

学位論文審査報告

本村, 禎浩
九州大学大学院人間環境学府

徐, 培養
九州大学大学院人間環境学府

松島, 信一
九州大学大学院人間環境学府

海老原, 修二
九州大学大学院人間環境学府

他

<https://hdl.handle.net/2324/19102>

出版情報 : 都市・建築学研究. 12, pp.123-143, 2007-07-15. Faculty of Human-Environment Studies, Kyushu University

バージョン :

権利関係 :

学位論文審査報告

氏名(本籍) 本村 禎 浩(福岡県)
学位記番号 博士(工学)人環博甲第131号
学位授与の日附 平成18年4月28日
学位論文題名 送電線張力に及ぼす鉄塔支持方式の影響に関する研究—送電線変動張力の計測システムの開発とその利用—
論文調査委員
(主査) 九州大学 教授 前田 潤 滋
(副査) " " 川 瀬 博
" " 河 野 昭 彦

論文内容の要旨

我が国は台風の常襲地帯であるため、送電鉄塔などの送電線支持物の部材設計では台風等による風荷重が支配的になることが多い。風荷重に対する送電線支持物の設計指針として「電気設備技術基準、経済産業省」や「送電用支持物設計標準(JEC-127)、電気学会」があるが、近年の鉄塔の大型化・合理化設計と相まって、新設鉄塔のみならず、我が国の高度成長期に一気に増大した鉄塔の保守管理の中で、送電線支持物の耐風性能のより高い信頼性が求められている。このような状況の中で、1990年代以降、台風9119号、9313号、9918号、2004年台風などの大型台風の襲来が続き、各地の送電線設備に大きな被害が多発し、送電鉄塔に及ぼす送電線荷重の力学的影響が新たに注目されている。

送電鉄塔に作用する荷重は、鉄塔本体に直接作用する風圧力より、送電線に作用するいわゆる電線風圧荷重と架線方向に発生する送電線の不平均張力荷重によって決まる場合が多い。強風下での不平均張力は、送電線支持方式や鉄塔を挟む両送電線間の水平および垂直角度、あるいはその両径間における電線長さや風圧力分布差等が発生要因となるが、その組み合わせパターン、特に支持鉄塔との動的連成挙動は未解明な点が多い。近年、大型送電用鉄塔の動的耐風設計に伴って、鉄塔の力学解析や現地風速予測の高精度化が進められているが、耐風設計における優先的検討課題と思われる送電線不平均張力に関する基礎資料は不十分な状況にある。

このような背景の下で、本論文は、実規模送電線を使ってその送電線張力を高精度に測定するための計測システムを開発し、実機振動試験による送電線張力に関する基礎資料の収集、および送電線—鉄塔連成モデルにおける送電線張力特性と鉄塔本体への負荷特性評価までを整理したものである。本論文を以下のように7章で構成する。

第1章では、国内外の送電鉄塔耐風設計法とこれまでの送電線張力に関する研究および九州管内での送電鉄塔

の被害例と実施された強風対策の概要を述べ、本研究で目指す実機送電線張力計測システム開発の背景と目的を示した。

第2章では、1基2径間の送電鉄塔を模擬した縮小模型を用いた風洞実験を実施して、一樣流及び乱流中での不平均張力発生状況を検討した。その結果、一樣流中での静的不平均張力では、懸垂がいしの場合には支持鉄塔の架線方向反力が緩和されるが、両電線間が水平角度30度を有する耐張がいしの場合には斜風の影響により電線弛度が風下に流れて電線張力の大きさと方向が変化し、新たな不平均張力の発生・発達に影響することが分かった。また、乱流中での耐張支持された電線張力の最大振幅及び標準偏差は、両径間の振動モードの位相が逆転しやすいたる等径間の場合に最も大きくなること、懸垂支持にすることによって、電線張力の低減効果が見られること、などを明らかにした。さらに、上記風洞実験結果は混合法による非線形解析によって径間長さや懸架方式の影響を精度良く検証できることを示した。

第3章では、実規模鉄塔送電線張力の検証実験への利用を目的に開発した無電源反転同期型起振機「YUSURU」を試験鉄塔の振動試験に使用して、加振力および加振周波数の長時間保持能力と優れた可搬性を明らかにした。また、常時、数10kNの張力が作用する実規模送電線の張力変動測定のために計測システムを工夫し、振動試験での微小な張力変動の高感度計測を実現した。

第4章では、3章の無電源起振機と送電線変動張力の計測システムを用いて、送電線張力と塔体振動に関するデータ取得のための実規模耐張鉄塔での振動試験を実施し、固有値解析や周波数応答関数等のこれまでの線形解析では得られない、電線固有の振動特性や塔体との複雑な連成挙動を例示した。すなわち、実規模送電鉄塔では、加振周波数の整数倍のスペクトルピークが電線張力に表れること、また、鉄塔本体の応答加速度においても通常の線形解析では見られない加振周波数の倍周波数において、スペクトルピークが見られることなどを紹介し、これらが送電線部の幾何学的非線形性に起因することを送電線—鉄塔連成系モデルを構築して明らかにした。

第5章では、4章で構築した実規模送電線連成系モデルの強風下における固有値解析と時刻歴応答解析を行い、強風下で発生する不平均張力を検討した。その結果、幾何学的非線形剛性を増大させる風速増加は電線部の固有振動数を増大させること、固有モードが遷移するいわゆる遷移モードで不平均張力が大きくなること、空力減衰は電線の低次モードに強い減衰効果があること、空力減衰を考慮しない場合は、線形応答よりも非線形応答の方が張力変動は大きくなるが、空力減衰を考慮する場合には両者に顕著な差が見られず、実用上、空力減衰を考慮すれば問題ないこと、などを明らかにした。

第6章では、4章の送電線-鉄塔モデルを元にして、動的風応答解析のパラメータスタディを行い、現行の設計手法による鉄塔部材での発生応力を比較検討した。その結果、耐張鉄塔では、水平角度が小さく径間長が長いほど、設計応力より動的最大応力が大きくなること、懸垂鉄塔では耐張鉄塔に比べ、下層側のパネルの腹材で動的最大応力が大きくなることなどを明らかにして、これまでの設計風速を超える強風による損壊例が軽角度耐張鉄塔にやや集中する傾向があることの裏付けを示し、今後の対策提言を行った。

第7章では、本論文の総括と今後の展望を述べた。

論文調査の要旨

送電鉄塔の大型化や合理化設計の要求の中で、1990年代以降、台風9119号、9313号、9918号、2004年の4つの台風などの大型台風による送電線設備の被害が各地で多発し、新設鉄塔のみならず、我が国の高度成長期に増大した既設送電鉄塔の耐風安全性能に対するより高い信頼性が求められるようになり、鉄塔の動的風応答解析による最大応答値予測や現地風速推定の高精度化が進められている。送電鉄塔に作用する荷重は、鉄塔本体に直接作用する風圧力に加えて、送電線に作用するいわゆる電線風圧荷重と架線方向に発生する電線の不平均張力荷重に類別される。強風下での電線不平均張力は、電線支持方式や鉄塔を挟む両電線間の水平および垂直角度、あるいはその電線長差や風圧力分布差等が発生要因となるが、電線張力の測定そのものの難しさのために、その発生メカニズムや組み合わせパターンなど、特に支持鉄塔との動的連成挙動は未解明な点が多い。

本論文は、実送電鉄塔の電線張力を高精度に測定するための計測システムを開発し、実送電鉄塔の振動試験による電線張力に関する基礎資料の収集、および送電線-鉄塔連成モデルの電線張力特性と鉄塔本体への負荷特性評価までを整理したもので、その所見は以下のように取り纏められる。

まず著者は、1基2径間の送電鉄塔を模擬した縮小模型を用いて風洞実験を実施し、一様流及び乱流中での電線不平均張力の発生状況を整理分析している。すなわち、一様流中での静的不平均張力では、懸垂がいしの場合には支持鉄塔の架線方向反力は緩和されるが、両電線間が水平角度30度を有する耐張がいしの場合には斜風の影響により電線弛度が風下に流れて電線張力の大きさと方向が変化し、新たな不平均張力の発生・発達に影響することを示している。また、耐張支持された電線張力の乱流中での最大振幅及び標準偏差は、両径間の振動モードの位相が逆転しやすい等径間の場合に最も大きくなること、電線を懸垂支持することによって、電線張力の低減効果が見られること、などを明らかにしている。さらに、

上記風洞実験結果は混合法による非線形解析によって径間長差や電線支持方式の影響を精度良く検証できることを示している。

次いで、実送電鉄塔の振動試験への利用を目的に開発した無電源反転同期型起振機が加振力および加振周波数の長時間保持能力と優れた可搬性を示すことを振動試験で実証するとともに、常時、数10kNの張力が作用する実送電線の張力変動測定のために計測システムを工夫し、振動試験での張力変動の高感度計測を実現している。この無電源起振機と電線変動張力の計測システムを用いて、電線張力と塔体振動に関するデータ取得のための振動試験を実耐張型送電鉄塔に対して実施し、電線固有の振動特性や塔体との複雑な連成挙動として、加振周波数の整数倍のスペクトルピークが電線張力に表れることや、鉄塔本体の応答加速度には加振周波数の倍周波数でのスペクトルピークが見られることなどを示し、これらが電線部の幾何学的非線形性に起因することを送電線-鉄塔連成系モデルを構築して明らかにしている。

さらに、実送電鉄塔を参考にした送電線-連成系モデルの強風下における振動解析と時刻歴応答解析を行って強風下で発生する不平均張力を分析し、風速とともに電線部の固有振動数が増大すること、固有モードが遷移するいわゆる電線の遷移モードで不平均張力が大きくなること、空力減衰は電線の低次モードに強い減衰効果があること、空力減衰を考慮しない場合には線形応答よりも非線形応答の方が張力変動は大きくなるが、空力減衰を考慮する場合には両者に顕著な差が見られず、実用上、空力減衰を考慮すれば非線形性は考慮しないでよいこと、などを明らかにしている。

最後に、送電線-鉄塔の連成モデルの動的風応答解析のパラメータスタディを行い、現行の設計手法による鉄塔部材の発生応力を比較検討し、耐張型鉄塔では水平角度が小さく径間長が長いほど、設計応力より動的応力が大きくなる場合があること、懸垂型鉄塔では耐張型鉄塔に比べ、下層側のパネルの腹材で動的応力が大きいことなどを指摘して、設計風速を超える強風による損壊例が軽角度耐張型鉄塔にやや集中する傾向があることを示し、今後の対策提言を行った。

以上要するに本論文は、送電鉄塔に作用する電線不平均張力の現場計測システムを開発実用化し、これによる実送電鉄塔の振動試験データを収集整理して、不平均張力の発生と支持鉄塔への負荷特性に及ぼす電線支持方式の影響を明らかにしたもので、風工学および都市災害管理学に寄与するところが大きい。よって本論文は博士(工学)の学位に値するものと認める。

氏名(本籍) 徐培葵(中国)
学位記番号 博士(工学)人環博甲第132号
学位授与の日付 平成18年4月28日
学位論文題名 柱降伏を許容したコンクリート充填
鋼管構造ラーメンの耐震設計に関する研究

論文調査委員

(主査) 九州大学 教授 河野 昭彦
(副査) " " 崎野 健治
" " " 日野 伸一

論文内容の要旨

コンクリート充填鋼管(CFT)を柱として用いたラーメンは、CFT柱が高軸力下でも優れた変形能力を保有することから、中高層の事務所ビルに多く用いられている。この場合の一般的な耐震設計では、層崩壊を回避することを目的として梁降伏機構が採用されるが、これではCFT柱は弾性に保たれ、その優れた変形能力を利用できない。また、CFT柱は高軸力に耐えるため支持可能床面積が広く、梁は必然的に長スパンで大断面になるが、これに接続するすべての柱を梁以上の耐力にするのは非常に不経済である。このような事情から、骨組の安定のために何本かの柱は耐力を大きくするが、残りは断面を小さくして降伏を許容し、変形能力で対応を図る耐震構法が考えられる。ところが、柱の降伏を許容する降伏機構の設計に必要な資料は整っていない。

以上の観点から、本論文では、CFT多層ラーメンについて一部の柱の降伏を許容する降伏機構(柱降伏許容機構)の実用化を目的として研究することとした。そこで、まず、動的安定性を確保するために必要な条件を明らかにすることを第一の目的とした。第二の目的は、降伏を許容する柱(降伏許容柱)の強震下での最大変形や累積塑性変形の応答特性を明らかにし、静的解析に基づく耐震設計に必要なこれらの簡易予測法を提案することとした。第三の目的は、第一および第二の目的のために行われた骨組解析結果を実験的に検証することである。以上の目的に即して各章で求められた知見の要点は下記の通りである。

第1章では、本論文の目的、関連する既往の研究、および本論文の構成について述べている。

第2章では、柱降伏許容機構のCFT多層ラーメンの強震下における動的安定性の条件は、非降伏を予定する柱(非降伏柱)の塑性化の抑制であり、そのために必要な床レベルCB比(各床レベルに接続する柱頭・柱脚の全塑性モーメントの総和と当該全塑性床モーメントの比)を検討した。具体的には、種々の多層ラーメンモデルについて強震に対する非線形時刻歴応答解析を行い、非降伏CFT柱の最大変形と累積塑性変形の程度から必要床レベ

ルCB比を調査した。その結果、柱降伏許容機構の床レベルCB比は、非降伏柱の最大変形(最大回転角)と最大層間変形角の比が同じ場合の梁降伏機構の床レベルCB比以下であること、また、累積塑性変形(累積塑性変形倍率)と最大層間変形角の比が同じ場合の梁降伏機構の床レベルCB比以下であることを明らかにした。つまり、柱降伏許容機構の動的安定性を保持するために必要な床レベルCB比は、非降伏柱の塑性化の程度から判断すると、梁降伏機構の床レベルCB比と同等とすれば十分であり、これまで梁降伏機構について得られた必要床レベルCB比に関する知見をそのまま安全側誤差をもって適用できることを明らかにした。

第3章では、降伏許容柱の応答に影響が大きいと考えられる節点CB比(柱梁接合部に接続する柱と梁の全塑性モーメント和の比)を変数としたCFT多層ラーメンモデルの時刻歴地震応答解析を行い、降伏許容柱の最大変形(最大回転角)と累積塑性変形(累積塑性回転角)の応答特性を調査し、さらにこれらの応答の予測法を提案した。つまり、降伏許容柱の最大回転角と最大層間変形角との比は節点CB比に強く影響を受けるが、その他の因子にはあまり影響を受けないこと、また、その比が節点CB比と逆比例の関係にある性質を利用して最大層間変形角から最大回転角の上限を予測する式を提案した。さらに、降伏許容柱の累積塑性回転角の上限が最大塑性回転角の係数倍として与えられる性質を利用して降伏許容柱の累積塑性回転角の上限を最大回転角から予測する式を提案した。また、降伏許容柱の累積塑性変形倍率応答を実用上の上限の幅厚比を持つ角形CFT柱の安全限界と比較した結果、二次設計の設計用地震荷重に相当する地震動に対しては降伏許容柱の損傷は軽微であるが、兵庫県南部地震の最大震度に相当する地震動に対しては低層骨組では安全限界を超える場合があることを明らかにした。ただし、この場合でも鋼管を幅厚比の小さなものへ変更すれば十分安全性を確保できる。

第4章では、多層ラーメンの最小単位である2層1スパンラーメン試験体の静的水平荷重繰返し実験を行い、骨組の安定性と降伏許容柱の損傷の程度を調査した。試験体は2本の角形CFT柱を持つが、片側は非降伏CFT柱として弾性を保持するようにし、残りは降伏許容柱として降伏するようにした。試験体数は2体で、降伏許容柱の角形鋼管の幅厚比(25と36)が実験変数である。鉛直荷重は降伏許容柱の軸力比で0.26に相当する一定値を作用した。実験の結果、試験体はいずれも降伏許容柱が降伏し、非降伏柱はほぼ弾性を保って所定の全体降伏機構を形成した。降伏許容柱は、幅厚比36の場合は層間変形角の振幅が±1.0%で、幅厚比が25の場合は±1.5%で局部座屈が発生し、さらにその後軸縮みが生じた。したがって、局部座屈を修復限界と考えると、二次設計の

設計用地震荷重に相当する地震動に対する最大層間変形角応答が $\pm 1.0\%$ 程度の骨組では、幅厚比が36の角形CFTの降伏許容柱は修復を視野に入れる必要があるが、幅厚比が25の場合は修復の必要はないことになる。安全限界については、試験体の水平荷重変位関係は紡錘形の履歴ループを示し、鋼管の亀裂も層間変形角振幅が $\pm 3.0\%$ までの加力プログラムでは発生せず、十分に安全限界内にあることが明らかになった。

第5章では、各章の知見に基づいて、CFT多層ラーメンの柱降伏許容機構の動的安定性は梁降伏機構と同等な床レベルCB比で確保できること、および降伏を許容した角形CFT柱の安全性は従来の一般的な鋼管幅厚比のCFT断面ではほぼ対応できることを整理し、さらにこの機構の耐震設計に必要な降伏許容柱の応答量の簡易予測法を提案して、当該機構の実用化を推進したことを記して総括とした。

論文調査の要旨

日本では、高さが60mを超える高層の事務所ビルの多数がコンクリート充填鋼管(CFT)構造の多層ラーメンである。また、CFT構造は、従来は特殊構造として高層ビルに準じる取り扱いを要求されていたため中低層ビルの需要は限られていたが、2002年6月の国土交通省告示によって鉄筋コンクリート構造、鉄骨構造、鉄骨鉄筋コンクリート構造と並んで一般構造の一つとして位置付けられたため、中低層ビルへの適用も拡大しつつある。CFT構造が支持される理由は、CFT柱が充填コンクリートの高い熱容量から耐火性に優れることやコンクリート打設に鉄筋や型枠工事が不要で施工性に優れることもあるが、高軸力下においても優れた変形能力を保有することであり、そのためにコンパクトな断面で強靱な骨組が形成できることである。ところが、CFT構造多層ラーメンの耐震設計は、危険な層崩壊を回避するために柱を弾性に保ち、その代わりに梁を柱より弱く設計して梁だけを降伏させる機構(梁降伏機構)が採用されているのが現状である。これではCFT柱の本来の性能が活用されているとは言いがたい。また、CFT柱の優れた耐力と靱性から柱間隔を広くすることができるので梁は長スパン化し大断面になるが、その梁以上に柱を頑丈にしなければならないとすると、柱間隔を広くとること自体が不合理になってしまう。そこで、これらの解決策として、骨組の安定のために何本かの柱は頑丈にするが、残りの柱は降伏を許容してCFT柱の優れた変形能力で対応させる耐震機構(柱降伏許容機構)が考えられ、実用化が期待されていた。

以上の観点から、本研究では、まず、柱降伏許容機構のCFT多層ラーメンの強震下における動的安定性を確保するために必要な床レベルCB比(各床レベルに接続する

柱頭・柱脚の全塑性モーメントの総和と当該全塑性床モーメントの比)を検討している。具体的には、種々のCFT多層ラーメンモデルについて時刻歴地震応答解析を行い、柱降伏許容機構の動的安定性を保持するために必要な床レベルCB比は、梁降伏機構の床レベルCB比と同等とすれば十分であり、これまで梁降伏機構について得られた必要床レベルCB比に関する知見をそのまま安全側誤差をもって適用できることを明らかにした。

次に、降伏許容柱の最大回転角と累積塑性回転角の応答特性を調査し、最大回転角の上限が最大層間変形角と節点CB比(柱梁接合部に接続する柱と梁の全塑性モーメント和の比)によって決定されること、さらに最大回転角から累積塑性回転角の上限が決定されることを明らかにし、最大回転角と累積塑性回転角の上限を予測する式を提案した。

さらに、多層ラーメンの最小単位である2層1スパンCFTラーメン試験体の静的繰返し載荷実験を行っている。試験体の一方の柱は非降伏柱で残りは降伏許容柱であり、降伏許容柱の角形鋼管の幅厚比(25と36)が実験変数である。両試験体は床レベルCB比が1.23~1.24であるが、いずれも柱降伏許容機構を形成し、幅厚比36の降伏許容柱は層間変形角振幅が $\pm 1.0\%$ で、幅厚比が25では $\pm 1.5\%$ で局部座屈が発生した。二次設計レベルの地震に対する骨組の層間変形角応答が高々 $\pm 1.0\%$ 程度であるとする、幅厚比が25の角形CFTでは修復の必要がないと言える。安全性については、幅厚比が36の角形CFTについても試験体の履歴ループが大変形域まで紡錘形であり、鋼管の亀裂もなかったことから十分である。

以上要するに、本論文は柱降伏許容機構のCFT多層ラーメンの動的安定性および降伏許容柱の応答特性に関して新たな知見を与え、同構造の耐震設計を進歩させる研究を行ったもので、建築構造学に寄与するところが大きい。よって、本論文は博士(工学)の学位論文に値するものと認める。

氏名(本籍) 松島信一(神奈川県)
学位記番号 博士(工学)人環博甲第134号
学位授与の日付 平成18年5月31日
学位論文題名 やや短周期パルスの生成に寄与する震源と地盤の不均質性を考慮した強震動予測手法に関する研究

論文調査委員

(主査) 九州大学 教授 川瀬 博
(副査) " " 前田 潤 滋
" " 助教授 竹中 博士

論文内容の要旨

1995年兵庫県南部地震による被害の著しかった神戸市須磨区から西宮市にかけての幅1km、長さ20kmに渡った帯状の震度7の領域（いわゆる「震災帯」）は、起震断層直上ではなく大阪盆地北西部の端部から約1km海寄りの盆地内に生じた。1994年Northridge地震においても不均質な震源過程と不均質地盤構造により被害の大きな地域が複雑に分布する結果となったことが報告されている。また、2004年新潟県中越地震や2005年3月の福岡県西方沖の地震でも震源域において被害が一樣でなく複雑に点在したことは記憶に新しい。これらの被害の空間変動に対する三次元地盤構造の寄与と不均質な震源過程の寄与の相対関係を把握することは今後の強震動予測を行う上で極めて重要である。特に、周期1~2秒のやや短周期パルス波が被害に直結するものであることがすでに明らかになっており、その生成メカニズムを考慮した強震動予測手法の開発が急務である。

本論文では、1995年兵庫県南部地震を主な対象として、やや短周期パルスの生成に寄与する震源と地盤の両方の不均質性を考慮した物理的モデルを用いて、強震記録のみならず、震災帯を再現することによりその生成メカニズムを解明し、その知見を生かして将来の地震による被害予測に役立てることを目的とした。

本論文は全部で8章から構成されている。以下に概要を示す。

第1章では、本論文の背景と目的および既往の研究について述べた。

第2章では、周期1~2秒のやや短周期速度パルス波の性状をコントロールする要素が何であるかを調べるために強震動生成領域のサイズとすべり速度時間関数についてパラメスタディを行った。その結果、地表の最大速度値に大きな影響を与えるのは最終すべり量ではなくすべり速度時間関数の最大振幅であり、パルスの後の揺れ戻しの部分に関しては後続部の影響が大きいことを示した。また、速度パルス波の幅は強震動生成領域のサイズに概ね比例すること、さらに、すべり速度時間関数の継続時間を変化させた場合にもパルス幅は大きく変わらず、最大値だけが影響されることから、速度波形の最大値はすべり速度関数の最大値に依存することを示した。

第3章では、推定した震源モデルと三次元盆地構造モデルを用いた理論的強震動シミュレーションの妥当性を示した。震源域の強震動がすべて物理的なモデルで説明できることを示した意義は大きい。また、盆地境界付近のやや短周期地震動に与えるエッジ効果の影響はかなり大きいことが確認された。そのやや短周期地震動を規定しているのが震源のすべり速度時間関数であることから、今後の強震動予測の為にはすべり速度時間関数について定量化する検討が必要であることを示した。

第4章では、三次元盆地構造の速度構造のキャリブレーションを行うために、SP変換波とP波の時間差が観測に合うように、初期地盤モデルの盆地側地殻上部のS波速度3.20km/sの層をS波速度3.46km/sの層にするとともに岩盤側地殻上部のS波速度3.20km/sの層をS波速度2.85km/sの層にした修正地盤モデルを仮定した。この修正地盤モデルを用いて、グリッドサーチ法により新たに震源メカニズムを求め、そのパラメタにより理論波形を計算した結果、主要な波の出現時刻を観測記録と良く一致させることができることを示した。

第5章では、相反定理を適用して求めた三次元グリーン関数を用いて、矩形の強震動生成領域を仮定した断層破壊過程の同定の方法を提案し、1995年兵庫県南部地震に適用した。その結果、第3章で課題として残ったJR鷹取駅の観測記録のパルス波を再現し、神戸海洋気象台、神戸大学、本山第一小学校の観測記録も第3章と同様によく再現できる断層破壊過程を同定することができた。また、第4章でチューニングした基盤速度構造と神戸市灘区より南西側部分の盆地形状を修正した三次元盆地構造を用いて神戸市域の強震動を評価したところ、須磨区から西宮市にかけて震度7の震災の帯と最大速度分布とが良く対応することを示した。

第6章では、1978年宮城県沖地震の破壊開始点付近の強震動生成領域で、その強震動生成領域内にさらに小さな領域のスーパー強震動生成領域が階層的に存在すると仮定して周期1~2秒の速度パルスを生成できる断層モデルの同定を行った結果、地震調査研究推進本部で推定した強震動生成領域のサイズに比べ有意に小さくし、すべり速度時間関数の振幅を大きく継続時間を短くしたスーパー強震動生成領域を考えることにより、観測された速度パルスをよく再現することができることを示した。

第7章では、以上のやや短周期パルスの生成に寄与する震源と地盤の不均質性を考慮した強震動予測手法の有効性を検証するため、福岡市の中心部を通る警固断層において、マグニチュード7クラスの想定警固断層地震が発生した場合の福岡市における強震動予測を行った。予測された地表面での強震動を複数の建物群モデルに入力して応答解析を行ったところ、すべてのケースで大破率が80%を超える地域ができ、3階建RC造建物モデルと4、5階建S造建物の旧耐震モデルでは断層を挟んだ広い範囲で大きな大破率となることを示した。低層の建物では全壊率分布は地表での最大速度分布と相関が高く、階数が増えると工学的基盤での最大速度分布との相関が高くなることを示した。これらの建物被害をもとに人的被害について予測したところ、1995年兵庫県南部地震に匹敵する大きな被害となることを示した。

第8章では、これらの結果をまとめるとともに今後の課題を整理した。

論文調査の要旨

1995年兵庫県南部地震による神戸市須磨区から西宮市にかけての幅1km、長さ20kmの帯状の震度7の領域(いわゆる「震災帯」)は、起震断層直上ではなく大阪盆地の岩盤境界から約1km海寄りの盆地側に生じた。またその震災帯の中の被害率分布も決して一様ではなく、盆地端部に沿ってかなり空間的に変動していた。2004年10月の新潟県中越地震や2005年3月の福岡県西方沖の地震でも震源域における被害分布は一様でなく複雑な分布を示した。これら地震被害の空間変動に対する不均質な地盤構造と震源過程の寄与の相対関係を把握することは今後の強震動予測を行う上で極めて重要である。特に、周期0.5秒から2秒のやや短周期パルス波が一般的な構造物の被害に直結することが別途明らかにされており、そのやや短周期パルス波の生成に寄与する震源と地盤の不均質性を考慮した強震動予測手法の開発が急務である。

本論文では、1995年兵庫県南部地震を主な対象として、やや短周期パルスの生成に寄与する震源と地盤の両方の不均質性を考慮した物理的モデルを用いて、強震記録のみならず震災帯を再現することによりその生成メカニズムを解明し、やや短周期パルスの生成メカニズムを考慮した強震動予測手法を開発し、実際に適用して想定警固断層地震の強震動予測および被害予測を実施したものである。その主な成果は以下の4点に要約される。

(1) 周期1~2秒のやや短周期速度パルス波の生成要因に関し、強震動生成領域のサイズとすべり速度時間関数に対してパラメタスタディを行っている。その結果、地動の最大速度値に大きな影響を与えるのは最終すべり量ではなくすべり速度時間関数の最大振幅であることを明らかにしている。また、地動速度パルス波の周期は強震動生成領域のサイズにほぼ比例することを明らかにしている。

(2) 相反定理を適用して求めた三次元グリーン関数を用いて、やや短周期パルスに着目して強震動生成領域のサイズとすべり速度時間関数を同定する方法を提案し、1995年兵庫県南部地震に適用している。推定された断層破壊過程と三次元地盤構造を組み合わせて神戸市域の強震動の再現を試みたところ、須磨区から西宮市にかけて震度7の震災帯と最大速度分布とが良く対応することを示し、やや短周期パルスの生成に寄与する震源と地盤の不均質性を考慮した強震動予測手法の妥当性を検証している。

(3) 海溝型地震におけるやや短周期パルスの生成について検討するため、1978年宮城県沖地震の破壊開始点付近の強震動生成領域において、観測記録に見られる周期1~2秒のやや短周期速度パルスを説明するために、その中にさらに小さな領域のスーパー強震動生成領域を考慮して断層破壊過程の同定を行っている。その結果、既往

の研究で推定された強震動生成領域のサイズより有意に小さく、かつすべり速度時間関数が大振幅ピークを持ち、継続時間が半分程度であるスーパー強震動生成領域を導入することにより、観測された速度パルスをよく再現することができることを示し、海溝型地震においてもやや短周期パルスの生成の予測ができる可能性を示している。

(4) 構築手法の適用事例として、福岡市の中心部を通る警固断層において、マグニチュード7クラスの想定警固断層地震が発生した場合の福岡市における強震動予測を行い、予測された地表面での強震動を複数の建物群モデルに入力して被害予測を行っている。その結果、1981年以前の3階建RC造建物モデルと4・5階建S造建物モデルでは断層を挟んだ広い範囲で大きな大破率となることを明らかにしている。

以上のように、本論文は、やや短周期パルスの生成に寄与する震源と地盤の両方の不均質性を考慮した物理的モデルを用いて、観測された強震記録のみならず、被害分布を再現することによりその生成メカニズムを解明するとともに、やや短周期パルスの生成メカニズムを考慮した強震動予測手法を提案し実際に内陸活断層の想定地震に適用してその有効性を検証したもので、地震工学及び都市災害管理学上寄与するところが大きい。よって、本論文は博士(工学)の学位に値するものと認める。

氏名(本籍) 海老原 修二(福岡県)
学位記番号 博士(工学)人環博甲第135号
学位授与の日付 平成18年5月31日
学位論文題名 送電用中空鋼管鉄塔の耐風性能に着目した添接材補強工法の高機能化とその空力特性に関する研究

論文調査委員

(主査) 九州大学 教授 前田 潤 滋
(副査) " " 川瀬 博
" " 河野 昭彦

論文内容の要旨

送電鉄塔が受ける外力は風荷重が支配的になる場合が多く、その構成部材の設計は台風などを想定した風荷重によって決定されるが、電力輸送のライフラインを管理運営する上で、送電鉄塔の耐風安全性を確保することは最重要課題である。1990年代以降、我が国は多くの大型台風の襲来を受けたが、最近では、1999年の台風18号が強い勢力を保ったまま熊本県に上陸し、九州地方では500kV送電用中空鋼管鉄塔4基を含む15基の送電鉄塔の損壊事故が発生した。所管の電力会社によるこの事故に

関する原因究明調査では、台風の勢力が強く、被害鉄塔近傍での気象官署の過去の最大風速を更新する強風が記録されていること、また周辺地形による風の収束効果が作用したことにより、いずれも当時の設計荷重を越える風荷重が送電鉄塔に作用したとの見解が示された。

こうした経緯から、九州管内における送電鉄塔の設計には、従来からの送電用支持物設計標準 (JEC-127) に併せて、地形による風の収束効果を反映した気流シミュレーションを用いた鉄塔建設地点の最大瞬間風速分布の予測や部材集計法による塔体部の風力係数の精密化など、風荷重の見積もり精度を上げた耐風性能向上対策が取り入れられるようになった。同設計手法に基づいて、九州管内の一部の既設鉄塔について設計の見直しが行われ、その結果、地形により気流が収束する地域に建つ鉄塔では支柱材が強度不足に至る可能性があることがわかり、鋼管支柱材の補強工法の開発の緊急性が示された。これに応える形で、バンド式補助材工法およびL添接材工法が、施工性に優れ、経済的かつ合理的な鋼管支柱材の補強工法として開発され、九州管内の既設鋼管鉄塔 20 基が補強された。しかしながら、これらの補強工法は台風被害直下での緊急の補強対策として実施されたことから、実証試験を中心に研究が進められ、細部においてはいくつかの課題が残されたままになった。

本論文は、送電鉄塔鋼管支柱材を補強するL添接材工法について、残された課題を整理し、数値解析および供試体の耐力検証試験等を行って、L添接材工法の構造学的工夫改良を検討し、L添接材工法の耐風補強性能のさらなる向上とその適用範囲の拡大を目指すことを目的に行った検討結果を取り纏めたもので、以下の6章で構成されている。

第1章では、本研究の背景と目的として、九州内での送電鉄塔の強風被害の状況や送電鉄塔設計手法を概説するとともに、従前の支柱材補強工法の概要とその後開発されたバンド式補助材工法とL添接材工法について残された課題を整理し、本論の検討項目およびその研究手順を示した。

第2章では、L添接材工法を施した鋼管支柱材とL添接材が隣接する基本断面部について、鋼管と添接材の離間距離、添接材に対する風向および鋼管表面の粗度状態などをパラメータにして、供試体の風洞実験を実施し、補強材基本断面部の空力特性を検討した。その結果、基本断面部はいずれの条件下においても実施設計に適用している風力係数の2.0を下回り、現状の設計値が十分な安全性を有することを明らかにした。

第3章では、鉄塔上部や腕金部近傍などの通常のL添接材取付方法を採用できない箇所での添接材取付形態を新たに工夫し、その構造および施工性から判断して、曲げ点部については「曲げ点リブフランジ接続方法」、腕金

部近傍については3種類の「バンド接続方法」(強化バンド接続方法、改良型強化バンド接続方法、ダブルバンド接続方法)による添接材の取り付けが可能であることを示した。その中で3種類のバンド接続方法について基本サンプルの耐力試験を実施したところ、強化バンド接続方法では明確な補強効果の改善は見られなかったものの、改良型強化バンド接続方法では15%程度の耐力増加を、またダブルバンド接続方法では補強対象パネルを越えて健全パネルに接続することで17%程度の耐力増加が得られ、さらに曲げ点下での補強では24%程度の耐力増加が得られることが分かった。また、これらの試験結果に基づいて、バンド接続方法を用いたL添接材工法での補強部材の設計強度の算出方法として応力伝達率を用いた強度算定方法を提案して、L添接材工法の適用範囲拡大を図るとともにより高機能化できることを示した。

第4章では、圧縮荷重に対するL添接材の面外方向への曲げ変形や、これを模擬した有限要素ソリッド解析で再現される添接材の局部変形について検討して、それらの変形が主として添接材に付加する偏心荷重の影響であることと、この偏心荷重がL添接材工法の補強効果や終局耐力にも影響することを明らかにして、荷重偏心の作用およびこれに対する添接材の局部変形を抑えた場合の添接材の変形挙動とその改善策を示した。すなわち、荷重の偏心に伴う曲げ応力増加による終局耐力低下は起こるものの、支柱材と添接材の応力分担率に大きな変化はないことや、荷重偏心量を設定するなど解析条件をさらに精査することにより耐力試験結果を数値実験で検証できることを明らかにした。また、添接材や添接材補剛用バンドの取付け位置を調整することによって、添接材の局部変形の抑制や添接材の応力分担率の増加といった効果が見られ、L添接材工法のさらなる最適化が可能であることを示した。

第5章では、L添接材工法やバンド式補助材工法による支柱材補強を施した既設鉄塔の動的強風応答をシミュレートし、強風時における添接材の動的応答および補強効果への影響を検討した。その結果、補強後の受風面積の増大による風荷重の増加にもかかわらず、補強による塔体の強度上昇による塔体変位の減少や被補強支柱材の応力低下が顕著に見られ、鉄塔倒壊に至る支柱材の損壊を先行させない有効な耐風性能向上策であることを明らかにした。

第6章は、本論の総括として、各章の結論をまとめ、今後の検討課題について述べた。

論文調査の要旨

1990年代以降、我が国は多くの大型台風の襲来を受け、とりわけ、1999年の台風18号では、熊本県を中心に50万ボルトの送電用中空鋼管鉄塔を含む鉄塔被害があった。

当時の事故原因調査によって、いずれも設計荷重を越える風荷重が送電鉄塔に作用したことが明らかにされている。こうした経緯から、九州管内における送電鉄塔の設計に風荷重の見積精度を上げた耐風性能向上対策を取り入れたところ、地形効果により気流が収束する地域に建つ一部の既設鉄塔の支柱材が強度不足に至る可能性があることがわかり、鋼管支柱材の補強工法の開発が急がれた。これに応える形で、経済性と施工性に優れた鋼管支柱材の補強工法としてL添接材工法が開発され、すでに九州管内の既設鋼管鉄塔 20 基が補強されている。しかしながら当時の補強工法は台風被害直後での緊急の補強対策として実証試験を中心に研究が進められたもので、その後、適用範囲の拡大や補強法の細部においてさらなる高機能化が要請された。

本論文は、この添接材工法の基本原理に基づいて、被補強部材の FEM 解析および供試体の耐力検証試験等を行って、L 添接材工法に構造学的工夫改良を加えるとともに、耐風補強性能のさらなる向上とその適用範囲の拡大までを整理したもので、その所見は以下のように取り纏められる。

まず著者は、L 添接材工法による被補強部材の基本断面部について、鋼管と添接材の離間距離、添接材に対する風向および鋼管表面の粗度状態などをパラメータにして、供試体の風洞実験を実施し、被補強材基本断面部の空力特性を把握して、基本断面部がいずれの条件下においても実施設計に適用している風力係数の 2.0 を下回り、現状の設計値が十分な安全性を有することを明らかにしている。

次いで、鉄塔上部や腕金部近傍など、通常の L 添接材取付方法を採用できない部位での添接材取付形態を新たに工夫し、その構造学的特性および施工性から判断して、支柱材曲げ点部については「曲げ点リブフランジ接続方法」、腕金部近傍については 3 種類の「バンド接続方法」による添接材の取り付けが可能であり、供試体の耐力試験により 15~24%の耐力増加が得られることを確認するとともに、L 添接材工法の適用範囲の拡大を図るなど、より高機能化できることを示している。

また、圧縮荷重に対する L 添接材の面外方向への曲げ変形や、これを模擬した FEM ソリッド解析で再現される添接材の局部変形を検討し、それらの変形が主として添接材に付加する偏心荷重の影響であることやこの偏心荷重が被補強部材の補強効果や終局耐力にも影響することを明らかにして、添接材の局部変形を抑えた場合の被補強部材の変形挙動に基づいて偏心荷重に対する改善策を提示している。すなわち、荷重偏心に伴う曲げ応力増加による終局耐力低下は起こるものの、支柱材と添接材の応力分担率に大きな変化が見られないことや、荷重偏心量を設定するなど解析条件をさらに精査することにより

最終耐力を FEM 解析で精度良く予測できることを明らかにしている。さらに、添接材や添接材補剛用バンドの取付け位置を調整することによって、添接材の局部変形の抑制や添接材の応力分担率の増加といった効果が現れ、L 添接材工法のさらなる最適化が可能であることを示している。

最後に、支柱材補強を施した既設鉄塔の動的風応答をシミュレートし、強風時における補強鉄塔の動的応答への影響およびその補強効果を検討して、補強後の受風面積の増大による風荷重の増加にもかかわらず、被補強材の強度上昇による塔体変位の減少や被補強支柱材の応力低下が顕著に見られ、鉄塔倒壊に至る支柱材の損壊を先行させない有効な耐風性能向上策であることを明らかにしている。

以上要するに本論文は、既設送電用鋼管鉄塔支柱材の耐風補強に適用される L 添接材工法による被補強部材の空力特性や変形挙動に及ぼす偏心荷重の影響を明らかにするとともに、これまで適用できなかった鉄塔部位への取付方法を工夫してその適用範囲を拡大するなど、同工法の高機能化を実現したもので、風工学および都市災害管理学に寄与するところが大きい。よって本論文は博士(工学)の学位に値するものと認める。

氏名(本籍) 宋 永 学 (大韓民国)
学位記番号 博士(工学) 人環博甲第 141 号
学位授与の日附 平成 18 年 9 月 30 日
学位論文題名 空調システムの性能評価と不具合検知・診断ツールの開発に関する研究
論文調査委員
(主査) 九州大学 助教授 赤 司 泰 義
(副査) " 教授 渡 邊 俊 行
" " 林 徹 夫

論文内容の要旨

地球環境問題に関連して建築の環境負荷削減が強く求められている昨今、一般オフィスビルの年間エネルギー消費量の約半分を占める空調システムの性能を的確に評価し、その性能を継続的に維持・改善することが極めて重要な課題となっている。近年、建築設備のコミッションング(性能検証)が注目されているが、それは、所有者が要求するシステム性能を明らかにし、その性能が定義した目的や基準に合致しているかどうかを検証し、記録するための品質志向プロセスを指す。ここ数年の活発な議論を通して、コミッションングがシステムの品質をライフサイクルにわたって維持するのに有効な概念であ

ることが、ビルの所有者、設計者、施工者、管理者の間で広く認識されるようになってきており、国内外の関連学会では、コミッショニングプロセスの確立を目指した枠組み構築について精力的な取り組みがなされてきている。しかしながら一方で、コミッショニングプロセスに不可欠な性能評価手法の確立と各種診断技術の開発が未だ不十分であることも明らかになっており、今後の進展が強く望まれている。

空調システムの性能評価は、システムの持つべき性能が実際に発揮されているかを確かめることである。それには、設計段階で反映できない実際の外界気象やシステムの使われ方といった種々の条件を考慮しながら、実現している性能を様々な指標に基づいて評価しなければならない。また、空調システムの性能が低下している場合には、その原因を検知し、本来の状態に迅速に戻すことが必要になる。しかしながら、こういった不具合は、多くの空調システムで生じているものの、日常運転の中でそれらが迅速に見発されることはほとんどない。この間のエネルギー消費とランニングコストの増分は無駄な浪費である。このように、空調システムの性能評価と不具合検知・診断は密接に関係して相互に補完するものであり、両者の確立により信頼性の高い空調システム運用が可能になると考える。

本論文は、コミッショニングプロセスに不可欠な空調システムの性能評価手法の確立と代表的な診断技術である不具合検知・診断ツールの開発を目指したものである。すなわち、最新の高効率化技術を導入した空調システムの省エネルギー性能を長期実測データとシミュレーションによって定量的に評価するとともに、空調システムへの導入が容易な知識ベース手法に基づく不具合検知・診断ツールを開発し、そのツールの信頼性と有効性をシミュレーションによって明らかにしたものである。本論文は、以下の6章より構成される。

第1章では、研究の背景と目的、既往の研究、論文の構成について述べた。

第2章では、最新の高効率化技術を導入した熱源システムを対象として、長期実測データに基づく熱源システムの性能評価について検討した。システム COP (成績係数) は、夏季 3.24~3.61, 中間季 3.00~3.15, 冬季 2.53~2.88 の値を示し、部分負荷率が小さな中間季や冬季においても、従来の熱源システムには見られない高効率の性能が発揮されていることを確認した。一方、実測期間の一部においては、熱源機器の運転台数制御に関する誤った設定によってシステム COP が低下する不具合が発生し、不具合を迅速に検知し、適切な運転台数制御を実施することの重要性が示唆された。

第3章では、前章の熱源システムについてシミュレ

ーションに基づく性能評価を行った。従来の熱源システムに高効率化技術を順次加えていく検討ケースを設定し、設計用想定負荷や実測負荷を入力とするシミュレーションによって、高効率化技術の省エネルギー性能と経済性を明らかにした。従来の熱源システムに比べると、エネルギー消費量で 31~35%, 電力料金比で 29~31% の削減が可能であった。特に、実測負荷が設計用想定負荷より小さい時期には、高効率冷凍機だけではなく、部分負荷運転を解消するベース機容量制御技術の効果が高いことが明らかにされた。一方、前章で示された通り、熱源機器の運転台数制御の不具合が発生している時期においては、実測結果がエネルギー消費量の計算結果よりも大きく上回る結果となったが、不具合発生時の運転状況をシミュレーションに反映させた計算結果と比較すれば、高い精度で実測結果を再現することがわかった。このことにより、シミュレーションの計算結果を正常値とみなし、それと実測結果を比較することで不具合を検知することができる可能性を示した。

第4章では、まず、建物全般に生じる様々な不具合の事例を分類・整理した。さらに、前章までに得られた不具合検知・診断のツール開発に関する考え方や、九州大学筑紫キャンパスにある HVAC&R 実験解析システム(実験棟)を対象に構築したシミュレーションモデルに基づいて、正常状態の計算結果と不具合を想定した計算結果の比較を行った。比較項目は、空調時間帯の基準階日平均室温偏差、空調システム全体の日積算電力消費量、熱源機器の日積算電力消費量、搬送系の日積算電力消費量であり、不具合発生がエネルギー消費量の増減や室温変動に及ぼす影響を把握してグループ分けを行い、次章の不具合検知・診断ツール開発のための基礎データとした。

第5章では、新たなセンサの設置を必要とせず、基本的で少ないデータ項目で不具合のある箇所を空調システム全体から絞り込むといった、知識ベース手法による不具合検知・診断ツールの開発方針を概説し、前章で得られた基礎データを用いて、そのプロトタイプツールを構築した。このプロトタイプツールは、空調システムの空調時間帯の日平均室温や日積算電力消費量などの容易に取得できるデータと、空調システムシミュレーションによる計算結果を比較して、それらの偏差に基づいてフロー図を辿ることで不具合が検知されるものである。開発したプロトタイプツールの信頼性と有効性について、不具合の発生時期や進行度を任意に与えて検証したところ、約 80% の確率で不具合の検知が可能であったこと、このツールを適用することによって不具合を検知し正常化した場合は、ツールを適用せずに不具合がそのまま進行した場合と比べて、年間のエネルギー消費量を 10% 前後削減できること、室温の制御状態も顕著に向上させることができること、などを明らかにした。

第6章では、各章の結論を総括するとともに、空調システムの性能評価と不具合検知・診断ツールの開発に関する今後の展望について述べた。

論文調査の要旨

建築設備のコミッショニング（性能検証）とは、所有者が要求する設備システムの性能を明らかにして、実際の設備システムの性能がその要求性能に合致しているかどうかを検証し、記録するための品質志向プロセスをいう。近年、空気調和・衛生工学会や国際エネルギー機関（International Energy Agency, IEA/ECBCS/ANNEX40, ANNEX47）といった国内外の関連学会等でコミッショニングプロセスの枠組み構築に向けた活発な活動がなされており、コミッショニングが建築の省エネルギーの推進に不可欠な概念であることも広く認知されてきている。2005年11月には、空気調和・衛生工学会から「建築設備の性能検証過程指針」が刊行され、技術的な重要性や社会的な関心の高さが伺える。しかしながら、一方で、設備システムの具体的な性能評価手法や個々の診断技術については今後の大きな課題とされており、その研究開発も緒についたばかりである。本論文は、空調システムにおける性能評価の実施とコミッショニングプロセスにおいて主要な診断技術の一つである不具合検知・診断のツールの開発に取り組んだものである。

著者はまず、高効率化技術を導入した熱源システムを対象に、長期実測とシミュレーションに基づく性能評価を実施した。長期実測から、システム COP は夏季 3.24～3.61、中間季 3.00～3.15、冬季 2.53～2.88 を実現しており、従来の熱源システムに見られない高効率な性能が得られていること、シミュレーションから、従来の熱源システムと比較してエネルギー消費量が 31～35%、電力料金比で 29～31% の削減が可能であったことなどを明らかにした。本論文で示されている各種実測データの扱い方、性能評価の指標、シミュレーションプログラムの構築方法などは、コミッショニングプロセスにおける今後の性能評価手法の確立に向けて貴重な情報を与えるものである。さらに、実測期間の一部において熱源機器の運転台数に関する不具合が発生したことに着目し、不具合を迅速に検知し、本来の状態に戻すことの重要性を指摘するとともに、不具合を反映したシミュレーション結果と正常状態のシミュレーション結果を比較することによって、不具合によるエネルギー消費量の浪費分を定量的に明らかにしている。また、熱源システムの運転において、あらかじめ定められた運転方法を反映した正常状態のシミュレーション結果を時々刻々算出し、それと実測結果を常時比較すれば、シミュレーション結果と実測結果の差異により、迅速に不具合を検知することができる可能性があることを示した。

次に著者は、前述の性能評価で得られた不具合検知・診断に関するツール開発の考え方に基づいて、九州大学筑紫キャンパスにある実験棟（HVAC&R 実験解析システム）を対象に、様々な不具合を反映したシミュレーションを実施した。正常状態のシミュレーション結果と比較することによって、不具合の発生が空調システムのエネルギー消費量や室温に与える影響を定量的に明らかにし、不具合がある場合とない場合の両者の偏差についてグループ分けを行い、不具合検知・診断ツールの開発のための基礎データを整備した。この基礎データに基づいて、基本的で少ないデータ項目を用いて不具合の箇所を空調システム全体から絞り込むといった、知識ベース手法による不具合検知・診断ツールのプロトタイプが開発された。エネルギー消費量や室温に関する実測値と計算値の偏差の値からフロー図を辿ることにより不具合が検知されるもので、このツールが十分に実用化されれば、従来の不具合検知・診断の実効性や確実性、迅速性を大きく改善する極めて新規性の高いツールになることが予見される。開発したプロトタイプツールの信頼性と有効性について、不具合の発生時期や進行度を任意に与えて検証したところ、約 80% の確率で不具合の検知が可能であったこと、このツールを適用することによって、適用しない場合と比べて年間エネルギー消費量を約 10% 削減できることなどが明らかになっている。

以上、要するに、本論文は、建築の空調システムに関して、長期実測とシミュレーションに基づく性能評価を実施するとともに、これまでにない新たな不具合検知・診断ツールを考案・開発し、そのツールの信頼性と有効性を膨大なシミュレーションにより定量的に明らかにすることによって、コミッショニングの進展に益する極めて有用な技術的知見を示したものであり、建築設備工学上寄与するところが大きい。よって、本論文は博士（工学）の学位論文に値するものと認める。

氏名（本籍） 松本光太郎（福岡県）
学位記番号 博士（人間環境学）人環博甲第143号
学位授与の日付 平成18年9月30日
学位論文題名 外出することの意味 ～高齢者の生活世界への探求～

論文調査委員

（主査） 九州大学 教授 南博文
（副査） " " 菊地成朋
" " " 丸野俊一

論文内容の要旨

本論文は、高齢者の生活における「外出することの意味」を、3種のアプローチを用いて、高齢者の経験の即して明らかにすることを目的とした研究である。すなわち、高齢者が日常生活の中で外出する時において「何気なく生成する行為や体験」に注目し、その詳細を行為・体験が起きる場に、観察者も共に「同行」することによって、外出という事象が彼/彼女らの生活において持つ意味に関して理解を深めていくことが目指されている。

高齢者研究の多くが、精神機能の年齢発達的变化(aging)を実証的に明らかにすることや、生活環境に着目する場合でも、機能の衰退を防ぐような物的、社会的環境要因を明らかにする等、機能的な連関や因果関係に着目する傾向が強い。著者は、このような高齢者研究の意義を認めつつも、これらの機能上の変化が高齢者の生活の中でどのような位置を占めるのか、すなわち高齢者の生活世界の文脈を考慮する事が、高齢期理解の鍵を握るとの認識を示している。そのような立場から、高齢期において機会が少なくなる「外出」するという日常行為について、加齢に伴う頻度の減少として捉えるような、外側からの理解により高齢者の生活の質を推し量る方向ではなく、個々の高齢者の外出体験に着目することが、高齢者の生活の質を捉える際に、これまで欠けていた視点であると述べる。そのような認識に立って、外出する体験の中で、各行為者がどのような事に「出会う」のか、そしてそのような出会いが起きるのは、高齢者を取り巻くどのような生活構造の中でなのかを、具体的エピソード(一連の体験の記述)の提示とそれらについての解釈を通して明らかにする。

本論文は、全3部7章で構成されている。

第1部は、高齢者の生活における外出という問題が提示される、学問上および高齢者の生活実態に即した背景を扱っている。

1章では、高齢者がどのような外出を行っているのか明らかにするために、外出時の目的地および立ち寄った場所を尋ね、その場所で誰に会い、どのようなことが行われていたのかを、在宅高齢者に対する自由記述アンケートによって求め、外出の基本的な属性を記述している。

2章では、町を単位とした生活環境において、どのような外出行為が見られるかを、北九州市小倉区の中心市街地をフィールドとして観察している。

3章では、外出という事象を捉えるための環境心理学的なアプローチを模索する目的で、「環境老年学」の軌跡に関して文献レビューを行い、従来の多くの研究に見られたアプリオリに人と環境を切り分け事象を理解しようとするアプローチ(相互作用論)ではなく、事象そのものに迫るため人と環境を切り分けず捉えようとするアプローチ(相互浸透論)が望まれるという結論を提示している。

そして、人と環境が一体である事象を捉えようと試みるアプローチとして、「環境体験(environmental experience)」という捉え方が提案された。

第2部では、第1部において明確にされた概念枠と方法論を受けて外出に関する実証的なフィールドワークの成果をまとめている。具体的には、在宅高齢者の外出に同行したり、施設に居住する高齢者の生活に付き合い続ける中で、環境体験、すなわち「今ここ」で生成する行為や体験を描き出し、そこから得られる理論的な解釈が述べられる。

4章では、在宅高齢者の外出に著者自身同行し、共に歩く中で、彼/彼女の外出時に何が起きているのか、具体的には、何に出会っているのか、そこでどのような行為や体験が生成しているのかを記述し、外出の意味と価値の検討を課題とした。見出された知見として、1)外出前の準備、2)様々な事物とのかかわりという外出時における行為形式が整理された。そして、外出時に起きていることとして、1)見たり、聞いたり、感じたりする行為や体験が連なっていく様態を「出会い」の連続として理解し、2)「今ここ」の出会いには過去の経験等が入り込んでおり、出会いを取り囲む機制を理解するために「包含」という概念が提示されている。

5章では、4章からの議論を引き継ぎ、外出時に生成する行為や体験の背景に関し、在宅高齢者の外出時に生成した具体的なエピソードを検討する中で考察が行われている。4章で外出の意味を理解する経路として見出された「包含」という現象について、さらにルール、ルーチン、持続、選択といった概念を導出して、高齢者を取り巻く意味世界としての「包含」についての理論モデルを提示している。最後に、そのモデルの観点から高齢者の生活世界において、外部および内部との連続性や、過去・現在・未来という時間軸上の連続性を与える際に、外出が果たす役割が述べられている。

6章では、外出が制約される環境という点から、特別養護老人ホームに居住する高齢者に注目し、長期間のフィールドワークを通じて、入居者と室内外において共に時間を過ごすかかわりを重ねる事で、入居者の生活構造の理解を試みている。施設環境に居住する高齢者の生活に欠けている事象を「外一帰」と名づけ、それが「内一帰」と力動的に関わる生活の基本構造である事を、具体的なエピソードの描出によって解釈している。

以上の6章を受け、第3部では、これまでの知見が総括され、「外出することの意味」とは外出時に行為が実現し体験が生成することそのものであるという結論が述べられている。

論文調査の要旨

本論文は、高齢者の外出する行為が、日常生活の具体

的な文脈においてどのような環境体験をもたらし、それが高齢期の生活世界においていかなる意味的世界を形成するのかを、同行調査という新たな方法を用いて、外出時に発生する「今ここ」での行為／体験の具体的な進行をエピソードとして捉え、その過程に内包される意味体験を「包含」モデルという新たな概念によって理論化したもので、高齢者研究への環境心理学および人間環境学的なアプローチによる重要な知見を得たものとして価値ある業績と認める。

氏名(本籍) 牧 敦 司(福岡県)
学位記番号 博士(人間環境学) 人環博甲第 144 号
学位授与の日附 平成 18 年 10 月 31 日
学位論文題名 日常生活施設の福祉のまちづくり計画に関する研究

論文調査委員

(主 査) 九州大学 教授 竹 下 輝 和
(副 査) " " 藤 本 一 壽
" " " 佐 藤 優

論文内容の要旨

我が国では、1990年代以降、高齢社会の急速な進行を背景に、ノーマライゼーションの理念のもとで「福祉のまちづくり条例」や「ハートビル法」が施行され、日常生活施設の福祉的整備が大幅に向上しつつある。本研究は、これらの条例や法の運用にあたって法的対象施設の面積的な規定や技術的な基準に関する検証を、①具体的事例、②申請用協議データ、③日常生活圏での福祉的整備実態調査、④利用者の意識調査を通して行い、日常生活施設の福祉のまちづくり計画について有用な知見を得ることを目的としている。

第1章は、序論であり、本研究の背景や意義及び目的について述べた。

第2章は、「福祉のまちづくり条例」制定の過程と条例がもつ今日的課題を明らかにした。特に、初期の「福祉のまちづくり条例」に定められた内容が米国のADAと我が国のハートビル法の制定の影響を強く受けて定められたものであり、前者の米国のADAからは建築部位のバリアフリー化によるアクセシビリティの保証という考え方が、後者のハートビル法からはそれまで我が国の福祉的な施設整備の課題とされていた法的拘束力、整備基準の統一、高齢社会へ向けた環境整備の考え方が取り入れていることを明示した。

さらに、ほとんどの都道府県や政令市の「福祉のまちづくり条例」の内容がハートビル法の規定する施設面積

より小規模な日常生活施設に対して法的拘束力を定めている一方で、これらの条例は、①施設用途別の対象面積規定が自治体により異なっており、計画目標の技術基準が最大公約数となる傾向があり、日常的な生活圏域など地域特性を判断基準としたものにはなっていないこと、②条例で定めた技術基準は、ユニバーサルデザインの考え方に基づいてはいるものの、障害の程度に応じた細やかな対応は考慮されていないなどの今日的課題について明らかにした。

第3章では、条例の適用となる施設の面積規模規定について考察を行った。まず、福岡市の「福祉のまちづくり条例」が他の条例と比較して、法的拘束力のある対象面積基準の制限がほとんどないことから福祉的整備の優位性が高いことを示した。併せて、対象施設面積規模規定が地域における福祉のまちづくり施設の集積に及ぼす影響について、福岡市の3つの生活圏域を対象として面積規模規定が異なる市条例と県条例の効果の違いを比較考察し、施設面積の制限を撤廃することが地域における福祉的施設の集積による福祉まちづくりの計画にはきわめて有用であることを実証した。

第4章では、「福祉のまちづくり条例」の技術的判断基準の適用にあたっての知見を得るために、福岡市福祉のまちづくり条例の申請実績をもとに、対象規定や整備規定について分析を行った。

技術的基準の検証を通じて、①技術的数値基準を福祉のまちづくり計画としてより充実させるためには、地域における施設立地の方法論と併用で検討することが必要であること、②技術項目により面積規模制限が異なる現状の基準には規模設定そのものの再検討が必要であり、面的整備効果を期待する場合には、現状の建物単体を対象とした方法論ではなく、地域単位での福祉のまちづくり型の新たな計画手法を確立し取り組む必要があることを指摘した。

第5章では、福岡市を対象とし1994年のハートビル法の制定前後と1999年の「福祉のまちづくり条例」の制定前後の2つの節目による日常生活施設の福祉的整備の状態変化について、利用者の意識調査を通してその影響力を検証した。まず、ハートビル法の制定により法的拘束力が高まったことから、1994年から1998年にかけて利用者評価が大きく向上していること。次に、市条例では対象施設面積の制限がほぼ撤廃された1999年から2003年にかけては、これまで小規模であるがゆえに福祉的整備についての評価が低かった施設においても状態変化の評価レベルが向上していることを定点観測法によって検証した。

第6章では、居住施設における福祉のまちづくり計画の拠り所として、「世帯構造」「介護場所ニーズ」「在宅介護ニーズ」を軸とした計画手法を立案し、その検証を山

口県を対象として行い、その結果、市町村の高齢化の進捗や居住施設に対するサービスの現況の相違をもとに設定した3次元マトリックスで図示した住宅系及び医療福祉系の居住施設がそれぞれの地域の特性に応じて順応することを明示した。

第7章では、これまでの各章の知見を結論として集約するとともに、今後に取りられるべき政策的課題についてのまとめを行った。

さらに補章として、ハートビル法や福祉のまちづくり条例など、福祉のまちづくり計画に関する近年の法制の改訂をまとめ、本研究で得られた知見との関連について考察を行った。

論文調査の要旨

人間居住空間におけるバリアフリーのまちづくりは、今日、重大な社会的整備課題と認識されつつある。わが国においては、先進自治体の条例化による任意的整備が比較的長期に継続され、その後、急速に法制的義務化が展開されるという歴史的な経緯を踏まえたために、このバリアフリーのまちづくりの政策的な展開には、現状では、まだ多くの検討すべき課題を残している。

一方、このバリアフリーのまちづくりについては、既往の研究は非常に活発に行われているが、その多くが障害者等の身体能力を基盤とした障害特性と物理的障壁の因果関係や障壁除去ための技術的な方法の解明などに重点が置かれており、そもそも、どのようにしてバリアフリーのまちづくりをより強固に推進していくのか、その政策マネジメント的研究はほとんど取り組まれていない。

本論文は、わが国におけるバリアフリーのまちづくりが任意から法制へと大きく転換したこの歴史的な時間変化の中で、その中核となる日常生活施設を対象として、「福祉的配慮」と「福祉的整備」の両面性から「福祉のまちづくり計画」を独自に概念規定した上で、具体的に取られた政策的展開方法の効果を多面的、且つ、時系的な学術調査をもとに検証し、今後に取りられるべき計画的課題を提案したものである。

ところで、バリアフリーのまちづくりの政策的な展開において、最も重大な議論のポイントとされたものは、日常生活施設の対象条件（施設用途と規模）をバリアフリー整備の政策的優先とするのか、それとも、こうした施設の対象条件よりは日常生活施設が確保すべきバリアフリーの物理的整備水準のクオリティを政策的優先とするか否かである。つまり、限られた予算枠の中で、このバリアフリーのまちづくりを効果的に推進していくには、ある程度の整備水準で数多くの施設整備を行う方がベターなのか、それとも対象施設を限定してでも、高い整備水準を維持したままで逐次整備を行う方がベタ

一なのか、この二項対置的な政策展開について政策マネジメントの視点から見極めることである。

既に多くの自治体では、任意から法制の整備段階において施設規模を適用対象とする対象限定化の施策が取られたが、福岡市においては、交通施設の拠点的整備とともに、日常生活施設に関しては著者の政策的提言も貢献し、逆に、あらゆる日常生活施設について施設規模規定を撤廃し、小規模な日常的な生活施設においても限定された整備水準とはいえバリアフリーの整備を実施するという大変特異な施策が実施されることとなった。

そこで著者は、この施策の展開に対応してその評価の効果を、①利用者自身の定点的生活実態調査、及び、②時系的利用意識調査、さらに、③施策運用実施調査に基づいて詳細に検証した結果、「福祉のまちづくり計画」においては、施設対象規定を撤廃する方がきわめて政策的に優位的であることを明瞭に実証している。また著者は、限定された整備水準の中でより改善された整備項目、即ち、「駐車場」や「出入口」等の一方で、「便房」や「EV」などの重要な項目の整備改善が進んでいないこと、さらに、こうした建築物の単体規定による技術方式の限界にも言及し、今後の取られるべく施策として、日常生活施設の集積状況を施策ファクター化した「地域特性評価方式」を具体的に提示し、新たな「福祉のまちづくり計画」を提案している。

以上要するに本論文は、わが国の「福祉のまちづくり計画」を大きく展開する際のきわめて重要な政策的な判断である施設対象化条件について、大胆な政策的提言とその優位性を多面的、且つ、時系的学術調査によって検証するとともに、今後に取りられるべき重要な計画的課題を提案したもので、建築計画学に寄与するところが大きい。よって、本論文は博士（人間環境学）の学位論文に値するものと認める。

氏名（本籍） 鶴崎直樹（福岡県）
学位記番号 博士（人間環境学）人環博乙第23号
学位授与の日付 平成19年2月28日
学位論文題名 大学キャンパス・マスタープランの構成と創出プロセスに関する研究
論文調査委員
（主査） 九州大学 教授 出口 敦
（副査） " " 南 博文
" " " 角 知憲

論文内容の要旨

近年、わが国の大学とそれを取り巻く環境には著しい

変化が見られる。教育面では、少子化や生涯学習需要の増加への対応が挙げられ、研究面では、産学連携や国際交流等の活性化が見られる。また、中心市街地活性化等の機能として大学を位置付けた国の施策が打ち出されるなど、大学の地域貢献の重要性が高まるとともに、大学の機能とキャンパスの概念にも変化が見られる。更に、大学の運営的側面においては、国立大学法人化などの制度改革が進められている。このような各種機能や運営的側面の変化に対し、キャンパスの変化も求められており、それに対応するキャンパス計画と大学キャンパス・マスタープラン（以下、マスタープラン）が必要とされる。

キャンパス計画は、大学キャンパスにおける空間および施設に関する計画行為である。また、マスタープランは、キャンパスの施設配置や空間形成のための計画書であり、様々な場面で活用されてきた。わが国の大学では、これまで、一般に文部科学省による政策や基準に基づき、教育・研究機能に主眼を置いたキャンパス計画が進められてきたが、今後は、上述の背景の下、教育・研究機能に加え、各大学の主体性と独自性に基づく創造的な計画プロセスによる地域と連携したキャンパス計画とマスタープランが必要とされる。

このような認識の下、本論文では、国内外のマスタープランに関する調査分析と体系的整理に基づき、マスタープランの歴史的変遷やその実態を明らかにするとともに、マスタープランが具備すべき内容や役割、その創出プロセスのモデルについて論じることを目的としている。

本論文は、序論、本論および結論の6つの章により構成されている。

第1章では、本論文の背景、目的、対象および研究の方法を述べるとともに、既往研究を整理した上で、本研究の位置付けを明確にし、更に、キャンパス計画に関する段階的発展に関して整理を行なっている。

第2章では、海外における近年のマスタープランの構成と特色を把握するために、大学主体によるキャンパス計画を進めてきた米国等の大学の事例と政府主導による中国と韓国の大学の事例の2つに分けて分析を行ない、その結果をまとめている。

まず、収集した米国等42校のマスタープランの目次構成と記述内容を類別し、導入、条件、目標・方針、計画および運用の5つのマスタープランの基本構成要素を抽出するとともに、その組合せによりマスタープランを展開型、課題対応型、分野対応型の3つの典型に分類した。次に、基本構成要素それぞれにおける記述内容と計画対象の類別と記述数に対する統計的分析および全マスタープランの図面等2,977点の掲載資料に対する統計的分析から、米国等のマスタープランの全体的傾向と特色を明らかにした。

続いて、韓国と中国のキャンパス計画に関わる文教施

策と社会的背景を把握するために、その変遷を整理した。更に、韓国12校、中国10校のマスタープランの目次構成、記述内容および抽出した計画対象に関する類別と統計的分析により、それぞれの傾向と特色を抽出した。即ち、韓国では土地利用や外部空間等を重視し、実施計画型の傾向が強く、中国では居住施設等を主たる対象とし、目標提示型の傾向にあることを明らかにした。

第3章では、わが国の国立大学法人によるマスタープランの構成と特色を明らかにするために、過去10年以内に策定された14のマスタープランを収集し、その分析を行ない、結果を取りまとめている。

まず、敷地規模と開発形態をもとに、小規模再開発型、大規模再開発型および新規開発型の3つのタイプに分類し、マスタープランの目次構成と記述内容および項目の統計的分析に基づき、それぞれのタイプの特色を明らかにした。

続いて、法人化後のキャンパス計画の実態と課題を把握するために、アンケート調査およびヒアリング調査を実施し、70校から得た有効回答に基づき、マスタープランの必要性に対する意識と策定状況、計画組織の設置状況、学内意見の反映状況等に関する実態を明らかにした。本調査の結果、マスタープランの必要性は共通認識としてあるものの、策定校は半数にとどまり、組織体制、運営方法、学内意見の反映状況等に課題があることが明らかとなり、そのための解決策として、大学キャンパス計画の支援方法の導入および計画主体の組織化の必要性を指摘した。

第4章では、わが国の地域社会と大学の連携の傾向を明らかにするために、大学が立地する地方自治体の総合計画を対象とした分析を行ない、その結果をまとめている。収集した372自治体の総合計画から大学に関する記述を抽出し、その類別と統計的分析および地方自治体の諸元との関係についての分析を行ない、連携の分野および計画対象の傾向を明らかにした。続いて、具体的な連携事例を対象とした類別と分析から、主要な連携分野と連携内容の傾向を明らかにし、その傾向を社会的ニーズとして捉え、地域社会と大学の連携促進の観点から必要とされるマスタープランの計画対象を提示した。

第5章では、大学の主体性と独自性に基づくマスタープランに関する調査分析を行ない、その内容と創出プロセスに求められる条件を整理している。

まず、計画プロセスや組織構成に特色を有する米国大学の20事例を抽出し、各マスタープランの構成内容の類別と整理を行ない、マスタープランの役割、計画組織、計画プロセス、および都市計画・環境計画との連携に関する特色と傾向を明らかにした。更に、以上の特色と前章までの結果に基づき、マスタープランとその創出プロセスに求められる条件として、教育・研究環境の快適性

と利便性の基本的条件に加え、①計画手法の柔軟性と継承性、②計画組織の総合性と多様性、③プロセスの透明性と適応性、④計画対象の社会性と地域性の4点を導き出し、創出プロセスのモデルを提示した。

最後に、第6章では、本論を通じて得られた知見を総括し、本論文の結論とした。

論文調査の要旨

近年、わが国の大学では、少子化や生涯学習需要の増加への対応、産学連携や国際交流等の活発化といった教育面、研究面での変化に加え、地域社会の発展への貢献も求められるなど、その機能と大学キャンパスの概念に変化が見られる。更に、国立大学法人化などの制度改革が進められ、大学の各種機能や運営的側面の変化に対し、キャンパスの形態も変化が求められており、それに対応するキャンパス計画と大学キャンパス・マスタープラン（以下、マスタープラン）が必要とされる。

わが国においては、これまで、一般に文部科学省による政策や基準に基づき、教育・研究機能に主眼を置いたキャンパス計画が進められてきたが、上述の変化に対応するために、今後は、教育・研究機能に加え、各大学の主体性と独自性に基づく創造的な計画プロセスによる地域と連携したキャンパス計画とマスタープランが必要とされる。

以上の観点から、本論文では、大学キャンパスにおける空間および施設に関する計画行為であるキャンパス計画と、キャンパスの施設配置や空間形成のための計画書であるマスタープランを研究対象とし、国内外の事例に関する資料を独自に収集し、マスタープランの記載内容や策定プロセスの分析に基づき、その内容構成の類型や傾向を明らかにするとともに、今後のマスタープランが具備すべき内容や役割、その創出プロセスについて論じている。

その所見は以下の通り取り纏められる。

(1) 近年の海外の事例分析として、大学主体によるキャンパス計画を進めてきた米国等の大学の事例と政府主導による計画を進めてきた中国と韓国の大学の事例の2つに大別した分析を行ない、それぞれの特色を明らかにした。米国等42校のマスタープランに対しては、目次構成と記述内容を類別し、導入、条件、目標・方針、計画および運用の5つのマスタープランの基本構成要素を抽出するとともに、その組合せによりマスタープランを展開型、課題対応型、分野対応型の3つの典型に分類した。また、計画対象の類別、記述内容に対する統計的分析および全マスタープランに掲載の図面等2,977点に対する統計的分析から、米国等のマスタープランの傾向と特色を明らかにした。

続いて、韓国と中国のキャンパス計画に関しては、文

教施策と社会的背景の変遷を整理した上で、韓国12校、中国10校のマスタープランを対象に、目次構成、記述内容および計画対象に関する類別と統計的分析を行い、その結果として、韓国では土地利用や外部空間等を重視し、実施計画型の傾向が強い点、中国では居住施設等を主たる対象とし、目標提示型の傾向にある点、等の特色を明らかにした。

(2) わが国の国立大学法人によるマスタープランの内、過去10年以内に策定された14のマスタープランの分析を行ない、その内容の特色と策定プロセスの実態を明らかにした。まず、敷地規模と開発形態をもとに、小規模再開発型、大規模再開発型および新規開発型の3つのタイプに分類した上で、マスタープランの目次構成と記述内容および項目の統計的分析に基づき、それぞれのタイプの特色を明らかにした。更に、アンケート調査およびヒアリング調査を実施し、70校から得た有効回答に基づき、マスタープランの必要性に対する意識と策定状況、計画組織の設置状況といった法人化後のキャンパス計画の実態と課題を明らかにした。調査の結果、学内意見の反映状況等に関する実態として、マスタープランの必要性は共通認識としてあるものの、策定校は半数にとどまり、組織体制、運営方法、学内意見の反映状況等に課題があることが分かり、そのための解決策として、大学キャンパス計画の支援方法の導入および計画主体の組織化の必要性を指摘した。

(3) 大学が立地する372地方自治体の総合計画を対象として、大学に関する記述を抽出し、その類別と統計的分析および地方自治体の諸元との関係についての分析を行ない、わが国の地域社会と大学の連携の実態と傾向を明らかにした。続いて、具体的な連携事例を対象とした類別と分析から、主要な連携分野と連携内容の傾向を明らかにし、その傾向を社会的ニーズとして捉えることにより、地域社会と大学の連携促進の観点から必要とされるマスタープランの計画対象を提示した。

(4) 計画プロセスや組織構成に特色を有する米国大学の事例を抽出し、そのマスタープランの内容や計画プロセスの分析に基づき、マスタープランの役割、計画の組織とプロセス、および都市計画・環境計画との連携に関する特色と傾向、およびわが国の大学のマスタープランとの相違点を明らかにした。

(5) 以上の結果に基づき、マスタープランとその創出プロセスに求められる条件として、①計画手法の柔軟性と継承性、②計画組織の総合性と多様性、③プロセスの透明性と適応性、④計画対象の社会性と地域性の4点を導き出し、創出プロセスのモデルを提示した。

以上、要するに、本論文は、国内外の大学のマスタープランに関する文献調査と分析を通じ、近年のマスタープランの構成内容の傾向と類型、および計画プロセスの

実態を明らかにし、今後のマスタープランが具備すべき内容、役割、創出プロセスのモデルを導き出したものであり、都市計画学およびアーバンデザイン学に寄与するところが大きい。よって、本論文は博士（人間環境学）の学位に値するものと認める。

氏名（本籍） 後藤 隆太郎（鹿児島県）
学位記番号 博士（人間環境学）人環博乙第24号
学位授与の日附 平成19年2月28日
学位論文題名 有明海沿岸低平地における集住地空間の形成と発展に関する研究

論文調査委員

（主査） 九州大学 教授 竹下 輝和
（副査） " " 藤本 一壽
" " 菊地 成朋

論文内容の要旨

我が国の沿岸部各地の低平地では、低湿や干潟地という自然環境条件を基盤に独自の集住地空間を形成してきた。しかしながら、低平地における農業生産や居住生活の近代化によって引き起こされた対処的変容のために、今後の低平地の集住地空間の維持・整備のためには、新たな計画論が必要となっている。本研究は、有明海沿岸低平地における集住地空間を対象とし、その形成及びその変容の実態を明らかにすることを通じて、集住地空間の特性及びその発展の仕組みを明らかにし、継承と変化を充たす空間計画論の体系的な知見を得ることを目的としている。

第1部では、有明海沿岸低平地において集住地がどのような工夫をもって形成されているのか、集住地空間の形成プロセスを検討している。低平地に展開する広大な土地は一度に出来上がったのではなく、小単位による個々の空間形成の積み重ねの結果として存在し、集住地の空間形成はこうした土地の形質形成とともに形成されている。干拓地では人工的な微高地ともいえる堤防に依拠して個々の敷地や建物が一列的に張り付く一方で、クリーク地域ではクリークを掘りそれに囲まれることで点在するそれぞれの敷地や集住の場が確保され、低平地のなかで微地形を読み込んだ工夫の積み重ねにより集住地空間が形成されている。また、クリーク地域の近代的な市街化も従前の土地形質を継承した集住単位の集積により進められ、さらに、集住地の神社は、いわゆる神社としてあるのではなく、集住のより所や集まりの場として集住地それぞれにつくられている。つまり、低平地における集住地空間の形成はあらかじめその全体像が構想され

ていたというのではなく、その自然環境や土地条件への対応、さらに、低平地の水環境への対応の積み重ねとして時系的に集住地空間が形成されていることを明らかにしている。

続く、第2部では、低平地に住み着くための工夫によって創出された集住地の主要な空間要素に着目し、それらが集住地空間の中でどのように組み込まれ、また、それがどのように変化しようとしているのか、集住地の構造と変化について検討を行っている。城下町都市には、張り巡らされた水路群があって水路-道路というパターンが繰り返されて都市の中に配置される。つまり、水路は基本的に変化することのない都市の基礎的ネットワークとして都市に組み込まれている。こうした水路には道路や水辺と関わる「外に向く水路」と個々の生活と関わる「内に向く水路」の二種類が認められ、この二重構造的水路方式が都市空間の骨格を成し、変化をくり返してきた城下町都市の構造を支えていることを明らかにしている。また、都市には水路と道路が交わる場所にすべからず橋が存在し、人々の活動に不可欠な都市的な要素といえる。橋は都市の状況と関わって架け替えなどにより更新してきたが、単純に架け渡されているという橋の基本的な性格は変わらない一方で、水網が都市における基礎的なものであり都市の構造に深く組み込まれていることを明示している。

第3部では、集住地において変容や整備がどのように進められているのか、集住地空間の発展について考察している。城下町都市の物的な現況を見るかぎり、これまでの歴史の積み重ねと理解することが難しく、他方、新たなものがどのように形成していくのかを理解することも困難である。このような都市の全体像を人々が理解できる仕組みが必要であり、過去と現在を踏まえかつ将来の変化を追加できる都市イメージの必要性を提起している。また、町家が集積する町並みにおいて、個々の町家の変容は無秩序に起こるのではなく一定の生活要求に応じた新たな型への推移と見ることができ、つまり、新たな型が原型から再生されるものと捉えることで、町並みを維持しつつ時代に即した集住地空間への展開が期待できることを考察している。さらに、キーパーソンが中心となるまちづくりとして進められる地域整備の展開プロセスの分析を通じて、既存の整備と関わって順次整備が連関して創り出されていくこと、その連関のシーズは元からあるものの再評価であること等集住地空間の発展の主要因を見出している。

以上の各部の知見にもとづき、結章では集住地空間の特質及び発展の仕組みについて考察している。低平地の集住地空間は小単位の集積や新たなものの創出により形成し変化しているが、その一方で人々の工夫によりもたらされた微地形や水網等の空間要素が変わらない基礎と

して集住地空間にしっかりと組み込まれている。従って、集住地空間の秩序ある発展に向けて、変わらないものの再生により新たな整備の連関を創り出すことが不可欠であり、さらに、このことが低平地の集住地の空間的計画論の構築においてきわめて有効であることを論じている。

論文調査の要旨

低平地においては、その地形的及び地盤的な属性から特徴的な集住環境が形成される。特に、有明沿岸地は、背後の背振山系から海岸線までの距離が比較的短く急傾斜な山系から一挙に平野地の地形を形成していること、また、地盤も有明シルト土壌の堆積によって形成された超軟弱地盤であることから、とりわけ、低平地の集住地空間には独自の形成原理がつけられている。既往研究によると、低平地の集落形態のタイプは、①干拓のために作られた旧堤防を再利用してつくられた線状路線型集落、②「丸太池」と屋敷がセットして配置された散居型集落、③クリークの水網系ネットワークに囲まれた集居型集落の大きく3つのタイプに大別されるが、最後に指摘した水網系集居型集落に関する研究は解明されていない点も多く、残された重要な研究課題となっている。

本研究は、有明海沿岸低平地における集住地空間、特に、水網系集居型集落を対象としてその歴史的な空間形成について、その骨格となる諸空間要素、すなわち、屋敷、水路、道路、神社、橋に関して詳細、且つ、克明なフィールドワーク調査を実施することによって、これまで解明されていなかった低平地における集住地の空間形成の原理を解明し、さらに、集住地の空間的な更新過程を再確認した上で、今後の保全と新たな整備のための計画論を展開したものである。

著者はまず、水網系集居型集落のフィールドワーク調査を丹念に行い、この集住地空間の形成原理に対して卓越した知見を見出している。これまで、有明沿岸地における水網系ネットワーク（クリーク）に注目した集落研究は数多く取り組まれ貴重な研究成果が得られているが、何故、集落の規模が大きいのか、またさらに、集落内の屋敷が比較的密度の高い集居状態であるのかについては、明確な解答が得られていなかった。これに対して、著者は、低平地と言えども微高地の地形が形成されていること、即ち、この数十センチメートルの地形の高低差が空間形成上の原理的な決め手となって集落の位置決定がなされ、そこに、水網系ネットワークと屋敷を巧みに配置した独自の低平地型集住地空間が形成されていることを明快に実証している。

次いで著者は、低平地型集住地の空間要素の一つひとつを採り上げその形成の状態と構造を捉え、その意味と存在原理を解明している。特に、水路については、これまでの既往研究の成果を踏まえ、水網系ネットワークが、

「外に向く水路」と「内に向く水路」の二重構造方式となっており、道路側の社会・文化性とその対置にある背後側の生活性が二重にネットワーク化されていること、また、屋敷はクリークに囲まれた島状の土地形質を持つが、母屋の前に置かれる「カド」なる空間がその屋敷の中心性を保有していること、次いで、集落の中に配置される神社は、山麓との関係性が強い「離れ」系の杜型空間と集住地の中心に配置された「囲み」系集まり型空間に大別されること、またさらに、これまで集落の空間的要素として看過されてきた親柱も高欄も無い簡単な桁橋である「打ち橋」が低平地型集住地空間では重要な空間的要素であることを明らかにしている。

また著者は、低平地型集住地空間の近代化による空間的な変容過程を克明に明らかにし、都市の市街地化が水網系集居型集落を取り囲みながら小規模開発の集積として行われ、結果的に、屋敷とクリークの形態を著しく変化させることなく、まるで、逐次的に小単位の集落空間が増殖しその間を再び房型の新市街地が埋め込む発展的形態であるという事実を実証している。さらに著者は、今後に取り組むべき新しい集落整備の計画論に関して、第一に、全体的空間の構図を明快にしたマスタープラン的性格の強い計画論でなく、一つひとつの集落単位が相対化されてその積み重ねで全体の空間的構図を形成する計画論へ転換されるべきこと、第二に、低平地においては複数の地域整備が「群化」されて、一つの樹系図のように相対関連させて実施されるべきこと、このためには、地域整備のキーパーソンがきわめて重要であることを提起している。

以上要するに、本研究は、有明海沿岸低平地という独特な環境エリアにおいてつくられた集住地空間の歴史的な形成原理と、その重要な空間的要素のそれぞれの特徴を明らかにする中で、今後に取り組むべき保全と整備のための新しい計画論を展開したもので、建築計画学上参与するところが大きい。よって、本論文は博士（工学）の学位論文に値するものと認める。

氏名(本籍) 福原 武史(広島県)
学位記番号 博士(工学)人環博甲第152号
学位授与の日附 平成19年3月26日
学位論文題名 鋼管横拘束柱を有する高強度鉄筋コンクリート骨組構造の耐震性能に関する研究

論文調査委員

(主査) 九州大学 教授 前田 潤 滋
(副査) " " 川瀬 博
" " 崎野 健 治
" 神戸大学 " 孫 玉 平

論文内容の要旨

材料技術の発展に伴って従来強度を大きく上回る高強度コンクリートおよび高強度鉄筋を用いた構造部材の設計が可能になっているが、このような高強度材料の使用は、従来の鉄筋コンクリート(以下RC)構造に比べて構造物のより高層化・軽量化を進めるのみならず、高強度コンクリートの優れた耐久性でより長寿命の構造物の創出につながる。そのため、大都市圏を中心とした「都市の再開発」事業において、高強度RC構造の利用が急速に増えつつあり、20階から50階を越えるようないわゆる超高層RC造建物が数多く建造されるようになっている。

一方で、地震の多い我が国での建築物へ高強度材料、特に高強度コンクリート構造の活用をさらに促進していくには、以下の諸問題の解決に迫られている。①高強度コンクリート固有の脆い破壊性質を抜本的に改善するための拘束工法の開発、②高強度材料およびそれを用いた部材や架構の耐震挙動と終局挙動に関する基礎資料の充実、③高強度材料や部材などの特性を積極的に活用した設計法の確立など。

上述の高強度RCに関する諸問題点と背景を踏まえ、柱を鋼管で横拘束した高強度RC骨組構造の耐震性状を明らかにし、骨組の耐震挙動を合理的に評価できる手法を開発・提案することが本研究の目的である。柱を鋼管で横拘束した高強度RC骨組構造を研究対象としたのは、このような骨組構造は鋼管による強力な拘束効果で高強度コンクリートの脆い破壊性質を防ぐことができると骨組の残留変位の抑制に寄与できるというような特徴を有することから、今後の利用拡大が期待できると思量したからである。また、鋼管は普通帯筋の間隔がゼロになる極限状態に見なせることから、本論で得た知見と提案した諸解析手法は普通帯筋を用いた高強度コンクリート骨組構造の耐震設計にも適用できると考えられる。

本論文では、上述の研究目的を達成するために、高強度材料の機械的性質に着目することから始め、鋼管で横拘束された高強度RC柱の繰返し曲げ性状(断面性状)と曲げせん断性状(部材性状)、および鋼管拘束柱を用い

た骨組構造の耐震性能を実験と解析の両面から系統的に検討し、材料や部材の特性を考慮できる骨組の耐震性能評価手法をとりまとめたもので、以下の6章で構成する。

第1章では、本研究の背景と目的を整理し、本研究で用いた鋼管横拘束法の研究とその利用状況や高強度RC構造に関わる問題点を概説するとともに、性能設計への移行に伴う高強度RC構造の設計上の課題を整理し、本論の検討項目およびその研究手順を示した。

第2章では、高強度鉄筋の繰返し性状に着目した片振り繰返し載荷実験を行って高強度鉄筋の全応力-ひずみ関係の基礎データを取得し、高強度鉄筋の全応力-ひずみ関係曲線をMenegotto-Pinto型関数でモデル化した。また、実験結果との比較から、本提案モデルが高強度鉄筋の繰返し性状を極めて高い精度で評価できることが明らかになった。さらに、高強度コンクリートの全応力-ひずみ関係を、NewRCモデルに繰返し履歴部分のモデルを加えた定式化を行った。

第3章では、鋼管で横拘束された高強度RC柱の履歴挙動を実験と解析の両面から検討した。まず、内幅250mmの正方形鋼管により拘束された柱の一定軸力下における繰返し曲げ実験および繰返し曲げせん断実験を行い、鋼管による横拘束は、設計強度 $80\text{N}/\text{mm}^2$ 級の高強度コンクリートを用いた軸力比0.5の高い軸力を受ける柱に十分な変形能力をもたらすこと、正方形鋼管に十字型の内スチフナーを取り付ければ鋼管の拘束効果が著しく改善できることを示した。次に、高強度鉄筋を用いた鋼管拘束RC柱の等価粘性減衰特性は普通強度鉄筋を用いた柱のそれと異なり、安定した履歴挙動を示す部材角まで、部材角の増加によらずほぼ0.05-0.07の一定値を示すことを明らかにした。さらに、第2章で提案した高強度材料の全応力-ひずみ関係モデルを用いて、曲げ降伏先行型の拘束高強度RC部材の履歴曲線を鉄筋の付着すべりを考慮して解析する手法を提案し、実験結果を用いてその精度を比較検証したところ、本提案手法が、高強度鉄筋を用いたRC部材の履歴性状を、終局耐力、履歴形状、残留塑性変位、およびエネルギー吸収能のすべての面において精度よく評価することができることを示した。

第4章では、幅厚比、軸力比および主筋の降伏点応力の違いが高強度RC骨組の耐震性能に及ぼす影響を明らかにするために、実構造の約1/4縮小モデルに相当する1層1スパンの鋼管横拘束柱を有する高強度RC骨組の試験体(設計強度が $80\text{N}/\text{mm}^2$)に対して、一定軸力下における繰返し曲げせん断実験を行った。その結果、高強度RC骨組は、軸力比0.5と軸力比0.33下において柱をそれぞれ幅厚比44と87の角形鋼管で拘束すれば十分安定した靱性能が得られること、エネルギー吸収能力は主筋の降伏点応力が小さい方が大きな値を示すこと、残留変形は主筋の降伏点応力が高いほど小さな値を示すこ

となどを明らかにした。

第5章では、まず鋼管および帯筋拘束部材の終局曲げ耐力とせん断耐力の算定法に基づく骨組の終局耐力略算式を提案し、第4章で述べた骨組の終局耐力に関する実験結果に基づいて略算式の精度を検証した。その結果、普通強度鉄筋を用いた骨組では実験結果を平均で3%安全側に評価し、高強度鉄筋(降伏点応力 $906\text{N}/\text{mm}^2$)を用いた骨組の実験結果を平均で10%程度過大評価することが明らかになった。次いで、第3章で述べた高強度材料の応力-ひずみ関係および主筋のすべりの影響を直接考慮できる非線形構造解析プログラムを開発し、これを用いて①梁に入ってくる軸力、②大変形時のP- Δ 効果、③主筋の付着すべり、および④柱下端にある基礎による付加拘束などが骨組の水平力と層間変形角関係に及ぼす影響を数値化し、実験結果と比較検証した。その結果、①~④の諸構造因子を考慮して解析を行えば、鋼管横拘束柱を有する高強度RC骨組の性能曲線を高い精度で評価できることを明らかにした。

最後に、第6章では、各章の成果を総括して本研究の結論をまとめ、今後の課題について述べた。

論文調査の要旨

「都市再開発」事業が進められている中で、優れた居住性と高いコストパフォーマンスを持ち合わせ、構造物のより軽量化・高層化・長寿命化につながる構造形式として高強度鉄筋コンクリート(RC)構造が注目されている。一方で、高い変形抑制効果を有する高強度RC部材の脆い破壊性質を改善する工法の確立が急がれている。この課題は、多くの研究者が従来の「帯筋拘束法」にその糸口を求めたにもかかわらず、「帯筋拘束法」は地震時における被りコンクリートの剥離やそれに伴う部材あるいは構造全体の耐力低下を十分には防ぐことができず、抜本的な解決に至っていない。また、高強度RC部材を用いた骨組の地震時挙動や終局挙動に関する基礎資料の集積やその特性を積極的に活用した設計法の確立などの課題が残っている。本論文は、コンクリート部材を鋼管で横拘束する「鋼管拘束法」に着目して、鋼管で横拘束された高強度RC部材の繰返し曲げ性状と曲げせん断性状、および同RC部材を用いた骨組構造の耐震性能を実験と解析の両面から検討し、材料や部材の特性を考慮できる骨組の耐震性能評価手法をとりまとめたものである。

まず、著者は、高強度鉄筋の繰返し載荷実験結果から、高強度鉄筋の全応力-ひずみ関係曲線をMenegotto-Pinto型関数でモデル化し、高強度鉄筋の繰返し性状を高い精度で再現している。さらに、正方形鋼管で拘束した柱の一定軸力下における繰返し曲げ実験と曲げせん断実験の結果から、鋼管による横拘束が、設計強度 $80\text{N}/\text{mm}^2$ 級の高強度コンクリートを用いた軸力

比0.50の高い軸力を受ける柱に十分な変形能力を与えること、正方形鋼管に十字型の内スチフナを取り付ければ鋼管の拘束効果が著しく改善でき、同RC柱の等価粘性減衰特性が部材角の増加によらずほぼ0.05~0.07の一定値を保持できることを明らかにしている。また上記の全応力-ひずみ関係モデルを使用して鉄筋の付着すべりを考慮した解析手法を提案し、本手法が鋼管拘束RC部材の終局耐力、履歴形状、残留塑性変形、およびエネルギー吸収能力などを精度よく評価できることを示している。

次いで、1層1スパンの鋼管横拘束柱を有する高強度RC骨組の繰返し曲げせん断実験を実施して、高強度RC骨組の耐震性能に及ぼす鋼管の幅厚比、軸力比および主筋の降伏点応力の影響を精査している。すなわち、軸力比0.50と0.33下において柱をそれぞれ幅厚比44と87の角形鋼管で拘束すれば、高強度RC骨組が十分安定した靱性能が得られること、エネルギー吸収能力は主筋の降伏点応力が小さい方が大きな値を示すこと、残留変形は主筋の降伏点応力が高いほど小さな値を示すことなどを明らかにしている。

最後に、鋼管および帯筋拘束部材の終局曲げ耐力とせん断耐力の算定法に基づく骨組の終局耐力の略算式を提案し、この提案式が普通強度鉄筋を用いた骨組の実験結果を平均で3%安全側に評価し、高強度鉄筋を用いた実験結果を平均で10%程度過大評価することを示すとともに、部材の力学特性を直接導入できる非線形構造解析プログラムを開発して、はりの軸力、大変形時のP- Δ 効果や主筋の付着すべり、および柱下端にある基礎による付加拘束などが骨組の水平力と層間変形角関係に及ぼす影響を検証し、鋼管横拘束柱を有する高強度RC骨組の性能曲線を高い精度で評価して、その有用性を示している。

以上要するに本論文は、鋼管横拘束法を利用した高強度RC部材とこれを用いた高強度RC骨組の耐震性能を実験および解析の両面から、その有用性と評価手法に関する所見をとりまとめたもので、構造工学および都市災害管理学に寄与するところが大きい。よって本論文は博士(工学)の学位に値するものと認める。

氏名(本籍) 薄 達 哉(福岡県)
学位記番号 博士(工学)人環博甲第153号
学位授与の日附 平成19年3月26日
学位論文題名 強風観測記録に基づく鉄塔支持型鋼製煙突の構造特性と風応答特性に関する研究
論文調査委員

(主査) 九州大学 教授 前田 潤 滋
(副査) " " 川 瀬 博
" " 河 野 昭 彦

論文内容の要旨

近年の大規模火力発電所の鋼製煙突は、発電機能上や環境対応上からその高さは200mにも及ぶため、著しく細長い形状になる場合が多い。一般にアスペクト比が大きな鋼構造の煙突は固有周波数や減衰定数が小さくなり風の影響を強く受けやすく、特に円形断面を持つ煙突はその後流に周期的なカルマン渦が放出され、この放出周波数と煙突の1次固有周波数が一致する時、風直角方向に大きな渦励振が発生する。そのため、日本建築学会「建築物荷重指針・同解説」や海外の煙突基準「CICIND」が示すように渦励振の検討には、卓越する1次振動の固有周波数や減衰定数等の構造特性を正確に把握する必要がある。

鋼製煙突の種類には、筒身自身で自立する「自立型煙突」の他、筒身周りの鉄塔型架構が水平力を支持する「鉄塔支持型煙突」があるが、強風観測事例が少ないこと等から鉄塔支持型鋼製煙突の構造特性や渦励振などの風応答特性は未解明な点が多い。そのため、風洞実験を行う場合も少なくないが、風洞実験のように流速が比較的安定した状態とは異なり、自然風のように強い変動成分を含む流れのもとでは、風速等の平均化時間が風応答特性の評価に影響を与える。また、渦励振現象では10分間よりも短い時間内の風速が共振風速に一致した時でも大きな振動になることがあるなど、自然風中における鉄塔支持型鋼製煙突の風応答特性はその評価方法と共に充分明らかになっていない。

このような背景の下で、本論文は、3基の鉄塔支持型鋼製煙突の強風観測記録に基づいて、これまで充分に解明されていない鉄塔支持型鋼製煙突の構造特性や自然風中における渦励振などの風応答特性をその評価方法と共に明らかにして、今後の設計や維持管理への反映事項までを整理したものである。本論文を以下のように7章で構成する。

第1章では、これまでの鋼製煙突の構造特性に関する研究と国内外の渦励振に関する研究および国内外の設計基準の概要を述べ、本研究で目指す鉄塔支持型鋼製煙突の構造特性や風応答特性に関する研究の背景と目的を示した。

第2章では、強風観測を実施した3基の鉄塔支持型鋼製煙突の構造形態と観測システムについてそれぞれ比較して示した。観測した3基の煙突は九州各地に位置するそれぞれ別の火力発電所の超高煙突であり、いずれも筒身高さ200m、支持鉄塔高さ185mであるが、筒身形態は、1筒身、2筒身のうち1筒身が先行して建設された1(2)筒身、2筒身とそれぞれ異なっている。そのため、各煙突の構造形態について、共通点、相違点を一覧に比較して示すと共に、各煙突の観測システムについても同様に、観測期間や観測装置の種類および観測方法等の共通点、相違点を一覧に比較して示した。

第3章では、鉄塔支持型鋼製煙突の構造特性のうち1次固有周波数を、各煙突で観測された加速度波形から周波数分析を行って求め、振動方向や振動振幅との関係を明らかにした。次に、日本建築学会「建築物の減衰」等の既往文献調査を行い、高さ100mから230mの計14基の煙突データを対象に、煙突高さとの1次固有周期の関係を明らかにして、「建築物の減衰」の1次近似式を見直した。また、実測データから得られた1次及び2次の固有周波数と設計時の解析モデルを用いた固有値解析結果を比較して、設計時の解析モデルが妥当であることを明らかにした。

第4章では、鉄塔支持型鋼製煙突の構造特性のうち1次減衰定数を、各煙突で観測された加速度波形にRanked RD法を適用して求めると共に、人力加振試験や地震応答記録のデータから明らかにした。1次固有周波数と同様に、「建築物の減衰」等の既往文献データを加えた計14基の煙突データから、煙突の高さと1次減衰定数の関係、1次固有周期と1次減衰定数の関係等を求め、煙突高さや1次固有周期が増大するにつれて1次減衰定数も増大する傾向があることを示した。また、いずれの煙突の1次減衰定数も設計時の地震応答解析で採用している1%よりかなり小さいことを明らかにした。

第5章では、鉄塔支持型鋼製煙突の風応答特性を、長期間の観測で得られた各煙突の実測データに基づいて検討した。その結果、鉄塔支持型鋼製煙突も自立型煙突と同様に大きな渦励振が発生することがあること、同じ共振風速域であっても乱れ強さ等に関係して必ずしも大きな渦励振に成長するとは限らないこと、風方向に変形した状態で風直角方向と風方向に振動していることを明らかにした。また、観測結果から推定される各煙突頂部の変形角は、「CICIND」基準に基づくスクルートン数の増大に伴って減少すること、設計時の許容値1/200を下回っていることを明らかにした。

第6章では、大きな渦励振が観測された1筒身煙突の時系列データについて、平均化時間をパラメータにして、渦励振の振幅成長に着目した詳細な検討を行った。その結果、10分間の平均化時間では加速度振幅と風速の短時

間での変化関係を適切に表せないこと、共振風速は加速度振幅が成長している状態での平均風速と合成加速度振幅の平均値の増減の関係を考慮する必要があること、自然風においても乱れ強さが小さい共振風速域では、振幅成長に伴って負の空力減衰力が働き振動系全体の減衰定数が減少して、渦励振の振幅が急激に成長することを明らかにした。

第7章では、本論文の総括と今後の設計や維持管理への反映事項についてまとめた。

論文調査の要旨

火力発電所の煙突は大気汚染などの環境対策上、排煙部をより上空に設置することが求められ、高度200mを越す場合も珍しくない。このような超大型煙突の多くは鋼構造で建設され、減衰が小さいなど細長い軽量構造物としての力学特性を有するために煙突の風下に発達する渦による振動発生が問題視される。その対策の一つとして、鋼製煙突を鉄塔支持する工法が採用されるが、このような大型の「鉄塔支持型煙突」の強風下における振動性状に関する詳細な観測はこれまで国内外で実施例がほとんどなく、その振動特性や風応答特性には未解明な点が多かった。しかしながら1990年代以降の大型台風の度重なる襲来により、九州各地の大型鋼製煙突の安全性の再検討が指摘されるようになり、所管の電力会社による調査の結果、鉄塔支持型煙突の強風下における振動発生が確認されている。こうした経緯から、現行設計風荷重に基づいた鉄塔支持型煙突の振動発生およびその発達に関する詳細な検討が急がれている。

著者は、主として風速が比較的安定した状態を想定した現行設計に対して、自然風のように強い変動成分を含む風速の下での鉄塔支持型煙突の挙動に着目して、稼働中の発電所煙突を用いた強風観測を実施し、強風下における鉄塔支持型鋼製煙突の風応答特性の評価方法そのものを論点として本論文を展開し、以下のように取り纏めている。

まず著者は、鋼製煙突の振動特性や渦励振に関する研究を整理し、鉄塔支持型煙突に関する実測研究が極めて少ないことを指摘して、3基の鉄塔支持型鋼製煙突の強風観測を実施している。3基はそれぞれ別の火力発電所

でのいずれも筒身高さ200m、支持高さ185mの鉄塔であるが、筒身形態は1筒身と2筒身、および最終的に2筒身になる前の1筒身の煙突である。そのため、各煙突の観測方法等を工夫し、観測データを用いて各煙突の振動特性の共通点あるいは相違点を詳細に比較検討している。その結果、鉄塔支持型鋼製煙突の高さと1次固有周期の関係を明らかにして従来の鋼製煙突固有周期の算定式を見直し、設計仕様に基づいた解析モデルの固有値解析から十分な精度の固有周期の推定が可能であることを明らかにした。さらに、各煙突での加速度記録にRanked RD法を適用して鉄塔支持型鋼製煙突の1次減衰定数を算出するとともに、鋼製煙突に関するこれまでの情報を含めた検討により、1次減衰定数が煙突高さや1次固有周期とともに増大する傾向があることを示し、いずれの煙突の1次減衰定数も設計時の地震応答解析で採用している1%よりかなり小さいことを明らかにした。

また、強風下での観測データに基づいて、鉄塔支持型鋼製煙突も自立型煙突と同様に大きな渦励振を発生するが、同じ共振風速域でも乱れ強さ等に影響されて大きな渦励振に成長しない場合があること、風方向に変形した状態での風方向振動に加えて風直角方向振動の混在が見られること、また推定される各煙突頂部の変形角はスクルートン数の増大に伴って減少し、観測値と一致することなどを明らかにした。

最後に、大きな渦励振が観測された1筒身煙突の振幅成長過程を風速平均化時間に着目して検討し、現行の10分間の風速平均化時間より2分間平均の方が適切に共振風速の評価が可能であること、また共振風速の特定には平均風速と加速度振幅増減の勾配の関係を考慮する必要があることを示し、乱れ強さが小さい共振風速域では、振幅成長に伴う負の空力減衰力が渦励振振幅の急激な成長に強く作用することなどを明らかにした。

以上要するに本論文は、強風下における鉄塔支持型鋼製煙突の振動および空力特性を明らかにするとともに、煙突の渦励振発達のメカニズムと設計風荷重の見積りを行うための風速の平均化時間の評価方法に関する新たな知見をとりまとめたもので、風工学および都市災害管理学に寄与するところが大きい。よって本論文は博士(工学)の学位に値するものと認める。