

第II部 マスタープラン

6. 橋梁健全度調査と評価

形状寸法調査

調査レベルと調査項目

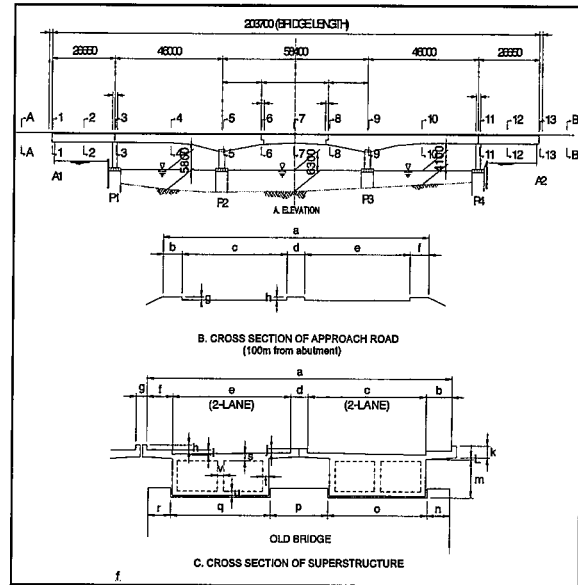
調査橋梁の現状は、損傷や劣化の程度・範囲がさまざまであることを示している。これは、損傷・劣化の状態に見合った現地調査と解析の必要性を示している。調査は、次の3段階レベルで実行した。

- ・ 調査レベルⅠ：3橋（パンダカン橋、マカティーマンダリオン橋、C-5橋）
- ・ 調査レベルⅡ：16橋
- ・ 調査レベルⅢ：1橋（アヤラ橋）

目視点検

目視点検は、橋梁の主要部材および二次部材を対象に実施した。損傷のタイプ、規模およびその程度は、損傷の評価と診断のために予め用意した目視点検用の記録紙に観察結果を記録し、報告するようにした。

構造部材の形状寸法を調査し、ロードレディング（LR）を含む構造物の健全度の解析のために橋梁の構造図面を作成した。ただし、基礎工のように計測ができない構造部材の形状寸法は、復元設計を実施し、仮定した。



形状寸法調査記録用紙

調査レベルと調査項目

Survey Level	I	II	III
Main Objectives	Data Collection Level	Master Plan Level	Feasibility Study Level
Superstructure	Concrete Bridge	a) Visual Inspection. b) Measurement of Structural Shapes. c) Evaluation on Damage Type, Scale and Severity. d) Non-destructive Test (Schmidt Hammer Test).	a) Close-up Visual Investigation. b) Measurement of Structural Shapes/Dimension. c) Non-destructive Test (Schmidt Hammer Test). d) Material Test (Core, Neutralization, Alkali Aggregate). e) Electromagnetic Wave Radar (Location of Reinforcing Bar).
	Steel Bridge	a) Visual Inspection. b) Inspection on Structural Shapes. c) Inspection on Damage Type, Scale and Severity.	a) Visual Inspection. b) Measurement of Structural Shapes. c) Evaluation on Damage Type, Scale and Severity. d) Damage Survey (Damage Detection by Penetrant Test).
Substructure	a) Visual Inspection. b) Inspection on Structural Shapes. c) Inspection on Damage Type, Scale and Severity.	a) Visual Inspection. b) Measurement of Structural Shapes. c) Evaluation on Damage Type, Scale and Severity. d) Non-destructive Test (Schmidt Hammer Test).	a) Close-up Visual Investigation. b) Measurement of Structural Shapes/Dimensions. c) Displacement Survey (Vertical, Horizontal). d) Non-destructive Test (Schmidt Hammer Test).
Foundation	-	Depending on bridge condition, stability test and scour survey are required.	a) Stability Test (Impact Vibration Test). b) Scour Survey (Echo Sounder). c) Topographic and Geotechnical Survey.
Loading Capacity of Superstructure	-	Depending on bridge condition, load test is required.	a) Static Load Test.

材料の非破壊試験

材料の現在の物理的特性と損傷を計測するために本試験を実施した。

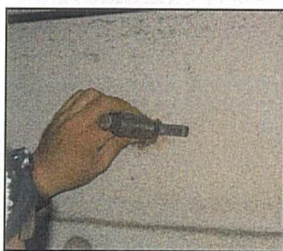
- ・シュミットハンマー試験
硬化コンクリートの圧縮強度を決定するための試験である。
- ・浸透探傷試験
鋼材上のクラックを探知し計測するための試験である。
- ・ブリネルハードネス試験
鋼材の硬度を計測する試験である。
- ・超音波探傷試験(コンクリート用)
コンクリート部材のクラックの深さを計測するための試験である。
- ・超音波探傷試験(鋼材用)
鋼材内部の損傷の状態を確認する試験である。



シュミットハンマー試験



浸透探傷試験



ブリネルハードネス試験

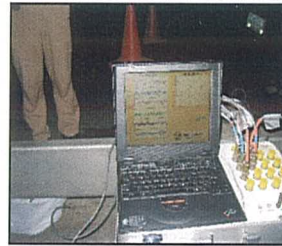


超音波探傷試験

特殊試験

- ・衝撃振動試験
橋脚の固有周期を測定することによって下部構造の健全度を評価する試験である。このテストを実施した橋梁は、アヤラ橋、ジョーンズ橋およびバルガス橋の3橋である。

- ・常時微動観測調査
設計荷重（死荷重、活荷重（MS18））によって作成した解析モデルの確認および変形モードを特定するための調査を目的としている。
本試験を実施した橋梁は、アヤラ橋、ジョーンズ橋およびバルガス橋の3橋である。



常時微動観測調査



衝撃载荷試験

- ・静的载荷試験
構造物のモデル作成及びロードレイトイングに使用するためのデータを得る目的で行う試験である。
この試験を実施した橋梁は、次の通りである。
アヤラ橋およびランビンガン橋



トラック荷重の段階载荷

- ・洗掘調査
下部構造物周辺の洗掘調査は、デジタル式の音波測定器を用いて実施した。検測点は1mピッチとした。これは、音波を用いて、発信源から河床間の所要時間で深さを間接的に計測する方法である。
この試験を実施した橋梁は、次の通り。
アヤラ橋、ジョーンズ橋、バルガス橋



音波測定器による洗掘調査



トータルステーションによる洗掘位置測定

復元設計

復元設計の手法

設計図面と竣工図面は、特に古い橋の場合には、完全に揃っていないのが一般である。この場合、目視できたり、露出している部分の形状寸法は、測定により形状・寸法を決定できるが、水面下や地盤中にある下部工や基礎工のように目視できない部分、又は鉄筋の配置や量は当時の古い基準、又は関連データと材料を参考にして解析的手法によって求めざるを得ない。復元設計は、次のステップに従って実施する。

- ステップ1：現橋梁の平面図、側面図および断面図の収集・レビュー
- ステップ2：不足している構造データおよび情報の確認
- ステップ3：部材必要事項を決定するための構造解析の実施
- ステップ4：基本構造断面および必要事項の決定
- ステップ5：既存橋梁の構造図面の仕上げ

損傷度判定と診断

XYZ 法による損傷判定

この方法は、日本の建設省土木研究所で1985年開発されたものであり、各部材の損傷の程度を評価するために開発されたものである。主として近接目視点検が用いられている。本調査における構造物調査に関する体系的なガイドラインとして用いた。

この方法によれば、損傷や欠陥の位置あるいはパターン(X)が、観察を通じて判定できる。また、損傷の深さ(Y)は、部材損傷の深刻度を判定するために用意されたものであり、広がり(Z)は、損傷度の影響範囲を判定するものである。この手法を用いて、損傷度は、大/多い、中、小、少ない、無傷、また非常に多いなどによって判定される。

この損傷の範囲は、調査構造物や部材のタイプにより様々に設定されている。

HMS 法による損傷判定

この方法は、XYZ法に基づいてあらゆる部材の損傷の重大性を評価するのに、容易かつ簡便に使用できる方法として調査団により開発された評価法である。

この方法による損傷判定の最も重要な概念は、XYZ法と同じである。しかしながら、このHMS方法では、唯一の主要な要因又は、二つの二次要因を考慮している。損傷は、3個の基本的な損傷判定すなわち、H(重大)、M(中位)およびS(小)により評価される。しかしながら、XYZ法の“I”に相当する“HH”を追加判定として損傷診断の中で使用している。“H”と判定される損傷は、“HH”診断判定の候補であるが、判定ランクのアップの決定は、点検調査結果から自動的になされるべきではなく、道路管理者又は政府側責任者と相談の上ジ・エンジニア(責任者)によってなされるべきである。“HH”又は“I”の判定は、注意を要する重大な決定であり、責任ある立場の人物によりなされるべきである。

損傷判定と診断

Damage Rating			Diagnosis	
X, Y, Z Method	H, M, S Method	Condition	Category	Action to be taken
I	HH	<ul style="list-style-type: none"> • Damage is serious • Traffic safety is in danger 	A	•Emergency measures shall be taken immediately
				•Detailed study shall be conducted to decide remedial measures
II	H	<ul style="list-style-type: none"> • Damage is big • Detailed survey is necessary to ensure traffic safety 	B	•Detailed survey or follow-up inspection shall be done to evaluate the severity of damage and to decide necessity of remedial measures
III	M	<ul style="list-style-type: none"> • Damage is found • Follow-up inspection is required 		•Remedial measures shall be undertaken after evaluation of damages, if necessary
IV	S	<ul style="list-style-type: none"> • Small damage is observed • Damage is recorded 	C	<ul style="list-style-type: none"> •No immediate action is necessary •Ordinary inspection shall be continued
OK		<ul style="list-style-type: none"> • No damage is observed 		

Note: A higher diagnosis rank shall be given to bridges with high possibility of falling damaged parts or elements and with possibility of people entering the bridge from under.

7. 橋梁健全度の総合評価

評価項目

構造物の健全度

橋梁部材および構成部位に関する損傷点検の結果は、上部工、下部工、基礎工、および付帯工に分類される。異なる橋梁部位で観察された損傷は、判定手順の中で示された根拠により HMS 法、又は XYZ 法で判定される。その後、診断評価は、診断カテゴリー A, B 又は C を用いて実施する。このカテゴリーには、判定後に実施する対処活動内容が示されている。

災害に対する脆弱性

現橋梁の物理的条件とその環境条件は、地震、台風および洪水に対する脆弱性を決定・評価する要因である。脆弱性の評価は、高位、中位、低位とした。脆弱性に関する説明は、評価項目の中に示してある。

交通機能

自動車などを安全に通過させる目的をもつ橋梁の交通機能としての健全度は、交通荷重に対する耐荷力、平均日交通量、車線数、交通量対容量(V/C)の割合およびサービスレベル (LOS)、更に理想的な運転状態を提供する橋梁の幾何構造を考慮して評価される。

交通機能の総合評価は、当該調査橋梁に限らないすべての橋梁を含めて考慮すべき優先順位決定に関する今後の課題である。また、最も近い迂回路への距離とその延長も、交通機能の評価に置いて留意すべき項目である。

特殊課題

総合評価の対象になるその他の特殊課題としては、橋梁の下を通過する船舶の河川航行限界（水平方向および鉛直方向）、橋梁に添架された公共施設および私有施設と不法住居者などがある。

橋梁健全度に対する総合評価

観察結果

- ・調査対象の橋梁上部工の多くはコンクリートクラック、鋼材の腐食、鉄筋の露出等の局所的な損傷を有している。しかしながら、特に古い橋梁では、橋梁台帳がないこともあり、調査対象橋梁の下部工および基礎工の耐震性と安定性を判定するために詳細調査が必要である。
- ・古い橋梁、特に鋼橋は新しいコンクリート橋と比較して相対的に健全であると判定された。コンクリート橋の欠陥は、建設工事の品質と現場施工技術に起因するところ大である。
- ・施工現場で架設された鋼部材および鋼桁では、施工に際して品質がよく管理されており耐久性の高い構造物となっている。
- ・清掃と塗装を含む日常維持管理と定期的な維持管理の不足が鋼構造物の劣化を招いている。
- ・橋脚と上部工下面の損傷は、一般的に船舶の衝突に起因している。適切な船舶衝突防護策と対策工を今後の衝突に備えて検討すべきである。

アヤラ橋以外で以下の 5 橋梁が著しい損傷を被っている。

- ・ジョーンズ橋
 - 外桁の破損と水平方向の変位
- ・ケソン橋
 - 床組の継ぎ手部の著しい腐食
- ・ランビンガン橋
 - ゲルバーヒンジ部と橋脚上の桁のクラック、上部工の鉛直変位、
- ・グアダルーベ橋
 - ゲルバーヒンジ部のクラック
- ・バルガス橋
 - ゲルバーヒンジ部と橋脚上の桁のクラック
 - 上部工の鉛直方向の変位

総合評価の例

Reference / Bridge Name		JONES BRIDGE					
Location / Name of Road		City of Manila / Q. Paredes St.		Year Constructed	1948		
Elevation							
	Length of bridge	114.43m (35.46m + 43.31m + 35.46m)			No. of Lanes	4	
Superstructure Type		Steel I-Girder (3-span continuous)			Substructure Type	Abutment: Wall (footing), Pier: Wall (existing caisson)	
Structural Soundness	Superstructure	Steel I-Girder	Span 1: Weld portion of steel plates	II	H	Remarkable deterioration due to corrosion.	
			Span 1: Lower plate of main girders (near A1)	II	H	Extensive corrosion of 8 girders .	
			Span 2: Bottom flange and web of exterior girder at upstream side	I	HH	Ruptured bottom flange and 1/3 height of web due to vessel collision.	
			Span 2: Main girder, G8, Near P2	II	H	Lateral deformation is 280mm due to vessel collision.	
			Span 2: Sway bracings	II	H	Ruptured sway bracings on 2 locations .	
			Span 1,2,3: Sway bracings	II	H	Missing top members in 10 locations .	
			Span 3: Sway bracing (A2)	II	H	Corrosion spreads over entire member.	
			Span 3: Downstream exterior girder	III	M	Lateral deformation is 50mm.	
			Span 3: Interior girder G4, Near A2	II	H	Extensive corrosion.	
			Deck Slab	Span 3: Bottom of Deck Slab	III	M	Cracks at bottom deck with width of 0.3 – 0.8 mm
	Span 3: Bottom of Deck Slab	III		M	Wide area of deterioration to poor construction		
	Substructure	Abutment	Abutment A2 Wall	IV	S	Horizontal cracks on wall.	
			Pier	Pier 1 Body	IV	S	Vertical cracks of pier body
			Foundation	Existing Caisson	II	H	Does not meet latest code requirement
	Accessory	Bearing Shoe	Abutment A1 Bearing Shoes	II	H	Extensive corrosion of bearing shoes at Abutment A1	
Pier 2 Bearing Shoes			II	H	Extensive corrosion of bearing shoes at Pier 1.		
Diagnosis Evaluation *3	Category "A"	<ul style="list-style-type: none"> Urgent measure for Ruptured Exterior Girder at upstream side is necessary. In-depth study necessary to determine permanent repair/rehabilitation of ruptured girder. Repair / maintenance work necessary to prevent further corrosion and loss of members. 					
Vulnerability to Disaster	Seismic Resistance	<ul style="list-style-type: none"> Pier and Foundation (Existing Caisson) are insufficient under latest code seismic requirements, In-depth study is needed to determine required strengthening. High vulnerability. 					
	Wind Resistance	Not critical to wind action.					
	Flood Resistance	Not critical to flood.					
	Evaluation	<ul style="list-style-type: none"> Bridge is highly vulnerable to seismic forces. In-depth study is needed to determine required strengthening of substructure. Bridge is sufficient to wind and flood action. 					
Traffic Capacity and Function	Traffic Limit	20 Tons					
	Volume / Capacity	57,216 (2002) 4 Lanes Level of Service: D (0.74) Load Rating: 0.00 Inventory Level, 0.76 Operating Level (Exterior Girder, Upstream Side)					
	Smooth Driving Condition	Fair					
	Evaluation	Traffic functionality reduced by decrease in live load capacity and steep slope at approach.					
Special Issues	River Navigation	Vertical Clearance < Regulated (Near Piers); Horizontal Clearance: Preferable					
	Utilities	46 – φ100 mm PVC Telecommunication Pipe, 2 – φ100 mm GI Telephone Line, 1 – φ100 mm PVC Electrical Line, 1 – φ340 mm Water Line					
	Informal Dwellers	No informal dwellers under Jones Bridge					
	Evaluation	Minimal social and environmental impact					
Overall Evaluation	Major rehabilitation of ruptured girder and sway bracings are needed, minor measures necessary to improve traffic functionality. Provide vessel collision protection						

Notes:

1. Damage Assessment (XYZ Method)

- I : Damage is serious, Traffic safety is in danger
- II : Damage is big, detailed survey is necessary
- III : Damage is found, follow-up inspection is required
- IV : Small damage is observed, damage is recorded
- OK : No damage is observed

2. Damage Assessment (HMS Method)

- HH : Extremely Heavy
- H : Heavy
- M : Medium
- S : Small

3. Diagnosis Evaluation

- "A" : Urgent measures shall be applied; Conduct In-depth Survey
- "B" : Urgent measures not required; Conduct In-depth Survey
- "C" : In-depth Survey not required

総合評価の要約

調査した橋梁の現況を、主要損傷とその原因に分けて示し、損傷に関する評価をまとめた。

現橋梁の総合評価

No.	Bridge Name (Year Const.)	Major Damages (Diagnosis Category)	Causes of Damages	Overall Evaluation
1	Delpan Bridge – Upstream (1965)	<ul style="list-style-type: none"> • Small cracks on concrete girders • Water leaking 	<ul style="list-style-type: none"> • Insufficient Vertical clearance for road traffic crossing under the bridge • Aging and insufficient maintenance activities • Poor treatment of expansion joint 	<ul style="list-style-type: none"> • Bridge is totally sound but repair works are necessary.
	Delpan Bridge – Downstream (1988)	<ul style="list-style-type: none"> • Minor cracks at the superstructure • Spalling out of the pier wall 	<ul style="list-style-type: none"> • Aging of concrete • Vessel collision with the pier 	<ul style="list-style-type: none"> • Bridge is totally sound but small repair works are necessary.
2	Jones Bridge (1948)	<ul style="list-style-type: none"> • Two (2) ruptured and deformed exterior girders 	<ul style="list-style-type: none"> • Vessel collision with girders 	<ul style="list-style-type: none"> • Major rehabilitation of ruptured girder and sway braces is urgently necessary. • Vessel collision protection is necessary.
3	McArthur Bridge (1948)	<ul style="list-style-type: none"> • Pier Inclination, minor cracks of concrete structures 	<ul style="list-style-type: none"> • Aging and insufficient maintenance activities • Insufficient resistance of foundation 	<ul style="list-style-type: none"> • Bridge is totally sound but repair works are necessary.
4	Quezon Bridge (1946)	<ul style="list-style-type: none"> • Heavily corroded joint connections under the floor deck • Poor treatment of expansion joint 	<ul style="list-style-type: none"> • Insufficient maintenance and repair activities 	<ul style="list-style-type: none"> • Rehabilitation of corroded joint connections at floor system is necessary.
5	Ayala Bridge (1935/1950)	<ul style="list-style-type: none"> • Heavily corroded floor system • Ruptured stringers and section loss of lower chords. 	<ul style="list-style-type: none"> • Aging and insufficient maintenance activities • Vessel collision with sway braces 	<ul style="list-style-type: none"> • Major rehabilitation of superstructure and retrofitting of substructure are necessary. • Traffic load limit shall be adopted.
6	Nagtahan Bridge (1966)	<ul style="list-style-type: none"> • Corrosion on steel members • Cracks of substructures 	<ul style="list-style-type: none"> • Aging and insufficient maintenance activities 	<ul style="list-style-type: none"> • Bridge is totally sound but repair works are necessary.
7	Pandacan Bridge (1997)	<ul style="list-style-type: none"> • Small cracks on deck slab 	<ul style="list-style-type: none"> • Related to bridge design and/or construction quality 	<ul style="list-style-type: none"> • Bridge is totally sound but repair works are necessary.
8	Lambingan Bridge (1975)	<ul style="list-style-type: none"> • Cracks on girders at Gerber hinge parts and on pier tops • Insufficient uplift devices 	<ul style="list-style-type: none"> • Related to bridge design and/or construction quality 	<ul style="list-style-type: none"> • Traffic functionality shall be reduced due to the decrease of live load capacity.
9	Makati-Mandaluyong Bridge (1986)	<ul style="list-style-type: none"> • Cracks on PC box girders and substructures 	<ul style="list-style-type: none"> • Aging and insufficient maintenance activities 	<ul style="list-style-type: none"> • Bridge is totally sound but repair works are necessary.
10	Guadalupe Bridge (Central) (1962)	<ul style="list-style-type: none"> • Small corrosion on steel members • Water leaking at the south abutment 	<ul style="list-style-type: none"> • Damaged water pipes 	<ul style="list-style-type: none"> • Bridge is totally sound but repainting is necessary.
	Guadalupe Bridge (Both Sides) (1979)	<ul style="list-style-type: none"> • Cracks of girders at gerber hinge parts 	<ul style="list-style-type: none"> • Related to bridge design and/or construction quality 	<ul style="list-style-type: none"> • Urgent measures are needed at gerber hinge support
11	C-5 Bridge (1998)	<ul style="list-style-type: none"> • Small cracks of slab and substructures and honey comb 	<ul style="list-style-type: none"> • Increased traffic load • Honeycomb is due to water leaking 	<ul style="list-style-type: none"> • Bridge is totally sound but repair works are necessary.
12	Bambang Bridge (1991)	<ul style="list-style-type: none"> • Cracks at the approach spans of superstructure 	<ul style="list-style-type: none"> • Related to bridge design and/or construction quality 	<ul style="list-style-type: none"> • Bridge is totally sound but small repair works are necessary.
13	Vargas Bridge – Upstream (1992)	<ul style="list-style-type: none"> • Large vertical deformation and cracks on girders at gerber hinge parts and on pier tops 	<ul style="list-style-type: none"> • Related to bridge design and/or construction quality 	<ul style="list-style-type: none"> • Urgent measures are for major crack portion.
	Vargas Bridge – Downstream (1973)	<ul style="list-style-type: none"> • Corrosion of steel members • Cracks on deck slab 	<ul style="list-style-type: none"> • Aging and insufficient maintenance activities 	<ul style="list-style-type: none"> • Bridge is totally sound but repair works are necessary.
14	Rosario Bridge (1952)	<ul style="list-style-type: none"> • Cracks on deck slab 	<ul style="list-style-type: none"> • Aging and increased traffic load 	<ul style="list-style-type: none"> • Bridge is totally sound but repair works are necessary.
15	Marcos Bridge (1978)	<ul style="list-style-type: none"> • Many cracks of pier copings of widening portions 	<ul style="list-style-type: none"> • Related to bridge design and/or construction quality 	<ul style="list-style-type: none"> • Bridge is totally sound but small repair works are necessary.
16	Marikina Bridge (1980)	<ul style="list-style-type: none"> • Small cracks on deck slab 	<ul style="list-style-type: none"> • Increased traffic load 	<ul style="list-style-type: none"> • Bridge is totally sound but small repair works are necessary.
17	San Jose Bridge (1980)	<ul style="list-style-type: none"> • Few cracks on the superstructure and water leaking • Exposed foundation 	<ul style="list-style-type: none"> • Open expansion joints • Scouring 	<ul style="list-style-type: none"> • Bridge is totally sound but small repair works are necessary.

NOTE : Diagnosis Category

8. 対策工の提案

対策工の比較検討

基本方針

- ・ 少なくとも構造物上の安全性と安定性を確保するための改善策を提案する。
- ・ 上部工は、ロードレイティング解析(LRA)により構造上の安全度を評価する。
- ・ 最も経済的な改善対策工の選定において、ライフサイクルコスト(LCC)解析を使用する。
- ・ 船舶の衝突防護工を含める。
- ・ 耐震補強工は、対策工に含めない。

改善対策案

最適対策工選定において、次のように3段階レベルの対策案を考慮した。

- ・ 修理：クラックのシーリングなど、損傷・劣化した部材および部分を修理し、損傷の進行を抑制すること。

- ・ 補修：損傷・劣化した部材および部分を修復し、かつて有していたサービスレベルまで高めると共に橋梁の寿命を延ばすこと。
- ・ 補強：橋梁の主部材を補修することによって、最新の設計基準の要求レベルに適合するように改善すること。補強には、拡幅による交通機能の改善も含まれる。

評価基準

各橋梁の比較案に関して、以下の項目について検討・評価を行った。

- ・ 構造物安全性に関する信頼性（安全性・耐久性）
- ・ 施工性（期間・困難性）
- ・ 建設工事中の交通管理
- ・ 橋梁のライフサイクルコスト

評価に当たっては、上記の項目の中で、構造物安全性に関する信頼性を最も重要視した。

Pa2 ジョーンズ橋

Exchange Rate: 2.269 (As of May 5, 2003)

Elevation and Cross Section				
Construction Year and Bridge Type		Construction Year: 1948 Superstructure Type: 3-Span Continuous Steel Plate Girder Bridge Substructure Type: Abutment: Wall, Pier: Wall, Foundation Type: Abutment: Spread, Pier: (Caisson)		
Alternatives		Repair	Rehabilitation	Strengthening
Major Works	Superstructure	<ul style="list-style-type: none"> * Cleaning/Painting of corroded steel members * Repair of ruptured sway bracings * Repair of ruptured exterior girder by plate patching * Repair of sole plate and girder section at bearing 	<ul style="list-style-type: none"> * Cleaning/Painting of steel structure for whole bridge * Replacement of ruptured sway bracings * Provide additional girder w/ new bearing shoes * Repair & retain existing exterior girder to function as vessel collision protection * Remove and reconstruct deck slab, sidewalk, railing and expansion joint. 	<ul style="list-style-type: none"> * Cleaning/Painting of steel structure for whole bridge * Replacement of ruptured sway bracings * Provide additional girder w/ new bearing shoes * Repair & retain existing exterior girder to function as vessel collision protection * Remove and reconstruct deck slab, sidewalk, railing and expansion joint.
	Substructure	-	<ul style="list-style-type: none"> * Sealing of concrete crack, spalling & exposed rebars 	<ul style="list-style-type: none"> * Retrofitting of pier wall by full concrete jacket
	Foundation	-	-	<ul style="list-style-type: none"> * Enlargement of footing / pile cap and addition of bored piles
① Reliability for the structural safety		<ul style="list-style-type: none"> * RF = 0.00 (Load Rating 0 tons for ruptured girder) * C/Dpl=0.37 (Body of Pier 1) * C/Dpl=0.86 (Foundation of Pier 1) (Less resistance to latest seismic code) 	<ul style="list-style-type: none"> * RF = 1.00 (Load Rating 32.7 tons) * C/Dpl=0.37 (Body of Pier 1) * C/Dpl=0.86 (Foundation of Pier 1) (Less resistance to latest seismic code) 	<ul style="list-style-type: none"> * RF = 1.00 (Load Rating 32.7 tons) * C/Dpl=1.00 (Body of Pier 1) * C/Dpl=1.00 (Foundation of Pier 1)
② Construction Period and Difficulty		* 4 Month (easy)	* 18 Months (moderate)	* 24 Months (Hard)
③ Traffic Management during Construction		No disturbance of existing traffic	No disturbance of existing traffic	Provision of temporary detour bridge
Navigation Clearance	Vertical	Less by 15cm than a regulatory clearance of 3.75cm	Less by 15cm than a regulatory clearance of 3.75cm	Sufficient
	Horizontal	Less than preferable space of 43m	Less than preferable space of 43m	Less than preferable space of 43m
Construction Cost (MP)		32	161.8	227.2
Evaluation		3	1	2

注：（ ）内参考

対策工の比較検討例

ロードレイティングによる構造物の健全度

ロードレイティングは、橋梁の耐荷力および健全度を評価する場合の判定のための基礎的情報を提供するものである。構造部材の抵抗力 (R) と荷重 (Q) との関係は、一般的に下記の関係にあるべきである。

$$R \leq Q_d + Q_i + \sum Q_j$$

ここに、 Q_d は、死荷重の影響であり、 Q_i は活荷重の影響、また、 Q_j は活荷重による衝撃荷重の影響をそれぞれ意味する。

- 最大許容できる活荷重 Q_i の大きさは、橋梁の安全性評価の過程で決定される。すなわち、満載活荷重載荷が許容されるか、また、満載荷が許容されないとするとどの程度まで活荷重の載荷が許容されるかが課題である。この許容される活荷重の載荷程度・割合を示すために、レイティングファクター (RF) が用いられる。RFは、次のように定義される。

$$RF = \frac{\text{有効活荷重}}{\text{設計活荷重}}$$

- レイティングファクター (RF) が 1 以上の場合には、車両の走重量に制限はない。レイティングファクターが 1 を下回る場合には、通過する自動車に制限荷重を適用する必要がある。

ライフサイクルコスト解析

提案した対策工に関して、ライフサイクルコスト (LCC) 解析を行った。解析に用いた基本式は、次の通りである。

- 架け替え案モデル

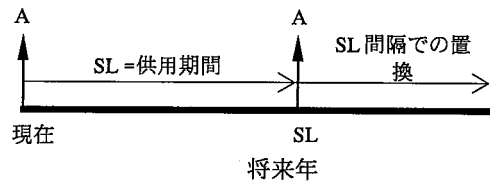
$$LCC_p(\text{repl.}) = A * (\text{pwf}'_{SL})$$

ここに:

LCC_p = ライフサイクル (perceptual service)

A = 架け替え工事費の現在価値

pwf'_{SL} = 供用期間のライフサイクル係数



- 補修・補強案モデル

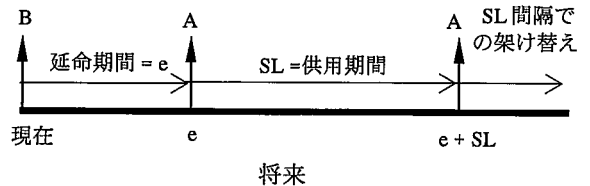
$$LCC_p(\text{rehab.}) = B + A * (\text{pwf}'_{SL}) * (\text{pwf}'_e)$$

ここに:

B = 補修・補強工事費

e = 補修による橋梁の延命年数

pwf'_e = 延命期間のライフサイクル係数



Load Rating and Lifecycle Cost for Each Bridge

Bridge Name		Load Rating		Lifecycle Cost (M.pesos)			Level of Measures	
		Inventory	Operating	Repair	Rehab.	Strength.		
1	Delpan Bridge	Upstream S.	1.27	1.69	45.2	41.6	129.4	Repair
		Downstream S.	1.26	1.67	20	-	-	Rehabilitation
2	Jones Bridge	Negative	0.76	232.2	183.1	248.5	Rehabilitation	
3	McArthur Bridge		1.33	2.20	87.9	79.1	124.7	Rehabilitation
4	Quezon Bridge		0.92	1.59	353.8	170.7	206.6	Rehabilitation
5	Nagtahan Bridge		1.03	2.10	166.3	159.2	317.4	Rehabilitation
6	Pandacan Bridge		1.22	2.39	13.6	-	-	Repair
7	Lambangan Bridge		0.63	1.06	86.5	56.5	130.6	Rehabilitation
8	Makati Mandaluyong Bridge		1.67	2.91	12.6	-	28.4	Repair
9	Guadalupe Bridge	Central S.	1.01	2.07	98.0	97.6	100.6	Rehabilitation
		Both S.	0.44	0.74	32.0	28.0	33.8	Rehabilitation
10	C-5 Bridge		1.02	2.67	41.1	-	-	Repair
11	Bambang Bridge		1.07	2.22	8.6	-	-	Repair
12	Vargas Bridge	Upstream S.	0.83	1.39	83.3	25.9	31.1	Rehabilitation
		Downstream S.	1.00	1.65	11.7	-	-	Repair
13	Rosario Bridge		1.03	1.95	44.48	42.85	56.45	Rehabilitation
14	Marcos Bridge		1.78	2.98	36.0	-	-	Repair
15	Marikina Bridge		1.01	2.20	15.1	-	-	Repair
16	San Jose Bridge		1.22	2.17	17.5	-	-	Repair

9. 船舶衝突に対する防護工

船舶衝突の現状

船舶衝突の現状を要約し、次に示す。

船舶衝突による上部工の損傷

- ・ジョーンズ橋
 - －中央スパン外桁の破損
 - －対策工なし
- ・アヤラ橋
 - －対傾構の破損
 - －対策工なし
- ・ランビンガン橋
 - －上流側中央スパン外桁のクラック
 - －対策工なし

船舶衝突による下部工の損傷/防護工

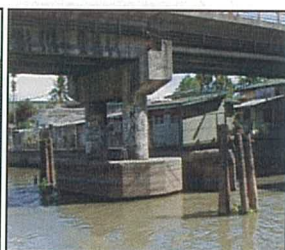
- ・グアダルーペ橋
 - －既存橋脚防護工の破損
- ・C-5 橋
 - －既存橋脚防護工の破損
- ・バルガス橋
 - －橋脚での露出鉄筋（下流側）

既存橋脚防護工の形式

- ・フーティングの拡幅
 - －ナグタハン橋、ランビンガン橋、バンバン橋、バルガス橋（下流側）、ロザリオ橋
- ・フーティングの拡幅を有する RC 防舷材タイプ
 - －グアダルーペ橋、C-5 橋
- ・フーティングと分離した木製防舷材タイプ
 - －バンバン橋



フーティングに取り付けた RC 防舷材タイプ (グアダルーペ橋)



フーティングの拡幅と分離した木製防舷材タイプ (バンバン橋)

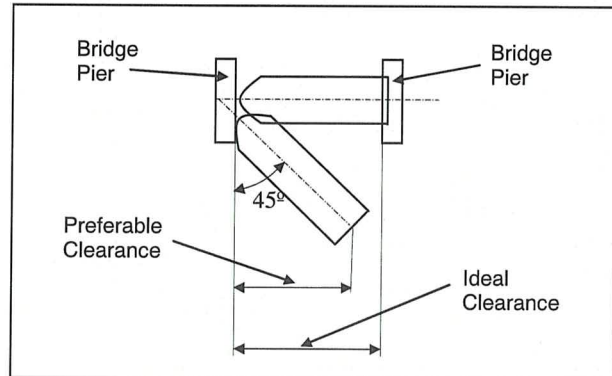
船舶航行限界

フィリピンコーストガード(PCG)とのインタービューおよび船舶航行上の規則による鉛直、水平方向の船舶航行限界の現状は、次の通りである。

水平方向の航行限界幅

望ましい橋脚純間隔（船舶一艘当り）

Stretch	Ideal Space	Preferable Space (Min. Req't)
Pasig River (Manila Bay to Laguna Lake) and Lower Marikina River (Napindan Weir to Rosario Weir)	L=60 m	$L \times \sin(45)$ = 42.4 m = around 43 m
Marikina River (Rosario Weir to Marikina River)	L=15.1 m	$L \times \sin(45)$ = 10.7 m = around 11 m
Marikina River (Marikina Bridge to San Jose Bridge)	L=6 m	$L \times \sin(45)$ = 4.2 m = around 5 m



鉛直方向の航行限界高

桁下面と高水位面との望ましい最小鉛直間隔

Stretch	Ideal Clearance	Preferable Clearance (Min. Req't)
Pasig River (Manila Bay to Laguna Lake) and Lower Marikina River (Napindan Weir to Rosario Weir)	5.0 m	3.75 (Regulatory Clearance)
Marikina River (Rosario Weir to Marikina Bridge)	3.0 m	3.0 m **
Marikina River (Marikina Bridge to San Jose Bridge)	1.5 m	1.5 m **

*:Recorded highest tide level or the water level at a run off discharge of 500 m³, the water level of which is the highest water level for safe navigation

** :Actual required vertical clearance considering the possible scale of boats passing the river.

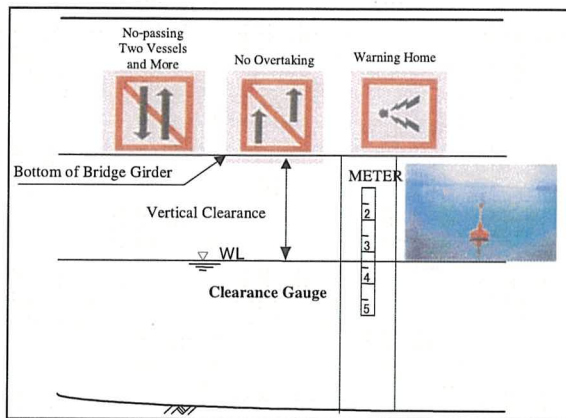
防護工システム

橋脚・橋台防護工

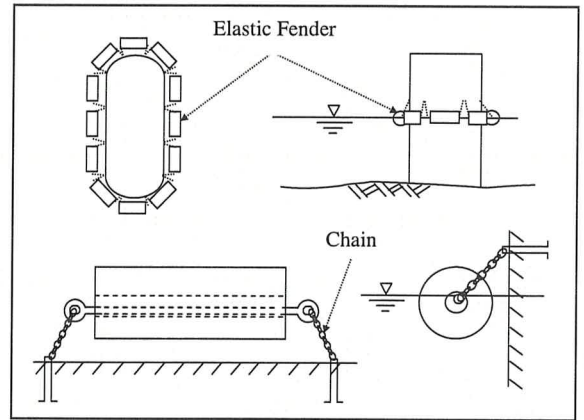
管理上の対策

橋梁と船舶との衝突を防止するために、下記のような管理上の対策を実施することは重要であり、現実的で経済的でもある。

- ・ 非通行地帯の設置
- ・ 追越禁止帯の設置
- ・ 警告帯の設置
- ・ 航路限界ゲージの設置
- ・ 警告ブイの設置

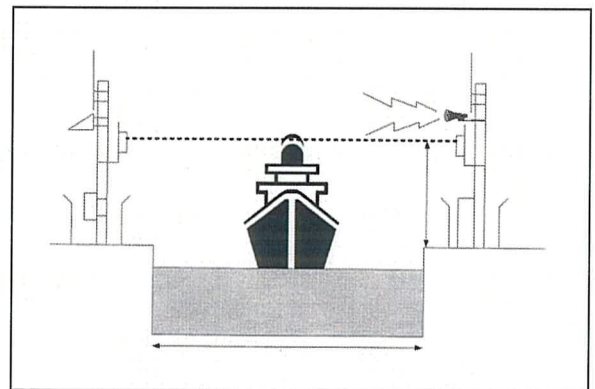


安全 航行のための標識とマーク



浮き防舷材

橋梁桁防護工



赤外線による衝突防止システム

船舶衝突に対する対策工の提言

単位：百万円

No.	Bridge Name	Countermeasures		Estimated Cost (million ₱)	Remarks
		For Girders	For Piers		
1	Delpan Bridge	-	-	-	•Sufficient clearances.
2	Jones Bridge	•Warning/Guide Buoy •Clearance Gauge •Detector Type	•Floating Fender	25.7	•Sections of exterior girders near piers have insufficient vertical clearance.
3	McArthur Bridge	-	•Floating Fender	8.5	•Insufficient vertical clearance.
4	Quezon Bridge	-	-	-	•Sufficient clearances.
5	Ayala Bridge	•Clearance Gauge •Detector Type	-	16.1	•Countermeasures for girders are recommended for bridges having a clearance less than 4.0m.
6	Nagtahan Bridge	-	•Warning/Guide Buoy •Floating Fender	3.2	•This bridge is located in the meandering river section. •Floating fender type may avoid causing damage to vessels.
7	Pandacan Bridge	-	-	-	•Sufficient clearances.
8	Lambingan Bridge	•Warning/Guide Buoy •Clearance Gauge •Detector Type	•Warning/Guide Buoy •Floating Fender	23.1	•This bridge is located in the meandering river section. •Countermeasures for girders are recommended for bridges having a clearance less than 4.0m.
9	Makati-Mandaluyong Bridge	-	-	-	•Sufficient clearances.
10	Guadalupe Bridge	-	•Floating Fender	8.5	•Existing RC fender is broken. •Insufficient horizontal clearance.
11	C-5 Bridge	-	•Warning/Guide Buoy •Floating Fender	10.8	•Existing RC fender is broken. •This bridge is located in the meandering river section.
12	Bambang Bridge	-	•Floating Fender	8.5	•Existing pier protection may not be enough.
13	Vargas Bridge	-	•Floating Fender	8.5	•There is evidence of vessel collision with bridge on downstream side.
14	Rosario Bridge	-	-	-	•Existing Pier Protection.
15	Marcos Bridge	-	-	-	•Insufficient clearances.
16	Marikina Bridge	-	-	-	•Insufficient clearances.
17	San Jose Bridge	-	-	-	•Insufficient clearances.

10. 地震対策工

現在の実施状況

地震時の構造物のリスクを広域的な視点から最小化する目的で、DPWHは、「橋梁レトロフィットプログラム (BRP) “を実施中である。したがって、地震対策工は、本調査には含めていない。

安定解析

仮定

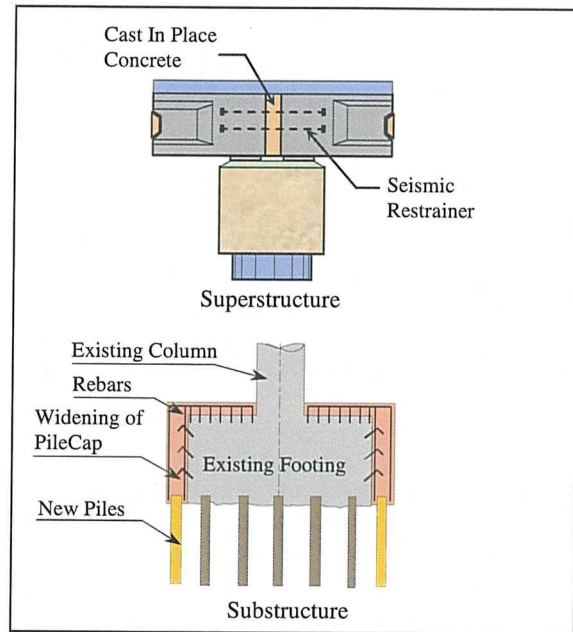
下部工と基礎工の実際の抵抗力に対する設計で要求される抵抗力と要求水準との割合 (C/D)を計算する際の仮定は、次の通りとした。

- ・多モード 3-D 解析モデルとした。
- ・地震荷重は、最大地盤加速度 (A=0.4) を用いた AASHTO 地震応答スペクトルに基づいた。
- ・弾性および塑性状態の C/D 比の値は、橋梁の建設時の条件に基づいて算出した。

要点

以下の項目は、地震時における橋梁の抵抗力特性に関係する要因である。

- ・ 橋梁立地場所
- ・ 建設工事の品質
- ・ 構造上の形状
- ・ 建設年



レトロフィット対策工の例

下部構造の C/D 率とレトロフィット費用

BRIDGE NAME (Construction Year)	SUBSTRUCTURE C/D RATIO Structural Capacity / Demand Ratio		REQUIRED MEASURE AGAINST EARTHQUAKES	RETROFITTING COST (百万円)	
	COLUMN/WALL	FOUNDATION			
Delpan Bridge	Upstream (1965)	1.00 (Pier 3)	1.25 (Pier 2)	• No retrofitting works required.	-
	Downstream (1988)	1.03 (Pier 3)	2.01 (Pier 2 & 3)	• No retrofitting works required.	-
Jones Bridge (1948)	0.37 (Pier 1) 0.64 (Pier 2)	0.86 (Pier 1) 0.89 (Pier 2)	• Install full height concrete jackets at piers to increase capacity of wall piers.	145.7	
Mac Arthur Bridge (1948)	0.26 (Pier 1)	0.85 (Pier 1)	• Install full height concrete jackets at piers to increase capacity of wall piers and to provide bored piles.	90.9	
Quezon Bridge (1946)	0.70 (Abut)	0.70 (Abut)	• Install full height concrete jackets at abutments to the increase capacity of mainwall and provide additional piles.	67.8	
Ayala Bridge (1935, 1950)	0.60 (Abut.) 0.32 (Pier)	0.57 (Abut.) 0.41 (Pier)	• Reconstruct abutment backwall and provide additional piles.	812.9	
Nagtahan Bridge (1966)	0.56 (Pier 9 & 10)	0.64 (Pier 9 & 10)	• Install full height concrete jackets at piers to increase capacity of pier wall and provide additional piles.	250.4	
Pandacan Bridge (1997)	1.58 (Pier 4)	1.58 (Pier 4)	• No retrofitting works required.	-	
Lambingan Bridge (1979)	0.64 (Pier 1)	1.11 (Pier 1)	• Install full height concrete jackets at piers to increase capacity of pier wall.	9.1	
Makati-Mandaluyong Bridge (1986)	0.81 (Pier 6)	0.81 (Pier 6)	• Install longitudinal restrainer cables at discontinuous spans. • Increase full height concrete jackets at piers to increase capacity of pier wall and provide additional piles.	47.6	
Guadalupe Bridge	Central (1962)	1.27 (Pier 2)	1.05 (Pier 2)	• No retrofitting works required.	-
	Both Sides (1979)	0.85 (Pier 1 & 2)	0.22 (Pier 1 & 2)	• Install full height concrete jackets at piers to increase capacity of pier wall and provide additional piles.	12.1
C-5 Bridge (1998)	0.74 (Pier 8)	0.74 (Pier 8)	• Install longitudinal cable restrainers at discontinuous spans. • Increase full height concrete jackets at columns to increase capacity of piers and provide additional piles.	154.8	
Bambang Bridge (1991)	2.05 (Pier 1)	4.89 (Pier 1)	• No retrofitting works required.	-	
Vargas Bridge	Upstream (1992)	1.78 (Pier 1 & 2)	6.18 (Pier 1 & 2)	• No retrofitting works required.	-
	Downstream (1973)	1.19 (Pier 1)	3.59 (Pier 1)	• No retrofitting works required.	-
Rosario Bridge (1952)	0.69 (Pier 4)	0.97 (Pier 4)	• No retrofitting works required.	37.2	
Marcos Bridge (1978)	1.47 (Pier 4)	3.14 (PSC Piles)	• Install full height concrete jackets at piers to increase capacity of wall piers and provide additional piles.	-	
Marikina Bridge (1980)	1.49 (Pier 2 & 3)	9.65 (Pier 2 & 3)	• No retrofitting works required.	-	
San Jose Bridge (1980)	0.68 (Pier 3,4,5)	0.33 (PSC Piles)	• Provide longitudinal restrainer cables at discontinuous spans. • Install full height concrete jackets at piers to increase capacity of wall piers and provide additional piles.	142.5	

11. 全体実施計画

実施上の戦略

アヤラ橋を除く 19 橋梁構造の状況調査と構造解析の結果、技術的判断により、5 橋梁構造に関して緊急に改善対策が必要であるとの判定に至った。

本プロジェクトの全体実施計画として以下の戦略が採用された。

タイムフレーム

- ・短期；10 年（2004~2013）
- ・中期；10 年（2014~2023）
- ・長期；10 年（2024~2033）

技術的緊急性

20 橋は、各橋梁の技術的緊急性を勘案し、下記の 3 種類の優先順位を設定した。

- ・ 優先順位第 1 位（極めて緊急、又は緊急）；
実施時期(2004~2007)
5 橋梁構造：（ジョーンズ橋、ケソン橋、ランピンガン橋、グアダルーペ橋（両側）、バルガス橋）
- ・ 優先順位第 2 位（軽微な損傷状態）；
実施時期(2008~2013)
10 橋梁構造：（デルパン橋(上流側)、マッカアサー橋、ナグタハン橋、マカティマンダリヨン橋、グアダルーペ橋(中央)、バルガス橋(下流側)、ロザリオ橋、マルコス橋、マリキナ橋、サンノセ橋)
- ・ 優先順位第 3 位（正常）；
実施時期（中期計画）
4 橋梁構造：（デルパン橋（下流側）、パンダカン橋、C-5、バンバン橋）

船舶衝突に対する防護工（フェンダー）

橋脚防護工の実施時期は橋脚の損傷がさほど重大でないので、基本的に改善工事と分離して実施する。

地震に対するレトロフィット

- ・ 地震に対するレトロフィットの実施時期は、対策工の性格から判断して、橋梁改善工事と分離して実施することを考えるべきである。

年間予算

本プロジェクトに対する年間予算はできるだけバランスの取れたものとする。

アヤラ橋と第 2 アヤラ橋

- ・ アヤラ橋の改善事業は橋梁の劣化が激しいことから早急に実施されるべきである。
- ・ 第 2 アヤラ橋は財政的なタイミングをみて実施すべきである。

橋梁改善工事の提案

橋梁改善工事は短期、中期、長期と分類し、表に示す。表中の補修工事には、左欄の改善工事を含むものとする。

予想される補修工事は、補修・補強工事が実施された橋梁において、未補修・未補強部材に対して 10 年毎に補修工事が必要であると想定したものである。

総事業費

事業費

単位：百万円

Improvement Works	1,643.2
Protection of Piers to Vessel Collision	96.8
Ayala Bridge Improvement Works	2,375.5
Second Ayala Bridge Construction	1,778.5

最大の年間予算は 2006 年（平成 18 年）から 2007 年（平成 19 年）にかけての第 2 年次で 28.83 億円である。

本業務に含まれていない改善事業費

単位：百万円

Succeeding Repair and Rehabilitation in the future.	577.9
Retrofitting to Earthquakes	958.2

提案された改善事業の一覧表

Bridge No.	Bridge Name	Superstructure Type	Construction Year	MAJOR WORKS		
				Short Term (2004 - 2013)	Medium Term (2014 - 2023)	Long Term (2020-2033)
1	Delpan Br. (Upstream)	PC Gerber Box Girder (5span)	1965	<ul style="list-style-type: none"> Repair/sealing of concrete cracks Countermeasure for truck collision 	* Repair	* Repair
	Delpan Br. (Downstream)	PC Gerber Box Girder (5span)	1988	-	* Repair	* Repair
2	Jones Br.	3 Span Continuous Steel Plate Girder	1948	<ul style="list-style-type: none"> Cleaning/painting of corroded steel members Rehabilitation of ruptured exterior girder Additional steel girders adjacent to existing exterior girders 	* Cleaning/painting of corroded steel members	* Cleaning/painting of corroded steel members
3	McArthur Br.	3 Span Continuous Steel Plate Girder	1948	<ul style="list-style-type: none"> Cleaning/painting of corroded steel members Adding rivets to missing portion Sealing of concrete cracks honeycomb & spalling 	* Cleaning/painting of corroded steel members	* Cleaning/painting of corroded steel members
4	Quezon Br.	Single Steel Arch	1946	<ul style="list-style-type: none"> Cleaning/painting of corroded steel member Rehabilitation of corroded joint connections at floor system 	* Cleaning/painting of corroded steel members	* Cleaning/painting of corroded steel members
6	Nagtahan Br.	3-Span Continuous Steel Truss Br.	1966	<ul style="list-style-type: none"> Cleaning/painting of corroded steel member & deformation Sealing of Concrete cracks honeycomb & spalling 	* Cleaning/painting of steel members * Repair	* Cleaning/painting of steel members * Repair
7	Pandacan Br.	PC I Girder (5 span)	1997	* Repair/sealing of concrete cracks	* Repair	* Repair
8	Lambingan Br.	PC I Girder (3 span)	1975	<ul style="list-style-type: none"> Rehabilitation of Gerber Hinge parts Replacement of uplift/hold-down devices Repair/sealing of concrete cracks 	* Repair	* Repair
9	Makati-Mandaluyong Br.	PC Box Girder with Gerber I Girder (3span)	1986	<ul style="list-style-type: none"> Rehabilitation of expansion joints Repair/sealing of concrete cracks 	* Repair	* Repair/sealing of concrete cracks
10	Guadalupe Br. (Central)	3-Span Continuous Steel Truss Br.	1962	<ul style="list-style-type: none"> Cleaning/painting of corroded steel members Repair/sealing of concrete cracks 	* Cleaning/painting of corroded steel members	* Cleaning/painting of corroded steel members
	Guadalupe Br. (Both Sides)	PC Gerber Girder (3span)	1979	<ul style="list-style-type: none"> Rehabilitation of Gerber Hinge parts Sealing of Concrete cracks 	* Repair	* Repair
11	C-5 Br.	PC I Girder (10span)	1998	-	* Repair	* Repair
12	Bambang Br.	PC I Girder (9span)	1991	-	* Repair	* Repair
13	Vargas Br. (Upstream)	PC Gerber Girder (4span)	1992	<ul style="list-style-type: none"> Rehabilitation of Gerber Hinge parts Installation of External Tendons Sealing of Concrete cracks 	* Repair	* Repair
	Vargas Br. (Downstream)	Steel Plate Girder (4span)	1973	<ul style="list-style-type: none"> Cleaning/painting of corroded steel members Rehabilitation of corroded steel member 	-	* Cleaning/painting of corroded steel members
14	Rosario Br.	PC I Girder (6span)	1952	<ul style="list-style-type: none"> Rehabilitation of concrete deck slab Repair/sealing of concrete cracks 	* Repair	* Repair/sealing of concrete cracks
15	Marcos Br.	PC I Girder (11span)	1978	* Repair/sealing of concrete cracks	* Repair	* Rehabilitation of expansion joints bearing shoes
16	Marikina Br.	PC I Girder (5span)	1980	* Repair/sealing of concrete cracks	* Repair	* Rehabilitation of expansion joints bearing shoes
17	San Jose Br.	PC I Girder (8span)	1980	<ul style="list-style-type: none"> Rehabilitation of expansion joints, bearing shoes Repair/sealing of concrete cracks 	* Repair	* Repair
TOTAL (MILLION PESOS)				805.45	175.78	219.0
5	Ayala Br.	Single Steel Arch(2-span)	1935 1950	<ul style="list-style-type: none"> Strengthening of superstructure Strengthening of substructure 	* Cleaning/painting of corroded steel members	* Cleaning/painting of corroded steel members
	Second Ayala Br.			* New Construction	-	* Repair/sealing of concrete cracks
TOTAL (MILLION PESOS)				2,197.90	-	25.00

Note : * Proposed Improvement Measures

