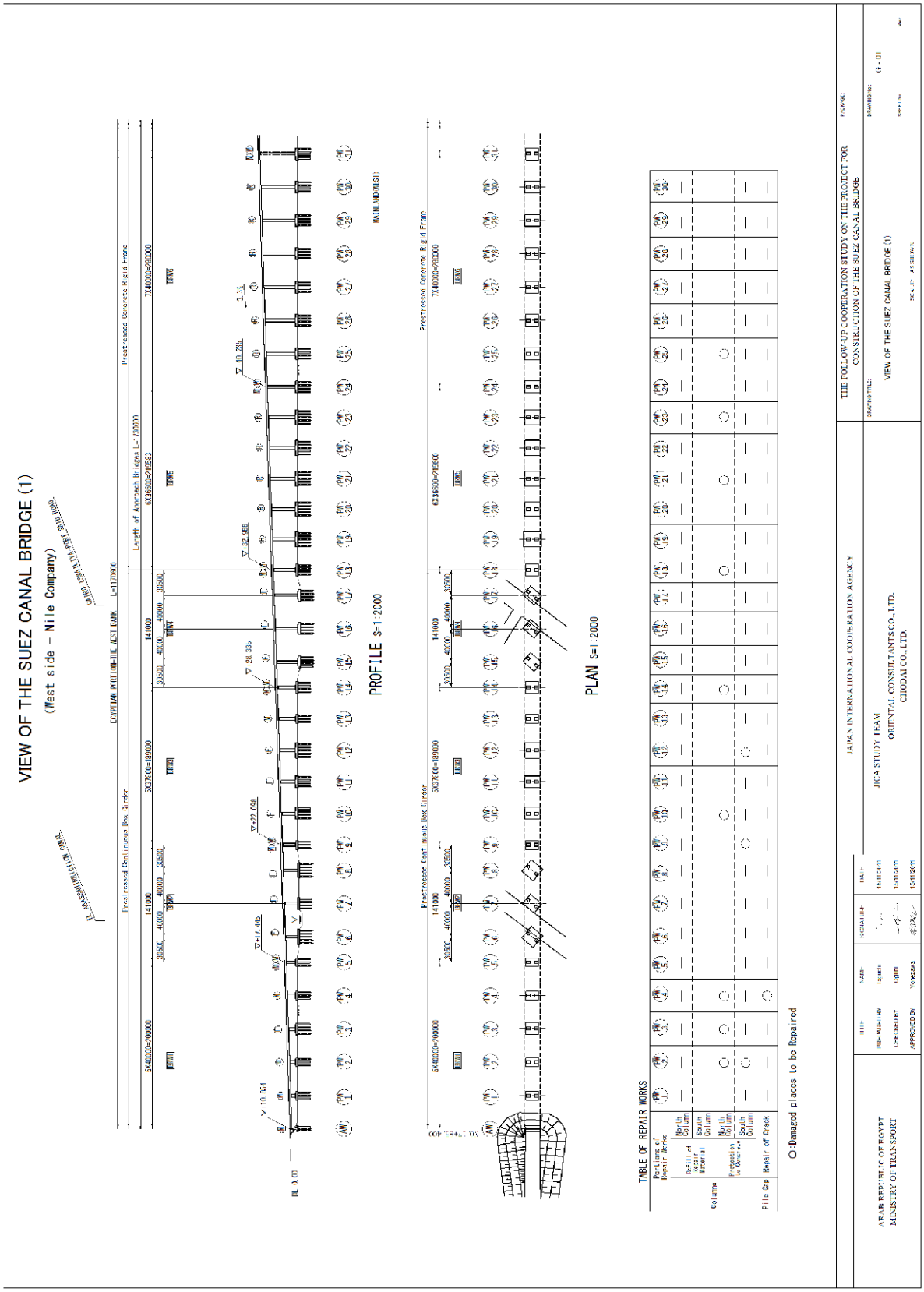
表2.3.2　粗骨材の塩化物イオン濃度分析結果

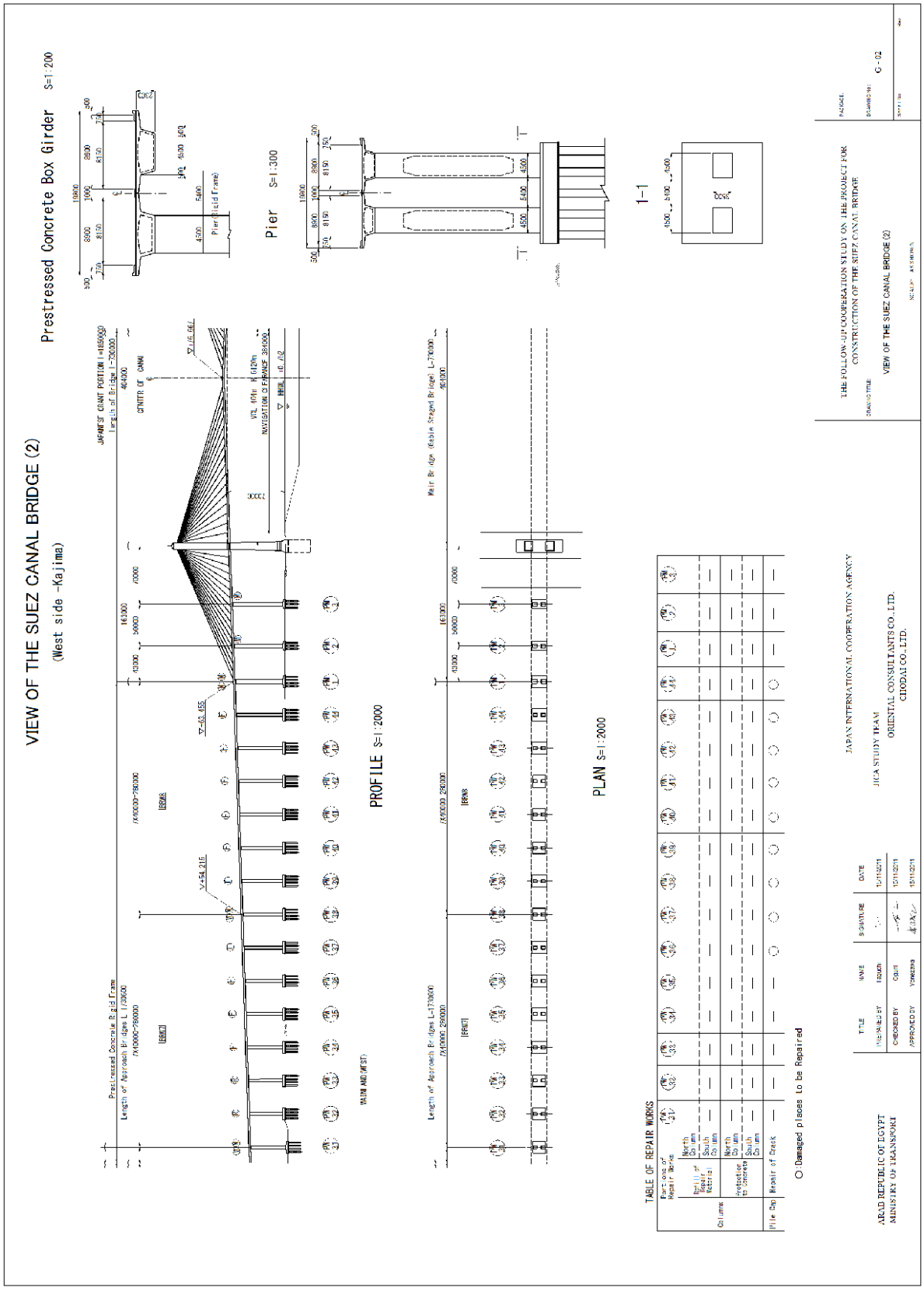
試料名	Cl^-　wt%
①	0.034
②	0.040
③	0.032
④	0.015
⑤	0.024
⑥	0.028
⑦	0.047
⑧	0.016
⑨	0.027
⑩	0.053
⑪	0.064

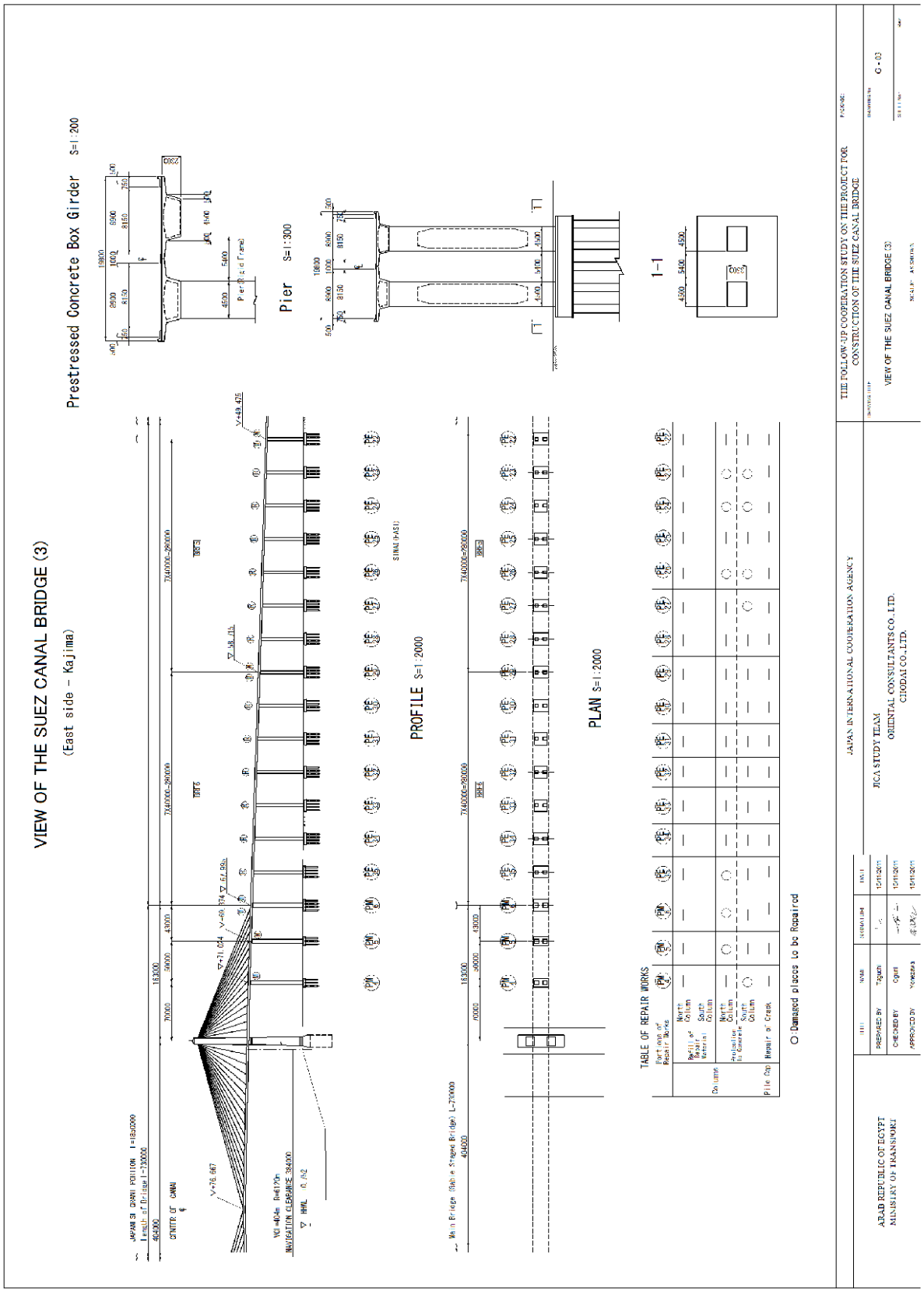
図2.3.3　試料の一例（試料①）

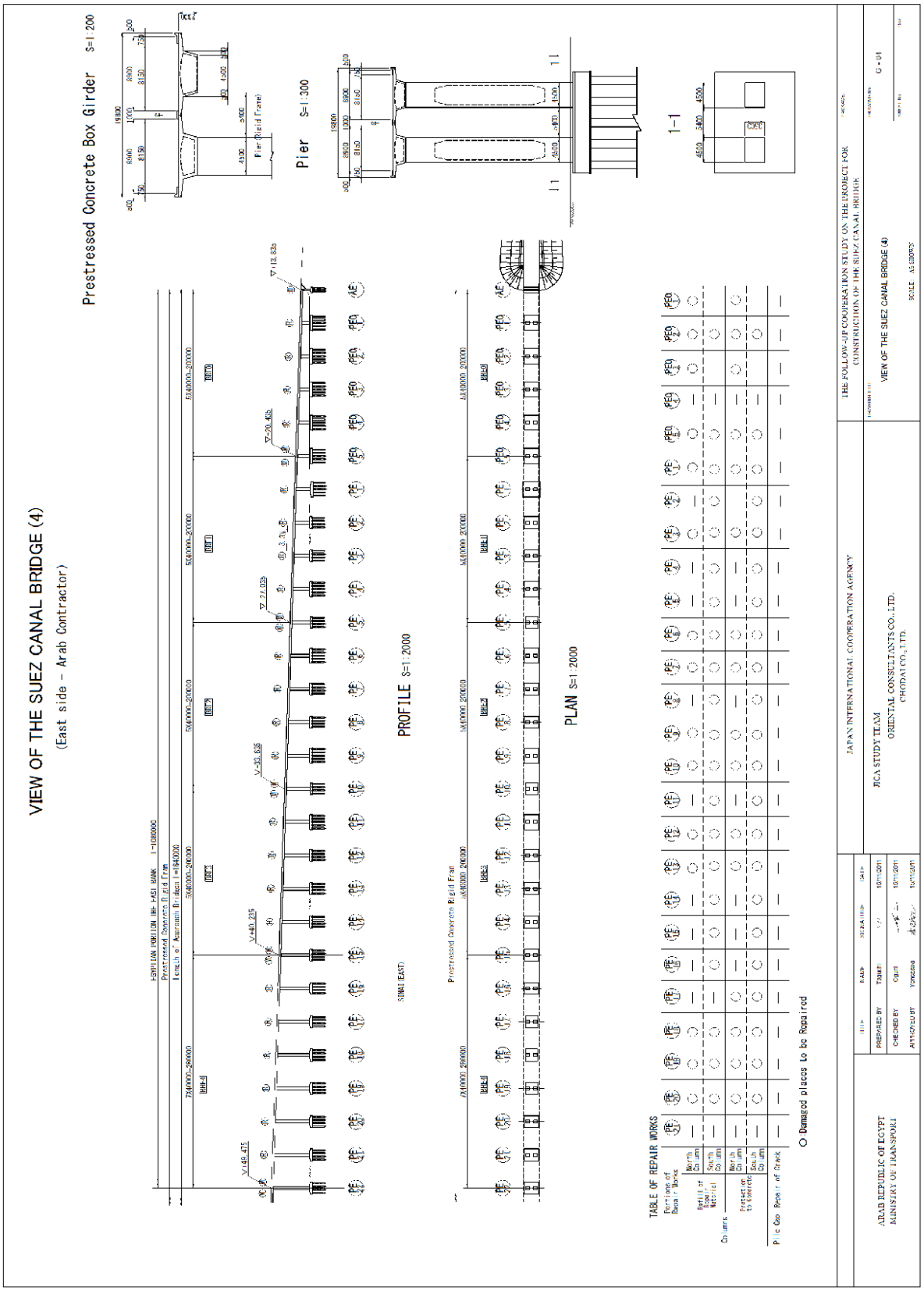
2.4　　形状調査・一般図作成

竣工図より形状寸法を確認した。また現地橋脚寸法を実測し、同じ値であることを確認し、補修検討・補修詳細設計のための資料として、一般図を作成した。


VIEW OF THE SUEZ CANAL BRIDGE (1)
(West side - Nile Company)
PROFILE S=1:2000
PLAN S=1:2000
TABLE OF REPAIR WORKS
O:Damaged places to be Repaired
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY
JICA STUDY TEAM
ORIENTAL CONSULTANTS CO.,LTD.
CHODAI CO.,LTD.
THE FOLLOW-UP COOPERATION STUDY ON THE PROJECT FOR CONSTRUCTION OF THE SUEZ CANAL BRIDGE
VIEW OF THE SUEZ CANAL BRIDGE (1)
G - 01
ARAB REPUBLIC OF EGYPT
MINISTRY OF TRANSPORT


VIEW OF THE SUEZ CANAL BRIDGE (2)
(West side -Kajima)
Prestressed Concrete Box Girder S=1:200
Pier S=1:300
1-1
PROFILE S=1:2000
PLAN S=1:2000
TABLE OF REPAIR WORKS
O Damaged places to be Repaired
THE FOLLOW-UP COOPERATION STUDY ON THE PROJECT FOR CONSTRUCTION OF THE SUEZ CANAL BRIDGE
VIEW OF THE SUEZ CANAL BRIDGE (2)
G - 02
ARAB REPUBLIC OF EGYPT
MINISTRY OF TRANSPORT
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY
JICA STUDY TEAM
ORIENTAL CONSULTANTS CO., LTD.
CHODAI CO., LTD.


VIEW OF THE SUEZ CANAL BRIDGE (3)
(East side – Kajima)
Prestressed Concrete Box Girder S=1:200
Pier S=1:300
1–1
PROFILE S=1:2000
PLAN S=1:2000
TABLE OF REPAIR WORKS
○ Damaged places to be Repaired
THE FOLLOW-UP COOPERATION STUDY ON THE PROJECT FOR CONSTRUCTION OF THE SUEZ CANAL BRIDGE
VIEW OF THE SUEZ CANAL BRIDGE (3)
G - 03
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY
JICA STUDY TEAM
ORIENTAL CONSULTANTS CO., LTD.
CHODAI CO., LTD.
ARAB REPUBLIC OF EGYPT
MINISTRY OF TRANSPORT


VIEW OF THE SUEZ CANAL BRIDGE (4)
(East side - Arab Contractor)
Prestressed Concrete Box Girder S=1:200
Pier S=1:300
PROFILE S=1:2000
PLAN S=1:2000
1-1
TABLE OF REPAIR WORKS
O Damaged places to be Repaired
ARAB REPUBLIC OF EGYPT
MINISTRY OF TRANSPORT
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY
JICA STUDY TEAM
ORIENTAL CONSULTANTS CO., LTD.
CHODAI CO., LTD.
THE FOLLOW-UP COOPERATION STUDY ON THE PROJECT FOR CONSTRUCTION OF THE SUEZ CANAL BRIDGE
VIEW OF THE SUEZ CANAL BRIDGE (4)
G - 04

3. 国内解析

3.1 コンクリートコア分析

現地で総数 32 本のコンクリートコアを採取し、以下に示すような分析を実施した。

3.1.1 コンクリートコアの観察

物理・化学的な分析に先立ち、コンクリートコアの表面観察を行い、単位容積質量および含水率の測定を行った。

(1) コア表面観察

コンクリートコア側面を 120 度毎に回転して 3 側面の写真観察を行った。

その結果、すべてのコンクリートコアにおいて、骨材周辺にゲルの析出、骨材の膨張、異常なひび割れなどは認められなかった。また、日本工区のコンクリートコアは、ローカル工区のコンクリートコアに比べ、3～5 mm 程度の空隙が多く認められた。

図3.1.1 西側ローカル工区コアの一例図（PW1SS0.5）

図3.1.2 西側日本工区コアの一例（PW39CS0.5）

図3.1.3　東側日本工区コアの一例（PE32SS0.5）

図3.1.4　東ローカル工区コアの一例（PE6SS0.5）

(2)　単位容積質量

JIS A 1107 に準拠して、コンクリートコアの単位容積質量を測定した。

その結果、橋脚の単位容積質量の平均値は、西側ローカル工区 2,380 kg/m^3、西側日本工区 2,410 kg/m^3、東側日本工区 2,350 kg/m^3、東側ローカル工区 2,330 kg/m^3 であった。各工区の単位容積質量に大きな相違はなく、また日本国内の一般的コンクリートと比較しても通常の範囲にあった。

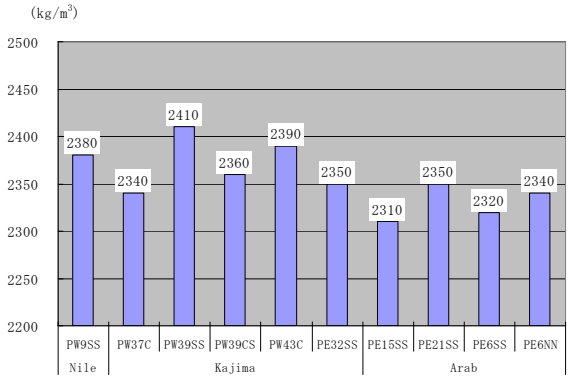


図3.1.5　単位容積質量（各橋脚の平均）

(3)　含水率

PE32SS20 のコンクリートコアの含水率を測定した。

含水率は 2.87%と国内環境のコンクリートの 5～6 割程度であった。また、相対含水率は 40%となり、既往の研究から十分な耐食性を有する範囲にある。

表3.1.1　含水率の測定結果

乾燥前質量(g) W1	7日間105℃乾燥後質量(g) W2	7日間水中浸積後質量(g) W3	搬入時含水率（wt-%） (W1-W2)/W2*100	飽水時含水率（wt-%） (W3-W2)/W2*100	相対含水率（wt-%） (W2-W1)/(W3-W2)*100
382.00	370.55	398.82	2.87	7.09	40.50

7日間水中浸漬後質量は真空吸引処理後に測定

3.1.2　圧縮強度と静弾性係数の関係（2010 年調査より）

(1)　圧縮強度

圧縮強度試験は、JIS A 1107 に準拠して実施した。

圧縮強度は 26.9～65.7 N/mm^2 の範囲にあり、設計基準強度 24.0 N/mm^2 をすべて上回った。

(2)　静弾性係数

静弾性試験は、JIS A 1149 に準拠して実施した。ひずみゲージの長さは、コア直径 45 mm を 30 mm、コア直径 75 mm に対しては 60 mm とし、ひずみの測定を行った。

静弾性係数は 18.4～47.0 N/mm^2 の範囲にあり、一部小さい値もあるが、圧縮強度と静弾性係数の関係に問題はないものと考えられる。

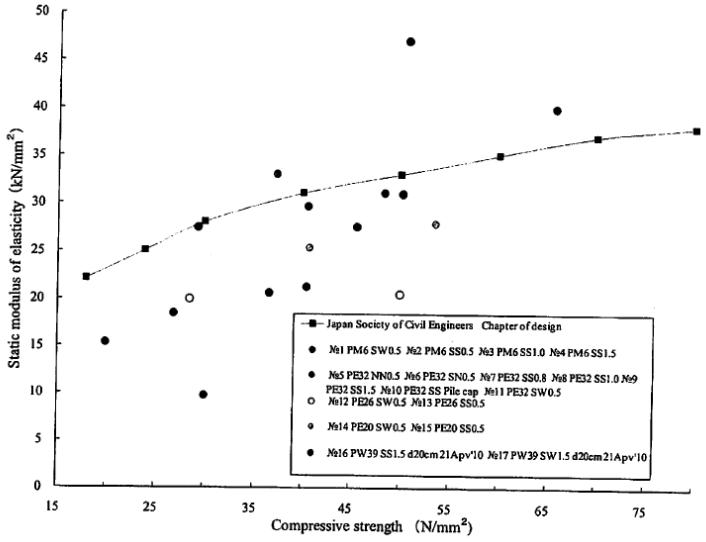


図3.1.6　圧縮強度と静弾性係数の関係

3.1.3　中性化深さ

(1)　中性化深さの測定結果

コンクリートコアの中性化深さの測定は、JIS A 1152 に準拠して実施した。

中性化深さの平均値は西側ローカル工区 15 mm、西側日本工区 17 mm、東側日本工区 21 mm、東側ローカル工区 13 mm であった。現地はつり調査の試験結果と同様に、日本工区の中性化深さが他の工区に比べ大きい。また、橋脚の高さ方向や東西南北面で比較しても、現地はつり調査結果と同様にこれらの違いは認められなかった。また、西側工区パイルキャップひび割れ部の中性化深さは、最大 40 mm 程度であった。

中性化深さの予測値を、以下の式により求めた。

$C=b\sqrt{t}$

ここで、 C：中性化深さ（mm）
b：中性化速度係数(mm/√年)
t：供用年数：年

供用年数と中性化深さの関係を、図 3.1.8 に示す。

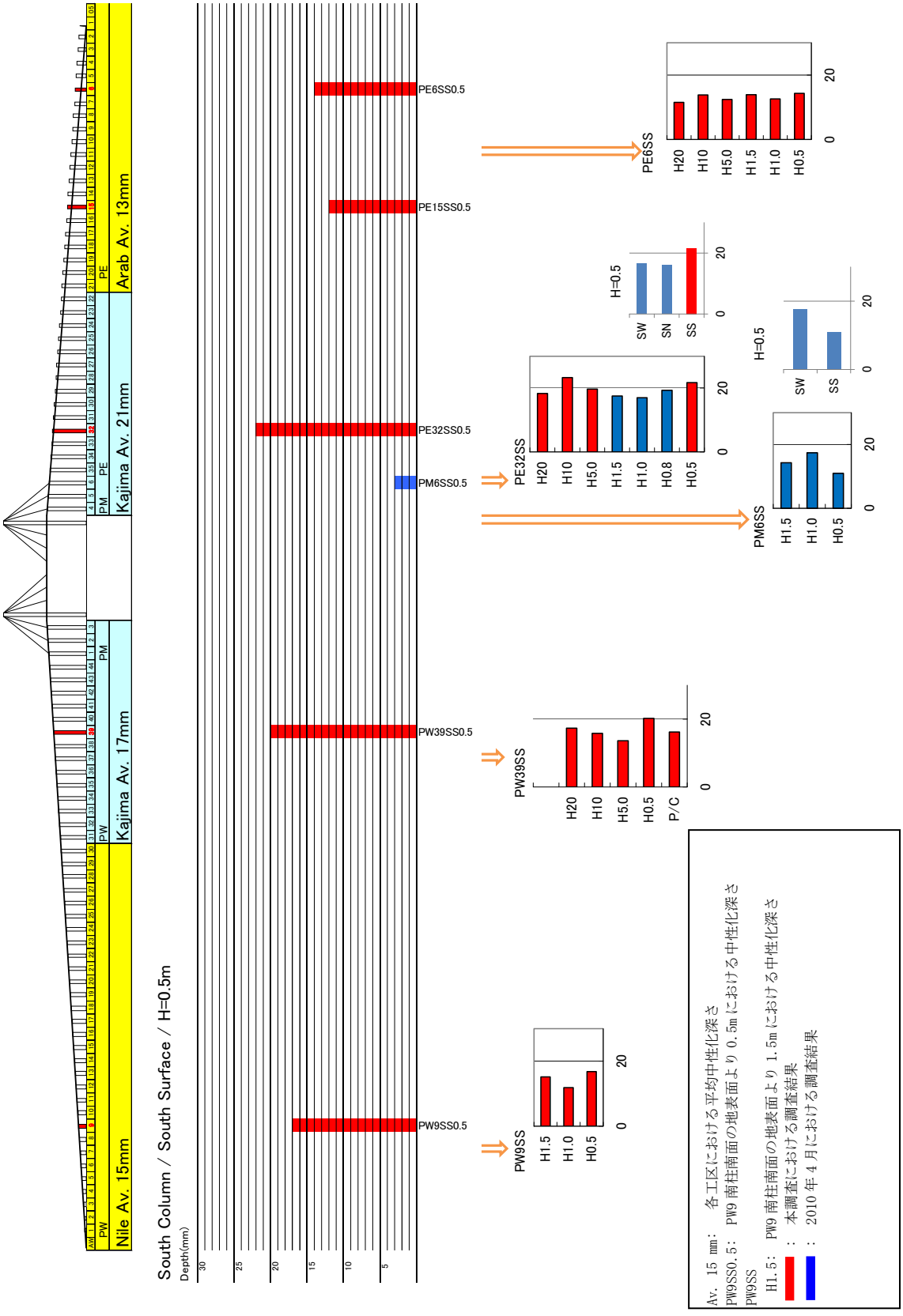
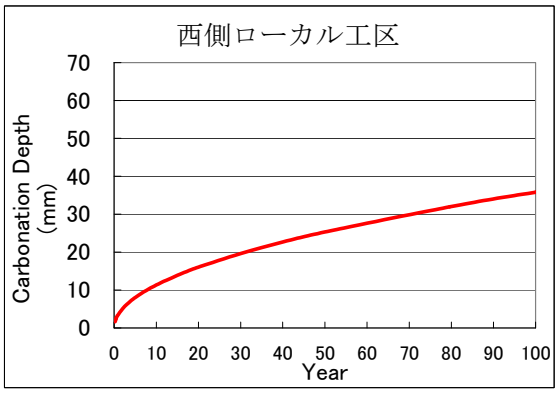
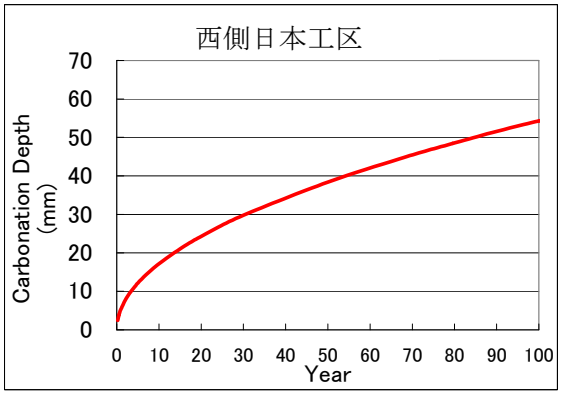


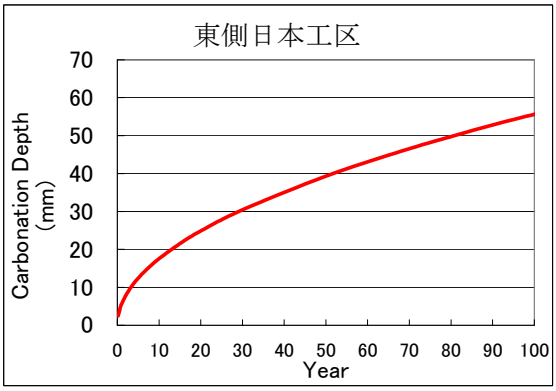
図3.1.7 中性化深さの測定結果



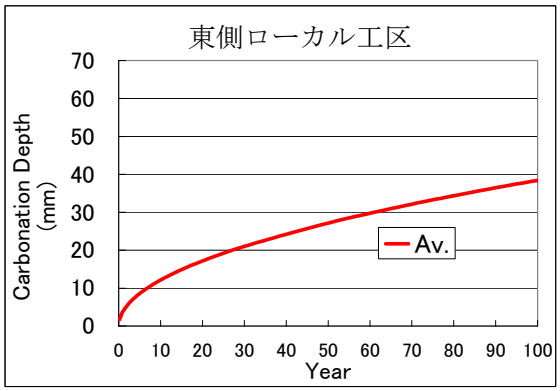
	中性化深さ	中性化深さ+15mm
10年後	16 mm	31 mm
40年後	25.3 mm	40.3 mm
90年後	35.8 mm	50.8 mm



	中性化深さ	中性化深さ+15mm
10年後	24.3 mm	39.3 mm
40年後	38.4 mm	53.4 mm
90年後	54.3 mm	69.3 mm



	中性化深さ	中性化深さ+15mm
10年後	24.9 mm	39.9 mm
40年後	39.3 mm	54.3 mm
90年後	55.6 mm	70.6 mm



	中性化深さ	中性化深さ+15mm
10年後	17.2 mm	32.2 mm
40年後	27.2 mm	42.2 mm
90年後	38.4 mm	53.4 mm

図3.1.8　中性化速度から求めた供用年数と中性化深さの関係

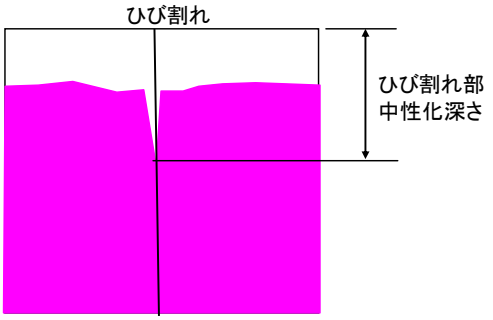


図3.1.9　パイルキャップひび割れ部の中性化深さの測定結果の一例

（最大値 PW43CNo.2　40.4mm）

(2)　中性化速度係数

中性化速度係数の平均値は、土木学会標準示方書の約 10 倍、岸谷式の約 3 倍と日本国内での値と比較して大きい。

工区毎に比較すると、東側日本工区の中性化速度係数は、東側ローカル工区の 2 倍程度と大きい。

また、かぶり 55 mm[1]に中性化が到達する供用期間を中性化速度係数から予測すると、67～334 年の範囲にある。

	試料名	平均中性化深さ(mm)	最大中性化深さ(mm)	中性化速度係数 b 1) (mm/√年)
西Nile工区	PW9SS 0.5	16.8	19.5	4.63
	PW9SS 1.0	11.9	15.4	3.28
	PW9SS 1.5	15.2	19.2	4.18
西Kajima工区	PW39SS 0.5	20.2	23.3	6.11
	PW39SS 5.0	13.6	17.4	4.12
	PW39SS 10.0	15.8	19.8	4.79
	PW39SS 20.0	17.3	22.3	5.23
	PW39CS 0.5	16.2	19.8	4.89
東Kajima工区	PE32SS 0.5	21.7	26.8	6.25
	PE32SS 5.0	19.7	25.9	5.70
	PE32SS 10.0	23.3	26.3	6.72 Max
	PE32SS 20.0	18.3	21.1	5.28
東Arab工区	PE21SS 0.5 ※	3.0	6.0	0.88 ※
	PE15SS 0.5	11.6	15.3	3.38
	PE6SS 0.5	14.3	15.9	4.04
	PE6SS 1.0	12.6	16.0	3.56
	PE6SS 1.5	13.9	18.8	3.91
	PE6SS 5.0	12.4	14.8	3.50
	PE6SS 10.0	13.8	21.4	3.89
	PE6SS 20.0	11.5	13.2	3.25
	PE6NN 0.5	10.7	13.6	3.01 Min
			中性化速度係数平均値	4.31

※PE21SS は表面被覆工が施されていた部位のため結果評価からは除く。

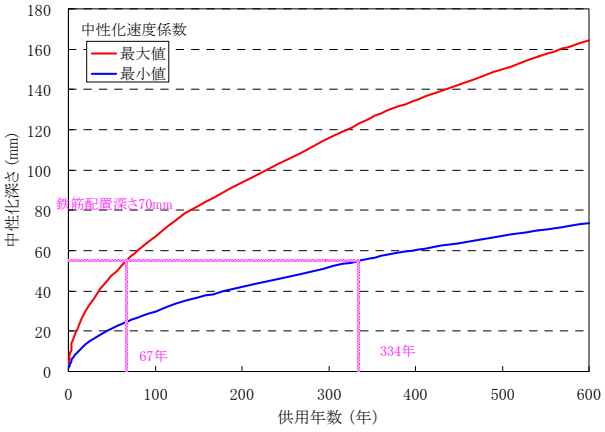


図3.1.10　中性化速度係数の算出結果

3.1.4　塩化物イオン量

(1)　塩化物イオン量の測定結果

塩化物イオン量の測定は、JIS A 1154 に準拠して実施した。

鉄筋近傍の塩化物イオン濃度は、PE21SS0.5[2]で 1.5 kg/m^3 程度と高く、その他では概ね 1.0 kg/m^3 程度である。PE21SS0.5 は、表層から深部まで、1.3 kg/m^3 以上の塩化物イオンを含有していた。

---

[1] コンクリート中に内在塩分があると中性化残り（かぶり深さ-中性化深さ）が 15 mm に達すると鋼材腐食が開始する場合があるといわれている。

[2] PE21SS0.5 の意味は、左から P：Pier（橋脚）、E：東側工区、21：橋脚番号 21、S：南側橋脚柱、S 南面、0.5：地表面からの高さ 0.5m を表す。

現地で実施したドリル粉を用いた簡易塩化物測定法と試験結果と比較すると、中性化フロントで塩化物イオンが濃縮している傾向が認められた。

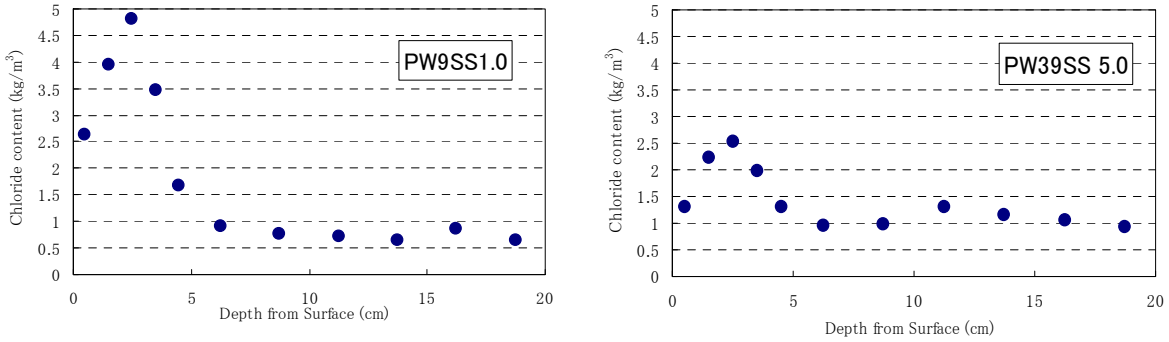


図3.1.11　塩化物イオン量の測定結果の一例

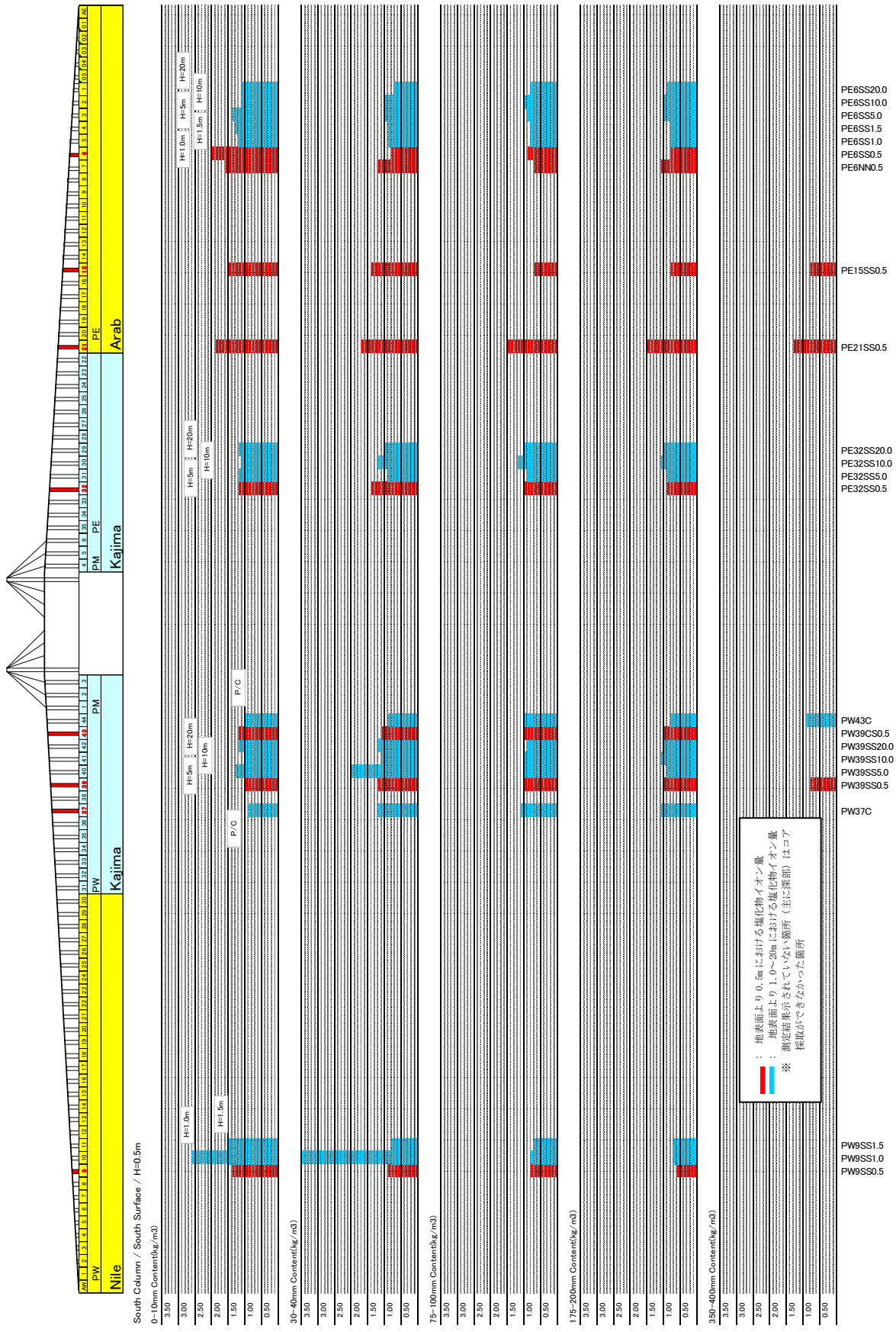


図3.1.12　塩化物イオン量の測定結果

(2) 塩化物イオン拡散係数

土木学会コンクリート標準示方書維持管理編に基づき、塩化物イオン拡散係数の算定を行った。

【拡散方程式】

$$C(x,y)=C_0\left(1-erf\left(\frac{x}{2\sqrt{D\cdot t}}\right)\right)+C_i$$

$C(x,y)$:深さ$x(cm)$,時刻t(年)の塩化物イオン濃度$(Cl-kg/m^3)$
C_0: 表面塩化物濃度$(Cl-kg/m^3)$
C_i: 初期含有塩化物濃度$(Cl-kg/m^3)$
D:見かけの拡散係数$(cm^2$/年)

【近似式】

$$C(x,y)=C_0\left(1-erf\left(\frac{x}{2\sqrt{D\cdot t}}\right)\right)+C_i$$

$y=P1(1-erf(x/P2))+P3$
として非線形最小二乗法で近似

表面塩化物イオン濃度および初期塩化物イオン濃度、見かけの拡散係数いずれもばらつきが大きい。これにより、鉄筋位置で塩化物イオン濃度が 1.2 kg/m^3 となる供用年数を拡散係数から予測した結果は、各採取コア単位で比較するとおおきくばらつく結果となった。

そこで、各工区の塩化物イオン濃度の平均値を用いて拡散係数を算定した。各かぶり深さで塩化物イオン濃度が 1.2 kg/m^3 となる供用年数を求めた結果を図 3.1.13 に示す。

表3.1.2 見かけの拡散係数の算定結果

工区	試料名	表面塩化物イオン濃度 C_0 (kg/m^3)	初期塩化物イオン濃度 C_i (kg/m^3)	見かけの拡散係数 D (cm^2/年)	鋼材位置(7cm深さ)で塩化物イオン濃度が1.2kg/m^{3}となる供用年数（年）
西Nile工区	PW9SS 0.5	1.073	0.671	0.531	98.2
	PW9SS 1.0	3.750	0.551	1.489	8.9
	PW9SS 1.5	1.060	0.693	0.357	136.0
西Kajima工区	PW37C No.2	0.282	1.035	1.811	45.1
	PW39SS 0.5	0.370	0.849	16.477	311.9
	PW39SS 5.0	1.111	0.991	2.094	6.8
	PW39SS 10.0	0.164	1.016	1.513	収束しない
	PW39SS 20.0	0.296	0.954	1.788	293.9
	PW39CS 0.5	0.403	0.949	1.297	77.6
	PW43C No.5	0.542	0.827	1.273	119.0
東Kajima工区	PE32SS 0.5	0.484	0.860	5.380	31.2
	PE32SS 5.0	0.361	0.868	0.161	収束しない
	PE32SS 10.0	0.024	1.163	1.003	収束しない
	PE32SS 20.0	0.253	1.050	0.718	117.8
東Arab工区	PE21SS 0.5	0.435	1.499	0.317	0.0
	PE15SS 0.5	1.063	0.738	1.027	38.9
	PE6SS 0.5	1.532	0.798	0.247	78.9
	PE6SS 1.0	0.455	0.799	0.722	1488.9
	PE6SS 1.5	0.603	0.752	0.679	333.2
	PE6SS 5.0	0.633	0.923	0.072	561.3
	PE6SS 10.0	0.230	0.967	0.199	収束しない
	PE6SS 20.0	0.547	0.795	0.038	5938.7
	PE6NN 0.5	1.176	0.766	0.650	46.5

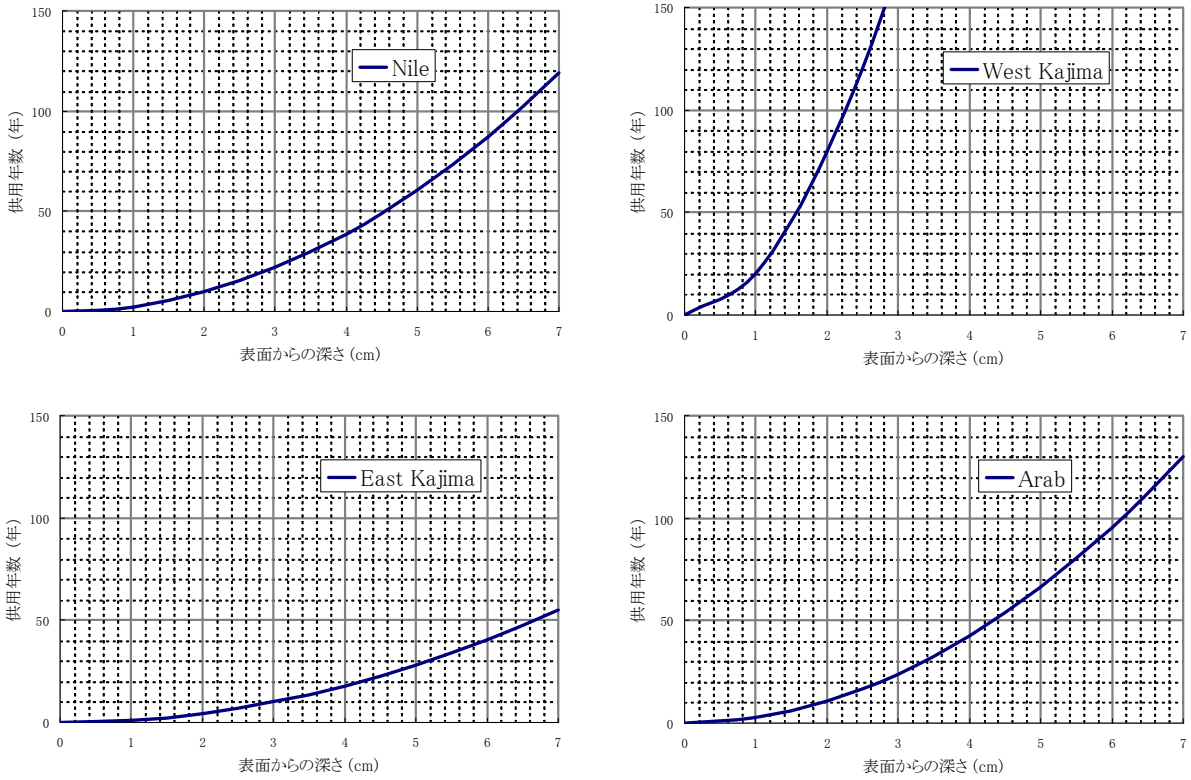


図3.1.13　各かぶり深さで塩化物イオン濃度が 1.2 kg/m³ となる供用年数

3.1.5　コンクリートの組織構造の診断

(1)　粉末 X 線回折

2010 年４月調査時のかぶりコンクリート片から骨材およびモルタル部分を取出し、粉末 X 線回折を行った。

これらの回折ピークから、白色骨材の主成分はドロマイトと考えられる。また、モルタル部分の主成分は石英、ついでカルサイトであり、硫酸劣化があった場合の生成物と考えられるエトリンガイトおよび石こう類は含まれていなかった。

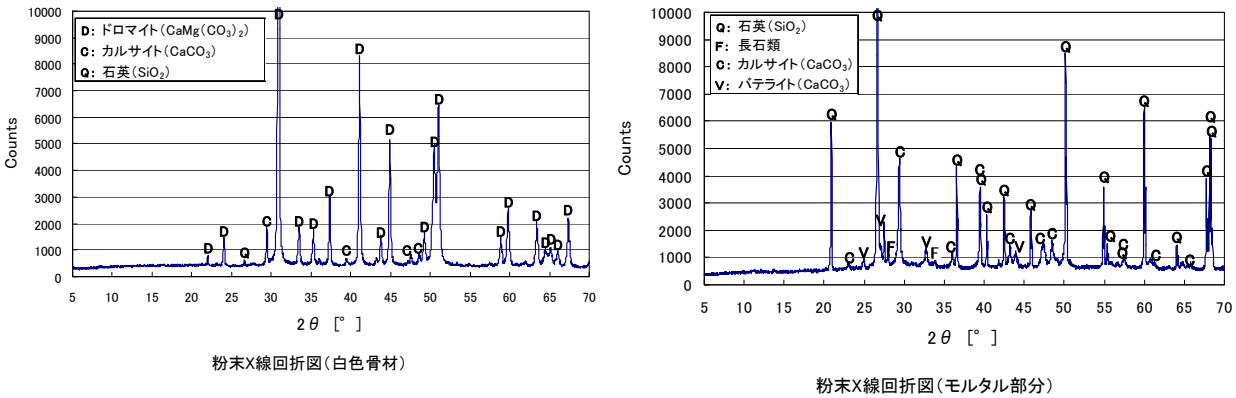


図3.1.14　粉末 X 線回折の試験結果

(2) EPMA

EPMA 法によるコンクリート中の元素の面分析を行った。対象元素は、Ca, Mg, S, Na, K, Cl, C の 7 元素である。

表層部の結果では、Cl が外部から浸透、拡散している状況が確認された。

また、部分的に Cl 濃度の高い部分を含有した粗骨材が観察された。モルタル中に確認される Cl は、広く分散して存在していた。

粗骨材周辺の塩分濃度が高いことから、粗骨材に含有された塩分が打設後に溶出、固定化されたものと推測される。

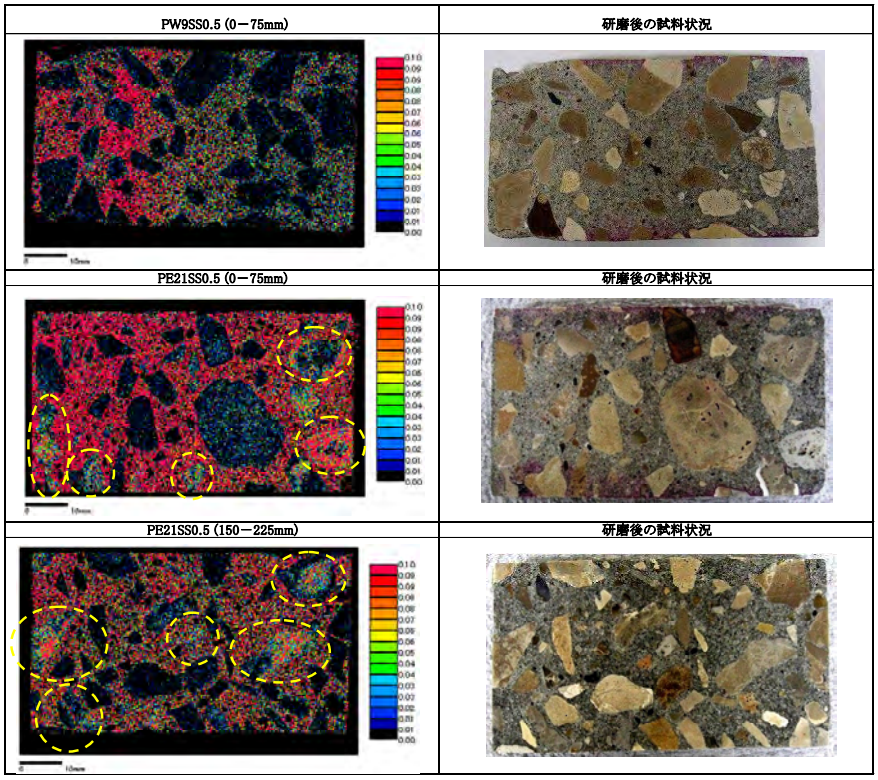


図3.1.15　EPMA 試験結果（Cl のスケールを変化させて観察）

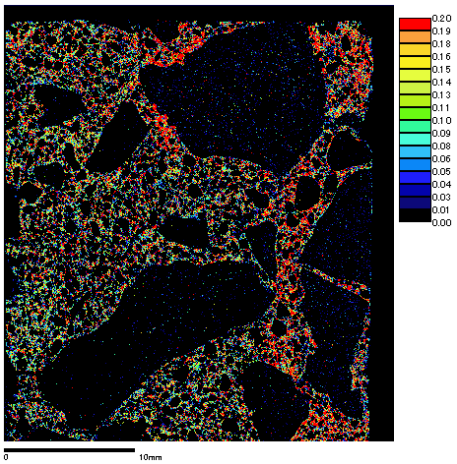


図3.1.16　細部の EPMA 試験観察の結果

(3) 元素分析

PE32SS20 のコンクリートコアについて、強熱減量（ig.loss）、不溶残分（insol.）、原子吸光による $Fe2O_3$、MgO、Na2O、K2O、ICP による $Al2O_3$、SiO_2 を測定した。CaO は、EDTA 溶液で滴定、SO_3 は硫酸バリウム質量法で定量した。

その結果、骨材に石灰石が含まれているため ig.loss が高く、また石灰石が塩酸で溶解して CaO が高いため insol.が低くなっているが、日本国内での石灰石骨材コンクリートの組成と比べ、大きな相違は認められなかった。

表3.1.3 コンクリートの元素分析結果

試料名	PE32SS 20
ig.loss 1000℃	25.26
insol.	35.51
SiO_2	2.89
Al_2O_3	1.12
Fe_2O_3	0.61
CaO	24.95
MgO	8.15
SO_3	0.17
Na_2O	0.14
K_2O	0.05

3.2 劣化原因の推定および構造物健全度の評価

現地調査、コア分析の結果より、劣化原因、健全度について評価する。

3.2.1 劣化原因の推定

(1) 柱、パイルキャップに見られる「うき」「剥離・鉄筋露出」

現地調査において、損傷箇所と判定した橋脚柱東岸の 63 面について、劣化原因を推定する。なお、現地調査で確認された表面の薄い部分の「うき」は損傷箇所としない。

1) 腐食発生環境

① 塩化物イオン濃度

建設当時からと考えられる内在塩分により、一様に 0.8～1.0 kg/m³ 程度の塩化物イオン量を呈す。また、外来塩分により、表面近傍では、腐食発生限界塩化物イオン濃度（1.2 kg/m³）を超える値が確認される。

② 中性化深さ

表面近傍（0～20 mm）は中性化している。

③ コンクリートかぶり

概ね 70 ㎜前後が確認されるが、部分的に 5 0㎜以下の箇所も確認される。

以上より、柱に確認される「コンクリートかぶり」の薄い位置の鉄筋は腐食発生環境におかれていると評価する。（パイルキャップは、1 箇所を除き「かぶり」が厚い）この状況は、東岸、西岸ともにほぼ同じ状況である。

2) 損傷の発生状況

鉄筋腐食による「うき」「剥離」の発生は、東岸柱に集中している。

東岸柱と西岸柱の条件の違いは、「土被り」の違いであり、パイルキャップの露呈している西岸に比べ、東岸の柱は地表面の土に常に接している状況である。

3) 劣化原因

以上より、柱、パイルキャップに見られる「うき」「剥離・鉄筋露出」の原因は、腐食発生環境（上記①②③）におかれた鉄筋が、地表面からの水分ならびに酸素の進入により、腐食発生に至った「塩害による損傷」と考えられる。

(2) パイルキャップに見られる「ひび割れ」

1) ひび割れパターン・深さ

ひび割れはパイルキャップ上面に発生し、ほぼ等間隔（1～2m）、かつ直交二方向に発生している。また表面幅最大 0.5 ㎜に対し、深さは 200 ㎜を超えるひび割れも認められる。

2) 鉄筋腐食状況

現地調査におけるコア削孔による鉄筋の目視調査の結果、鉄筋の腐食発生は確認されない。

3) 劣化原因

以上より、パイルキャップによる「ひび割れ」は鉄筋腐食に起因する物では無く、ひび割れパターン、深さから、「セメントの水和熱」による温度応力に起因すると考えられる。

3.2.2 構造物健全度の評価

健全度の評価は、「塩害による損傷」に対しては、「塩害橋梁維持管理マニュアル（案）平成 20 年 4 月　橋梁塩害対策委員会」を参考として評価する。

また、「ひび割れ」に対しては、「コンクリートのひび割れ調査、補修・補強指針-2009-　日本コンクリート工学協会」により評価する。

(1) 柱、パイルキャップに見られる「うき」「剥離・鉄筋露出」：塩害による損傷

健全度の評価は、現地調査結果から、以下に示すＡ～Ｃの３ケースについて評価を行う。

- Ａ：外観に損傷はみられない箇所のうち、所定のかぶり 70㎜ が確保されている箇所
- Ｂ：外観に損傷はみられないが、所定のかぶりが確保されていない箇所
- Ｃ：現状で既に外観に損傷がみられた箇所（所定のかぶりが確保されていない）

「塩害橋梁維持管理マニュアル（案）」では、健全度と対策方針の関係を表 3.2.1 の通り定義している。

表3.2.1　健全度毎の対策方針の考え方

健全度	対策方法の分類
グレードⅠ	塩害対策は不要
グレードⅡ	塩害による損傷が将来発生する可能性があるため、損傷の発生を制御するための補修対策が必要
グレードⅢ	塩害が原因の損傷が見られるため、損傷の進行を制御または現状の性能を維持するための補修対策が必要
グレードⅣ	塩害が原因の損傷が甚大なため、耐荷性能の確認と評価を行うとともに安全確保のための早急な対策の実施と、更新を含めた恒久対策の検討が必要

ここで、

「Ａ：外観に損傷はみられない箇所のうち、所定のかぶり 70㎜ が確保されている箇所」は、塩害対策は不要であることから、グレードⅠと判断する。

「Ｃ：現状で既に外観に損傷がみられた箇所　（所定のかぶりが確保されていない）」は、塩害の損傷が見られ、補修対策が必要であることから、グレードⅢと判定する

「Ｂ：外観に損傷はみられないが、所定のかぶりが確保されていない箇所」は、かぶり不足の程度によって将来塩害による損傷が発生する可能性が変わるため、グレードⅠまたはⅡと判定し、補修対象範囲の特定が必要となる。よって、橋脚柱毎に、「コンクリートかぶり」と、「塩化物イオン濃度」ならびに「中性化深さ」の進行予測を基に、対象範囲・箇所を決定する必要がある。

(2)　柱、パイルキャップに見られる「ひび割れ」

「コンクリートのひび割れ調査、補修・補強指針」では、ひび割れ幅の部材性能への影響を表 3.2.2 のとおり定義している。

表3.2.2　鋼材腐食の観点からのひび割れの部材性能への影響

環境条件		塩害・腐食環境下	一般屋外環境下	土中・屋内環境下
ひび割れ幅 W (mim)	0.5＜W	大（20 年耐久性）	大（20 年耐久性）	大（20 年耐久性）
	0.4＜W≦0.5	大（20 年耐久性）	大（20 年耐久性）	中（20 年耐久性）
	0.3＜W≦0.4	大（20 年耐久性）	中（20 年耐久性）	小（20 年耐久性）
	0.2＜W≦0.3	中（20 年耐久性）	小（20 年耐久性）	小（20 年耐久性）
	W≦0.2	小（20 年耐久性）	小（20 年耐久性）	小（20 年耐久性）

※評価結果「小」、「中」、「大」の意味は以下の通り。

小：ひび割れ幅が性能低下の原因となっておらず、部材が要求性能を満足する。

中：ひび割れ幅が性能低下の原因となるが、軽微な（簡易な）対策により対処が可能。

大：ひび割れによる性能低下が顕著であり、部材が要求性能を満足していない。

カッコ内の数値は、耐久性評価結果を保証できる期間の目安としての年数を示しており、（20 年耐久性）はひび割れの評価時点から 15～25 年後程度の耐久性評価結果を保証できる期間の目安として設定したものであり、15～25 年の平均をとって示したものである。

出典：コンクリートのひび割れ調査、補修・補強指針-2009-、日本コンクリート工学協会

上表より、「一般屋外環境下」に該当すると判断し、

柱：　ひび割れ幅は 0.3 mm 以下であるため、評価は、「小（20 年耐久性）」とする。

パイルキャップ：0.35 mm 以上（最大 0.5 mm）の箇所について、「中～大（20 年耐久性）」とする。

3.3　補修箇所・方法の検討

劣化原因、健全度評価結果を基に、補修要否の判定、補修工法の検討結果を示す。

3.3.1　補修要否の判定・補修箇所の特定

(1)　柱、パイルキャップに見られる「うき」「剥離・鉄筋露出」：塩害による損傷

1)　補修要否の判定

「3.2.2 構造物の健全度の評価」に従い、補修要否の判定は「塩害橋梁維持管理マニュアル（案）」を参考として、以下の通りとする。

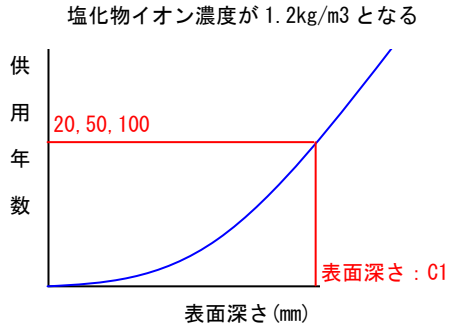
「Ａ：外観に損傷はみられない箇所のうち、所定のかぶり 70mm が確保されている箇所」（グレードⅠ）	⇨	補修不要
「Ｂ：外観に損傷はみられないが、所定のかぶりが確保されていない箇所」（グレードⅠもしくはⅡ）	⇨	補修不要（グレードⅠの場合）もしくは将来に対する予防措置が必要（グレードⅡの場合）

なお、「Ｂ：外観に損傷はみられないが、所定のかぶりが確保されていない箇所」の補修要否の判定は、「コンクリートかぶり」、「将来塩化物イオン予測」、「将来中性化深さ予測」を基に補修箇所を特定する。

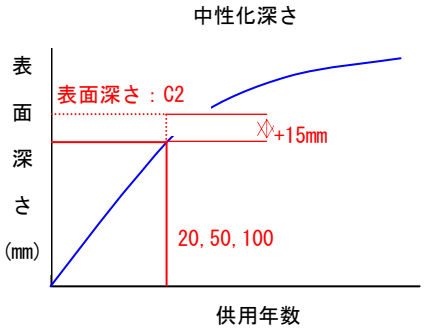
2)　補修箇所の特定

「Ｂ：外観に損傷はみられないが、所定のかぶりが確保されていない箇所」は、塩化物イオン、中性化、それぞれの予測結果から、補修対策の対象箇所を選定する。対象橋脚のかぶりを「C」とし、供用後 20、50、100 年後（現時点から 10、40、90 年後）の予測結果「C1：塩化物イオン」「C2:中性化」を比較し、以下のケースを対象とする。

①塩化物イオンの拡散予測



②中性化深さの進行予測

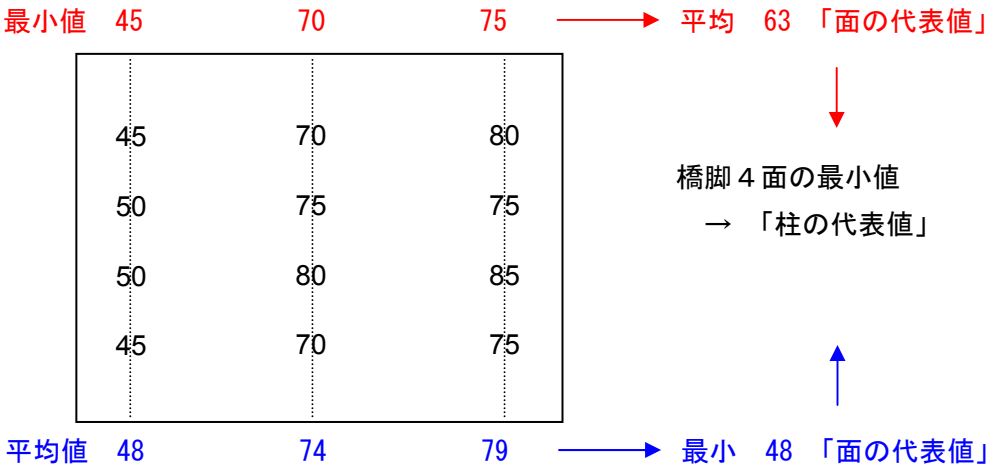


C＜C1　、C＜C2（＋15mm を含む）	・・・・・・・・・・・・補修対象とする。
C＜C1　、C＞C2（＋15mm を含む）	・・・・・・・・・・・・経過観察
C＞C1　、C＜C2（＋15mm を含む）	・・・・・・・・・・・・経過観察
C＞C1　、C＞C2（＋15mm を含む）	・・・・・・・・・・・・経過観察

上記の考えは、現地調査においてＲＣレーダにより計測したかぶりが最小値（25 mm、33 mm）の箇所（塩化物イオン濃度 1.2 kg/m^3 以上かつ中性化と想定される箇所）において、はつり調査を行った結果、鉄筋の腐食は見られなかったことから、十分妥当な判断であると考える。

ここで、各橋脚柱のかぶり代表値の設定方法については、現地橋脚で観測した RC レーダの結果を基に、以下 2 ケースが考えられる。

①各ラインの最小値の平均を「その面の代表値」とし、４面の最小値を「柱の代表値」とする。
②各ラインの平均値の最小を「その面の代表値」とし、４面の最小値を「柱の代表値」とする。



本調査においては、各橋脚柱のかぶり代表値として、安全側である②を採用した。

(2) 柱、パイルキャップに見られる「ひび割れ」

1) 補修要否の判定

表 3.3.1 に基づき、ひび割れに対する補修の必要性を検討した。期待延命期間については、本橋梁の重要性を鑑み、表中最も長い“20 年以上”を採用した。

表3.3.1 評価に基づく判定表（鋼材腐食に対する耐久性の観点）

部材への影響	期待延命期間		
	10 年未満	10～20 年未満	20 年以上
小（20 年耐久性）	補修不要	補修不要	補修不要（定期的なひび割れ調査を実施）
中（20 年耐久性）	基本的には補修不要（場合によっては補修必要）	基本的には補修不要（場合によっては補修必要、定期的なひび割れ調査を実施）	補修必要
大（20 年耐久性）	基本的には補修必要	補修必要	補修必要（補強、解体・撤去、立替を含む）

出典：コンクリートのひび割れ調査、補修・補強指針-2009-、日本コンクリート工学協会

上表より、

柱のひび割れ：

評価「小」は補修不要（定期的なひび割れ調査を実施）とする。

パイルキャップのひび割れ：

評価「中～大」となる、0.35 mm 以上のひび割れについて、補修必要とする。

3.3.2 補修工法の検討

前述より、補修項目は以下とする。

- 「うき」「剥離・鉄筋露出」の補修として「断面修復」
- コンクリートかぶり不足箇所に対する予防措置として「表面被覆」
- パイルキャップの「ひび割れ」に対して「ひび割れ補修」

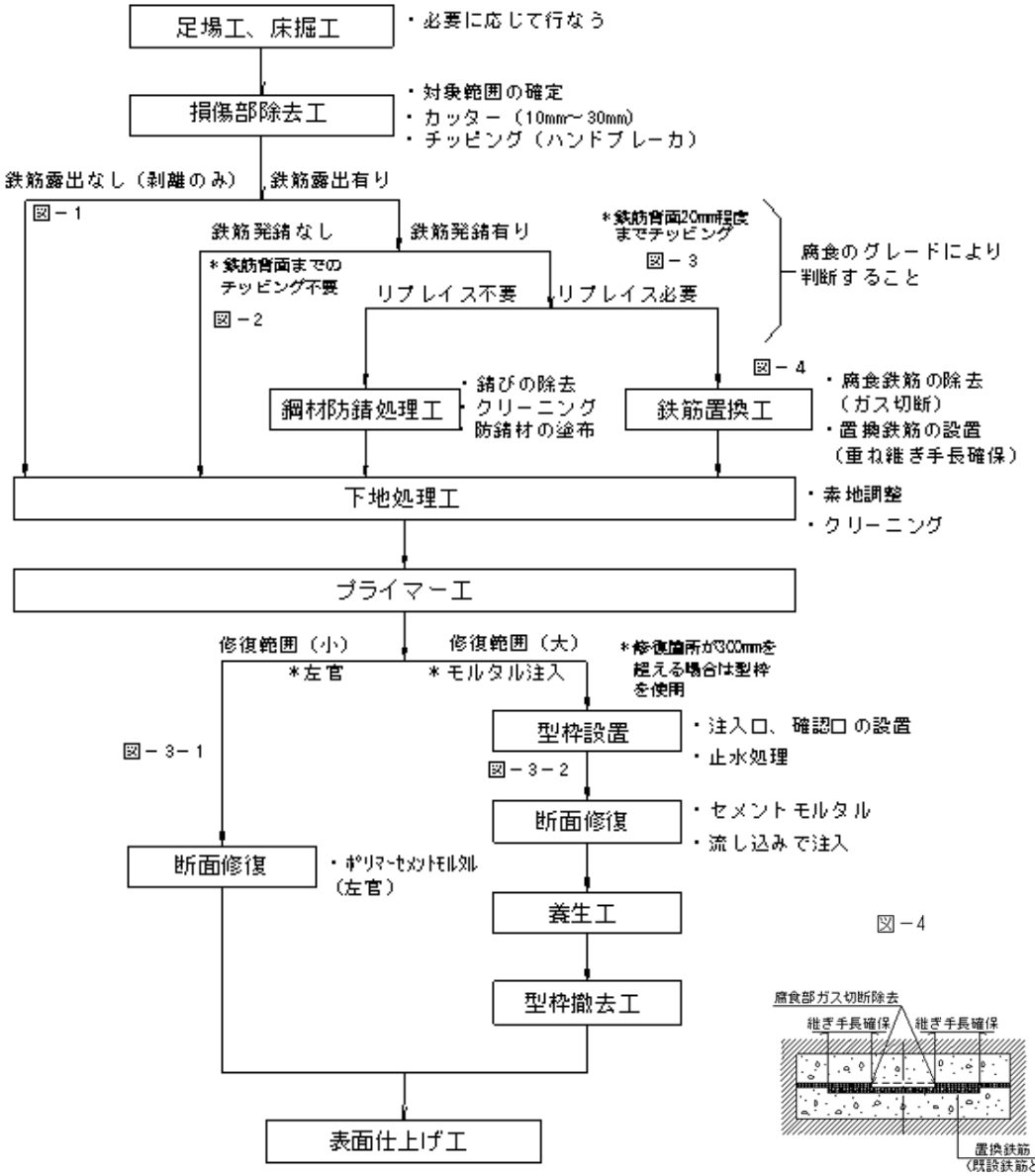
(1) 断面修復

現状の損傷程度（範囲、深さ、鉄筋露出の有無、鉄筋発錆の有無）により、以下フローに基づき適切な工法を選択する。

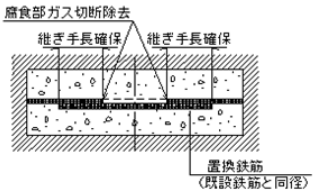
なお、補修範囲が一辺 300 ㎜ を超える箇所は比較表に示すとおり、グラウト材を用いた型枠による補修とし、300 ㎜ 以下の小範囲については、付着性の高いポリマーセメントモルタルを使用する事とする。

施工手順フロー

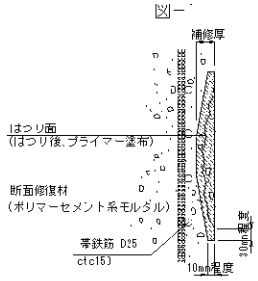
断面修復工



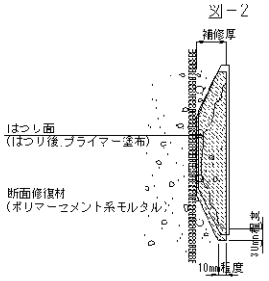
図－4



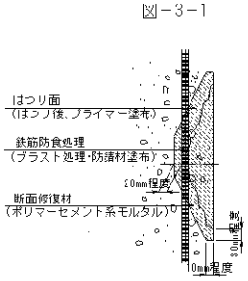
図－1



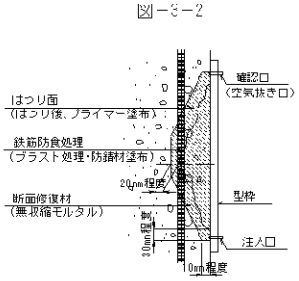
図－2

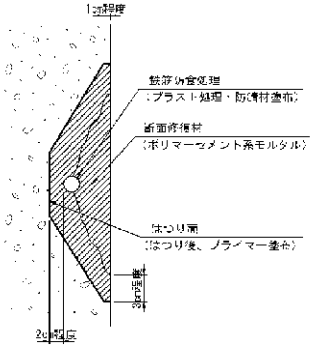
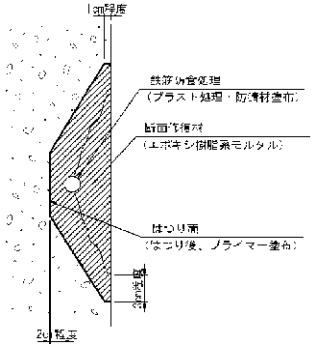
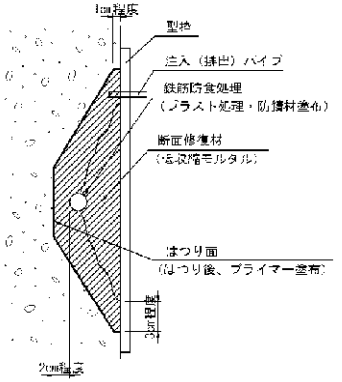


図－3－1



図－3－2



名　称		第１案：ポリマーセメント系モルタル	第２案：エポキシ樹脂系モルタル	第３案：低収縮セメントモルタル
概略図				
工法概要		・脈弱箇所、鉄筋露出等の既設コンクリートを鉄筋裏側まではつる。 ・鉄筋の錆を落とし、防錆材を塗布したのちに、ポリマーセメント系モルタルを充填して断面を修復する。	・脈弱箇所、鉄筋露出等の既設コンクリートを鉄筋裏側まではつる。 ・鉄筋の錆を落とし、防錆材を塗布したのちに、エポキシ樹脂系系モルタルを充填して断面を修復する。	・脈弱箇所、鉄筋露出等の既設コンクリートを鉄筋裏側まではつる。 ・鉄筋の錆を落とし、防錆材を塗布したのちに、骨材を充填しながら型枠を設置する。 ・骨材充填後、ポリマーセメントスラリーを充填し、硬化後型枠を撤去する。
施工方法	左官工法	○（30mm/層）　適用規模：30ｃｍ×30ｃｍ以下	○（50mm/層）　適用規模：30ｃｍ×30ｃｍ以下	○（20mm/層）　適用規模：30ｃｍ×30ｃｍ以下
	吹付工法	○（30~50mm/層）　適用規模：50ｃｍ×50ｃｍ以上	×	×
	充填工法	▲（粘性が大きく充填度が低い）	▲（粘性が大きく充填度が低い）	○（型枠併用）
特徴		・施工後、短時間で強度が発現する。 ・硬化収縮が無く、接着性が強いため、ひびわれ、剥離が生じにくい。 ・下地を乾燥させる必要が無く、コテ塗りができるため型枠、特殊な工法を必要としない。 ・１回のコテ塗りが約 3cm であるため、大断面の修復には適さない	・比重が 0.75 と軽量である。 ・硬化収縮が無く、エポキシ樹脂系であるため、接着性に優れている。 ・コテ塗りのみであること、高価であることより大断面の修復には適さない。 ・発熱性を示すものもあるため、施工に当たっては十分に配慮する必要がある。	・ダレが生じやすいため、上向きの施工には不向きで、コテ塗りの場合には、２ｃｍ程度の厚さしか施工できない。 ・他案に比べ安価であるため、大断面の修復に適している。
直接工事費		¥190 千円/m3（はつり、プライマー塗布含まず）	¥580 千円/m3（はつり、プライマー塗布含まず）	¥90 千円/m3（はつり、プライマー塗布含まず）
評　価		・小断面としての品質、施工性に優れている。 ・小断面に適さない第３案と比較し経済性は劣るが、第２案と比較し安価である。	・品質、施工性は優れているが、経済性に劣っているため適さない。	・型枠を用いて施工を行う、大断面としての品質、施工性は問題なく、最も経済性に優れている。
		○（採用：小断面）	△	○（採用：大断面）

(2) 表面被覆

表面被覆は塗装材（有機系、無機系）、含浸材（シラン系、ケイ酸系）で比較検討の結果、以下事由より、含浸材（シラン系）を採用する。

- 今後の維持管理において、ひび割れ等を直接視認できる「無色透明」であること。
- 鉄筋腐食発生の要因である、水の進入を防止する事。

また、箇所毎の被覆高さについては、以下事由を踏まえ一律「橋脚柱基部から 4m」とする。

- かぶり不足の顕著な柱基部を対象とする。
- ローカル工区における基部第一リフト高さは 4 m。
- 日本工区（スリップフォーム）におけるリフト高さは 7m。ただし、軸方向鉄筋の固定高さは基部から 2.2m
- 損傷が多く確認される地表部を対象とする。
- 東岸工区における土被り厚は、現状で最大 2.5 mであり、余裕量 1.5m程度を考慮し 4 mを確保する。
- 現地調査において、基部から 5 m位置での鉄筋かぶりは概ね満足している。

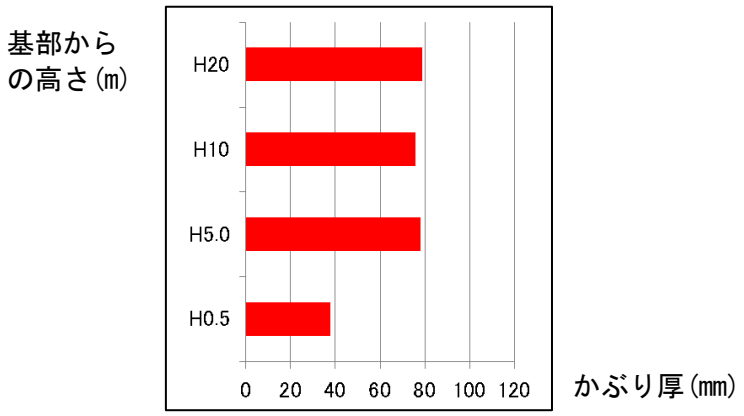


図3.3.1 鉄筋かぶり深さ（PE32SS）

表面被覆工対象橋脚柱は、現時点での断面修復が必要とされる箇所全数に加え、現時点で損傷が確認されていない箇所に対し、供用後の年数（20、50 年、100 年）、鉄筋のかぶり厚に応じて、以下のとおりのオプション案が考えられる。

- オプション１　供用年数 20 年　：　50 柱（180 柱のうち）
- オプション２　供用年数 50 年　：　71 柱（180 柱のうち）
- オプション３　供用年数 100 年　：　101 柱（180 柱のうち）
- オプション４　かぶり不足全箇所　：　172 柱（180 柱のうち）

PKG	Pier	柱	かぶり	塩化物イオン1.2kg/m3到達			中性化深さ(＋15mm)			判定						補修の必要性			
				今から10年	今から40年	今から90年	今から10年	今から40年	今から90年	C>C1			C>C2			供用20年	供用50年	供用100年	かぶり不足箇所全て
			C (mm)	C1_10	C1_50	C1_100	C2_10	C2_50	C2_100	>C1_10	>C1_50	>C1_100	>C1_10	>C1_50	>C1_100				
Nile	PW1	N	41	31	45	64	31	40	51	○	×	×	○	○	×				
		S	52	31	45	64	31	40	51	○	○	×	○	○	○				
	PW2	N	38	31	45	64	31	40	51	○	×	×	○	×	×				
		S	25	31	45	64	31	40	51	×	×	×	×	×	×				
	PW3	N	36	31	45	64	31	40	51	○	×	×	○	×	×				
		S	46	31	45	64	31	40	51	○	○	×	○	○	×				
	PW4	N	38	31	45	64	31	40	51	○	×	×	○	×	×				
		S	50	31	45	64	31	40	51	○	○	×	○	○	×				
	PW5	N	47	31	45	64	31	40	51	○	○	×	○	○	×				
		S	54	31	45	64	31	40	51	○	○	×	○	○	○				
	PW6	N	55	31	45	64	31	40	51	○	○	×	○	○	○				
		S	59	31	45	64	31	40	51	○	○	×	○	○	○				
	PW7	N	60	31	45	64	31	40	51	○	○	×	○	○	○				
		S	51	31	45	64	31	40	51	○	○	×	○	○	○				
	PW8	N	58	31	45	64	31	40	51	○	○	×	○	○	○				
		S	42	31	45	64	31	40	51	○	×	×	○	○	×				
	PW9	N	47	31	45	64	31	40	51	○	○	×	○	○	×				
		S	32	31	45	64	31	40	51	○	×	×	○	×	×				
	PW10	N	36	31	45	64	31	40	51	○	×	×	○	×	×				
		S	54	31	45	64	31	40	51	○	○	×	○	○	○				
	PW11	N	53	31	45	64	31	40	51	○	○	×	○	○	○				
		S	56	31	45	64	31	40	51	○	○	×	○	○	○				
	PW12	N	65	31	45	64	31	40	51	○	○	○	○	○	○				
		S	38	31	45	64	31	40	51	○	×	×	○	×	×				
	PW13	N	51	31	45	64	31	40	51	○	○	×	○	○	○				
		S	67	31	45	64	31	40	51	○	○	○	○	○	○				
	PW14	N	31	31	45	64	31	40	51	×	×	×	×	×	×				
		S	43	31	45	64	31	40	51	○	×	×	○	○	×				
	PW15	N	72	31	45	64	31	40	51	○	○	○	○	○	○				
		S	41	31	45	64	31	40	51	○	×	×	○	○	×				
	PW16	N	57	31	45	64	31	40	51	○	○	×	○	○	○				
		S	72	31	45	64	31	40	51	○	○	○	○	○	○				
	PW17	N	57	31	45	64	31	40	51	○	○	×	○	○	○				
		S	65	31	45	64	31	40	51	○	○	○	○	○	○				
	PW18	N	36	31	45	64	31	40	51	○	×	×	○	×	×				
		S	50	31	45	64	31	40	51	○	○	×	○	○	×				
	PW19	N	43	31	45	64	31	40	51	○	×	×	○	○	×				
		S	49	31	45	64	31	40	51	○	○	×	○	○	×				
	PW20	N	50	31	45	64	31	40	51	○	○	×	○	○	×				
		S	50	31	45	64	31	40	51	○	○	×	○	○	×				
	PW21	N	37	31	45	64	31	40	51	○	×	×	○	×	×				
		S	57	31	45	64	31	40	51	○	○	×	○	○	○				
	PW22	N	53	31	45	64	31	40	51	○	○	×	○	○	○				
		S	52	31	45	64	31	40	51	○	○	×	○	○	○				
	PW23	N	40	31	45	64	31	40	51	○	×	×	○	×	×				
		S	49	31	45	64	31	40	51	○	○	×	○	○	×				
	PW24	N	48	31	45	64	31	40	51	○	○	×	○	○	×				
		S	54	31	45	64	31	40	51	○	○	×	○	○	○				
	PW25	N	38	31	45	64	31	40	51	○	×	×	○	×	×				
		S	64	31	45	64	31	40	51	○	○	×	○	○	○				
	PW26	N	54	31	45	64	31	40	51	○	○	×	○	○	○				
		S	55	31	45	64	31	40	51	○	○	×	○	○	○				
	PW27	N	72	31	45	64	31	40	51	○	○	○	○	○	○				
		S	62	31	45	64	31	40	51	○	○	×	○	○	○				
	PW28	N	65	31	45	64	31	40	51	○	○	○	○	○	○				
		S	47	31	45	64	31	40	51	○	○	×	○	○	×				
	PW29	N	50	31	45	64	31	40	51	○	○	×	○	○	×				
		S	69	31	45	64	31	40	51	○	○	○	○	○	○				
	PW30	N	62	31	45	64	31	40	51	○	○	×	○	○	○				
		S	49	31	45	64	31	40	51	○	○	×	○	○	×				
W_Kajima	PW31	N	51	10	16	23	39	53	69	○	○	○	○	×	×				
		S	53	10	16	23	39	53	69	○	○	○	○	×	×				
	PW32	N	41	10	16	23	39	53	69	○	○	○	○	×	×				
		S	50	10	16	23	39	53	69	○	○	○	○	×	×				
	PW33	N	47	10	16	23	39	53	69	○	○	○	○	×	×				
		S	43	10	16	23	39	53	69	○	○	○	○	×	×				
	PW34	N	47	10	16	23	39	53	69	○	○	○	○	×	×				
		S	57	10	16	23	39	53	69	○	○	○	○	○	×				
	PW35	N	53	10	16	23	39	53	69	○	○	○	○	×	×				
		S	57	10	16	23	39	53	69	○	○	○	○	○	×				
	PW36	N	53	10	16	23	39	53	69	○	○	○	○	×	×				
		S	57	10	16	23	39	53	69	○	○	○	○	○	×				
	PW37	N	47	10	16	23	39	53	69	○	○	○	○	×	×				
		S	37	10	16	23	39	53	69	○	○	○	×	×	×				
	PW38	N	53	10	16	23	39	53	69	○	○	○	○	×	×				
		S	57	10	16	23	39	53	69	○	○	○	○	○	×				
	PW39	N	43	10	16	23	39	53	69	○	○	○	○	×	×				
		S	48	10	16	23	39	53	69	○	○	○	○	×	×				
	PW40	N	54	10	16	23	39	53	69	○	○	○	○	○	×				
		S	38	10	16	23	39	53	69	○	○	○	×	×	×				
	PW41	N	43	10	16	23	39	53	69	○	○	○	○	×	×				
		S	42	10	16	23	39	53	69	○	○	○	○	×	×				
	PW42	N	50	10	16	23	39	53	69	○	○	○	○	×	×				
		S	44	10	16	23	39	53	69	○	○	○	○	×	×				
	PW43	N	54	10	16	23	39	53	69	○	○	○	○	○	×				
		S	54	10	16	23	39	53	69	○	○	○	○	○	×				
	PW44	N	54	10	16	23	39	53	69	○	○	○	○	○	×				
		S	49	10	16	23	39	53	69	○	○	○	○	×	×				
	PM1	N	44	10	16	23	39	53	69	○	○	○	○	×	×				
		S	36	10	16	23	39	53	69	○	○	○	×	×	×				
	PM2	N	49	10	16	23	39	53	69	○	○	○	○	×	×				
		S	44	10	16	23	39	53	69	○	○	○	○	×	×				
	PM3	N	44	10	16	23	39	53	69	○	○	○	○	×	×				
		S	34	10	16	23	39	53	69	○	○	○	×	×	×				

PKG	Pier	柱	かぶり	塩化物イオン1.2kg/m3到達			中性化深さ(＋15mm)			判定						補修の必要性			
				今から10年	今から40年	今から90年	今から10年	今から40年	今から90年	C>C1			C>C2						
			C (mm)	C1_10	C1_50	C1_100	C2_10	C2_50	C2_100	>C1_10	>C1_50	>C1_100	>C1_10	>C1_50	>C1_100	供用20年	供用50年	供用100年	かぶり不足箇所全て
E_Kajima	PM4	N	62	44	66	100	40	54	71	○	×	×	○	○	×				
		S	52	44	66	100	40	54	71	○	×	×	○	×	×				
	PM5	N	52	44	66	100	40	54	71	○	×	×	○	×	×				
		S	58	44	66	100	40	54	71	○	×	×	○	○	×				
	PM6	N	43	44	66	100	40	54	71	×	×	×	○	×	×				
		S	49	44	66	100	40	54	71	○	×	×	○	×	×				
	PE35	N	50	44	66	100	40	54	71	○	×	×	○	×	×				
		S	52	44	66	100	40	54	71	○	×	×	○	×	×				
	PE34	N	56	44	66	100	40	54	71	○	×	×	○	○	×				
		S	53	44	66	100	40	54	71	○	×	×	○	×	×				
	PE33	N	57	44	66	100	40	54	71	○	×	×	○	○	×				
		S	46	44	66	100	40	54	71	○	×	×	○	×	×				
	PE32	N	56	44	66	100	40	54	71	○	×	×	○	○	×				
		S	53	44	66	100	40	54	71	○	×	×	○	×	×				
	PE31	N	56	44	66	100	40	54	71	○	×	×	○	○	×				
		S	53	44	66	100	40	54	71	○	×	×	○	×	×				
	PE30	N	61	44	66	100	40	54	71	○	×	×	○	○	×				
		S	53	44	66	100	40	54	71	○	×	×	○	×	×				
	PE29	N	61	44	66	100	40	54	71	○	×	×	○	○	×				
		S	62	44	66	100	40	54	71	○	×	×	○	○	×				
	PE28	N	61	44	66	100	40	54	71	○	×	×	○	○	×				
		S	45	44	66	100	40	54	71	○	×	×	○	×	×				
	PE27	N	80	44	66	100	40	54	71	○	○	×	○	○	○				
		S	48	44	66	100	40	54	71	○	×	×	○	×	×				
	PE26	N	45	44	66	100	40	54	71	○	×	×	○	×	×				
		S	37	44	66	100	40	54	71	×	×	×	×	×	×				
	PE25	N	81	44	66	100	40	54	71	○	○	×	○	○	○				
		S	40	44	66	100	40	54	71	×	×	×	○	×	×				
	PE24	N	33	44	66	100	40	54	71	×	×	×	×	×	×				
		S	43	44	66	100	40	54	71	×	×	×	○	×	×				
	PE23	N	46	44	66	100	40	54	71	○	×	×	○	×	×				
		S	41	44	66	100	40	54	71	×	×	×	○	×	×				
	PE22	N	93	44	66	100	40	54	71	○	○	×	○	○	○				
		S	89	44	66	100	40	54	71	○	○	×	○	○	○				
Arab	PE21	N	70	29	43	61	32	42	53	○	○	○	○	○	○				
		S	48	29	43	61	32	42	53	○	○	×	○	○	×				
	PE20	N	42	29	43	61	32	42	53	○	×	×	○	×	×				
		S	39	29	43	61	32	42	53	○	×	×	○	×	×				
	PE19	N	44	29	43	61	32	42	53	○	○	×	○	○	×				
		S	35	29	43	61	32	42	53	○	×	×	○	×	×				
	PE18	N	29	29	43	61	32	42	53	×	×	×	×	×	×				
		S	36	29	43	61	32	42	53	○	×	×	○	×	×				
	PE17	N	35	29	43	61	32	42	53	○	×	×	○	×	×				
		S	41	29	43	61	32	42	53	○	×	×	○	×	×				
	PE16	N	65	29	43	61	32	42	53	○	○	○	○	○	○				
		S	59	29	43	61	32	42	53	○	○	×	○	○	○				
	PE15	N	64	29	43	61	32	42	53	○	○	○	○	○	○				
		S	55	29	43	61	32	42	53	○	○	×	○	○	○				
	PE14	N	51	29	43	61	32	42	53	○	○	×	○	○	×				
		S	66	29	43	61	32	42	53	○	○	○	○	○	○				
	PE13	N	63	29	43	61	32	42	53	○	○	○	○	○	○				
		S	61	29	43	61	32	42	53	○	○	×	○	○	○				
	PE12	N	66	29	43	61	32	42	53	○	○	○	○	○	○				
		S	59	29	43	61	32	42	53	○	○	×	○	○	○				
	PE11	N	62	29	43	61	32	42	53	○	○	○	○	○	○				
		S	42	29	43	61	32	42	53	○	×	×	○	×	×				
	PE10	N	57	29	43	61	32	42	53	○	○	×	○	○	○				
		S	63	29	43	61	32	42	53	○	○	○	○	○	○				
	PE9	N	51	29	43	61	32	42	53	○	○	×	○	○	×				
		S	57	29	43	61	32	42	53	○	○	×	○	○	○				
	PE8	N	58	29	43	61	32	42	53	○	○	×	○	○	○				
		S	65	29	43	61	32	42	53	○	○	○	○	○	○				
	PE7	N	56	29	43	61	32	42	53	○	○	×	○	○	○				
		S	48	29	43	61	32	42	53	○	○	×	○	○	×				
	PE6	N	64	29	43	61	32	42	53	○	○	○	○	○	○				
		S	71	29	43	61	32	42	53	○	○	○	○	○	○				
	PE5	N	54	29	43	61	32	42	53	○	○	×	○	○	○				
		S	67	29	43	61	32	42	53	○	○	○	○	○	○				
	PE4	N	55	29	43	61	32	42	53	○	○	×	○	○	○				
		S	54	29	43	61	32	42	53	○	○	×	○	○	○				
	PE3	N	59	29	43	61	32	42	53	○	○	×	○	○	○				
		S	50	29	43	61	32	42	53	○	○	×	○	○	×				
	PE2	N	58	29	43	61	32	42	53	○	○	×	○	○	○				
		S	58	29	43	61	32	42	53	○	○	×	○	○	○				
	PE1	N	52	29	43	61	32	42	53	○	○	×	○	○	×				
		S	49	29	43	61	32	42	53	○	○	×	○	○	×				
	PE05	N	52	29	43	61	32	42	53	○	○	×	○	○	×				
		S	49	29	43	61	32	42	53	○	○	×	○	○	×				
	PE04	N	61	29	43	61	32	42	53	○	○	×	○	○	○				
		S	50	29	43	61	32	42	53	○	○	×	○	○	×				
	PE03	N	52	29	43	61	32	42	53	○	○	×	○	○	×				
		S	68	29	43	61	32	42	53	○	○	○	○	○	○				
	PE02	N	53	29	43	61	32	42	53	○	○	×	○	○	×				
		S	44	29	43	61	32	42	53	○	○	×	○	○	×				
	PE01	N	65	29	43	61	32	42	53	○	○	○	○	○	○				
		S	55	29	43	61	32	42	53	○	○	×	○	○	○				

凡例
:補修不要(経過観察)
:補修不要(経過観察)
:被覆

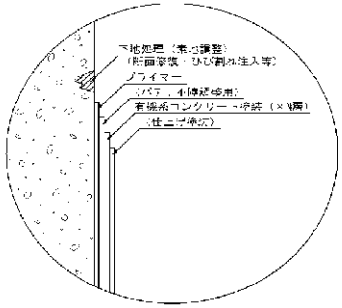
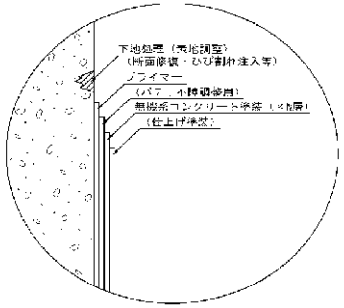
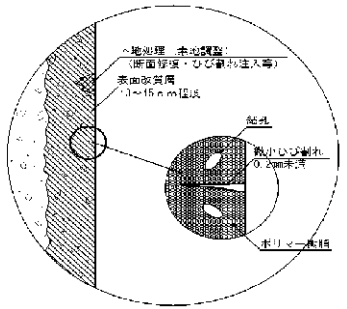
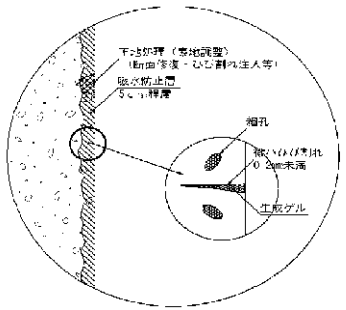
合計		供用20年	供用50年	供用100年	かぶり不足箇所全て
	なし	167	99	22	9
		8	41	76	0
		5	40	82	171
	total	180	180	180	180

Nile	10年	50年	100年	かぶり不足	Kajima	10年	50年	100年	かぶり不足	Arab	10年	50年	100年	かぶり不足
	58	43	8	3		58	12	0	4		51	44	14	2
	0	5	22	0		8	36	38	0		0	0	16	0
	2	12	30	57		2	20	30	64		1	8	22	50

図3.3.2　各オプションにおける表面被覆工対象橋脚柱

ここで、最適オプションは、以下に示す理由により、オプション 2（供用年数）50 年とする。

- オプション 1 は、供用後 20 年以内（今後 10 年以内）に損傷が発生すると予想される橋脚柱のみを対象にしており、10 年後に対象としていない橋脚柱で損傷が発生する可能性がある。
- オプション 3 は、供用年数 100 年以内（今後 90 年以内）に損傷が発生すると予想される橋脚柱を対象としたものであり、表面被覆材の効果持続年数（約 20 年を想定）を大幅に超えたスパンで塩分浸透や中性化が予測される箇所においては、表面被覆材適用の費用対効果は高くない。
- オプション 4 は、ほぼ全橋脚柱が対象となり、オプション 3 と同等の理由や経済性の観点からも現実的でない。

	表面塗装工（コンクリート塗装工）		表面含浸工	
	第１案：有機系	第２案：無機系	第３案：シラン系	第４案：ケイ酸ナトリウム系
概要図				
概要・機能	・エポキシ樹脂、ポリウレタン樹脂等の有機系樹脂を主成分とする被覆材料によりコンクリート表面を被覆し、劣化要因の進入を抑制する。	・ポリマーセメントを主成分とする無機系被覆材料によりコンクリート表面を被覆し、劣化要因の進入を抑制する。	・セメント中の水酸基（OH-）とシラン系溶剤が化学反応によりポリマー樹脂を生成することで疎水性に改質し、水分や塩化物イオンの浸入を抑制する。	・セメント中の水酸化カルシウムとケイ酸ナトリウム系溶剤が化学反応により細孔部にゲル（結晶体）を生成することで緻密な吸水防止層が形成され、水分や塩化物イオンの浸入を抑制する。 ・乾燥状態では、浸透性に劣る。
劣化要因の遮断性	・形成される被膜が緻密なため、劣化要因の遮断性は高い。 ◎	・形成される被膜が緻密なため、劣化要因の遮断性は高いが、有機系に比べ劣る。 ・ひび割れ変動に対する追従性が低いため割れが生じた場合は遮断性に劣る。 ○	・コンクリート表面下の改質層(疎水域)により、劣化要因（水）を遮断し、抑制する。 ・浸透厚が厚く、鉄筋の不働態皮膜も形成するため防錆効果もある。 ◎	・コンクリート表面を緻密化することにより、水分、空気を遮断し、抑制する。 ・表面の改質であり、紫外線劣化が生じる環境では、早期の性能低下が考えられる。 ○
透湿性	被膜が緻密なため、透湿性は低い。 ※部材内部に水分等を蓄積する可能性がある。 ▲	・有機系に比べ被膜の緻密性が劣るため、有機系より良い。 △	・コンクリート中に細孔が充填されないため透湿性に優れ内部の乾燥を促進させる。 ◎	・コンクリート中に細孔が充填されるため透湿性は低い。 △
維持管理性	・被膜が有色であるため、既設部材の変状を直接視認できない。 ▲	・被膜が有色であるため、既設部材の変状を直接視認できない。 ▲	・被膜が無色であるため、既設部材の変状を直接視認できる。 ◎	・被膜が無色であるため、既設部材の変状を直接視認できる。 ◎
施工性	工程数が多く、養生期間も長いため施工期間が長くなる。 △	工程数は多いが、養生期間が短いため有機系に比べ施工期間は短くなる。 ○	工程数が短く、養生期間も短いため施工期間は短くなる。 ◎	工程数が短いが、養生期間が長いためシラン系に比べ施工期間は長くなる。 ○
経済性	5千円/㎡ △	4千円/㎡ ○	9千円/㎡ ◎	11千円/㎡ ◎
評価	・施工性に劣り、また皮膜が有色であるため、維持管理が困難となる。	・施工性に劣り、また皮膜が有色であるため、維持管理が困難となる。	・皮膜が無色であるため、維持管理が容易にできる。 ・劣化原因の遮断性、浸透性、施工性に優れる。 ○（採用）	・皮膜が無色であるため、維持管理が容易にできる。 ・劣化原因の遮断性、浸透性、施工性、経済性が、第３案と比べ劣る。

(3) ひび割れ補修

パイルキャップひび割れ補修は、ひび割れ幅が深く、幅 0.5 mm 程度である事から、ひび割れ充填工を採用する。

なお、充填材はひび割れの原因が「乾燥収縮」「温度応力」であることから、今後の著しいひび割れ幅の進展は想定されないため、ポリマーモルタル系の充填材を使用する。

(4) 補修対象箇所

各オプションにおける補修対象箇所を図 3.3.3～3.3.6 に示す。

最適オプションである、オプション 2 の補修対象箇所数は以下の通りである。

- 断面修復工　　：46 柱
- 表面被覆工　　：71 柱
- ひび割れ補修工　：10 基

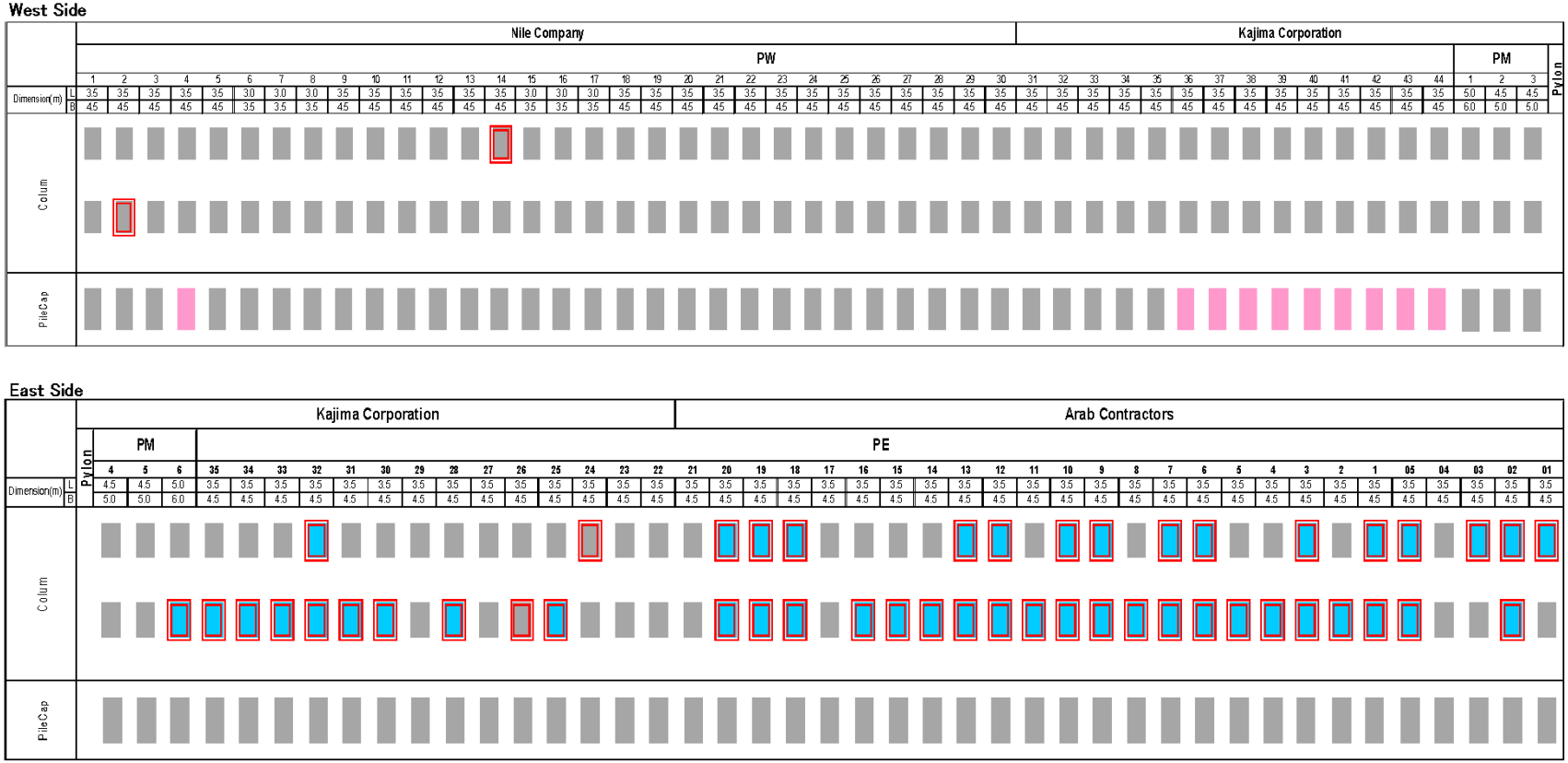
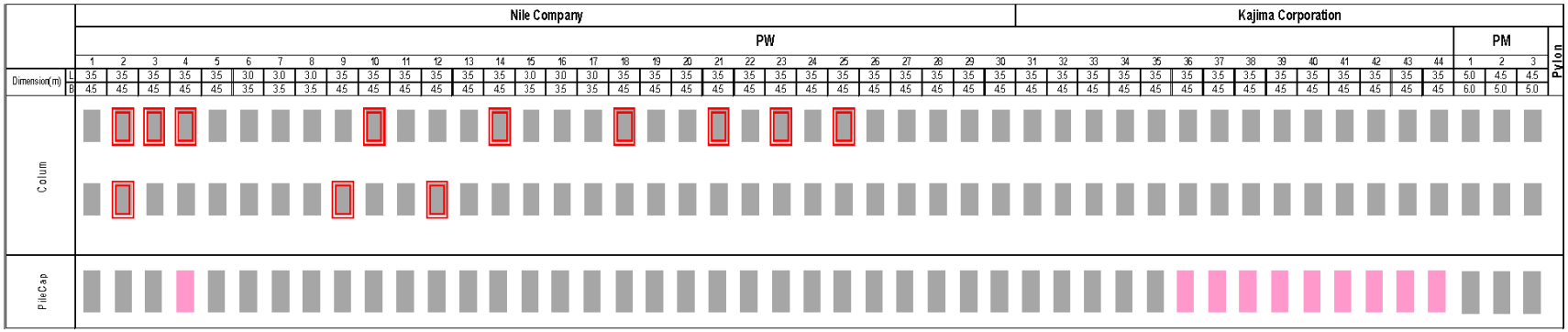
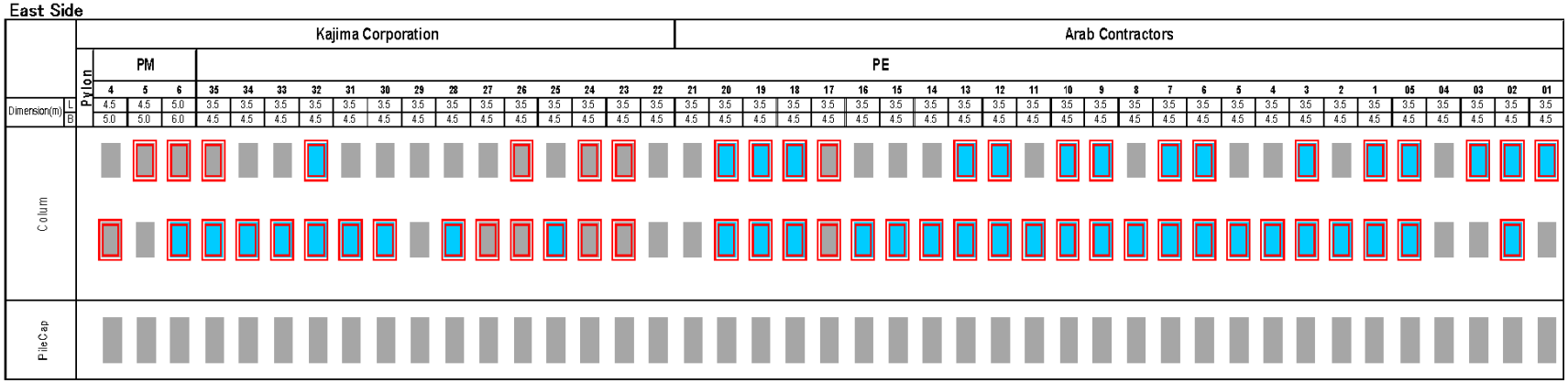


図3.3.3 補修対象箇所図（オプション1、供用後20年）

West Side



East Side



：断面修復対象橋脚柱　46柱

：ひびわれ補修対象パイルキャップ　10基

：表面被覆工対象橋脚柱(オプション2　供用後50年)　71柱(内、表面被覆のみ＝25柱)

図3.3.4　補修対象箇所図（オプション 2、供用後 50 年）

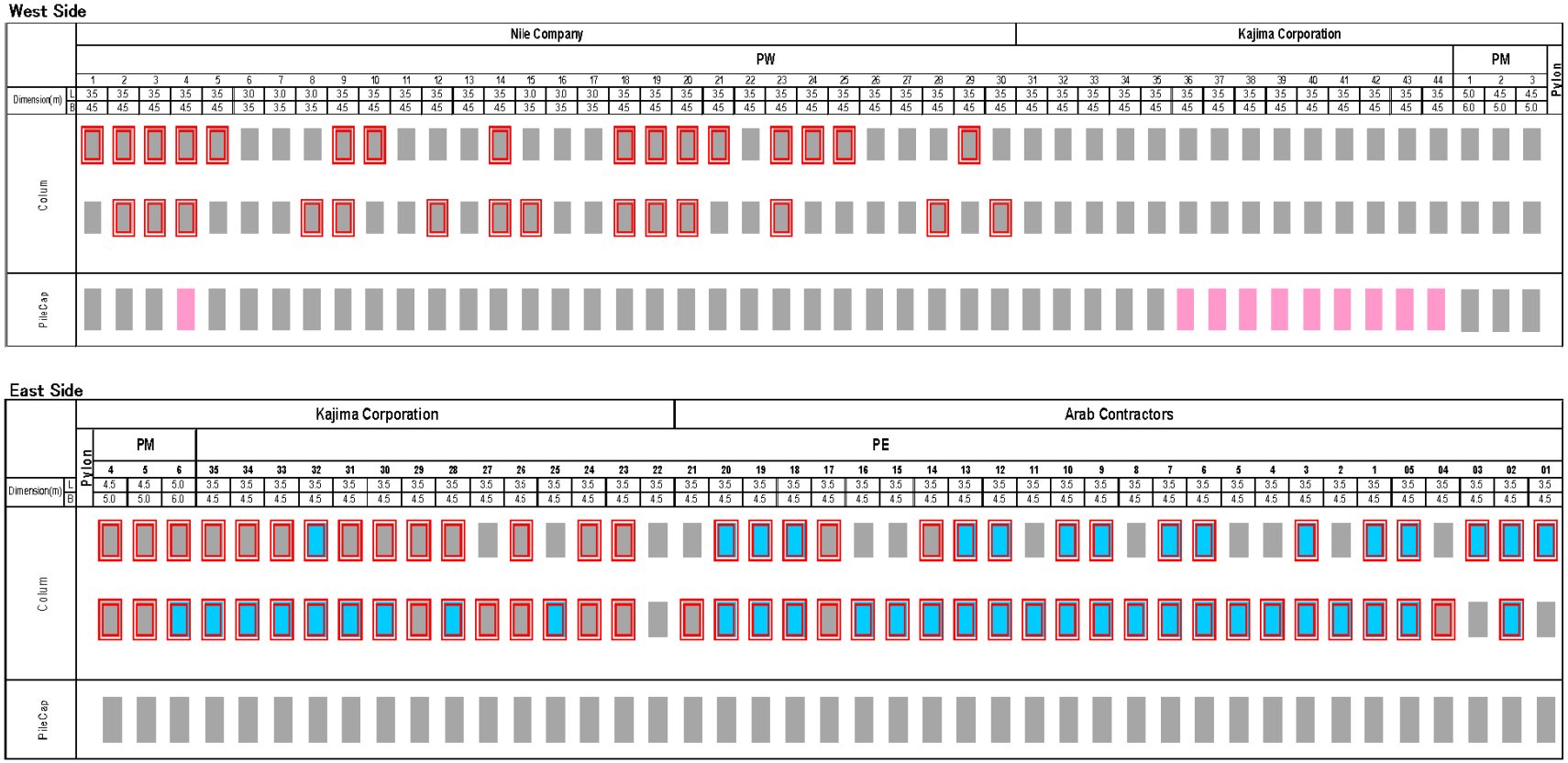


図3.3.5 補修対象箇所図（オプション3、供用後100年）

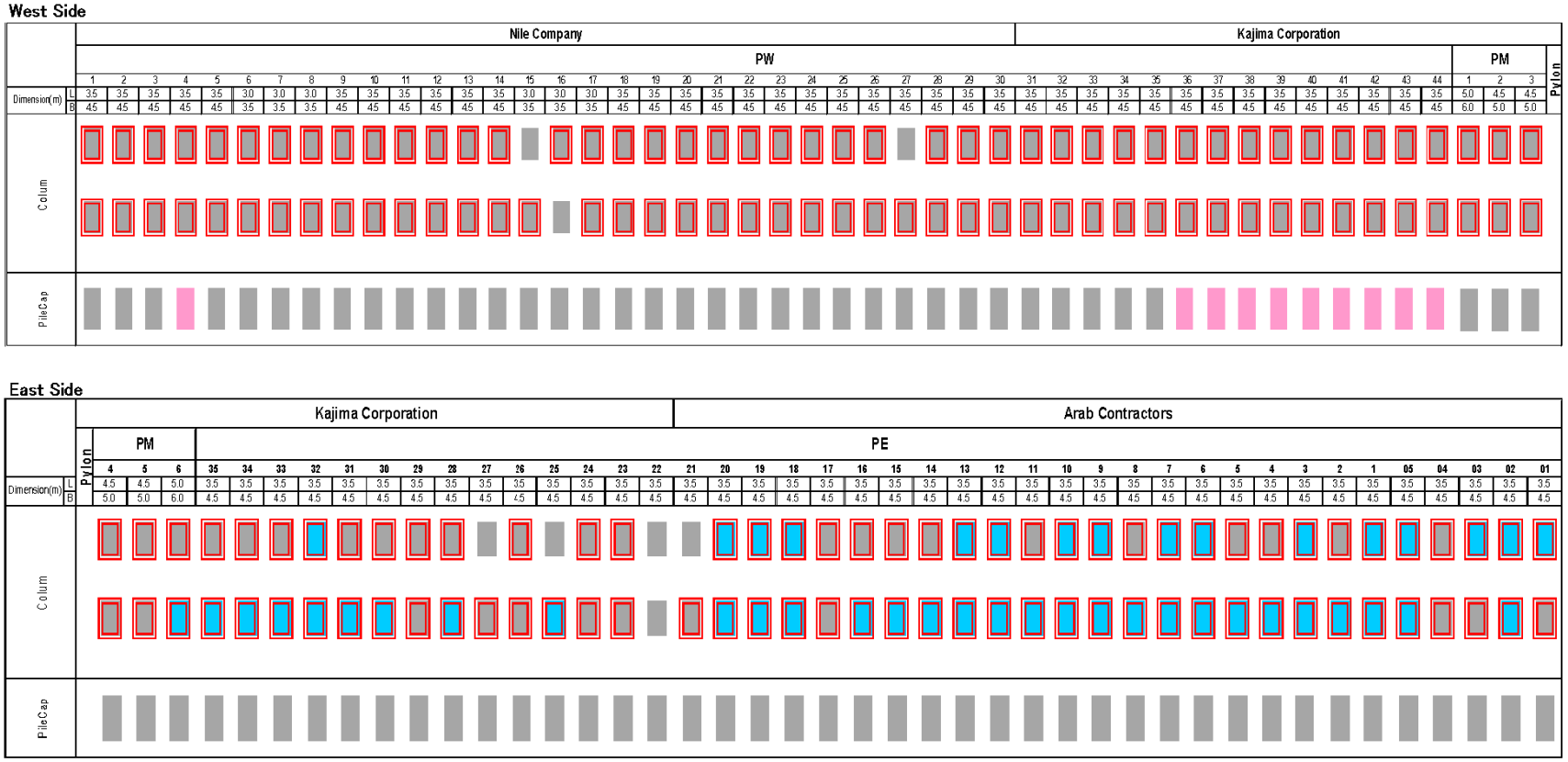


図3.3.6　補修対象箇所図（オプション4、すべてのかぶり厚不足箇所）

3.4　詳細設計

「3.3. 補修箇所・方法の検討」で決定した補修工法について、詳細設計を実施した。図 3.4.1 に断面修復工、図 3.4.2 に表面被覆工、および図 3.4.3 にひび割れ補修工の詳細設計図の一例を示す。全補修対象の詳細設計図は、別冊「図面集」に示す。

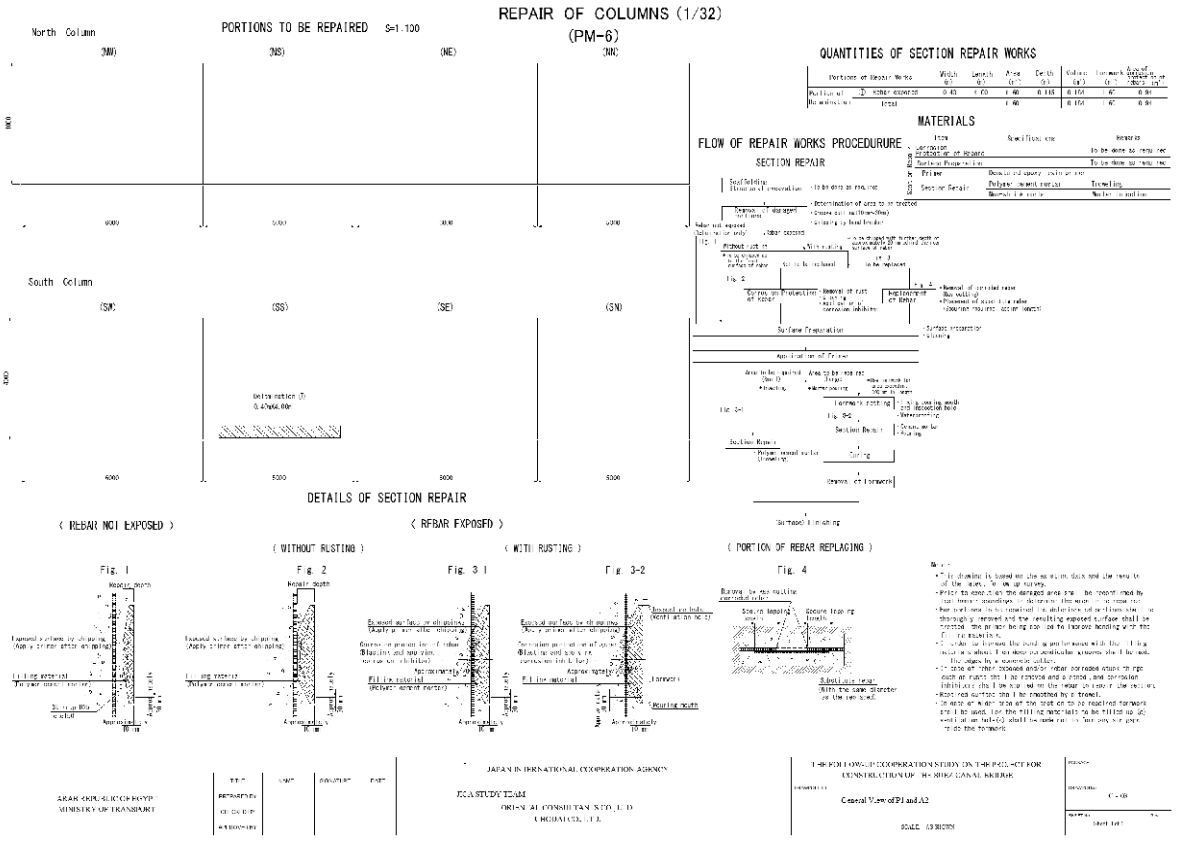


図3.4.1　断面修復工

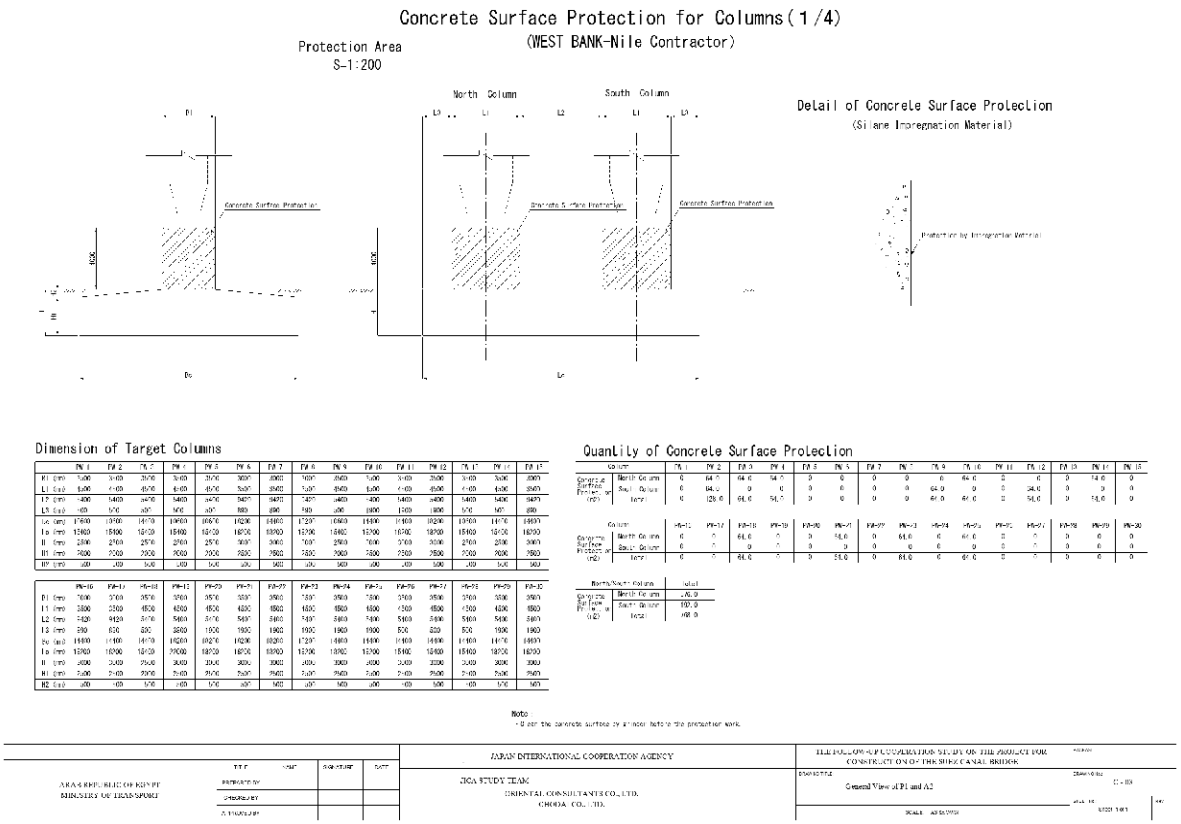


図3.4.2　表面被覆工

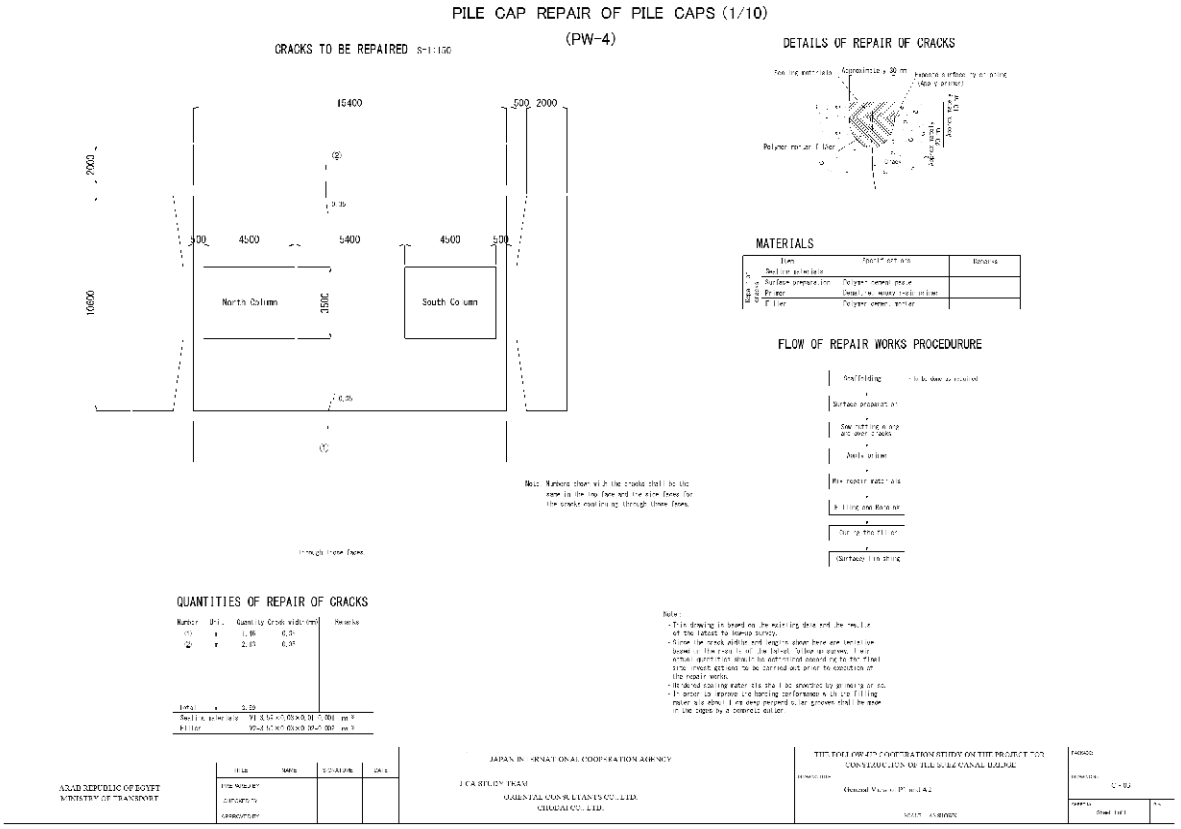


図3.4.3　ひび割れ補修工

4. 施工計画／調達計画

4.1 施工計画

4.1.1 断面修復工

(1) 概要

腐食発生環境に置かれた鉄筋によってコンクリートに「うき」や「剥離、鉄筋露出」が確認された箇所の補修工法は「断面修復」とする。

(2) コンクリートはつりエ

1) 目的

コンクリートの「うき」や「剥離、鉄筋露出」が確認された箇所において、鉄筋の防錆処理または置換を行うため、表面のコンクリートをはつる。

2) 手順と留意点

① 損傷箇所の識別

- 施工監理技術者（エンジニア）の判断の元、ハンマーの打撃音からコンクリートのうきの発生している箇所を識別する。

② 修復箇所表面の前処理

- ディスクカッターによって、はつり面の周囲を切断する。
- 鉄筋を傷つけないよう、切断深さは 30 ㎜程度とする。

③ コンクリートはつり

- ハンドブレーカーによって修復箇所のコンクリートをはつる。
- はつり深さは、鉄筋を露出させるため 100 ㎜程度とする。
- コンクリートはつりにより鉄筋に損傷を与えないよう注意する。

(3) 鉄筋防錆処理工

1) 目的

コンクリート構造物の劣化・損傷の原因となる鉄筋の防錆処理を行う。

2) 手順と留意点

① 錆の除去

- ワイヤーブラシ、ブラスト工法により、鉄筋表面の錆を除去する。

② 鉄筋の洗浄

- ウォータージェットにより、鉄筋表面に付着した汚れを落とす。

③ 防錆処理

- 防錆材を鉄筋に塗布する。

(4) 鉄筋置換工

1) 目的

鉄筋の発錆が著しい箇所においては、防錆処理ではなく鉄筋の置換を行う。

2) 手順と留意点

① 鉄筋の除去

- 鉄筋の腐食した部分をガス切断等により切断、撤去する。

② 鉄筋の置換

- 既設鉄筋と新設鉄筋を、必要なラップ長を確保して結合する。

(5) 断面修復工（グラウト注入）

1) 目的

コンクリートの「うき」や「剥離、鉄筋露出」が確認された箇所において、鉄筋防錆処理後または鉄筋置換後に、型枠を用いてグラウト材で断面を修復する。

2) 手順と留意点

① 表面処理

- はつり面をハンドブレーカーにより削り、強度のあるコンクリート面を出す。
- 高圧水によってコンクリート表面に付着する汚れ等を除去する。

② 型枠の設置

- 型枠を設置する。
- 断面修復材の注入および注入後の確認に使用するパイプを 2 本設置する。

③ 断面修復材の注入

- 設置したパイプより断面修復材を注入する。
- もう一方のパイプによって、注入が完了したか確認する。
- 型枠を撤去する。

(6) 断面修復工（モルタル補修）

1) 目的

コンクリートの「うき」や「剥離、鉄筋露出」が確認された箇所において、鉄筋防錆処理後または鉄筋置換後に、左官によりモルタルで断面を修復する。

2) 手順と留意点

① 表面処理

- はつり面をハンドブレーカーにより削り、強度のあるコンクリート面を出す。
- 高圧水によってコンクリート表面に付着する汚れ等を除去する。

② 断面修復材の充填

- 左官工法により断面修復材を充填する。

4.1.2 表面被覆工

(1) 概要

コンクリート構造物の劣化、変状の原因として、中性化、塩害、アルカリ骨材反応、凍害等があげられる。これらは、大気中の炭酸ガス、酸素、水分、塩分等の劣化因子が内部に浸透することによりもたらされるもので、防止策としてはこれら劣化因子の内部浸透を抑制する表面被覆工が有効である。

表面被覆工を行うにあたり、東側工区は柱基部が土砂で覆われているため、土砂を掘削した上で、表面被覆を行った後、埋め戻しを行う。

また、当該橋梁に沿って北/南側に、管理用の道路があり、掘削により管理用道路が破損される場合は、現状復旧を行う。

(2) 掘削・埋戻し

1) 目的

土砂で覆われた柱基部の表面被覆を行うため、土砂を掘削し、表面被覆後、埋め戻しを行う。

2) 手順と留意点

① 掘削

- バックホウにより、橋脚の全周にわたり掘削を行う。
- 掘削勾配は、1：1.0～2.0 とする。

② 埋め戻し

- 表面被覆後、土砂の埋め戻しを行う。

③ 舗装

- 土砂の掘削により破壊された道路（舗装）を復旧する。

(3) 表面被覆工

1) 目的

コンクリート内部に劣化因子が浸透することを抑制するため、表面を被覆する。

2) 手順と留意点

① 足場設置

- 柱基部から 4mの高さまで足場を設置する。

② 表面処理

- グラインダーによってコンクリート表面を滑らかにする。
- 高圧水によってコンクリート表面に付着する汚れを除去する。

③ 表面被覆

- 含浸材（シラン系）の表面被覆材をコンクリート表面に塗布する。

4.1.3 ひび割れ補修工

1) 目的

ひび割れによるコンクリート構造物の防水性・耐水性の低下を回復させるため、ひび割れを補修する。

2) 手順と留意点

① 損傷箇所の識別

- 施工監理技術者（エンジニア）の判断の元、クラックスケールを用いて修復が必要なひび割れを識別する。

② U字カット

- ディスクカッターでひび割れに沿ってU字形の切り口を入れる。

③ 表面処理

- ワイヤーブラシにより切り口の表面を滑らかにする。

④ 充填

- 切り口に充填材を充填する。

4.2 調達計画

4.2.1 現地建設業者

エジプト国における建設業者は、その規模、実績等により、クラス 1～7 に分類される。各クラスの条件を表 4.2.1 に示す。

表4.2.1 建設業者カテゴリーの条件

クラス	1	2	3	4	5	6	7
資本金 (百万 EGP)	10	5	2	1.5	0.5	0.1	0.1
創業年数（年）	20	12	8	5	3	1	—
技術者数 （うち、有資格者数）	25 (6*)	15 (4**)	10 (3***)	7	2	1	1
財務管理	財務担当責任者の下、 一括管理			会計士およびアシスタントによる管理		—	—
経営管理	一括管理			—	—	—	—
過去 5 年の受注実績 (百万 EGP)	40	20	15	6	2	0.4	—
過去 5 年の受注実績 のうち最も高い受注額 (百万 EGP)	20	12	7	4	2	0.4	—
受注限度額 (百万 EGP)	上限なし	37.5	22.5	12	6	3	0.75

* International Projects Management Association (IPMA) Certificate, Level (B)
** International Projects Management Association (IPMA) Certificate, Level (C)
*** International Projects Management Association (IPMA) Certificate, Level (D)
出展：The Egyptian Federation of Construction and Building Contractors

なお、クラス 1 に分類されかつ道路・橋梁分野の工事実績がある建設業者数は 13、クラス 2 に分類されかつ道路・橋梁分野の工事実績がある建設業者数は 3 である。

4.2.2 労務

クラス 1 に分類される建設業者より、本事業における補修工事を実施するための十分な技術力を持った建設技術者を調達することが可能である。

4.2.3 建設資材

本事業における補修工事で必要となる主要資材は以下の通りである。

- 鉄筋防錆材
- 型枠用セメントモルタル
- 左官用セメントモルタル
- コンクリート表面被覆材（シラン系含浸材）
- クラック注入材
- 鉄筋

これら資材は、化学製品を取り扱うグローバル企業（SIKA、BASF 等）のエジプト国内支店（カイロ、アレクサンドリア等）より調達可能である。

4.2.4　建設機材

本事業における補修工事では特殊な建設機材を必要としない。ハンドブレーカー、グラインダー、バックホウ等、必要となる機材は、クラス 1 に分類される建設業者が保有している。

4.3　　工程計画

補修工事の工程表を図 4.3.1 に示す。

施工期間は、準備工、片付け工を含め、5.0 ヶ月となる。

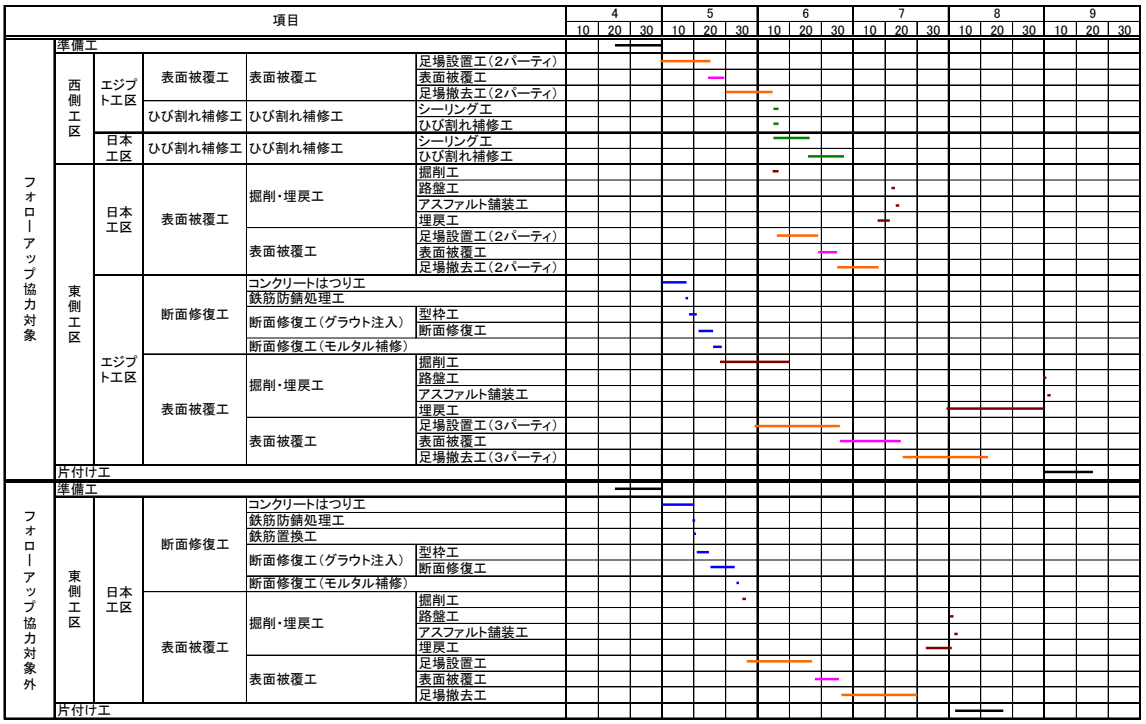


図4.3.1　補修工事工程表

5. 概略事業費

5.1 補修工事の担当実施機関

2011 年 8 月 17 日に行われた、現地調査結果報告会議において、各工区の損傷に対する責任および補修工事の担当実施機関（費用負担）が協議された。

協議の結果、当初建設時の施工会社は、下記の理由により費用負担の義務はないと結論付けされたが、同施工会社の提案により、当初建設した工区（西側日本工区、東側日本工区）の断面補修および表面被覆は、自主的に費用を負担し補修を行うこととなった。

- 建設当時の施工記録を確認したところ、セメント、骨材の塩分試験を定期的に実施し、また全て規定値を満足しており、適切に管理していたと言える。
- かぶり不足が認められるものの、建設後 10 年が経過しており、また構造的に大きな問題とならないため、過失は問えない。
- 無償資金協力事業の瑕疵期間である 1 年は既に経過している。

以上より、表 5.1.1 に示すとおり、西側のエジプト工区、日本工区、東側のエジプト工区、日本工区の一部を JICA が担当し、東側の日本工区の一部を当初建設時の施工会社が担当することとなった。

なお、施工会社が担当する工区は、本フォローアップ協力の対象外とする。

表5.1.1 補修工事担当実施期間

フォローアップ協力	フォローアップ協力対象				F/U 対象外
工区	西側工区		東側工区		東側工区
	エジプト工区	日本工区	日本工区	エジプト工区	日本工区
担当実施機関	JICA				当初建設時の施工会社
断面修復工	0 柱	0 柱	0 柱	36 柱	10 柱
表面被覆工	12 柱	0 柱	11 柱	38 柱	10 柱
ひび割れ補修工	1 基	9 基	0 基	0 基	0 基

5.2　工事数量

各工区における工事数量を表 5.2.1 に示す。

表5.2.1　工事数量

No.	工種		単位	フォローアップ協力対象					フォローアップ協力対象外	
				数量					数量	
				西側工区		東側工区		合計	東側工区	合計
				エジプト工区	日本工区	日本工区	エジプト工区		日本工区	
1	断面修復工	コンクリートはつり工	m2				9.175	9.175	11.650	11.650
2		鉄筋防錆処理工	m				63.870	63.870	78.200	78.200
3		鉄筋置換工	m					0.000	9.000	9.000
4		断面修復工(グラウト注入)	m3				0.629	0.629	1.304	1.304
5		断面修復工(モルタル補修)	m3				0.290	0.290	0.024	0.024
6	表面被覆工	表面被覆工	m2	768.000		752.000	2432.000	3952.000	664.000	664.000
7		掘削・埋め戻し	m3			334.200	4816.100	5150.300	190.300	190.300
8	ひび割れ補修工		m	3.600	643.600			647.200		0.000

5.3　概略事業費

5.3.1　フォローアップ協力対象概略事業費

フォローアップ協力対象の概略事業費（建設費のみ、設計管理費含まず）は、表 5.3.1 に示すとおり、59,210 千円（4,314 thousand EGP）となる。

表5.3.1　概略事業費（フォローアップ協力対象）

名 称	規 格	単位	数量	単価			金額			日本円換算
				日本円	現地貨	米ドル	日本円	現地貨	米ドル	
橋脚補修工事										
1. コンクリートはつり工		m2	9.175		225			2,064		28,332
2. 鉄筋防錆処理工		m	63.870		85			5,429		74,507
3. 鉄筋置換工		m	-	-	-	-	-	-	-	-
4. 断面修復工(グラウト注入)		m3	0.629		16,000			10,064		138,119
5. 断面修復工(モルタル補修)		m3	0.290		13,500			3,915		53,730
6. 表面被覆工(含浸材)		m2	3,952.000		630			2,489,760		34,169,546
8. 掘削・埋戻し		m3	5,150.300		330			1,699,599		23,325,351
9. ひび割れ補修工		m	647.200		160			103,552		1,421,151
合計								4,314,383		59,210,735

5.3.2　フォローアップ協力対象外概略事業費

フォローアップ協力対象外の概略事業費（建設費のみ、設計管理費含まず）は、表 5.3.2 に示すとおり、7,031 千円（512 thousand EGP）となる。

表5.3.2　概略事業費（フォローアップ協力対象外）

名 称	規 格	単位	数量	単価			金額			日本円換算
				日本円	現地貨	米ドル	日本円	現地貨	米ドル	
橋脚補修工事										
1. コンクリートはつり工		m2	11.650		225			2,621		35,974
2. 鉄筋防錆処理工		m	78.200		85			6,647		91,224
3. 鉄筋置換工		m	9.000		90			810		11,116
4. 断面修復工（グラウト注入）		m3	1.304		16,000			20,864		286,338
5. 断面修復工（モルタル補修）		m3	0.024		13,500			324		4,447
6. 表面被覆工（含浸材）		m2	664.000		630			418,320		5,741,037
8. 掘削・埋戻し		m3	190.300		330			62,799		861,855
9. ひび割れ補修工		m	－		160			－		－
合計								512,385		7,031,992

6. 事業実施計画

6.1 概要

本事業はフォローアップ協力事業であり、補修工事は、JICA エジプト事務所発注の下、現地建設業者により実施される予定である。

2011 年 11 月、本フォローアップ調査が終了後、入札補助・施工監理を行う本邦コンサルタントの調達を行い、2012 年 1 月中旬から 4 月中旬にかけて、エジプト国において工事の入札を行う。その後、2012 年 4 月中旬より 9 月中旬までの 5 ヶ月を工期とし、工事を行う。

6.2 事業実施工程

本事業の事業実施工程表を表 6.2.1 に示す。

表6.2.1 事業実施工程表

項目 ＼ 年月		2011年					2012年											
		8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
フォローアップ協力調査期間	詳細設計	━	━	━	━													
	入札図書作成			━	━													
コンサルタント調達期間	入札補助・施工監理					━	━											
入札補助・施工管理期間	入札補助						━	━	━	━								
	施工監理									━	━	━	━	━	━			
工事入札期間	入札図書承認						━											
	公示						★											
	図渡し・現説							━										
	入札								★									
	入札評価									━								
	業者契約									★								
工事期間	準備工									━								
	断面修復工										━							
	表面被覆工										━	━	━	━				
	ひび割れ補修工											━						
	片付け工														━			

7. 維持管理計画

7.1 現在の点検内容

「OPERATION AND MAINTENANCE MANUAL (THE KAJIMA - NKK - NIPPON STEEL CONSORTIUM JULY 2001)」に記載されている点検内容を表 7.1.1、7.1.2 に示す。

表7.1.1 メイン部分（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	つまり	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）

表7.1.2　アプローチ部分（コンクリート）

部材	点検内容	点検方法	点検頻度
支承	汚れ 塗装の劣化 PTFE ディスク表面の点検 風通しの点検 腐食の点検	未記載	定期点検（5 年に 1 回）
伸縮装置	汚れ 継ぎ目のシール材の状態 コンクリートの状態	未記載	定期点検（6 ヶ月に 1 回）
	舗装の補修後 砂嵐通過後	未記載	緊急点検
排水装置	排水溝のつまり点検	未記載	日常点検（1 週間に 1 回）
	排水管の点検 排水溝の点検	未記載	定期点検（6 ヶ月に 1 回）
主塔ライト装置	接地抵抗の点検 電線の点検	未記載	定期点検（1 年に 1 回）
主塔	梯子の状態 手すりの状態 マンホールの状態	未記載	定期点検（1 年に 1 回）
航空機用警告ライト	通電の点検	未記載	定期点検（6 ヶ月に 1 回）
地震計	通電の点検 記録計の点検	未記載	定期点検（6 ヶ月に 1 回）
電力システム	ケーブルとアースの絶縁測定	未記載	定期点検（6 ヶ月に 1 回）
	電線の固定金物の点検 接続の点検	未記載	（3 ヶ月に 1 回）
	漏電遮断器の点検	未記載	定期点検（1 年に 1 回）
	ねずみの形跡の調査	未記載	（1 ヶ月に 1 回）
アスファルト舗装	変化の点検	未記載	日常点検(1 週間に 1 回)
	ひび割れなどの調査	未記載	定期点検（6 ヶ月に 1 回）
路面表示、縁石表示	表示磨耗の点検	未記載	定期点検（1 年に 1 回）

7.2　橋脚およびパイルキャップの維持管理計画

7.2.1　点検方法

(1)　点検内容

現地調査の結果、橋脚コンクリートの損傷原因は塩害であることが特定され、パイルキャップのひび割れは施工時のセメントの水和熱に起因するものであることが特定された。

橋脚やパイルキャップの点検方法は「OPERATION AND MAINTENANCE MANUAL」に記載されていないことから、「橋梁定期点検要領（案）　国土交通省　国道・防災課　平成 16 年 3 月」を基本として、表 7.2.1 に示すとおり点検方法を定めた。

表7.2.1　橋脚およびパイルキャップの点検方法

部材	点検内容	点検方法	点検頻度
コンクリート （損傷、劣化）	遊離石灰・漏水	目視点検	毎日／定期点検　（1 年に 1 回）※1
	うき	たたき試験	定期点検　（5 年に 1 回）※1
	ひび割れ	クラックゲージ	定期点検　（5 年に 1 回）※1
	中性化	はつり調査	定期点検　（5 年に 1 回）※2
	塩害	ドリリングまたは コアサンプリング	定期点検　（5 年に 1 回）※2
鉄筋　（腐食）	腐食度	はつり調査 自然電位法	臨時点検／緊急点検※3

※1　「橋梁定期点検要領（案）　国土交通省　国道・防災課　平成 16 年 3 月」を準用して定めた。
※2　現地調査の結果、塩害・中性化ともに進行していることが判明したため、経過観測の観点より点検頻度を定めた。
※3　鉄筋腐食の点検は定期点検項目に含まれないことから、コンクリートのうきやひび割れ等の進展が見られた場合に点検するように定めた。

(2) 点検方法

1) 遊離石灰・漏水

a) 一般的性状・損傷の特徴

コンクリートの打継目やひび割れ部等から、水や石灰分の滲出や漏出が生じている状態。

b) 他の損傷との関係

- 排出不良などでコンクリート部材の表面を伝う水によって発生している折出物は、遊離石灰とは区分しない。
- 外部から供給されそのままコンクリート部材の表面を流れている水については、別途排出不良や滞水として評価する。
- ひび割れ、うき、剥離など他に該当するコンクリートの損傷についてはそれぞれの項目でも評価する。

c) 損傷程度の評価と記録

損傷程度の評価区分

損傷程度の評価は、次の区分によるものとする。

表7.2.2 遊離石灰・漏水損傷程度の評価

区分	一般的状況
a	損傷なし
b	ー
c	ひび割れから漏水が生じているが、錆汁や遊離石灰はほとんど見られない。
d	ひび割れから遊離石灰が生じているが、錆汁はほとんど見られない。
e	ひび割れから著しい漏水や遊離石灰が生じている。あるいは漏水に著しい泥や錆汁の混入が認められる。

その他の記録

漏水・遊離石灰の発生位置やその範囲・状況をスケッチや写真で記録するとともに、漏水のみか、遊離石灰が発生しているかの区分や錆汁の有無についても記録する。さらに当該部分のひび割れ状況を損傷図に記載する。

2) うき

a) 一般的性状・損傷の特徴

コンクリート部材の表面付近が浮いた状態。

コンクリート表面に生じる膨らみなどの変状から目視で判断できない場合も、打音検査において濁音を生じることで検出できる。

b）他の損傷との関係

- ういた部分のコンクリートが剥離した場合には、剥離・鉄筋露出として評価する。

c）損傷程度の評価と記録

損傷程度の評価区分

損傷程度の評価は、次の区分によるものとする。

表7.2.3　うき損傷程度の評価

区分	一般的状況
a	損傷なし
b	－
c	－
d	－
e	うきがある。

その他の記録

コンクリートのうきの発生位置やその範囲・状況をスケッチや写真で記録するとともに、代表的な損傷の主要寸法を損傷図に記載する。

3)　ひび割れ

a）一般的性状・損傷の特徴

コンクリート部材の表面にひび割れが生じている状態。

b）他の損傷との関係

- ひび割れ以外に、コンクリートの剥落や鉄筋の露出などその他の変状を生じている場合には、別途それに対しても評価する。

c）損傷程度の評価と記録

損傷程度の評価区分

損傷程度の評価は、次の区分によるものとする。

表7.2.4　ひび割れ損傷程度の評価

区分	最大ひび割れ幅に着目した程度	最小ひび割れ間隔に着目した程度
a	損傷なし	損傷なし
b	小	小
c	小	大
	中	小
d	中	大
	大	小
e	大	大

上記損傷の程度は、表 7.2.5、7.2.6 により決定する。

表7.2.5　最大ひび割れ幅に着目した程度

区分	一般的状況
大	ひび割れ幅が大きい（0.3mm 以上）
中	ひび割れ幅が中位（0.2mm 以上 0.3mm 未満）
小	ひび割れ幅が小さい（0.2mm 未満）

表7.2.6　最小ひび割れ間隔に着目した程度

区分	一般的状況
大	ひび割れ間隔が小さい（最小ひび割れ間隔が 0.5m 未満）
小	ひび割れ間隔が大きい（最小ひび割れ間隔が 0.5m 以上）

その他の記録

ひび割れ発生位置やその範囲・状況をスケッチや写真で記録するとともに、代表的な損傷の主要寸法を損傷図に記載する。

4)　中性化、塩害、腐食度

中性化、塩害、腐食度の調査は再委託によって行う。再委託調査内容は以下に示すとおりである。

(A) はつり調査

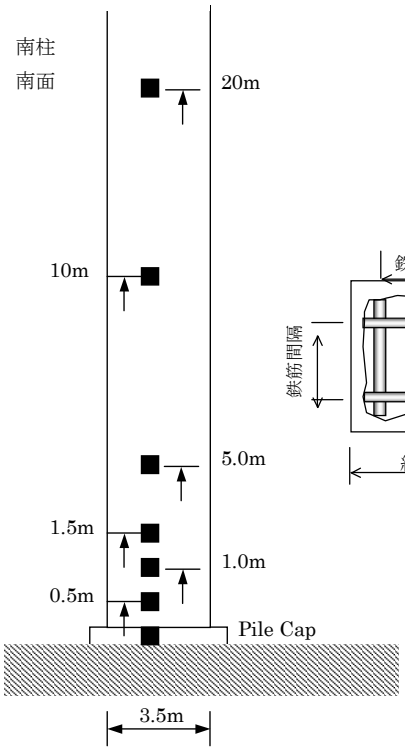
はつり調査により、中性化の進行状況および腐食状況の確認を行う。はつり調査後は断面修復材を用いて修復する。

①　鉄筋探査による鉄筋位置の確認

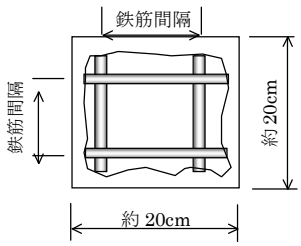
RC レーダーを用い、はつり調査を行う位置を墨出しする。はつり調査を行う範囲は帯鉄筋と主鉄筋が直交する部位を測定し、20 cm 程度の正方形をチョーキングする。

②　はつり調査の実施

所定の位置をはつり、中性化の進行状況および腐食状況の調査を行う。はつりは、南柱の南面とし、20×20 cm の大きさとする。はつり調査は始めに 20 cm の正方形部分にカッター目を入れ、はつり出しを行う。



はつり調査実施箇所（例）



はつり形状

はつりイメージ

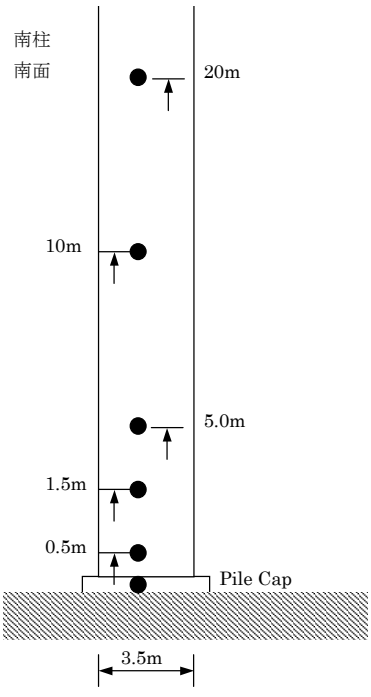
(B) コア採取

コンクリートコア分析にて行う各種試験の供試体として、コア採取を行う。

① コア採取

採取位置

条件の異なる数箇所（西側エジプト工区、西側日本工区、東側エジプト工区、東側日本工区）にてコア採取を行う。



コア採取箇所（例）

コア寸法等

- コアの外径はφ45㎜とする。
- コアの長さは20㎝とする。
- コアは橋脚に損傷を与えることとなるため採取する数量は必要最小限の数量とする。
- 採取後のコア孔は、適切な補修材料により断面修復を行い、養生を実施する。

コア採取時の留意点

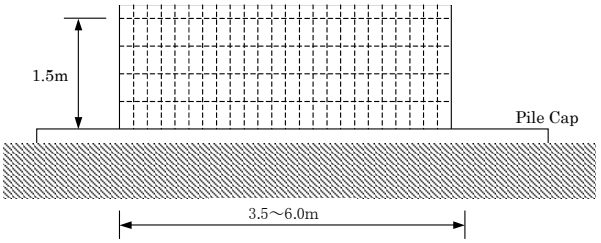
- RC レーダーを使用し、コアマシン設置位置を正確に墨出しする。
- コア採取中に鉄筋と干渉した際は鉄筋を切断せずに、再度採取位置を測定する。

(C) 鉄筋腐食状況調査

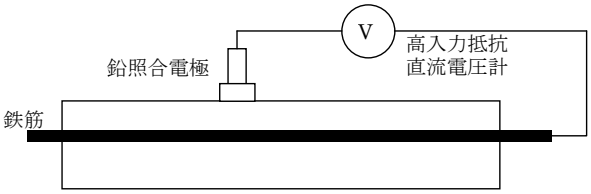
鉛照合電極を用いて自然電位を測定し、コンクリート中の鉄筋の腐食状況を診断する。

測定位置は、各柱の面に対して、Pile Cap から高さ 1.5mの範囲で 30cm 間隔で測定し、電位をマッピングする。

なお、測定前にコンクリートコアマシン（φ70㎜）を用いて鉄筋を一部露出させ、これをアースとして自然電位を測定する。測定完了後は、断面修復材により修復する。



自然電位の測定位置



自然電位の測定概要

(D) コンクリートコア分析

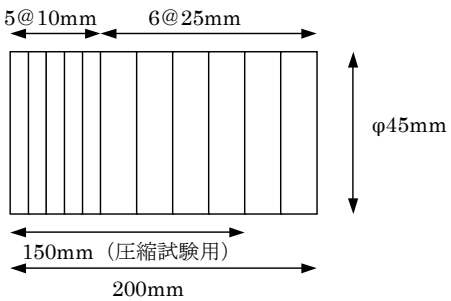
採取したコンクリートコアを用い、以下の試験を実施する。

- 圧縮強度試験
- 静弾性係数試験
- 中性化試験
- 塩化物試験

現地調査で採取したコンクリートコアに対し、圧縮強度、静弾性係数、単位容積質量、中性化深さならびに塩化物イオン濃度を測定する。試験手順を以下に示す。

＜試験手順＞

① 直径の 2 倍の長さにコアを切断する。
② 直径、高さならびに質量を測定する。
③ キャッピングを行い、端面を平行かつ平滑に仕上げる。
④ 対抗する 2 面の高さ方向にひずみゲージを貼り付ける。
⑤ 圧縮試験機により、圧縮試験を実施するとともにひずみゲージからの出力を静ひずみ測定器により一定荷重間隔で記録する。
⑥ 圧縮試験後、キャッピングおよびひずみゲージを取り外し、割裂により供試体を高さ方向に半割する。直ちにフェノールフタレインアルコール溶液を噴霧し、表面から赤紫色に着色した位置までの長さを 5 箇所で測定し記録するとともに写真撮影する。
⑦ 割裂した供試体を合わせてテープ等で一体化した後、右図に示す間隔で切断して塩分分析用試料とする。



コアの切断位置

⑧ 切断して得られた試料を粉砕して塩化物イオン濃度測定用試料とする。
⑨ 塩化物イオン濃度測定を実施する。塩素イオンの分析は電位差滴定法による。

7.2.2 補修方法

今後の点検で損傷等が見つかった場合、下記の手順に従って補修を実施する。

(1) 断面修復工

1) 概要

腐食発生環境に置かれた鉄筋によってコンクリートに「うき」や「剥離、鉄筋露出」が確認された箇所の補修工法は「断面修復」とする。

2) コンクリートはつり工

目的

コンクリートの「うき」や「剥離、鉄筋露出」が確認された箇所において、鉄筋の防錆処理または置換を行うため、表面のコンクリートをはつる。

手順と留意点

① 損傷箇所の識別

- 施工監理技術者（エンジニア）の判断の元、ハンマーの打撃音からコンクリートのうきの発生している箇所を識別する。

② 修復箇所表面の前処理

- ディスクカッターによって、はつり面の周囲を切断する。
- 鉄筋を傷つけないよう、切断深さは 30 ㎜程度とする。

③ コンクリートはつり

- ハンドブレーカーによって修復箇所のコンクリートをはつる。
- はつり深さは、鉄筋を露出させるため 100 ㎜程度とする。
- コンクリートはつりにより鉄筋に損傷を与えないよう注意する。

3) 鉄筋防錆処理工

目的

コンクリート構造物の劣化・損傷の原因となる鉄筋の防錆処理を行う。

手順と留意点

① 錆の除去

- ワイヤーブラシ、ブラスト工法により、鉄筋表面の錆を除去する。

② 鉄筋の洗浄

- ウォータージェットにより、鉄筋表面に付着した汚れを落とす。

③ 防錆処理

- 防錆材を鉄筋に塗布する。

4) 鉄筋置換工

目的

鉄筋の発錆が著しい箇所においては、防錆処理ではなく鉄筋の置換を行う。

手順と留意点

① 鉄筋の除去

- 鉄筋の腐食した部分をガス切断等により切断、撤去する。

② 鉄筋の置換

- 既設鉄筋と新設鉄筋を、必要なラップ長を確保して結合する。

5) 断面修復工（グラウト注入）

目的

コンクリートの「うき」や「剥離、鉄筋露出」が確認された箇所において、鉄筋防錆処理後または鉄筋置換後に、型枠を用いてグラウト材で断面を修復する。

手順と留意点

① 表面処理

- はつり面をハンドブレーカーにより削り、強度のあるコンクリート面を出す。
- 高圧水によってコンクリート表面に付着する汚れ等を除去する。

② 型枠の設置

- 型枠を設置する。
- 断面修復材の注入および注入後の確認に使用するパイプを 2 本設置する。

③ 断面修復材の注入

- 設置したパイプより断面修復材を注入する。
- もう一方のパイプによって、注入が完了したか確認する。
- 型枠を撤去する。

6) 断面修復工（モルタル補修）

目的

コンクリートの「うき」や「剥離、鉄筋露出」が確認された箇所において、鉄筋防錆処理後または鉄筋置換後に、左官によりモルタルで断面を修復する。

手順と留意点

① 表面処理

- はつり面をハンドブレーカーにより削り、強度のあるコンクリート面を出す。
- 高圧水によってコンクリート表面に付着する汚れ等を除去する。

② 断面修復材の充填

- 左官工法により断面修復材を充填する。

(2) ひび割れ補修工

目的

ひび割れによるコンクリート構造物の防水性・耐水性の低下を回復させるため、ひび割れを補修する。

手順と留意点

① 損傷箇所の識別

- 施工監理技術者（エンジニア）の判断の元、クラックスケールを用いて修復が必要なひび割れを識別する。

② U字カット

- ディスクカッターでひび割れに沿ってU字形の切り口を入れる。

③ 表面処理

- ワイヤーブラシにより切り口の表面を滑らかにする。

④ 充填

- 切り口に充填材を充填する。

8. 結論と提言

8.1 結論

本フォローアップ調査結果に基づく結論は、以下のとおりである。

(1) 調査・解析結果

- 約 50%の橋脚柱面でコンクリートかぶり厚不足が見られた。
- かぶり厚が不足する箇所において、はつり調査を実施したが、鉄筋の発錆は見られなかった。
- 中性化は、100 年以内に設計かぶり厚 70 ㎜に到達しない。
- コンクリートかぶり 60 ㎜以深の塩化物イオン量は 1.2 kg/m^3 より小さい。
- PE21 において、高い塩化物イオン量（1.5 kg/m^3）が見られたが、粗骨材内に固定化されており、鉄筋の腐食に影響を与えない。
- 柱、パイルキャップに見られる「うき」「剥離・鉄筋露出」の原因は、腐食発生環境におかれた鉄筋が、地表面からの水分ならびに酸素の進入により、腐食発生に至った「塩害による損傷」と考えられる。
- パイルキャップに見られる「ひび割れ」の原因は、鉄筋腐食に起因する物では無く、ひび割れパターン、深さから、「セメントの水和熱」による温度応力と考えられる。

(2) 補修対象・方法等

- 外観に損傷がみられない箇所のうち、所定のかぶり 70 ㎜が確保されている箇所（グレードⅠ）は、補修不要とする。
- 外観に損傷はみられないが、所定のかぶりが確保されていない箇所（グレードⅠもしくはⅡ）は、補修不要（グレードⅠの場合）もしくは将来に対する予防措置が必要（グレードⅡの場合）とする。
- 現状で既に外観に損傷がみられた箇所 （所定のかぶりが確保されていない）（グレードⅢ）は、補修必要とする。

- 0.35 mm 以上のパイルキャップのひび割れは、補修必要とする。
- 補修が必要な橋脚注は 46 柱、予防措置が必要な橋脚注は 71 柱、ひび割れ補修が必要なパイルキャップは 10 基となった。
- フォローアップ協力の対象は、補修（断面修復）36 柱、予防措置（表面被覆）61 柱、ひび割れ補修 10 基となる。
- 当初の建設会社の過失は問えないものの、同建設会社の提案により、当初建設した工区（西側日本工区、東側日本工区）の断面補修および表面被覆は、建設会社が自主的に費用を負担し補修を行う。また、当該補修工事はフォローアップ協力の対象外として、補修（断面修復）10 柱、予防措置（表面被覆）10 柱が実施される。

8.2 提言

(1) 今後の維持管理

スエズ運河架橋は、当該地域の道路交通上で重要な役割を担っているだけでなく、エジプト国とわが国両国間の協働事業により建設された、両国の友好関係の象徴ともなっている。

今後も長期間にわたり、安全を確保しその機能を発揮し続けるためには、適切な維持管理を行っていくことが重要である。

本橋梁の維持管理を担当する GARBLT は、本調査で提案した維持管理計画を、確実かつ適切に実施していくことが重要である。

(2) 技術移転

今後、フォローアップ協力事業として、本橋梁の補修工事が予定されている。施工監理手法についての技術移転を目的として、本橋梁の維持管理を担当する GARBLT のエンジニアが、施工監理を担当するコンサルタントとともに施工監理を実施することを提案する。