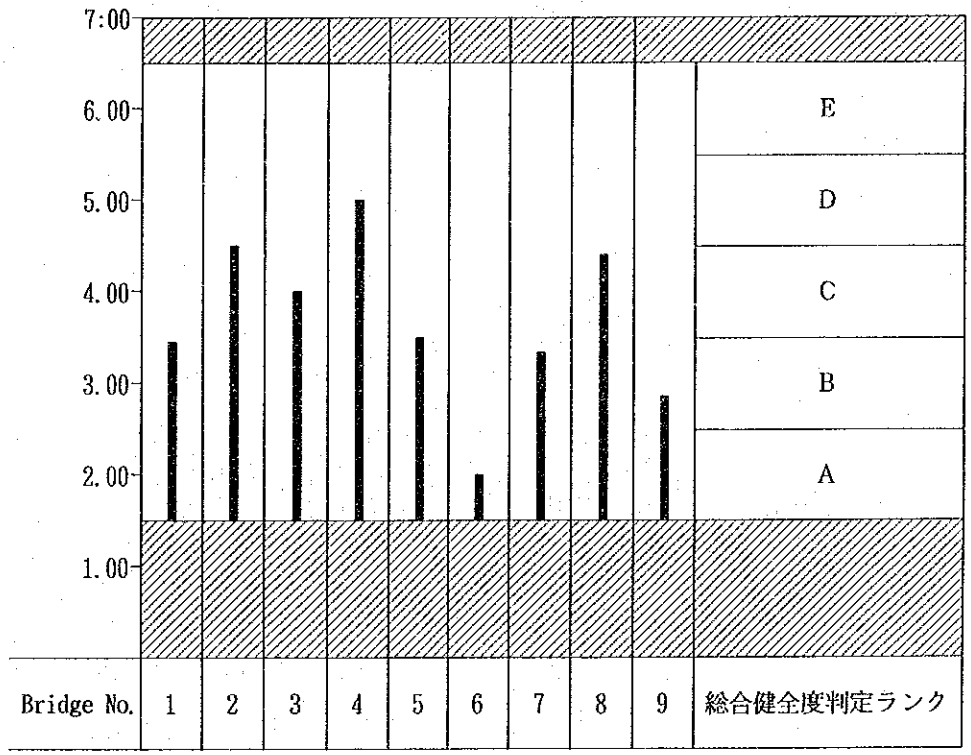
① Bridge No.1, RC Bridge with T−Girder (L=15m)
② Bridge No.2, RC Bridge with T−Girder (L=15m)
③ Bridge No.5, RC Bridge with T−Girder (L=15m)
④ Bridge No.6, RC Bridge with T−Girder (L=30m)
⑤ Bridge No.9, RC Bridge with T−Girder (L=21m)

また、全9橋に対し、理論計算（格子計算）ケースは（VolumeⅢ「Table 6.20 理論計算ケース総括表」）としてまとめた。また、その表には橋の耐荷力を得るためのAASHTO計算ケースも併せて表示している。

3.4.2 現橋の健全度評価結果

(1) 変状調査結果に基づく健全度の評価

各橋の損傷度判定ランクに基づいて健全度判定ランクを図−16のように図表化した。耐久性については、各橋評価内訳書の評点（a t）および重み係数（b t）から求めたものである（Volume Ⅲ、Table 7.2〜Table 7.10参照）。



図−16　総合健全度判定ランク表

(2) コンクリートおよび鉄筋の品質試験結果による健全度評価

3.4.1 (2)で判定ランクについて述べたように各橋の評価はコンクリートおよび鉄筋の品質試験結果による。コンクリートの品質については、表－19に評価した。また、同様に鉄筋の品質についての表－20のようである。

(3) 載荷試験による健全度評価

試験結果に基づき、鉄筋およびコンクリート応力度、たわみが算出された。これらの結果と理論計算値（格子計算）とを比較するために、載荷実験と同等な荷重体系で理論計算値を求めた。載荷荷重状態図「Volume Ⅲ、Fig 7.3-1、Fig 7.3-2」から各橋のそれぞれのケースについて桁の曲げモーメントおよび応力度、たわみを算出した。

ＲＣ橋では鉄筋応力度とたわみに着眼し、また、ＰＣ橋ではたわみに着目して、載荷実測値と理論計算値との相関グラフを「Volume Ⅲ、Fig 7.3～Fig 7.2」に示した。これらの関係は、後節で述べるＲＣ橋の耐荷力算定に用いるｆ値が大きいほどその橋は大きな耐荷力を有しているといえる。

各橋の主桁に対する死荷重および活荷重による曲げモーメント算出は、理論計算を行い「Volume Ⅲ、Table 7.14」に示されている。理論計算の詳細は、各橋について「Volume Ⅲ、Table 7.15～Table 7.19」に示されている。

(4) 耐荷力に基づく各橋の評価

1) 主桁の耐荷力

「Volume Ⅲ ６．６．４ 耐荷力に基づく各橋の評価」で述べた現行設計活荷重AASHTO HS－20において、代表的なＲＣ橋 Bridge №１、№２、№５の３橋とＰＣ橋 Bridge №６、№９の２橋、合計５橋について耐荷力および耐荷力安全度を算定する。ただし、ＲＣ橋については、主桁の荷重分配を考慮した格子計算を行っていることから、算定基準値ｆ＝1.0として曲げ破壊安全率γを算定する。また、オマーン国の新設計基準AASHTO HS－20×２活荷重の場合も併せてそれぞれ耐荷力を算定する。

また、オマーン国の設計基準60tonトラック×２倍の活荷重体系が最も大き

表－19　コンクリート品質試験結果および判定表

試験内容	橋名 No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8	No.9	評価基準値（竣工図または設計基準より）
圧縮強度（kg／cm²）	383	373 (372)	288 (245)	359 (236)	335 (264)	336 (328)	320 (333)	271	295 (211)	RC Precast $\delta_{28}=270$ RC Cast in place $\delta_{28}=215$ PC Br. No.6 $\delta_{28}=340$ PC Br. No.7、No.9 $\delta_{28}=315$
評価	Ⅰ	Ⅰ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅱ	Ⅱ	
弾性係数（kg／cm²）	3.3×10^5	2.2×10^5	2.7×10^5	2.3×10^5	2.1×10^5	3.0×10^5	2.0×10^5	2.4×10^5	3.7×10^5	RC $\delta_{28}=270$ 2.65×10^5 PC $\delta_{28}=340$ 2.92×10^5 PC $\delta_{28}=315$ 2.85×10^5
評価	Ⅰ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅰ	
引張強度（kg／cm²）	26	22	27	28	23	28	27	19	30	引張強度 ＞ 圧縮強度 × $\frac{1}{10}$
評価	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	
単位体積重量（t／m³）	2.5 (2.3)	2.4 (2.5)	2.5 (2.5)	2.4 (2.4)	2.3 (2.4)	2.4 (2.3)	2.4 (2.5)	2.2	2.4 (2.4)	2.35 t／m³
評価	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅱ	Ⅰ	
吸水率（%）	1.7	3.9 (2.2)	3.7 (2.1)	4.0	4.1	3.9 (4.2)	3.3 (2.1)	4.6	1.6 (2.1)	
評価	Ⅰ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅲ	Ⅰ	
含水比（%）	2.1	1.4 (2.3)	0.3 (1.9)	1.2	1.7	1.2 (2.5)	0.6 (1.7)	2.6	0.2 (2.4)	
評価	Ⅱ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅲ	Ⅰ	
中性化深さ（mm）	5.6	15.5 (2.2)	18.1	16.8 (22.0)	16.6 (2.7)	19.8 (3.7)	4.7 (1.8)	12.8	13.9 (0)	10～15mm（竣工後20年経過とする）
評価	Ⅰ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅰ	Ⅱ	Ⅱ	
シュミットハンマー（kg／cm²）	378 (378)	311 (291)	278 (335)	285 (343)	331 (322)	378 (308)	278 (271)	269 (252)	369 (338)	
評価	Ⅰ	Ⅰ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅰ	

注）（　）値はSlabを示す。

表－20　鉄筋品質試験結果および判定表

試験内容		橋名 No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 8	評価基準値（竣工図または設計基準値）
公称径（mm）		Dφ32	Dφ36	Dφ36	Dφ36	Dφ32	Dφ36	φ32　6.403 φ36　7.906
単位重量（kg／m）		6.24	7.79	7.78	7.98	6.00	7.87	
降伏点応力度（kg／mm²）		46	42	42	42	47	42	30 ～ 40
	評価	I	I	I	I	I	I	
引張強度（kg／mm²）		64	67	63	64	69	66	More than 50
	評価	I	I	I	I	I	I	
伸び（%）		19	20	22	21	24	24	More than 14
	評価	I	I	I	I	I	I	
化学分析（%）	C	0.19	0.38	0.25	0.37	0.37	0.37	Maximum 0.40
	Si	0.34	0.27	0.22	0.22	0.24	0.27	Maximum 0.55
	Mn	0.77	1.38	1.28	1.40	1.15	1.39	Maximum 0.80
	P	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.02	Maximum 0.05
	S	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	Maximum 0.05
	評価	II	II	II	II	II	II	
弾性係数（kg／cm²）		－	1.84×10^6	－	1.83×10^6	1.99×10^6	1.82×10^6	2.0 ～ 2.1 × 10^6 kg／cm²
	評価		II		II	I	II	

注）ＲＣ橋の主桁鉄筋サンプルのみについて記す。

い荷重となることから、実応力度を算出し、許容値に対して応力度がどの程度越えているかどうか比較する。

ＲＣ橋の安全率と耐荷力は「表－21　曲げ破壊安全率および耐荷力算出結果」に、ＰＣ橋のそれは「表－22　ＰＣ橋№６の耐荷物安全率」および「表－23　ＰＣ橋№７、９の耐荷安全率」に示す。

2)　床版の耐荷力

橋梁の床版は活荷重が直接載荷され、繰り返し荷重を受ける構造となっている。床版の安全性はその構成される条件によりトラック荷重のうち、後輪荷重によって計算される。ＲＣ、ＰＣ橋とも載荷試験の後輪荷重は7.0tonであり、最大後輪荷重はAASHTOの7.26（１＋ｉ）設計基準であり、その荷重にて許容値を算出して橋の安全性を照査する。

床版は常に繰り返し荷重や疲労荷重を受けることになる。したがって、本プロジェクトにおいては、日本の設計基準を参考にし、コンクリートの許容応力度はδ_{28}からδ_{ca}＝71kg／cm²とδ_{ca}＝90kg／cm²を採用する。また、鉄筋の許容応力度は最小値δ_{ca}＝1,400kg／cm²および通常の値1,800kg／cm²を採用する（Volume Ⅲ、本文参照のこと）。

3)　下部構造

下部工のラーメン橋脚に多数のクラックがみられるが、AASHTO活荷重によって計算、照査し、実応力度を算出し、比較を行った。

３．５　現橋の総合評価

〈総合評価〉

全９橋の安全性については、前述のとおりである。

(1) 変状調査による健全度評価

(2) コンクリートおよび鉄筋の品質試験による評価

(3) 載荷試験による評価

(4) 耐荷力による評価

表－21　曲げ破壊安全率および耐荷力算出結果

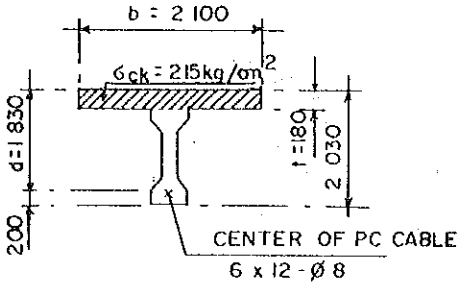
橋名	ケース	桁番号	Md (tm)	Mℓ (tm)	Mauℓ = 1.3Md＋2.5Mℓ	Mau2 = 1.7(Md＋Mℓ)	Mu (tm)	f	$\gamma = f \cdot \frac{Mu-1.1Md}{Ml}$	$\alpha=\frac{\gamma}{\beta}$	P＝AASHTO×α (32γ) (ton)	$F=\frac{Mu}{M_{du}}$ max
1	AASHTO HS－20	G1	81.6	29.3	179.3	188.5	280.7	1.0	6.52	2.61	83.5	1.49
		G2	82.8	40.9	209.9	210.3			5.76	2.30	73.6	1.33
	AASHTO 2×(HS－20)	G1	81.6	58.6	252.6	238.3			3.26	1.30	41.6	1.11
		G2	82.8	81.8	312.1	279.8			2.32	0.93	29.8	0.90
2 (3.4)	AASHTO HS－20	G1	104.8	35.9	226.0	239.2			4.61	1.84	58.9	1.17
		G2	75.8	34.6	185.0	187.7			5.70	2.28	73.0	1.50
	AASHTO 2×(HS－20)	G1	104.8	71.8	315.7	300.2			2.30	0.92	29.4	0.89
		G2	75.8	69.2	271.5	246.5			2.85	1.14	36.5	1.03
5 (8)	AASHTO HS－20	G1	104.2	35.7	224.7	237.8			4.65	1.86	59.5	1.18
		G2	75.4	34.5	184.3	186.8			5.73	2.29	73.3	1.50
	AASHTO 2×(HS－20)	G1	104.2	71.4	314.0	298.5			2.33	0.93	29.8	0.89
		G2	75.4	69.0	270.5	245.5			2.87	1.15	36.8	1.04

注) $Mu = As \cdot \delta_{sy}\left(d-\frac{1}{2}\cdot\frac{As\cdot\delta_{sy}}{0.85\cdot\delta_{28}\cdot b}\right) = 64.3\times4,200\times\left(117.0-\frac{1}{2}\times\frac{64.3\times4,200}{0.85\times270\times45}\right)\times10^{-5}=280.7^{t\cdot m}$, $As_{min}=8-\phi32=64.3cm$

$\beta_{max}=2.5$

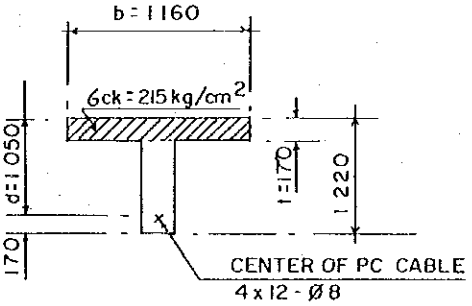
f value＝1.0 (Grid frame work Analysis)

表－22　　ＰＣ橋No.６の耐荷安全率



		Md (tm)	Mℓ (tm)	Mnℓ = 1.3Md+2.5Mℓ (tm)	Mn2 = 1.7 (Md+Mℓ) (tm)	Mu (tm)	F = Mu/Mn
AASHTO HS－20	G1	313.7	99.0	655.3	701.6	890.7	1.270
	G2	330.8	91.0	657.5	717.1		1.242
	G3	329.4	87.0	645.7	707.9		1.258
AASHTO 2×(HS－20)	G1	313.7	198.0	902.8	869.9		0.987
	G2	330.8	182.0	885.0	871.8		1.006
	G3	329.4	174.0	863.2	855.8		1.032

表－23　　ＰＣ橋No.７、９の耐荷安全率



		Md (tm)	Mℓ (tm)	Mnℓ = 1.3Md+2.5Mℓ (tm)	Mn2 = 1.7 (Md+Mℓ) (tm)	Mu (tm)	F = Mu/Mn
AASHTO HS－20	G1	83.4	23.6	167.4	181.8	326.2	1.793
	G2	87.7	27.5	182.8	195.8		1.666
	G3	84.0	31.2	187.2	195.8		1.666
	G4	81.8	32.9	188.6	195.0		1.673
AASHTO 2× (HS－20)	G1	83.4	47.2	226.4	222.0		1.441
	G2	87.7	55.0	251.5	242.6		1.297
	G3	84.0	62.4	265.2	248.9		1.230
	G4	81.8	65.8	270.8	250.9		1.205

各橋梁において、上部工、下部工、その他について総合的に評価し、健全度および耐荷性については現在および将来の安全性についてVolume Ⅲ、Tablel 6.1に示されているように分類して判定した。また、総合的な評価は次の表－24として示した。その総合評価方法は、Volume Ⅲ、Table 6.1のようにＡｏ、Ｂｏ、Ｃｏ、ＤｏおよびＥｏと評価した。

表－24　各橋の総合評価および判定表

橋名	健全度	コンクリートおよび鉄筋の品質	載荷試験からのｆ値	耐荷力		総合評価および判定（Ａｏ－Ｅｏ）	補修の必要性
				破壊安全度	許容応力		
1	B	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	桁 Ｂｏ 床版 Ａｏ	記録
2	D	Ⅱ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅱ	桁 Ｄｏ 床版 Ｃｏ	詳細再調査
3	C	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	桁 Ｃｏ 床版 Ｃｏ	観察
4	E／D	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	桁 Ｅｏ 床版 Ｄｏ	緊急補修
5	C	Ⅱ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅱ	桁 Ｃｏ 床版 Ｃｏ	観察
6	A	Ⅱ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	桁 Ａｏ 床版 Ａｏ	－
7	B	Ⅰ	Ⅲ	Ⅰ	Ⅲ	桁 Ａｏ 床版 Ｅｏ	床版：緊急補修
8	C	Ⅱ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅱ	桁 Ｄｏ 床版 Ｃｏ	詳細再調査
9	B	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	桁 Ａｏ 床版 Ｄｏ	床版：緊急補修

〈総合評価〉

ランク	状　況	必要性
Ao	健　全	—
Bo	やや健全	記　録
Co	やや不健全	観察が必要
Do	安全性に欠ける	詳細調査が必要
Eo	危　険	緊急補修が必要

〈健全度の判定表〉

ランク	状　況	必要性
A	健　全	—
B	損傷度が少ない	損傷記録化
C	損傷度がある	観　察
D	大きい損傷度	詳細調査
E	大きい損傷度 公共性として危険度が高い	緊急補修

注）AからEまでのランク別は損傷度一覧表（Volume Ⅲ）に示される。

〈コンクリートおよび鉄筋の品質〉

ランク	内　容
Ⅰ	基準値に対して満足する。
Ⅱ	基準値に対して同等かまたはやや不足する。
Ⅲ	基準値に対して著しく不足する。

〈載荷試験によるｆ値（計算値／実測値）〉

ランク	内　　容
Ⅰ	たわみ応力のｆ値が1.2以上
Ⅱ	たわみ応力のｆ値が1.0～1.2
Ⅲ	たわみ応力のｆ値が1.0以下

破壊曲げモーメントおよび耐荷力の安全率

ランク	内　　容
Ⅰ	AASHTO活荷重の安全率が1.2以上
Ⅱ	AASHTO活荷重の安全率が1.0～1.2
Ⅲ	AASHTO活荷重の安全率が1.0以下

耐荷力（ＲＣ橋の許容応力度）

ランク	内　　容　（桁と床版）
Ⅰ	AASHTO活荷重によるδ^cとδ^sの両方が許容値以内
Ⅱ	AASHTO活荷重によるδ_cとδ_sの両方が許容値を越えているが、δ_{28}×0.75、およびδ_{pr}（降伏強度）×0.75以内
Ⅲ	AASHTO活荷重によるδ_{28}×0.75、およびδ_{pr}（降伏強度）×0.75を越えている場合

3．6　現橋の維持管理計画

3.6.1　調査橋梁の補修案

調査対象橋９橋について、点検調査および載荷試験の結果より健全度を評価した。その結果、９橋のうち６橋は補修が必要である。

橋梁No.４（Wadi Al Jidi DAH－７／202－27）および橋梁No.７（BidBidSurDAK－23／100－02）は、健全度が著しく低く、緊急に補修が必要と判断される。しかし、橋梁No.４は調査期間に道路局によって補修が行われ、そのうえ、荷重制限を実施している。道路局との協議により、補修後点検を密に行い、異常が発生すればただちに対策を講じることとなっている。補修を必要とする６橋について、損傷の程度および補修、補強案を表－25に示す。

3.6.2　維持管理計画

道路局で管理する58橋について、９橋の健全度調査結果を踏まえ、次のように提案する。

－　橋梁台帳

橋梁台帳の整備は「本編 Volume Ⅲ 第10章 10.4 Proposal of Bridge Inventory」にまとめてある。

－　ガイドライン

維持管理計画のガイドラインは、「本編 Volume Ⅲ 第10章 10.5 Proposal for Preparing an Inspection Guideline」にまとめてある。

表－25　橋梁の損傷度と補修／補強案

No.	橋梁名	損傷度	補修／補強案
No.2	Wadi Al Jizi BAT－7/102-02	・主桁および横桁にひびわれが発生している。	・エポキシ樹脂の注入 ・セメントモルタル類でのコーティング ・中性化防止剤でのコーティング ・鋼板の接着 ・車両の重量制限
No.3	Wadi Al Jizi BAT－7/105－15	・主桁、横桁および床版にひびわれが発生している。 ・下部工フーチングが露出しているものがある。	・エポキシ樹脂の注入 ・中性化防止剤の使用 ・鉄筋コンクリート部材で新に補強 ・鋼材で補強
No.4	Wadi Al Jizi DAH－7/202－27	・主桁の下面、ウエブおよびフランジにひびわれが発生し、それが全面に広がり、危険な状態にある。したがって、橋梁は、劣化が進み危険である。 ・横桁の下面および床版にひびわれが発生している。 ・下部工にも多くのひびわれが発生している。	・重ね部材か桁下にボックスカルバート等により主桁を支持する。 ・スパン中央に支持する柱物を設置して、結果としてスパン長を短くする。 ・車両の重量制限 ・上部工の架替え
No.6	Rusail－Nizwa DAK－15/100-01	・ゴム沓の破損	・ゴム沓の取り替え
No.7	Bid－Bid Sur DAK－23/100-02	・主桁を結ぶ横桁がない。結果として、橋梁の剛性を少なくしている。 ・床版はプレキャスト版を型枠として、その上に床版コンクリートを打設しているが、それらが一体とならず、全床版厚が不足している。	・横桁を桁両端およびスパン中央に設置する。 ・床版を撤去し、新にコンクリートを打設する。 ・重車両の制限
No.8	Buaimi/Ibri/Nizwa DAK－21/600/01	・主桁に多くのひびわれが発生している。 ・下部工に流石や土砂による損傷がある。	・エポキシ樹脂の注入 ・コーティング ・橋脚にコンクリートを打ちたす。 ・車両の重量制限

3．7　結論と提言

3.7.1 結　　論

オマーン国内に架設されている橋梁の材料はほとんどがコンクリート橋であり、今後、将来にわたり、材料の入手状況から判断してコンクリート橋が主体となるであろう。今までに架設された橋梁は各国の設計基準が混用されているが、調査橋梁の設計基準は、ほとんどAASHTO HS 20－44が適用されている。各橋梁によってもコンクリート、鉄筋の材質などが異なっていたと現況調査から判定される。また、設計当時の基準および施工時の記録がほとんどない状況であった。

今回、各調査、試験および載荷試験を行ない、その結果、調査橋梁の現状は次のとおりである。

(1) 鉄筋コンクリート橋

- ほとんどの上部工の一部にクラックが発生している。主桁のクラックは、クラックの修復後新たにクラックの発生あるいはクラックが進行していない事実から、一時的に大きな荷重が載荷されたものと推定される。

- コンクリートの中性化はあまり進んでおらずコンクリート圧縮度も十分で劣化は進んでいない。

- コンクリートにクラックが発生しているにもかかわらず、鉄筋の錆の発生は少ない。

- 橋梁のエキスパンションジョイント付近の舗装の表面がスムーズでなく、走行性が悪い。

- 下部工の一部にクラックが発生しているものもあるが、下部工の沈下、傾斜はない。

- 下部工の周辺が洗掘されているところがある。

(2) プレストレストコンクリート橋

- 横桁がない等、構造的欠陥のある橋梁が存在する。

－　床版コンクリートはプレキャスト版を型枠として、その上にコンクリートを打設する構造であるが、プレキャスト版とコンクリートが一体となっておらず、かつ、床版コンクリートが薄いために床版の耐力はない。したがって、クラックが発生している。

－　下部工は問題なし。

(3) 載荷試験結果

なお、載荷試験の結果から得られた主桁鉄筋の応力および主桁のたわみを載荷条件における理論値と比較した場合、試験結果の値は理論値より小さな値を示す。したがって、橋梁の実際の剛性は設計で仮定したそれより高いので耐荷力は設計値以上である。

調査結果の耐荷力を車軸荷重（AXLE LOAD）に換算した場合、Bridge No.1、No.6が14.5tonそれ以外の橋はすべて10.8ton程度以下である。

3.7.2 提　　言

以上の状況から、現橋の機能性を確保するため、および今後架設される橋梁のための提言を次に示す。

現橋の機能性を確保するため

－　橋梁通過交通の車軸重量を制限化する。

－　通過車両の衝撃荷重を低減するため、舗装、補修等を施し、橋面上を円滑化する。

－　ＲＣ橋の構造上の欠陥を補修あるいは補強する。例えば、スラブの打ち換え、横桁の設置等を行う。

－　橋梁の点検システムを含む維持管理システムを確立し、竣工記録、点検記録など各橋梁の健全度ファイル化を行い、定期的にモニタリングを実施する。

今後架設される橋梁のため

－　設計時の設計基準、設計書等の図書を保管しファイル化する。

－　施工時のAs－Built Drawing、材料の種類、品質試験結果等保管しファイル化する。

JICA

L.IE