

化学・石油化学プラント・エンジニア
リング耐震技術に係る調査
(プロジェクト研究)

ファイナルレポート

平成 24 年 11 月
(2012 年)

独立行政法人
国際協力機構 (JICA)

一般社団法人 日本プラント協会
千代田化工建設株式会社
千代田ユーテック株式会社

産公
JR
12-118

化学・石油化学プラント・エンジニア
リング耐震技術に係る調査
(プロジェクト研究)

ファイナルレポート

平成 24 年 11 月
(2012 年)

独立行政法人
国際協力機構 (JICA)

一般社団法人 日本プラント協会
千代田化工建設株式会社
千代田ユーテック株式会社

化学・石油化学プラント・エンジニアリング耐震技術に係る調査
(プロジェクト研究)

目次

略語表.....	1
要 約.....	5
第1章 序論.....	17
1.1 背景と目的.....	17
1.2 調査の基本方針.....	17
1.3 現地調査と啓発セミナーの開催.....	19
第2章 プラント・エンジニアリングと我が国のプラント耐震 技術.....	21
2.1 プラント・エンジニアリングと耐震技術.....	21
2.2 プラントにおける防災計画、保安・防災体制.....	32
2.3 プラントに関する耐震技術、設備、設計の最新動向.....	36
2.4 過去の地震、津波と事故の事例と、その後の法制度・基準制定、技術進歩等.....	40
第3章 インドネシア国のプラント耐震技術.....	53
3.1 インドネシア国の化学・石油化学産業.....	53
3.2 過去の地震、津波とそれによる事故の発生状況及びリスク.....	61
3.3 インドネシア国におけるプラントに関する法制度・耐震基準.....	71
3.4 インドネシア国におけるプラントに関する防災計画、保安・防災体制.....	72
3.5 プラントの耐震設計実態の把握.....	76
3.6 想定される地震規模によるプラントへのダメージのシュミレーション及び想定 される対応案.....	76
3.7 インドネシア国におけるプラントの耐震技術のレベルの確認.....	80
3.8 プラント耐震対策に対する啓発活動.....	80
3.9 インドネシア国におけるニーズ・要望と検討.....	84
第4章 ベトナム国のプラント耐震技術.....	87
4.1 ベトナム国の化学・石油化学産業.....	87
4.2 過去の地震、津波とそれによる事故の発生状況及びリスク.....	92
4.3 プラントに関する法制度・耐震技術.....	100

4.4	プラントにおける防災計画、保安・防災体制	101
4.5	プラントの耐震設計実態の把握	106
4.6	想定される地震規模によるプラントへのダメージのシミュレーション及び想定 される対応案	106
4.7	プラントの耐震技術のレベルの確認	110
4.8	プラント耐震対策の必要性に関するセミナー等による啓発活動	110
4.9	ベトナム国におけるニーズ・要望と検討	114
第5章 フィリピン国のプラント耐震技術		115
5.1	フィリピン国の化学・石油化学産業	115
5.2	過去の地震、津波とそれによる事故の発生状況及びリスク	118
5.3	プラントに関する法制度・耐震基準	122
5.4	フィリピン国におけるプラントの防災計画、保安・防災体制	122
5.5	プラントの耐震設計実態の把握	127
5.6	想定される地震規模によるプラントへのダメージのシミュレーション及び想定 される対応案	128
5.7	プラントの耐震技術のレベルの確認	130
5.8	プラントの耐震対策の必要性に関するセミナー等に関する啓発活動	130
5.9	フィリピン国におけるニーズ・要望と検討	132
第6章 途上国におけるプラントの地震防災における課題の 取りまとめ		133
6.1	インドネシア、ベトナムおよびフィリピン三カ国の防災組織、法律等の比較	133
6.2	インドネシア、ベトナムおよびフィリピン三カ国の耐震・防災技術の比較	134
6.3	インドネシア、ベトナムおよびフィリピン三カ国共通の課題	138
6.4	インドネシア、ベトナムおよびフィリピン三カ国における耐震技術の必要性	139
6.5	インドネシア、ベトナムおよびフィリピン三カ国における協力先	140
第7章 途上国におけるプラントの地震防災に対する提言		145
7.1	対象国の分析と協力可能性	145
7.2	想定される協力内容	147
7.3	プラント向け耐震設計指針・基準の整備についての協力	147
7.4	既設プラントの耐震診断の実施についての協力	149
7.5	日本の耐震基準の特徴と利点	149
7.6	想定される裨益効果	151

添付資料.....	153
I：インドネシア耐震設計基準（SNI-1726-2002）の地震力について.....	155
II：ベトナム耐震設計基準（TCXDVN 375:2006）の地震力について.....	167
III：フィリピン耐震設計基準の地震力について.....	177
IV：プラントに関する法制度・耐震基準サマリー.....	187
V：三カ国の地震荷重の比較.....	191
VI：三カ国の防災計画の比較.....	209
VII：現地調査日程表.....	211
VIII：啓発セミナー実施概要.....	219

略語表

一般	
API	American Petroleum Institute
ASCE	American Society of Civil Engineers
ASEAN	Association of South - East Asian Nations
ASME	American Society of Mechanical Engineers
ANSI	American National Standards Institute
BCP	Business Continuous Plan
BP	British Petroleum
ERP	Emergency Response Plan
GDP	Gross Domestic Product
IBC	International Building Code
IHI	Ishikawajima Harima Heavy Industries Co., Ltd.
JAIC	Japan Asia Investment Co., Ltd.
JICA	Japan International Cooperation Agency
JIS	Japanese Industrial Standard
JEA	Japan Electric Association
JGA	Japan Gas Association
JGC	JGC Corporation
JPI	Japan Petroleum Institute
KHK	Koatsu-gasu Hoan Kyokai
NEHRP	National Earthquake Hazards Reduction Program
SINOPEC	China Petrochemical Corporation
SNI	Indonesian National Standard
SNIP	System of Normative Documents in Construction, Basic Principles (Russia)
TEC	Toyo Engineering Corporation
TEMA	Tubular Exchanger Manufacturers Association, Inc.
TKP	Tecnip-Coflexip
UBC	Uniform Building Code
UNDP	United Nations Development Programme
USGS	U.S. Geographical Survey
技術	
BEDD	Basic Engineering Design Data
BR	Butadiene Rubber

bpd & b/d	Barrel per day
CCR	Continuous Catalyst Regeneration & Reforming Unit
CDU	Crude Distillation Unit
DCU	Delayed Coking Unit
DEG	DI Ethylene Glycol
DOP	Diocetyl phthalate
EB	Ethylbenzene
EDC	Ethylenedichloride
FCC	Fluid Catalytic Cracker
FPG	Formosa Plastics Group, Taiwan
HDPE	High Density Polyethylene
HDS	Hydro Desulphurization Unit
LCOHTR	LCO Hydrotreater
LLDPE	Linear Low-Density Polyethylene
MEG	MONO Ethylene Glycol
MMI	Modified Mercalli Intensity
MSK	Medvedev-Sponheuer-Karnik scale
NHT	Naphtha Hydrotreating Unit
OX	Ortho-xylene
PET	Polyethylene Terephthalate
PFY	Polyester Filament Yarn
PGA	Peak Ground Acceleration
POY	Partially Oriented Yarn
PP	Polypropylene
PS	Polystyren
PSF	Polyester Staple Fiber
PTA	Purified Terephthalic Acid
PVC	Polyvinyl Chloride
PX	Para-xylene
RFCC	Resid Fluid Catalyst Cracking
SD	Scientific Design
SM	Stylene Monomer
SMS	Short Messeage System
STG	Steam Turbine Generator
TPA	Terephthalic Acid
UCC	Union Carbide Corporation
UPS	Uninterruptible Power System
VCM	Vinyl Chloride Monomer

VDU	Vacuum Distillation Unit
ベトナム	
DMC	Dike Management Center
DSTE	Department of Science, Technology and Environment
IBST	Institute of Building Science & Technology
Lilama	Vietnam machinery Installation Corporation
MOC	Ministry of Construction
MONRE	Ministry of Natural Resources and Environment
PDC	Petro Vietnam Processing and Distribution Company
PPC	Pha Lai Thermal Electric Joint Stock Company
PVGAS	Petrovietnam Gas Company
PVN	Petrovietnam
VAST	Vietnam Academy of Science and Technology
インドネシア	
AMI	PT Amoco-Mitusi PTAIndonesia
ASC	PT Asahimas Chemical
B&B	Bakri & Brothers
BGC	Petrochina Betra Gas Complex
BMKG	Metrological Climatological and Geophysical Agency
BNPB	National Agency for Disaster Management
BPPT	Bandan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, The Agency for the Assessment and Application of Technology
CAP	PT Chandra Asri Petrochemical Tbk
IKPT	PT. Inti Karya Persada Tehnik
MCCI	PT. Mitsubishi Chemical Indonesia
NIODC	National Iranian Oil Refinery & Distribution Co.
PUSKIM	Research Institute for Human Settlements, Agency for Research and Development, Minsitry of Public Works
SMI	PT Styrimo Mono Indonesia
SIM	PT Satomo Indovyl Monomer
SAU	Sulfindo Adiusaha
SEJ	PT Showa Esterindo Indonesia
TPPI	PT Trance-Pacific Petrochemical Indotama
フィリピン	
ASEP	Association of Structural Engineers, Philippines
BPI	The Bank of The Philippine Islands
DPWH	Department of Public Works and Highway
FIC	First In Color Inc.

JGSH	JG Summit Holdings
JGSP	JG Summit Petrochemical Corporation
NSCP	National Structural Code of Philippines
OCD	Office of Civil Defense, Department of National Defense
PHIVOLCS	Philippine Institute of Volcanology and seismology
PNOC	Philippine National Oil Company
PPI	Philippine Polypropylene Inc.
PRII	Philippine Resin Industries Inc.
PSPC	Philipnas Shell Petroleum Corporation
SMC	San Miguel Corporation

要 約

1. 調査の背景と目的

世界有数の地震国である我が国においては、産業施設及び石油・石油化学のプラント（以下、プラントという）における耐震設計は欠かすことのできないものであり、我が国のプラントメーカー・エンジニアリング企業は、地震に強いプラントの設計に努め、その技術を蓄積してきた。2011年3月11日に発生した東日本大震災では、地震発生とその後の津波により、東日本の多くの製油所および石油化学プラントは大きな被害を被った。これを受け、プラントの耐震設計を改めて見直す必要性が認識されており、各地の既設プラントの耐震診断や補強等も行われている。これらの我が国の経験・技術を活用することにより、今後、我が国のプラントの耐震設計技術の経験を活かした海外プラントへの適切な耐震対策の導入が期待される。すなわち、本調査は、我が国のプラント・エンジニアリング産業技術にかかる知見を活かした途上国への適切な耐震技術の導入がプラント耐震に係わる安全性を高め、当該国の耐震技術ニーズと合致するか調査することを目的とした。

また、調査結果から、対象国および比較対象国に対する耐震技術に関する今後の技術協力について提言を行う。

2. 調査結果の概要

調査対象国であるベトナムおよびインドネシア、ならびに比較対象国であるフィリピンにおける三度にわたる調査を踏まえ、石油・石油化学のプラントに関する法制度・耐震基準を含む耐震技術および防災技術に関して、現在の状況、ニーズを把握し、将来の技術協力の方向性等を検討した。

2.1 インドネシアにおけるプラント耐震技術と防災計画

過去に大きな地震を経験し、観測体制（早期警報システム等）、防災組織もかなり整備されて来ていることが確認できた。プラントの耐震設計基準には、配管架構などの建築構造物に類似した構造物に対しては、自国の建築物用の耐震設計基準を用い、それ以外の設備類の耐震設計については、現在も米国の耐震設計基準（UBC: Uniform Building Code）の適用可能な部分を準用している。インドネシアでもアチェの大地震・津波の被害から防災体制の強化・耐震技術の取り組みの強化が実施されてきた。しかし一般建築物、高速道路、橋などのインフラストラクチャーは同国内の基準で耐震設計できるものの、プラントの耐震設計では海外のエンジニアリング会社が耐震設計を実施している場合が多い。インドネシアには多数の大型の石油精製・天然ガス液化・石油化学プラント

が存在するが、それらのほとんどは海外のエンジニアリング会社かそれらと組んだ国内のREKAYASAのような大手エンジニアリング会社によって設計・建設されたものである。これらの国内企業は過去・現在日本等の海外のエンジニアリング会社と連合を組んで技術の向上を図ってきた。

地震観測の技術面においては、日本の気象庁に相当する気象気候地球物理庁(BMKG : Metrological Climatological and Geophysical Agency)は、日本を含む海外との技術交流で技術レベルの向上を図っている。また、今後の耐震設計基準の改定に向けて、BMKGが中心になり地震ハザードマップの作成を行っている。なお、防災計画についてはインドネシア国家防災庁(BNPB : National Agency for Disaster Management)があり、防災に対しての教育・体制の整備に努めている。

第1回セミナーでの薦めに応じて、インドネシアでもプラント向けの耐震設計の統一基準を作った方がよいとの意見があり、公共事業省人間居住研究所(PUSKIM : The Research Institute for Human Settlement)が中心となり、他の省庁とも協力して委員会の立ち上げを計画しており、プラント向けの耐震設計基準を検討していく準備を始めた。

インドネシアの今後のニーズとしては、プラントの耐震設計基準の整備と耐震技術者の人材育成が必要である。

2.2 ベトナムにおけるプラント耐震技術と防災計画

過去にあまり大きな地震・津波の災害を経験してこなかったため、官庁・企業とも、地震防災に対する意識が薄く、プラントの耐震技術に関する関心も低い。今後北部におけるマグニチュード5.7-7.0の地震、およびマニラ海溝での地震による津波などの発生が予測される中、プラントに関して、耐震技術者の育成、耐震設計・地震防災に関する基準・指針作り、および特に地震防災においては体制作りが必要となる。

さらに大きなプラントの耐震設計は海外のエンジニアリング会社が対応しているため、国内にプラントの耐震技術をもつ技術者が育成されていない状況である。そのためベトナムではプラントの耐震技術者が不足しているとの認識があり、耐震技術者を育成することが必要である。今後は、エネルギー需要の高まりに応じ、国内の技術者が耐震設計を実施する機会が多くなることが予測されるため、プラントに対する耐震技術が必要であるという認識を持ってもらうための啓発活動が最初に取り組むべき大きな活動の一つになる。

また、一般建築向けの耐震設計基準は2006年にEurocodeに基づき改訂され発行されているが、プラント向けに適用できる耐震設計基準とはなっておらず、今後、プラント向けに基準の整備を行う必要がある。

2.3 フィリピンにおけるプラント耐震技術と防災計画

同国が過去に地震・火山噴火・台風・洪水などによる自然災害を経験しているため、自然災害に対する防災体制については日本を含む海外との技術交流を通して整備を進めている。耐震技術に関しては、ベトナム、インドネシア同様、大きなプラントは海

外のエンジニアリング会社が設計・建設を手掛けており、実務において同国の技術者を育てていく機会が少なく、プラントの耐震技術者が育成されていない。

フィリピンでもプラントの耐震技術に関しては、海外企業のエンジニアリングセンターとして海外のプラントの耐震設計を実施している現地企業はあるが、同国においてもプラントの設計・建設は海外のエンジニアリング会社が担当している。自国向けプラントのための国内のエンジニアリング会社は存在しないようである。

フィリピンの建築物用の耐震設計基準 (NSCP2010) は UBC に基づき作成されており、UBC のプラント設備の耐震設計に適用する部分も取り入れているため、配管を除く設備の耐震設計は実施可能である。

このような状況で、フィリピン構造技術者協会 (ASEP : Association of Structural Engineers of the Philippines, Inc.) は、プラントに特化した日本の耐震設計に関する法体系に注目しており、将来的には公共事業道路省 (DPWH : Department of Public Works and Highway) の協力を得て、日本の法体系を導入する検討をしたいという意向を示している。しかしながら、現時点の情報では、本意向を ASEP が実現できるか否かは調査団としては判断できない。

2.4 プラント耐震対策の必要性に関するセミナー等による啓発活動

セミナーを開催した三カ国とも毎回 50~70 名の参加があり、講演に対して熱心な討議を繰り広げた。ベトナムおよびインドネシアで開催した第 1 回セミナーは幅広い参加者に分かるようにテーマも「広く浅く」を目指し、日本の耐震技術の概要、プラント設計に関する日本の法体系、日本のプラントの防災システム等を説明した。ベトナム、インドネシアおよびフィリピン(同国では 1 回目)で開催した第 2 回セミナーではさらに技術内容を掘り下げ、日本における具体的な耐震診断方法分類と事例紹介、およびライフサイクルコストを考慮した地震リスクマネジメント、日本、ベトナム、インドネシア、およびフィリピンでのプラントの耐震設計基準を用いた計算事例およびその比較の紹介、日本の製油所の具体的な防災システム等を説明するセミナーを実施した。2 回にわたるセミナーで日本の耐震に係わる技術に関心が高いことが明らかになった。

セミナー終了後のアンケート(添付資料 VIII 参照)では、今後とも JICA による耐震技術に関する情報提供のためのセミナーの開催が求められた。また耐震技術者の人材育成のための具体的な対応案の検討、およびプラントの耐震設計基準の検討が必要であるとの意見が多く書かれていた。多くのセミナー参加者にとってはプラントの耐震設計技術についてのセミナーへの参加は初めての機会であった。セミナー開催によって三カ国のプラント耐震対策の必要性が受講者に改めて認識された。

2.5 インドネシア、ベトナムおよびフィリピン三カ国のプラント訪問結果

第 3 章、第 4 章および第 5 章にインドネシア、ベトナムおよびフィリピンの三カ国で訪問したプラントの簡易的なウォークスルーによる耐震診断結果を述べた。

ここではそれぞれの結果を踏まえ、適用耐震設計基準、コントラクター名、運転開始時期ならびに簡易的な診断結果を表-1 に示す。今回訪問した石油精製、石油化学、LPG 等のプラントはいずれも大規模なプラントであり、海外エンジニアリング会社が設計・建設したもので特に大きな問題は見出されなかった。しかしベトナムのファライの石炭焼き火力発電所第 1 号機は旧ソ連が 1983 年に建設したもので、ソ連の耐震設計基準で設計・建設され、視察した範囲では配管や天井の落下防止対策の不備など耐震対策上の弱点や経年劣化も見られた。

フィリピン Petron の Bataan 製油所は新旧両方のプラントがあるものの現在製油所では古い設備の更新作業が進行中である。古い設備は昔の所有者、Esso が建設したもので、当時の UBC が適用されたと推測される。また、古い設備の方は蒸気漏れや保温材の欠損など保守点検の面での問題があった。

表-1 訪問プラント簡易型診断結果

The Results of Plants Seismic Survey in Viet Nam、Indonesia and Philippines						
	Viet Nam			Indonesia		Philippines
Plants visited	Petrovietnam Dung Quat Refinery	Power plants (Old&New)	PVGas LPG Receiving Terminal	Jumbi Betara Gas Plant	Mitsubishi Chemical	Petron Bataan Refinery
Applied Code	UBC1997	Russia & Japan,Korea	TCXDVN375	UBC1997	SNI	UBC/Esso /Mobil
Contractors	JGC	Sumitomo Corp.	POSCO Engineering	Chiyoda	JGC	n.a.
Year started	2009	1983/2000		2005	1991	1973
Observational Results	Good	Old: To be further studied New:Good	Under construction	Good	Good	Old: To be further studied New:Good

(出典：調査団作成)

2.6 インドネシア、ベトナムおよびフィリピン三カ国の防災組織、法律等の比較

インドネシア、ベトナムおよびフィリピンの三カ国における防災計画について表 2 にまとめた。日本の例も合わせて示した。

それぞれの国には基本となる法律が存在し、これらに基づく対応組織が明確化されている。

ベトナムでは地震に関して、建設省の法律が存在しており、2000 年のベトナム北部地震の折、建設省が素早く対応した基となった。

表-2 防災計画の三カ国比較

**Comparison of Disaster Prevention Plan in Viet Nam,
Indonesia and Philippines**

	Viet Nam	Indonesia	Philippines	Japan
a) Basic Law	Law on Water Resource Law on Dyke Ordinance on Flood and Storm Control	Law No.24 Year 2007 on Disaster Management	Disaster Risk Reduction and Management Act 2010	Disaster Counter-measures Basic Act
b) Responsible Government Organization	Prime Minister (Ministry of Agriculture and Rural Development, The Central Committee for Flood and Storm Control (Disaster Management Dept./Dike Management for Tsunami)	National Agency for Disaster Management	Department of National Defense	Cabinet Office
c) Covering Disaster	Natural Disaster	Natural & Accidental Disasters	Natural Disaster & Terrorism	Natural & Accidental Disasters

(出典：調査団作成)

プラントの地震に関する防災計画は表-2 に示す通りである。インドネシア及びフィリピンは法律、責任組織が決まっており、対象となる災害も地震が含まれている。一方、ベトナムも法律はあるが、洪水を念頭に作成されており、現段階では地震に対する記述はあるものの、実際面で十分に対応していない。今後地震に関して整備される必要がある。

2.7 インドネシア、ベトナムおよびフィリピン三カ国共通の問題点

第1次から第3次調査での三カ国のセミナー共催者との協議、開催したセミナーからの入手情報ならびに工場訪問等から得られた情報、更に国内調査の結果に基づいて下記項目が明白になった。

- ① 三カ国共に耐震技術者、特に石油精製や石油化学の耐震設計を担当する技術者が不足している。地震学者、観測所等は日本を含む海外の協力により充実が図られている。
- ② 三カ国の耐震設計基準に関して、配管の耐震設計に関する基準がない。日本の基準の適用が望まれる。
- ③ インドネシアの Petrochina や三菱化学、ベトナムの Petrovietnam、フィリピンの

Petron などのような大規模工場では設計・建設を日本や韓国のエンジニアリング会社
 が実施しており、一部分の見学だけでは耐震対策上の欠点は見出されなかった。
 今次調査では時間の関係で調査できなかったが、三カ国には中小規模の化学・石油
 化学プラントもあるはずであり、これら中小規模の化学・石油化学プラントにお
 いては、必ずしも先進国のエンジニアリング企業が設計・建設を行ったものばか
 りではないため、設備の耐震対策が十分ではない状況が推測される。

- ④ 三カ国とも経済発展が著しく、エネルギーの安定供給は国の重要課題である。特
 にベトナム、フィリピンでは自国資源が十分でないので、日本と同様に発電燃料
 として LNG の輸入で対応せざるを得ない。このためインドネシアも含め、三カ国
 では LNG 受入れ施設の需要が増えると予測される。この点に関して耐震上の設計・
 施工に十分な基準や設計指針が必要となる。

2.8 インドネシア、ベトナムおよびフィリピン三カ国における耐震技術の必要性

第 1 次から第 3 次調査での三カ国のカウンターパートとの協議、開催したセミナー
 からの情報収集ならびに工場訪問等から得られた情報、更に国内調査の結果に基づい
 て三カ国の耐震技術・防災技術の必要性を表-3 にまとめた。

この表からは、ベトナムが耐震技術および防災技術に関して、これからの整備を一番
 必要としていることが判る。耐震技術の整備が進まなかった背景には、これまで大き
 な地震や津波に見舞われなかったことが挙げられる。一方、インドネシアではたびた
 びの地震で、国としての対応や対策が整いつつある。また同国には REKAYASA など
 のエンジニアリング会社が存在して、外国エンジニアリング会社と協調して技術習得
 を行ってきた。現在では自社で設計・建設まで対応できる技術レベルとなった。

表-3 三カ国における耐震技術の必要性

Potential Needs of Plants Seismic Technology			
	Indonesia	Viet Nam	Philippines
Cooperation for Bring up of Seismic Engineers Resources	○ (Middle)	◎ (Large)	◎ (Large)
Cooperation for Enhancement of Seismic Design Capability	○	◎	◎
Cooperation for Evaluation & Capability of Seismic Diagnosis	○	◎	◎
Cooperation on Disaster Prevention	○	◎	○
Other Seismic Tech. Cooperation (Power Plant /LNG Storage)	◎	◎	◎

(出典：調査団作成)

3. 途上国におけるプラントの地震防災に対する提言

本調査は、途上国に対して我が国の耐震技術の適切な導入を実施することが可能か、途上国での地震の多い途上国に耐震技術を導入することにより貢献できるか、を調査することを目的として実施した。

調査の結果、地震防災に対する提言として、プラント向け耐震設計基準・指針の整備および既設プラントの耐震診断が想定される。また、日本では法律・基準の制定に当たって委員会等に民間の人材を起用して検討を行うが、そのような仕組みづくりも各国の制度構築に寄与すると考えられる。

ここに示す提言では、日本と対象国の間で継続的な協力関係を得るため、対象国のプラント設備用の耐震設計基準に日本の基準を導入することを前提とする。また、提案は、対象国における関係者の要望、および日本からの技術協力の可能性から判断して実施可能な内容を想定した。複数の技術協力が必要な場合、日本の基準を導入する可能性の高い順位で実施することが望ましい。

3.1 対象国の分析と協力可能性

3.1.1 インドネシア

インドネシアは、エネルギー資源の豊富な国で多くのプラント設備を保有しており、今後これらのプラントの改造や増設等の工事が期待できる。当該国では、プラント設備等の非建築構造物の耐震設計は、現時点で基準に取り入れられていない。PUSKIMはプラント用耐震設計基準の必要性を理解して、現在、プラント用耐震設計基準の策定のための委員会を準備中である。さらに、同国のエンジニアリング会社は既に UBC を用いたプラント設備の設計を実施しているので、この三カ国の中では、耐震設計の技術レベルが一番高い。プラント耐震設計基準・指針の整備および既設プラントの耐震診断を行う中で、現地で要望の強い人材育成（セミナー、ワークショップ、研修など）による協力方法が考えられる。

3.1.2 ベトナム

TCXDNV 375:2006 "Design of Structures for Earthquake Resistance"が Eurocode(BS-EN 1998-1: 2004)に基づき定められたが、普及は遅れている。プラント設備に関しては、TCXDNV 375:2006 を現在設計段階のものに適用しようとしているが、Eurocode 自体、タンク以外のプラント構造物を対象としていない。耐震新設計基準の作成および監督官庁であるベトナム建設技術科学研究所 (IBST : Vietnam Institute for Building Science and Technology) および建設省 (MOC : Ministry of Construction) もプラント用の基準の作成に前向きであり、プラント用耐震設計基準として日本の基準を採用する可能性は非常に高い。さらに、同国では、今後沿海部の資源の開発が期待されており、それによる石油・石油化学産業の発展によるプラントの建設が見込まれる。

3.1.3 フィリピン

NSCP(National Structural Code of Philippines) 6th Edition-2010 が UBC に基づき作成されており、プラント構造物についても非建築構造物として基準の対象設備に含まれており、現在は、配管を除いて耐震設計方法が示されている。しかし建築関係の設計基準を担当している ASEP は、日本の基準に基づく耐震設計方法の導入を検討しようとしている。ASEP は構造技術者の協会であり、国の省庁を動かして基準を制定できるかが危惧される。

同国における日本の基準に基づく耐震設計方法導入の検討状況を見極め、プラント耐震設計基準・指針の整備および既設プラントの耐震診断の導入に対して協力を行うことが考えられる。

3.2 想定される協力内容

三カ国における調査の結果、以下の協力が想定される。

1) プラント向け耐震設計基準・指針の整備

Eurocode や UBC などを下に各国で建築構造物向けの耐震基準を制定するなど、一般建築向けの基準は有しているが、プラントの耐震基準は有していない。フィリピンではプラント構造物についても現状の基準の対象に含まれているが、配管など日本の基準の導入の余地がある。各国の設計基準に関与している組織・機関では、プラント向け耐震基準制定の必要性を認識しており、プラント向け耐震設計基準・指針の整備への協力支援が必要である。政府としてプラント向け基準の整備を行うには外部専門家による支援が必要であり、基準制定への支援、公的機関を通じての民間企業のエンジニアの育成スキーム構築への支援、基準を制定した後の順守のための仕組み作りへの支援など、日本が貢献できる分野がある。

また、その協力の中で、日本が制度制定の際に行っているような民間企業の専門家を交えた委員会制度の導入なども検討対象として有効であろう。

2) 既設プラントの耐震診断

プラントの耐震基準・指針を導入した後は、耐震性能を確認するために既設のプラントを選択し、日本および対象国の技術者で耐震診断を実施する必要がある。耐震診断を実施することにより、対象国のプラントの耐震性能の実情を把握し、さらに次段階として具体的な耐震設備導入、耐震構造への改造など、実際の耐震改修計画に繋がることが期待される。

3.3 プラント向け耐震設計指針・基準の整備についての協力

対象国のインドネシアおよびベトナムならびに比較対象国のフィリピンにおいて、プラント用耐震設計基準の必要性について、建築構造物の耐震設計基準を作成している機関などがプラント用耐震設計基準の作成に取り組む意思を示した。相手方のニーズに応じて、日本のプラント用耐震設計基準に基づき、対象国向けおよび比較対象国向けにプラント用耐震設計基準・指針を作成し、その基準・指針の導入及び活用を図る。

3.3.1 導入する基準・指針の検討・作成と導入支援

日本のプラント設備に適用される耐震設計基準は多数あるが、主要なものは高圧ガス保安法、消防法、および建築基準法である。これらのうち、高圧ガス保安法の一部である高圧ガス設備等耐震設計基準およびその指針ならびに消防法のタンクの耐震設計基準に基づき、対象国向けのプラント用耐震設計指針(案)を作成するための支援が必要である。建築構造物については、対象国に既に存在する耐震設計基準を使用するように調整する。(本作業は、対象国の対応機関と調整しながら作成する必要がある、塔槽類、タンク、配管、架構・基礎および設計地震動の検討等の専門家が国内および海外作業を行う。)

日本では、耐震関連法規・基準が制定される際には、専門家からなる委員会等を設置し、学会や民間の専門家を交えた議論を行い、制度の制定や改訂を行っている。このような委員会制度の導入なども検討することにより、対象国にとって持続的な効果が期待できる。

耐震設計基準・指針の導入に際しては、対象国の政府関係者および技術者も交えて、ワークショップや日本での OJT を行うなど人材育成のための協力および技術移転等を並行的に行うことが望ましい。

基準・指針(案)の導入後、それらの使用に当たっての許認可に必要な検討作業の指導・支援が必要である。(塔槽類、タンク、配管、架構・基礎および設計地震動の検討等の現地指導を行う長期派遣専門家およびその専門家を日本でサポートする専門家が必要である。)

このような協力支援を行うことにより、日本のプラント・エンジニアリング産業にとって、エンジニアリングビジネス機会の増大、塔槽、タンク、配管に代表されるプラント設備の途上国への導入の可能性が期待される。

3.3.2 国別の対応

(1) インドネシア

PUSKIM はプラント用耐震設計基準作成のための委員会の設立に取り組み始めている。将来日本から実際に耐震関連の技術・設備の導入がなされるかは、インドネシアが日本のプラント用の耐震設計基準を導入することが前提であり、この見極めが必要である。

(2) ベトナム

ベトナムにおいては、IBST および MOC も基準の作成に前向きであり、一般建築物の耐震設計基準も普及していないという状況から、耐震設計基準を含め、プラントの設計基準全体を体系としてまとめることも考えられる。

(3) フィリピン

フィリピンでは現在保有する耐震基準にプラント構造物が含まれている。既存の基準に加えて日本の基準を導入することは技術的に可能であるが、日本の基準に基づく耐震設計方法導入についてフィリピンの検討状況を見極める必要がある。政策レベルへの啓発活動は必要と考えられ、人材育成に関して、受講者の技術レベルを確認し、必要に応じて設計の基礎講座から開始することも検討する。

3.4 既設プラントの耐震診断の実施についての協力

耐震性能を確認するために既設プラントを選択し、日本および対象国の技術者で耐震診断を実施する必要がある。実施に当たっては、診断基準となるプラント設備用耐震設計基準・指針が必要であり、地震対策では最も進んでいると言える日本の基準・指針に基づいて行うことが適切である。本耐震診断の実施に際しては、対象国の政府関係者および技術者も交えて、ワークショップや日本での OJT を行うなど人材育成のための協力および技術移転等を並行的に行うことが望ましい。

3.4.1 国別の対応

(1) インドネシア

多くの既存 LNG 製造プラントが存在し、ガス田の枯渇により既存の製造設備の受け入れ設備等への転用も考えられ、今後、既存設備の耐震診断の需要は高まるものと思われる。また、多くの既存の化学プラントもある。

(2) ベトナム

今後のエネルギー分野で多くのプラントの建設が期待できるが、既存設備は化学プラントおよび油槽所が対象として適切であろう。

(3) フィリピン

多くの既存の化学プラントおよび油槽所が対象と想定される。Petron 社の Bataan 製油所は、多くの新旧のプラント設備が混在しており耐震診断の対象として適切である。

3.5 日本の耐震基準の特徴と利点

日本のプラント用の耐震設計基準の特徴と利点を以下に列記する。

(1) プラント設備に対する重要度分類

IBC および Eurocode では、重要度係数はプラント設備に全体で一つの値が与えられる。それに対して日本の耐震設計基準では、プラント内のリスクの大きな設備ひとつひとつに対して重要度分類が行われ重要度係数が与えられる。

日本の基準では、プラント設備ごとに危険物の保有量および保安物件との距離に応じて重要度係数を定め、周辺に対するリスクの大きい設備は、大きな地震荷重に耐えるように設計することにより周辺への安全性を高めている。

(2) 2段階設計法

IBC および Eurocode では、崩壊を防ぐのを設計目標とした地震動の設計スペクトルが与えられ、それから地震荷重を算定して許容応力設計を行う一段階の設計方法である。それに対して日本の耐震基準は2段階方式を採用している。2段階設計法では下記の耐震性能を保有するように設計する。

- ①設備の供用期間中に発生する確率の高い地震に対しては弾性設計を基本とし、地震後、プラントの再使用が可能な状態に留まるように設計する。
- ②最大級の地震に対しては、塑性変形により地震エネルギーを吸収する弾塑性設計法を基本とし、残留変形を許容するものの、内溶液の漏えいを防止し、プラントの安全性を確保する。

(3) プラント設備ごとの耐震設計方法の提示

IBC および Eurocode では、例えば、球形タンク、塔槽類、および横置き貯槽等の耐震設計方法等は具体的に提示されていないが、日本の耐震設計基準では、設備それぞれが持つ振動特性を考慮した耐震設計方法が耐震設計基準の指針に示されている。

(4) 配管の耐震設計の必要性の検討

プラント、特に化学・石油化学プラントにおいては、配管は重要な設備である。IBC および Eurocode およびその関連基準では、配管の耐震設計は詳細に規定されていない。日本では、阪神・淡路大震災での配管の被災の経験から、配管の耐震設計法を新たに基準化した。

(5) 地盤の液状化の影響評価

日本の耐震設計基準の特徴は、地盤の液状化による地盤の沈下、側方移動、および設備の沈下等の影響を考慮した耐震設計を行なえることである。これは、既設設備の耐震診断の耐震性評価にも適用可能であり、米国 (IBC) や欧州 (Eurocode) には含まれない日本の耐震設計基準の特徴である。

(6) LNG 輸入基地の耐震設計に適用可能

今回、導入を検討する日本の耐震設計基準は、高圧ガス施設を扱えるため、今後需要が増えると予想されている LNG 受け入れ基地の耐震設計基準として適用可能である。

3.6 想定される裨益効果

耐震設計基準、技術に関する途上国への協力は、途上国側が一般建築物用の耐震設計基準を有していても障害とならず、プラント用の耐震設計基準を日本の耐震設計基準を基に作成することが可能である。プラントの設計・建設に関しても、日本の耐震設計技術を共用することを基本とする。その具体的活動がプラントの耐震診断という位置付けとなる。

(1) 対象国の裨益

- 1) 重要度分類、2 段階設計法など優位性を持つ日本の耐震基準を導入することにより、当該国の地震災害への備えの強化が行われる。
- 2) 日本の耐震技術を導入、習得することで、日本の技術支援・技術交流が得られ、耐震知識、耐震技術のレベルが高められ、耐震制度や関連組織の整備、人材育成が行われる。
- 3) 民間レベルでは、日本の技術を習得することにより日本の企業の業務を実施する能力を備え、日本や諸外国からの業務の受注が期待できる。
- 4) 耐震診断により自国のプラント設備の耐震安全性の情報を入手し、国全体の保安・防災体制の強化につながる。

(2) 日本側の裨益

- 1) 対象国のプラントの建設や改造のプロジェクトにおいて、設計用地震動や耐震設計方法を設定する初期の段階から関与できる可能性が増し、相手方に日本の技術レベルの高さを実証できることからプロジェクトの受注可能性を高めることが可能となる
- 2) 日本の耐震基準、耐震技術を理解した技術者の育成により、日本のビジネス拠点としての人材確保が可能となり、ビジネスの協業関係が構築できる。
- 3) 日本の技術が導入されることにより、日本のエンジニアリング会社、機器メーカーなどの現地子会社が現地のプロジェクト業務に参入できる可能性が高まり、競争力維持が可能となる。

第1章 序論

1.1 背景と目的

世界有数の地震国である我が国においては、産業施設及びプラントにおける耐震設計は欠かすことのできないものであり、我が国のプラントメーカー・エンジニアリング企業は、地震に強いプラントの設計に努め、その技術を蓄積してきている。これらの我が国の経験・技術を活かすことにより、今後、我が国のプラントの耐震診断を始めとする耐震設計技術の経験を活用した海外プラントへの適切な耐震対策の導入が期待される。

世界には、我が国以外にも、中国やインドネシア、イラン、アフガニスタン、トルコ、メキシコ等の地震大国が数多く存在する。また、我が国からの主要支援先国であるベトナムでは石油・天然ガス資源開発が進み今後多くの石油化学・化学プラントの建設が予定される。大地震の報告はなされていないが、2011年3月に公表されたUNDP報告書（HAZARD FACT SHEET: The possibility of earthquakes and tsunamis in Viet Nam, 24 March 2011, UNDP）では、マグニチュード5.7～7.0規模の地震が発生する可能性があるとしてされる。これら諸国においては、我が国ほど高度なプラントの耐震設計を施していないと想定される途上国が多く、プラントが立地する土地において大規模な地震が発生した場合には東日本大震災の際のコスモ石油の炎上事故と同様に深刻な事故を引き起こす可能性が十分に考えられる。

本調査は、我が国のプラント・エンジニアリング産業技術に係る知見を活かした途上国への適切な耐震技術の導入の可能性を検討し、地震多発国の産業基盤強化に貢献することを目的として行う。

また、今次調査の主要対象としては、震災時の生活必需品（ガソリン、灯油等）の確保、災害発生時のリスクの高さ（火災炎上・爆発、有毒ガスの発生等）、臨海地帯に設置されていることによる海洋汚染への影響等を踏まえ、化学及び石油化学プラント（石油精製プラントを含む。以下同様）を対象事例として取り上げることとした。

1.2 調査の基本方針

1.2.1 我が国の耐震技術の調査

我が国の地震に対する法制度、基準や防災計画などは複数の行政単位が関与しており、それが中央から地方へと広がっている。また、プラント設備は複数の特徴ある設備から構成されているため、各設備に対して異なった設計基準が必要である。

今回の調査は、途上国に対する今後の支援の必要性やあり方を検討するための基礎調査と位置付けられていることから、我が国の耐震技術に関しては対象を以下に設定した。

(1) 耐震技術に関心を引き起こす法制度・基準

化学・石油化学プラントは、大量の高圧ガスや毒劇物・危険物を貯蔵、あるいは取り扱っているために、耐震に関して多くの法律により規制されている。タンク、配管などプラントの部品によっても規制される法律が異なっているため、これら法制度・基準での要求事項の整理を行い、まとめた。

(2) 防災計画、保安・防災体制

化学・石油化学プラントの保安・防災、地震防災に関する法律として、災害対策基本法、大規模地震対策特別措置法、石油コンビナート等災害防止法等がある。加えて、地方自治体の制定する防災計画がプラントに対しても関わっている。これらの整理を行い、まとめた。

(3) プラントに関する設計技術

化学・石油化学プラントは、技術革新による改善とともに耐震設計基準等の改訂により見直しが行われてきている。東日本大震災の際のコスモ石油千葉製油所での火災などを教訓としての関連事項の法律化も検討されている。これら最新動向についても調査した。

(4) 過去の地震の事例とその後の法制度・基準制定、技術進歩等

過去、地震や津波が発生し、大きな災害が発生すると、災害防止の観点から法制度や基準の強化が行われ、それに対応した技術が開発、適用される。これら地震と制度改善を調査し、直近の大きな災害である東日本大震災に関する情報も踏まえて取りまとめた。

1.2.2 対象国における調査

本調査の対象国は、インドネシア、ベトナム、そして比較対象国としてのフィリピンである。インドネシアとフィリピンは多くの地震発生に見舞われており、ベトナムは大地震の被害はないものの、将来的に発生が予想されている。それぞれの国は、法制度・基準や防災体制に差があり、地震に対する理解と考え方さえも異なっていた。

対象国のプラント耐震技術についての調査は、以下の項目を調査した。

- ・過去の地震、津波とそれによる事故の発生状況及びリスク
- ・プラントに関する法制度・耐震基準
- ・プラントにおける防災計画、保安・防災体制

また、これら調査に基づき、想定される地震規模によるプラントへのダメージのシミュレーション分析を行った。さらに、

- ・プラントの耐震設計の実態把握
- ・プラントの耐震技術のレベルの確認
- ・相手方ニーズ・要望の聴取・確認

を行い、我が国からの適切な技術の検討、法制度・基準の制定・見直しの可能性の検討を行った。

1.3 現地調査と啓発セミナーの開催

現地調査では、法制度・基準を制定する官庁、防災体制に関連する機関、実際のプラントを運営する企業・工場を調査対象として想定し、第1次現地調査において各国のカウンターパートとなりうる組織を特定した上で、カウンターパートを中心に関連組織、機関を訪問し、プラントに関する法制度・耐震基準、防災計画、保安・防災体制、耐震設計実態等に関して調査した。

現地調査は3次に渡り実施した。調査団員は以下の通りである。

氏名	担当	第1次	第2次	第3次
佐藤尚志	総括／プラント・エンジニアリング	○	○	○
能登高志	耐震制度		○	○
大嶋昌巳	耐震技術	○	○	○
石黒俊雄	石油精製		○	○
加藤守孝	石油化学・化学		○	○
杉田哲也	コーディネータ／自費参加	○		

1.3.1 第1次現地調査

第1次現地調査は2012年4月8日から4月21日まで実施した。主要な業務とは以下の通りである。

- (1) 建設関連政府、建築基準や耐震基準に関する研究機関、民間企業等を訪問し、JICA調査の目的を説明する一方、耐震制度、基準、防災計画等の情報・データを収集した。
- (2) 第2次現地調査を効率的に実施するため、関係先と予定と訪問場所を固めた。特に現地踏査予定工場・プラント候補を特定し、一部については訪問受け入れを取りつけた。
- (3) 本調査の主要課題である啓発セミナー開催について共同開催相手を特定し、セミナーで発表、検討する内容を協議した。
- (4) 訪問先において、啓発セミナーへの積極的参加を呼びかけた。三カ国ともに本調査に対する関心は高く、特にセミナー開催については積極的な申し出を受けた。本調査は事前・予備調査なしに開始したが、セミナー開催に関して協力先を早期に特

定できたことは本調査の目的達成に大きく作用した。

1.3.2 第2次現地調査

第2次現地調査は2012年6月3日から7月7日まで実施した。主要な業務は以下の通りである。

- (1) ベトナムおよびインドネシアにおいて啓発セミナーを開催した。ベトナムでは建設省傘下の建設技術科学研究所(IBST)の協力を得て開催、建設省、研究機関、大学、石油精製企業等約60名が参加した。インドネシアでは技術評価応用庁(BPPT)の協力を得て開催、官庁、民間企業など約70名が参加した。
- (2) 現地工場踏査(ベトナム3工場、インドネシア2工場、フィリピン1工場)の実施と訪問プラントの簡易型耐震診断を実施した。ベトナムでは、PetrovietnamのDung Quat製油所、ファライ火力発電所、ペトロガスLPGターミナルの3カ所、インドネシアでは、Petrochina Betara Gas Complex、三菱化学メラク工場の2カ所、フィリピンでは、Petron社Bataan製油所を訪問した。
- (3) 第2次現地調査で開催する啓発セミナーへの積極的参加を呼びかけ、さらに第3次開催する啓発セミナーへの要望聴取、参加奨励を行った。
- (4) 各国における、プラントに関する法制度・耐震基準、防災計画、保安・防災体制等の情報・データを収集した。啓発セミナーに対する関心は高く、出席者は積極的な知識吸収を行っていた一方、民間企業では、外国の信頼できるエンジニアリング企業等にプラント建設を発注していることから、問題意識は特に感じていない状況であった。

1.3.3 第3次現地調査

第3次現地調査は2012年8月19日から9月8日まで実施した。これまでの調査による検討と分析を踏まえ、以下の業務を行った。

- (1) インドネシア、ベトナム、フィリピン、三カ国におけるセミナーを開催した。インドネシアおよびベトナムにおいては第2次調査時のセミナーに引き続き、現地カウンターパートの協力を得て、相手方の要望と調査結果を含めた内容で啓発セミナーを開催した。フィリピンでは1回のみで開催であり、フィリピン構造技術者協会(ASEP)の協力を得て、プラントにおける耐震技術の概要からより具体的な内容までを網羅した幅広い内容でのセミナーとなった。
- (2) 第2次現地調査までで把握した相手国の状況から、今後の我が国からの協力可能性を想定した上で、相手方のニーズ、要望に関して具体的な意見交換を行った。

第2章 プラント・エンジニアリングと我が国のプラント耐震技術

2.1 プラント・エンジニアリングと耐震技術

化学・石油化学プラント・エンジニアリングは石油精製、石油化学、一般化学プラントの設計および建設をするときの手法、例えば、予算、品質および納期の確保をどのように監督・管理していくかの技術である。当然ながら顧客の要望、プラント立地国(箇所)での法律遵守、環境および安全を考慮しての設計・建設が求められる。

特に、日本および今回調査の対象国である、ベトナム、インドネシア、フィリピンのような地震国では、設計、建設および運転には地震、津波に十分な配慮が求められる。もちろん設計および建設に当たっては当該国の法律および基準を遵守するのはもちろん、国際的な基準、規格の検討が途上国の場合必要となる。

図 2.1-1 には典型的なプラント・エンジニアリングの流れを示した。プラント・エンジニアリングの場合、特に大規模プロジェクトの場合、客先と受注コントラクターの間で種々の形態が存在する。例えば途上国の場合、客先にプロジェクト管理・監督する能力が十分備わっていないときは客先に代わってプロジェクトを管理・運営する **Owner's Contractor** が存在して、エンジニアリング会社を管理・監督していく。日本のように客先に十分な管理・監督能力がある場合は、客先とエンジニアリング会社が直接協議して、設計および建設を進める。図 2.1-1 に示すように一般的なエンジニアリングの流れとして数ステップある。これらのステップは順番に進められるというよりむしろ同時並行的に **Job** が進められるのが普通である。

- Feasibility Study (FS)
- Basic Engineering
- Detail Engineering
- Procurement & Fabrication
- Construction
- Start up & Operation

特に耐震設計が求められる場合は **FS** や **Basic Engineering** の段階で土木・建築、機械設計、電気・計装設計での適用法規、基準が決定され、**Detail Engineering** においてはこれらに基づき詳細設計が実施される。

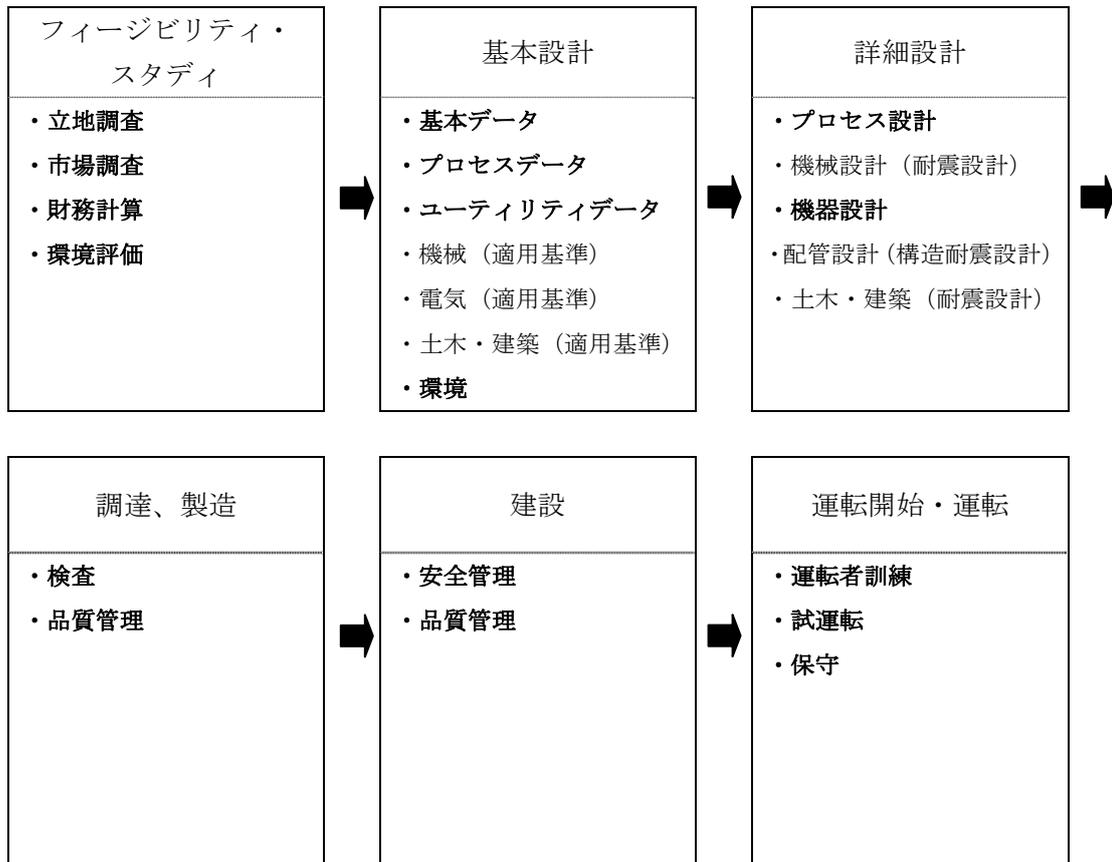


図 2.1-1 プラント・エンジニアリングのステップ
(出典：調査団作成)

プラント設備の計画、設計から運転まで、どのように耐震設計を進めるかを図 2.1-2 に示した。計画の段階では立地の選択、プロセスの選択、コストや製品に至る検討を耐震対策の観点で検討する。設計や建設段階ではプラント設備そのものの機能面からの設計に加え、安全設計や防災設計に踏み込んだ検討がなされる。更に生産に入っても十分な保守点検、従業員教育、防災訓練・対策等が講じられる。

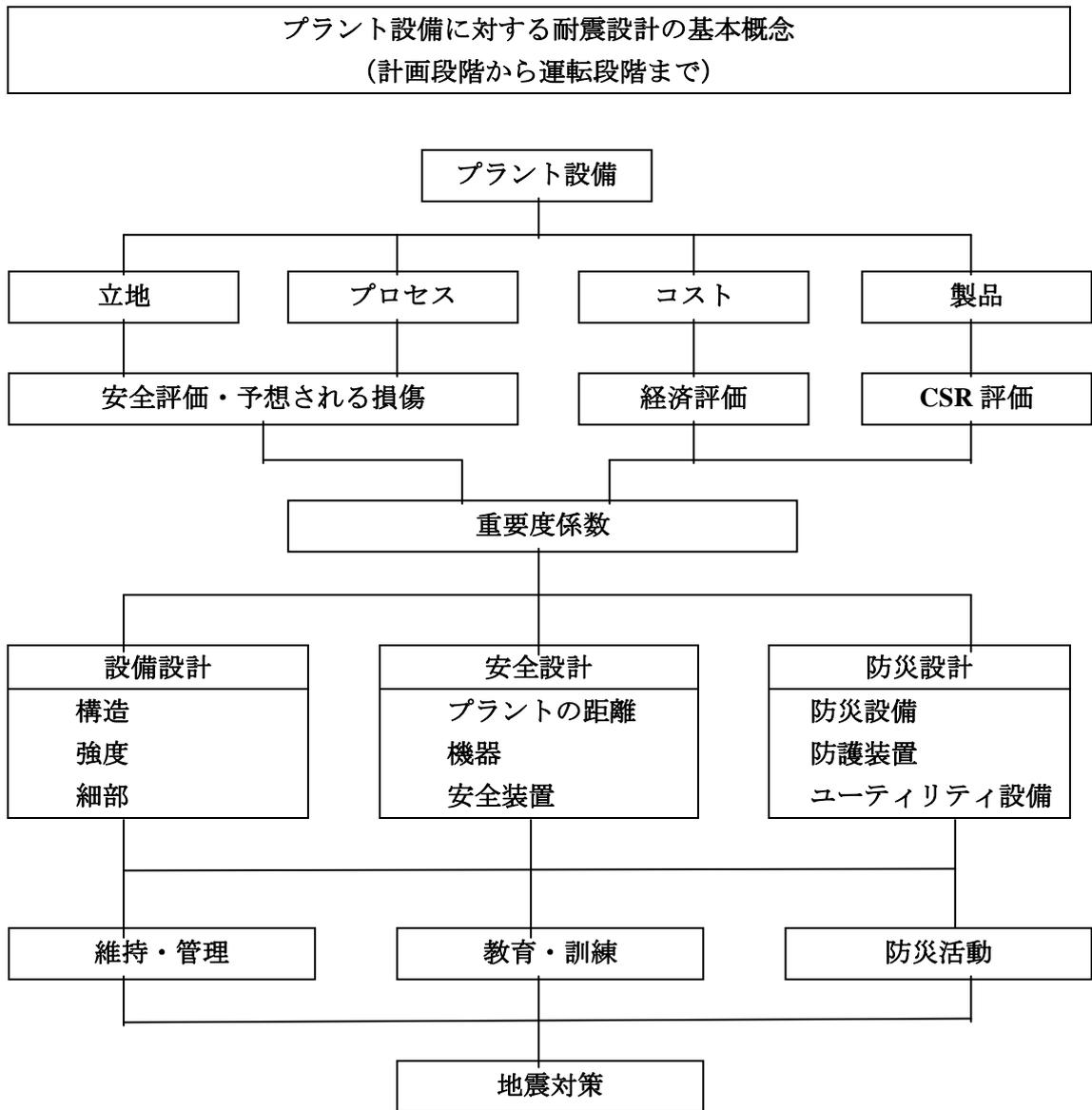


図 2.1-2 プラント設備に対する耐震設計の基本概念

(出典：柴田碧編著：「化学プラントの耐震設計」，丸善，1986.5)

2.1.1 プラントの耐震設計基準と適用を受ける設備

表 2.1.1-1 にプラント設備に適用される各種耐震設計基準を示す。

表 2.1.1-1 耐震設計に関連する各種規準・指針

分野	規 準、 指 針	発 行	発行年月
建 築	鋼構造設計規準(SI単位系)	(社)日本建築学会	2002年2月
	鋼構造限界状態設計指針	〃	2002年9月
	鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 (許容応力度設計法)	〃	1999年11月
	鉄骨鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 (許容応力度設計と保有水平耐力)	〃	2001年1月
	建築基礎構造設計指針	〃	2001年10月
	塔状鋼構造設計指針・同解説	〃	1980年9月
	建築設備耐震設計・施工指針1997年版	(財)日本建築センター	1997年9月
	煙突構造設計施工指針1982年版	〃	1982年11月
石 油、 石油化学	高压ガス設備等耐震設計指針	高压ガス保安協会	
	・レベル2耐震性能評価(解説編) KHK E 012-3-2000	〃	2003年2月
	・レベル2耐震性能評価(評価例編) KHK E 012-4-2000	〃	2003年2月
	・レベル1耐震性能評価 (耐震設計設備・基礎編)	〃	1999年11月
	・レベル1耐震性能評価(配管系編) KHK E 012-2-1997	〃	1999年11月
	スカートを有する塔槽類 の強度計算	(社)石油学会	1996年
	横置容器サドル周りの強度計算	〃	1996年
	横置容器サドル	〃	1996年
圧力容器(規範・規格)	(財)日本規格協会	1993年	
鋼製石油貯槽の構造(全溶接製)	〃	1995年	
ガ ス	球形ガスホルダー指針	(社)日本ガス協会	1988年6月
	高層建築物用ガス設備耐震設計・施工指針の手引	〃	1987年11月
	LNG地下式貯槽指針	〃	2002年8月
	LNG地上式貯槽指針	〃	2002年8月
	LPG貯槽指針	〃	1992年6月
	製造設備等耐震設計指針	〃	2001年8月
	有水式ガスホルダー指針	〃	1982年3月
	ガス導管耐震設計指針	〃	1982年3月
	高压ガス導管耐震設計指針	〃	2004年3月
高压ガス導管液状化耐震設計指針JGA指-207-01	〃	2002年2月	
電 力	原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG 4601-1987	(社)日本電気協会	1987年
	同重要度分類・許容応力編 JEAG 4601補-1984	〃	1984年9月
	火力発電所の耐震設計規程 JEAC 3605-2004	〃	2004年11月
	変電所等における電気設備の 耐震対策指針	〃	1999年3月
	自家用発電設備耐震設計のガイドライン	(社)日本内燃力発電 設備協会	1981年3月
水 道	水道施設耐震工法指針・解説	(社)日本水道協会	1997年
土 木	コンクリート標準示方書(構造性能照査編ほか)	(社)土木学会	2002年
	道路橋示方書・同解説(下部構造編, 耐震設計編)	(社)日本道路協会	2002年3月
	共同溝設計指針	〃	1986年3月
	港湾の施設の技術上の基準・同解説	(社)日本港湾協会	1999年4月
鉄道構造物等設計標準・同解説(耐震設計)	(財)鉄道総合技術研究所	1999年10月	

(出典：大嶋昌巳、「No. 04-24 講習会 安全と環境を考慮した化学機械プラントの設計の保全—
 産業・化学機械におけるHSE—、(3) 産業化学設備の耐震設計」、日本機械学会、2004. 6. 10)

プラントにおける主要な設備は、塔槽類、配管及びこれらに係わる支持構造物並びに基礎である。これらの内「高圧ガス保安法」及び「液化石油ガスの保安の確保及び取引の適正化に関する法律」の適用を受ける設備のうち、一定規模以上の設備が、高圧ガス設備等耐震設計基準が適用される。本基準には、たて置円筒形貯槽、横置円筒形貯槽、球形貯槽、液化石油ガス用の平底円筒形貯槽、および配管系の耐震設計方法が当該基準には提示されており、それらを支える支持構造物及び基礎も本基準の地震荷重が適用される。なお、これらの支持構造物や基礎に適用される耐震設計方法については、建築基準法の方法が準用される。また、消防法が規定する危険物の貯蔵、又は取り扱う平底円筒形貯槽は、危険物の規制に関する技術上の基準の細目を定める告示に示される耐震設計方法が適用される。

これらの耐震設計方法の基本概念および耐震設計基準の概要を以下に説明する。

2.1.2 石油精製・石油化学プラントの耐震設計の基本概念

2.1.2.1 耐震対策と耐震設計

耐震設計とは、簡単に言えば“地震が来たときプラントの機器類・配管などが壊れないように設計すること”である。しかし、耐震設計を強度設計としてのみ位置付けたのでは効果的な耐震設計であるとはいえない。プラント建設の計画段階から操業までの耐震対策の一部として位置付けることにより、バランスのとれた耐震設計ができる。図 2.1.4-1 に耐震対策の概念をフローで示す。これによると、耐震対策の設計段階で重要度分類を行い、その重要度に基づいて各種設計を実施することになる。

設備の危険度や社会的な重要さ、あるいは財産保護の立場から考えて適切に定めた基準により設備を分類し、合理的に化学プラントに耐震性能を付与しようとする考え方が採られている。すなわち、耐震重要度分類（以下重要度という）ごとに耐震性能レベルを設定し、化学プラントの個々の設備、配管等を重要度により区分けし、その重要度に応じた耐震性能レベルを保有するように耐震設計しようとする考え方である。重要度分類に基づく設計は、以下のものがある。

- (1) 機構設計：各設備の破壊あるいは損傷による被害の発生を防止する。
- (2) 安全設計：地震時に異常が発生しても設備全体として安全を維持する。
- (3) 防災設計：災害の発生・拡大を防止する。

次に、耐震設計上必要とされる重要度の決定要因を図 2.1.2.1-1 に示す。今日の耐震設計ではこの重要度分類を行う判断基準として「安全性評価・被害評価」に基づく「周辺への安全性の確保」を第1目標とし、体系付けられている。この考え方は原子力発電所の耐震設計に端を発する基本思想で、プラント等の耐震設計の基本思想に取り入れられている。

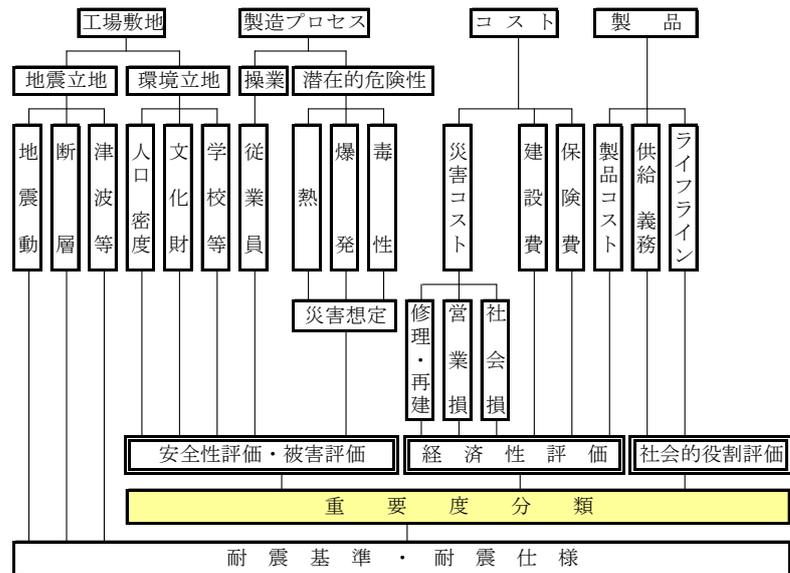


図 2.1.2.1-1 耐震重要度分類での評価項目

(出典：柴田碧編著：「化学プラントの耐震設計」，丸善，1986.5)

2.1.2.2 耐震設計での地震荷重の考え方

図 2.1.2.2-1 にプラント設備の耐震設計におけるキーワードおよび地震動が地盤から構造物に伝達するときの増幅の概念を示す。

一般的な地震荷重の設定方法としては、静的震度法や修正震度法などが挙げられる。まず、最も簡易的な静的震度法では、本図に示すように設計震度として設備に作用する地震荷重を重心位置において直接設定することになる。また一方、現在プラント構造物に適用している地震荷重算定法においては、図 2.1.2.2-1 に示すように基盤の震度を設定し、その上の表層地盤の増幅、および修正震度法（入力地震動や構造物の振動特性を考慮して応答倍率を決定する地震荷重算定方法）などによる地上での設備の応答倍率の設定を行い、設計震度を算出することになる。

しかしながら、近年、入力地震動がより詳細に観測できるようになり、今まで想定してきた入力地震動よりも実測された地震動が大きいことが顕在化してくると、設計の対象とする地震自体を稀にしか発生しない大地震およびしばしば発生する中地震に分類し、これらから2種類の地震荷重を設定するようになった。耐震設計の対象設備全てに従来の中地震に対応する地震荷重に対する耐震設計を行い、重要な設備には、さらに大地震に対応する地震荷重に対する耐震設計（2次設計）も適用することになった。

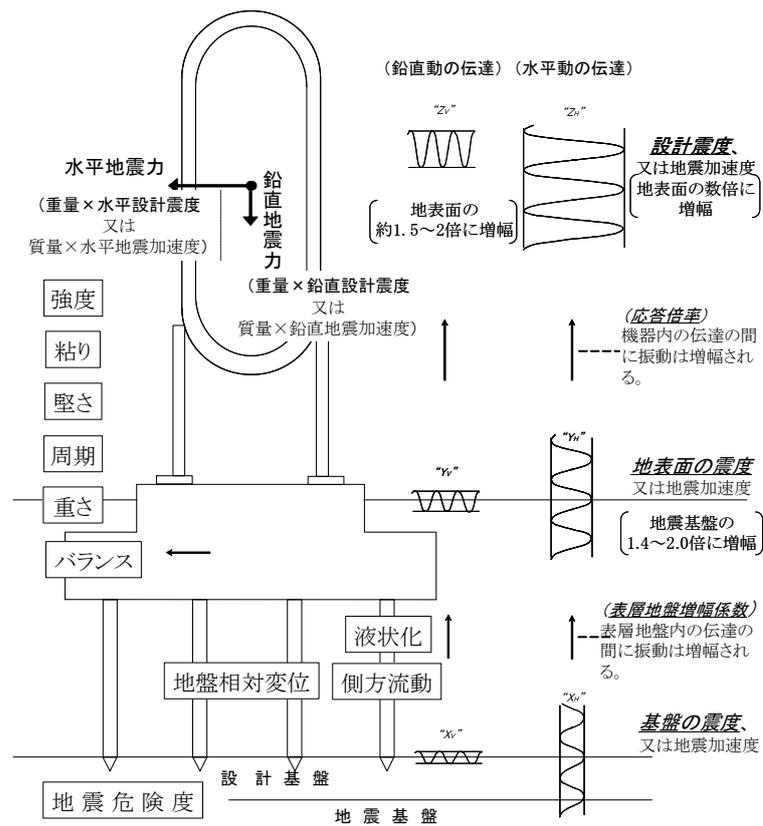


図 2.1.2.2-1 地震荷重の概念と耐震設計のキーワード

(出典:大嶋昌巳、「連載<地震荷重の変遷と展開—その6:プラント関連>化学プラントの耐震設計」、
 震災予防、No. 195, pp21-29, 2004)

ただし、耐震設計の体系において設計用の地震荷重と許容値等の関係は相対的なものであり、地震荷重を2倍にしても、設備の部分的な発生応力を評価する段階で許容される応力等を2倍にすれば、地震力に対する設計としては変わらないことになる。よって、異なる基準での耐震性能のレベルを比較する場合には、耐震設計体系として政策的に決定されている両者の関係にも注意する必要がある。

2.1.3 高圧ガス設備等耐震設計基準

高圧ガス設備等耐震設計基準の耐震設計の基本的考え方を以下に示す。

(1) 適用対象範囲

旧耐震告示の適用対象範囲は、耐震設計構造物（耐震設計設備〔塔槽類及び支持構造物〕その基礎）に限定されていたが、改正耐震告示の適用対象範囲は、基礎を含む配管系〔配管及び支持構造物〕と一部の地震防災設備にまで拡大されている。

(2) 重要度分類

高圧ガス設備等の機能喪失あるいは損傷による事業所外への被害を最小限にすることを目的として、塔槽類、配管系、ならびにそれらの支持構造物および基礎に対して個々の高圧ガス設備等の機能喪失あるいは損傷による影響度合から重要度分類を行っている。

(3) 耐震設計地震動の種類

旧告示以来、2種類の設計地震動を定めている。

第1設計地震動は、耐震設計構造物の震度又は加速度に基づく耐震性を評価するための設計用地震動とし、第2設計地震動は平底円筒形貯槽に係る液面動揺の影響を評価するための設計用地震動とする。

(4) 耐震設計地震動レベル

防災基本計画の規定に従い、次のように2段階の耐震設計地震動レベルを定めている。図2.1.3-1に地震動の設定方法を示す。

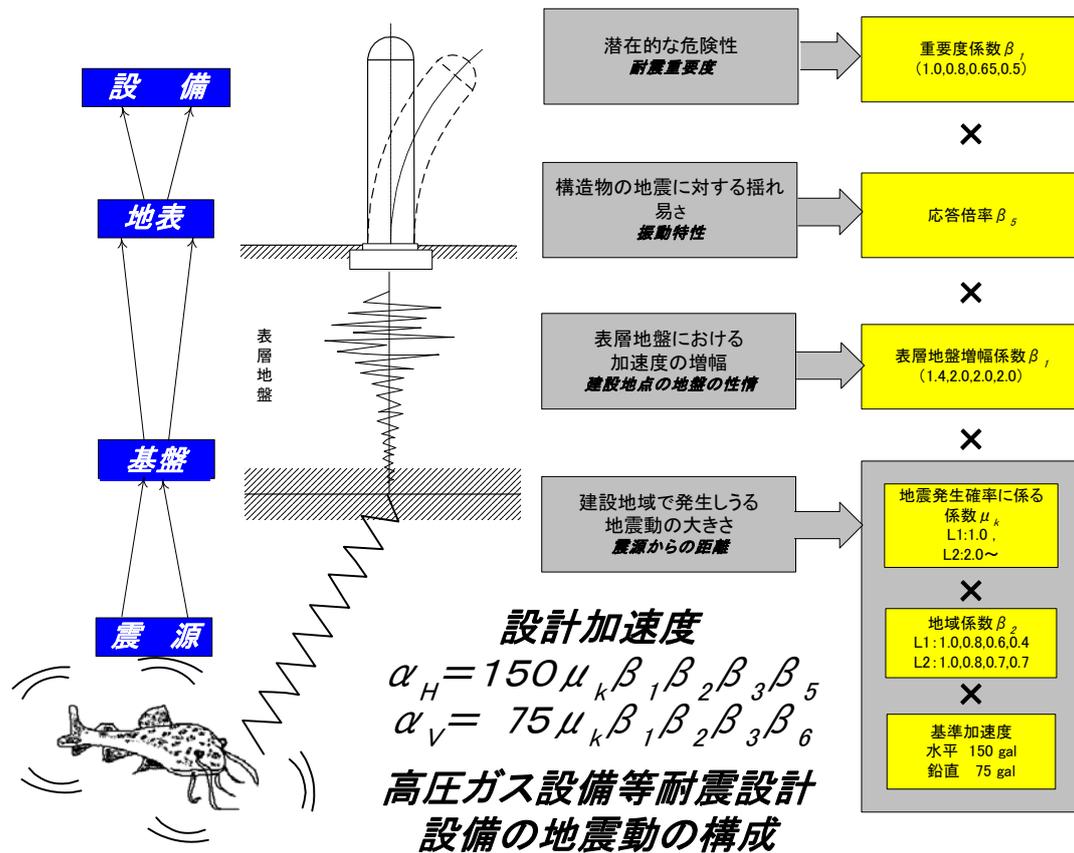


図 2.1.3-1 地震動の設定方法

(出典:大嶋昌巳、「連載<地震荷重の変遷と展開—その6:プラント関連>化学プラントの耐震設計」、
 震災予防、No. 195, pp21-29, 2004)

レベル1地震動は、供用期間中に1~2回程度発生する確率を持つ一般地震動と定義し、地表面における最大値で最大加速度300galとし、レベル2地震動は、供用期間中に発生する確率は低い高レベルの地震動と定義し、レベル1地震動の強さの2倍以上としている。

(5) 応答解析

重要度が低く、規模の比較的小さな設備には静的震度法が用いられる。重要度が高い場合、または重要度が低くても規模が比較的大きい設備には修正震度法、あるいはモード解析法が適用される。

(6) 耐震性能

改正耐震告示では、重要度が高い耐震設計構造物は次のように2段階の耐震設計地震動レベルに対して所定の耐震性能を具備するよう規定している。図2.1.4-1に耐震設計の基本的流れを示す。

a) レベル1地震動に対する耐震性能：

レベル1地震動に対して、有害な変形が残留せず、かつ、当該耐震設計構造物内の高圧ガスの気密性が保持されること。耐震設計構造物の機能に重大な支障を生じないように、当該構造物が概ね弾性範囲に止まるよう設計（許容応力度設計）する。

b) レベル2地震動に対する耐震性能：

レベル2地震動および地盤変状に対して、当該耐震設計構造物内の高圧ガスの気密性が保持されること。耐震設計構造物の損傷が人命に重大な影響を与えないように、当該構造物が破壊・倒壊しないように設計（終局強度設計）する。

2.1.4 危険物の規制に関する技術上の基準の細目を定める告示

消防法の危険物の規制に関する技術上の基準の細目を定める告示の耐震設計の対象となる設備の主な設備は、屋外タンク貯蔵所のタンク及び移送取扱所の配管である。ここでは、特定屋外タンク貯蔵所のタンク（最大数量1000kl以上）の耐震設計の基本的考え方を以下に示す。

(1) 適用対象範囲

屋外タンク貯蔵所のタンク及び移送取扱所の配管である。ここでは、特定屋外タンク貯蔵所のタンク（最大数量1,000kl以上）を対象とする。

(2) 重要度分類

本告示においては、重要度分類を行っていない。

なお、本対象設備には、全て1.0の重要度（高圧ガス設備等耐震設計基準の最も高い重要度のIaに相当する）を適用している。

(3) 耐震設計地震動の種類

2種類の地震動による設計震度を定めている。

水平方向及び鉛直方向設計震度は、タンク本体の慣性力並びにタンクの側板部及び底板部に作用する動水圧を算定し、また、液面動揺の設計水平震度を用いて、液面動揺で生じる動水圧を評価する。

(4) 耐震設計地震動レベル

防災基本計画の規定に従い、次のように2段階の耐震設計地震動レベルを定めている。地震動は、高圧ガス設備等耐震設計基準と同様に、地域別補正係数、地盤別補正係数、およびタンクの固有周期を考慮した応答倍率から設定される。重要度分類は適用されない。

耐震設計応力での評価用地震動レベルは、高圧ガス設備等耐震設計のレベル1地震動に相当する地震動で、地表面における最大値で最大加速度300galとなる。また、必要保有水平耐力算定用の地震動は、高圧ガス設備等耐震設計のレベル2地震動に相当する地震動で、耐震設計許容応力での評価用地震動の強さの1.5倍としている。

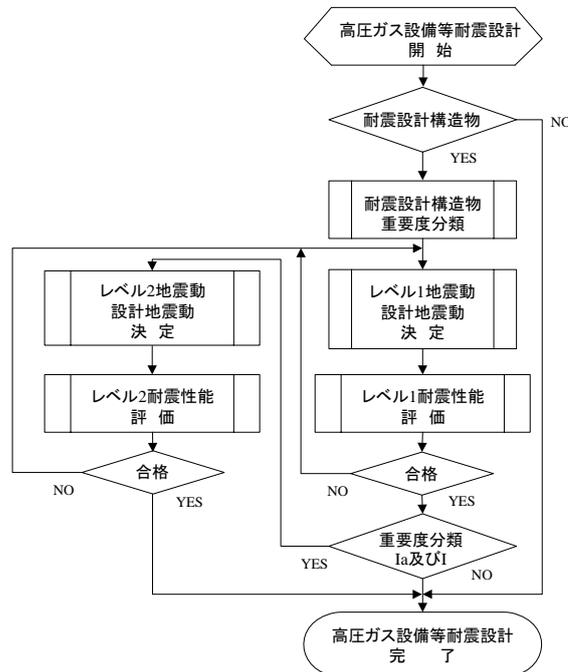


図 2.1.4-1 耐震設計の基本的流れ

(出典:大嶋昌巳、「連載<地震荷重の変遷と展開—その6:プラント関連>化学プラントの耐震設計」、
震災予防、No. 195, pp21-29, 2004 作成)

(5) 応答解析

耐震設計応力の評価では、修正震度法、保有水平耐力の評価では、終局強度設計法を用いる。

なお、最大数量 1,000kl 未満の準特定屋外タンクや、機器類や防災設備には静的震度法が用いられる。また、埋設配管には、応答変位法を用いる。

(6) 耐震性能

次のように 2 段階の耐震設計地震動レベルに対して所定の耐震性能を具備するよう規定している。

a) 耐震設計応力での評価用地震動地震動に対する耐震性能：

本地震動に対して、使用上の支障となる変形及び破壊が生じて漏油を生じさせないように設計しなければならない。また、地震流力として、タンクについてはこれらの持つ特性上、水平方向及び鉛直方向地震動による荷重並びに液面揺動による荷重について耐震設計応力での評価を行わなければならない。

b) 必要保有水平耐力算定用の地震動に対する耐震性能：

本地震動に対して、破壊が生じて漏油を生じさせないように設計しなければならない。タンクの塑性域まで許容する変形を考慮した設計法で、終局状態における設計地震動による応答解析を行い、必要保有水平耐力がその部材に応じて定められた保有水平耐力を超えないことを確認する。

2.1.5 建築基準法

高圧ガス設備等耐震設計基準および危険物の規制に関する技術上の基準の細目を定める告示が適用されない設備は、一般的な建築物に適用される建築基準法を適用する機会が多い。建築基準法に基づく耐震設計方法の概要は以下の通り。

(1) 適用対象範囲

一般建築物、煙突等の工作物などを対象とする。

(2) 重要度分類

重要度分類はない。

(3) 耐震設計地震動の種類

慣性力に対する耐震設計をするための 1 種類の地震野津を定めている。

(4) 耐震設計地震動レベル

一次設計、および二次設計用に 2 段階の耐震設計地震動レベルを定めている。

地震動レベルは、地域別補正係数、および地盤係数から設定される。

一次設計では標準せん断力係数（建築物にかかるベースシアに相当する係数）を 0.2 以上、二次設計における必要保有水平耐力の計算では、同じく 1.0 としてい

る。この数値には、応答倍率のピーク値が見込まれているので、基準とする地震野津の大きさがいくらであるかを明確に言うことはできないが、仮に応答倍率を 2.5 とするならば、一次設計では最大加速度が地表面では 80gal(地表面震度にして 0.08、気象庁震度階で 5 弱)、二次設計では同じく 400gal(地表面震度にして 0.4、気象庁震度階 6 強) 程度の地震をそれぞれ考えていることになる。

(5) 応答解析

耐震設計応力の評価では、修正震度法、保有水平耐力の評価では、終局強度設計法を用いる。

(6) 耐震性能

次のように 2 段階の耐震設計地震動レベルに対して所定の耐震性能を具備するよう規定している。

a) 一次設計：

中小の地震に対する建築物の損壊の防止を目的とし、建築物に発生する応力が許容応力以下に収まるように設計する。

b) 二次設計：

大地震に対する建築物の崩壊防止を目的とし、構造体の塑性域まで許容する変形を考慮した設計法で、終局状態における設計地震動による応答解析を行い、必要保有水平耐力がその部材に応じて定められた保有水平耐力を超えないことを確認する。

各法・基準による適用範囲と、その計算方法の比較を添付資料に示す。(添付資料 IV)

2.2 プラントにおける防災計画、保安・防災体制

国内において災害全般への対策の基本として、防災組織、防災計画、災害予防、災害応急対策・災害復興等を定めた災害対策基本法があり、これに基づき防災分野の最上位計画として中央防災会議で作成された防災基本計画や同防災基本計画に基づき指定行政機関及び指定公共機関が作成する防災業務計画がある。また、プラントの保安・防災、地震防災に関連する法律としては災害対策基本法、大規模地震対策特別措置法、石油コンビナート等災害防止法等が挙げられる。そこで、これらの法律に示された防災計画、および防災基本計画、防災業務計画を対象として、プラントに関わる防災計画、保安・防災体制に関する要求事項を相互関係も含めて体系的に調査する。

2.2.1 災害対策基本法

(1) 概要

国土並びに国民の生命、身体及び財産を災害から保護するため、防災に関し、国、地方公共団体及びその他の公共機関を通じて必要な体制を確立し、責任の所在を明確にするとともに、防災計画の作成、災害予防、災害応急対策、災害復旧及び防災

に関する財政金融措置その他必要な災害対策の基本を定めることにより、総合的かつ計画的な防災行政の整備及び推進を図り、もって社会の秩序の維持と公共の福祉の確保に資することを目的とする。

(2) 法律の構成

- ・第一章 総則（第 1 条-第 10 条）
- ・第二章 防災に関する組織
 - ・第一節 中央防災会議（第 11 条-第 13 条）
 - ・第二節 地方防災会議（第 14 条-第 23 条）
 - ・第三節 非常災害対策本部及び緊急災害対策本部（第 24 条-第 28 条の 6）
 - ・第四節 災害時における職員の派遣（第 29 条-第 33 条）
- ・第三章 防災計画（第 34 条-第 45 条）
- ・第四章 災害予防（第 46 条-第 49 条）
- ・第五章 災害応急対策
 - ・第一節 通則（第 50 条-第 53 条）
 - ・第二節 警報の伝達等（第 54 条-第 57 条）
 - ・第三節 事前措置及び避難（第 58 条-第 61 条）
 - ・第四節 応急措置（第 62 条-第 86 条）
- ・第六章 災害復旧（第 87 条-第 90 条）
- ・第七章 財政金融措置（第 91 条-第 104 条）
- ・第八章 災害緊急事態（第 105 条-第 109 条の 2）
- ・第九章 雑則（第 110 条-第 112 条）
- ・第十章 罰則（第 113 条-第 117 条）
- ・附則

2.2.2 大規模地震対策特別措置法

(1) 概要

大規模な地震による災害から国民の生命、身体及び財産を保護するため、地震防災対策強化地域の指定、地震観測体制の整備その他地震防災体制の整備に関する事項及び地震防災応急対策その他地震防災に関する事項について特別の措置を定めることにより、地震防災対策の強化を図り、もって社会の秩序の維持と公共の福祉の確保に資することを目的として制定された法律である。略称は大震法。

東海地震の直前予知を目的として、正式名称「地震防災対策強化地域判定会」、通称「判定会」が 1979 年に設置されている。

(2) 法律の構成

法律の主な構成は次のようになっている。

第 1 条 目的

- 第3条 地震防災対策強化地域の指定等
- 第4条 強化地域に係る地震に関する観測及び測量の実施の強化
- 第5条 地震防災基本計画
- 第6条 地震防災強化計画
- 第7条 地震防災応急計画
- 第9条 警戒宣言等
- 第10条 地震災害警戒本部の設置
- 第15条 都道府県地震災害警戒本部及び市町村地震災害警戒本部の設置
- 第21条 地震防災応急対策及びその実施責任
- 第22条 住民等の責務
- 第23条 市町村長の指示等
- 第28条 避難状況等の報告
- 第31条 強化地域に係る地震防災訓練の実施
- 第33条 科学技術の振興等

2.2.3 石油コンビナート等災害防止法

(1) 概要

石油コンビナートという巨大工場群で取り扱っているものの揮発性が高かったり(石油やトルエンなど)、毒劇物とされているもの(塩素、苛性ソーダなど)を取り扱っている関係上、一度災害が起きるとその様相は他の災害とは異なり、人的、物的、経済的被害も甚大なものとなる。そこで、その災害の防止に関する基本的事項を定めることにより、消防法(昭和23年法律第186号)、高圧ガス保安法(昭和26年法律第204号)、災害対策基本法(昭和36年法律第223号)その他災害の防止に関する法律との相乗効果により、石油コンビナート等の「特別防災区域」とされている場所での災害発生、災害の拡大防止等のために行う様々な対策を促し、災害から国民の生命、身体及び財産(当然コンビナート自体も含む)を保護することを目的としている。

(2) 法律の構成

- ・第一章 総則(第1条—第4条)
- ・第二章 新設等の届出、指示等(第5条—第14条)
- ・第三章 特定事業者に係る災害予防(第15条—第22条)
- ・第四章 災害に関する応急措置(第23条—第26条)
- ・第五章 防災に関する組織及び計画(第27条—第32条)
- ・第六章 緑地等の設置(第33条—第37条)
- ・第七章 雑則(第38条—第48条)
- ・第八章 罰則(第49条—第52条)
- ・附則

2.2.4 防災基本計画

(1) 概要

防災基本計画は、災害対策基本法（第 34・35 条）に基づき、中央防災会議が作成する基本指針を示す防災計画で、防災分野の最上位計画である。

防災に関する総合的かつ長期的な計画、中央防災会議が必要とする防災業務計画および地域防災計画作成基準を示し、防災予防、発生時の対応、復旧等を記してある。行政のみではなく、住民の自治防災についても記述されている。この計画に基づき、指定行政機関[1]および指定公共機関[2]は「防災業務計画」を作成し、地方公共団体は「地域防災計画」を作成する。

主な内容

- ・ 防災体制の確立
- ・ 防災事業の促進
- ・ 災害復興の迅速適切化
- ・ 防災に関する科学技術及び研究の振興
- ・ 防災業務計画及び地域防災計画において重点をおくべき事項についての基本的な方針

(2) 計画の構成

1) 自然災害

- ・ 地震災害対策
- ・ 津波災害対策
- ・ 風水害対策
- ・ 火山災害対策
- ・ 雪害対策
- ・ 事故災害
- ・ 海上、航空、鉄道、道路、原子力、危険物、大規模火災、林野火災

2) 対策

- ・ 災害予防・事前対策
- ・ 災害応急対策
- ・ 災害復旧・復興対策

3) 各主体の責務

- ・ 国
- ・ 地方公共団体
- ・ 住民等

2.2.5 防災業務計画

(1) 概要

防災業務計画は、災害対策基本法（昭和 36 年法律第 223 号）第 36 条第 1 項の規定に基づき、各指定行政機関の長が、防災基本計画に基づき、その所掌事務に関し作成する防災対策に関する計画である。指定行政機関である内閣府では、「内閣府防災業務計画」を作成している。

【内閣府防災業務計画の趣旨】

- ・内閣府防災業務計画は、災害対策基本法第 36 条第 1 項に基づき、内閣府がその所掌事務に関し作成する防災計画である。
- ・この中で、大規模地震対策特別措置法第 6 条第 1 項に基づく(東海地震)地震防災強化計画及び東南海・南海地震に係る地震防災対策の推進に関する特別措置法第 6 条第 1 項に基づく東南海・南海地震防災対策推進計画、日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に係る地震防災対策に関する特別措置法第 6 条第 1 項に基づく日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震防災対策推進計画を策定している。

2.3 プラントに関する耐震技術、設備、設計の最新動向

平成 23 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災による被害に関して、経済産業省（総合資源エネルギー調査会高圧ガス及び火薬類保安分科会）、および総務省消防庁（地域防災計画における地震・津波対策の充実・強化に関する検討会）により調査が行われ、高圧ガス設備等の地震・津波に関する対策、地域防災計画における地震・津波対策の充実・強化に関して報告書が取りまとめられた。同検討会による報告内容に基づき、プラント設備の被害から見た耐震技術の現状、および今後の耐震設計等の課題を整理する。

2.3.1 東日本大震災によるプラント設備の被害から見た耐震技術の現状

東北地方太平洋沖地震において、一部の高圧ガス設備で火災・爆発等が発生したほか、津波浸水区域で、様々な高圧ガス設備や容器の損壊、流出等が発生した。以下にプラント設備の被害の概要、および被害から見た耐震技術の現状を示す。

(1) プラント設備の被害の概要

1) 東北 3 県（岩手県、宮城県及び福島県）被害状況

a) 地震・津波による被害のあった事業所

東北 3 県合計のアンケート回収率は 49%（3,730 件中 1,817 件）。そのうち、今回の地震・津波による被害のあった事業所は、回答のあったうちの約 2 割であった。今回の地震による被害のあった事業所 389 件中、地震による被害は 45%（176 件）、津波による被害は 22%（85 件）、地震と津波の両方被害は 8%（31 件）であった。

b) 高圧ガス施設等の種類別被害

今回の地震・津波による高圧ガス施設等の種類別被害については事務所等の倒壊・破損（129件）、配管・弁等の変形・破損（98件）、容器置場等の倒壊・破損（66件）が主な被害であった。

c) 津波の事業所浸水深

今回の津波による事業所の浸水深について、最大は20m以上あり、浸水深は5m以上10m未満が最も多かった。（20m以上：3件、15m：10件、10m：15件、5m：47件、2m：30件、1m：13件）

d) 津波による高圧ガス設備・容器の流出状況

今回の津波による流出件数について、設備の流出（貯槽設備14件、高圧ガスローリー14件）に比べ、容器の流出（114件）が非常に多かった（容器については、内容部の記載が不明なボンベが多くを占め、記載があるものでは可燃性のLPガスボンベや不活性の二酸化炭素ボンベが多く流出した。なお容器については流出のあった事業所数を示している）。

2) コンビナート被害状況

地震・津波による高圧ガス設備の被害の状況については、回答のあった158事業所中、42事業所において被害の回答があった。このうち火災・爆発については、宮城県の製油所の火災によるLPガス出荷施設の焼損、千葉県の製油所のLPガス出荷施設の火災・爆発事故及び当該事故による近隣事業所の火災2件の合計4件であった。

(2) 被害から見た耐震技術の現状

1) 通達及び耐震設計基準適用の設備の地震動による損傷状況のまとめ

- a) 調査の結果、通達に適合している又は耐震設計基準に適合している設備の大部分で設計地震動の範囲では損傷が発生しなかったことが判明した。
- b) 設計地震動を超える地震動を受け損傷を受けた設備でも、耐震設計基準のレベル2耐震性能（気密性を保持）を維持していた。
- c) レベル2地震動を超えた地震動を受けた設備であっても、大部分の設備においてレベル2耐震性能（気密性を保持）を維持していた。
- d) 通達に適合している球形貯槽については、ブレース（筋交い）の破断という保安上許容できない被害が合計で3件発生していた。よって、別途検討を行うこれらの球形貯槽のブレース破断を除き、通達及び耐震設計基準は、今回の地震において十分な効果を有していたと考える。

①設計地震動の範囲内の地震

水張り（水が満水）中という、通常の運転状態ではない貯槽で1件

②設計地震動を超える地震動

水張り（水が満水）中の貯槽で1件、液化ブタンの貯蔵中の貯槽で1件（ガスの漏洩は発生していない）の計2件

e) まとめ

球形貯槽のブレース破断を除き、通達及び耐震設計基準に適合していない設備であっても、大きな被害が生じていないことから、今回の震災において高い地震動を受けた事業所においては、通達及び耐震設計基準の施行前であっても、事業者が自主的に建築基準法の考え方等に基づく耐震設計を行っていた等により、一定の耐震性能を有していたものと考えられる。

2) 耐震設計基準適用外の設備等の地震動による損傷状況のまとめ

a) 耐震設計基準が適用されていない設備等の損傷については、配管の損傷が46件と最も多く、次いで熱交換器の損傷が23件、アンカーボルトの損傷が13件であった。

b) 配管の損傷のうちの12件は、液状化によるものであった。損傷の特徴を以下にまとめる。

①損傷の多くが実際に受けた地震動はレベル2地震動を超えていた。

②これらの損傷により、漏洩が7件発生した。

③その内訳は配管の損傷によるものが6件、熱交換器の損傷によるものが1件となっており、いずれも軽微な漏洩であった。

(3) 液状化による損傷状況の評価のまとめ

液状化による損傷は、実際の地震動がレベル2地震動以下で多く発生しており、液状化による損傷は、地震動よりも設備の立地場所の地盤性状の影響を強く受けていると考えられる。なお、今回、配管の途中にベローズを複数設置していた配管において、液状化によりベローズが変形し、ベローズの接合部近傍から漏洩が発生した事例があった。この漏洩は、配管の温度変化による伸び縮みに伴い、ベローズの接合部近傍が疲労し、損傷が顕在化していたところ、液状化に伴う過大変形によって、損傷が拡大したことによると考えられる。

2.3.2 東日本大震災による被害を教訓とした今後の耐震設計等の課題

コスモ石油(株)千葉製油所の火災・爆発を含め球形貯槽のブレース（脚部の筋交い）

の破断 3 件を除き、耐震設計基準の見直し等、新たな義務づけを必要とする事故、損傷は無かった（コスモ石油(株)千葉製油所の事故については、同社に対する措置及び事業者全体に対する義務づけを含めた措置が既に別途講じられている。）。一方、耐震設計基準等への適合が義務づけられていない設備（以下「既存設備」という。）において耐震設計基準等に適合していない割合が最大 9 割程度（配管系の場合）あることが判明した。

これらを踏まえ、以下の対応が必要である。

- ① 球形貯槽のブレースについて、耐震設計基準等の見直し、補強の方法の検討。
- ② 既存設備の耐震設計基準等への適合状況について、事業者は確認及び有価証券報告書等による公表。自治体及び国は、フォローアップ。
- ③ 事業者は、液状化のリスク調査と対策の実施。
- ④ 地震調査研究推進本部等の検討を踏まえ、耐震設計基準等における地域係数等の見直しを検討。

「東日本大震災を踏まえた高圧ガス施設等の地震・津波対策についての報告書」(平成 24 年 4 月)において経済産業省（総合資源エネルギー調査会高圧ガス及び火薬類保安分科会）から示された「地震・津波対策に係る今後の進め方」について、以下に整理する。

(1) 事業者に対する追加的な対策について

「東日本大震災を踏まえた高圧ガス施設等の地震・津波対策についての報告書」に示した対策は、高圧ガス施設等の地震・津波対策として最低限のものであり、自治体が地域の避難場所の整備など総合的な対策を行う際に必要な場合に事業者に対して追加的な対策を求めることを妨げるものではない。

(2) 事業者の自主的対応、および具体的な対応策の普及について

事業者にあっては、自然災害はいつ発生するかわからないことから、法令の改正を待つのではなく、自治体の要請や最新の科学的知見・技術を踏まえて積極的に対策を講じていくことが望まれる。また、高圧ガス容器の転倒防止措置など、容器の形状等に依存するものについては、業界毎に具体的な対応策についてのガイドラインを策定し、普及していく。

(3) 法、基準の整備について

国においては、対策が円滑に進むよう、法制面で手当てすることが必要な、高圧ガス設備を安全な状態に維持するための機能や地震防災遮断弁についての技術基準及び津波に関する危害予防規程の規定を、平成 24 年度から順次制定・改正していく。

また、技術的な検討が必要な、ブレースの強度の評価方法や津波の波力等が高圧ガス設備に与える影響の評価方法等については、平成 24 年度から専門家による検討を進めていく。

危害予防規程の改定に伴う、下位規定等に記載すべき事項については、国は、事業者、自治体とともに平成 24 年度から検討を行い、共通的な事項について例示を作成する。

(4) 事業者による通達及び耐震設計基準の適合性の確認について

今回行った様々な調査の中で、特に注目すべきことは、通達又は耐震設計基準の適合性について確認されていない高圧ガス設備がかなりの割合あるということである。事業者、自治体、国はこの状況を改善するため、対策として掲げられている事業者による通達及び耐震設計基準の適合性の確認並びに有価証券報告書等による公表、自治体における事業者の適合性確認状況の把握、国における適合性確認結果の公表などの事項を着実に進めていく必要がある。

これら対策の進捗状況については、今後、審議会等でフォローアップしていくことにより、その適確な実行を図っていくことが重要である。

2.4 過去の地震、津波と事故の事例と、その後の法制度・基準制定、技術進歩等

2.4.1 被害事例と法基準の制定・改定の変遷

2.4.1.1 過去の被害事例

(1) 津波による被害事例

津波による被害は、海域、河口や海岸近くの湖などの汽水域、陸上の氾濫域で発生する。被害程度は基本的に再利用が可能かどうかで決まる。被害発生の大要因である流速や流体力は、津波の波高や浸水深により決まる。

津波による被害の特性には様々な形態があり、巨大な流体力を受けて被害が発生するもの、浸水するだけで発生するもの、長時間の浸水を経て発生するものがある。

津波による被害としては、人的被害、家屋・建物被害、防災施設被害、インフラ（社会基盤施設）被害、ライフライン被害、産業被害、火災被害、油・危険物流出被害、漂流物被害、海岸林被害、地形変化被害などがある。

以下では、近年発生した主な津波と津波によるプラント関連の被害事例の概要を示す。

1) 津波とその特徴

①日本海中部地震津波（1983 年）¹⁾

1983 年 5 月 26 日 11 時 59 分に発生した M7.7 の地震に伴う津波であり、震源は秋田・青森両県の西方沖である。日本海側では新潟地震津波（1964 年）以来の大津波となった。最大津波高さは 14m 強であり、平滑な砂浜海岸で観測された。津波による死者は 100 名であった。この津波は、新潟地震津波の直前から議論され始めた日本海東縁部のプレート境界論議に一石を投じる津波であった。また、減災概念を導入した直後の津波でもあった。この津波により、周期が短い津波に対する検潮儀の応答性、遠浅海岸でのソリトン分裂、エッジ・ボアという波の現象、および海岸林による津波の減勢効果などの問題

を生じ、その後の津波研究の主要な課題となった。

②北海道南西沖地震津波（1993年）¹⁾

1993年7月12日22時17分に発生したM7.8の地震に伴う津波であり、震源は北海道の奥尻島西方である。最大打上高さは奥尻島西岸の藻内で31.7mであり、急速に幅および河床高が変化するV字状の谷で観測された。津波による死者は142名であった。この津波の特徴として、地震発生から数分後に10mを超える津波の第一波が襲来したこと、波源に対し陰にあたる奥尻島東岸で打上高さ20mに達した場所があったこと、奥尻島南端の青苗地区で津波の影響による大火災が発生したこと、および北海道本島西岸の数箇所津波襲来前に40～50cmの水位低下が30分以上継続されたことが挙げられる。この津波により、津波警報が間に合わなかったこと、地震データからでは近地津波の説明がつかないこと、津波の解析に3次元性を考慮する必要性があったなどの問題を生じた。

③十勝沖地震津波（2003年）¹⁾

2003年9月26日4時50分に発生したM8.0の地震に伴う津波であり、震源は北海道十勝沖である。最大津波高さは4.0mであった。津波による死者はなかった（行方不明2名）。この津波の特徴として、釧路や浦河で津波の後続波が第一波よりも大きくなったこと、津波が十勝川を11km遡上したことが挙げられる。

④東北地方太平洋沖地震津波（2011年）²⁾

2011年3月11日14時46分に発生したM9.0の巨大地震に伴う大津波であり、震源は宮城県沖である。津波は地震発生（14時46分）から間もない14時50分台に第一波が到達し、地震発生から約30分後に最大波が到達した。岩手北部沖から福島県沖での津波高さは2.6m～6.7mで、最大津波高さは岩手県釜石沖で記録されている※1。

※1：気象庁の調査³⁾では、福島県相馬で高さ9.3m以上、石巻鮎川で8.6m以上の高い津波が観測されている。

また、浸水高さは岩手県北部から宮城県牡鹿半島までの三陸海岸で10m～15m前後、仙台湾岸から相馬市にかけては10m程度の浸水高さが記録されている。また、津波遡上高さは岩手県宮古市での40m以上を最高に、福島県から岩手県にわたり10m以上の津波遡上痕が確認されている⁴⁾。地震とそれに伴う津波、およびその後の余震による死者は15,866名（2012.7.4時点）である⁵⁾。

この津波の特徴として、津波による被害が広範囲であったこと、津波の第一波の後に最大波が到達したこと、津波発生から6時間後にも津波が観測されたこと、津波の影響による出火があったことが挙げられる。津波の影響による火災に関しては、気仙沼市では津波により破壊されたタンクから流出した危険物が津波で流失した漂流物に付着して

着火炎上し、津波で浸水した沿岸に漂着して延焼し火災が拡大した。また、津波情報で発表した津波観測結果の過小評価、続報の遅れにより、避難の遅れや中断につながった事例がある⁶⁾。この津波により、津波警報の改善策が検討され、東海・東南海・南海の三連動地震により想定される津波の大きさや被害想定等の見直しが進められている。また、中央防災会議の防災基本計画が修正され、津波災害対策の検討にあたり2つのレベルの津波を想定する基本的考え方などが示された⁷⁾。

2) 津波によるプラント関連施設の被害

プラント関連施設の津波による日本国内のプラント関連施設の被害概要を以下に示す。

a) 電力関連施設の主な被害

① 日本海中部沖地震 (1983 年)

能代火力発電所の沖合におけるケーソンの工事現場で作業中であった53名が全て海中に転落し、24名が死亡した。

② 北海道西南沖地震 (1993 年)

奥尻島西岸にある小規模な水力発電所が浸水による被害を受けた。

③ 東北地方太平洋沖地震 (2011 年)

東京電力福島第一原子力発電所の原子炉1～3号機は地震により緊急停止し、外部電源が故障停止した。地下に設置されていた非常用ディーゼル発電機は起動したが、地震発生後に襲来した津波による浸水のため故障した。電気設備、ポンプ、燃料タンクなど多数の設備の損傷や流出により全電源を喪失した⁸⁾。このため原子炉内部や核燃料プールの冷却ができなくなり、核燃料の溶融が発生し、原子炉内の圧力容器、格納容器、各配管などの設備の多大な損壊を伴う史上最大規模の原発事故へとつながった。

b) 石油・危険物施設の主な被害

① 東南海地震津波 (1944 年)¹⁾: 1944 年 12 月 17 日 13 時 36 分発生、M7.9 三重県二木島の重油タンクが約 300m 流された。地震時にはタンクは空であった。

② 南海地震津波 (1946 年)¹⁾: 1946 年 12 月 21 日 4 時 19 分発生、M8.0 尾鷲市九鬼でタンクが流され、タンク内の油が流出した。

③ 新潟地震津波 (1964 年)¹⁾: 1964 年 6 月 16 日 13 時 1 分発生、M7.5 石油タンクの配管の一つに地震で亀裂が入り、内容物であったガソリンが漏出した。タンク周辺は地震の液状化により噴出した地下水と津波の遡上による海水が溜まっており、この上を油が広がっていった。地震発生から 5 時間後に、爆発音とともに火災が上昇し

た。この火は水上の油に燃え移って広がり、他のタンクを誘爆し、被害がさらに広がった。

④十勝沖地震津波（1968年）¹⁾：1968年5月16日午前9時48分発生、M7.9釜石港において、保管庫の中の移動式給油装置に鉄製のシャッターを突き破った流木があたり、転倒して発火した。発見が早く大災害に至らなかった。

⑤日本海中部地震（1983年）¹⁾

容量130klの軽油タンクが約10m流され、内容物が流出した。秋田港では、タンカーの石油の揚陸中に、ローディングアームの折損、ギャングウェイの曲損が生じたが、早期の対処で大災害に至らなかった。

⑥東北地方太平洋沖地震（2011年）^{2), 9)}

津波による屋外貯蔵所のタンク被害は167基に及んだ。そのうち120基は500kl未満のタンクであった。被害形態は、流出、移動、転倒、および変形によるものであった。タンクや防油堤の基礎や地盤が津波により洗掘され、基礎の被害だけでなくタンクの傾斜、破損に至ったものがあった。また、タンクに接続する配管にも流出、移動、破断、および折損などの被害が発生した。気仙沼市では、屋外タンク貯蔵所の23基のうち22基のタンクが流出し、最大約2.4km移動した。津波漂流物にタンクから流出した危険物が付着して着火炎上し、沿岸に漂着して火災が拡大した。

参考文献

- ¹⁾ 首藤伸夫、今村文彦、越村俊一、佐竹健治、松富英夫編集：津波の事典、朝倉書店、2007。
- ²⁾ 日本建築学会：2011年東北地方太平洋沖地震災害調査速報、2011。
- ³⁾ 気象庁：平成23年3月地震・火山月報（防災編）、2011、
http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/2011_03_11_tohoku/tsunami_jp.pdf
- ⁴⁾ 東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループホームページ：東北地方太平洋沖地震津波に関する合同調査報告会 予稿集、2011、
http://www.coastal.jp/files/tjtreport_20110716.pdf
- ⁵⁾ 警察庁ホームページ：<http://www.npa.go.jp/archive/keibi/biki/higaijokyo.pdf>
- ⁶⁾ 気象庁：東北地方太平洋沖地震による津波被害を踏まえた津波警報の改善の方向性について、2011、
http://www.jma.go.jp/jma/press/1109/12a/tsunami_kaizen_matome.html
- ⁷⁾ 内閣府：防災基本計画、2011、
<http://www.bousai.go.jp/keikaku/kihon.html#syusei>
- ⁸⁾ 東京電力株式会社：福島第一原子力発電所内外の電気設備の被害状況等に係る記録に関する報告を踏まえた対応について（指示）に対する報告について、2011、
<http://www.nisa.meti.go.jp/earthquake/files/houkoku230523-2.pdf>
- ⁹⁾ 消防庁消防研究センター：第15回 消防防災研究講演会（特別開催）資料、2012。

(2)地震の被害事例

近年発生した主な地震と地震によるプラント設備の被害事例の概要を表 2.4.1.1-1 に示す。

表 2.4.1.1-1

過去の地震被害事例

地震	概要	プラント設備被害事例	
		被災地 (水平加速度)	被害状況
新潟地震 1964年 M7.5	地盤液状化の被害が目立ち、建物310棟に傾斜・沈下などの被害が見られ、また、噴水・噴砂が著しく、砂が1mも堆積したところがあった。建物全壊は1,960棟、死者は26名。	新潟市 (160~250gal程度)	大規模な液状化により、プラント、石油タンク群が沈下・傾斜し、大量の油流出と火災が発生した。一方、パイプローテーション工法で地盤改良したタンク、プラントには殆ど被害が出なかった。
宮城沖地震 1978年 M7.4	丘陵地に開発された造成地での被害が大きく、崖崩れや埋立部分の崩壊による被害が多く見られた。建屋全壊は1,183棟、死者は27名。	仙台港、塩釜地区	石油タンクはパイプ工法で地盤改良されており、液状化による被害は確認されていない。但し、タンク3基の底版に亀裂が入り、油が流出した。また、配管の亀裂・フランジの緩みによりガス漏れが多発した。
		石巻市 (280gal程度)	周辺で著しい液状化が発生したが、コンバクション工法で改良した地盤上のタンクは無被害であった。
日本海中部地震 1983年 M7.7	地震動による被害は少なく、大部分は津波と地盤液状化によるものであった。	青森港 (115gal)	液状化により70基中約20基のタンクで最大30cmの沈下が発生したが、サンドコンバクション工法で改良されたタンクは無被害であった。
		秋田港 (209gal)	液状化により南部地区ではタンクに数cmの沈下が生じたが、被害は出なかった。
兵庫県南部地震 1995年 M7.2	RC建物に柱のせん断破壊など深刻な被害が生じ、特に中層階および1階のつぶれが目立った。地盤液状化、高速道路の倒壊、ライフライン破断など、多岐にわたる災害が発生した。建物全壊は104,906棟、死者は6,433名。	神戸港 (500gal以上)	港湾構造物の液状化による被害が甚大であった。石油タンク群は漏洩はないが、多数が沈下・傾斜を起こした。液状化が原因で高圧ガス配管系においてフランジ継手部から漏洩事故が発生した。
十勝沖地震 2003年 M8.0	地盤液状化による被害あり。建物全壊は104棟。	苫小牧市 (100~200gal程度)	地震動の長周期成分の共振により成長したスロッシングにより過半数の特定タンクに被害が発生した。浮き屋根の沈没、原油タンクでリング火災、ナフサタンクで全面火災が発生した。配管の亀裂で原油が漏洩した。

出典：地震の事典<第2版>普及版 朝倉書店 2010年3月

2.4.1.2 法基準の制定・改定の変遷

石油精製プラントのような施設においては、多種多様な設備が混在しているため、プラント設備毎に適用を受ける法基準が異なり、各々の法基準に基づき耐震設計が行われている。ここでは、プラント設備が主に適用を受ける法規である高圧ガス保安法（高圧ガス設備等耐震設計基準）、消防法（危険物の規制に関する技術上の基準の細目を定める告示）、および建築基準法に関する制定・改定の変遷を表 2.4.1.2-1 に示す。

表 2.4.1.2-1 各種耐震基準の変遷

年度	主な地震	建築基準法	高圧ガス取締(保安)法	消防法
1923 1924 1950 1952 1959 1964 1968	T12 T13 S25 S27 S34 S39 S43	関東大震災(Mj7.9) 市街地建築物法 建築基準法施行令(政令338号) カーンカウンティ地震(Ms7.8) 新潟地震(Mj7.5) アラスカ地震(Ms8.4) 十勝沖地震(Mj7.9)		
1970 1971 1972 1973 1974 1975 1976 1977 1978 1979	S45 S46 S47 S48 S49 S50 S51 S52 S53 S54	サンフェルナンド地震(Ms6.5) 高層建築技術指針改訂(日本建築学会) この表でのマグニチュードは以下の通り。 Mj:気象庁マグニチュード Ms:表面波マグニチュード Mw:モーメントマグニチュード 宮城沖地震(Mj7.4)	(神奈川県高圧ガス製造設備耐震設計基準) コンビナート保安防災技術指針 (同基準改定) プラント耐震設計基準に関する報告書(KHK)	危険物の規制に関する規則 危険物の規制に関する技術上の基準の細目を定める告示(告示99号) 同告示の改正(告示22号)
1980 1981 1982 1983 1984 1985 1988 1989	S55 S56 S57 S58 S59 S60 S63 H1	建築基準法施行令改正(政令196号) 日本海中部地震(Mj7.7) メキシコ地震(Ms8.1) ロマブリータ地震(Mw6.9)	高圧ガス設備等耐震設計基準(告示515号) (神奈川県高圧ガス製造設備耐震設計基準運用要領) (高圧ガス配管耐震性判定指針)	同告示の改正(告示119号)
1990 1991 1992 1993 1994 1995 1996 1997 1998 1999	H2 H3 H4 H5 H6 H7 H8 H9 H10 H11	釧路沖地震(Mj7.8) 北海道南西沖地震(Mj7.8) ノースリッジ地震(Mw6.7) 三陸はるか沖地震(Mj7.5) 兵庫県南部地震(Mj7.2) トルコ・コジャエリ地震(Mw7.5)	(神奈川県高圧ガス製造設備耐震設計基準) (同基準改訂) 高圧ガス設備等耐震設計基準改正(改正告示141号)	同告示の改正 同告示の改正
2000 2001 2002 2003 2004 2005	H12 H13 H14 H15 H16 H17	鳥取県西部地震(Mj7.3) 芸予地震(Mj6.4) 宮城沖地震(Mj7.0) H15年十勝沖地震(Mj8.0) スマトラ沖地震(Mw9.0)	建築基準法施行令改正(建設省告示1457号) (同基準改訂)	同告示の改正

(出典：調査団作成)

プラント設備に対する耐震設計の変遷の大きな流れとしては、建築基準法の耐震設計方法を準用していた時代から、プラント設備毎の耐震設計方法の準備時代を経て、その後様々な設備に対する耐震設計方法の流れを包含して高圧ガス保安法の告示が制定された。さらに、兵庫県南部地震以降、大地震（高レベル地震動）に対する耐震設計である2次設計が取り入れられると共に、配管系も耐震設計対象設備に取り入れられる等、範囲が拡大され現在に至っている。

2.4.2 法律に反映された評価項目、評価方法の変遷

(1)高圧ガス設備等耐震設計基準の改正

1995年に発生した兵庫県南部地震では、それまでの地震災害に見られなかった事象や被害事例が見られた。そこで、その対応として当該地震をふまえて1981年に施行された「高圧ガス設備等耐震設計基準 経産省告示 515号 以降、”旧耐震告示”と称す」の内容が、1997年の通産省告示 143号（以降、”改正耐震告示”と称す）にて、一部追加/変更/削除された。以下に兵庫県南部地震における被害状況および主な改正内容を概説する。

1) 兵庫県南部地震における被害状況

兵庫県南部地震における高圧ガス設備の主な被害に関する特徴を以下に示す。

- ① 高圧ガス保安法の対象となる設備における塔槽類の被害はほとんどなかった。
- ② 旧耐震告示以降に設計された耐震設計構造物に関しては、兵庫県南部地震を経験してもほとんど被害を受けていないという状況であった。
- ③ 高圧ガス配管系においてフランジ継手部からの漏洩事故等が発生した。（これにより周辺住民に一時避難勧告が出された。）図 2.4.2-1 に漏洩箇所となったタンク本弁近傍の状況写真を示す。
- ④ 防液堤の亀裂・開口等の被害が顕著であった。
- ⑤ 計装・制御設備、用役設備、除害設備などの被害が確認された。

以上の通り、高圧ガス施設の地震被害は、「旧耐震告示に定められている耐震設計の対象となる耐震設計構造物」以外のものに限定され、それらの被害原因は、概ね地盤の液状化現象に伴う側方流動や沈下等の地盤変状によるものと推定された。図 2.4.2-2 に被害のあった敷地の地盤変状の状況を示す。

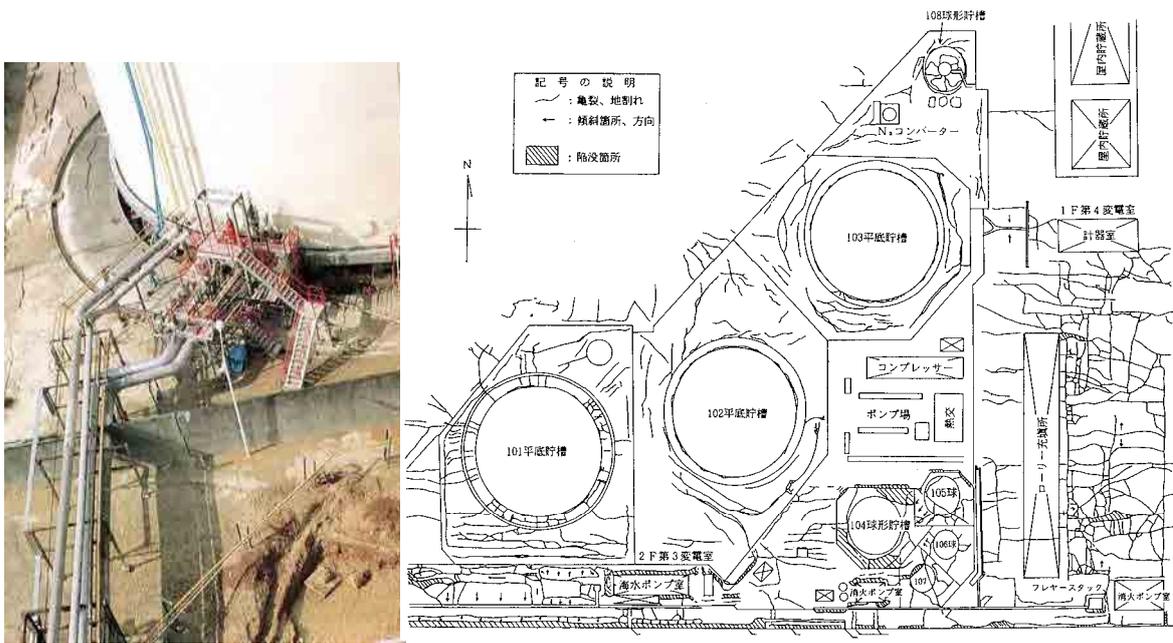


図 2.4.2-1 LPG タンク元弁の漏洩箇所³⁾ 図 2.4.2-2 LPG タンク敷地の地盤変状の状況³⁾

(上記 2 図 出典：高圧ガス保安協会：「兵庫県南部地震に伴う LP ガス貯蔵設備ガス漏洩調査中間報告書」, 1995.)

2) 耐震告示改正(1997 年)内容の概要

兵庫県南部地震における高圧ガス設備の被害事例を鑑み、旧耐震告示は 1997 年に改正された。その改正内容の概要は以下の通りである。また、改正における追加対象を反映した「耐震告示の適用設備および適用範囲」を図 2.4.2-3 に示す。

- ① 耐震設計の対象となる耐震設計構造物として配管系等が、また地震防災設備として、地震防災遮断弁が追加された。
- ② 設計地震動として考慮する地震のレベルがレベル 1 及びレベル 2 の 2 段階となり、重要度が Ia および I の設備は全てレベル 2 地震動に対するレベル 2 耐震性能評価を義務付けられた。
- ③ 地盤変状に対する基礎の設計方法および基礎の移動による配管系の設計方法が提示された。

上記の改正内容は、レベル 2 相当の地震動が発生したときの液状化による地盤変状で基礎間の相対変位の発生が原因で配管のフランジからガス漏洩が発生した事象への対応となっている。

前述の旧耐震告示以降に設計された耐震設計構造物に関しては、兵庫県南部地震を経験してもほとんど被害を受けていないことから、改正耐震告示ではレベル1地震動（告示改正前の地震動で、設備の供用期間中に発生する確率の高い地震動）に関する見直しは行われていない。また、追加したレベル2地震動（告示改正で追加された地震動で、設備の供用期間中に発生する確率の低い高レベルの地震動）に関しては、基本的に旧耐震告示にて要求されているレベル1地震動に耐える強度を持つ構造物に「じん性」を付加させることを目的とする耐震設計方法が採用された。

				重要度 I a, I, II, III		重要度 I a, I		
				レベル1地震動		レベル2地震動		
				第1設計地震動	第2設計地震動	第1設計地震動	第2設計地震動	
耐震設計構造物	耐震設計設備	塔槽類	塔	告示515号 (1981年)				
			たて置円筒形貯槽					
		貯槽	平底円筒形貯槽					
		球形貯槽						
	支持構造物							
	基礎	耐震設計設備の基礎				改正告示143号 (2000年4月1日 より適用)		
配管系の基礎								
配管系		配管						
	支持構造物	改正告示143号 (1997年4月1日施行)						
地震防災設備	地震防災遮断弁							

図 2.4.2-3 耐震告示の適用設備および適用範囲

(出典：千代田アドバンスト・ソリューションズ(株)作成)

(2) 危険物の規制に関する技術上の基準の細目を定める告示¹⁾

屋外貯蔵タンクにおいても、高圧ガス保安法の適用を受ける構造物と同じく、事故や地震により重大な被害が発生するたびに基準の見直しが行われてきた。以下では、消防法の適用を受ける屋外貯蔵タンクの地震および事故に対する対策の変遷をまとめる。また、1974年に制定された「危険物の規制に関する技術上の基準の細目を定める告示」に関して、耐震設計に反映された評価項目および評価方法の変遷を表 2.4.2-1 に示す。

1) 消防予 52 昭 50.5.20

1974年12月28日、岡山県の三菱石油水島製油所における重油タンクの溶接部に割れが発生し重油が漏えいし、流出した重油が排水溝を経て瀬戸内海へ拡散し、瀬戸内海の1/3が汚染される事故となった²⁾。この事故を契機として、1979年に消防法が大幅に改正されタンクの基礎、本体、防油堤、その他流出措置に関する技術基準が詳細に規定され、不等沈下を計測する等の定期解放検査が義務づけられた。

2) 消防危 137 昭 53.10.24 / 消防危 169 昭 54.12.25

1978年6月12日に発生した宮城県沖地震により、東北石油仙台製油所内の屋外貯蔵タンクから流出した。防液堤内に滞留した流出油の一部が防液堤の地表面下の地盤を横断して設置されていた管渠埋設部付近から防油堤外に流出した。このような事故への対処として、同年10月に既設防油堤の改修および新設する防油堤の設置を早期に完了することを促進された。さらに翌年の12月には、屋外貯蔵タンク貯蔵所の総点検（地震に対する安全性の点検および維持管理）の実施、補修、および保安対策が義務づけられた。なお、安全性の点検は水平震度0.4以上を用いることが要求された。保安対策では、流出油の拡散防止、タンク底板下への雨水浸入防止措置を講じることなどが義務づけられた。

3) 消防危 51 昭 58.5.31 / 消防危 89 昭 58.9.29

1983年5月26日に発生した日本海中部地震により、東京電力秋田火力発電所の屋外貯蔵タンクの内容液のスロッシングによるリング火災が発生した。これを受けて屋外タンクの地震対策に関する運用通知が出された。次いで、同年9月には、屋外タンクの地震対策の推進として、タンク底板の水抜き管、浮屋根、および配管の安全確保、およびタンク間歩廊の地震対策を推進するための運用通知が出された。なお、リング火災の原因は浮屋根と側板内部に設けられた設備との接触・衝突であるとされたことから、浮屋根に設けられているウェザーシールド（雨よけ）の材質を金属以外とする方法とされた。

4) 消防危 69 / 昭和 59.7.12

1979年12月17日、1984年5月21日および6月4日、開放中であったタンクの補修工事中の火災事故の発生を受け、社内保安基準、作業標準等の見直し、および事故防止対策の徹底についての指導が要求された。

5) 消防危第 125 平 8.10.15

1995年1月17日に発生した兵庫県南部地震により、消火用貯水槽の亀裂・座屈、屋外貯蔵タンク間の連絡歩廊の落下、屋内貯蔵所における容器の転倒・落下に伴う危険物の漏えい等の被害が発生した。このことから、鉄筋コンクリート製の貯水槽では、防火水槽と同等の強度を有する構造、またはコンクリートに亀裂が生じても漏水を防止する構造とされた。鋼製の貯水槽では、地上に設置のものは屋外貯蔵タンク、地下に設置のものは地下貯蔵タンクと同等以上の強度を有する構造とされた。連絡歩廊については、落下防止を図るため、変位に追従できる可動性を有する構造とされた。

6) 消防危 16 平 14.1.21

2001年6月27日、大阪府高石市の製油所で、タンクのアニュラ板に生じた腐食貫通孔から原油が漏えいする事故が発生した。この原因として、水抜き管の構造がコーティングや検査を行うのに不適切な構造であったこと、アニュラ板のコーティングが劣化、剥離し、腐食を局所的に促進させたとされている。これを受けて、点

検困難である水抜き管については、容易に点検が行えるよう取り外しを行える構造に改修するとした。

7) 消防危 67 平 14.5.15

2001年6月～12月にはタンク側板に腐食貫通孔が生じ内容物が漏えいする4件の事故が発生した。この事故を受けてタンク側板および内面の点検の徹底が要求された。

8) 消防危 14 平 17.1.14

2003年5月26日に発生した十勝沖地震により、苫小牧の製油所で浮屋根タンクの火災、浮屋根の沈没、大量の油の溢流等の重大な被害が生じた。これらの被害はやや長周期振動によって励起されたスロッシング（液面揺動）に起因するものであった。苫小牧での被害を受けて、「危険物の規制に関する規則の一部を改正する省令」（平17 総務省令3）、および「危険物の規制に関する技術上の基準の細目を定める告示の一部を改正する件（平17 総務省告示30）」が交付され、浮屋根の耐震機能確保に関する規定が示された。浮屋根の耐震強度に関しては構造計算方法が追加された。また、浮屋根の構造に関しては、構造設計では液面揺動の設計水平震度の算定式に長周期地震動に係る地域特性に応じた補正係数が導入され、浮屋根の構造性能に関する規定が定められた。

9) 消防危 227 平 17.10.3

2005年2月19日、大分県大分市の製油所において、タンク浮屋根に油が漏えいした後、浮屋根が沈降する事故が発生した。この原因として、通常の維持管理の不適切と考えられ、浮屋根タンクの保安対策の徹底が通知された。

10) 消防危 235、消防特 142 平 19.10.19

2006年8月から2007年8月までに、浮屋根内部の浮きぶた、浮きぶた上部への危険物の溢流、浮きぶたの傾斜または沈没等の事故が発生した。このような事故を受けて、内部浮きぶたの異常の発生防止策の徹底および応急措置体制の充実強化を図ることが求められた。

11) 消防危 350 H20.9.30

2008年1月16日、大阪府内の屋外貯蔵タンクにおいて、浮屋根上のローディングラダー（可動はしご）の異常に起因した浮屋根の損傷、浮屋根上への危険物の滞留、および危険物がルーフドレーンを通じて防液堤内に発生する事故が発生した。この事故は、ローディングラダーの車輪の一つが脱落し、その後、危険物の受払中にラダーがランウェイから外れて浮屋根上を移動し、最終的にラダーがルーフサポートに衝突して浮屋根デッキを損傷させたものとされた。この事故を受けて、これまでのローディングラダーの定期点検における点検内容に車輪の点検が追加されることとなった。

12) 消防危 52 平 23.3.28

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震では、地震による災害は甚大なものであった。これを踏まえ、地震災害を受け、あるいは地震災害を受けた危険物施設に対しては、消防法に基づく技術上の基準に適合しているかの迅速な点検、および安全の確認を図ることが求められ、異常の認められた危険物施設に対しては、適切な措置を行うことを求めた。

表 2.4.2-1 耐震設計に反映された評価項目および評価方法の変遷

改定年	主な改正点	備考
1977年	・旧法タンク（1977年以前の設置タンク）、新法タンク区分の追加 ・修正震度法の採用 ・液面揺動に対する評価の追加	
1983年	・鉛直震度の追加	
1995年	・2次設計の採用（旧法タンクを対象） ・地盤の液状化判定の追加	
1996年	・2次設計の採用（新法タンクを対象）	
1999年	・準特定タンクの耐震基準の制定	
2005年	・長周期地振動に係る地域特性に応じた補正係数の導入 ・規制条件に当てはまるシングルデッキ浮き屋根の耐震基準の制定	

(出典：調査団作成)

参考文献

- 1) 危険物保安技術協会編：屋外タンク貯蔵所関係法令通知・通達集、東京法令出版、2011.
- 2) 赤塚広隆、小林英男：水島タンク破損による重油流出、失敗知識データベース-
失敗百選、<http://www.sozogaku.com/fkd/cf/CB0012040.html>
<http://pedpa.co.jp/library/standard.html>
- 3) 高圧ガス保安協会：「兵庫県南部地震に伴うLPガス貯蔵設備ガス漏洩調査中間報告書」、1995.

第3章 インドネシア国のプラント耐震技術

3.1 インドネシア国の化学・石油化学産業

インドネシア国の概要を以下の表 3.1-1 に示す。

インドネシアの GDP 成長率は、2009 年には世界景気後退の影響を受けて 4.63% へと落ち込んだものの、その後は順調に 6%台を保っている。

表 3.1-1 インドネシア国の概要

経済指標	統計値		備考			
面積	189万km ²		外務省 (日本の5倍弱)			
人口	2億4103万人		IMF World Economic Outlook Databases (2012年4月)			
人口増加率	1.18%		国連の世界人口推計報告2008年版			
GDP	8,457億ドル		IMF World Economic Outlook Databases (2012年4月)			
1人当りGDP	3,509ドル		IMF World Economic Outlook Databases (2012年4月)			
外貨準備高	563億ドル		(2008年1月)			
実質経済成長率 (GDP)	2006年	2007年	2008年	2009年	2010年	2011年
	5.50%	6.35%	6.01%	4.63%	6.20%	6.46%

(出典：JCI作成)

以下にインドネシアにおける石油精製産業、石油化学・化学産業に関して記述する。資料による調査では耐震設計および防災能力に関する事業所ごとのデータはなく、全体概要及び訪問した事業所2か所については、3.4に、インドネシアにおける耐震設計事情に関して、3.5に記述した。

3.1.1 インドネシアの石油精製産業

インドネシアは ASEAN 最大の産油国だが、現状では天然ガスを輸出できるものの、原油については入超状態。産油量の先細りと内需拡大に対応していくため、資源の有効活用と外貨獲得の拡大を図る狙いで石油代替エネルギーの開発や輸出用製油所新設による石油製品輸出に比重を移していく方針へと転換したが、経済的・政治的混乱後、大半のプロジェクトは進展していない。

国営石油会社の PT Pertamina は、1998 年 10 月に民営化の第 1 弾として傘下の 6 つの製油所を分離し、それぞれ独立したプロフィット・センター、あるいは戦略ユニットとしている。PT Pertamina としては、2017 年までに 150 万 3,000bpd まで精製能力を増強し、再生可能エネルギーと合わせて自給体制を目指すとする青写真は描かれているが、実際のプロジェクトの実現は遅れている。成長市場であり、中東やアジア諸国からも注目が集まっているが、次の一歩が踏み出せないでいる。

(1) Dumai/Sungai Pakning製油所 (Processing Unit-II)

Sumatra 中部の Dumai に 12 万 2,000bpd、Sungai に 5 万 bpd の常圧蒸留装置(CDU)能力を有する 2 つの製油所を合わせて Unit-II と呼んでいる

Dumai 製油所は、石川島播磨重工業(IHI)が建設している。2014 年をメドに CDU をリバンプし、8 万 bpd 増強する計画がある。

(2) Musi (Plaju)製油所 (Processing Unit-III)

スマトラ島南部、Palembang 近郊に位置する Plaju および、SungeiGerong の両製油所を総称し、ムシ(Musi)製油所と呼んでいる。常圧蒸留装置(CDU)は 5 基、合わせて 12 万 7,000 bpd(最大処理可能量 13 万 5,600bpd)。

2012 年までに FCC ユニットをリバンプし、精製能力を 13 万 8,000bpd へ増強することを計画している。さらに韓国の SK Energy の協力を得て、2014 年をメドに CDU5 万 bpd の増強を考えている。

(3) Cilacap/Wonokromo製油所 (Processing Unit-IV)

ジャワ島の Wonokromo および Cilacap の精製設備で、距離は離れているが、Unit-IV と位置付けられ、Cilacap 製油所と総称される。

東部の Wonokromo が CDU2,000bpd というインドネシアでも最小の製油所であるのに対し、中央の Cilacap は 11 万 8,000bpd と 23 万 bpd2 基の CDU 合わせて 34 万 8,000bpd という最大の製油所となっているのが特徴である。

(4) Balikpapan製油所 (Processing Unit-V)

東 Kalimantan の Balikpapan に常圧蒸留装置(CDU)25 万 3,600bpd(最大 26 万 3,800bpd まで処理可能)を有している。

(5) Balongan製油所(Processing Unit-VI)

EXOR-1 (Export Oriented Refinery-1)として 1994 年 9 月に操業を始めた。CDU12 万 5,000bpd。

(6) Sorong(Kasim)製油所 (Processing Unit-VII)

Balongan に続く Kasim に EXOR-2(Export Oriented Refinery-2)として、常圧蒸留装置 (CDU)10 万 bpd を中核に建設される。

(7) LEMIGAS・Cepu製油所

LEMIGAS-石油・天然ガス技術振興センターは、国営石油・天然ガス研究機関として Pertamina 以外で、唯一インドネシアで製油所を運営している。ジャワ島 Cepu

に立地し、常圧蒸留装置 (CDU) 能力は 3,800bpd。

(8) TPPIのTuban製油所

PT Trance-Pacific Petrochemical Indotama (TPPI)の製油所。設立当初は、Chandra Asri に次ぐ、インドネシア 2 番目となるエチレンクラッカー建設を目指したが、破綻し、2001 年 10 月、国営石油会社の Pertamina が参画、原料となるコンデンセート供給などを行っている。クラッカー建設は断念し、コンデンセート・スプリッター日量 10 万バレルおよび芳香族抽出装置のみで運転している。

(9) Bantenの製油所新設計画

Pertamina とイランの National Iranian Oil Refinery& Distribution Co., (NIODC)が各 40%、マレーシアの Petrofield(M) Sdn Bhd が 20%出資する合弁会社、PT Banten Bay Refinery による、西ジャワの港湾都市、Baten での原油処理能力 30 万 bpd の製油所建設計画。

(10) Sinopecの合弁による東ジャワ州Tuban製油所建設プロジェクト

Sinopec が製油所を建設・運営し、Pertamina が支援・協力する。東ジャワ州 Tuban に原油処理能力 20 万 bpd の製油所を建設する。

3.1.2 インドネシアの石油化学・化学産業

(1) CAP・Cilegonの石油化学コンプレックス

PT Chandra Asri Petrochemical Tbk (CAP)が、ジャワ島西部の Anyer において ABB Lummus 法のエチレン年産 55 万トン/プロピレン同 24 万 3,000 トン/分解ガソリン同 21 万 6,000 トン能力のナフサ分解炉を建設、1995 年 9 月に本格的な操業を開始している。

誘導品は、Anyer および Cilegon、Merak、Bojonegara を含むメラク工業地帯の PENI や Tri-Polyta などへ総延長約 18km の地下パイプラインを通じてそれぞれの所要原料を供給しているほか、同年 6 月、旧 UCC の Unipol 法 LLDPE/HDPE 同 20 万トン、同 7 月、昭和電工技術の HDPE 向 10 万トンを相次いで完成、自前で運転している。分解炉を含め、いずれも東洋エンジニアリング(TEC)が建設している。LL は同 22 万トンまで増強されている。

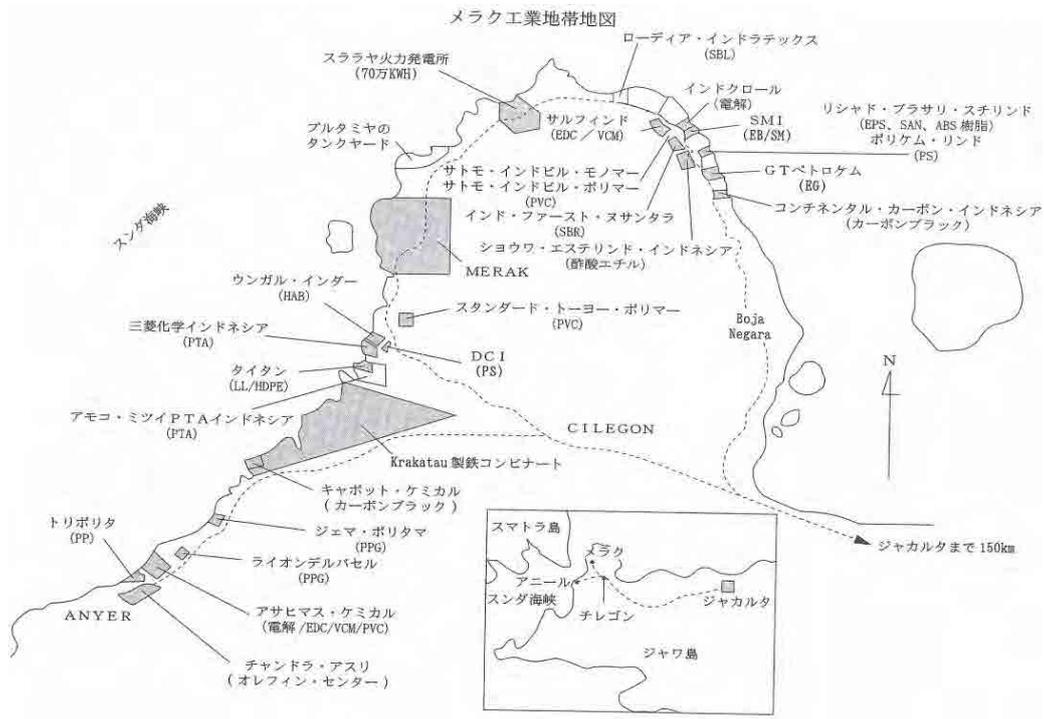


図3.1.2-1 チレゴン・メラク工業地帯
 (出典：アジアの石油化学工業 2011年版)

また、以下にチャンドラ・アスリの石化コンプレックスの製品フロー図を示す。

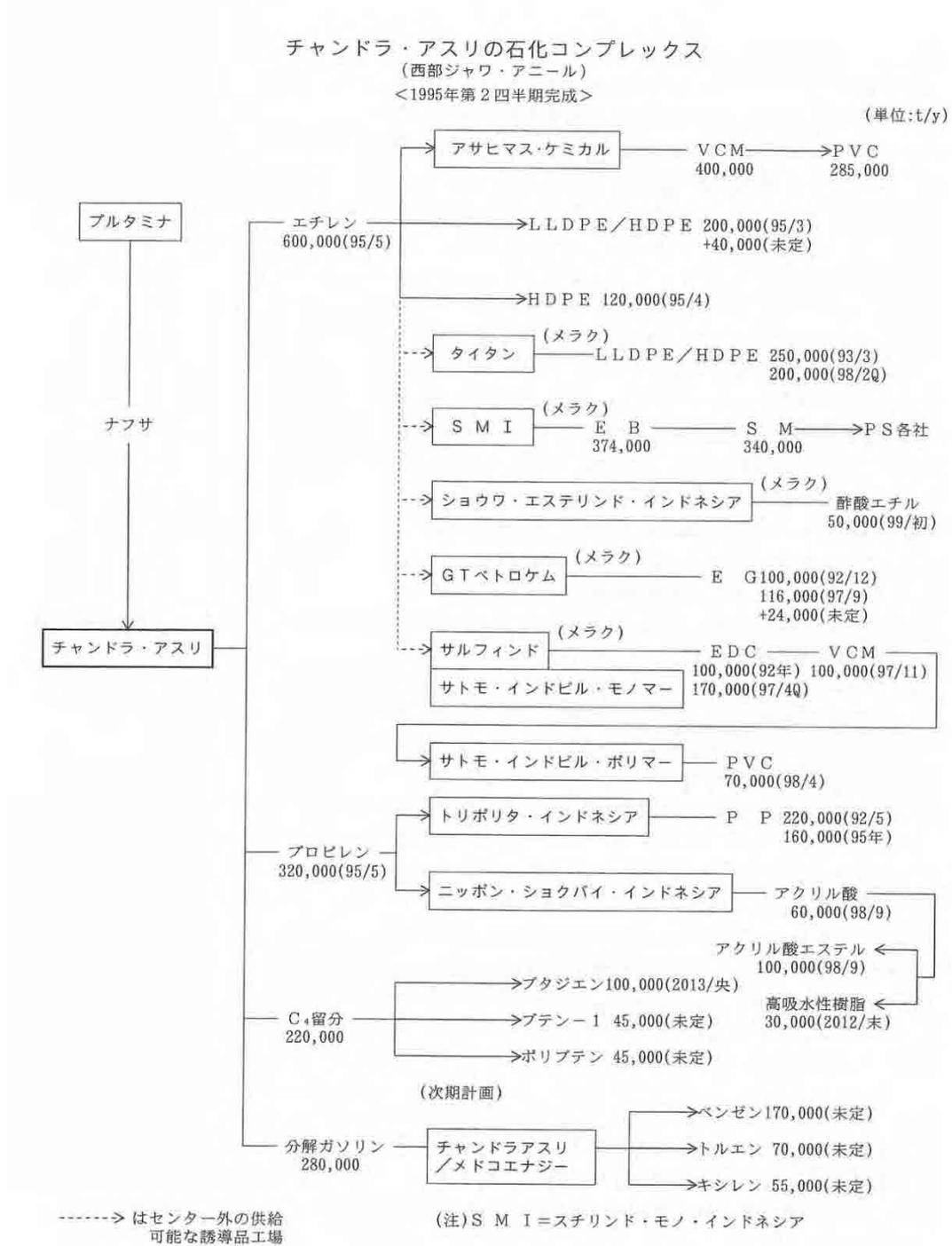


図 3.1.2-2 チャンドラ・アスリの石化コンプレックス
 (出典：アジアの石油化学工業 2011年版)

(2) TPPI・Tubanの石油化学コンプレックス計画

PT Trance-Pacific Petrochemical Indotama (TPPI) と PT Tuban Petrochemical Industries (Tuban Petro)により、ジャワ島東部 Tuban で、同国 2 番目の石油化学コンプレックスを建設しようというもので、中核となるナフサ分解炉は、エチレン年産 70 万トン(当初は 55 万トン)/プロピレン 38 万トン能力の計画であった。

1999 年 10 月のメカコンを目指し着工したものの、1997 年 11 月、オレフィンで 45%、芳香族で 64%完成した段階で、資金繰りの悪化から工事が中断、その後、2006 年 2 月、コンデンセート・スプリッター日量 10 万バレルおよび芳香族抽出装置が完成、灯油年産 110 万トン、軽油同 18 万 9,000 トン、パラキシレン(PX)同 50 万トン、オルソキシレン(OX)同 12 万トン、トルエン同 10 万トンを生産する体制が整っている。ただし、当初は 60%程度の稼働でスタートし、徐々に稼働率を引き上げる手筈となっている。

(3) PT Polychem Indonesia

旧社名は Yasa Ganesha Puma。インドネシア最大のタイヤメーカーGajah Tunggal が 50%出資する化学企業で、かつ同国唯一のモノ・エチレングリコール(MEG)メーカー。

シンガポールの投資ファンド Garibaldi Venture Fund Ltd が買収し、PT Petro Chem から現社名に変更し、新たなスタートを切っている。

1992 年 12 月、西ジャワ・メラク近郊の Bojonegara で MEG 年産 8 万 8,000 トン設備を完成、翌年初頭から稼働入りさせている。Scientific Design (SD)法で、三星 Engineering が建設している。現在、2 系列同 21 万 6,000 トンの体制にある。

DEG 同 9,500 トン、TEG 同 450 トンのほか、1999 年の系列増強に合わせ、SD 技術のエトキシレート年産 3 万トン設備も企業化している(三星 Engineering が建設)。

また西ジャワ Tangerang でポリエステル重合(チップ)同 4 万 5,000 トン~同短繊維同 4 万 3,800 トン~同 POY 同 6 万 3,000 トンの一貫生産体制を確立している。Karawang で、ポリエステル重合(チップ)同 2 万 4,850 トン~同短繊維同 4 万 2,000 トン~同フィラメント・ヤーン同 3 万 8,150 トンの一貫設備を稼働している。

(4) PT Styrimo Mono Indonesia (SMI)

1990 年 6 月設立のスチレンモノマー(SM)専門メーカー。旧トーメン(現:豊田通商) 68.42%、Bimantara Group 15.79%、Salim Chemicals 10.53%、出光石油化学 5.26%の出資構成で設立されたが、2007 年 4 月、センター会社の Chandra Asri が全株式を買収、子会社化した。

西ジャワ・メラク近郊のボジョネガラ(Bojonegara)で ABB Lummus 法 SM 年産 10 万トンを建設、1992 年末から商業生産を始めている。(東洋エンジニアリング(TEC)が建設)

当初、原料のエチルベンゼン(EB) は輸入していたが、1996 年、Mobil-Badger(現

Raytheon)法の同 11 万トン設備を新潟鉄工所の施工で建設、一貫生産体制に移行している。現在は EB 同 44 万トン/SM 向 40 万トン体制にある。

Chandra Asri は芳香族抽出も狙っており、次期増強計画中。

(5) PT Asahimas Chemical (ASC)

1986 年 9 月設立のインドネシア最大のクロルアルカリメーカー。

旭硝子グループ 52.5%、Rodamas および、Ableman Finance 各 18%、三菱商事 11.5% の出資構成。

1988 年 6 月、西ジャワ Anyer で旭硝子のイオン交換膜法 IAZECJ システムによる苛性ソーダ電解設備年産 13 万トンがまず稼働、1989 年 8 月には EDC 同 3 万トン、VCM 同 15 万トンおよび塩化ビニル樹脂(PVC)同 7 万トンも操開し、クロルアルカリ工場としての本格運営が始まった。(全て千代田化工が建設)

現在、苛性ソーダ電解設備は年産 38 万トン、VCM2 系列同 40 万トン、PVC 計 3 系列向 24 万トン、PVC3 系列同 28 万 5,000 トン体制である。

原料のエチレンは、エチレンセンターである Chandra Asri のほか、サウジの PETROKEMYA およびスポット市場からそれぞれ 3 分の 1 を受給、購入し、競争力維持・強化を図っている。2013 年第 1 四半期をメドに苛性ソーダ電解設備を年産 50 万トン体制とする計画。

(6) PT Satomo Indovyl Monomer (SIM)

Salim Group のソーダ電解メーカーの Sulfindo Adiusaha (SAU)が 51%、住友商事が 25%、Salim Group の香港の投資会社である Brenswick が 24% を出資する VCM メーカー。EDC~VCM、そして SIP の PVC と一貫の生産体制を確立している。

西ジャワ Bojonegara に位置し、苛性ソーダ年産 21 万 5,000 トンの電解設備のダウンストリームとして、EDC を年産 26 万 5,000 トン、VCM 同 10 万トン、SIP の塩ビ樹脂(PVC)同 7 万トンも含め一貫生産体制を確立している。(Krehs が建設)

エチレンは Chandra Asri から受給している。

(7) PT Showa Esterindo Indonesia (SEJ)

1997 年 8 月の設立の酢酸エチル専門メーカー。昭和電工 67%、現地 CVIndo Chemical 30%、トーマン 14%、シンガポールの Chin-Ron CLP 5%の出資構成。

西ジャワ Bojonegara の SMI の隣接地で、酢酸エチル年産 5 万トン(同 7 万トン含み)を完成、1999 年 3 月から稼働入りさせている。昭電独自のエチレン直接酸化法を採用。(IHI (旧:石川島播磨重工)が受注、建設)

(8) PT Mitsubishi Chemical Indonesia

1991 年 3 月設立の高純度テレフタル酸(PTA)メーカー。三菱化学(旧:三菱化成)57.4%、現地財閥の Bakrie & Brothers (B&B) 25.5%、日本アジア投資会社

(JAIC)17.1%。西ジャワ Merak の Ungal Indah の隣接地の位置し、三菱化学の技術で高純度テレフタル酸(PTA)年産 64 万トン体制にある。(日揮が建設)

(9) PTMC-PET Film Indonesia (旧 Bakri Dia-Hoylle)

1995 年 5 月、三菱化学と独 Hoechst の合弁、ダイヤホイールヘキスト(現：三菱化学ポリエステルフィルム)95%、BKC5%の出資で設立された PET チップおよびフィルム専門メーカー。Merak で、PET フィルム年産 2 万 5,000 トン、PET 重合(チップ)同 5 万 2,000 トン体制。(日立製作所と三星 Engineering が建設)

(10) PT Amoco-Mitsui PTA Indonesia (AMI)

BP Amoco Chemicals 50%、三井化学 45%、三井物産 5%出資の高純度テレフタル酸(PTA)専門メーカー。西ジャワ Merak の PENI の隣接地で、Amoco/三井法の PTA 年産 42 万トン生産。(千代田化工が受注、建設)

(11) PTPET Nesia Resindo

1994 年 12 月の設立。東レグループ 47.1%、三井化学グループ 41.6%、現地資本 5.8%、三井物産 5.5%出資のボトル用 PET 樹脂専門メーカー。Tangerang においてボトル用 PET 樹脂年産 7 万 5,000 トン(同 8 万 5,000 トンとも)生産。

(12) PT Polysindo Eka Perkasa

インドネシア最大のインド系繊維メーカーTexmaco Group の Multikarsa Investama が 69%出資する高純度テレフタル酸(PTA)、ポリエステル繊維メーカー。

ジャカルタ東方約 60km の西ジャワ Karawang で、Eastman Chemical 法の PTA 年産 35 万トン体制。Karawang および中央ジャワ Semarang で、トータル同 33 万トンのポリエステル短長繊維(PSF および PFY)、ヤーン設備を有しており、自消できるのが強み。

(13) PT Polyprima Karyareksa

Napan Group の高純度テレフタル酸(PTA)専門メーカー。

西ジャワ Cilegon で、Dupont(旧 ICI)法で PTA 年産 42 万トン体制にある。

(John Brown (現 Kvaerner)/大林産業(韓国)が建設)

3.2 過去の地震、津波とそれによる事故の発生状況及びリスク

3.2.1 地震と津波について

(1) インドネシアの構造的環境

図 3.2.1-1 はインドネシア周辺のプレートの状況を示している。南部ではインド洋・オーストラリアプレートが 6cm/年で移動してきて、ユーラシアプレートと衝突し、沈み込んで、スマトラ島とジャワ島に沿って海溝を形成している。東部からはフィリピンプレートや太平洋プレートが 11cm/年で押し寄せて、インドネシア東部（パプアニューギニア島西部海域）で沈み込み、複雑な構造になっている。このためインドネシアでは、過去から地震が頻発している。

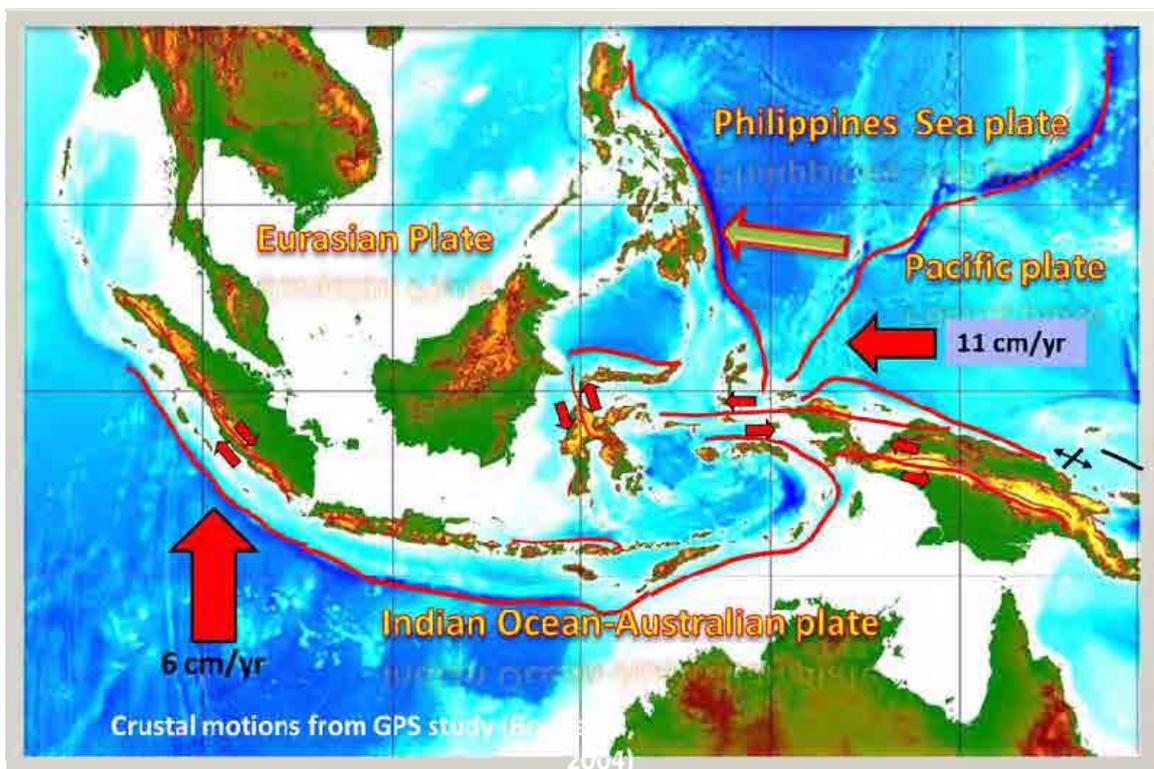


図 3.2.1-1 インドネシアの構造的環境

(出典: Meteorological Climatological and Geophysical agency of Indonesia (BMKG))

(2) インドネシアでの過去の地震データ

図 3.2.1-2 は、1973 年から 2011 年までのインドネシアでの地震活動をプロットしている。

大小の地震が頻発しているが、震源地が、図 3.2.1-2 の中のプレート同士が衝突して沈みこんでいる地形の複雑な地域に重なってベルト状に存在していることが分かる。

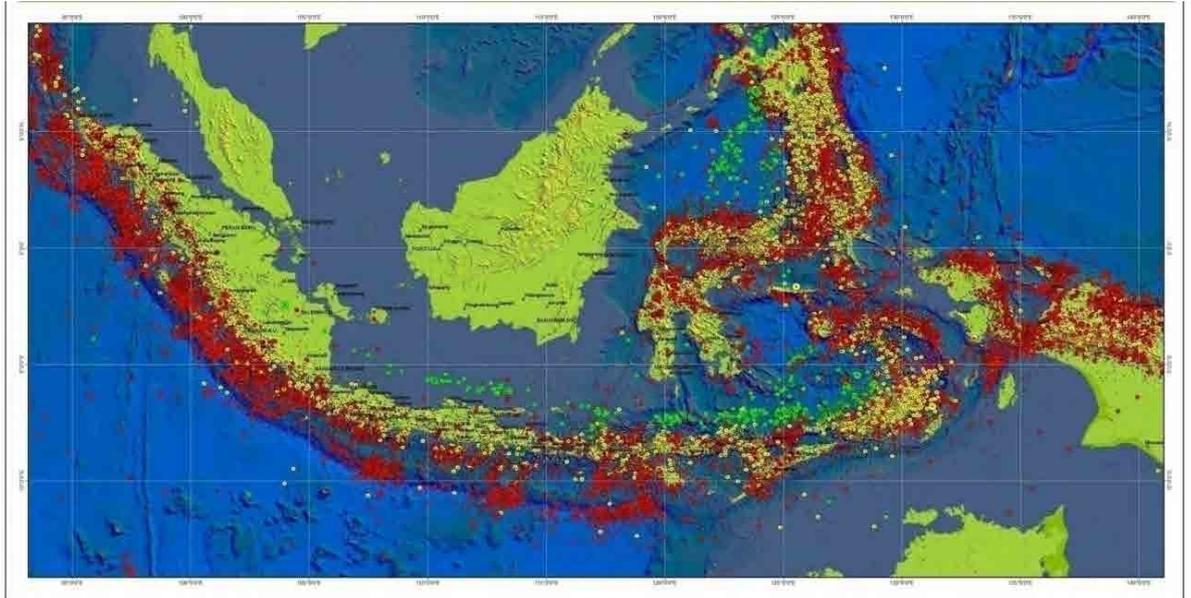


図 3.2.1-2 インドネシアにおける地震活動 (1773 年～2011 年)
 (出典 : Meteorological Climatological and Geophysical agency of Indonesia (BMKG))

下図 3.2.1-3 は、その中で大きな地震と津波を伴った地震を、インドネシアの公的機関がまとめものである。地震については黄色の点で示しているが、大きな地震は年 1 回以上の頻度で発生している。津波を伴うものについては赤色の点で示してあるが、データからは 2 年に 1 回程度の津波の被害が発生している。

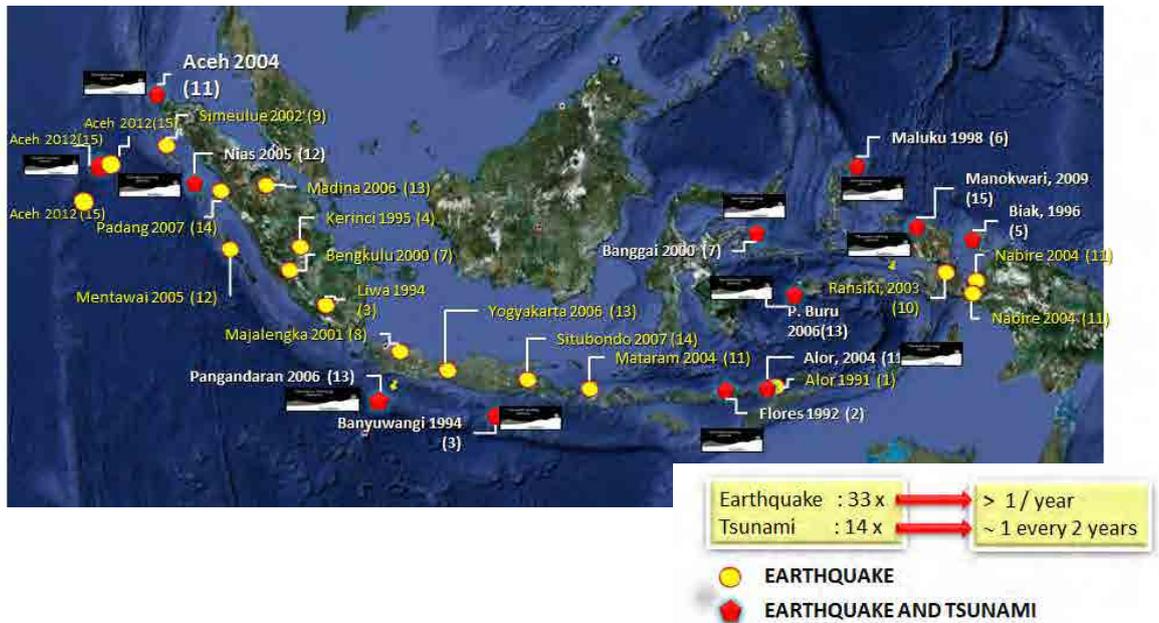


図 3.2.1-3 インドネシアの重大地震と津波を伴う地震
 (出典 : Meteorological Climatological and Geophysical agency of Indonesia (BMKG))

また、下表 3.2.1-1 は、図 3.2.1-3 をベースにして、地震の発生年、場所、津波の有無について地域別にまとめ直したものである。

表 3.2.1-1 インドネシアにおける地震の歴史

番号	地震発生地域	地震発生年	発生場所	津波の有無
1	北スマトラ	2002	Simeulue	
2		2004	Aceh	○
3		2005	Nias	○
4		2006	Madina	
5		2007	Padang	
6		2012	Aceh	○
7		2012	Aceh	
8		2012	Aceh	
9	中部スマトラ	1995	kerinci	
10		2005	Mentawai	
11	南スマトラ	2000	Bengkulu	
12		2007	Bengkulu	
13		1994	Liwa	
14	西ジャワ	2001	Majalengka	
15		2006	Yogyakarta	
16		2006	Pangandaran	○
17	東ジャワ	1994	Banyuwangi	○
18		2004	Mataram	
19		2007	Situbando	
20	インドネシア東部 (パプアニューギ ニア島西部海域) 同 上	1991	Alor	
21		1992	Flores	○
22		1996	Biak	○
23		1998	Maluku	○
24		2000	Banggai	○
25		2003	Ransiki	
26		2004	Alor	○
27		2004	Nabire	
28		2004	Nabire	
29		2006	P.Buru	○
30		2009	Manokwari	○

(出典 : Meteorological Climatological and Geophysical agency of Indonesia (BMKG)
 より調査団作成)

北スマトラでは、2004年の Aceh 沖のスマトラ・アンダマン地震以降、巨大地震が多発するようになっているという。

津波を伴う地震は、スマトラ沖、ジャワ島沖の海溝部やインドネシア東部（パプアニューギニア島西部海域）での発生に集中しているのが特徴である。

3.2.2 地震・津波による被害状況

前項にてインドネシアの公的機関による「地震・津波の発生状況」を見たが、以下の表 3.2.2-1 では、世界の情報をベースにインドネシアにおける「地震・津波による被害状況」をも加味してまとめている。

巨大地震がスマトラ島に多くみられ被害も大きくなっているのに対して、東部の島礁地域では、巨大地震も散発しているが、むしろ大地震～中地震クラスが多発しており、中小規模の地震であっても津波が併発している場合が多いことがうかがえる。

表 3.2.2.-1 地震規模と被害状況

番号	発生時	場所	M	特徴・被害状況(出典*2)	出典
スマトラ北部					
1	1935/12/28	-	7.7-8.1	-	*2
2	2002/11/2	-	7.4	-	*1
3	2004/12/26	Aceh 沖 スマトラ・アンダマン地震	9.1	死不 283,000 超 負傷者数十万 これ以降、インドネシアで巨大地震が続発	*1 *3
4	2005/1/1	西海岸沖	6.7	-	*1
5	2005/2/26	シムルエ	6.8	-	*1
6	2005/3/28	2004年のスマトラ・アンダマン地震のすぐ西隣	8.6	死不 1300-1700 広域被害	*1 *3
7	2005/4/10	ムンタワイ諸島	6.7	-	*1
8	2005/5/14	ニアス地域	6.7	-	*1
9	2005/5/19	ニアス地域	6.9	-	*1
10	2005/7/5	ニアス地域	6.7	-	*1
11	2005/11/19	シムルエ	6.5	-	*1
12	2006/5/16	ニアス地域	6.8	-	*1
13	2007/9/12	ムンタワイ諸島	7.9	-	*1
14	2008/2/20	シムルエ	7.4	-	*1
15	2009/8/16	ムンタワイ諸島	6.7	-	*1
16	2010/4/7	西海岸沖	7.8	負傷者あり。小津波？	*2

番号	発生時	場所	M	特徴・被害状況(出典*2)	出典
17	2010/5/9	-	7.2	-	*1
18	2012/4/11	西海岸沖	8.6	死亡 10 数名	*1
19	2012/4/11	西海岸沖	8.2		*1
スマトラ中部					
20	2010/10/25	西海岸沖	7.5-7.7	死不 700 超 メンタワイ諸島で津波	*2
スマトラ南部					
21	2000/6/4	-	7.9	死不 100 以上	*1
22	2004/7/25	-	7.3	-	*1
23	2007/3/6	-	6.4	-	*1
24	2007/8/5	-	8.5	死不 2、小津波	*1
24	2007/9/12	ブングル州	8.5	死 25	*3
25	2007/9/20	-	6.7	-	*1
26	2007/10/24	-	6.8	-	*1
27	2009/9/30	-	7.5	死不 1200-数千 (?) 負傷者多数 西スマトラ州都バダン 等で大被害	*2
28	2009/10/1	-	6.6	-	*1
ジャワ島					
29	1943/7/23	ジャワ島中部沖	7.6-8.1	死 210 ジョグジャカルタ被災	*2
30	1994/6/6	-	7.8	死 27 以上、津波	*2
31	2006/5/26	バントゥール地域	6.3	死 5800 負傷者 3 万数千人 建物 70-80%倒壊	*1 *3
32	2006/7/17	ジャワ南東部 バンガンダラン地 震	7.7	死不 850 超、津波	*1
33	2007/8/8	-	7.5	-	*1
34	2009/9/2	西ジャワ	7.0	死 81、不明 47	*1,*3
インドネシア東部					
35	1932.5.14	モルッカ海	8.0-8.3	死 5~多数	*2
36	1938/2/1	バンダ海	8.5	大津波	*1
37	1948/3	セラム海	7.9	-	*2
38	1950/11/2	バンダ海	7.4-8.1		
39	1963/11/04	バンダ海	7.8-8.2	-	*2

番号	発生時	場所	M	特徴・被害状況(出典*2)	出典
40	1965/1/24	セラム海	7.6	-	*1
41	1971/1/10	イリアンジャヤ	7.9-8.1	-	*2
42	1976/6/21	パプア	7.1	-	*1
43	1977/8/19	スンバワ島 スンバワ地震	8.2-8.3	死不 180、大津波	*2
44	1979/9/12	イリアンジャヤ	7.5-7.9	死 15	*2
45	1992/12/12	フロレス島 フロレス地震	7.8	死不 2500 以上、 津波 Max25m	*1
46	1996/2/17	イリアンジャヤ	8.1-8.2	死不 170 大津波 (6-7m)	*2
47	1996/6/17	フロレス海	7.3	死不 14、小津波	*2
48	1998/11/29	セラム海	7.7	死 40 余、津波	*2
49	2001/10/19	バンダ海	7.5	-	*2
50	2002/10/10	イリアンジャヤ	7.6	-	*1
51	2003/5/26	ハルマヘア島	7.0	-	*1
52	2004/1/28	セラム海	6.7	-	*1
53	2004/2/5	イリアンジャヤ	7.0	-	*1
54	2004/2/7	イリアンジャヤ	7.5	-	*1
55	2004/11/26	パプア	7.1	-	*1
56	2005/3/2	バンダ海	7.1	-	*1
57	2006/1/27	バンダ海	7.6	-	*1
58	2006/3/14	セラム海	6.7	-	*1
59	2007/11/25	スンバワ島地域	6.5	-	*1
60	2009/1/3	パプア北岸(ニュー ギニア)	7.4	死 4、不明 数名	*1
61	2009/2/11	タラウド諸島	7.2	-	*1
62	2009/8/28	バンダ海	6.9	-	*1
63	2009/11/8	スンバワ島地域	6.6	-	*1
64	2009/10/24	バンダ海	6.9	-	*1
インドネシア北部					
65	1938/5/19	スラウェシ島	7.6-7.9	死多数	*2
66	1939/12/21	スラウェシ島	7.8-8.6	-	*2
67	1996/1/1	スラウェシ島	7.6	死 8、津波	*2
68	2005/2/5	スラウェシ海	7.1	-	*1
69	2005/2/19	スラウェシ島	6.5	-	*1
70	2000/5/4	スラウェシ島	7.4-7.6	死不 50	*2

番号	発生時	場所	M	特徴・被害状況(出典*2)	出典
71	2008/2/25	ムンタワイ諸島地 域	7.2	-	*1
72	2008/11/16	ミナハサ スラウエシ島	7.4	-	*1
73	2009/10/7	スラウエシ海	6.8	-	*1

(出典：*1 USGS Home Page , Magnitude 6.0 and Greater

*2 G-ma 地域研究シリーズ/E-005, 世界の主な巨大地震

*3 アジア防災センターより調査団作成)

3.2.3 今後のリスク

以上のような過去の地震災害を踏まえて、インドネシアでは、下図 3.2.3-1 のように全国をレベル別に「Zone ①～⑥」に分けて管理している。赤が最も危険な領域である。

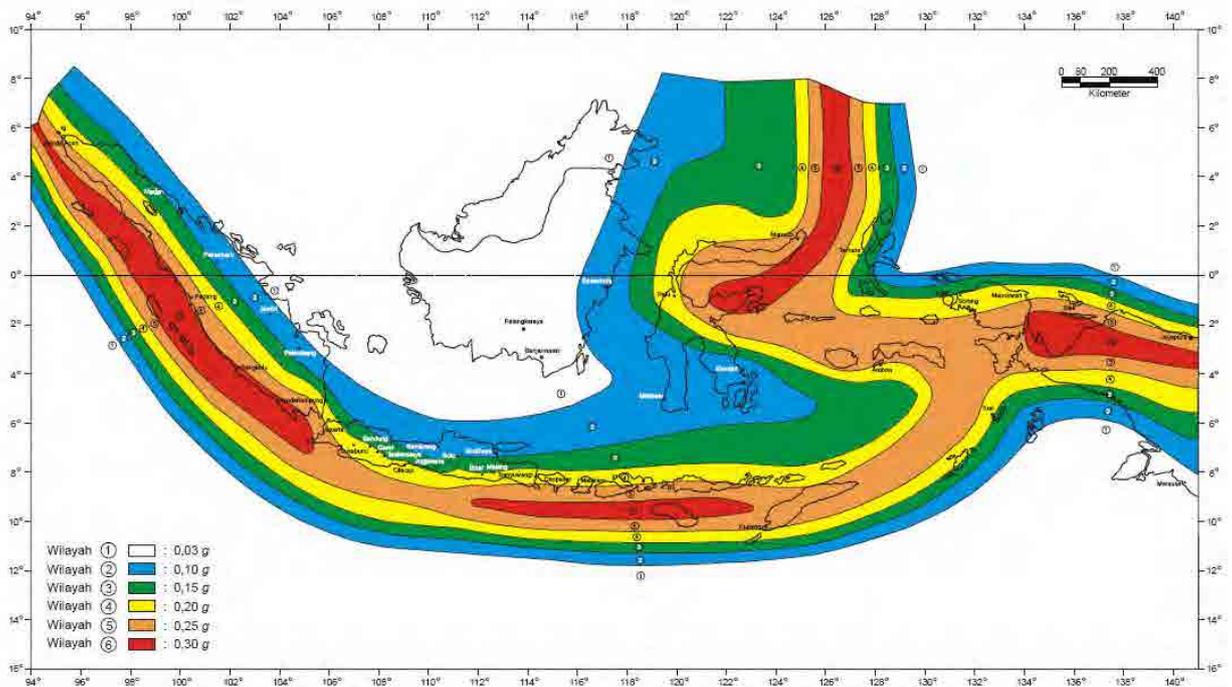


図 3.2.3-1 インドネシアの地震ハザードマップ (SNI-03-1726-2002)

(出典：Research Institute for Human Settlements, Agency for Research and Development
Ministry of Public Works – Indonesia (PUSKIM))

この中でも最も危険度の高いスマトラ島西部の海溝部については、100年周期の地震に関する次ページ図 3.2.3-2 の仮説がある。北スマトラ西部の Aceh 沖では 2004 年に $M=9.1$ の超巨大地震が発生してストレスが解放されているので、今後の 100 年間では $M=7.9$ 程度が予想されているが、それ以南では、スマトラ島とジャワ島間のスンダ海峽沖にかけて $M=8.5$ 前後の巨大地震が予想されている。

また、次ページ図 3.2.3-3 は、スンダ海峽付近の地震モーメント率を示している。

赤い部分ほどストレスがかかっており、地震が発生しやすいことを示している。

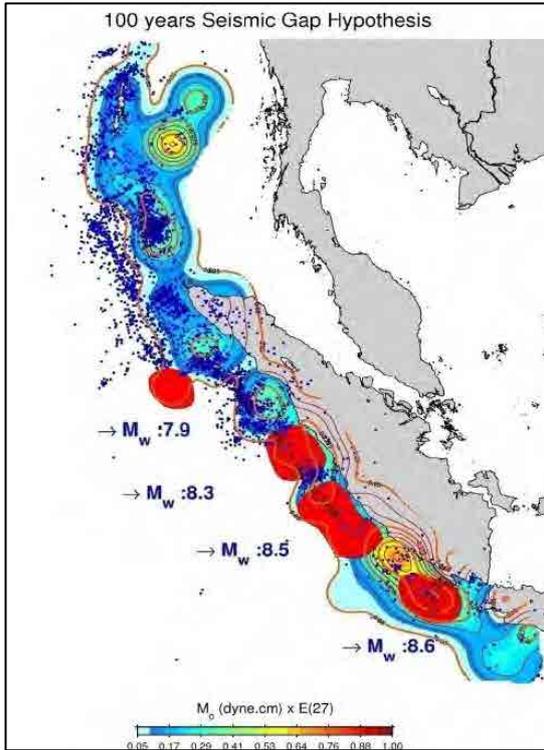


図 3.2.3-2 100 年単位の地震仮説
(出典： Badan Pengkajian dan penerapan
Teknologi (BPPT))

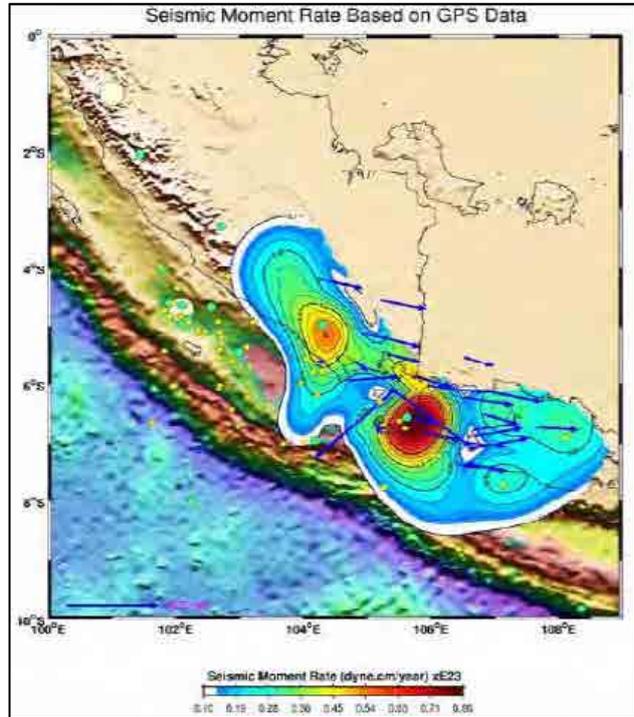
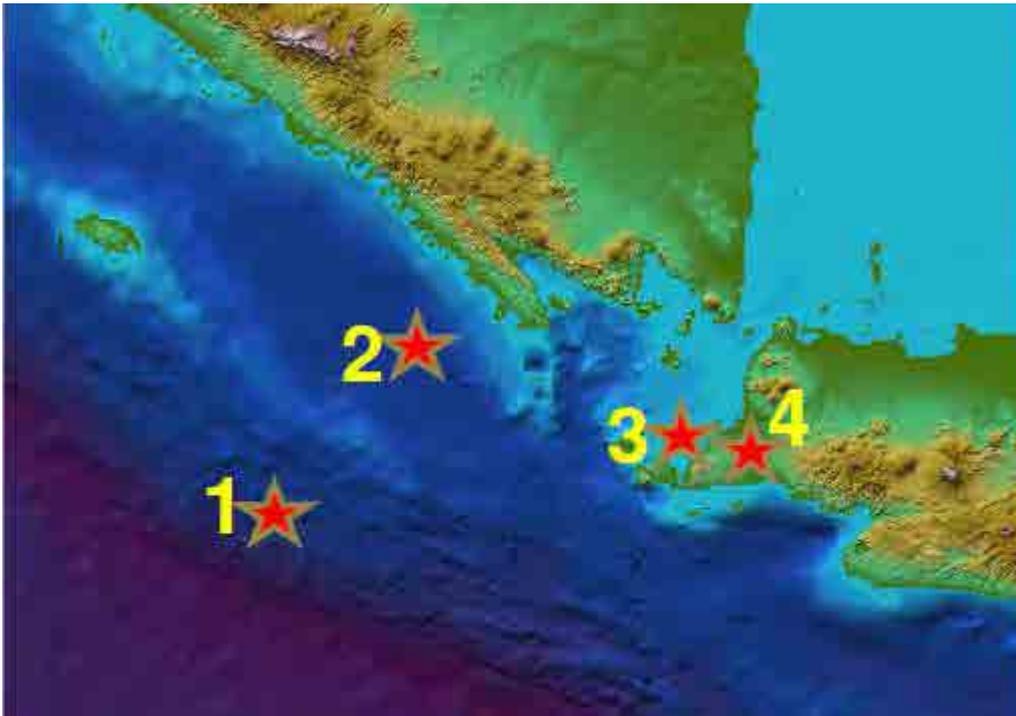


図 3.2.3-3 GPS データによる地震モーメント率
(出典： BPPT)

スンダ海峡に面して、図 3.1.2-1 チレゴン・メラク工業地帯 (出典：アジアの石油化学工業 2011 年版) の地図に示したインドネシアで最も大きな工業地域であるチレゴン・メラク工業地帯がある。地盤にストレスの溜まったスンダ海峡近辺で地震が発生した場合の 4 つのケーススタディーが、図 3.2.3-4 のように実施されている。



Skenario	Mw	Epicenter		L (km)	W (km)	D (m)	Strike	Dip	Slip	Depth (km)
1	8.6	102.94	-6.89	300	80	10	320°	145°	83°	10
2	8.6	104.13	-6.22	300	80	10	320°	105°	83°	60
3	7.5	105.44	-6.50	100	40	7	215°	8°	83°	10
4	7.5	105.91	-6.67	100	40	7	215°	8°	83°	10

図 3.2.3-4 スンダ海峡近辺における地震のシナリオ検討

(出典：BPPT)

図 3.2.3-5 は、マグニチュードは明記されていないが、南緯 7 度、東経 105 度付近で地震が発生した場合の津波の伝播状況の 5 分ごとのシミュレーションである。

津波は、メラクに 1 時間 15 分後に、エロトンにはおよそ 4 時間 10 分後に到達するという予想である。

津波の大きさ・高さは、当然のことながら、マグニチュードや地形に関連してくる。

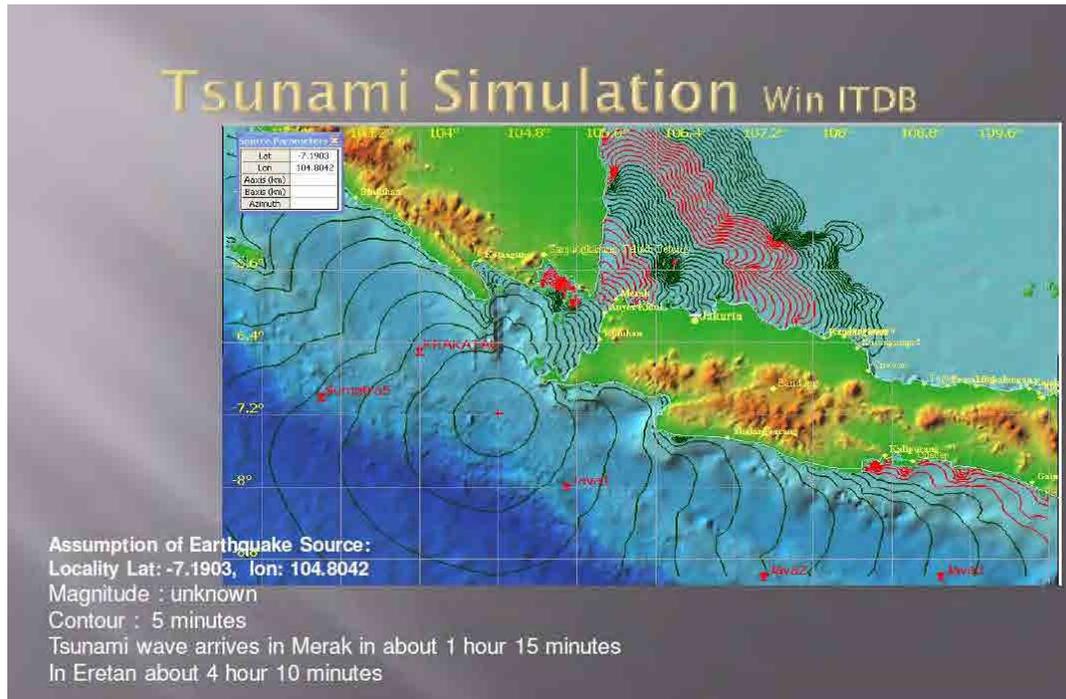


図 3.2.3-5 スンダ海峡近辺における津波シミュレーション

(出典：BPPT)

インドネシアでは日本と同様に地震の多発と共に火山活動も盛んである。スンダ海峡の中央部には過去の大噴火で有名なクラカタア火山がある。1983年5月20日の大噴火では地震と共に大量の噴出物を排出した結果、広域のカルデラが生じ津波が発生し、36,417人が死亡している。

3.3 インドネシア国におけるプラントに関する法制度・耐震基準

(1) 法制度・耐震基準の変遷

インドネシア国の耐震設計基準は、米国 UBC (Uniform Building Code) に基づいており、UBCの耐震を含む設計荷重の考え方は、ASCE 7 (Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, American Society of Civil Engineers) に基づいている。SNI-02-1726-2002 が最新で現在改訂作業中である。国内の地域ごとの地震の Zone Mapping は改訂したものが制定されている。

(2) 耐震設計基準の適用を受ける構造物

耐震設計基準 SNI-02-1726-2002 の適用を受ける構造物は、公共事業省所管の建築物、構造物で、タンク等の基準は工業省所管であるが、現在は次のような米国の基準を準用している。

圧力容器	UBC (Zone Factor は SNI)
タンク	API650 Appendix E
配管	ASME B31.3

(3) 考慮すべき地震動

インドネシア耐震設計基準 (SNI-1726-2002)は、インドネシア国内の PGA マップにより地域を最大基盤加速度 0.03g から 0.3g までの 6 段階の地震ゾーンに分類している。最大地表面加速度は各地震ゾーンに対して 4 種類の土壌の条件により 0.04g から 0.38g まで分類されている。設計最大地表面加速度を計算するために、3 種類の土壌条件により、再現周期 500 年の地震を基準に 6 段階の地震ゾーンに対して地震応答倍率を定めている。

以下の項目を含め、詳細は添付資料 “インドネシア耐震設計基準 (SNI-1726-2002) の地震力について” を参照のこと。

(4) 保有すべき耐震性能

建物の重要度により 5 種類の重要度係数を規定している。建築構造物の塑性率 (ダクティリティー) の程度に応じた低減係数による補正を行っている。

(5) 設計法

通常の建築構造物の設計法を用いている。

(6) 評価方法

構造物の基礎にかかるせん断力と、部材各部にかかる水平力を計算し部材の許容応力と比較することによって行う。

3.4 インドネシア国におけるプラントに関する防災計画、保安・防災体制

3.4.1 地震ハザードマップの作成と活用

インドネシアでは地震ハザードマップを作成して注意を喚起している。最初に作成されたのは 1983 年であり、その後何回か改訂され、現在使用されているのは 2002 年に作成された。(図 3.2.3-1 インドネシアの地震ハザードマップ (SNI-03-1726-2002)) 現在更に改訂中であるが、過去からの変遷を含めて詳細は、**3.6.1** を参照されたい。

3.4.2 地震・津波に関する早期警報システム

インドネシアでは、早期の警告システムとして 160 か所のブロードバンド地震計を設置してネットワークを形成している。図 3.4.2-1 はその様子をしている。

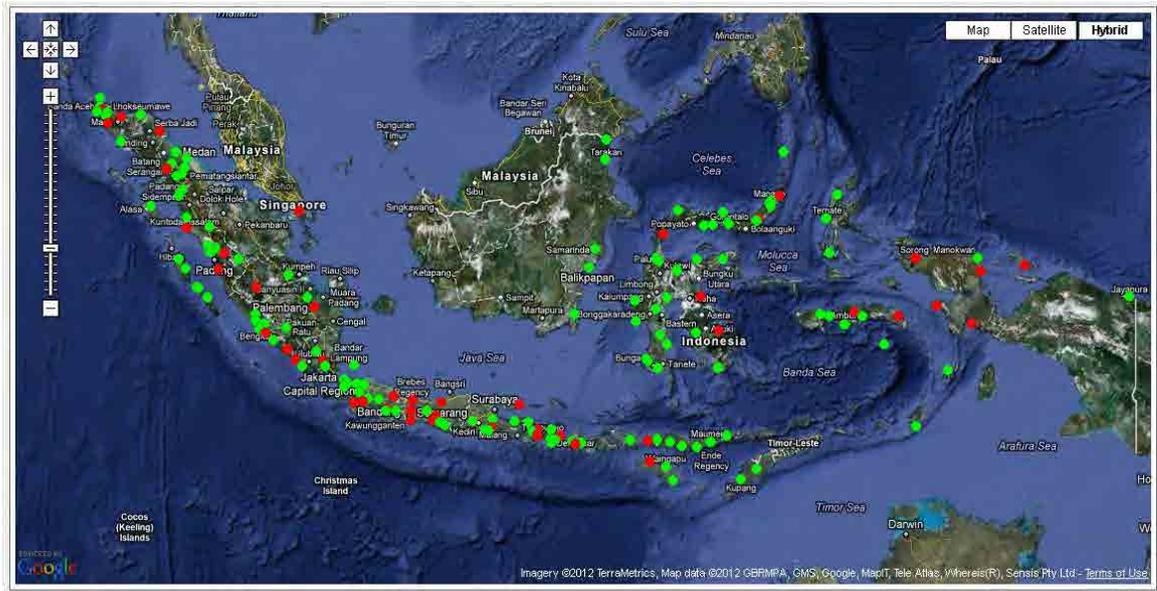


図 3.4.2-1 160 か所の地震計ネットワークシステム

(出典：BMKG)

3.4.3 各社の実例 (第2次調査ヒアリングより)

(1) PetroChina International Jabung Ltd (Betara Gas Complex) (ガスプロセッシング)

1) 事業の概要

スマトラ島中部の Jambi から北東に直線距離で 50Km に位置する。周辺の多数の井戸元からガス留分を集積し、分留・精製をしている。原料ガス留分は C1、C2、C3、C4 およびコンデンセートであるが、約 40%の CO₂ を含有する (H₂S はない) ためアミン処理をしている。

生産量： Liq. …23,000bpd
Gas…100MMSCFD

2) 地震状況と耐震対策

- ・災害には地震及びその他の自然災害と火災があるが、スマトラ島の中部に位置する会社として最大の懸念は地震である。
- ・スマトラ島はインド洋側に活火山脈があり、雨はマラッカ海峡側へストレートに流れる。プラントはその中流域に位置するので地盤は沖積層ではなく比較的しっかりしている。
- ・2004 年の北スマトラ (Aceh) の大地震(M=9.1)による津波の時は建設中であり、揺れについては不明だが、津波はスマトラ島の反対側なので近辺での被害はなかった。

- ・2007年の Bengkulu での地震(M=8.5)の時は運転中であったが、震源地から 200～300km しか離れていないため塔槽が激しく揺れた。建築構造物・塔槽類・配管やパイプラインには変形・変位・漏れなどの損傷は全く無かった。土壌は粘土質で柔らかいが液状化はなかった。100km 位離れている井戸元に問題があったのではないかと疑ったが、調査の結果問題はなかった。
- ・プラントの基礎は杭基礎を採用している。
- ・耐震設計は UBC 1997 を適用している。

3) 防災対策

- ・国の災害対策としては、Indonesia Government Regulation がある。
- ・工場としては、Emergency Response Plan (ERP)がある。
- ・プラントのシャットダウンは Field Manager が判断するが、Emergency の場合は、誰でもシャットダウン用のボタンを押せる体制である。まずプラントをブロックし、脱圧後、従業員を避難させる。停止した場合、事情を監督官庁である MIGAS に報告することになっている。

(2) PT. Mitsubishi Chemical Indonesia (MCCI) (メラク工場)

1) 事業の概要

該工場は三菱化学の海外の工場の中でも最初の工場であり、ジャカルタの西方約 110km の半島のチレゴンのメラクの海岸に立地している。建設当時はインフラが何もなく、電気、水等すべて自前で整備した全くの Grass roots プラントである。この地域の沿岸には 50 以上の化学工業を中心とした企業が立地している。その中には、チャンドラ・アスリ、旭化成、三井化学、昭和電工、新日鉄化学等の関連会社が含まれる。エンジニアリング関係では新興プランテックがある。最近の話題としては、POSCO が一貫製鉄所、Lotte が Refinery を計画しており、韓国勢の進出が目覚ましい。

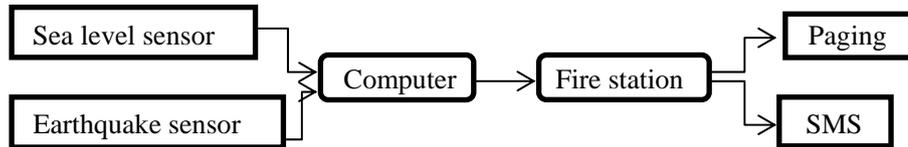
敷地面積=34ha で、PTA=60 万トン、PET=60 万トンを生産。

2) 地震状況と耐震対策

- ・本工場開設以来 13 年、この地区で大きな地震を感じたことはない。津波に関しては、海底火山の爆発による 30 m の津波があったとの言い伝えがある。
- ・MCCI の知る限り、この地区の石油精製、石油化学系のプラントで構造物に問題があると思えるプラントの事例は思いつかない。
- ・PTA 設備の BEDD (Basic Engineering Design Data) は JGC が 1990 年ころに建設した。
- ・MCCI では、耐震設計条件の比較表（日本の規定、国内既設プラントの実例、インドネシアのプラントの設計条件）を保有しており、耐震に対する関心が高い。

3) 防災対策

- ・自然災害および緊急対応シナリオについては以下の通りに設定している。
- ・2004年のアチエの大地震津波の後、“Earth Quake & Tsunami Warning system”を2005年に確立した。以下の流れとなっている。



また地震のレベルにより次のような対応を取る

Level 1	20 gal >	運転継続
Level 2	20 gal ≤ < 40 gal	被害がなければ運転継続
Level 3	40 gal ≤ < 79 gal	Process stop, Utility operation
Level 4	80 gal ≤	Total Shut down

- ・プラントの緊急停止は、マニュアルで行う。これまでの運転では一度も止めたことはない。SMSは時々アラームが鳴ることがある。
- ・津波対策としては、津波が来た場合のシミュレーションを行い、5m、10mでの浸水エリアの想定をしている。避難ルート、場所も規定されており、毎年1回訓練が行われている。

4) その他

- ・メンテナンスに関しては、法律や基準による圧力容器等の保安検査に関する規定はない。
- ・MCCIでは当初日本並みの定期検査を毎年1回実施してきたが、近年では2年に1回のペースになっている。インドネシアでは、最低レベルの故障した都度メンテナンスから5年、4年等プラント、オーナーによりさまざまなインターバルでメンテナンスが行われている。

(3) PT REKAYASA INDUSTRI Engineering & Construction 本社 (エンジニアリング)

1) 事業の概要

- ・インドネシアを代表する総合エンジニアリング企業で、ガス、石油、石油化学プラントの設計、調達、建設を主な業務としている。

2) インドネシアにおける非建築構造物の耐震設計について

- ・インドネシアの耐震設計基準である Seismic Resistance Design Standard for Buildings (Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung)

or SNI-02-1726-2002 には、圧力容器、タンク、配管などの非建築構造物の耐震設計法に関する記述がないが、これらの非建築構造物の耐震設計の実態については以下の通りとの情報を得た。

- * Zone Factor (地域係数) だけは SNI-02-1726-2002 に依っている。
SNI-02-1726-2002 によって決められた地域係数と等価な地域係数を持つ Zone を UBC の中から選び、それ以降は UBC に沿った計算を(国際的に使用されている市販設計ソフトを使って)行っている。
- * タンクは API 650 Appendix E、配管は ASME B31.3 に従って計算を行う。

- ・ SNI-02-1726-2002 と UBC での応答スペクトルの相違に関しては、SNI-02-1726-2002 も UBC も最大応答倍率は同じである。ただし、最大応答倍率の領域が異なる。すなわち、高さ 40 メートル以上の構造物の場合に UBC との相違が出てくる。その場合、建築構造物は修正を行うが、圧力容器については特に気にせず UBC 通りに設計する。UBC を適用することは顧客も望んでいる。

3.5 プラントの耐震設計実態の把握

インドネシアには耐震設計基準 SNI-1726-2002 (現在の最新版は 2002 年版) が存在する。これは UBC、IBC などのアメリカ規格をベースに作られたもので、計算方法は UBC と整合性がある。したがって、SNI-1726-2002 自体は建築構造物のみ対象としていて非建築構造物(プラント)への適用方法についての記述がないが、UBC を適用することにより非建築構造物の耐震設計が可能となる。

REKAYASA 社に確認したところでは、SNI で定められた地域係数と等価な地域係数を持つ UBC 上の地域(Zone)を選択し、それ以降の計算はすべて UBC に従った設計を国際的な市販ソフトを用いて行っているとのことであった。UBC と SNI-1726-2002 では応答スペクトルが固有周期の長い部分において相違が出てくるが、その影響は小さい。そのような場合、建築構造物については補正を行うが、圧力容器などは気にせずそのままの計算とするとのことであった。

このように、インドネシアにおけるプラントの耐震設計は全面的に UBC に依っているが、UBC は 1997 年を最後に改定が行われていないため、IBC や ASCE 7 のようなもっと新しいアメリカ基準に依るべきではないかとの疑問も持っているようであった。

SNI-1726-2002 の改定版が 2010 年に素案が作成され、現在承認作業が行われているが、今現在承認されていない。

3.6 想定される地震規模によるプラントへのダメージのシュミレーション及び想定される対応案

インドネシアにおける耐震設計基準と地震ハザードマップを調査し、それらに基づいて過去に耐震設計されたプラント、もしくは将来耐震設計されるであろうプラントのダメージを予測し、課題と対応策を提言する。

3.6.1 プラントの耐震設計基準および地震ハザードマップの変遷

インドネシアでは、プラント設備に限定した耐震設計基準は制定されていない。建築物の耐震設計基準および地震ハザードマップの変遷は次のとおりである。

(1) PPTI-UG-1983 “Indonesian Earthquake Resistant Design Code for Building”

- ・ Hazard Map : 図 3.6.1-1 を参照のこと。地域区分のみが示されており、PGA の値は不明である。

(2) SNI 03-1726-1989 “Earthquake Resistant Design Method for Houses and Buildings”

- ・ 入手していない。

(3) SNI 03-1726-2002 “Seismic Resistance Design Standard for Buildings”

- ・ Design Code : UBC 1997 を参考に改訂された。
- ・ Hazard Map : 図 3.6.1-2 を参照のこと。

(4) 新版が現在改訂中で、ドラフトが完成している。

- ・ Design Code : IBC の最新版に従って改訂。
- ・ Hazard Map : 図 3.6.1-3 を参照のこと。2010 年に公開されたが、耐震設計にはまだ使用されていない。

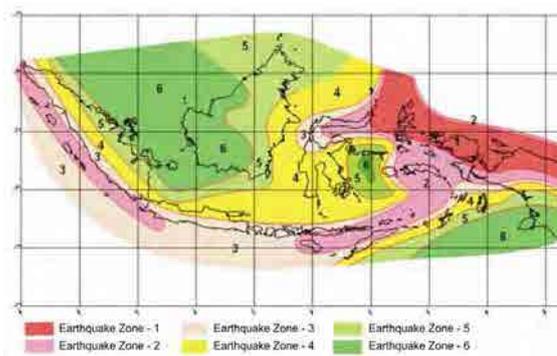


図 3.6.1-1 PPTI-UG 1983 の PGA マップ
(出典 : Summary of Study:Development of Seismic Hazard Maps of Indonesia for Revision of Hazard Map in SNI 03-1726-2002)

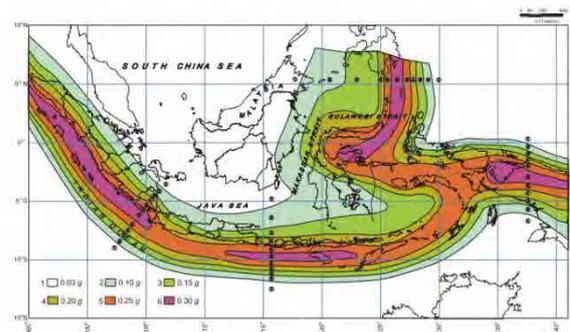


図 3.6.1-2 SNI-1726-2002 の PGA マップ
50 年超過確率 10% (再現期間 475 年)
(出典 : Seismic Resistance Design Standard for Buildings)

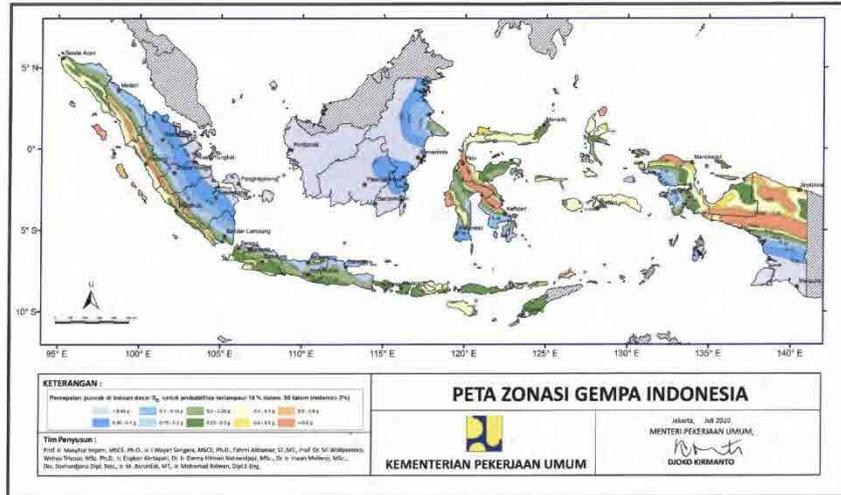


図 3.6.1-3 2010 年改訂後の PGA マップ
50 年超過確率 10% (再現期間 475 年)
(出典：KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM)

3.6.2 耐震設計基準の概要

通常の建物の耐震設計では水平方向の揺れに対して作用する力を計算して建物の部材を決定する。

現行の建築物の耐震設計基準 (SNI 03-1726-2002) に示されている建物に作用する水平方向地震力の算定方法の概要を添付資料 I に示す。同基準では水平方向の設計地震力は次の 5 つの指標で規定されている。

- (1) 地震基盤¹⁾における地震動の大きさを表す指標で、地震ハザードマップの PGA で与えられる。(図 3.6.1-2 参照)
- (2) 表層地盤における地震動の増幅の大きさを表す指標で、表層地盤の地盤種別と構造物の 1 次固有周期に対する応答倍率関数が定められている。(図 3.6.2-1 参照)
- (3) 重要度による地震力の割増係数で、建物の用途に応じた数値が定められている。
- (4) ダクティリティー (塑性変形性能)²⁾の程度による地震力の低減係数で、建物の構造種別と架構形式に応じた数値が定められている。
- (5) 建物の積載荷重を含む総重量。

¹⁾ 地震基盤：比較的軟らかな表層地盤における地震動の増幅やばらつきの影響をあまり受けない硬い層

²⁾ ダクティリティー (塑性変形性能)：構造物が材料的に降伏することによって塑性変形し、地震エネルギーを吸収する性能

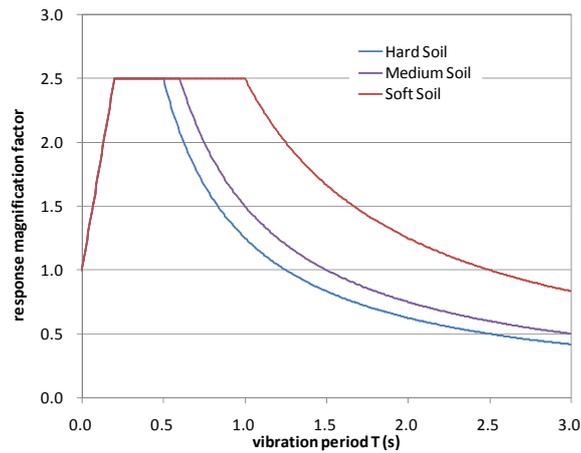


図 3.6.2-1 設計地震動の応答倍率係数
(出典：調査団作成)

3.6.3 ダメージの予測

3.6.2 に示した水平方向の地震力を規定する 5 つの指標のうち、耐震設計基準で値が規定される(1)~(4)を対象に、(1)については PGA マップの変遷を比較し、(2)~(4)については SNI を ASCE 7-05 (American Society of Civil Engineers)と比較し、構造物の設計用ベースシア（最下層の全水平地震力）の大小から設計されたプラント構造物のダメージの可能性を考察する。

- (1) 地震ハザードマップはそのときの最新の知見に基づいて何度か更新され、PGA の値が大きくなってきている。従ってサイトのハザードマップの PGA が新旧で差がある場合には、古いハザードマップで設計されたプラントが最新のハザードマップでは不適合になる可能性があるため、設備の耐震性能を再検討し、適切な補強を計画することが望ましい。
- (2) 2002 年版よりさらに古い耐震設計基準（1983 年版，1989 年版）は、入手していないので明言は控えるが、PGA がさらに小さく、また 3.6.2(2)~(4)において最新の知見がまだ取り入れられていなかったことが考えられ、これらの基準で設計されたプラントは 2002 年度版で設計されたプラント以上に耐震性能が劣っている可能性がある。
- (3) プラント設備には架構型式が建築物の耐震設計基準に該当しないものがあるので、そのような構造物のダクティリティーの程度による地震力の補正については他国の基準を参考に別途定めることが望ましい。
- (4) プラント設備では用途が建築物の耐震設計基準に合致しない場合があるので、損傷が周辺の安全に及ぼす影響が大きい設備については、リスクの大きさの程度に応

じた重要度係数を別途定めることが望ましい。

3.7 インドネシア国におけるプラントの耐震技術のレベルの確認

インドネシアの地震観測面において、日本の気象庁に相当する BMKG(Metrological Climatological and Geophysical Agency)は、日本を含む海外との技術交流を実施している。また REKAYASA や PT. Inti Karya Persada Tehnik (IKPT) のようなエンジニアリング会社ではプラントの耐震設計・建設を曲りなりに行っている。これらの企業は過去・現在日本等のエンジニアリング会社と連合を組んで技術の向上を図ってきた。しかし、LNG、石油精製、石油化学のような大規模なプラントでは現在も海外のコントラクターと地場のエンジニアリング会社の組み合わせでプラントの設計・建設がなされている。また防災計画については BNPB (National Agency for Disaster Management) のような機関があって防災に対しての体制が整っている。このようにインドネシアでは地震国ゆえ、耐震技術に関心が深い。

インドネシアは基本的に火山活動が活発な地震国であるため、地震に関心を持つ学者・研究者は多数いて耐震基準の作成、改定に熱心である。また、インドネシアには多数の大型の石油精製・天然ガス液化・石油化学プラントが存在する。しかし、それらのほとんどは海外のエンジニアリング会社か国内の REKAYASA のような大手エンジニアリング企業によって設計されたものである。また、それらのエンジニアリング会社においては各設備がそれぞれの担当部署のエンジニアによって国際的な設計ソフトを使い UBC のようなアメリカの耐震設計基準を適用して設計されている。したがってエンジニアリング段階においてはインドネシアの耐震設計基準を意識することなく作業が行われている。そのため、インドネシアの国家基準と実際の耐震設計とが、合致していないという問題がある。非建築構造物に対する耐震設計基準の整備が必要である。

3.8 プラント耐震対策に対する啓発活動

3.8.1 セミナーの実施概要

(1) 第1回セミナー

開催日 : 2012年6月20日

会場 : BPPT 講堂

内容 : 調査団側からは、幅広い参加者に今回の調査の目的と、日本のプラントに対する耐震技術と防災に関して知ってもらうことに重点を置いて次の4つのテーマを発表した。

- ① Outline and Plan of the JICA Project
- ② Overview of Japanese Seismic Technologies
- ③ Japanese Seismic Laws and Codes for Plant Engineering

④ Disaster Management in Japan

一方、インドネシア側からは、インドネシアにおける耐震設計基準、地震観測体制、LPG ターミナル選定における地震・津波の検討といったより具体的な発表があった。

参加者 : 65名

主要な質疑：日本側の発表に対する主な質疑は、土壌の液状化のモデル、地下タンクの耐震設計基準、地震時の設備停止基準、BCPの基準、2次災害の防止、等多岐にわたるテーマについて活発に行われた。

(2) 第2回セミナー

開催日 : 2012年9月7日

会場 : BPPT 講堂

内容 : 調査団側からは、前回調査に基づく調査結果及びセミナーの質疑とアンケート結果から、その要望に沿ったより具体的なテーマとして、三カ国の耐震設計基準の違いによる設計結果の違いについて、耐震診断方法、Life Cycle Cost を考慮した地震リスクマネジメント、日本で石油精製・石油化学プラントの設計・建設に用いられている法律・耐震設計基準、日本の製油所の具体的防災システム等を含む次の4つのテーマを発表した。

① Insight about the JICA Seismic Technology Survey Project

② Proposal of Seismic Design Methods for Plant Facilities in Indonesia and Introduction of Seismic Assessment Methods for Existing Plant Facilities in Japan

③ Comparison of seismic design results based on various national codes

④ Disaster Prevention System of Refineries in Japan

インドネシア側からは、Pertamina からの耐震設計係数、PT Chandra Asri Petrochemical Tbk (CAP) からの石油化学工場の防災計画といった企業からの実務に直結した発表があった。

参加者 : 70名

主要な質疑：耐震技術者の育成方法、耐震診断の基準、プルタミナの防災体制などの対するテーマについて活発に質疑が行われた。開催日が金曜日だったため、時間的制約があり、防災関連の質疑は実施できなかった。

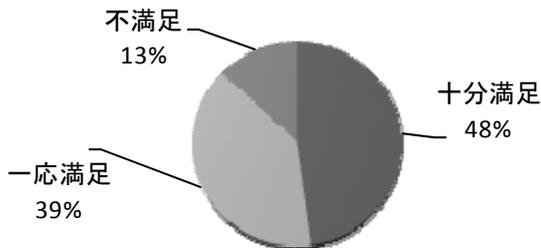
3.8.2 セミナーのアンケート結果

今回のセミナーでは、セミナーの登録の際に参加者にアンケート用紙を配布し、終了時にそれを回収し、それを集計した。

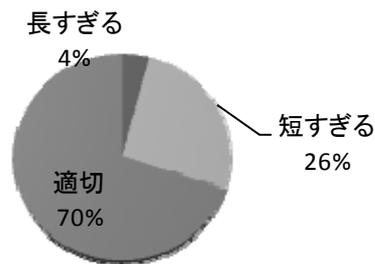
(1) 第1回セミナー

1) 第1回のセミナーのアンケート結果は以下のとおりであった。

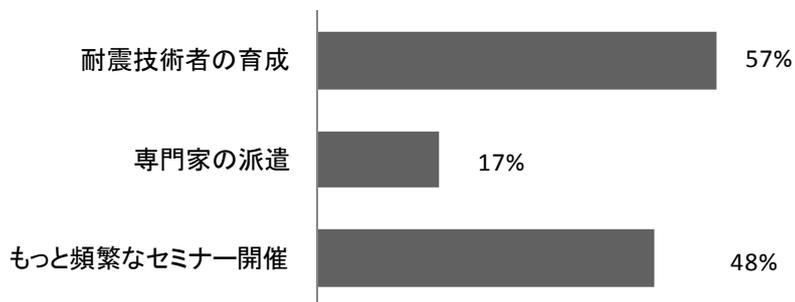
① セミナーの内容（トピックス、レベル、発表、時間）：



② セミナーの開催時間：



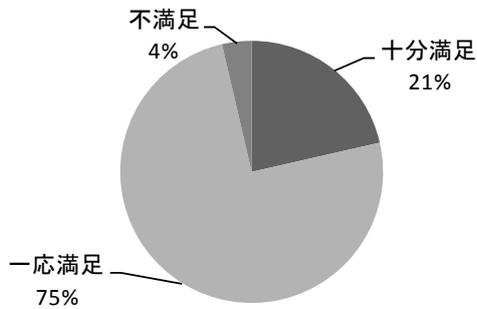
③ 日本の協力への要望：



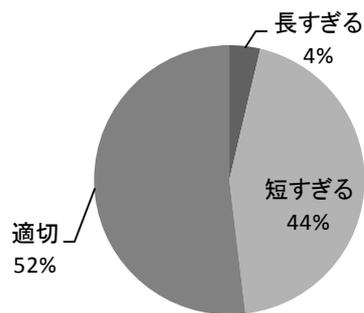
(2) 第2回セミナー

1) 第2回のセミナーのアンケート結果は以下のとおりである。

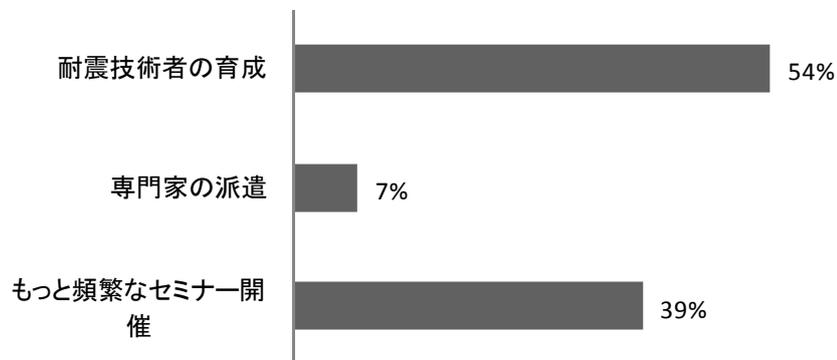
① セミナーの内容：(トピックス、レベル、発表、時間)



② セミナーの開催時間：



③ 日本の協力への要望



3.8.3 セミナーまとめ

インドネシアで開いた第1回のセミナー(6月20日)では70名近くの参加者があり、熱心な討議がなされた。第1回目は幅広い参加者に分かるようにテーマも「広く浅く」の耐震技術紹介を目指した。そのため耐震技術の基礎部分も話したので、もっと自分の専門の日本の最新技術を知りたいとの声もあった。第2回セミナー(9月7日)では1回目の要求に応える形で、三カ国の耐震設計基準の違いによる設計結果の違い、具体的な耐震診断方法、Life Cycle Cost を考慮した地震リスクマネジメントマネージメント、日本で石油精製・石油化学プラントの設計・建設に用いられている法律・耐震設計基準、日本の製油所の具体的防災システム等を含んだ形で技術の紹介を実施した。2回にわたるセミナーで、非常に有用な情報が含まれている、災害緩和の重要性を認識した、議論すべき事項で非常に興味深いなど、日本の耐震に係わる技術に関心が高いことが明らかになった。例えばセミナーの回答(添付資料 VIII)では日本の最新の技術を紹介してもらったこと、紹介した内容も的を射ていたこと、時間が足りなくて十分な討議が出来なかったことなどが述べられていた。アンケートでも、第1回より第2回の方が「十分満足」は低かったが、セミナーの時間が短かったことが原因と思われる。また、もっと頻繁にセミナーを開いてほしいとの意見が多かった。

3.9 インドネシア国におけるニーズ・要望と検討

本調査では、我が国の耐震技術・制度を紹介し、相手方の状況を紹介してもらう啓発セミナーを開催した。このようなセミナーをもっと数多く開いてほしいとのアンケートの結果があった。調査団がセミナーを開催したとき、インドネシアのビルの耐震技術の第一人者である WIRATMAN & Associates の専門家はインドネシアでもプラント耐震の統一コードをもった方がよいとの意見であった。また、PUSKIM から下記のコメントがあった。

- ー インドネシアには石油・石油化学用の耐震設計基準はない。
- ー インドネシアの今後のニーズとしては、耐震設計基準の整備と人材育成である。
- ー PUSKIM は、耐震設計基準作成に責任を負っている。

(建築物の耐震設計基準の原案作成を担当しているが、プラント設備の耐震設計基準の作成担当は未定。)

- ー 今後、PUSKIM が中心となり、他の省庁とも協力して Committee を立ち上げ、耐震設計基準の検討をしていく準備はできている。その際、JICA の専門家派遣により、議論できることを大いに期待する。

前述のようにインドネシアの耐震設計基準自体には圧力容器、配管、タンクなどの非建築構造物であるプラントの構成要素に対する設計手法が示されていない。しかし、UBC を適用すれば非建築構造物に対しても耐震設計が可能になる。また、UBC は国際

的によく知られた設計基準であるため、これを適用して設計計算ができる計算プログラムを入手することは比較的容易である。大規模なプラント建設工事の場合、建設国内だけで設備の設計、調達を行うのは実際上不可能であるので、設計者や設備の製造者の枠を国際的に広げる必要が出てくる。そうした場合、耐震設計基準としては国際的な基準であるほうが望ましい。インドネシアの耐震設計と UBC を比較すると細かい点で必ずしも一致しないが、インドネシア基準はもともと UBC をベースとして作られているため、UBC 上のインドネシア基準と等価な地震荷重を用いて計算することは大きな矛盾は含まず現実的な方法であるといえる。また、インドネシアで実際に設計を行っているエンジニアは特に不自由を感じていない。ただし、インドネシア基準と UBC 基準の等価性はプロジェクトごとに検証していかなければならない。その手法を確立し、提案することも望まれる。

3.7 に記述の通り、インドネシアの国家基準と実際の耐震設計とが、合致していないという問題があり、我が国の優れた耐震設計基準は、全てをインドネシアに導入するのは、検討が必要であるが、配管の耐震設計については、UBC や ASME/ANSI の耐震設計基準は十分とは言えないので、我が国の耐震設計基準によって補完することは意義のあることだと考える。

インドネシアの耐震技術者人材育成に於いては耐震設計技術の Trainer's Training (指導者教育)を通じて耐震技術指導者の育成を図り、人材の裾野を広げる必要がある。

第4章 ベトナム国のプラント耐震技術

4.1 ベトナム国の化学・石油化学産業

ベトナムの概要を以下の表 4.1-1 に示す。

ベトナムでは 2007 年までは GDP 成長率が 8% 台で推移していたが、世界景気後退の影響を受けた 2009 年以降は成長率が落ち込んでいて以前の水準まで回復していない。

表 4.1-1 ベトナムの概要

経済指標	統計値		備考			
面積	32万9241km ²		外務省 (日本の87%)			
人口	8932万人		IMF World Economic Outlook Databases (2012年4月)			
人口増加率	1.15%		国連の世界人口推計報告2008年版			
GDP	1,227億ドル		IMF World Economic Outlook Databases (2012年4月)			
1人当りGDP	1,374ドル		IMF World Economic Outlook Databases (2012年4月)			
外貨準備高	200億ドル		(2007年9月)			
実質経済成長率 (GDP)	2006年 8.23%	2007年 8.46%	2008年 6.31%	2009年 5.32%	2010年 6.78%	2011年 5.89%

(出典：JCI作成)

4.1.1 ベトナムの石油精製産業

現在操業中の Dung Quat の第 1 製油所に続いて Nghi Son の第 2 製油所計画が進行中である。また、第 3、第 4 の製油所計画も可能性が強まっている。その他、中小規模の計画もあるが、鍵を握るのは建設資金と処理原油の確保である。

次ページの図 4.1.1-1 に、ベトナムの石油・ガス田とその処理設備及び石油化学工場の現状と計画を示す。

(1) Saigon Petro・Cat Lai 製油所

1986 年、ホーチミン市人民評議会のもと公営企業として設立されたベトナム唯一の簡易製油所。公称能力は 7,000bpd(年間 35 万トン)。軽質低硫黄原油やタイからの輸入コンデンセートを処理している。

(2) Petro Vietnam Oil Corporation

2008 年 6 月、Petro Vietnam の子会社であった Petro Vietnam Trading Corporation (Petechim)が、Petro Vietnam Processing and Distribution Company (PDC)を救済合併する形で設立された。原油および石油製品の輸出入、小売りなどを手掛ける。

ホーチミン市から南東およそ 60km の BaRia-Vung Tau でコンデンセート蒸留装置

7,200-8,000bpd、ガソリンブレンド装置を有している。コンデンセートを原料とし、ガソリン(RON83 および 92)を年間 27 万トン、軽油同 2 万 6,000 トンを製造する。

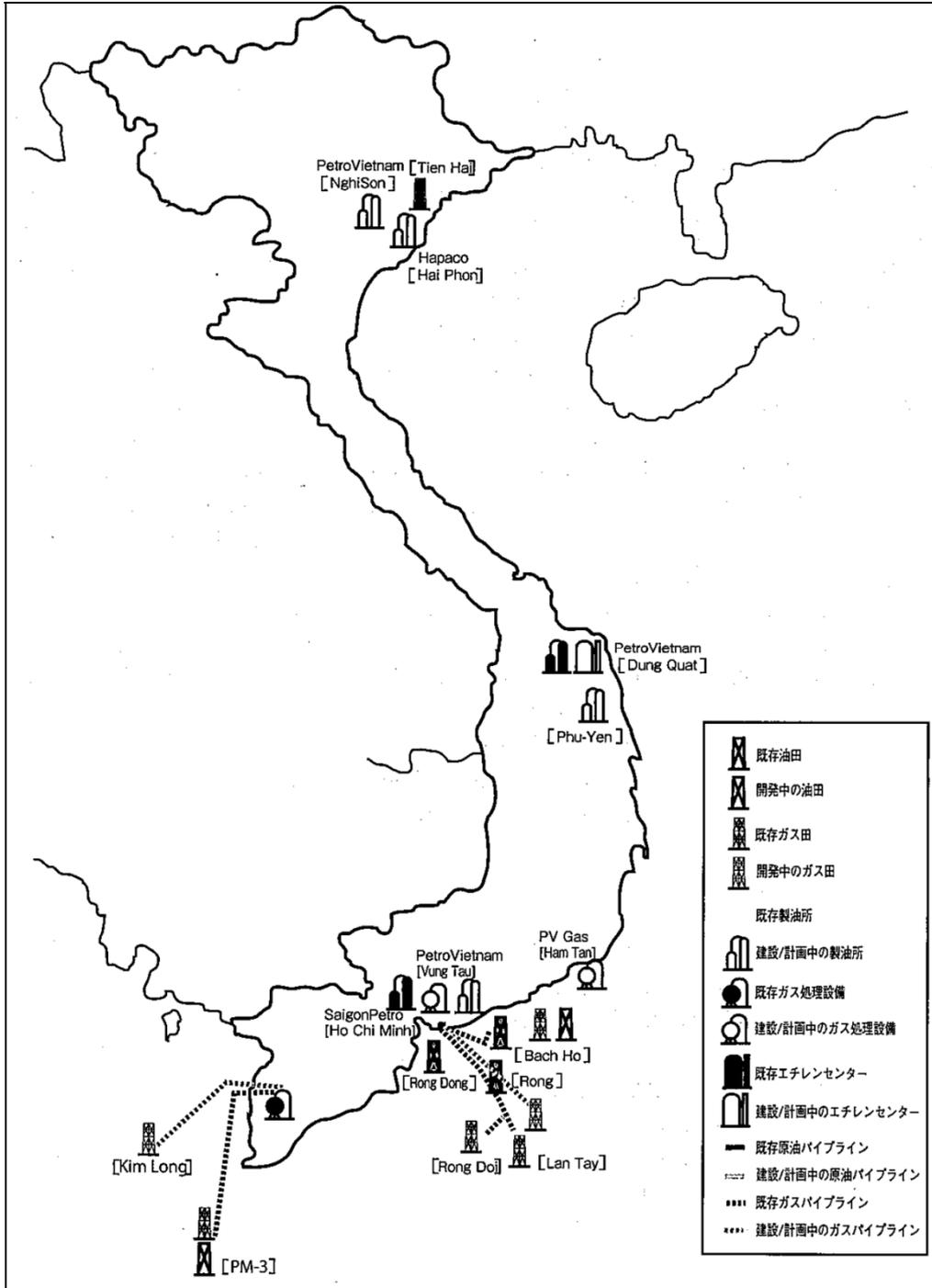


図 4.1.1-1 ベトナムの石油・ガス田とその処理設備及び石油化学工場の現状と計画
 (出典：東アジアの石油産業と石油化学工業 2011 年版)

(3) Petro Vietnam・Dung Quat 第1製油所

Petro Vietnam が計画推進。現在の第1製油所の運営会社は、子会社の Binh Son Refining and petrochemical Company である。

首都ハノイの南東約850kmの中部 Quang Ngai の Dung Quat 地区の約350haの用地に原油処理能力14万8,000bpdの製油所と原油タンク(6万5,000m³X6基)、製品貯蔵タンク(27基)、8kmのパイプラインシステム、出荷設備などを有する。

バクホー(Bach Ho)やドイモイ(Doi Moi)、Ca Ngu Vangなどの国産原油はできるだけ輸出に回す方針で、必要な処理原油には、BPなどを通じ、マレーシアのMiriやKikeh原油、アゼルバイジャンの Azeri Light、ロシアの ESPO 原油といったスウィート原油を輸入する。設備的にはサワー(高硫黄含有)およびスウィート(低硫黄含有)の2種類の原油に対応するため、常圧蒸留装置(CDU)のほか、ナフサ水素化脱硫装置/連続再生式接触改質装置(NHT/CCR)、異性化装置、残油流動床接触分解装置(RFCC)、LCO水素化精製装置(LCOHTR)、硫黄回収装置(SRU)、さらに高品質ガソリン製造(Ron92対応)のため、精製装置2基がある。(精製諸装置は、仏 Tecnip-Coflexip(TKP)、日本の日揮(JGC)、スペインの Technicas Renidas 連合が受注、建設。サブ・コントラクターとして東洋エンジニアリング(TEC)も参画。原油および石油製品のタンク基地は、Vietnam Machinery Installation Corp (Lilama)をリーダーとするコンソーシアムが受注、建設)

以下の図表は、製品フロー図および主な装置の一覧表である。

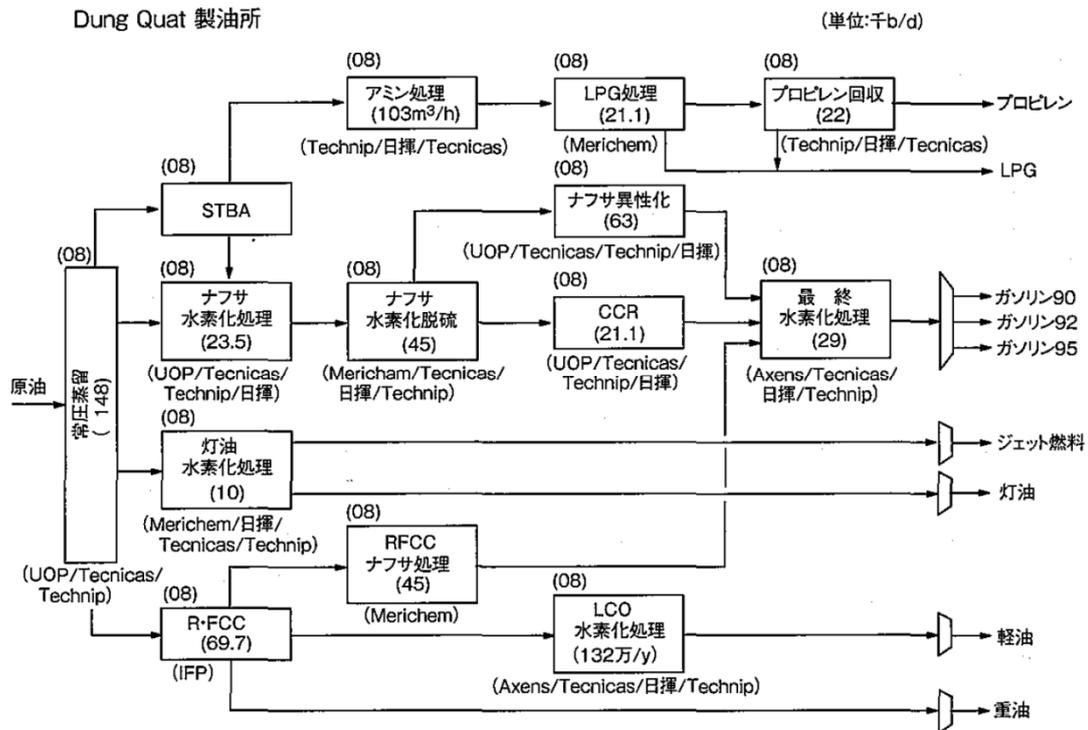


図 4.1.1-2 Dung Quat 製油所製品フロー図

(出典：東アジアの石油産業と石油化学工業 2011年版)

表 4.1.1-1 Dung Quat 製油所の主な装置

■Dung Quat Refinery		(単位:b/d)			
プラント	現有	新增設	ライセンス	エンジニアリング	完成
常圧蒸留	148,000		UOP	Tecnicas/Technip/日揮	2008
RFCC	69,700		IFP		2008
RFCCナフサ処理	45,000		Merichem		2008
LCO水素化処理	1,320,000/y		Axens	Tecnicas/日揮/Technip	2008
STBA					2008
アミン処理	103m ³ /h			Technip/日揮/Tecnicas	2008
LPG処理	21,100		Merichem		2008
プロピレン回収	22,000			Technip/日揮/Tecnicas	2008
ナフサ水素化処理	23,500		UOP	Tecnicas/Technip/日揮	2008
ナフサ水素化脱硫	45,000			Tecnicas/日揮/Technip	2008
ナフサ異性化	65,000		UOP	Tecnicas/Technip/日揮	2008
CCR	21,100		UOP	Tecnicas/Technip/日揮	2008
硫黄回収	5t/d			Technip/日揮/Tecnicas	2008
サワーウォーター・ストリッパー	81.6t/d			Tecnicas/日揮/Technip	2008

(出典：東アジアの石油産業と石油化学工業 2011年版)

(4) 北部ニソンの第2製油所計画

Petro Vietnam と出光興産、クウェート Kuwait Petroleum Europe B.V、三井化学の合弁。

出資比率は出光とクウェート側が各 35.1%、PVN が 25.1%、三井が 4.7%の構成となっている。首都ハノイ南方およそ 125km、タインホア省 Tinh Gia 地区のニソン経済区で原油処理能力 20 万 bpd(年間約 1,000 万トン)の製油所を 2015 年の稼働をメドに建設する計画。国産原油のほか、ドバイ原油も処理原油に想定しており、減圧蒸留装置や残油接触分解装置(R-FCCU)、CCR、水素化分解装置といった 2 次処理装置も設置が計画されている。またダウンストリームの石油化学プロジェクトとしては、R-FCC 装置からのプロピレン回収によるポリプロピレン(PP)年産 30 万トンやフェノール、芳香族抽出によるパラキシレン(PX)、高純度テレフタル酸(PTA)が構想されている。さらに RFCC および軽灯油脱硫装置については仏 Axens 技術の導入を決め、基本設計契約を締結している。

(5) 南部 Long Son の第3製油所計画

国営石油会社の Petro Vietnam が、2006 年 9 月に認可を得て外資との合弁で計画している。少なくとも第1および第2製油所並みの原油処理能力の製油所建設が図られる見通し。またコンデンセートを原料とするエチレン年産 50-55 万トンのクラッカーをインテグレートする構想を練っており、そのダウンストリームではポリエチレンやポリプロピレン(PP)といった汎用樹脂はもちろん、合成ゴムの BR もプロ

ジェクト候補に挙がっている。

(6) ハティン (Ha Tinh) 省の第 4 製油所建設計画

台湾塑修集団(FPG)が提案している。ハティン省の Vung Ang 産業区(IZ)の広さ 1,591ha の用地に 30 万 bpd の新規製油所を建設し、ここに年産 140 万トンの石油化学コンプレックスをインテグレートする。500MW の火力発電所も併設し、必要な電気を賄う計画もある。

(7) フーイエン省 Vung-Ro の製油所建設計画

英国 Technor Star Management Ltd が、ロシアの Telloil と合弁でフーイエン省ブンロー湾(Vung Ro Bay)において計画しているベトナム初の外資 100%出資による製油所建設計画。フーイエン省ホアタム(Hoa Tam)の広さ 40ha の用地で、原油処理能力年間 400 万トン(約 8 万 bpd)の製油所を建設し、後に同 800 万トン(16 万 bpd)へ倍増する計画。減圧蒸留装置(VDU)4,000 bpd やデイレードコーカー(DCU)1,000bpd、接触改質装置(CCRU)600bpd、ジェット料・軽油の水素化処理装置、残油脱硫装置、接触分解装置(FCCU)1,000bpd 等々、2 次処理装置の構成も決まっている。

(8) Petrolimex/Sinopec 合弁の製油所建設計画

Petrolimex が中国石油化工股傍有限公司(Sinopec Corp)との合弁で、中部カインホア (Khanh Hoa)省で石油化学インテグレート型製油所の建設を計画している。

ズンクワット(Dung Quat)第 1 製油所から約 400km 南方で、原油処理能力年間 1,000 万トン(約 20 万 800bpd)の製油所建設を考えている。

4.1.2 ベトナムの石油化学産業・化学産業

ベトナムには、石油化学の中核となるクラッカーはまだない。現状は第 1 ステージの「エチレンプラント建設前の石油化学産業形成期」との位置づけである。第 2 ステージは「石油化学産業の中核領域確立期」と位置づけられるが、2020 年頃と見做されているが既に、以下のように下流部門の製品工場も稼働しており、その基盤は整いつつある。

(1) アルキルベンゼンスルホン酸 (合成洗剤原料)

1997 年、Soft Chemical が 12,000t/yr で稼働。1998 年に 24,000t/yr へ倍増。

(2) フタル酸ジオクチル (DOP) (ポリ塩化ビニール用可塑剤)

1997 年、LG Vina Chemical が 40,000t/yr で稼働。

(3) ポリ塩化ビニール (PVC)

1998 年、TPC-Vina Chemical が 80,000t/yr で稼働。

東ソー技術で日立造船が建設。原料の塩ビモノマーはタイから輸入。

2010 年に 190,000t/yr 体制へ。

(4) ポリプロピレン (PP)

2010年、Dung Quat 第1製油所のダウンストリームとして稼働。

(5) ポリエステル短繊維&ナイロン6樹脂

2004～2005年、台塑集団によるポリエステル短繊維 120,000t/yr の稼働と
2010年稼働予定のナイロン6樹脂 47,000t/yr。

(6) 高純度テレフタル酸 (PTA) &フェノール

2015年、三井化学が Nghi Son 第2製油所のダウンストリームとして計画中。

4.2 過去の地震、津波とそれによる事故の発生状況及びリスク

4.2.1 地震と津波について

(1) ベトナムの構造的環境

ベトナムには海溝等の大きな構造的な地震発生要因が存在しないので、近隣諸国に比べて地震の発生は少ないとされるが、北部では複数の断層を抱えるため、最大でマグニチュード (M) 7程度の地震の発生が予測されるという。一方で、周辺で発生する地震による被害が発生する要因がある。

これについては、国際連合 (UN) の機関が 2011年3月24日付の報告書で、ベトナム北部の地震と中部の津波について警鐘を鳴らしている。本報告書は、国連の自然災害・緊急事態プログラム調整グループがベトナムの地震や津波について調査したものであり、これによると、ベトナムはユーラシアプレートの南東部分に位置すると同時に、インドプレートとフィリピン海プレート、オーストラリアプレートの間に位置するが、これらのプレートの境界部分からは外れるため、ミャンマーなど近隣諸国に比べて地震による影響は限定的と推測される。

一方、首都ハノイなどを抱えるベトナム北部は大規模地震の震源は抱えていないものの、北部山岳部は、プレート境界に近く警戒が必要という。マグニチュード4程度ながらも、海岸部のハイフォン市を震源とする弱い地震もこれまで発生している。

北部では Hong 川 (紅河)、Ma 川、Lai Chau 省～Dien Bien 省地域などで複数の断層が確認されている。これらの断層は総延長が数百キロに及び、平均変位速度 (断層を形成する地形や地層の形成時から現在までの平均的な変位量) は年間 0.5～2ミリであり、この長さの断層セグメントでは、マグニチュード 5.7～7.0の地震が起こる可能性がある。

ベトナム地球物理院地震情報・津波警報センターによれば、ベトナムでこのところ地震が連続して発生しているのは、Lai Chau－Dien Bien 断層、Ma 川断層、Son La 断層、Hong 川断層帯、Ca 川断層帯、109－110°経線断層帯といった断層が複雑に活動しているためである。

下図 4.2.1-1 は、ベトナムへの影響が大きいとされる周辺の構造的環境を現わしている。赤点は過去の地震の震源地データであるが、地震やその結果発生する津波

2005年には、ベトナムの北部・中部・南部の各地で、少なくとも5回の地震が観測されている。

図4.2.1-2は過去のベトナムにおける地震の震源地状況をまとめて示しているが、ほとんどが北部に偏っていることが明らかである。実際に、1900～95年にかけて、マグニチュード5.6～6.0で震度7の地震が2回、マグニチュード5.1～5.5で震度7の地震が13回、マグニチュード4.6～5.0で震度6～7の地震が100回以上発生している。

1923年のHontro地震(M=6.1)では、火山活動が起こっている。

南部では頻度が小さいが、それでもマグニチュード=5～5.9クラスが数回、マグニチュード=6以上が南部海底の断層で1回発生していることが分かる。

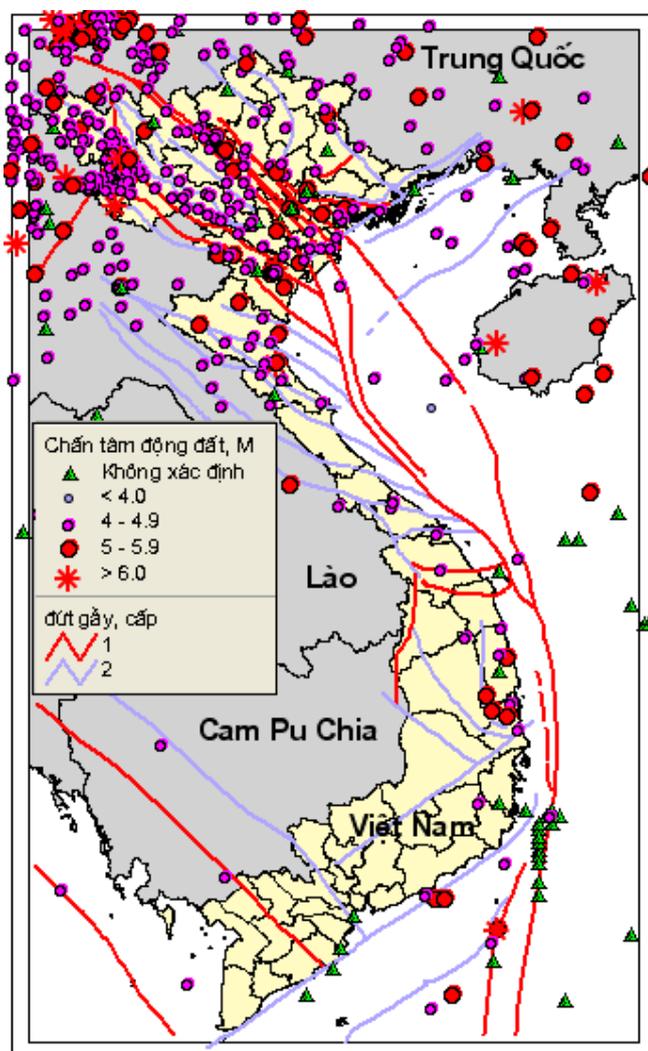


図 4.2.1-2 ベトナムにおける過去の地震発生データ

(出典：Vietnam Academy of Science and Technology (VAST)のセミナー資料)

4.2.2 地震の発生とその被害状況

ベトナムでは、個々の地震データや被害状況に関する具体的な情報が意外に少ないが、以下に主要な地震の個々の状況について記載する。

(1) 1983年6月24日の Tuan Giao 地震について

- ① 発生場所 : Lai Chau 省のハノイの北西部400Km地点
- ② 地震規模 : マグニチュード = 6.7
- ③ 被害状況 : 家屋倒壊多数。 建物の3 ~5 階の居住者は揺れを感じた。

(以下の図4.2.2-1、4.2.2-2を参照。)



図 4.2.2-1 1983 年 6 月 24 日の Tuan Giao 地震による家屋倒壊写真

(出典：IBST セミナー資料)



図 4.2.2-2 1983 年 6 月 24 日の Tuan Giao 地震による家屋倒壊写真

(出典：IBST セミナー資料)

(2) 2001年2月19日の Dien Bien Phu (DBP) 地震について

- ① 発生場所 : Dien Bien Phu から15KmのNam Oun (Laos)
- ② 地震規模 : マグニチュード = 5.3
- ③ 被害状況 : 市内のほぼすべての石・レンガ造りの建物(学校・病院を含む)が被災。4人が怪我。
- ④ 余震 : 数百回(そのうち最大マグニチュード=5.3)
- ⑤ 効果 : 社会問題(ホームレス、パニック、懸念 等)
この結果、ベトナム政府が地震設計や地震災害の予防に対して留意するきっかけとなった。(図 4.2.2-3、4.2.2-4 を参照)



図 4.2.2-3 2001年2月19日の Dien Bien Phu (DBP) 地震による市内の石・レンガ造りの建物被災状況 (出典: IBST セミナー資料)



図 4.2.2-4 2001年2月19日の Dien Bien Phu (DBP) 地震による市内の石・レンガ造りの建物被災状況 (出典: IBST セミナー資料)

以上から、ベトナムにおける地震に対する抵抗力の検討の必要性は明らかとなり、また、ベトナムにおいても高層建築物が数多く建設されるにおよび、「ベトナム地震設計コード」が準備・承認され、2006年12月からベトナム全土において即座に施行されたことの原因が明らかである。

4.2.3 今後のリスク（津波について）

地震とともに、長い海岸線を抱えるベトナムにとって懸念されるのは津波である。

(1) 津波の発生要因と影響

ベトナムへの津波の影響が発生するのは前述のとおり以下の地域における地震である。

- ① 琉球構造 (1a)
- ② マニラ海溝 (2abc)
- ③ パラワン島付近の沈み込み地域 (3)
- ④ ベトナム海の断層地域 (9)

前述の国際連合の調査による報告書では、ベトナムが津波の大きな被害を受ける可能性は少ないと指摘する。しかし、これまでに津波の大きな被害は記録されていないものの、中部沿岸地域については津波の恐れが指摘される。

脅威となるのは、フィリピン西部の地震帯、マニラ海溝を発生源とする津波で、同海溝でマグニチュード8以上の地震が起きればベトナム中部沿岸部への津波到来は避けられないとされる。さらに、ルソン島北部から台湾南部の区域でマグニチュード8を超える地震が起きた場合や、琉球海溝でマグニチュード8.8以上の地震が起きた場合もベトナム中部沿岸は津波の影響を受ける。

こうした津波の影響が想定される地域には、現在のところ27万人を超える住民が暮らしており対策が必要である。中部の中でもとりわけ大きな津波の被害が想定されるのは、クアンチ省ドンハとニントゥアン省ファンランである。

この一方で、北部と南部地域では同様の津波被害は想定されていない。

(2) 津波の到来予想

Institute of Geophysics (Vietnam Academy of Science and Technology) の試算によれば、マニラ海溝でマグニチュード=8.8の大地震が発生した場合の津波の到達時間と高さは各々以下の図4.2.3-1、図4.2.3-2のとおりである。

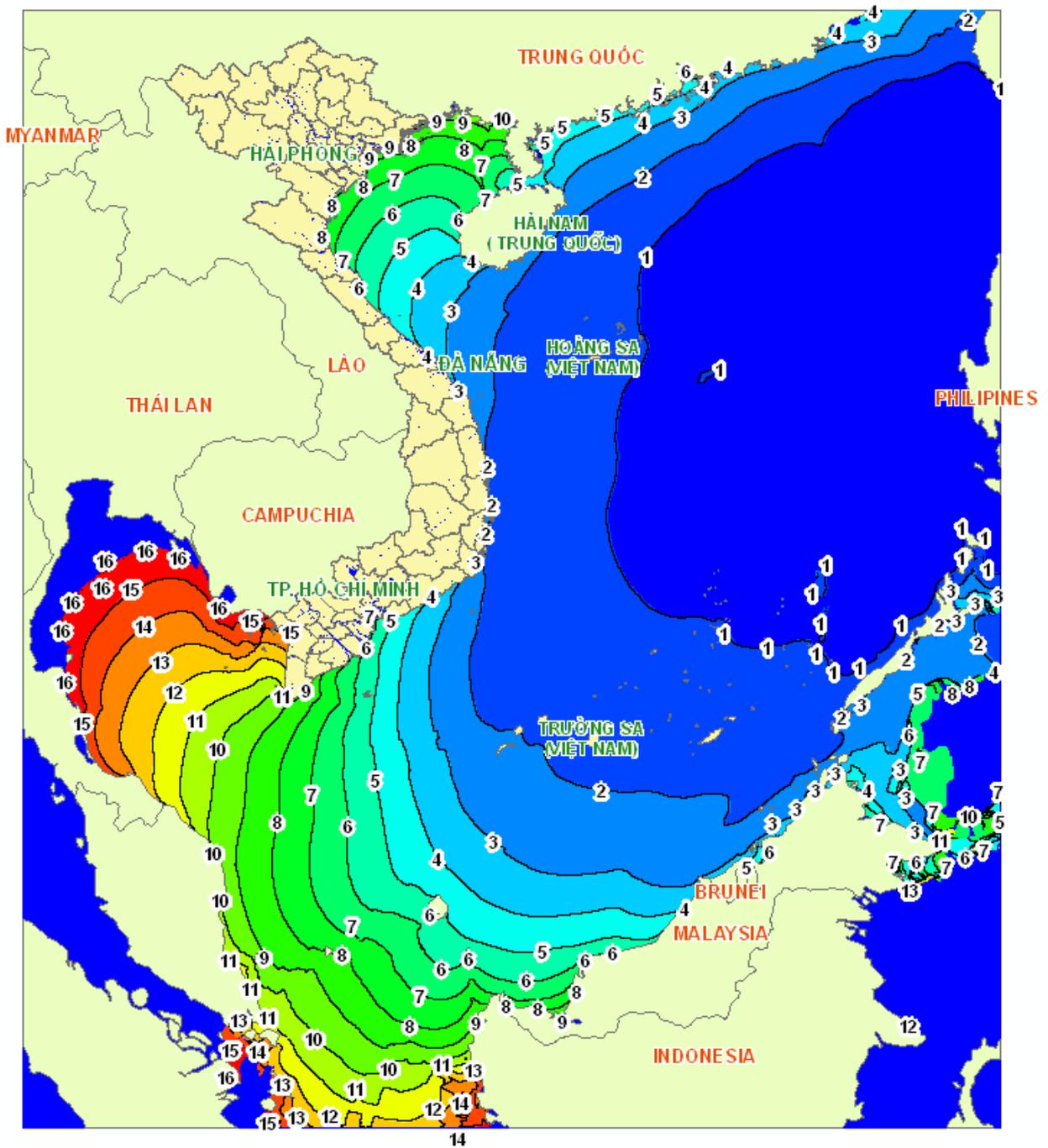


図 4.2.3-1 津波到達時間 (Hrs)

(出典：Vietnam Academy of Science and Technology (VAST)のセミナー資料)

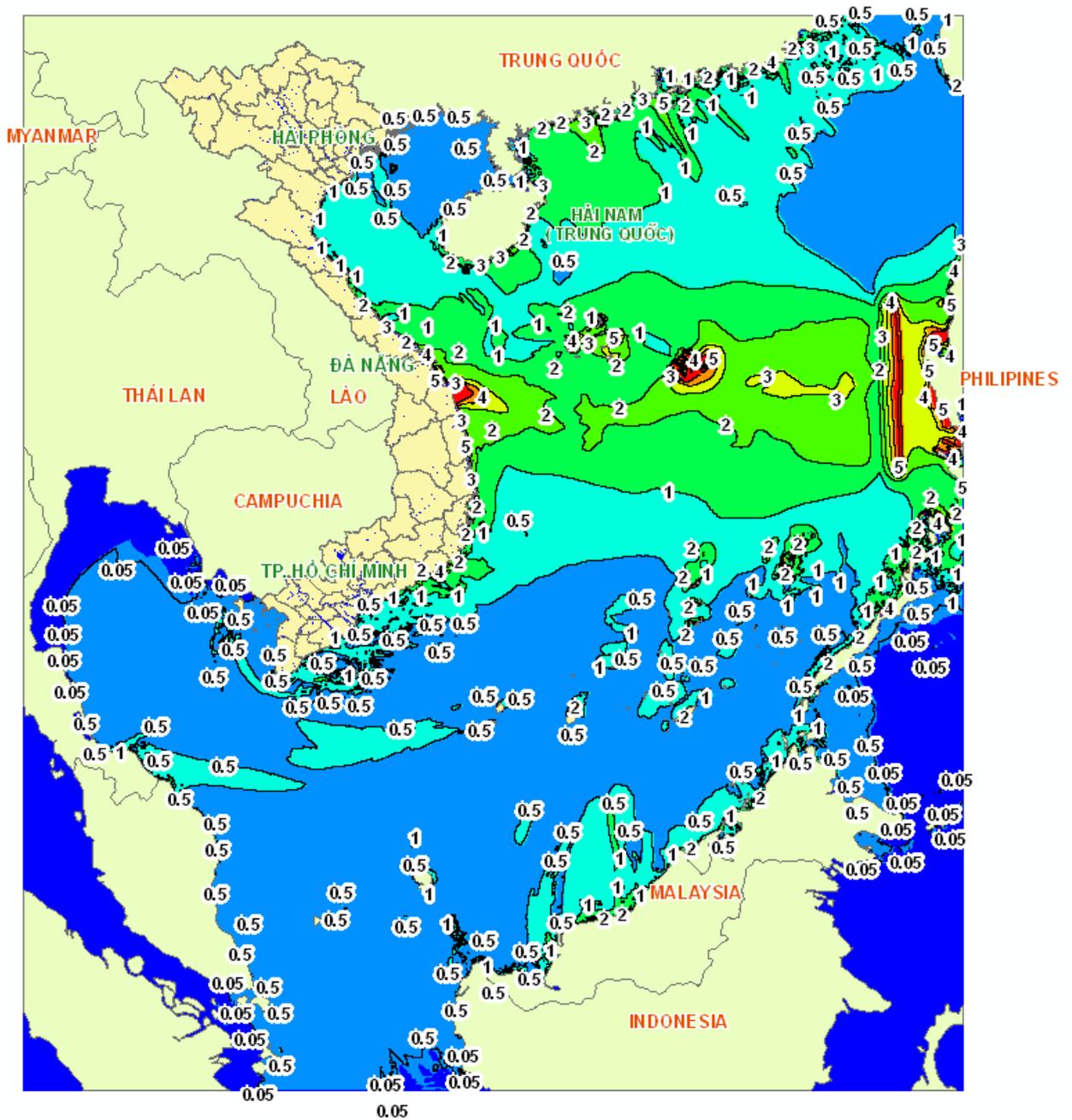


図 4.2.3-2 津波の高さ(m)

(出典：Vietnam Academy of Science and Technology (VAST)のセミナー資料)

ベトナム中部の海岸線は、マニラ海溝からはほぼ直線的な津波の襲来進路のあたり、例えば、Dung Quat 製油所あたりでは、地震発生から 2 時間程度で高さ 3~5 m の津波が押し寄せると予想されている。

4.3 プラントに関する法制度・耐震技術

(1) 法制度・耐震基準の変遷

ベトナム国は 2006 年まで独自の耐震設計基準を保有していなかった。それまでは、地震力は MSK-64 scale によって決められていた。地震の活発な地域の構造物の設計は国家地理院（国家自然科学・技術研究所に所属する）の指示によって行われてきた。ロシアの CNIP II 7-1981 や Uniform Building Code UBC のような、いろいろな種類の耐震設計基準が用いられてきた。2006 年に Eurocode をベースにした新しい耐震設計基準が定められた。

(2) 耐震設計基準の適用を受ける構造物

耐震設計基準 TCXDVN375:2006 の適用を受ける構造物は、建築物、構造物で Part 1 と Part 2 からなり、Eurocode との関係は次のとおりである。

Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings (EN 1998-1 に相当)

Part 2 Specific provisions for foundations, retaining structures and geotechnical aspects
(EN 1998-5 に相当)

(3) 考慮すべき地震動

ベトナムにおける耐震設計コード (TCXDVN 375:2006) で適用される地表面最大震度は全国を 4 つの階層に分けている。設計最大地表面加速度を計算するために、地盤の種類により、再現周期 500 年の地震を基準に 5 種類の弾性応答スペクトルパラメーターを定めている。以下詳細は添付資料“ベトナムにおける耐震設計コード (TCXDVN 375:2006)を参照のこと。

(4) 保有すべき耐震性能

建物の重要度により 5 種類の重要度係数を規定している。鋼構造物に対してはそのタイプにより Behavior Factor を規定している。さらに、ダクティリティーの程度に応じた低減係数による補正も行っている。

(5) 応答解析法

応答解析法はいわゆる静的線形解析法(Linear Static Analysis)を用いている。

(6) 評価方法

構造物の基礎にかかるせん断力と、部材各部にかかる水平力を計算し部材の許容応力と比較することによって行う。

4.4 プラントにおける防災計画、保安・防災体制

4.4.1 地震ハザードマップの作成と活用

1996年に、図4.4.1-1に示す1000年周期の地震ハザードマップが作成された。

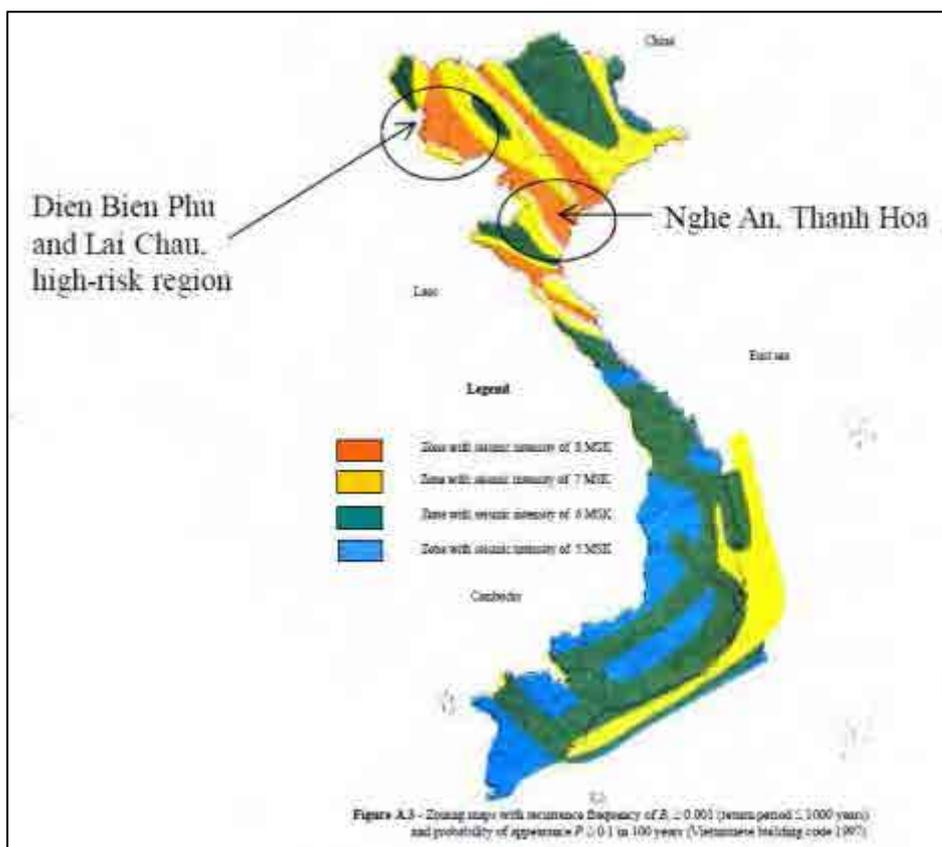


図 4.4.1-1 地震ハザードマップ 1000 年周期

(出典：IBST セミナー資料)

4.4.2 地震ネットワークの創設

ベトナムでは、「Vietnam Project 2009-2014」を立ち上げ、ベトナム地震ネットワークを組んで以下の対策を立てている。(図 4.4.2-1 参照)

- ①リアルタイムでの 30 局のブロードバンド・ステーション
- ②ハノイの Institute of Geophysics にある「地震情報と津波警報センター」におけるデータ入手と処理方法に関するサービス提供
- ③ホーチミン地震ネットワークからの 6 局のブロードバンド・ステーション



図 4.4.2-1 ベトナム地震ネットワーク (Vietnam Project 2009-2014)
(出典：Vietnam Academy of Science and Technology (VAST)のセミナー資料)

4.4.3 各社の実例 (第2回調査におけるヒアリングより)

(1) Dung Quat 製油所

1) 事業の概要

- ・ベトナム中部のクアンガイ州の州都 Quang Ngai から西へ約 50km の海岸沿いに位置し、石油精製能力は 148,000 BBD (原油として約 6.5 百万トン/年)である。
- ・該製油所の敷地及び主要ユニットプラント等の概要は以下のとおりである。

＊製油所プロセス、オフサイト、用益設備 : 110ha

＊原油タンク、フレア : 42ha

＊製品タンク : 36ha

＊海水タンク、排水処理、パイプ : 4ha

＊内部パイプライン : 40ha

＊港湾設備 : 135ha

＊主要ユニット : CDU、RFCC、CCR (Platformer)、

ISOMAX(Naphtha Hydro Treater : 現場解説員による)

＊港湾設備には、1.6km の Break Water(防波堤)があり 10m の高波に耐えうる。

＊水深は 18m で原油は 11 万トン (dead weight) のタンカーで運搬される。

シーバースは数キロ離れた造船所の沖にあり原油を受け入れている。将来は 19 万トンの VLCC も考慮している。

2) 地震状況と耐震対策

- ・災害としては想定されるのは台風のみで、洪水、地震、高波、津波の被害はない。ベトナムでは、西側が山脈であり東が海で中央部が低く、大雨の場合には中央部で河川の水位が上昇する。一般住民はそれを心配するが、製油所では年間 5～6 個の台風が来襲するが、2009 年にはレベル 11 (ベトナム台風基準) の大型に襲われた。プラントは風速 160km/hr に耐える設計。対応として毎日タンクのレベルを確認している。
- ・耐震設計基準として UBC 1997 を適用。
- ・圧力容器、配管の設計規格は ASME である。

3) 防災対策

- ・操業以来 3 年間、無災害。
- ・緊急対応シナリオとして以下を整備している。
 - ＊ 火事
 - ＊ 爆発事故
 - ＊ 洪水
 - ＊ 地震

＊ その他自然災害

- ・ベトナムでは、防災に関する法律や基準は存在する。製油所にとって特に重要なのは天気予報である。National & International Weather forecasting system とは密接に連携している。
- ・地震に対する early warning system については、Dung Quat 製油所は体制ができている。フィリピン沖で地震が発生した場合、2～3 時間で 5m 規模の津波が押し寄せる危険性については知っているが、海岸には 30～40m の土手があるので防げる。
- ・電力停止の場合、自家発電を備えている。(22-24MW の STG。日本製のボイラー) 電力供給は自家発電で賄っており、定修等の時は National Grid からの受け入れが可能となっている。また、Safety Shut Down の為の、UPS を所有している。

(2) Petro Vietnam Gas (LPG ターミナル)

1) 事業の概要

ホーチミン市の南東約 90 km に位置する。Nam Con Son Basin は、海上から送られるドライガス、LPG、コンデンセートのターミナルで、1995 年に建設された容量 2BCM/yr (Billion Cubic Meter) のユニットと、2002 年に建設された容量 7 BCM/yr のユニットが稼働中であり、現在、容量 7 BCM/yr の 3 番目のユニットを建設中である。主たる設備は容量 30,000 ton、直径 50 m、高さ 40m の二重殻平底タンク 2 基、直径 21 m の球形タンク 2 基、パイプラック、グラウンドフレア、消火水タンクなどである。

2) 地震状況と耐震対策

- ・ベトナム南部に位置するため、地震の危険性は少ない。
- ・現在建設中の LPG ターミナルの耐震設計は、応答スペクトル法によって地震荷重を決めている。基準応答震度は 0.042×1.25 (重要度係数) = 0.055 である。配管については 0.05G の水平加速度を考慮し、地震による変位も考慮している。
- ・地盤は地表面から 4 m 地下までは fine sand による盛土であり、その下 80～90m は soft clay である。杭基礎を採用しており杭の長さは 45m である。Water level は地表面 -2m で、タンク底面の海水面からの高さは 4m である。

3) 防災対策

- ・火災・台風・地震について考慮しているが、地震の経験はほとんどなし。
- ・津波については、サイトは Thi Vei 川に面している。河口付近ではあるが外洋に直接面してはいないため心配していない。グラウンドレベルは海面より 4m。
- ・タンク火災に対しては、Foam System や Water Curtain を設置している。タンク間の保安距離に関する規定はベトナムにはなく、International Standard 510 に沿って実施した。(現場解説員)

(3) Pha Lai Thermal Electric Joint Stock Company (PPC) (石炭火力発電所)

1) 事業の概要

ハノイの東北東約 50 km に位置し、新旧 2 つの石炭焚き火力発電所から構成されている。古いほうの No. 1 プラントは 1983 年に旧ソ連によって設計建設されたものであり、4 缶構成で発電量は 440 MWh である。新しいほうの No. 2 プラントは 2000 年に日本の ODA により住友商事が元請けとなって建設され、2 缶構成で発電量は 600 MWh である。燃料となる石炭は 50-60 km 離れた国内の炭鉱から水上輸送(川)される。発電所は EVN (ベトナム電力公社) の傘下であり、発電された電力は National Grid に送られる。また第 1 プラントは建設されてから 40 年も経過して老朽化が進んだため、IBST が Rehabilitation を請け負っている関係で IBST の技術者が駐在している。

2) 地震状況と耐震対策

- ・ベトナム北部に位置するため地震による被災の可能性はあるが、現在までに地震による被害を受けた経験はない。最も発生確率が高いと考えられる災害は風(台風)である。
- ・適用設計規格については、No. 1 プラントにはロシア規格が適用されている。No. 2 プラントには機器購入の観点から数カ国の規格が適用されている。MMI scale 7 をベースとした耐震設計も行われている。(建築構造物の設計・建設を行ったのは韓国の企業である。)
- ・地盤性状は固い地盤でありほとんど杭は必要としない。ただし、地層が傾斜しているため施設の端の方では一部杭基礎となっている。

3) 防災対策

- ・地震発生時の対応シナリオは作られていないし、現在まで、大幅なプラント改造を行ったこともない
- ・工場には Disaster Management Plan はある。

4) その他

- ・監督官庁は以下のとおりである。
 - * 環境関係は地方自治体
 - * 技術的な問題は環境科学省(MONRE)。
 - * 土木建築関係は建設省
 - * ボイラーについては EVN
- ・定期補修の間隔は法規によって定められており、レベル 1 は 3 カ月毎、レベル 2 は 2 年毎、レベル 3 は 4 年毎に実施される。

4.5 プラントの耐震設計実態の把握

2006年以前ベトナムでは国家基準としての耐震設計基準が制定されていなかったが、2006年に耐震設計基準 TCXDVN375 が初めて制定された。この耐震設計基準は Eurocode 8 をベースとしているため、Eurocode 8 同様、プラント設備などの非建築構造物を対象としていない。2009年に運転を開始した Dung Quat の精油所は2006年以前に設計が開始されていたため、UBC をベースとして設計されており、新基準を適用して実際に設計された石油精製・石油化学プラントはまだ存在しない現在、日本企業を中心となって計画が進められている Nghi Son の精油所建設については新耐震設計が適用されるが、非建築構造物への詳細な適用方法についてはまだ十分に練られていない。

また、これらの石油精製・石油化学プラントのエンジニアリングは、耐震設計を含めて、日本などの外国企業によって行われてきたため、ベトナムの技術者は監督官庁をも含めてプラントについての詳細な設計手法を把握していない様子であった。これには、ベトナムにおいてはこれまで地震によるプラントの被害を経験していないこと、特に南部においては小さな地震を体感することすら稀であることが背景にあると考えられる。

4.6 想定される地震規模によるプラントへのダメージのシミュレーション及び想定される対応案

ベトナムにおける耐震設計基準と地震ハザードマップを調査し、それらに基づいて過去に耐震設計されたプラント、もしくは将来耐震設計されるであろうプラントのダメージを予測し、課題と対応策を提言する。

4.6.1 プラントの耐震設計基準および地震ハザードマップの変遷

ベトナムでは、プラント設備に限定した耐震設計基準は制定されていない。建築物の耐震設計基準および地震ハザードマップの変遷は次のとおりである。

(1) “Building Code for Vietnam 1997”

- ・耐震設計に関する規程はない。
- ・地震ハザードマップは MSK-64 の震度階で示されている。図 4.6.1-1、表 4.6.1-1 を参照のこと。

(2) TCXDVN 375:2006 “Design of Structures for Earthquake Resistance”

- ・基本的には Eurocode(BS-EN 1998-1:2004)をそのままベトナム語に書き改めて定められており、Eurocode と異なる点は引用する地震ハザードマップと重要度係数である。
- ・地震ハザードマップは図 4.6.1-2 を参照のこと。

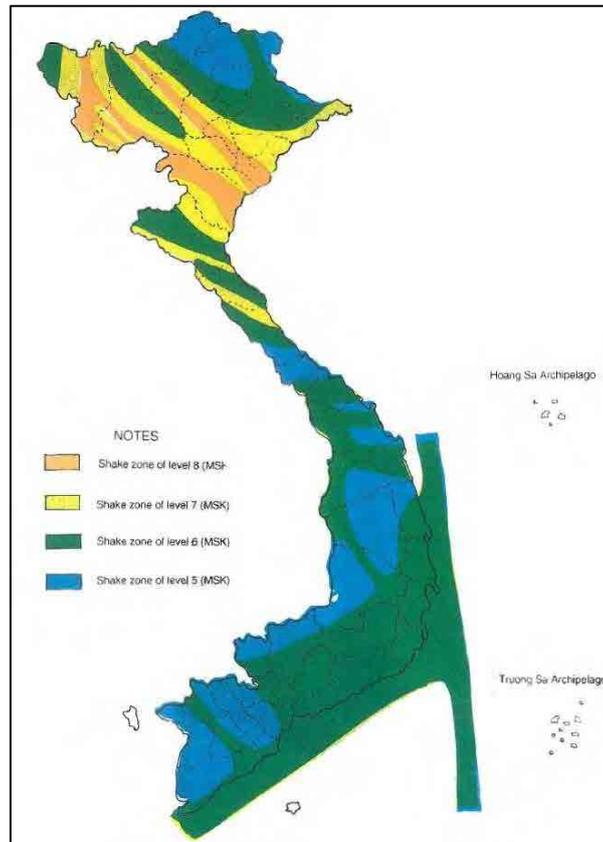


図 4.6.1-1 Building Code for Vietnam 1997 の地表面最大震度 MSK-64 震度階
 (出典 : Building Code for Vietnam 1997)

表 4.6.1-1 MSK-64 震度階

震度階級		揺れによる影響	加速度
I.	無感	人体感覚の限界以下。地震計のみに検知。	12gal以下
II.	ほとんど感じない	高い建物の上層階におり、静止している人が揺れを感じる。	
III.	一部の人にわかる	室内で少数の人間に感知される。	
IV.	大部分の人にわかる	室内の大部分の人に、野外の少数の人に感知される。容器の液体がかすかに震える。怖がる人はいない。	
V.	目を覚ます	室内のすべての人に、野外の多くの人に感知される。眠っている人の多くは目を覚ます。不安定な物体は転倒したり移動することがある。	12 - 25gal
VI.	恐怖	室内でも野外でもほぼすべての人に感知される。少数の人は平衡を失う。少数例として本棚から本が滑り落ちる。	25 - 50gal
VII.	一部の建物に被害	多くの人は立っていることが難しい。自動車を運転している人にも感知される。水面に波が生ずる。	50 - 100gal
VIII.	一部の建物に破壊	恐怖と恐慌。重い家具が動き、一部は転倒する。墓石は転倒し、石壁は崩れる。地面に数cm幅のひびがはいる。	100 - 200gal
IX.	建物一般に被害	一般に恐慌状態。家具に相当の被害。一部の鉄道レールが曲がり、道路に被害。	200 - 400gal
X.	建物一般に破壊	ダムや堤防にも致命的な被害。アスファルトの道路が波打つ。	400 - 800gal
XI.	大災害	頑丈な構造物に重大な被害。道路は役に立たなくなる。埋設管は破壊される。多くの地すべりや山崩れが起こる。	800gal以上
XII.	景色が変わる	地上・地下すべての構造物が大被害を受けるか破壊される。地表面は全く変わる。	

(出典 : Wikipedia)

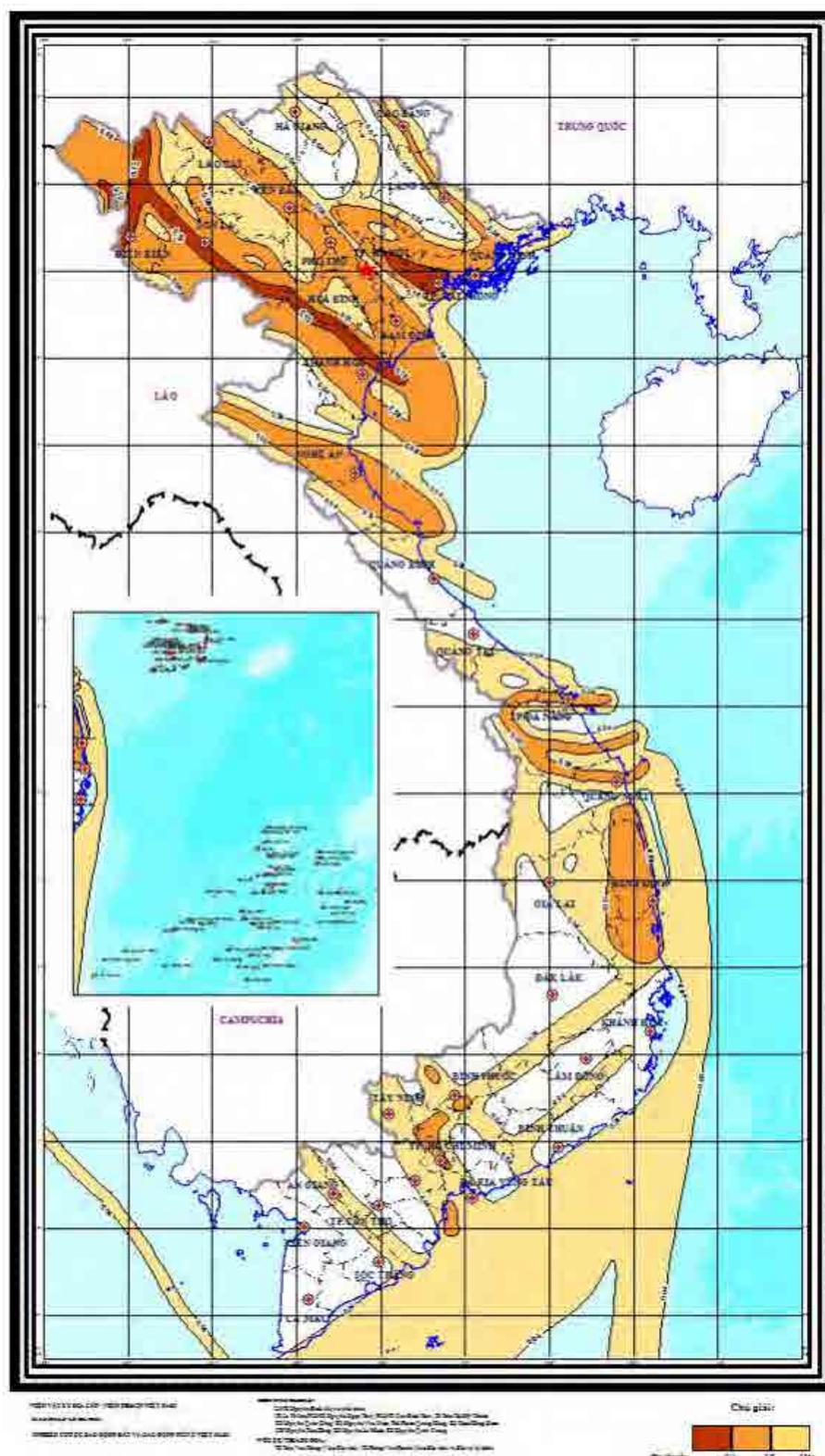


図 4.6.1-2 TCXDVN 375:2006 の PGA マップ
50 年超過確率 10% (再現期間 475 年) 地盤種別 A
(出典 : Design of Structures for Earthquake Resistance)

4.6.2 耐震設計基準の概要

通常の建物の耐震設計では水平方向の揺れに対して作用する力を計算して建物の部材を決定する。

現行の建築物の耐震設計基準 (TCXDVN 375:2006) に示されている建物に作用する水平方向地震力の算定方法の概要を添付資料 II に示す。同基準では水平方向の設計地震力は次の 5 つの指標で規定されている。

- (1)地震の基盤における地震動の大きさを表す指標で、地震ハザードマップの PGA で与えられる。(図 4.6.1-2 参照)
- (2)表層地盤における地震動の増幅の大きさを表す指標で、表層地盤の地盤種別と構造物の 1 次固有周期に対する応答倍率関数が定められている。(図 4.6.2-1 参照)
- (3)重要度による地震力の割増係数で、建物の用途に応じて数値が定められている。
- (4)ダクティリティーの程度による地震力の低減係数で、建物の構造種別と架構形式に応じて数値が定められている。
- (5)建物の積載荷重を含む総重量。

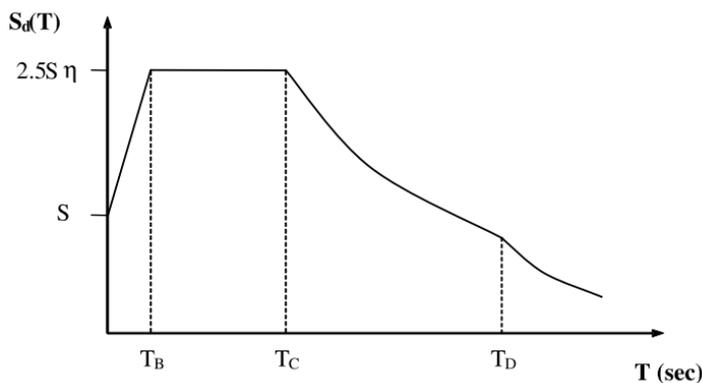


図 4.6.2-1 設計地震動の応答スペクトル (ゾーン 4)
(出典：建築構造物耐震設計基準 (TCXDVN 375:2006))

4.6.3 ダメージの予測

4.6.2 に示した水平方向の地震力を規定する 5 つの指標の中で耐震設計基準で値が規定される(1)~(4)のうち、(1)については新旧の地震ハザードマップを比較し、(2)~(4)については TCXDVN を ASCE 7-05 と比較し、構造物の設計用ベースシアアの大小から設計されたプラント構造物のダメージの可能性を考察する。

- (1) 地震ハザードマップが 2006 年に改訂され、それまでのものと比べると、中南部地域の PGA の値が比較的大きなゾーンで 2~3 倍に増加している。それほど大きな値ではないので、設計風荷重が地震荷重を上回っていれば問題はないが、通常的设计

では地震荷重を考えないという情報があり、地震荷重が設計上クリティカルになるか否かを検証することが望ましい。

- (2) 2006 年以前には耐震設計に適用できるベトナム基準がなく、海外の基準を適用することとなっていた。その当時建設されたプラント設備については、どのような耐震設計を行っていたのかを再調査し、必要に応じて耐震性能を再検討することが望ましい。
- (3) プラント設備には構造型式が建築物の耐震設計基準に該当しないものがあり、ダクティリティーの程度による地震力の補正については他国の基準を参考に別途定めることが望ましい。
- (4) プラント設備では用途が建築物の耐震設計基準に合致しない場合があるので、損傷が周辺の安全に及ぼす影響が大きい設備については、リスクの大きさの程度に応じた重要度係数を別途定めることが望ましい。

4.7 プラントの耐震技術のレベルの確認

IBST (Institute of Building Science & Technology) および建設省によれば、ベトナムではプラント耐震技術者が不足している。大きなプラントの設計・建設で日本・韓国・米国などのコントラクターが受注しており、ベトナムの技術者が設計・建設に携わる機会がなかったようである。折角日本で耐震技術を学んできてでも活かせる場所がないため職を替わったり、台風対策に回された例もある。今後経済発展に伴ってエネルギー分野でのプラント建設が増え、法律の整備や実際に設計・建設を行う機会が増える。具体的には経済成長等により、エネルギー不足が生じ、将来的には LNG の輸入に頼らざるを得なくなると考えられる。実際に Petrovietnam の LPG 会社では LNG タンクの建設を計画しており、基準の適用に際して、調査団に相談をしてきた。また防災計画に関しては中心的に実施する機関がいまだなく将来の災害に対して体制を整える必要がある。農林省の Dike Management Dept.が津波対策をとる所管となっているが、ダナンの海岸の極く一部に防災用の警報システムが設置されているに過ぎない。海岸線全部をカバーするには予算が足りないとの事であった。

4.8 プラント耐震対策の必要性に関するセミナー等による啓発活動

4.8.1 セミナーの実施概要

(1) 第1回セミナー

開催日 : 2012年6月6日

会場 : IBST 講堂

内容 : 調査団側からは、幅広い参加者に今回の調査の目的と、日本のプラントに対する耐震技術と防災に関して知ってもらうことに重点を置いて次の4つのテーマを発表した。

- ① Outline and Plan of the JICA Project
- ② Overview of Japanese Seismic Technologies
- ③ Japanese Seismic Laws and Codes for Plant Engineering
- ④ Disaster Management in Japan

一方、ベトナム側からも、ベトナムにおける耐震技術の概要、地震観測体制といった概論的な発表があった。

参加者 : 58名

主要な質疑：日本側の発表に対する主な質疑は、設計地震動と再現期間の関係、地震による液状化、設計における地震荷重、風荷重及び爆風荷重、国の防災計画に対する企業の取り組み、防災施設、等多岐にわたるテーマについて活発に行われた。

(2) 第2回セミナー

開催日 : 2012年8月22日

会場 : IBST 小講堂

内容 : 調査団側からは、前回調査に基づく調査結果及びセミナーの質疑とアンケート結果から、その要望に沿ったより具体的なテーマとして、プラント設備の耐震設計に対するベトナムの耐震基準の適用、耐震診断方法、日本で石油精製・石油化学プラントの設計・建設に用いられている法律・耐震設計基準、日本の製油所の具体的防災システム等を含む次の4つのテーマを発表した。

- ① Insight about the JICA Seismic Technology Survey Project
- ② Report of Survey Results and Introduction of Seismic Assessment Methods for Existing Plant Facilities in Japan
- ③ Application of Vietnamese seismic design code to plant facilities
- ④ Disaster Prevention System of Refineries in Japan

今回は、ベトナム側からは、IBST のプレキャストコンクリート構造物の耐震性能、交通情報大学のベトナムにおける地震による地表の振動の予測という発表があった。

参加者 : 74名

主要な質疑：提案している” Seismic Technology Center” の組織の計画、地下構造物の耐震評価、耐震対策における基礎、地盤の強度検討、ベトナムで適用すべき配管の耐震基準のモデル、設備の隣接地に住む住民に対する保安対策、東日本大震災における製油所の被害の原因等に関して活発な質疑が行われた。

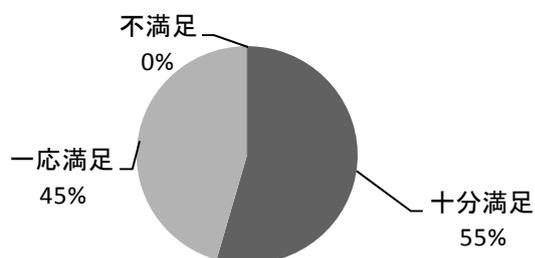
4.8.2 セミナーのアンケート結果

今回のセミナーでは、セミナーの登録の際に参加者にアンケート用紙を配布し、終了時にそれを回収し、それを集計した。

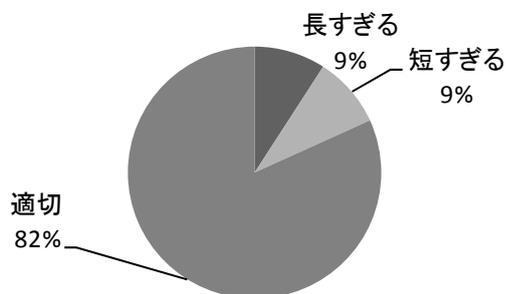
(1) 第1回セミナー

1) 第1回のセミナーのアンケート結果は

① セミナーの内容（トピックス、レベル、発表、時間）：



② セミナーの開催時間：



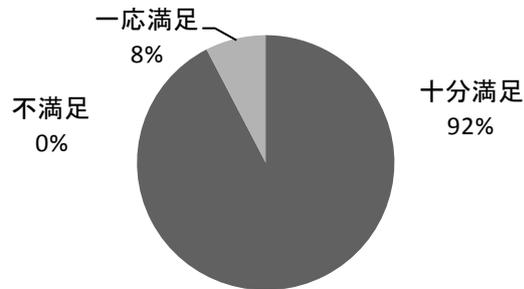
③ 今後の JICA 主催の研修への参加：

参加希望 : 100%

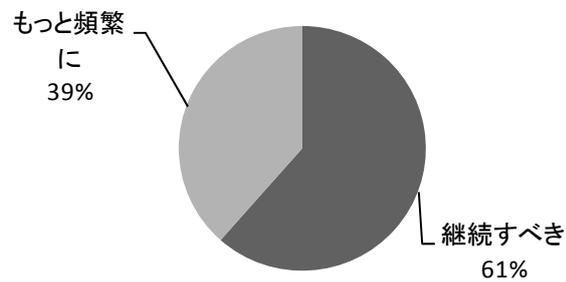
(2) 第2回セミナー

1) 第2回のセミナーのアンケート結果は：

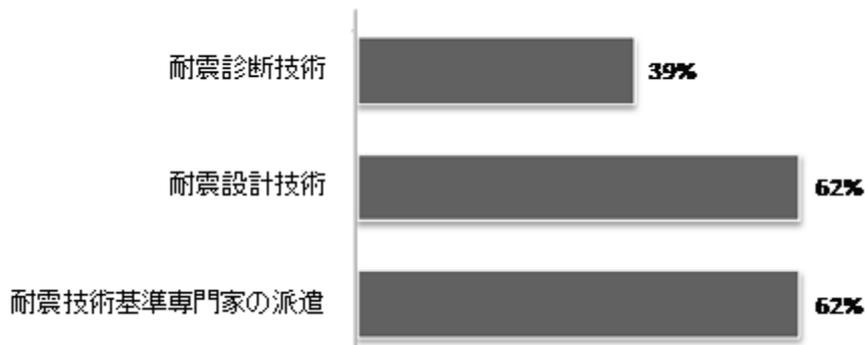
① プログラムの内容（トピックス、レベル、発表、時間）：



② JICA の耐震技術セミナーについて：



③ 今後の日本からの協力について：



4.8.3 セミナーまとめ

ベトナムで最初に開いたセミナー(6月6日)では60名近くの参加者があり、熱心な討議がなされた。日本側から紹介した内容は日本の耐震技術・制度であった。特に最後に開かれたパネル討議では会場に残った熱心な参加者からたくさんの質問があり、時間を超過して行われた。セミナー後に実施したアンケート(添付資料 VIII 参照)ではもっと頻繁にセミナーを開いてほしいとの意見が多かった。第1回目は幅広い参加者に分かるようにテーマも「広く浅く」の耐震技術紹介を目指した。そのため耐震技術の基礎部分も話したので、もっと自分の専門の日本の最新技術を知りたいなどの声もあった。第2回セミナー(8月22日)では1回目の要求に応える形で、三カ国の耐震設計基準の違いによる設計結果の違い、具体的な耐震診断方法、Life Cycle Cost を考慮した地震リスクマネジメント、日本で石油精製・石油化学プラントの設計・建設に用いられている法律・耐震設計基準、日本の製油所の具体的防災システム等を含んだ形で技術の紹介を実施した。第2回目アンケートではセミナーの内容についてほとんど全員が満足か適当との答えであり、アンケート回答の100%の人が同様なセミナーの継続、土木・建築学会、民間企業等から多数の参加希望、将来ともベトナムでの当該分野での JICA と関係継続を求める等々の意見があった。

4.9 ベトナム国におけるニーズ・要望と検討

IBST よりベトナムではもっと耐震技術者を増やさないといけないし、プラントの設計・建設についても日本の事例を学ぶ機会がほしいとの意向が示されている。また IBST がもしプラント対応のコードを新たに作る場合は IBST 自らが窓口となって実施したいとの意向も示されている。

第3次耐震技術調査でも IBST は耐震技術者人材育成計画については今後 JICA と協議をしつつ、段階的に進めたいとのことであった。IBST として、人材については政府の役人のみならず、民間の技術者も育成し、これらの計画の実現のため、行き来のある Petrovietnam も巻き込んで進めたい考えを持っている。IBST では、内部に Seismic Department を有しており、当該部署を強化しての人材育成も可能であり、日本からの技術援助を期待している。ベトナムに於いては耐震設計技術の Trainer's Training (指導者教育) を通じて耐震技術指導者の育成を図って、人材の裾野を広げる必要がある。耐震設計技術および防災計画に対してはその必要性が国民の間に浸透していないくらいがある。一つにはこれまで大きな災害を経験してこなかったため準備ができていない。

セミナーでも耐震技術については多くの質問があった。しかし、プラントの防災計画についてはもとより一般的な地震・津波に対する防災についての知識が十分行き渡っていないように感じられた。プラント防災についても、耐震設計セミナーと合わせての啓発運動が必要である。

第5章 フィリピン国のプラント耐震技術

5.1 フィリピン国の化学・石油化学産業

フィリピンの概要を以下の表 5.1-1 に示す。

フィリピンの GDP 成長率は 2008 年まで 5%前後で安定していたが、2009 年の世界景気後退の影響を受け、その後、不安定である。

表 5.1-1 フィリピンの概要

経済指標	統計値		備考			
面積	29万9404km ²		外務省 (日本の80%弱)			
人口	9586万人		IMF World Economic Outlook Databases (2012年4月)			
人口増加率	1.82%		国連の世界人口推計報告2008年版			
GDP	2,131億ドル		IMF World Economic Outlook Databases (2012年4月)			
1人当りGDP	2,223ドル		IMF World Economic Outlook Databases (2012年4月)			
外貨準備高	361億ドル		(2008年2月)			
実質経済成長率 (GDP)	2006年	2007年	2008年	2009年	2010年	2011年
	5.24%	6.62%	4.25%	1.15%	7.63%	3.72%

(出典：JCI作成)

5.1.1 フィリピンの石油精製産業

フィリピンでは、2003年にChevron Philippines Inc.(旧Caltex Philippines Inc.)がBatangas 製油所を閉鎖して以来、Petron Corp.のLimay 製油所(18万bpd)とPilipinas Shell Petroleum Corp.のTabangao 製油所(12万bpd)の2製油所体制が続いている。Petron Corpを英国Ashmore Groupから手に入れた食品飲料大手のSan Miguel Corp(SMC)は、隣国マレーシアのExxonMobilの石油精製事業を買収、Petronasに対し逆攻勢を仕掛ける基盤を築いている。

(1)Petron Bataan製油所

Petron Corporationは、英国Ashmore Investment ManagementグループのSEA Refinery Holdings B.V.(SEA B.V.)の子会社となっていたが、現在は食品・飲料大手のSan Miguel Corp(SMC)が68.0%の株式を保有、その子会社となっている。

Bataan製油所は、首都マニラから約146km離れたバターン半島Limayに位置し、1961年4月に完成、現在、トッパー3基、18万バレル体制である。

次ページの表5.1.1-1は、Bataan製油所の主要プラントの一覧である。

(2)PSPC・Tabangao 製油所

Pilipinas Shell Petroleum Corporation (PSPC)は、オイル・メジャーの英蘭Royal Dutch/Shellグループと現地資本の合弁。筆頭株主はShell Petroleum Companyで、67.6%出資している。

1962年、マニラ(Manila)南方約120kmのBatangas、Tabangaoにおいて操業開始、現在、11万bpdのCDUを中核に水素化分解装置2万4,000bpd、脱硫装置(HDS)5万bpd、ナフサ水素化脱硫装置 2万8,000bpd、接触改質装置 1万7,000bpdなどで構成されている。

表 5.1.1-1 Bataan 製油所の主要プラント

■ PETRON・Bataan Limay		(単位: b/d)			
プラント	現 有	新増設	ライセンス	エンジニアリング	完成
常圧蒸留 (No.1)	45,000				1961
常圧蒸留 (No.2)	85,000		日揮	日揮	1972
常圧蒸留 (No.2)	15,000		大林産業	大林産業	1997
常圧蒸留 (No.3)	35,000		日揮	日揮	1980
常圧蒸留		20,000	未定	未定	未定
減圧蒸留	31,000		日揮	日揮	1972
減圧蒸留	32,000		日揮	日揮	1989
FCC	10,000		UOP	大林産業	2008
FCC		10,000			2011
FCC回収	140,000		UCP	大林産業	2008
接触改質	17,000		ER&E	日揮	1972
連続触媒再生式接触改質	17,000			大林産業	1998
芳香族抽出			UOP	大林産業	2009
ベンゼン	22,800 t/y				2009
トルエン	150,000 t/y				2009
キシレン	220,000 t/y				2009
水素化脱硫(ナフサ、灯油)	30,500		ER&E	日揮	1972
水素化脱硫(ナフサ)	19,000			大林産業	1998
水素化脱硫(軽油)	18,000		ER&E	日揮	1972
水素化脱硫(軽油)	6,000		ER&E	日揮	1989
水素化脱硫(ガソリン)	10,000				2005
マロックス(灯油)	10,000		日揮	日揮	1989
マロックス(灯油)	16,000		日揮	日揮	1990
硫黄回収	71 t/d			大林産業	1998
水素製造	10 MMcfd				
ジェット燃料	2,100		na	日揮	1977
ナフサ異性化装置	6,000		UOP	現代Engg	2005

(出典: 東アジアの石油産業と石油化学工業 2011年版)

5.1.2 フィリピンの石油化学産業・化学産業

フィリピンの石油化学関連工業は、塩ビやポリスチレンなどのプラスチック・コンパウンドを中心とする小規模なものが大半であり、PVCとPSの一部国産品を除くと、

ほとんどの製品や原料は海外からの輸入に依存してきたが、1997年を境にPP、1998年からはポリエチレンも国産化されるようになった。ただ、いずれも現地化学メーカーや外資など民間企業を中心となる川下樹脂事業であり、1980年代から幾度となくエチレン・センターの建設を目指しては挫折してきたフィリピン国営石油会社(PNOC)は、未だに石化コンプレックス計画を固められないでいる。



図 5.1.2-1 フィリピンの石油化学関連基地
(出典：アジアの石油化学工業 2011 年版)

(1) Batangas 島の石油化学コンプレックス計画

JG Summit Petrochemical Corp. (JGSP)の石油化学コンプレックス計画でありフィリピン初のクラッカー建設を目指す。エチレン年産31万8,000トン/プロピレン同18万9,000トン(併産は合成ガソリン同21万8,000トン、燃料ガス同15万トン、重油同2万8,000トン)のナフサ・クラッカーを建設しようというものだが、計画は遅れて2014年初頭稼働目途となっている。

(2) JG Summit Petrochemical Corp. (JGSP)

JG Summit Holdings (JGSH) 80%、丸紅20%の出資で設立される。1998年からポリエチレンとポリプロピレン(PP)を企業化している。

Batangasで1997年下期、旧UCC(現 Dow Chemical)のユニポール(Unipol)法LLDPE (直鎖状低密度ポリエチレン) /HDPE (高密度ポリエチレン) 年産20万トンが完成、稼働入りしている。1998年6月、ユニポール法PP年産18万トン設備も稼働入りさせている。なお、原料のエチレンとプロピレンはシンガポールからの輸入で、稼働は50%前後に止まっている。

(3) Philippine Polypropylene Inc. (PPI、旧Petrocorp)

1997年12月、PPDC-Petrochemical Parkのコンデンセート・スプリッターおよびタンク群を挟み、BASF法PP年産16万トン設備を完成させている。1999年3月には、22万5,000トンまで増強している。原料高から休止に追い込まれたが、Petronが親会社となったことで製油所のFCCからの回収プロピレンを受給、タイIRPCをテクニカル・アドバイザーの下、リハビリが行われ、2011年2月、再稼働している。

(4) Philippine Resin Industries Inc. (PRII)

1994年7月、Mabuhay Vinyl Corp. 49%、東ソーおよび三菱商事各20%、The Bank of The Philippine Islands (BPI) 11%出資の合弁として設立された塩ビ樹脂製造会社。現在、東ソーと三菱商事の折半出資。

1998年10月、バターン半島PPDC-Petrochemical Parkで、東ソー技術の塩ビ樹脂(PVC)年7万トンが商業生産を開始。2000年12月、デボトルネックにより、年産10万トンへ増強している。原料の塩ビモノマー (VCM) は東ソー・南陽事業所から全量輸入している。

東ソーは1999年3月、塩ビコンパウンドメーカーのプラス・テクと合弁Toso-PolyvinCoで、マニラ近郊のLima Technology Center工業団地内で年産1万2,000トンのコンパウンド設備も完成させている。樹脂はPRIから受給する。

(5) D&L Industries Inc.

1971年化学品商社として発足した。ポリスチレン(PS)、不飽和ポリエステル樹脂、可塑剤を生産するほか、オレオケミカルも手掛けている。日本ピグメントから汎用樹脂コンパウンド技術を導入しているほか、コンパウンドおよびマスターパッチを手掛けるFarst In Color Inc. (FIC)を傘下に治めており、エンブラおよび溶剤の輸入も行っている。マニラ近郊のQuezonでPS年産2万1,000トン(1万8,000トンとも言われている。)能力を有し、GPおよびIHIグレードを生産している。

5.2 過去の地震、津波とそれによる事故の発生状況及びリスク

5.2.1 地震と津波について

(1) フィリピン周辺の構造的環境

フィリピンは、東西をマニラ海溝とフィリピン海溝 (ミンダナオ海溝) の2本の深

い海溝で挟まれている。(次ページの図5.2.1-1参照)

マニラ海溝は南シナ海東部の台湾南西沖からルソン島西側にかけて南北に連なる海溝であり、最深部は約 5,000mである。(南シナ海の平均深度は約 1,500 m) 西のユーラシアプレートが東のフィリピン海プレートの下に潜り込み形成された沈み込み帯と考えられている。しばしば地震が発生しており、またルソン島の火山活動もこれによると考えられる。一方のフィリピン海溝は、フィリピン諸島のルソン島南東からミンダナオ島の東を経て、ハルマヘーラ島の北東沖に達する海溝であり、最深部の深さは1万mを超えるとされる。別名ミンダナオ海溝と呼ばれている。ユーラシアプレート(スダプレート)とフィリピン海プレートの境界でもあり、フィリピン海プレートがユーラシアプレート下に沈みこんでいる。

フィリピンは、双方の沈み込み部の間に浮いているような形といえる。

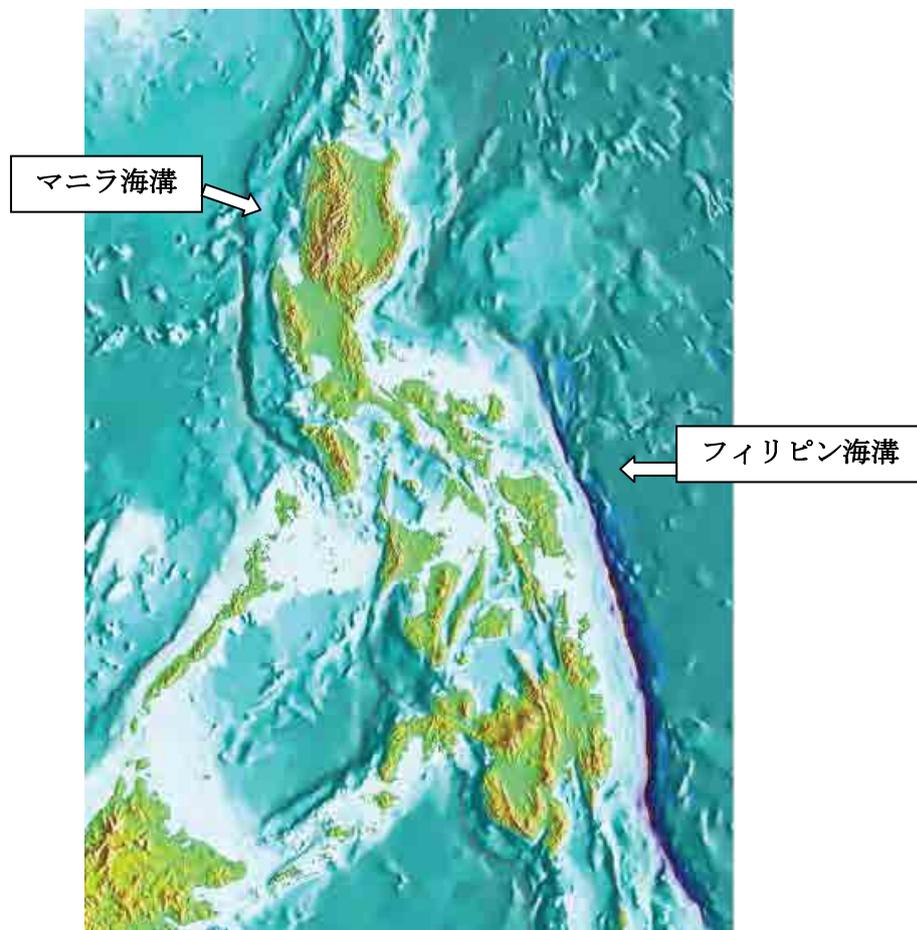


図 5.2.1-1 フィリピン周辺の構造的環境

(出典：Philippine Institute of Volcanology and Seismology (PHIVOLCS))

(2)フィリピンでの過去の地震データ

図5.2.1-2は、過去のフィリピンでの地震活動をプロットしている。

フィリピンでは、インドネシアのような大地震はほとんど発生していないが、中小規模の地震が多発していることが分かる。

震源域の分布が、ルソン島西部のマニラ海溝とミンダナオ島東部のフィリピン海溝というプレートの沈み込み地域に特に集中していることが見て取れる。

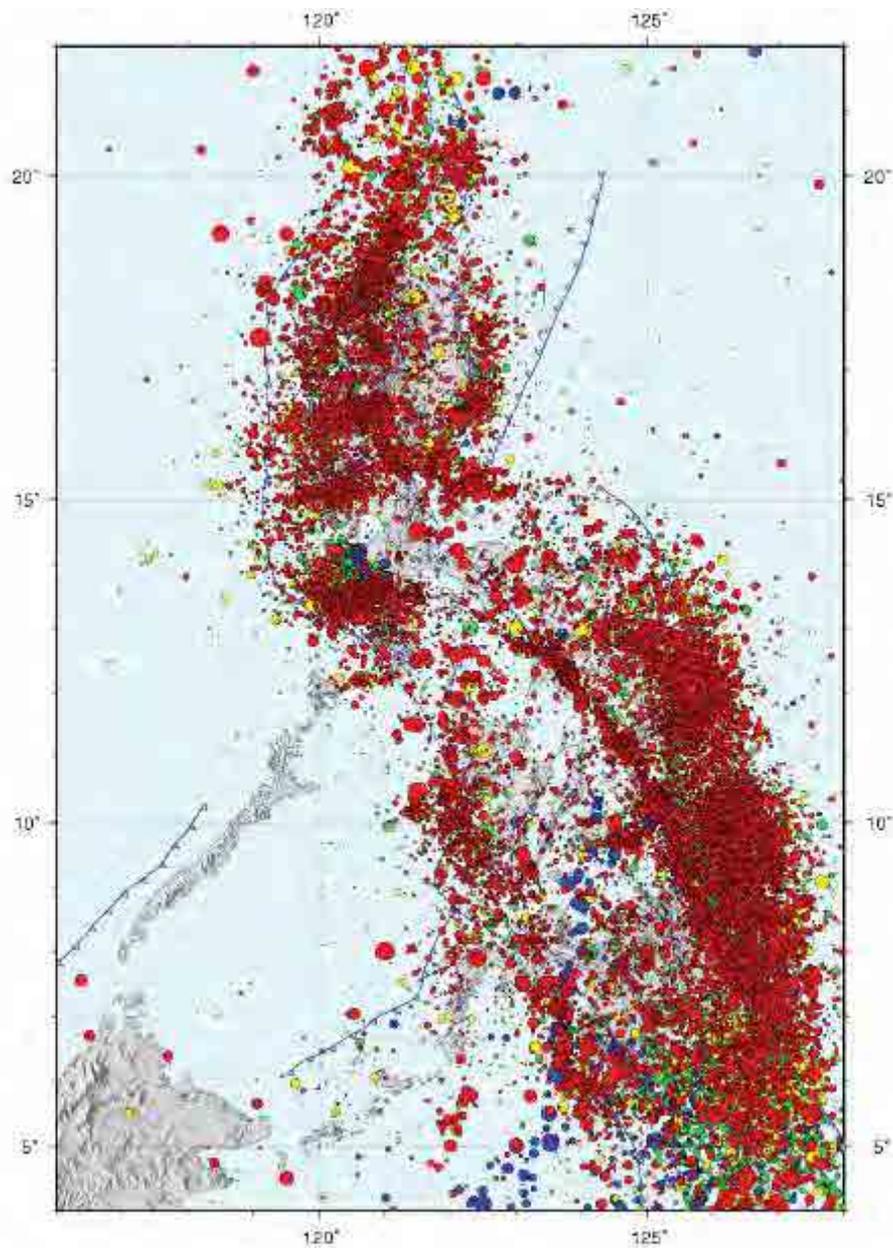


図 5.2.1-2 フィリピンにおける過去の地震発生データ
(出典：PHIVOLCS)

5.2.2 地震・津波による被害状況

(1)USGS データ等

フィリピンにおける大きな地震は、調査範囲内ではルソン島ではわずか2回だが、フィリピン海溝に近いミンダナオ島で多発している。

表 5.2.2-1ー被害状況表

番号	発生時	場所	M	特徴・被害状況(出典*2)	出典
1	1934/2/14	ルソン島	7.6-7.9	-	*2
2	1942/5.14	ミンダナオ島	7.9-8.2	-	*2
3	1943/5/25	ミンダナオ島	7.7-7.9	-	*2
4	1948/1/24	フィリピン中部	8.2-8.3	死 70	*2
5	1952/3/19	ミンダナオ島	7.6-7.9	-	*2
6	1976/8/16	ミンダナオ島 (ミンダナオ地震)	7.9	死不 180、 モロ湾に津波	*1
7	1990/7/16	ルソン島 (フィリピン地震)	7.7	死不 1700-2400	
8	1992/5/17	ミンダナオ島	7.5	-	*2
9	1994/11/15	フィリピン中部	7.1	死傷者 200、津波(*3)	*3
10	2001/1/1	ミンダナオ島	7.5	-	*1
11	2002/3/5	ミンダナオ島	7.5	-	*1
12	2003/11/18	サマール島	6.5	-	*1
13	2004/10/8	シンドロ島	6.5	-	*1
14	2007/8/20	フィリピン諸島地域	6.4	-	*1
15	2008/3/3	フィリピン諸島地域	6.9	-	*1
16	2009/10/4	ミンダナオ島 (モロ湾)	6.6	-	*1
17	2010/7/23	ミンダナオ島 (モロ湾)	7.6	深発地震	*1
18	2010/7/23	ミンダナオ島 (モロ湾)	7.3	-	*1
19	2010/7/23	ミンダナオ島 (モロ湾)	7.4	-	*1
20	2012/2/7	フィリピン中部 (ネグロス島/セブ島)	6.8	死 43、負傷者多数 (*4)	*1

(出典：*1 USGS Home Page , Magnitude 6.0 and Greater

*2 G-ma 地域研究シリーズ/E-005, 世界の主な巨大地震

*3 Wikipedia 地震の年表

*4 AFP BB News)

5.3 プラントに関する法制度・耐震基準

(1) 法制度・耐震基準の変遷

フィリピン国は 1976 年からアメリカの基準を参考に建築物の耐震設計基準を作成してきた。最新版は NSCP(National Structural Code of Philippines) 6th Edition-2010 である。このコードの適用は最低限の要求。DPWH(department of Public Works and Highway)からの endorsement が必要である。

(2)耐震設計基準の適用を受ける構造物

建築構造物、非建築構造物

(3)考慮すべき地震動

フィリピン耐震設計基準は、フィリピン国内の PGA マップにより地域を最大基盤加速度 0.2g と 0.4g の 2 段階の地震ゾーンに分類している。

最大地表表面加速度は、地盤種別、地盤種別と対象構造物の固有周期に応じた応答倍率、重要度係数、ダクティリティーの程度に応じた低減係数によって補正される。

詳細は添付資料 III フィリピンの耐震コード参照のこと。

(4)保有すべき耐震性能

フィリピン耐震設計基準は、対象となる構造物ごとに耐震性能の計算方法を定めている。

(5)応答解析法

応答解析法はいわゆる静的線形解析法(Linear Static Analysis)を用いている。

(6)評価方法

構造物の基礎にかかるせん断力と、部材各部にかかる水平力を計算し部材の許容応力と比較することによって行う。

5.4 フィリピン国におけるプラントの防災計画、保安・防災体制

5.4.1 地震及び津波ハザードマップ

図 5.4.1-1 は、フィリピンの活断層と海溝の分布を示す。

2 つの海溝部のプレートの沈み込み部からの強烈な圧縮圧力を受けて、フィリピンの中心線に沿って大きな活断層が走っており、また各島礁にも多数の中小の活断層が存在しており、地震の発生しやすい不安定な地盤であることが分かる。

(海溝は紫線で、活断層は赤線で表示されている。)

また、図 5.4.1-2 は、津波の被害を受けやすい地域を示している。
 フィリピンでは、1958 年以降、約 40 の地震により津波が発生している。
 青線部分は歴史的に見て津波の被害の発生しやすい地域である。その他、緑線と赤線部分も可能性を指摘されており、フィリピンを構成する全島礁の海岸線が地震発生時の津波の危険性にさらされていることがうかがえる。

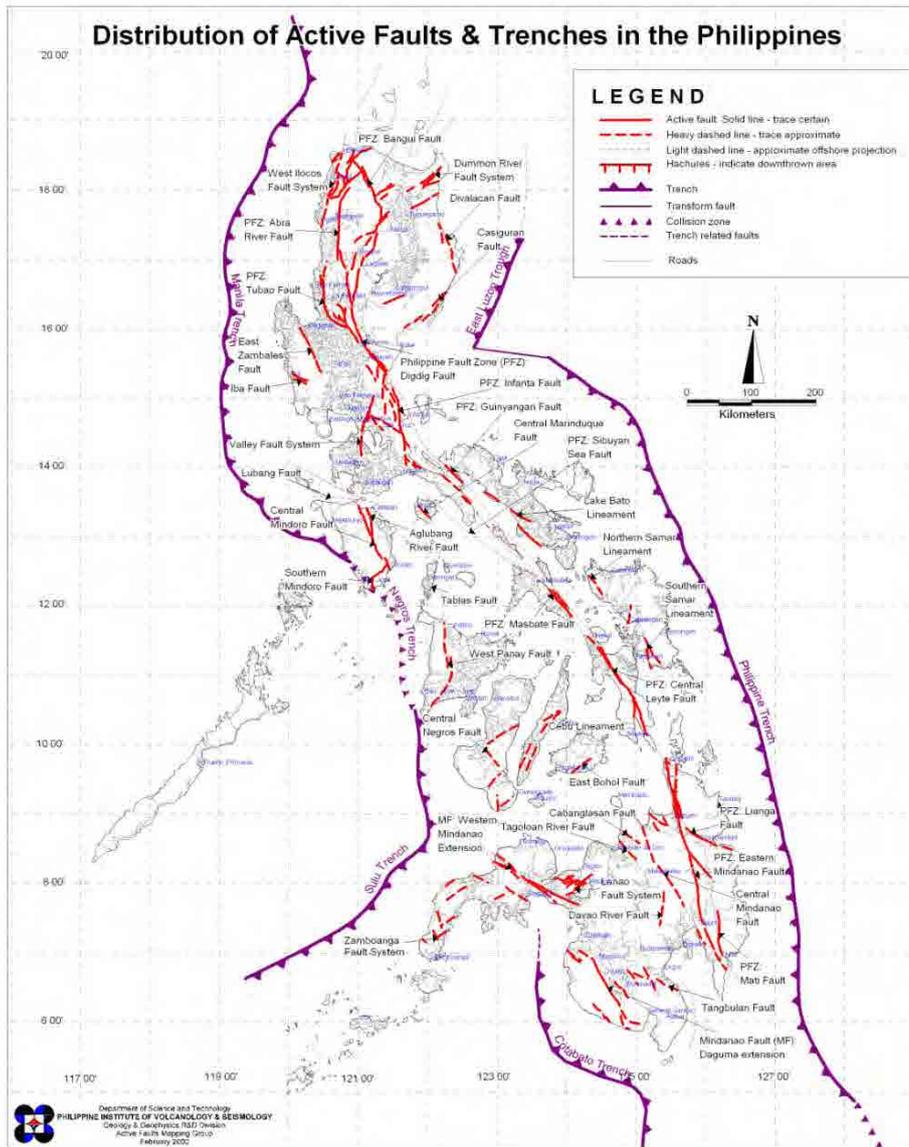


図 5.4.1-1 フィリピンの活断層と海溝の分布
 (出典： PHIVOLCS)

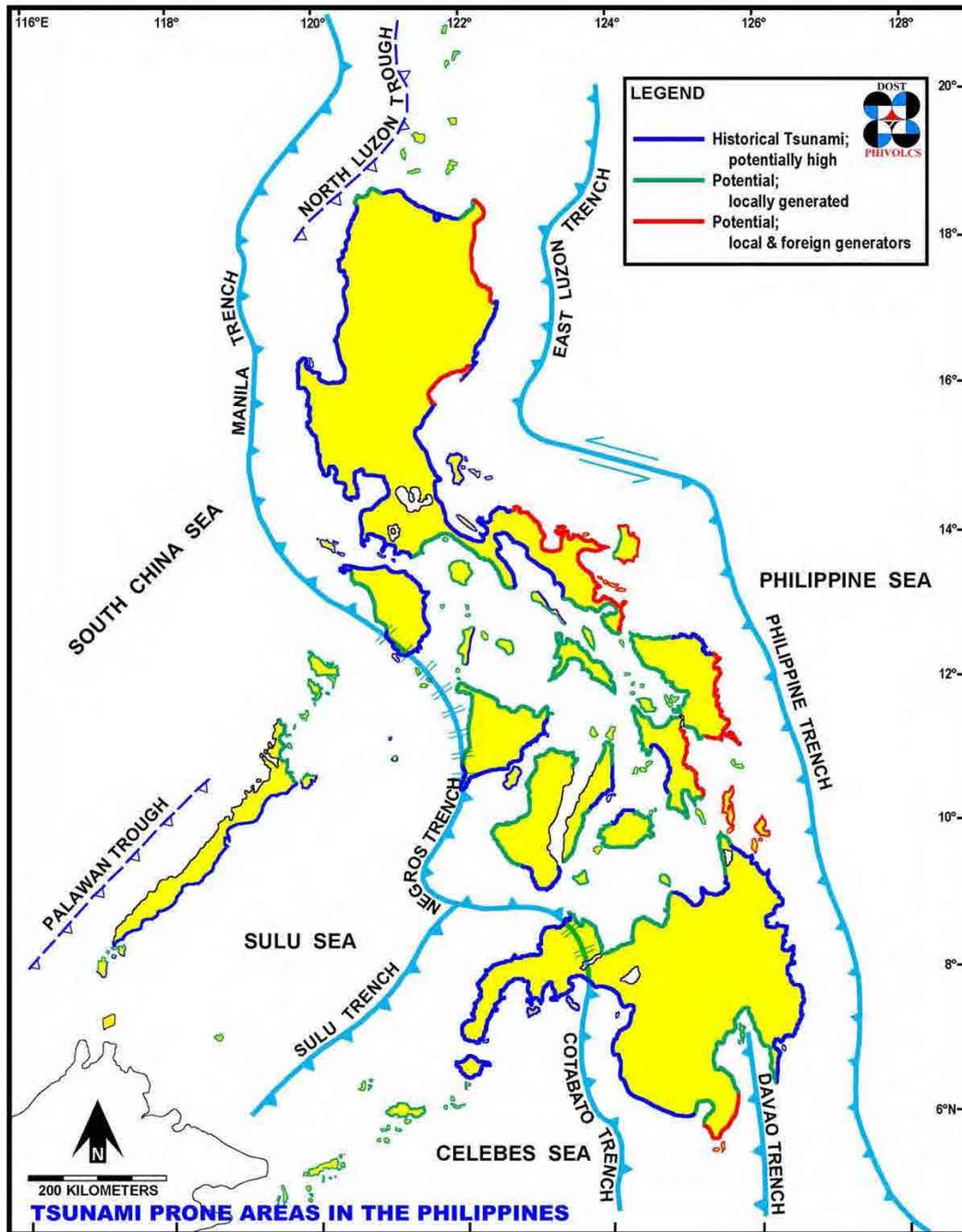


図 5.4.1-2 津波の被害を受けやすい地域
(出典： PHIVOLCS)

5.4.2 地震ネットワーク

図 5.4.2-1 は、地震・火山活動活動を含めたフィリピンの災害観測ネットワークであるが、現状は以下のとおりである。

- (1) 日本政府による「地震・火山観測網整備計画」が推進された。

第一次（1999 年）／ 第二次（2001～2002 年）

- 1) 67 か所のネットワークの設置

- ・地震観測所の設置
- ・火山活動観測所の設置
- ・9 局のブロードバンドの設置

- 2) 今後の強化策

- ・コンピューターの交換
- ・遠隔操作感触所を 2 か所増設
- ・総計 85 か所体制への増設

- (2) 2010 年-2014 年 科学技術協力「フィリピン国地震火山監視能力強化と防災情報の利用推進プロジェクト」にて、既存の衛星テレメータ地震観測点 30 か所のうち 10 か所に広帯域地震計と強震計を設置。加えてインターネットを活用した震度速報システムが開発される。



図 5.4.2-1 フィリピンの災害観測ネットワーク（出典：PHIVOLCS）

5.4.3 各社の事例

(1) Petron Bataan 製油所

1) 事業の概要

首都マニラから約146km離れたバターン半島 Limayに位置し、1961年4月に完成・スタートした製油所。最初はExxonMobilの所有であったが、国営やサウジ資本Ashmanを経て、2012年にビール会社のサンミゲル社が約半数の株を保有。現在、トッパ-3基で18万バレル体制である。フィリピンの石油製品中の硫黄濃度のスペックは政府により定められているがヨーロッパ・スタンダードでありMax.5PPMと厳しい。従って、水素化脱硫も実施している。

2) 地震状況と耐震対策

- ・マニラ海溝は地震の発生要因だが、バターンは海溝から離れているし、製油所はバターン半島の山を越えた海溝とは反対側のマニラ湾側にあるので、地震や津波の心配はそれほど大きくない。
- ・過去の自然災害としては、1991年のピナツボ火山の大噴火の揺れがあった程度で、地震活動はない。噴火当時は大量の火山灰が降り、道路に20~30cm積もったがプラントへの影響はなかった。
- ・自然災害の最も脅威なのは台風である。少なくとも20回/年で来るので、気象局との連絡を取っている。対策として、飛ばされそうな機器は屋内に入れたり、タンクの液面を上げて対応。また栈橋は閉鎖する。台風は232km/hrの風速を設計値としている。
- ・製油所の敷地は240haあるが、山から海への斜面を利用しており、精製プロセスのサイトは海拔40mなので、洪水・津波・大波の心配はない。
- ・6月、7月には雷が多い。その対応として、避雷針やリング火災に対する泡消火設備は完備している。落雷が原因のタンクのリング火災が年に一度は発生するが充分に対処できている。雷は確実にくるが、地震はめったに起こらない。
- ・適用設計規格は、ExxonMobilの標準仕様にに基づき、ASME/ANSI、API、TEMAなどのアメリカ規格を適用している。
- ・耐震設計はUBCに基づいて設計されている。建設当初の基準と現行の基準は内容が変更されているが、設備の改造、増設時は最新の基準を適用している。

現在運転中の設備で最も古い設備は1973年に建設されたものだが、適用基準が時代遅れになっているということはない。1989年のUBC Codeの改正のとき、1999~2000年にかけてリハビリ(Re-use, Revamp, Re-design)を行った。杭の交換も行った。
- ・設計最大風速は232 km/hrであり、構造設計は地震荷重よりも風荷重が支配的になっている。

- ・現在は ExxonMobil 社との資本関係はないが、ExxonMobil 社とは技術コンサルタント契約を結んでおり、EM 社の最新の標準仕様に基づいた設計、保守、運転が行われている。問題点等については問い合わせれば答えてくれる。
- ・地盤は良く、山側は直接基礎で建設されている。海の近くの構造物は杭基礎となっている。杭長は 20m～25m を使用している。直接基礎の地耐力は 107kPa とれる。
- ・地震計は設置していない。

3) 防災対策

- ・災害への対応策として以下を整備している。
 - －環境対応 : Waste Water treatment, Sour Water facility, Sulfur Recovery Unit, PFCCU, Flue Gas Desulfurization unit 等
 - －防火・防災 : 消火管システム、Heat Sensor Automatic Foam Pouring System、球形タンクのリング状の散水設備、消防隊等
- ・緊急対応シナリオについては、災害レベル（レベル 1、2）によるプラントの運転指針がある。レベル 2 で原油の受け入れをストップする。
- ・Emergency Response Plan (Shutdown Manual) を持っている。
オペレーターをシフト別に、順番に、週末も待機させている。現場では、ページングシステム、サイレンを設置。皆、現場のハンディフォンを持っている。
- ・Emergency 時には、組織図のトップにいる副社長がヘッドで責任を持つが、実務は Safety, Health, Environment & Facility 部門長が指揮する。

4) その他

- ・プラントの維持管理・保全等に関する法令等については、Local Government の規程で、最大 5 年に一度、高压容器の開放点検が必要である。水素系は、18 ヶ月ごとの検査が必要である。
- ・火災・電気・建築関係については、中央政府の Regulation がある。
- ・リークテスト等には、毎年 1 回、政府の検査員が立ち会う。これは労働省の管轄である。
- ・新プラントは、運転前の検査が必要である。

5.5 プラントの耐震設計実態の把握

フィリピンには耐震設計基準 National Structural Code of Philippines (NSCP) (現在の最新版は 6th edition 2010 年版) が存在する。これは UBC、IBC などのアメリカ規格をベースに作られたもので、計算方法は UBC と整合性がある。また、非建築構造物についても UBC と同様の規定があるのでこれを適用することにより非建築構造物の耐震設計が可能となる。

実際の石油精製プラントの耐震設計は建設地の Zone と等価な Zone を UBC の中から選び出し、それに基づいて UBC の設計法に従った設計を行っている。

5.6 想定される地震規模によるプラントへのダメージのシミュレーション及び想定される対応案

フィリピンにおける耐震設計基準と地震ハザードマップを調査し、それらに基づいて過去に耐震設計されたプラント、もしくは将来耐震設計されるであろうプラントのダメージを予測し、課題と対応策を提言する。

5.6.1 プラントの耐震設計基準および地震ハザードマップの変遷

フィリピンでは、プラント設備に限定した耐震設計基準は制定されていない。建築物の耐震設計基準および地震ハザードマップの変遷は次のとおりである。

- (1) “National Design Code of Philippines (NSCP), Volume 1, Forth Edition 1992”
 - ・ UBC を参考に制定された。
 - ・ 地震ハザードマップは図 5.6.1 を参照のこと。
- (2) “National Design Code of Philippines (NSCP), Volume 1, Fifth Edition 2001”
 - ・ 地盤種別の分類が変更になったことを除き、耐震規定の骨格の変更はない。
 - ・ 地震ハザードマップの変更はない。
- (3) “National Design Code of Philippines (NSCP), Volume 1, Sixth Edition 2010”
 - ・ 耐震規定の骨格の変更はない。
 - ・ 地震ハザードマップの変更はない。

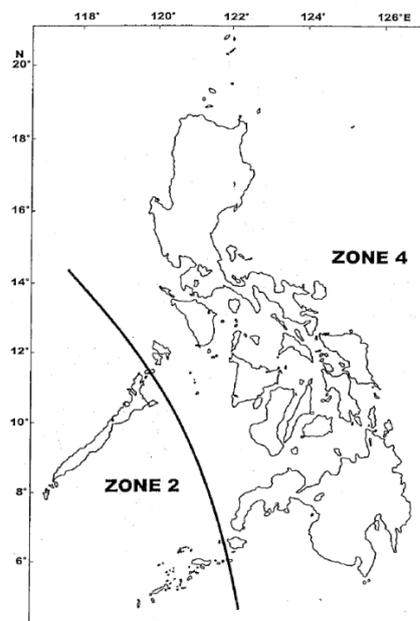


図 5.6.1-1 NSCP の PGA マップ

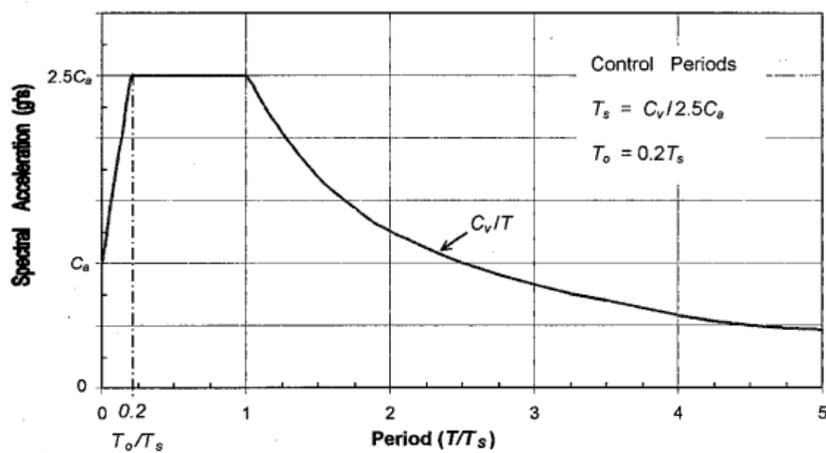
(出典 : “National Design Code of Philippines (NSCP), Volume 1, Forth Edition 1992”)

5.6.2 耐震設計基準の概要

通常の建物の耐震設計では水平方向の揺れに対して作用する力を計算して建物の部材を決定する。

現行の建築物の耐震設計基準（NSCP Sixth Edition 2010）に示されている建物に作用する水平方向地震力の算定方法の概要を添付資料 III に示す。同基準では水平方向の設計地震力は次の 5 つの指標で規定されている。

- (1) 地震の基盤における地震動の大きさを表す指標で、地震ハザードマップの PGA で与えられる。（図 5.6.1-1 参照）
- (2) 表層地盤における地震動の増幅の大きさを表す指標で、表層地盤の地盤種別と構造物の 1 次固有周期に対する応答倍率関数が定められている。（図 5.6.2 参照）
- (3) 重要度による地震力の割増係数で、建物の用途に応じて数値が定められている。
- (4) ダクティリティーの程度による地震力の低減係数で、建物の構造種別と架構形式に応じて数値が定められている。
- (5) 建物の積載荷重を含む総重量。



図

5.6.2-1

設計応答スペクトル

(出典：建築構造物耐震設計基準（NSCP Sixth Edition 2010）)

5.6.3 ダメージの予測

5.6.2 に示した水平方向の地震力を規定する 5 つの指標のうち、耐震設計基準で値が規定される(1)～(4)を対象に、(1)については PGA マップの変遷を比較し、(2)～(4)につ

いては NSCP を ASCE 7-05 と比較し、構造物の設計用ベースシアの大小から設計されたプラント構造物のダメージの可能性を考察する。

- (1) 地震ハザードマップは NSCP1992、2001、2010 を通して同一のものが使用されている。最新の地震観測データを取り入れてハザードマップを改定する必要があるかを検討することが望ましい。
- (2) 地震荷重算定式に用いるダクティリティーの程度に応じた低減係数の値が、NSCP1992、2001、2010 を通して小さくなってきており、地震荷重は大きくなってきている。従って採用している架構形式に対する R 値が基準によって変化している場合は、古い基準で設計された構造物が最新の基準では不適合になる可能性があり、設備の耐震性能を再検討することが望ましい。
- (3) 1992 年版よりさらに古い耐震設計基準は、入手していないので明言は控えるが、耐震性能がさらに劣っている可能性がある。

5.7 プラントの耐震技術のレベルの確認

当国では火山活動の監視、地震の観測等を行っている PHIVOLCS (Philippine Institute of Volcanology and Seismology) および災害に対応する OCD(Office of Civil Defense, Department of National Defense)があり、日本を含む海外との技術交流を実施している。しかしながら耐震技術に関しては自国の専門のエンジニアリング会社もない。ここも大きなエネルギーに関係するプラントは海外のコントラクターが担当している。セミナーの Counterpart の ASEP は建築関係の設計基準を担当していて十分な知見がフィリピンにはあると話している。一方プラント耐震技術者は数が少ない。

フィリピンに於ける石油精製・石油化学プラントの耐震設計を含めた基本設計は海外のエンジニアリング企業によって行われている。その際に用いられる設計手法は UBC をはじめとするアメリカ規格であって、それらが組み込まれた市販の設計ソフトによって設計が行われている。フィリピン国内の設計業者はプラント設備のような非建築構造物への耐震設計の適用は経験が少ない。

5.8 プラントの耐震対策の必要性に関するセミナー等に関する啓発活動

5.8.1 セミナーの実施概要

開催日 : 2012 年 8 月 29 日

会場 : メトロポリタンクラブ、マカティ市

内容 : 調査団側から次の 4 つのテーマを発表した。

① Insight about the JICA Seismic Technology Survey Project

② Overview of Japanese Seismic Technologies and Introduction of Seismic Assessment Methods for Existing Plant Facilities in Japan

③ Comparison of seismic design results based on various national codes

④ Disaster Prevention System of Refineries in Japan

一方、フィリピン側からも、フィリピンにおける地震観測体制、耐震設計基準、防災計画と体制といった概論的な発表があった。

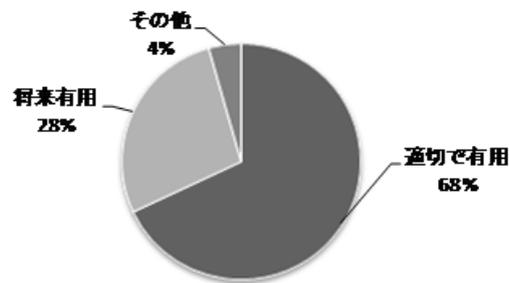
参加者 : 44名

主要な質疑：日本側の発表に対する主な質疑は、耐震設計技術者の養成方法、重要度係数と設備の関係、LNG タンクの重要度係数、必要板厚と転倒モーメント、製油所火災の対処法、等多岐にわたるテーマについて活発に行われた。

5.8.2 セミナーのアンケート結果

今回のセミナーでは、セミナーの登録の際に参加者にアンケート用紙を配布し、終了時にそれを回収し、それを集計した。

セミナーの内容（トピックス、レベル、発表、時間）：



5.8.3 セミナーまとめ

フィリピンのセミナー(8月29日)では、45名近くの参加者があり、上記に示すように熱心な討議がなされた。参加者はエンジニアリング会社やコンサルタント会社が一番多く、続いて、学会および生産会社の順であった。フィリピンでは初めてのセミナー開催だったので、若干耐震技術について触れたプレゼンテーションを行った。プレゼンテーションでは日本の法体系や耐震設計基準等の三カ国比較、日本の防災システム、特に石油精製プラントの防災システムを紹介した。参加者の反応として添付にも示されるが、多くの参加者が日本側の発表に対して有益だったとの回答である。時間があればパネル討論もやってほしかったとの積極的な回答もあった。これら参加者からの意見や日本側からの技術説明を踏まえ、ASEPとしては石油精製・石油化学の統一した法体系の整備が必要である。特に日本の法体系に注目しており、将来的には日本の法体系を導入する検討をASEPの中で行い、その導入に際して日本の専門家の援助

を受けたいとの意向である。

人材育成の面でも、フィリピンではフィリピン市場向けのエンジニアリング会社が存在しないので、土木や建築技術者、および機械の技術者を育成していく必要がある。アンケート(添付資料 VIII 参照)でも多くの参加者が同様なセミナーを継続して実施してほしい旨の意見であった。

5.9 フィリピン国におけるニーズ・要望と検討

セミナーを共同開催し、建築関係の設計基準を担当している ASEP の意見および要望は下記のとおりである。

- ・ 石油精製・石油化学に特化した耐震設計・防災に関する法体系が必要。
- ・ 日本の法体系に注目。
- ・ 将来的には日本の法体系を導入する検討
- ・ 法体系導入に際しては日本の専門家の援助を受けたい
- ・ ASEP だけの努力では限界があるので DPWH(Department of Public Works and Highway)と協調。

プラント耐震技術者の養成が最大のニーズであり、前述のセミナーのアンケートの結果からも、多くの参加者からこのようなセミナーを継続してほしいと意見が多数あった。

第6章 途上国におけるプラントの地震防災における課題の 取りまとめ

6.1 インドネシア、ベトナムおよびフィリピン三カ国の防災組織、法律等の比較

第3章、第4章および第5章にインドネシア、ベトナムおよびフィリピンの三カ国における防災計画についてそれぞれ述べたが、プラントの地震に関する防災計画を表6.1-1に纏めた。日本の例も合わせて示した。

表 6.1-1 防災計画の三カ国比較

Comparison of Disaster Prevention Plan in Viet Nam, Indonesia and Philippines

	Viet Nam	Indonesia	Philippines	Japan
a) Basic Law	Law on Water Resource Law on Dyke Ordinance on Flood and Storm Control	Law No.24 Year 2007 on Disaster Management	Disaster Risk Reduction and Management Act 2010	Disaster Counter-measures Basic Act
b) Responsible Government Organization	Prime Minister (Ministry of Agriculture and Rural Development, The Central Committee for Flood and Storm Control (Disaster Management Dept./Dike Management for Tsunami)	National Agency for Disaster Management	Department of National Defense	Cabinet Office
c) Covering Disaster	Natural Disaster	Natural & Accidental Disasters	Natural Disaster & Terrorism	Natural & Accidental Disasters

(出典：調査団作成)

それぞれの国には基本となる法律が存在し、これらに基づく対応組織が明確化されている。プラントにおける地震災害は、表中 c)の Natural Disaster(自然災害)に分類される。

インドネシア及びフィリピンは法律、責任組織が決まっており、対象となる災害も地震が含まれている。

一方、ベトナムにも法律があり、対応組織も決まっている。ベトナムでは地震に関して、建設省の法律が存在しており、2000年のベトナム北部地震の折、建設省が素早く対応した基となった。しかしながら、洪水を念頭に作成されており、現段階では地

震に対する記述はあるものの、実際面で十分に対応していない。今後地震に関しての内容を、充実、整備する必要がある。

6.2 インドネシア、ベトナムおよびフィリピン三カ国の耐震・防災技術の比較

次に技術面から見た三カ国の状況を比較する。

6.2.1 インドネシア、ベトナムおよびフィリピン三カ国のプラント訪問結果

第3章、第4章および第5章にインドネシア、ベトナムおよびフィリピンの三カ国で訪問したプラントの簡易的なワークスルーによる耐震診断結果を述べた。

ここではそれぞれの結果を踏まえ、適用耐震設計基準、Contractor名、運転開始時期ならびに簡易的な診断結果を表6.2.1-1に示す。

ベトナムでは、2009年に運転を開始した日本の日揮建設の製油所ではUBC(米国)基準が適用されており状況は良い。ファライの石炭焚き火力発電所は1983年に運転を開始した旧ソ連製設備と2000年に運転を開始した日本/韓国製の設備があり、旧ソ連が建設した第1号機はソ連の耐震設計基準で設計・建設され、配管や天井の落下防止対策の不備など耐震対策上の弱点や経年劣化も見られた。PVGasのLPGプラントは韓国が建設中であり、ベトナムのTXCDVN375の基準が適用される。

インドネシアでは、Petrochina Betara ガスプラントはUBC(米国)基準に基づき千代田化工建設が建設工事を行い、三菱化学メラク工場はSNI基準に基づき日揮が建設を行っており、両プラントとも設備状況は良い。

フィリピンPetronのBataan製油所は新旧両方のプラントがあるものの現在製油所では古い設備の更新作業が進行中である。古い設備は昔の所有者であるEssoが建設したもので、当時のUBCと推測される。古い設備の方は蒸気漏れや保温材の欠損など保守点検の面での問題が見られた。

今回訪問した石油精製、石油化学、LPG等のプラントはどこも大規模なプラントであり、海外エンジニアリング会社が設計・建設したもので特に大きな問題は見出されなかった。

表 6.2.1-1 訪問プラント簡易型診断結果

The Results of Plants Seismic Survey in Viet Nam、Indonesia and Philippines						
	Viet Nam			Indonesia		Philippines
Plants visited	Petrovietnam Dung Quat Refinery	Power plants (Old&New)	PVGas LPG Receiving Terminal	Jumbi Betara Gas Plant	Mitsubishi Chemical	Petron Bataan Refinery
Applied Code	UBC1997	Russia & Japan,Korea	TCXDVN375	UBC1997	SNI	UBC/Esso /Mobil
Contractors	JGC	Sumitomo	POSCO Engineering	Chiyoda	JGC	n.a.
Year started	2009	1983/2000		2005	1991	1973
Observational Results	Good	Old: To be further studied New:Good	Under construction	Good	Good	Old: To be further studied New:Good

(出典：調査団作成)

6.2.2 インドネシア、ベトナムおよびフィリピン三カ国の耐震設計基準の違いによる Tower 肉厚比較

プラント設備の地震に対する強度は、定められた耐震設計基準の厳しさによる。石油精製、石油化学プラントに適用される各国の耐震設計基準を調べたが、ここでは、その基準に基づいてプラントの代表的な機器の Tower の鋼板の厚さを試算した。Tower は各種プラントにおいてプロセス反応などを行う中心的な機器であり、規模も比較的大きく、災害が発生した場合の損害も大きくなることが想定される。当然のことながら、耐震設計基準による試算の結果、板厚が厚いほど耐震性を有することになる。

調査対象国、比較対象国、日本及び米国について各国の耐震設計基準を石油精製、石油化学プラントの各種設備に適用する際の適用範囲について調査した結果を表 6.2.2-1 に示す。

表 6.2.2-1 各国耐震設計基準の適用範囲

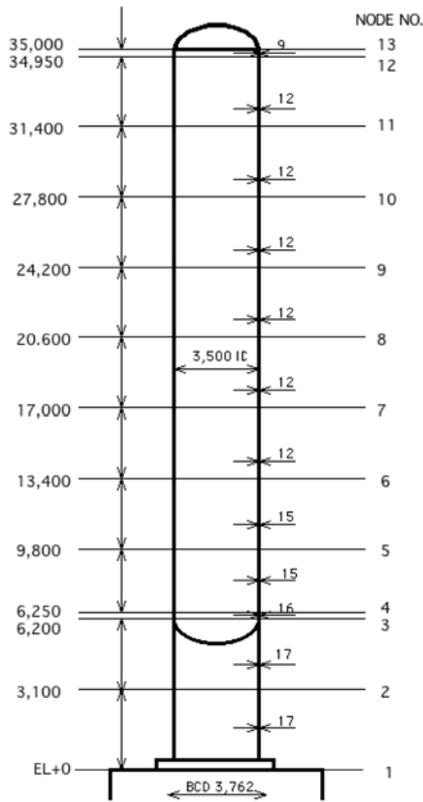
Facilities	Japan	USA	Viet Nam	Indonesia	Philippines
Buidling structures	The building Standard Act	ASCE7 (or UBC, IBC)	TCXDVN375	SNI-02-1726	NSCP
Non-building structures similar to building	High Pressure Gas Safety Act				
Non-building structures			(None)	(UBC)	
- Pressure vessels					
- Heat exchangers	ASME B31E	(None)	(None)		
- Piping					
- Storage tanks	Fire Service Law	API650 Appendix E	EN1988-4	(API650 Appendix E)	(API650 Appendix E)

註：括弧付の規格は各国耐震設計基準では規定されていないが、事実上適用されている規格を示す。

(出典：調査団作成)

各国の耐震設計基準による設計地震力の相違が実際のプラント設備の設計に与える影響を具体的な数値で比較するために、図 6.2.2-1 に示すタワーを例にとって胴およびスカート支持構造の必要とされる板厚を計算した。

ただし、表 6.2.2-1 から分かるように、ベトナム国及びインドネシア国には建築構造物を対象とした耐震設計基準は規定されているが、それをプラント設備の大半を占める非建築構造物に適用する方法は示されていない。従って、そのままでは地震荷重に対して必要とされる部材のサイズ等が決められないため、ここではこれまでの設計実績等に照らし合わせ、重要度係数を始め計算に必要ないくつかの係数を仮定した上で計算を行った。



Design Pressure: 0.35MPa
Design Temperature: 150C
Material
Shell: SA516 Gr.70 (C.S.)
Head: SA516 Gr.70 (C.S.)
Skirt: SA516 Gr.70 (C.S.)
Natural Period: 0.61 sec
Damping Factor: 3%
Pressure Vessel Design Code:
ASME Section VIII division 1
Operation Weight: 1,474 kN
Corrosion Allowance: 3.0mm
(for pressure parts)

図 6.2.2-1 耐震設計基準比較のための計算モデル

(出典：調査団作成)

建設地は、各国の最大基盤加速度が最も高い地域とし、計算例題の固有周期（0.61～0.71 秒）に対して最も高い応答を示す地盤種別との組合せを選択した。計算の結果、必要とされる各部の板厚の比較表を表 6.2.2-2 に示す。

表 6.2.2-2 各国耐震設計基準に基づくタワーの必要板厚

	Japan	Viet Nam	Indonesia	Philippine
t12 (mm)	9	9	9	9
t11 (mm)	12	12	12	12
t10 (mm)	12	12	12	12
t9 (mm)	12	12	12	12
T8 (mm)	12	12	12	12
t7 (mm)	12	12	12	12
t6 (mm)	12	12	12	12
t5 (mm)	15	12	12	12
t4 (mm)	15	12	12	12
t3 (mm)	16	12	12	12
t2 (mm)	17	13	14	11
t1 (mm)	17	13	14	11
Natural period (s)	0.61	0.69	0.68	0.71
Ope. Wt (kN)	1,437	1,388	1,394	1,377

(出典：調査団作成)

日本の場合だけは、基礎面からの高さ 13.4 メートル以下の部分は地震荷重によって必要板厚が決まるが、その他三カ国についてはスカート支持構造物だけが地震荷重によって必要板厚が決定される。また、その板厚はフィリピン、ベトナム、インドネシア、日本の順で厚くなる。

各国が位置する地勢学上の条件、及び各国の耐震設計基準による設計上の条件がそれぞれ異なるため、これらの必要板厚を横並びに比較することはあまり意味を持たないが、概略的に設計震度の多寡、耐震設計基準の相違を比較することは出来る。

6.3 インドネシア、ベトナムおよびフィリピン三カ国共通の課題

本調査における三カ国の主要協議先である IBST(ベトナム)、BPPT(インドネシア)、ASEP(フィリピン)との協議、開催したセミナーからの入手情報ならびに工場訪問等から得られた情報、更に国内調査の結果に基づいて下記項目が課題として認識される。

- ① どこの国も耐震技術者、特に石油精製や石油化学の耐震設計を担当する技術者が不足している。反対に地震学者、観測所等は日本を含む海外の協力により充実が図られている。

- ② 三カ国の耐震設計基準を調査した結果、配管の耐震設計に関する基準がないことがわかった。配管はプラントが地震による揺れを受けた際に被災しやすい個所であり、また、欧米の基準にも配管に関する項目がないことから、日本の耐震基準の適用による対策の実施が必要と考えられる。
- ③ 第2次調査の際に訪問した工場は皆大規模であり、また日本や韓国のエンジニアリング会社が設計・建設を実施しており、簡易的な診断では耐震対策上の欠点は見出されなかった。三カ国には中小規模の化学・石油化学プラントもあるはずであり、これらを含めたプラント設備の耐震対策が十分であるか実情把握が必要である。日本においても同様だが、中小規模工場は、自社の事業に実際のデメリット（被害の発生等）がない限り、コストをかけて耐震対策は行うことは考えにくく、ただちに対策を取らせることは困難である。まず、法律・規制の策定、耐震化の必要性の啓発活動が必要である。加えて、地震が発生した際の被害を把握するための状況調査を行い、十分に耐震設計基準等を考慮した設計・建設になっているか、地震が発生した際にどの程度の被害が想定されるか、等の実情把握を行い、将来的に対策を検討していくことが必要である。
- ④ 三カ国とも経済発展が著しく、エネルギーの安定供給は国の重要課題である。特にベトナム、フィリピンでは自国資源が十分とは言えないので、日本同様発電燃料として LNG の輸入で対応せざるを得ない状況にある。国内 LNG 供給パイプラインを計画するインドネシアも含め、三カ国では LNG 貯蔵タンク等の需要が増えると予測される。この点に関して耐震上の設計・施工に十分な基準や設計指針が必要となる。

6.4 インドネシア、ベトナムおよびフィリピン三カ国における耐震技術の必要性

三カ国の耐震技術・防災技術の必要性を表 6.4-1 にまとめた。

耐震技術エンジニアの育成、耐震設計能力の拡充および工場診断の評価能力への協力など人材育成への協力に関しては三カ国とも必要と言える。インドネシアの必要性が○（中程度）となっているが、日本（JICA）からの技術協力が進んでいることを含めての評価であり熱心さが低いことを示すものではない。

災害予防に関してはインドネシア、フィリピンよりもベトナムが遅れていると言え、これは過去の地震災害、被害の経験が少ないことと考えられる。

発電所や LNG 貯蔵設備など具体的な耐震技術協力は三カ国とも必要性がある。

この表から、ベトナムが耐震技術および防災技術に関してこれからの整備を一番必要としていることがわかる。耐震技術の整備が進まなかった背景には、これまで大きな地震や津波に見舞われなかったことが挙げられる。一方インドネシアではたびたびの地震で国としての対応や対策が整いつつある。また同国には REKASAYA などのエンジニアリング会社が存在して、外国エンジニアリング会社と協調して技術習得を行ってきた。このような一部企業は、現在では自社で設計・建設までこなせるようになっている。

表 6.4-1 三カ国における耐震技術の必要性

Potential Needs of Plants Seismic Technology			
	Indonesia	Viet Nam	Philippines
Cooperation for Bring up of Seismic Engineers Resources	○ (Middle)	◎ (Large)	◎ (Large)
Cooperation for Enhancement of Seismic Design Capability	○	◎	◎
Cooperation for Evaluation & Capability of Seismic Diagnosis	○	◎	◎
Cooperation on Disaster Prevention	○	◎	○
Other Seismic Tech. Cooperation (Power Plant /LNG Storage)	◎	◎	◎

(出典：調査団作成)

6.5 インドネシア、ベトナムおよびフィリピン三カ国における協力先

今回の調査において訪問、調査を実施した主な政府関係機関と概要は以下の通りである。

6.5.1 インドネシア

- (1) 公共事業省人間居住研究所 (PUSKIM(Pusat Penelitian dan Pengembangan Permukiman), The research institute for human settlement, the Ministry of Public Works)

公共事業省傘下の4つの研究機関のうちのひとつであり、人間の居住に関する科学技術の研究開発を行っている。建築物の耐震設計基準の作成を担当しており、その能力強化が求められる。

- (2) インドネシア技術評価応用庁 (BPPT(Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi), Agency for the Assessment and Application of Technology)

エネルギー、災害・地震、輸送、宇宙開発などの技術評価と開発を担当するインドネシア最大の公的機関であり、今回の調査でもカウンターパートとして協力を得て、啓発セミナーを実施した。総合力は十分有しているが、耐震技術分野にお

ける法制度・基準の制定や耐震技術の人材育成を行う担当としては、今後の協力先としては上記の PUSKIM が適切と思われる。しかし、耐震技術の普及及び人材育成に関しては中心となる機関と考えられる。

- (3) 気象気候地球物理庁 (BMKG(Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika), Agency for Meteorology, Climatology and Geophysics)

日本の気象庁に相当する国の機関である。地震・津波観測や警報システムを管轄しており、国内に 10 カ所のセンターを有する。調査においても協力的であった。

- (4) インドネシア国家防災庁 (BNPB(Badan National Penanggulangan Bencana), National Agency for Disaster management)

防災政策等を策定し、総合的な防災対策の実施の調整を行う組織として 2008 年 2 月に設立された。災害発生前、緊急事態、災害発生後の各段階の防災対策を担当、地方防災庁との調整も行う。

インドネシアにおける産業関連所管官庁は工業省 (Ministry of Industry) とエネルギー・鉱物資源省 (Ministry of Energy and Mineral Resources) があるが、本調査の趣旨を説明の上、訪問調査を依頼したが、耐震に関しては担当ではないとのことで、訪問することができなかった。制度や基準については、建設関連機関が主体となるが、民間企業が取り組む際にはこれら省庁が関連すると考えられ、今後の協力の段階で理解を深める必要がある。

6.5.2 ベトナム

- (1) ベトナム建設技術科学研究所 (IBST, Vietnam Institute for Building Science and Technology)

建設省傘下の研究機関で、建設産業における研究開発、建設コードや標準の策定を行っている。2006 年に建設省の命令により Eurocode 8 を元に、TCXDVN375:2006 を作成した。プラントに関するコードを制定する際にも IBST が窓口になる意向を示しており、その能力強化が求められる。

- (2) 建設省科学技術環境局 (Department of Science, Technology and Environment (DSTE), Ministry of Construction)

建設省の科学・技術・環境に関する部局。IBST がコードや標準を作成する立場であるが、DSTE は命令する立場。ベトナム北部は中程度の地震地帯であり、耐震設計が必要との認識を持ち、人材育成や技術支援の必要性を感じているとのこと。

- (3) ベトナム科学技術アカデミー地球物理学研究所 (Institute of Geophysics, VAST,

Vietnam Academy of Science and Technology)

ベトナム科学技術アカデミーは自然科学の調査や技術開発の役割を担う。科学技術管理、社会経済開発の立案・計画、高品質の人材訓練などを行っており、30 の研究所と 5 つの非研究組織がある。地球物理学研究所は 30 のうちのひとつ。耐震活動の調査も機能のひとつ。

なお、商工業省 (Ministry of Industry and Trade) およびエネルギー省 (Ministry of Energy) は産業、電力の所管官庁であり、本調査において繰り返し調査趣旨を説明の上、訪問を申し入れたが、耐震に関しては関係ないとのことで訪問することができなかった。今後、人材育成などの協力を行う過程で、実際の企業への啓発とともに理解を深める必要がある。

6.5.3 フィリピン

(1) 国防省民間防衛局 (OCD(Office of Civil Defense), Department of National Defense (DND))

国防省民間防衛局はテロなどの人災とともに自然災害にも対応する。Director が国家防災委員会 (NDRRMC, National Disaster Risk Reduction and Management Council) の委員長であり、マニラのインフラの地震対策を JICA 協力により実施中。

(2) フィリピン火山地震研究所 (PHIVOLCS, Philippine Institute of Volcanology and Seismology)

PHIVOLCS は、科学技術省 (DOST, Department of Science and Technology) 傘下であり、地震、火山、津波を観測し、その情報を判断して関連部門に通達する政府研究機関。

(3) フィリピン構造技術者協会 (ASEP, Association of Structural Engineers of the Philippines, Inc.)

フィリピンの土木学会の下部機関として National Structure Code を作成し、普及している。本調査で実施した啓発セミナー開催にも協力し、プラントの耐震技術や耐震基準に高い関心を持つ。建築基準を作成する能力を持ち、今後の協力先の候補であるが、基準は公共事業道路省 (DPWH, Department of Public Works and Highways) が承認することから、DPWH との協力が必要と思われる。

貿易工業省 (Department of Trade and Industry)、エネルギー省 (Department of Energy)、環境天然資源省 (Department of Environment and Natural Resources) などが産業関連省庁であるが、耐震に関しては関係ないとのことで訪問することができなかった。

フィリピンに関して、今後の協力窓口として ASEP が適切であるかの検討、フィリピン側関係者と協議する必要があると考えられる。その過程もしくはその後の人材育成などの協力を行う過程で、実際の企業への啓発とともにこれら産業を所管している省庁への理解を深める必要がある。

第7章 途上国におけるプラントの地震防災に対する提言

本調査は、途上国に対して我が国の耐震技術の適切な導入を実施することが可能か、地震の多い途上国に耐震技術を導入することにより貢献できるか、を調査することを目的として実施した。

調査の結果、地震防災に対する提言として、プラント向け耐震設計基準・指針の整備および既設プラントの耐震診断が想定される。また、日本では法律・基準の制定に当たって委員会等に民間の人材を起用して検討を行うが、そのような仕組み作りも各国の制度構築に寄与すると考えられる。

過去、イランに対して日本の耐震技術導入の試みが行われたが、UBCを用いて実施した耐震診断の技術支援の後に、日本の耐震設計方法を取り入れたプラント用の耐震設計指針を作成し導入したため、日本の耐震設計方法の普及に繋がる支援まで実施できなかった。この事例の反省から、ここに示す提言を有効にするには、日本と対象国の間で継続的な協力関係を得るために、耐震診断の実施前に対象国のプラント設備用の耐震設計基準に日本の基準を導入することを前提とする。また、提案は、対象国における関係者の要望および日本からの技術協力の可能性から判断して実施可能な内容を想定した。複数の技術協力が必要な場合、日本の基準を導入する可能性の高い順位で実施することが望ましい。

7.1 対象国の分析と協力可能性

7.1.1 インドネシア

インドネシアは、エネルギー資源の豊富な国で、多くのプラント設備を保有しており、今後これらのプラントの改造や増設等の工事が期待できる。インドネシアでは、UBC-1997に基づく建築物の耐震設計基準である SNI 03-1726-2002 に、ASCE-2009 (American Society of Civil Engineers) の考え方を導入した新基準の承認を、PUSKIM が公共事業省に申請中である。同国では、プラント設備等の非建築構造物の耐震設計は現時点で基準に取り入れられていない。第1回セミナーでの推奨に応じて、PUSKIM はプラント用耐震設計基準の必要性を理解しており、現在、プラント用耐震設計基準の策定のための委員会を準備中である。さらに、同国のエンジニアリング会社は既にUBCを用いたプラント設備の設計を実施しているので、この三カ国の中では、耐震設計の技術レベルが一番高い。自国の技術者によるUBCに基づくプラント用耐震設計基準の検討が可能な技術レベルである。プラント設備が該当する非建築構造物の耐震設計方法が耐震設計基準に定められていないこともあり、BPPT はプラントの耐震設計に関する技術情報の収集に対して意欲的に取り組んでいる。配管用の耐震設計基準は日本にしかないとはいえ、現在改訂を進めている ASCE7 に基づき改訂した基準を一般建

築構造物用の基準とし、プラント設備に対しては新たに日本の耐震設計基準を採用して、プラント用の耐震設計基準を整備することが望まれる。

インドネシアでは実務的に UBC を利用している現状であり、プラント・エンジニアリング分野に日本の耐震基準を制度として採用することが前提である。プラント耐震設計基準・指針の整備および既設プラントの耐震診断を行う中で、現地での要望の強い人材育成（セミナー、ワークショップ、研修など）による協力方法が考えられる。

7.1.2 ベトナム

TCXDNV 375:2006 "Design of Structures for Earthquake Resistance"が Eurocode(BS-EN 1998-1: 2004)に基づき定められたが、普及は遅れている。プラント設備に関しては、TCXDNV 375:2006 を現在設計段階のものに適用しようとしているが、Eurocode 自体、タンク以外のプラント構造物を対象としていないので、それらへの適用は難しい。このように、耐震基準は制定したが、現在はまだ十分に活用されていない状況である。現実問題として、PVGAS は、LNG 受け入れ基地を計画しているが、自国の耐震設計基準を十分に解釈できず、プラント視察時にアドバイスを求められた。

また、耐震新設計基準の作成および監督官庁である IBST および MOC (Ministry of Construction) もプラント用の基準の作成に前向きであり、プラント用耐震設計基準として日本の基準を採用する可能性は非常に高い。さらに、同国では、今後沿海部の資源開発が期待されており、それによる石油・石油化学産業の発展によるプラントの建設が見込まれる。

プラント耐震設計基準・指針の整備および既設プラントの耐震診断の導入には最も適した状況にあり、制度構築体制作りへの支援など総合的な導入計画への協力も可能であろう。ただし、同国は、プラントの耐震設計に限らず、耐震設計基準を作成するための設計技術レベルが充分でない。協力の過程で、政策レベル、研究機関、民間企業の技術者を含めてプラントの設計についての教育を行い、技術レベルの向上を図る必要がある。

7.1.3 フィリピン

NSCP(National Structural Code of Philippines) 6th Edition-2010 が UBC に基づき作成されており、プラント構造物についても非建築構造物として基準の対象設備に含まれており、現在は、配管を除いて耐震設計方法が示されている。このような状況で、プラント設計に関して、現状の基準でカバーされている。しかし、現在建築関係の設計基準を担当している ASEP は、日本の基準に基づく耐震設計方法の導入を検討しようとしている。ASEP は構造技術者の協会であり、国の省庁を動かして基準を制定できるかが危惧される。一方、フィリピンはエネルギー資源が乏しく、プラントの保有数は多くないものの、今後は、エネルギー確保のために輸入する LNG の受け入れ施設の建設が期待される。

同国における日本の基準に基づく耐震設計方法導入の検討状況を見極め、プラント耐震設計基準・指針の整備および既設プラントの耐震診断の導入に対して協力を行うこ

とが考えられる。

7.2 想定される協力内容

三カ国における調査の結果、以下の協力が想定される。

1) プラント向け耐震設計基準・指針の整備

Eurocode や UBC などを用いて各国で建築構造物向けの耐震基準を制定するなど、一般建築向けの基準は有しているが、プラントの耐震基準は有していない。フィリピンではプラント構造物についても現状の基準の対象に含まれているが、配管など日本の基準の導入の余地がある。各国の設計基準に関与している組織・機関では、プラント向け耐震基準制定の必要性を認識しており、プラント向け耐震設計基準・指針の整備への協力支援が必要である。政府としてプラント向け基準の整備を行うには外部専門家の支援が必要であり、基準制定への支援、公的機関を通じての民間企業のエンジニアの育成スキーム構築への支援、基準を制定した後の順守のための仕組み作りへの支援など、日本が貢献できる分野がある。

また、その協力の中で、日本が制度制定の際に行っているような民間企業の専門家を交えた委員会制度の導入なども検討対象として有効であろう。

詳細を 7.3 に記述する。

2) 既設プラントの耐震診断

プラントの耐震基準・指針を導入した後は、耐震性能を確認するために既設のプラントを選択し、日本および対象国の技術者で耐震診断を実施する必要がある。耐震診断を実施することにより、対象国のプラントの耐震性能の実情を把握し、さらに次段階として具体的な耐震設備導入、耐震構造への改造など、実際の改修計画に繋がる事が期待される。

詳細を 7.4 に記述する。

7.3 プラント向け耐震設計指針・基準の整備についての協力

対象国のインドネシアおよびベトナムならびに比較対象国のフィリピンにおいて、プラント用耐震設計基準の必要性について、建築構造物の耐震設計基準を作成している機関などがプラント用耐震設計基準の作成に取り組む意思を示した。相手方のニーズに応じて、日本のプラント用耐震設計基準に基づき、対象国向けおよび比較対象国向けにプラント用耐震設計基準・指針を作成し、その基準・指針の導入及び活用を図る。

7.3.1 導入する基準・指針の検討・作成と導入支援

日本のプラント設備に適用される耐震設計基準は多数あるが、主要なものは高圧ガス保安法、消防法、および建築基準法である。これらのうち、高圧ガス保安法の一部である高圧ガス設備等耐震設計基準およびその指針ならびに消防法のタンクの耐震設計基準に基づき、対象国向けのプラント用耐震設計指針(案)を作成するための支援が必要である。建築構造物については、対象国に既に存在する耐震設計基準を使用するように調整する。(本作業は、対象国の対応機関と調整しながら作成する必要があり、塔槽類、タンク、配管、架構・基礎および設計地震動の検討等の専門家が国内および海外作業を行う。)

日本では、耐震関連法規・基準が制定される際には、専門家からなる委員会等を設置し、学会や民間の専門家を交えた議論を行い、制度の制定や改訂を行っている。このような委員会制度の導入なども検討することにより、対象国にとって持続的な効果が期待できる。

耐震設計基準・指針の導入に際しては、対象国の政府関係者および技術者も交えて、ワークショップや日本での OJT を行うなど人材育成のための協力および技術移転等を並行的に行うことが望ましい。

基準・指針(案)の導入後、それらの使用に当たっての許認可に必要な検討作業の指導・支援が必要である。(塔槽類、タンク、配管、架構・基礎および設計地震動の検討等の指導を行う長期派遣専門家および派遣された専門家を日本でサポートする専門家が必要である。)

このような協力支援を行うことにより、日本のプラント・エンジニアリング産業にとって、エンジニアリングビジネス機会の増大、塔槽、タンク、配管に代表されるプラント設備の途上国への導入の可能性が高まる。

7.3.2 国別の対応

(1) インドネシア

PUSKIM はプラント用耐震設計基準作成のための委員会の設立に取り組み始めている。将来日本から実際に耐震関連の技術・設備の導入がなされるかは、インドネシアが日本のプラント用の耐震設計基準を導入することが前提であり、この見極めが必要である。。

また、導入することになっても、2年前に改訂版の建築耐震設計基準を提出していながら未だに承認されないという実情を考慮すると、基準として検討を進めても制定されるまで長期間かかる恐れがある。インドネシア向けには、プラント用耐震設計指針を作成し、指針として基準よりも緩やかな目標を提供し、実用に供することで普及させる方法が有効と考えられる。

(2) ベトナム

ベトナムにおいては、IBST および MOC も基準の作成に前向きであり、一般建築物の耐震設計基準も普及していないという状況から、耐震設計基準を含め、プラ

ントの設計基準全体を体系としてまとめることも考えられる。

(3) フィリピン

フィリピンでは現在保有する耐震基準にプラント構造物が含まれている。既存の基準に加えて日本の基準を導入することは技術的に可能であるが、日本の基準に基づく耐震設計方法導入について、フィリピン側の検討状況を見極める必要がある。政策レベルへの啓発活動は必要と考えられ、人材育成に関して、受講者の技術レベルを確認し、必要に応じて設計の基礎講座から開始することも検討する。

7.4 既設プラントの耐震診断の実施についての協力

今回の調査では対象プラントを特定できなかったが、耐震性能を確認するために既設プラントを選択し、日本および対象国の技術者で耐震診断を実施する必要がある。実施に当たっては、診断基準となるプラント設備用耐震設計基準・指針が必要であり、地震対策では最も進んでいると言える日本の基準・指針に基づいて行うことが適切である。本耐震診断の実施に際しては、対象国の政府関係者および技術者も交えて、ワークショップや日本での OJT を行うなど人材育成のための協力および技術移転等を並行的に行うことが望ましい。

また、本耐震診断を実施することにより、対象国のプラントの耐震性能の実情を把握し、さらに次段階として具体的な耐震設備導入、耐震構造への改造など、実際の改修計画に繋がることを期待される。

7.4.1 国別の対応

(1) インドネシア

多くの既存 LNG 製造プラントが存在し、ガス田の枯渇により既存の製造設備の受け入れ設備等への転用も考えられ、今後、既存設備の耐震診断の需要は高まるものと思われる。また、多くの既存の化学プラントもある。

(2) ベトナム

今後のエネルギー分野で多くのプラントの建設が期待できるが、既存設備は化学プラントおよび油槽所が対象として適切であろう。

(3) フィリピン

多くの既存の化学プラントおよび油槽所が対象と想定される。Petron 社の Bataan 製油所は、多くの新旧のプラント設備が混在しており耐震診断の対象として適切である。

7.5 日本の耐震基準の特徴と利点

日本のプラント用の耐震設計基準の特徴と利点を以下に列記する。

(1) プラント設備に対する重要度分類

IBC および Eurocode では、重要度係数はプラント設備に全体で一つの値が与えられる。それに対して日本の耐震設計基準では、プラント内のリスクの大きな設備ひとつひとつに対して重要度分類が行われ重要度係数が与えられる。

地震によりプラントが損傷を受けた場合にプラント敷地周辺の安全を脅かす可能性が高いプラント設備（例えば可燃性ガス容器や毒性ガス容器など）では、そのリスクの程度に応じて設計荷重の割り増しを行うことが望ましい。日本の基準では、プラント設備ごとに危険物の保有量および保安物件との距離に応じて重要度係数を定め、周辺に対するリスクの大きい設備は、大きな地震荷重に耐えるように設計することにより周辺への安全性を高めている。

すなわち、米国（IBC）や欧州（Eurocode）ではプラント全体をひとくくりで設計するため設備によって十分、不十分な個所が出てくるが、日本は設備ごとに設計するため、より実際的な被害想定による設計が可能で、被害を抑えられる仕組みとなっている。

(2) 2段階設計法

IBC および Eurocode では、崩壊を防ぐのを設計目標とした地震動の設計スペクトルが与えられ、それから地震荷重を算定して許容応力設計を行う一段階の設計方法である。つまり、崩壊を防ぐ設計に係数をかけることにより、地震力を低減して、弾性範囲での設計を行っており、解釈が難しい。

それに対して日本の耐震基準は2段階方式を採用している。2段階設計法では下記の耐震性能を保有するように設計する。これにより、使用中に一、二度経験するような地震動では、地震後そのまま使用でき、まれな最大級の地震に対しては、崩壊や内容物の漏洩を防ぐというように、2種類の地震動に対する目的がはっきりしている。この方法は耐震診断の目標としても使用し易い。

- ①設備の供用期間中に発生する確率の高い地震に対しては弾性設計を基本とし、地震後、プラントの再使用が可能な状態に留まるように設計する。
- ②最大級の地震に対しては、塑性変形により地震エネルギーを吸収する弾塑性設計法を基本とし、残留変形を許容するものの、内溶液の漏えいを防止し、プラントの安全性を確保する。

米国（IBC）や欧州（Eurocode）では崩壊を防ぐ設計と使用状態を確保する設計を一つの地震力で評価する一様の設計となっているため、プラント設備の崩壊がなかった場合には、その後にダメージの残っている程度がはっきりせず、次の地震により崩壊することがありうる。しかしながら、日本の2段階設計法では、再使用が可能な状態に留める一度は経験するような地震力に対する設計と、プラント設備が破壊されても被害を最小限に留めるそれより大きな地震力に対する設計と2段階の地震力で設計するため、受けた地震力により、被害程度の把握と地震後の使用可

能度合いを把握しやすい設計方法となっている。

(3) プラント設備ごとの耐震設計方法の提示

IBC および Eurocode では、例えば、球形タンク、塔槽類、および横置き貯槽等の耐震設計方法等は具体的に提示されていないが、日本の耐震設計基準では、設備それぞれが持つ振動特性を考慮した耐震設計方法が耐震設計基準の指針に示されている。

(4) 配管の耐震設計の必要性の検討

プラント、特に化学・石油化学プラントにおいては、その内部に危険物を流すこと、総延長が非常に長く大量にあること、および設備同士の違う動きにより配管が引っ張られことにより被害を受けやすいことから、配管は重要な設備である。IBC および Eurocode およびその関連基準では、配管の耐震設計は詳細に規定されていない。日本では、阪神・淡路大震災での配管の被災の経験から、配管の耐震設計法を新たに基準化した。この配管の耐震設計基準にも、重要度分類と2段階設計法が採用されており、耐震性能が明確化されている。また、これらを基に配管の耐震診断マニュアルも作成されており、配管系を含めた耐震診断によるプラントの耐震性能向上を図ることができる。

(5) 地盤の液状化の影響評価

日本の耐震設計基準の特徴は、地盤の液状化による地盤の沈下、側方移動、および設備の沈下等の影響を考慮した耐震設計を行なえることである。これは、既設設備の耐震診断の耐震性評価にも適用可能であり、米国 (IBC) や欧州 (Eurocode) には含まれない日本の耐震設計基準の特徴である。

(6) LNG 輸入基地の耐震設計に適用可能

今回、導入を検討する日本の耐震設計基準は、高圧ガス施設を扱えるため、今後需要が増えると予想されている LNG 受け入れ基地の耐震設計基準として適用可能である。

7.6 想定される裨益効果

耐震設計基準、技術に関する途上国への協力は、途上国側が一般建築物用の耐震設計基準を有していても障害とならず、プラント用の耐震設計基準を日本の耐震設計基準を基に作成することが可能である。プラントの設計・建設に関しても、日本の耐震設計技術を共用することを基本とする。その具体的活動がプラントの耐震診断という位置付けとなる。

(1) 対象国の裨益

- 1) 重要度分類、2 段階設計法など優位性を持つ日本の耐震基準を導入することにより、当該国の地震災害への備えの強化が行われる。

- 2) 日本の耐震技術を導入、習得することで、日本の技術支援・技術交流が得られ、耐震知識、耐震技術のレベルが高められ、耐震制度や関連組織の整備、人材育成が行われる。
 - 3) 民間レベルでは、日本の技術を習得することにより日本の企業の業務を実施する能力を備え、日本や諸外国からの業務を受注が期待できる。
 - 4) 耐震診断により自国のプラント設備の安全性情報を入手し、国全体の保安・防災体制の強化につながる。
- (2) 日本側の裨益
- 1) 対象国のプラントの建設や改造のプロジェクトにおいて、設計用地震動や耐震設計方法を設定する初期の段階から関与できる可能性が増し、相手方に日本の技術レベルの高さを実証できることからプロジェクトの受注可能性を高めることが可能となる。
 - 2) 日本の耐震基準、耐震技術を理解した技術者の育成により、日本のビジネス拠点としての人材確保が可能となり、ビジネスの協業関係が構築できる。
 - 3) 日本の技術が導入されることにより、日本のエンジニアリング会社、機器メーカーなどの現地子会社が現地のプロジェクト業務に参入できる可能性が高まり、競争力維持が可能となる。