

10.3.5 ゲージの選定と取付

橋梁載荷試験に使用されるゲージは数種類あるが、ゲージの電気抵抗の変化によって、ひずみを非常に精度良く測定できる抵抗線ひずみゲージが載荷試験には一般的に用いられる。本載荷試験に使用したゲージは、コンクリート用ひずみゲージ、鋼材用ひずみゲージ及び変位測定のためのダイヤルゲージであり、各ゲージの仕様は下記の通りである。

-Strain Gauge for Concrete (Type; KC-70-A1-11)

KIND / TYPE		MATERIAL		OPERATING TEMPERATURE RANGE (°C)	COMPENSATED TEMPERATURE RANGE (°C)	STRAIN LIMIT AT ROOM TEMP (%)	FATIGUE LIFE AT ROOM TEMP.	APPLICABLE ADHESIVE	MAIN APPLICATION/ FEATURES
		RESISTIVE ELEMENT	BASE						
For Concrete	Phester Gage KC	Cu-Ni Wire	Phester	-196~+150	+10~+80	1.8 %	1.5x10 ⁵	PC-6, CC-33A PC-12, EP-18	General Stress

-Strain Gauge for Steel (Type; KFG-5-120-C1-11)

KIND / TYPE		MATERIAL		OPERATING TEMPERATURE RANGE (°C)	COMPENSATED TEMPERATURE RANGE (°C)	STRAIN LIMIT AT ROOM TEMP (%)	FATIGUE LIFE AT ROOM TEMP.	APPLICABLE ADHESIVE	MAIN APPLICATION/ FEATURES
		RESISTIVE ELEMENT	BASE						
General Purpose	Foil Phester Gage KFG	Cu-Ni Foil	Phester	-196~+150	+10~+100	5.0 %	12x10 ⁶	CC-33A, PC-6	General Stress Residual Stress transducer

-Dial Gauge (Type; DT-20D)

Measuring range	20mm	Compatible bridge voltage	12V (AC, DC)
Reaction force	App. 200g	Repeatability	0.3 % FS
Output voltage sensitivity	1.0mV/V±0.5%	Frequency response	App. 1 Hz
Non-linearity	0.5 % FS	Guaranteed temp. range	-10~± 50°C
Hysteresis	0.5 % FS	Weight (w/o cable)	App. 310g
Input-Output impedance	350 Ω ± 2 %	Installation	By means of bolts

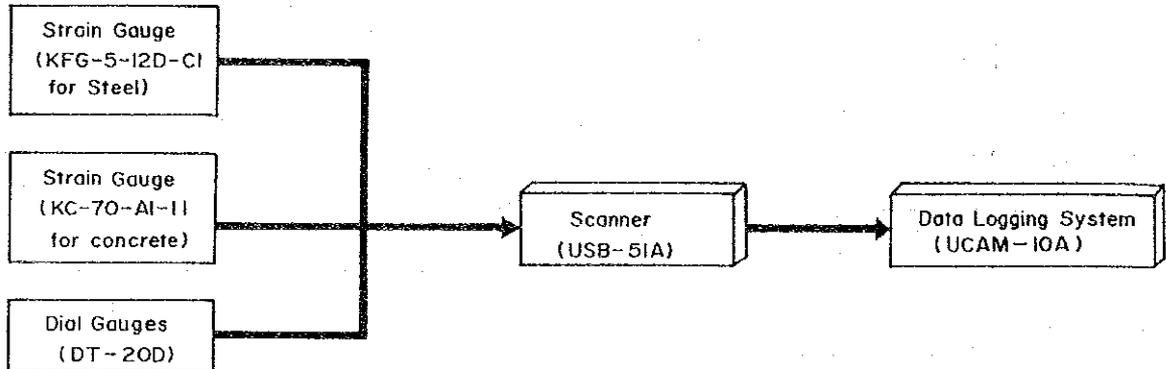
計測する構造部材の表面をサンドペーパー及びアセトンで完全に清浄した後、特殊な接着剤を用いて部材の表面にひずみゲージを貼り付けた。その後、外気からの水分の浸透を防ぐために、ブチルゴムでゲージを被覆した。貼り付けと被覆を完了した後、リード線をデータ解析装置に接続した。

10.3.6 計測機器とその組合せ

載荷試験の使用計器及び機器の型式は、その目的によって異なり、それらは静的計測機器と動的計測機器に大別される。

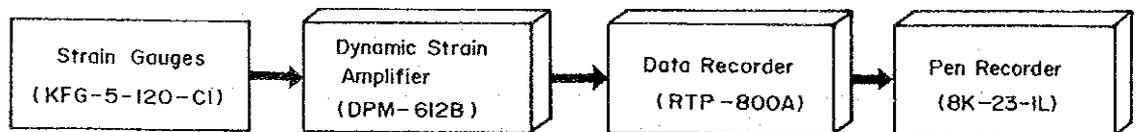
(1) 静的計測

本載荷試験における計測点数を考慮して、下図に示す計測システムを静的載荷試験に採用した。このシステムは計測・記録時間が短く、計測値を物理量（応力度）で出力することができる。



(2) 動的計測

動的試験の目的は、ピーク時間帯の現況交通のもとで部材の動的ひずみを計測することであり、その結果は実際の作用ひずみの波形（応力変動）として表示される。計測点数と3時間の計測時間を考慮し、下図に示す計測システムを動的載荷試験に採用した。



10.3.7 載荷と計測

前記の現場における準備作業が完了した後、載荷用トラックを橋梁端から載荷位置にゆっくりと移動させ、橋梁上の所定の載荷点に載荷した。静的試験の場合、振動が完全に減少した後、計測値を読み取った。この作業を表10-1に示す全ての載荷ケースで繰り返した。

一方、動的載荷試験の場合には、現況交通荷重による動的ひずみをデータレコーダーを使って自動的に記録した。

10.4 載荷試験結果

10.2節及び10.3節で述べた手法に従い、1991年11月18日から27日にかけて3橋梁の5支間で載荷試験を行った。

計測結果の評価及び修繕設計への試験結果の適用手法について以下に記す。

10.4.1 計測結果の評価

現場で得られる計測値は通常、ゲージ自身の残留ひずみや残留たわみを含んでいる。従って、本評価で使用している計測値は、現場で読み取った値からそれらの残留誤差を取り除いて補正されている。ゲージの残留ひずみやたわみの数値は、全ての載荷荷重を取り除いた後、データ解析装置に自動的に記録され、鋼材用ひずみゲージで約 $3\mu\text{mm}$ （応力度で 0.6N/mm^2 に相当する）、コンクリート用ひずみゲージで約 $16\mu\text{mm}$ （ 0.5N/mm^2 に相当）であった。

本評価は、主として実測した応力度及び変位と構造解析により求められたそれらの値を比較する方法で行った。

(1) 橋梁番号 00237200 (SBC & RCB)

(a) SBC主桁

実測値と計算値の応力度及びたわみの比較を表10-2に示す。

Table 10-2 Comparison of Test Result Value and Calculated Value (Main Beam of SBC)

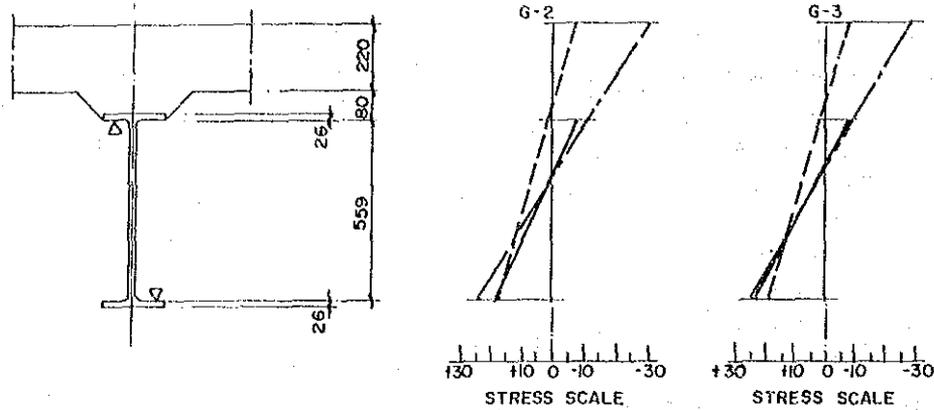
Measurement Point	Unit	Loading Case - 1					Loading Case - 2						
		Test Results	Calculation Results (1)	Calculation Results (2)	Ratio		Test Results	Calculation Results (1)	Calculation Results (2)	Ratio			
		A	B	C	A/B	A/C	A	B	C	A/B	A/C		
GIRDER-2	Stress	Upper	N/mm ²	-6.40	0.20	-20.30	-	0.32	-8.20	0.20	-32.20	-	0.26
		Lower	N/mm ²	15.80	12.20	20.30	1.30	0.78	18.50	19.30	32.20	0.98	0.58
		Web	N/mm ²	3.00	3.50	-	0.86	-	3.70	5.60	-	0.66	-
Deflection		mm	1.03	0.64	2.14	1.81	0.48	1.34	1.00	3.37	1.34	0.40	
GIRDER-3	Stress	Upper	N/mm ²	-3.20	0.10	-17.40	-	0.18	-7.40	0.30	-34.00	-	0.22
		Lower	N/mm ²	12.40	10.50	17.40	1.18	0.71	24.90	20.50	34.00	1.21	0.73
		Web	N/mm ²	2.30	3.00	-	0.77	-	4.70	5.90	-	0.80	-
Deflection		mm	0.87	0.54	1.83	1.81	0.48	1.75	1.07	3.60	1.64	0.49	

Notes : (1) is preliminary calculation results in which full composite action is considered
(2) is alternative calculation results in which composite action is not considered

・ AとBのたわみ比（実測値／計算値）は、実際の主桁の剛性が予備的解析で用いた値より著しく小さいことを示している。これは、主桁とコンクリート床版の合成作用が当初設計に較べて不十分であることを物語っている。

・ 実際の合成作用の度合いを明らかにするために、試験結果と同じ中立軸の位置を用いて修正計算を行った。その結果を図10-5に示す。

Figure 10-5 Stress Distribution Diagram



LEGEND:
 ——— TEST RESULT
 - - - - - CALCULATION RESULT (1)
 ······ MODIFIED CALCULATION RESULT
 △ STRAIN GAUGE

- この計算結果から、床版の有効幅は、G-2で220mm、G-3で320mm程度であり、当初設計で考慮されたとと思われる有効幅より著しく小さい。この現象は、ずれ止めの剛性不足と床版の低いコンクリート強度に起因するものと考えられる。即ち、主桁は当初設計の合成桁としてよりも、むしろ非合成桁として挙動している。
- 上記結果を踏まえて、横方向荷重分配を考慮し、非合成桁として比較計算を行った。その結果を計算結果(2)として表10-2に示す。
- 更に、非合成桁としての主桁の応力レベルを確認するために、死荷重とHA荷重（当初設計の設計活荷重）による主桁の応力度を計算した。表10-3に示すように、その結果は、主桁がHA荷重に対して十分な耐荷力を有していることを示している。

Table 10-3 Working Stress due to HA Loading and Dead Load

Member	Unit	Working Stress			Allowable Stress
		Dead Load	HA	Total	
Girder-1	N/mm ²	59.0	66.2	125.2	< 142.0
Girder-2	N/mm ²	41.0	72.2	113.2	< 142.0
Girder-3	N/mm ²	41.1	74.5	115.6	< 142.0

- 結論として、SBCの合成効果は信頼性に乏しいため、安全を考慮して、SBCの検討においては合成効果を見做すこととした。即ち、SBCの主桁は非合成桁として検討する。非合成桁とした場合表10-2の応力比(A/C)に示すように、SBCの主桁は、設計応力度に対して、少なくとも20%の余剰耐荷力を有していると考えられる。

(b) 鉄筋コンクリート主桁

実測値と理論値の応力度及びたわみを表10-4に示す。

Table 10-4 Comparison of Test Result Value and Calculated Value (Main Beam of RCB)

Measurement Point		Unit	Loading Case-1			Loading Case-2		
			Test Results A	Calculation Results B	Ratio A/B	Test Results A	Calculation Results B	Ratio A/B
Girder-2	Stress of Main Rebar	N/mm ²	13.70	17.40	0.79	17.00	25.10	0.68
	Deflection	mm	0.70	0.88	0.80	0.95	1.26	0.75
Girder-3	Stress of Main Rebar	N/mm ²	11.10	14.60	0.76	22.30	28.60	0.78
	Deflection	mm	0.58	0.73	0.79	1.13	1.44	0.78

- ・各主桁及び各載荷ケース毎の応力比及びたわみ比の変動が極めて小さいことから、試験結果と計算結果の両方の信頼性は高いものと考えられる。更に、横方向荷重分配計算に適用したギヨン・マソネの直交異方性版理論は現橋の解析理論として妥当であると思われる。
- ・両載荷ケースの主鉄筋の応力比(A/B)及びたわみ比(A/B)は、0.68から0.79である。この現象、即ち作用応力度が小さくなる理由は、配置されている二次的な鉄筋、コンクリートの引張り強度、アスファルト舗装による合成作用などに起因しているものと思われる。従って、鉄筋コンクリート主桁は、適正に施工されているならば、設計応力度に対して約20%の余剰耐荷力を有しているものと考えられる。

(c) SBC及びRCBの床版

表10-5は実測値と計算値の応力度及びたわみの比較を示している。

Table 10-5 Comparison of Test Result Value and Calculated Value (Deck Slab)

Measurement Point		Unit	SBC			RCB		
			Test Results A	Calculation Results B	Ratio A/B	Test Results A	Calculation Results B	Ratio A/B
Stress	Main Rebar	N/mm ²	19.40	24.90	0.78	17.40	18.90	0.92
	Distr. Rebar	N/mm ²	5.30	46.00	0.12	5.10	27.90	0.18
Deflection		mm	0.23	0.18	1.28	0.05	0.09	0.56

- ・試験結果から得られた主鉄筋の応力度は、理論計算値に比較的近い。しかし、配力鉄筋の応力度の相違は著しい。この相違は、理論計算と実際の床版支持条件との違いに起因するものであろう。

- ・しかし、実測値と計算値のたわみの絶対値は、たわみ比を検討するためには非常に小さいので、この結果から明確な結論を導き出すのは困難である。
- ・載荷用トラックの約7tの輪荷重による主鉄筋の作用応力度はSBCで 19.4N/mm^2 及びRCBで 17.4N/mm^2 程度であり、それは許容応力度の12～14%に相当する。
- ・従って、SBC及びRCBの床版は、死荷重による応力度を加算し、10tの設計輪荷重を適用したとしても十分な耐荷力を有していると思われる。

(2)橋梁番号 00319110 (PCB & PCB)

(a)中央径間の主桁

表10-6は実測値と理論計算値との応力度及びたわみに関する比較表である。

Table 10-6 Comparison of Test Result Values and Calculated Values (Main Beam)

Measurement Point			Unit	Loading Case - 1			Loading Case - 2			Loading Case - 3		
				Test Results	Calculation Results	Ratio	Test Results	Calculation Results	Ratio	Test Results	Calculation Results	Ratio
				A	B	A/B	A	B	A/B	A	B	A/B
GIRDER-1	Stress	Upper	N/mm ²	-0.20	-0.60	-	-0.50	-1.00	-	-0.70	-1.30	-
		Middle	N/mm ²	1.10	0.80	-	1.70	1.40	-	2.30	1.80	-
		Lower	N/mm ²	1.80	2.30	0.78	3.30	4.10	0.80	4.20	5.20	0.81
	Deflection	mm	4.76	4.06	1.17	8.13	7.80	1.04	10.63	10.53	1.10	
GIRDER-2	Stress	Upper	N/mm ²	-0.10	-0.90	-	-0.20	-1.60	-	-0.40	-2.10	-
		Middle	N/mm ²	0.20	0.70	-	0.30	1.30	-	0.40	1.70	-
		Lower	N/mm ²	1.80	2.40	0.75	3.20	4.20	0.76	3.90	5.40	0.72
	Deflection	mm	4.16	4.49	0.93	7.90	8.63	0.92	10.66	11.63	0.93	

- ・0.93～1.17のたわみ比は、計算に適用した構造理論や仮定を含めて、試験結果と計算結果の両方の信頼性が高いことを示している。
- ・各着目主桁の応力分布図を図10-6及び図10-7に示す。この応力分布図は、G-2のウェブ中間点を除いて、各点の実測応力度が中立軸からの距離に比例して変化していることを示している。従って、G-2ウェブの中間点のゲージは、接着や被覆の不良によって正常に機能していなかったと思われる。しかし、試験結果が相対的に信頼できるものであり、計算手法が妥当であることに変わりはない。
- ・更に、各載荷ケースの曲げモーメントとそれによって発生する下フランジの曲げ応力度との関係を図10-8に示す。

Figure 10-6 Stress Distribution Diagram, Main Beam (G-1) of PCB Center Span

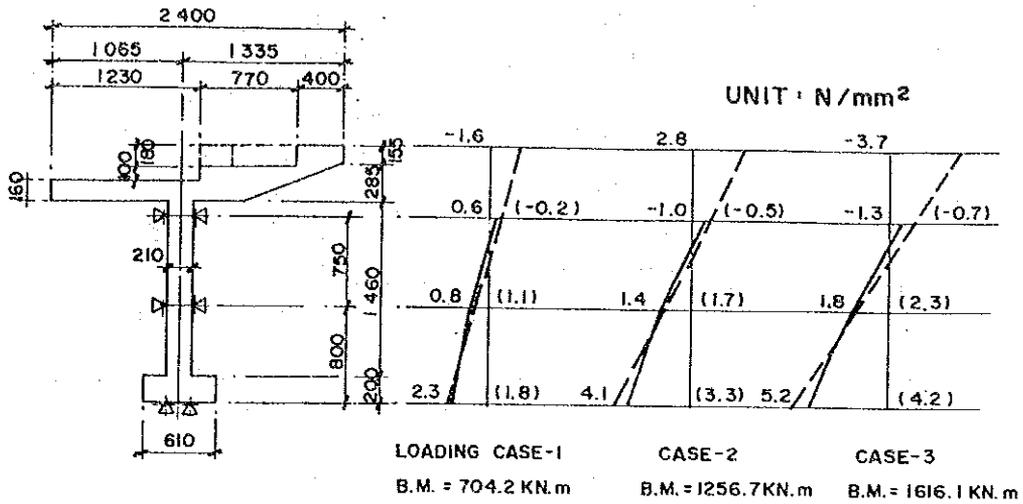


Figure 10-7 Stress Distribution Diagram, Main Beam (G-2) of PCB Center Span

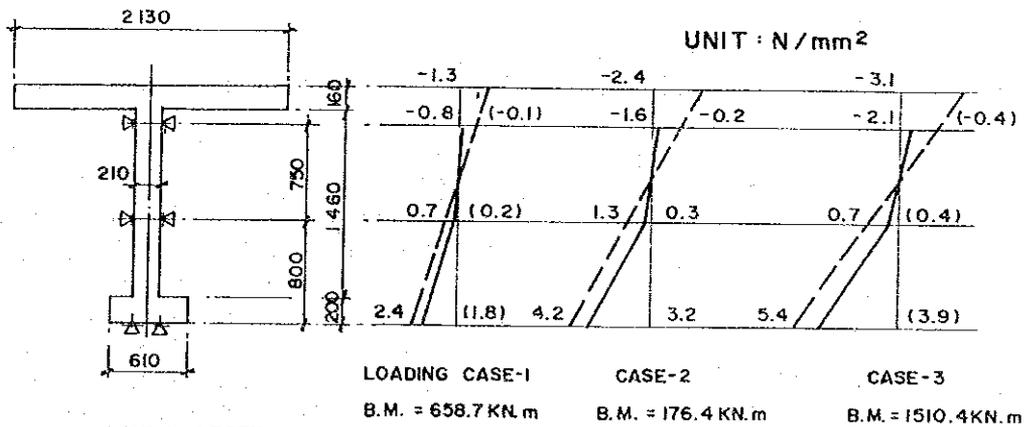
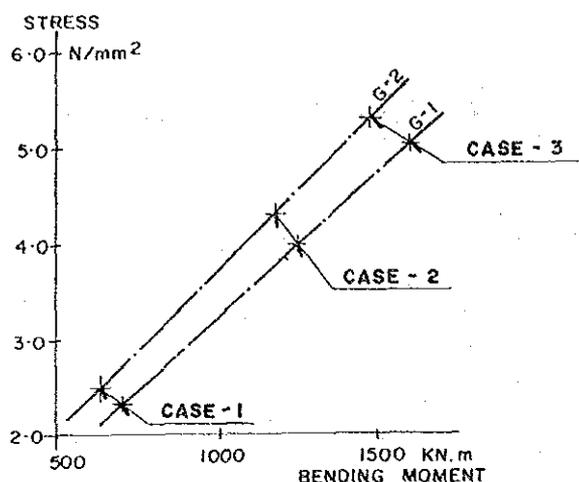


Figure 10-8 Relation Diagram between Bending Moment and Stress



- ・ 図10-8は、曲げモーメントと応力度が完全に比例することを示している。従って、主桁は弾性体として挙動しており、プレストレス力がまだ有効に働いていると言えよう。
- ・ 表10-6に示されるように、G-1とG-2の応力比はそれぞれ0.81と0.72である。作用応力度が小さくなる理由は、荷重分配の挙動の差やアスファルト舗装、歩道コンクリートによる合成作用の影響による主桁の付加的な剛性の増大に起因すると思われる。
- ・ 従って、適正に施工されているならば、このPCBの主桁形式は、設計応力度に対して約20%の余剰耐荷力を有しているものと考えられる。

(b) 側径間の主桁

実測値と計算値との比較を表10-7に掲げる。

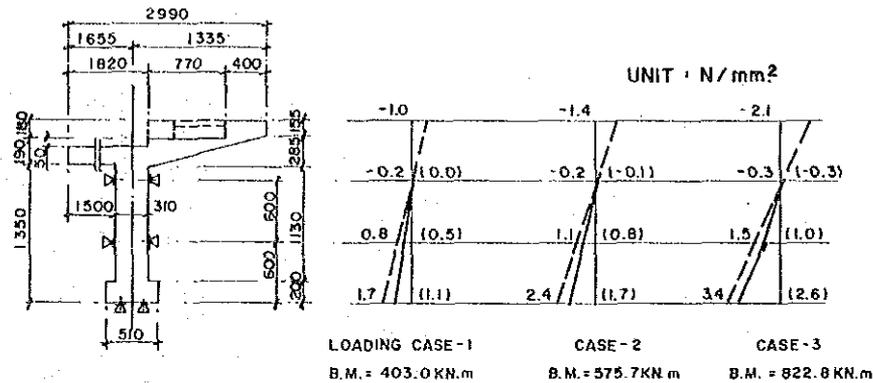
Table 10-7 Comparison of Test Result Value and Calculated Values (Main Beam, G-1)

Measurement Point	Unit	Loading Case - 1			Loading Case - 2			Loading Case - 3			
		Test Results A	Calculation Results B	Ratio A/B	Test Results A	Calculation Results B	Ratio A/B	Test Results A	Calculation Results B	Ratio A/B	
Stress	Upper	N/mm ²	0.00	-0.20	-	0.10	-0.20	-	1.00	-0.30	-
	Middle	N/mm ²	0.50	0.70	-	0.90	1.10	-	1.00	1.50	-
	Lower	N/mm ²	1.10	1.60	0.69	1.70	2.40	0.71	2.70	3.40	0.79
Deflection	mm	0.69	0.67	1.03	1.00	0.95	1.05	1.70	1.48	1.15	

- ・ 1.03~1.15のたわみ比は、計算に適用した構造理論や仮定を含めて、試験結果と計算結果の両方の信頼性が高いことを示している。

- G-1の応力分布図を図10-9に示す。この実測応力分布図は、各点の応力度が中立軸からの距離に比例して直線的に変化しており、両方の結果の信頼性が高いことを示している。

Figure 10-9 Stress Distribution Diagram, Main Beam (G-1) of PCB Side Span



NOTE & LEGEND:-

- STRESS DISTRIBUTION ON THE TEST RESULT.
- - - STRESS DISTRIBUTION ON THE CALCULATION RESULT.

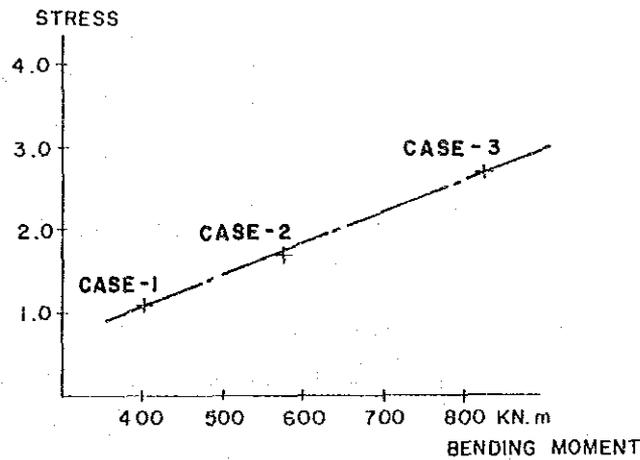
B.M. MEANS BENDING MOMENT

FIGURE IN () SHOWS STRESS ON THE TEST RESULTS.

△ GAUGE

- 更に、各载荷ケースの曲げモーメントとそれによって発生する下フランジの曲げ応力度との関係を図10-10に示す。

Figure 10-10 Bending Moment and Stress Relation Diagram



- 上図は、曲げモーメントと応力度が完全に比例することを示している。従って、主桁は弾性体として挙動しており、プレストレス力はまだ有効に働いていると言えよう。

- 表10-7に見るように、G-1の応力比は0.79である。作用応力度が小さくなるこの現象の理由は、荷重の分配効果やアスファルト舗装及び歩道コンクリートの合成作用による主桁の付加的な剛性の増大に起因すると思われる。これらの影響は、当初設計には考慮されていない効果と考えられる。

- ・従って、適正に施工されているならば、PCBの主桁形式は、設計応力度に対して約20%の余剰耐荷力を有しているものと考えられる。

(c) 側径間の床版

表10-8は、実測値と理論計算値との応力度及びたわみの比較である。

Table 10-8 Comparison of Test Result Value and Calculated Value (Deck Slab)

Measurement Point		Unit	Loading Case - 1			Loading Case - 2		
			Test Results A	Calculation Results B	Ratio A/B	Test Results A	Calculation Results B	Ratio A/B
Stress	Main Rebar	N/mm ²	12.40	26.30	0.47	12.40	31.90	0.39
	Distr. Rebar	N/mm ²	15.10	55.40	0.27	22.00	83.90	0.26
Deflection		mm	1.02	1.22	0.84	1.57	1.93	0.81

- ・ 載荷試験によって求められたたわみは、両載荷ケースの理論計算値に比較的近似している。これは、解析に適用した仮定や手法が実際の床版の挙動に概ね一致していることを示している。
- ・ 主鉄筋及び配力鉄筋の各応力比は極めて小さく、0.5以下である。この小さな作用応力度は、床版と極めて厚いアスファルト舗装との合成床版としての作用、及びアスファルト舗装による輪荷重の分布効果に起因するものであろう。これらの影響によって床版の剛性は設計値より増大する。
- ・ 載荷用トラックの約7tonの輪荷重による主鉄筋の作用応力度は12N/m²程度であり、許容応力度の15%以下である。従って、PCBの床版は、死荷重による応力度を加算し、10tonの設計輪荷重を適用したとしても十分な耐荷力を有しているものと考えられる。

(3) 橋梁番号 00834850 (RCS)

実測値と理論計算値との比較を表10-9に示す。

Table 10-9 Comparison of Test Result and Calculated Value (Main Slab)

Measurement Point			Unit	Loading Case - 1					Loading Case - 2		
				Test Results A	Calculation Results (1) B	Calculation Results (2) C	Ratio		Test Results A	Calculation Results (1) B	Ratio A/B
							A/B	A/C			
MIDDLE	Stress	Main Rebar	N/sq.mm	8.20	12.80	9.30	0.64	0.88	10.70	25.20	0.42
		Distr. Rebar	N/sq.mm	-0.60	25.20	4.10	-	-	-0.60	46.50	-
	Deflection		mm	0.29	0.22	0.24	1.32	1.21	0.46	0.43	1.08
EDGE	Stress	Main Rebar	N/sq.mm	4.30	4.00	5.20	1.08	0.82	5.10	6.90	0.74
		Distr. Rebar	N/sq.mm	-1.40	5.80	0.00	-	-	-1.60	0.00	-

- ・試験結果から、載荷ケース1の配力鉄筋の応力度は載荷ケース2のそれに酷似しているが、載荷ケース1の主鉄筋応力度 8.2N/mm^2 及びたわみ 0.29mm は、載荷ケース2ではそれぞれ 10.7N/mm^2 及び 0.46mm へと増大している。このことから、道路中心に沿って設けられている橋軸方向の施工継ぎ目には配力筋が配置されておらず、せん断力を伝達する機能が有していないと考えられる。
- ・この結果を踏まえ、橋軸方向の施工継ぎ目で左右に分離された床版と仮定して再計算を行った。表10-9の計算値(2)に示すこの計算結果によれば、各計測点の主鉄筋実測応力度は、上記再計算によって求められた同じ点の応力度により近似している。
- ・両載荷ケースのたわみ計算に用いた弾性係数 $2.5 \times 10^5 \text{kgf/cm}^2$ は、コンクリートコアの圧縮試験に基づいている。しかし、たわみの比較検討に基づくと、実際の弾性係数は圧縮試験によって求めた弾性係数より小さいことが判る。この原因は、コンクリートの品質のばらつきや低品質によるものと思われる。
- ・主鉄筋の応力比は $0.82 \sim 0.88$ であり、設計応力度に対して少なくとも10%の余剰耐荷力を有すると思われる。

10.4.2 動的載荷試験結果の検討

(1) ピーク時の現況交通下における動的試験

ピーク時を含む連続3時間に亘る動的試験計測結果を表10-10に示す。また、試験中の交通量調査結果、応力度変動図及び応力度頻度分布図をAppendix-Mに添付する。

Table 10-10 Dynamic Test Results in terms of Working Stress under Existing Traffic (Unit : N/sq.mm)

Measurement Point			Static Test <1	Dynamic Test			
				Minimum	Maximum	Average	S.D
S B	G-2	Upper Flange	-6.4	-10.39 (1.62)	-0.74	-1.63	1.574
		Lower Flange	15.8	-4.75	+29.97 (1.90)	+1.22	5.160
C	G-3	Upper Flange	-3.2	-7.64 (2.38)	-0.42	-1.13	1.316
		Lower Flange	12.4	-1.97	+23.38 (2.28)	+3.52	4.688
R C B	G-2	Main Rebar	13.7	-2.72	+27.41 (2.00)	+1.22	4.506
		G-3	Main Rebar	11.1	-2.24	+25.71 (2.31)	+1.30

- Notes:
- * <1 Gross weight of the dump truck applied in the Static test is 17.45 tons and the results is under loading case 1.
 - * S.D. means standard deviation.
 - * Figure in () shows ratio of dynamic test value and static test value

- ・Appendix-Mに添付している応力度頻度分布図に示すように、SBCの上・下フランジの最も支配的な発生応力度はそれぞれ -2.55N/mm^2 及び $+2.57\text{N/mm}^2$ である。一方、RCBでは $+2.57\text{N/mm}^2$ である。

- ・ 現況交通による最大発生応力度はSBCで+30.0N/mm²、RCBで27.4N/mm²である。これらの応力度は同一計測点の静的試験による応力度の2.28～2.31倍である。従って、衝撃応力度を無視すれば、総重量約40tonの車両が動的試験中に橋梁上を通過したと想定される。
- ・ 40ton車両通過による最大発生応力度は、SBCで設計活荷重（HA荷重）による応力度の40%であり、RCBで57%である。
- ・ 従って、現橋は現況交通の活荷重に対して十分な耐荷力を有しているものと考えられる。

(2) 走行速度別の載荷用車両走行下における動的試験

表10-11は載荷用車両の走行速度別計測結果のまとめである。ペンレコーダーを用いて記録した応力度変動図をAppendix-Mに添付する。

Table 10-11 Dynamic Test Results in terms of Working Stress at Different Running Speeds
(Unit : N/sq.mm)

Measurement Point			Static Test <1 (Loading Case-1)	Running Speed			
				10 km/h	20 km/h	30 km/h	50 km/h
S B	G-2	Upper Flange	-6.40	-4.10	-3.50	-3.20	-4.00
		Lower Flange	15.80	13.20	12.40	+12.00	10.60
C	G-3	Upper Flange	-3.20	-1.90	-1.90	-1.20	-3.00
		Lower Flange	12.40	9.40	9.60	+7.00	11.80
R C B	G-2	Main Rebar	13.70	12.30	12.60	+11.40	9.70
	G-3	Main Rebar	11.10	9.50	9.70	+6.40	10.60

Note : <1 The test result is under loading case-1

- ・ 活荷重による衝撃応力度は、路面の平坦性や車両走行速度に関係していることが一般的に知られている。しかし、上表からそのような関係を読み取ることは困難である。この原因は、動的試験の輪荷重の軌跡が静的試験の輪荷重の位置に必ずしも一致していないためであると思われる。

10.4.3 修繕設計への試験結果の適用

調査対象橋梁の大半は、BS153のHA荷重を適用して設計されていると言う事ができる。一方、現在連邦道路橋の設計に適用されているJKR現行活荷重であるLTALは、断面力でHA荷重より20～30%大きい。従って、LTALを何の配慮もしないで既設橋の構造検討に単純に適用するならば、LTALによる応力度が当初設計の許容応力度を超過することは明らかである。

しかし、載荷試験結果の検討の中で立証されたように、試験を行った各橋梁は、設計と実橋挙動の違いから最大設計応力度に対して一定の余剰耐荷力を有している事が判明した。即ち、合成作用、重ね梁作用及び横方向荷重分配などの影響によって実際の作用応力度は減少する。

従って、この余剰耐荷力は、LTALによる超過応力度をカバーする事が可能であると考えられるので、構造的な視点から、橋梁が重大な設計・施工上の欠陥なく、適正に建設されているとするならば、同一形式の橋梁は同程度の余剰耐荷力を有するものと考えられる。よって、20橋の構造検討の中では、下記の余剰耐荷力を同一橋梁形式に考慮するものとする。

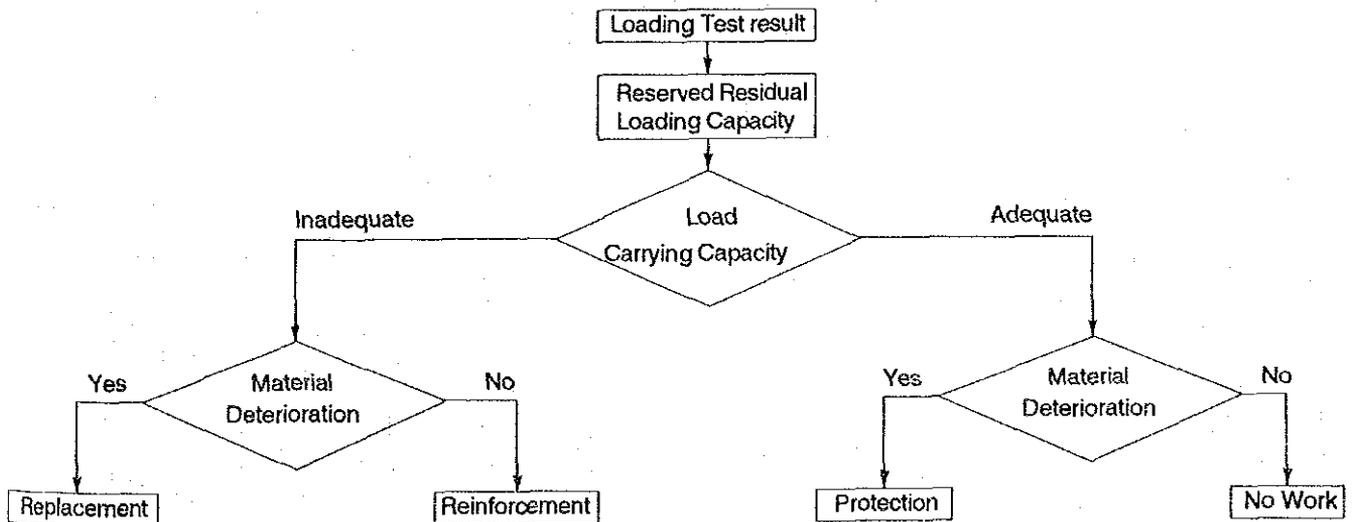
橋梁形式	部材	余剰耐荷力(%)
SBC	主桁	20 %
RCB	主桁	20 %
PCB	主桁	20 %
RCS	主版	10 %

概略修繕設計にあたって、橋梁部材が十分な耐荷力を有しているか否かを判定するために、余剰耐荷力を考慮して20橋の構造検討を行う。この結果は、概略修繕計画を決定するためのひとつの基準となる。即ち、耐荷力が十分あれば補修などの簡易な修繕対策で十分であろうし、橋梁の耐荷力が不足する場合には架換えを含む補強対策が必要となる。

上記修繕計画の大まかな分類に従って、損傷の種類、程度及び範囲のみならず、損傷原因及び2~3の比較案の工事費比較を行って、最適修繕対策を選定する。

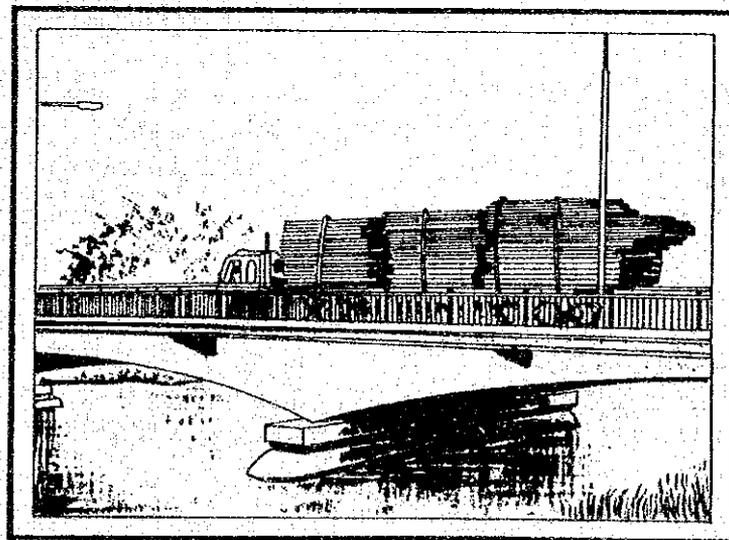
修繕対策選定の概念的な流れ図を図10-11に示す。

Figure 10-11 Conceptual Flow of Application of Test Results in Selection of Rehabilitation Plan



第 1 1 章

適用活荷重の検討



第11章 適用活荷重の検討

11.1 概 要

調査対象橋梁は、建設当時の関連する英国規格（BS）を用いて設計・施工されていることが知られている。それ故、構造材料の損傷・劣化を考慮しないならば、調査対象橋梁は橋梁の拱用荷重の違いに基づき、いくつかの橋齢グループに分類できる。一方、公共事業省（JKR）は、全国軸重調査（NALS）の勧告に基づき、1990年に新しい橋梁設計荷重を導入・施行した

従って、本調査に適用すべき活荷重の選定は、英国における活荷重の歴史的変遷の検討及びそれに密接に関連しているマレーシアにおける活荷重の変遷と現行JKR活荷重の検討を通じて実施した。具体的には、過去に適用された設計活荷重とJKRの現行活荷重による断面力の比較を行い、支間長毎の断面力の差異を考慮して、適用すべき活荷重の選定を行った。

11.2 英国における橋梁設計荷重の歴史的変遷

マレーシアと英国との歴史的な関係の中で、マレーシアの橋梁の大半は英国規格に基づいて設計されている。従って、調査対象橋梁に適用された設計活荷重に密接に関係している英国における道路橋設計荷重の歴史的変遷の概要を確認する作業は不可欠である。

19世紀前半に英国で建設されたほとんどの橋梁は、地方官庁の要求に合わせて多様な荷重を用いて設計されていた。第1次世界大戦後、英国陸軍の輸送車両を通行させるための道路建設の必要性があり、その結果として、戦後すぐに英国運輸省が設立され、その後1922年に最初の橋梁設計荷重基準が作成された。1923年に英国規格協会は、鋼桁橋の最初の示方書BS153を導入したが、その活荷重は1922年の英国運輸省の荷重と同等であった。

1932年、英国運輸省は等価荷重曲線の導入に伴って標準荷重を修正した。即ち、集中荷重(KEL)と等分布荷重(EUDL)から成るHA荷重として規定した。その荷重は以前の適用されていた自動車連行荷重に基づいて算定されたものである。

1954年、BS153はヘンダーソン氏の研究に基づき再度修正された。その内容は、2～6m支間を対象にした等分布活荷重強度が実際の交通量の影響を考慮して増大されたこと、及び各軸重が25～45tonの仮想4軸自動車荷重であるHB荷重を異状時活荷重として新しく導入したことである。この新しい荷重基準は、HB荷重の影響を照査する時には、死荷重及び活荷重に対して25%の応力超過を認めている。

1978年、BS5400(1978)として知られている新しい橋梁荷重及び設計基準が、限界状態設計法を編入するために導入された。また、この基準はHB荷重に様々な車軸配置設計車両を導入すると共に、HA荷重強度を支間長が30m以下では小さくし、30m以上では大きくしている。その他重要な変更事項は25%の応力超過を許容しないことである。

1984年、運輸局は、英国の既設道路橋や構造物の照査のためにのみ適用するBD 21/84を導入した。この基準の荷重とそれ以前の荷重との大きな違いは、短支間橋梁に対するHA荷重強度の増大と異状時活荷重条項の削除である。

11.3 マレーシアにおける設計活荷重の歴史の変遷

マレーシアにおける橋梁の大半は、一般に英国規格に基づいて設計されていると言われている。しかし、英国規格の制定とそのマレーシアでの運用との間には時間的差があり、また、マレーシアの実情に合わせて若干修正が加えられ使用された。従って、本節の目的は、マレーシアの設計活荷重の歴史の変遷を把握することである。

1942年以前にマレーシアで建設された橋梁に関する設計荷重の記録はないが、その時代の大半の橋梁、特に鋼橋は桁に製鉄会社名が記されているので英国で設計されたものと想定される。

1942年以降の橋梁は、関連する英国運輸省通達を伴うBS153 Part 3AのHA荷重で設計されていることが広く知られている。しかし、HB荷重は1972年までマレーシアに導入されなかった。1975年以降の橋梁は、床版中央に沿って限定載荷されたHB荷重（HB GUIDED荷重）を適用して、設計されている事は確実である。

BS5400は1978年に英国で発行されたが、JKRは1980年代前半にその適用を正式決定した。その決定に基づき、コンサルタントはBS5400に準拠して橋梁を設計しているが、JKRの技術者は依然としてBS153に基づいて橋梁を設計している。これら不統一な活荷重適用の結果、全国道路網の中に2種類の橋梁が存在する。即ち、JKR直営で設計された橋梁はBS153に基づいてHA荷重で設計され、HB GUIDED荷重で照査されているのに対し、コンサルタントによって設計された橋梁はBS5400に従ってHB UNGUIDED荷重で設計されている。この現状に鑑み、JKRは標準的な橋梁設計荷重基準の設定の必要性を十分認識していた。

11.4 マレーシアの現行活荷重基準

上記の背景と全国軸重調査Phase-1の勧告に基づき、JKRはマレーシアにおける橋梁設計と検討に適用すべき新しい荷重曲線に関する全国軸重調査の勧告の見直し、又新しい橋梁設計荷重基準を制定する為「橋梁荷重検討委員会」を設けた。その結果、この委員会は1990年にJKR橋梁設計荷重基準を制定・導入した。その概要を以下に示す。

(1) 道路と適用活荷重の分類

橋梁設計のために、道路は重要度、交通量などにより三種に分類され、下表に道路種別の定義と該当する適用荷重を示す。

Class of Road	Classification of Road	Loading Requirement
I	Federal Roads	LTAL or 20 units SV Controlled or 7 units SV Uncontrolled
II	State Roads	MTAL
III	Other Roads	Appropriate Loading Subject to Approval

(2) 長期軸重活荷重 (LTAL) と特殊車両荷重 (SV LOAD)

図11-1に示す等分布荷重と集中荷重 (想定車線当たり100KN) からなるLTALは、BD 21/84荷重曲線に若干の修正を加えて算定された荷重モデルに基づき、実際の標準的な車両諸元及び将来の荷重を考慮して設定された。これに対し、SV LOADは異状時のユニット荷重であり、牽引車と図11-2に示す20ユニットで最大重量430ton (SVの1ユニットは1.5m間隔の車軸当り1tonである) の多軸トレーラーで構成されている。

Figure 11-1 Loading Curve for LTAL UDL

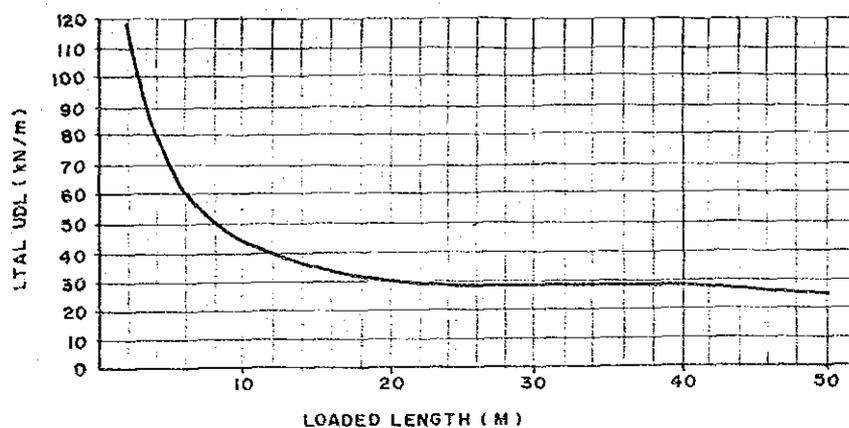
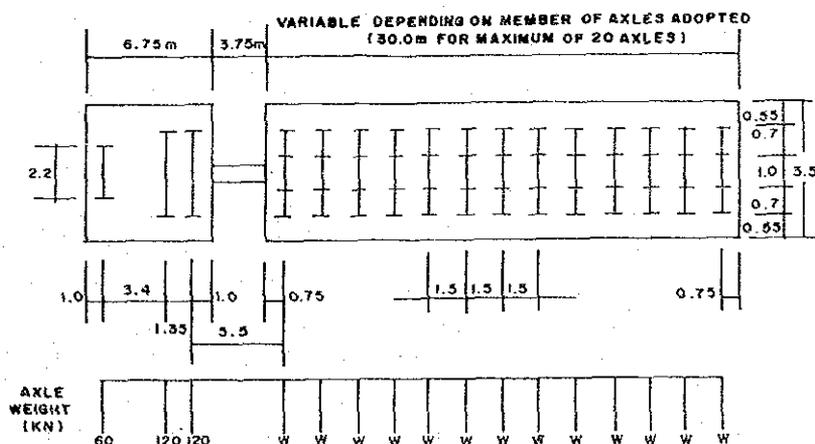


Figure 11-2 Configuration of Special Vehicle

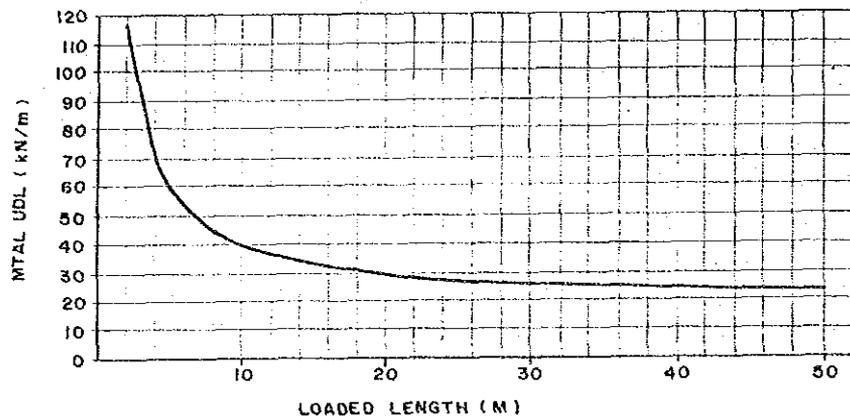


NOTE: 1 UNIT SV HAS TRAILER AXLE WEIGHT OF 10 KN EACH
THE DIMENSIONS AND AXLE WEIGHT OF THE TRACTOR IS CONSTANT

(3) 中期軸重活荷重 (MTAL)

MTALは図11-3に示す等分布荷重と集中荷重(想定車線当り100kN)からなっている。MTALの等分布荷重曲線は、HA荷重及び45ユニットHB GUIDED荷重による曲げモーメントとせん断力の影響を勘案して算定された。従って、MTALは、JKRで適用されていたHB GUIDED荷重と概ね同等である。

Figure 11-3 Loading Curve for MTAL UDL



11.5 適用活荷重の決定

上記検討結果から、マレーシアで適用されたあるいは現行橋梁設計活荷重は、HA, MTAL (HB GUIDED荷重とほとんど同じである), LTAL, SV荷重に大別される。一方、216橋の調査対象橋梁は、3橋令グループに分類される。即ち、自動車連行荷重を使用していると思われる1945年以前に建設された34橋、HA荷重を使用している1946年から1974年までの180橋、HB GUIDED荷重を使用している1975年以降の2橋である。

従って、本調査に適用する活荷重を決定するため、支間長毎に過去と現在の設計活荷重による断面力の比較を行った。

11.5.1 代表的な橋梁形状

等分布荷重と輪荷重からなる2種類の異なった荷重及び車道幅の基準の違いを考慮して、同一条件で断面力を比較するために、調査対象橋梁の車道幅員と支間長の分布を検討し、調査対象橋梁を代表する橋梁形状を確定した。

調査対象橋梁の支間長の分布を図11-4に示す。その結果によれば、平均支間長は8.07mであり、対象橋梁の86%は支間長12m以下である。また、最長最小の支間長はそれぞれ45.78m及び1.8mである。従って、50mまでの支間長の橋梁を対象にして、断面力の比較を行った。

一方、調査対象橋梁の車道幅員の分布を図11-5に示す。その結果から、調査対象橋梁の平均車道幅員は7.05mであることが明らかになった。従って、7.05mの車道幅員の橋梁に対して、横方向の荷重分配を考慮しないで断面力の比較を行った。

Figure 11-4 Distribution Diagram of Span Length

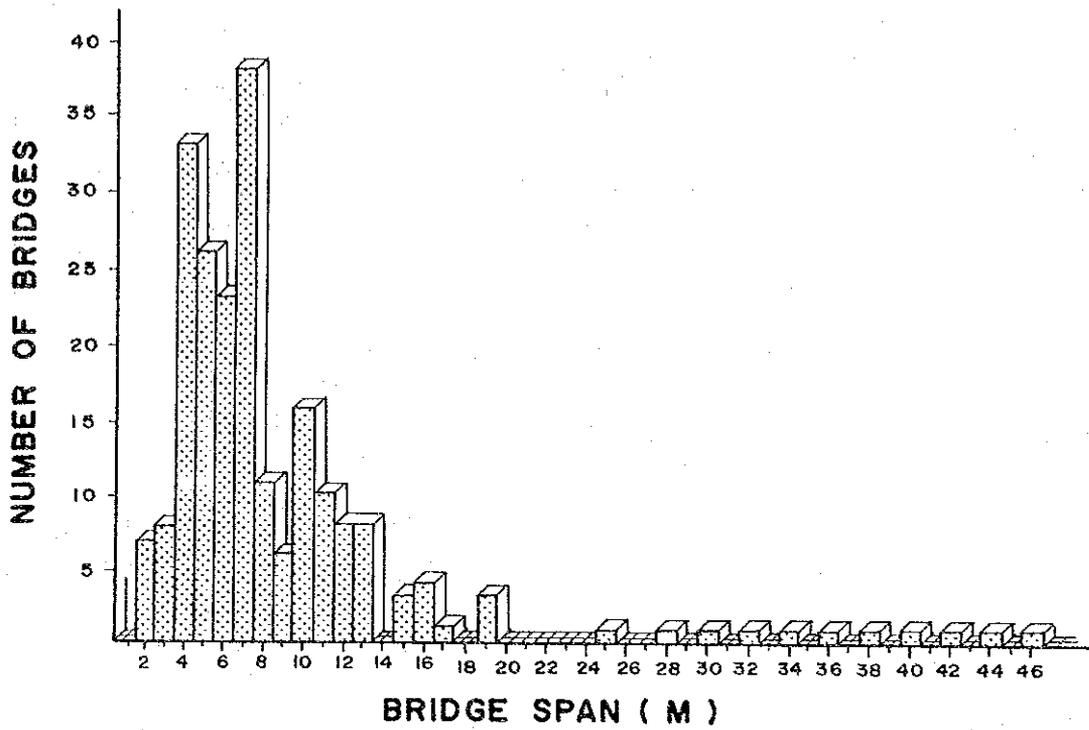
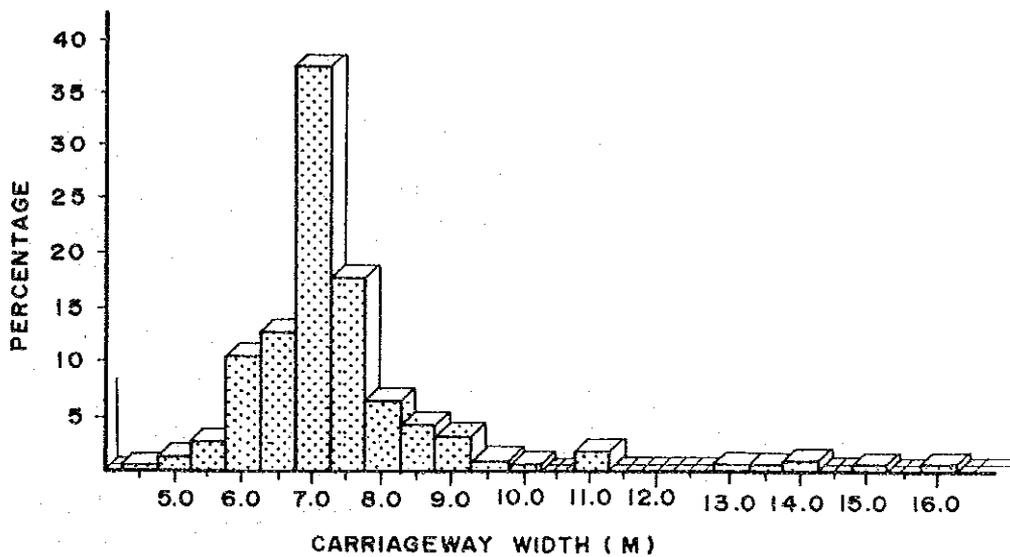


Figure 11-5 Distribution Diagram of Carriageway Width



11.5.2 活荷重による断面力の比較

各種の活荷重 (HA, MTAL, LTAL, 20 Unit SV) を用いて、支間中央の曲げモーメントと支点上のせん断力を支間長5mから50mまでの5m刻みで算出した。図11-6及び図11-7は、HA荷重に対し各活荷重による曲げモーメント及びせん断力の増加率をそれぞれ示している。

Figure 11-6 Percentage Difference in B.M. Compared to HA

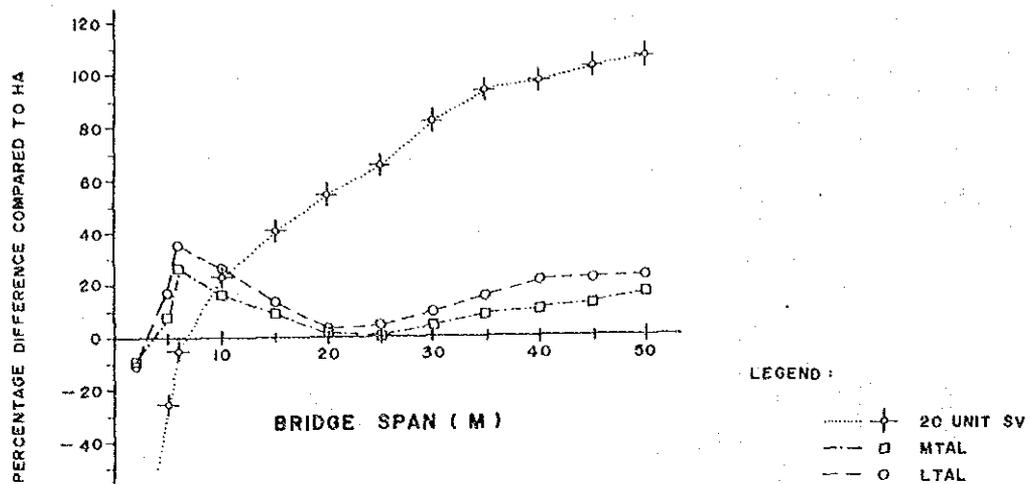
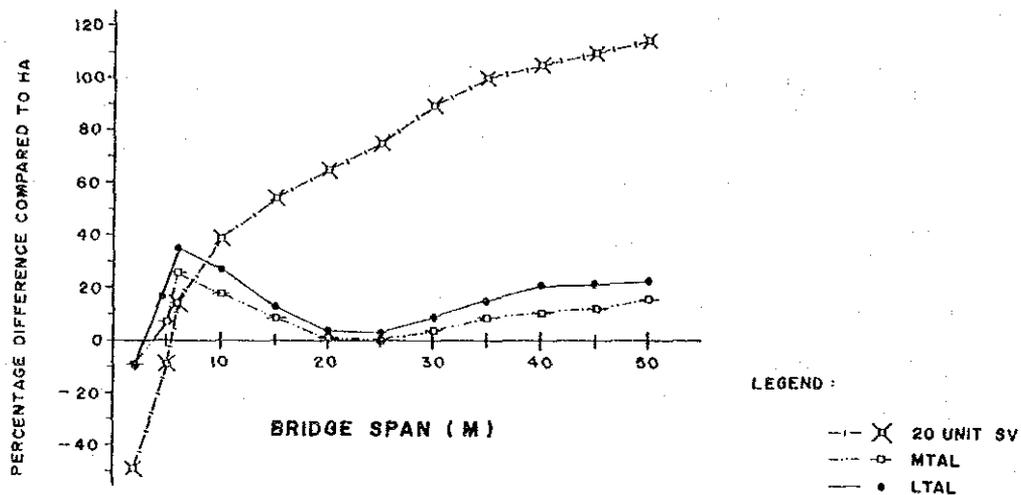


Figure 11-7 Percentage Difference in Shear Compared to HA



支間40m以上のSV荷重による曲げモーメントは、HA荷重のそれに比べてほとんど2倍である。せん断力も同様に、35m以上の支間長に対しHA荷重のそれに比べて約2倍である。この結果から、支間長約7m以上の橋梁は、SV荷重に対して耐荷力を有していないと考えられる。

MTAL及びLTALによる曲げモーメントとせん断力は、全ての支間長でHA荷重の断面力をやや上回っている。HA荷重に対するMTALの曲げモーメントとせん断力の増加率は0.1%~26.1%と比較的小さく、LTALの場合でも3.3%~35.3%である。

上記の検討結果から、本調査の活荷重としてSV 20荷重を採用した場合には、ほとんどの橋梁を補強あるいは架換えなければならないため、SV 20荷重は本調査での適用から除外した。一方、本調査の活荷重としてMTALもしくはLTALを適用するか否かについては、5.5m~13m及び39m~50mの支間長の範囲で、HA荷重との断面力

の相違は20%以上もあるので本検討からは確定できない。従って、適用活荷重を最終決定する前に全荷重による断面力の比較による検討を行う。

11.5.3 全荷重による断面力の比較

項11.5.2で行った活荷重のみによる断面力の単純比較では、明確な適用活荷重の決定を行うことは出来なかった。

一般的に、鋼橋の作用応力度は活荷重によってかなりの影響を受けるが、コンクリート橋の場合は逆である。活荷重の影響の程度は、全荷重に対する死荷重との荷重比により異なる。そのため、全ての代表的橋梁形式に対して、全荷重による断面力の比較を行わなければならない。その結果に基づき、HA荷重に対するMTAL及びLTALの断面力の増加率を求め、適用活荷重の決定を行う。考慮した代表的橋梁形式は、7.05mの車道幅員を有する支間長5m～15mのSBB、SBC、RCB、RCS、同10m～20mの1T及び同25m～50mのPCBである。

各橋梁形式毎に死荷重を含むHA荷重に対する、死荷重を含むMTAL及びLTALによる断面力の増加率を、それぞれ図11-8、図11-9に示す。

図11-8に示すように、MTALによる断面力増加率は20%以内であり、最大増加率は支間長6m、SBBの19.89%である。

一方、LTALの場合は図11-9に示すように、断面力の最大増加率は支間長6m、SB Bにおける26.92%であり、断面力増加率が20%を超過する橋梁は支間長約6m～9mのSBB、SBC、RCB及びRCSである。これらの橋梁は、調査対象橋梁全体の約28%の相当する。

しかし、20%以内の断面力の増加率は、実橋載荷試験によって立証された余剰耐荷力によってカバーされると考えられる。一方、断面力の増加率が20%を超過している橋梁（最大値26.9%）の内の何橋かについては、横方向荷重分配及び余剰耐荷力を考慮すれば、LTALに対して十分な耐荷力を有すると思われる。また、これらの橋梁に対しては、標準的な補強対策を行うことにより耐荷力の増大が可能と思われる。

11.5.4 結論

以上の検討結果から、下記事項を考慮して、本調査の活荷重としてLTALを適用することとする。

- ・ LTALは、連邦道路に適用されているJKRの現行活荷重である。
- ・ LTALとMTALとの平均的断面力の差はわずか7%である。
- ・ 20%以内の断面力の差は、実橋載荷試験に基づく余剰耐荷力によってカバーされるものとする。
- ・ LTALの断面力がHA荷重に対して20%以上超過する橋梁は、調査対象橋梁全体の28%である。しかもその内の何橋かは、横方向荷重分配及び余剰

耐荷力を考慮すれば、LTALに対する耐荷力を有していると思われる。
 また、残りの何橋かは標準的な補強対策を行うことにより耐荷力の増大が可能と考えられる。

Figure 11-8 % Difference in Sectional Forces due to Dead Load and MTAL Compared to HA

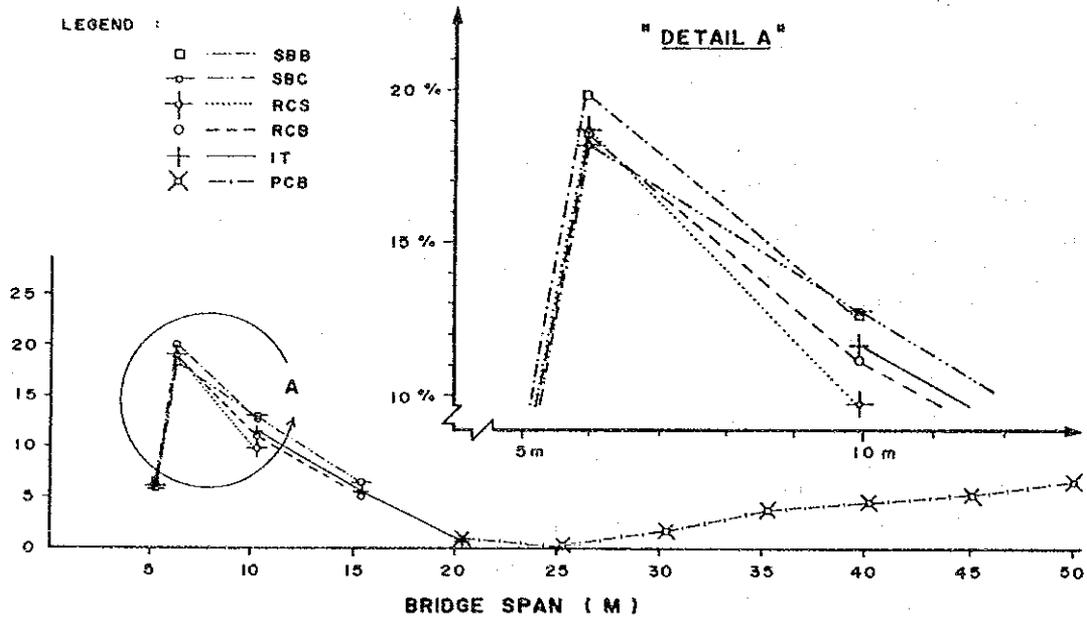
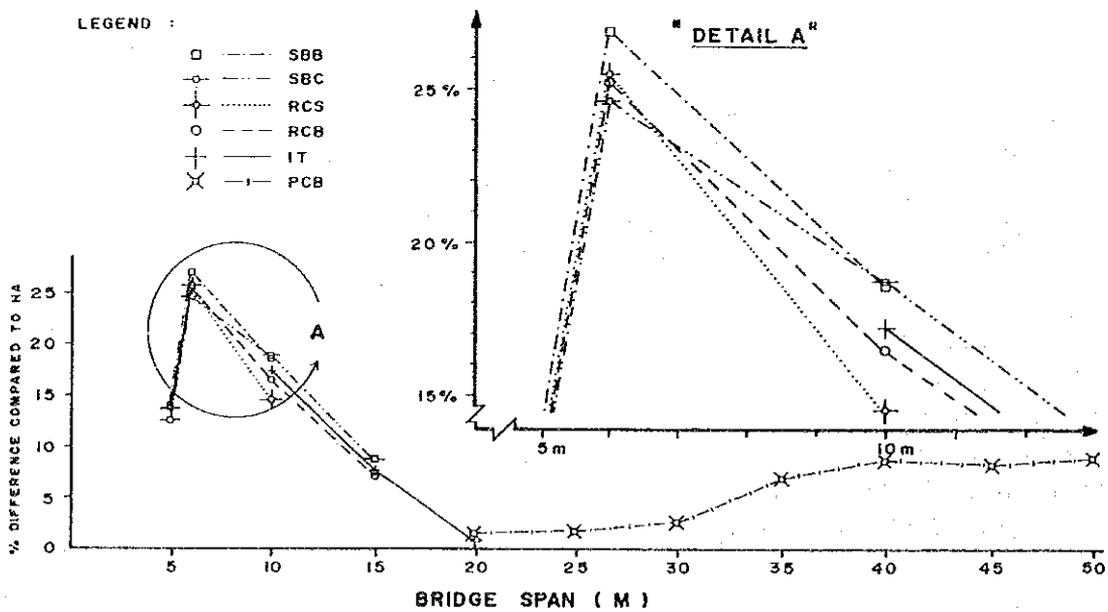
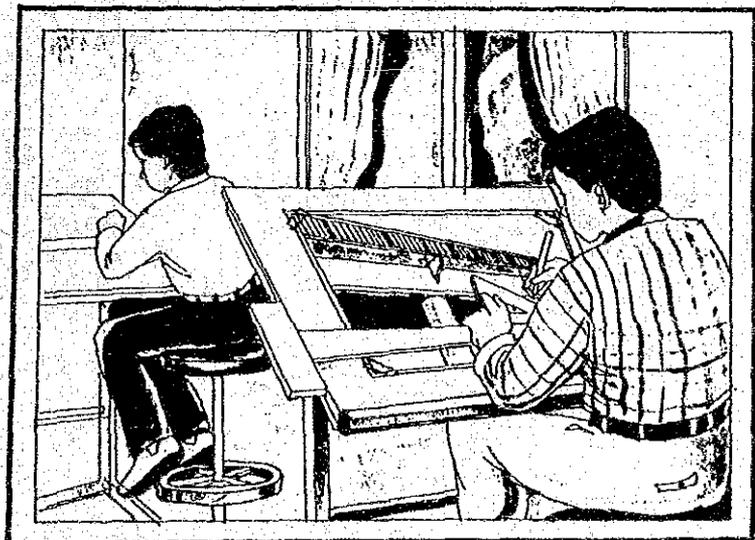


Figure 11-9 % Difference In Sectional Forces due to Dead Load and LTAL Compared to HA



第 1 2 章

概 略 修 繕 設 計



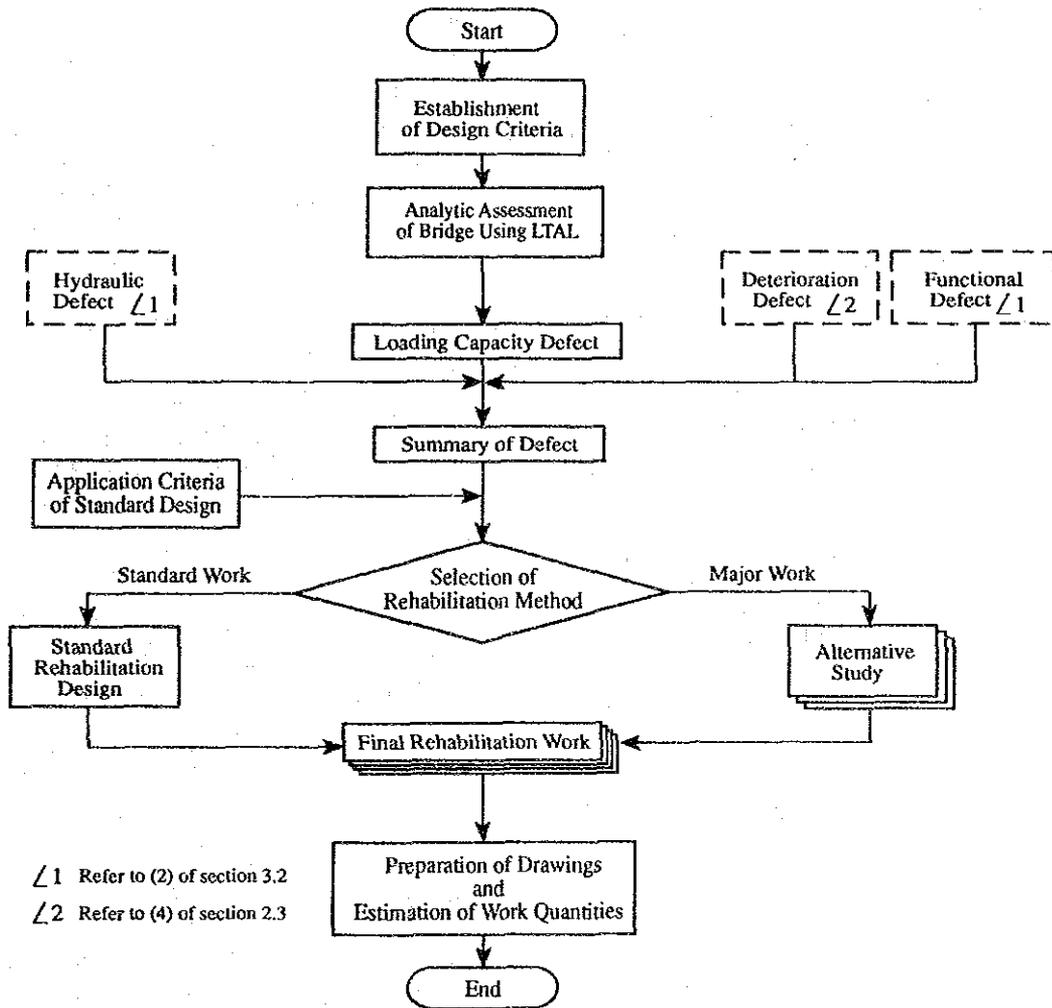
第12章 概略修繕設計

12.1 概要

3橋の特別橋梁を含む20橋を対象にした概略修繕設計の目的は、LTALを適用して橋梁の構造検討すること、標準的修繕設計を立案すること、大規模な修繕対策に対して比較設計を行うこと及び各橋梁の工事数量を算出することである。

設計の流れ及び上記作業項目の相互関係を図12-1に示す。

Figure 12-1 Flow Chart of Preliminary Design



12.2 検討基準の設定

本調査において適用する構造検討基準は、原則としてJKRの設計便覧に準拠するが、その仕様が不明確な場合、日本の道路橋示方書を適用する。検討基準は下記の設計項目を対象としている。

- ・幾何構造基準
- ・橋梁幅員
- ・橋梁設計荷重
- ・材料及び許容応力度
- ・適用する検討手法
- ・上部工の設計
- ・下部工の設計
- ・適用設計基準

本節は上記項目の概要を述べており、その詳細はAppendix-Nに添付されている。

(1) 幾何構造基準

適用した幾何構造基準は、JKRの"ARAHAN TEKNIK (JALAN) 8/86"に準拠している。

(2) 橋梁幅員

適用したR5（道路規格）の橋梁幅員は、JKRの"ARAHAN TEKNIK (JALAN) 8/86"の条項5.11に準拠している。

註記；この条項は、車道拡幅あるいは歩道添架等の機能面の修繕対策を有する橋梁、もしくは全面架換えを行う橋梁だけに適用する。

(3) 桁下余裕高

必要な桁下余裕高は、JKR橋梁設計マニュアルに明確に述べられていない。そのため、マレーシアの河川の現況を考慮して、日本の河川構造令の規定に若干修正を加え準用する。本調査において、下記の必要桁下余裕高を適用するものとする。

河川橋の桁下余裕高

<u>桁下余裕高</u>	<u>適用河川</u>
0.5m	小規模河川、計画洪水流量 500m ³ /sec以下
1.0m	中規模河川、計画洪水流量 500 - 2000m ³ /sec
1.5m	大規模河川、計画洪水流量 2000m ³ /sec以上

(4) 橋梁設計荷重

概略設計において考慮する荷重は下記の通りである。

- ・ 死荷重
- ・ 活荷重 (LTAL)
- ・ 群集荷重 (歩道荷重)
- ・ 牽引/制動荷重
- ・ 土圧

上記設計基準は、基本的にJKRの橋梁設計マニュアル及び橋梁設計荷重に関する標準示方書に準拠している。

(5) 適用設計手法

既設橋及びその修繕対策の検討は、弾性設計法 (許容応力度法) により行う。一方、既設橋に添架しない歩道拡幅あるいは架換えによる新しい橋梁は、限界状態設計法により設計する。

これら二つの異なった設計手法を概略設計に適用する理由は、

- ・ 全ての調査対象橋梁は、BS153に規定された弾性設計法に基づいて設計されている。
- ・ 調査対象橋梁の使用材料の品質にはばらつきが多い。(即ち、強度の変動が極めて大きい)

従って、既設橋及びその修繕対策の検討には弾性設計法を適用するのが安全であると考えられる。しかし、新しく設計する独立した構造物の材料品質のばらつき及び設計精度については、所要の許容誤差以内に治めることができる。よって、既設橋に添架しない独立した構造物に限って、限界状態設計法を適用するのが合理的であると考えられる。

弾性設計法はJKR橋梁設計マニュアルに準拠し、限界状態設計法については、BS4500に規定されている条項を適用する。

(6) 材料及び許容応力度

- ・ 許容応力度設計

鉄筋コンクリート構造物の許容応力度はBE 1/73に、鋼構造物はBS 153 (i) Part 3Bに規定されている値を使用する。

- ・ 限界状態設計

限界状態の材料の設計強度はBS 5400に規定されている値に準拠し、鋼材の基準降伏点応力度はBS 4360に準拠する。

(7) 適用設計基準

検討基準を作成する上で、JKR橋梁設計マニュアルを参考とした。更に、日本道路協会発行の道路橋示方書及びBS 153, BE 1/73, BS 5400 Part 1, 2, 3, 4も参考にした。

12.3 橋梁の構造検討

12.3.1 概要

修繕計画を立案する上で、全ての欠陥即ち材料の損傷・劣化、耐荷力、橋梁機能、河川工学的欠陥及びそれらの原因等を解明することが不可欠である。それによって、損傷原因を効果的に改善する最適な修繕計画を選定することができる。

この原則に従い、詳細調査対象橋梁20橋全てに対して、第8章で河川工学的欠陥及び第9章で材料の損傷・劣化と橋梁機能面からの検討を行った。従って、本節では、橋梁耐荷力の視点から、20橋に対し橋梁部材がLTALに対する耐荷力の有無を前項の検討基準に基づき検討する。

この検討結果は、上記四つの視点からの全ての損傷及びその発生原因とを合わせて本節の最後にとりまとめて示す。

12.3.2 20橋の構造解析

構造解析の主目的は、詳細構造調査や載荷試験の調査結果に基づき、各橋梁の主要構造部材のLTALに対する耐荷力を判定することである。

(1) 解析手法

本解析は、各種部材の諸元、鉄筋の径や本数及び配置等の諸寸法、及び強度や弾性係数等の材料特性値等を測定した詳細構造調査結果を用いて行った。

また、載荷試験によって、橋梁部材は設計と実橋挙動の違いから、固有の余剰耐荷力を有していることが立証された。この余剰耐荷力は、理論的に算定された作用応力度を低減する。よって、この低減係数を本検討に適用し、即ち、下記に述べる構造形式別の一定比率を用いて作用応力度を低減することにより、許容応力度と低減された作用応力度の比較を行い、部材のLTALに対する耐荷力の有無を検討した。

・ 鋼桁橋及び鉄筋コンクリート橋

鋼桁橋の検討にあたって、死荷重を含む最も不利なLTAL載荷状態で理論的に算定された最大作用応力度と鋼材の許容応力度とを比較する。最大作用応力度を20%（鋼桁橋の余裕耐荷力）低減した後の応力度が許容応力度以内であれば鋼桁橋は安全と考える。

上記手法を、鉄筋コンクリート桁橋及び鉄筋コンクリート床版橋の検討にも適用し、作用応力度に対してR.C桁橋で20%、R.C床版橋で10%の低減係数を考慮する。

・ プレストレストコンクリート構造

エンダウ橋（00317000）を除く全てのP.C桁については、有効プレストレス力は不明であった。従って、適用した検討手法は、設計荷重（HA荷重＋死荷重）と検討荷重（LTAL荷重＋死荷重）との断面力（曲げモーメント及びせん断力）の比較である。その差異がP.C桁の余剰耐荷力である20%以下であれば、P.C桁は安全であると考えた。

・ 下部工

土質柱状図、杭長及び底版の寸法等は、下部工の検討に不可欠である。しかし、それら資料はないので、下部工に適用した検討手法は、設計荷重と検討荷重との反力の比較である。もし、その差異が20～30%⁽¹⁾以下であれば、下部工は安全であると考えた。

(2) 適用解析理論

解析に用いた主な構造理論は下記の通りである。

- ・ 桁橋の横方向荷重分配は、ギヨン・マソネの直交異方性版理論によっている。
- ・ 鉄筋コンクリート床版橋には、相対二辺単純支持の有限長等方性版理論を適用する。
- ・ 鉄筋コンクリート床版には、相対二辺単純支持の無限長帯状版理論を適用する。

(3) 解析検討結果

20橋梁の解析結果を表12-1にまとめて示す。また、各橋の詳細な解析結果はAppendix-0に添付されている。

註 記 (1)；通常、下部工は約2.5～3倍の安全率を使用して設計されている。従って、20～30%の荷重増加は下部工全体の耐荷力にとってほとんど無視できる増加であると考えられる。

Table 12-1 Summary of Analytic Assessment on Existing Bridges

Bridge No.	Bridge Type	Ratio (%) <1			Assessment Results
		Slab	Beam	Substructure	
114920	RCB	-77.5	-2.8	+23.6	
161140	SBB	+34.2	+66.2	+12.6	Steel buckle plates and beams have inadequate capacity.
166510	SBG	-38.8	-43.7	+7.5	R.C Beams have inadequate capacity.
	RCB	-	+86.7	-	
237200	SBC	-26.7	+2.1	+20.4	
	RCB	-27.5	-27.1	-	
317000	PCB	-28.0	-20.0	+5.0	
319110	PCB	-6.6	+8.4	+10.3	Main beams of 2-girder type bridge have inadequate capacity
			(-3.4) <4		
341800	RCB	-80.4	-6.8	+13.5	
346740	PCB	-	<2	-	Main beams of 2-girder type bridge have inadequate capacity
520850	SBE	-55.3	-7.7	+0.8	
546560	RCB	-4.3	+19.7	+14.3	Main beams have inadequate capacity.
546980	RCS	+138.7	-	+9.4	R.C Slab has inadequate capacity.
563880	IT	-	-12.4	+0.5	
567840	PRB	-	-14.9	+24.4	
834850	RCS	-2.1	-	+7.0	
5001070	SBB	<3	+105.8	+7.9	Steel buckle plate and beam have inadequate capacity.
5803340	SBB	<3	+20.6	+18.8	Steel buckle plate and beam have inadequate capacity.
5903120	SBC	+73.9	+0.7	+16.0	Slab has inadequate capacity.
Dambai	SBC	+6.3	+34.5	+12.1	Slab and beams have inadequate capacity.
Samarahan	SBC	+99.9	+24.4	+3.6	Slab and beams have inadequate capacity.
	RCB	-	-12.8	-	
371000	RCB	-7.3	-7.8	-0.9	

Notes : <1 Percentage increase (+) or decrease (-) against allowable stress or design force.

<2 The assessment results of Bridge No. 319110 is utilized to this bridge.

<3 The assessment results of Bridge No. 161140 is utilized to this bridge.

<4 Figure in () means the result of 4-girder type bridge.

12.3.3 橋梁番号00512960の杭損傷の検討

本調査の過程で、20橋の詳細調査に加えて、本橋の杭損傷の原因の解明と修繕対策の立案をJKRから要請されたため本検討を行った。

(1) 損傷状況

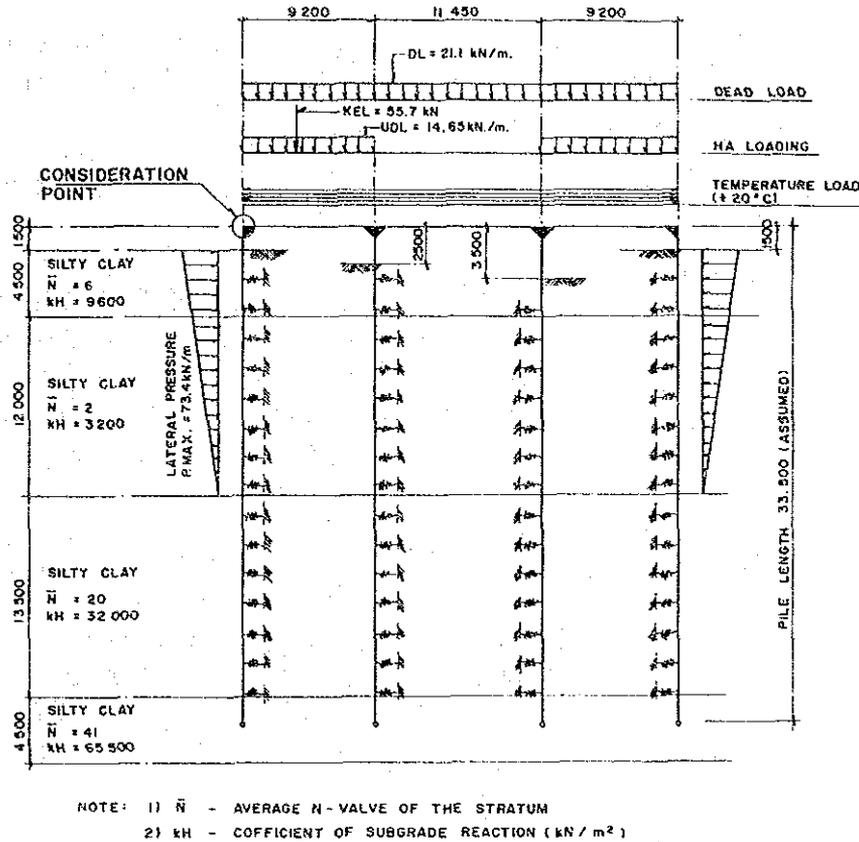
本橋は橋長30.4mの3径間連続ラーメン橋（R.C床版）であり、R.C桁はR.C杭に剛結されている。橋台の7本の杭の内、2本の斜杭が鉛直から約10度の角度で橋台背面方向に打ち込まれている。JKRから入手したボーリング柱状図によれば、これらの杭は圧密沈下の可能性が極めて高いシルト質粘土層を貫通して、N値約40のシルト質粘土層に根入れされており、杭長は30m～35mであると思われる。

全てのパイルキャップは幅3mmから18mmのひび割れを有しており、コンクリートの表面には剥離が見られる。2本の斜杭のパイルキャップは最も著しい損傷を受けており、両端の鉛直杭の損傷は比較的軽い。

(2) 検討手法

検討のための解析モデルを図12-2に示す。

Figure 12-2 Analytic Model for Assessment



考慮した荷重は、死荷重、活荷重、温度荷重及び軟弱なシルト質粘土層の圧密沈下に伴う側方流動圧である。側方流動圧の荷重強度は、日本道路協会発行の関連指針に準拠し、算定した。

(3) 検討結果

弾性設計法により解析を行い、その結果を表12-2に示す。

Table 12-2 Assessment Results of Pile Failure

	Sectional Force			Working Stress (N/mm^2)		Allowable Stress (N/mm^2)	
	Bending Moment (KNm)	Shear Force (kN)	Axial Force (kN)	Concrete	Rebar	Concrete	Rebar
Dead Load	22.8	10.4	81.5	2.0	19.0	10.0	140.0
Live load (HA)	15.1	6.7	93.9	1.4	6.5		
Temperature Load	43.7	29.3	7.9	3.2	63.5		
Lateral Pressure	111.8	69.5	18.1	8.1	162.9		
Total	193.4	115.9	201.4	14.8	248.9		

表12-2に示すように、死荷重、活荷重及び温度荷重によって発生する作用応力度は許容応力度以内である。しかし、上記全ての荷重による作用応力度は鉄筋の降伏点応力度を超過する。

従って、杭損傷の主な原因は、軟弱地盤の圧密に起因する側方流動圧によるものであると考えられる。

また、斜杭のパイルキャップが最も著しく損傷している理由は、杭が傾斜しているために土の圧密によって生ずる鉛直沈下と側方流動圧の両方が作用しているためと思われる。

(4) 修繕対策

軟弱な地層は今後も圧密沈下を継続すると思われるので、橋台を補強することが重要である。しかし、土中部の杭の損傷程度や竣工図等の資料が無いことを考慮すると、この橋台を補強することは非現実的である。従って、負の周面摩擦力を考慮して杭の許容支持力を低減した杭基礎のラーメン形式橋台を既設橋台の近くに建設することが望ましい。この修繕対策は橋梁番号00546980で提案した対策工と同じである。

12.3.4 特定重車両に対する橋梁の検討

1990年9月13日に開催された調査運営委員会 (Steering Committee Meeting) において、20橋の内の代表的な2~3橋に対して大型コンテナを運搬している重車両による影響を耐荷力の面から検討し、これら重車両の通行を許可した場合橋梁の規格向上のために必要な経費を調査するようマレーシア側より要請された。従って、追加作業として本検討を行った。

(1) 特定重車両の形状

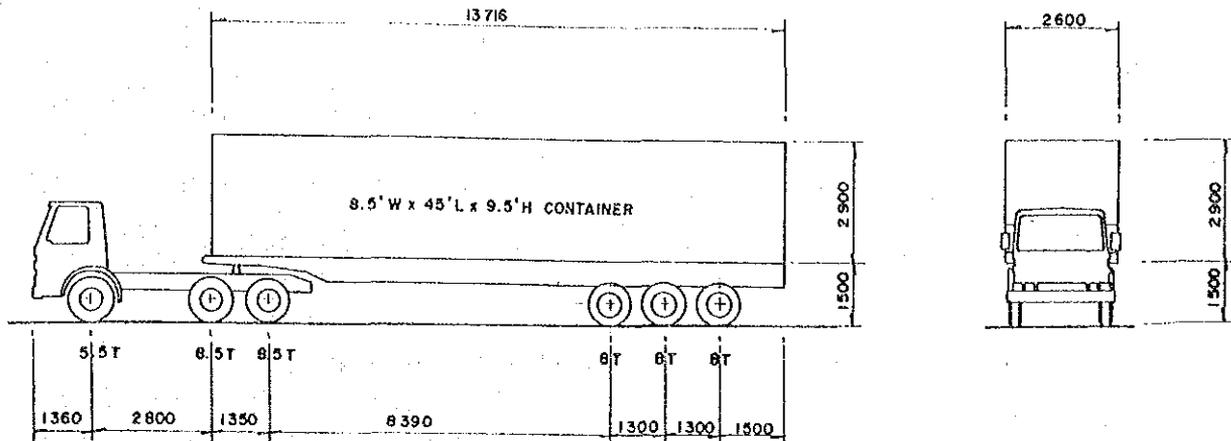
本検討の中の特定重車両とは、高さ2.6m、幅2.4m、長さ12.2mのISO (国際標準化機構) 標準コンテナよりも大きい大型コンテナを運搬するトレーラーを言う。

ESCAP (アジア太平洋社会経済委員会) の報告によれば、現在使用されている大型コンテナの最大寸法は、高さ2.9m、幅2.6m、長さ16.154mである。

橋に対するコンテナ荷重による影響の検討に際して、橋梁により厳しい影響を与え、ASEAN諸国において代表的なコンテナである最大総重量33ton、長さ13.716mの大型コンテナを適用する。

この重いコンテナを運搬するためには、三軸トレーラーが必要であり、三軸の牽引車によって牽引する必要がある。この特定重車両の形状を図12-3に示す。

Figure 12-3 6-Axle Articulated Special Heavy Vehicle

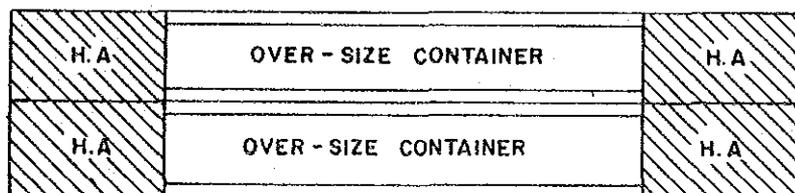


(2) 載荷基準

日本における特定重車両の影響に関する研究と交通調査によれば、2台の特定重車両が橋梁上を互いにすれ違うことは頻繁であるが、これらの車両が連行して走行することは極めて希である。

従って、日本の現行規定に従い、載荷する特定重車両は橋軸方向一台、橋軸直角方向二台までとし、載荷長の残りの部分にはHA荷重の等分布荷重を載荷するものとする。上記の荷重載荷基準を図12-4に示す。

Figure 12-4 Loading Application Criteria



(3) 検討対象橋梁の選定

20橋の中から代表的な支間長及び橋梁形式を全て網羅するように下記の橋梁を選定した。

橋梁番号	郡 / 州	形式	支間
00317000	ロンピン、パハン	PCB	30.48m
00341800	ケママン、テレンガヌ	RCB	12.10m
05803340	パタンパダン、ペラ	SBB	5.35m

(4) 検討結果

特定重車両による主桁への影響については検討を行ったが、床版への影響については特定重車両の輪荷重の大きさがLTALよりも小さいので安全であると考え検討は省略した。

LTAL（死荷重を含む）と特定重車両及び死荷重による最大曲げモーメントの比較検討結果を表12-3に示す。

Table 12-3 Assessment Results of Special Heavy Vehicle Loading

Bridge No.	Maximum Bending Moment induced by LTAL on a Main Girder (KNm) (1)	Maximum Bending Moment including impact effect induced by Special Heavy Vehicle on a Main Girder (KNm) (2)	Ratio (2)/(1)
00317000	2005.0	1464.7	73 %
00341800	442.8	376.9	85 %
05803340	139.5	113.2	81 %

表12-3から、特定重車両により発生する応力度はLTAL荷重により発生する応力度より小さい。尚、橋梁番号05803340の検討は、これらの橋梁の規格向上に必要な経費を調査するため、バックルプレート床版をコンクリート床版に打換えた修繕対策実施後の橋梁を対象にしている。

(5) 結論

大型コンテナを運搬するこの特定重車両は、調査対象橋梁の主桁や床版に対してLTALに比べて過大な応力度を生じさせることがないと考えられる。従って、LTALを考慮して調査対象橋梁の修繕対策を行えば、特定重車両の導入に伴う工事費の増加は考えられない。

しかし、この特定重車両を導入することによる、道路の建築限界、平面・縦断線形等の道路幾何構造及び交通容量の観点からの検討は本調査の中で行っていない。

従って、この種の大型コンテナを導入する前に、上記の視点からの影響を検討する調査を実施するよう提案する。

12.3.5 検討結果のまとめ

(1) 損傷のまとめ

前章及び前節で行った検討結果から、材料の損傷・劣化、LTALに対する耐荷力、橋梁機能及び河川の四項目に分類された全ての損傷が、その原因と共に明らかになった。

詳細調査対象橋梁20橋梁の中で見つかった損傷の全てを一覧表にして表12-4に示す。

Table 12-4 Summary of Defects

Category	Defect	Member	Bridge Type	
STRUCTURAL DEFECT	MATERIAL DETERIORATION DEFECT	Water stain	Slab Soffit	IT
		Vertical hairline crack	PC Beam	PCB
		Honeycomb, rebar exposure and spalling	Beam Soffit	
		Water Stain and moss	Beam Web	
		Water stain	Slab Soffit	PRB
		Vertical cracks	Beam Web	RCB
		Spalling and Flaking	Cross Beam	
		Honeycomb and spalling	Deck Slab Soffit	
		Longitudinal cracks and rebar exposure	Beam Soffit	
		Spalling and water stain	Beam Web	
		Honeycomb, flaking and wear	Slab Soffit	RCS
		Water stain	Slab Soffit	SBB
		Corrosion, paint deterioration and water stain	Steel Beam	
		Corrosion, paint deterioration and water stain	Buckle Plate	SBC
		Honeycomb and Spalling	Deck Slab Soffit	
		Corrosion, paint deterioration and water stain	Steel Beam	
		Lateral crack	Deck Slab Soffit	
		Spalling and Rebar exposure	Deck Slab Soffit	
	Rebar exposure and spalling	Slab Soffit	SBE	
	Rebar exposure and flaking	Beam	Common to All Bridges	
	Corrosion, paint deterioration	Steel Pier		
	Flaking and Honeycomb	Abutment		
	Flaking of plaster	Abutment		
	Wear, Longitudinal crack and Rebar exposure and Spalling	Pier		
	Rebar exposure and spalling	Pier		
	Alligator cracks	Pile Cap		
	Flaking and cracks	Pier Cross Head		
	LOADING CAPACITY DEFECT	Inadequate capacity	Main Beam (2 Girder Type)	PCB
Inadequate capacity		Main Beam	RCB	
Inadequate capacity		Main Slab (Lateral)	RCS	
Tilted Structure		Abutment	SBC	
Inadequate capacity		Steel Beam		
Inadequate capacity		Deck Slab	SBB	
Inadequate capacity		Steel Beam		
Inadequate capacity	Buckle Plate			
FUNCTIONAL DEFECT	Too narrow	Carriageway	PRB	
	Too narrow and absent sidewalk	Bridge Width	RCB	
	Too narrow and absent sidewalk	Bridge Width	SBB	
HYDRAULIC DEFECT	Local scouring	Pier	Common to All Bridges	
	Scouring	Abutment		
	Inadequate free board	Bridge Opening		
	Bank erosion	River Bank		
	Slope protection failure	River Bank		
	Submerged beam	Bridge opening		

(2) 標準修繕工法のみまとめ

損傷とその発生原因及びそれに対応する修繕工法を橋梁毎にまとめ、Appendix-Pに添付する。

選定された修繕工法をまとめて表12-5に示す。

Table 12-5 Summary of Selected Rehabilitation Methods

Classification		Steel Material	Concrete Material	
STRUCTURAL REHABILITATION	SUPERSTRUCTURE	Protection	<ul style="list-style-type: none"> o Repainting o Exposy Injection o Protective Coating o Patching o Guniting o Installation of water proof layer 	
		Reinforcement	<ul style="list-style-type: none"> o Installation of Additional Beam o Provision of Cross Beam o Attachment of steel plate o Prepacked concrete lining with additional rebar o Concrete Lining by guniting w/rebar o Steel plate bonding 	
		Replacement	<ul style="list-style-type: none"> o Replacement by R.C slab o -- None -- 	
	Incidental facility		<ul style="list-style-type: none"> o Extension of drainage pipe o Installation of water drop o Replacement of Expansion Joint o Replacement of bearing <2 o Replacement of railing <2 	
	SUBSTRUCTURE	Protection	<ul style="list-style-type: none"> o Repainting (N/A) o Concrete lining 	<ul style="list-style-type: none"> o Concrete lining (Brick Abutment) o Concrete lining o Patching
		Reinforcement	<ul style="list-style-type: none"> o Concrete lining (N/A) 	<ul style="list-style-type: none"> o Underpinning by additional pile <3
		Replacement	<ul style="list-style-type: none"> o -- None -- 	<ul style="list-style-type: none"> o Replacement of abutment by rigid flame
	Hydraulic Rehabilitation		<ul style="list-style-type: none"> o Slope protection o Foot protection o River bed protection o Spur dikes 	
	Functional Rehabilitation		<ul style="list-style-type: none"> o Adding sidewalk o widening carriageway o Raising grade 	

Note <1 In principal, steel bearing to a steel beam while rubber bearing to a concrete beam
 <2 This item is included in replacement of deck slab
 <3 This item is included in raising grade
 N/A means not applicable

12.4 標準修繕設計

本節では、本調査の中で適用され、また橋梁維持・修繕分野で比較的よく知られている標準的な修繕工法について述べられている。

各標準修繕工法に対する適用基準は、損傷の種類、程度、範囲及びその発生原因のみならず各工法の効果の度合い等を考慮して作成された。

標準修繕設計は7種類に大別される。

- (1) コンクリートの保護
- (2) コンクリートの補強
- (3) 鋼材への保護・補強
- (4) 下部工の保護・補強
- (5) 河川対策工
- (6) 付帯施設
- (7) 仮設工

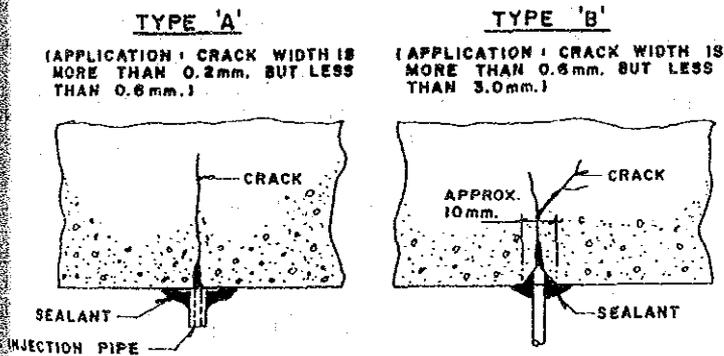
上記(6)及び(7)を除く各標準修繕工法を以下に整理して示す。尚、(6)及び(7)については第4巻、図面集の図番27及び29を参照のこと。

(1) コンクリートの保護対策

一般的に、保護工は進行する恐れのない損傷に適用する。

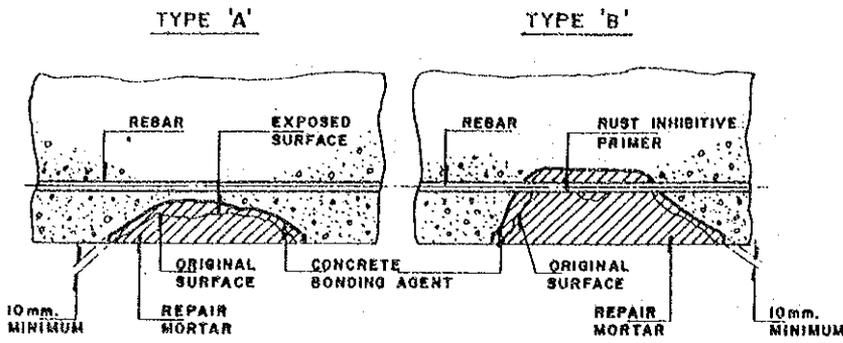
・ エポキシ注入工法

適用基準



- ・ ひび割れは進行する恐れがなく、その幅は0.2~0.3mmである。
- ・ ひび割れの発生原因は、コンクリートの乾燥収縮もしくはクリープによるものである。
- ・ 漏水や鉄筋の錆汁が発生していない。
- ・ 中性化の進行や塩害を受けていない。
- ・ ひび割れ幅が0.3mm以上ある場合は、セメントペーストを注入する。

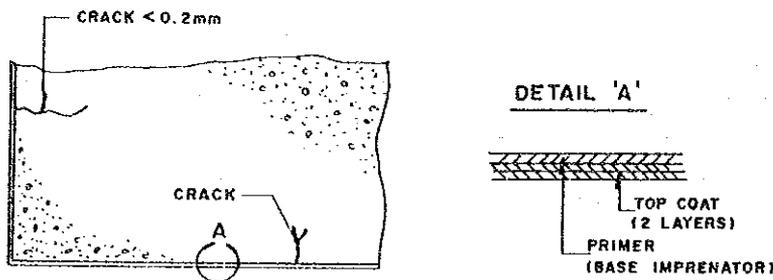
・ 充填工法



適用基準

- ・ 損傷は進行する恐れのない豆板、剥離、空洞等。
- ・ 損傷の原因は、施工不良や作業員の技量不足によるものである。
- ・ 中性化は僅かで、塩害や漏水はない。
- ・ コンクリートのかぶりは十分である。

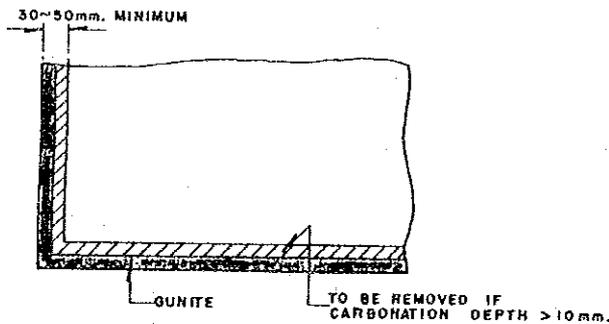
・ 防護被覆工法



適用基準

- ・ ひび割れは進行する恐れはなく、その幅は0.2mm以下である。
- ・ 漏水、すり減り侵食、剥離などが無い。
- ・ 中性化は僅かで、塩害を受けていない。
- ・ コンクリートのかぶりは十分である。

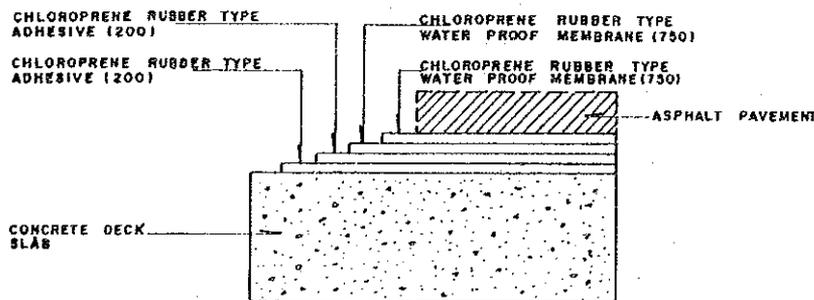
・ コンクリート吹付け工法



適用基準

- ・ ひび割れ（幅は0.2mm以下）は進行する恐れはない。
- ・ コンクリートは多少中性化している。
- ・ コンクリートのかぶりが不足している。
- ・ 漏水は無い。
- ・ 損傷は広範囲に及んでいる。

・ 防水工



NOTE: FIGURE IN () SHOWS STANDARD UNIT RUBBER SOLVENT CONTENT (g/m²).
STANDARD THICKNESS OF WATER PROOF LAYER IS 0.4~1.5mm.

適用基準

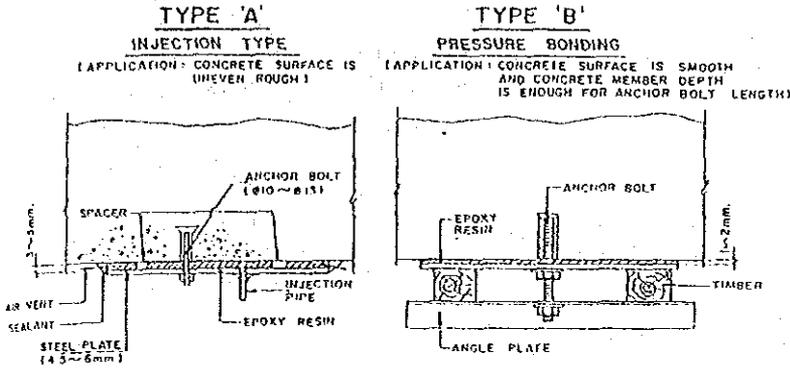
- ・ 漏水による汚れや遊離石灰及びその他の複合した損傷が床版下面に見られる。
- ・ これらの損傷は進行する恐れはない。
- ・ 損傷した床版あるいはプレキャスト部材間の継ぎ目から雨水が浸透している。

(2) コンクリートの補強対策

この補強対策は、原則として、耐荷力不足あるいは曲げやせん断ひび割れ、もしくは二方向ひび割れ等を有する橋梁部材に適用する。

・鋼板接着工法

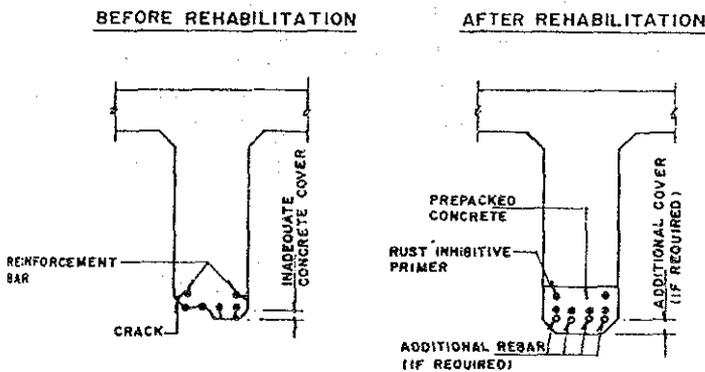
適用基準



- ・耐荷力の不足（鉄筋量の不足）
- ・中性化の進行や漏水が無い。
- ・曲げモーメントやせん断力によるひび割れは進行する恐れがある。
- ・コンクリートのかぶりは十分である。

・プレバクトコンクリート打足し工法（鉄筋増設）

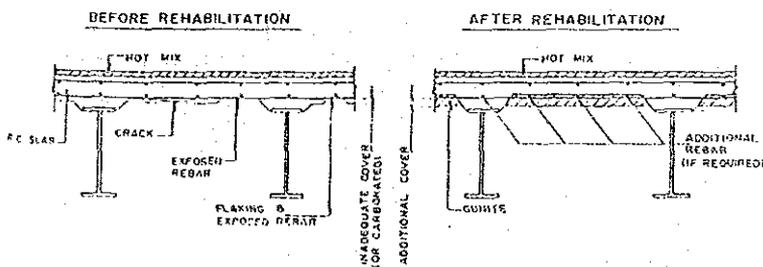
適用基準



- ・耐荷力の不足
- ・曲げモーメントによる進行性のひび割れが多い。
- ・コンクリートのかぶりが不足している。
- ・損傷は広範囲である。
- ・損傷部位はコンクリートの打設が困難な位置にある。

・コンクリート吹付け工法（鉄筋増設）

適用基準



- ・耐荷力の不足
- ・曲げモーメントやせん断力による進行性のひび割れが多い。
- ・死荷重の増加による応力増大に対して主桁や床版は十分な安全性を有している。
- ・橋梁が比較的塩害を受け易い地域に位置している。
- ・中性化が進行している。
- ・損傷は広範囲である。

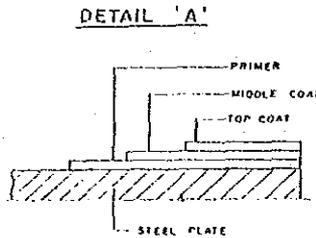
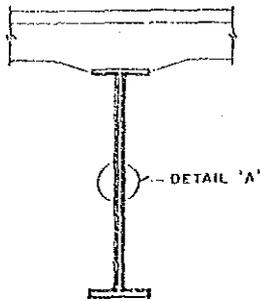
(3) 鋼部材の保護・補強対策

(a) 保護対策

下記保護対策は、進行する恐れのない損傷を有する鋼部材に適用する

・塗替塗装（上部工）

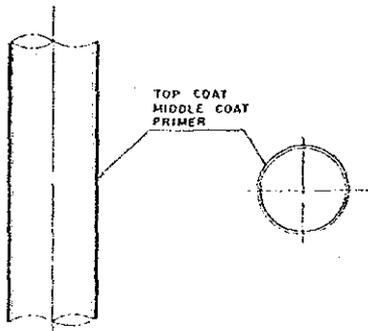
適用基準



- ・耐荷力は十分である。
- ・腐食は著しくない。
- ・塗装の劣化

・塗替塗装（下部工）

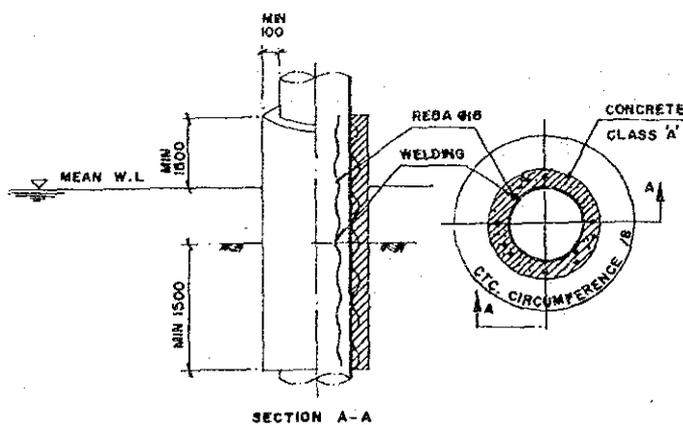
適用基準



- ・鋼材表面は若干腐食しているが、耐荷力は十分である。
- ・橋梁は厳しい環境条件下に位置していない。
- ・塩害の恐れは無い。

・コンクリート巻立て工法

適用基準



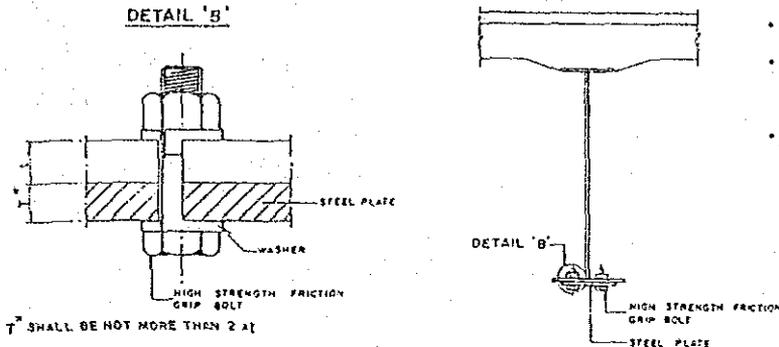
- ・鋼材表面は著しく腐食しているが、耐荷力は十分である。
- ・橋梁は厳しい環境条件下に位置している。
- ・塩害の恐れは極めて高い。

(b) 補強対策

下記補強対策は、耐荷力不足の鋼部材に適用する。

・カバープレート補強工法（上部工）

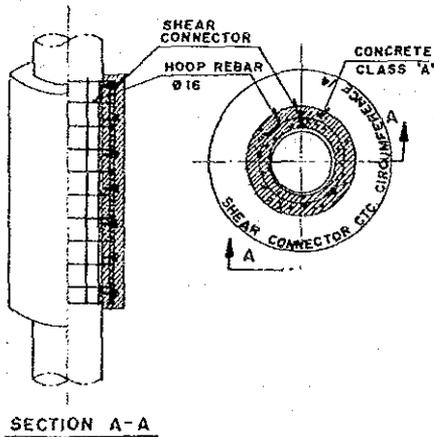
適用基準



- ・耐荷力の不足
- ・超過応力度は、許容応力度の20%以下である。
- ・著しい腐食や塗装の劣化は無い。

・コンクリート巻立て工法（下部工）

適用基準



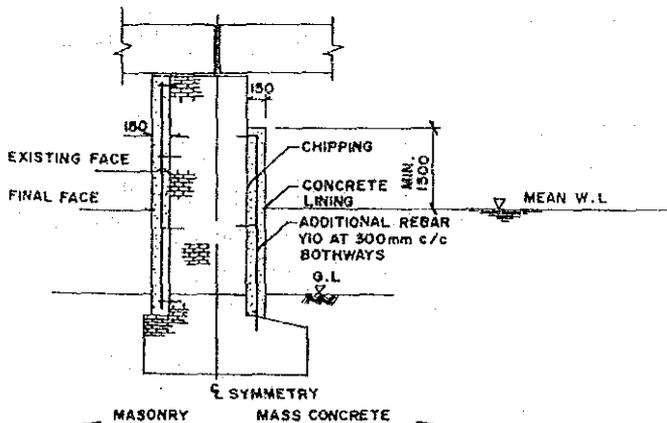
- ・鋼材の表面が著しく腐食し、耐荷力が不足している。
- ・橋梁は厳しい環境条件下に位置している。

(4) コンクリート下部工の保護・補強対策

下記対策工は下部工に適用する。

・コンクリート巻立て工法（壁式）

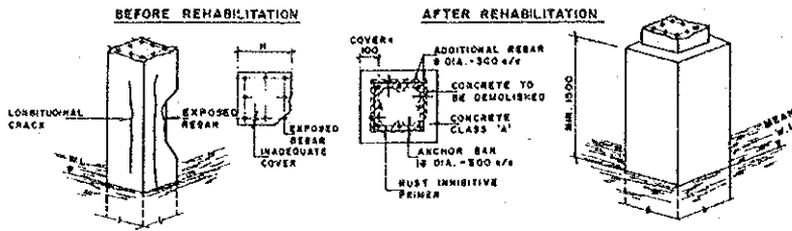
適用基準



- ・かぶり不足あるいはレンガ積み下部工のレンガの露出
- ・コンクリート表面のすり減りあるいは化学的な侵食
- ・コンクリートの中性化が進行している。

・コンクリート巻立て工法（パイルベント形式）

適用基準



- ・鉄筋のかぶり不足
- ・塩害や鉄筋の腐食に起因する幅の広い縦方向ひび割れがある。
- ・コンクリート表面のすり減り及びコンクリートの品質不良や化学的侵食によるコンクリートの損傷
- ・コンクリートの中性化が進行している。

(5) 水工学的修繕

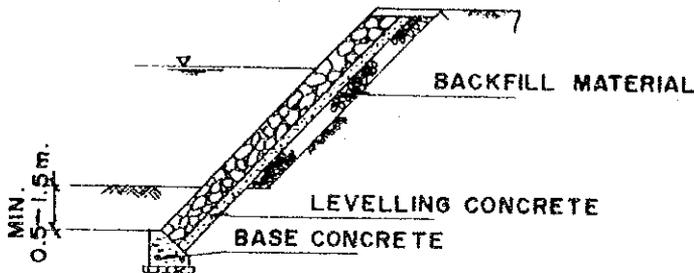
水工学的修繕対策は、防護工が設置される位置により護岸工、法尻護岸工、床固工及び河道修正工から構成される。

(a) 護岸工

この種の対策工法は、橋台廻りの浸食された河岸法面に適用する。

・石積み工

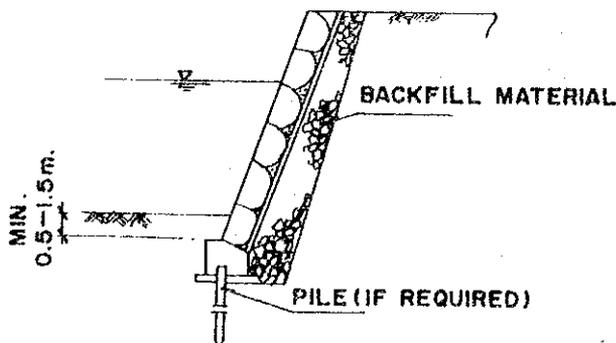
適用基準



- ・法面勾配 1:0.5~1.5
- ・高さ 5m以下
- ・対象河川 中小河川

・コンクリートブロック積み工

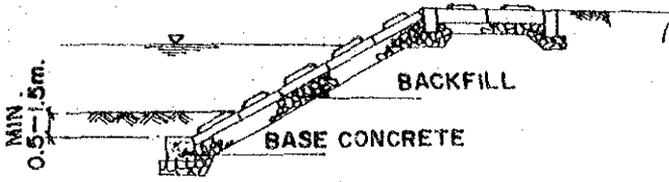
適用基準



- ・法面勾配 1:0.3~1.0
- ・高さ 3m以下
- ・対象河川 中小河川

・コンクリートブロック護岸工

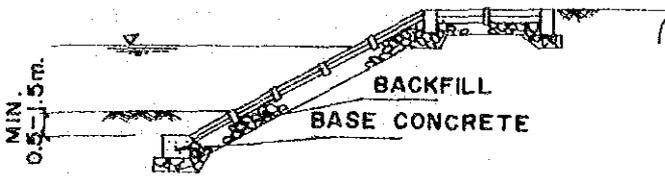
適用基準



- ・法面勾配 1:1.5~2.0
- ・高さ 5m以下
- ・対象河川 大中河川

・コンクリート法枠工

適用基準



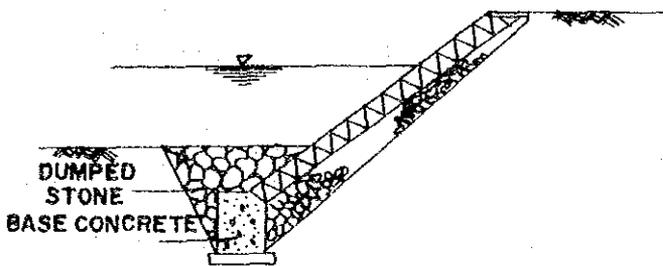
- ・法面勾配 1:1.5~2.0
- ・高さ 5m以下
- ・対象河川 潮位の影響を受ける河川及び波力を受ける河岸法面

(b) 法尻護岸工

この種の対策工法は、河床洗掘による法面崩壊を防止するために護岸工の法尻に適用する。

・捨石工

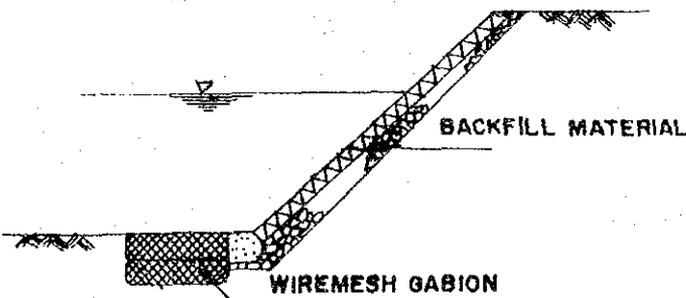
適用基準



- ・中小規模河川及び基礎地盤が比較的堅いの場合。

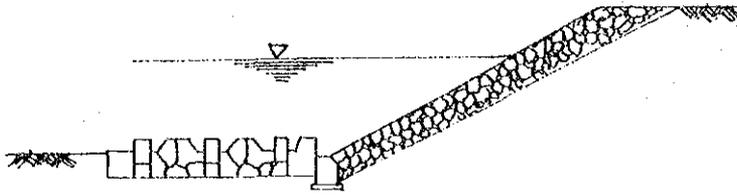
・蛇籠工

適用基準



- ・小規模河川及び基礎地盤が軟弱な場合

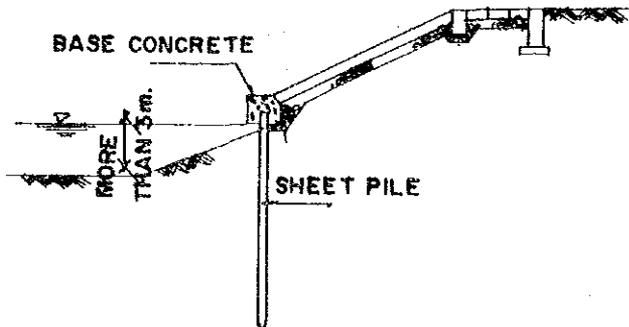
・コンクリートブロック根固工



適用基準

- ・大中規模河川及び河川の流速が速い場合

・鋼矢板仕切壁工



適用基準

- ・法尻の水深が3m以上あり、法尻の河床に基礎コンクリートを打設することが困難な場合

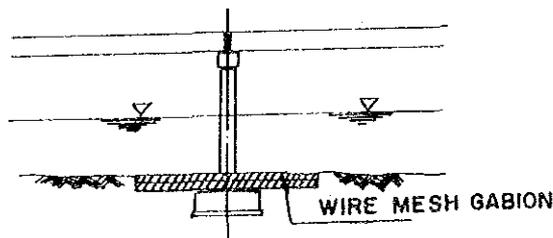
(c) 床固工

この種の対策工は、橋脚廻りの局部洗掘や河床の低下防止のために適用する。

・蛇籠工

適用基準

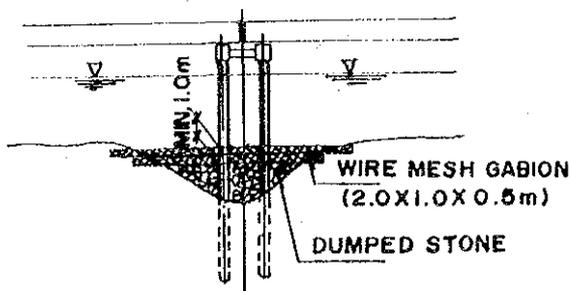
- ・直接基礎工の防護



・捨石及び蛇籠併用工法

適用基準

- ・局部洗掘

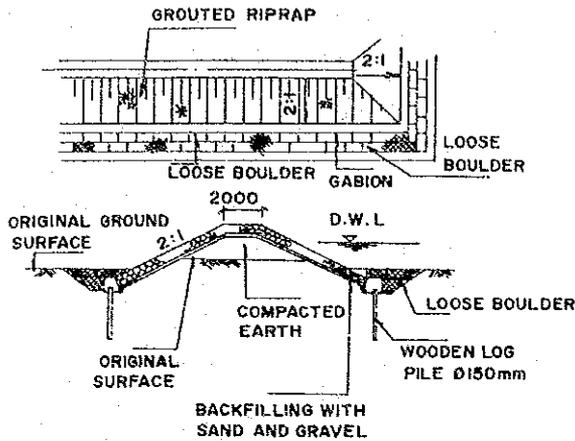


(d) 河道修正工

この種の対策工は、架橋位置上流部が河川の蛇行のため著しく浸食された河岸の防護に対して適用する。

・石積み水制工

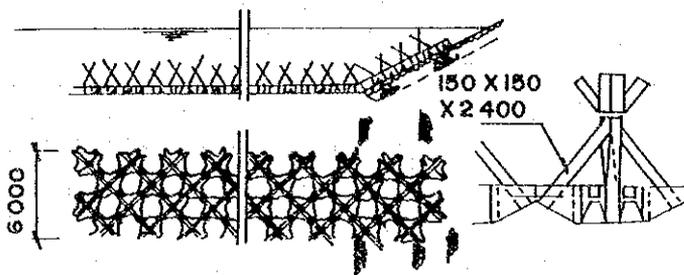
適用基準



・大規模河川

・コンクリート杭水制工

適用基準



・大・中規模河川

12.5 比較設計

20橋の内、ほとんどの橋梁は標準修繕工法を適用して修繕可能であるが、2～3の橋梁は最適な修繕対策を選定することが困難である。これらの橋梁は、橋梁の架換え、バックルプレート床版の打換え及び橋梁の嵩上げ等の修繕計画を有する橋梁である。

これら大規模な修繕対策に対しては、いくつかの比較案を作成し、構造的な視点、工事費、維持費、工期及び景観等の視点から比較検討を行い、最適な修繕計画案を選定した。

下記に、架換え対象橋梁00166510、嵩上げ対象橋梁00317000及びバックルプレート床版打換え対象橋梁00161140の比較検討を示す。

(1) 橋梁番号00166510

本橋は当初、長さ10.68mの単純鋼箱桁（SBG）として1935年に建設され、その後、同じ長さのR.C桁（RCB）で拡幅が行われた。現在の橋梁幅員は歩道なしの7.910mである。

検討を通して明らかになった損傷は、下記の通りである。

- ・ 鋼部材の腐食の進行
- ・ R.C桁及び床版下面の広範囲な剥離
- ・ RCBとSBGの継ぎ目に沿った幅の広い橋軸方向のひび割れ
- ・ 局部洗掘に伴う不等沈下による橋台のひび割れ
- ・ R.C桁の耐荷力不足
- ・ 狭小な車道幅員と無歩道
- ・ 局部洗掘と河岸法面の浸食
- ・ 流送土砂堆積による河川断面の縮小

本橋が、材料劣化のみならず耐荷力不足、橋梁機能及び水工学的等の複合的な欠陥を有していること考慮して、修繕対策の比較案として下記3案を立案し検討を行った。

- 第一案 プレストレスト逆T桁（IT）及び既製R.C杭基礎を伴う逆T式橋台による現橋の架換え
- 第二案 第一案に類似しているが、上部工は鋼橋を採用する。
- 第三案 既設橋台近傍ヘラーメン橋台の設置を含む現橋の全面的な修繕

表12-6に示す比較検討結果から、工事費の面から第三案は他に較べて最も優れている。しかし、不十分な桁下空間及び頻繁な維持、修繕の必要性等の基本的な問題が依然として残る。従って、橋梁番号00166510の最適な修繕工法として第一案を選定した。

(2) 橋梁番号00317000

本橋は、放物線形状の縦断線形を有する橋長398.5m、9径間のP.C桁橋であり、エンダウ川の河口に位置している。

検討を通して明らかになった主要な損傷は、下記の通りである。

- ・ 両端支間のP.C桁が冠水すること
- ・ 両端支間の横桁や主桁の鉄筋及びP.C鋼材の露出
- ・ 両端支間の上部工の塩害の進行

主に、両端支間における不十分な桁下空間に起因する損傷を考慮して、下記の比較案を作成した。

- 第一案 両端支間のP.C上部工を約1.4mの嵩上げして全面的に架換えると共に、増杭をして橋台を補強する。
- 第二案 第一案に類似しているが上部工は鋼橋である。橋台の補強は必要としない。
- 第三案 両端支間のP.C上部工を全面的に架換え、嵩上げを行わない代わりに防護被覆工法を併用する。

表12-7に示すように、施工の面から第三案が最も優れている。しかし、第三案は、防護被覆工法の塩害に対する耐久性に疑問があるので頻繁な維持（塗替え）が必要である。更に、この案では、主桁が冠水するという基本的な問題が依然として解決されない。これらを考慮して、最適な修繕工法として第一案を選定した。

(3) 橋梁番号00161140

調査対象216橋梁の内、SBBは76橋梁、35.2%を占める最も代表的な橋梁形式である。SBBの主な損傷・欠陥は腐食の進行、雨水による汚れ、塗装劣化等であり、特に大きな問題は、LTALに対するバックルプレート床版及び主桁の耐荷力不足である。

加えて、主桁の上フランジに取り付けられているアーチ形状のバックルプレートは、潜在的な維持・構造上の欠点を有しており、桁とバックルプレートとの継ぎ目に浸透水が集中することに伴う腐食のために、際限のない再塗装を必要とする。そして、腐食の結果として、座屈という構造的損傷に発展する。

バックルプレートの損傷及び維持・構造上の欠陥を考慮して、バックルプレート床版を打換えるものとし、下記に示す三つの比較案を検討した。

第一案 場所打ちコンクリート床版による打換え。

第二案 第一案に類似しているが、グレーチング床版を使用する。

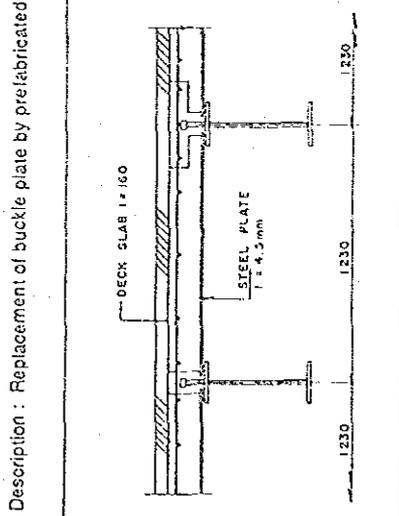
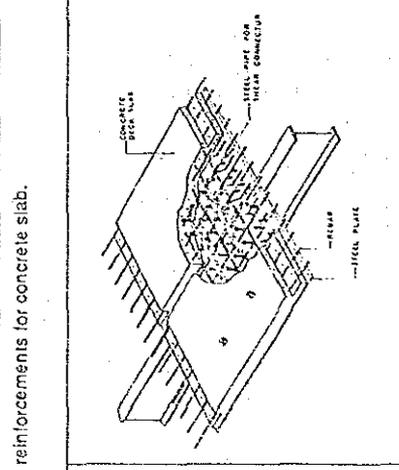
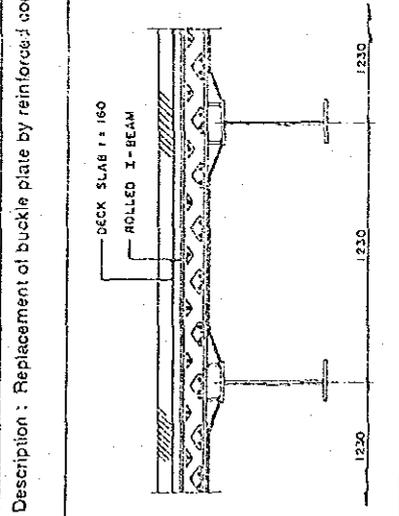
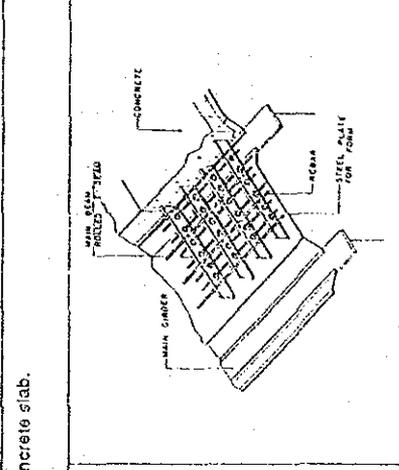
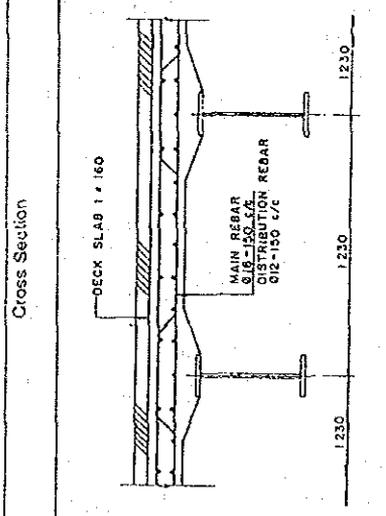
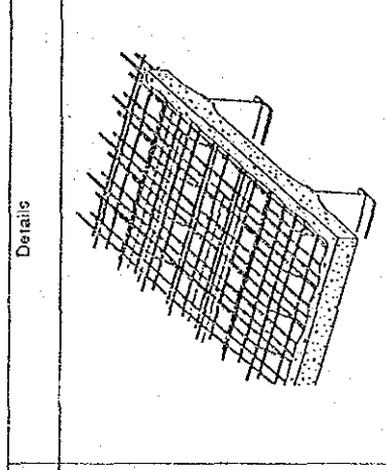
第三案 第一案に類似しているが、コンボスラブを使用する。

表12-8に示す比較表に基づき、第一案を工事費の面から最適修繕工法として選定する。

Table 12-8 Alternative Study (3)

Legend: ⊙ Good
 ○ Fair
 △ Bad
 X Very Bad

Assessment Items	Assessment	Assessment Results	Overall Result
Construction	\$200/m ²	<1	⊙
Cost	Consistent with current practice in Malaysia.		△
Structural	Require little maintenance.		⊙
View Point	A lot of temporary works and site works to be carried out.		△
Maintenance	3.0 month (160 sq.m)		△
View Point	Consistent with existing bridge		○
Ease of Construction			△
Construction			△
Period			○
Aesthetic			○
View Point			△
Construction	\$340/m ²	<1	△
Cost	Only quality control of site concreting needs supervision.		○
Structural	Similar to alternative 1		○
View Point	Less temporary aided by less site works than alternative 1		○
Maintenance			○
View Point			○
Ease of Construction			○
Construction	1.5 month (160 sq.m)		○
Period			○
Aesthetic			○
View Point			○
Construction	\$410/m ²	<1	X
Cost	Quality control is much better as most works are done in the factories.		⊙
Structural	Similar to alternative 1		○
View Point			○
Maintenance	Relatively no temporary works required and there will be very little site concreting.		⊙
View Point			⊙
Ease of Construction			⊙
Construction	0.75 month (160 sq.m)		⊙
Period			○
Aesthetic			○
View Point			○



Note <1 : Direct cost

12.6 概略修繕設計の結果

12.3～12.5節に述べた作業を通して、詳細調査対象橋梁20橋に対し維持・修繕対策に関わる概略設計を行ったが、本節ではその結果と工事数量をとりまとめて示す。維持・修繕対策の図面は第4巻、図面集に添付されており、これには主要作業項目の作業手順と簡単な仕様が記されている。

(1) 修繕設計結果のとりまとめ

標準修繕設計及び比較検討を踏まえ、20橋に対する最終的な維持・修繕計画と対策工法を決定した。それらを取りまとめて表12-9に示す。

修繕設計の中では、構造検討によって明確になったLTALに対する耐荷力不足の橋梁部材を対象にした補強設計も行った。補強設計は、12.2節で策定した検討基準に従って、原則として弾性設計法を用いて行った。LTALに対する耐荷力不足の橋梁に対する補強設計結果を表12-10に示す。

(2) 工事数量のとりまとめ

第4巻、図面集に添付されている概略設計図面から、20橋の修繕対策工事数量を算出した。それらを取りまとめて表12-11に示す。

(3) 作業手順と仕様

架換え、嵩上げ、床版打換え等の大規模修繕対策工に関わる作業手順は、各橋梁の一般図に明記した。一方、標準修繕工法の作業手順は、各々の標準図に記されている。

維持・修繕対策に適用する工事仕様は、原則としてJKR道路標準仕様書に準拠するものとするが、この仕様書に規定されていない特殊な項目の仕様は標準図に簡単に述べられている。

**Table 12-9 Summary of Rehabilitation Plans and Main Work Item
for 20 Bridges**

No	Key	State	Year Built	Bridge Type	Bridge Length (m)	Rehabilitation Plan	Main Work Item (Method)
1	114920	Johor	1955	RCB	12.66	Protection work (Slab & Beams) Protection work (Piles)	Guniting to soffit of slab and beams Concrete lining of R.C piles.
2	161140	Perak	1950	SBB	19.11	Replacement (Deck Slab) Protection work (Abut & Pier) Adding sidewalk Protection work (Abutment) Protection work (Pier)	Replacement of buckle plate by R.C slab Concrete lining of substructure Adding sidewalk by SBC with substructure on both sides Installation of slope protection Installation of river bed protection
3	166510	Perak	1935	RCB/SBG	10.72	Total replacement	Total replacement by IT
4	237200	Pahang	1950	SBC/RCB	26.70	Protection work (Slab soffit) Protection work (Steel beams) Protection work (Pier) Protection work (Abutment)	Patching to slab soffit (Span - 2) Repairing to all steel beams (Span 1 & 3) Concrete lining of all pier columns Installation of slope protection.
5	317000	Pahang	1974	PCB	397.32	Protection work (Slab & beams) Raising grade (both end spans) Protection work (Abutment)	Patching to all spalled concrete member Raising grade of both side spans Installation of foot protection
6	319110	Pahang	1982	PCB	121.98	Protection work (Beam & Pier caps) Protection work (All concrete surface) Protection work (Piers) Reinforcement (Beams)	Epoxy resin injection at pier caps and beams Protective coating to all exposed surfaces Concrete lining of all pier columns Steel plate bonding at beam soffit (2 girder type)
7	341800	Terengganu	1955	RCB	38.14	Adding sidewalk Reinforcement (Piers) Protection work (Soffit of Beams & Slab) Protection work (Piers) Protection work (Abutment)	Adding sidewalk by RCB with widened substructure Prepacked concrete lining with additional rebar at all crosshead beams Patching at soffit of beams and slab Concrete lining to all columns Installation of slope protection at both side abutment
8	348740	Terengganu	1973	PCB	152.28	Protection work (Beams, Cross beams & Piers) Protection work (Beams & Slab Soffit) Reinforcement work (Beams) Protection work (River Bank) Protection work (River bed) Raising of grade	Patching on beams, cross beams and piers Protective coating to beams and slab soffit Steel plate bonding at beam soffits (2 girder type) Slope protection to river bank and River bed protection at piers Excavation of both side banks
9	520850	Malaka	1950	SEE	4.27	Protection work (Slab & Beams) Protection work (Abutment)	Guniting to all slab soffit and beams Partial concrete lining
10	546560	Selangor	1939	RCB	6.30	Reinforcement work (Beam Soffit) Protection work (Slab Soffit)	Prepacked concrete lining with additional rebars Patching at slab soffit
11	546960	Selangor	1989	RCS	30.84	Protection work (Slab Soffit) Reinforcement work (Slab Soffit) Replacement work (Abutment) Protection work (Piers)	Patching at slab soffit Steel plate bonding at slab soffit Installation of rigid frame type abutment Total concrete lining of piers
12	563880	Perak	1972	IT	41.59	Protection work (Piers) Protection work (Piers & Abutment)	Concrete lining of all pier columns Patching on pier crosshead and abutment
13	597840	Perak	1960	PRB	12.12	Protection work (Deck slab) Protection work (Pier & Abutment) Widening of carriageway	Provision of waterproof layer on top of deck slab Patching for abutment and piers Widening by PRB with widened substructures
14	834860	Kelantan	1980	RCS	13.71	Protection work (Deck Slab) Protection work (Substructure) Reinforcement work (Slab Soffit)	Provision of waterproof layer on top of deck slab Patching to piers and abutment Prepacked concrete lining with additional rebar
15	5001070	Johor	1919	SBB	4.77	Protection work (Abutment) Protection work (Steel Beams) Replacement work (Deck Slab)	Partial concrete lining for both abutments Repairing of all beams Replacement of steel buckle plate by R.C slab
16	5803340	Perak	1950	SBB	4.97	Protection work (Piers) Protection work (Steel Beams) Replacement (Deck Slab)	Concrete lining at upstand piles Repairing of all beams Replacement of steel buckle plate by R.C slab
17	5903120	Perak	1950	SBC	23.18	Protection work (Steel Beams) Reinforcement work (Deck Slab) Reinforcement work (Cross Beam)	Repairing of all beams Guniting with additional rebar at deck soffit Provision of cross beams
SPECIAL BRIDGE							
18	-	Sabah	1984	SBC	50.10	Protection work (Steel beams) Replacement work (Deck Slab) Reinforcement work (Steel Beams) Protection work (Steel Piles) Protection work (River Bank)	Repairing of all beams Replacement of deck slab by R.C slab Installation of additional beams Concrete lining of all steel pier columns Installation of slope protection
19	-	Sarawak	1985	SBC	71.60	Protection work (Deck Slab) Reinforcement work (Deck Slab) Reinforcement work (Steel Beam)	Epoxy injection at slab soffit Steel plate bonding at slab soffit Attachment of steel plate to lower flange
20	371000	Kelantan	1982	RCB	840.00	Protection work (Beams) Protection work (Cross Beams) Protection work (River Bank)	Epoxy injection for beams Patching to cross beam soffit Reconstruction of slope protection with foot protection

Table 12-10 Summary of Strengthening Design Results

Bridge No.	Structural Member	Structural Work	Stresses under LTAL	
			Working Stress	Allowable Stress
161140 (SBB) <4	Steel Buckle Plate	Steel buckle plates are to be replaced by R.C deck slab (0 16 ctc 150mm)	131 N/mm ²	140 N/mm ²
	Steel Beam	No work <3	129	142
319110 (PCB) <5	Main beams of 2 – girder type bridge	Bonding steel plate to beam flange soffit (steel plate 400mm x 4.5mm)	<1 16.6KN	<2 144KN
546560 (RCB)	R.C Beam	Prepacked concrete lining with additional rebar (0 25 – 3 no's per beam)	126 N/mm ²	140 N/mm ²
546980 (RCS)	Deck Slab (Distribution Rebar)	Bonding steel plate to deck soffit (steel plate 300mm x 10mm – 500mm ctc)	137	140
5903120 (SBC)	Deck Slab (Distribution Rebar)	Prepacked concrete lining with additional rebar (0 10 – 150mm ctc)	88	140
Dambai (SBC)	Main Beam	Additional main beam (2 No's)	127	140
	Deck Slab	Replacement of deck slab (0 16 ctc 150mm)	105	140
Samarahan (SBC)	Main Beam	Attachment of steel plate to bottom flange soffit (steel plates 356mm x 38mm – G2,3) (steel plates 254mm x 38mm – G1,4)	168	183
	Deck Slab	Bonding steel plate to deck soffit (steel plate 200mm x 4.5mm – 500mm ctc)	52	140

Note :

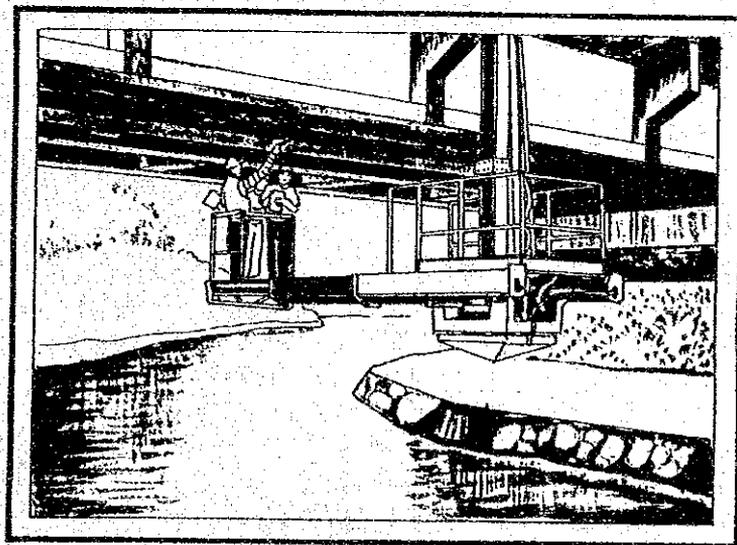
- < 1 Tensile force induced by LTAL in the main girders.
- < 2 Capacity of steel bonding plate in resisting tension.
- < 3 After replacement of buckle plate by R.C slab of which rehabilitation work increases rigidity of the slab, all beams have adequate LTAL load carrying because of effect of the lateral load distribution.
- < 4 Applicable to other steel buckle plate beam bridges such as No.5001070 and No. 5803340. The beam of Bridge No. 5001070 be installed shear connectors is considered as a composite beam.
- < 5 Applicable to Bridge No. 346740.

Table 12-11 Summary of Work Quantities

	FEDERAL BRIDGES										SPECIAL BRIDGES								
	114620	187140	188510	237200	317000	319110	346740	350850	346590	346890	500070	804850	507840	505590	500070	Subtotal	Dumba	Samarahan	371000
Super - Structure	1. Grouting	m2	127.00						33.00							156.00			156.00
	2. Gunting with rebar	m2								12.30						19.20			19.20
	3. Patching (Type A)	m2								3.10						40.10			40.10
	4. Patching (Type B)	m2				1.90										0.00			0.00
	5. Prepared lining	m2														110.00			110.00
	6. Prepacked lining w/ rebar	m2														144.70			144.70
	7. Epoxy injection (Type A)	m					144.70									0.00			0.00
	8. Epoxy injection (Type B)	m					304.50									0.00			0.00
	9. Protective coating	m2														3965.50			3965.50
	10. Water proof layer	m2														100.40			100.40
	11. Steel bonding plate	m2				176.00										291.00			487.00
	12. Repairing	m2														0.43			0.43
	13. Adding cross beam (steel)	m																	
	14. Attachment of steel plate	m																	
	15. Replacement to R.C Slab	m2		168.00												66.20			234.20
Sub-Structure	1. Epoxy injection (Type A)	m				20.30										28.30			28.30
	2. Epoxy injection (Type B)	m				17.60										17.60			17.60
	3. Protective Coating	m2				428.00										428.00			428.00
	4. Concrete lining (Wall)	m2		111.40												35.40			146.80
	5. Concrete lining (Column)	m2														0.00			0.00
	6. 410 diameter (Steel Piles)	m														0.00			0.00
	7. 300 x 300 (R.C Piles)	m				43.00										43.00			43.00
	8. 310 x 310 (R.C Piles)	m					15.50									15.50			15.50
	9. 300 x 300 (R.C Piles)	m														0.00			0.00
	10. 300 x 300 (R.C Piles)	m				34.00										48.00			82.00
	11. 500 x 500 (R.C Piles)	m														74.00			74.00
	12. 550 x 550 (R.C Piles)	m					17.40									17.40			17.40
	13. 610 x 610 (R.C Piles)	m					17.50									12.00			29.50
	14. Crushed lining (prepacked)	m					112.00									112.00			112.00
	15. Prepacked lining + rebar	m2														0.00			0.00
Incidental Facilities	1. Prepacked lining	m2														0.00			0.00
	2. Patching (Type A)	m2														0.00			0.00
	3. Patching (Type B)	m2														0.00			0.00
	4. Replacement of Abut. by rigid frame	m														0.00			0.00
	5. Extension drainage pipes	m2				18.00										0.00			18.00
	6. Water drop	m					42.00									0.00			42.00
	7. Expansion joints (Type A)	m				19.10										65.80			84.90
	8. Expansion joints (Type B)	m														35.00			35.00
	9. Debur lead	m		80.00		48.50										328.82			436.32
	10. Temporary bridge	m					72.50									225.50			298.00
	11. Substructure - ground support	m3					182.00									152.00			334.00
	12. Superstructure -	m2				205.00										35.00			240.00
	13. Adding sidewalk	m2				414.00	1108.00									95.00			1517.00
	14. Widening curb/shoulder	m2														0.00			0.00
	15. Fixing grates	m2				577.00										88.30			665.30
River Training	1. Slope Protection	m2			201.00											0.00			201.00
	2. Post Protection	m2		325.00	385.00	443.00										0.00			1153.00
	3. Type A	m2				464.00										0.00			464.00
	4. Type B	m2														0.00			0.00
	5. Type C	m2														0.00			0.00
	6. Type D	m2														0.00			0.00
	7. Post Protection	m2														0.00			0.00
	8. Type A	m2														0.00			0.00
	9. Type B	m2														0.00			0.00
	10. Type C	m2					365.00									0.00			365.00
	11. Type D	m2														0.00			0.00
	12. Riverbed protection	m2														0.00			0.00
	13. Type A	m2		108.00												0.00			108.00
	14. Type B	m2														0.00			0.00
	15. River Alignment	m														0.00			0.00
16. Type A	m				35.00										0.00			35.00	
17. Type B	m														0.00			0.00	

第 1 3 章

維持・修繕計画の策定



13.1 概要

調査対象橋梁全てを網羅する維持・修繕計画の策定は補足橋梁調査及び概略修繕設計の結果に基づいて実施した。

補足橋梁調査は、目視調査及び詳細調査対象から外された199橋に対して、損傷状況の評価、修繕対策の立案及び工事数量の見積などを行うために実施した。当初、これらの調査事項はNALS関連資料から入手する計画であったが、修繕対策の立案を行う上で不可欠な構造的損傷の程度や範囲などの定量的損傷データが、NALS関連資料に含まれていなかったためにこの調査を行ったものである。

補足橋梁調査の対象橋梁は二つのグループに分類される。ひとつのグループはPhase I(A)で目視調査からもれた121橋梁であり、他のグループは目視調査は行ったがPhase II(A)で詳細調査からもれた78橋である。このため、補足橋梁調査の目的は上記ふたつの橋梁分類により異なる。即ち、121橋に対する目的は損傷の種類、程度、範囲を確定すること、修繕対策を選定すること及び工事数量を見積もることである。一方、Phase I(A)で損傷状況を確認した78橋は修繕対策を立案すること及び工事数量を見積もることである。

13.2 補足橋梁調査の手法

13.2.1 準備作業

調査業務の開始に先立ち、全199橋梁の損傷状況やその数量を一律に記録するために標準修繕対策調査書を作成した。各橋の標準調査書には、橋梁データ、平面図及び側面図のみならず、損傷の位置や範囲、修繕対策及び工事数量などの記入欄がある。

更に、損傷を定量的に把握すると共に、洪水位、迂回路の有無、歩道の必要性などの情報を得るため、Phase I(A)の橋梁目視調査に用いた損傷度判定チェックリスト及び橋梁機能調査調査書も使用した。

13.2.2 修繕対策選定基準の設定

現場調査の実施に先立ち、調査現場で選定する修繕対策が調査チームや選定方法に関係なく一律に標準化されるように、概略修繕設計の結果を踏まえて最適修繕対策の選定基準を作成した。

本調査における修繕対策は、構造的な修繕対策、機能的な修繕対策及び水工学的修繕対策の三つに大別される。構造的な修繕対策は、劣化した橋梁部材を保護し、耐荷力不足の部材を補強することである。一方、機能的な修繕対策は、交通容量に基づく車道拡幅、歩行者数に基づく歩道添架あるいは橋梁の桁下空間不足に基づく橋梁の嵩上げ・伸長などによって橋梁機能の改善を図ることである。更に、水工学的修繕対策は、主として橋台や橋脚廻りの河岸や河床を保護することである。

従って、修繕対策の選定基準も三つに分類される。以下にそれらを述べる。

(1) 構造的修繕対策の選定基準

構造的な修繕対策は、保護、補強及び架換えの三つに大別される。各修繕対策は損傷の種類及びその範囲や程度のみならず損傷原因などによって様々な修繕工法を有している。それ故、構造的修繕対策の選定基準を作成する目的は、材料劣化や耐荷力不足などの構造的欠陥に対して特定の修繕工法を選定できるようにすることである。

・保護対策

保護対策は、代表橋梁20橋の構造検討結果を踏まえて十分な耐荷力を有する橋梁部材に適用するが、これら部材は、乾燥収縮やクリープによる進行する恐れのないひび割れ、豆板、剥離などの施工不良による軽度の材料劣化・損傷を有する橋梁部材を対象としている。

このため、保護対策としての修繕工法は、損傷の種類、程度及び範囲のみならず、損傷原因により異なる。表13-1に本調査に適用する各修繕工法とその適用基準を示す。

・補強対策

補強対策は、重大な構造的損傷あるいは代表橋梁20橋の構造検討結果に基づき、LTALに対して耐荷力不足である橋梁部材に適用する。

補強対策を必要とする重大な損傷とは、曲げやせん断力による進行性のひび割れ、進行が顕著な沈下、及び著しい断面欠損などである。

詳細構造調査対象橋梁20橋の構造解析検討⁽¹⁾から、SBBのバックルプレート床版と鋼主桁⁽²⁾及び2主桁形式のPC主桁については、LTALに対して耐荷力不足であることが判明した。これらの結果は他の同形式の橋梁にも適用するものとする。

補強対策としての修繕工法は、使用材料、応力超過の程度及び損傷の種類、範囲及び程度により異なる。各修繕工法とその適用基準を表13-2に示す。

註記；(1) 検討結果から、2橋のRCS（配力鉄筋方向のみ）及び1橋のコンクリート床版とRC桁が十分な耐荷力を有しないことが明らかになった。しかし、材料劣化や設計ミスに起因するこれらの橋梁は例外的な事例であり、この結果を同一形式の他の橋梁に適用する必要はないと思われる。

(2) バックルプレート床版を剛性の大きなRC床版に打換えることにより、横方向への荷重分配効果が増大する結果、主桁に著しい断面欠損がない限り、主桁はLTALに対して十分な耐荷力を有している。

Table 13-1 Type of Protection Method and Corresponding Application Criteria

Rehabilitation Plan	Method	Application Criteria
<ul style="list-style-type: none"> o Protection work to concrete 	<ul style="list-style-type: none"> - Epoxy Injection 	<ul style="list-style-type: none"> o Cracks are not active and surface width is more than 0.2mm, but less than 3.0mm. $\angle 1$ o Reason for the crack appearance is due to shrinkage or creep of concrete. o No water leakage and no liquid rust. o No carbonation and no chloride attack. $\angle 1$: If surface crack width is more than 3.0mm, apply cement paste injection.
	<ul style="list-style-type: none"> - Patching 	<ul style="list-style-type: none"> o Defects such as honeycomb, flacking, cavity etc. are not active. o Reason for these defects are mainly due to inferior concrete or poor workmanship. o Minimal carbonation, no chloride attack and no water leakage. o Adequate concrete cover. o Defective area is scattered.
	<ul style="list-style-type: none"> - Guniting 	<ul style="list-style-type: none"> o Cracks of which surface width is less than 0.20 mm are not active. o Concrete is slightly carbonated. o Minimum concrete cover is inadequate. o No water leakage. o Defective area is extensive.
	<ul style="list-style-type: none"> - Protective Coating 	<ul style="list-style-type: none"> o Cracks are not active and surface width is less than 0.2mm. o No water leakage, no scaling and no flaking. o Minimal carbonation and no chloride attack. o Adequate concrete cover.
	<ul style="list-style-type: none"> - Waterproof Layer 	<ul style="list-style-type: none"> o Water stain, free lime and other associated defects are observed at slab soffit. o Defects are not active. o Water is penetrating from top of slab through defective concrete or inferior joints between precast members.
	<ul style="list-style-type: none"> - Concrete Lining (Wall) 	<ul style="list-style-type: none"> o Inadequate minimum cover or bricks are exposed. o Abrasion of concrete surface or loss of concrete matrix due to inferior concrete or chemical attack. o Concrete is carbonated.
	<ul style="list-style-type: none"> - Concrete Lining (Piles) 	<ul style="list-style-type: none"> o Minimum concrete cover is inadequate. o Wide longitudinal cracks due to chloride attack or rebar exposure. o Abrasion of concrete surface or loss of concrete matrix due to inferior concrete or chemical attack. o Concrete is carbonated.
	<ul style="list-style-type: none"> o Protection works to steel member 	<ul style="list-style-type: none"> - Repainting (Superstructure)
<ul style="list-style-type: none"> - Repainting (Substructure) 		<ul style="list-style-type: none"> o Steel surface is slightly corroded but load carrying capacity is still adequate. o Bridge is located in a non-severe environmental condition.
<ul style="list-style-type: none"> - Concrete Lining 		<ul style="list-style-type: none"> o Steel surface is considerably corroded but load carrying capacity is adequate. o Bridge is located in a severe environmental condition.

Table 13-2 Type of Reinforcement Method and Corresponding Application Criteria

Rehabilitation Plan	Method	Application Criteria
<ul style="list-style-type: none"> o Reinforcement work to concrete 	<ul style="list-style-type: none"> - Steel Plate Bonding 	<ul style="list-style-type: none"> o Inadequate load carrying capacity (Inadequate amount of reinforcement bar) o No water leakage and no carbonation. o Inadequate for additional stress in beams and slab due to additional dead load. o Active cracks due to bending moment or shear force. o Adequate concrete cover.
	<ul style="list-style-type: none"> - Prepacked concrete lining w/ additional rebar 	<ul style="list-style-type: none"> o Inadequate loading capacity. o Various active cracks due to bending moment or shear force. o Inadequate concrete cover. o Suffered mild chloride attack or advanced carbonation. o Defective area is extensive.
	<ul style="list-style-type: none"> - Guniting w/ additional rebar 	<ul style="list-style-type: none"> o Inadequate loading capacity. o Various active cracks due to bending moment or shear force. o Adequate for additional stress in beams and slab due to additional dead load. o Bridge is located in relatively severe chloride environment. o Advance carbonation. o Defective area is extensive.
<ul style="list-style-type: none"> o Reinforcement work to steel 	<ul style="list-style-type: none"> - Attachment of steel plate 	<ul style="list-style-type: none"> o Inadequate load carrying capacity. o Excess bending stress is less than 20% of allowable stress, o Non-active corrosion, paint deterioration.
	<ul style="list-style-type: none"> - Concrete lining w/ additional rebar. 	<ul style="list-style-type: none"> o Steel surface is considerably corroded and load carrying capacity is inadequate. o Bridge is located at severe environmental condition.

・架換え対策

架換え対策は、経済的な補修が困難であると思われる橋梁部材あるいは橋全体に適用する。

重大な構造的・潜在的欠陥及び耐荷力不足を有する橋梁部材は、適切な橋梁部材に取換えるものとした。

更に、構造的な欠陥のみならず機能的欠陥あるいは河川工学上の欠陥などが複合した修繕対策を有する橋梁は新橋へ架換えるものとした。

(2) 機能的修繕対策の選定基準

機能的な修繕対策は車道拡幅、歩道添架及び嵩上げの三つに分類される。これらの修繕対策の適用基準を下記に述べる。

・車道拡幅

Phase I(A)において、橋梁上の交通容量と現在交通量の比較を行って、全調査対象橋梁の車道拡幅の必要性を検討した。これらの検討結果を踏まえて、車道拡幅の必要性を決定した。

・歩道添架

Phase I(A)において設定した歩道添架の基準は、歩道無しの橋梁が都市部に位置しているか否か、あるいは学校、病院、モスクなどの公的施設に隣接しているか否かなどに基づいた。

同じ基準を適用して、橋梁が上記特定の条件に合致しているかどうかを把握にするために、各橋梁の影響範囲を1Km以内と想定して調査した。上記条件に合致して橋梁に歩道が無ければ、歩道を設置することとした。

・嵩上げ

橋梁周辺住民への聞き取り調査により、洪水時に橋梁が冠水するかどうかに関する情報を収集した。橋梁が冠水する場合には、年間の洪水頻度や洪水継続時間などの追加情報を入手した。

橋梁が冠水する場合には、洪水流量を流下させるために橋梁の嵩上げあるいは橋長の伸長を決定した。

(3) 水工学的修繕対策の選定基準

河川の修繕対策は、架橋位置での洗掘、浸食、洪水などの水工学的な被害を被っている範囲や状況を踏まえて、護岸工、法尻護岸工、床固工及び河道変更工の設置を対象とした。

- ・護岸工は橋台廻りの河岸法面浸食防止に適用する。
- ・法尻護岸工は河床洗掘に起因する河岸の法面崩壊を防止するために護岸工の法尻に適用する。
- ・床固工は橋脚廻りの局部洗掘あるいは河床低下防止に適用する。
- ・河道変更工は架橋位置上流の河川の蛇行に起因する河岸の著しい浸食防止に適用する。

修繕対策の選定は、架橋位置における流下状態、河川規模、洪水流速、基礎形式及び地質などにより異なる。各修繕対策とその選定基準を表13-3に示す。

Table 13-3 Type of Hydraulic Rehabilitation Plan and Corresponding Application Criteria

Rehabilitation Plan	Method	Application Criteria
o Slope Protection	- Stone Masonry	o Slope ; 1 : 0.5 - 1.5 o Height ; Less than 5m o Application Small to medium scale river
	- Concrete Block Masonry	o Slope ; 1 : 0.3 - 1.0 o Height ; Less than 3m o Application Rapid stream and small to medium scale river.
	- Concrete Block Pitching	o Slope ; 1 : 1.5 - 2.0 o Height ; Less than 5m o Application Medium to large scale river.
	- Concrete Frame	o Slope ; 1 : 1.5 - 2.0 o Height ; Less than 5m o Application Tidal river and bank subjected to wave force.
o Foot Protection	- Dumped Stone	o Small to medium scale river and foundation ground is relatively solid.
	- Wire Mesh Gabion	o Small scale river and foundation ground is under soft type.
	- Concrete Block Matress	o Medium to large scale river or rapid flow velocity.
	- Sheet Piling	o Normal water level at slope toe is more than about 3.0m and it is difficult to provide base concrete under river bed at slope toe.
o River Bed Protection	- Wire Mesh Gabion	o Foundation protection.
	- Dumped Stone & Wire Mesh Gabion	o Local scouring.
o River Realignment	- Spur Dike by Stone Masonry	o Large scale river.
	- Spur Dike by Concrete Pile	o Medium to large scale river.

13.3 維持・修繕計画の策定結果

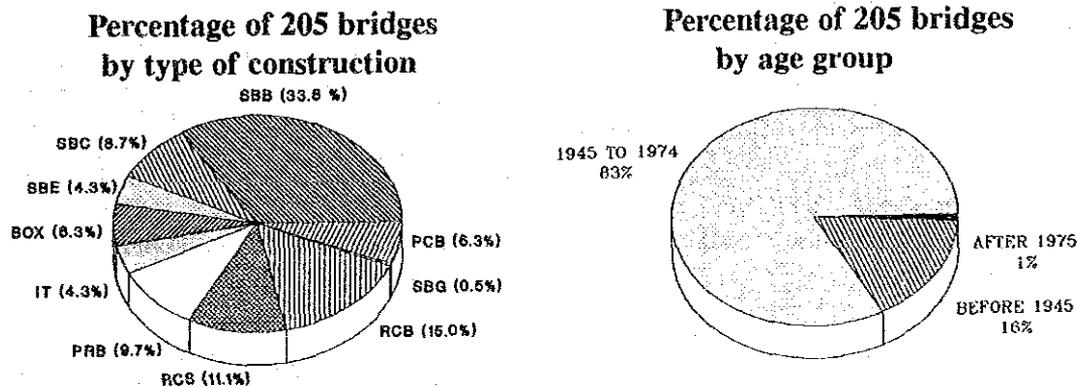
13.3.1 橋梁の分類

199橋梁を対象にした補足調査において、11橋が既に架換え計画あるいは建設中であることが明らかになった。従って、調査対象橋梁数は216橋から205橋に減少した(17橋の詳細調査対象橋梁を含む)。工事数量、損傷度判定及び修繕工法などは、所定の調査調書に記録された。これらデータの集計表は第3巻、付属資料集のAppendix-Qに添付されている。

形式及び橋令別の全調査対象橋梁の分類を図13-1に示す。この結果によれば、最も支配的な橋梁は全橋梁の33.8%を占めるバックルプレート床版・鋼鈹桁橋(SBB)である。また、鉄筋コンクリート桁橋(RCB)は全橋梁の約15.0%であり、鉄筋コンクリート床版橋(RCS)は11.1%である。残りの橋梁の比率は次の通りである。プレキャスト鉄筋コンクリート桁橋(PRB) 9.7%、鉄筋コンクリート床版・鋼鈹桁橋(SBC) 8.7%、プレストレストコンクリート桁橋(PCB) 6.3%、ボックスカルバート(Box) 6.3%、プレテンション逆T桁橋(IT) 4.3%、鉄骨鉄筋コンクリート桁橋(SBE) 4.3%、鋼箱桁橋(SBG) 0.5%。

全調査対象橋梁は、橋齢別に三つのグループに分類され、図13-1に示す橋梁分類の結果から、全橋梁の16.2%が1945年以前に、82.8%は1945年～1974年の間に、1.0%が1975年以降に建設されている。

Figure 13-1 Statistic of 205 Bridges



205橋の調査対象橋梁の内、4橋は損傷が極めて重大で、経済性を考慮すると補修は困難であると思われた。そのため、これらの橋梁は新橋に架換えることが望ましい。架換えを必要とする4橋は橋梁番号00166510(SBG), 08603735(SBB), 00338580(PCB), 06000970(SBE)である。

これに加え、橋梁の何橋かは機能面で不十分であることが判明した。これらの橋梁は、歩道添架、車道拡幅、嵩上げなどの修繕対策を行う必要がある。205橋の内4橋(2.0%)は車道拡幅、17橋(8.29%)は歩道添架、8橋は嵩上げを行う必要がある。これらの橋梁の一覧を表13-4に示す。

Table 13-4 Final List of Study Bridges which Require Rehabilitation Work based on Functional Viewpoints

Type of Rehabilitation Work	No's of Bridges	List of Bridges
Widening of Carriageway	4	00567840 (PRB), 00838100 (RCS), 01800060 (RCS), 01800670 (SBC)
Adding of Sidewalk	17	00113760 (RCB), 00161140 (SBB), 00161290 (SBB), 00303890 (RCS) 00313150 (SBE), 00313520 (RCS), 00336310 (RCB), 00341800 (RCB) 00519700 (PRB), 00521710 (RCB), 00700660 (PCB), 05102670 (SBB) 06406260 (SBB), 06702060 (SBE), 07604020 (SBB), 07604160 (SBB) 08604640 (SBB)
Raising of Grade	8	00304390 (SBC), 00317000 (PCB), 00700750 (RCS), 00834950 (RCS) 00838100 (RCS), 02305970 (RCS), 05102380 (SBB), 05300960 (SBB)

13.3.2 修繕対策の検討

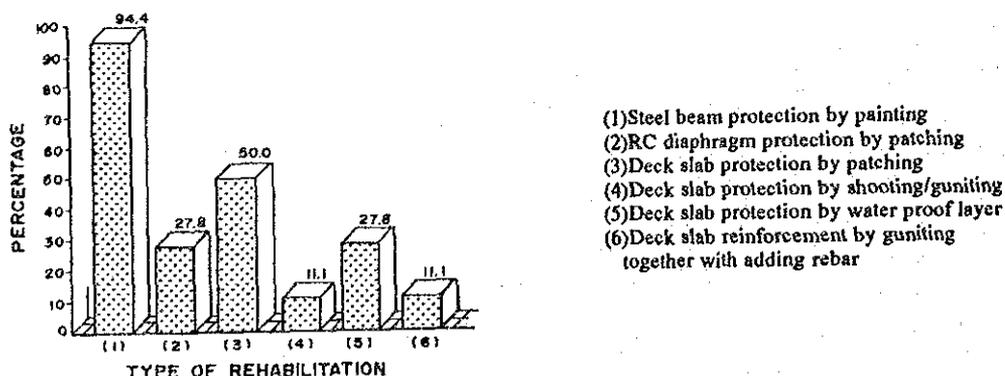
この検討の目的は、損傷が発見された特定の橋梁形式毎に最も支配的な修繕工法を把握することであり、その修繕工法は、13.2節で設定した基準を適用して決定された。橋梁形式毎の修繕対策の検討結果は、縦軸が特定の修繕工法を必要とする橋梁部材の比率を示し、横軸が特定の橋梁部材や橋梁形式に適用する修繕工法の種類を示す棒グラフに表されている。

(1) 鉄筋コンクリート床版・鋼桁橋 (SBC)

SBCの最も代表的な修繕対策は図13-2に示すように再塗装であり、全体の94.4%に達する。このことはSBCの94.4%は腐食しており、維持が不十分であることを示している。

この橋梁形式で二番目に多い修繕対策は床版の充填工法であり、SBCの50%を占める。次いで防水層によるコンクリート床版の防護が27.8%である。

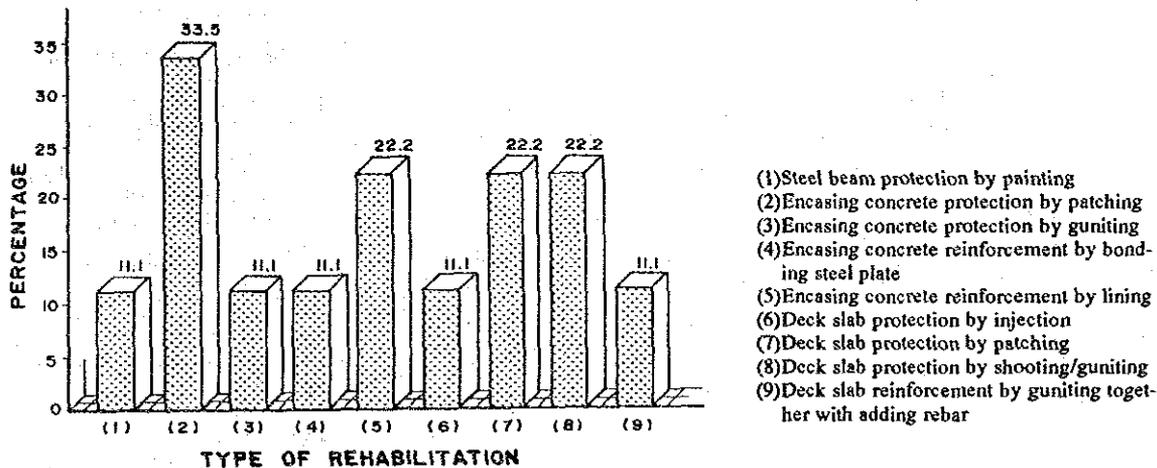
Figure 13-2 Rehabilitation Method for SBC Type Bridges



(2) 鉄骨鉄筋コンクリート桁橋 (SBE)

SBEの最も代表的な修繕対策は図13-3に示すよう鉄骨鉄筋コンクリートの充填工法による保護であり、全体の33.3%を占める。次いで、コンクリート巻きて工法、床版の充填工法、床版へのコンクリート吹付け工法による鉄骨鉄筋コンクリートの補強であり、この三つの対策がそれぞれSBE全体の22.2%を占める。これらの損傷はコンクリート品質不良及び施技術の未熟が原因と考えられる。この形式の橋梁のコンクリートは高い水セメント比、水密性の不足、剥離、広範囲な豆板などコンクリートの品質に関わる欠陥が多い。

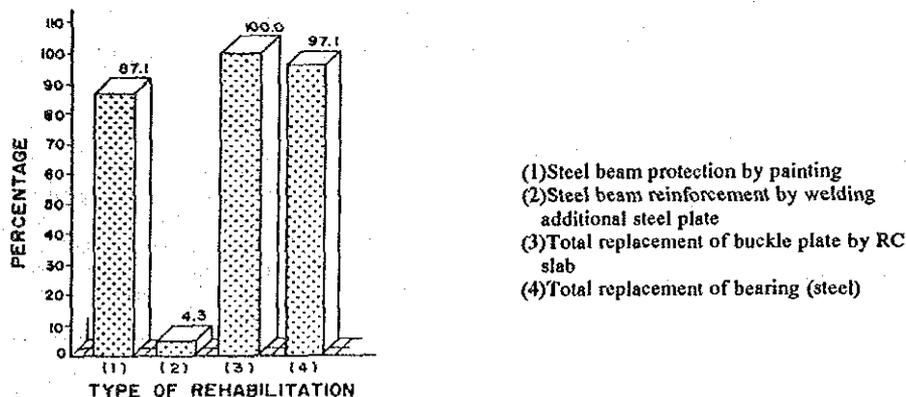
Figure 13-3 Rehabilitation Method for SBE Type Bridges



(3) バックルプレート床版・鋼桁橋 (SBB)

SBBの最も代表的な修繕対策は図13-4に示すように、バックルプレート床版の全面的な取換えであり、本調査におけるSBBの全てが対象となる。これは、アーチ形状のバックルプレート屈曲部に水が集まる結果引き起こされるバックルプレートの腐食に対する際限のない補修を避けると共に、鋼桁取付部のバックルプレートの腐食が著しいために必要となるものである。この形式の橋梁に対する二番目に多い修繕対策は支承の全面交換でありそれは97.1%である。次いで、鋼桁の再塗装87.1%、補強材取付による鋼桁の補強が4.3%である。

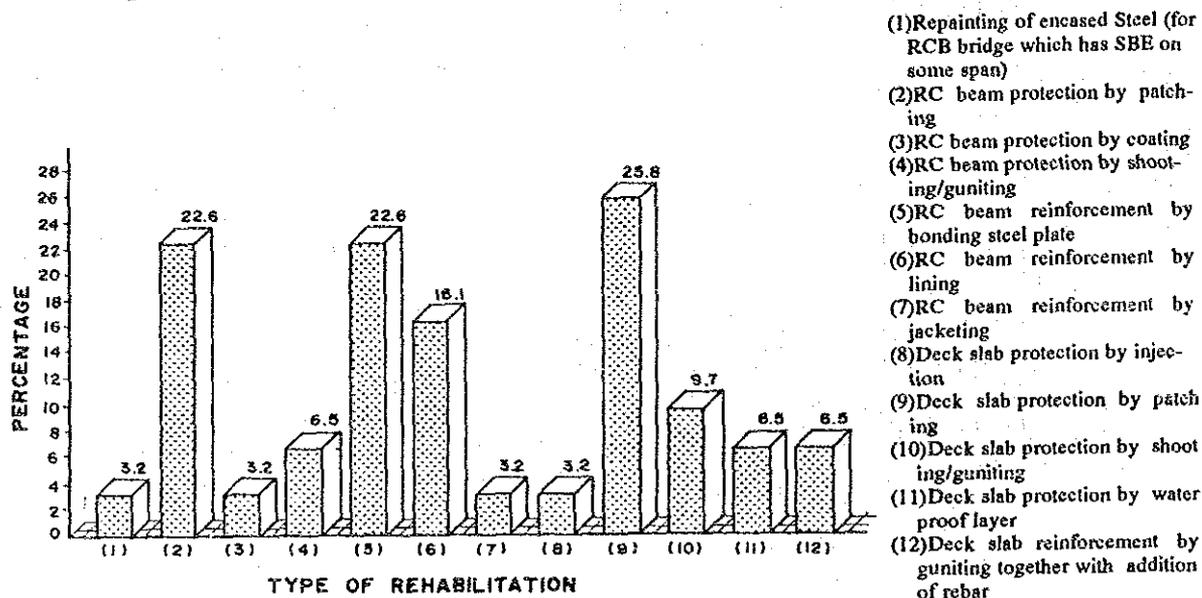
Figure 13-4 Rehabilitation Method for SBB Type Bridges



(4) 鉄筋コンクリート桁橋 (RCB)

RCBの最も代表的な修繕対策は図13-5に示すように、充填工法による床版の保護で全体の25.8%を占める。この形式の橋梁の修繕対策として二番目に多いのは、充填工法によるコンクリート桁の保護が22.6%、同じく鋼板接着工法によるコンクリート桁の補強が22.6%を占める。この形式のコンクリートの主な損傷原因は、高い水セメント比の結果としてのコンクリートの品質不良及び大きな豆板など施工技術の未熟が考えられる。

Figure 13-5 Rehabilitation Method for RCB Type Bridges

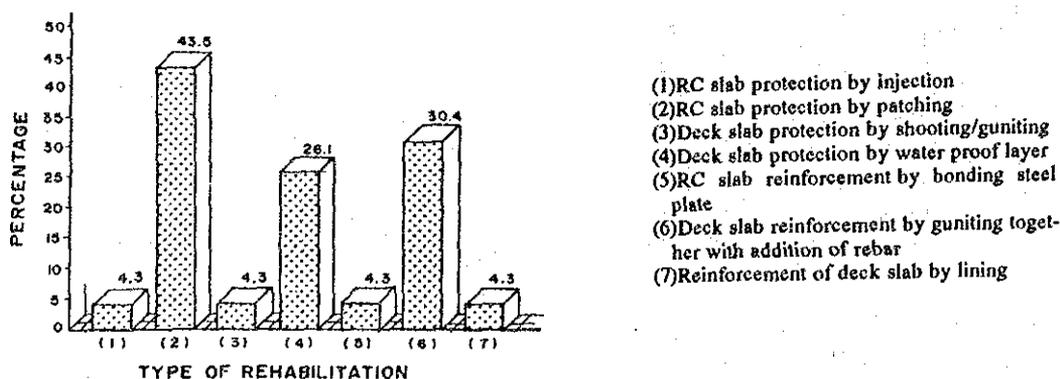


- (1)Repainting of encased Steel (for RCB bridge which has SBE on some span)
- (2)RC beam protection by patching
- (3)RC beam protection by coating
- (4)RC beam protection by shooting/guniting
- (5)RC beam reinforcement by bonding steel plate
- (6)RC beam reinforcement by lining
- (7)RC beam reinforcement by jacketing
- (8)Deck slab protection by injection
- (9)Deck slab protection by patching
- (10)Deck slab protection by shooting/guniting
- (11)Deck slab protection by water proof layer
- (12)Deck slab reinforcement by guniting together with addition of rebar

(5) 鉄筋コンクリート床版橋 (RCS)

RCSの最も代表的な修繕対策は図13-6に示すように、充填工法による床版の保護で43.5%である。この形式のコンクリートの損傷は、コンクリートの品質不良による剥離が主な原因である。二番目に多い修繕対策はコンクリート吹付け工法（補強鉄筋を伴う）による床版の補強であり30.4%である。コンクリート吹付け工法は、鉄筋が露出し、材料劣化が著しい場合に有効である。三番目に多い修繕対策は、床版上面に防水層を設けることによる床版の保護で26.1%を占める。

Figure 13-6 Rehabilitation Method for RCS Type Bridges

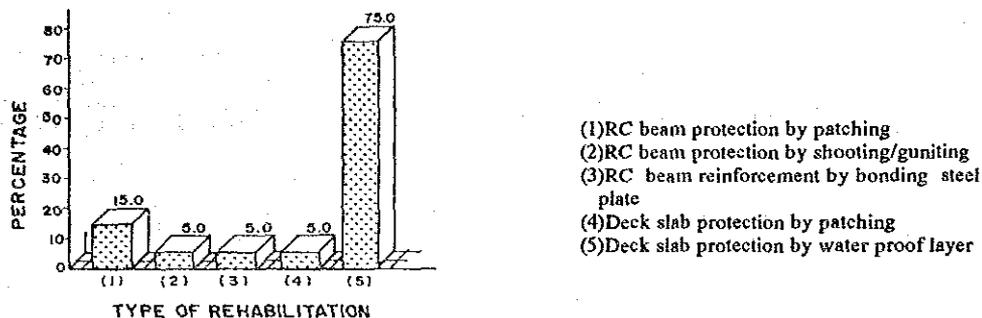


- (1)RC slab protection by injection
- (2)RC slab protection by patching
- (3)Deck slab protection by shooting/guniting
- (4)Deck slab protection by water proof layer
- (5)RC slab reinforcement by bonding steel plate
- (6)Deck slab reinforcement by guniting together with addition of rebar
- (7)Reinforcement of deck slab by lining

(6) プレキャスト鉄筋コンクリート桁橋 (PRB)

PRBの最も代表的な修繕対策は図13-7に示すように、防水層の設置による床版の保護で75.0%を占めている。この形式の橋梁では、隣接する桁間の縦継目が不良であるため、防水層が必要である。二番目に多い修繕対策は充填工法によるコンクリート桁表面剝離部分の保護で15.0%である。これら以外の修繕対策はコンクリート吹付け工法によるコンクリート桁の保護が5%、鋼板接着工法によるコンクリート桁の補強が5%、充填工法によるコンクリート床版の保護が5%を占めている。

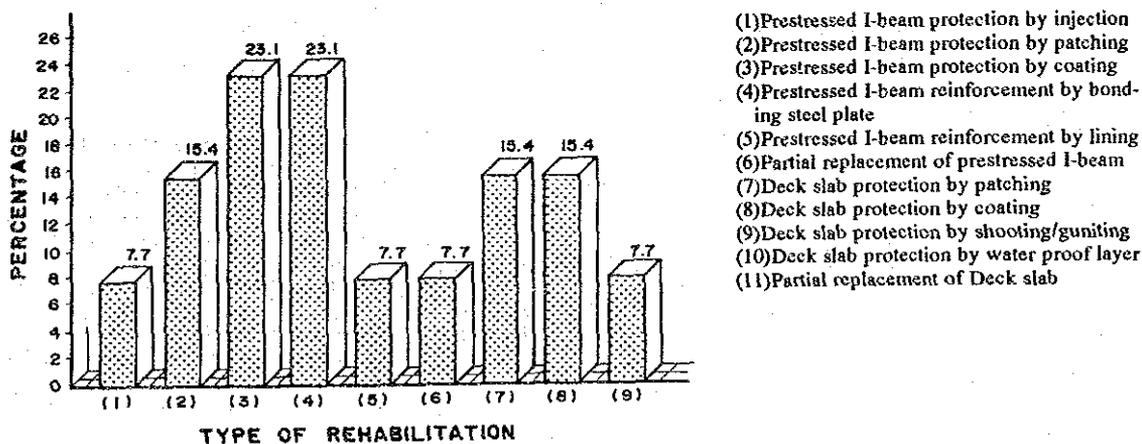
Figure 13-7 Rehabilitation Method for PRB Type of Bridges



(7) プレストレストコンクリート桁橋 (PCB)

PCBの最も代表的な修繕対策は図13-8に示すように、鋼板接着工法によるプレストレストI桁の補強であり全体の23.1%を占める。2主桁形式のPCBの場合は補強が必要である。次いで、防水層の設置によるコンクリート床版の保護が23.1%と同率を占める。充填工法及び防護被覆工法によるプレストレストI桁の保護が15.4%、充填工法によるRC床版の保護も15.4%を占める。これらの損傷原因はこれまで述べたRCB、RCSの場合と同じである。

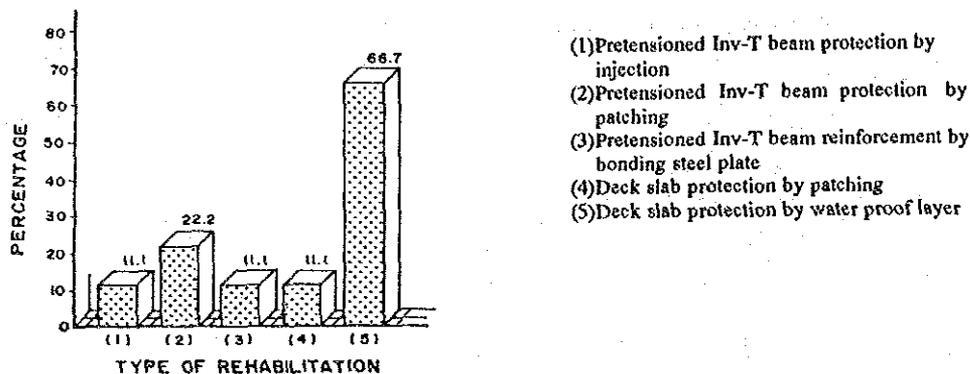
Figure 13-8 Rehabilitation Method for PCB Type Bridges



(8) プレテンション逆T桁橋 (IT)

ITの最も代表的な修繕対策は図13-9に示すように、防水層の設置による床版の保護であり全体の66.7%を占める。この理由は、床版の水密性が損なわれているためである。次に多い修繕対策は充填工法による主桁下面のひび割れ及び剥離の保護であり、22.2%である。

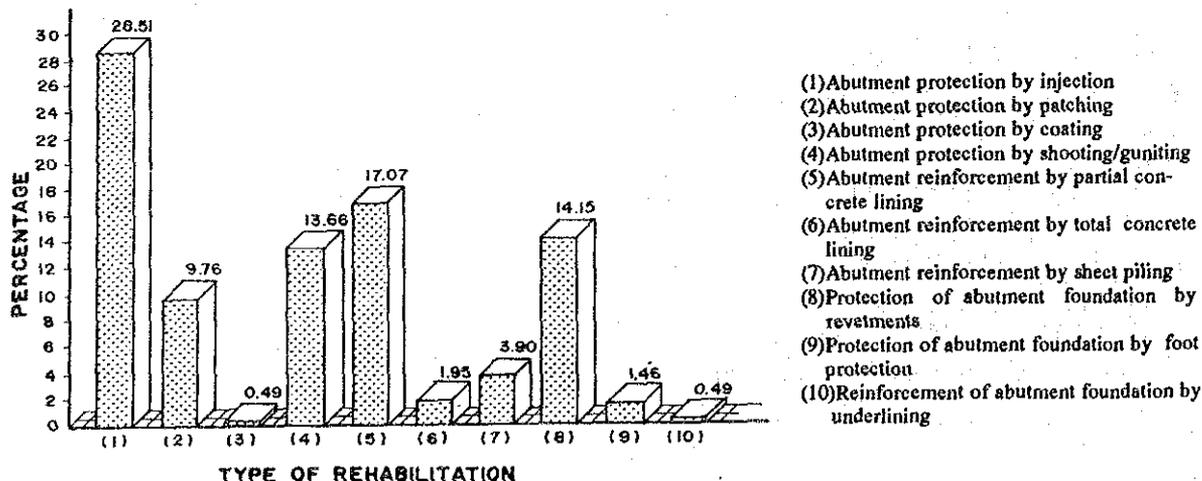
Figure 13-9 Rehabilitation Method for IT Type Bridges



(9) 橋台

橋台の最も代表的な修繕対策は図13-10に示すように、モルタル注人工法による橋台の保護で全体の28.1%を占める。注人工法による補修は、橋台縦壁部の施工継目部及び翼壁部との継目部の収縮ひび割れが原因である。次いで多いのは、部分的なコンクリート巻立て工法による、すり減り・浸食や酸あるいは他の化学的被害を被っているコンクリートの補強であり、17.07%を占めている。三番目に多いのは護岸工による橋台基礎の保護であり、14.15%を占める。護岸工を必要とするのは、橋台部の河岸法面が著しく洗掘されているからである。四番目に多いのは、コンクリート吹付け工法による橋台躯体の保護で13.66%である。これは、主としてコンクリート表面の剥離及びひび割れの発生、コンクリートの中性化が見つかったので必要となるものである。

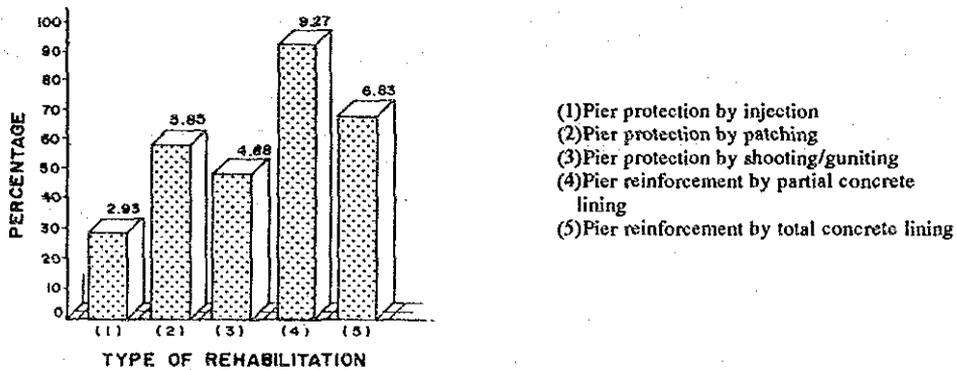
Figure 13-10 Rehabilitation Method for Abutments



(10) 橋脚

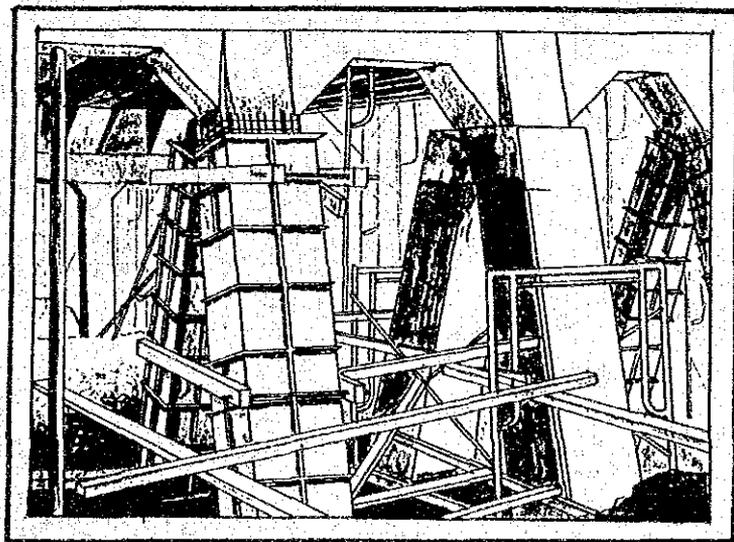
橋脚の最も代表的な修繕対策は図13-11に示すように、部分的なコンクリート巻立て工法による損傷したコンクリートの補強であり、全橋梁の9.27%を占める。この損傷原因は塩害であり、鉄筋の腐食、膨張によってコンクリートにひび割れが発生している。次いで多い修繕対策は全面的なコンクリート巻立て工法による橋脚の補強で6.83%であり、ひび割れ、コンクリートの中性化、塩害、及びコンクリート表面の侵食などの著しい損傷により橋脚の補強が必要である。三番目に多い橋脚の修繕対策は充填工法による橋脚保護で5.85%である。充填工法による修繕対策は剥離やコンクリート表面の侵食などの損傷があるので必要となるものである。

Figure 13-11 Rehabilitation Method for Piers



第 1 4 章

積 算



第14章 積算

14.1 概要

本章の目的は、調査対象橋梁205橋の維持・修繕に関わる事業費を算定することであり、積算の作業は広範な資料収集、2～3の既設橋梁及び橋梁建設現場における現場調査及び現地建設業者数社への聞き取り調査から開始した。

この目的に沿って、以下の手法を用いた。

- － 間接費項目と事業費の構成を検討し、間接費目の乗率を決定する。
- － 20橋に関わる概略修繕設計の主要工種を検討し、工種毎の一位代価項目を確定する。
- － 上記の検討結果に基づき支払項目別（あるいは修繕工法別）の工事単価を算出する。
- － 算出された単価を見直して、全調査対象橋梁に適用可能な標準単価を作成する。
- － 全調査対象橋梁を網羅する維持・修繕事業費を見積もる。

14.2 20橋に対する単価算定

14.2.1 基本条件

積算において、下記の基本条件を適用した。

- － 労務費、材料費、機械器具費の価格水準は1991年12月を基準とする。
- － 単価は市場調査及びJKR基準に基づいている。
- － 単価はクアラルンプール周辺のものであり、地域変動は積算に考慮していない。
- － 直接工事費を除いて、建設業者の間接経費と利益、詳細設計費や施工管理費などの他の経費は乗率を用いて算定する。
- － 工事単価算定における歩掛は、マレーシアの実情を考慮し、日本の標準歩掛を修正して使用する。

14.2.2 事業費の構成

事業費は工事費、用地買収・補償費、詳細設計・施工管理費、一般管理費、予備費から構成するものとする。また工事費は工事原価及び建設業者の間接経費と利益に分けられる。更に工事原価は労務費、材料費、機械器具費などの直接工事費と現場管理費、共通仮設工事費の間接費に分けられる。

上記事業費の構成を図14-1に示すと共に、主要な費目について以下に略述する。

(1) 直接工事費

各支払い項目の直接工事費は、労務費、材料費、機械器具費から構成され、概略修繕設計の工事数量から求められる。

・ 労務費

労務費は全ての政府規定に従って、労賃、所得税及び休暇、病気休暇、健康保険、失業保険、労災保険料などの引き当て金を含んでおり、労務費は市場調査を基に見積もっている。

・ 材料費

修繕工事に必要な全ての材料は、マレーシアの市場で入手可能である。積算に使用する材料費は実勢値上り率を考慮して、1991年末の価格に直して使用している。

・ 機械器具費

建設機械損料は市場調査を基に見積もっている。時間当たりの機械費用には、減価償却費、運転者の労賃、維持費、機械の運転に必要な燃料、潤滑油及び修理費を含んでいる。

本調査に用いた労務費、材料費、機械器具費の単価を第3巻付属資料集、Appendix-Rに示す。

(2) 技術経費

詳細設計費と施工管理費から成る技術経費は工事費の10%（詳細設計費6%と施工管理費4%）と仮定する。

一般的に、詳細設計の経費率は工事費に逆比例する。更に、橋梁工事の中で修繕設計費は、修繕工法が複雑で特殊技術を要求されるため新橋の建設に較べて相対的に割高である。この考え方は、図14-2に示す経費率曲線として表すことができる。

図14-2から、本調査の詳細設計費はNALSで使用された4%に代わって6%を採用している。

一方、施工管理費については、各地に散らばっている工事現場を管理する形式であるため、NALSに較べて2%小さい4%を採用した。

Figure 14-1 Components of Project Cost

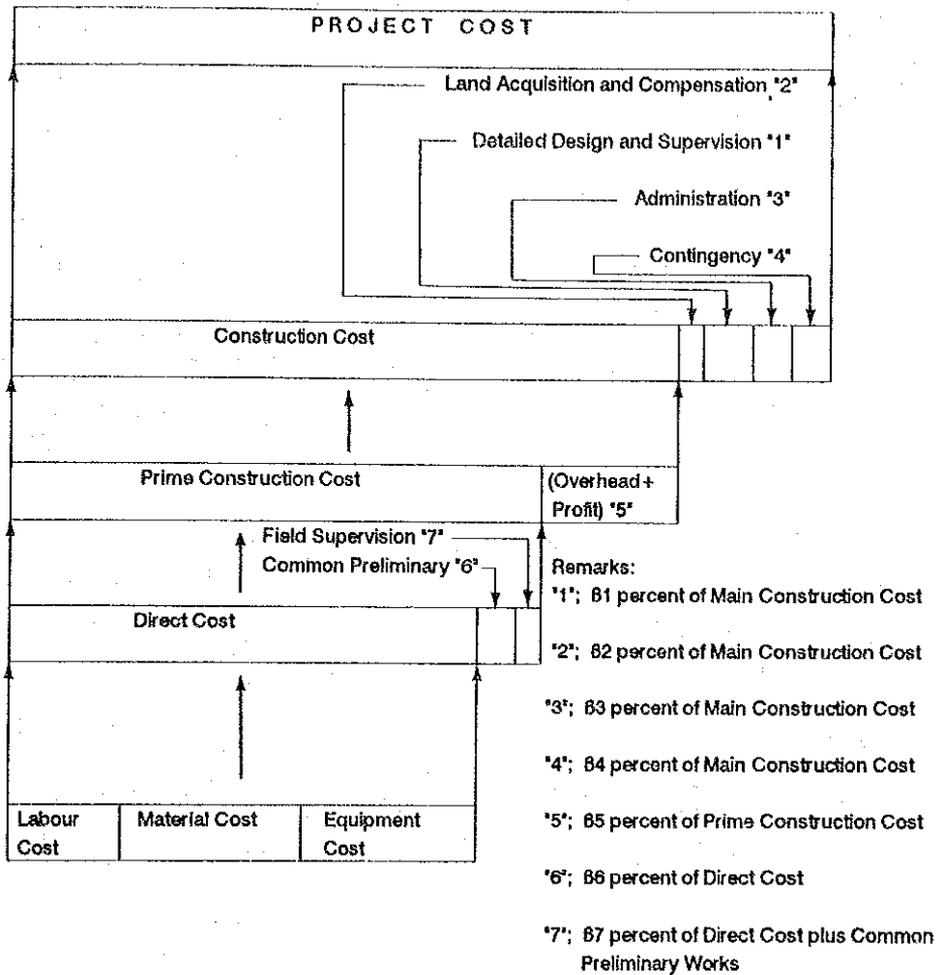
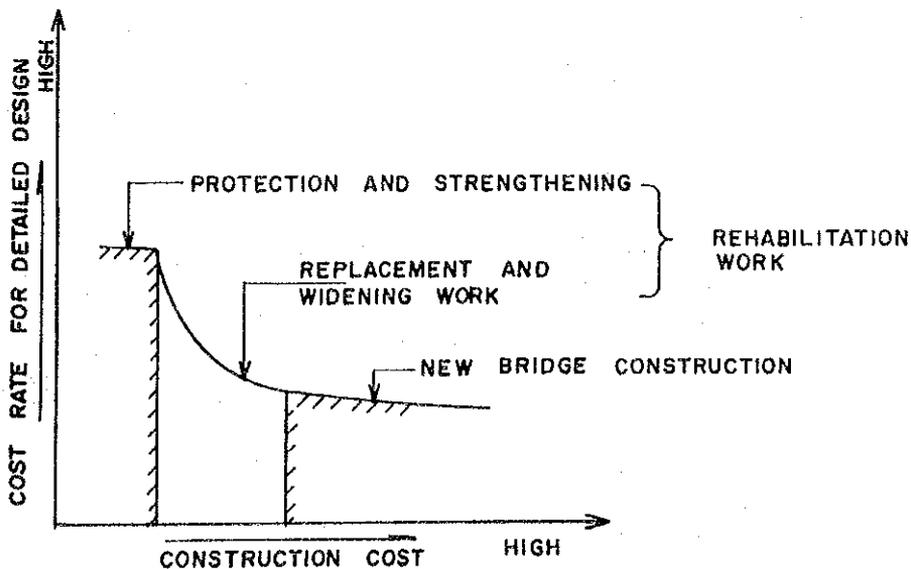


Figure 14-2 Relationship between Construction Cost and Cost Rate for Detail Design



(3) 用地買収・補償費

新橋の建設の場合、多額の用地買収・補償費が必要である。しかし、修繕工事の場合には、追加の用地買収費は不要であり、迂回路を造成する場合に僅かな補償費が必要なだけである。しかし、これらの経費は建設費に含めることが可能なので、本調査においては、用地買収・補償費は考慮していない。

(4) 一般管理費

一般管理費は、主として事業の実施にともなって必要になる政府の経費であり、工事費の3%と仮定する。

(5) 予備費

予備費は以下に説明するように工事変更に伴う予備費と物価上昇に伴う予備費に分けられる。

- ・ 工事変更に伴う予備費は、一般的に調査のレベルにより予測できないあるいは避けられない設計及び積算項目の変更を賄うためである。マスタープラン段階の本調査においては、工事費の15%を考慮する。
- ・ 物価上昇に伴う予備費は、将来の価格上昇や為替レートの変動に対処するためである。従って、現段階では物価上昇に伴う予備費は考慮しない。

(6) 諸経費と利益

諸税を含むこの項目は、市場調査から工事原価の20%と仮定する。

(7) 共通仮設工事費

この経費は、建設業者の事務所、倉庫、試験室の築造・運営、及びその他の共通仮設工事のために必要な費用を賄うためである。本調査においては、輸送工や個々の仮設工が直接工事費に含まれているので、共通仮設工事費は直接工事費の5%を採用した。

(8) 現場管理費

主に建設業者の現場監督要員の経費を賄う現場管理費は、直接工事費の4%と想定する。

本調査に用いる上記乗率とNALSで採用した数値とを比較して表14-1に示す。

**Table 14-1 Summary of Applicable Multiplier Factors
Compared with Those Adopted in NALS**

Factor	Description	Axle Load Study (%)	This Study (%)
β 1	Detailed Design and Supervision	4	6
		6	4
β 2	Land Acquisition and Compensation	Excluded in the study	0
β 3	Administration	5	3
β 4	Contingency		
	i) Physical Contingency ii) Price Contingency	- 15	15 See (5)
β 5	Overhead + Profit	30	20
β 6	Common Preliminary Works	10	5
β 7	Field Supervision	6	4

これら検討結果から及び事業費の構成に基づき事業費は次式で与えられ、直接工事費の168%となる。

$$\begin{aligned}
 \text{事業費} &= \text{直接工事費} \times \{1 + \beta 6 + (1 + \beta 6) \times \beta 7\} \times (1 + \beta 5) \times \\
 &\quad (1 + \beta 4 + \beta 3 + \beta 2 + \beta 1) \\
 &= \text{直接工事費} \times \{1 + 0.05 + (1 + 0.05) \times 0.04\} \times (1 + 0.20) \times \\
 &\quad (1 + 0.15 + 0.03 + 0 + 0.10) \\
 &= \text{直接工事費} \times 1.68
 \end{aligned}$$

14.2.3 単価の算定

各修繕工種の工事単価を算定するため、必要な材料、機械器具及び労力をリストアップし、標準的な施工法に従って各項目の単位数を最初に計算する。労務費、材料費、機械器具費から構成される工事単価は一般的に次式で算定される。

$$\text{U.P.} = \sum_i^m \alpha_i L_i + \sum_i^n \beta_i M_i + \sum_i^o \gamma_i E_i$$

ここに U.P. : 工事単価
 L_i : 労務単価
 M_i : 材料単価
 E_i : 機械器具単価
 $\alpha_i, \beta_i, \gamma_i$: 各項目の歩掛

しかし、マレーシアにおける修繕工事記録がないので、修繕工事に関わる代表的工種の正確な歩掛を推定することは困難である。

従って、計算結果の正確性を期すため、下記の手法を採用した。

- (1) マレーシアの作業員の熟練度、材料ロス率、機械稼働率、運転者の技量などだけでなく、ASEAN諸国の類似事業のそれらを考慮して、日本の建設省が発行している積算マニュアルの歩掛を修正して使用する。
- (2) これらの歩掛を適用して、上記の計算式を用いて工事単価を計算する。
- (3) JKRや市場調査で入手した工事単価と上記算定単価を比較・検討し、適用した歩掛を修正する。
- (4) 最終的な各工種の工事単価は、上記修正を加えた歩掛を用いて再度計算し算定する。

数工種の工事単価を算定する手法及び計算事例を第3巻Appendix-Pに示す。また、20橋に関わる各支払項目別の工事単価を表14-2に示す。

14.3 各修繕工法の標準単価

本調査の主目的は、全ての調査対象橋梁に対して修繕工事の実施計画を策定することであり、このためには全調査対象橋梁の工事費積算が必要となる。これに関連して、目視調査及び詳細調査からもれた橋梁の修繕工法の選定及び工事数量の算定のために第13章に述べた補足調査を行った。

従って、本節では、20橋に関わる工事単価の見直しを通じて、これら残りの橋梁に適用できる標準単価を算定する。

14.3.1 20橋の工事単価の分類

20橋の工事単価を他橋梁への適用性の点から見直し、下記の四つに分類した。

- 分類 A; この工事単価は現場条件に左右されず、工事手順も全ての橋梁で類似している。従って、これらの工事単価は修正無しで他の橋梁に適用できる。
- 分類 B; この工事単価は若干現場条件に左右されるが、工事手順は全ての橋梁で類似している。このため、20橋の平均工事単価を標準単価とする。これらの工種はR.C床版への打換え、コンクリート巻立て工法（壁式）及び迂回路工である。平均値の計算においては、特殊な現場条件に起因する極端に安いあるいは高い工事単価は除外した。
- 分類 C; この分類に含まれる工事単価は、主に機能面の修繕工事に関わる単価である。このため、これらの工事単価は、修繕工法、工事規模、橋梁形式などの工事条件が同じ場合にのみ他橋梁に適用できる。

分類 D; この分類に含まれる工事単価は現場条件や修繕部材の寸法に著しく左右される。具体的には、コンクリート巻立て工法（杭）や水工学的修繕工事であり、これらの工事単価は他の橋梁に適用することはできない。

14.3.2 修繕工法別の標準単価

上記工事単価の分類から、分類Aの工事単価は同じ修繕工法を有する他の橋梁に適用可能であり、また、分類Bの工事単価の平均値も同じ修繕工法を有する他の橋梁に適用できる。

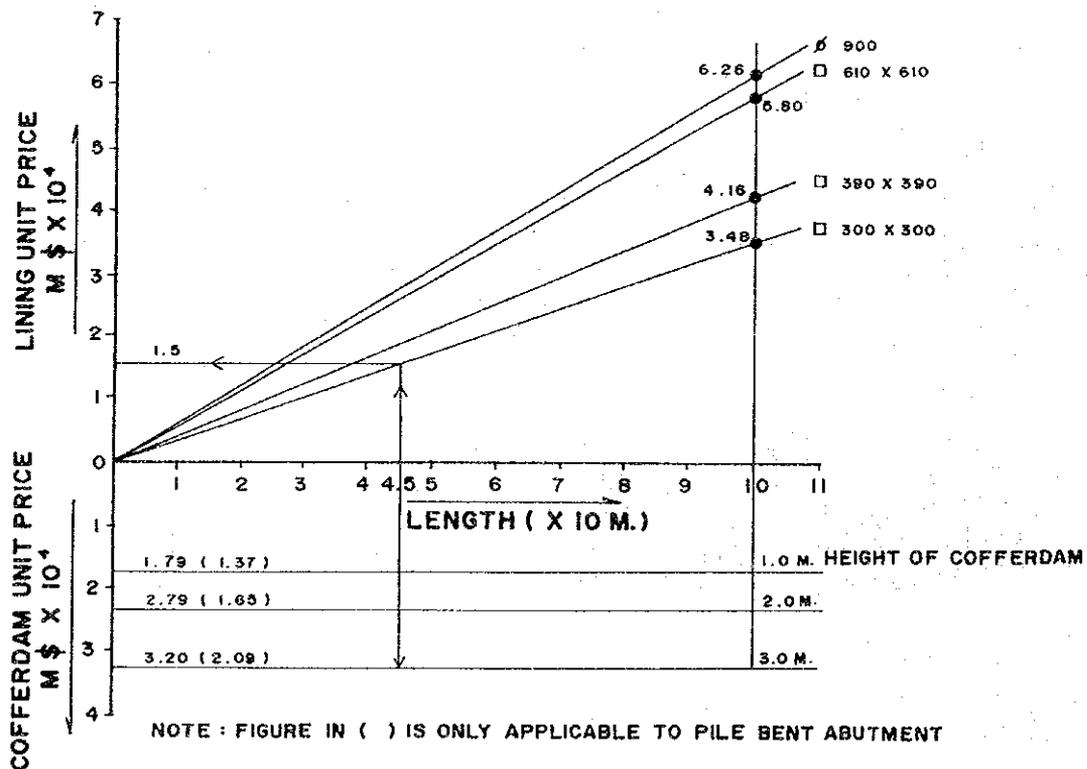
しかし、分類Cの工事単価は、当初の積算条件が他の橋梁のそれに合致する場合にのみ他の橋梁に適用できる。それ以外では、当該橋梁の工事費を積算するため、個々の工事単価の計算を必要とする。

コンクリート杭の巻立て工法や水工学的修繕対策に適用する分類Dの工事単価を他の橋梁へ適用できるように工事単価の標準化を行った。それに関して下記に述べる。

(1) コンクリート杭の巻立て工法

20橋に関わるコンクリート巻立て工法の工事単価を、杭種また杭径別にグラフにプロットし、補間法で修正した後、杭種、杭径別の巻立て工法の標準単価を求めた。（図14-3参照）

Figure 14-3 Relationship for Standard Unit Price of Concrete Pile Lining



(2) 水工学的修繕対策工法

水工学的修繕対策は護岸工、法尻護岸工、床固め工及び河道調整工から成っており、更に個々の対策工は第12章で述べたように異なった工法を有する。

従って、最初に12.4節に示された標準設計を参照して、修繕工法毎の標準工事数量を計算した。これらの工事数量に基づき、河川の修繕工法毎の標準単価を14.2.3節に示した算定式を用いて算出した。

上記手法に基づき、残りの橋梁の積算に使用する修繕工法毎の標準単価を算定した。この結果を表14-3に示す。

14.4 事業費の積算

199橋に対する補足橋梁調査において、各橋梁に対する修繕工法を選定し、これに対応する工事数量を見積もった。その後、詳細調査対象橋梁20橋に関わる修繕工法に対する工事単価の見直しを通して、これらの橋梁の大多数の修繕工法に適用できる標準単価を前節で算定した。

しかし、車道拡幅、歩道添架、橋梁嵩上げ、橋梁架換えに関わる修繕工法の単価は他の橋梁へ適用できないので、これらの工事単価は類似の修繕工法の工事単価の内訳を参照して個別に算定した。

各橋梁の修繕事業費は、その橋梁の各修繕工法の工事数量に該当する標準工事単価を乗じて修繕工事費を求め、これらを全て合計して求めることができる。

この結果、205橋に対する全事業費は、58,148,268ミリヤ・リンクァットと見積もられ、各橋梁の修繕工事費を表14-4に示す。また、各橋梁の工事費の内訳を第3巻のAppendix-Rに示す。

Table 14-3 Summary of Standard Unit Price for each Rehabilitation Method

	REHABILITATION ITEMS	UNIT	CATEGORY	UNIT PRICE (M\$)		REMARKS
				DIRECT COST (1)	PROJECT COST (2)	
Super – Structure	1. Guniting	m2	a	620.00	1040.00	Cement exceptionally developed for guniting
	2. Guniting with rebar	m2	a	760.00	1280.00	Cement exceptionally developed for guniting
	3. Patching (Type A)	m2	a	220.00	370.00	Depth < 25 mm
	4. Patching (Type B)	m2	d	270.00	450.00	25mm < depth < 50mm
	5. Prepacked lining	m2	a	2980.00	5010.00	Depth = 100mm
	6. Prepacked lining w/ rebar	m2	a	3160.00	5310.00	Depth = 100mm
	7. Epoxy injection (Type A)	m	a	120.00	200.00	Width = 0.2 ~ 0.6mm
	8. Epoxy injection (Type B)	m	a	140.00	230.00	Width = 0.6 ~ 3.0mm
	9. Protective coating	m2	a	32.40	54.40	Cleaning and 3-coatings (acrylic resin)
	10. Waterproof layer	m2	a	47.80	80.40	4 - coatings(chloroprene) and pavement (50mm)
	11. Steel bonding plate	m2	a	930.00	1560.00	Grouting epoxy resin
	12. Repainting	m2	a	58.00	97.50	Blasting and 3 - coatings (epoxy resin)
	13. Adding cross beam (steel)	t	a	4760.00	7990.00	Added at span center
	14. Attachment of steel plate	t	a	930.00	1570.00	Bolted cover plate
	15. Replacement to R.C Slab	m2	b	560.00	940.00	Buckle plate bridge 950\$/m2 * with additional girder
Sub – Structure	1. Epoxy Injection (Type A)	m	a	120.00	200.00	Width = 0.2 ~ 0.6mm
	2. Epoxy Injection (Type B)	m	a	140.00	230.00	Width = 0.6 ~ 3.0mm
	3. Protective Coating	m2	a	32.40	54.40	Cleaning and 3-coatings (acrylic resin)
	4. Concrete lining (Wall)	m2	b	190.00	320.00	Dry work, 1390\$/m2 * with cofferdam(H=1.0)
	5. Concrete lining (Column)					
	(a) 410 diameter (Steel Piles)	m	d	-	-	Refer to Fig 14-3
	(b) 300 x 300 (R.C Piles)	m	d	-	-	Refer to Fig 14-3
	(c) 310 x 310 (R.C Piles)	m	d	-	-	Refer to Fig 14-3
	(d) 360 x 360 (R.C Piles)	m	d	-	-	Refer to Fig 14-3
	(e) 380 x 380 (R.C Piles)	m	d	-	-	Refer to Fig 14-3
	(f) 390 x 390 (R.C Piles)	m	d	-	-	Refer to Fig 14-3
	(g) 550 x 550 (R.C Piles)	m	d	-	-	Refer to Fig 14-3
	(h) 610 x 610 (R.C Piles)	m	d	-	-	Refer to Fig 14-3
	(i) 900 diameter (R.C Piles)	m	d	-	-	Refer to Fig 14-3
	6. Crosshead lining (prepacked)					
	(a) Prepacked lining + rebar	m2	a	3160.00	5310.00	Depth = 100 mm
	(b) Prepacked lining	m2	a	2980.00	5010.00	Depth = 100 mm
	7. Patching (Type A)	m2	a	220.00	370.00	Depth < 25 mm
	8. Patching (Type B)	m2	a	270.00	450.00	25 mm < Depth < 50 mm
	9. Replacement of Abut. by rigid frame.	m	c	8550.00	14390.00	Portal type pier, PC pile 500x500x41.0 m
Incidental Facilities	1. Extension drainage pipes.	No	a	390.00	660.00	Extension and binding with metal strip
	2. Water drop	m	a	93.40	160.00	Bonding strip (F R P)
	3. Expansion joints (Type A)	m	a	3020.00	5080.00	Rubber seal joint (Span > 10m)
	4. Expansion joints (Type B)	m	a	1190.00	2000.00	Blind type (Span < 10m)
Temporary Work	1. Detour road	m	b	590.00	1000.00	Embankment height 4.0 ~ 5.0m, 330\$/m2 for height 1.0m
	2. Temporary bridge	m	a	6780.00	11390.00	Steel frame with wooden deck
Scaffolding	1. Substructure – ground support	m3	a	12.10	20.40	Prefabricated pipe support
	2. Superstructure – "	m3	a	12.10	20.40	Prefabricated pipe support
	3. Superstructure – Hanging	m2	a	21.30	35.90	Steel tube with wooden planks
Functional Rehabilitation	1. Adding sidewalk (Concrete)3)	m2	c	1560.00	2620.00	B=2x2m, L=3@12.1m, 760\$/m2 * for Superstructure
	2. Adding sidewalk (steel)3)	m2	c	1940.00	3260.00	B=2x2m, L=21.0m, 960\$/m2 * for Superstructure
	3. Widening carriageway	m2	c	2440.00	4110.00	B=2x3.55m, L=2@6.24m, 370\$/m2 * for Superstructure
	4. Raising grade	m2	c	1480.00	2490.00	B=9.11m, L=30.0m, Superstructure alone
Total Replacement		m2	c	1990.00	3340.00	B=12.6m, L=15.0m, 830\$/m2 * for Superstructure
River Training	1. Slope Protection					
	(a) Type A	m2	d	140.00	230.00	Height=3m, Slope 1:15 Stone Masonry
	(b) Type B	m2	d	200.00	340.00	Height=3m, Slope 1:1 Concrete Block Masonry
	(c) Type C	m2	d	140.00	240.00	Height=3m, Slope 1:2 Concrete Block Pitching
	(d) Type D	m2	d	120.00	200.00	Height=3m, Slope 1:2 Concrete Frame
	2. Foot Protection					
	(a) Type A	m2	d	16.40	27.50	Depth = 1m, Dumped Stone
	(b) Type B	m2	d	33.40	56.10	Depth = 1m, Gablon
	(c) Type C	m2	d	180.00	290.00	Depth = 1m, Concrete Block
	(d) Type D	m2	d	590.00	990.00	Depth = 2m, Sheet Pile alone
	3. Riverbed protection					
	(a) Type A	m2	d	260.00	440.00	Depth = 1m, Gablon
	(b) Type B	m2	d	320.00	540.00	Depth = 3m, Dumped Stone and Gablon
	4. River Alignment					
	(a) Type A	m	d	310.00	510.00	Spur Dike High = 2.0m
	(b) Type B	m	d	320.00	530.00	Groyne by Concrete Pile Block

Remark : Number 1) indicate the unit price for Direct Cost

2) indicates Unit Price for Project Cost (=1.68 x Direct Cost)

3) indicates that the width is the total width of walkway including curb

4) indicate the width of carriageway

Symbol (*) indicates that the Unit Cost is Direct Cost

Table 14-4 Summary of Cost Estimate for All Study Bridges (1)

No.	Key	State	Year Built	Max. Span (m)	No of Spans	Bridge Length (m)	Type of Bridge	Rehabilitation Plans				Direct Cost (M\$)	Project Cost (M\$)	Remarks
								Reconst- ruction	Widen- ing	Reinfor- cement	Protec- tion			
1	00102590	Johor	1955	1.60	2	3.60	BOX				3,829	6,433		
2	00108100	Johor	1934	15.90	3	27.40	RCB				77,104	129,535		
3	00108990	Johor	1937	2.18	1	2.18	BOX				3,762	6,354		
4	00112630	Johor	1960	6.27	1	6.27	RCS				26,662	45,128		
5	00113760	Johor	1955	6.43	3	20.34	RCB				142,271	239,015		
6	00114920	Johor	1955	6.43	2	12.66	RCB				112,912	189,701	Included in detailed survey	
7	00116580	Johor	1947	2.44	2	4.68	BOX				31,354	52,675		
8	00121260	Johor	1955	2.42	1	2.42	BOX				0	0	Bridge has been replaced	
9	00121280	Johor	1950	2.83	1	2.83	BOX				0	0	Bridge has been replaced	
10	00125250	N.Sembilan	1940	6.70	1	6.70	RCB				3,926	6,596		
11	00128254	N.Sembilan	1930	9.58	1	9.58	SBC				27,476	46,160		
12	00145100	Selangor	1935	1.85	1	1.85	SBE				1,616	2,715		
13	00146800	Selangor	1965	12.13	3	25.91	IT				58,283	97,515		
14	00146800	Perak	1962	2.40	1	2.40	BOX				2,158	3,625		
15	00149820	Perak	1963	12.08	3	36.24	IT				48,659	81,747		
16	00151160	Perak	1960	9.08	7	63.56	RCB				90,341	151,723		
17	00153590	Perak	1970	1.81	2	3.62	BOX				298,271	501,093		
18	00159100	Perak	1948	11.50	3	31.50	SBB				0	0	Bridge has been replaced	
19	00161140	Perak	1950	9.77	2	19.11	SBB				402,568	676,314	Included in detailed survey	
20	00161290	Perak	1955	8.09	2	16.18	SBB				256,226	430,660		
21	00162220	Perak	1945	5.67	1	5.67	SBB				87,093	146,316		
22	00166510	Perak	1955	10.72	1	10.72	SBG				502,038	843,424	Included in detailed survey	
23	00184400	Kedah	1950	2.61	2	12.20	RCB				113,090	189,291		
24	00184900	Kedah	1950	5.20	1	5.20	RCS				60,603	101,813		
25	00184980	Kedah	1950	4.64	1	4.64	RCS				22,923	38,511		
26	00186210	Kedah	1940	3.23	1	3.23	SBB				38,546	64,757		
27	00228540	Pahang	1955	6.26	1	6.26	SBB				59,269	99,572		
28	00228970	Pahang	1965	3.03	1	3.03	BOX				82,255	138,188		
29	00230830	Pahang	1967	6.40	1	6.40	PRB				41,724	70,096		
30	00231790	Pahang	1960	7.75	1	7.75	RCB				0	0	No defect detected	
31	00232860	Pahang	1963	11.68	1	11.68	PRB				153,680	258,162		
32	00237200	Pahang	1960	8.99	3	26.70	SBC				223,645	375,724	Included in detailed survey	
33	00303220	Johor	1940	4.84	1	4.84	SBE				49,955	83,924		
34	00303430	Johor	1940	4.90	1	4.90	SBC				46,790	78,607		
35	00303890	Johor	1940	4.58	2	9.16	RCS				101,419	176,284		
36	00304060	Johor	1963	36.65	5	92.25	RCS				146,830	246,674		
37	00304390	Johor	1928	3.35	1	3.35	SBC				90,971	152,831		
38	00306390	Johor	1974	16.57	2	64.57	IT				186,007	312,492		
39	00306710	Johor	1969	18.90	7	51.96	IT				203,621	342,083		
40	00313150	Johor	1950	4.40	1	4.40	SBE				111,662	187,592		
41	00313520	Pahang	1960	1.80	2	3.60	RCS				114,609	192,543		
42	00314180	Johor	1964	5.30	2	11.00	PRB				231,031	388,132		
43	00316745	Pahang	1965	3.67	1	3.67	RCS				86,534	145,377		
44	00317000	Pahang	1974	45.78	9	397.32	PCB				2,053,043	3,449,112	Included in detailed survey	
45	00319110	Pahang	1962	30.46	7	121.96	FCB				293,327	492,289	Included in detailed survey	
46	00319690	Pahang	1960	5.67	2	11.34	PRB				84,013	141,142		
47	00323070	Pahang	1965	10.42	3	31.26	RCB				108,330	181,994		
48	00326020	Pahang	1965	5.73	1	5.73	PRB				58,172	97,729		
49	00326950	Pahang	1965	5.88	4	23.52	PRB				164,067	275,633		
50	00336310	Pahang	1958	12.00	3	36.00	RCB				260,757	438,072		
51	00337240	Pahang	1957	6.58	1	6.58	RCS				50,661	85,110		
52	00338560	Terengganu	1965	28.03	16	219.13	PCB				7,014,000	11,783,520	Total replacement	
53	00339210	Terengganu	1963	15.22	10	152.20	PCB				668,494	1,123,070		
54	00341800	Terengganu	1955	12.10	3	35.14	RCB				793,186	1,338,912	Included in detailed survey	
55	00346740	Terengganu	1973	30.50	9	152.26	PCB				3,314,414	5,568,216	Included in detailed survey	
56	00354190	Terengganu	1960	5.59	2	11.18	PRB				0	0	Bridge has been replaced	
57	00354830	Terengganu	1963	5.93	3	17.85	PRB				57,151	96,014		
58	00356790	Terengganu	1959	5.90	9	53.10	PRB				46,590	78,271		
59	00357200	Terengganu	1959	5.94	3	5.94	PRB				50,746	85,253		
60	00357270	Terengganu	1957	5.89	2	11.78	PRB				46,374	77,908		
61	00361490	Terengganu	1960	6.01	3	18.03	PRB				96,131	161,500		
62	00363630	Terengganu	1965	5.84	1	5.84	PRB				38,081	63,976		
63	00366660	Kelantan	1952	5.41	6	32.46	PRB				569,968	957,546	Replacement of superstructure	
64	00366890	Kelantan	1951	4.79	2	9.58	RCS				135,089	226,950		
65	00368300	Kelantan	1955	4.84	2	9.68	RCS				115,329	193,753		
66	00505380	Johor	1966	11.88	4	47.52	RCS				398,364	669,252		
67	00506670	Johor	1971	15.09	3	36.17	IT				201,999	339,358		
68	00507230	Johor	1966	11.77	3	35.21	FCB				172,598	289,981		
69	00507810	Johor	1968	12.09	5	47.83	IT				342,079	574,693		
70	00510560	Johor	1960	10.42	3	31.24	RCB				143,454	241,003		
71	00512960	Johor	1965	11.30	3	30.22	RCB				500,759	841,275		
72	00514300	Johor	1960	10.45	3	22.07	IT				60,263	134,842		
73	00514370	Johor	1950	6.31	1	6.31	RCB				42,352	71,151		
74	00514860	Johor	1953	6.97	9	46.03	RCB				0	0	Bridge has been replaced	
75	00516890	Johor	1966	6.30	3	17.82	RCB				64,416	108,219		
76	00519360	Melaka	1955	6.22	7	42.70	RCS				224,286	376,800		
77	00519550	Melaka	1940	4.95	1	4.95	PRB				2,931	4,924		
78	00519700	Melaka	1961	4.88	1	4.88	PRB				75,406	126,682		
79	00520130	Melaka	1960	6.46	1	6.46	PRB				7,449	12,514		
80	00520850	Melaka	1950	4.27	1	4.27	SBE				24,166	40,599	Included in detailed survey	
81	00521300	Melaka	1950	6.90	1	6.90	RCB				119,370	200,542		
82	00521710	Melaka	1960	10.72	1	10.72	RCB				190,089	319,350		
83	00521960	Melaka	1960	7.13	2	14.26	RCB				154,386	259,368		
84	00522760	Melaka	1950	7.47	1	7.47	SBE				25,979	40,285		
85	00523300	Melaka	1950	9.33	1	9.33	SBE				3,910	6,569		
86	00523620	Melaka	1960	7.58	2	15.16	PRB				79,013	132,742		
87	00524420	Melaka	1950	3.60	1	3.60	RCS				58,181	97,744		
88	00524990	Melaka	1960	1.85	1	1.85	BOX				4,439	7,458		
89	00529600	N.Sembilan	1950	3.05	1	3.05	SBB				62,282	104,634		
90	00532850	N.Sembilan	1970	11.02	3	53.24	RCB				195,200	327,936		
91	00534450	N.Sembilan	1965	8.83	4	35.32	RCB				158,806	266,794		
92	00534570	Selangor	1960	6.95	4	32.54	RCB				240,817	404,573		
93	00535660	Selangor	1960	14.70	5	61.34	RCB				369,620	620,962		
94	00538970	Selangor	1950	2.30	1	2.30	BOX				27,780	46,586		
95	00540780	Selangor	1960	7.30	3	11.94	RCB				0	0	Bridge has been replaced	
96	00540910	Selangor	1950	6.29	1	6.29	SBB				86,857	145,920		
97	00541000	Selangor	1950	3.24	1	3.24	SBB				98,542	165,551		
98	00541210	Selangor	1950	4.73	1	4.73	SBB				52,711	88,554		
99	00546560	Selangor	1969	10.64	3	30.94	RCS				21,854	36,715	Included in detailed survey	
100	00546980	Selangor	1969	10.64	3	30.94	RCS				682,598	1,146,765	Included in detailed survey	
101	00549150	Selangor	1965	12.61	6	63.56	SBC				161,078	270,611		
102	00555290	Perak	1960	2.46	2	4.92	BOX				35,677	59,937		
103	00556900	Perak	1958	7.33	1	7.33	RCS				45,136	75,828		
104	00563880	Perak	1972	14.07	3	41.59	IT				122,169	207,278	Included in detailed survey	
105	00567840	Perak	1960	6.06	2	12.12	PRB				247,092	415,115	Included in detailed survey	
106	00569630	Perak	1950	2.83	1	2.83	SBB				40,590	67,853		
107	00700660	Kedah	1964	18.40	1	18.40	PCB				131,327	220,965		
108	00700750	Kedah	1970	15.36	1	15.36	RCS				192,022	322,597		