

# 目 次

変電機器の耐震設計最適化	変電機器の耐震設計最適化 専 門 委 員 会
委員会組織	( 1 )
用語の定義	( 6 )
引用規格	( 10 )
第 I 編 総説	( 11 )
第 1 章 委員会設立の経緯	( 11 )
第 2 章 研究の経過	( 11 )
第 3 章 研究の概要	( 12 )
3-1 研究対象	( 12 )
3-2 耐震設計の現状および東北地方太平洋沖地震被害を踏まえた課題 (第 II 編)	( 12 )
3-3 耐震設計最適化に向けた耐震関係規格調査および実態調査 (第 III 編)	( 13 )
3-4 新たな設計地震力の検討および耐震設計手法 (第 IV 編)	( 14 )
3-4-1 設計地震力の検討	( 14 )
3-4-2 耐震設計手法および許容応力の考え方	( 16 )
3-5 動的設計の最適化に向けた設計条件の解析評価 (第 V 編)	( 17 )
3-6 解析結果等を踏まえた耐震設計最適化 (第 VI 編)	( 18 )
3-6-1 動的設計	( 18 )
3-6-2 静的設計	( 21 )
3-6-3 設計への影響評価および機器の耐震強化方策	( 21 )
3-7 センタークランプ方式ブッシングの解析手法高度化 (第 VII 編)	( 21 )
3-8 まとめ	( 22 )
第 II 編 耐震設計の現状および東北地方太平洋沖地震被害を踏まえた課題	( 23 )
第 1 章 変電機器の耐震設計の現状	( 23 )
1-1 耐震から見た変電機器の特徴	( 23 )
1-2 耐震設計の変遷	( 24 )
1-3 耐震性区分および確保すべき耐震性	( 24 )
1-4 現行指針の規定内容	( 26 )
第 2 章 東北地方太平洋沖地震における被害および現行指針の評価	( 30 )
2-1 東北地方太平洋沖地震における変電機器被害	( 30 )
2-1-1 東北地方太平洋沖地震の概要	( 30 )
2-1-2 変電機器の被害概要	( 34 )
2-1-3 特徴的な被害	( 37 )
2-1-4 有効に機能した対策	( 41 )
2-2 東北地方太平洋沖地震における現行指針の評価	( 43 )
2-2-1 変電機器の耐震性評価	( 43 )
2-2-2 現行指針の規定内容の評価	( 43 )
第 3 章 東北地方太平洋沖地震より得られた知見および耐震設計の最適化に向けた検討課題	( 46 )
第 III 編 耐震設計最適化に向けた耐震関係規格調査および実態調査	( 47 )
第 1 章 国内外の耐震関係規格調査	( 47 )
1-1 調査規格	( 47 )
1-2 調査結果	( 48 )
1-3 IEEE Std 693-2005 における今後の動向	( 53 )

第2章 耐震設計に関する使用者および製造者への実態調査	( 54 )
2-1 使用者への実態調査	( 54 )
2-1-1 各使用者の耐震設計基準	( 54 )
2-1-2 地震による被害実態	( 55 )
2-1-3 電気所の地盤状態	( 55 )
2-2 製造者への実態調査	( 56 )
2-2-1 各製造者の設計条件	( 56 )
2-2-2 変電機器の特性および性能	( 58 )
第IV編 新たな設計地震力の検討および耐震設計手法	( 64 )
第1章 設計地震力の検討	( 64 )
1-1 現行の設計地震力	( 64 )
1-1-1 現行指針の設計地震力の設定	( 64 )
1-1-2 現行設計地震力の加速度応答スペクトル表現	( 64 )
1-2 目標計測震度および現行設計地震力のレビュー	( 65 )
1-2-1 目標とする計測震度	( 65 )
1-2-2 現行の設計地震力のレビュー	( 66 )
1-3 新たな設計地震力の地表面最大水平加速度および最大応答加速度	( 67 )
1-3-1 設計地震力の加速度応答スペクトルでの提案	( 67 )
1-3-2 現行の設計地震力を超過する地震動に対する設計地震力	( 68 )
1-4 設計地震力となる加速度応答スペクトル形状	( 69 )
1-4-1 最大応答加速度の振動数範囲	( 69 )
1-4-2 スペクトルを設定する振動数範囲	( 70 )
1-5 設計地震力となる加速度応答スペクトル	( 71 )
1-5-1 地表面における水平設計地震力	( 71 )
1-5-2 地表面における鉛直設計地震力	( 71 )
1-6 模擬地震動の作成	( 72 )
1-7 不確定要因の代替方策	( 74 )
1-7-1 不確定要因の規定根拠	( 74 )
1-7-2 不確定要因の代替法の提案	( 75 )
1-8 基礎等の存在による増幅倍率	( 78 )
1-8-1 がいし形機器の基礎の存在による増幅倍率	( 78 )
1-8-2 変圧器ブッシングの基礎・変圧器本体の存在による増幅倍率	( 80 )
1-8-3 設計標準値を超過する条件の目安	( 81 )
1-9 耐震設計に用いる設計地震力のまとめ	( 82 )
1-9-1 地表面設計地震力	( 82 )
1-9-2 不確定要因および基礎等の存在による増幅倍率	( 82 )
1-9-3 機器の設計地震力	( 83 )
第2章 耐震設計手法および許容応力の考え方	( 84 )
2-1 解析手法	( 84 )
2-1-1 静解析	( 85 )
2-1-2 動解析	( 85 )
2-2 試験方法	( 87 )
2-2-1 加振試験の一般的手順	( 87 )
2-2-2 供試体の選定	( 87 )
2-2-3 試験方法の種別および適用の考え方	( 87 )
2-2-4 測定項目	( 87 )
2-3 加振方向の組み合わせ方法	( 88 )
2-4 外力の重畳	( 88 )
2-5 許容応力の評価方法	( 89 )
2-5-1 許容応力の考え方	( 89 )

2-5-2	応力評価方法	( 89 )
2-5-3	解析および試験固有の評価方法	( 89 )
<b>第V編 動的設計の最適化に向けた設計条件の解析評価</b> ( 91 )		
<b>第1章 設計条件の解析評価</b> ( 91 )		
1-1	評価項目	( 91 )
1-2	解析対象機器	( 92 )
1-2-1	解析対象機器選定の考え方	( 92 )
1-2-2	機器の耐震強度分析結果および解析対象機器	( 92 )
1-3	解析モデル	( 96 )
1-3-1	解析モデル	( 96 )
1-3-2	固有振動モード	( 96 )
1-4	解析条件	( 107 )
1-4-1	時刻歴解析に用いる模擬地震動	( 107 )
1-4-2	各評価項目の解析条件	( 110 )
1-5	解析結果および考察	( 112 )
<b>第VI編 解析結果等を踏まえた耐震設計最適化</b> ( 124 )		
<b>第1章 動的設計</b> ( 124 )		
1-1	設計地震力	( 124 )
1-1-1	減衰定数による加速度応答スペクトルの換算	( 124 )
1-1-2	動的設計地震力のまとめ	( 126 )
1-2	解析条件および推奨解析手法	( 128 )
1-2-1	入力軸数	( 128 )
1-2-2	接続導体の具体的考慮方法	( 128 )
1-2-3	モードの合成方法	( 129 )
1-2-4	推奨する解析手法	( 129 )
1-3	試験条件および試験方法	( 129 )
1-3-1	入力軸数	( 129 )
1-3-2	接続導体の具体的考慮方法	( 130 )
1-3-3	加振試験における耐震性能の評価	( 130 )
1-3-4	加振試験の実施の要否	( 131 )
1-4	推奨する模擬地震動	( 132 )
1-4-1	電協研推奨波の提案	( 132 )
1-4-2	加振試験における入力地震動の留意点	( 133 )
1-5	動的設計のまとめ	( 136 )
<b>第2章 静的設計</b> ( 138 )		
2-1	機器被害実績	( 138 )
2-2	変電機器の静的設計	( 138 )
2-2-1	水平加速度	( 138 )
2-2-2	鉛直加速度	( 139 )
2-2-3	基礎ボルトの評価手法	( 140 )
2-2-4	変圧器基礎ボルトの耐震設計例	( 141 )
2-2-5	変電機器静的設計のまとめ	( 142 )
2-3	変電機器基礎の耐震設計	( 144 )
2-3-1	変電機器基礎の耐震設計の現状	( 144 )
2-3-2	変電機器基礎の設計地震力	( 144 )
<b>第3章 設計への影響評価および機器の耐震強化方策</b> ( 146 )		
3-1	動的設計における設計への影響評価	( 146 )
3-1-1	本電協研で提案する動的設計手法に対する裕度	( 146 )
3-1-2	設計への影響評価	( 151 )

3-1-3 設計への影響評価まとめ	(154)
<b>3-2 機器の耐震強化方策</b>	(155)
3-2-1 耐震強化方策の分類	(155)
3-2-2 耐震強化方策の具体例	(156)
<b>第Ⅶ編 センタークランプ方式ブッシングの解析手法高度化</b>	(158)
<b>第1章 現行解析手法の高精度化</b>	(158)
<b>1-1 センタークランプ方式ブッシングの構造</b>	(158)
1-1-1 大規模地震およびブッシング関連規格の変遷	(158)
1-1-2 ブッシング製造者ごとのブッシング基部構造	(159)
1-1-3 ブッシング製造者ごとの耐震安全率(代表機種)	(160)
1-1-4 がい管の構造・素地変遷	(160)
<b>1-2 センタークランプ方式ブッシングの破壊原因</b>	(161)
1-2-1 がい管破壊原因	(161)
1-2-2 がい管破壊以外の故障原因	(161)
1-2-3 現行素地のがい管下部端面破壊応力の確認	(162)
<b>1-3 東北地方太平洋沖地震の再現解析結果の確認</b>	(163)
1-3-1 実被害と解析結果との不整合	(163)
1-3-2 現行解析手法	(164)
1-3-3 現行グラフの読み取り誤差の影響	(164)
<b>1-4 現行解析手法の高精度化</b>	(165)
1-4-1 kfグラフの見直しおよび数式化	(165)
1-4-2 引張応力グラフの再評価	(173)
1-4-3 引張応力グラフの数式化	(176)
<b>1-5 現行解析手法の高精度化まとめ</b>	(185)
<b>第2章 非線形解析手法(ファイバーモデル)の確立</b>	(188)
2-1 非線形解析手法(ファイバーモデル)	(188)
2-2 非線形解析に必要な条件	(192)
2-3 ガスケットはみ出しリスクの想定	(192)
2-3-1 東北地方太平洋沖地震から得られた知見	(192)
2-3-2 ガスケットはみ出しリスクの想定	(192)
2-4 ファイバーモデルの有効性検証	(195)
2-5 各種ブッシングのラインナップ化	(199)
2-6 非線形解析手法(ファイバーモデル)の確立まとめ	(199)
<b>付録</b>	(201)
付録1 アンケート結果	(201)
付録2 震度別実地震データの分析	(219)
付録3 試験法	(221)
付録4 応力成分の組み合わせ	(223)
付録5 鋼構造物における強度評価法の動向(ASDとLRFD)	(225)
付録6 動的設計の最適化に向けた設計条件の解析評価結果	(227)
付録7 接続導体の影響(MAF・ETF条件)	(239)
付録8 現行素地がい管下部端面応力特性の調査	(241)
付録9 アンケートモデルの概要(センタークランプ方式ブッシング)	(245)
付録10 新kfグラフの作成方法	(247)
付録11 各種検討に用いた試験結果について(センタークランプ方式ブッシング)	(253)
付録12 2016年熊本地震における変電機器の被害状況と観測結果を用いたレビュー	(261)
付録13 2016年鳥取県中部地震における変電機器被害	(268)
(以下は電子データのみ)	
付録14 模擬地震動データ(電協研推奨波および加振用例示波)	