

フィリピン国
公共事業道路省 DPWH)

**フィリピン国
大規模地震被害緩和のための
橋梁改善調査プロジェクト
(開発計画調査型技術協力)
最終報告書
要約**

平成 25 年 12 月
(2013 年)

独立行政法人 国際協力機構
(JICA)

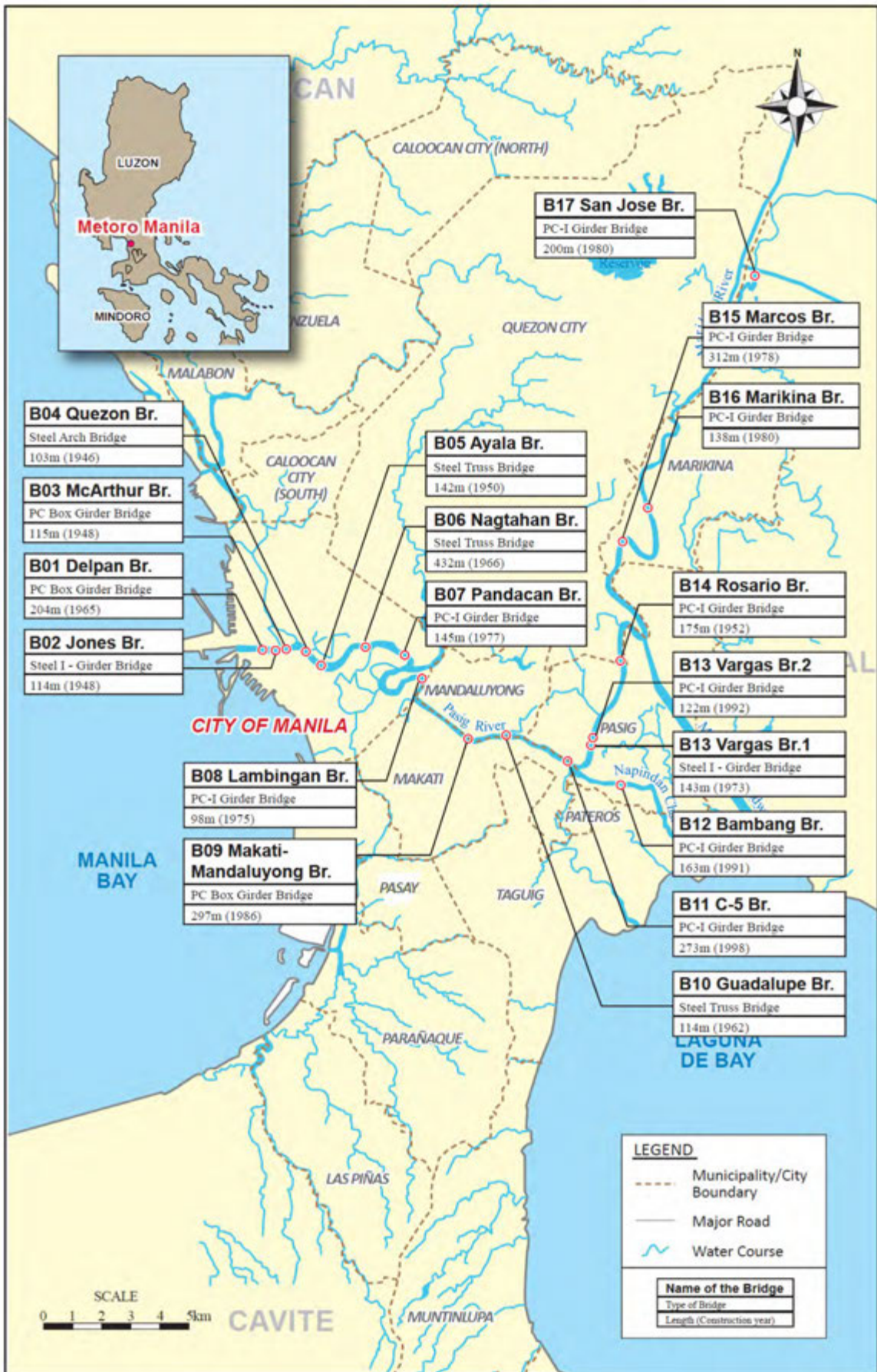
株式会社 建設技研インターナショナル
株式会社 長大
日本工営 株式会社

為替レート

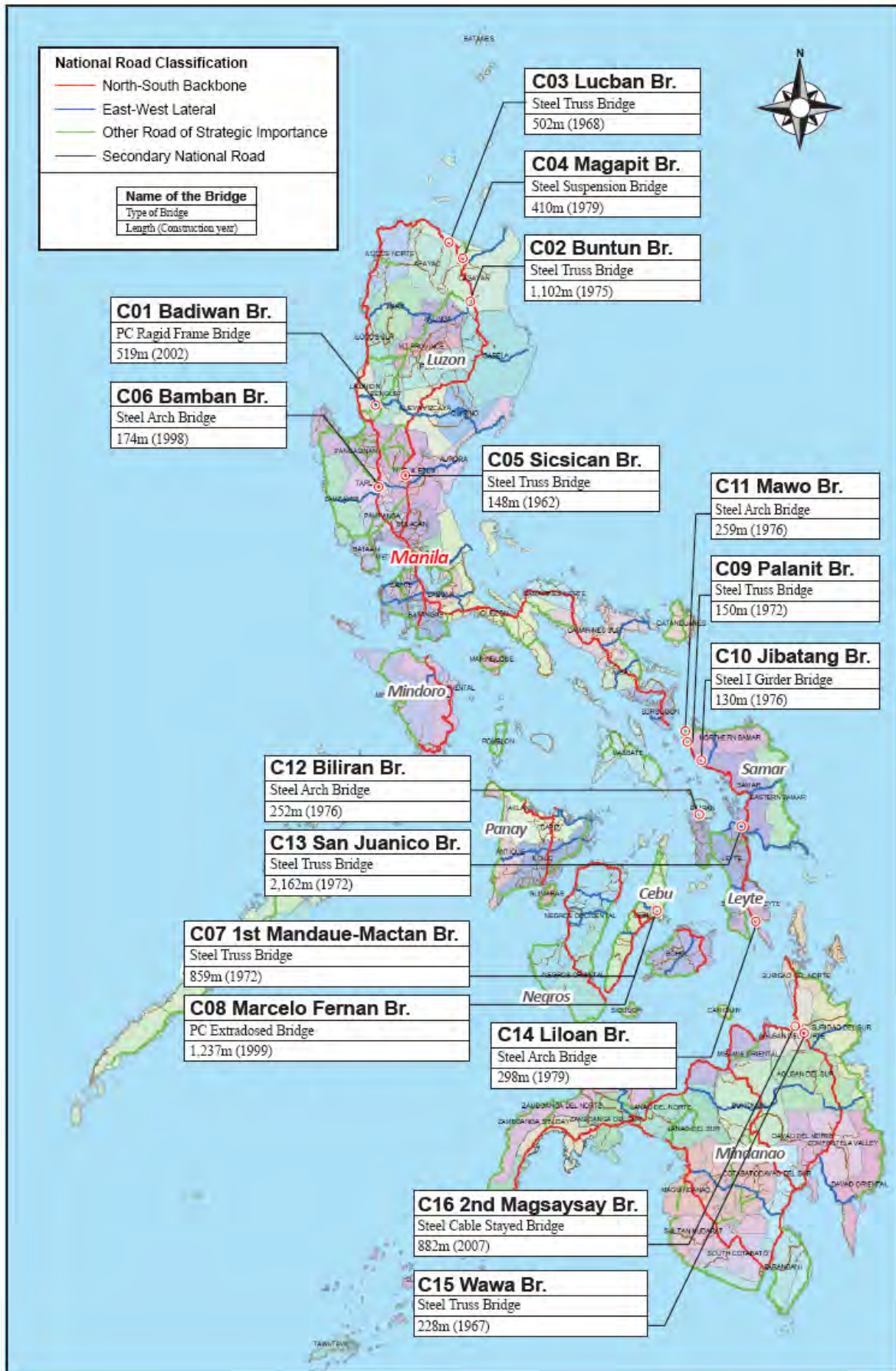
PHP 1.00 = JPY 2.222

US\$ 1.00 = JPY 97.229 = PHP 43.756

(2013年8月平均 フィリピン中央銀行)



調査対象橋梁位置図 (パッケージ B : マニラ圏内)



調査対象橋梁位置図 (パッケージ C : マニラ圏外)



B01 Delpa 橋



B02 Jones 橋



B03 Mc Arthur 橋



B04 Quezon 橋



B05 Ayala 橋



B06 Nagtahan 橋



B07 Pandacan 橋



B08 Lambingan 橋



B09 Makati-Mandaluyong 橋



B10 Guadalupe 橋

パッケージ B 調査対象橋梁全景写真 (1/2)



B11 C-5 橋



B12 Bambang 橋



B13-1 Vargas 橋 (1 & 2)



B14 Rosario 橋



B15 Marcos 橋



B16 Marikina 橋



B17 San Jose 橋

パッケージ B 調査対象橋梁全景写真 (2/2)



C01 Badiwan 橋



C02 Buntun 橋



C03 Lucban 橋



C04 Magapit 橋



C05 Sicsican 橋



C06 Bamban 橋



C07 1st Mandaue-Mactan 橋



C08 Marcelo Fernan 橋



C09 Palanit 橋



C10 Jibatang 橋

パッケージ C 調査対象橋梁全景写真 (1/2)



C11 Mawo 橋



C12 Biliran 橋



C13 San Juanico 橋



C14 Liloan 橋



C15 Wawa 橋



C16 2nd Magsaysay 橋

パッケージ C 調査対象橋梁全景写真 (2/2)



Lambingan 橋 完成予想図 (1/2)



Lambingan 橋 完成予想図 (2/2)



Guadalupe 橋 完成予想図



Palanit 橋 完成予想図



Mawo 橋 完成予想図 (1/2)



Mawo 橋 完成予想図 (2/2)



Wawa 橋 完成予想図

目 次

調査対象橋梁位置図
調査対象橋梁全体写真
完成予想図
目次
略語集

パート1：序論 1

第1章 業務概要.....	1
(1) 背景.....	1
(2) 調査の目的.....	1
(3) 調査地域.....	1
(4) 調査内容.....	1
(5) 調査の工程.....	2
(6) 調査組織.....	2
(7) 実施事項.....	3
(8) 報告書.....	3
第2章 橋梁耐震設計に関連する組織.....	3
第3章 フィリピンにおける橋梁の耐震脆弱性.....	4
(1) 地震に関連する自然環境条件.....	4
(2) 過去の大規模地震による橋梁の損傷状況.....	6
第4章 現在の耐震設計基準に関する情報.....	6
(1) 関連機関における地震に関する現在の計画.....	7

パート2：橋梁耐震設計基準（パッケージ A）

第5章 耐震設計基準の歴史.....	9
第6章 DPWH/NSCP、AASHTO および道路橋示方書の比較.....	9
第7章 橋梁耐震設計の現状と DPWH 基準の考察.....	10
第8章 フィリピン固有の条件を反映した橋梁設計のための加速度応答スペクトルの開発... 11	11
(1) 方法1－AASHTO の加速度応答スペクトルの利用（現在 DPWH で使用中）.....	11
(2) 方法2－確率論的地震ハザード解析法.....	13
第9章 橋梁耐震設計のための地震ハザードマップ.....	13
第10章 橋梁耐震設計基準、マニュアルと設計例の概要.....	16
(1) 橋梁耐震設計基準（BSDS）の策定.....	16
(2) 橋梁耐震設計基準（BSDS）の概要.....	16
(3) BDS による設計計算例.....	17
(4) DPWH の現行耐震設計基準と、提案している設計加速度応答スペクトルを用いた耐震設計基準（BSDS）との比較.....	17
(5) 耐震補強の適用事例.....	17

パート3：耐震改良を行う橋梁の選定（パッケージ B、パッケージ C）

第11章	概略設計を行う対象橋梁の選定手順	18
(1)	選定のフローチャート	18
(2)	一次および二次スクリーニングの評価基準	18
第12章	一次スクリーニング	21
第13章	二次スクリーニング	22
第14章	概略設計対象橋梁の推薦	22

パート4： 耐震概略設計（パッケージB およびパッケージC）

第15章	選定橋梁の設計条件	24
(1)	測量と設計条件	24
(2)	地質調査と土質成層条件	24
(3)	河川水文条件	24
(4)	既設道路網と交通状況	24
(5)	社会環境影響調査の結果	25
(6)	道路条件	26
第16章	選定橋梁の概略設計(架け替え橋梁)	27
(1)	設計仕様と設計条件	27
(2)	設計加速度応答スペクトル	27
(3)	架け替え対象橋梁の概略設計結果の概要	27
第17章	選定橋梁の補強概略設計	35
(1)	設計仕様と条件	35
(2)	設計加速度応答スペクトル	35
(3)	補強橋梁の概略設計結果の概要	35
第18章	選定橋梁の施工計画と積算	38
(1)	施工計画	38
(2)	積算	42
第19章	選定橋梁の交通計画および経済分析	43
(1)	交通計画	43
(2)	経済分析	43
第20章	環境影響評価	45

パート5： 事業実施計画と提言

第21章	事業実施計画	48
(1)	事業の概要	48
(2)	事業費	48
(3)	事業実施工程	48
(4)	事業実施組織	49
(5)	財務分析と資金調達	49
第22章	提言	49
(1)	提案している橋梁耐震設計基準（BSDS）	49
(2)	提案している橋梁耐震化事業の実施	53
(3)	施工品質と維持管理の重要性	54

(4) Guadalupe 橋とその周辺の交通結節点としての改良の提言	54
---	----

略語集

AADT	: Annual Average Daily Traffic	: 年平均日交通量
AASHTO	: American Association of State Highway and Transportation Officials	: 米国全州道路交通運輸行政官協会
ABC	: Approved Budget for the Contract	: 契約承認予算
AH	: Asian Highway	: アジアハイウェイ
AHTN	: Asean Harmonized Tariff Nomenclature	: ASEAN 統一関税品目
ASD	: Allowable Stress Design	: 許容応力度設計法
ASEP	: Association of Structural Engineers of the Philippines	: フィリピン構造技術者協会
B/C, BCR	: Benefit Cost Ratio	: 費用便益比
BCGS	: Bureau of Coast and Geodetic Survey	: 海岸測地測量局
BIR	: Bureau of Internal Revenue	: 内国税収局
BOC	: Bureau of Construction	: 建設局
BOD	: Bureau of Design	: 設計局
BOM	: Bureau of Maintenance	: 管理局
BRS	: Bureau of Research and Standards	: 調査標準局
BSDS	: Bridge Seismic Design Specification	: 橋梁耐震設計基準
CBD	: Central Business District	: セントラルビジネス地区
CCA	: Climate Change Adaptation	: 気候変動適応
CCP	: Cast-in-place concrete pile	: 場所打ちコンクリート杭
CDA	: Cooperative Development Authority	: 共同組合開発局
CLOA	: Certificates of Land Ownership Award	: 土地所有証明書
CP	: Counter Part	: カウンターパート
CPI	: Consumer Price Index	: 消費者物価指数
DAO	: Department Administrative Order	: 省令
DEO	: District Engineering Office	: District エンジニア事務所
DIA	: Direct Impact Area	: 直接影響地域
DL	: Dead Load	: 死荷重
DOF	: Degree of Freedom	: 自由度
DPWH	: Department of Public Works and Highways	: 公共事業道路省
DRR	: Disaster Risk Reduction	: 災害リスク低減
DSWD	: Department of Social Welfare and Development	: 社会福祉省
ECA	: Environmentally Critical Area	: 環境上重要な地域
ECC	: Environmental Compliance Commitment	: 環境適合証明
EDC	: Estimated Direct Cost	: エネルギー開発公社
EDSA	: Epifanio de los Santos Avenue	: エドゥサ通り
EGM	: Earthquake Ground Motion	: 地震動
EIA	: Environmental Impact Assessment	: 環境影響評価
EIRR	: Economic Internal Rate of Return	: 経済内部収益率
EIS	: Environmental Impact Statement	: 環境影響評価報告書
EMB	: Environmental Mngement Bureau	: 環境管理局

EMoP	: Environmental Monitoring Plan	: 環境モニタリング計画
EQ	: Earthquake Load	: 地震荷重
ESCAP	: Economic and Social Commission for Asia and the Pacific	: アジア太平洋経済社会委員会
ESSO	: Environmental and Social Services Office	: 環境及び社会サービス課
GRS	: Grievance Redress System	: 苦情対応システム
ICC	: Investment Coordinating Committee	: 投資調整委員会
IEE	: Initial Environmental Examination	: 初期環境影響評価
IMF	: International Monetary Fund	: 国際通貨基金
IR	: Involuntary Resettlement	: 非自発的移住
IRR	: Internal Rate of Return	: 内部収益率
ITC	: Intersection Traffic Count	: 投資調整委員会
JBA	: Japan Bridge Association	: 日本橋梁建設協会
JCC	: Joint Coordinating Committee	: プロジェクト合同調整会議
JICA	: Japan International Cooperation Agency	: 国際協力機構
JPCCA	: Japan Prestressed Concrete Contractors Association	: プレストレスト・コンクリート建設協会（日本）
JRA	: Japan Road Association	: 日本道路協会、道路橋示方書
LAP	: Land Acquisition Plan	: 用地取得計画
LARRIPP	: Land Acquisition, Resettlement, Rehabilitation and Indigenous Peoples'	: 用地取得、移住、職業安定、原住民政策
LD	: Longitudinal Direction	: 縦断方向
LFD	: Load Factors Design	: 荷重係数設計法
LGUs	: Local Government Units	: 地方自治体
LL	: Live Load	: 活荷重
LOS	: Level-of-Service	: サービス水準
LPG	: Liquefied Petroleum Gas	: 液化石油ガス
LRB	: Laminated Rubber Bearing	: 積層ゴム支承
LRFD	: Load and Resistance Factor Design	: 荷重抵抗係数設計法
MAD	: Mean Absolute Difference	: 平均絶対偏差
MC	: Memorandum Circular	: 覚書回覧
MGB	: Mines and Geosciences Bureau	: 鉱山地球科学局
MHWL	: Mean High Water Level	: 平均高潮位
MRT	: Mass Rapid Transit	: 都市高速鉄道
MSL	: Mean Sea Level	: 平均潮位
NAMRIA	: National Mapping and Resource Information Authority	: 国土地理・資源情報庁
NCR	: National Capital Region	: マニラ首都圏
NGO	: Non-Governmental Organization	: 非政府組織
NIED	: National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention	: 防災科学技術研究所（日本）
NLEX	: North Luzon Expressway	: 北ルソン道路
NPV	: Net Present Value	: 純現在価値
NSCP	: National Structural Code of the Philippines	: フィリピン建設構造基準
OC	: Operational Classification	: (橋梁の) 重要度

OD	: Origin and Destination	: 起終点
OJT	: On-the-Job Training	: 職場内訓練
PAF	: Project Affected Family	: プロジェクト影響世帯
PAP	: Project Affected Person	: プロジェクト影響住民（法人を含む）
PC	: Prestressed Concrete	: プレストレストコンクリート
PCG	: Philippine Coast Guard	: フィリピン沿岸警備隊
PD	: Presidential Decree	: 大統領令
PEIS	: Philippine Earthquake Intensity Scale	: フィリピン震度階層区分
PFI	: Private Finance Initiative	: 民間資金等を活用した社会資本整備
PGA	: Peak Ground Acceleration	: 最大震央加速度
PHIVOLCS	: Philippine Institute of Volcanology and Seismology	: フィリピン地震火山研究所
PICE	: Philippine Institute of Civil Engineers	: フィリピン土木学会
PMO	: Project Management Office	: プロジェクト実施部門
PPP	: Public Private Partnership	: 官民連携
R/D	: Record and Discussion	: 討議の記録、または、討議議事録
RA	: Republic Act	: 共和国法
RAP	: Resettlement Action Plan	: 移転行動計画
RC	: Reinforced Concrete	: 鉄筋コンクリート
RIC	: Resettlement Implementation Committee	: 移転実行委員会
RO	: Regional Office	: 地方事務所 (DPWH)
ROW	: Right of Way	: 用地
RTC	: Roadside Traffic Count	: 交通量調査
SER	: Shadow Exchange Rate	: 影の為替レート
SLEX	: South Luzon Expressway	: 南ルソン道路
SMR	: Self-Monitoring Report	: 自己モニタリング報告
SPL	: Seismic Performance Level	: 耐震性能
SPP	: Steel Pipe Pile	: 鋼管杭
SPSP	: Steel Pipe Sheet Pile	: 鋼管井筒矢板
SPT	: Standard Penetration Test	: 標準貫入試験
SPZ	: Seismic Performance Zone	: 地震強度の地域区分
SR	: Superstructure Replacement	: 上部工の架け替え
SWMP	: Solid Waste Management Plan	: 汚泥処理計画
SWR	: Shadow Wage Rate	: 労働の潜在価格
TCT	: Transfer Certificate of Title	: 土地権利書
TD	: Transversal Direction	: 横断方向
TESDA	: Technical Education and Skills Development Authority	: 技術教育開発局
TTC	: Travel Time Cost	: 旅行時間費用
VAT	: Value Added Tax	: 付加価値税
VOC	: Vehicle Operating Cost	: 車両走行費用
WB	: World Bank	: 世界銀行

フィリピン国
大規模地震被害緩和のための橋梁改善調査プロジェクト
(開発計画調査型技術協力)

概 要

パート 1 : 序論

第 1 章 業務概要

(1) 背景

近年、特に 2011 年に日本で発生した東北地方太平洋沖地震以降、大規模地震時の被災緩和対策が重要視されている。2004 年 3 月に実施された「フィリピン国マニラ首都圏地震防災対策計画調査」では、環太平洋火山地帯にあるフィリピン共和国は、地理的に 1990 年の北ルソン島地震のような大規模地震による被災を受ける可能性があり、地震による被災緩和の必要があると指摘されている。

しかし、公共事業道路省 (DPWH) では、公共施設の耐震点検や補強を行った結果、主要国道や緊急輸送道路にある大規模で特殊な橋梁の点検や補強に対する経験が不足していると認識されているとともに、近年、橋梁の耐震設計の基準や仕様は改定されていない。

このような背景の中、フィリピン共和国政府 (GOP) は日本国政府 (GOJ) に、橋梁の大規模地震に対する安定性・安全性の改善に対する技術支援調査を要請し、日本国の決定に従い、国際協力機構 (JICA) は調査団を派遣し、フィリピン共和国政府の担当者と共同で調査を実施した。

(2) 調査の目的

調査の目的

大規模地震時における橋梁の安定性・安全性確保の改良計画を提案する。

調査の目標

提案計画の実施により、フィリピンの橋梁が大規模地震に対する高い安定性・安全性を確保する。

(3) 調査地域

調査地域はメトロマニラ圏内と圏外で、メトロマニラ圏内 (パッケージ B) のパッシングマリキナ川の渡河橋梁と、メトロマニラ圏外 (パッケージ C) の幹線道路の橋梁が対象である。

(4) 調査内容

調査の目的を達成するため、以下の調査を実施した。

パッケージ A (橋梁耐震設計ガイドラインの策定)

- 1) 現在までのフィリピンで発生した地震の記録、地質や地形状況の分類、既設橋梁の地震被災記録の収集を行う
- 2) 現行の DPWH が利用している各種耐震設計基準に関して、これらの内容の耐震設計上の課題点や検討事項の確認を行う
- 3) 現在の各種耐震設計基準の比較検討などによる課題点や問題点の分析を行う
- 4) 現在の耐震設計基準の改定と、耐震補

強工法例を含んだガイドラインなど参考資料の作成を行う

- 5) 選定耐震補強または架け替えの概略耐震設計や耐震工法の設計・施工技術に関するセミナーやワークショップ開催により技術移転を図る

パッケージ B (メトロマニラ圏内)、および、パッケージ C (メトロマニラ圏外)

- 1) 大規模地震時の地震被災緩和のための、対象橋梁の耐震補強や架け替えの必要性を検討する
- 2) 対象橋梁の状況を確認するため、現地調査・点検を実施する (橋梁周辺の社会環境調査を含む)

- 3) 対象橋梁が位置する道路の交通量調査により、対象橋梁を通過する現在の交通量を把握する。

- 4) 対象橋梁の耐震対策の優先度を検討し、耐震補強または架け替えの選定を行う

- 5) 選定橋梁の耐震補強もしくは架け替えの工法選定など概略設計を行い、概算工事費を算定する

(5) 調査の工程

調査の工程を表 ES-1-1 に示す。

(6) 調査組織

本調査の組織を表 ES-1-2 に示す。

表 ES-1-1 調査工程表



表 ES-1-2 調査組織

組織	代表	人数
合同調整会議(JCC)	Mr. Raul C. Asis (議長) DPWH 次官	12
カウンターパート(CP), 技術作業部会(TWG)	Mr. Adriano M. Doroy (会長) DPWH 設計局 副局長	8
国内支援委員会(JAC)	塚田幸広 (委員長) 国土交通省 国土技術政策総合研究所 高度情報化研究センター長	5
JICA 調査団(JST)	五瀬伸吾 (総括) 株式会社 建設技研インターナショナル	16

(7) 実施事項

カウンターパートやその他関連組織に対する技術移転の手段として、以下の日程で、6回のセミナーとワークショップ、2回の本邦研修、7回の技術作業部会を実施し、調査内容の技術的協議、工法など技術紹介などを行った。

セミナー、ワークショップ

- 第1回 2012年8月6日：マニラ
- 第2回 2012年9月4日：タクロバン
- 第3回 2012年10月11日：マニラ
- 第4回 2013年1月17~18日：マニラ
- 第5回 2013年6月20~21日：マニラ
- 第6回 2013年11月13~14日：マニラ

技術作業部会

- 第1回 2012年4月18日：マニラ
- 第2回 2012年6月1日：マニラ
- 第3回 2012年7月2日：マニラ
- 第4回 2012年11月27日：マニラ
- 第5回 2013年3月17日：マニラ
- 第6回 2013年9月27日：マニラ
- 第7回 2013年11月11日：マニラ

本邦研修

- 第1回 2013年4月14~27日：日本
- 第2回 2013年7月14~27日：日本

(8) 報告書

本調査の特記仕様書に従い、以下に示す報告書をフィリピン共和国政府に提出した。

報告書	提出部数
インセプションレポート (IC/R)	20部
インテリムレポート (IT/R)	20部
ドラフトファイナルレポート (DF/R)	20部
ファイナルレポート (F/R)	18部 (CD-R:15枚)

第2章 橋梁耐震設計に関連する組織

DPWH とフィリピン構造技術者協会 (ASEP) とで、フィリピンの橋梁設計ガイドラインや基準を策定する組織を形成している。道路や橋梁の設計や建設を統制している DPWH は、橋梁の設計や建設が標準的で定型の手法で実施されるように、橋梁の設計の設計ガイドラインと標準仕様書を用意している。

一方、構造を専門とする技術者の集まりである ASEP では、橋梁設計のためのフィリピン建設構造基準 (NSCP) を策定し標準化することで、フィリピンにおける構造技術のレベルを維持する役割を果たしている。

DPWH 基準と ASEP の NSCP はどちらも、耐震設計の条項を含んでいる。しかし、ASEP により用意されている NSCP を公共社会基盤構造物の設計に用いるには DPWH の承認が必要となっている。

DPWH と ASEP 間との役割と関係を、耐震設計に関わる以下の組織間との役割と関係を含めて検討した。

- 公共事業道路省(DPWH)
- 科学技術省 地震火山研究所 (PHIVOLCS)
- フィリピン構造技術者協会(ASEP)
- フィリピン土木学会(PICE)
- フィリピン地質学会

- 1) 変成岩;
- 2) 蛇紋岩とオフィオライト
- 3) 火成岩と活動性火山弧
- 4) 堆積盆地.

第3章 フィリピンにおける橋梁の耐震脆弱性

(1) 地震に関連する自然環境条件

地理的特徴

フィリピンの地殻構造は、世界で最も活動的なものの一つであり、西太平洋に分布する3つのプレート（フィリピン海プレート、ユーラシアプレート、インド・オーストラリアプレート）の相互地殻変動により、1990年の北ルソン島地震や1991年のピナツボ火山噴火が引き起こされている。

フィリピン海プレートとユーラシアプレートとの間で地殻変動部が形成されており、境界部では、ユーラシアプレートが潜り込んでいる領域、衝突している領域、海盆となっている領域といった複雑な構造を有している。

ユーラシアプレートとフィリピン海プレートとの境界で形成されているフィリピン変動帯を図 ES-3-1 に示す。

地質的特徴

フィリピン諸島は地質学的に、大きくフィリピン変動帯とパラワンーミンドロ陸塊とに区分することができる。これら2つの地質学的区域は、さらに、岩石学による区分により以下の4つに分類される。

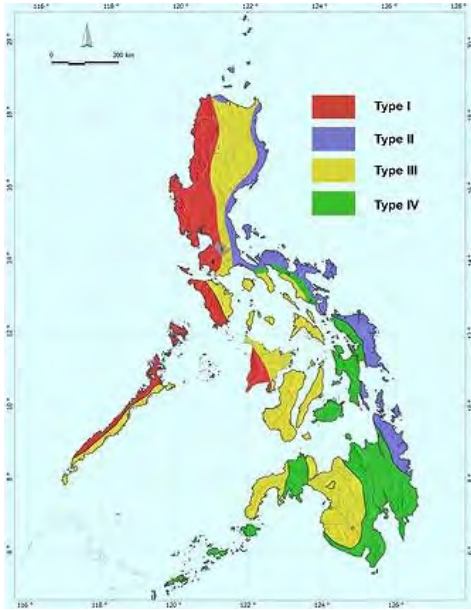
水理・水文的特徴

フィリピンはアジア大陸の東南に位置し南北に長い地形でもあり、この地理状況より、フィリピンは様々な地域や季節をもった変化に富んだ天候の影響を受ける。

各地域での降雨量と気温とを比較すると、降雨状況による分類のほうが明確であり、気候は降雨分布で分類される。

フィリピンのさまざまな気候は、雨期・乾期の期間の特徴で4つのタイプに区分され、図 ES-3-2 に示す改良コロナ気候区分（the modified Corona's Climate Classification）では以下とされている。

- タイプⅠ：顕著な2シーズンであり、1月から4月の乾期と、残りの期間が雨期
- タイプⅡ：乾期がなく、特に11月から1月の降雨量が多い
- タイプⅢ：明確な季節はなく、11月から4月が乾期で、残りが雨期の傾向にある
- タイプⅣ：大体、年間を通して平均的な降雨がある



出典: PAGASA

図 ES-3-2 フィリピンの気候分布

著しく影響を与えた落橋状況を表 ES-3-1 にまとめる。

フィリピンにおいて近年の地震による既設橋梁に発生した被害の特徴（耐震脆弱性）は下記のようにまとめられる。

- 1) 桁かかり長の不足、または、落橋防止構造がないにことによる落橋。
- 2) 基礎の耐荷力・支持力不足による橋脚の崩壊（良質な支持層に根入れされていない）。
- 3) 液状化による、基礎や橋脚の移動・傾斜・倒壊。

第4章 現在の耐震設計基準に関する情報

本章では、DPWH や PHIVOLCS などを含んだ地震基準に関する現状を示す。

(2) 過去の大規模地震による橋梁の損傷状況

近年の代表的な地震により、国道および主要道路の橋梁に発生した損傷と、道路交通へ

表 ES-3-1 フィリピンで近年に発生した代表的な地震

No.	地震名	発生日	マグニチュード [※]	橋梁の状況等
1	Casiguran 地震	1968/ 8/ 2	M7.3	
2	Ragay Gulf 地震	1973/ 3/17	M7.0	落橋 (Sumulong 橋)
3	Moro Gulf 地震	1976/ 8/17	M7.9	落橋(Quirino 橋), 死者 8,000 名
4	Laoag 地震	1983/ 8/17	M6.5	
5	Bohol 地震	1990/ 2/ 8	M6.8	落橋(Jagna-Duero 橋)
6	Panay 地震	1990/ 6/14	M7.1	落橋(4 橋)
7	North Luzon (北ルソン島) 地震	1990/ 7/16	M7.9	落橋 (多数), 死者 1,621 名
8	Mindoro 地震	1994/11/15	M7.1	Damaged (24 bridges)
9	Bohol 地震	1996/ 5/27	M5.6	
10	Bayugan 地震	1999/ 6/ 7	M5.1	
11	Palimbang 地震	2002/ 3/ 6	M6.8	死者 11 名
12	Masbate 地震	2003/ 2/15	M6.2	死者 1 名
13	Negros Oriental 地震	2012/ 2/ 6	M6.9	落橋(数橋)、死者 41 名
14	Eastern Samar (Guiuan) 地震	2012/ 8/31	M7.6	死者 1 名
15	Bohol 地震	2013/10/15	M7.2	落橋及び損傷(11 橋)

(1) 関連機関における地震に関する現在の計画

DPWH (公共事業道路省)

- Design Guideline, Criteria and Standards for Public Works and Highways (DPWH ガイドライン) 1982 年
- 1990 年の北ルソン島地震後の橋梁被災状況を受け、通達 (Department Order 75 (D.O.75)) により、最新の AASHTO 耐震基準に沿った耐震設計を行うこととされた
- 2004 年、DPWH は、AASHTO に従った耐震設計の手順、DPWH の耐震補強設計ガイドラインを統合し、DPWH 橋梁設計ガイドラインの Par4 改定案としての発行を試みた。しかし、改定版は公式に発行されず、このため、現在も改定案の状態である
- NRIMP-2 制度能力開発 - DPWH における技術設計のための運営および技術的手続能力の向上

ASEP (フィリピン構造技術者協会)

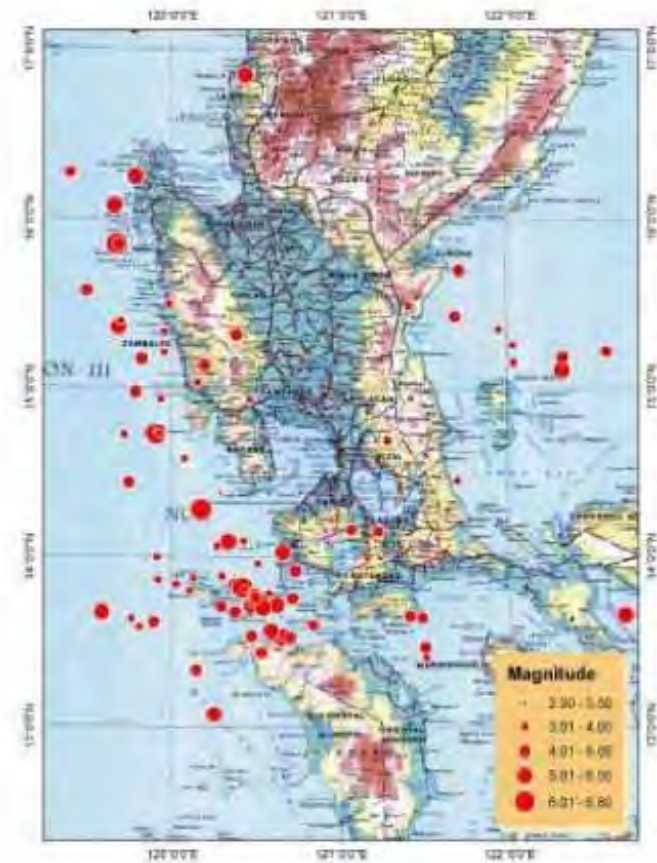
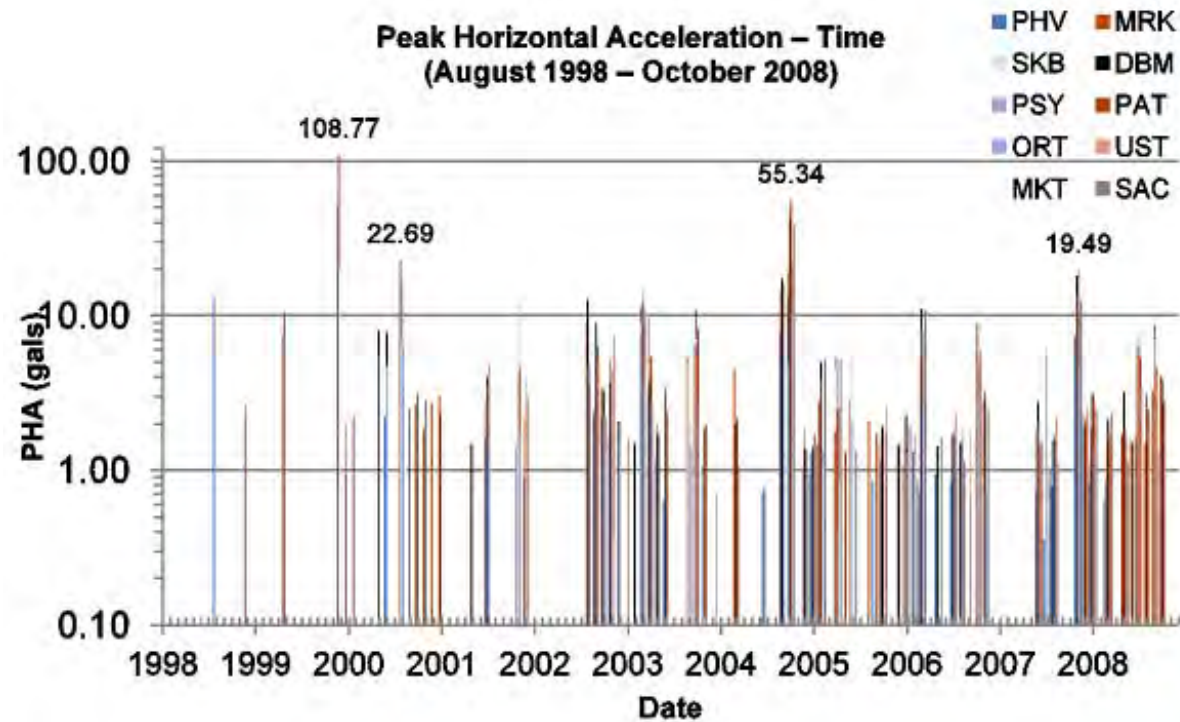
- ASEP は「フィリピン国家構造基準 Vol.2 橋梁の基準・仕様 2011 年 第3版」(案)の草案を策定しており、本案は、ASEP 審査会による内部照査を受けている状況である。

PHIVOLCS (フィリピン地震火山研究所)

- PHIVOLCS と JICA とは共同で、2010 年 2 月より「フィリピン地震火山監視能力強化と防災情報の利活用推進プロジェクト」に着手している。
- メトロマニラ強震ネットワーク (1998 年 : Metro Manila Strong Motion Network) : 東京工業大学と PHIVOLCS

とが共同し、10 箇所の計測基地からなる強震計測ネットワークを構築している。

- 図 ES-4-1 に、1998 年 8 月から 2008 年 10 月までの観測所で得られた加速度記録を示す。それによると、地表面水平加速度は約 100gal より小さく、最大でも 108 gal である。このデータは、フィリピンでの地表面での応答加速度の特徴(橋梁の設計に使用する加速度記録レベルとしては非常に小さい)を理解するには不十分である。
- 国家強震観測網(2000 年: Nation Strong Motion Network): JICA と PHIVOLCS とが共同した国家地震観測ネットワークプロジェクトが 1998 年に開始され、2000 年には 34 箇所に計測機器が設置された。これには、国全体をカバーする 29 箇所の無人観測所と 5 箇所の火山観測所の設置も含まれている。
- 強震観測網の構築 (2011 年~2012 年 : Strong Motion Network Development) : PHIVOLCS は、首都圏とミンダナオに近い高いマクネチュードやその他の地震挙動のある県内に、27 箇所の新しい振動計を設置する予定である。
- 強震観測網の構築 (2010 年~2014 年 : Strong Motion Network Development) : 既設 30 箇所観測エリアを除く 10 箇所に、通信型地震計と強震震度計を備えた、衛星通信化された地震観測所が整備される予定である。



出典: PHIVOLCS

図 ES-4-1 最大水平加速度計測値 (1998年8月～2008年10月)

パート 2 : 橋梁耐震設計基準 (パッケージ A)

第 5 章 耐震設計基準の歴史

本章では、フィリピン・日本およびアメリカでの大規模地震に対する現在までの耐震設計基準の変遷を整理している。

第 6 章 DPWH / NSCP、AASHTO および道路橋示方書の比較

1982 年の DPWH デザインマニュアルの地震荷重は、近年発生した地震規模による地震荷重との整合性がとれなくなっており、現在の橋梁耐震設計は、DPWH 通達 D.O.75 により最低限でも 1989 年か現行の AASHTO ガイドラインによる耐震設計を行うこととなっている。

設計方法は、ASEP による NSCP Vol.2 の橋梁耐震設計基準 (AASHTO 第 15 版 1992 年を参照して作成) に、荷重係数を用いた許容応力度設計法を適用している。

なお、NSCP の最新版は第 2 版として 2005 年に再版されている。

しかし、通達 D.O.75 の公示による AASHTO の適用により、耐震設計は荷重係数による許容応力度設計法から、作用力や抵抗力をベースとした荷重抵抗係数設計法 (LRFD) や (AASHTO 第 6 版 2012 年)、変位をベースとした変位法 (弾性域荷重や部材靱性) の適用に移行した

(AASHTO 橋梁耐震設計 第 2 版 2011 年)。

アメリカでは、いくつかの大規模地震の経験より AASHTO 耐震設計基準の改定が行われた。

同様に、日本の道路橋示方書の耐震設計編は、既存地震データや近年の代表的な地震より得られた知見より改定されており、2011 年の東北地方太平洋沖地震ではレベル 2 タイプ I の地震時応答スペクトルが改定された。

DPWH/NSCP、AASHTO と道路橋示方書との耐震設計基準での耐震要求性能や設計方法の相違を理解するため、本章では以下に示す各基準間の比較を行った。

- NSCP Volume 2 – Bridges, 2005 Reprint of 2nd Edition, ASEP, (Reference to AASHTO 1992, 15th Ed.). (DPWH D.O.75 で示された AASHTO に準拠した DPWH ガイドラインとして使用)
- AASHTO LRFD Bridge Design Specifications (2012, 6th Ed.) – フォースベース R ファクター手法 (Force-Based R-factor Method)
- AASHTO Guide Specifications for LRFD Seismic Bridge Design (2nd Edition, 2011) – ディスプレースペース手法 (Displacement Based Method)
- 道路橋示方書 Part V – 耐震設計編 (2012 年版)

第7章 橋梁耐震設計の現状と DPWH 基準の考察

フィリピンでは伝統的に AASHTO 設計ガイドラインをベースとした耐震設計が行われているが、火山・活断層・軟弱地盤を含む地理的・地質的特徴はアメリカ (AASHTO 規定) とは大きな相違がある。

このため、橋梁を国民の財産や生命を自然災害から守る安全な構造物とするには、フィリピン特有の地形・地質条件に適合した耐震設計ガイドラインを確立する必要がある。

以下に示す2つの項目は、橋梁耐震設計ガイドライン改定において、フィリピンとアメリカにおいて大きな差があると考えられる基本的な課題点を示したものである。

1) 地域区分 (危険度は地震荷重と関連性あり)

- フィリピン諸島に広く分布する活断層
- フィリピン群島を取り巻く、Philippine 断層・East Luzon 断層・Manila 断層・Negros 断層の存在
- 活火山の分布。

2) 地盤条件 (危険度は地震荷重やそれに対する抵抗力に関連性あり)

- 広く分布している軟弱地盤層の存在
- 広く分布している液状化の可能性が高い砂質土層の存在

また、ロマプリータ (Loma Prieta) 地震 (1989 年)、ノースリッジ (Northridge) 地震 (1994 年) や阪神・淡路大震災 (1995 年) などの大規模地震による損傷を経験した後、橋梁の耐震性能評価は、フォースベース R ファクターアプローチ (Force-Based R-factor Design Approach) からディスプレイスペースアプローチ (Displacement-Based Design Approach) へと移行してきている。

理由は、AASHTO 基準も荷重抵抗係数設計 (LRFD) 手法も設計地震荷重に対応した橋脚の靱性耐力 (変形性能) についての説明ができないことにある。

上記の状況を考慮し、以下の5つの項目を耐震設計基準策定における主な課題とした。

- 1) 橋梁の耐震要求性能に対応した重要度区分の確立
- 2) フィリピンにおける地形・地質の特徴 (特に活断層、活火山、海溝の規模と分布) を反映した加速度応答スペクトルの作成
- 3) フィリピンの地質条件に適応した地盤種別の設定
- 4) フィリピンの地形・地質の特徴を反映した落橋防止システムの導入

第8章 フィリピン固有の条件を反映した橋梁設計のための加速度応答スペクトルの開発

フィリピン固有の条件を反映した加速度応答スペクトル開発を下記の手順で実施した。

- AASHTO で規定している地盤種別に対応した加速度応答スペクトルが、フィリピンの地盤条件においても適用可能かどうかの確認
- フィリピンの特性（活断層、活火山、海溝の規模と分布）を反映し、かつ設計への適用が可能な地震動の検討
- 上記に基づいた標準的な加速度応答スペクトルの提案

(1) 方法1 - AASHTO の加速度応答スペクトルの利用（現在 DPWH で使用中）

図 ES-8-1 に検討手順を示し、代表的な検討結果を図 ES-8-2 と図 ES-8-3 に示す。

- フィリピンの地盤特性を考慮した地盤応答解析と加速度応答スペクトルの解析を行う
- 地盤応答解析で得られた加速度応答スペクトルと AASHTO（2007年）の設計加速度応答スペクトルを比較し、最大応答値と周期特性の違いを確認する
- 上記の比較結果より、AASHTO（2007年）を基本とし、フィリピンの地盤特性を考慮した設計加速度応答スペクトルを提案する

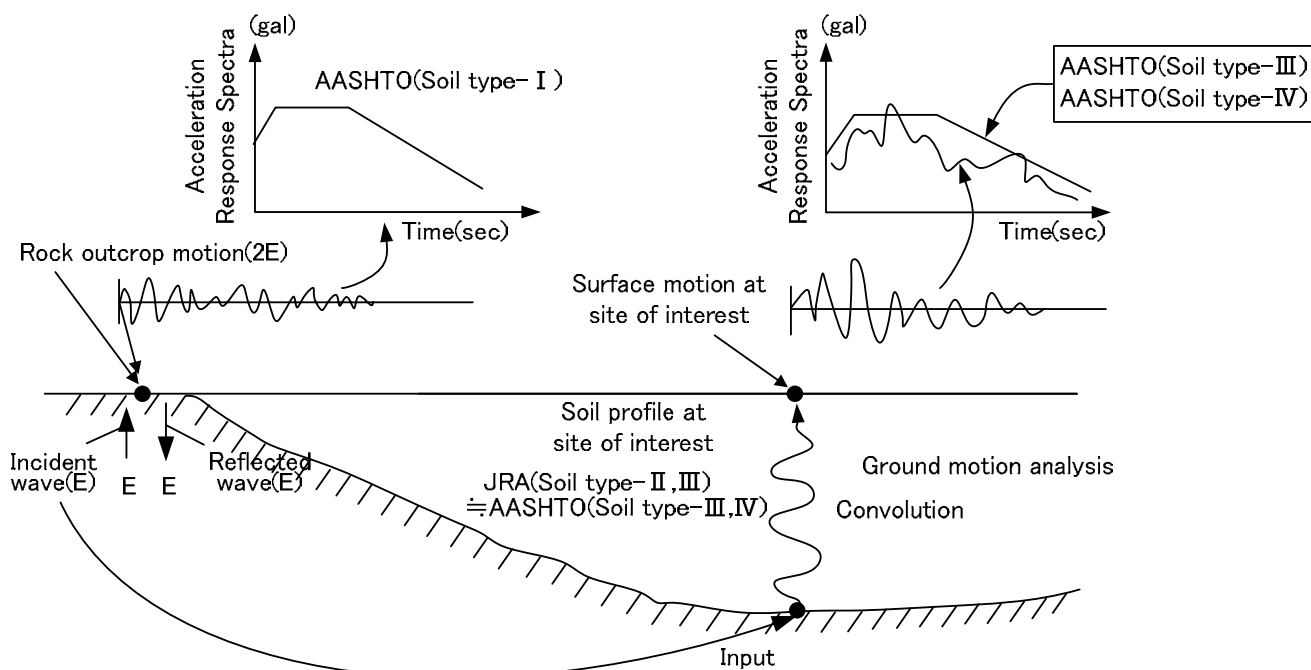


図 ES-8-1 検討手順（方法1）

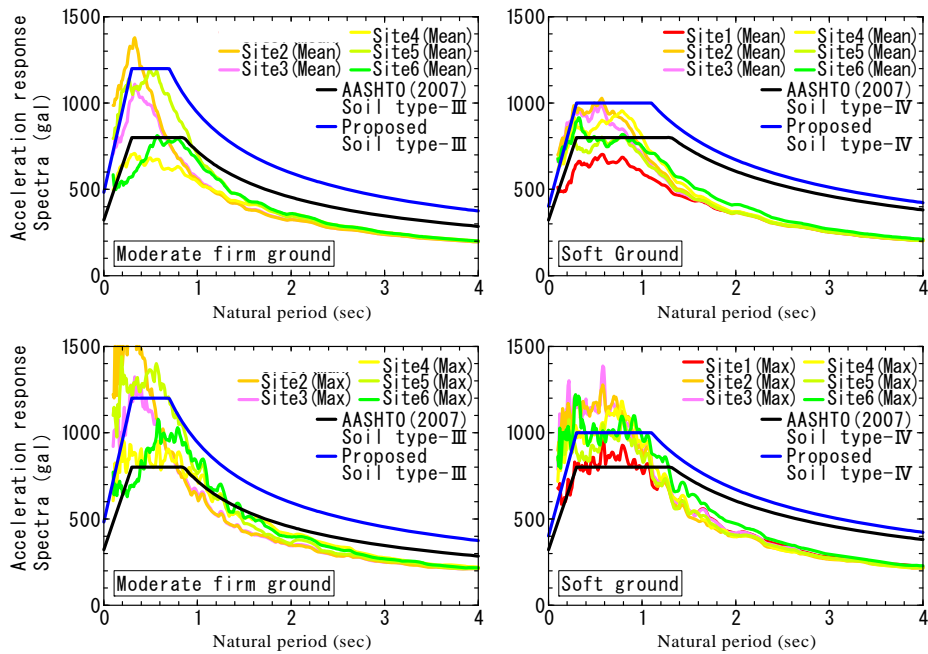
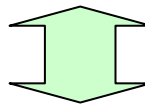
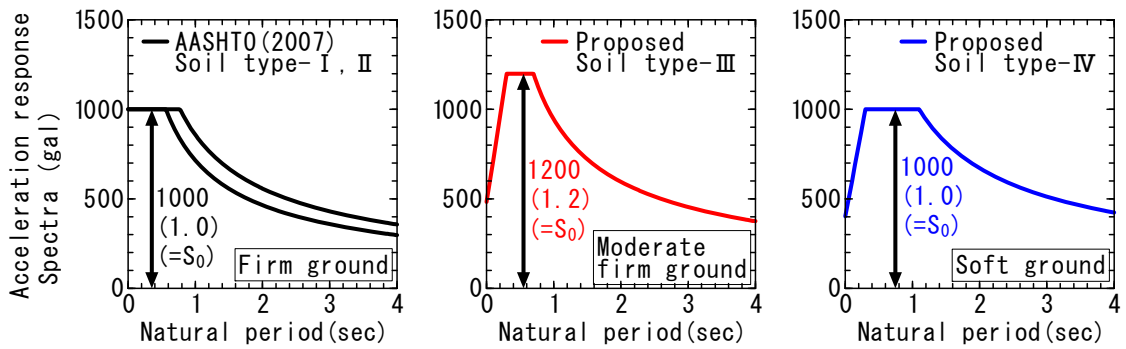


図 ES-8-2 検討結果により得られた設計加速度応答スペクトル



AASHTO 2012	Proposed S_0
1.0	1.0
1.1	1.2
0.9	1.0

Site Class	Spectral Acceleration Coefficient at Period 0.2 sec (SS)					Soil Type
	$S_S < 0.25$	$S_S = 0.50$	$S_S = 0.75$	$S_S = 1.00$	$S_S > 1.25$	
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
C	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0	Firm
D	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0	Moderate Firm ground
E	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9	Soft ground
F	-	-	-	-	-	

図 ES-8-3 提案するスペクトルと AASHTO (2012 年) 設計スペクトルの比較

(2) 方法2－確率論的地震ハザード解析法

この方法は、PHIVOLCS へのヒアリング、フィリピンにおける活断層等の情報の豊富さと質、および現在の確率論的地震ハザード解析手法のレベルを考慮し、確率論的手法により設計用加速度応答スペクトルを確立しようとするものである（確率論的手法とシナリオ地震手法の組合せとも言える）。

今後のフィリピンにおける活断層や地盤加速度記録に関する情報・データの集積の進展を考慮した持続的な耐震設計の開発に資するとの判断から、本手法（方法2）を耐震設計基準における設計用加速度応答スペクトルの確立に使用することとした。

図 ES-8-4 にこの解析手法の概念図を示す。

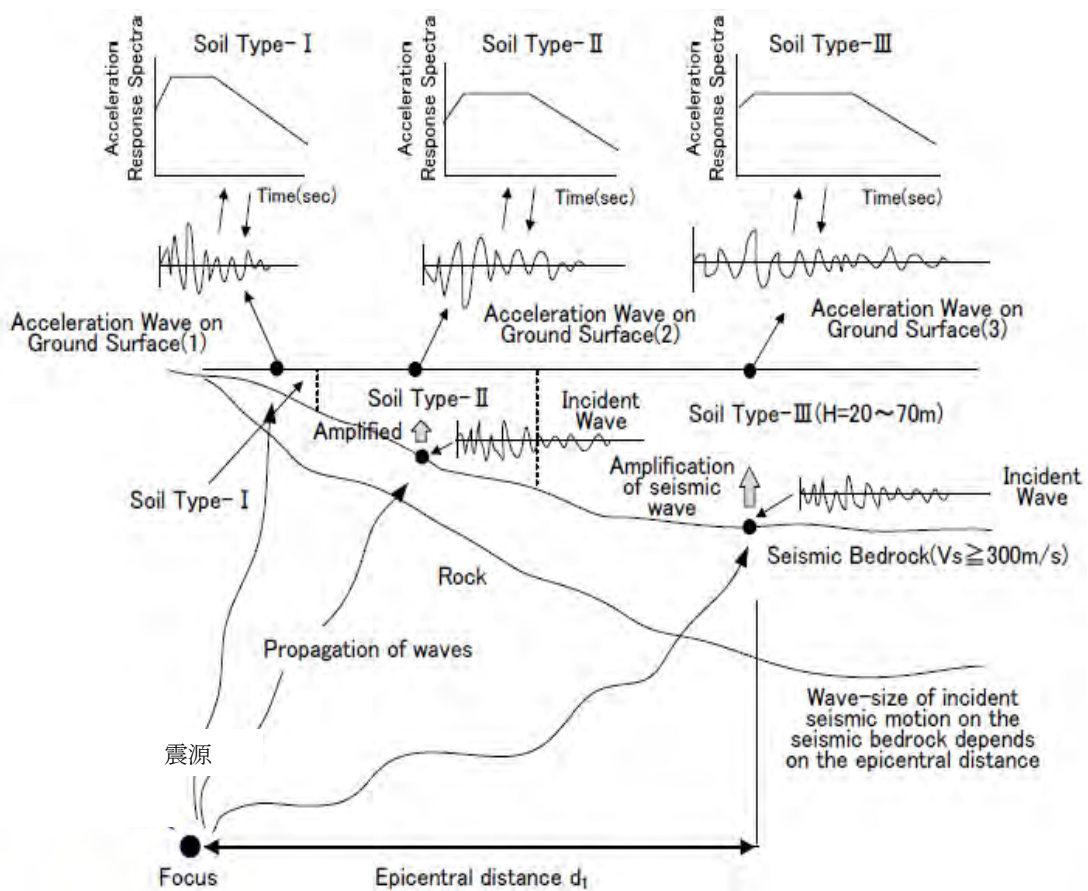


図 ES-8-4 検討手法の概念図（方法2）

第9章 橋梁耐震設計のための地震ハザードマップ

設計用加速度応答スペクトルの作成は次の2ステップで実施した。

◆ステップ1；

二次スクリーニングにより選定されるパッケージBの2橋とパッケージCの5橋の概略設計に用いるPGA（耐震設計基盤面（Seismic Bedrock））の設定、立地地点の地表面設計地震動を求めるための解析、加速度応答スペクトルの設定を行う。

ここでは、Soil Type B（軟岩：Vs=760m/s）での地震動を求め、一次元の動的応答解析、各サイトの地盤面における地震動の計算、応答スペクトルの計算の流れで、そのサイトの設計用加速度応答スペクトルを求める。

◆ステップ 2；

橋梁耐震設計用に全国を対象として基準化した。すなわち、地震ハザードパラメータ（PGA（軟岩：Vs = 760m/s）、Ss（0.2 秒）、S1（1.0 秒）、図 ES-9-2 参照）の等高線を全国を対象とし、各リージョン毎のハザードマップを提供した。再現期間は、50 年、100 年、500 年および 1,000 年の 4 種類

であり、再現期間の 50 年と 100 年は、レベル 1 の地震、500 年と 1,000 年はレベル 2 の地震規模を想定している。

再現期間は、通常、地域特性と経済的損失の受忍限度を考慮して決定される。

ステップ 2 の検討から加速度応答スペクトル作成までの流れを図 ES-9-1 に示す。図 ES-9-2 は、PGA に関する現行基準（ゾーンマップで表示）、500 年と 1,000 年の再現確率の全国ハザードマップを示した。調査団と DPWH-BOD とのグループミーティングでは、レベル 1 で 100 年、レベル 2 で 1,000 年の再現期間の採用を提言した。

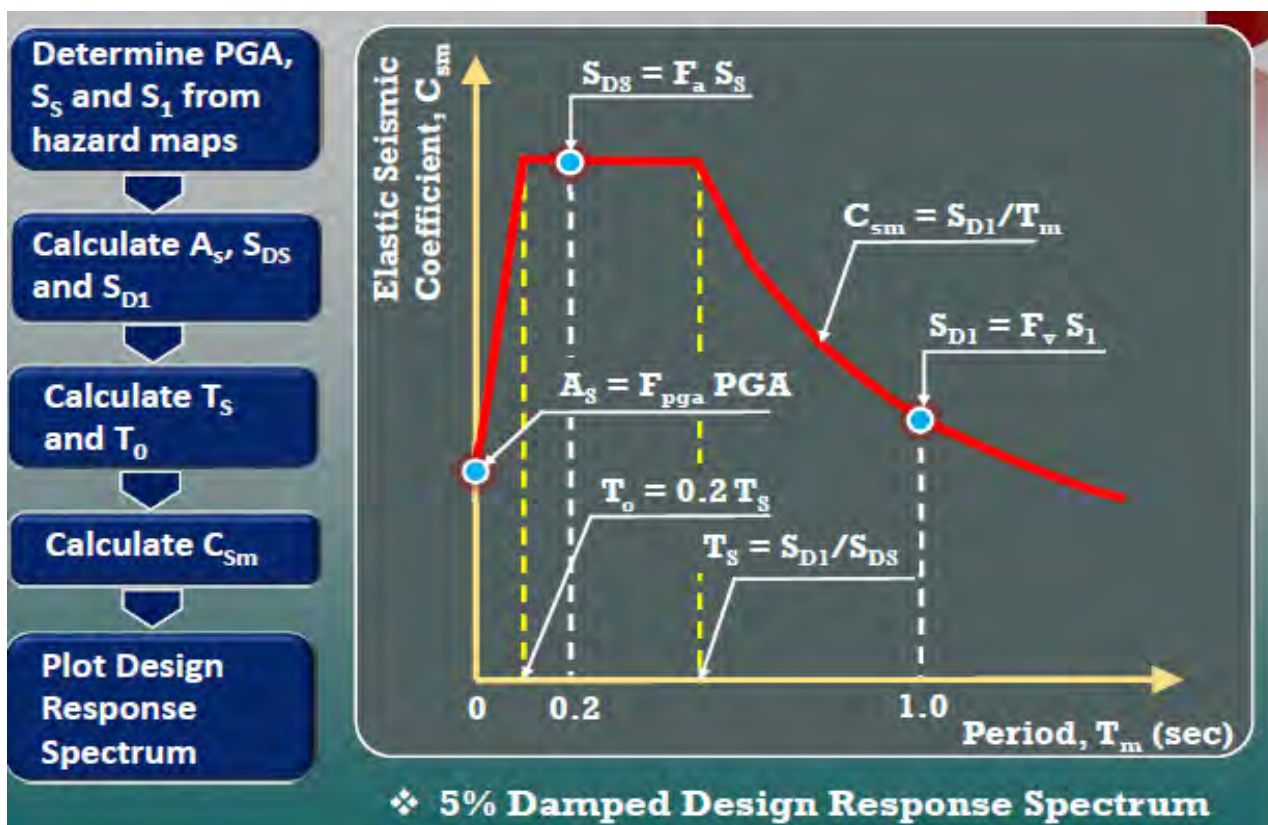
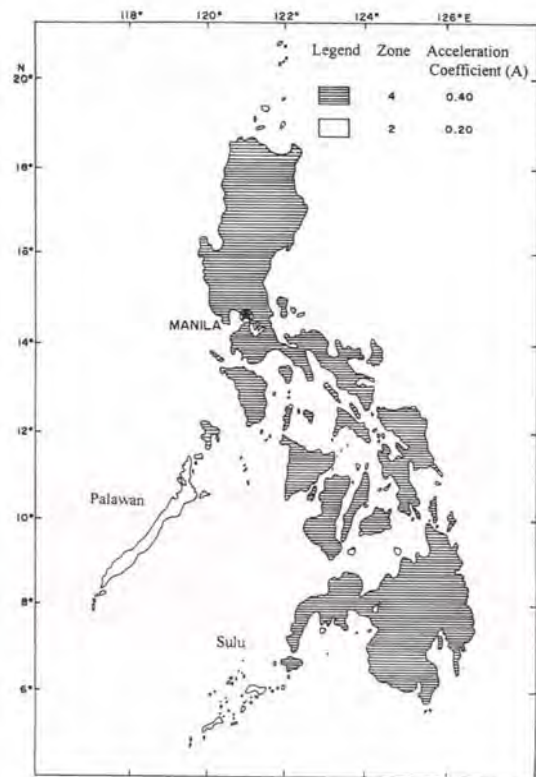
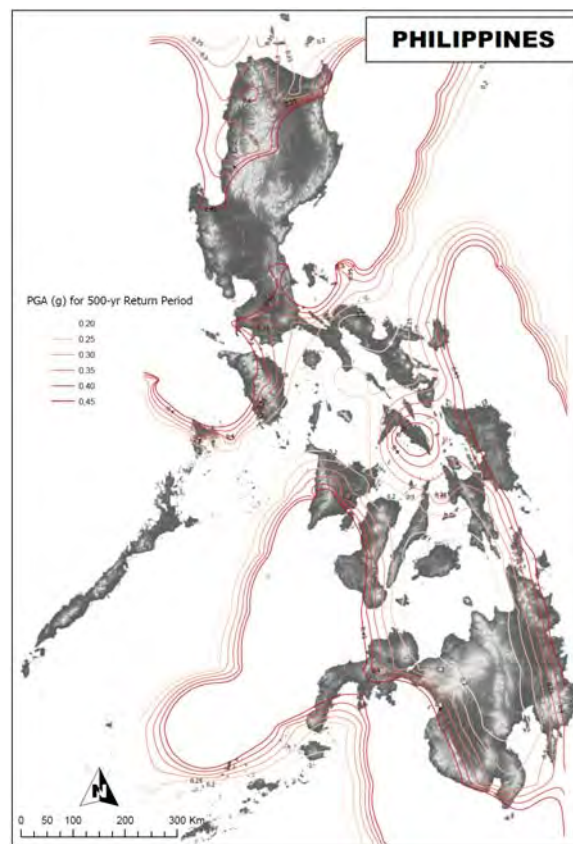


図 ES-9-1 設計加速度応答スペクトルの作成手順



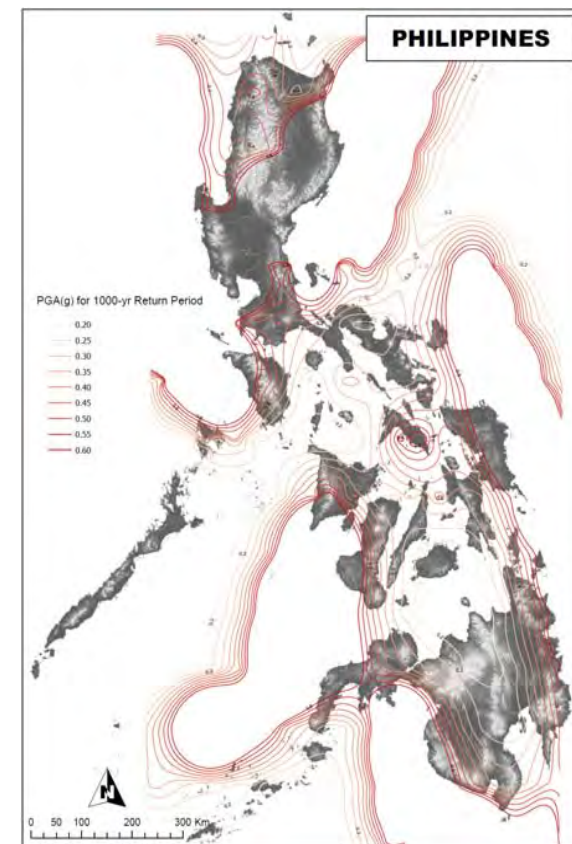
(出典 NSCP 1997 年 第2版 Vol.2 橋梁 ASEP)

- (1) PGA ゾーンマップ(Soil Type B)
(現行の橋梁耐震設計基準:再現期間500年相当)



(出典 : JICA 調査団)

- (2) 500年再現確率のPGA(震度)コンターマップ
(Soil Type B)



(出典 : JICA 調査団)

- (3) 1,000年再現確率のPGA(震度)コンターマップ
(Soil Type B)

図 ES-9-2 現行基準PGAゾーンマップ(再現期間500年を想定)と本調査の再現期間別震度コンターマップの比較

第10章 橋梁耐震設計基準、マニュアルと設計例の概要

(1) 橋梁耐震設計基準 (BSDS) の策定

現行の橋梁耐震設計ガイドラインに対する改定の必要性は下記のとおりである。

- 橋梁耐震設計で、DPWH が最新手法や技術の反映を維持していく必要がある。
- 橋梁の耐震要求性能を定義する必要がある。
- 地形・地質などの地域特性が、PGA や設計加速度応答スペクトルなどに反映されている耐震設計基準が必要である。
- 橋梁耐震設計において、DPWH および民間セクターが統一的なアプローチをとるように誘導する必要がある（特に、地震ハザードマップの使用）。

以下に示す方針に基づき、原稿の耐震設計基準の改定を行った。

- 1) AASHTO における橋梁が崩壊しないとしている 1 種類の要求性能に対して、JRA と同様に 3 段階の要求性能を設定した。
- 2) JRA と同様に路線の重要度に配慮した橋梁の重要度クラスを設けた。
- 3) 利用されている AASHTO の地盤種別より、フィ国に適している JRA の 3 段階の地盤種別を採用した。
- 4) PGA コンターマップの作成により、地震ハザードマップ (PGA と加速度応答スペクトル) を策定した。
- 5) AASHTO の 3 ポイント (PGA、 S_s 、 S_1) 設計加速度応答スペクトルの採用。

6) AASHTO には規定のない JRA の地盤の液化化・側方流動の設計基準を採用した

7) AASHTO に示されたの荷重抵抗係数設計法 (LRFD) の採用。

8) AASHTO より明確に規定されている JRA の落橋防止システムの考え方の導入。

9) JRA に規定してある免震構造を含めた。

10) フィリピンと日本との地盤タイプが類似しているので、JRA の基礎解析・設計基準を採用した。

(2) 橋梁耐震設計基準 (BSDS) の概要

橋梁耐震設計基準 (BSDS) は、以下の 8 項目より構成される。

第 1 項： 序文

- (1) 背景
- (2) 目的
- (3) 基準の範囲
- (4) 耐震設計理念

第 2 項： 用語の定義と記号

第 3 項： 基本条件

- (1) 基準の適用範囲
- (2) 橋梁重要度区分
- (3) 耐震性能
- (4) 地震ハザード
- (5) 地盤種別
- (6) 設計応答スペクトルと地盤特性
- (7) 応答修正係数(R-Factor)

第 4 項： 解析条件

- (1) 最低解析要件
- (2) 解析モデル
- (3) 動的解析の要件
- (4) 最小桁かかり長
- (5) P- Δ 要求事項

第 5 項： 設計条件

- (1) 地震時の荷重組み合わせ
- (2) 設計荷重
- (3) 基礎条件
- (4) 変位制限と落橋防止装置
- (5) 支承システム

第6項： 耐震上不安定な地盤の効果

- (1) 地盤パラメータ
- (2) 液状化の判定
- (3) 液状化に起因する側方流動

第7項： 落橋防止システム

第8項： 免震橋梁

(3) BSDS による設計計算例

橋梁耐震設計基準を用いるための参考として、耐震設計例を基準の付属資料として添付している。設計計算例は基準の策定方針や設計手順に従っている。

(4) DPWH の現行耐震設計基準と、提案している設計加速度応答スペクトルを用いた耐震設計基準 (BSDS) との比較

提案した橋梁の耐震設計基準 (BSDS) は、現在使用している耐震設計の欠点を考慮して提案されている。すなわち、提案した BSDS は最新の AASHTO の荷重抵抗係数法 (LRFD) に基づいており、下記のように、現在 DPWH が実施している耐震設計上の設計条件といくつかの点で異なっている。

- 現在の耐震設計基準は4つの地盤種別に対応した AASHTO の加速度応答スペクトルを使用することに対して、提案した BSDS は、本調査で開発した耐震ハザードマップから PGA (短期お

よび長期周期の応答スペクトルに基づいて計算される設計用の加速度応答スペクトル) を使用する。

- 現在の耐震設計基準は、設計用加速度応答スペクトルに適用する PGA として 0.4G および 0.2G の2種類であるのに対して、提案した BSDS は地震記録 (活断層の分布やマグニチュード等の情報) に基づき、確率論的解析手法を用いて開発した地震ハザードマップをコンターとして示し、これを使用する。
- 耐震設計用の地震の再現期間を、現行の 500 年から BSDS では最新の AASHTO 基準に従い 1,000 年に増大させることを提案している。
- 重要度がクリティカルとエッセンシャルの橋梁は、R-factor が現行に比較して約半分となっている。
- 現行の耐震設計基準は荷重係数法 (LFD) を用いているが、提案した BSDS は荷重抵抗係数法 (LRFD) を適用している。

(5) 耐震補強の適用事例

既存の構造物に対して適切な耐震補強スキームを適用するように設計技術者をサポートする必要がある。このため、耐震補強工事例集を BSDS と共に策定した。補強工事事例集は、下記をカバーしている。

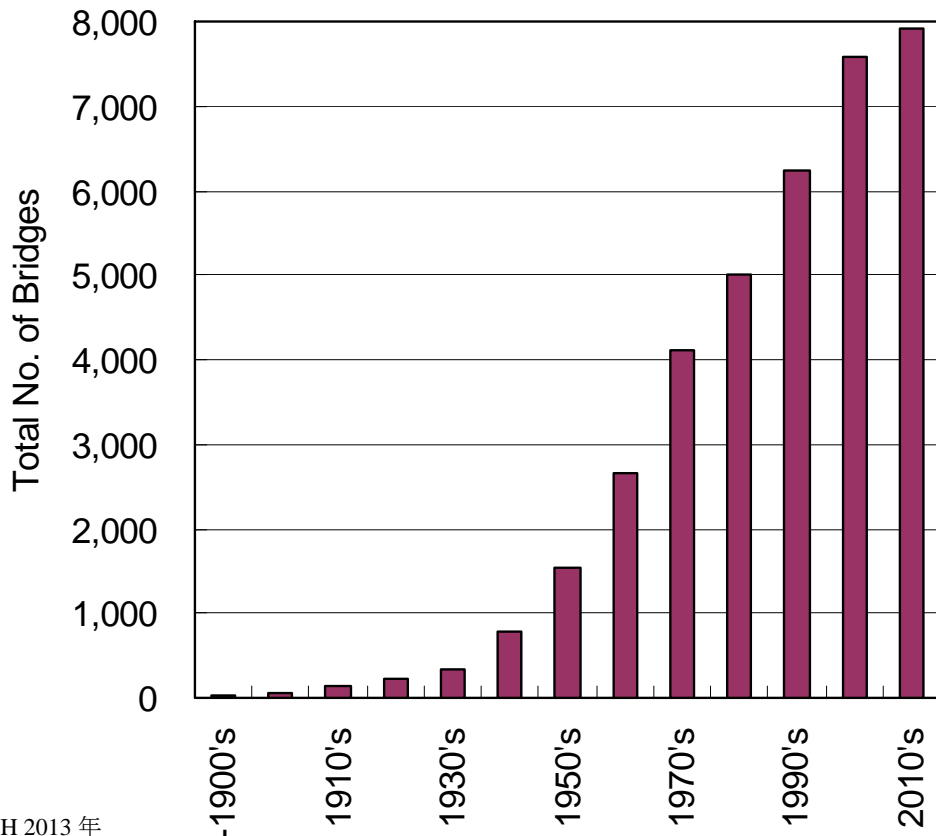
- 既往の地震からの教訓
- 耐震補強スキームの概要
- 各耐震補強スキームの詳細

パート3：耐震改良を行う橋梁の選定 (パッケージB、パッケージC)

第11章 概略設計を行う対象橋梁の選定手順

(1) 選定のフローチャート

図 ES-11-1 に、DPWH が管理する橋梁数の増加推移を示す。



出典：DPWH 2013 年

図 ES-11-1 DPWH 管理橋梁数の推移

DPWH が管理する約 8,000 橋のうち、本調査の対象となっている 33 橋に対して、図 ES-11-2 に示すフローで、耐震改良を行う橋梁の優先順位を検討した。

(2) 一次および二次スクリーニングの評価基準

マニラ首都圏内および圏外の橋梁の被災を軽減するための耐震補強や架け替え

が必要な橋梁を選定するにあたり、2 ステップのスクリーニングを行った。

調査の内容は、橋梁の点検調査、橋梁周りの自然社会環境状況および橋梁が位置する路線の橋梁位置での交通量調査等である。対象橋梁の優先順位付けや、耐震補強および架け替え対象橋梁の選定は、この段階的スクリーニングを経て決定した。

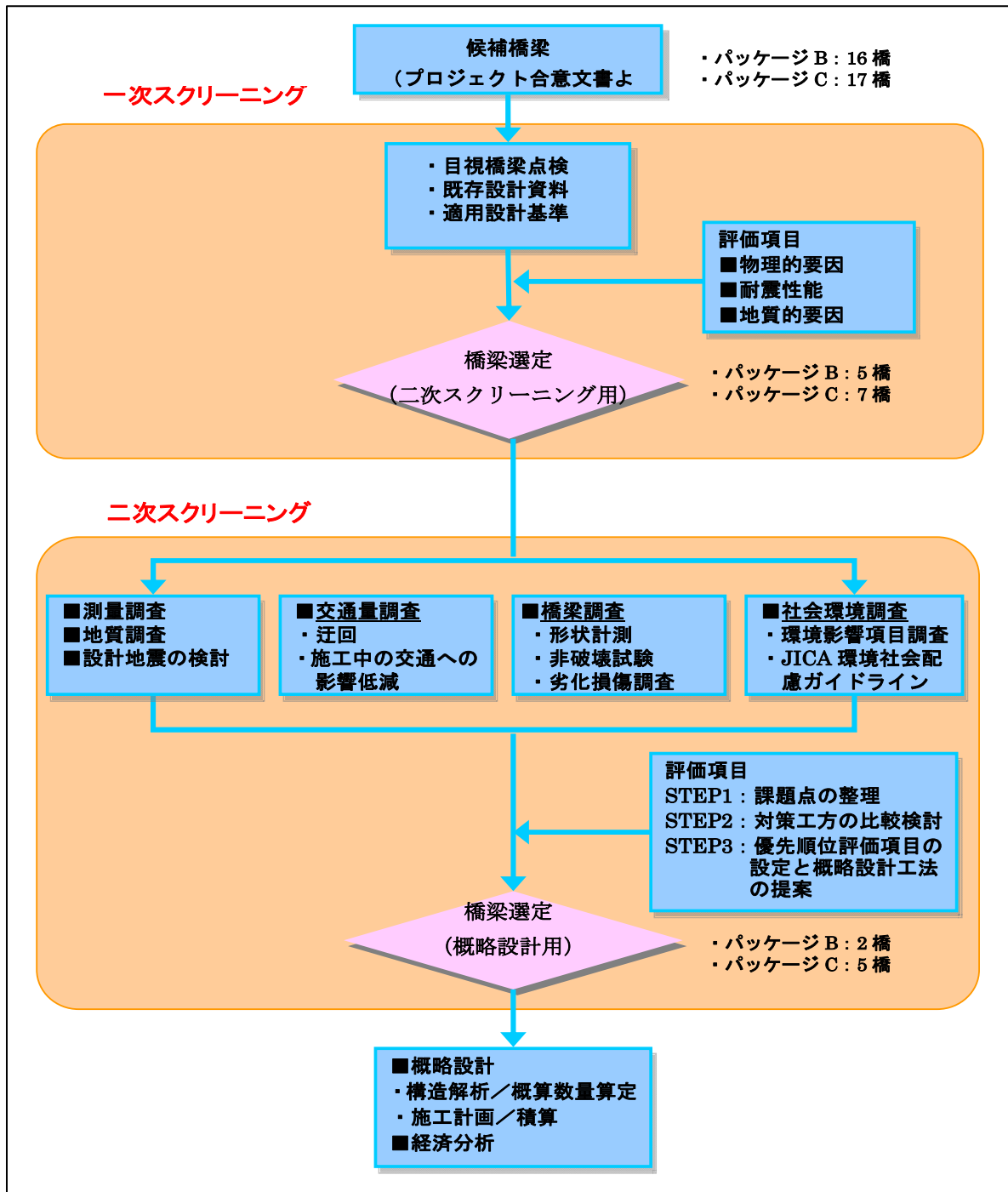


図 ES-11-2 橋梁の優先順位付けの手順

一次スクリーニングは橋梁の物理的状況のみでなく、橋梁の位置する地域の地震強度や地質工学的要因も考慮し優先順位付けを行い、二次スクリーニング対象の橋

梁選定を行った。二次スクリーニングの目的は概略設計を行う橋梁の選定である。各スクリーニングの評価基準を表 ES-11-1 および表 ES-11-2 に示す。

表 ES-11-1 一次スクリーニングの評価基準

No.	項目	内容	最大評価点
1.	物理的要因 (50点)	建設年、適用基準	10
2.		橋梁の耐震脆弱性	30
3.		路線の重要度	5
4.		耐荷力	5
5.	耐震性能 (30点)	桁かかり長	10
6.		落橋防止構造	10
7.		橋梁形式	10
8.	地質的要因 (20点)	液状化ポテンシャル	10
9.		地盤種別	5
10.		周辺環境への影響度	5
合計			100

表 ES-11-2 二次スクリーニングの評価基準

項目		内容	重み	
橋梁の 状況 (80点)	地震による 損傷危険度 (60点)	耐震性能 (20点)	1. 橋脚間での土質の相違性	2
			2. 連続桁か単純桁か	3
			3. 偏心荷重（橋軸、橋軸直角方向）	5
			4. 橋脚形式（単柱式、壁式、多柱式）	3
			5. 橋台の高さ（盛土高さ）	2
			6. 建設年	5
	落橋防止システム (15点)	7. 落橋防止装置（橋軸方向と橋直方向）	5	
		8. 支承	5	
		9. 桁かかり長	5	
	基礎 (15点)	10. 基礎形式（既知または不明）	3	
		11. 洗掘	3	
		12. 土質	3	
		13. 液状化ポテンシャル	6	
	地震の危険性 (10点)	14. 活断層からの距離	10	
劣化損傷 (20点)	上部工 (15点)	1. 主部材	10	
		2. 副部材	2	
		3. 床版	3	
	下部工 (5点)	4. 柱・壁の劣化損傷度	5	
重要度 (20点)	交通量 (5点)	1. 交通量(pcu) (AADT)	5	
	迂回橋梁 (15点)	2. 迂回橋梁の有無	15	

第12章 一次スクリーニング

パッケージBおよびCの一次スクリーニングの結果を表 ES-12-1 および表 ES-12-2 に示す。

表 ES-12-1 一次スクリーニングの結果 (パッケージB)

No.	橋 梁 名	点数 (優先順位)	結 果
B-1	Delpan 橋	61 (5)	選定
B-2	Jones 橋	48 (10)	
B-3	MacArthur 橋	48 (10)	
B-4	Quezon 橋	51 (7)	
B-5	Ayala 橋	93 (1)	(現地資金で架け替え予定)
B-6	Nagtahan 橋	57 (6)	選定
B-7	Pandacan 橋	39 (14)	
B-8	Lambangan 橋	73 (3)	選定
B-9	Makati-Mandaluyong 橋	49 (9)	
B-10	Guadalupe 橋	85 (2)	選定
B-11	C-5 橋	23 (17)	
B-12	Bambang 橋	39 (14)	
B-13	Vargas 橋-1	42 (13)	
B-14	Vargas 橋-2	32 (16)	
B-15	Marcos 橋	43 (12)	
B-16	Marikina 橋	65 (4)	選定
B-17	San Jose 橋	51 (7)	

表 ES-12-2 一次スクリーニングの結果 (パッケージC)

No.	橋 梁 名	点数(優先順位)	結 果
C-1	Badiwan 橋	14 (16)	
C-2	Buntun 橋	59 (5)	選定
C-3	Lucban 橋	74 (1)	(架け替え計画中)
C-4	Magapit 橋	43 (10)	(補修中)
C-5	Sicsican 橋	52 (8)	(補修計画中)
C-6	Bamban Bridge 橋	25 (15)	
C-7	1st Mandaue-Mactan 橋	50 (9)	選定
C-8	Marcelo Feman 橋	34 (14)	
C-9	Palanit 橋	64 (3)	選定
C-10	Jibatang 橋	60 (4)	(補修中)
C-11	Mawo 橋	54 (7)	選定
C-12	Biliran 橋	36 (12)	選定 (DPWH による選定)
C-13	San Juanico 橋	40 (11)	
C-14	Liloan 橋	55 (6)	選定
C-15	Wawa 橋	67 (2)	選定
C-16	Macapagal 橋(2nd Magsaysay)	35 (13)	

第13章 二次スクリーニング

パッケージBおよびCの二次スクリーニングの結果を表 ES-13-1 に示す。

表 ES-13-1 二次スクリーニングの結果 (パッケージB、パッケージC)

橋 梁 名	橋梁の状況 (80点)						重要度 (20点)	合計 (100点)	優先順位		
	地震脆弱性 (60点)			劣化損傷度 (20pt)							
	耐震性能 (20点)	落橋防止システム (15点)	基礎 (15点)	地震の危険性 (10点)	上部工 (15点)	下部工 (5点)	小 計 (80点)			交通量 (5点)	迂回橋梁の有無 (15)
パッケージB											
1. Delpan 橋	15	9	15	0	7	3	49	3	5	57	4
2. Nagtahan 橋	11	8	12	3	7	3	44	3	5	52	5
3. Lambingan 橋	17	13	12	3	12	3	60	0	10	70	2
4. Guadalupe 橋	17	13	12	6	12	3	63	5	10	78	1
5. Marikina 橋	11	13	12	10	4	3	53	3	10	66	3
パッケージC											
1. Buntun 橋	14	13	15	0	1	0	43	5	15	63	6
2. Mandaue-Mactan 橋	18	13	14	0	8	5	58	5	5	68	4
3. Palanit 橋	17	15	3	3	15	3	56	0	15	71	3
4. Mawo 橋	14	11	14	10	9	0	58	3	15	76	1
5. Biliran 橋	14	11	3	6	6	3	43	3	15	61	7
6. Liloan 橋	14	15	3	6	7	3	48	3	15	66	5
7. Wawa 橋	17	13	5	10	14	0	59	3	10	72	2

第14章 概略設計対象橋梁の推薦

13章で設定した二次スクリーニング選定基準に沿って概略設計対象橋梁の選定を行った。

パッケージBの選定橋梁と対策工

- 1) Lambingan 橋 : 架け替え
- 2-1) Guadalupe 橋 (外側) : 架け替え
- 2-2) Guadalupe 橋 (内側) : 耐震補強

パッケージCの選定橋梁と対策工

- 1) 1st Mandaue-Mactan 橋 : 耐震補強
- 2) Palanit 橋 : 架け替え
- 3) Mawo 橋 : 架け替え
- 4) Liloan 橋 : 耐震補強
- 5) Wawa 橋 : 架け替え

選定結果とその優先順位を表 ES-14-1 に示す。

表 ES-14-1 概略設計を提案する選定橋梁

パッケージB			
橋 梁 名	優先順位	耐震対策方針	概略設計の提案
1. Delpan Br.	4	耐震補強	
2. Nagtahan Br.	5	耐震補強	
3. Lambingan Br.	2	架け替え	選定
4. Guadalupe Br.	1	架け替えおよび耐震補強	選定
5. Marikina Br.	3	架け替え	
パッケージC			
橋 梁 名	優先順位	耐震対策方針	概略設計の提案
1. Buntun Br.	6	耐震補強	
2. 1st Mandaue-Mactan Br.	4	耐震補強	選定
3. Palanit Br.	3	架け替え	選定
4. Mawo Br.	1	架け替え	選定
5. Biliran Br.	7	耐震補強	
6. Liloan Br.	5	耐震補強	選定
7. Wawa Br.	2	架け替え	選定

パート 4 : 耐震概略設計 (パッケージ B およびパッケージ C)

第 15 章 選定橋梁の設計条件

本章では、パッケージ B およびパッケージ C の概略設計のためのスクリーニング時に実施された調査結果による設計条件を示す。

(1) 測量と設計条件

以下の測量を実施し、結果は水理水文・社会環境調査に利用した。

- 1) データの照査
- 2) GPS による座標調査
- 3) 多角点測量
- 4) 仮水準点の設置
- 5) 道路縦横断面測量
- 6) 平面測量
- 8) 河川縦横断面測量
- 10) 橋梁形状計測

(2) 地質調査と土質成層条件

地質状況と土質区分を確認するため、二次スクリーニング用に選定されたメトロマニラ内外の橋梁に対して地質調査を行った。対象はメトロマニラ圏内で5橋、圏外で7橋であり、地質調査は再委託した地元コンサルタントで実施した。

地質調査は、以下を実施した。

- 1) ボーリング調査
- 2) 標準貫入試験
- 3) 土質室内試験
- 4) 孔内せん断波試験

地質調査の結果を整理分析し、地質成層、土質定数、液状化判定を行った。

(3) 河川水文条件

以下の代表的な設計条件を検討した。

- 1) 設計洪水流量と設計洪水時水位高
- 2) 流速
- 3) 河川余裕高
- 4) 航路高
- 5) 考慮事項の整理

(4) 既設道路網と交通状況

以下の事項を設計に反映および検討している。

- 1) 幹線道路網
- 2) メトロマニラの道路網
- 3) スクリーニング時の路線重要度
- 4) 交通状況

現在の交通状況を把握するため、メトロマニラ圏内外で交通量調査を実施した。交通量調査を行った目的は以下のとおりである。

- 1) 橋梁の位置する路線の、耐震対策工事中の迂回計画や影響交通量の検討、将来交通量の検討を行う
- 2) 耐震対策工事中の迂回路や迂回橋梁の交通量の検討を行う
- 3) 将来交通量における車線数決定の検討を行う

メトロマニラ圏内の交通量調査の結果 (AADT : 年平均日交通量) を表 ES-15-1 に示す。

表 ES-15-1

メトロマニラの交通量調査の結果概要(AADT)

No.	橋 梁 名	AADT (Veh/Day)									大型車混入率
		1. オートバイ・三輪車	2. 乗用車・タクシー・ピックアップトラック・バン	3. ジブニー	4. 大萱バス	5. トラック(2車軸)	6. トラック(3車軸)	7. トレーラー	小計	合計	
B1	Delpan 橋	24,906	28,249	1,949	36	2,246	1,609	7,657	41,745	66,651	27.6%
B2	Jones 橋	15,153	30,117	7,696	152	972	123	30	39,089	54,241	3.3%
B3	Ayala橋	13,160	27,632	1,153	612	914	223	688	31,222	44,382	5.8%
B4	Nagtahan 橋	21,132	64,460	1,655	344	4,993	2,032	1,823	75,306	96,438	11.7%
B5	Pandacan 橋	7,813	22,173	0	25	1,279	206	148	23,831	31,643	6.9%
B6	Lambingan橋	9,379	13,626	6,093	31	943	137	48	20,877	30,255	5.4%
B7	Makati-Mandaluyong 橋	11,666	30,556	0	14	384	126	11	31,089	42,755	1.7%
B8	Estrella Pantaleon橋	3,573	21,013	0	13	16	1	0	21,043	24,616	0.08%
B9	Guadalupe橋	19,557	181,078	0	13,229	4,100	1,628	876	200,909	220,466	3.3%
B10	C-5橋	34,157	116,353	0	408	9,067	4,668	1,516	132,212	166,368	11.5%
B11	Marcos橋	15,720	62,110	11,357	140	3,496	1,282	742	79,125	94,845	7.0%
B12	Marikina橋	17,421	29,718	8,649	95	1,433	65	15	39,973	57,394	3.8%
C1	Buntun Bridge	9,908	4,357	1,573	59	676	115	83	6,862	16,770	
C2	1st Mandaue-Mactan橋	28,497	34,573	8,285	12	49	6	1	42,924	71,421	
C3	Palanit 橋	730	199	65	93	93	76	10	536	1,265	
C4	Mawo橋	2,889	322	73	93	130	102	14	735	3,625	
C5	Biliran 橋	1,718	276	49	57	124	23	2	530	2,248	
C6	Liloan 橋	1,979	226	45	84	180	25	15	575	2,554	
C7	Wawa 橋	1,476	1,598	48	266	282	238	42	2,473	3,950	

注)AADT :: 年平均日交通量 (小計は1. オートバイ、三輪車を除く)

(5) 社会環境影響調査の結果

概略設計を行う橋梁の、以下に示す社会環境影響調査を行った。

- 1) 所帯数と構造物 (橋梁とアプローチ道路に面した範囲)
- 2) 土地利用状況 (橋梁とアプローチ道路に面した範囲)
- 3) 現在の環境状況 (騒音・振動・空気汚染・水質汚染)
- 4) 環境保護地域 (自然公園・(National Park・保護区・指定湿地地帯)
- 5) 希少動物の生息域・環境保護区・歴史遺産・文化遺産の確認

所帯調査は以下の項目を実施した。

- 1) 年齢・性別・人数・住居期間・職業
- 2) 収入
- 3) 衛生環境・健康状態
- 4) プロジェクト必要性の認識と社会的許容性

(6) 道路条件

架け替え橋梁に対して道路条件の検討を行った。表 ES-15-2 に主な道路設計条件を示す。また、標準横断構成を表 ES-15-3 に示す。

表 ES-15-2 道路提案設計条件一覧表

橋梁名	B08 Lambingan	B10 Guadalupe	C09 Palanit	C11 Mawo	C15 Wawa
路線区分	都市幹線道路	都市主要幹線道路	地方主要幹線道路	地方主要幹線道路	地方主要幹線道路
設計速度	50 km/h	60 km/h	60 km/h	60 km/h	60 km/h
最小縦断緩和曲線半径	1,500m (現状確保)	∞ (現状確保)	∞ (現状確保)	∞ (現状確保)	200m (現状確保)
最小縦断緩和曲線長	36m (現状確保)	-	-	-	135m
平面曲線半径	-	-	-	-	33m
縦断緩和凸曲線の最小曲率	9	-	46	100	16
縦断緩和凹曲線の最小曲率	14	-	16	24	21
最小視距	65m	-	85m	85m	85m
最大縦断勾配	5.0%	5.5% (現状確保)	5.7% (現状確保)	2.7% (現状確保)	4.0%
最小縦断勾配	0.7%	0.0% (現状確保)	0.3%	0.5%	0.3%
最小縦断曲線長	60m-	-	60m-	60m-	60m-
最小横断勾配	-	-	-	-	-
最大横断勾配	2.0%	2.0%	2.0%	2.0%	2.0%
最大片勾配	-	-	-	-	6.9%
車線幅	3.00m (現状確保)	3.35m	3.35m	3.35m	3.35m (現状確保)
路肩幅	0.60m	0.30m (現状確保)	0.60m	0.60m-	0.60m-
中央帯幅	1.2m	-	-	-	-
歩道幅	1.50m	1.50m	1.50m	1.50m	0.75m

表 ES-15-3 架け替え橋梁の標準横断構成

橋梁名	車線数	標準横断構成
B08 Lambingan	6	
B10 Guadalupe (外側)	10 (内側橋梁含む)	
C09 Palanit	2	
C11 Mawo	2	
C15 Wawa	2	

第16章 選定橋梁の概略設計 (架け替え橋梁)

(1) 設計仕様と設計条件

架け替えの概略設計は、表 ES-16-1 に示す設計基準を用いた。

(2) 設計加速度応答スペクトル

対象橋梁位置でのダンピング5%とした設計加速度応答スペクトルを検討した結果を図 ES-16-1 に示す。これを概略設計に用いた。

(3) 架け替え対象橋梁の概略設計結果の概要

架け替え対象橋梁の概要を表 ES-16-2 に示す。

検討結果による橋梁一般図を図 ES-16-2、16-4、16-6、16-8、16-10 に、完成予想図を図 ES-16-3、16-5、16-7、16-9、16-11 に示す。

表 ES-16-1 概略設計に用いた設計基準

	項目	設計仕様	基準
1) 一般	設計荷重	Level 2 Seismic Design: Extreme Event I	LRFD (2012年)
	耐震設計	設計スペクトル (1,000年確率)	JICA 調査団
		スペクトル応答解析	JICA 調査団
2) 上部工	設計車線幅	3,350 mm (パッケージ C、Guadalupe) 3,000 mm (Lambangan)	DPWH, AASHTO
	死荷重	LRFD (2012年)	
	活荷重	HL-93 (車線載荷)	LRFD (2012年)
3) 下部工	地震時土圧	LRFD (2012年)	
	柱の設計	荷重抵抗係数設計法	LRFD (2012年)
4) 基礎工	検討方法	道路橋示方書	
	土質常数	道路橋示方書	
	液状化	道路橋示方書	
	滑動安全率	レベル 1: FS=2, レベル 2: FS=1	道路橋示方書
	杭断面設計	M-N 曲線 ($\phi=1.0$)	LRFD (2012年)

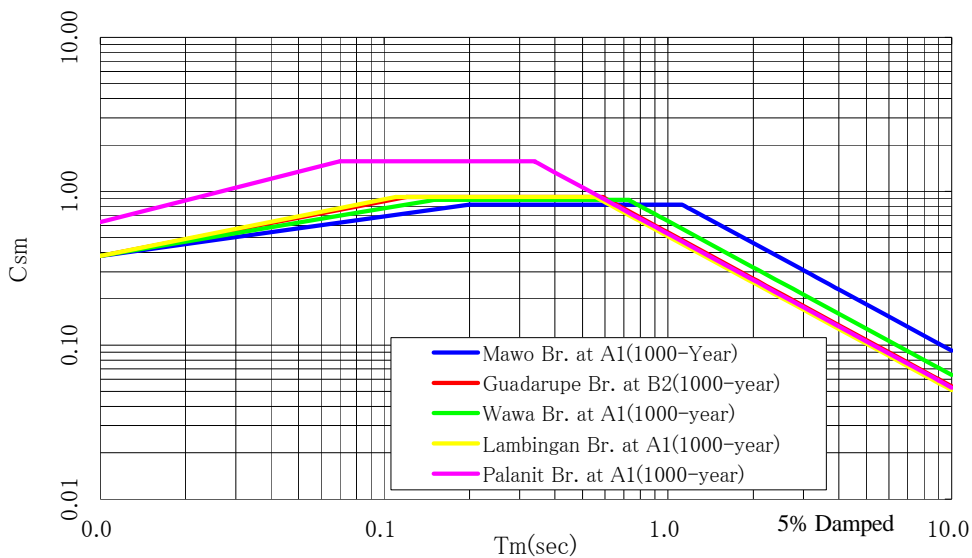


図 ES-16-1 架け替え対象橋梁位置での設計加速度応答スペクトル

表 EX-16-2 架け替え対象橋梁の概要

橋 梁 名	対策方針	概 要
パッケージ B		
Lambangan 橋	架け替え	長さ 橋梁：90 m アプローチ道路：240 m (119 m+121 m) 形式 上部工：単純ローゼ補強鋼床版箱桁橋 下部工：逆 T 式橋台 基礎工：場所打ち杭
Guadalupe 橋	外側橋梁：架け替え 内側橋梁：補強	長さ 橋梁：125 m (41.1 m + 42.8 m + 41.1 m) アプローチ道路：なし 形式 上部工：3 径間連続鋼床版箱桁 下部工：壁式橋脚、逆 T 式橋台 基礎工：鋼管井筒矢板基礎、場所打ち杭、地盤改良（補強）
パッケージ C		
Palanit 橋	架け替え	長さ 橋梁：82 m (27 m + 28 m + 27 m) アプローチ道路：135 m (98 m + 37 m) 形式 上部工：3 径間連結 PCI 桁橋 下部工：円柱橋脚、逆 T 式橋台 基礎工：直接基礎
Mawo 橋	架け替え	長さ 橋梁：205 m (62.5 m + 80.0 m + 62.5 m) アプローチ道路：267 m (151 m + 112 m) 形式 上部工：3 径間連続 PC フィンバック箱桁 下部工：壁式橋脚。逆 T 式橋台 基礎工：場所打ち杭
Wawa 橋	架け替え	長さ 橋梁：230 m (75.0 m + 80.0 m + 75.0 m) アプローチ道路：296 m (197 m + 99m) 形式 上部工：3 径間連続ラティストラス 下部工：壁式橋脚。逆 T 式橋台 基礎工：場所打ち杭

注) 全ての架け替え橋梁は落橋防止システムの設置を含む

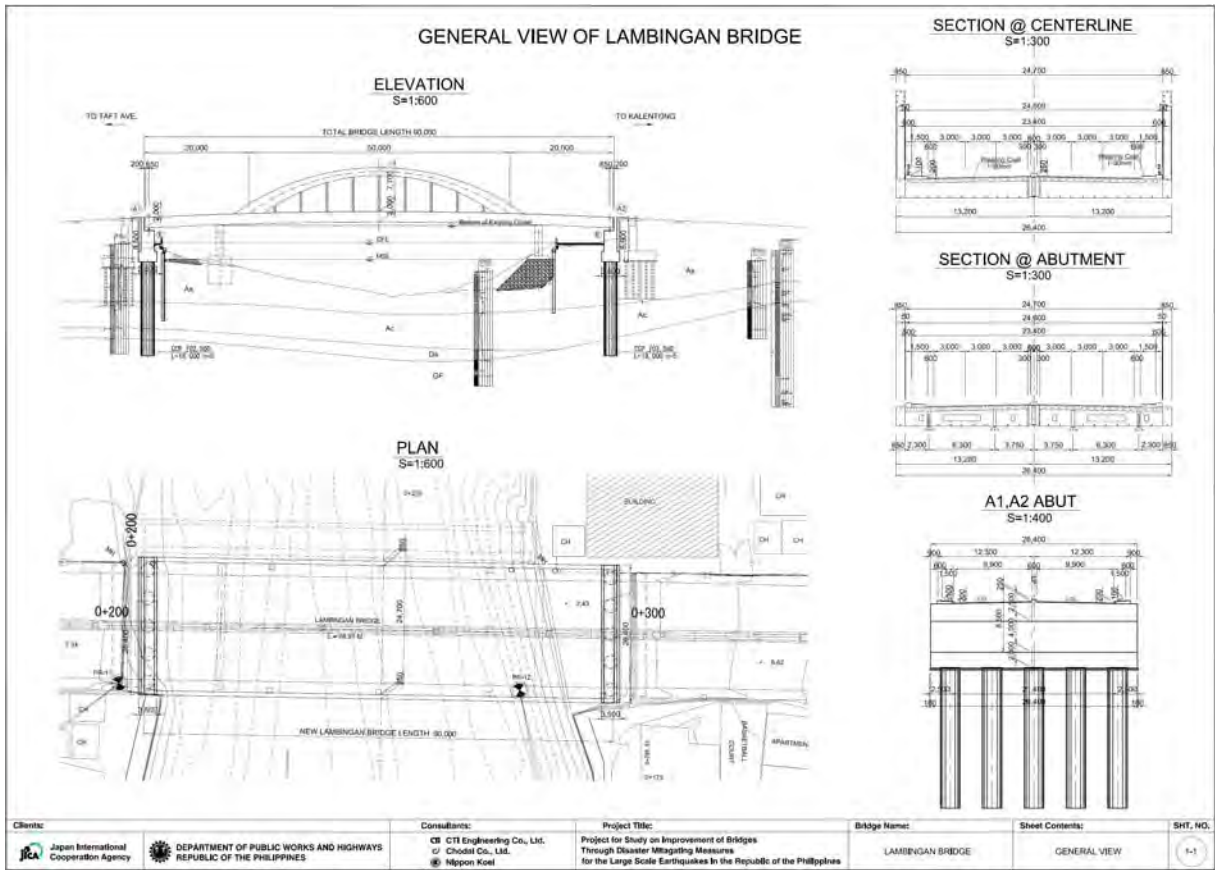


図 ES-16-2 橋梁一般図 (Lambingan 橋)



図 ES-16-3 完成予想図 (Lambingan 橋)

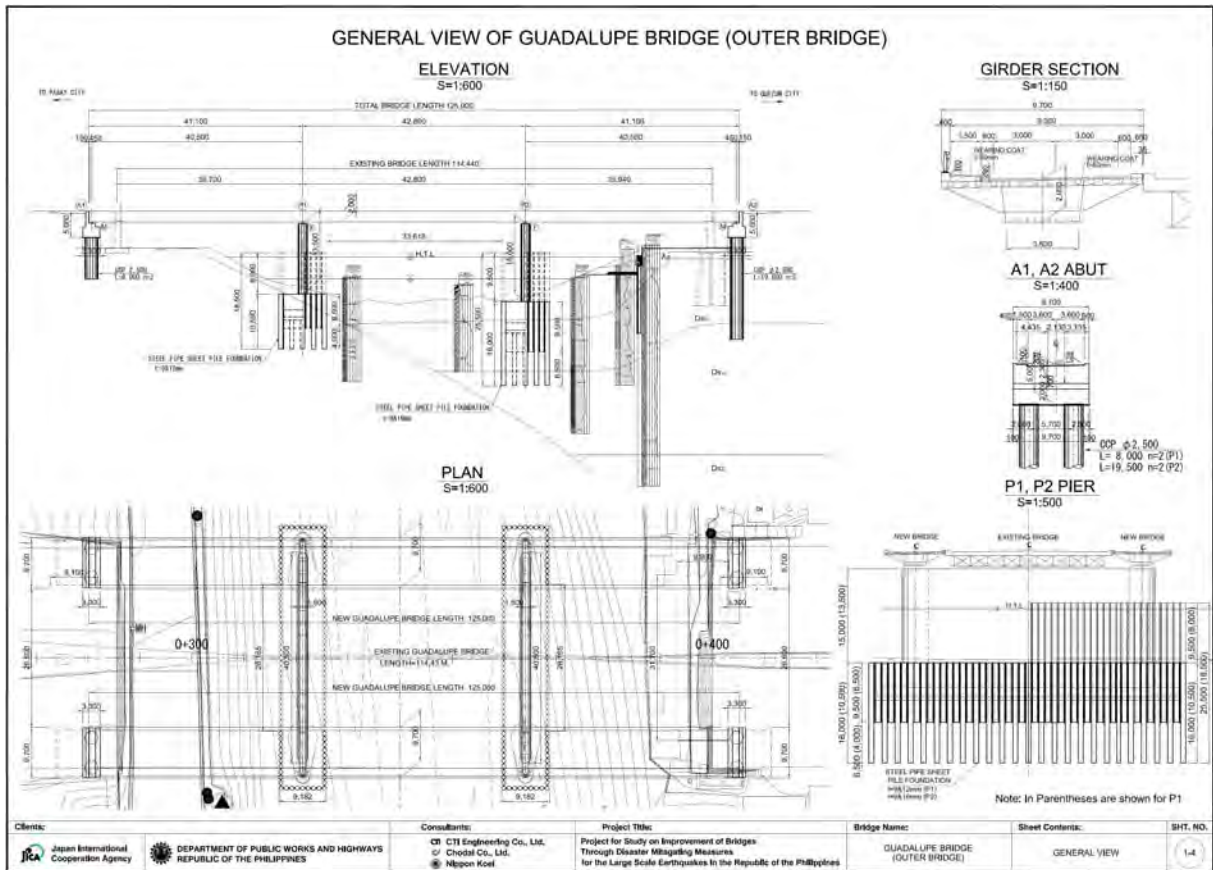


図 ES-16-4 橋梁一般図 (Guadalupe 橋)



図 ES-16-5 完成予想図 (Guadalupe 橋)

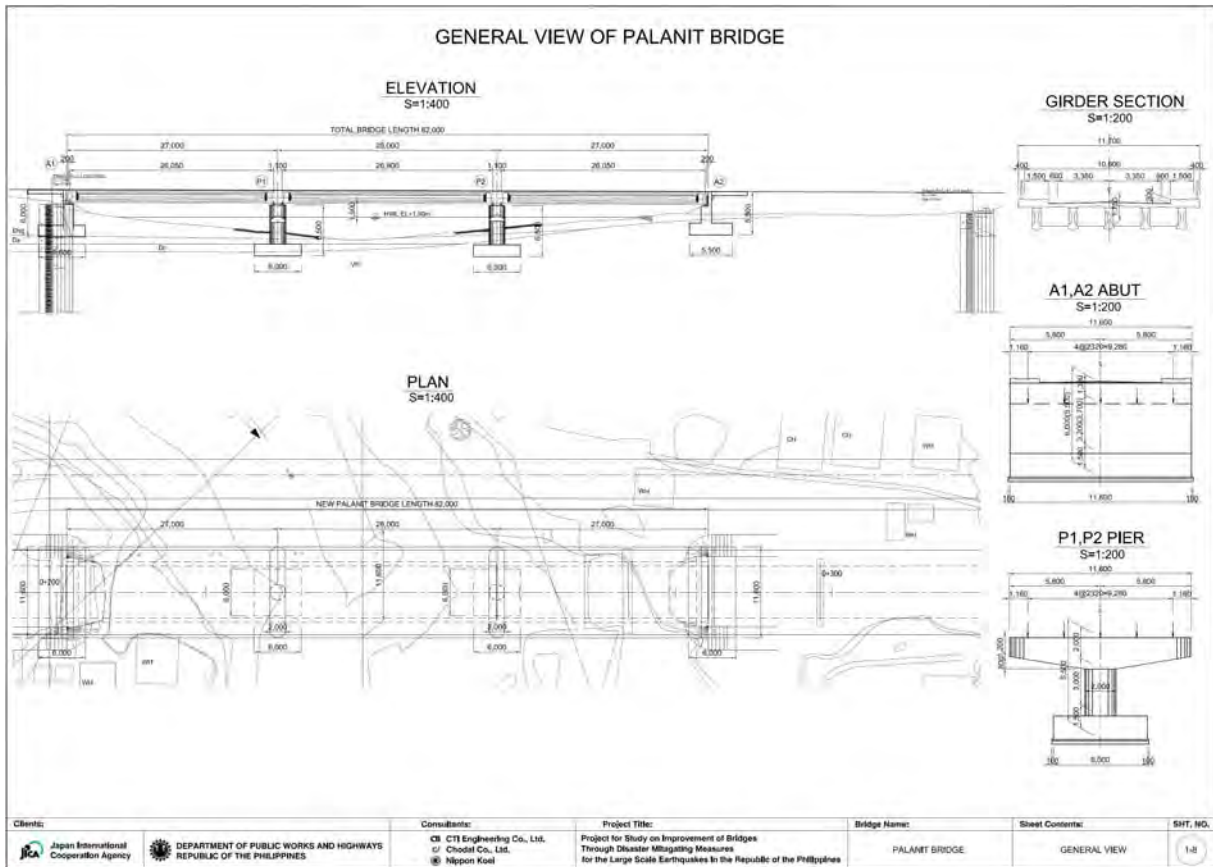


図 ES-16-6 橋梁一般図 (Palanit 橋)



図 ES-16-7 完成予想図 (Palanit 橋)

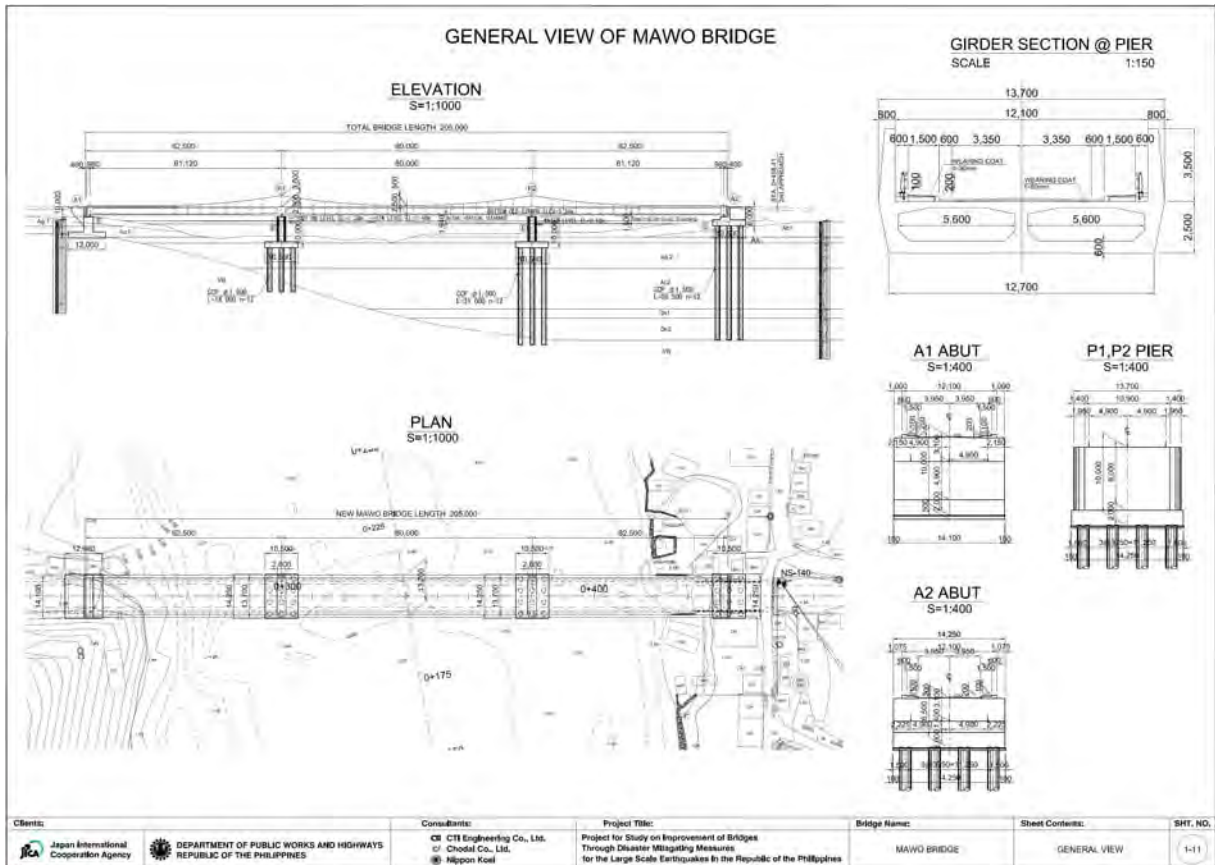


図 ES-16-8 橋梁一般図 (Mawo 橋)



図 ES-16-9 完成予想図 (Mawo 橋)

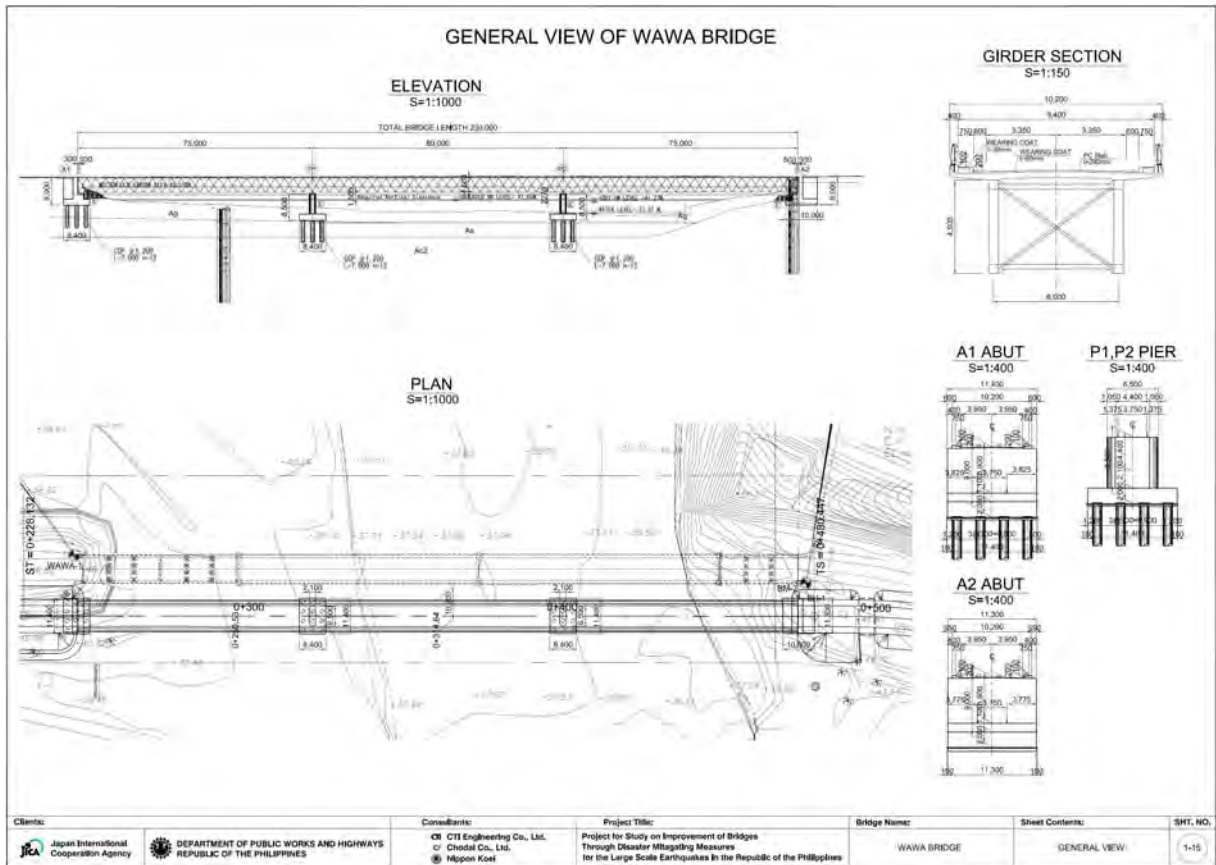


図 ES-16-10 橋梁一般図 (Wawa 橋)



図 ES-16-11 完成予想図 (Wawa 橋)

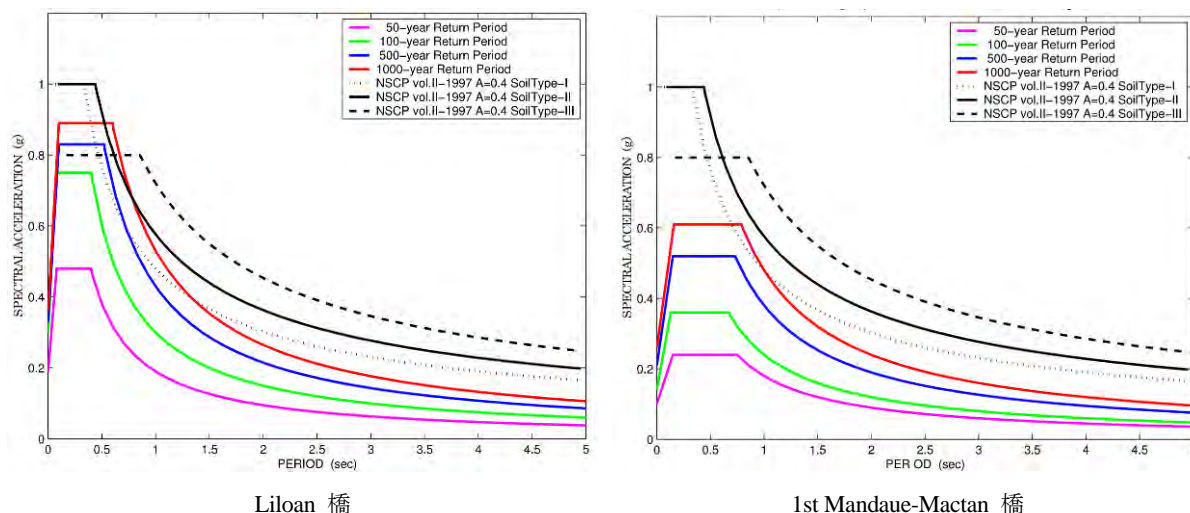
第 17 章 選定橋梁の補強概略設計

(1) 設計仕様と条件

耐震補強計画・設計は、策定された橋梁耐震設計基準の規定に従い実施した。

(2) 設計加速度応答スペクトル

橋梁位置での設計加速度応答スペクトル（減衰比 5 %）を検討した結果を図 ES-17-1 に示すが、これを概略設計に用いた。



注) レベル 1 は 50 年確率、レベル 2 は 1000 年確率

図 ES-17-1 補強に選定された橋梁位置での設計加速度応答スペクトル

(3) 補強橋梁の概略設計結果の概要

概略設計の結果による、対象橋梁の補強概要を表 ES-17-1 に、補強一般図を図 ES-17-2 から 17-6 に示す。

表 ES-17-1 補強対象橋梁の概要

橋 梁 名	対策方針	概 要
Package C		
1st Mandaue-Mactan 橋	補強	長さ 橋梁：860 m（既設） 耐震補強 ダンパー設置、RC 巻立て、増杭（場所打ち杭）、増杭（鋼管井筒矢板）、落橋防止システム設置
Liloan 橋.	補強	長さ 橋梁：298 m（既設） 耐震補強 ダンパー設置、増杭（場所打ち杭）、RC 巻立て、落橋防止システムの設置

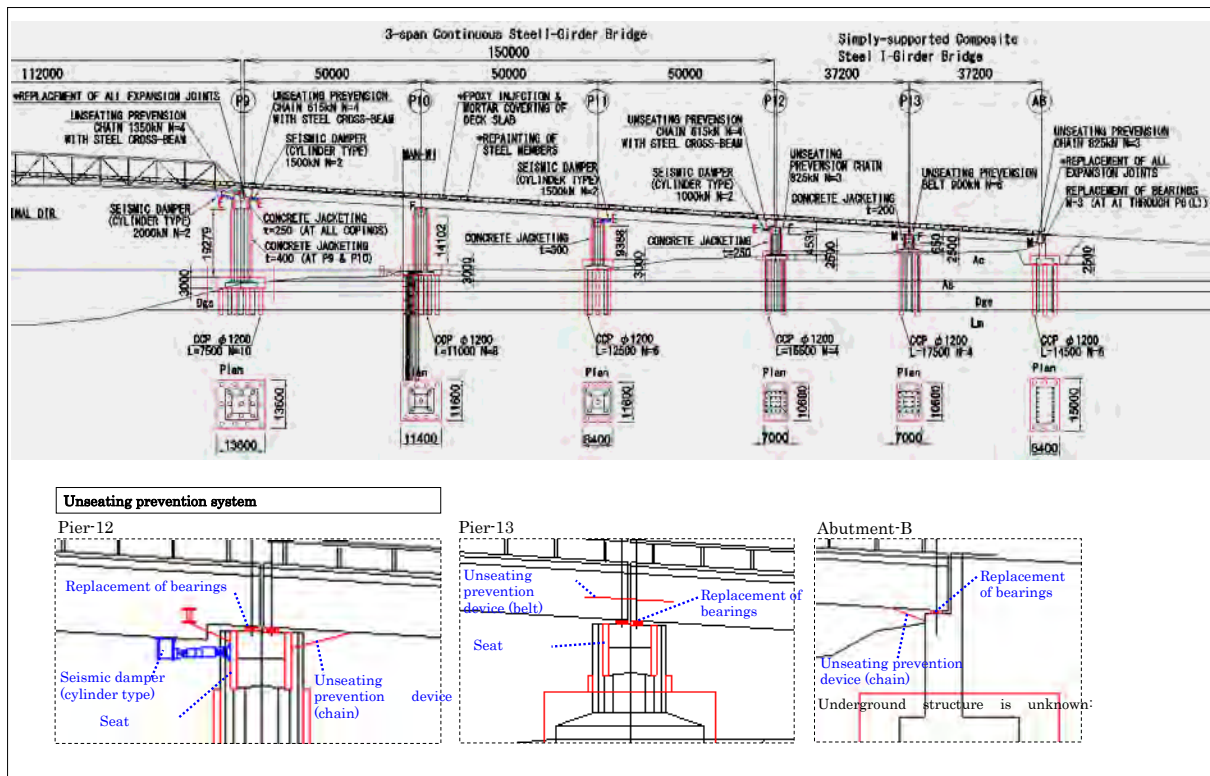


図 ES-17-6 補強一般図 (1st Mandaue-Mactan Bridge 3/3)

第18章 選定橋梁の施工計画と積算

(1) 施工計画

施工計画の目的

以下の目的で施工計画を検討した。

- 架け替えと補強の施工工法の検討
- 既設交通への影響を最小とする交通切回し計画の検討
- 精算のための仮設計画

事業用地

不法住居者や占有物件の移転・移動後、既存用地内で施工が行われることとした。現地踏査時の DPWH 技術者へのヒアリングの結果、用地幅は表 ES-18-1 に示すとおりである。

表 ES-18-1 用地幅

橋梁名	用地幅
Lambingan	道路・橋梁幅
Guadalupe	道路・橋梁幅
1st Mandaue Mactan	30m
Palanit	30m
Mawo	30m
Liloan	30m
Wawa	60m

資機材調達

多くの資機材はフィリピン国内での調達可能であるが、表 ES-18-2 示す鋼製材料・製品や特殊機械は外国からの輸入となる。

表 ES-18-7 工事工程計画表 (Mawo 橋)

ITEM	YEAR	1												2											
	MONTH	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1 Preparation, General Work		■	■	■																					
2 Temporary Bridge & Stage					■	■	■																	■	■
3 Demolition Work					■	■	■																		
4 Substructure							■	■	■	■	■	■													
5 Superstructure													■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
6 Embankment, Road Work																			■	■	■	■	■	■	
7 Miscellaneous, Clearance																							■	■	
Detour(Temporary Road)						■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	

表 ES-18-8 工事工程計画表 (Liloan 橋)

ITEM	YEAR	1												2											
	MONTH	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1 Preparation, General Work		■	■	■																					
2 Foundation					■	■	■																		
3 Substructure							■	■	■	■	■	■													
4 Miscellaneous, Clearance														■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

表 ES-18-9 工事工程計画表 (Wawa 橋)

ITEM	YEAR	1												2											
	MONTH	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1 Preparation, General Work		■	■	■																					
2 Temporary Stage					■	■	■																	■	■
3 Steel Girder fabrication							■	■	■	■	■	■													
4 Substructure						■	■	■	■	■	■	■													
5 Embankment													■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
6 Superstructure														■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
7 PC Deck-slab														■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
8 Road Work																				■	■	■	■	■	■
9 Demolition Work																							■	■	■
10 Miscellaneous, Clearance																							■	■	■
Existing road		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
New road																							■	■	■

(2) 積算

積算結果（積算基準年月は 2013 年 8 月）を表 ES-18-10 に示す。積算は概略設計による数量で実施した。

表 ES-18-10 積算総括表

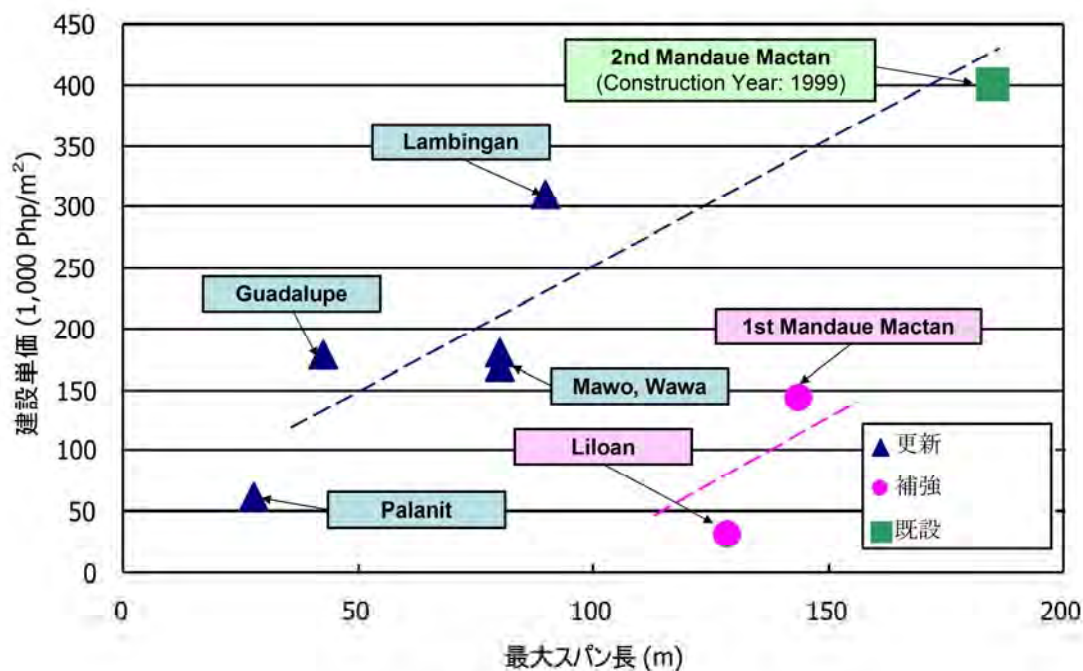
Item	Construction Cost (M Php)								Remark
	Total	Lambinga	Guadalupe	1st Mandaue Mactan	Palanit	Mawo	Liloan	Wawa	
		Replace	Replace + Retrofit	Retrofit	Replace	Replace	Retrofit	Replace	
1. Construction Cost (M Php)	5,379.3	868.2	1,518.9	1,579.6	81.9	665.8	172.8	492.2	
1-1 Civil Work(B (M Yen)	11,952.9	1,929.1	3,375.0	3,510.0	182.0	1,479.4	383.9	1,093.6	Estimate Direct Cost + overhead cost
1) Foreign	4,029.7	752.4	1,187.7	1,213.8	11.7	381.1	87.9	395.1	
2) Local	1,349.6	115.8	331.2	365.9	70.2	284.7	84.8	97.0	
% of 1)	74.9%	86.7%	78.2%	76.8%	14.3%	57.2%	50.9%	80.3%	Foreign / Construction Cost
Per Surface Area (1000 Php/sq-m)		392.1	278.2	183.9	86.1	237.1	61.1	209.8	Without VAT
(1000 Yen/sq-m)		871.3	618.1	408.7	191.3	526.8	135.8	466.2	
Surfice Area (sq-m)		2,214.0	5,460.5	8,588.0	951.2	2,808.5	2,826.3	2,346.0	
Bridge Length (m)		90.0	(Outer) 125.0 (Inner) 114	(Truss) 368.0 (Girder) 492	82.0	205.0	297.5	230.0	
Bridge Width (m)		24.6	(Outer) 19.3 (Inner) 27	(Truss) 9.7 (Girder) 10	11.6	13.7	9.5	10.2	
Per Pair Lane (1000 Php/m)		3,215	2,560	1,837	999	3,248	581	2,140	Without VAT
(1000 Yen/m)		7,144.8	5,689.4	4,081.4	2,219.5	7,216.8	1,290.3	4,754.7	
Nubmer of lanes		6	(Outer) 4 6	2	2	2	2	2	
Length of pair lane		270.0	593.2	860.0	82.0	205.0	297.5	230.0	
1-3. Physical Contingency	235.9	38.1	69.3	69.3	3.6	29.2	7.6	21.6	5% of Estimate Direct Cost
1-4. Administrative Cost	137.2	22.8	41.6	41.6	2.2	17.5	0.2	13.0	3% of Estimate Direct Cost
1-5. Preparation Cost	123.6	54.1	61.6	4.3	0.5	1.2	0.5	1.4	
1) Temporary Land Acquisition	117.0	52.4	61.2	0.0	0.3	0.8	0.0	0.8	
2) Land Acquisition	1.5	1.5	-	-	-	-	-	-	
3) Compensation	6.6	0.3	0.4	4.3	0.2	0.3	0.5	0.6	
1-5. TAX	744.0	126.9	211.1	217.5	10.9	86.6	22.8	68.3	
1) VAT	705.1	118.0	202.5	203.4	10.6	85.6	21.7	63.4	12%
2) Custom Duty	38.9	8.9	8.6	14.1	0.3	1.0	1.1	4.9	3% for Imported Steel Items
Construction Cost Subtotal	(M Php) 6,620	1,110	1,902	1,912	99	800	204	596	
	(M Yen) 14,710	2,467	4,227	4,249	220	1,778	453	1,325	1 Php = 2.222 Yen
2. Consultancy Service Cost	617.5	108.0	143.3	144.4	44.3	75.3	35.1	67.3	
2-1. Detail Design	254.9	41.8	68.5	90.9	7.0	24.4	5.2	17.2	
2-2. Construction Supervision	296.4	54.6	59.3	38.0	32.6	42.9	26.1	42.9	
2-3. VAT	66.2	11.6	15.5	15.5	4.7	8.1	3.8	7.2	12%
Consultancy Service Subtotal	(M Php) 684	120	159	160	49	83	39	75	
	(M Yen) 1,519	266	353	355	109	185	86	166	1 Php = 2.222 Yen
Grand Total	(M Php) 7,304	1,230	2,061	2,072	148	884	243	671	
	(M Yen) 16,229	2,732	4,580	4,604	329	1,964	539	1,491	1 Php = 2.222 Yen

為替レート：1 フィリピンペソ=2.222 円（2013 年 8 月：フィリピン中央銀行）

また、各橋梁の最大スパン長と橋面積あたりの工事費の関係を図 ES-18-1 に示すが、これより、以下の傾向が読み取れる。

- ・ 架け替え橋梁は、橋梁建設単価と最大スパン長に相関性がある

- ・ メトロマニラ圏外の橋梁は、メトロマニラ圏内ほど交通への影響など環境対策が少なく、割安となっている
- ・ 補強対策橋梁は、架け替えに比較して経済的な結果となっている



(2nd Mandaue Mactan 橋は物価変動を考慮し 2013 年価格に換算している)

図 ES-18-1 最大スパン長と橋梁建設単価の関係図

第 19 章 選定橋梁の交通計画および経済分析

本章では選定された 7 橋の交通計画と経済分析を行った。交通計画は、耐震対策工事時の交通渋滞状況の分析と経済分析における交通インパクト（便益）を得る目的で実施した。

(1) 交通計画

交通計画と経済分析検討の手順を図 ES-19-1 に示す。

耐震対策工事中、表 ES-19-1 に示すとおり、Lambingan 橋と Guadalupe 橋は車線数が減少するが、その他 5 橋は迂回仮設道路や耐震補強で交通への影響が発生しない。

(2) 経済分析

橋梁耐震対策事業の経済分析は、経済コストと橋梁の耐震対策で得られる便益を比較することで実施した。

事業評価には、以下の 3 指標を用いた。

- 経済内部収益率 (EIRR)
- 費用対効果 (B/C Ratio)
- 純現在価値 (NPV)

経済分析の結果を表 ES-19-2 に示すが、全ての橋梁で経済的に実施可能の評価となった。

事業の感度分析は様々なケースを照査して実施した。結果を表 ES-19-3 に示す。

分析の結果、事業は実施可能である EIRR15%を超えており、以下に示すコスト増や便益減があっても EIRR は 15%以上となった。

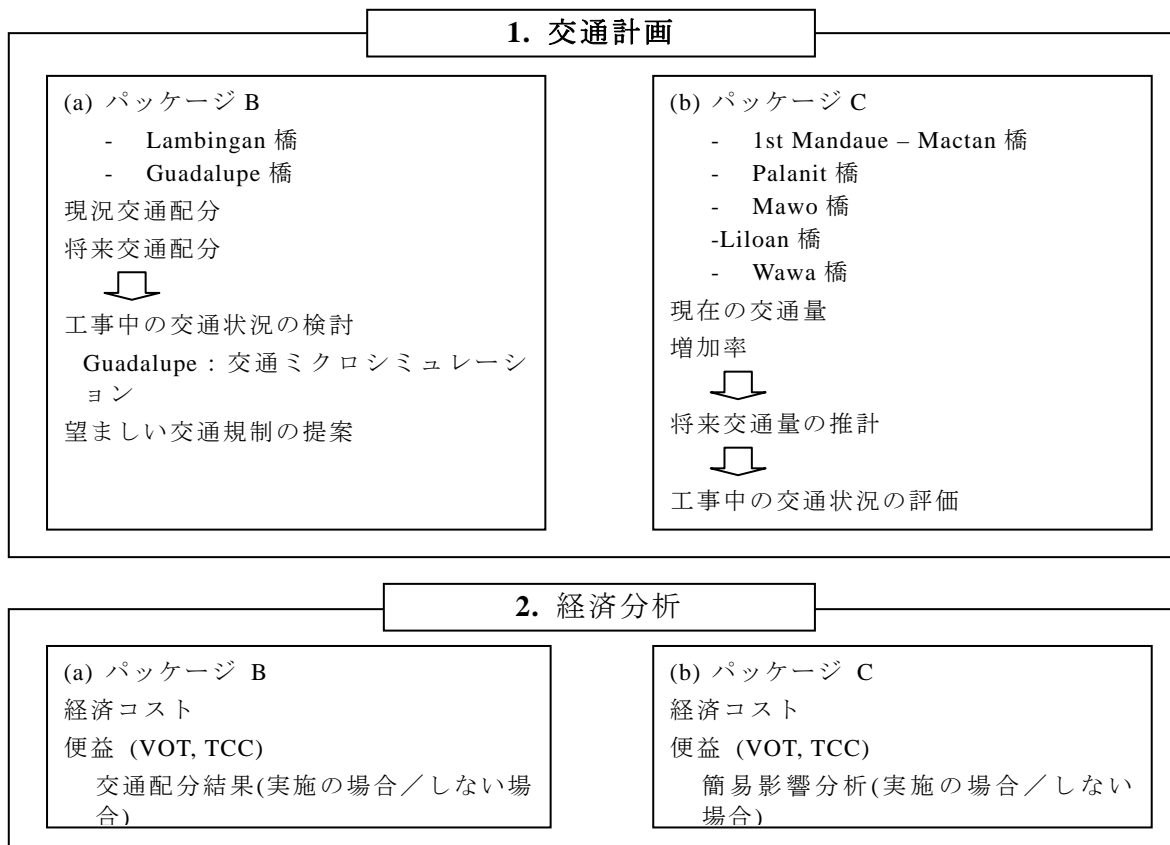


図 ES-19-1 交通計画と経済分析の手順

表 ES-19-1 工事中の交通規制

No.	橋 梁 名	対 策	現状車線数	工事中の車線数	適用
1	Lambingan	架け替え	6 (3+3)	2 (1+1)	仮設迂回道路や交通規制伴わない補強により交通への影響はない
2	Guadalupe	架け替え (外側橋梁)	10 (5+5)	9 (5+4)	
3	1st Mandaue-Mactan	下部基礎工の耐震補強	2 (1+1)	2 (1+1)	
4	Palanit	架け替え	2 (1+1)	2 (1+1)	
5	Mawo	架け替え	2 (1+1)	2 (1+1)	
6	Liloan	下部基礎工の耐震補強	2 (1+1)	2 (1+1)	
7	Wawa	架け替え	2 (1+1)	2 (1+1)	

表 ES-19-2 経済分析の結果

橋 梁	EIRR	B/C	NPV (百万ペソ@ i=15%)
Lambingan	27.1%	1.90	451.5
Guadalupe	26.8%	2.08	933.7
1st Mandaue-Mactan	20.3%	1.42	381.3
Palanit	19.1%	1.27	17.3
Mawo	16.1%	1.06	21.6
Liloan	19.6%	1.25	28.0
Wawa	15.4%	1.02	6.3
全体	22.9%	1.60	1839.7

出典： JICA 調査団

表 ES-19-3 感度分析結果 (EIRR)

	基本	コスト 10%増	コスト 20%増
基本	22.9%	21.1%	19.6%
便益 10% 減	20.9%	19.3%	17.8%
便益 20% 減	18.9%	17.3%	16.0%

出典： JICA 調査団

- コスト増加 60%
- 便益減 47%
- コスト増加 23% と便益減 23%

第 20 章 環境影響評価

フィリピンの環境影響評価システム (PEIS : the Philippine Environmental Impact Statement System) では、道路・橋梁建設 (延長 80m~10km) を含む社会基盤整備事業では、環境影響評価事業などを実施する必要はない。事業対象地域では、歴史的・文化的・自然的な保護区はないが、水環境については環境影響評価対象であるかの技術的な考察が必要であるため、全ての耐震対策橋梁の地域で環境試験 (IEE : Initial Environmental Examination) 実施が必要である。耐震対策橋梁事業では、環境創出

規定 (ECC : Environmental Compliance Commitment) の許可もしくは否定申請を、60 営業日以内に申請しなければならない。事業で影響する住民 (PAPs : Project Affected Persons) が 200 人以上の場合、全員の移動の計画と実施が求められ、環境や社会への考察を行う場合は、JICA 支援委員会 から助言を求める必要がある。

提案プロジェクトでは、操業や廃棄など工事中に、周辺の空気・水・生物環境、人口変化などの影響を周辺地域に与える。表 ES-20-1 に提案プロジェクトの実施で発生が予想される環境影響の概要を示す。

最も影響の大きい項目とそれぞれの影響で重要性は以下の着目点で分類した。

- 既知／認知されている影響は良い／悪い影響を与えるか？
- 既知／認知されている影響は直接／間接的な影響を与えるか？

- 既知／認知されている影響は長期／短期の影響を与えるか？
- 既知／認知されている影響は可逆的／不可逆的か？

表 ES-20-1 提案事業の環境影響一覧表

実施内容	状況	環境影響	影響項目	影響度			
				+/-	D/In	L/S	R/I
A. 建設							
用地内での事業 実施期間での土木 建設工事	土工とその他土 木工事	汚泥発生	土地	-	D	S	R
		埃	空気	-	D	S	
		水流の制限や変更	水	-	D	S	R
		越流	水	-	In	S	R
		沈殿と汚濁	水	-	D	S	R
		動植物への障害や移動	動植物	-	D	S	R
		渋滞	人	-	D	S	R
		住民異動	人	-	D	L	I
	重機工事	振動	土地	-	D	S	R
		有害物による危険性	土地	-	D	S	R
		排気ガス	空気／人	-	D	S	R
		騒音	空気／人	-	D	S	R
		労働事故	人	-	D	S	R
	重機、労働者の 流入	汚泥発生	土地	-	D	S	R
		汚水発生	水 r	-	D	S	R
		交通渋滞	人	-	D	S	R
仕事の形成		人	+	D	S	R	
B. 運営							
橋梁供用	橋梁補修	暴雨時越流	水	-	In	L	R
		車両速度増加	人	+	D	L	R
C. 廃棄物							
撤去工事	既設橋梁撤去	汚泥発生	土地	-	D	S	R
		汚水発生	水	-	D	S	R
		交通渋滞	人	-	D	L	R

注) (+) 良い、 (-)悪い、 (D)直接的、 (In) 間接的、 (L)長期、 (S)短期、 (R)可逆的、 (I)不可逆的

また、環境影響調査により得られた事業 値す。
 値周辺の住民調査の概要を表 ES-20-2 に示

表 ES-20-2 選定橋梁周辺での住民状況

橋 梁 名	アプローチ道路、交差道路周辺	桁 下
パッケージ B		
Lambingan	正規・不法住宅が多く、工場や商店もある。簡易住宅が橋梁直下に存在する。水管橋が併設されている。	(右側) 新設されている堤防付近に1軒(住民5人)がある。
Guadalupe	(北側) 歩道沿いや橋梁直下に住宅や商業施設がある。 (南側) 両側に駐車車両のある道路(EDSA)がある。	(北側) 12の簡易住宅や店舗(27人の住人)がある。
パッケージ C		
1st Mandaue-Mactan	(北側) 橋梁周りに多くの住宅や店舗がある。	189軒の住宅と733人の住人がある。
Mawo	多くの住宅が橋梁に沿って存在する(用地内)。DPWHにより暫定ROWとして道路中心より10mラインが現地でマーキングされている。	(北側) 桁下は船着き場として利用されている。2軒(住民12名)の不法住宅がある。 (南側) 桁下が闘鶏・豚の養殖場、物干し場として桁下が利用されている。 暫定用地幅20m内に住宅はない。
Palanit	多くの住宅が橋梁に沿って存在する(用地内)。DPWHにより暫定ROWとして道路中心より10mラインが現地でマーキングされている。水管が添架されている。	(北側) 桁下は漁具置き場として利用されている。暫定用地幅20m内に7人の住人がいる。
Liloan	橋梁沿いに住宅はない。	(北側) 交差道路近くの桁下には、バスケットコートや2軒の商店がある。桁下は部分的に果樹園、建材置場、養鶏場、ゴミ捨て場、舟置き場として利用されている。
Wawa	(北側) 道路沿いに数軒の藁葺き家屋がある。数人の住民は、橋梁と堤防間にある側道沿いのいくつかの住民は道路平面線形変更の影響を受ける。	(南側) 橋梁下に構造物はない。

パート 5 : 事業実施計画と提言

第 2 1 章 事業実施計画

(1) 事業の概要

対象橋梁の 2 段階のスクリーニング評価の結果、優先順位と対策方針を検討した

この検討の結果、第 1 6 章と第 1 7 章で選定されたパッケージ B の 2 橋とパッケージ C の 5 橋の工法選定を含む概略設計を行い、対策工の提案を行っている。

メトロマニラ圏内では、交通渋滞の発生や狭い施工スペース内での施工となる都市環境であり、安全確保はもとより、最小限の交通への影響とした事業実施が求められる。

日本の建設業者は、このような厳しい都市環境での十分な経験と技術を有しており、さらに、橋梁の耐震対策には特殊な技術が必要である。 よって、本事業は、以

下に示す技術分野での日本の建設工事の経験を生かせるモデル事業とすることが可能である。

- 1) 橋脚の耐震補強技術
- 2) 落橋防止システム技術
- 3) 基礎の耐震補強技術
- 4) 地盤改良による液状化対策技術
- 5) 免震技術
- 6) 近接施工技術
- 7) 急速施工技術

(2) 事業費

第 1 8 章で、2013 年を物価基準とした事業費積算を行っている。

(3) 事業実施工程

提案している事業実施工程を表 ES-21-1 に示す。

表 ES-21-1 事業実施工程表 (提案)

	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
環境影響保証書 (ECC)	X							
経済開発庁への登録と事業評価 (NEDA-ICC)	X							
事業形成調査	X							
詳細設計、契約補助業務		12 ヶ月 選定						
契約				15 ヶ月				
施工					32 ヶ月			
供用開始、維持管理								2021 年 1 →

(4) 事業実施組織

事業実施機関は、公共事業道路省 (DPWH) とそれに所属するプロジェクト管理事務所 (PMO) と考えられる。提案する事業実施組織を図 ES-21-1 に示す。

(5) 財務分析と資金調達

橋梁架け替えや補強の実施で得られる便益を含む事業の経済価格を経済分析で評価している。以下の3つを実現可能性の評価指標としている。

- 経済内部収益率 (EIRR)
- 便益・コスト比率 (B/C Ratio)
- 純現在価値 (NPV)

第19章に示す経済分析では、全ての橋梁で経済的に実施可能の評価となっている。

第22章 提言

(1) 提案している橋梁耐震設計基準 (BSDS)

本調査で提案しているBSDSの現行耐震設計基準との相違点は、以下のとおりである。

(A) 耐震要求性能の設定

◆AASHTO を用いてきたフィリピンでは初めての試みとなる、フィリピンの環境に応じた橋梁に求められる独自の耐震要求性能と橋梁の位置する路線等による重要度区分を設定した。

(B) フィリピンの環境に応じた地震ハザードマップの作成

◆フィリピンの活断層や海溝の分布を反映し、確率論による地盤加速度と、地盤の応答解析により、AASHTO で規定されている地盤種別 B の地盤面の地震ハザードマップを作成した

◆フィリピンで将来発生した新たな地

震のデータが蓄積され、本調査で行った過程と同様な手順によりその結果が反映されることを前提として、BSDS で規定した地震時設計地盤加速度は、継続的に適正化されることを前提としている。

(C) 最新の設計手法の採用

◆AASHTO の 2012 年版に採用されている荷重抵抗係数設計 (LRFD) を採用し、地震の再現期間を、旧 AASHTO の 500 年から、本調査の検討の結果 1000 年に変更し、これを採用した。

(D) JRA 落橋防止システムの導入

◆フィリピンと日本との地盤特性の類似性を考慮し、JRA に示されている落橋防止システムを導入した。

◆落橋防止システムに関する基準の構成は、(a)耐震上不安定な地盤の影響に関する設計法、(b)落橋防止システム、(c)免震橋梁に対する要求事項、である。

(E) その他

◆耐震設計上の地盤種別は、JRA に示された方法により求められる、Vs または N 値から計算される地盤の特性値 (Tg) を算出することで区分される 3 種類とした。

◆液状化の影響について、JRA に準拠した段階的な設計上の影響評価手法を、基礎設計基準に用いた。

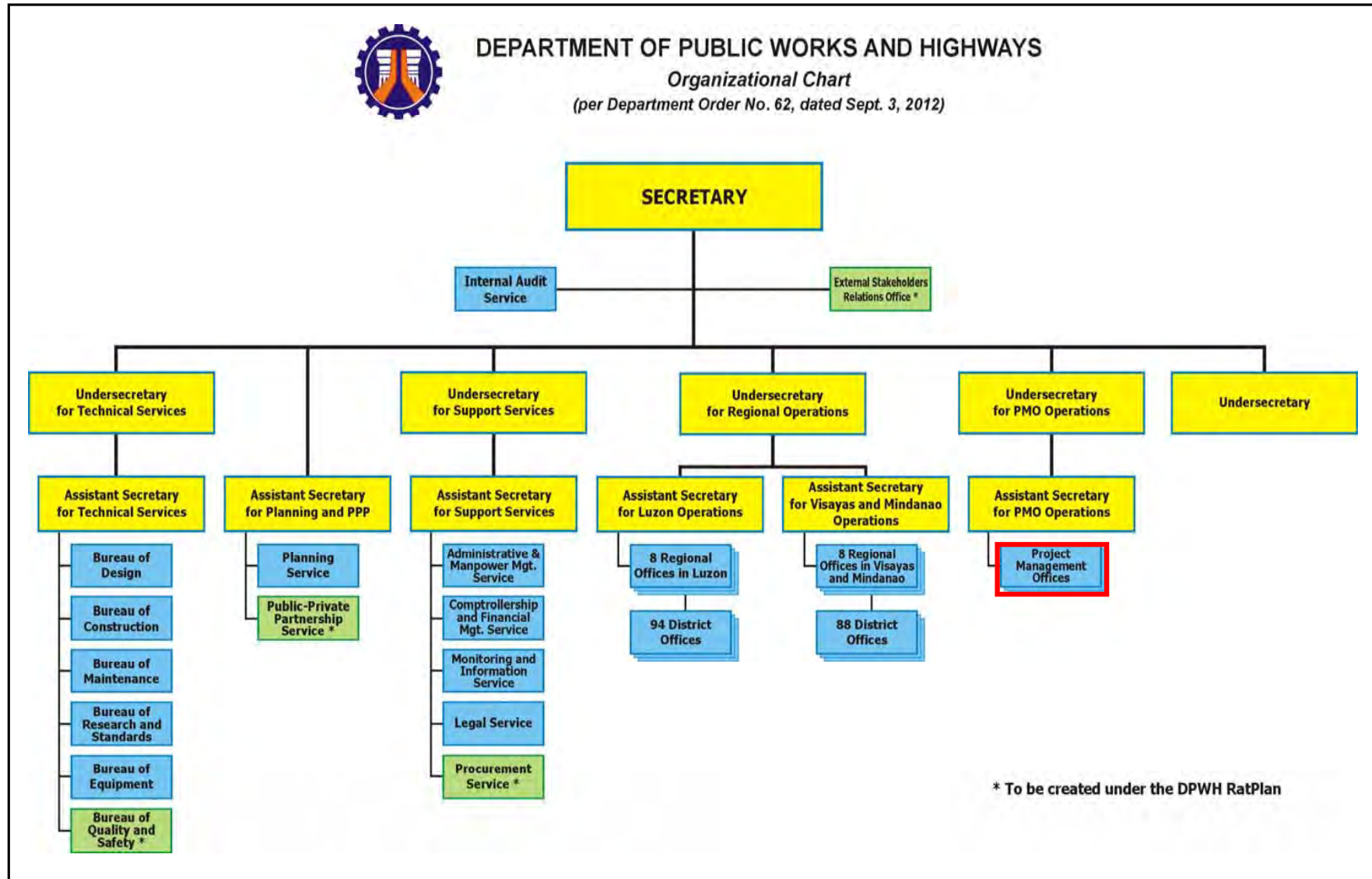


図 ES-21-1 提案する事業実施組織図

本調査では、提案している BSIDS の内容の誤解を避けるとともに理解を深めるため、耐震設計マニュアルと 2 種類の設計例を作成している。

提案している BSIDS を効果的・有効的に利用し、大規模地震による影響を緩和させるため、DPWH には以下の 6 つのアクションを取ることを提言する。

- (i) 前述(A)、(B)および(C)は下部工の構造や基礎の規模に大きく影響し、現行の設計基準によって設計された構造規模に比較して大きな相違のある可能性があり、DPWH

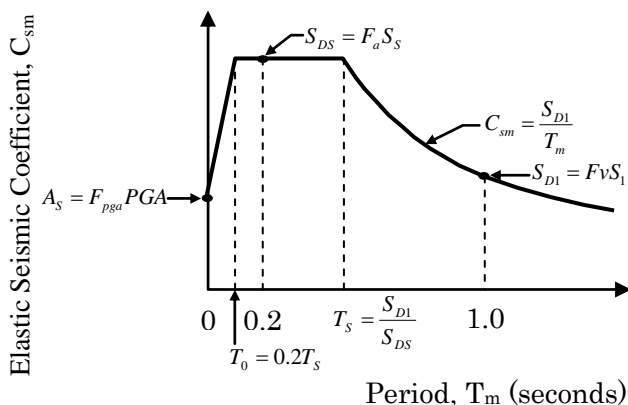
は注意深く試設計を多面的な条件で行うとともに、設計経験を蓄積することで、下部工や基礎の規模などの急激な変化に対応する必要がある。

構造物への地震力である加速度応答スペクトルを、実測データがなく解析によりこれを検討し決定する場合、国家の予算規模などによる行政的な判断が必要となる。

図 ES-22-1 に、レベル 2 地震の加速度応答スペクトルにおける、現在までの経験、技術進展、本分野での研究などより設定した PGA の上限値・下限値の提案を示す。

Future Issue ← Recommended Range of PGA for Level-2 Earthquake → Future Issue

PGA (Soil Type B)		PGA=0.10	S _{DS} /As	PGA=0.20	S _{DS} /As	PGA=0.30	S _{DS} /As	PGA=0.40	S _{DS} /As	PGA=0.50	S _{DS} /As	PGA=0.60	S _{DS} /As	PGA=0.80	S _{DS} /As
Reference (Soil Type B)	F _p g _a (=F _a)	1.00		1.00		1.00		1.00		1.00		1.00		1.00	
	As(F _p g _a *PGA)	0.10	2.50	0.20	2.50	0.30	2.50	0.40	2.50	0.50	2.50	0.60	2.50	0.80	2.50
	S _{DS} (F _a *S _s)	0.25		0.50		0.75		1.00		1.25		1.50		2.00	
Soil Type I (C)	F _p g _a (=F _a)	1.20		1.20		1.10		1.00		1.00		1.00		1.00	
	As(F _p g _a *PGA)	0.12	2.50	0.24	2.50	0.33	2.50	0.40	2.50	0.50	2.50	0.60	2.50	0.80	2.50
	S _{DS} (F _a *S _s)	0.30		0.60		0.83		1.00		1.25		1.50		2.00	
Soil Type II (D)	F _p g _a (=F _a)	1.60		1.40		1.20		1.00		0.90		0.89		0.88	
	As(F _p g _a *PGA)	0.16	2.50	0.28	2.50	0.36	2.50	0.40	2.50	0.45	2.51	0.54	2.50	0.70	2.50
	S _{DS} (F _a *S _s)	0.40		0.70		0.90		1.00		1.13		1.35		1.75	
Type III (E, F)	F _p g _a (=F _a)	2.50		1.70		1.20		0.90		0.80		0.77		0.75	
	As(F _p g _a *PGA)	0.25	2.50	0.34	2.50	0.36	2.50	0.36	2.50	0.40	2.50	0.47	2.51	0.60	2.50
	S _{DS} (F _a *S _s)	0.63		0.85		0.90		0.90		1.00		1.18		1.50	



Future Issues*):
Upper and lower limits will be expanded based on the future experience, development of technology and research in this field including recommended As and S_{DS} corresponding to each PGA.
Regarding F_v corresponding to the above, please refer to this report.

Minimum PGA=0.2 is recommended only for Palawan and Sulu islands, for the other areas 0.3 is recommended as a minimum PGA taking account of the 2013 Bohol Earthquake.

図 ES-22-1 提案している加速度応答スペクトル

- (ii) 前述(B)、(D)および(E)は、最終報告書提出後、直ちにオーソライズする必要がある。なぜなら、これらは地震時の構造物の安全性の確保となるため、早急にこれらを用いることが望まれるからである。(B)は、DPWH に

より再現期間を早急に決定する必要はないが、設計手法の移行期間での試設計を通して、提案している BSIDS を改良することが必要である。

(iii) 上記のプロセスを経て、できるだけ早く BSDS を全面的にオーソライズし、DPWH はオーソライズされた BSDS を全国へ普及させ、これを用いた耐震設計を根付かせる必要がある。

(iv) 新 BSDS (全面的にオーソライズした BSDS) に基づいた標準設計法および標準設計図面集を改定する必要がある。

さらに、アクション(v)と(vi)を取ることも提言する。

(v) 2013 年のボホール地震により確認された新しい活断層を考慮した地震ハザードマップの照査と必要に応じた改定

(vi) BSDS の橋梁の重要度により設定している橋梁 (重要度) 区分は、DPWH の BOD が、計画局 (P/S) が設定した地方の緊急輸送道路などを含む特別な道路機能に整合した橋梁重要度区分と

する調整を行う。

(vii) 現在の ASHTO は荷重ベース R フォクター設計法から、変位をベースとした設計法に移行中であり、設計技術者が容易に設計法を理解し、設計水平地震力の大きさによる構造物の挙動を判断できるようにするため、DPWH は将来的に変位をベースとした設計法への移行を検討することを提言する。

本調査では、DPWH の要望により現行の設計手法が採用され、これにより BSDS を作成している。

表 ES-22-1 に、本調査の結果をさらに有意義に、また、継続させるため必要と考えられる移行期間における、さらなるサポート行動と項目を示す。

表 ES-22-1 継続的な展開のために提案する移行期間の活動項目

	1st Year	2nd Year
(1) Trial Design/Accumulation of Design Experience	Design Trial and Accumulation Stage	Finalizing Stage
(2) Capacity Development	Repeated Training and Holding Seminar	
(3) Implementation of a Pilot Project	Target Bridge Selection and Detailed Design	Implementation
(4) Preparation of New Standard Design Procedure and Drawings		Preparation
(5) Preparation of Bridge Retrofit Manual	Preparation	
(6) Inter Agency Committee Meeting*	★ ★ ★	★ ★
Remarks	* Inter Agency Committee Meeting (IACM) consists of DPWH, PHILVOCS, ASEP, UP, Geological Society, under which working group will be needed to maintain close coordination.	

(2) 提案している橋梁耐震化事業の実施

(a) 事業実施の緊急性

本調査で入念に実施した各種調査や検討の結果、33橋より選定した7橋の地震耐荷力に対する早急な耐震対策の実施を提言する、

中でも、Lambingan 橋と Guadalupe 橋（外側）は、耐震対策のみでなく、重要路線に位置する橋梁として、主要幹線道路橋梁としての活荷重に対する常時の耐荷力対策を含め、早急な架け替えを強く提言する。

両橋は、液状化の発生する可能性の高い地盤上にあり、また既存資料がないなど基礎形式や基礎が良質な支持地盤に支持されているかも不明である。

もし、ボホール地震（2013年）、ネグロス地震（2012年）そして北ルソン地震（1990年）で発生が確認された液状化により落橋した橋のように、特に交通量の多いEDSAにあるGuadalupe橋が落橋した場合、フィリピン経済に甚大な打撃を与えるとともに、住民の生活に大きな被害を与えることになる。

基礎構造形式やその支持状況の情報がない他の古い渡河橋梁は耐震保有性能が不明であり、新しいLambingan橋とGuadalupe橋に適切な設計と施工が実施され、両橋が震災時の「お助け橋」として機能すれば、大規模地震時におけるパッシング・マリキナ川の渡河信頼性が向上する。

架け替え3橋、耐震補強2橋であるパッケージCの5橋は耐震保有性能が低く、これらの重要性を鑑み、本報告書で計画している適切な時期に耐震対策事業を実施することを提言する。

(b) 事業への本邦技術の導入

橋梁の耐震対策の設計や施工には、経験や特殊技術が必要である。

このため、以下の分野での本邦技術を用い、本事業はフィリピンにおける耐震事業のモデルプロジェクトとして実施することを提言する。

◆ 橋脚の耐震補強



◆ 落橋防止システムの設置



◆基礎の耐震補強



◆液状化層の地盤改良

◆免震技術の導入

◆制限された施工空間（空洞制限・近接施工）での施工技術



◆急速施工技術

(3) 施工品質と維持管理の重要性

構造物の地震時耐荷力性能は、適切な耐震設計のみでなく、施工時の品質が確保されて初めて設計で求める性能が実現できる。

また、適切な維持管理の実施により、建設された構造物の適切な地震時の耐荷力性能の維持となる。

DPWHには、高い品質での構造物の施工と、適切な維持管理の実施による構造物の性能維持のため、適切な施工・維持管理の実施を提言する。

(4) Guadalupe 橋とその周辺の交通結節点としての改良の提言

Guadalupe 橋のマカティ側は、MRT、バス、タクシー、ジプニーなどの公共交通の乗り換えである交通結節点であり、これら利用者やこのエリアの近くにある公共市場の利用者の移動などもあり、交通渋滞が発生している。

Guadalupe 橋の耐震対策事業の機会を最大限に利用し、橋梁の幅員が拡張でき、周辺の土地も改良することができるため、交通渋滞対策もあわせて、事業を実施することを強く提言する。

交通渋滞対策として、図 ES-22-2 に提案計画概念図を示す、耐震対策の機会に交通渋滞対策と周辺環境の改善となる「レベル3改良」の実施を提案する。

レベル3改良は、以下の対策を含む。

- ◆橋梁の耐震対策
- ◆EDSA ランプの線形改良
- ◆EDSA 内に新しいバス停の設置
- ◆南側の交通結節点としての整備

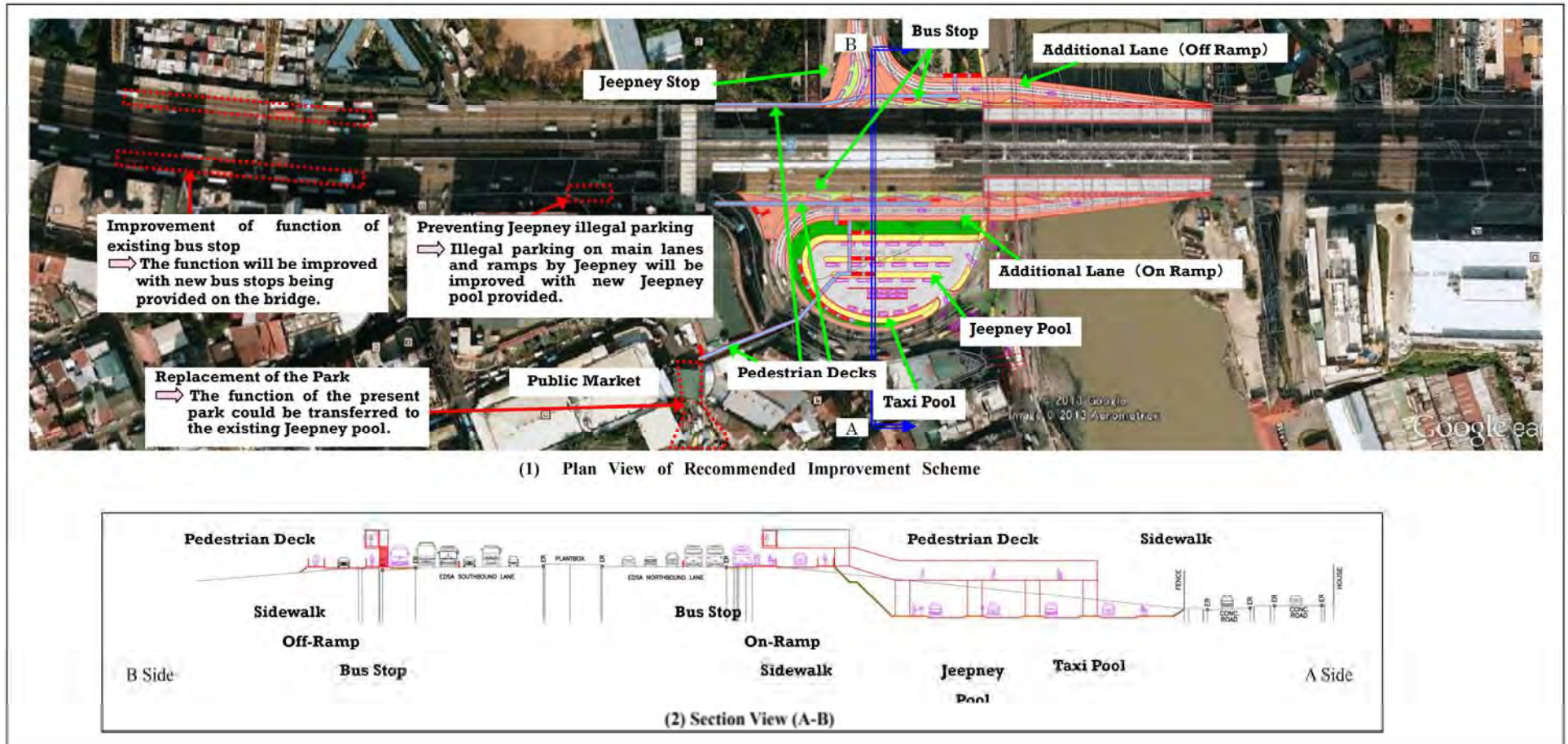


図 ES-22-2 Guadalupe 橋周辺の交通結線部としての提案計画概念図

調査関係者

独立行政法人 国際協力機構

垣下 禎裕	経済基盤開発部 参事役
坂本 威午	経済基盤開発部 次長兼運輸交通・情報通信グループ長
荒津 有紀	(当時) 経済基盤開発部 次長 兼 運輸交通・情報通信 グループ長
三宅 繁輝	経済基盤開発部 運輸交通・情報通信第二課、課長
土橋 徹	経済基盤開発部 運輸交通・情報通信第二課 兼 計画・調整課
福井 貴規	(当時) 経済基盤開発部 運輸交通・情報通信グループ 運輸交通・情報通信二課、主任調査員
上野 嘉行	(当時) 経済基盤開発部 計画・調整課 兼 運輸交通・情報通信二課
佐々木 隆宏	JICAフィリピン事務所、所長
小豆澤 英豪	JICAフィリピン事務所、企画・調査班、次長
フロロ O. アドビエント	JICAフィリピン事務所、企画・調査班、プログラママネージャー
グレース L. ミランディリア	JICAフィリピン事務所、企画・調査班、プログラマオフィサー
鈴木 一志	JICAフィリピン事務所、企画・調査班、企画調査員
佃 誠太郎	JICA専門家

国内支援委員会

塚田 幸広	委員長	国土交通省 国土技術総合政策総合研究所 国総研高度情報化研究センター センター長
星隈 順一	委員	独立行政法人 土木研究所 構造物メンテナンス研究センター 橋梁構造研究グループ 上席研究員
片岡 正次郎	委員	国土交通省 国土技術総合政策総合研究所 地震防災研究室 主任研究官
大城 温	委員	国土交通省 国土技術総合政策総合研究所 道路研究部 道路構造物管理研究室 主任研究官
秋山 充良	委員	早稲田大学 創造理工学部 社会環境工学科 教授

プロジェクト合同調整会議

Usec. Raul C. Asis	議長	Undersecretary, Technical Services, DPWH
Asoc. Eugenio R. Pipo	副議長	Assistant Secretary, Technical Services, DPWH
Dir. Gilberto S. Reyes	プロジェクトマネージャー	Director, Bureau of Design, DPWH
Dir. Walter R. Ocampo	メンバー	Director, Bureau of Construction, DPWH
Dir. Melvin B. Navarro	メンバー	Director, Planning Service, DPWH
Dir. Betty S. Sumait	メンバー	OIC, Director, Bureau of Maintenance, DPWH
Dir. Judy F. Sese	メンバー	OIC, Director, Bureau of Research and Standard, DPWH
Dir. Reynaldo G. Tagudando	メンバー	Regional Director, National Capital Region, DPWH
Dir. Renato U. Solidum	メンバー	Director, Philippines Institute of Volcanology and Seismology, PHIVOLCS
Mr. Miriam Tamayo	メンバー	President, Association of Structural Engineers of the Philippines, ASEP
Mr. Vinci Nicolas R. Villasenor	メンバー	Past President, Association of Structural Engineers of the Philippines, ASEP
佐々木 隆宏	メンバー	JICAフィリピン事務所、所長

テクニカルワーキンググループ

Asst. Dir. Adriano M. Doroy	代表	OIC, Assistant Director, Bureau of Design, DPWH
Engr. Edwin C. Matanguihan	メンバー	OIC, Chief, Bridges Division, BOD, DPWH
Engr. Aristarco M. Doroy	メンバー	Chief, Project Assistance Division Area 1, BOC, DPWH
Engr. Carolina S. Canuel	メンバー	Chief, Development Planning Division, PS, DPWH
Engr. Dominador P. Aquino	メンバー	Chief, Planning and Programming Division, BOM, DPWH
Engr. Reynaldo P. Faustino	メンバー	Chief, Research and Development Division, BRS, DPWH
Engr. Lydia F. Chua	メンバー	Chief, Planning and Design Division, NCR, DPWH
Engr. Guillerma Jayne Atienza	メンバー	Senior Geologist, Survey and Investigation Division, BOD, DPWH

テクニカルワーキンググループ オブザーバー

Engr. Rufino D. Valiente	メンバー	Senior Bridge Engineer, Bridges Division, BOD, DPWH
Engr. Mariano S. Flores	メンバー	Senior Bridge Engineer, Bridges Division, BOD, DPWH
Engr. Blessie Ramos	メンバー	Senior Bridge Engineer, Bridges Division, BOD, DPWH
Dr. William Tanzo	メンバー	Consultant

日本大使館

米澤 明男	日本大使館、二等書記官
-------	-------------

調査団

五瀬 伸吾	総括/耐震基準
土田 貴之	副総括/橋梁診断/補修・補強設計
市川 敏夫	耐震基準/橋梁診断
ホビト・C・サントス	耐震基準/橋梁診断/執務参考資料作成
大竹 弘晃	耐震基準補助/健全度調査補助/補修・補強設計補助
高上 顕	橋梁新設設計(上部工)
片山 啓	橋梁新設設計(下部工)(1)
内海 芳則	橋梁新設設計(下部工)(2)
齋藤 弘志	取り付け道路設計/護岸設計
田中 健一	地質/地盤
西川 知行	地形/測量
棚橋 涼	水文/気象
尾山 靖史	地震分析
渡邊 恭史	施工計画/積算
金子 広資	交通計画/経済分析(1)
上野 隆一	交通計画/経済分析(2)
山下 大輔	交通シミュレーション
原田 邦彦	環境社会配慮
岩下 優海	研修計画(1)
加藤 未波	研修計画(2)