

阪神・淡路大震災調査報告
Report on the Hanshin-Awaji Earthquake Disaster
機械編
Mechanical Engineering Volume
機械設備の被害
Damage and Failure of Machines and Industrial Equipment

目 次
Contents

第Ⅰ編 機械設備への地震入力の考え方	1
Consideration of Aspects of Seismic Motions acting on Machines and Industrial Equipment	
第1章 1995年兵庫県南部地震の震源断層と強震動	3
Causative Faults, Strong Ground Motions, and Damage from the 1995 Hyogo-ken Nanbu Earthquake	
1.1 はじめに(Introduction)	3
1.2 活断層、余震分布、震度7の帶(Active Faults, Aftershock Distribution, and Damage Belt)	4
1.3 震源断層はどこか(Where are Causative Faults)	5
1.4 最大加速度・速度と断層からの距離との関係 (Attenuation Relation for Peak Acceleration and Velocity)	10
1.5 被害集中域での地震動(Ground Motions in the Heavily-Damaged Area)	10
1.6 軟弱地盤の強震動(Ground Motions at Soft Soil Sites)	18
1.7 経験的グリーン関数を用いた震度7の強震動の再現 (Estimation of Ground Motion at Heavily Damaged Sites)	24
1.8 おわりに(Summary)	27
第2章 地盤の液状化と側方流動	29
Soil Liquefaction and Ground Flow behind Quaywalls	
2.1 液状化の発生地域と液状化した土の特徴(Liquefied Sites and Liquefied Soils)	29
2.2 液状化とともに護岸・岸壁背後地盤の流動 (Ground Flow behind Quaywalls due to Liquefaction)	32
2.3 地盤改良の効果(文献(4)より抜粋して引用) (Effect of Soil Improvement on the Occurrence of Liquefaction)	35
2.4 LPガス基地の被害状況と地盤条件(文献(14)より抜粋して引用) (Soil Condition and Damage to Facilities at a LP Gas Tank Yard)	37
第3章 機械設備／産業施設への影響	47
Ground Motion Characteristics and Effect on Industrial Facilities, Plants and Mechanical Equipment	
3.1 はじめに(Introduction)	47
3.2 地震と地震動(Earthquake and Ground Motions)	47
3.3 地震動の特徴と被害 (Feature of Ground Motion and its Effect on Failure of Mechanical Equipment)	54
3.4 地盤の液状化および側方流動(Liquefaction and Lateral Flow of Soil)	60
3.5 機器系等の被害と地震動との関連 (Damage to Mechanical Equipment and Feature of Ground Motions)	60

3.6	地盤の液状化等による被害(Damage Caused by Liquefaction and Lateral Flow of Soil)	61
3.7	本地震についての事前予測 (Earthquake Prediction and Hyogoken Nanbu Earthquake – Is it Possible to Predict this Event in Advance ?)	61
3.8	おわりに(Concluding Remarks)	64
第4章	1995年兵庫県南部地震の事前予測の可能性について	65
	On the Possibility of Forecasting of the Occurrence of the 1995 Hyogoken-Nanbu (Kobe) Earthquake of M7.2	
4.1	はじめに(Introduction)	65
4.2	予測の精度(Accuracy of Forecasting)	66
4.3	大局的な予測(1) (Forecasting in a Broad Sense(1))	66
4.4	大局的な予測(2) (Forecasting in a Broad Sense(2))	68
4.5	長期的予測(Long-Term Forecasting)	70
4.6	短期的予測(Short-Term Forecasting)	74
4.7	まとめ(Summary and Discussion)	78
第II編	機械設備の被害状況	79
	Failure Conditions of Machines and Industrial Equipment	
第1章	大型機械	81
	Facilities for Very Large Machines	
1.1	大型工作機械(Large Sized Machine Tools)	81
1.2	鉄鋼用機械(Machines for Steel Industry)	85
第2章	一般機械	95
	Ordinary Machines	
2.1	機械加工及び成形加工設備(Machine Tools and Forming Machines)	95
2.2	電気電子生産設備(Electric and Electronic Production Facilities)	99
2.3	電子・情報機器(Damage to Electronic Units and Information Systems)	102
2.4	半導体製造設備(Semiconductor Equipment)	112
2.5	自動制御設備(Automatic Control Facilities)	118
2.6	放射線施設(Radiation Using Institutions)	122
2.7	食品生産設備(Food Production Facilities)	125
第3章	タンク	133
	Tanks	
3.1	危険物タンク(Oil Storage Tanks)	133
3.2	高圧ガスタンク(Liquefied Gas Storage Tanks)	135
3.3	水タンク(Water Tanks)	137
第4章	ボイラ・冷凍機	145
	Boilers and Refrigerators	
4.1	ボイラの使用実態と被害状況(The Actual Condition of Use and Damage to Boilers)	145
4.2	発電用ボイラ(Power Boilers)	151
4.3	暖房用ボイラ(Heating Boilers)	153
4.4	プロセス用ボイラ(Process Boilers)	160

4.5	冷凍機の被害と耐震化について (Damage to Refrigerator and its Counterplan to Future Seismic Damage)	169
第5章	ポンプ Pumps	173
5.1	概要(Outline)	173
5.2	被害の状況(Results of Damage Examination)	173
5.3	被害への応急対応と復旧(Emergency Measures and Restoration for Damage)	178
5.4	耐震対策(Earthquake Resistant Design of Pumps)	179
第6章	配管 Piping	181
6.1	危険物施設内配管(Piping in Hazardous Material Facilities)	181
6.2	高圧ガス設備内配管(Piping in High Pressure Gas Facilities)	186
第7章	発電, 送変配電および受電設備 Power Generation, Transmission, Sub-Station, Distribution and Receiving Facilities	191
7.1	発電設備(Power Generation Facilities)	191
7.2	送電設備(Transmission Facilities)	193
7.3	変電設備(Sub-Station Facilities)	194
7.4	配電設備(Distribution Facilities)	195
7.5	構内引き込み設備(Lead-in Facilities)	197
7.6	特別高圧受電設備(High Tension Sub-Station)	199
7.7	高圧受電設備(Medium Tension Sub-Station)	201
第8章	非常用電源 Emergency Power Supply	207
8.1	ディーゼル発電設備(Diesel Generating Set)	207
8.2	ガスタービン発電設備(Gas-Turbine Generating Set)	212
8.3	蓄電池(Battery)	219
第9章	クレーン Cranes	223
9.1	はしがき(Introduction)	223
9.2	全般的な被害状況(Overview of the Damage)	223
9.3	機種毎の被害とその特徴(Damage and its Features for Each Type of Crane)	223
9.4	耐震対策(Anti-Earthquake Measures)	231
第10章	昇降機 Elevators and Escalators	233
10.1	はじめに(Introduction)	233
10.2	エレベーター(Elevators)	234
10.3	ホームエレベーター(Home Elevators)	238
10.4	エスカレーター(Escalators)	239
10.5	地震時の日本エレベーター協会の対応 (Correspondence of Japan Elevator Association when the Earthquake Occurred)	239

第11章 鉄道関連設備	241
Trains and Rolling Stocks	
11.1 概要(Outline)	241
11.2 典型的な被害状況(Typical State of Damage)	244
11.3 被害への応急対応と復旧(Emergency Rehabilitation and Recovery)	254
第12章 FRP 水槽	259
FRP Water Tanks	
12.1 被害の状況(Overview of Damage)	259
12.2 耐震対策(Improvement of Earthquake Resistance)	262
第13章 その他の機械設備	263
Other Machines and Industrial Equipment	
13.1 はじめに(Introduction)	263
13.2 立体自動倉庫(Automated Storage)	263
13.3 照明設備(Lighting System)	266
第14章 免震装置／制振装置の地震時挙動	269
Behavior of Seismic Isolation Systems/Vibration Control Systems in the Earthquake	
14.1 はじめに(Introduction)	269
14.2 郵政省 WEST ビルの地震時挙動 (Behavior of WEST Building of the Ministry of Posts and Telecommunications)	269
14.3 (株)松村組技術研究所・研究棟の地震時挙動 (Behavior of the Matsumura Corporation Laboratory Building)	272
14.4 神戸海洋気象台記録を用いた免震建物の地震応答解析 (Response Analysis for Base-Isolated Buildings using Ground Motions Measured at the Kobe Marine Observatory)	274
14.5 コンピュータ・システム用免震床の地震時挙動 (Behavior of Seismic Isolation Floor Systems for Computer Systems)	276
14.6 制振装置の地震時挙動(Behavior of Building Vibration Control Systems)	276
第 III 編 機械設備の被害部位	277
Damage Sections of Machines and Industrial Equipment	
第1章 はじめに	279
Introduction	
第2章 被害部位／モードの概要	281
Overview of Failure Section/Failure Mode	
2.1 基礎と据え付け(Machine Foundation and Installation)	281
2.2 機械(Machines)	283
2.3 タンク(Tanks)	287
2.4 ボイラ・冷凍機・空調機器(Boilers, Refrigerators and Airconditioners)	291
2.5 ポンプ(Pumps)	294
2.6 配管(Piping)	295
2.7 受配電設備(Electric Power Supply Equipment)	298
2.8 非常用電源設備および自家用電源設備(Emergency and Independent Power Supply Systems)	298

2.9 クレーン(Cranes)	299
2.10 昇降機(Elevators)	301
2.11 鉄道関連設備(Railroad Line and Electric Wire)	302
2.12 保管設備(Warehouse Facilities)	303
第3章 典型的な被害部位／モード State of Typical Failure Section/Failure Mode	305
3.1 基礎と据え付け(Machine Foundation and Installation)	305
3.2 機械(Machines)	308
3.3 タンク(Tanks)	315
3.4 ボイラ・冷凍機・空調機器(Boilers, Refrigerators and Airconditioners)	320
3.5 ポンプ(Pumps)	322
3.6 配管(Piping)	322
3.7 受配電設備(Electric Power Supply Equipment)	327
3.8 非常用電源設備および自家用電源設備(Emergency and Independent Power Supply Systems)	329
3.9 クレーン(Cranes)	330
3.10 昇降機(Elevators)	334
3.11 鉄道関連設備(Railroad Line and Electric Wire)	335
3.12 保管設備(Warehouse Facilities)	336
第4章 機械／機械設備の地震被害の特徴 Typical Failure of Machines and Facilities	337
第IV編 復旧対応と今後の課題 Restoration Activities and Key Issues for the Earthquake Disaster	339
第1章 工場生産ラインにおける操業復旧事例 Examples of Restoration Work on Production Facilities in Machinery Factories	341
1.1 量産品製造のA社・製造事業所の場合	342 (Restoration Work on Machinery Factories for Mass Production in Company A)
1.2 量産品製造のA社の協力会社であるB社の場合	344 (Restoration Work on Machinery Factories for Mass Production in Company B, a Contractor of Company A)
1.3 受注品製造のC社の製造事業所の場合	346 (Restoration Work on Machinery Factories for Custom-Made Production in Company C)
第2章 企業の復旧対応事例 Examples of Restoration Activity	351
2.1 概要(Outline)	351
2.2 鉄鋼・機械関係の企業における復旧対応(Restoration Activities of Steel and Machine Industries)	352
2.3 化学・石油関係の企業における復旧対応(Restoration Activities of Chemical and Oil Industries)	360
2.4 ライフライン関係の復旧対応(Restoration Activities of Lifelines)	368
2.5 復旧に係わる問題点(Some Problems Relating to the Restoration)	379
第3章 機械設備被害の産業への影響 Influence of Earthquake Damage on Socio-industrial Activities	381
3.1 生活基盤(ライフライン)への影響(Influence on Lifeline Systems)	381

3.2	生産ネットワークへの影響(Influence on Industrial Production)	386
3.3	交通・物流への影響(Influence on Transportation and Logistic Networks)	387
3.4	通信への影響(Influence on Communication Networks)	390
3.5	医療, 救急, 避難生活への影響(Influence on Medicine, Rescue and Evacuation)	391
3.6	消防・復旧への影響(Influence on Fire-Fighting and Recovery)	393
第4章	地震被害の教訓と耐震性評価および耐震性向上への対応	395
	Evaluation and Development of the Anti-Earthquake Capacity and Performance Learned from the Seismic Damage	
4.1	地震動の特徴(Characteristics of the Seismic Motions)	396
4.2	被害・損傷の特徴(Characteristics of the Damage and Failure to Structures)	398
4.3	生産ライン, 物流ラインへの被害波及(Damage Propagation to the Production Process and Transportation Line)	402
4.4	耐震性向上への課題(Investigation into Development of the Anti-Earthquake Performance)	403
第V編	結論	409
	Conclusions	
第1章	各編の概要	411
	Summary	
第2章	阪神・淡路大震災における機械および機械設備の地震被害の特徴	412
	Damage and Failure Characteristics of Machinery due to the Great Hanshin-Awaji Earthquake Disaster	
2.1	機械および機械設備の被害(Damage to Machinery)	412
2.2	土木・建築構造物の被害との関係	413
	(Relation to the Damage to Civil Engineering and Building Structures)	
2.3	社会システムとの関係(Relation to Social Systems)	413
第3章	機械および機械設備の耐震性向上に関する主要な問題点	414
	Key Issues for Improving Anti-Earthquake Capacity and Performance	
付録	415
	Appendix	