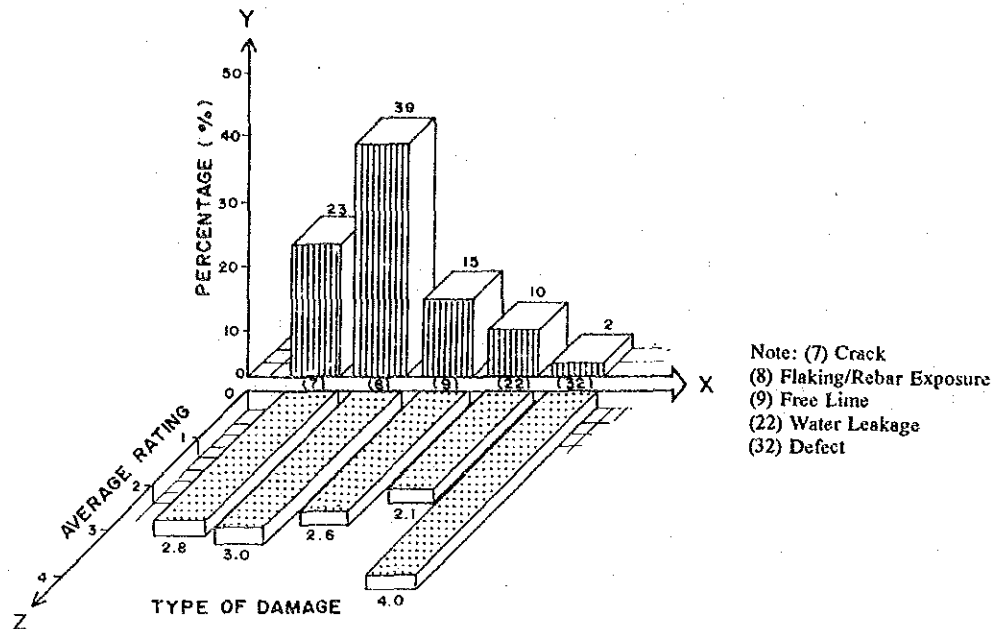


Figure 4-4 Damage Ratio and Average Rating in Concrete Beams

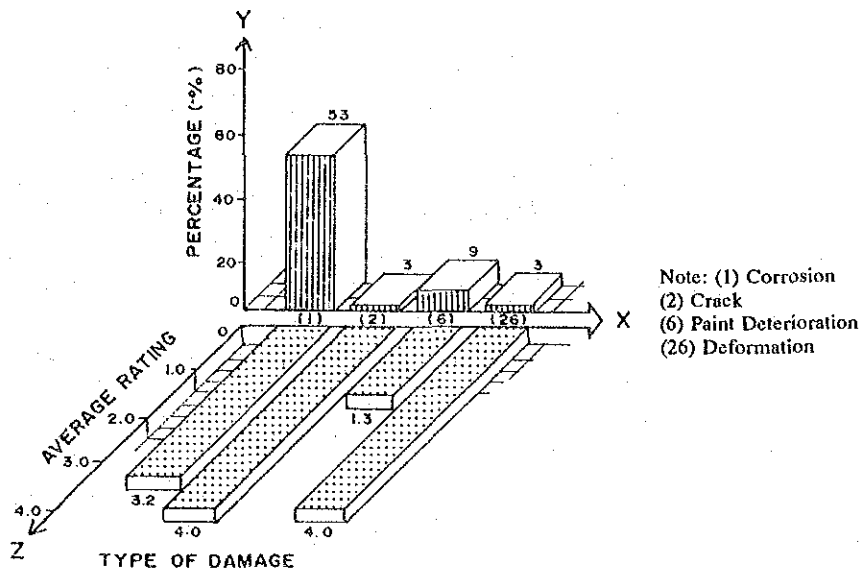


(3) バックルプレート床版

図4-5に示すように、バックルプレート床版の支配的な損傷は、鋼桁と同様に腐食である。この床版形式の特徴は、バックルプレート（鋼板）とその上の碎石及びアスファルト舗装で構成される簡易な構造であり、雨水の容易な床版への浸透が鋼板腐食の原因である。特に、鋼桁とバックルプレートとの接合部の腐食は著しく進行している。

腐食したバックルプレートの修繕対策案は、上記の構造的な問題点を考慮して十分な検討を要する。例えば、短期的な修繕対策としては、水抜き孔を設けた後の再塗装が挙げられるし、長期的な修繕対策としては、構造的な問題に対処するために、適切な床版形式（RC床版など）による打換えである。

Figure 4-5 Damage Ratio and Average Rating in Steel Buckle Plate Slabs

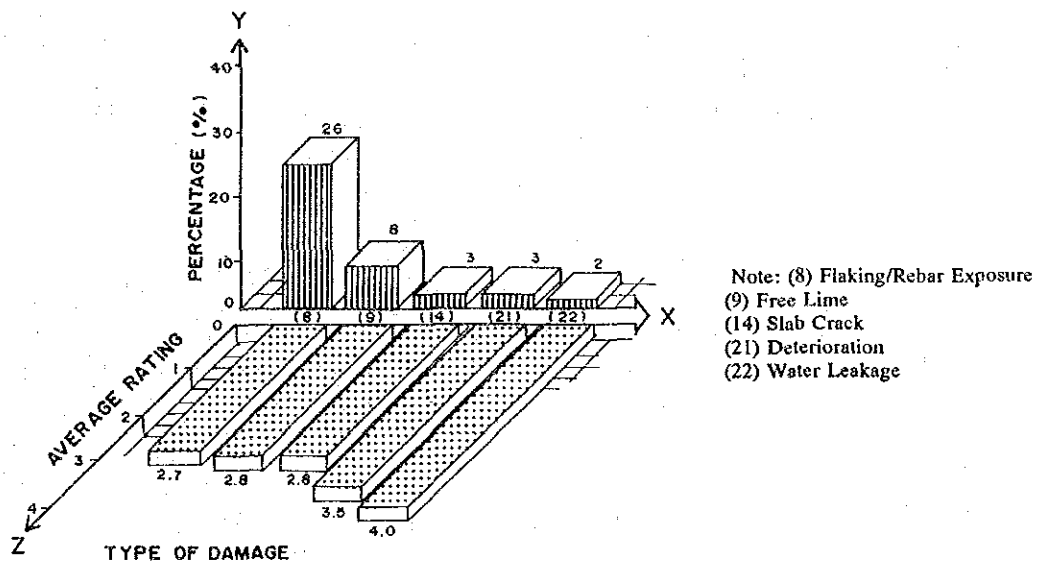


(4)鉄筋コンクリート床版 (R.C床版)

R.C床版の支配的な損傷もまた、コンクリート桁と同様に剥離・鉄筋露出である。しかし、R.C床版の遊離石灰やひび割れの被害・損傷率は、図4-6に示すようにコンクリート桁のそれより若干小さく、床版は全般的には良好であり、剥離・鉄筋露出のみが局部的にあることを示している。

従って、R.C床版に見られる一般的な損傷に対する修繕対策案は、基本的には注入工法及び充填工法であり、例外的ケースとして、鋼板接着工法、モルタル吹付け工法（鉄筋補強付）が挙げられる。

Figure 4-6 Damage Ratio and Average Rating in R.C.Slabs

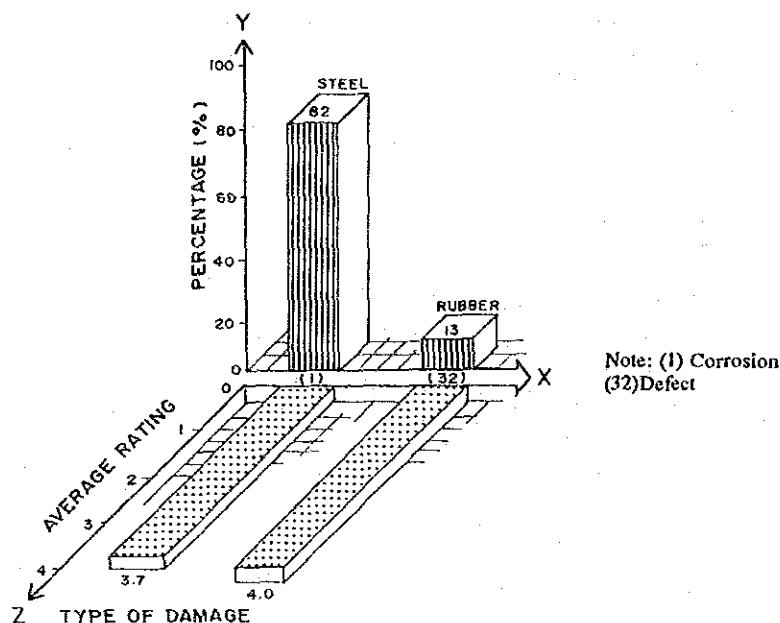


(5) 支 承

目視調査を行った95橋の内、支承が設置されている橋梁数は約20%だけであり、これら設置されている支承は鋼製及びゴム支承がほぼ半々である。鋼製及びゴム支承の主な損傷の種類は、腐食と欠損（材料劣化のため）であり、それぞれ82%と13%である。

鋼製支承は腐食しているが、全般的には、まだその機能を有している。従って、この損傷に対する修繕対策案としては、再塗装で十分であると考えられる。一方、ゴム支承の損傷の場合、適切な修繕対策を見出すために、材料劣化の原因を詳細調査の中で説明する必要があると考えられる。

Figure 4-7 Damage Ratio and Average Rating in Bearing



(6) 橋 台

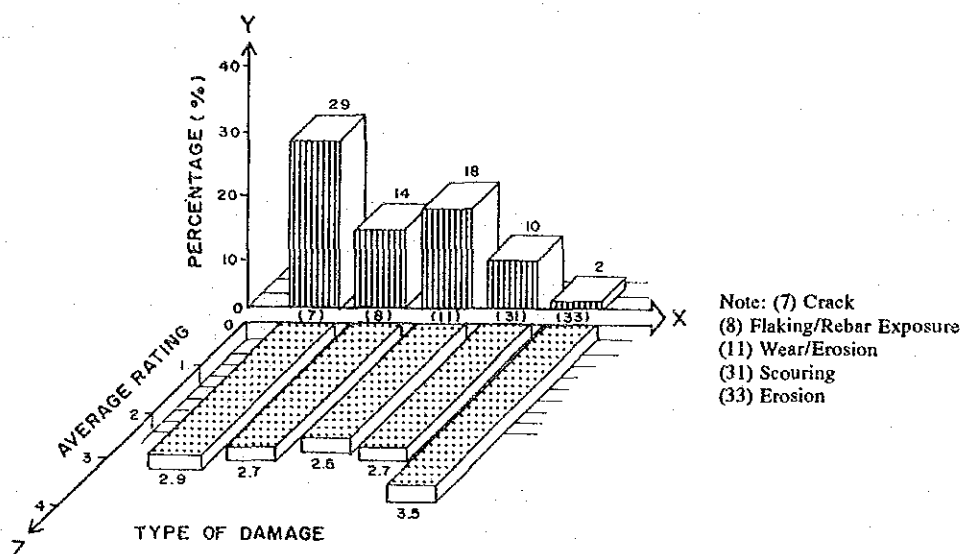
図4-8に示すように、橋台の損傷の種類は、特定損傷率の順にひび割れ、すり減り・侵食、剥離及び洗掘である。ひび割れの発生や進行については、様々な原因が考えられるが、海岸線近くに位置するパイルベント形式橋台のひびわれの場合は、塩害に起因していることは明らかである。パイルベント形式橋台の特徴は、安い工事費と施工の容易さであるが、十分なかぶりの確保が難しい細い部材の採用とその形状ゆえに（断面積に比べて表面積が大きい）自然環境の影響を受け易いことである。パイルベント形式橋台のこの構造的な特徴は、塩害によるひび割れを誘発し易い。

一方、すり減り・侵食によるコンクリート杭の断面欠損は相当数の橋梁に見られ、その原因はまだ解明されていないが、コンクリートの低品質、何らかの化学物質による侵食、砂や細かな土砂を含んでいる水流によるすり減りなどによるものと考えられる。

乾燥収縮によるひび割れや部分的な剥離に対する修繕対策案は、注入工法、充填工法、被覆工法、吹き付け工法などであろうが、塩害や中性化などに起因する進行性のひび割れや剥離、及びコンクリートのすり減

り・侵食などの場合は、部分的もしくは全体的なコンクリート巻立て工法を採用する必要がある。

Figure 4-8 Damage Ratio and Average Rating in Abutment

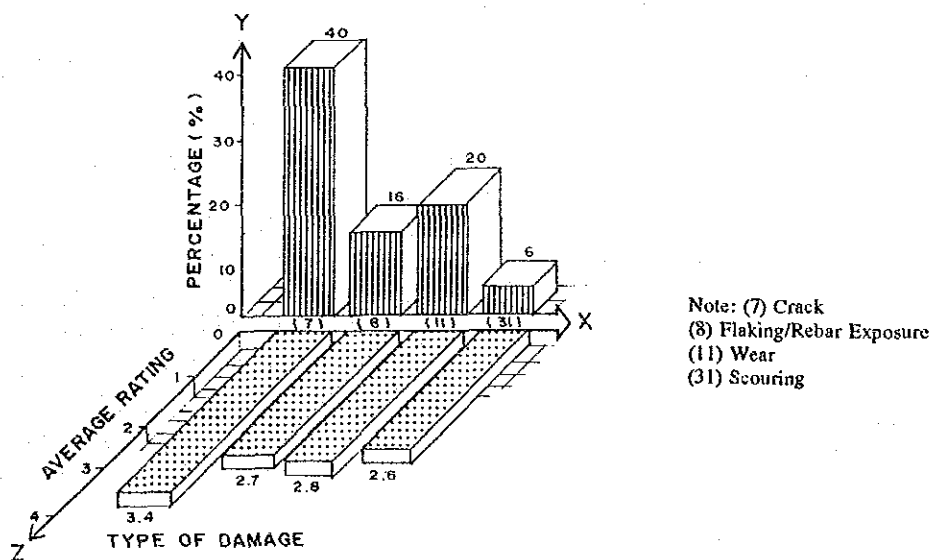


(7)橋 脚

調査対象橋梁の橋脚形式は、一般的に橋台と同じパイルベント形式であるが、橋脚は橋台よりも厳しい環境に位置しているため、橋脚のひびわれに関する特定損傷率及び平均損傷評点（図4-8及び図4-9参照）は橋台のそれより大きい。しかし、橋脚の損傷傾向は橋台とほとんど同じである。

従って、橋脚の修繕対策案は、橋台の場合とほとんど同じであろう。しかし、橋脚は橋台に較べて全般的に嵐害に起因する著しい被害を被っており、補修でなく補強対策が主流となるとと思われる。

Figure 4-9 Damage Ratio and Average Rating in Piers

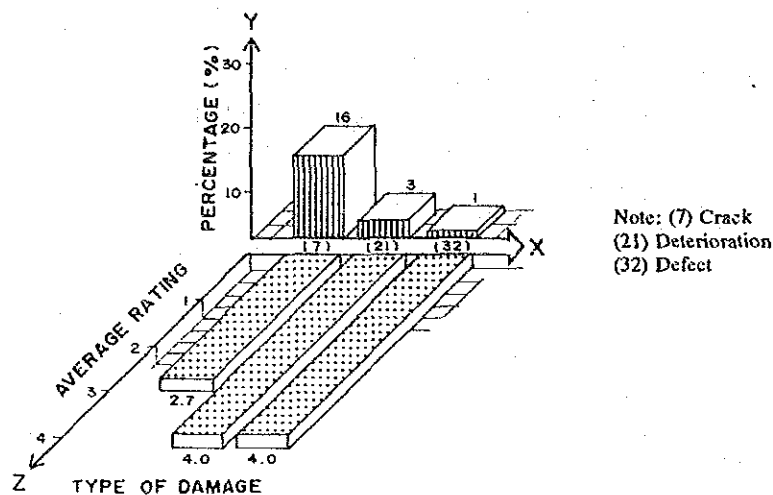


(8) 擁 壁

最も支配的な損傷であるひび割れに関する特定損傷率は、図4-10に示すように僅か16%であるので、擁壁の状態は全般的に良好と言える。

擁壁の部材が比較的剛であることを考慮すると、この種の損傷に対する修繕対策としては、注入工法あるいは充填工法で十分と考えられる。

Figure 4-10 Damage Ratio and Average Rating in Wingwalls

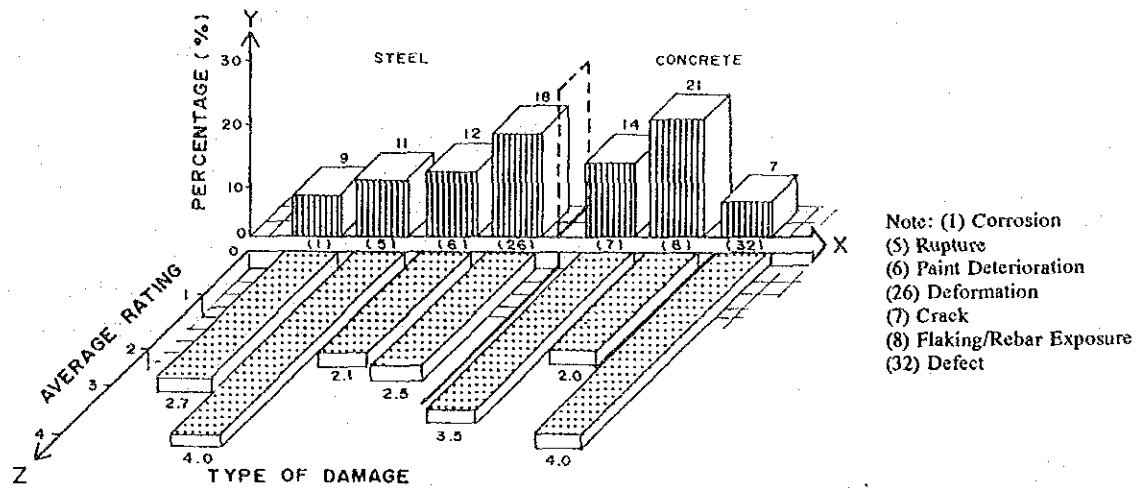


(9) 高 欄

鋼製高欄は、車両衝突による変形、破断、腐食あるいは塗装劣化などの損傷を被っており、その特定損傷率は、図4-11に示すように調査を行った全部材の9~18%である。一方、コンクリート高欄はひび割れ、剥離あるいは断面欠損の被害を被っており、その特定損傷率は全体の7~21%である。

修繕対策案としては、鋼製高欄の場合の大きな破断や変形については部分的な取換え、小さな破断や変形については何らかの補強、腐食や塗装劣化については再塗装による保護が挙げられ、コンクリート高欄の場合の断面欠損などについては部分的な打換え、ひび割れ・剥離については注入工法や充填工法などが挙げられる。

Figure 4-11 Damage Ratio and Average Rating in Railings

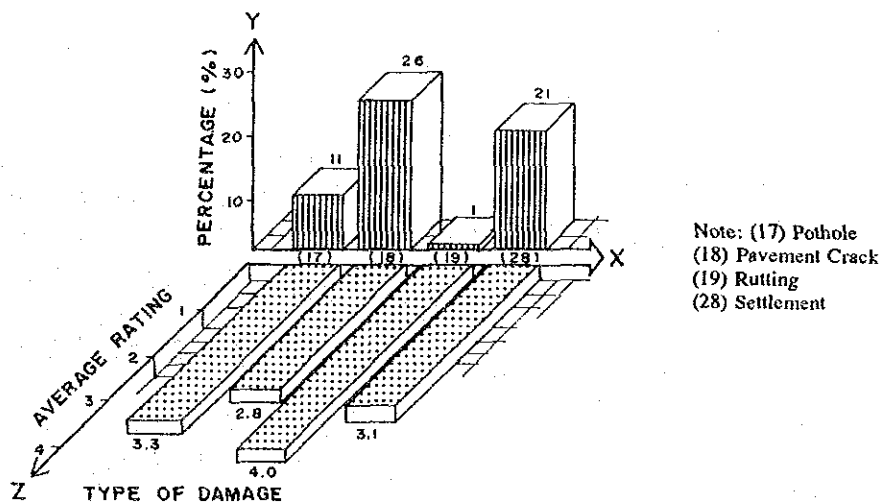


(10) 舗装

図4-12に示すように、舗装の代表的な損傷は、特定損傷率が26%の舗装ひび割れである。又、主に橋梁の取付道路部に見られる沈下及びポットホールの被害・損傷率はそれぞれ21%及び11%である。

ポットホールや舗装ひび割れに対する修繕対策案はパッチングであり、沈下の場合はオーバーレイが考えられる。

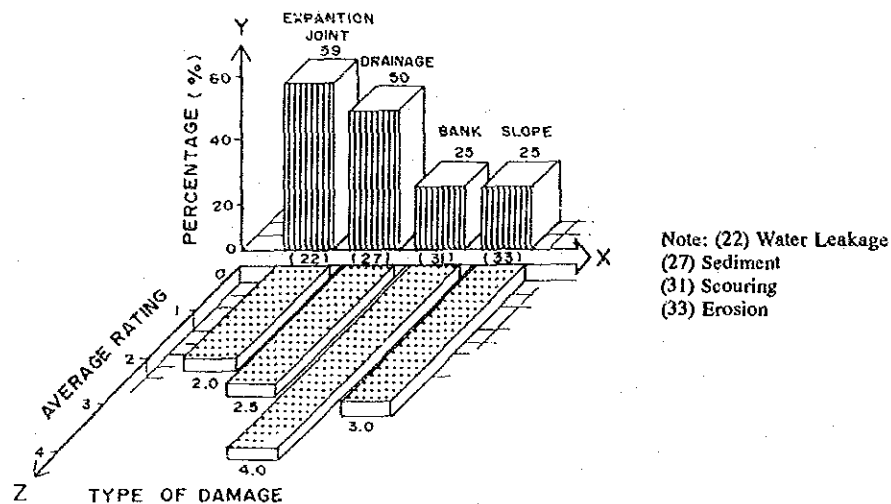
Figure 4-12 Damage Ratio and Average Rating in Pavements



(11) 伸縮装置・排水装置・護岸工

ほとんどの伸縮装置は、伸縮装置上にオーバーレイがなされているので確認できなかったが、桁下から伸縮装置の漏水が確認された橋梁は、調査を行った全橋梁数の59%に達す。更に、橋梁の多くは排水装置を有しておらず、排水装置が設置されているのは長大支間の橋梁だけである。しかし、それらの50%は土砂詰りを起こしており、機能していない。一方、護岸工を有する橋梁数は極めて限られており、その内25%は洗掘や浸食の被害を被っている。

Figure 4-13 Damage Ratio and Average Rating in Expansion Joint, Drainage, and Bank Slope Protection



これら現況に対する修繕対策案は、主に取換えあるいは新たな設置と考えられる。今後、これら損傷をなくすことを考慮して、「橋梁点検・維持・修繕マニュアル」の中に付属構造物に対する様々な修繕対策案を盛り込む必要がある。

4.3.2. 機能的視点からの目視調査結果の分析

機能的視点からの橋梁の評価項目は、橋梁上の交通容量、歩行者容量及び桁下空間である。橋梁事前評価において、既往交通データに基づき、調査対象橋梁上での交通容量を算出し、その橋梁の現在交通量と比較した。前者が後者より小さい場合は、橋梁の車道幅員を広げる必要がある。目視調査においては、調査対象橋梁の車道幅員や交通現況を確認し、最終的に表4-2に掲げる4橋（全体の4%に相当）を車道拡幅の対象橋梁として選定した。

歩道添架の必要性に関しては、橋梁の周辺にモスク、学校、その他の公共施設などがあるか否かを目視調査の中で調査した。調査結果から、歩道添架の必要な橋梁は表4-2に掲げる9橋であることを最終的に確認した。一方、桁下空間については、周辺住民への聞き取り調査（桁下空間が洪水流量に適合しているかどうか）から、桁下空間が不足している橋梁は、表4-2に掲げる7橋あることが明らかになった。

Table 4-2 List of Bridges which are Inadequate from Functional Viewpoints

Type of Rehabilitation Works of Defects	List of Bridge	Remarks
- Widening of Carriageway	00567840, 00838100 01800060, 01800670	Ratio of traffic capacity to current demand is greater than unity.
- Adding sidewalk	00159100, 00161140 00303890, 00313150 00313520, 00366660 00521300, 00521710 01800060	Bridge without sidewalk is located close to town or public facilities.
- Inadequate bridge opening	00304390, 00346740 00366660, 00546560 00838100, 02305970 05300960	Bridge opening is inadequate to cater for flood flow.

4.4 標準的修繕対策計画の立案

発見された損傷の種類・程度・範囲を踏まえ、同時にマレーシアのみならず日本で実施されている修繕対策を参考にして、構造的及び機能的視点から個々の橋梁主要部材に対して標準的修繕対策案を作成した。

4.4.1 構造的視点からの標準的修繕対策計画

本調査の初めに、全国軸重調査によって作成された橋梁調査調書の見直し作業の結果を踏まえて、個々の橋梁部材に対して想定される修繕計画案を保護・補強・取換えに大別して、調査対象橋梁216橋に配した。これらは、修繕計画立案の見地から、目視調査を行う代表的な95橋を選定するための基礎データとした。

その結果として実施した目視調査結果から、様々な損傷の種類・程度・範囲が明らかになり、想定される修繕計画を検証することが出来た。それに基づき、個々の橋梁部材に対する標準的修繕対策案を作成した。しかし、個々の橋梁部材に最適な修繕工法を配する前に、損傷原因を究明し、又、工事費、工期、施工性、迂回路の有無などの見地から、修繕対策案を詳細に検討することが必要である。

従って、目視調査結果に基づき立案された標準的修繕対策計画は、概略設計に対する単なる参考案であるが、取りまとめてAppendix-Hに示す。但し、舗装、高欄、伸縮装置など橋梁付属構造物の標準的修繕対策計画は、修繕対策として比較的簡易で選択の幅が限られているので除外した。

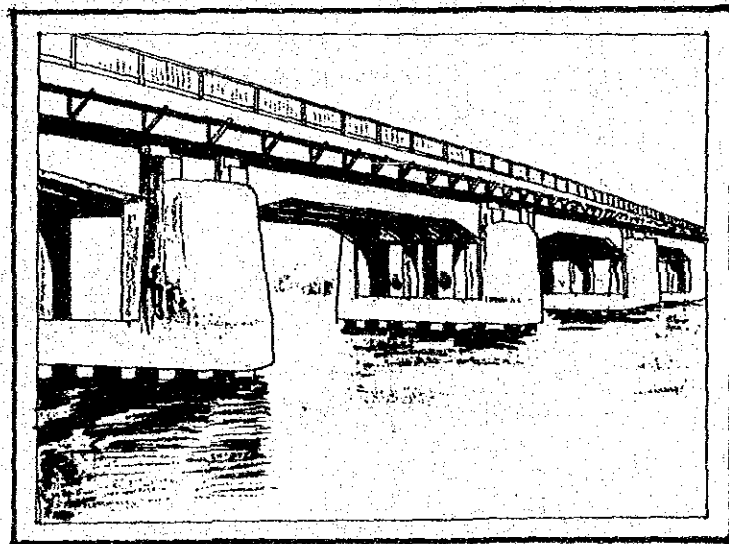
4.4.2 機能的視点からの標準的修繕対策計画

機能的視点からの標準的修繕対策計画（即ち、車道拡幅、歩道添架、橋梁の嵩上げあるいは伸長）に関しては、いくつかの選択肢が考えられるが、それは一般に橋梁形式、架橋位置の河川状況、地質状況に左右される。従って、概略設計において最適な修繕対策を選定するために比較設計を実施する必要がある。

概略設計の参考として、車道拡幅、歩道添架、嵩上げに対する標準的修繕対策案を Appendix-H に示す。

第 5 章

詳細調査対象橋梁の選定



第5章 詳細調査対象橋梁の選定

5.1 概 要

本章の主目的は、目視調査結果を踏まえて、95橋の中から代表的な20橋を詳細調査対象橋梁として選ぶことであり、又、これら20橋の中から5橋を実橋載荷試験対象橋梁として選定することである。

この20橋の詳細調査結果を、これらの橋梁の概略設計に活用すると共に、調査を行わなかった残りの調査対象橋梁の維持・修繕計画の立案及び「橋梁点検・維持・修繕マニュアル」の作成に反映させる。一方、実橋載荷試験の主眼は、橋梁主要部材の概略構造解析に資する構造的な余剰耐荷力を算定することである。

5.2 詳細調査対象橋梁20橋の選定

5.2.1 選定手法

マレーシア政府によって要請された目視調査対象橋梁の特別5橋梁の内、詳細調査を行う必要があると判断された橋梁は、コタ・バル市のヤヤ・ブトラ橋のみである。一方、マレーシア政府は、サバ、サラワク両州で目視調査を行った30橋の中の各州1橋について、詳細調査を実施するよう要請した。

従って、当初、詳細調査対象橋梁として95橋の中から選定することになっていた20橋は、上記の3橋を差し引いて17橋になった。

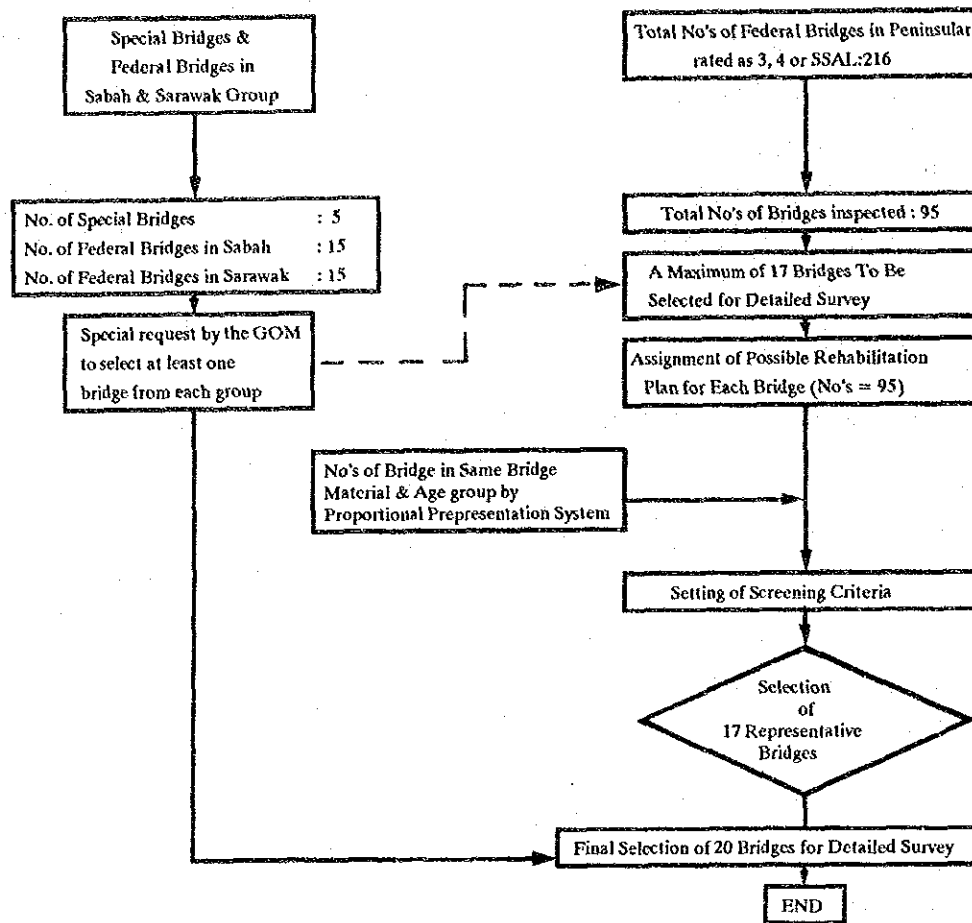
詳細調査対象橋梁20橋の選定手法を図5-1に示す。

最初に、修繕対策案を各橋梁に配置する基準を設定し、各主要部材の損傷の種類、程度及び範囲に応じた修繕対策案を各々の橋梁に割り当てる。

一方、95橋を同一橋梁構造材料グループ及び橋齢グループに分類し、95橋に対する各グループの橋梁数の比率を算出する。次に、目視調査対象橋梁の選定に際して適用した同じ選定基準を用いて、各々の橋梁構造材料及び橋齢グループに対して、比例配分方式で算出した所定の橋梁数の範囲内で、多くの修繕対策案を有する橋梁を、代表橋梁として選定する。

最終的に、上記作業を通じて選定された17橋に、3橋の特別橋梁を加えた20橋を詳細調査対象橋梁とした。

Figure 5-1 Selection Procedures of 20 Bridges for Detailed Survey



5.2.2 修繕対策案の配置及びその基準

調査対象橋梁216橋に関する維持・修繕計画を策定するという本調査の主目的を考慮して、17橋の詳細調査結果を、調査を実施しなかった残りの橋梁の修繕計画の立案に十分活用するためには、詳細調査対象橋梁の17橋は支配的な修繕対策の全てを網羅している必要がある。

そこで、目視調査結果を踏まえた一定の基準に基づき、95橋に対して修繕対策案を割り当て、その後、様々な修繕対策案を有する代表橋梁を選ぶことが必要である。このため、第4章で立案した標準的修繕対策案のみならず、目視調査において実施した損傷度評点結果を参照して、各主要部材の損傷の種類・程度・範囲とそれに対応する修繕対策案との関係を規定するひとつの基準をコンクリート部材と鋼部材に対して作成した。この基準を表5-1及び表5-2にそれぞれ示す。

そして、表5-1及び表5-2を参照して、橋梁の各主要部材の損傷度評点結果に従って、各橋梁に修繕計画案を配置した。全95橋に対するこの結果をAppendix-Iに示す。

Table 5-1 Assignment Criteria of Possible Rehabilitation Plans for Main Steel Components

Type of Damages	Definition of Damage			Damage Rating	Main Bridge Steel Component			
	Pattern	Degree	Extent		Main Beam	Buckle Plate	Bearing	Pier
(1) Corrosion		Section Loss	Widely	4	Reinforcement(SBRF)	Reinforcement(DCRF)	Protection(BPR)	Reinforcement(SPRF)
			Locally	4	Reinforcement(SBRF)	Reinforcement(DCRF)	Protection(BPR)	Reinforcement(SPRF)
		Surface Rust	Widely	4	Protection(SBPR)	Protection(DSPR)	Protection(BPR)	Protection(SPPR)
			Locally	3	Protection(SBPR)	Protection(DSPR)	Protection(BPR)	Protection(SPPR)
(2) Steel Crack		Detected		4	Reinforcement(SBRF)	Reinforcement(DCRF)		Reinforcement(SPRF)
		No		0	-	-		-
(4) Falling Off			Many	4	Protection(SBPR)	Protection(DSPR)	Protection(BPR)	Protection(SPPR)
			A few	3	Protection(SBPR)	Protection(DSPR)	Protection(BPR)	Protection(SPPR)
(5) Steel Rupture		Detected		4	Reinforcement(SBRF)		Replacement(BRP)	
		No		0	-		-	
(6) Paint Deterioration		Came off	Widely	3	Protection(SBPR)	Protection(DSPR)	Protection(BPR)	Protection(SPPR)
			Locally	2	-	-	-	-
		Colour changed	Widely	2	-	-	-	-
			Locally	1	-	-	-	-
(22) Water Leak/ Ponding Water		Detected		4		Protection(DSPR)	Protection(BPR)	
		No		0		-	-	
(23) Abnormal Noise		Detected		4	Reinforcement(SBRF)			Reinforcement(SPRF)
		No		0	-			-
(24) Abnormal Vibration		Detected		4	Reinforcement(SBRF)			
		No		0	-			
(25) Abnormal Deflection		Detected		4	Reinforcement(SBRF)			
		No		0	-			
(26) Deformation		Remarkable		4	Reinforcement(SBRF)	Reinforcement(DCRF)		Reinforcement(SPRF)
		Slight		2	-	-		-
(27) Sediment/ Vegetation		Remarkable		3			Protection(BPR)	
		Slight		2			-	
(28) Settlement		Remarkable		4			Protection(BPR)	Reinforcement(PFRF)
		Slight		3			-	Reinforcement(PFRF)
(30) DIP		Remarkable		4				Reinforcement(PFRF)
		Slight		3				Reinforcement(PFRF)
(31) Scouring	Direct	Remarkable		4				Protection(PFPR)
		Slight		4				Protection(PFPR)
	Pile, Ceisson	Remarkable		4				Protection(PFPR)
		Slight		3				Protection(PFPR)
(33) Erosion		Remarkable		4				-
		Slight		3				-

**Table 5-2 Assignment Criteria of Possible Rehabilitation Plans
for Main Concrete Components**

Type of Damage	Definition of Damage			Damage Rating	Main Bridge Concrete Component							
	Pattern	Degree	Extent		Main Beam	Deck Slab	Bearing(Rubber)	Abutment	Pier			
(7) Cracks	Critical	Wide Line	Interval < 50cm	4	Reinforcement(CBRF)			Reinforcement(ARF)	Reinforcement(PRF)			
			Interval > 50cm	4	Protection(CBPR)			Protection(APR)	Protection(PPR)			
		Unifocal	Hair Line	Interval < 50cm	3	Protection(CBPR)			Protection(APR)	Protection(PPR)		
	Interval > 50cm			3	Protection(CBPR)			Protection(APR)	Protection(PPR)			
	Wide Line		Interval < 50cm	4	Protection(CBPR)			Protection(APR)	Protection(PPR)			
		Interval > 50cm	3	Protection(CBPR)			Protection(APR)	Protection(PPR)				
(8) Flaking Rebar exposure		Rebar Corroded	Area > 0.1 & 1. sq.m	4	Reinforcement(CBRF)	Reinforcement(DCRF)		Reinforcement(ARF)	Reinforcement(PRF)			
			Area < 0.1 & 1. sq.m	3	Protection(CBPR)	Protection(DCPR)		Protection(APR)	Protection(PPR)			
		Flaking Only	Area > 0.1 & 1. sq.m	3	Protection(CBPR)	Protection(DCPR)		Protection(APR)	Protection(PPR)			
	Area < 0.1 & 1. sq.m		2	-	-		-	-				
			Area > 0.1 & 1. sq.m	4	Protection(CBPR)	Protection(DCPR)		Protection(APR)	Protection(PPR)			
		Area < 0.1 & 1. sq.m	3	Protection(CBPR)	Protection(DCPR)		Protection(APR)	Protection(PPR)				
(9) Free Lime			Area > 0.1 & 1. sq.m	4	Protection(CBPR)	Protection(DCPR)		Protection(APR)	Protection(PPR)			
			Area < 0.1 & 1. sq.m	3	Protection(CBPR)	Protection(DCPR)		Protection(APR)	Protection(PPR)			
(11) Wear/Erosion		Up to rebar	Area > 1. sq.m	4	Notes: - 0.1 sq.m for Substructure - 0.01 sq.m for Superstructure			Reinforcement(ARF)	Reinforcement(PRF)			
			Area < 1. sq.m	3				Protection(APR)	Protection(PPR)			
	Covering Only	Area > 1. sq.m	3	Protection(APR)				Protection(PPR)				
		Area < 1. sq.m	2	Protection(APR)				Protection(PPR)				
(12) Slipping off		Detected		4		Replacement(DCRP)						
			No	0								
(14) Slab Crack	2 Ways	Rust Liquid	Interval < 50cm	4		Reinforcement(DCRF) Reinforcement(DCRF) Reinforcement(DCRF) Protection(DCPR) Protection(DCPR)						
			Interval > 50cm	4								
		Water Leak	Interval < 50cm	4								
			Interval > 50cm	3								
		Crack Only	Interval < 50cm	3								
			Interval > 50cm	2								
	1 Way	Rust Liquid	Interval < 50cm	3		Protection(DCPR) Protection(DCPR) Protection(DCPR) - - -						
			Interval > 50cm	3								
		Water Leak	Interval < 50cm	3								
			Interval > 50cm	2								
Crack Only	Interval < 50cm	2										
	Interval > 50cm	2										
(21) Deterioration		Widely		4	Protection(CBPR)	Protection(DCPR)		Protection(APR)	Protection(PPR)			
			Locally	3				Protection(APR)	Protection(PPR)			
(22) Water Leak/ Ponding Water		Detected		4	Protection(CBPR)	Protection(DCPR)	Protection(BPR)	Protection(APR)	Protection(PPR)			
			No	0				-	-			
(24) Abnormal Vibration		Detected		4	Reinforcement(CBRF)							
			No	0								
(25) Abnormal Deflection		Detected		4	Reinforcement(CBRF)							
			No	0								
(26) Deformation		Remarkable		4			Replacement(BRP)					
			Slight	2								
(27) Sediment/ Vegetation		Remarkable		3								
			Slight	2								
(28) Settlement		Remarkable		4				Reinforcement(AFRF)	Reinforcement(PFRF)			
			Slight	3				-	-			
(29) Abnormal Movement		Remarkable		4				Reinforcement(AFRF)	Reinforcement(PFRF)			
			Slight	3				-	-			
(30) DIP		Remarkable		4				Reinforcement(AFRF)	Reinforcement(PFRF)			
			Slight	3				-	-			
(31) Scouring	Direct	Remarkable		4				Protection(AFRF)	Protection(PFRF)			
			Slight	4				Protection(AFRF)	Protection(PFRF)			
	Pile, Caisson	Remarkable		4				Protection(AFRF)	Protection(PFRF)			
			Slight	3				Protection(AFRF)	Protection(PFRF)			
(32) Defect (Section Loss)		Remarkable		4	Protection(CBPR)		Replacement(BRP)					
			Slight	2								
(33) Erosion		Remarkable		4				Protection(BSPR)	-			
			Slight	3				-	-			

5.2.3 選定基準の設定

(1) 橋梁の分類

橋梁の構造材料は、主にプレストレスト・コンクリート、鉄筋コンクリート及び鋼材である。又、橋齢（供用年数）は、適用設計活荷重に基づき1945年以前、1946年から1974年まで、及び1975年以降の3つに分類できる。

一方、維持・修繕対策は、構造材料、橋梁形式、適用設計活荷重及び橋齢などと密接に関連しており、それは、構造材料の損傷の種類・程度・範囲により異なる。そこで、比例配分方式によって代表橋梁を選定するために、95橋を同じ橋梁構造材料及び橋齢グループに分類した。

次に、全95橋に対する各々の構造材料及び橋齢グループの橋梁数の比率を計算し、同一の橋梁構造材料及び橋齢グループ毎の比率に選定されるべき橋梁数の17橋を乗じて、各グループから選定される橋梁数を算出した。

95橋に対する各構造材料及び橋齢グループの橋梁数と比率及び選定されるべき17橋の内訳を表5-3に示す。

Table 5-3 Number and Percentage for Each Bridge Material and Age Group

Age Group Const. Material	Before 1945			1946 to 1974			Total		
	No. of Bridges Upon 95	% of the Group	No. of Bridges Upon 17	No. of Bridges Upon 95	% of the Group	No. of Bridges Upon 17	No. of Bridges Upon 95	% of the Group	No. of Bridges Upon 17
Steel	12	12.6	2	32	33.7	5	44	46.3	7
Prestressed Concrete	0	0	0	13	13.7	4	13	13.7	4
Reinforced Concrete	6	6.3	1	32	33.7	5	38	40.0	6
TOTAL	18	18.9	3	77	81.7	14	95	100.0	17

Note: The figure below decimal in no's of steel & RC bridges against 17 was omitted. Balance due to this omission was added in the number of PC bridge in view of bridge importance.

(2) 選定基準

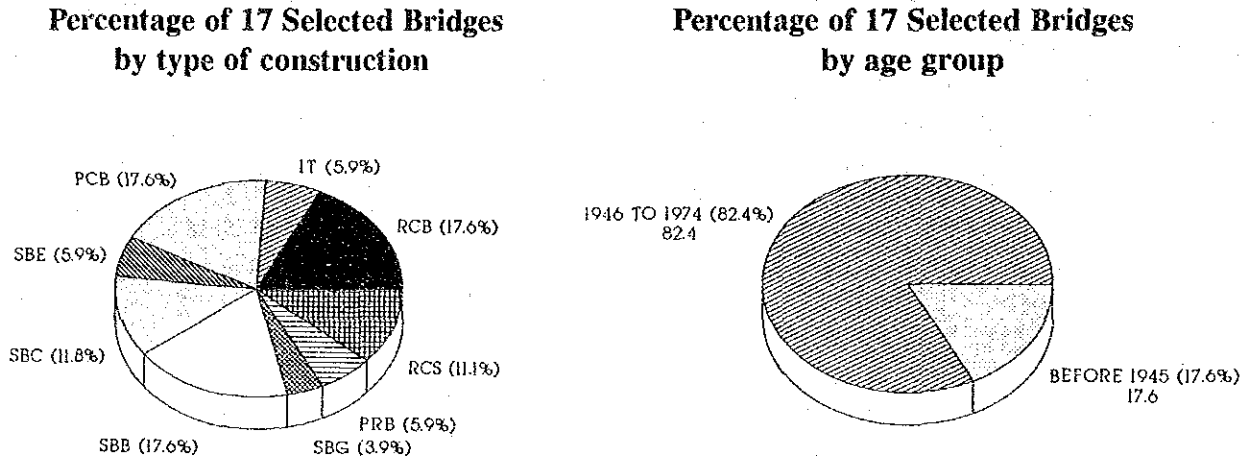
詳細調査対象の代表橋梁を選定する上で、構造的な視点からだけでなく、機能的な視点からも主要な修繕対策案を網羅する橋梁を選ぶことが不可欠である。

上記の原則を考慮して、同じ橋梁構造材料及び年齢グループの中で、構造的かつ又、機能的な視点からの多様な修繕対策案を有する橋梁を、代表橋梁として最初に選定する。続いて、既に選定された橋梁に含まれていない修繕対策案を有する橋梁を次の代表橋梁として選ぶ。この基準による選定作業を、上記作業で算定された橋梁数に達するまで続ける。

5.2.4 詳細調査対象橋梁20橋の選定結果

前記の選定作業を通じて、17橋の代表橋梁を選定し、その結果をAppendix-1に示す。また、17橋の橋梁形式及び橋齢グループに関する構成比を図5-2に示す。

Figure 5-2 Statistics of the 17 Bridges Selected



最後に、上記17橋と3橋の特別橋梁を合わせて、詳細調査対象橋梁の20橋とした。20橋のリストと位置を表5-4及び図5-3に示す。

Table 5-4 List of the 20 Bridges Selected for the Detailed Survey

NO.	KEY	STATE	DISTRICT	YEAR BUILT	STUDY CATE-GORY	CAPA-CITY	MAX. SPAN (M)	NO. OF SPAN	BRIDGE LENGTH (M)	TYPE OF BRIDGE	
1	00114920	JOHOR	SEGAMAT	1955	3	STAL	6.43	2	12.86	Reinforced Concrete Beam	
2	00161140	PERAK	KINTA	1950	3	STAL	9.77	2	19.11	Steel Beam Buckle Plate	
3	00166510	PERAK	LRT MATANG	1935	3	STAL	10.72	1	10.72	Steel Box Girder +Reinforced Concrete Beam	
4	00237200	PAHANG	KUANTAN	1960	3	STAL	8.90	3	26.70	Steel Beam R.C.Slab +Reinforced Concrete Beam	
5	00317000	PAHANG	ROMPIN	1974	3	MTAL	45.78	9	397.32	Prestressed Concrete Beam	
6	00319110	PAHANG	ROMPIN	1962	3	SSAL	30.46	7	121.86	Prestressed Concrete Beam	
7	00341800	TRENGGANU	KEMAMAN	1955	3	STAL	12.10	3	36.14	Reinforced Concrete Beam	
8	00346740	TRENGGANU	DUNGUN	1973	3	STAL	30.50	9	152.26	Prestressed Concrete Beam	
9	00520850	MELAKA	JASIN	1950	3	STAL	4.27	1	4.27	Encased Steel Beam	
10	00546560	SELANGOR	K.SELANGOR	1939	3	P/A	6.30	1	6.30	Reinforced Concrete Beam	
11	00546980	SELANGOR	K.SELANGOR	1969	3	STAL	10.64	3	30.94	Reinforced Concrete Slab (Hollow)	
12	00563880	PERAK	MANJUNG	1972	3	STAL	14.07	3	41.59	Pretensioned Inverted Tee Beam	
13	00567840	PERAK	KINTA	1960	3	STAL	6.06	2	12.12	Precast Reinforced Concrete Beam	
14	00834850	KELANTAN	KUALA KRAI	1960	3	STAL	4.63	3	13.71	Reinforced Concrete Slab	
15	05001070	JOHOR	BATU PAHAT	1919	2	SSAL	4.77	1	4.77	Steel Beam Buckle Plate	
16	05803340	PERAK	BTG PADANG	1950	3	STAL	4.97	1	4.97	Steel Beam Buckle Plate	
17	05903120	PERAK	BTG PADANG	1950	3	STAL	10.88	3	23.18	Steel Beam R.C.Slab	
17 Bridges											
<< SPECIAL Bridges >>											
1	--	SABAH	PENAMPANG	1964	--	--	25.70	3	50.10	Steel Beam R.C.Slab	
2	--	SARAWAK	SAMARAHAN	1965	--	--	19.60	5	71.60	Steel Beam R.C.Slab	
3	00371000	KELANTAN	KOTA BHARU	1962	--	--	30.00	29	840.00	Reinforced Concrete Beam	
3 Bridges											
Grand Total 20 Bridges											
In addition to the above, the Study Team is requested to investigate reason of the defects and countermeasure if required for the following bridges.											
NO.	KEY	STATE	DISTRICT	YEAR BUILT	STUDY CATE-GORY	CAPA-CITY	MAX. SPAN (M)	NO. OF SPAN	BRIDGE LENGTH (M)	TYPE OF BRIDGE	DETECTED DEFECTS
1	00512960	JOHOR		1965	3	STAL	11.30	3	30.22	RCB	Crack on Abutment
2	00701810	KEDAH		1970	3	STAL	30.52	3	48.60	PCB	Deteriorated Rubber Bearing

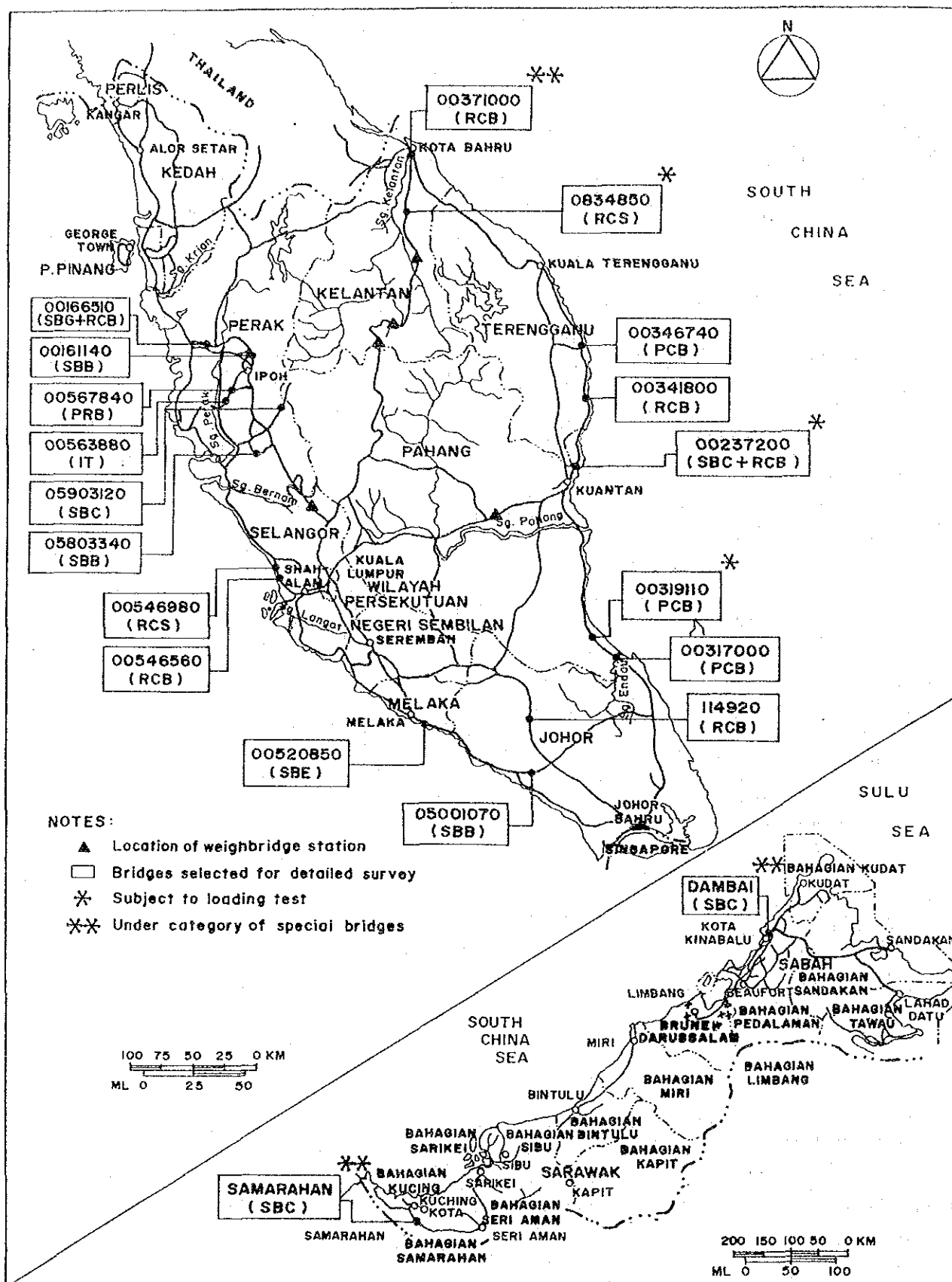


Figure 5-3 Location Map of the 20 Bridges Selected

5.3 載荷試験対象橋梁の選定

5.3.1 選定基準の設定

20橋の詳細調査対象橋梁の中から、最大5橋の載荷試験対象橋梁を選定するために、この20橋を次の視点から評価した。

(1) 迂回路の有無

載荷試験中は、橋梁を閉鎖し、現交通を迂回させることが必要である。迂回路に関わる情報は、目視調査においてJKR郡事務所あるいは橋梁周辺の住民から収集した。その収集資料を基に、各橋に対する迂回路の現状を表5-5に示す。

迂回路の有無に関する評価基準を下記の通りに設定した。

Availability of Detour	Rating
Available and length of detour road less than 10 km	Very Good
Available and length of detour road between 11 km to 40 km	Good
Available and length of detour road more than 40 km	Fair
Not available	Bad

(2) 交通量

橋梁上の交通量の大小は、載荷試験の準備と実施期間中の交通制御の難易度を示す。そこで、HPU発行の 'Traffic Volume Malaysia 1988-1989' に基づく各橋の交通量を表5-5に示した。

交通量に関する評価基準を下記の通りに設定した。

Traffic Volume (16 Hrs)	Rating
$0 < TV < 3,000$	Very Good
$3,000 < TV < 8,000$	Good
$8,000 < TV < 15,000$	Fair
$15,000 < TV$	Bad

(3) 作業空間

桁や床版の下面から水面や地表面までの空間の大小は、載荷試験において、その作業性に影響を及ぼす。そこで、各橋梁のこの高を、橋梁調査票から求め、表5-5に示した。

作業空間の大小に関する評価基準を下記の通り設定した。

Height of Clearance (m)	Rating
$2.5 < H$	Very Good
$1.7 < H < 2.5$	Good
$1.0 < H < 1.7$	Fair
$H < 1.0$	Bad

(4) 試験結果の適用性

実橋載荷試験の結果を、他の同一橋梁形式の耐荷力算定に適用することは、試験結果の有効活用を考え非常に重要である。そこで、同一橋梁形式の中から標準的な規模で、構造的に重大な損傷がない橋梁を載荷試験対象橋梁として選定すべきである。

同一橋梁に対する試験結果の適用性に関わる評価基準を下記のように設定した。

Applicability of the Test Result		Rating
Type of Bridge	Reason	
SBB	Thickness of slab and its type of material widely vary and thus experimental values resulting from load test could not be applicable to other SBB bridge	Fair
SBC	This type of bridge is only one out of the 216 study bridges. Thus no applicability at all.	Bad
SBE	Homogeneity of composition degree between steel and concrete widely vary, depending on working load and quality of material. Thus applicability is less.	Fair
IT & PRB	Homogeneity of composition degree between in place and precast concrete governing transversal load distribution also vary, depending on quality of the materials. Thus applicability is less.	Fair
RCB, PCB & SBC	Applicability of the test results of these bridges to the other same type is very reliable.	Very Good

上記に加えて、複雑な荷重分配を示す斜橋は、他の橋梁への適用性が難しいので“不可”と判定した。

5.3.2 載荷試験対象橋梁の選定結果

定量的な評価に基づいて、載荷試験対象橋梁20橋を選定するために、“優”、“良”、“可”及び“不可”などの定性的な判定結果を、下記に設定した評価点に置き換えた。

Qualitative Rating	Basic Point
Very Good	5
Good	4
Fair	3
Bad	1

前記四項目の各々の評価点を合計して、橋梁の総合評価点を求めた。総合評価点が高い橋梁は、載荷試験対象橋梁として不適切であることを表しており、逆に総合評価点が高い橋梁は、適切であることを示している。しかし、この総合評価点は厳密な優先順位を示すものではなく、載荷試験対象橋梁としての妥当性を、大まかな順位で表しているに過ぎない。

表5-6に示す定量的評価結果のみならず、橋梁現場への接近性や駐車スペースの有無を考慮して、最終的に下記の橋梁を載荷試験対象橋梁として選定した。

橋梁番号	州名	郡名	橋梁形式
00237200	パハン	クアンタン	SBC & RCB
00319110	パハン	ロンピン	PCB & PCB
00834850	クランタン	クアラクライ	RCS

上記選定結果として、鉄筋コンクリート床版・鈑桁橋1橋、鉄筋コンクリート桁橋1橋、プレストレストコンクリート桁橋2橋及び鉄筋コンクリート床版橋1橋の計5橋に対して載荷試験を実施することとした。

Table 5-5 Evaluation of the 20 Bridges for the Loading Test

NO.	KEY	STATE	DISTRICT	TYPE OF BRIDGE (SKEW)	MAX. SPAN (M)	NO. OF SPAN	BRIDGE LENGTH (M)	YEAR BUILT	AVAILABILITY OF DETOUR (KM)	16 HOURS TRAFFIC VOLUME	CLEARANCE BELOW GIRDER (M)
1	00114920	JOHOR	SEGAMAT	RCB (90)	6.43	2	12.86	1955	Available (90)	7760	1.33
2	00161140	PERAK	KINTA	SBB (90)	9.77	2	19.11	1950	Not Available (---)	13460	2.76
3	00166510	PERAK	LRT MATANG	SBC + RCB (90) *1	10.72	1	10.72	1935	Available (20)	13340	2.83
4	00237200	PAHANG	KUANTAN	SBC + RCB (90)	8.90	3	26.70	1960	Available (10)	12600	2.40
5	00317000	PAHANG	ROMPIN	PCB (90)	45.78	9	397.32	1974	Not Available (---)	5740	7.92
6	00319110	PAHANG	ROMPIN	PCB (90) *2	30.46	7	121.96	1962	Not Available (---)	1750	6.82
7	00341800	TRENGGANU	KEMAMAN	RCB (90)	12.10	3	36.14	1955	Available (26)	8650	1.40
8	00346740	TRENGGANU	DUNGUN	PCB (90) *2	30.50	9	152.26	1973	Not Available (---)	8190	2.80
9	00520550	MELAKA	JASIN	SBE (90)	4.27	1	4.27	1950	Available (5)	13900	1.44
10	00546560	SELANGOR	K.SELANGOR	RCB (90)	6.30	1	6.30	1939	Available (3)	7980	0.80
11	00546980	SELANGOR	K.SELANGOR	RCS(H) (90)	10.64	3	30.94	1969	Available (21)	7980	3.50
12	00563880	PERAK	MANJUNG	IT (55)	14.07	3	41.59	1972	Available (40)	10620	2.30
13	00567840	PERAK	KINTA	PRB (90)	6.06	2	12.12	1960	Available (10)	20300	1.08
14	00834850	KELANTAN	KUALA KRAI	RCS (90)	4.63	3	13.71	1960	Available (30)	7000	3.43
15	05001070	JOHOR	BATU PAHAT	SBB (90)	4.77	1	4.77	1919	Available (40)	23660	1.09
16	05803340	PERAK	BTG PADANG	SBB (90)	4.97	1	4.97	1950	Available (35)	4290	1.31
17	05903120	PERAK	BTG PADANG	SBC (75)	10.88	3	23.18	1950	Not Available (---)	5000	6.90
18 *		SABAH	PENAMPANG	SBC (90)	25.70	3	50.10	1964	Available (10)	--	5.60
19 *		SARAWAK	SAMARAHAN	SBC (90)	19.80	5	71.60	1965	Not Available (---)	--	7.10
20 *	00371000	KELANTAN	K.BAHRU	RCB (90)	30.00	29	840.00	1962	Available (120)	34000	8.00

NOTE: * Special bridges of which rehabilitation plan will be prepared individually

*1 Widened by RCB

*2 2 girders types

Table 5-6 Evaluation Results and Selection of Bridges for the Loading Test

NO.	KEY	STATE	DISTRICT	TYPE OF BRIDGE (SKEW)	MAX. SPAN (M)	NO. OF SPAN	BRIDGE LENGTH (M)	YEAR BUILT	AVAILABILITY OF DETOUR (POINT)	16 HR TRAFFIC VOLUME (POINT)	CLEARANCE BELOW GIRDER (POINT)	APPLICABILITY TO OTHER BRIDGES (POINT)	TOTAL POINT	FINAL SELECTION
1	00114920	JOHOR	SEGAMAT	RCB (90)	6.43	2	12.86	1955	F (3)	G (4)	F (3)	VG (5)	15	--
2	00161140	PERAK	KINTA	SBB (90)	9.77	2	19.11	1950	B (1)	F (3)	VG (5)	F (3)	12	--
3	00166510	PERAK	LRT MATANG	SBC + RCB (90) *1	10.72	1	10.72	1935	G (4)	F (3)	VG (5)	B (1)	13	--
4	00237200	PAHANG	KUANTAN	SBC + RCB (90)	8.90	3	26.70	1960	VG (5)	F (3)	G (4)	VG (5)	17	SELECTED
5	00317000	PAHANG	ROMPIN	PCB (90)	45.78	9	397.32	1974	B (1)	G (4)	VG (5)	VG (5)	15	--
6	00319110	PAHANG	ROMPIN	PCB (90) *2	30.46	7	121.96	1962	B (1)	VG (5)	VG (5)	VG (5)	16	SELECTED
7	00341800	TRENGGANU	KEMAMAN	RCB (90)	12.10	3	36.14	1955	G (4)	F (3)	F (3)	VG (5)	15	--
8	00346740	TRENGGANU	DUNGUN	PCB (90) *2	30.50	9	152.26	1973	B (1)	F (3)	VG (5)	VG (5)	14	--
9	00520550	MELAKA	JASIN	SBE (90)	4.27	1	4.27	1950	VG (5)	F (3)	F (3)	F (3)	14	--
10	00546560	SELANGOR	K.SELANGOR	RCB (90)	6.30	1	6.30	1939	VG (5)	G (4)	B (1)	VG (5)	15	--
11	00546980	SELANGOR	K.SELANGOR	RCS(H) (90)	10.64	3	30.94	1969	G (4)	G (4)	VG (5)	F (3)	16	--
12	00563880	PERAK	MANJUNG	IT (55)	14.07	3	41.59	1972	G (4)	F (3)	G (4)	B (1)	12	--
13	00567840	PERAK	KINTA	PRB (90)	6.06	2	12.12	1960	VG (5)	B (1)	F (3)	F (3)	12	--
14	00834850	KELANTAN	KUALA KRAI	RCS (90)	4.63	3	13.71	1960	G (4)	G (4)	VG (5)	F (3)	16	SELECTED
15	05001070	JOHOR	BATU PAHAT	SBB (90)	4.77	1	4.77	1919	G (4)	B (1)	F (3)	F (3)	11	--
16	05803340	PERAK	BTG PADANG	SBB (90)	4.97	1	4.97	1950	G (4)	G (4)	F (3)	F (3)	14	--
17	05903120	PERAK	BTG PADANG	SBC (75)	10.88	3	23.18	1950	B (1)	G (4)	VG (5)	B (1)	11	--
18 *		SABAH	PENAMPANG	SBC (90)	25.70	3	50.10	1964	VG (5)	--	VG (5)	VG (5)	19	--
19 *		SARAWAK	SAMARAHAN	SBC (90)	19.80	5	71.60	1965	B (1)	--	VG (5)	VG (5)	15	--
20 *	00371000	KELANTAN	KOTA BAHRU	RCB (90)	30.00	29	840.00	1962	B (1)	B (1)	VG (5)	VG (5)	12	--

NOTE: * Special bridges of which rehabilitation plan will be prepared individually

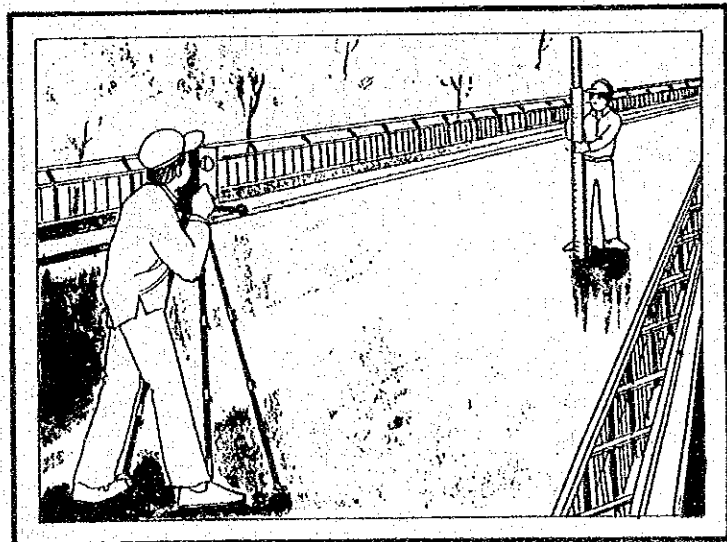
*1 Widened by RCB

*2 2 girders types

VG: Very Good G: Good F: Fair B: Bad

第 6 章

測 量 調 査



第6章 測量調査

6.1 概 要

測量調査の開始に先立ち、全国軸重調査で損傷評点3,4及び耐荷力不足と判定された調査対象橋梁216橋に関して、広範な資料収集を行った。多くの資料を収集したが、半島マレーシアで選定された18橋に関する測量調査資料は皆無であった。しかし、サバ及びサラワク州では選定された2橋に関して、架橋位置の簡単な平面図と河川横断図を入手した。この資料に関しては、調査団が直営で測量を実施し、既存図面を補足して使用するものとした。従って、実質的に測量が必要な橋梁は、半島マレーシアに位置する18橋梁のみである。測量調査対象橋梁の位置図とその作業内容を図6-1及び表6-1にそれぞれ示す。

この測量調査結果は、維持・修繕計画の立案、調査対象橋梁の概略設計及び数量算出などに資するものである。

6.2 目 的

測量調査の主目的は、橋梁周辺の地形を図化することである。橋梁の位置は各州の三角測量網の一部に閉合し、その標高は測量局のベンチマークを基準にした。この測量調査は、下記作業の基礎資料に資する為極めて重要である。

- ・ 流量解析
- ・ 局部洗掘及び築堤や洗掘防護工のために必要な維持、修繕の範囲の決定
- ・ 下部工の構造計算

6.3 調査方法

測量調査業務は、現地の登録測量業者に委託し、45日の契約期間で1991年9月26日に開始された。この測量調査業務の実施期間中、延べ6チームの測量班を各現場に動員し、現地踏査、多角点測量、水準測量、光波測距測量、深淺測量を行った。各々の調査内容を下記に略述する。

6.3.1 現地踏査

現場作業に先立ち、各々の橋梁現場の正確な位置を確認するために現地踏査を行った。この現地踏査の中で土地台帳と公図を州測量局より入手し、橋梁周辺の土地の境界を明確にするとともに、三角点及びベンチマークの位置の確認と、それらの状態をも調査した。

TABLE 6-1 EXTENT OF TOPOGRAPHIC SURVEY

No	Key	State	District	Bridge Length (M)	Topographic Survey				No of X - Section for River Survey	
					Extent of Survey		Area to be Covered (Square Meter)	Scale of Drawing	At 20m	Below Bridge Centre-Line
					Beyond Abutment	From Road Central-L				
1	00114920	Johor	Segamat	12.86	15.00	15.00	40 x 30	50	2	1
2	00161140	Perak	Kinta	19.11	30.00	15.00	80 x 30	100	2	1
3	00166510	Perak	Larut Matang	10.72	10S & 20N	30U & 15D	40 x 45	50	2	1
4	00237200	Pahang	Kuantan	26.70	10.00	10.00	45 x 20	100	2	1
5	00317000	Pahang	Rompin	397.32	50.00	20.00	500 x 40	500	2(100)*	*1
6	00319110	Pahang	Rompin	121.96	20.00	20.00	160 x 40	200	2(100)*	*1
7	00341800	Terengganu	Kemaman	36.14	20.00	20.00	75 x 40	100	2	1
8	00346740	Terengganu	Dungun	152.26	50.00	20D & 50U	250 x 70	400	2(50)*	*1
9	00520850	Melaka	Jasin	4.27	10.00	10D & 15U	25 x 25	50	2	1
10	00546560	Selangor	Kuala Selangor	6.30	30.00	20.00	65 x 40	50	2	1
11	00546980	Selangor	Kuala Selangor	30.94	20.00	30.00	70 x 60	100	2	1
12	00563880	Perak	Manjung	41.59	10.00	15.00	60 x 30	100	2	1
13	00567840	Perak	Kinta	12.12	10.00	20U & 10D	60 x 30	50	2	1
14	00834850	Kelantan	Kuala Krai	13.71	15.00	15.00	45 x 30	50	2	1
15	05001070	Johor	Batu Pahat	4.77	10.00	15.00	25 x 30	50	2	1
16	05803340	Perak	Batang Padang	4.97	10.00	10.00	25 x 20	50	2	1
17	05903120	Perak	Batang Padang	23.18	10W & 30E	20.00	20 x 40	100	2	1
18	00371000	Kelantan	Kota Bharu	840.00	50.00	30.00	950 x 60	1000	2(100)*	*1
TOTAL							124,625			

1 - Extent on Survey area and dimensions are given in meters

2 - Abbreviations in the above table for the extent of survey are as follows;

S = South, N = North, E = East, W = West, U = Up-stream, D = Down-stream, L = Length, W = Width

3 - Figure in () is the interval of river cross section

4 - Mark with * was surveyed using echo sounding

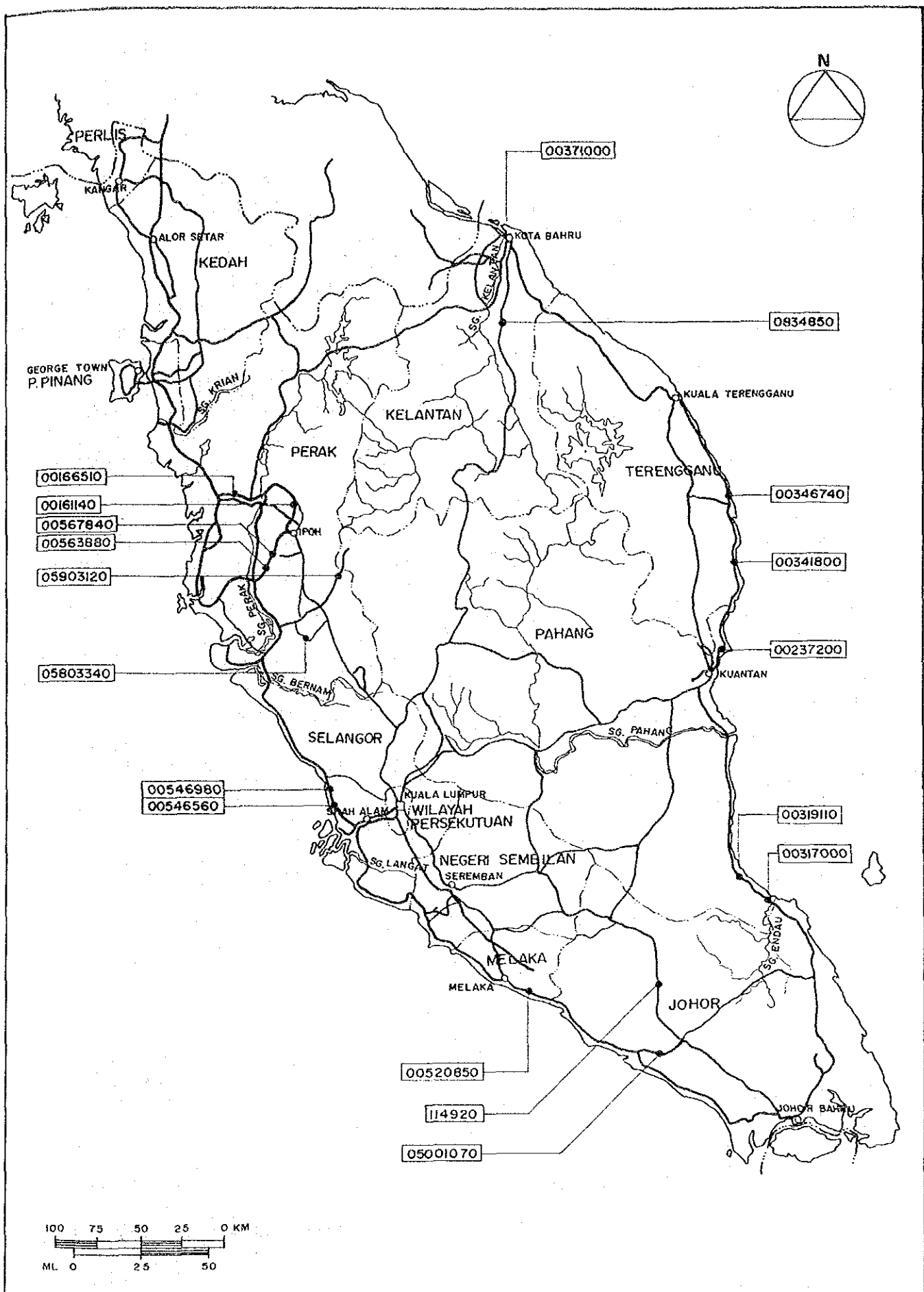


Figure 6-1 Location Map of the 18 Bridges for Topographic Survey

6.3.2 多角点測量

多角点測量は、橋梁位置を平面的に確定するために行った。対象橋梁近傍に一連のトラバー杭を打設し、その杭は橋梁周辺の既存基準点に閉合すると共に、またトラバー杭間の全ての距離を光波測距儀を用いて測定した。一方、基準線の方位については、公認平面図に記載されている既知の基準点を基に算出した。

6.3.3 水準測量

少なくとも2点の既設の測量局水準点から多角点測量の基準杭まで水準測量を行い、橋梁現場に仮ベンチマーク（TBM）を設けた。

仮ベンチマークは1片30cm、また深さ30cmのコンクリートに直径40mm、長さ1mの亜鉛メッキ鋼管を埋め込み、鋼管にモルタルを充填して、その天端に釘を埋め込んだものとした。そして、仮ベンチマークの番号をコンクリートの上に書き込んだ。

その高さの精度は、許容誤差 $\pm 0.02\sqrt{K}$ （ここでKは、測量した測線の長さで、単位はkmである）以内であった。各々の橋梁現場に設置した仮ベンチマークの高さを表6-2に示す。

6.3.4 光波測距測量

詳細に各点の方位と距離を測定するために、光波測距測量を行った。この測量の精度は許容値である $\pm 5\text{cm}$ 、高さで $\pm 2\text{cm}$ 以内であった。測量を行う地盤高の間隔は、図面の縮尺を考慮して決定した。また、架橋位置の浅い河川の横断を測定する場合にも、この測量を行った。

6.3.5 深淺測量

4橋（橋梁番号00371000, 00346740, 00317000, 00319110）の現場において、超音波を使用した水深測定手法を用いて河床断面形状の測量を行った。

6.4 測量調査の結果

全ての現場作業は、1991年10月31日に完了した。野帳を照査し、記録した諸数値をコンピュータによって処理した。また、全ての点のX, Y, Z座標をプロッターを使って図化し、測量の結果を下記の成果にとりまとめた。

- ・ 測量図面（18葉）
- ・ 河川横断（42断面）
- ・ 道路中心、桁下の河川断面（18断面）を含む道路中心の橋梁縦断面図

Table 6-2 TBM Levels and Referenced Benchmarks

Bridge No.	District	State	BM No.	TBM No. Level (Meter)
00114920	Segamat	Johor	J0021	37.289
00161140	Kinta	Perak	A0210	72.92
00166510	Larut Matang	Perak	A0248	34.462
00237200	Kuantan	Pahang	C0516	3.882
00317000	Rompin	Pahang	C0220	2.919
00319110	Rompin	Pahang	CM129	6.356
00341800	Kemaman	Terengganu	T0115	3.535
00346740	Dungun	Terengganu	T0140	6.001
00520850	Jasin	Melaka	M0241	4.341
00546560	Kuala Selangor	Selangor	B0819	2.292
00546980	Kuala Selangor	Selangor	B0816	2.899
00563880	Manjung	Perak	A0606	2.703
00567840	Kinta	Perak	A0659	20.866
00834850	Kuala Krai	Kelantan	D0057	27.237
05001070	Batu Pahat	Johor	J0294	5.791
05803340	Batang Padang	Perak	A0846	26.902
05903120	Batang Padang	Perak	A1416	573.500
00371000	Kota Bharu	Kelantan	D0027	n/a

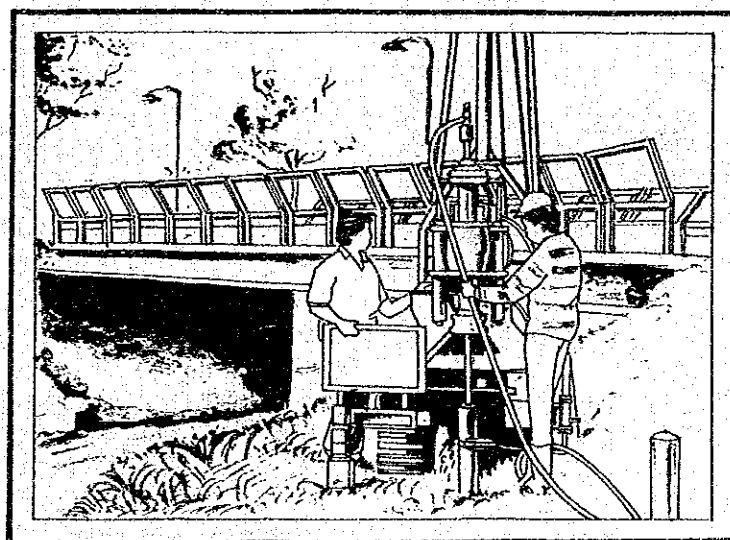
Notes :

It should be noted that at bridge site No. 00371000 there were two existing benchmarks at both ends of the bridge which fall within the survey area and were used in the height control. As such, no TBM was established at this bridge site.

Level datum for the bridge site No. 00319110 was based on the Benchmark established by the Public Work Department (Jabatan Kerja Raya) for the road maintenance and rehabilitation programme. The TBM and benchmark number is CO228 and CM129 respectively.

第 7 章

地 質 及 び 水 質 調 査



第7章 地質及び水質調査

7.1 概 要

地質調査の開始に先立ち、調査対象橋梁216橋に関して、地質に関わる資料収集を行ったが、詳細な資料は入手できなかった。既存地質資料が無いので、詳細調査の一環として、選定した橋梁現場で地質調査を実施した。

詳細調査対象橋梁20橋の内、修繕対策として歩道添架、車道拡幅、橋梁の嵩上げ及び下部工の補強などが想定された5橋が地質調査を必要とすると考えられた。従って、これら橋梁に対して一本の地質ボーリングを行った。これら橋梁の位置を図7-1に示す。

5橋の地質調査に加えて、硫酸塩調査を主眼にした河川の水質調査と表土採取を行った。この調査は、多数の橋梁が硫酸塩に起因すると思われる被害が報告されている全国軸重調査（NALS）の調査結果を検証するために実施した。全国軸重調査の中で硫酸塩による被害の程度が著しいと報告された橋梁の位置を図7-1に示す。これらの橋梁の中から10橋を選定し、ハンドオーガーによる土試料採取と河川水採取を含む硫酸塩調査を行った。

7.2 目 的

地質調査の主目的は、選定した橋梁位置における地質構成と地下水の状態を明らかにすることである。この調査から得られる土質諸常数を用いて、基礎形式の検討、設計及び選定を行うと共に、土質や杭の許容支持力、杭の水平荷重抵抗力の算定、沈下及び法面の安定解析などを行う。

硫酸塩調査に関わる化学分析は、表土や河川水試料のpH値及び硫酸塩含有量の測定及びこれらの化学物質の発生源や程度を確認するために実施した。これら化学的試験の結果は、全国軸重調査結果を検証すると共にコンクリートの化学的被害の原因を解明し、適切な修繕対策を立案に資する。

7.3 地質調査の内容

図7-1に示すように、選定した5橋梁で各々一本の地質ボーリングを行った。ボーリング孔の正確な位置は、Appendix-Jに示されている。地質調査は、現地の地質コンサルタントに委託され、調査団の監督のもとに実施された。地質調査の作業数量を表7-1に示す。地質調査の主要作業項目は下記の通りである。

- ・ 最大深45.5mの陸上回転式ボーリング
- ・ 目視観察や室内試験のための試料採取及び標準貫入試験などの野外試験
- ・ 固定式ピストンサンプラーを用いた乱されない土試料の採取
- ・ 地下水及び河川水の採取

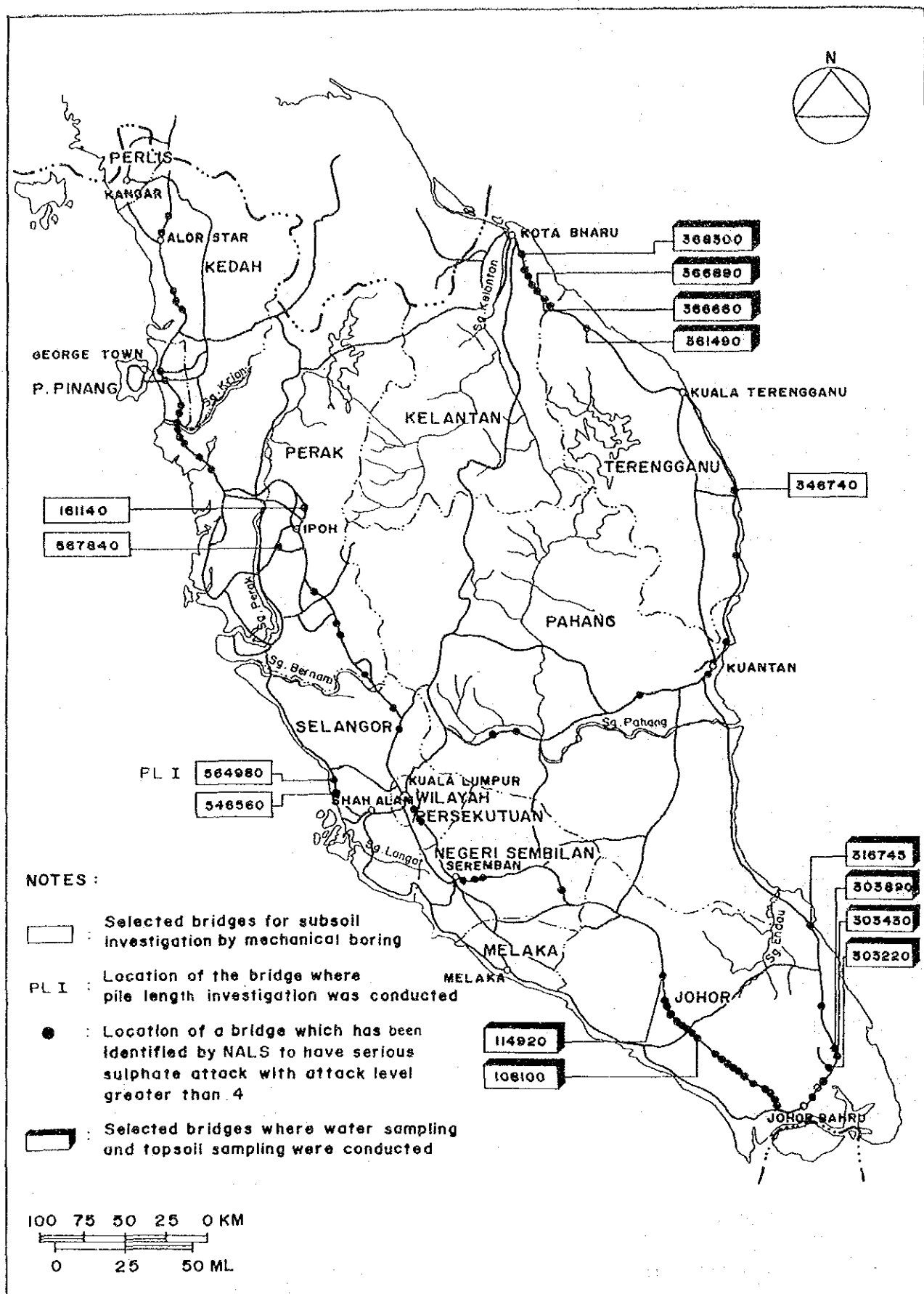


Figure 7-1 Location of Bridges where Subsoil Investigation was conducted

土質の特性値を得るための室内試験及び表土や水試料の化学分析
 橋梁番号00546980における、孔内水平載荷試験及びPS検層法による
 杭長測定

Table 7-1 Quantities for Subsoil Investigation at 5 Selected Bridges

SOIL INVESTIGATION AND TEST	DISCRPTION		UNIT	NO OF SUBSOIL SURVEY/TEST FOR EACH OF THE 5 BRIDGES					TOTAL
				BRIDGE NO 00161140 PERAK	BRIDGE NO 00346740 TRENGGANU	BRIDGE NO 00546560 SELANGOR	BRIDGE NO 00546980 SELANGOR	BRIDGE NO 00567840 PERAK	TEST/ SUBSOIL SURVEY
ROTARY WASH BORING			m	4.6	18.06	45.45	45.45	14.55	128.06
FIELD TEST AND SAMPLING	Pressuremeter Test	5m	No	--	--	--	1	--	1
		at various depth	No	--	--	--	1	--	1
	SPT test	0 -- 20m	No	1	12	13	8	8	42
		at various depth	No	--	13	17	15	--	45
	Water Sampling	Ground	No	1	1	1	1	1	5
		River	No	1	1	1	1	1	5
	Undisturbed Soil Sampling		No	--	--	8	8	--	16
	LABORATORY TEST ON SOIL	Soil	Liquid & Plastic Limits	No	--	--	8	7	--
Specific gravity			No	--	--	9	7	--	16
Property		Unit weight	No	--	--	9	8	--	17
		Water content	No	--	--	9	8	--	17
Index		Grain size Analysis	No	--	--	8	7	--	15
		Soil Strength or Mechanical	One--dimensional	No	--	--	8	6	--
Consolidation test									
Property		Unconsolidated--undrained	sets	--	--	8	7	--	15
		triaxial compression test							
Chemical Test		pH test	No	1	6	8	9	3	27
		Total Sulphate	No	1	6	8	9	3	27
		Water soluble sulphate	No	1	6	8	9	3	27
LABORATORY TEST ON WATER	Chemical	pH test	No	2	2	2	2	2	10
	Test	Water soluble sulphate	No	2	2	2	2	2	10
POSSIBLE REHABILITATION PLANS				ADDING SIDE WALK	RAISING GRADE	RAISING GRADE	ABUTMENT FOOTING OR FOUNDATION	WIDENING	

7.4 表土調査の内容

この調査では、ハンドオーガーによる表土採取のみならず、河川水の採取も行った。全国軸重調査の結果に基づき、本調査対象橋梁10橋を選定した。表土調査の作業数量と調査対象橋梁の一覧表を表7-2に示す。

ASTMの「オーガーボーリングによる土質調査と試料採取」(D 1452-65, 1972)に規定された形式のオーガーを用いて、各橋梁現場で3箇所のハンドオーガーボーリングを行った。オーガー孔の正確な位置と試料水を採取した場所はAppendix-Jに示されている。各オーガー孔から採取した土試料については、pH値、全硫酸塩及び溶解硫酸塩含有量の測定試験を行った。

また、二つの河川水試料を各現場から採取した。その内のひとつは河川の上流域から採取した。この試料水をpH値及び溶解硫酸塩含有量について試験した。

Table 7-2 Quantities for Soil and River Water Quality Sampling and Testing

BRIDGE NO.	STATE	No. of Sampling / Testing				
		Soil Sample			Water Sample	
		pH Test	Total Sulphate	Water Soluble Sulphate	pH Test	Water Soluble Sulphate
00108100	Johor	3	3	3	2	2
00114920	Johor	3	3	3	2	2
00303220	Johor	3	3	3	2	2
00303430	Johor	3	3	3	2	2
00303890	Johor	3	3	3	2	2
00316745	Johor	3	3	3	2	2
00361490	Terengganu	3	3	3	2	2
00366660	Kelantan	3	3	3	2	2
00366890	Kelantan	3	3	3	2	2
00368300	Kelantan	3	3	3	2	2

7.5 地質調査の結果

地質調査の現場作業は1991年9月23日に開始され、10月16日に完了した。また、室内試験は11月初旬に終了した。ボーリング及び室内試験結果をとりまとめてAppendix-Jに示す。

地質調査を行った5橋の既設の基礎形式及び望ましい基礎形式をまとめて表7-3に示す。

Table 7-3 Summary of the Existing and/or Recommended Foundation System for the 5 Selected Bridges where Subsoil Investigation was carried out

橋梁番号／州名	既設の基礎形式及び望ましい基礎形式
00161140、チェモア川 ペラ州	直接基礎、未風化の石灰岩を支持地盤とし、許容支持力は50kPa程度である。
00346740、ドゥグン川 テレンガヌ州	直径900mmの場所打ち鉄筋コンクリート杭基礎、望ましい基礎杭は緩いシルト質砂層を貫通して、風化した水成岩に根入れされなければならない。杭の根入れ長は16から20mで、許容鉛直支持力は杭一本あたり250から300ton程度と思われる。
00546560、ジェラム川 セランゴール州	300x300mm矩形打込み式既製鉄筋コンクリート杭基礎、望ましい基礎杭は厚い海成粘土層を貫通して、比較的密なシルト質砂層もしくは非常に堅いシルト質粘土層に打ち込まれなければならない。杭の根入れ長は37から40mで、許容鉛直支持力は杭一本あたり40から50ton程度と思われる。高圧密性の海成粘土が厚く堆積しているため、ここに追加盛土を行った場合、杭に負の周面摩擦力が作用すると予想される。従って、杭の許容支持力を低減するものとする。また、橋梁周辺土壌の高い硫酸塩含有量を考慮してコンクリート杭の製作を含む全てのコンクリートに低い水セメント比のコンクリートもしくは耐硫酸塩ポルトランドセメントを使用することが望ましい。
00546980、ブロー川 セランゴール	381x381mm矩形打込み式既製鉄筋コンクリート杭基礎、望ましい基礎杭は厚い海成粘土層を貫通して、非常に堅い砂層もしくは粘土質シルト層に打ち込まれなければならない。杭の根入れ長は42から45mで許容鉛直支持力は杭一本あたり60から70ton程度と思われる。高圧密性の海成粘土が厚く堆積しているため、ここに追加盛土を行った場合、杭に負の周面摩擦力が作用すると予想される。従って、その様な時のために杭の許容支持力を低減するものとする。また、橋梁周辺土壌の高い硫酸塩含有量を考慮してコンクリート杭の製作を含む全てのコンクリートに低い水セメント比のコンクリートもしくは耐硫酸塩ポルトランドセメントを使用することが望ましい。
00567840、セリンシン 川、ペラ州	381x381mm矩形打込み式既製鉄筋コンクリート杭基礎で、花崗岩に根入れされている。杭の根入れ長は現地盤面より約13から15mで、許容鉛直支持力は杭一本あたり70から80ton程度と思われる。

7.5.1 橋梁番号00546980における基礎杭損傷原因の検討

橋梁番号00546980の両橋台は381x381mm既製打込みコンクリート杭5本1列で支持された型式であるが、その基礎杭は損傷している。何本かの杭は軸方向のひび割れを伴って、横梁と杭が鉛直から8度ほど内側に傾斜している。

この基礎杭損傷の原因を解明するために、ボーリング孔を利用して孔内水平載荷試験及び杭長測定を行った。

(1) 孔内水平載荷試験

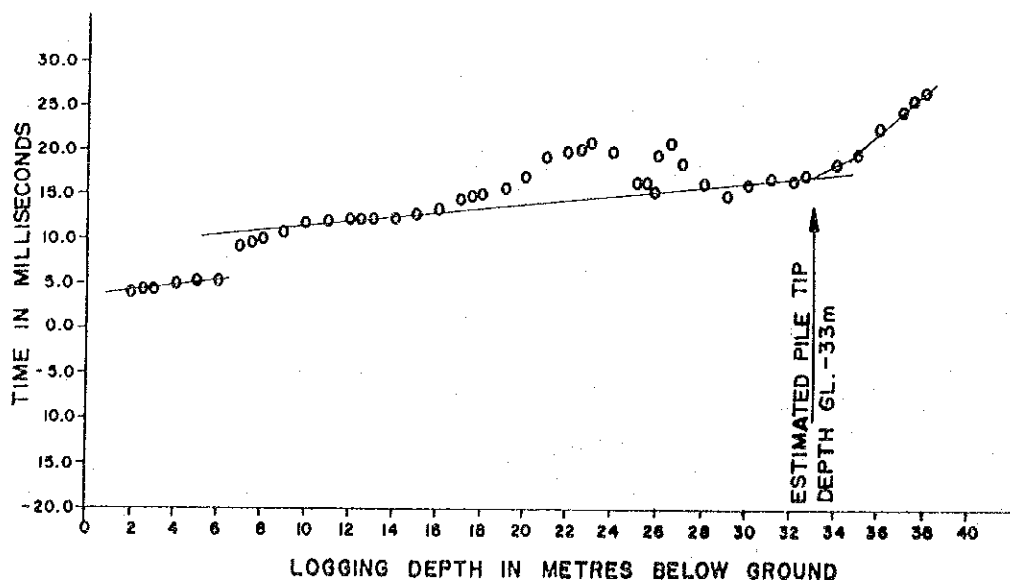
現地盤から5mと10mの深さで、孔内水平載荷試験を実施した。この結果を下表に示すが、荷重・変位曲線はAppendix-Jに示されている。

Important Parameters	Depths Below Ground Level	
	5 metres	10 metres
Deformation Modulus (E_p) kN/m ²	1300	960
Pressure at rest (P_o) kN/m ²	9	5
Yield Pressure (P_f) kN/m ²	79	34
Limit Pressure (P_L) kN/m ²	137	60

(2) 杭長測定試験

既設コンクリート杭の長さを測定するために、P/S波検層を行った。到達時間の解析結果を図7-2に示す。図7-2から分かるように、杭先端は現地盤から約33m下に、杭天端から31.5m下にあるものと推定される。

Figure 7-2 Travel Time Curve of Pile Length Test



(3) 基礎杭損傷の検討

橋台基礎杭の損傷は、おそらく下記3項目の組合せによるものと考えられる。

- ・杭長測定結果から、原設計の杭は十分な支持力を有していない。
- ・上記の支持力不足は、軟弱な海成粘土の圧密沈下に伴う負の周面摩擦力によって更に悪化し、杭の鉛直沈下の原因になったと思われる。
- ・一方、圧密沈下は土の側方流動を誘発し、これによる横方向作用力が杭に曲げを発生させると同時に橋台を傾斜させた。

杭長測定結果によれば、杭先端は、N値が6から22の範囲で変動している緩いもしくは中位の砂層に支持されている。孔内水平載荷試験の結果を用いた理論計算から、この杭は約62tonの許容支持力を有している。一方、上部工の死荷重と活荷重による最大鉛直作用力は杭1本当たり68tonである。このように、原設計の杭支持力が若干不足していることは明らかである。

設計支持層の上は、主としてN値がゼロ、層厚27mの軟弱な海成粘土であり、3.4m層厚の盛土の下にあるこの海成粘土の高い圧縮性を考慮すると、圧密沈下による負の周面摩擦力が橋台の杭に付加されていると思われる。

更に、橋台背面のこの盛土は、側方流動を誘発し易い海成粘土層に偏載荷重として作用している。この偏載荷重による側方流動は杭に曲げを発生させ、橋台の傾斜を招いた。

この橋台基礎杭は、現状の鉛直荷重に対して支持力を有している可能性もあるが、橋梁の安全と長期的な橋梁寿命を考慮すると、緊急な修繕対策を実施することが望ましい。

7.6 表土調査の結果

コンクリートの化学的被害の原因を解明するために、ハンドオーガーによる表土調査と河川水採取を10橋梁現場で実施した。

表土調査の現場作業は1991年10月9日に開始し、10月16日に終了した。各対象橋梁当り三箇所のオーガーボーリングを行い、各ハンドオーガー孔位置から土試料を採取すると共に、二箇所の河川水試料を採取した。ハンドオーガー孔と河川水採取の位置をAppendix-Jに示す。

各橋梁現場の一般的な地質学的特徴と地質状況に関する簡単な説明を表7-4にまとめた。

**Table 7-4 Summary of General Geology and Subsoil Conditions at 10 Bridges Sites
where the Sulphate Survey was carried out**

橋梁番号	地質学的特徴	ハンドオーガーに基づく土質状況
00108100 マチャップ川 ジョホール州	沖積平野の下は、三疊紀前後の花崗岩質侵入岩を含む三疊紀以前の石灰質水成岩である。	ハンドオーガーP-1及びP-2では、有機物質を含む軟らかい灰褐色もしくは明灰色のシルト質粘土からなる沖積堆積物が見られた。ハンドオーガーボーリングの深さ(1.2m)以内では水成岩層は確認されなかった。ラテライト状の砂利と繊維状の木の根を含む灰褐色がかった、もしくは明灰色のシルト質粘土からなる盛土材がP-3の上部0.55mに見られた。この盛土材の下は、P-1、P-2と類似の沖積堆積物である。
00114920 カラス川 ジョホール州	上記と類似	P-2では木の根を含む褐色のシルト質粘土からなる盛土材(厚さ0.58m)が見られた。有機物質を含む褐色の砂もしくは灰色のシルト質粘土などの沖積堆積物は、他のハンドオーガー孔でも全般的に見られる。
00303220 レダン川 ジョホール州	この地域は酸性土と残留土の下にある地質分類が困難な花崗岩質岩層が支配的である。	P-3には褐色のシルト質粘土の残留土からなる盛土材(厚さ0.85m)が見られた。この盛土材の下は、有機物質を含む褐色及び黄色がかったシルト質粘土の沖積堆積物である。P-1及びP-2で、黄褐色のシルト質粘土の残留土が見られる。
00303430 ベランガン川 ジョホール州	この地域は若干険しい起伏があり、花崗岩質の岩盤からなっている	3箇所ハンドオーガー孔の全てに厚さ0.6から1.1mの盛土材が見られる。この盛土材は、黄褐色もしくは灰褐色のシルト質粘土である。沖積堆積物は、P-1の地表下0.60mに見られる。これは、有機物を含む明灰色もしくは暗灰色のシルト質粘土である。
00303890 テンピオ川 ジョホール州	上記に類似	盛土材と沖積堆積物が橋梁現場に見られる。盛土材は砂を含む褐色のシルト質粘土もしくは粘土質シルトであり、多分花崗岩の残留土であろう

次頁に続く

前頁から続く

橋梁番号	地質学的特徴	ハンドオーガーに基づく土質状況
00303890 テンピオ川 ジョホール州	上記に類似	盛土材と沖積堆積物が橋梁現場に見られる。盛土材は砂を含む褐色のシルト質粘土もしくは粘土質シルトであり、多分花崗岩の残留土であろう。沖積堆積物はP-1の地表及びP-3の盛土層(0.40m)の下に見られ、木の根、腐敗した樹木及び有機物を含む褐色もしくは暗灰色のシルト質粘土からなっている。1mの深さのP-2は全て盛土材である。
00316745 アイタワル川 ジョホール州	現場は、ジョホール州北部の東海岸近くの沖積平野に位置しているペルム紀の花崗岩質の岩盤が、残留土の下にある。	各々0.45m及び0.95m深さのハンドオーガー孔P-2及びP-3の全てに盛土材が見られた。灰色の緩いシルト質砂とシルト質粘土からなる沖積堆積物は、P-1に見られた。また、巨大な花崗岩質の玉石が橋梁周辺の至る所に見られる。これらの玉石は、橋梁建設時に運び込まれたものであるであろう。
00361490 ドゥングン郡 テレンガヌ州	花崗岩層の上に沖積堆積物が堆積している。	1m以上の厚さのシルト質粘土もしくは粘土質シルトからなる盛土材は、3箇所のハンドオーガー孔の全てに見られた。P-1の地表下1.1mに、砂と細かい砂利を含む灰褐色のシルト質粘土の沖積堆積物が見られた。
00366660 クランタン州	現場は、マレー半島東海岸の沖積平野に位置している。橋梁の西方では、花崗岩層が支配的である。	沖積堆積物の上に盛土材が全般的に見られる。黄褐色もしくは灰褐色のシルト質砂の沖積堆積物は、P-1及びP-2の深さ0.65m及び0.20mに各々見られた。P-3では、深さ1.1mに達しても沖積堆積物は見られなかった。
00366890 クランタン州	上記と類似	ハンドオーガー孔の全てに沖積堆積物が見られた。沖積層に属するシルト質砂(更新世; 第三紀の最新期)は、P-3の0.60mの深さに見られた。この地域の沖積層は、一般的に粘土質シルト、砂質シルト、シルト質砂などである。
00368360 クランタン州	上記に類似	沖積堆積物の上に厚さ0.20から0.40mの盛土材が見られる。沖積層は、一般的に黄褐色もしくは明灰色のシルト質砂あるいは褐色がかった粘土質シルト・シルト質粘土である。

註記; 各橋梁現場で行ったハンドオーガーボーリングP-1、P-2、P-3の正確な位置は、Appendix-Jを参照のこと。

各橋梁現場から採取した土壌と河川水の試料を、試験室でpH値、全硫酸塩含有量及び溶解硫酸塩含有量について測定した。加えて、地質調査において、5橋梁現場から採取した地下水と土試料についても同試験を行った。これら化学分析結果をとりまとめて表7-5に示す。また、個々の土及び水の試料に関する詳細な試験結果は、Appendix-Jに示されている。

Table 7-5 Summary of Chemical Tests Results

Bridge No.	pH-Value			SULPHATE CONTENT			
	Soil Sample	Water Sample		Soil Sample		Water Sample	
		River	Borehole	Total SO ₃ (%)	Water Soluble (g/l)	River (g/l)	Borehole (g/l)
00108100	4.1-6.6	5.6-5.7	-	<0.01	<0.01	<0.01	-
00114920	4.1-5.0	6.1-6.3	-	<0.01	<0.01	<0.01	-
00303220	4.0-4.4	5.4-5.5	-	<0.01	<0.01	<0.01	-
00303430	4.2-5.0	6.0-6.1	-	<0.01	<0.01	<0.01	-
00303890	4.2-4.9	5.7	-	<0.01	<0.01	<0.01	-
00316745	3.2-4.5	4.3-4.4	-	0-1.47	0-3.2	<0.01	-
00361490	4.6-5.3	5.3-5.4	-	0-0.04	0-0.10	<0.01	-
00366660	4.0-6.2	5.9-6.0	-	<0.01	<0.01	<0.01	-
00366890	4.7-5.1	5.0-5.1	-	<0.01	<0.01	<0.01	-
00368300	4.8-5.1	5.3-5.4	-	<0.01	<0.01	<0.01	-
00161140*	6.2	6.4	6.9	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
00346740*	6-8.5	5.3	5.5	0-0.04	0-0.15	<0.01	<0.01
00546560*	4.5-7.9	6.2	5.7	0-1.52	0-4.3	0.12	0.82
00546980*	5.5-7.8	5.4	6.8	0-1.1	0-2.8	0.2	0.15
00567840*	4.9-7.5	6.8	7.0	<0.01	<0.01	0.02	0.04

Note: * means bridge where mechanical boring was conducted.

7.6.1 化学分析結果の評価

(1) pH値

pH値は、土及び水の酸性度を把握する上で最も重要な指標である。土と水の中に存在している酸は極めて侵食性が強く、コンクリートに有害である。硫酸塩土を含む酸性の土は、半島マレーシアの至る所に、特に海岸平野や水成岩からの残留土の中に見ることができる。自然に発生する有機酸は主に、泥炭性の土や水に一般的に含まれるリグニン酸あるいはフミン酸である。これらの酸は、普通ポルトランドセメントの遊離石灰と反応して不溶性カルシウム塩類を生成する。また、いくつかの湿地性の泥炭では、黄鉄鉱もしくは白鉄鉱の酸化が、コンクリートに対して侵食性が非常に強い遊離硫酸を生じる。一般的に、遊離硫酸の存在は4.3以下のpH値と高い硫酸塩含有量によって示される。

コンクリートに対する酸の侵食性の度合いを分類する手法は今のところ確立されてない。しかし、いくつかの分類手法が、異なった公的機関あるいは、研究者達によって公表され、利用されている。一般的に利用されている2~3の分類手法を表7-6及び表7-7に示す。この分類手法に基づいて、土と水の試料のpH値を評価し、各橋梁現場における酸の侵食性の度合いをまとめて表7-8に示す。

Table 7-6 Classification on the Degree of Aggressiveness of Acidic Water on Concrete (Source: German Standard DIN 4030:1969 and Building Research Establishment Digest No.174)

Classification on Degree of Aggressiveness	pH Value according to	
	DIN 4030	B.R.E. Digest No.174
Negligible	Above 6.5	9.0 to 6.0
Moderate	6.5 to 5.5	6.0 to 3.5
High	5.5 to 4.5	
Very High	Below 4.5	Below 3.5

Table 7-7 Classification on the Degree of Aggressiveness of Acidic Soils on Concrete (Source : S.R. Doran et. al, 1987)

Class	Description	pH Value
1	Not Aggressive	6.0 to 9.0
2	Mild	5.5 to 6.0
3	Moderate	4.5 to 5.5
4	High	3.5 to 4.5
5	Very Severe	less than 3.5

表7-8から分かるように、硫酸塩調査対象の10橋梁現場は、土試料のpH値に対する酸の侵食性に関して、“high”から“very severe”と分類された。しかし、水試料のpH値に基づく、この侵食性は橋梁番号00316745を除くと“moderate”から“high”と類別される。もし工業排水からの酸はコントロールされているとするならば、最も可能性の高い酸の発生源は、浸出効果（水素イオンによる粘土鉱物のまわりの陽イオン交換）か、もしくは、フミン酸の存在と考えられる。

地質調査を行った5橋梁現場における酸の侵食性は、全般的に“negligible”から“moderate”と分類された。

Table 7-8 Summary of Ratings on the Aggressiveness of Acids at Each Bridge Site

Bridge No.	Classification on Aggressiveness of Acids Based on Table 7-6 and 7-7		Subsoil Conditions
	Soil Samples	Water Samples (per DIN)	
00108110	Not aggressive	Moderate	Fill Stratum.
	Moderate to V. Severe		Alluvium
00114920	High to Very Severe	Moderate	Refer to Table 7.4 for the Description of Subsoil Conditions.
00303220	Very Severe	High to Moderate	
00303430	High to Very Severe	Moderate	
00303690	High to Very Severe	Moderate	
00316745	Very Severe	Very High	
00361490	High	High	
00366660	Not aggressive to Very Severe	Moderate	
00366890	High	High	
00161140*	Not aggressive	Negligible to Moderate	
00346740*	Not aggressive	High	
00546560*	Not aggressive to High	Moderate	Marine Clay
00546980*	Not aggressive	Negligible to Moderate	Marine Clay
00567840*	High	Negligible	Alluvium
	Not aggressive		Residual Soil

Note: * means bridge where mechanical boring was conducted.

(2) 硫酸塩含有量

水や土に含まれる多様な酸の中で、硫酸塩はコンクリートへの侵食性が最も強い。全国軸重調査の対象橋梁の約25%は、いくつかの有害物質のために化学的損傷を被っていることが報告されている。しかし、この化学物質の正確な種類や発生源が不明だったため、よどんだ小川や緩やかな流れの中の黄鉄鉱に対する細菌学的作用によって、硫酸として生成された硫酸塩類がこの問題の根本ではないかという仮説が立てられた。

溶解している硫酸塩類は、ポルトランドセメントの中のトリカルシウムアルミン酸塩と反応して、不溶性カルシウム硫酸塩とサルフォアルミン酸塩を生成する。エトリンジャイト（含水塩基性硫酸カルシウム・アルミニウムからできている物質）として知られる新しい化合物の結晶体は、表面のコンクリートの膨脹や分解を引き起こす微粒子の体積膨脹を伴う。この分解は新しいコンクリート面を侵食の危険にさらし、新たな硫酸塩をもたらす水の流れが有るならば、分解の度合いは非常に早い。

表7-5に示す化学分析試験の結果から、土壌と水の両試料の硫酸塩含有量は橋梁番号00316745、00546560、00546980から採取した試料を除いて非常に低い。橋梁現場のほとんどにおいて、全硫酸塩及び溶解硫酸塩の含有量はそれぞれ0.01%と0.01g/literと、全般的に僅かである。

各橋梁現場の硫酸塩の侵食性の度合いを表7-9に示す。硫酸塩の侵食性の度合いの分類は、Appendix-Jに添付している英国規格B.S.8004:1986に基づいている。

**Table 7-9 Summary of the Degree of Aggressiveness of Sulphate Attack
Based on B.S. 8004:1986.**

Bridge No.	Classification on Aggressiveness of Sulphate Attack Based on B.S. 8004		Subsoil Conditions
	Water Soluble Sulphate in Soil Sulphate	Water Samples	
00108110	1	1	Refer to Table 7.4 for the Description of Subsoil Conditions
00114920	1	1	
00303220	1	1	
00303430	1	1	
00303890	1	1	
00316745	1	1	
00361490	1 to 4	1	
00366660	1	1	
00366890	1	1	
00161140 *	1	1	See Table 7-3
00346740 *	1	1	See Table 7-3
00546560 *	1 to 4	1	Marine Clay
00546980 *	1 to 3	1 to 2	Marine Clay
00567840 *	1	1	See Table 7-3

Note : * means bridge where a mechanical boring was conducted

(3) 結 論

表7-5及び表7-9に示すように化学分析結果は、全国軸重調査のコンクリートに対する硫酸塩被害に関する仮説と明らかに矛盾する。土と水の硫酸塩含有量は、海岸平野部に位置する1橋梁現場（橋梁番号00316745）を除けば全般的に非常に低い。

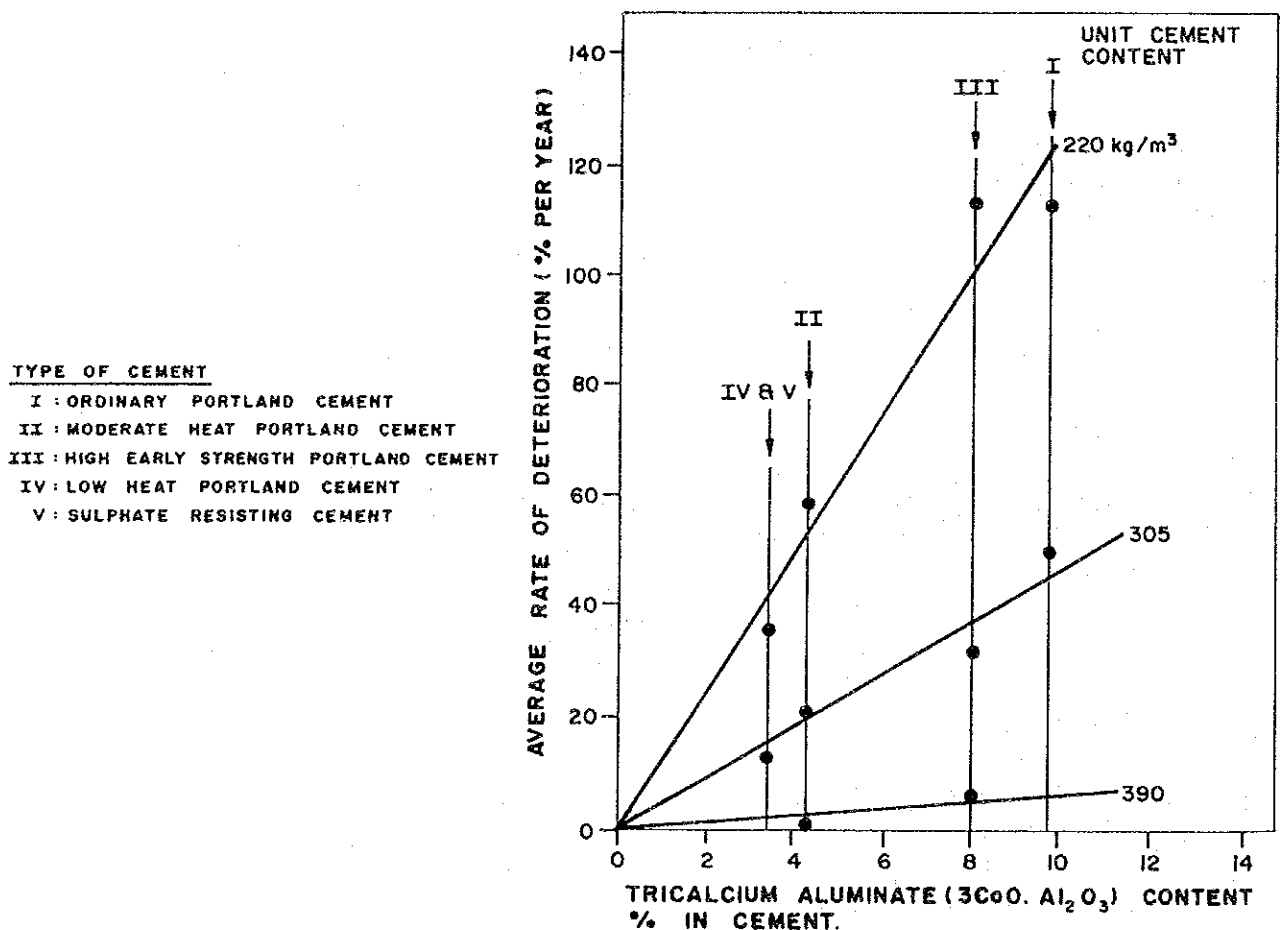
ほとんどの橋梁現場における硫酸塩含有量は無いに等しいものであることが判明したが、コンクリート杭のセメント組織がある種の化学的侵食によって損傷していることは明らかである。この損傷は下記のふたつの事項の組み合わせに起因するものと考えられる。

- ・ 橋梁現場周辺の酸の存在
- ・ コンクリートの高い水セメント比

pH値は水素イオンの集中の目安であり、酸の種類ではないので、各橋梁現場の酸の発生源を特定するのは困難である。しかし、工業排水からの酸が制御されているとするならば、酸の発生源は粘土鉱物の浸出効果、土中の黄鉄鉱の酸化、もしくは泥炭性の土や水に見られるフミン酸の存在と考えられる。酸性の上は海岸部や海成粘土質水成岩の残留土にも見られる。

上記損傷の推定原因を考慮し、修繕工事に用いるコンクリートは、下記理由に基づき、適切な添加剤を加えた普通ポルトランドセメントを使用し、低い水セメント比で単位セメント量 300kg/m^3 以上であることが望まれる。日本コンクリート工学協会発行の「コンクリート工学」(JCI No.144, Vol.15, No.9)の中の研究論文から引用した図7-3は、各種セメントを使用した場合の硫酸塩及び酸に対するコンクリートの劣化度を示している。同図によると、BS4027に適合する耐酸セメント (Type V) はトリカルシウムアルミン酸の含有量が少ないので、厳しい硫酸塩の状況下での使用に適している。しかし、このセメントは高価でマレーシアでは一般的でないので、同等の効果を挙げるために高品質・高配合の普通ポルトランドセメントを使用することが望ましい。図7-3に示すように、単位セメント量 220kg/m^3 の替わりに 305kg/m^3 を使用すると、劣化の進行を1/3程度まで抑えることができる。

Figure 7-3 Average Rate of Deterioration of Concrete under Sulphate Attack for Various Types of Cement

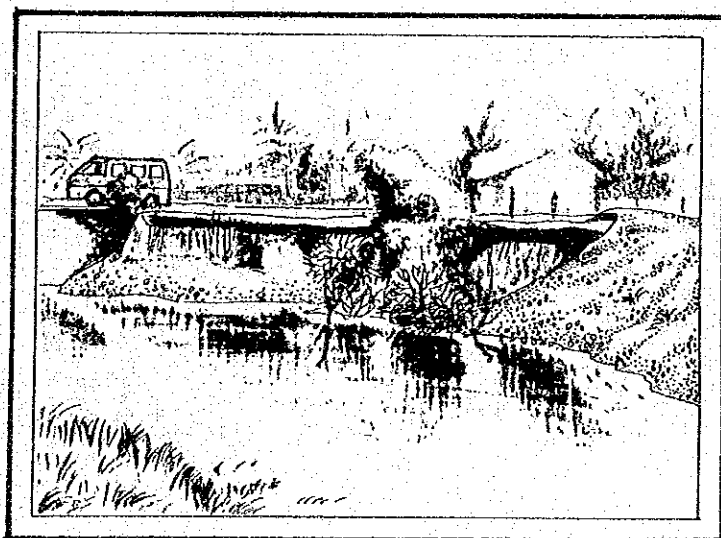


酸の被害に対する予防措置に関する同様の提案が、建設工業研究情報協会 (Construction Industry and Information Association ; CIRIA, 1976) によって行われている。CIRIAは、様々な国々で採用されている予防対策の広範な調査を踏まえ、ヨーロッパの国々では酸による侵食に対抗する措置として、特殊セメントの使用よりも十分に締め固めた密実で不浸透性のコンクリートを使用するのが望ましいと提案している。

結論として、全国軸重調査で明らかにされた橋梁のコンクリートの化学的な被害は、当初予想されたような硫酸塩類によるものでなく、ある種の酸に起因するものと考えられる。対策としては、十分に締め固めた低浸透性のコンクリートを作るために、高品質・富配合の普通セメントを採用するだけで十分であると考えられる。

第 8 章

河 川 水 文 調 査



第8章 河川水文調査

8.1 概 要

本章は、詳細調査の一環として実施した河川水文調査の手法及びその結果を記述しており、本調査は下記の目的で実施した。

- ・調査に基づき、調査対象橋梁に対して水工学的改修計画を立案すること。
- ・河川工学的見地から、橋梁設計に必要な基礎的基準を作成すること。

8.2 河川水文調査の手法

河川水文調査の手法は、下記の二項目に大別される。

- ・河川工学的視点からの現場調査
- ・水文、水理解析

8.2.1 現場調査

20橋の調査対象橋梁について、水工学的損傷及びその原因を解明するため、地形測量の結果を参照して現場調査を行った。主な調査項目は以下の通りである。

- ・洪水位及び洪水痕跡
- ・河川流路
- ・河岸の状況
- ・河床変動の傾向
- ・局部洗掘

8.2.2 水文・水理解析の手法

水理・水文解析の目的は、橋梁周辺の下記に関する河川の現況を検討することである。

- ・洪水の規模
- ・河川の流下能力
- ・洪水位

20橋の調査対象橋梁の中から、長大橋である橋梁番号00317000,00319110,00346740,00371000の4橋を調査対象として選定した。水文・水理解析に適用する手法について下記に述べる。

(1) 河川流域モデル

河川流域モデルは、河川流域から流出する洪水の規模を想定するために必要であり、いくつかの分割流域と河道区間から構成されている。比較的大きな河川流域については、流出特性の地域的な変動を考慮するために、いくつかの流域に分割する。また、河川の貯留効果が想定される場合は、河道を上流の分割流域の流出点から下流の残りの流域の流出点までの区間に分割する。

洪水流出計算に関しては、日本で一般的に用いられ、また、マレーシアの洪水防御計画調査にも導入された貯留関数法を適用する。貯留関数法は、河川流域の降雨・流出過程をシュミレーションするために、河川流域モデルの分割流域と河道区間のパラメータを必要とする。これらのパラメータについては、過去の大きな洪水や降雨記録を解析して決める。

(2) 降雨解析

架橋位置における洪水頻度を算定するための洪水流出記録が不十分のため、過去の大きな洪水時の降雨記録から洪水頻度を算定する。洪水の再現期間については、洪水に対応する期間の流域平均雨量の再現期間として評価する。また、流域平均雨量は、河川流域のいくつかの水位観測所の降雨記録からティーセン法によって推算する。計画平均雨量は、ガンプルの確率分布に基づき推算する。

(3) 洪水解析

架橋位置における洪水は、河川流域モデルを用いて貯留関数法で推算する。ここで、確率平均雨量は、河川流域の降雨・流出過程をシュミレーションする洪水流出計算の基礎データとなる。

(4) 洪水位の推定

架橋位置の洪水位は、推算した洪水ピーク流量から算定する。この洪水位の推定には、不等流計算を適用する。

8.3 現場調査の結果

8.3.1 河川の現況

橋長100m以上の長大橋は、主に半島マレーシア東海岸の連邦道路3号線に位置している。この沿線には低い海岸平野が広がっており、ほとんどの橋梁は潮位の影響を受けている。主に11月から1月にかけての北東季節風はこの地帯に激しい降雨をもたらし、河川はしばしば氾濫する。河川改修工は都市部の河川だけに限られており、都市部以外の橋梁周辺の河川の現況はほとんど自然の状況である。

橋長が20mから100mまでの中規模橋梁の場合、サバ、サラワク両州の2橋を除くと河川流域面積は比較的小さい。

橋長20m以下の小規模の橋梁のほとんどは、排水や灌漑のための人工的な水路や小川に架かっている。従って、これらの橋梁における洪水水位は適切に制御されているようである。

8.3.2 水工学的損傷・欠陥

20橋を対象にした現場調査に基づいて明らかになった各橋梁の水工学的損傷・欠陥を、表8-1にとりまとめた。これらの損傷・欠陥の概要を下記に示す。

(1) 護岸工の損傷

橋梁番号00237200,00317000,00341800,00371000及びダンバイ橋の5橋には、護岸工の損傷が見つかった。これらの橋梁は、中規模から大規模な河川に架かっている。

これら橋台周辺の護岸工はいずれも石積み工であり、損傷の主な原因は基礎の根入れ深さの不足、法尻の局部洗掘及び河岸侵食と考えられる。

Table 8-1 Summary of Hydraulic Defects Observed

Key	State	District	Bridge Length (m)	Type of Defects			
				Slope Protection Failure	Local Scouring	Inadequate Bridge Opening <1	Bight of River
1	001/149/20	Johor	Segamat	12.86	-	-	-
2	001/611/40	Perak	Kinta	19.11	-	*	-
3	001/665/10	Perak	L.Matang	10.72	-	*	*
4	002/372/00	Pahang	Kuantan	26.70	*	-	-
5	003/170/00	Pahang	Rompin	397.32	*	-	*
6	003/191/10	Pahang	Rompin	121.96	-	-	-
7	003/418/00	T'ganu	Kemaman	36.14	*	-	-
8	003/467/40	T'ganu	Dungun	152.26	-	*	*
9	005/208/50	Melaka	Jasin	4.27	-	-	-
10	005/465/60	S'ngor	K.S'ngor	6.30	-	-	-
11	005/469/80	S'ngor	K.S'ngor	30.94	-	-	-
12	005/638/50	Perak	Manjung	41.59	-	-	-
13	005/678/40	Perak	Kinta	12.12	-	-	-
14	008/348/50	K'tan	K.Krai	13.71	-	-	-
15	050/010/70	Johor	Bt.Pahat	4.77	-	-	-
16	058/033/40	Perak	B.Padang	4.97	-	-	-
17	059/031/20	Perak	B.Padang	23.18	-	-	-
18	(Dambai)	Sabah	Penampang	50.10	*	-	-
19	(Samarahan)	S'wak	Samarahan	71.60	-	-	-
20	003/710/00	K'tan	K.Bahru	840.00	*	-	-

* Means defect is observed

<1 Based on interview survey results or observation of the flood evidence

(2) 局部洗掘

河川横断測量の結果から、橋梁番号00346740の橋脚周辺の河床が、かなり洗掘されていることが判明した。この洗掘は架橋地点の上流側20mから下流側60mに及んでおり、最大洗掘深は橋脚周辺の正規の河床から約4mである。

(3) 桁下空間の不足

20橋の内、2橋は頻繁に洪水による被害を受けている可能性があるかと判断された。1橋は橋梁番号00317000のエンダウ橋である。この橋梁の縦断線形は、橋梁の中央径間で航路高を確保するために放物線形状であり、このため、両端支間の主桁ウェブには明らかな洪水の痕跡が残っており、洪水位は両橋台の橋座から約1mに達している。

また、他の1橋はドゥンゲン川に架かっている橋梁番号00346740の橋梁である。この橋梁は、洪水位の上昇を招き易い地形的な狭窄部に位置しており、桁下空間あるいは洪水流下能力が不足していると考えられる。

(4) 河川の湾曲

橋梁番号00166510の架橋地点は、水路が極端に曲がっており、タンビン側橋台に直接水流が当たっている。この結果、橋台付近は局部的に著しく洗掘されている。

また、上記ドゥンゲン川の上流では、主流路が蛇行して左岸側に片寄っており、右岸には相当の堆砂が確認された。このことも、流下能力不足の一因になっているものと考えられる。

8.4 水文・水理解析の結果

8.4.1 水文・水理解析の対象橋梁

詳細調査対象橋梁の内、主として河川の規模を考慮して、下記の長大橋梁4橋を、水文・水理解析の対象橋梁として選定した。

Key	State	District	Bridge Length (m)
003/170/00	Pahang	Rompin	397.32
003/191/10	Pahang	Rompin	121.96
003/467/40	Trengganu	Dungun	152.26
003/710/00	Kelantan	Kota Bharu	840.00

各河川の流域面積と月間平均降雨量をAppendix-Kに示す。また、各河川の流域及び水文学的特徴を以下にまとめる。

(1) エンダウ川 (橋梁番号003/170/00)

エンダウ川の流域面積は4,740km²で、北はパハン州から南はジョホール州にまたがっており、架橋位置は潮位の影響範囲内にあり河川は著しく蛇行している。河口から上流へ約80kmに及ぶ低地帯はほとんどが湿地帯であり、流域の年間平均降雨量は2,600mmである。

(2) ポンティアン川 (橋梁番号003/191/10)

ポンティアン川流域は約300km²と小さく、エンダウ及びロンピン川流域に挟まれている。この流域の北東部はほとんど低湿地帯で覆われているが、エンダウ川流域南西部の分水嶺に沿って、標高200mから600mの丘陵地帯が広がっており、年間平均降雨量は3,000mmである。

(3) ドウングン川

流域1,875km²を有するドウングン川は、テレンガヌ州中南部の標高約1,500mの山岳地帯にその源を発している。本河川は上・中流域で丘陵地帯を流下し、下流域ではあまり蛇行していない。この流域の年間平均降雨量は3,300mmと極めて多く、流域面積1,480km²を有するジェランガウにおける年間平均流出流量は120m³/secを記録している。

(4) クランタン川

流域面積13,100km²を有するクランタン川の流域は、クランタン州の面積の85%以上を占めている。この流域の年間平均降雨量は2,700mmであり、タイ国境の北西部では3,200mmまた中南部では2,200mmと降雨量は変化している。流域面積12,080km²のタナ・メラの上流にあるグイレマルド橋の流速計の記録によれば、年間平均流出流量540m³/secを記録している。

現場調査から、橋梁番号00319110の橋梁には、重大な水工学的損傷・欠陥は見られなかった。従って、この橋梁については、水文・水理解析の対象から除外した。更に、1989年に水文・水理解析を含む洪水防御計画調査が実施されたクランタン川に関しては、その調査結果を橋梁番号00371000の橋梁の検討に活用することとした。

従って、橋梁番号00317000及び00346740に各々対応するエンダウ及びドウングン川の二つの河川流域に関してのみ、水文・水理解析を行うものとした。

8.4.2 河川流域モデル

流域の分割は、河川の勾配、本支川の合流点及び洪水流出量の計算の基準となる水位・流量観測所及び架橋位置を考慮して行った。

ドゥンゲン川の流域面積は、橋梁番号00346740の架橋地点で1,690km²であり、この橋梁から35km上流にある排水灌漑局(DID)の流速計測地点（観測点番号4832441）で1,480km²である。

一方、エンダウ川は、橋梁番号00317000の架橋地点で4,700km²といくぶん広い流域面積を有している。しかし、この河川には水位・流速の記録が無く、カハン川沿いのケナンガン村に観測点（観測番号2235401）が一箇所あるだけである。

各河川の流域モデルをAppendix-Kに図示する。

8.4.3 降雨解析

ドゥンゲン川の5箇所及びエンダウ川の8箇所の雨量観測所から、日降雨記録を収集した。この降雨記録をAppendix-Kに示す。

日降雨記録を検討した結果、マレーシアの東海岸においては、大雨は一般的に2～5日間連続して降り続くため、洪水流出量計算における計画雨量として、5日雨量を採用した。各再現期間の確率平均雨量を表8-2に示す。

Table 8-2 Probable Basin Mean Rainfall

Endau River Basin

Return Period (years)	Probable Rainfall (mm)						
	1-day	2-day	3-day	4-day	5-day<1	6-day	7-day
2	138	201	237	273	291	317	342
5	191	281	337	391	426	463	489
10	225	334	402	469	515	559	587
20	259	385	465	543	601	652	681
50	302	451	547	640	712	772	802
100	334	500	608	713	795	861	893

<1 Applicable in the study

Dungun River Basin

Return Period (years)	Probable Rainfall (mm)						
	1-day	2-day	3-day	4-day	5-day<1	6-day	7-day
2	175	268	327	385	425	450	475
5	297	437	535	642	702	741	777
10	379	550	673	811	886	933	977
20	459	657	806	974	1,062	1,118	1,169
50	557	796	977	1,185	1,289	1,358	1,418
100	633	901	1,105	1,343	1,460	1,537	1,604

<1 Applicable in the Study

8.4.4 洪水解析

過去の大洪水の平均雨量と流出記録から、貯留関数のパラメータを推定することにより、各河川の流域モデルを照査した。各河川の推定したパラメータについては、Appendix-Kにまとめられている。

確率洪水流出流量の推算にあたって、次式で求められる引伸ばし率を乗じて、過去の大洪水時の時間降雨分布を推算した。

$$\text{引伸ばし率} = \frac{\text{50年確率流域平均5日雨量}}{\text{過去の洪水時の流域平均5日雨量}}$$

上記の計画降雨を用いて計算した50年確率洪水のピーク流量を表8-3に示す。

Table 8-3 Estimated Flood Runoff Peak

River (Bridge)	Endau River (3/170/00)	Dungun (3/467/40)
Return period (years)	50	50
Rainstorm Selected (year)	1989	1986
Basin Mean Rainfall (mm)	424	1192
Probable Rainfall (mm)	712	1289
Expansion Ratio	1.68	1.08
Estimated Flood Runoff Peak (m3/sec)	4,780	3,050

8.4.5 洪水位の推算

架橋地点の洪水位は、河道や潮位の影響を受けるため、50年確率ピーク流量に基づき不等流計算を行って求めた。洪水位推算のための不等流計算の結果をAppendix-Kに示す。また、洪水位解析結果を表8-4に示す。

Table 8-4 Estimated Flood Level

River (Bridge)	Endau River (3/170/00)	Dungun River (3/467/40)
Return period (years)	50	50
Probably Flood Runoff Peak (m3/sec)	4,780	3,050
Elevation of Estimated Flood Level (1) (EL m)	2.79	4.00
Elevation of Beam Soffit (2) (EL m)	1.5<1	3.92
Difference (1) - (2) (m)	1.29	0.08

<1 Elevation of the lowest beam soffit at the end span.

8.5 河川評価結果

本節は、現場調査結果に基づく総合評価と前節で述べた水文・水理解析結果をとりまとめている。

8.5.1 主要河川の総合評価

(1) 橋梁番号00371000 (ヤヤ・ブトラ橋)

クランタン川洪水防御計画調査では、架橋地点の河川の流下能力が、2年に1度の割合で発生する洪水流量 $5,500\text{m}^3/\text{sec}$ に対し、 $4,500\text{m}^3/\text{sec}$ と不足しているため、現橋よりも約2m嵩上げして架換えることを提案している。

しかしながら、この河川に関わる潜在的かつ又主要な河川工学的な問題は、洪水流量に対する河川の流下能力不足、及び更にそれを助長している流送土砂である。従って、上記調査では、上流に2基の洪水調節用ダムを建設、及び兩岸50kmにおよぶ河川の拡幅と堤防の嵩上げまたは新設を勧告している。

現橋の高さ自体がこの河川の主要なそして潜在的な河川工学的な問題でないこと及び本調査の目的を考慮して、本調査では橋梁の嵩上げは勧告せず、部分的な水工学的改修対策の提案にとどめるものとする。

(2) 橋梁番号00317000 (エンダウ川)

現況調査及び水文・水理解析の結果より、両端支間の主桁が洪水時に冠水することが確認された。よって、両端支間を適切な高さまで、嵩上げすることを提案する。

(3) 橋梁番号00346740 (ドゥンゲン川)

現況調査結果から、橋脚周辺の局部洗掘及び洪水位の上昇は、架橋地点の地形的条件（狭窄部）によるものと言える。

更に、水文・水理解析に基づき、架橋地点の桁下空間は洪水流量に対して、やや不足していることが判明した。また、橋梁上流付近の河川の蛇行が流下能力不足を助長していると考えられる。

上記の河川工学的損傷・欠陥、特に桁下空間の不足を考慮して、架橋地点の流下能力を増大するために、下記の改修対策を選定した。

- ・ 右岸側河道の掘削
- ・ 兩岸への護岸工の設置
- ・ 橋脚周辺への床固工の設置
- ・ 上流側左岸への水制工の設置

上記改修対策を実施した場合の洪水位を不等流計算で算定し、水文・水理上の比較検討を実施した。その結果を表8-5に示す。

Table 8-5 Alternative Calculation Results

Condition	Present	After Rehabilitation
Return Period (Years)	50	50
Flood Runoff Peak (m ³ /sec)	3,050	3,050
Flood Level (EL m)	4.00	2.86
Soffit Level (EL m)	3.92	3.92
Difference (m)	0.08	-1.06

表8-5に示すように、改修対策を行った場合、洪水位は4.00mから2.86m程度に低下するであろう。従って、上記の改修対策を行えば、必要な桁下空間が得られるものと考えられる。

8.5.2 河川工学的損傷・欠陥及び改修計画の概要

現況調査及び主要河川に対する水文・水理解析から明らかになった損傷・欠陥と、それに対応する改修計画を表8-6にとりまとめて示す。

Table 8-6 Summary of Hydraulic Defect and Rehabilitation Plan

Key	Defect	Cause	Rehabilitation Plan
001/611/40	- Exposed pier footing	- Local scouring	- Installation of river bed protection
	- Exposed abutment footing	- Local scouring	- Installation of abutment protection
001/665/10	- Decreasing bridge opening	- Sedimentation	- Widening river channel with slope protection
	- Exposed footing	- River bight	- Realignment
002/372/00	- Riverbank erosion	- River bight	- Realignment
	- Failure of abutment protection	- Insufficient depth of slope toe	- Reconstruction of abutment protection
003/170/00	- Submergence of both end spans	- Inadequate bridge clearance at both end spans	- Raising of girders
	- Exposed footing of concrete wall	- Local scouring	- Installation of foot protection
003/418/10	- Failure of abutment protection	- Insufficient depth of slope toe	- Reconstruction of abutment protection
	- Inadequate free board	- Insufficient capacity of river channel	- Excavation of river channel
003/467/40	- Riverbed degradation	- Local scouring	- Installation of riverbed protection
	- Riverbank erosion	- River bending in upstream	- Installation of riverbank protection
003/710/00	- Failure of abutment protection	- Local scouring	- Reconstruction of abutment protection
	- Riverbank erosion in both upstream and downstream	- Local scouring	- Construction of slope protection
Dambai	- Riverbank erosion	- River bending in upstream	- Construction of slope and abutment protection

8.5.3 河川工学的視点からの橋梁設計基準の提案

本調査を通して行った現況調査から、橋梁計画・設計に考慮しなければならない河川工学的影響に関して、ほとんど配慮されていない橋梁がしばしば見受けられた。従って、今後の橋梁計画・設計に考慮すべき河川工学的視点からの原則・基準を参考として示す。

日本においては、橋梁は河川構造物のひとつと考えられており、橋梁計画・設計は河川の治水計画に左右される。また過去、河川構造物の不適切な設計に起因する洪水災害を数回経験し、その中には構造物自体が洪水によって損壊したり、流失した場合も含まれていた。このような経験を踏まえて、橋梁を含む河川構造物の設計に対するいくつかの基準が確立された。

これらの基準は、橋梁計画・設計に関する河川工学上の原則と考えられるものであり、マレーシアにおける今後の橋梁設計に活用できるものと考えられる。

(1) 橋 長

一般的に、必要な河川幅は次式により求められる。

$$B = (0.5 \sim 0.8) Q^{3/4}$$

ここで、 B : 河川幅 (m)
Q : 設計洪水流量 (m^3/sec)

上記の河川幅に概ね等しい必要な橋長は、下記に該当する設計洪水流量から決定すべきである。

Design Flood Runoff (m^3/sec)	Desirable Bridge Length (m)
300	40 - 60
500	60 - 80
1,000	90 - 120
2,000	160 - 220
5,000	350 - 450

(2) 基準径間長

基準径間長は、次式により求めるものとする。

$$L = 20 + 0.005Q$$

ここで、 L : 基準径間長 (必要最小径間長) (m)
Q : 設計洪水流量 (m^3/sec)

この式は、過去の橋梁損傷事例をもとに設定された。径間長15m以下の橋梁では、洪水時に流木などにより河川が閉塞され易いと言われている。

(3) 桁下余裕高

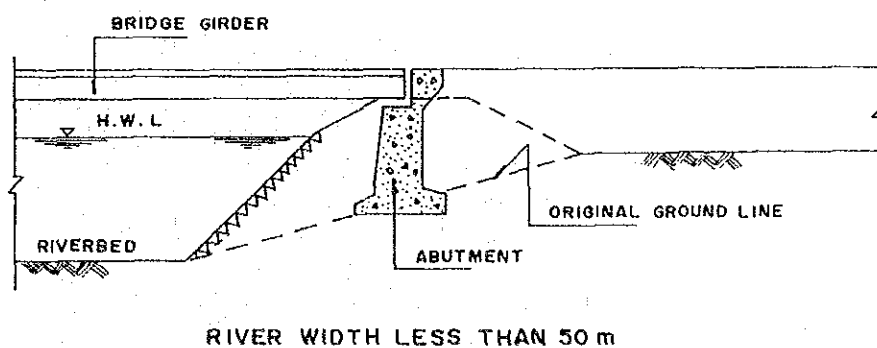
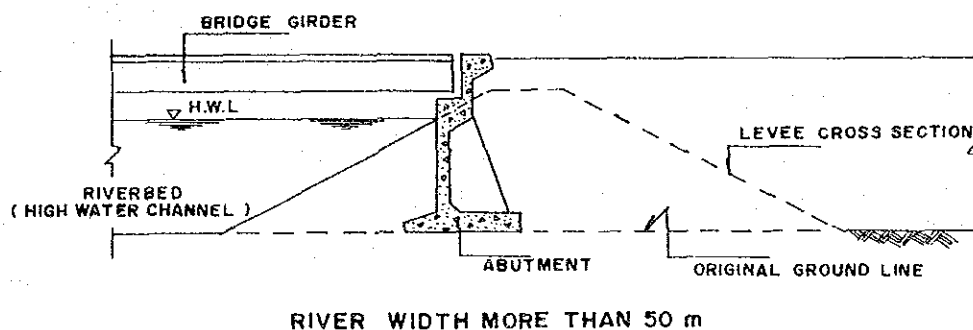
橋梁の桁下余裕高は、堤防のそれと同じ値が望ましい。設計洪水位に対応する必要最小余裕高は、下記の通りである。

Design Flood Runoff (m ³ /sec)	Freeboard (m)
less than 500	0.5
500 - 2,000	1.0
over 2,000	1.5

(4) 橋台

図8-1に示すように、橋台は河川流水断面の外側に設けるべきである。また、堤防の無い河川の場合、橋台及び取付道路は、現況河川の洪水流を阻害しないように設置すべきである。河川に面した橋台前面は、流水方向に平行にすべきであり、その基礎は現況地盤線より下に根入れすべきである。

Figure 8-1 Location of Abutment



(5) 橋 脚

河川の流れを阻害しないために、橋脚の断面形状は出来る限り凹凸をなくした小判形にすべきであり、小判形橋脚の長手方向は流水方向に合致させるべきである。また、橋脚の設置による河川流下断面積の減少は、洪水流下断面積の5%以下にすべきである。パイルベント形式橋脚は、流木などの流下を阻害しやすいので望ましくない。望ましい橋脚設置位置及び基礎の根入れ深さは、下記の通りである。

a) 築堤法尻及び低水路河岸法尻からの最小距離

Design Flood (m ³ /sec)	Distance (m)
less than 500	5
over 500	10

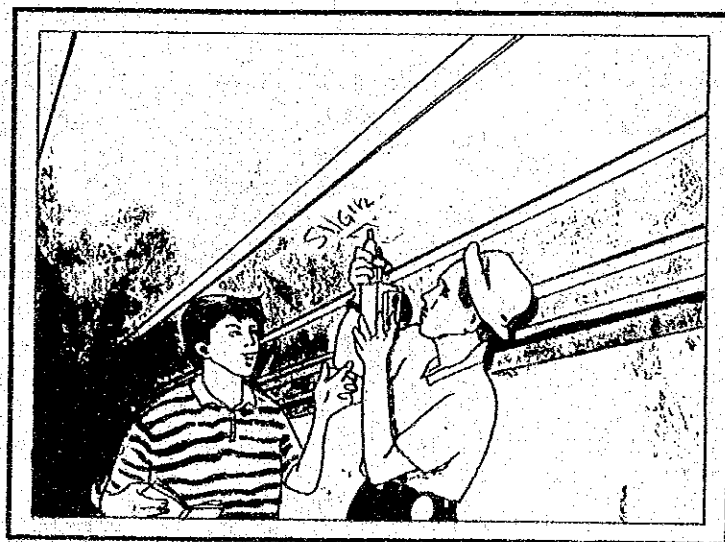
b) 基礎の根入れ深さ

基礎の根入れ深さは、河床変動及び局部先掘を考慮して決定すべきである。

Location of Pier	Embedded Depth of Footings
Low water channel	More than 2 m below riverbed
High water channel within 20 m from slope top of low water channel	- do -
High water channel over 20 m from slope top of low water channel	More than 1 m below riverbed

第 9 章

詳細構造調査



第9章 詳細構造調査

9.1 概 要

選定された20橋を対象にした詳細調査の一環として実施した詳細構造調査の目的は、概略維持・修繕設計を実施するために必要な詳細技術データを入手することである。この調査結果は、詳細構造調査を実施しなかった残りの橋梁に対する修繕計画の立案に活用される。

本調査は、詳細構造測定、材料強度計測、損傷度測定及び橋梁機能の検討を含む。調査の範囲と種類は、個々の橋梁の損傷の程度や種類に依って異っている。調査中に収集したデータは所定の調査用紙に記録し、最終的に全ての調査結果を図面にとりまとめた。各橋梁の図面は、一般図、材料強度表・寸法図とコンクリート部材のひび割れ展開図、及び鋼部材の腐食状況図から成っている。詳細調査対象橋梁20橋の内の、代表的橋梁形式の図面一式を別冊の図面集（第4巻）に添付した。

9.2 調査方法と調査機器

詳細調査の開始に先立ち、コンクリート橋調査担当及び鋼橋調査担当の二つの調査班を組織した。各調査班は、主任橋梁技師と2名の橋梁技師及び3名の補助員から構成され、下記の基本調査用具・機器一式を携行した。

- ・ 計測機具 - テープ、ノギス、クラックスケール、水準器、標尺、下錘り
- ・ 記録用具 - カメラ、黒板、チョーク、フォトスケール
- ・ 接近用具 - 梯子、ロープ、ゴムボート、橋梁点検車（共同使用）
- ・ 調査機器 - 双眼鏡、ハンマー、タガネ、金ブラシ、コテ、懐中電灯、パラン、スプレーペイント、電気ドリル、発電機、電気グラインダー
- ・ 安全用具 - 救命具、安全ベルト、ヘルメット、ゴーグル、軍手、救急箱
- ・ 試験機器 - 超音波板厚計、プロフォメーター（鉄筋探査機）、シュミットハンマー、中性化試験キット

上記に加えて、下記の試験機器を二つの調査班の間で交互に使用した。

- ・ 超音波コンクリート品質試験機（コンクリート強度）
- ・ 鉄筋腐食度計（鉄筋腐食）
- ・ エコーチップ（鋼材強度）

現場調査を開始する前に、特殊試験機器の操作法及びその試験から得られた結果の判定手法を記した簡易マニュアルを作成し、収集した構造データの記録の手法、試験方法及び全ての特殊試験機器の操作法などについて、調査班の全員に実地指導を行った。また、二人のJKR技術員には、橋梁点検車の操作方法の実地訓練を行った。

9.3 詳細構造測定

詳細構造測定では、橋梁諸元調査、ひび割れ・腐食状況調査、鉄筋径及びかぶり測定、鋼材板厚測定、杭長測定を行った。詳細構造測定の目的は、橋梁の構造検討を行うために、橋梁部材の実測寸法を得ることである。

9.3.1 構造諸元調査

実測構造図を作成するために、床版幅、主桁の長さ及び寸法、主桁配置、添接詳細、柱、橋台、橋脚、横桁、対傾構及び横構などの全ての構造詳細を測定する構造諸元調査を実施した。何枚かの竣工図がある橋梁については、測定した部材寸法が竣工図のそれと違っていないかを照査した。断面寸法の測定はmm単位で、橋軸方向寸法は10mm単位で行った。

9.3.2 ひび割れ・腐食状況調査

ひび割れ・腐食状況調査において、発見された損傷の範囲を記録した。コンクリート部材に関しては損傷をひび割れ、剥離、鉄筋露出、遊離石灰などに、一方、鋼部材の場合には通常の腐食、著しい腐食、塗装劣化、座屈などに分類した。これらの調査結果をひび割れ展開図あるいは腐食状況図にまとめた。これらの図面は、損傷原因の手掛かりを与え、構造物の状態や状況をより鮮明に表す上で効果的であり、維持・修繕対策を立案する上でも有効である。表面のひび割れ幅については、透明なひび割れゲージで測定したが、コンクリートの剥離はハンマーで叩いた時の音の違いによって判定した。鋼部材の変形や腐食については目視で調査を行い、所定の様式に記録した。

9.3.3 コンクリートのかぶり、鉄筋径及び鉄筋間隔調査

コンクリート部材の場合、鉄筋に関する詳細データがない限り、構造検討を行うことは出来ない。それ故、上記の構造諸元調査に加えて、コンクリートに配置されている鉄筋の調査を行い、コンクリートのかぶり、鉄筋径及び鉄筋間隔を測定した。

最初に、プロフォメータⅡ及びⅢ（電磁式鉄筋探査機）を使用して、鉄筋の位置を確認した。この調査機器は大まかな鉄筋径も表示するため、竣工図がある橋梁については、鉄筋径を照査するためにも使用した。鉄筋間隔についてはプロフォメータの表示に基づいた。

前述のようにプロフォメータは大まかな鉄筋径を与えるだけなので、竣工図がない橋梁については、コンクリートを人力ではつる必要があった。電気ドリルを用いて鉄筋を露出させ、鉄筋径を測定すると共に、その状態とかぶり厚を記録した。コンクリートをはった箇所は特殊な補修モルタルで補修した。鉄筋径及び鉄筋間隔の調査結果は、第4巻、図面集の詳細調査図面に盛り込まれている。また、コンクリートのかぶり調査の結果を表9-1に示す。

床版下面のコンクリートかぶりは25mmから60mmまで変化するが、平均は約38mmであり、かぶりは十分であることを確認した。しかし、コンクリート桁の平均かぶり30mmは若干不足しており、下部工及び杭のかぶりは40mmで、明らかに不足している。このコンクリートのかぶり不足は、コンクリート杭のひび割れ発生の一因と思われる。

Table 9-1 Concrete Cover

BRIDGE NO	BRIDGE TYPE	DEPTH OF COVER (mm)				
		SUPERSTRUCTURE		SUBSTRUCTURES		PILE
		BEAM SOFFIT	DECK SLAB SOFFIT	ABUTMENT OR PIER	CAPPING BEAM	
00114920	RCB	15	60	30	30	30
00166510	SBG&RCB	34	38	45	-	-
00237200	SBC&RCB	25	30	-	50 (Soffit)	45
00317000	PCB	25	34	36	-	38
00319110	PCB	35	40	-	30	30
00341800	RCB	30	50	35	100	40
00346740	PCB	55	40	-	30	-
00546560	RCB	33	30	-	-	-
00546980	RCS	-	49	-	-	-
00563880	IT	-	-	30	40	40
00567840	PCB	15	-	30	40	40
00834850	RCS	-	25	40	40	40
005803340	SBB	-	-	40	-	-
005903120	SBC	-	35	-	-	-
Danbai	SBC	-	30	-	-	-
Samarahan	SBC	-	30	-	-	-
00371000	RCB	30	-	-	40	30

9.3.4 鋼材板厚測定

既設橋の検討に際して、腐食による断面損失を考慮するために、鋼部材の正確な板厚を知ることは重要である。このため、超音波板厚計を使用して板厚測定を行い、鋼材の有効断面を測定した。板厚測定の結果は、第4巻、図面集の詳細調査図面に示されている。

9.3.5 杭長測定

20橋梁の内、橋梁番号00546980の橋梁には杭基礎の損傷が発見された。そこで、その原因解明や適切な修繕対策を立案するために、P/S波検層法を用いて杭長測定を行った。その結果、杭先端は現況地盤から-33m、杭天端から-31.5mの位置にあると推定された。（詳細な手法や検討結果は第7章を参照のこと）

9.4 材料強度計測

本調査で行った材料強度計測は、コンクリート強度に関してコンクリートコア採取、超音波コンクリート品質試験機（UPV）及びシュミットハンマー、鋼材強度についてはエコーチップを使用して実施した。

9.4.1 コンクリート強度

コンクリート強度については、非破壊試験もしくは部分破壊試験のいずれかの結果に基づき推算した。非破壊試験法としてはシュミットハンマー及びUPVを用い、部分破壊試験法はコンクリートコアの圧縮試験に基づいている。コンクリートコア圧縮試験は、必要不可欠であると判定された場合、あるいは他の非破壊試験に依って求められた強度を照査するために行った。圧縮試験は強度の算定に加えて、構造検討に必要なコンクリートの単位重量及び弾性係数も測定した。

(1) コンクリートコア圧縮試験

本調査の対象橋梁5橋から、20個のコンクリートコアを採取した。20個のコア試料の内、アルカリ骨材反応試験のために5個を使用した。残りの15個のコンクリート圧縮試験結果を表9-2にとりまとめて示す。

Table 9-2 Summary of Concrete Core Test Results

BRIDGE NO OR NAME	MEMBER	MAXIMUM AGGREGATE SIZE	QUALITY OF CONCRETE AND DEFECTS	SATURATED DENSITY (kg/m ³)	ELASTIC MODULUS (kN/mm ²)	CUBE STRENGTH (N/mm ²)
00237200	Superstructure (Deck Slab)	20	-Small voids ≈ 1.5 % -Honeycombed (43x30 max)	2280	16.0	19.5
00317000 Sg. Endau Johor	Substructure (Abutment)	20	-Small voids ≈ 0.5 % -Rounded aggregate -Honeycombed (7x13 Max)	2330	26.0	33.0
00319110 Sg. Pontian Pahang	Superstructure (Deck Slab)	20	-1.5% excess voidage -aggregate well graded -Honeycombed (10x6 max.) -Crack near surface about 62mm in depth -Cold joint	2380	39.5	62.0
00834850 Sg. Kesang Kelantan	Superstructure (Deck Slab)	20	-Small voids ≈ 13 % -Flaky aggregate -Excessive honeycomb (103x100 max.) -Cold joint	2300	25.5	21.0
00371000 Yahya Petra Kelantan	Superstructure (Deck Slab)	20	-1.5% excess voidage. -Aggregate uniformly distributed. -Honeycombed (5x16 max.)	2450	30.0	50.5

(2) 超音波コンクリート品質試験機 (UPV)

対象橋梁の内の数橋でUPV試験を行った。しかし、その結果は著しくばらついており、日本で用いている強度換算式を使って、測定した超音波速度を単純にコンクリート強度に換算できなかった。従って、UPVによって求めた強度は採用しなかった。

(3) シュミットハンマー試験

シュミットハンマー試験は、測定点1箇所当たり少なくとも20回の打撃を行った場合、コンクリート強度の大まかな推定が可能となる。しかし、計測された数値のいくつかはばらついていたため、安全を考慮して、最小値のコンクリート強度を採用した。コンクリートコア圧縮試験とシュミットハンマー試験のコンクリート試験結果を表9-3に示す。

Table 9-3 Summary of Concrete Strength Test Results

BRIDGE NAME	SUMMARY OF MINIMUM CONCRETE STRENGTH (N/mm ²)			
	SUPERSTRUCTURE		SUBSTRUCTURE	
	BEAM	SLAB	ABUT/PIER	PILE
00114920	14	18	11	-
00166510	36	-	25	-
00237200	37	20 1 (19)	<10	-
00317000	39	23	35 (33)	-
00319110	29	35 (62)	32	27
00341800	34	36	36	45
00346740	33	27	32	36
00520850	24	<10 2	-	-
00546560	16	<10 2	18	-
00546980	-	24	37	-
00563880	35	-	36	-
00567840	54	-	39	-
00834850	-	<10 1 (21)	11	34
05001070	-	-	24	-
05803340	-	24	32	-
05903120	-	39	27	-
DAMBAL	-	28	25	-
SAHARAHAN	-	21	31	-
00371000	39	- (50)	-	-

Note: 1) Figure in () is the minimum cube strength taken from concrete core sample.
 2) Based on reliability of the test result, value by testing the core sample is applied.
 3) The strength appears to be too low and very questionable compared with those of the beams and from the visual inspection, taking into consideration both structural members having the same design mix of the concrete. It is therefore, more prudent to take cube strength of the beam instead of the slab in the assessment.

(4) 構造検討に適用するコンクリート強度

一般に、コンクリート強度はコンクリート打設後、更には橋梁が完成した後でさえ徐々に増大することが一般的に知られている。しかし、その増加率は水セメント比、セメントや骨材の品質、材令、環境条件などに左右され明確ではない。従って、安全を考慮して既設橋の検討においては、この強度の増加を見込むことなく、当時の設計配合に基づくコンクリート設計基準強度を、コンクリート強度として採用する事も可能である。

これに関して、既存関連調査に基づく、1955年以後に建設されたほとんど全ての橋梁は、現場打ちコンクリートで1:2:4（セメント；砂；砂利）、P.Cコンクリートや既製杭などを含むプレキャストコンクリートで1:1.5:3のコンクリート配合であり、28日強度がそれぞれ約20N/mm²と25N/mm²を使用した事が判明した

これらを踏まえ、構造検討に適用するコンクリート強度は、安全を考慮して、コンクリート設計基準強度、コンクリートコア試験による強度及びシュミットハンマー試験による強度の内の最小強度を、調査対象橋梁のコンクリート部材の28日強度として採用すべきであると考えられる。

この基準に基づき、検討に使用するコンクリート強度を表9-4に示す。

Table 9-4 Concrete Cube Strength to be used in the Structural Assessment of Bridges (Unit N/mm)

BRIDGE NO.	BRIDGE TYPE	SUPERSTRUCTURE		SUBSTRUCTURE	
		Beam	Slab	Abut/Pier	Pile
00114920	RCB	14	18	11	-
00166510	SBG & RCB	20	20	20	-
00237200	SBC & RCB	19	19	19	-
00317000	PCB	25	20	20	-
00319110	PCB	25	20	20	25
00341800	RCB	20	20	20	25
00346740	PCB	25	20	20	25
00520850	SBE	20	20	-	-
00546560	RCB	16	16	18	-
00546980	RCS(H)	-	20	20	-
00563880	IT	25	-	20	-
00567840	PRB	25	-	20	-
00834850	RCS	20	20	11	25
05001070	SBB	-	-	20	-
05803340	SBB	-	20	20	-
05903120	SBC	-	20	20	-
Dambai	SBC	-	20	20	-
Samarahan	SBC	-	20	20	-
00371000	RCB	20	20	20	-

9.4.2 鋼材強度

(1) 構造用鋼材強度

調査橋梁の構造用鋼材の大まかな強度は、硬度試験機であるエコーチップを使用して求めた。エコーチップによって求められた鋼材強度を表9-5に示す。

Table 9-5 Summary of Steel Strength from Echo-Tip

Bridge Name	Average Steel Strength from Echo-tip (N/mm ²)				
	Rolled beam	plate girder	diaphragm	buckle plate	tubular pile
00166510	-	527	-	-	-
00520850	425	-	-	-	-
05001070	425	-	-	455	-
05803340	408	-	-	-	-
05903120	445	-	-	-	-
Dambai	-	424	-	-	493
Samarahan	-	444	416	-	-

一方、調査対象橋梁に使用されている圧延形鋼は、英国で製造されたことが一般に知られている。従って、桁の寸法、橋令、製造業者を知る事によって、鋼材規格と降伏点を含む鋼桁の断面性能は、該当する英国規格の条項あるいは関連する古い技術参考書を参照して求めることができる。この手法に従って求めた鋼材規格と降伏点応力度を表9-6に示す。

Table 9-6 Strength of Steel Produced in UK since 1934

Steel Standard	Title of the British Standard Code of Practice	Year published	Yield Stress (N/mm ²)
BS 15	Mild steel for general structural purposes.	1948	247.3, $t \leq 19\text{mm}$ 231.8, $t \leq 38\text{mm}$ 227.9, $t > 38\text{mm}$
BS 449	The use of structural steel in building.	1948	230 (BS 968)
BS 449	Structural Steel in building.	1969	350.0

表9-6に示すように英国で適用された構造用鋼材の最小降伏点応力度は 230N/mm^2 である。一方、エコーチップを使用して測定した強度（引張強度）は約 $408 \sim 455\text{N/mm}^2$ である。従って、構造検討においては、調査対象橋梁の全てが 230N/mm^2 の降伏点強度を有する43級鋼材であると考えることが安全側であると考えられるので、同値を構造検討に適用する値として採用する。

(2) 鉄筋強度

橋梁に使用された鋼材がその時代の技術実施要綱に基づいて英国で製造された事が知られているので、鉄筋の強度は簡単に求める事ができる。英国の道路橋検討実施要綱に基づくと、1955年以前に製造された鋼材は、降伏点応力度を 230N/mm^2 とみなして良いと述べている。従って、本調査で使用する鉄筋強度も 230N/mm^2 とした。

9.5 材料劣化度測定

コンクリート中の鉄筋は、コンクリートのアルカリ成分によって腐食から守られている。この保護機能は、コンクリートの中への炭酸ガスの浸透の結果として、あるいは海水からの塩分の浸透によって時間と共に減少する。本調査で実施した材料劣化度測定は、塩分含有量試験、中性化試験、鉄筋腐食度計による鉄筋腐食度試験、アルカリ骨材反応試験を含む。また、ゴム支承の組成分析試験も行った。

9.5.1 中性化試験

コンクリートの中性化は、空気中の炭酸ガスがコンクリートの中へ吸収され、コンクリートの水酸化カルシウム ($\text{Ca}[\text{OH}]_2$) と反応して炭酸カルシウム (CaCO_3) を生成するものである。この反応は、コンクリートのアルカリ性を pH 値 13 から pH 値 9 もしくはそれ以下に低下させる。従って、中性化試験の目的は、中性化しアルカリ性が低下している深さを測定することである。この試験は、無色透明のフェノールフタレン溶液をハツリだしたコンクリート面に吹き付けて行ない、フェノールフタレンが濃いピンク色に変わればコンクリートはまだアルカリ性を保持しているが、もし色が変わらなければ腐食から鋼材を保護する十分なアルカリ性を有していないことを示している。中性化試験の結果を表 9-7 に示す。

Table 9-7 Maximum Carbonation Depth (mm)

BRIDGE NO.	BRIDGE TYPE	Superstructure		Substructure	
		Beam Soffit	Deck Slab Soffit	Abutment or Pier	Pile
00114920	RCB	-	12	-	0
00166510	SBG&RCB	>60	>52	0	-
00237200	SBC&RCB	13	-	-	0
00317000	PCB	0	11	-	-
00319110	PCB	0	-	0	-
00341800	RCB	0	-	-	-
00346740	PCB	-	0	-	0
00520850	SBE	25	>75	-	-
00546560	PCB	0	-	-	-
00546980	RCS(H)	-	30	3	3
00567840	PRB	0	-	-	-
00834850	RCS	-	0	0	-
05803340	SBB	-	-	14	-
05903120	SBC	-	50	-	-
Dambai	SBC	-	43	-	-
Samarahan	SBC	-	12	-	0
00371000	RCB	2	-	-	0

Note: - Means no test was carried out

17橋で実施した中性化試験の結果、橋梁下部工のコンクリートは、2橋（橋梁番号00546980と05803340の橋梁は、中性化深がそれぞれ3mmと14mmで若干中性化している）を除いて中性化していない。同様に、全てのプレストレストコンクリート桁は中性化していない。一方、場所打ち鉄筋コンクリート桁及び鉄骨鉄筋コンクリート桁（SBE）は中性化深が2mm～60mm以上で中性化しており、2橋を除く全ての床版も中性化深が11mm～75mm以上と中性化が進んでいる。

9.5.2 塩分含有量試験

塩分含有量試験の目的は、鉄筋腐食の危険性を高めるコンクリートに浸透している塩化物イオンの濃度や深さを測定することである。一般的に、塩化物イオンが鉄筋の周辺である限界量に達したとき、鉄筋の腐食が始まる。しかし、その限界塩分濃度は塩分含有量のみで決定されるものではなく、中性化深に依っても変化するため、限界塩分濃度は一律に決定するのは難しい。ひとつの目安として、限界塩分含有量はセメント重量の0.4%に相当する塩化物イオンの存在と言われており、それによって、鉄筋腐食の危険性は増大すると考えられている。

本調査では、塩分含有量試験は塩害に依って劣化していると思われる橋梁のみを主に対象とした。コンクリートの塩分含有量は、ドリルに依って採取したコンクリート粉末を化学分析して測定した。また、コンクリート部材の塩分含有量の変化を把握するため、深さ60mmまで20mm毎にこの粉末試料を採取した。塩分含有量試験の結果を表9-8に示す。

Table 9-8 Summary of Chloride Content in Concrete Members

Bridge No.	Structural Member	% of Chloride ion at various depth (mm)			Depth of Cover (mm)
		0-20	21-40	40-60	
00237200 (SBC/RCB)	Beam	<0.01	<0.01	<0.01	25
	Deck	<0.01	<0.01	<0.01	30
	Pile	2.64	2.56	2.09	45
00317000 (PCB)	Beam	2.43	2.00	0.80	25
	Deck	1.36	1.43	0.21	34
	Abut/Pier	-	-	-	36
	Pile	-	-	-	38
00341800 (RCB)	Beam	0.24	<0.01	<0.01	30
	Deck	<0.01	<0.01	<0.01	50
	Pile	3.15	1.25	0.95	40
00546980 (RCB)	Beam	-	-	-	-
	Deck	<0.01	<0.01	<0.01	49
	Abut/Pier	0.06	<0.01	<0.01	-
	Pile	2.85	1.25	2.06	-
00371000 (RCB)	Beam	<0.01	<0.01	<0.01	30
	Deck	<0.01	0.39	<0.01	varies
	Abut/Pier	<0.01	<0.01	<0.01	40

表9-8から、塩化物イオンが深さと共に漸減することを示しており、塩化物イオンがコンクリートや骨材に当初から含まれていたものでなく、コンクリート表面から浸透したものであることが判る。

また、表9-8から判るように、ほとんどの基礎杭は、鉄筋位置で限界塩分含有量（0.4%）をはるかに超える塩化物によって、著しい被害を受けていると言える。更に、橋梁番号00317000（洪水時に冠水する橋梁）の主桁や床版の塩害は極めて重大で、コンクリートかぶり以上の深さに達している。

9.5.3 硫酸塩含有量試験

硫酸塩によるコンクリートの損傷は、硫酸塩類がセメント中のトリカルシウムアルミン酸（ C_3A ）と反応して化合物エトリンジャイトを生成する結果としてもたらされ、進行性が高く重大である。硫酸塩含有量試験についてはコンクリートばかりでなく、硫酸塩の発生源と思われる土からも試料を採取して試験を行った。（後者の試験結果は第7章に記した。）

全国軸重調査（NALS）に報告されている、硫酸塩の侵食によって被害を被っていると思われる橋梁を対象にして硫酸塩含有量試験を行った。硫酸塩含有量は、ドリルを使用して採取したコンクリート粉末試料の化学分析を行って測定した。また、深さ方向の硫酸塩含有量の変化を把握するため、深さ60mmまで20mm毎にコンクリート粉末試料を採取した。コンクリート中の硫酸塩含有量の許容限界値は一律に確立されたものはないが、現在、普通ポルトランドセメント重量の4%であると言われている。硫酸塩含有量試験の結果を表9-9に示す。

Table 9-9 Summary of Sulphate Content in Concrete Members

Bridge No	% of Sulphate at Various Depth		
	0 - 20mm	21 - 40mm	41 - 60mm
00114920	1.85	1.75	1.45
00237200	2.07	1.14	1.15
00520850	2.45	2.06	1.35
05803340	2.68	2.85	2.86
05001070	1.81	1.36	1.09

上記の結果は、セメント重量に対する硫酸塩含有量が許容水準以内であることを示している。従って、損傷が硫酸塩に起因するものでなく、第7章で述べたように他の化学的物質による可能性が高い。

9.5.4 鉄筋腐食度試験

鉄筋腐食度計を用いて鉄筋腐食度試験を行う目的は、鉄筋の腐食の程度を面的に図化することである。しかし、その電位は鉄筋腐食の程度を明確に立証するものでなく、コンクリート中の鉄筋が腐食している可能性を示すにすぎない。鉄筋腐食度試験結果を表9-10に示す。

Table 9-10 Summary of the Rebar Corrosion Test Results

BRIDGE NO	LOCATION	POTENTIAL (Volts)	COVER (mm)	CARBONATION DEPTH
00341800	Deck slab	Max:-0.01 Min:-0.23	50	-
00834850	Deck slab	Max:-0.180 Min:-0.350	25	0
DAMBAI (SABAH)	Deck slab	Max:-0.122 Min:-0.260	30	43
SAMARAHAN (SARAWAK)	Deck slab	Max:-0.041 Min:-0.107	30	12
00371000	Deck slab	Max:-0.07 Min:-0.24	Varies	-

鉄筋腐食度試験結果に基づくと、鉄筋はまだ腐食していないか、腐食がまだ著しくないと判定できる。鉄筋腐食度計のマイナス電極を接続するために露出させた鉄筋の目視観察結果でも上記のことが立証された。

9.5.5 ゴム支承の組成分析試験

調査対象橋梁の目視調査において、弾性ゴム支承の劣化、変形がしばしば見られた。その原因を解明し、適切な修繕対策を立案するため、JKRの要請に基づいて橋梁番号00701810及びサバ州のダンバイ橋から、室内試験用の二つの材料サンプルを採取した。採取した試料の量が限られていたため、組成分析試験だけを日本の化学検査協会で行った。この試験結果をとりまとめて表9-11に示す。

Table 9-11 Summary of Formation Test Results

Test Item	Br.00701810	Dambai Br.	Requirement 1
Identification of Rubber Polymer	NR/SBR	CR	NR or CR
Total Rubber Polymer (%)	64.4	45.6	More than 50
Carbon Black (%)	22.9	38.3	15 ~ 30
Ash (%)	4.9	2.3	Less than 10
Blend ratio	NR : SBR= 68.5:31.5	N/A	

Note: 1. Requirements in accordance with Japan Road Association
NR means Natural Rubber
SBR means Styrene Butadiene Rubber
CR means Chloroprene Rubber

一般的に、ゴム支承に使用されている原材料は天然ゴム(NR)、スチレンブタジエンゴム(SBR)、クロロプレンゴム(CR)の3種類に分けられる。それらは、下記の異なった特性を有している。

	Aging Resistance	Ozone Resistance	Wear Resistance	Tensile Resistance
NR	Good	Bad	Very Good	Very Good
SBR	Bad	Bad	Very Good	Fair
CR	Very Good	Very Good	Good	Fair

試験結果から、橋梁番号00701810のゴム支承の原材料はNRとSBRとの混合タイプであり、それらはCRに比べて耐オゾン性に劣る。従って、劣化の主な原因は、NRとSBRの低い耐オゾン性にあると考えられる。また、この劣化は、損傷した伸縮装置からの漏水が更に状態を悪化させたものと考えられる。

一方、ダンバイ橋のゴム支承の品質は許容水準内にあるが、全ゴム量が若干少なく、カーボンブラックは必要量より多少多い。ゴム支承変形の主な原因は、支承幅が下フランジ幅より著しく広いので、下フランジ端部における荷重集中によるものと考えられる。

9.5.6 アルカリ骨材反応試験

アルカリ骨材反応は、コンクリート中のアルカリ成分とシリカを含む骨材とが反応するコンクリート劣化のひとつのメカニズムである。この反応は、水分を吸収し膨張する特性を有するアルカリシリカゲルを生成し、それによってコンクリートを破壊する。

全国軸重調査の目視調査報告書によれば、橋梁番号00319110のパイルキャップのひび割れは、アルカリ骨材反応による可能性が高いと指摘されている。この調査の所見を検証するため、5本のコンクリートコアをパイルキャップ付近から採取し、それをアルカリ骨材反応試験のために日本に送った。実施した試験とその結果を下記にまとめて示す。

(1) 目視観察

試験方法；日本コンクリート工学協会規定（DD4）

目的；コンクリートの粗骨材の種類とその構成を明らかにする。

結果；安山岩：71%

閃緑岩：29%

(2) 硬化コンクリートの配合比率分析

試験方法；日本セメント協会提案の方法

目的；コンクリート配合比率の測定

結果；単位重量：2,284 (kg/m³) カルシウム酸化物：16.3 (%)

骨材量：1,818 (kg/m³) セメント量：377 (kg/m³)

(3) 使用セメントのアルカリ量

試験方法；熱水抽出法

目的；セメントの全アルカリ量の測定

結果；0.8%（酸化ナトリウム換算値）

(4) 硬化コンクリートの全塩分量分析

試験方法；日本コンクリート工学協会提案の方法

目的；全塩分量の測定

結果；塩素：0.34 (kg/m³) 塩化ナトリウム：0.55 (kg/m³)

試驗方法：化學法 (JIS A5308)

結	果；溶解シリカ量 (mmol/l)	計測値 46, 46, 45
		平均値 46

アルカリ濃度減少値 (mmol/l) 計測値 23, 29, 32
平均値 31

試験方法：日本コンクリート工学協会規定 (DD3 & DD4)

結 果： 下記に示す

- ・粗骨材は安山岩と閃緑岩の碎石である
- ・安山岩の基質は結晶構造が不自然な微小石英で置換されている。(微小石英は反応性のシリカであり、波動吸収鉱物である)
- ・微小石英が安山岩の80~85%を占めている
- ・閃緑岩に反応鉱物は含まれてない

- ・細骨材は天然砂である
- ・細骨材の構成は下記の通りである

鉍物砂粒子	石英 31%	波動吸収石英 15%
	アルカリ長石 25%	斜長石 tr
岩石砂粒子	花崗岩 20%	石英閃緑岩 91%

- ・コンクリートは表面から13mmの深さまで中性化している。
- ・大きさが約 $10\mu\text{m}$ 以上の水酸化カルシウムが、セメントの10~20%を占めている。
- ・セメントは2~ $20\mu\text{m}$ 幅のひび割れを有しており、それらの大部分はゲルによって塞がれている。

試験方法：日本コンクリート工学会規定（DD2）

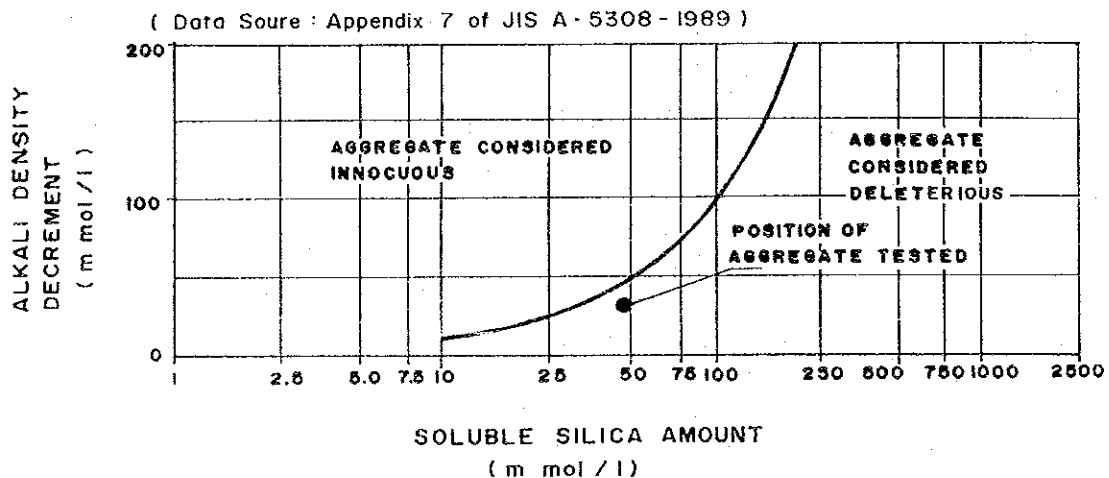
果；12週間経過後のコンクリートコアの平均膨張量は $19\mu\text{mm}$ である。

(8) 結 論

- ・ アルカリシリカ反応試験の結果から、コンクリートに使用している粗骨材は図9-1から有害であると考えられる。
- ・ 偏光顕微鏡観察結果から、反応性シリカである微小石英が粗骨材として使用されている安山岩の80～85%及び細骨材の15%を占めている。
- ・ アルカリ量試験結果から、アルカリを含むセメントは 3.02kg/m^3 に相当する0.8%を占めている。この値は基準値 3.00kg/m^3 より多少多い。
- ・ 硬化セメントは、通常のセメントより多い水酸化カルシウムを含んでいる。
- ・ ひび割れはゲルで塞がれている。
- ・ コアサンプルは膨張中である。

上記の調査結果から、橋梁番号00319110のパイルキャップのひび割れは、アルカリ骨材反応によるものであることは明らかである。

Figure 9-1 Judgement Diagram of Innocuous Degree of Aggregate



9.6 橋梁機能調査

第2章及び第4章に述べた予備調査結果を確認するため、詳細構造調査において車道拡幅あるいは歩道添架の必要性に関しての橋梁機能調査を実施した。

(1) 車道拡幅の必要性

全調査対象橋梁の車道拡幅の必要性は、橋梁上の交通容量（Highway Capacity Manualの計算式を用いて計算した）と現在交通量（Traffic Volume Malaysiaから求めた）との比較によって検討した。原則的にこれらの検討結果に基づき、橋梁幅員を拡幅するか否かを判定した。

(2) 歩道添架の必要性

目視調査の段階において、歩道添架の必要性を一定基準に基づいて検討した。それは、歩道無しの橋梁が都市部に位置しているかどうか、あるいは学校、モスクなどの公共施設に隣接しているか否かである。

同基準を適用して、各橋梁の影響範囲として橋梁から約1kmを目途に、橋梁が上記の条件に該当するかどうかを把握するために歩道添架の必要性を調査した。もし橋梁が上記条件に該当していて歩道が無ければ、歩道を添架するものとした。

(3) 調査結果

歩道添架あるいは車道拡幅などの橋梁機能の面で修繕対策を必要とする橋梁を示す調査結果を表9-12に示す。

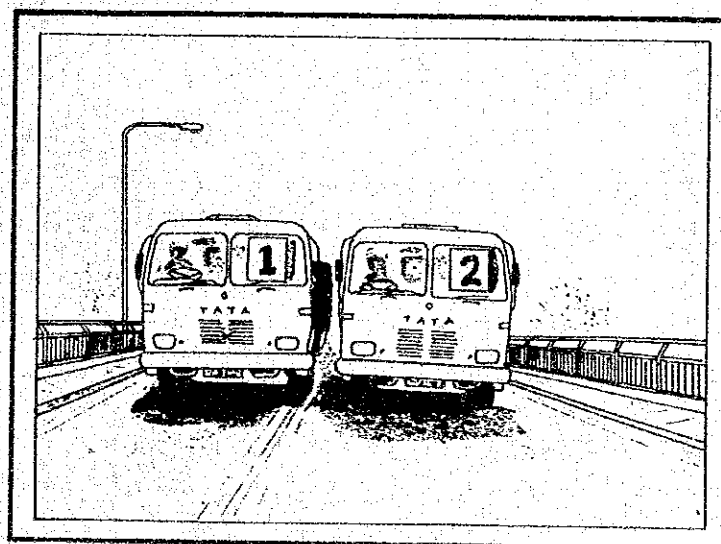
Table 9-12 Bridge Function Survey Results

Bridge No.	Survey Result	Bridge No.	Survey Result
00114920	N/A	00546560	N/A
00161140	Adding Sidewalk	00546980	N/A
00166510	Adding Sidewalk ^{L1}	00563880	N/A
00237200	N/A	00567840	Widening carriageway
00317000	N/A	00834850	N/A
00319110	N/A	05001070	N/A
00341800	Adding Sidewalk ^{L1}	05803340	N/A
00346740	N/A	05903120	N/A

Note : Above result is the same as preliminary results except bridge with ^{L1}, which is added based on the bridge function survey conducted in the detailed survey.

第 10 章

実 橋 載 荷 試 験



第10章 実橋載荷試験

10.1 概 要

現在、橋梁の実際の耐荷力は理論計算によって求められた耐荷力よりも大きいことが一般に知られている。この現象は、材料特性値の偏差、横方向荷重分配の度合い及び合成作用の程度など、設計計算と実橋挙動との相違に起因するものである。従って、多くの橋梁は余剰耐荷力を有しており、その値は構造形式、構造材料及び損傷や劣化の程度によって異なる。

しかし、損傷や劣化の影響を考慮して、既設橋の全体的な性能に対して構造解析のみで余剰耐荷力を推算することは困難であるが、既設橋の検討において、その値は必ず必要な数値である。このような場合、実橋載荷試験は極めて有効な手段である。

上記のように、実橋載荷試験の第一の目的は、橋梁主要部材の構造的な余剰耐荷力を算定することである。この値の算定のため、応力度とたわみについて、理論計算値と載荷試験における実測値との比較を行う。載荷試験の二次的な目的は、構造計算に適用する構造理論や仮定が、橋梁の構造検討を行う上で妥当かどうかを確認することである。

詳細調査対象橋梁20橋の内、実橋載荷試験対象橋梁として下記の3橋梁の5支間を選定した。

載荷試験対象橋梁

橋梁番号	州 名	郡 名	橋梁形式
00237200	パハン	クアンタン	SBC & RCB
00319110	パハン	ロンピン	PCB & PCB
00834850	クランタン	クアラ・クライ	RCS

本調査で行った載荷試験は、静的及び動的載荷試験の2種類に分けられる。静的載荷試験は、載荷用車両を使って、主要部材のたわみやひずみを測定することであり、動的載荷試験は現況交通荷重のもとで、部材の実作用ひずみを測定することである。静的載荷試験は上記の5支間全てで実施した。

一方、動的載荷試験は、3橋梁の中で最も交通量の多い橋梁番号00237200の橋梁のみで実施した。

上記の動的載荷試験に加えて、JKRの要請に基づき橋梁番号00237200の橋梁において、載荷用車両を使って走行速度の違いによる動的ひずみの変動を測定するための動的載荷試験を行った。

10.2 載荷試験の計画

載荷試験の準備作業として、詳細構造調査、計測点の選定、載荷位置と載荷ケースの決定及び交通量調査を事前に行った。

10.2.1 計測点の選定

一般的に、実橋載荷試験における計測点の数や位置は、実証試験、性能試験あるいは極限耐荷力算定を目的とする研究試験など、試験の目的によって異なる。本調査における載荷試験の目的は、主要橋梁部材の構造的な余剰耐荷力（同一載荷状態のもとでの実測値と理論値との比率）を算定することであるので、ひずみやたわみを測定する主要橋梁部材の着目点は、最大断面力が生じる位置に一致するように選定した。

選定した着目点での計測点数と位置は、主として理論計算と計測結果の比較、検証ができるように決定した。

上記の基本的な考え方に基づき、着目点と計測点を下記の通りに選定した。計測点の位置は、第3巻、Appendix-Lに図示されている。

SUMMARY OF MEASUREMENT POINTS

(1) STATIC TEST

BRIDGE KEY	TYPE	COMPONENT	STRAIN	DISPLACEMENT
00237200	SBC	Beam	2 points x 2 girders = 4	1 point x 2 girders = 2
		Deck Slab	2 points x 1 location= 2	1 point x 1 location=1
		Beam	1 point x 2 girders = 2	1 point x 2 girders=2
		Deck Slab	2 points x 1 location= 2	1 point x 1 location=1
Subtotal of Measurement Points				10
00319110	PCB(C)	Beam	6 points x 2 girders =12	1 point x 2 girders =2
	PCB(S)	Beam	6 points x 1 girders = 6	1 point x 1 girders =1
		Deck Slab	2 points x 1 location= 2	1 point x 1 location=1
Subtotal of Measurement Points				20
00834850	RCS	Slab	2 points x 2 locations=4	1 point x 1 location=1
Subtotal of Measurement Points				4
Total Measurement Points				34
				11

(2) DYNAMIC TEST

KEY	BRIDGE TYPE	COMPONENT	STRAIN
00237200	SBC	Beam	2 Points x 2 girders = 4
	RCB	Beam	1 Points x 2 girders = 2
Total Measurement Points			6

10.2.2 載荷位置と載荷ケースの決定

着目部材に最も不利になるような載荷位置（即ち、選定した着目点に最大曲げモーメント、せん断力、たわみを生ずる）及び載荷用車両の台数を影響線を使って検討した。この結果から、使用する載荷用車両台数も含めて各載荷ケースの載荷位置を、表10-1に示すように決定した。各載荷ケースの平面、側面、断面図をAppendix-Eに示す。

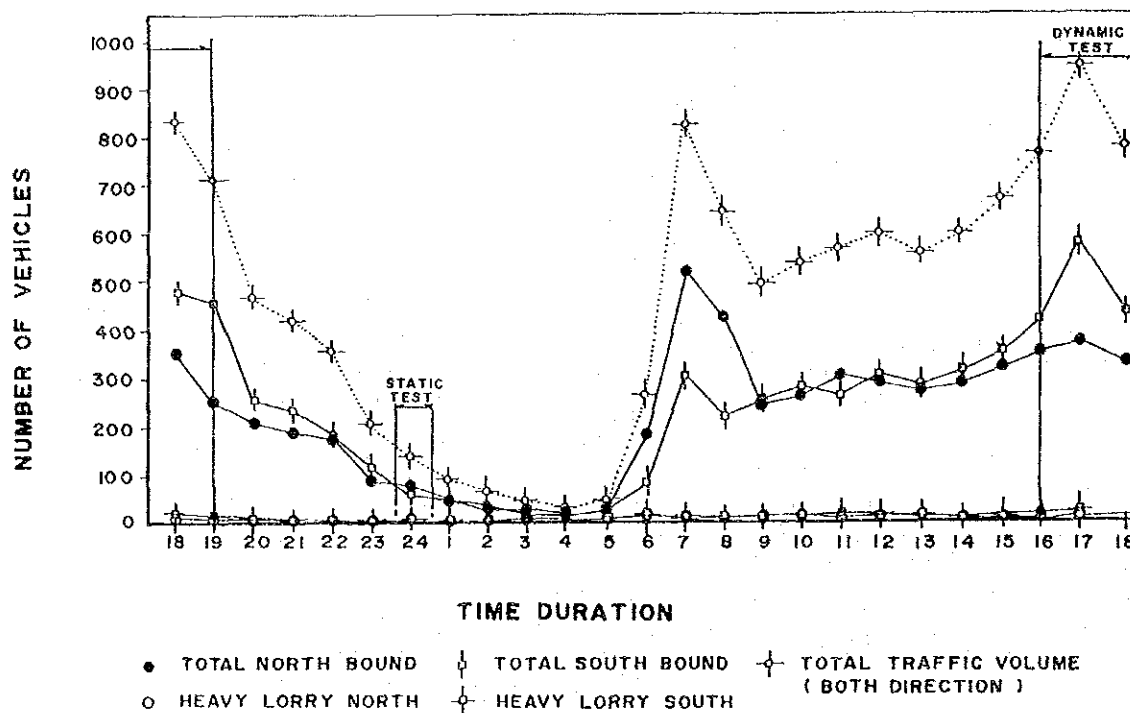
Table 10-1 Loading Position and Loading Case

KEY	BRIDGE TYPE	LOADING CASE	NO. OF TRUCK	LOADING POSITION	REMARKS
237200	SBC	1	1		Inducing moment and deflection of main beam under consideration.
		2	2		Inducing maximum moment and deflection of main beam under consideration.
		3	1		Inducing maximum moment and deflection of deck slab under consideration.
237200	RCB	1	1		Inducing moment and deflection of main beam under consideration.
		2	2		Inducing maximum moment and deflection of main beam under consideration.
		3	1		Inducing maximum moment and deflection of deck slab under consideration.
319110	PCB (Center Span)	1	2		Inducing moment and deflection of main beam under consideration.
		2	4		Inducing moment and deflection of main beam under consideration.
		3	6		Inducing maximum moment and deflection of main beam under consideration.
	PCB (Side Span)	1	1		Inducing moment and deflection of main beam under consideration.
		2	2		Inducing moment and deflection of main beam under consideration.
		3	4		Inducing maximum moment and deflection of main beam under consideration.
		4	1		Inducing moment and deflection of deck slab under consideration.
		5	2		Inducing maximum moment and deflection of deck slab under consideration.
	RCS	1	1		Inducing moment and deflection of deck slab under consideration.
		2	2		Inducing maximum moment and deflection of deck slab under consideration.

10.2.3 交通量調査

24時間交通量調査をピーク時及び最低交通量の時間帯を把握するために、橋梁番号00237200の橋梁で実施した。図10-1に示される交通量データから、最も厳しい現況交通荷重下での影響を調べるため、及び載荷試験中の交通遮断の影響が最小となるように、動的載荷試験及び静的載荷試験の実施時間帯を決定した。

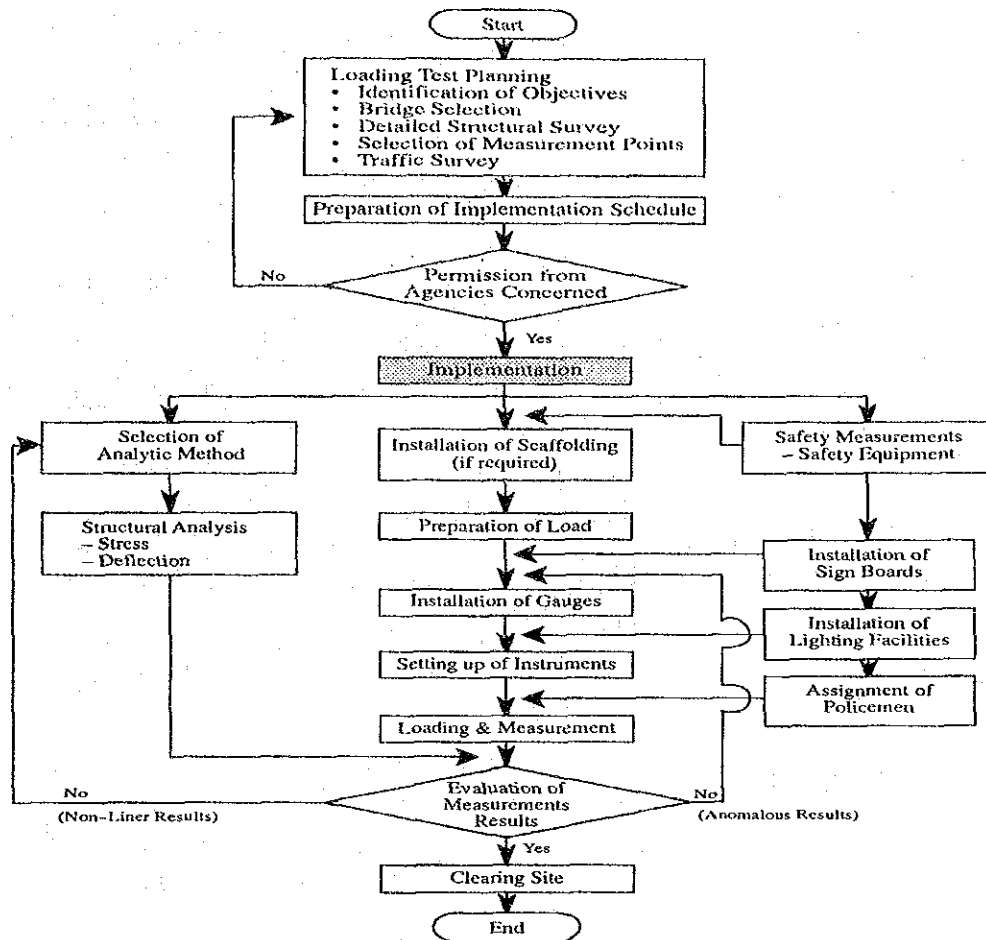
Figure 10-1 Hourly Fluctuation of Traffic Volume at Bridge No. 00237200



10.3 載荷試験の手法

上記の試験計画の立案と実際の載荷試験の手順を図10-2の流れ図に示す。

Figure 10-2 Flow Diagram of Loading Test



10.3.1 荷重の準備

載荷試験用の荷重としては、通常、砂利やコンクリートブロックを積んだ載荷用トラックを使用する。橋梁に荷重を載荷する前に、載荷用トラックの軸間距離や軸重を含む載荷用トラックの諸元を、テープや軸量計を使ってそれぞれ測定しなければならない。このデータは載荷位置の確定や構造計算のために使われる。載荷用トラックの車輪の載荷位置は、カラーペイントを用いて舗装面に印した。

10.3.2 予備的構造解析

載荷試験で載荷する荷重によって、対象橋梁に異常や損傷が発生しないようにしなければならない。そのために、詳細構造調査を通して収集したデータを用いて構造計算を事前に行った。設計活荷重と載荷試験での最大載荷状態における断面力の比較を通してこの検討を行い、載荷荷重によって橋梁に発生する応力度やたわみを事前に算定した。

上記の計算結果から、載荷試験での最大載荷状態は設計活荷重の70～80%に相当し、各橋への試験荷重での載荷では構造的に問題を生じない事が確認された。また、載荷試験結果の信頼性を現場で照査するため、下記の応力度及びたわみを算定した。

Strain and Displacement of Considered Points

KEY	BRIDGE TYPE	BRIDGE PART	MEASUREMENT POINT	STRESS (N/sq.mm)	DISPLACEMENT (mm)	REMARK
00237200	SBC	Beam (G2)	Lower Flange	19.3	1.00	<1
		Beam (G3)	Lower Flange	20.5	1.07	<1
		Deck Slab	Main Rebar	24.9	0.18	<2
		Deck Slab	Dis. Rebar	46.0	N/A	<2
	RCB	Beam (G2)	Main Rebar	25.1	1.26	<3
		Beam (G3)	Main Rebar	28.6	1.44	<3
		Deck Slab	Main Rebar	18.9	0.09	<2
		Deck Slab	Dis. Rebar	27.9	N/A	<2
00319110	PCB (C)	Beam (G1)	Lower Flange	5.2	10.53	<4
		Beam (G2)	Lower Flange	5.4	11.63	<4
	PCB (S)	Beam (G1)	Lower Flange	3.4	1.48	<5
		Deck Slab	Main Rebar	31.9	1.93	<6
		Deck Slab	Dis. Rebar	83.9	N/A	<6
00834850	RCS	Slab	Main Bar (in)	25.5	0.43	<7
			Main Bar (in)	46.5	N/A	<7
			Main Bar (out)	6.9	N/A	<7
			Main Bar (out)	0.0	N/A	<7

註 記； 上記解析に適用した構造理論や仮定は下記の通りである。

- <1
 - ・ ギヨンマソネの直交異方性版理論による横方向荷重分配計算に対して、床版、主桁、横桁の剛性を考慮した。
 - ・ 合成作用を考慮した。
 - ・ 弾性係数は $2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ と仮定した。
 - ・ コンクリートと鋼の弾性係数比は、 $n=15$ とした。
- <2
 - ・ 両端単純支持の等方性版に置換した。
 - ・ 床版コンクリートの弾性係数は $2.5 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ と仮定した。
- <3
 - ・ ギヨンマソネの直交異方性版理論による横方向荷重分配計算に対して、床版、主桁、横桁の剛性を考慮した。
 - ・ 鉄筋コンクリートの弾性係数は $2.8 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ と仮定した。
- <4
 - ・ ギヨンマソネの直交異方性版理論による横方向荷重分配計算に対して、床版、主桁、横桁の剛性を考慮した。
 - ・ P.Cコンクリートの弾性係数は $3.1 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ と仮定した。
- <5
 - ・ 2主桁形式なので、横方向荷重分配を考慮しなかった。
 - ・ P.Cコンクリートの弾性係数は $3.1 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ と仮定した。
- <6
 - ・ 主桁と横桁による4辺固定支持の等方性版に置換した。
 - ・ 床版コンクリートの弾性係数は $3.1 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ と仮定した。
- <7
 - ・ 両端単純支持の有限長等方性版理論を適用した。
 - ・ 床版コンクリートの弾性係数は $2.5 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ と仮定した。

10.3.3 安全管理

実橋載荷試験の中で、安全管理は最も重要であり、試験は関係署官庁と調整・協力して慎重に実施すべきである。重要な安全管理の項目の中で、交通制御を最優先すべきであり、載荷試験前、試験中及び試験後に適切に、手際よく交通制御を行うために本調査では下記の対策を実施した。

- ・交通標識の設置

一般案内標識、交通規制標識などの標識を、関係する郡JKRに依頼して適宜作成・設置した。

- ・交通警察の配置

載荷試験実施中は、安全を確保し、交通制御を円滑に行うために2～3人の交通警察を試験現場に配置した。

- ・載荷用車両の載荷手順

交通の遮断を最小限にするため、載荷用ダンプトラックの載荷手順を事前に十分調査・検討した。

10.3.4 足場工の設置

足場工の設置は、載荷試験の主要な準備作業のひとつであり、橋梁の桁下高が3～4m以上ある場合は、床版や主桁へ近づくために足場工が必要である。

足場工は鋼管支持形式と吊足場形式の2種類に分けられ、それらは橋梁の維持・修繕作業に一般的に使用されている。載荷試験の実施にあたって、準備作業や試験中のコンクリートのひび割れ観察を行う作業員のために足場工が必要であり、調査機器や作業員の過載荷重 150kg/m^2 と死荷重を考慮して個別に設計した。その図面を図10-3及び図10-4に示す。足場工の設置は現地建設業者に委託した。

Figure 10-3 Hanger Type Scaffolding

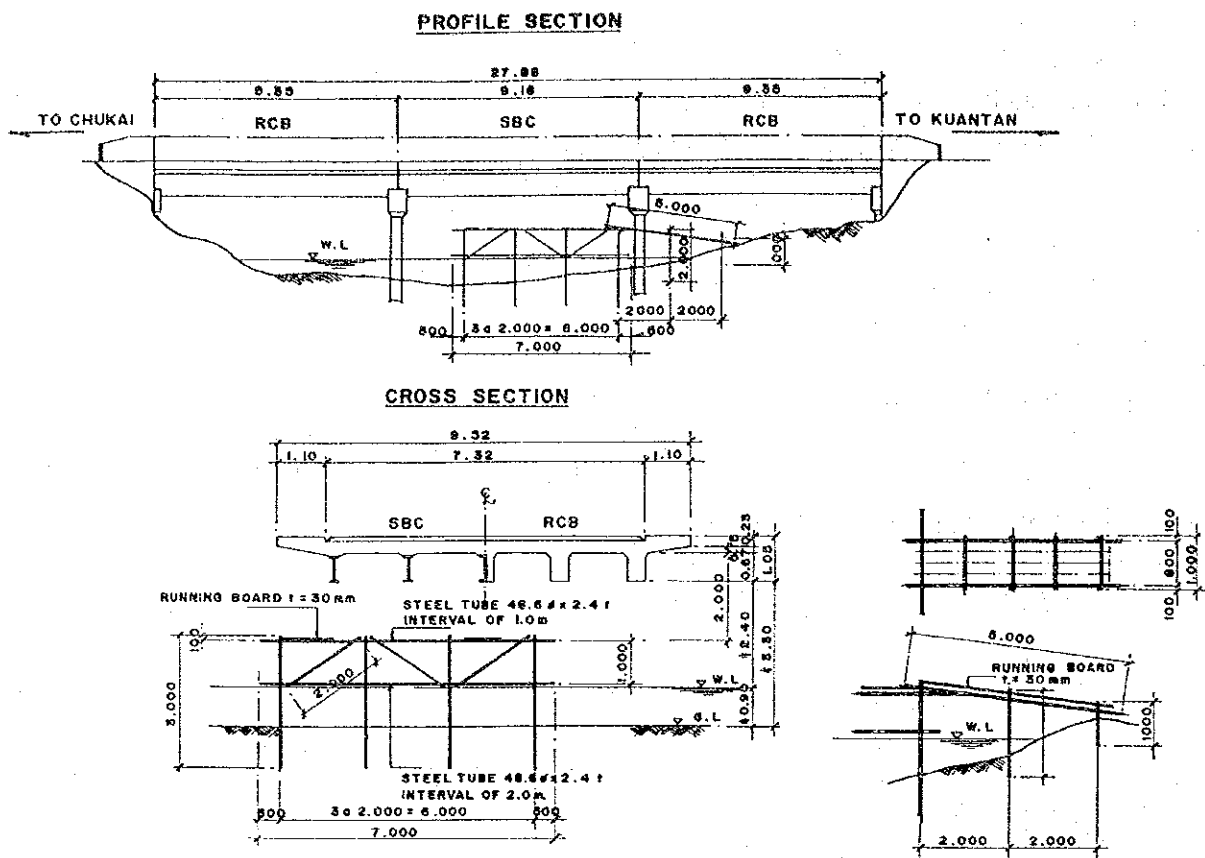


Figure 10-4 Pipe Support Scaffolding

