

これらの化学的試験の結果は、全国軸重調査の調査結果を検証すると共に、コンクリートの化学的な損傷の原因を解明する上で有効であり、これにより効果的な修繕工法の立案を行った。

地質及び水質調査では、最大深45.5mの陸上ボーリング、標準貫入試験、土試料採取、乱されない土試料の採取、地下水及び河川水の採取、土質の特性値を得るための室内試験、表土や水の化学分析、孔内水平載荷試験及びPS検層法による杭長測定などを行った。

これら試験によって得られた土質の諸常数は、既設橋梁の検討、基礎工形式の選定及び設計などに使用された。また、地質調査結果に基づき、橋梁番号00546980の橋梁基礎工の損傷が下記3項目の組合せに起因することが判明した。

- ・ 原設計の杭の支持力は不十分であった。
- ・ 杭の支持力不足は、軟弱な海成粘土の圧密沈下による負の周面摩擦力によって更に悪化した。
- ・ この圧密沈下は土の側方流動を誘発し、横方向の力が杭に作用し曲げを発生させた。

水質及び表土調査の結果、大半の橋梁現場における硫酸塩含有量は無視できる値であり、コンクリート杭の損傷原因が硫酸塩によるものとするNALSの結論と矛盾する事が判明した。又、損傷の原因は、酸の存在及びコンクリートの高い水セメント比によるものと判明した。従って、修繕計画の立案に際しては、単位セメント量 $300\text{kg}/\text{m}^3$ 以上の普通ポルトランドセメントを使用した低い水セメント比のコンクリートを使用する事を提案した。

3.4.3 河川水文調査

詳細調査の一環として行った河川水文調査の目的は、水工学の視点に立って対象橋梁20橋の修繕計画を立案すること、及び河川工学的見地から橋梁設計に関する基準を策定することである。

上記目的に沿って実施された河川水文調査は、河川工学的視点からの現場調査及び水文解析の二つに大別される。

(1) 現場調査

水工学的視点からの損傷及びその原因を解明する為、20橋の地形図を参照して現場調査を行った。主な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

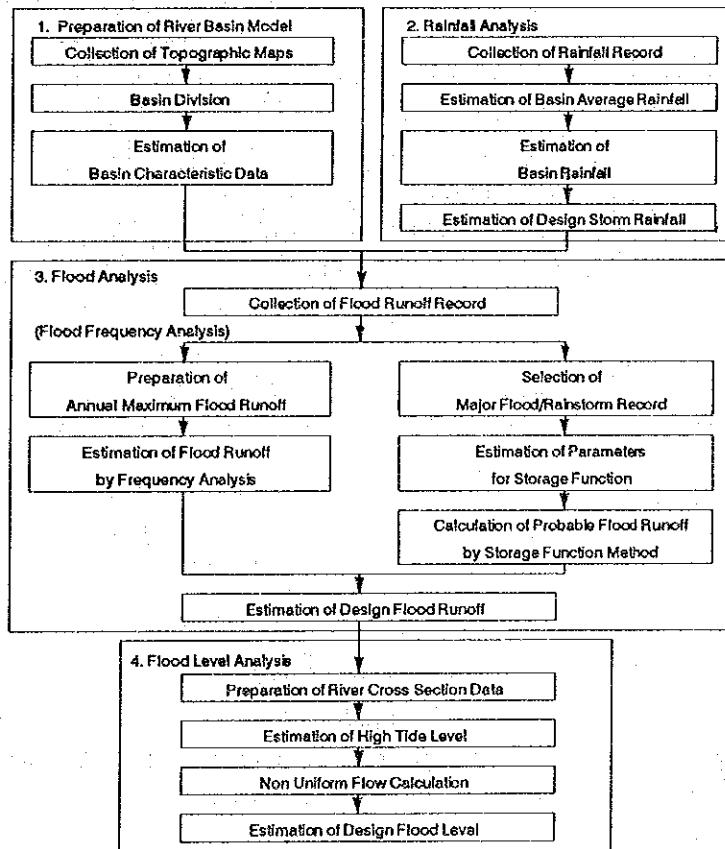
(2) 水文解析

水文解析の目的は、下記河川状況を理論的に検討することであり、その対象橋梁は、クランタン川の橋梁00371000、ドゥングン川の橋梁00346740、ポンティアン川の橋梁00319110及びエンダウ川の橋梁00317000などの代表的な主要河川に架かる4橋とする。

- ・ 洪水の規模
- ・ 河川の流下能力
- ・ 洪水位

水文解析にあたって、洪水流出量計算及び降雨解析には、貯留関数法及びティーセン法をそれぞれ適用した。また、潮位の影響を受ける河川の洪水位解析には、不等流計算を採用した。水文解析の全体流れ図を図3-7に示す。

Figure III-7 Overall Flow for Hydrological Analysis



(3) 水工学的損傷・欠陥及び改修計画

20橋を対象にした現況調査及び主要河川に対する水文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取りまとめて表3-4に示す。

Table III-4 Summary of Hydraulic Defects and Rehabilitation Plans

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
002/372/00	- Exposed footing	- River bight	- Realignment
	- Riverbank erosion	- River bight	- Realignment
002/372/00	- Failure of abutment protection	- Insufficient depth of slope toe	- Reconstruction of abutment protection
	- Submergence of both end spans	- Inadequate bridge clearance at both end spans	- Raising of girders
003/418/10	- Exposed footing of concrete wall	- Local scouring	- Installation of foot protection
	- Failure of abutment protection	- Insufficient depth of slope toe	- Reconstruction of abutment protection
003/467/40	- Inadequate free board	- Insufficient capacity of river channel	- Excavation of river channel
003/710/00	- Riverbed degradation	- Local scouring	- Installation of riverbed protection
	- Riverbank erosion	- River bending in upstream	- Installation of riverbank protection
	- Failure of abutment protection	- Local scouring	- Reconstruction of abutment protection
Dambai	- Riverbank erosion in both upstream and downstream		- Construction of slope protection
	- Riverbank erosion	- River bending in upstream	- Construction of slope and abutment protection

現況調査から、マレイシアでは、橋梁の計画及び設計に対して河川工学的な事項があまり考慮されていないことが明らかになった。従って、日本の河川構造令に若干の修正を加えた基準を、今後の橋梁設計に適用することを提案した。この基準には、橋長、基準径間長の決定手法、桁下余裕高、橋台・橋脚の位置及び橋脚基礎の最小根入れ深さなどの規定を含んでいる。

3.4.4 詳細構造調査

詳細構造調査の目的は、20橋に関わる概略維持・修繕設計の実施に必要なデータを入手することであり、この調査では、構造詳細の測定、材料強度の計測及び材料劣化度の測定を行った。

(1) 構造詳細測定

構造詳細測定は、橋梁諸元測定、ひび割れ・腐食状況調査、鉄筋径及びかぶり厚測定、鋼材板厚測定、杭長測定などを実施した。構造詳細測定の主目的は、各橋梁の実測構造図を作成することであり、全ての測定結果は図面に取りまとめた。

(2) 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はコンクリートコア採取及び超音波コンクリート品質試験機 (UPV)、シュミットハンマーを使用して実施し、鋼材強度についてはエコーチップを用いた。

試験結果及び英国規格の関連する条項あるいは技術参考書を参照して構造検討に適用する各構造材料の強度を下記の通りとした。

(Unit: N/mm²)

Concrete(1)				Steel(2)	
Superstructure		Substructural		Structural Steel	Rebar
Beam	Slab	Abut/Pier	Pile		
20(3) or 25(4)	20	20	25	230	230

- Note: (1) Cube strength at 28 days
 (2) Yield strength
 (3) For R.C. structure
 (4) For P.C. structure

(3) 材料劣化度測定

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、アルカリ骨材反応試験である。また、ゴム支承の組成分析試験も行った。これら試験結果を取りまとめて表3-5に示す。

Table III-5 Summary of Test Results of Material Deterioration Degree

Type of Test	Summary of Results/Findings
Carbonation Test	<ul style="list-style-type: none"> - Most substructures are not carbonated. - For superstructure: <ul style="list-style-type: none"> · Most PC beams are not carbonated · Insite RC and encased steel beams have been carbonated to depth varying from 2 to 60mm · Quite a number of deck slabs have been carbonated with depth varying from 11 - 70 mm.
Chloride Test	<ul style="list-style-type: none"> - Most piles are badly attacked by chloride. - For superstructure only beams and slabs of bridge 00317000 have been badly attacked by chloride.
Sulphate Test	<ul style="list-style-type: none"> - All the bridges tested for sulphate show that the percentage of sulphate is within the acceptable limit. - Therefore the defect observed could have been caused by other aggressive agents.
Rebar Corrosion Test	<ul style="list-style-type: none"> - All the bridges tested indicated that all the rebars have not corroded yet or that corrosion is not serious yet.
Formation Analysis of Bearing Pads	<ul style="list-style-type: none"> - 2 samples were taken from Bridge 00701810 and Dambai bridge. - The test result of sample at Bridge 00701810 shows that it is made from NR and SBR which are less resistance to ozone. Thus this characteristic is the cause of defects observed. - Main reason for defect at Dambai is due to load concentration at lower flange edge.
Alkali-Aggregate Reaction Test	<ul style="list-style-type: none"> - Cracks on pile head at Bridge 00319110 are caused by Alkali Aggregate Reaction (AAR).

3.4.5 実橋載荷試験

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それ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している。従って、ほとんど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、構造解析のみで既設橋の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、余剰耐荷力の値は必須のデータである。この問題を解決する為に実橋載荷試験は極めて有効な手段である。

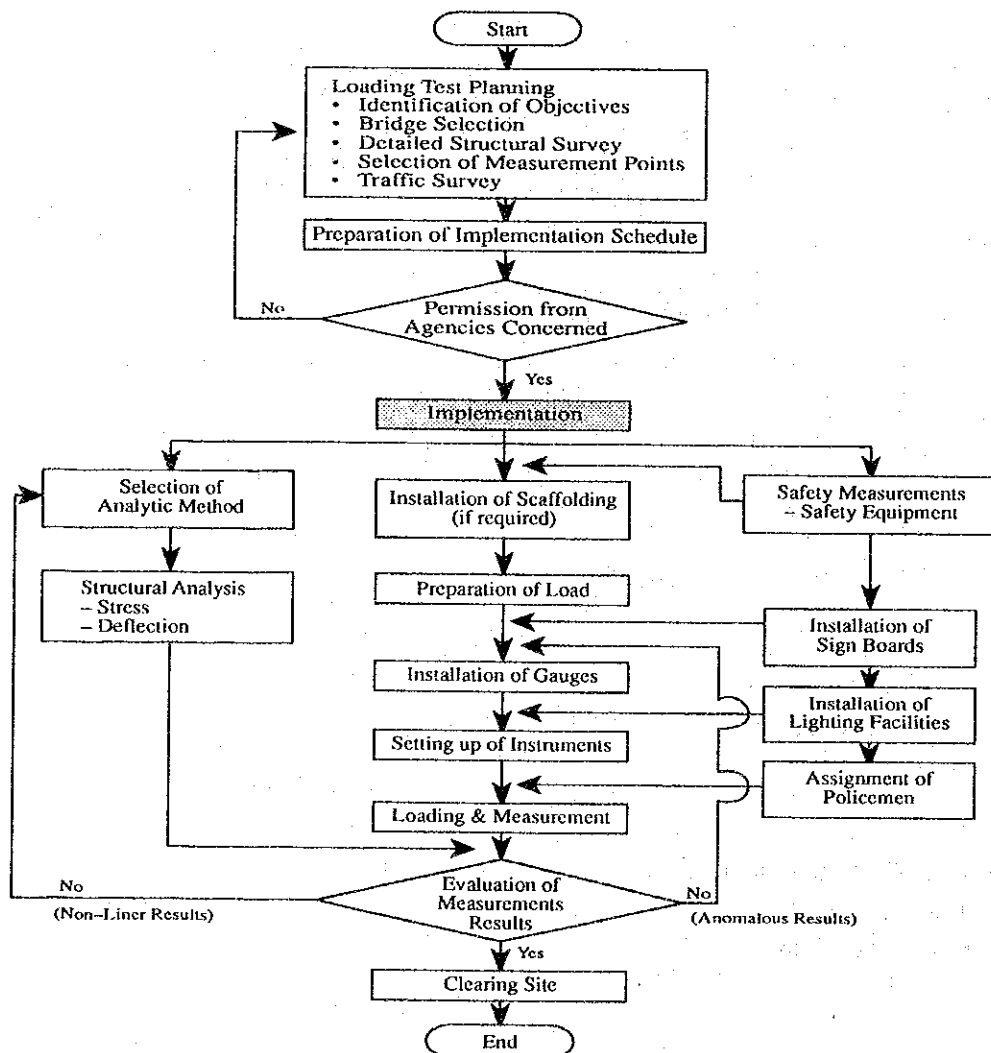
上記のように、本調査の実橋載荷試験の主目的は、主要部材の構造的な余剰耐荷力を算定することである。この目的に沿って、応力度とたわみに関して、理論計算値と載荷試験からの実測値との比較を行い、余剰耐荷力値を算定する。また、載荷試験の二次的な目的は、構造計算に適用した構造理論や仮定が、橋梁の構造検討を行う上で妥当かどうかを確認することでもある。

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5橋梁形式を選定した。

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、選定した5橋全てを対象に行った。動的載荷試験は、現況交通荷重のもとで部材に生じる実際の作用ひずみを測定することであり、最も交通量の多い路線上に位置する橋梁番号00237200のみで試験を行った。

載荷試験の手順を図3-8に示す。

Figure III-8 Loading Test Procedure



実橋載荷試験の結果、SBC、RCB、PCB形式の橋梁の主桁は、設計応力に関して約20%の余剰耐荷力を有していることが判明した。静的及び動的載荷試験結果を取りまとめて表3-6、表3-7にそれぞれ示す。

Table III-6 Summary of Assessment Results of Static Load Tests

Bridge No	Bridge Component/ Member	Summary of Assessment Results
00237200 (SBC & RCB)	Main beam of SBC	<ul style="list-style-type: none"> . Rigidity of the steel beam is considerably less than that used in design. . Effect of composite action in SBC is suspicious. Hence it is recommended for beams in SBC bridge assessment work should be considered as a non-composite beam. . The test result indicates that beams in SBC have reserved residual loading capacity of about 20%.
	Main beam of RCB	<ul style="list-style-type: none"> . Little variation between load test result and theoretical calculation. . Orthotropic plate theory in lateral load distribution could be applied to the assessment. . The test result indicates that the beams in RCB have about 20% reserved residual strength.
	Deck slab of SBC and RCB	<ul style="list-style-type: none"> . Concrete deck slab is more than adequate to take design wheel load of 10 tonne.
00319110 (PCB) & (PCB)	Main beam of centre span	<ul style="list-style-type: none"> . Little variation between load test result and theoretical calculation. . Beams are working as an elastic body and the prestressing force is still effective. . The test result indicates that this type of beam has reserved residual loading capacity of about 20% of the design stress.
	Main beam of approach span	<ul style="list-style-type: none"> . The beam is working as an elastic body and the prestressing force is working effectively. . The result tally with theoretical calculation. . This type of beams has reserved residual loading capacity of about 20% in term of the design stress.
	Deck slab of approach span	<ul style="list-style-type: none"> . Concrete deck slab is more than adequate to take wheel load of 10 tonne.
00834850 (RCS)	Main slab	<ul style="list-style-type: none"> . Longitudinal construction joint provided along the centre line has no distribution rebar installed, but has connector which function for transferring shear only. . Deflections from load test are higher than those theoretically calculated. This causes by non-uniform or low quality of concrete in the bridge, attest by large honey comb on soffit of the bridge. . This type of bridge has reserved residual loading capacity of about 10% in term of design bridge.

Table III-7 Summary of Assessment Results of Dynamic Load Test

Type of Test	Summary of Assessment Results.
Dynamic Test under Existing Traffic During Peak Hour	<ul style="list-style-type: none"> . Maximum stress recorded is 2.28 and 2.31 times compared to those in static test for SBC and RCB beams respectively. . Hence it was presumed a vehicle of gross weight of about 40 tonne passed on the bridge during the test period. . Since a single 40 tonne vehicle produces an equivalent to 40% of HA load in SBC and 57% in RCB, it was concluded that the bridge has adequate durability to take live load derived from the existing traffic at this specific location.
Dynamic Test under Known Load at Different Running Speed	<ul style="list-style-type: none"> . Impact stress was known to be related to the smoothness of the surface and the running speed and hence the test result was not conclusive. . Discordance was caused by wheel position being not coincidence with wheel locus as those under static load test.

3.5 適用活荷重の検討

調査対象橋梁は、橋梁建設時の関連する英国規格 (BS) を用いて設計・施工されている事が一般に知られている。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活荷重を導入・施行した。そこで、本調査に適用する最適な活荷重を決定するために、適用活荷重の検討を行った。

上記背景を踏まえ、最初にマレーシアにおける活荷重の歴史的な変遷を解明した。次にかつて適用されたいくつかの設計活荷重とJKRの現行活荷重による断面力の比較検討を実施し、断面力の違いを算定した。その後、これらの検討結果に基づいて、本調査で適用する活荷重を決定した。

3.5.1 マレーシアにおける設計活荷重の変遷

1942年以前にマレーシアで建設された橋梁の設計活荷重に関わる記録はないが、鋼桁上の桁製造会社名などから英国で設計されたと考えられる。従って、これらの橋梁は1922年の英国運輸省の連行自動車荷重基準と同等のBS153で設計されたと考えられる。1942年以降の橋梁については、かつての英国運輸省の連行自動車荷重基準に由来するBS153 Part 3AのHA荷重で設計されたことは確実である。また、1975年以降の橋梁は、HB荷重を橋梁幅員の中心線に沿って限定載荷した活荷重載荷状態 (HB GUIDED荷重) で設計されたものである。

JKRは1990年に"JKR橋梁設計活荷重基準"を導入した。これによれば、連邦道路上の全ての橋梁は、長期軸重活荷重 (LTAL)、20ユニット特殊車両 (SV) の限定載荷または7ユニット特殊車両の自由載荷の内、最も不利な活荷重載荷状態に対して設計される。これに対して、州道上の橋梁は中期軸重活荷重 (MTAL) で設計される。

LTALは想定車線あたり100kNの線荷重 (KEL) と等分布荷重 (UDL) からなる。この荷重はBD21/84の荷重曲線に修正を加えて算出した荷重モデルに基づき設定されたものである。特殊車両荷重 (SV LOAD) は特殊車両のユニット荷重であり、20ユニットSVの場合、牽引車と多軸トレーラーからなり全重量430tonである。MTALも又等分布荷重と線荷重からなっており、その荷重強度はLTALより小さい。MTALは、BS153のHA荷重及び45ユニットの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設定された。従って、MTALはHB GUIDED荷重とほぼ同等である。

3.5.2 断面力の比較

上記検討に基づき、適用可能性のある活荷重はHA、MTAL、LTAL、SV荷重のいずれかである。従って、これらの設計荷重によって生ずる断面力を比較してその違いの程度を明らかにする検討を行った。

(1) 代表的な橋梁形状

同一条件で断面力の比較をするため、全対象橋梁を統計的に分析して代表的な橋梁形状の設定作業を実施した。調査対象橋梁の支間長は1.8mから45.78mの範囲にある。一方、車道幅員は平均7.05mである。従って、支間長50m以内、車道幅員7.05mの橋梁を対象に横方向荷重分配を考慮しないで断面力の比較を行った。

(2) 活荷重による断面力の比較

比較計算結果から、35.0m以上の支間長ではSV荷重を適用した場合、曲げモーメント及びせん断力はHA荷重の場合のほぼ倍に達することが判明した。即ち、20ユニットSV荷重とHA荷重による断面力の比較検討結果より、大半の調査対象橋梁はSV荷重に対する耐荷力を有していない、或いは、20ユニットSV荷重を適用した場合大規模な補強対策が必要であることが明らかになった。従って、SV荷重は適用活荷重から除外した。一方、MTAL及びLTALによる最大断面力はHA荷重に比較してそれぞれ26.1%、35.3%増加であると判明した。

上記のように活荷重による断面力の増加率が比較的大きいが、活荷重の影響は全荷重に対する死荷重の割合によって異なることから、死荷重及び活荷重の影響を考慮した検討を更に行った。

(3) 全荷重による断面力の比較

考慮した代表的橋梁形式は、支間長5m～15mのSBB,SBC,RCB,RCS、支間長10m～20mのIT及び同25m～50mのPCBである。車道幅員は7.05mとした。

死荷重を含むHA荷重に比較して、活荷重としてMTALを適用した場合の断面力の増加率は全て20%以内であり、その最大値は支間長6mのSBBの増加率が19.89%である。一方、LTALの場合、断面力の最大増加率は支間長6mのSBBで26.9%となる。断面力の増加率が20%を超過する橋梁形式は支間長6mから9mのSBB,SBC,RCB及びRCSであり、これらの橋梁は全対象橋梁の28%を占める。

(4) 結論

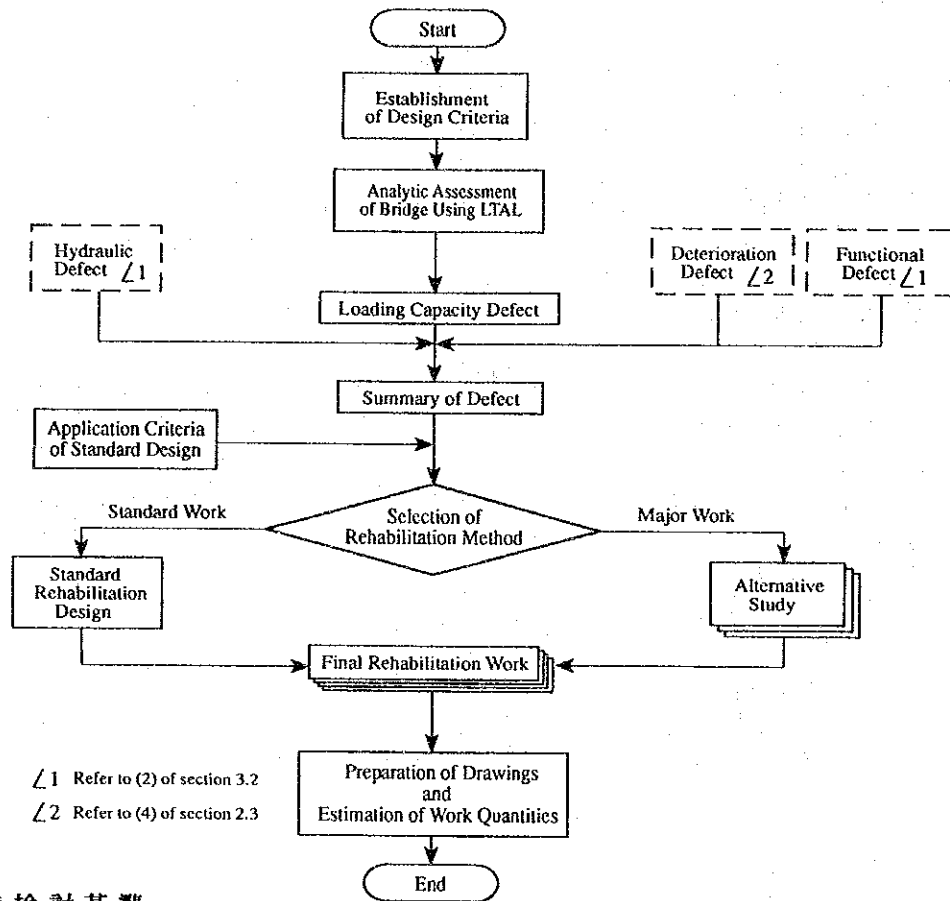
以上の検討結果から、下記事項に基づき、本調査の活荷重としてLTALを適用するのが望ましいと考えられる。

- LTALは、連邦道路に適用されるべきJKR現行活荷重基準である。
- 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。
- LTALの断面力がHA荷重に対して20%以上超過する橋梁は、調査対象橋梁の28%のみである。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、それ以外の橋梁に対しても、標準的な補強対策を行うことによって耐荷力の増大をはかる事が技術的に可能であると考えられる。

3.6 概略修繕設計

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、長期軸重活荷重 (LTAL) を適用して橋梁の構造解析、標準的修繕設計の実施、主要な修繕対策に対して比較設計を行うこと及び各橋梁の修繕工事数量を算出することである。本設計は詳細調査で得られた全ての結果に基づき実施し、その設計の流れを図3-9に示す。

Figure III-9 Flow Chart of Preliminary Design



3.6.1 構造検討基準

本調査において適用する構造検討基準は、原則としてJKRの現行設計マニュアルに準拠しているが、その仕様が不明確な箇所に関しては、日本の道路橋示方書を適用した。検討基準は下記項目を含む。

- 幾何構造基準
JKR "ARAHAN TEKNIK (JALAN) 8/86" に準拠する。
- 橋梁幅員
JKR "ARAHAN TEKNIK (JALAN) 8/86" の 5.11 に準拠し、R5 を適用する。
- 桁下余裕高
マレーシアの河川状況を考慮して日本の河川構造令に若干の修正を加えて適用する。

- 一 橋梁設計荷重
考慮する荷重は死荷重、活荷重(LTAL)、群集荷重、牽引／制動荷重及び土圧である。
- 一 設計手法
 - ・ 既設橋梁部材の解析・検討及び修繕設計は、BS153(i)Part3B及びBE1/73に基づいた弾性設計法（許容応力度法）を適用する。
 - ・ 既設橋に添架しない歩道拡幅または新橋設計の場合、BS5400及びBS4360に基づいた限界状態設計法を適用する。
- 一 適用設計基準
上記検討基準を作成する上で、JKRの橋梁設計マニュアルを主に参照した。加えて、日本道路協会発行の道路橋示方書及びBS 153, BE 1/73, BS5400 Part 1, 2, 3, 4をも参照し検討基準を作成した。

3.6.2 構造解析

修繕対策を立案する上で、材料の損傷・劣化、耐荷力、橋梁機能、水工学的欠陥及び損傷原因など、全ての欠陥を究明することが不可欠である。これに基づき、損傷原因を効果的に改善する最適な修繕工法の選定ができる。

この目的に沿って前節までに、水工学的視点、材料の損傷・劣化及び橋梁機能の視点から、詳細調査対象橋梁20橋の評価を実施した。従って、本節では、橋梁耐荷力の面から構造解析を行い、橋梁部材がLTALに対して十分な耐荷力を保有しているか否かを検討した。

(1) 検討手法

一 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計算した最大作用応力度と鋼材の許容応力度とを比較する。その後、最大作用応力度を20%（鋼桁橋の付加余剰耐荷力）低減した後、それが許容応力度以内であれば、鋼桁橋は安全と考える。

上記の手法を、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%の低減係数を使用した。

一 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。従って、その増加率がP.C桁の余剰耐荷力値（20%）以内であれば、P.C桁は安全であると考えた。

一 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、それら資料の不足から、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、反力の増加率が20～30%以下であれば、下部工は安全であると考えた。

(3) 解析結果

20橋梁の解析結果を取りまとめて表3-8に示す。その結果に基づけば、バックルプレート床版鋼鉄桁橋のバックルプレート床版と主桁及び2主桁形式のPC桁を除くほとんどの橋梁はLTALに対して十分耐荷力有しており、補強を行う必要性はない。

Table III-8 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	
	RCB	-	+86.7	-	R.C Beams have inadequate capacity.
237200	SBC	-26.7	+2.1	+20.4	
	RCB	-27.5	-27.1	-	
317000	PCB	-28.0	-20.0	+5.0	
319110	PCB	-6.8	+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	+7.8	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	+92.9	+24.4	+3.6	Slab and beams have inadequate capacity.
	RCB	-	-12.8	-	
371000	RCB	-7.3	-7.6	-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.

3.6.3 修繕対策のまとめ

前節までの検討結果に基づき、全ての損傷とその発生原因が明らかになり、これらのデータを踏まえて、部材毎に適切な修繕工法を選定した。20橋梁に対して選定された修繕工法をとりまとめて表3-9に示す。

Table III-9 Summary of Selected Rehabilitation Methods

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

3.6.4 標準修繕設計

選定された修繕工法の中から、橋梁の維持修繕の分野で比較的良好に知られている標準的修繕工法に対して、その適用基準も含めて検討を行った。

標準修繕設計は7種類に大別される。即ち、1)コンクリートへの保護工、2)コンクリートへの補強、3)鋼材への保護・補強、4)下部工の保護・補強、5)河川に関わる対策工、6)付帯施設、7)仮設工である。

コンクリートの保護工は、進行する恐れのない損傷を有するコンクリート部材に適用する。この具体的な工法としては、エポキシ注入工法、充填工法、被覆工法、コンクリート吹付け工法、防水工法が挙げられる。

コンクリートの補強工は、原則として、耐荷力不足あるいは進行性の損傷を有する橋梁部材に適用する。修繕工法としては、鋼板接着工法、追加鉄筋の付設を伴うプレキャストコンクリートによるライニング工法、追加鉄筋の付設を伴うコンクリート吹付け工法が挙げられる。

鋼部材の保護工は、進行する恐れのない損傷を有する鋼部材に適用する。具体的修繕工法としては、再塗装工、コンクリート巻立て工法が挙げられる。

鋼部材の補強工法は、耐荷力不足を有する鋼部材に適用する。修繕工法としては、カバープレート添加工法、鋼杭へのコンクリート巻立て工法が挙げられる。

下部工の保護・補強工は、コンクリート製の下部工あるいはブロック積み下部工に適用する。修繕工法としては、コンクリート巻立て工法、追加鉄筋の付設を伴うコンクリート巻立て工法があげられる。

水工学的対策工は、護岸工、法尻護岸工、床固工及び河道変更工から構成される。護岸工は、橋台廻りの浸食された河岸法面に適用する。法尻護岸工は、河床の洗掘による法面破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防止の為に使用する。河道変更工は、架橋地点上流部の河川の蛇行に起因する著しく浸食された河岸に適用する。

3.6.5 比較設計

20橋の内、大半の橋梁は標準的な修繕工法を適用して修繕可能であるが、橋梁番号00166510、00317000、00161140の3橋については、橋梁の架換え、橋梁の嵩上げ、バックルプレート床版の打換えなどの修繕対策が考えられた。

従って、これらのケースに対して、最適な修繕工法を選定するために、各橋梁毎に三つの比較案を立案し、各比較案に対して構造的側面、建設費、維持費、建設工期、及び景観的観点から評価を行った。

評価結果に基づき、橋梁00166510は、上部工にプレストレス逆T桁（IT）及び下部工にR.C打込み杭基礎を伴う逆T式橋台によって新橋に架換えるのが望ましいと判断された。また、両端支間が冠水することが判明した橋梁00317000は、両端支間のP.C上部工を架換え、橋台を約1.4m嵩上げするものとした。一方、バックルプレート床版の打換えが必要な橋梁00161140に対しては、場所打ちR.C.コンクリート床版による打換えを最適修繕工法として選定した。

3.6.6 概略修繕設計の結果

標準修繕設計及び上記比較設計結果を踏まえて、最終的に各橋梁に対する維持修繕工法を決定した。同時に、構造解析に基づいてLTALに対し耐荷力不足である橋梁部材を対象にして補強設計を行った。その後、20橋の概略設計図面を作成し、20橋の修繕対策工事数量を算出した。架換え、嵩上げ、床版打換えなどの大規模修繕対策工に関わる作業手順は、各橋梁の一般図に記載した。一方、各標準的修繕工法の作業手順は、各々の標準図と伴に記述した。維持・修繕対策に適用する工事仕様は、原則としてJKR道路建設標準仕様書（JKR/SPJ/1988）に準拠した。しかし、その仕様書に規定されていない特殊な項目に関する仕様は標準図の下に簡単に述べられている。

3.7 維持修繕計画の策定

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、199橋を対象に概略修繕設計の結果を踏まえて作成した修繕対策の選定基準に基づき実施した。この調査の主目的は、損傷範囲の測定、修繕計画の立案及び工事数量を見積もることである。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、損傷の程度や範囲などの定量的損傷データがNALS資料に記載されてなかった為この調査を実施した。

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。グループ1は目視調査から除かれた121橋梁であり、グループ2は目視調査は行ったが詳細調査から除かれた78橋である。そのため、補足橋梁調査の目的は、上記の二つのグループにより異なる。即ち、121橋を対象にした調査の目的は、損傷の種類、程度、範囲を確認すること、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、78橋に対しては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。

3.7.1 補足橋梁調査の手法

対象橋梁数が多数であることを考慮し、修繕工法の選定作業が一律的かつ標準的に行なわれる為、概略設計結果に基づいて修繕工法の選定基準を設定した。

修繕工法の選定基準は、構造的な修繕工法、機能的な修繕工法及び水工学的修繕工法の三つに大別される。

(1) 構造的修繕工法の選定基準

構造的な修繕工法は、保護、補強及び架換えの三つに大別される。従って、選定基準も以下の三つの分類に細分化される。

一 保護工法の選定基準

保護工法は十分な耐荷力を有するが、乾燥収縮やクリープ、温度応力など進行する恐れのないのび割れ、あるいは豆板や剥離などの施工不良に伴う材料劣化・損傷を有する橋梁部材に適用する。具体的な保護工法としては、コンクリート部材に対するエポキシ注入工法、充填工法、コンクリート吹付け工法、被覆工法、防水工法、コンクリート巻立て工法、及び鋼製部材に対する再塗装工、コンクリート巻立て工法が挙げられる。

上記修繕工法の適用は、損傷の種類、範囲、程度及びその発生原因によりその適用も異なり、各修繕工法はその適用基準と共に定義された。

一 補強工法の選定基準

補強工法は、重大な材料及び構造的欠陥あるいは耐荷力不足を有する橋梁部材に適用する。補強工法を必要とする重大な欠陥とは、曲げやせん断力による進行性のひび割れ、沈下、大きな断面欠損等である。

具体的な補強工法としては、コンクリート部材に対する鋼板接着工法、追加鉄筋の付設を伴うプレキャストコンクリート打足し工法やコンクリート吹付け工法、あるいは鋼製部材に対してはカバープレート添加工法、追加鉄筋の付設を伴うコンクリート巻立て工法が挙げられる。

上記修繕工法の適用は、使用建設材料、応力超過の程度、及び損傷の種類、範囲、程度により異なり、各修繕工法はその適用基準と共に定義された。

一 架換え工法の選定基準

架換え工法は、橋梁部材あるいは橋梁全体の修繕が経済的視点にたつと成立しない場合に適用する。重大な構造的欠陥及び耐荷力不足を有する橋梁部材は適当な橋梁部材に取換えることとし、構造的な欠陥だけでなく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の架換えるものとした。

(2)機能的修繕対策の選定基準

橋梁機能の視点から見た修繕工法は車道拡幅、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選定基準を下記に述べる。

一 車道拡幅

橋梁上の交通容量と現在交通量の比較を行って、全調査対象橋梁に対する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、橋梁の車道拡幅の必要性を決定した。

一 歩道添架

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。

一 嵩上げ

橋梁周辺の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。橋梁がかつて冠水したことが判った場合には、橋梁の嵩上げあるいは橋長の伸長を決定した。

(3) 水工学的修繕工法の選定基準

水工学的視点の修繕工法は、護岸工、法尻護保工、床固工及び河道変更工を含んでおり、その選定は架橋位置で洗掘、浸食などの水工学的な被害を被っている位置、範囲や程度を考慮して行う。

- ・護岸工は橋台廻りの河岸法面浸食防止に適用する。
- ・法尻護保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の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の防止工として適用する。

上記修繕工法の選定は、架橋位置における河川の流下能力、河川規模、洪水流速、基礎形式及び地質などにより異なり、各修繕工法はその対応する適用基準と共に定義された。

3.7.2 維持・修繕計画の策定結果

199橋梁を対象にした補足調査結果、11橋が既に架換え計画があり、もしくは建設中であることが判明にした。従って、調査対象橋梁の数は216橋から205橋（17橋の詳細調査対象橋梁を含む）に減少した。

補足橋梁調査に基づき、各調査対象橋梁毎に修繕工法及びその工事数量が確定した。従って、橋梁形式毎に最も支配的な修繕工法を明らかにする目的で205橋を対象に検討を行った。その検討結果を取りまとめて表3-10、表3-11にそれぞれ示す。

**Table III-10 Summary of Assessment of Rehabilitation Methods
from a Structural Viewpoint**

Bridge Type or Superstructure type	Three Most Dominant Rehabilitation Methods Required	% of Bridge Member Effected
Steel Beam with R.C. Slab Bridges (SBC)	- Steel beams protection by repainting	94.0%
	- Deck slab protection by patching	50.0%
	- Deck slab protection by water proofing	27.8%
Steel Beam Encased Bridges (SBE)	- Encasing concrete protection by patching	33.3%
	- Encasing concrete protection by lining	22.2%
	- Deck slab protection by patching	22.2%
Steel Beam Buckle Plate Bridges (SBB)	- Total replacement of buckle plate by RC slab	100.0%
	- Total replacement of steel bearings	97.1%
	- Steel beam protection by repainting	87.1%
RC Beam Bridges (RCB)	- Deck Slab protection by patching	25.8%
	- RC beam protection by patching	22.6%
	- RC beam reinforcement by bonding steel plate	22.6%
RC Slab Bridges (RCS)	- RC slab protection by injection	43.5%
	- Deck slab protection by guniting	30.4%
	- Deck slab protection by water proofing	26.1%
Precast RC Beam Bridges (PRB)	- Deck slab protection by water proofing	75.0%
	- RC beam protection by patching	15.0%
	- RC beam reinforcement by bonding steel plate	5.0%
Precast RC-Beam Bridges (PRB)	- RC beam reinforcement by bonding steel plate	23.1%
	- RC beam protection by coating	23.1%
	- Deck slab protection by patching	15.4%
Inverted T Beam Bridges (IT)	- Deck slab protection by water proofing	66.7%
	- Beam protection by patching	22.2%
	- Beam protection by injection	11.1%
Abutments	- Abutment protection by injection	28.5%
	- Abutment protection by partial concrete lining	17.1%
	- Protection of abutment foundation by revertments	14.2%
Piers	- Pier reinforcement by partial concrete lining	9.3%
	- Pier reinforcement by total concrete lining	6.8%
	- Pier protection by patching	5.8%

**Table III-11 List of Study Bridges which Require Rehabilitation Work
Based on a Functional Viewpoint**

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	0011376Q (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)

3.8 積算

積算の目的は、203橋⁽¹⁾の調査対象橋梁毎に維持・修繕に関わる事業費を算定する事である。

上記目的に沿って、下記手法を適用した。

- 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橋の概略設計に基づく主要工種を見直し、これに関わる一位代価項目を確定する。
- 上記の作業結果に基づき、支払項目別（あるいは修繕工法別）の工事単価を算出する。
- 算定された単価を分類・分析して、全対象橋梁に適用可能な標準単価を作成する。
- 全対象橋梁を網羅する維持・修繕事業費を見積もる。

3.8.1 20橋に対する単価の算定

(1) 基本条件

積算は、下記基本条件に基づき実施した。

- 労務費、材料費、機械費の価格水準は1991年12月を基準とする。
- 上記単価は市場調査及びJKRの資料に基づく。
- 上記単価はクアラルンプール周辺のものであり、地域による変動は積算に考慮しない。
- 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ものとする。

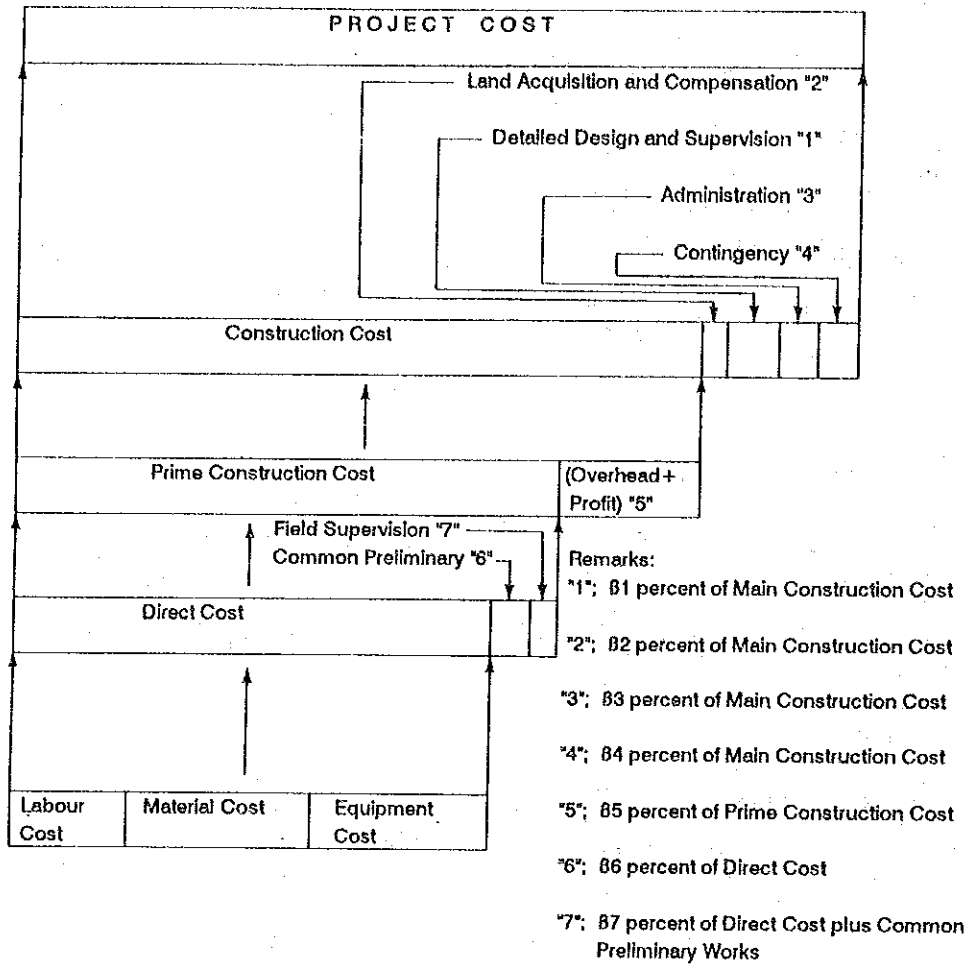
(2) 事業費の構成

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、予備費から成る。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3-10に示す。

(注記) (1)補足目視調査の中で2橋は損傷がない事が判明した。従って、調査対象橋梁は2橋減って203橋となる。

Figure III-10 Structure of Project Cost



本調査で用いる間接費用を算定するための乗率をまとめて表3-12に示す。

Table III-12 Applicable Multiplier Factors for Indirect Items

Factor	Description	Multiplier Factor (%)	Parameter
β 1	Detailed Design and Supervision	6	Construction Cost
β 2	Land Acquisition and Compensation	0	N/A
β 3	Administration	3	Construction Cost
β 4	Contingency i) Physical Contingency ii) Price Contingency	15	Construction Cost
β 5	Overhead + Profit	20	Prime Construction Cost
β 6	Common Preliminary Works	5	Direct Cost
β 7	Field Supervision	4	Direct Cost

従って、事業費はその構成及び間接費用の乗率に基づき次式で与えられ、この結果、事業費は直接工事費の168%となる。

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

(3) 工事単価の算定

工事単価の算定に際しては、計算結果ができるだけマレーシア国の現状に即し、正確な値となるように、下記手法を採用した。

- 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。
- 上記の歩掛を適用して、工事単価を計算する。
- JKRや市場調査から入手した工事単価と上記算定単価を比較・検討し、使用した歩掛を修正する。
- 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て算定する。

上記手法に従って、詳細調査対象橋梁20橋に含まれる全ての支払項目別の工事単価を算定した。

3.8.2 標準単価の算定

全対象橋梁毎の積算を行う目的で、20橋以外の橋梁に適用可能な標準単価を、20橋の工事単価の見直しに基づき算定を行った。

(1) 20橋の工事単価の分類

他の橋梁への適用性の視点から20橋に関わる工事単価を見直し、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する事なく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。従って、20橋の平均工事単価を標準単価とする。

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。

(2) 修繕工法別の標準単価

上記工事単価の分類から、分類 C の工事単価は、その都度個別に算定する必要があり、コンクリート杭の巻立て工法や水工学的の修繕対策に適用する分類 D の工事単価は、標準化が必要である。

コンクリート杭巻立て工法の標準単価は、既設コンクリート杭の径、種類毎に分類し、補間法で径、種別毎の標準単価算定式を求めた。

水工学的修繕工法の標準単価は、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、各修繕工法毎の標準単価を算出した。

上記の手法に基づき、個々の修繕工法の標準単価を作成し、残りの橋梁の修繕工事費を算出した。

3.8.3 事業費の積算

199橋を対象にした補足橋梁調査において、各橋梁の修繕工法を選定し、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応する工事単価の見直し作業を通して、199橋の大半を網羅する修繕工法に適用可能な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、橋梁架換等の修繕工法に関わるこれらの標準単価は他の橋梁には適用できない。従って、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、その橋梁に含まれる各修繕工法の工事数量に対応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、203橋に対する全事業費は、58.148百万マレーシア・リンギットで、費目別内訳を表3-13に示す。

Table III-13 Breakdown of Project Cost

Cost Item	Amount (Million M\$)
Construction Cost	45.428
Engineering Cost	4.543
Administration Cost	1.363
Contingency	6.814
Total	58.148

3.9 経済評価

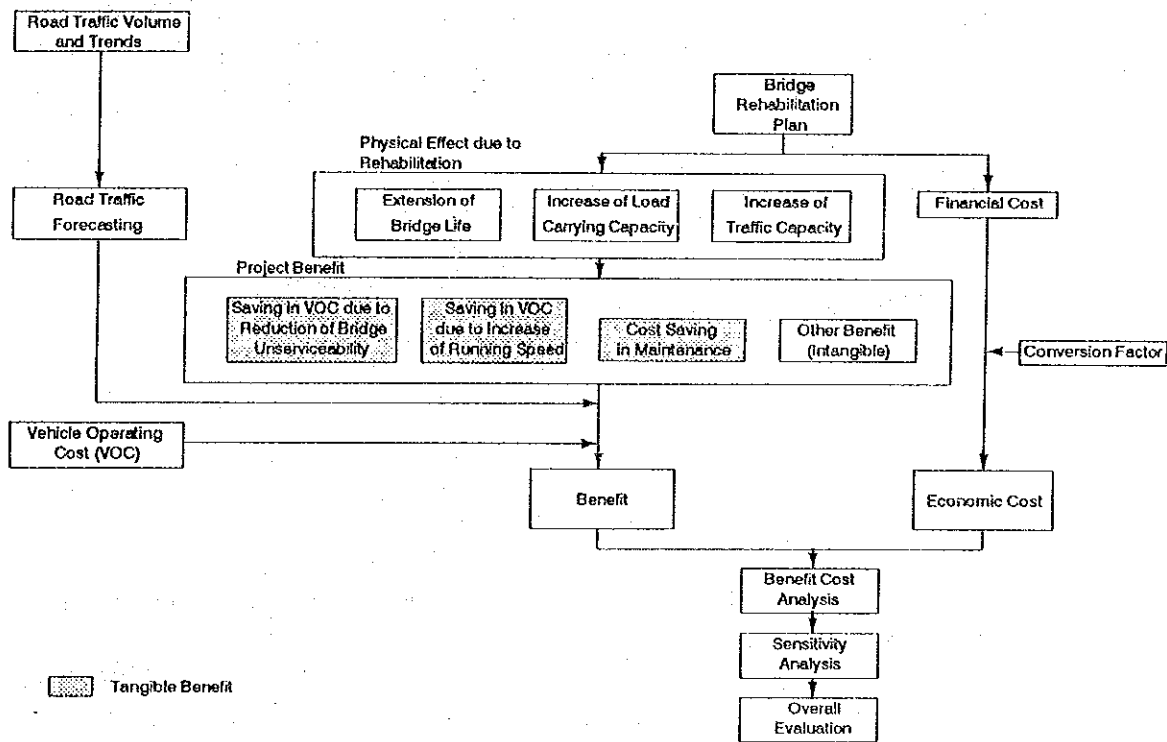
経済評価の目的は、調査対象216橋のうち、調査開始後に架換えられた11橋及び修繕が必要のない2橋を除く203橋について、修繕計画の経済的妥当性を検証し、更に着工優先順位の検討に資することである。

本経済評価の手法策定に関わる基本方針は以下の通りである。

- ・ 対象橋梁数が多いこと及び1橋あたりの修繕費用も比較的小さいことを考慮して、簡略な経済評価手法を確立する。
- ・ 将来交通量は既存の実測データを有効活用して予測する。
- ・ 将来の交通状況の変化に対して、今後JKR独自で経済評価結果の見直しを容易に実施できるようにする。

以上の基本方針を踏まえ、図3-11に示す経済評価の手法を策定した。

Figure III-11 Flow Chart of Economic Evaluation



3.9.1 将来交通量の予測

本調査で採用したトレンド法による将来交通量の予測手順を概説する。

- ・ 各調査対象橋梁に対応する交通量観測地点の選定を行う。
- ・ 各橋梁の車種別16時間交通量、伸び率を決定する。
- ・ 16時間交通量を日交通量に変換する。

- ・ マイナス伸び率の橋梁地点について、伸び率を0と設定する。
- ・ 伸び率を用いて将来交通量を計算する。
- ・ 現在の車種別構成率を用いて、将来日交通量から将来車種別日交通量を算出する。

本調査では” Traffic Volume Malaysia 1989” (HPU, 1989)のデータを利用した。

3.9.2 経済費用

本調査で考慮すべき費用項目は、橋梁の耐久性を向上させ、橋梁機能の拡大を目的とする投資費用である修繕費用、及び修繕工事完成後、橋梁のサービス水準の維持を目的とする投資費用である維持費用の二つである。

財務費用は、総理府経済企画庁より刊行されている変換係数を用いて経済費用へ変換した。本調査では変換係数0.8を用いることとし、この結果、全対象橋梁に対する修繕事業の経済費用は46,518,614マレイシア・リンギットとなった。(財務価格 M\$ 58,148,267 x 0.80で算出される。)

維持費用は、橋梁の位置する地域の自然条件、社会経済条件により異なる。マレイシアにおける標準的な維持費用の資料は存在しないため、OECD各国における調査事例を基にマレイシアの実状を考慮して設定した。この調査から、架換え・拡幅、補強、保護後の維持費用は、それぞれの修繕費用の2.5%、5.0%、10.0%が5年間にわたって支出されるものと仮定した。

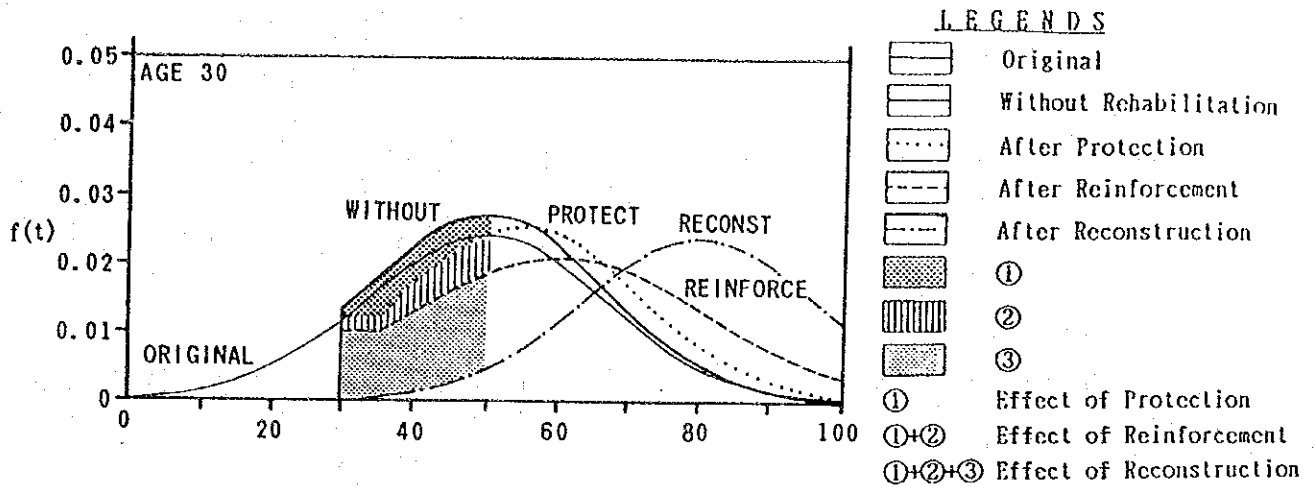
3.9.3 便益の計測

以下の3種類の計量可能な便益が橋梁の修繕により発生するものとする。

- ・ 交通障害の発生減少による自動車運行費用の節減
橋梁の耐久性の向上は、交通障害の発生日数を削減し(橋梁の寿命を長くする)、その結果、迂回による自動車運行費用を節減する。
- ・ 橋梁部通行速度の上昇による自動車運行費用の節約
橋梁の拡幅により、橋梁地点での自動車の運行速度の低下の回避が可能になる。
- ・ 維持費用の節約
橋梁修繕工事实施により、橋梁管理者の維持費用の節約が期待できる。修繕工事实施の場合と実施しない場合との維持費用の差が便益として計測される。

橋梁の交通障害の発生減少による自動車運行費用の節減を定量化するために、“橋梁寿命の統計的解析”(飯塚, 1988, 日本土木学会)から交通障害発生の確率分布モデルを導入する。それによれば、便益は図3-12に示すように修繕を実施した場合と実施しない場合の交通障害発生確率の相違により評価される。

Figure III-12 Probability Density of Bridge Unserviceability, With and Without Rehabilitation



上記3種類の計量可能な便益の計算において、自動車運行費用及び適用した等価橋齢を表3-14、表3-15に示す。

Table III-14 Vehicle Operating Costs by Vehicle Type

Vehicle Type	M ^c ycles	(M\$/km)				
		Cars & Taxis	Buses	S. Vans & Utilities	Medium Lorries	Heavy Lorries
Normal Route	0.046	0.184	1.517	0.498	0.785	1.059
Detour Route	0.055	0.220	1.859	0.632	0.911	1.147
Before Widening	0.066	0.266	2.761	0.867	1.248	1.579

Table III-15 Assumed Equivalent Bridge Age

Overall Rating from Safety Viewpoint (R)	Traffic Volume (AADT : Vehicle/day)	Year Built	
		Before 1945	After 1945
$4.0 \leq R$	Regardless of Traffic Volume	45	40
$3.5 \leq R < 4.0$	AADT $\geq 9,000$	45	40
	AADT $< 9,000$	40	30
$R < 3.5$	AADT $\geq 9,000$	40	30
	AADT $< 9,000$	30	20

上記の仮定に基づいて、計量可能な便益の算定式を作成した。この算定式は、修繕実施の場合と実施しない場合の二つのオプションを持つ。

3.9.4 経済評価

本調査では、以下の3つの指標を経済評価の目的で用いる。

- ・費用便益比 (BCR)
- ・純現在価値 (NPV)
- ・内部収益率 (IRR)

上記の計算で割引率は11%とし、プロジェクトライフは1994年から20年と仮定した。

3.9.5 経済評価結果

(1) 全体プロジェクトの評価

全体から見ると、便益の大部分は、落橋に伴う交通障害発生期間の短縮により生じる便益が占めている。費用に対して便益が十分に大きく、費用便益比は6.75、内部収益率も58%に達することから、本プロジェクトは、全体として十分な妥当性があると判断される。

(2) 個別橋梁の評価

修繕事業対象の203橋中の197橋の内部収益率は11%を超える。残りの6橋についても、修繕工事の実施時期を5年間先送りした場合には便益が増加する結果、内部収益率が向上する。即ち、3橋の内部収益率は11%を上回り、残りの3橋の内部収益率も最低でも約6%以上に向上する。

従って、本プロジェクトは以下の点を考慮して、これら6橋を含めた全対象橋梁について修繕を実施するのが望ましい。

- 1994年実施の場合に対象橋梁の97%が、1999年実施の場合には99%が、それぞれフィージブルであると判断されることから、プロジェクト実施は全体として十分な妥当性を持つ。
- 1999年実施の場合、内部収益率が11%に達しない3橋についても、修繕対策を実施することにより、全国幹線道路網のサービス水準及び信頼性が向上するなどの定量化できない便益が付加される。

(3) 州別の評価

経済評価を各州別に検討した。州別の内部収益率は26~99%の間に分布し、州別に見た場合でもプロジェクトの実施は十分な妥当性を有すると考えられる。この中で、ペラ州は99%と最も高い値となったが、これは国道59号が通行不能となった場合に迂回路線が無いためである。また、パハン州の場合も幹線道路密度が低いため、82%と高い内部収益率を示す。

反対に、26%と最も低い値となったトレンガヌ州の場合、修繕費用が大きい架換えあるいは大規模修繕対策を有する橋梁があり、これが州全体の内部収益率を低下させている。

(4) 結論

203橋を対象にした経済評価の結果から、下記のことが結論付けられる。

- 1) 1994年事業実施の場合、対象橋梁の97%が、1999年実施の場合には99%が、それぞれフィージブルであると判断されることから、プロジェクト実施は全体として十分な妥当性を持つ。
- 2) 1994年実施の場合、内部収益率が11%に達しない橋梁が6橋あるが、全国幹線道路網の維持等の計測不能の便益が付加されることを考慮すると、これらの橋梁も本プロジェクトに含め、修繕対策を実施する必要がある。更に、修繕実施時期を先送りすることにより、これらの橋梁の内部収益率も向上する。
- 3) 計算した内部収益率やその他の指標だけを使って、路線別あるいは州別に実施計画を策定すると、修繕事業が特定の地域の橋梁に集中する結果、次のような弊害を惹起することが予想される。従って、これらのことを考慮して、総合的に実施計画を策定する必要がある。

- ・ 特定の路線区間での円滑な交通が著しく妨げられる。
- ・ 工事を実施する地方の施工業者の量的な施工能力を越える可能性がある。
- ・ 工事を監理する州、地方のJKRの技術者が不足する恐れがある。

3.10 実施計画の策定

経済評価に基づき、全ての調査対象橋梁は技術的及び経済的に実施可能であり、対象橋梁の事業実施は、第6次マレイシアプラン（1991-1995）に強調されているように政府の施策に従って早期に行われるべきである。しかし、全203橋の調査橋梁は、マレイシア半島全体の広範囲に散らばっており、しかも、各橋梁の修繕対策の規模も保護工から全面的な橋梁架換えまで、あるいは構造的、機能的及び水工学的な面からの複合的な修繕対策など、極めて変化に富んでいる。従って、事業を効率的かつ円滑に実施する為に、適切な実施計画を立案する必要がある。

3.10.1 計画立案の骨子

(1) 事業実施期間

本事業の実施期間を決定するための主要な要素は、政府の予算措置能力と技術的側面である。後者は、事業実施が遅れるに連れ、調査対象橋梁の構造安全性の低下や交通障害となる危険性が徐々に増大することになる。

一方財務的観点から、1991年から1995年の第6次マレーシアプランにおいて、政府は道路・橋梁事業のために合計5,577.6百万マレイツァ・リンギットを計上している。本事業の事業費は58百万マレイツァ・リンギットであり、事業実施期間を5年間と想定すると、それは第6次マレーシアプランで計上された道路橋梁開発予算の約1.0%に相当する。従って、マレーシア政府は事業実施に必要な予算措置を講ずる十分な能力を有すると判断される。

技術的な側面から見ると、調査結果から調査橋梁の何橋かは著しく劣化・損傷している。従って、交通安全性の低下や落橋の危険性を回避するために、修繕対策を緊急に実施することを強く勧告する。

従って、主に政府の予算措置能力と技術的側面から事業実施期間として、5年が適当であると考えられる。

(2) 事業区分

経済評価のなかで、事業区分を策定する際に、路線や州を基本に行うならば多くの悪影響があることが指摘されている。従って、事業区分にあたっては下記の基本方針に基づいて行う。

- ・各橋梁の着工優先順位は、基本的には、その内部収益率指標により決定する。
- ・事業区分を行うにあたって、特定の路線区間や地域内への事業実施対象橋梁の集中的な配置は避ける。これは、現状の円滑な交通の流れを阻害したり、特定の施工業者への過度な負荷、管理・監督のための政府職員の不足を回避するためである。
- ・本事業の実施を通して、多くの政府要員を育成するのみならず、JKRの技術者や技能者の能力向上を図るために、連邦JKRから州、郡JKRに維持・修繕技術の移転をすることが不可欠である。また、技術移転は集中的に行うよりも継続的に実施する方が有効であると考えられる。従って、プロジェクト実施期間中、毎年プロジェクトに参画する機会を生み出す意味で、一つの州や郡内の事業実施対象橋梁数を5年間の工期の中で均等に配分するものとする。

上記の基本方針に基づき、203橋を5事業区分に分割した。各グループ毎の全体経済指標と共に各事業区分をまとめて表3-16に示す。

Table III-16 Summary of Each Package

Package No.	No's of Bridges	Total Project Cost (M\$)	Overall Economic Index	
			IRR	BCR
I	64	10,480,400	94.9%	12.03
II	46	11,306,579	77.7%	10.01
III	37	13,998,253	45.3%	5.14
IV	29	11,508,034	38.7%	4.13
V	27	10,855,002	28.6%	2.82

TOTAL 5 203 58,148,268 57.8% ^{∟1} 6.75 ^{∟1}
 =====

Note: ∟1 Index showing the whole project

3.10.2 実施計画

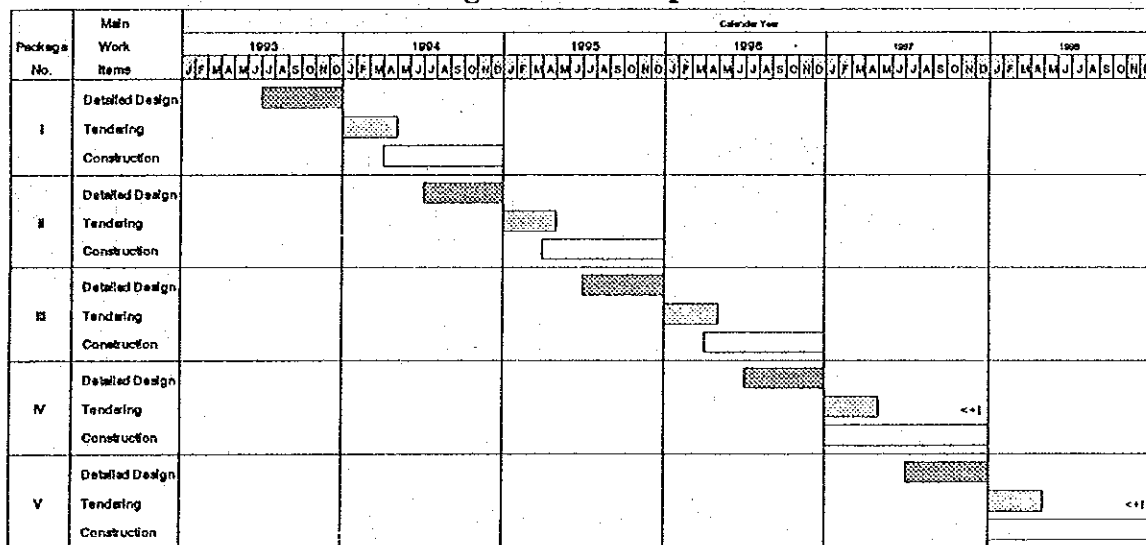
事業費はマレーシア政府の国家予算の中で賄われるので、各事業区分の実施は原則としてマレーシアの会計年度（1月1日から12月31日）内に完了すべきと考えられる。

実施工程を立案する上での主な作業項目は詳細設計、入札・契約及び施工である。

- ・各パッケージの詳細設計は、施工の1年前に行うものとし、設計には約6ヶ月を要する。
- ・入札は各会計年度の1月第1週に開始するものとし、その終了までに約4ヶ月を必要とするものとする。
- ・各パッケージの施工は、雨期が終了した4月第1週に開始し、概ね12月末までに完了するものとする。

1994年に事業実施を開始するものとする、本事業は1998年末までに完了する。全体実施工程を図3-13に示す。

Figure III-13 Implementation Schedule



Note : : Indicates rainy season from November to February.
 <+ I : Rehabilitation works for Bridge No. 317000 and 330500 are carried out continuously during the two or three years from 1996 to 1998
 : Fiscal year in Malaysia from January 1 to December 31

3.10.3 財務計画

全体事業費は、1991年12月の価格水準で58,148百万マレーシア・リンギットである。実施工程に基づき、各年度の事業の財務計画を以下に示す。

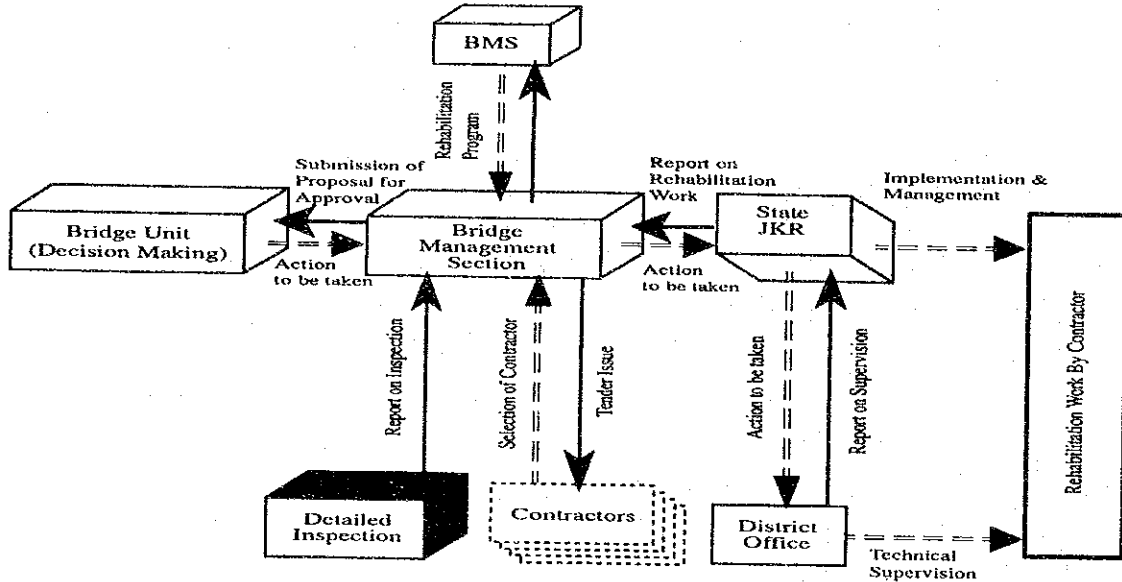
年	年度別事業費 (百万M\$)
1993	0.678
1994	10.333
1995	11.851
1996	13.646
1997	11.295
1998	10.345
合計	58.148

3.10.4 事業の管理及び組織

JKRの橋梁課を本事業の実施機関とする。同橋梁課は全体的な事業実施に関する責任を負うと共に詳細修繕設計と入札に関わる直接責任を負うものとする。一方、州JKRと郡JKRは、事業の管理・監督及び現場施工監理にそれぞれ責任を負うものとする。

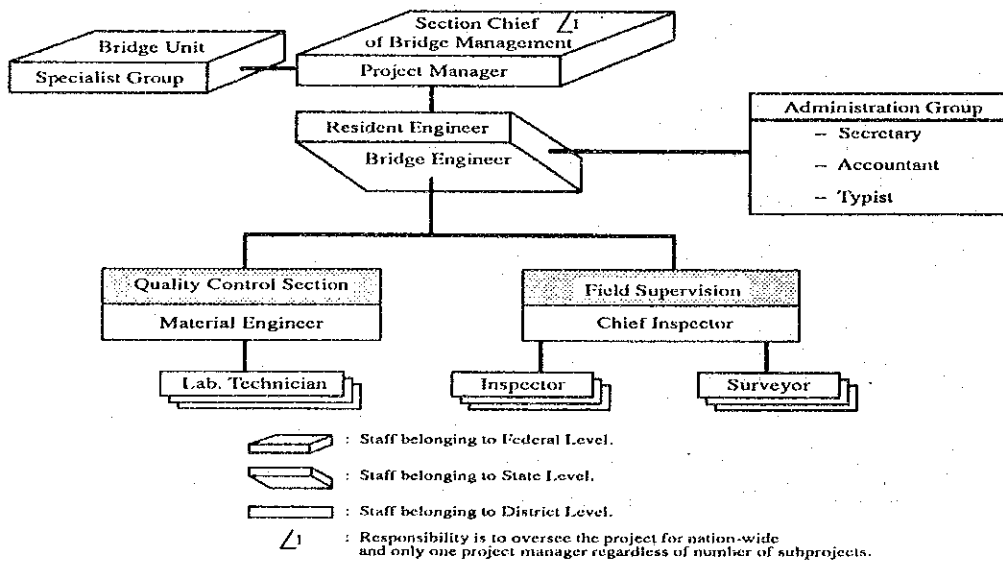
上記責任体制及び指示・命令系統、又、関係官庁の責任と機能を図3-14に示す。

Figure III-14 Schematic Interrelationship between the Agencies



原則として、事業は競争入札を通して選定された建設業者による請負制で実施するものとする。従って、政府は建設業者の現場施工を管理・監督するため現場施工監理チームを組織しなければならない。しかし、その規模と要員は修繕する橋梁数、その位置及びそれぞれの修繕工事の規模によって異なる。参考として、15橋から20橋を管理・監督することを想定した標準的な組織を図3-15に示す。

Figure III-15 Typical Organization for Construction Supervision



JICA