

北京建筑大学学术著作出版基金资助

国家自然科学基金资助（项目批准号：51008012）

北京市属高等学校高层次人才引进与培养计划项目

（The Importation and Development of High-Caliber Talents Project of Beijing Municipal Institutions, CIT&TCD201304068）

风力发电设备塔架结构设计 指南及解说

〔日〕 土木学会 编

JAPAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS

祝磊 许楠 高颖 译



中国建筑工业出版社

北京建筑大学学术著作出版基金资助

国家自然科学基金资助（项目批准号：51008012）

北京市属高等学校高层次人才引进与培养计划项目（The Importation and Development of High-Caliber Talents Project of Beijing Municipal Institutions, CIT&TCD201304068）

风力发电设备塔架结构 设计指南及解说

〔日〕土木学会 编

JAPAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS

祝磊 许楠 高颖 译

中国建筑工业出版社

著作权合同登记图字：01-2013-8553

图书在版编目 (CIP) 数据

风力发电设备塔架结构设计指南及解说/[日] 土木学会
编; 祝磊, 许楠, 高颖译. —北京: 中国建筑工业出版社,
2014. 10

ISBN 978-7-112-16982-5

I. ①风… II. ①土…②祝…③许…④高… III. ①风
力发电-发电设备-建筑结构-结构设计 IV. TU761.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 128588 号

Structural Engineering Series 20, Guidelines for Design of Wind Turbine Support Structures and Foundations
by Task Committee on Dynamic Analysis and Structural Design of Wind Turbine

Committee of Structural Engineering

Japan Society of Civil Engineers

Copyright © JSCE2011/Committee on Structural Engineering

All rights reserved.

Originally published in Japan by Japan Society of Civil Engineers

Chinese translation rights arranged with Japan Society of Civil Engineers.

Chinese translation rights © 2014 China Architecture & Building Press

本书由编者 JAPAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS (土木学会) 授权我社独家翻译出版发行

责任编辑: 刘文昕 吉万旺

责任设计: 张 虹

责任校对: 姜小莲 赵 颖

北京建筑大学学术著作出版基金资助

国家自然科学基金资助 (项目批准号: 51008012)

北京市属高等学校高层次人才引进与培养计划项目 (The Importation and Development of High-Caliber
Talents Project of Beijing Municipal Institutions, CIT&TCD201304068)

风力发电设备塔架结构设计指南及解说

[日] 土木学会 编

JAPAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS

祝磊 许楠 高颖 译

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

霸州市顺浩图文科技发展有限公司制版

北京云浩印刷有限责任公司印刷

*

开本: 880×1230 毫米 1/16 印张: 30 $\frac{3}{4}$ 字数: 968 千字

2014 年 12 月第一版 2014 年 12 月第一次印刷

定价: 128.00 元

ISBN 978-7-112-16982-5

(25754)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

中文版序

《风力发电设备塔架结构设计指南及解说》(2010 年版) 全面阐述日本风力发电设备钢塔筒结构及基础的设计方法, 经过来自大学、电力企业、风机设备制造商及建筑公司等单位研究人员多年的共同努力编写而成。日本台风、地震多发, 因此该书在风荷载和地震作用的计算上, 针对日本的具体情况, 作了详细规定。这些计算方法已被采用到将要出版的 IEC61400-1 第 4 版以及正在制定的 IEC61400-6 第 1 版中。

中国与日本一衣带水, 也经常遭受台风和地震袭击。中国近十年风力发电事业发展非常迅猛, 目前装机容量世界第一, 而且预计未来将继续高速增长, 大量风机安装在或即将安装在台风区和地震区, 因此风力发电设备的抗风和抗震是风电从业者需要解决的大问题。而中国目前并没有适用于风力发电设备的专门结构设计规范, 其结构设计多沿用 IEC61400-1、GL 及建筑结构相关规范。因此, 我认为《风力发电设备塔架结构设计指南及解说》(2010 年版) 将对中国的风力发电设备塔架结构设计有一定的参考价值。

祝磊博士和许楠博士, 他们在东京大学攻读博士阶段开展了风力发电机组在风、地震及波浪等荷载下的动力响应研究, 他们的研究成果也反映在《风力发电设备塔架结构设计指南及解说》(2010 年版) 中。在取得博士学位后, 他们先后回国继续从事科研工作。祝磊任教于北京建筑大学, 许楠任职于中国建筑科学研究院。他们将《风力发电设备塔架结构设计指南及解说》(2010 年版) 翻译为中文, 我感到非常的高兴。高颖博士也在东京大学读博士, 现任教于北京林业大学, 并参与了这次翻译工作。经过他们的勤奋工作, 并在中国建筑工业出版社的大力支持下, 中文版终于面世。感谢他们和中国建筑工业出版社为本书的出版所作出的努力!

我衷心希望本书能够对中国的风力发电从业者有所帮助, 为风力发电事业贡献绵薄之力!

日本风能学会会长
东京大学教授 石原孟
2014 年 12 月 30 日于北京

译者序

《风力发电设备塔架结构设计指南及解说》是日本风电界多年研究风力发电设备塔架结构问题的成果总结，内容包括风、地震等荷载或作用的计算，塔架、锚固部分及基础的结构计算与设计，以及详细的计算例题，是一本风力发电设备塔架结构设计的重要参考书。该书的主编石原孟教授是祝磊和许楠的博士阶段导师，祝磊现在北京建筑大学工作，许楠现在中国建筑科学研究院工作。当2011年8月祝磊去东京大学看望石原教授时，石原教授建议祝磊和许楠将该书翻译为中文。考虑到该书篇幅巨大，祝磊邀请了东京大学校友、北京林业大学的高颖副教授一起翻译。

三人分工合作，祝磊翻译第1、2、5、7~11章，许楠翻译第3、4、6章，高颖翻译前言和第12、13章，经过三年努力，翻译工作终于完成。回首往事，个中辛苦，感慨万千。在此期间，前辈同仁的热情帮助也令译者感动。感谢中国建筑工业出版社刘文昕编辑与日本土木学会协商版权，感谢吉万旺编辑一遍又一遍地编辑、校对！感谢中国可再生能源学会风能专业委员会对本书的大力推荐，特别是世界风能协会主席、中国可再生能源学会风能专业委员会前理事长贺德馨教授和风能专业委员会资深委员姚小芹教授级高工一直非常关心本书的翻译工作，在此深表感谢！祝磊的硕士阶段导师、清华大学石永久教授也给本书提出了有益的建议，谨致谢意！

本书的出版，得到了北京建筑大学学术著作出版基金、国家自然科学基金委青年基金项目“风力发电机组结构抗震研究”（项目批准号：51008012）以及北京市教委北京市属高等学校高层次人才引进与培养计划项目（The Importation and Development of High-Caliber Talents Project of Beijing Municipal Institutions, CIT&TCD201304068）的资助，深表感谢！

希望本书的出版能够对我国的风电事业发展有所帮助，但限于译者水平，本书一定存在不当之处，恳请读者批评指正。

译者

2014年12月31日

原文版序一

风力发电因发电时不排放二氧化碳，作为防止全球变暖的措施之一，被寄予厚望。到 2010 年初，全世界的风力发电设备容量首次达到 1.579 亿 kW，过去 13 年间的平均增长率达到 28%。现在，全世界对风力发电的新投资占全部发电设备新投资的五分之一，已发展成为 5 万亿日元的产业。另一方面，日本的风力发电通过新能源等企业支持事业等措施，从 20 世纪 90 年代后半期开始迅速增加，2010 年年初引进的风力发电设备容量达到 219 万 kW，全国各地修建的风车达到了 1683 座。

由于风力发电量与风速的 3 次方以及叶片长度的 2 次方成正比，所以为了追求更高的效率，风车的规模趋向大型化。现在日本国内设置的大型风车，到叶片顶部的高度已超过 120m。另一方面，日本特有的自然环境及地形条件引起的强风也会造成风车塔筒弯曲或者地基崩坏等重大事故。为了解决这些问题，2004 年 9 月，土木学会构造工学委员会成立了“风力发电设备抗风设计小委员会”，明确了风力发电设备塔架结构设计的问题，同时，结合日本特有的自然环境条件以及风力发电设备的固有特性，提出了更为合理的塔架结构的设计方法，并面向技术人员出版了通俗易懂、便于使用的设计指南《风力发电设备塔架结构设计指南及解说 2007 年版》。该指南在风力发电设备塔架结构设计领域中，作为日本国内唯一的指南而被广泛使用，在提高风力发电设备塔架结构的安全性、可靠性方面做出了很大的贡献。

在此之后，随着日本国内社会对风力发电设备的抗风、抗震安全性的认知加深，开始开发适合日本特有自然环境条件的日本型风车。另外，2007 年 6 月 20 日，建筑基准法修订，风力发电设备塔架结构的核准申请程序也发生了变更，高度超过 60cm 的风力发电设备，为了确保塔架结构的安全性，必须获得指定性能评估机构的评估以及大臣认证。

鉴于这种情况，2008 年 1 月，土木学会构造工学委员会成立了“风力发电设备的动态分析和构造设计小委员会”（委员长：东京大学石原孟教授），小委员会由负责风车引进和建设的电力公司、风力发电企业、建筑公司的实务人员、负责风车制造和销售的日本国内制造厂和代理店的技术人员，以及大学、研究机构的研究人员大约 40 名委员组成，为提高风力发电设备动态分析及结构设计的水平以及确立针对罕见巨大地震时荷载的设计方法，积极展开了各种活动。此次，作为 3 年的活动成果，完成了《风力发电设备塔架结构设计指南及解说 2010 年版》。

本指南包括了日本国内外关于风力发电塔架结构设计的最新研究成果和建筑基准法修订后的性能评估方法，我们确信本指南将对从事风力发电设备塔架结构设计的技术人员有所帮助，希望能够得到广泛运用。

最后，谨向为制作本指南付出巨大努力的石原孟小委员会委员长以及各位干事、委员致以诚挚的谢意，同时向进行审议的构造工学委员会各位委员表示衷心的感谢。

2010 年 12 月

土木学会 构造工学委员会
委员长 铃木 基行

原文版序二

《风力发电设备塔架结构设计指南及解说 2007 年版》制订已有 3 年。在这期间，由于建筑基准法的修订，使得作为风力发电设备塔架结构的相关设备的核准申请程序发生了变更，高度超过 60cm 的风力发电设备，为了确保塔架结构的安全性，必须获得指定性能评估机构的评估以及大臣认证。

这次修订中，增加了 2007 版中不曾提及的对于罕见巨大地震作用的评估方法以及结构设计方法，同时增加了以基于台风模拟的地形增加系数的评估方法和发电时的最大风荷载的评估方法为代表的最新研究成果，以及建筑基准法修订后的性能评估方面的实践经验。主要修订内容如下所示。

(1) 根据修订后的建筑基准法，对于高度超过 60cm 的风力发电设备塔架结构的所需性能、荷载水平、使用材料、设计方法都做出了规定。

(2) 对于设计风速的评估，加入了根据台风模拟的地形增加系数的评估手法，通过考虑台风的风向特性使设计风速的评估更加合理化。在风荷载的评估中追加了发电时的最大风荷载的评估算式以及源于风的疲劳荷载的评估方法。另外，根据修订后的建筑基准法，新增了使用时程分析法的地震作用评估方法的章节。并且根据有风力发电设备设置在港湾内的现状，规定了波浪荷载不作为主要荷载情况下的波力的评估方法。

(3) 对于塔筒、锚固部分以及基础的结构计算，为了应对罕见巨大地震的作用，规定了以极限状态设计法为基础的性能校核方法，同时还提出可根据结构材料和结构稳定性的情况，使用兼用了容许应力设计法的性能校核方法。此外，还对各种结构计算式进行了扩展和细致化。

(4) 根据新的荷载评估算式和结构计算式，列举了高度超过 60cm 的风力发电设备塔架结构的结构设计实例，并追加了根据时程分析法所做的地震作用评估的详细步骤、解析结果以及注意事项。

(5) 将相关法令、告示、学会标准和指南等更新为最新内容，不仅对这些内容进行了整合，也通过更新和追加风力发电机，为技术人员和设计人员提供了方便。

本指南遵循 2007 版，由以下内容构成：风力发电设备塔架结构的结构设计相关各项条件及流程、作用于风力发电设备塔架结构的各种荷载的评估、塔筒、锚固部分以及基础的结构计算和应力校核。此外，本指南的制作遵循通俗易懂、简单易行的方针，列举了具体设计实例以及设计公式的计算依据，同时还在结尾处注明了相关法律法规、指南以及有用的技术资料。

2010 版发行之际，风力发电设备动态分析和构造设计小委员会的各位委员都付出了很多的时间和精力。此外，干事会的各位成员也为校对原稿及制作设计实例花费了大量时间。本指南还得到了构造工学委员会及外部相关人士的许多宝贵意见。在此谨表示衷心的感谢。

衷心希望通过本指南的广泛使用，使得风力发电设备塔架结构的安全性和可靠性能得到更大的提高。

2012 年 12 月

土木学会 构造工学委员会

风力发电设备动态解析和构造设计小委员会

委员长 石原 孟

謝 辞

本指南所引用图片出处如下所示，对图片作者和出版社深表谢意。

- 1) 第4章，図解4.4：ECN-RX-01-004，Figure 4，Drag of a rectangular plate as function of aspect ratio，C. Lindenburg，Energy Research Center of the Netherland，2001.
- 2) 第4章，図解4.5：Wind Energy Handbook，pp.170，Figure A3.22，Variation of the Drag and Lift Coefficients with Reynolds Number in the Stall Region，John Wiley & Sons Ltd，2001.
- 3) 第4章，図解4.15：Philosophical Transactions，pp.353-383，Figure 3 in II，Wind Effects on Buildings and Other Structures，C. Scruton and E.W.E. Rogers，the Royal Society，London，A.269，1971.
- 4) 第5章，図解5.8：建物と地盤の動的相互作用を考慮した応答解析と耐震設計，pp.55，図3.1.2「全試験結果から評価した地盤の非線形特性」，日本建築学会，2006.
- 5) 第5章，図解5.9：建物と地盤の動的相互作用を考慮した応答解析と耐震設計，pp.56，図3.1.3「塑性指数によるデータの整理」，pp.56，図3.1.4「拘束圧によるデータの整理」，日本建築学会，2006.
- 6) 第5章，図解5.11：建物と地盤の動的相互作用を考慮した応答解析と耐震設計，pp.76，図3.3.1「液状化地盤の応答計算フロー」，日本建築学会，2006.
- 7) 第5章，図解5.16：建物と地盤の動的相互作用を考慮した応答解析と耐震設計，pp.164，図6.3.6「弾性支承梁の理論解を利用した杭頭の地盤ばね評価フロー」，日本建築学会，2006.
- 8) 第5章，図解5.17：建物と地盤の動的相互作用を考慮した応答解析と耐震設計，pp.165，図6.3.7「地盤ばねの減衰の考え方」，日本建築学会，2006.
- 9) 第5章，図解5.22：建物と地盤の動的相互作用を考慮した応答解析と耐震設計，pp.27，図2.1.2「杭支持建物の地震応答解析モデルのメニュー」，日本建築学会，2006.
- 10) 第5章，図解5.23：建築基礎構造設計指針，pp.286，図6.6.21「応答変位法の解析モデル」，日本建築学会，2001.
- 11) 第5章，図解5.24：建築基礎構造設計指針，pp.289，図6.6.24「応力の重ね合わせ方法」，日本建築学会，2001.
- 12) 第6章，図解6.6：港湾の施設の技術上の基準・同解説，pp.144，図4.3.1「直線平行等深線海岸における規則波の屈折係数」，(社)日本港湾協会，2007.
- 13) 第6章，図解6.7：港湾の施設の技術上の基準・同解説，pp.1434，図2.15(a)「半無限防波堤による規則波の回折図の例」，(社)日本港湾協会，2007.
- 14) 第6章，図解6.10：港湾の施設の技術上の基準・同解説，pp.156-157，図4.3.12(a)～(e)「砕波帯内の有義波高の算定図」，(社)日本港湾協会，2007.
- 15) 第6章，図解6.11：港湾の施設の技術上の基準・同解説，pp.157-158，図4.3.13(a)～(e)「砕波帯内の最高波高の算定図」，(社)日本港湾協会，2007.
- 16) 第7章，図解7.6：高力ボルト接合設計施工ガイドブック，pp.25，図2.1「引張接合における作用力とボルト張力の関係」，日本建築学会，2003.
- 17) 第7章，図解7.7：高力ボルト接合設計施工ガイドブック，pp.72，図2.29「疲労強さ(b)高力ボルト F10T-M22」，日本建築学会，2003.
- 18) 第7章，図解7.12：鋼構造接合部設計指針，第2版第1刷，pp.44，図2.2「高力ボルト摩擦接合部(2面摩擦の場合)」，(社)日本建築学会，2006.
- 19) 第7章，図解7.16：DIN18800-4，Structural steel work/Analysis of safety buckling of shells，Figure3，Measurement of depth of initial dimples，Deutsche Norm 1990.
- 20) 第8章，図解8.2：鋼構造接合部設計指針，第2版第1刷，pp.290，図7.3「埋込み部鉄骨周りの支圧応力状態」，(社)日本建築学会，2006.
- 21) 第8章，図解8.3：鋼構造接合部設計指針，第2版第1刷，pp.256，図C7.1「各柱脚の弾性剛性と耐力の評価位置」，(社)日本建築学会，2006.
- 22) 第8章，図8.5(a)：鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説，第6版第2冊，pp.154，

図 15.3(a)「円形断面柱（コンクリートで耐力が決まる場合）」，(社)日本建築学会，1991. 23) 第 8 章，図 8.5(b)：鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説，第 6 版第 2 冊，pp.155，図 15.3(c)「円形断面柱（引張鉄筋で耐力が決まる場合）」，(社)日本建築学会，1991. 24) 第 8 章，図解 8.4：各種合成構造設計指針・同解説，第 1 版 10 刷，pp.191，図 1「頭付きアンカーボルトの有効水平投影面積 A_c 」，図 2「アンカーボルトが複数の場合の有効水平投影面積 A_c 」，(社)日本建築学会，2004. 25) 第 8 章，図解 8.10：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，第 7 版，pp.194，図 17.2「折曲げ定着の破壊形式」，(社)日本建築学会，1999. 26) 第 9 章，図 9.4：道路橋示方書〔I 共通編，IV 下部構造編〕・同解説，pp.227，図一解 8.7.4，(社)日本道路協会，2002. 27) 第 9 章，図解 9.4：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，第 7 版，pp.255，図 20.11「柱近傍に重点配筋する場合」，(社)日本建築学会，1999. 28) 第 9 章，図 9.5：道路橋示方書〔I 共通編，IV 下部構造編〕・同解説，pp.228，図一解 8.7.6 及び図一解 8.7.7，(社)日本道路協会，2002. 29) 第 9 章，図 9.10：鉄筋コンクリートの新しい計算図表〔RG〕，pp.55，図 B.a，近代図書(株)，1981. 30) 第 9 章，図 9.11：建築基礎構造設計指針，pp.271，図 6.6.5「設計実杭と解析モデル」，日本建築学会，2001. 31) 第 9 章，図 9.21：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 改定，第 7 版，pp.189，図 8「投影定着長さ ld_h 」，(社)日本建築学会，1999. 32) 第 9 章，図解 9.9：道路橋示方書〔I 共通編，IV 下部構造編〕・同解説，pp.400，図一解 12.9.3，(社)日本道路協会，2002. 33) 第 9 章，図解 9.10：道路橋示方書〔I 共通編，IV 下部構造編〕・同解説，pp.400，図一解 12.9.5，(社)日本道路協会，2002. 34) 第 9 章，図解 9.11：道路橋示方書〔I 共通編，IV 下部構造編〕・同解説，pp.402，図一解 12.9.7，(社)日本道路協会，2002. 35) 第 9 章，図解 9.12：道路橋示方書〔I 共通編，IV 下部構造編〕・同解説，pp.402，図一解 12.9.9，(社)日本道路協会，2002. 36) 第 9 章，図解 9.13：道路橋示方書〔I 共通編，IV 下部構造編〕・同解説，pp.402，図一解 12.9.10，(社)日本道路協会，2002.

小委員会一同
2010 年 12 月

土木学会 结构工学委员会 委员构成 (2009 年度, 2010 年度)

委员长 铃木基行
副委员长 日野伸一 睦好宏史

委 员				
秋山充良	新井英雄	五十岚晃	石桥忠良	石原 孟
伊东 升	井上正一	岩城一郎	岩波光保	吴智 深
上田多门	冈野素之	荻原胜也	香月 智	川谷充郎
北原武嗣	鬼头宏明	木村嘉富	小池 武	幸左贤二
小长井一男	佐佐木保隆	佐藤 勉*	佐藤尚次	佐藤弘史
筱原修二	白木 渡	白土博通	杉浦邦征	铃木泰之
园田佳巨	高木千太郎	高桥良和	田中祐人	谷村幸裕**
坪根康雄	津吉 毅	中岛章典	永田和寿	东野光男
藤田宗久	藤野阳三	藤本吉一	古田 均	堀江佳平
本间淳史	前田研一	榊谷 浩	松浦康博	松岛 学
松田 浩	松本高志	三上修一	宫川丰章	山口荣辉
山口隆司	山田 均	山村正人	横田 弘	依田照彦

(按日文发音顺序, 略去敬称)
(* 2009 年度委员, ** 2010 年度委员)

土木学会 结构工学委员会

风力发电设备的动力解析和结构设计小委员会 委员构成

委员长 石原 孟 东京大学大学院 工学系研究科
副委员长 胜地 弘 横浜国立大学大学院 工学研究院
干事 嶋田健司 清水建设(株)
干事 土谷 学 鹿岛建设(株)

(按日文发音顺序, 略去敬称)

委员	伊东佳祐	三菱重工业(株)
委员	伊藤隆文	东电设计(株)
委员	上江洲安哲	冲绳新能源开发(株)
委员	上田悦纪	三菱重工业(株)
委员	内田诚二郎	三井住友建设(株)
委员	内野清士	(株) 构造计画研究所
委员	宇都宫智昭	京都大学大学院 工学研究科
委员	大岛弘己	(株) MEC
委员	萩原 健	三井造船(株)
委员	奥田泰雄	(独) 建筑研究所
委员	宜野座建男	冲绳新能源开发(株)
委员	久家秀海	EcoPower(株)
委员	久保典男	(株) 日本制钢所
委员	栗野治彦	鹿岛建设(株)
委员	小松崎勇一	东京电力(株)
委员	齐藤智久	(株) Eurus-Energy Japan
委员	酒向裕司	(株) 小堀铎二研究所
委员	佐野健彦	日本国土开发(株)
委员	隅田耕二	大旺新洋(株)
委员	土屋智史	Comse 工程(株)
委员	飞永育男	富士重工业(株)
委员	难波治之	清水建设(株)
委员	日东寺美知夫	(株) Eurus-Energy Japan
委员	野村敏雄	(株) 大林组

委员	土生修二	三菱重工业（株）
委员	Pham Van PHUC	清水建設（株）
委员	福本钢治	电气兴业（株）
委员	本田明弘	三菱重工业（株）
委员	増田 博	JFE 工程（株）
委员	松冈 学	电源开发（株）
委员	南阳 一	三井造船（株）
委员	武藤厚俊	（株）日本制钢所
委员	山口 敦	东京大学大学院 工学系研究科
委员	吉冈 健	电源开发（株）
委员	吉田茂雄	富士重工业（株）
委员	吉村 丰	电源开发（株）

风力发电设备塔架结构设计指南及解说 (2010 年版)

执笔者一览

第 1 章

久家秀海, 奥田泰雄, 宜野座建男, 土谷学

第 2 章

屿田健司, 石原孟, 胜地弘, 土谷学

第 3 章

山口敦, 石原孟

第 4 章

石原孟, 本田明弘, 吉田茂雄, 久保典男

第 5 章

大岛弘己, 酒向裕司, 佐野健彦

第 6 章

吉冈健, 屿田健司, 隅田耕二, 宇都宫智昭, 土生修二, 内田诚二郎, 武藤厚俊, 南阳一

第 7 章

胜地弘, 伊藤隆文, 飞永育男, 福本钢治, 吉村丰, 伊东佳祐, 增田博

第 8 章

齐藤智久, 土屋智史, 伊东佳祐, 佐野健彦, 石原孟, 小松崎勇一

第 9 章

日东寺美知夫, 松冈学

第 10 章

土谷学, 石原孟, 屿田健司, 胜地弘, 伊藤隆文, 福本钢治, 齐藤智久, 日东寺美知夫, 松冈学

第 11 章

佐野健彦, 山口敦, 石原孟, 酒向裕司, 松尾丰史, 松浦真一

第 12 章

石原孟, 上田悦纪, 奥田泰雄, 久家秀海, 栗野治彦, 日东寺美知夫, 福本钢治

第 13 章

土谷学, 奥田泰雄, 久家秀海, 石原孟

目 录

I 总则·设计方针

第 1 章 总则	2
1.1 概说	2
1.2 适用范围	3
1.3 风力发电机组的基础知识	4
1.4 术语的定义与解说	7
1.5 符号说明	15
1.6 坐标	28
参考文献	29
第 2 章 设计流程	30
2.1 结构设计的基本方针	30
2.2 荷载类型以及组合	34
2.3 荷载评估	36
2.4 结构计算	43
参考文献	49

II 荷载评价

第 3 章 设计风速的评估	52
3.1 设计风速评估的基本内容	52
3.2 暴风时风荷载评估用的 50 年重现期风速的评估	52
3.3 用于疲劳荷载评估的平均风速的出现频率分布以及不同风速下的湍流强度的评估	61
3.4 其他湍流统计量	63
参考文献	64
第 4 章 风荷载的评估	65
4.1 风荷载评估的基本内容	65
4.2 风力系数的评估	67
4.3 暴风时最大风荷载的评估	80
4.4 发电时风荷载的评估	98
4.5 发电时的疲劳荷载的评估	108
参考文献	120
第 5 章 地震作用的评估	123
5.1 评估地震作用的基本内容	123

5.2 工学地基面中地震动与地震区域系数	125
5.3 输入地震动的评估	127
5.4 用时程反应分析法评估地震作用	140
5.5 附加荷载效应	157
参考文献	159

第6章 其他荷载	161
6.1 其他荷载的基本评估	161
6.2 固定荷载与堆积荷载的评估	161
6.3 积雪荷载的评估	161
6.4 波浪荷载的评估	162
6.5 静水压	198
参考文献	199

Ⅲ 构造计算

第7章 塔架结构的计算	202
7.1 塔架结构计算的基本内容	202
7.2 塔架设计条件	202
7.3 钢制塔架的结构计算	208
7.4 疲劳损伤度的评估	231
参考文献	239

第8章 锚固部分的结构计算	241
8.1 锚固部分的结构计算基本内容	241
8.2 锚固部分的设计条件	243
8.3 锚固部分的结构计算	245
参考文献	265

第9章 基础的结构计算	266
9.1 基础的结构计算基本内容	266
9.2 基础的设计条件	266
9.3 直接基础的结构计算	273
9.4 桩基础的结构计算	285
9.5 基础与桩的结构细节	307
参考文献	314

Ⅳ 设计·案例解析

第10章 根据指南设计的实例	316
10.1 设计概要	316
10.2 荷载的计算	319
10.3 结构的计算	334

第 11 章 数值计算分析实例 362

11.1 基于数值流体分析的设计风速评估..... 362

11.2 基于时程反应分析法的风荷载评估..... 365

11.3 基于时程反应分析的地震作用评估..... 368

11.4 基于 FEM 分析的塔架结构计算 378

11.5 基于 FEM 分析的锚固部分结构的计算 382

参考文献..... 393

V 相关法律及参考资料

第 12 章 日本相关法律以及法规 396

12.1 电气事业法..... 396

12.2 建筑标准法..... 397

12.3 国际规范..... 398

12.4 日本国内相关指南..... 401

参考文献..... 410

第 13 章 参考资料 411

13.1 电气事业法的相关条文..... 411

13.2 建筑标准法的相关条文..... 413

13.3 批准手续..... 461

13.4 风力发电机的规格..... 464

13.5 风力发电机发生的事故..... 470

参考文献..... 474

I 总则 · 设计方针