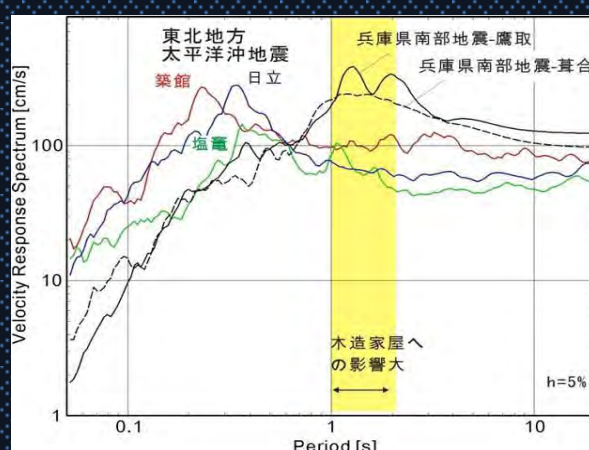


東北地方太平洋沖地震による 自家用電気工作物の 被害状況及び対策方針



総合エネルギー調査会原子力安全保安部会電力安全小委員会
電気設備対策ワーキンググループ資料より

平成24年3月

関東地域自家用電気工作物地震対策検討会

はじめに

平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震から一周忌に当たり被害に遭われた皆様に、謹んでお見舞い申し上げますとともに、犠牲になられた方々のご遺族の皆様に対し、深くお悔やみを申し上げます。一日も早い復旧・復興を心よりお祈り申し上げます。

東北地方太平洋沖地震は、本震の規模がマグニチュード9.0、最大震度7（宮城県栗原市）、津波は推定11m以上（大船渡）と、これまでに日本国内で観測された最大規模の地震でした。特に東北地方の太平洋沿岸は地震と津波により甚大な被害を受けました。今回の地震の震源域は岩手県沖から茨城県沖までに及んでおり、その長さは400km以上、幅は200kmで、最大の滑り量は20m以上であったと推定されています。関東地方においても、茨城県、栃木県では震度6強を観測し地震動に加えて、茨城県、千葉県沿岸部でも4m（大洗など）を超える津波や液状化の被害も広範囲に発生しました。

この地震により関東地方における自家用電気工作物がどの程度の被害を受けたのか、従来の耐震対策は有効であったか、追加的な対策が必要かなどについて、電気安全関東委員会の関係機関等により関東地域自家用電気工作物地震対策検討会を設置して検討することとしました。検討にあたっては、関東電気保安協会及び東京電気管理技術者協会の協力を得て、両協会が保安管理業務を受託する自家用電気工作物のうち、被災を受けた事業場を対象としたアンケート調査や、特別高圧需要設備・自家用発電設備については、関東東北産業保安監督部管内電気主任技術者会・同ボイラー・タービン主任技術者会からの情報提供などにより取り纏めました。

自家用電気工作物の設置者、電気主任技術者、電気管理技術者、電気保安法人、電気工事業者等の電気保安関係者におかれましては、今後の電気設備の災害対策の一助として活用頂き、一層の保安確保に努めていただくようお願いいたします。

平成24年3月11日

【関東地域自家用電気工作物地震対策検討会の構成】

本報告書は下記の方々のご協力により取りまとめたものです。(敬称略)

一般財団法人 関東電気保安協会	逆井昭夫
公益社団法人 東京電気管理技術者協会	鉤 裕之、堀川博昭
東京電気設計者協会	小松裕介、桂川和久
関東東北産業保安監督部 管内電気主任技術者会	備後俊雄、齋藤 進
関東東北産業保安監督部 管内ボイラー・タービン主任技術者会	石野英人
社団法人 日本電気協会	森 信昭
社団法人 日本電気協会 関東支部	向山和雄
電気安全関東委員会	岡田圭司
関東東北産業保安監督部電力安全課	浅賀光明、櫻井 崇、楠瀬裕子

目 次

はじめに

目 次	1
1. 東北地方太平洋沖地震の概要	2
2. 発電設備の被害状況	3
2. 1 火力発電設備	3
2. 1. 1 破損事故報告	3
2. 1. 2 被害事例と対策方針	3
2. 2 風力発電設備	4
2. 2. 1 破損事故報告	4
2. 2. 2 被害事例と対策方針	5
3. 需要設備の被害状況	6
3. 1 特別高圧需要設備	6
3. 1. 1 破損事故報告	6
3. 1. 2 被害状況調査	7
3. 1. 3 被害事例と対策方針	8
3. 2 高圧需要設備	10
3. 2. 1 波及事故報告	10
3. 2. 2 被害状況調査	11
3. 2. 3 被害事例と対策方針	12
(1) 支持物	12
(2) 高圧電線・引込ケーブル	13
(3) 遮断器・断路器	14
(4) 変圧器	14
(5) その他受電設備	18
(6) 非常用電源設備	20
(7) キュービクル	21
(8) 低圧配線・負荷設備	23
4. 対策方針のまとめ	24
4. 1 総括	24
4. 2 高圧需要設備	24
5. 被害を受けなかった設備	30
5. 1 変圧器	30
5. 2 キュービクル	32
おわりに	35
(参考資料)	36
日本電気協会「高圧受電設備規程」(JEAC-8011)「資料 1-1-5」1. ～3. (抜粋)	

1. 東北地方太平洋沖地震の概要（気象庁調べ）

1. 1 発生日時

平成23年3月11日（金）14時46分18秒

1. 2 震 源

三陸沖 牡鹿半島の東南東約130km付近（北緯38.19度、東経142.22度）

1. 3 マグニチュード

9.0（深さ約24km）

1. 4 関東地方の震度

茨城県北部 6弱～6強	群馬県北部 5弱～5強	東京都	3～5強
南部 5弱～6強	南部 3～5弱	神奈川県	3～5強
栃木県北部 5強～6強	埼玉県 3～6弱	山梨県	3～5強
南部 4～6強	千葉県 3～6弱	静岡県（富士川以東）	3～5弱

1. 5 関東地方の津波の高さ

茨城県大洗	4.0m	神奈川県横浜	1.55m
千葉県銚子	2.5m	静岡県沼津市内浦	1.34m
東京都晴海	1.5m		

1. 6 液状化の影響

この地震により、東日本の広範囲で地盤の液状化現象が観測された。規模が大きかった千葉県浦安市では、埋め立て地が大半を占める土地柄の影響で中町・新町地区を中心に市面積の85%が液状化する大きな影響を受けたのをはじめ、同じ東京湾岸の、千葉市、船橋市、習志野市、東京都江東区新木場、江戸川区、港区、中央区、大田区、神奈川県横浜市金沢区、川崎市のほか、河川周辺の造成地でも香取市、我孫子市、茨城県ひたちなか市、潮来市、稲敷市、埼玉県久喜市南栗橋、宮城県大崎市などで被害が発生した。今回の地震による関東地方の揺れは、加速度（揺れの大きさ）自体はそれほど大きくないものの、長時間続いたこと、大きな余震が多発したことによって、液状化の被害が拡大したとの見方がある。液状化の総面積は少なくとも42km²に達した。

2 発電設備の被害状況

今回の震災による電気関係報告規則に基づく発電設備の事故報告は、火力発電設備が6件、風力発電設備が1件、合計7件報告された。

2. 1 火力発電設備

2. 1. 1 破損事故報告

火力発電設備の地震による影響は、地震動によりボイラー本体や配管類、防振器等に応力がかかり、破損したものがほとんどを占めた。タービンに係る事故報告はなかった。なお、タービン振動大により停止したものは事故報告の対象とはならない。

所在地 (震度)	設備概要	破損箇所	原因
茨城県鹿嶋市 (6弱)	ボイラー (自然循環型)	火炉管全般(蒸発管、降水管、過熱器管他)	地震動による過度な応力がかかり破損(損壊)
茨城県鹿嶋市 (6弱)	ボイラー (自然循環型)	降水管、節炭器管	地震動による過度な応力がかかり破損(損壊)
茨城県鹿嶋市 (6弱)	ボイラー (自然循環型)	後部煙道側壁管	地震動による過度な応力がかかり破損(割れ)
東京都杉並区 (5弱)	ボイラー (自然循環型)	主蒸気連絡管に付 属するエア抜管	地震動による過度な応力がかかり破損(折損)
神奈川県川崎市 (5弱)	ボイラー (自然循環型)	分割壁管、水冷壁 管、隔壁管等	地震動により管同士に過度な応力がかかり破損 (割れ)
神奈川県横浜市 (5弱)	ボイラー (自然循環型)	ボイラー給水管	地震動による過大な応力が発生、塑性変形し破 損(分断)。なお、当該部位は想定よりも減肉し ていたことが判明。

2. 1. 2 被害事例と対策方針

(被害事例)

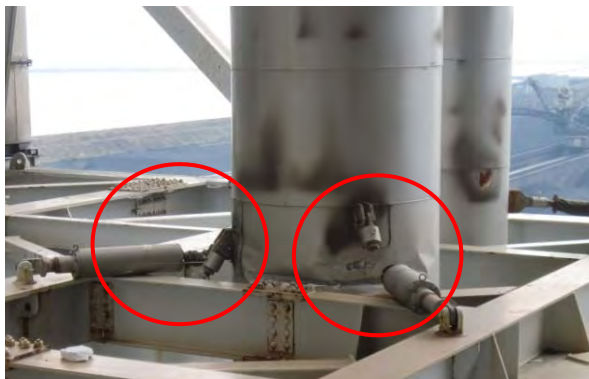
地震動によるボイラーの揺れから過度な応力がかかりボイラー管等が破損

(対策方針)

今回の地震により、ボイラー防振装置の破損例もあった。地震動によるボイラーの揺れに対してボイラー管の破損に至らないように防振装置の強化や配管サポートの改善等についての検討が必要である。



↑（茨城県鹿嶋市）【震度 6 弱地域】
・ ボイラー天井部地震受け金物が曲損



↑（茨城県鹿嶋市）【震度 6 弱地域】
・ ボイラー高温再熱蒸気管用の防振器が破断



↑（東京都杉並区）【震度 5 弱地域】
・ ボイラー最上部の主蒸気連絡管空気抜き管が破損し蒸気漏れ発生

2. 2 風力発電設備

2. 2. 1 破損事故報告

風力発電設備の震災による影響は、液状化によりタワーが傾斜したもの 1 件、基礎にひび割れを生じたもの 1 件が確認された。

所在地 (震度)	設備概要	破損箇所	原因
茨城県鹿嶋市 (6 弱)	2000kW 風力発電所	風 力 発 電 設 備 の タ ワー 及 び 基 礎	液状化により風力発電設備のタワー（7 8 m）が 1 基、 海側に 1. 6 度傾斜（基礎は 1. 5 度傾斜）。
茨城県鹿嶋市 (6 弱)	2000kW 風力発電所	風 力 発 電 設 備 の 基 礎	液状化により風力発電設備 1 基の基礎に亀裂

2. 2. 2 被害事例と対策方針

（被害事例）

液状化により風力発電設備のタワー及び基礎が傾斜、また、基礎に亀裂。傾斜に対しては、タワーを解体しタワーボトムに鋼製テーパリングを挿入し傾斜を補正。基礎の亀裂に対しては、地盤改良工事（ジェットクリート工法等）を行い表層から支持層に至るまで地盤を固化することで基礎杭に頼らない支持力を保持できる基礎構造物に変更。

（対策方針）

液状化地域において建設する場合は、基礎杭に頼らない地盤改良工事を検討する。



↑（茨城県鹿嶋市）【震度6弱地域】

・（設備容量）各 2000kW

・（写真左）液状化によりタワーが1.6度傾斜

・（写真右）液状化で亀裂の入った風力発電設備の基礎

3 需要設備の被害状況

今回の震災による電気関係報告規則に基づく需要設備の事故報告は、特別高圧の主要電気工作物の破損事故が2件、停電波及事故が8件であった。なお、震災時の停電波及事故は、電力会社の供給支障地域以外の地域において発生したものである。

3. 1 特別高圧需要設備

3. 1. 1 破損事故報告

主要電気工作物の破損事故は1万V以上の需要設備のうち、受電用遮断器や1万kVA以上の変圧器などが報告対象となるが、それぞれ1件報告された。

所在地 (震度)	設備概要	被害状況	対策方針
栃木県 真岡市 (6強)	工場/屋外(地上) 開放型/66kV 本・ 予備2回線受電	地震動により66kV受電用空気遮断器(ABB)の碍子が破損(1号線は碍子脱落、2号線碍子ひび割れ)(写真1)	ガス遮断器(GCB)に交換
栃木県 宇都宮市 (6強)	工場/屋外(地上) GIS/66kV 本・予備 2回線受電	地震後の点検により、絶縁劣化を確認。66kV変圧器内部において巻線と大地間で放電があったものと判明。なお基礎チャンネルベースが20mm移動(写真2)、コーキングの割れ(写真3)	基礎と基礎チャンネルベースを溶接で固定

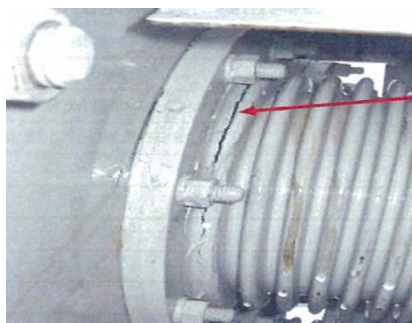
○破損した遮断器のがいし(写真1)



○変圧器の移動(写真2)



○変圧器コーキングの割れ(写真3)



3. 1. 2 被害状況調査

関東東北産業保安監督部管内（東北支部管内を除く）の自家用発電設備を所有し、電気主任技術者会に加入する 207 事業所に対してアンケートを行い、そのうち 122 事業所から回答を得た。この結果、地震により被害を受けた設備毎の被害状況及び原因等については下表の通り。

設備全体における被害状況は全損が 0 件、部分損壊 11 件、傾斜 6 件、原因別では地震動 20 件、液状化 3 件、津波浸水 1 件であった。被害設備の改修は取替 4 件、修理 17 件となっている。人身事故、地絡、短絡などの電気事故、電気火災は何れも無かった。

設 備 名	被害						原因(*2)			改修(*2)		人身事故	電気事故	電気火災
	全損	部分損壊	傾斜	その他	計	割合 (%)(*1)	地震動	津波浸水	液状化	取替	修理			
①引込支持物	0	0	1	0	1	4%	1	0	0	0	0	0	0	0
②引込ケーブル	0	0	0	0	3	13%	3	0	0	0	0	0	0	0
③遮断・断路器	0	0	1	1	2	8%	0	1	1	2	2	0	0	0
④変圧器	0	6	1	0	7	29%	6	0	1	1	6	0	0	0
⑤その他受電設備	0	3	3	1	7	29%	3	0	1	1	4	0	0	0
⑥キュービクル	0	0	0	0	0	0%	0	0	0	0	0	0	0	0
受電設備計	0	9	6	2	17	71%	13	1	3	4	12	0	0	0
①発電機	0	1	0	3	4	17%	4	0	0	0	2	0	0	0
②付属設備	0	0	0	1	1	4%	1	0	0	0	1	0	0	0
③変圧器	0	1	0	0	1	4%	1	0	0	0	1	0	0	0
④キュービクル	0	0	0	1	1	4%	1	0	0	0	1	0	0	0
発電設備計	0	2	0	5	7	29%	7	0	0	0	5	0	0	0
合 計	0	11	6	7	24	100%	20	1	3	4	17	0	0	0

(*1) 被害総数 24 件に対する割合

(*2) 原因、改修欄は、「その他」を省略して掲載しているため、表を合算しても 24 件とはならない

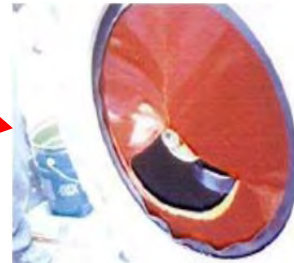
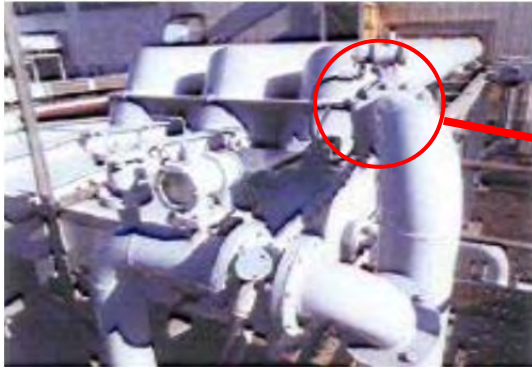
3. 1. 3 被害事例と対策方針

(被害事例 1)

地震動により変圧器内部の絶縁油が流動し、変圧器上部の放圧板が破損

(対策方針)

地震動により放圧板破損やブッフホルツ継電器が不要誤動作しないよう検討が必要。



↑ (茨城県神栖市)【震度 6 弱地域】

- ・ 発電機用主要変圧器 (187, 500kVA)
- ・ 地震動により変圧器内部の絶縁油が流動し、変圧器上部の放圧板が破損

(被害事例 2)

地震動により変圧器のラジエータフィン溶接部に亀裂

(対策方針)

変圧器ラジエータフィン取付け部の溶接を確実にを行うなど取付け部の強度を増強することで低周波振動による共振防止を図る。



← (茨城県神栖市)【震度 6 弱地域】

- ・ 発電機用主要変圧器 (187, 500kVA)
- ・ 変圧器のラジエータフィン溶接部に亀裂

(被害事例 3)

地震動によりケーブルダクトが架台から脱落

(対策方針)

ケーブルダクト架台の補強及びダクトと架台固定部を増強する。



← (茨城県神栖市)

【震度 6 弱地域】

- ・ 地震動により 66kV 各送電用ケーブルダクトが架台から脱落

(被害事例 4)

液状化により 6 kV 変圧器等が傾斜・隆起・陥没

(対策方針)

液状化地域に電気設備などの重要設備を設置する場合は地盤改良し、基礎部を補強する。



↑ (茨城県神栖市)【震度 6 弱地域】
・ 6kV 所内電源供給設備
・ 液状化により傾斜した変圧器



↑ (茨城県神栖市)【震度 6 弱地域】
・ 液状化で隆起したマンホール



← (茨城県神栖市)【震度 6 弱地域】
・ 液状化により地盤が陥没し露出したケーブル

3. 2 高圧需要設備

3. 2. 1 波及事故報告

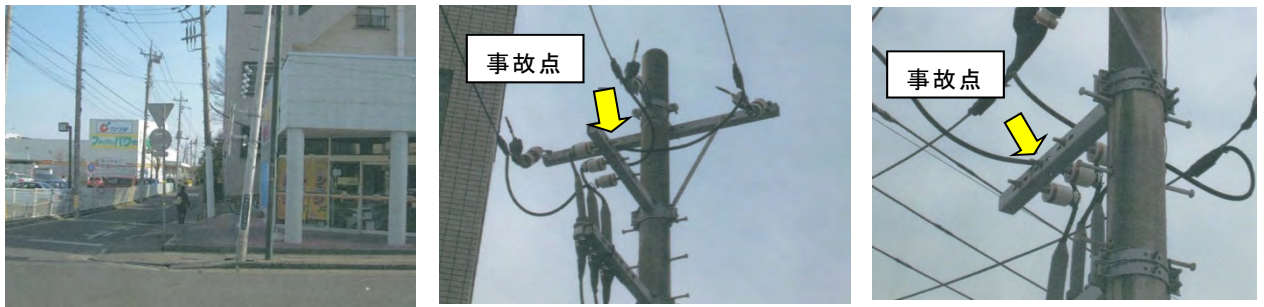
引込柱上の高圧電線（縁廻し線等）が腕金に接触したことによる地絡、液状化による地盤沈下によるケーブル損傷など、合計 8 件が報告された。

事業場所在地	受電電圧(kV)	供給支障電力(kW)	供給支障時間(分)	供給支障件数(軒)	事故の概要
東京都 新宿区 (5強)	6.6	118	69	46	地震により煙突が倒壊し、倒壊した煙突が高圧引込ケーブルが入っている電線管を押しつぶしたため短絡し、波及事故となった(写真1)。
千葉県 浦安市 (5強)	6.6	2360	347	1283	地震と液状化により高圧引込ケーブルの配管がずれ、絶縁不良となった。
栃木県 さくら市 (5強)	6.6	68	125	132	地震によりピンがいしから高圧縁廻し用絶縁電線が外れた。その後の余震により高圧縁廻し用絶縁電線が腕金に接触し、当該電線の被覆が絶縁劣化していたことにより地絡し、波及事故となった。
千葉県 浦安市 (5強)	6.6	2360	324	1283	地震と液状化により高圧引込ケーブルがずれ、絶縁不良となった。
茨城県 水戸市 (6弱)	6.6	2000	67	765	地震により1号柱が傾き引込線が弛み、高圧電線縁廻し線が腕金に接触していた。3月13日になって、送電が行われた際に地絡し、波及事故となった(写真2)。
茨城県 桜川市 (6弱)	6.6	216	62	123	被覆が絶縁劣化していた絶縁電線が余震で腕金に繰り返し接触したため、絶縁劣化により地絡し、波及事故となった。
茨城県 結城郡 八千代町 (6弱)	6.6	206	66	411	被覆が絶縁劣化していた絶縁電線が余震で腕金に繰り返し接触したため、絶縁劣化により地絡し、波及事故となった。
茨城県 那珂市 (6弱)	6.6	217	90	288	地震の横揺れが繰り返され電柱上部の腕金(ケーブル端末取付け腕金)の取付けボルトが緩み、高圧架空引込線の中線がケーブル支持腕金と接触したため地絡し、波及事故となった。

(写真1) 倒壊した煙突と潰された電線



(写真2) 1号柱傾斜により高圧縁廻線が腕金に接触



3. 2. 2 被害状況調査

関東電気保安協会及び東京電気管理技術者協会の両協会が受託する合計約19万件の事業場のうち、被害の確認された事業場に対してアンケートを行い、そのうち498件から回答を得た。この結果、地震により被害を受けた設備別の被害状況及び原因等については下表のとおり。

設備全体における被害状況は全損が38件、傾斜が115件、原因別では地震動が226件、液状化が28件、設備の改修は56件が取替、144件が修理となっている。地絡や短絡などの電気事故が99件、火災は3件発生したが、人身事故はなかった。

設 備 名	被害					原因(*2)		改修(*2)		人身事故	電気事故	電気火災
	全損	傾斜	その他	計	割合(%)(*1)	地震動	液状化	取替	修理			
1. 引込支持物	7	31	5	43	13%	5	15	5	20	0	1	0
2. 引込ケーブル	7	0	4	11	3%	7	0	5	1	0	8	0
3. 遮断器・断路器	1	0	14	15	5%	12	0	1	9	0	5	0
4. 変圧器	8	15	34	57	17%	41	0	12	23	0	21	1
5. その他受電設備	6	28	31	65	19%	56	8	15	26	0	22	1
6. 非常用電源装置	0	0	4	4	1%	4	0	0	4	0	0	0
7. キュービクル	4	32	33	69	21%	44	4	9	28	0	1	1
受電設備計	33	106	125	264	79%	169	27	47	111	0	58	3
8. 低圧配線・負荷設備	5	9	58	72	21%	57	1	9	33	0	41	0
合 計	38	115	183	336	100%	226	28	56	144	0	99	3

(*1) 被害総数336件に対する割合

(*2) 原因、改修欄は、「その他」を省略して掲載しているため、表を合算しても336件とはならない。

電気設備の被害状況について、アンケートから抽出された設備について、電源側から順に分類し、被害設備別の対策方針について次に整理する。

（被害設備別の分類）

- | | |
|-------------|---------------|
| （１） 支持物 | （５） その他受電設備 |
| （２） 引込ケーブル | （６） 非常用発電設備 |
| （３） 遮断器・断路器 | （７） キュービクル |
| （４） 変圧器 | （８） 低圧配線・負荷設備 |

3. 2. 3 被害事例と対策方針

（１） 支持物

地盤の液状化により支持物が沈降・傾斜した事例が多く見られた。原因は液状化によるものが多く、地震動によるものもあった。支持物による電気事故も発生していた。

（被害事例）

液状化や地震動により構内柱が傾斜又は沈下

（対策方針）

液状化の指定地域か否か、地耐力に応じて

- ① 電柱に複数の根かせを設ける。
- ② 支線をとる。
- ③ コンクリートで巻いて補強する。
- ④ 地盤改良を行う。

など複数の対策を検討する必要がある。



↑（茨城県鉾田市）【震度 6 強地域】

- ・ 公共施設（6 kV 受電、24 kW）
- ・ 液状化により引込柱傾斜



↑（千葉県香取市）【震度 5 強地域】

- ・ 公共施設（6 kV、61 kW）
- ・ 液状化により引込柱傾斜

(2) 高圧電線・引込ケーブル

地震の揺れによる引込線の断線、地盤沈下によるケーブル損傷の他、電線・ケーブルが腕金に接触を繰り返し、絶縁破壊した事例も見られた。原因は地震動によるものが多く、電気事故は変圧器に次いで多く発生していた。

(被害事例1)

地震の揺れにより高圧電線が引込柱の腕金に接触し地絡事故が発生

(対策方針)

- ① 大きな地震動で高圧電線が動く場合、その範囲に腕金等の接触物がないように適切な支持と縁廻しを行う。
- ② 経年電線は被覆の劣化やひび割れの恐れがある。劣化した電線は腕金や樹木等との接触で地絡事故、電線相互の接触で短絡事故を発生させるため設備更新を行う。



←(千葉県松戸市)【震度5弱地域】

- ・工場(6kV受電、65kW)
- ・地震動により高圧絶縁電線が引込柱腕金に接触して地絡

(被害事例2)

液状化にともなう地盤沈下により支持物又はキュービクル等との支持点においてケーブルに張力が働いたため他物に接触し、地絡事故が発生

(対策方針)

液状化等による地盤沈下や設備傾斜が考えられる場合、支持物やキュービクル等のケーブル支持点の近傍にハンドホール等を設けてケーブルに余長をとる。



←(千葉県香取市)【震度5強地域】

- ・公共施設(6kV受電54kW、地上キュービクル)
- ・液状化により地盤が沈下し引込ケーブルの配管が外れケーブルが露出

(3) 遮断器・断路器

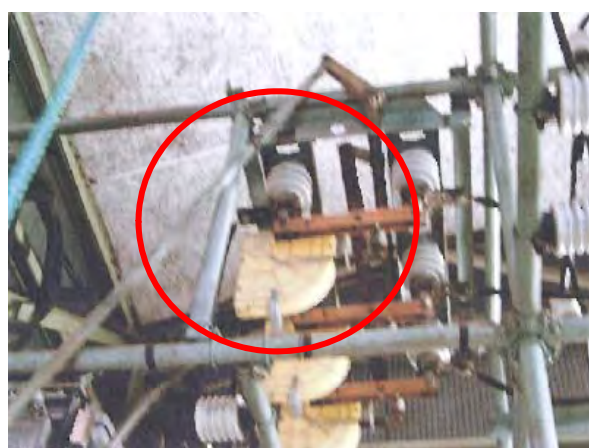
地震動による動作の他、接点外れや接触不良などの機械的不具合も発生していた。不具合の原因は地震動によるものがほとんどを占めていた。

(被害事例)

- ① 地震動によりき電盤遮断器（V C B）の接点が外れ遮断
- ② 地震動により過電流継電器（O C R）が動作し受電用遮断器（V C B）が動作
- ③ 地震動により受電用高圧負荷開閉器のパワーヒューズ溶断
- ④ 受電用遮断器が適正遮断した後、地震動の影響により受電用断路器（開放型受電設備）に接触不良がおり、投入不能

(対策方針)

大きな地震動に対して揺れが増幅しないよう設置場所を適切に選定し、かつ各設備の支持、操作機材（フレームパイプ）等の固定が堅固に維持されているか確認する。また、年次点検の際に機構部の清掃・点検・操作を行い、操作機構の適正状態の維持に努め経年設備は適切に更新する。



↑(茨城県那珂郡東海村)【震度6弱地域】

- ・工場（6 kV 受電、488 kW、1 階電気室）
- ・地震動により断路器と操作機構の投入角度がずれて投入不能

(4) 変圧器

主要機器の中では変圧器の被害が最も多く、変圧器アンカーボルトが破損し変圧器取付ベースが固定用チャンネルから移動し落下したもの、変圧器取付ベース及び固定用チャンネルが破損し変圧器が移動・傾斜したもの、地震動や変圧器の移動によりキュービクル内部の他の電気設備や電線・フレーム等を破損したものもあった。

また、変圧器が傾斜し高圧絶縁電線（K I P）が破断したものやスペーサ・コイルサポートの破損などもあった。原因は地震動によるものがほとんどであった。

(被害事例1)

地震動により変圧器が移動又は取付ベースから落下し傾斜

- ① 変圧器の固定ボルトが破損
- ② 変圧器取付ベース及び固定用チャンネルが変圧器の揺れと荷重で破損
- ③ 変圧器の固定が不十分

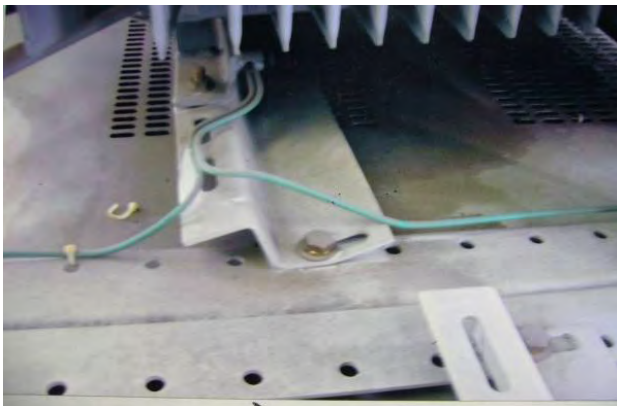
(対策方針)

- ① アンカーボルトの選定(径と総本数)を適切に行う。(高圧受電設備規程資料 1-1-5 耐震対策参照)
- ② 変圧器取付ベース及び固定用チャンネルを適切な強度のものとする。特に、変圧器の容量を大きいものに更新する場合は、変圧器取付ベース及び固定用チャンネルも適切な強度のものに更新する。
- ③ 変圧器のアンカーボルトが単に孔に挿入されているだけの状態など、不十分な据付け工事が行われていないことを確認する。
- ④ 防振ゴム・耐震ストッパ等を取り付けるなどの対策を施す。



↑(栃木県足利市)【震度5強地域】

- ・ 公共施設(6kV 受電、505kW、5階建屋上キュービクル)
- ・ 地震動により変圧器アンカーボルトが折損し、固定用チャンネルが破損。変圧器取付ベースが固定用チャンネルから移動し落下



←(栃木県足利市)【震度5強地域】

- ・ 商店(6kV 受電 220kW、地上キュービクル)
- ・ 地震動により変圧器取付ベースが変形



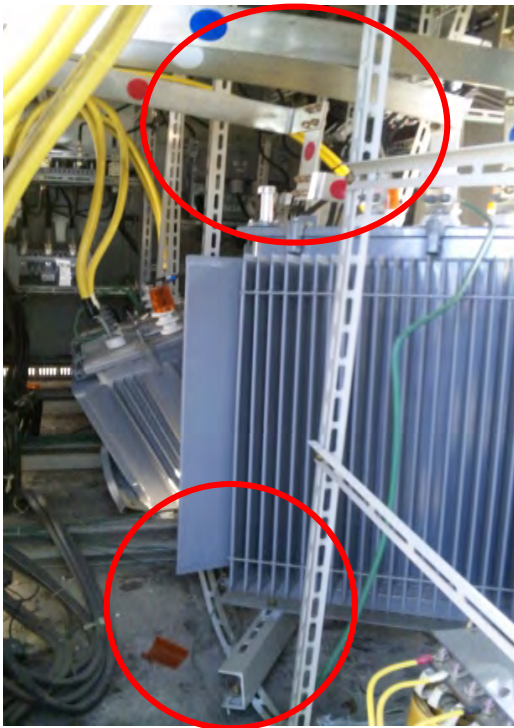
←(茨城県石岡市)【震度6弱地域】

- ・ 商業ビル(6kV 受電 120kW 屋上2階キュービクル)
- ・ 地震動により変圧器取付ベース及び固定用チャンネルが破損。変圧器が傾斜し高圧絶縁電線(KIP)が破断



↑ (栃木県那須町) 【震度 6 弱地域】

- ・ 公共施設 (6 kV 受電、8 4 5 kW、3 階建屋上キュービクル)
- ・ 地震動により変圧器アンカーボルトが湾曲し、固定用チャンネルが破損。変圧器取付ベースが固定用チャンネルから移動し落下



↑ (栃木県芳賀郡芳賀町) 【震度 6 弱地域】

- ・ 商業施設 (6 kV 受電 3 3 3 kW、地上キュービクル)
- ・ 地震動により変圧器アンカーボルトが折損・湾曲。変圧器取付ベース、固定用チャンネルが変形・破損し、変圧器が移動・傾斜。地震動や変圧器の移動によりキュービクル内部の他の電気設備や電線、フレーム等を破損
- ・ 変圧器の低圧側に可とう導体が未使用
- ・ サポート用のパンチングアングルを変圧器の固定用チャンネルに使用

(被害事例 2)

地震動によりモールド変圧器のコイルサポートが外れた

(対策方針)

モールド変圧器のコイルサポートが地震動により外れないように固定する。



↑ (茨城県那珂郡東海村) 【震度 6 弱地域】

- ・ 試験所 (6 kV 受電、1, 188 kW、5 階建て屋上キュービクル)
- ・ 地震動によりモールド変圧器のコイルサポートが脱落

(写真左: コイルサポートが外れたモールド変圧器、写真右: 外れたコイルサポート)

(被害事例 3)

地震動により変圧器の防振ゴムが破損

(対策方針)

防振装置を施した機器には、水平方向、鉛直方向のストッパを設ける。ストッパは地震による衝撃に十分耐える強度を有するとともに構造体に堅固に取り付ける。(高圧受電設備規程 資料 1-1-5 耐震設計参照)



↑ (茨城県那珂郡東海村) 【震度 6 弱地域】

- ・ 試験所 (6 kV 受電 1, 188 kW、5 階建て屋上キュービクル)
- ・ 揺れの過大な変位を抑制するストッパがなかったため、地震動により変圧器の防振ゴムが破断

(被害事例 4)

地震動により、変圧器電源側・負荷側端子や電線支持がいし、母線・電線が破損したもの

(対策方針)

- ① 変圧器が移動や傾斜しないようにアンカーボルトで適切に固定する。
- ② 変圧器電源側・負荷側電線に適切な余長を設ける。
- ③ キュービクルの基礎や躯体を適切に据付ける。



←(東京都東村山市)【震度 5 弱地域】

- ・テナントビル (6kV 受電 105kW、5 階建て屋上キュービクル)
- ・地震動による動力変圧器の揺れにより、高圧端子に引っ張り応力が発生。余裕の無い高圧電線が断線し、フレームに接触、地絡・短絡が発生



←(茨城県那珂郡東海村)【震度 6 弱地域】

- ・試験所 (6kV 受電 1,188kW、5 階建て屋上キュービクル)
- ・地震動により変圧器の低圧側端子が変形

(5) その他受電設備

その他受電設備の被害では、VCTの損傷、設備の浸水などがあった。地震の揺れでキュービクル内の電線支持がいしや母線・電線が地絡・短絡等により破損した事例もあった。原因は地震動によるもの多かったが、中には津波による浸水で被害を受けたものもあった。

(被害事例 1)

取引用計器用変成器 (VCT) の据置固定台が移動、VCT が傾斜・転倒

(対策方針)

キュービクルの基礎、躯体を適切に据付ける。据置固定台をアンカーボルトにより適切に固定する。



←(東京都大田区)【震度 5 弱地域】

- ・工場 (6 kV 受電 109 kW、3 階建て屋上キュービクル)
- ・地震動により VCT の据置固定台のアンカーボルトが抜け、据置固定台ごと VCT が移動し高圧ケーブルに接触。アンカーボルトは孔に差しただけで雌ネジでの締め付けなし



←(茨城県水戸市)【震度 6 弱地域】

- ・民間施設 (6 kV 受電 87 kW、2 階建て屋内キュービクル)
- ・地震動により VCT の取付孔右側の固定用ボルトが抜けフレーム架台が変形し、VCT が傾斜。高圧引出線に接触したが地絡なし

(被害事例 2)

キュービクル内の電線支持がいし、母線・電線が地絡・短絡等により破損したもの

(対策方針)

- ① 変圧器電源側・負荷側電線に適切な余長を設ける。
- ② キュービクルの基礎や躯体を適切に据付ける。

(6) 非常用発電設備

非常用発電機の被害では、アンカーボルトが破断・脱落し、基礎よりずれたものやラジエーターから漏水したものがあつた。いずれも地震動が原因であつた。

設備被害ではないが、停電後非常用発電機が正常起動したが、燃料切れにより停止したためエアが混入し、燃料補給後再起動しようとしたが、エア抜きが必要な機種だったため、再起動ができない事例が多く見受けられた。

(被害事例 1)

基礎ボルト破断により基礎台よりずれ

(対策方針)

アンカーボルトの選定(径と総本数)を適切に行う。(高圧受電設備規程 資料 1-1-5 耐震対策参照)



←(茨城県ひたちなか市)【震度 6 弱地域】

- ・ 商店 (6kV 受電 405kW, 2 階建屋上)
- ・ 地震動により非常用発電機のアンカーボルトが破断、後方 (写真左側) へ 120mm 移動

(被害事例 2)

地震動によりラジエーター、エンジン冷却装置から漏水

(対策方針)

非常用発電機冷却水配管の固定箇所において、地震動により揺れの変位が相違する箇所においては可とう管を使用する。

(参考事例)

燃料切れにより停止した後、燃料を補給し再起動を試みたが、燃料配管に空気が混入し起動不能となった。

(対策方針)

燃料切れにより停止した後、空気が混入してしまう型式のものか否か、予めメーカーに確認し、空気が混入してしまう型式のものについては、運用上の対応について検討しておく。

(7) キュービクル

キュービクルの被害は、受電設備の中で最も多く、コンクリートブロックを基礎に使用していたため基礎が破損したもの、アンカーボルトの固定不十分のため外れてキュービクルが移動・傾斜したもの、液状化により沈下・傾斜したものがあつた。

原因は地震動によるものが多く、液状化や津波による浸水もあつた。

(被害事例 1)

地震動によりキュービクルの基礎にひび割れが発生又は破損。破損はコンクリートブロックを基礎に使用したものが多い。

(対策方針)

キュービクルの基礎強度を適切にする。コンクリートブロックは使用しない。



↑(東京都板橋区)【震度 5 強地域】

- ・ 民間施設 (6 kV 受電 3 2 2 kW 2 階建屋上キュービクル)
- ・ 地震動によりキュービクルの基礎コンクリートブロックが破壊し、キュービクルが傾斜

(被害事例 2)

液状化によりキュービクルが傾斜又は沈下

(対策方針)

大きな傾斜又は沈下が広範囲にわたった場合は、地盤改良を検討する。

(茨城県神栖市)【震度 6 弱地域】→

- ・ 事務所ビル (6 kV 受電、7 8 kW、地上キュービクル)
- ・ 液状化によりキュービクルの基礎ごと傾斜

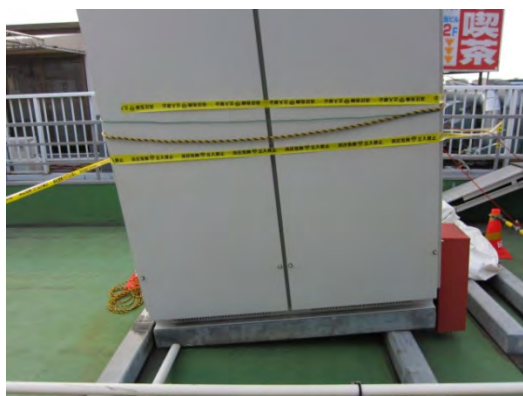


(被害事例 3)

アンカーボルトの固定不十分によるキュービクルの移動

(対策方針)

- ① アンカーボルトの選定(径と総本数)を適切に行う。(高圧受電設備規程資料 1-1-5 耐震対策)
- ② 防水された屋上に後からキュービクルを設置する場合は、堅牢な基礎を設け設置する。



↑(東京都足立区)【震度 5 強地域】

- ・テナントビル(6kV 受電 75kW 3 階建屋上キュービクル)
- ・地震動によりキュービクルのアンカーボルトが外れて、チャンネルベースから落下し傾斜、隣接する分電盤が転倒

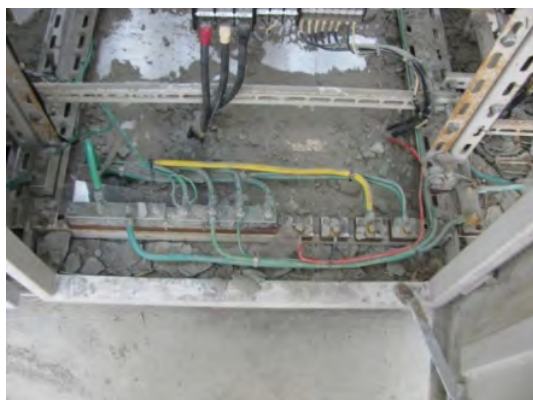


←(埼玉県南埼玉郡白岡町)【震度 5 強地域】

- ・工場(6kV 受電、103kW、3 階建て屋上キュービクル)
- ・地震動によりキュービクルが架台上を 50cm 移動。キュービクルがアンカーボルトで固定されておらず、クランプによる簡易な固定

(参考事例)

津波によりキュービクルが浸水したため、基礎を地上 2m に嵩上げた。



↑(茨城県鹿嶋市)【震度 6 弱地域】

- ・事務所ビル(6kV 受電 171kW、地上キュービクル)
- ・津波によりキュービクルが浸水したため、基礎を地上 2m に嵩上

(8) 低圧配線・負荷設備

分電盤の倒壊や傾斜、建物の揺れによる低圧幹線・配線が損傷したもの、照明器具が落下したものなど地震による建物の揺れが原因の被害が多く見られた。

(被害事例)

- ① 地震動により分電盤の倒壊又は傾斜
- ② 地震による建物の揺れにより低圧幹線・配線が損傷し地絡・短絡
- ③ 地震による建物の揺れにより照明器具の落下
- ④ 地震による建物の揺れにより低圧回路が漏電し漏電遮断器（ＥＬＢ）が動作
- ⑤ 地震による建物の揺れによりＥＬＢの機械的な不要誤動作
- ⑥ 地震による建物の揺れにより配水管損傷による漏水でコンセントなどが浸水
- ⑦ 地震による建物の揺れにより室内照明スイッチの誤動作
- ⑧ 地震による建物の揺れにより工作機器の基準位置の変動（固定アングルごと傾斜・移動）
- ⑨ 液状化により空調機の室外機が傾斜
- ⑩ 地震による建物の揺れにより自動販売機等の電源ケーブルがコンセントから脱落
- ⑪ 地震による建物の揺れにより受水水槽等のセンサーが冠水し満水警報誤発報

(対策方針)

- ① 屋上の揺れが大きい場合、屋上の分電盤等のアンカーボルトの固定を堅固とする。
- ② 低圧幹線や配線において、地震により揺れ方が相違する箇所の固定点近傍には余長を持たせる。
- ③ 低圧幹線や配線と分電盤の入口部分の近傍は配線に余長を持たせる。又は、可とう管を使用する。
- ④ 上層階などの地震の揺れを増幅させる箇所の分電盤等の設置は堅固なものとする。
- ⑤ 上層階などの地震の揺れを増幅させる箇所の照明器具などは堅固な固定とする。
- ⑥ 空調機等の屋外機の配線は、建屋との取り付け部分の配線に余長を持たせる。



↑(千葉県習志野市)【震度5強地域】

- ・倉庫（6kV受電352kW、地上ケーブル）
- ・液状化による地盤沈下により、低圧幹線が下方に引っ張られ、建物外壁に固定されているプルボックスと配管が外れた。この際ケーブルの被覆がプルボックスにより傷つけられ地絡事故が発生

4. 対策方針のまとめ

4. 1 総括

今回の地震による関東地方における最大震度は6強であった。また、加速度応答スペクトルは短周期側（0.1～0.6秒）で卓越（1000ガルを超過）しており、275kVや500kVの変電機器の固有周期（0.2～0.6秒）において、過去の地震を上回るもので、一部の遮断器や断路器などが破損した。これは、総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会電力安全小委員会電気設備地震対策ワーキンググループの検討資料により示されており、平成23年度中には中間報告の取り纏め予定となっているので参考として欲しい。

一方、66kV特別高圧需要設備は、際立った被害はなく、「変電所等における電気設備の耐震対策指針（JEAC-5003）」等、現行の耐震基準で概ね問題ないものとする。ただし、震度6強や6弱の地域において、地震動により電気設備に被害のあったものは一部の事業場に限定されているが、この差異について、次の要素を考慮し今後の更新計画の参考とすることが必要である。

- ① 製造年による耐震規格の相違
- ② 地盤や建物による加速度の相違
- ③ 耐震設計や施工品質の相違

なお、今回のような長時間にわたる横揺れの強い地震の対策として、発電設備についてはボイラーの防振装置の強化、風力発電設備の基礎については、液状化地域について杭基礎ではなく地盤改良について検討が必要と考える。

高圧需要設備については、同一地域で同様な条件において、一部のキュービクルや変圧器等が大きく傾斜、または移動するなどの被害のあったものが散見された。これらは、耐震設計や施工品質が不十分であったものと考えられる。このため、高圧受電設備規程等に記載されている耐震対策を確実に実施することが必要である。今回の被害事例から設備毎の対策方針を整理したので、参考として頂きたい。

4. 2 高圧需要設備

高圧受電設備に対する耐震設計基準については、高圧受電設備規程の資料に記述されている「耐震対策」がある。今後の対策としては、高圧受電設備規程の資料1-1-5「耐震対策」を推奨又は勧告事項として設計・施工が確実に行われることが必要である。

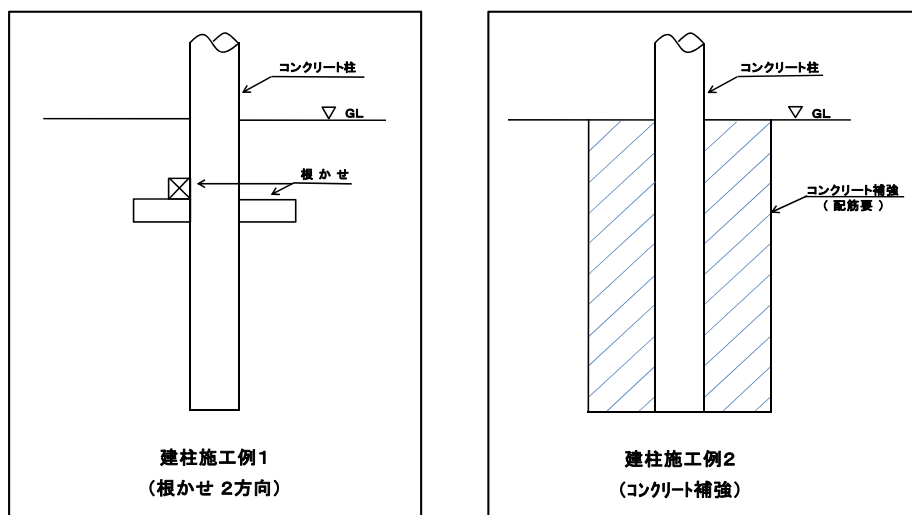
ここに、高圧受電設備規程の資料1-1-5「耐震対策」から「4. 耐震対策の実施例」を引用し、今回の調査により判明した点を追記、補完するので、震災の対策方針として活用頂きたい。

① 支持物

液状化による傾斜又は沈下対策として、次のことがあげられる。

- a. 電柱に複数の根かせを設ける。
- b. 支線をとる。
- c. コンクリートで巻いて補強する。
- d. 地盤改良を行う。

支持物耐震対策例



② 引込柱上の高圧電線

高圧電線が地震動等の揺れにより腕金に接触して地絡事故に至るようなことのないような対策として、次のことがあげられる。

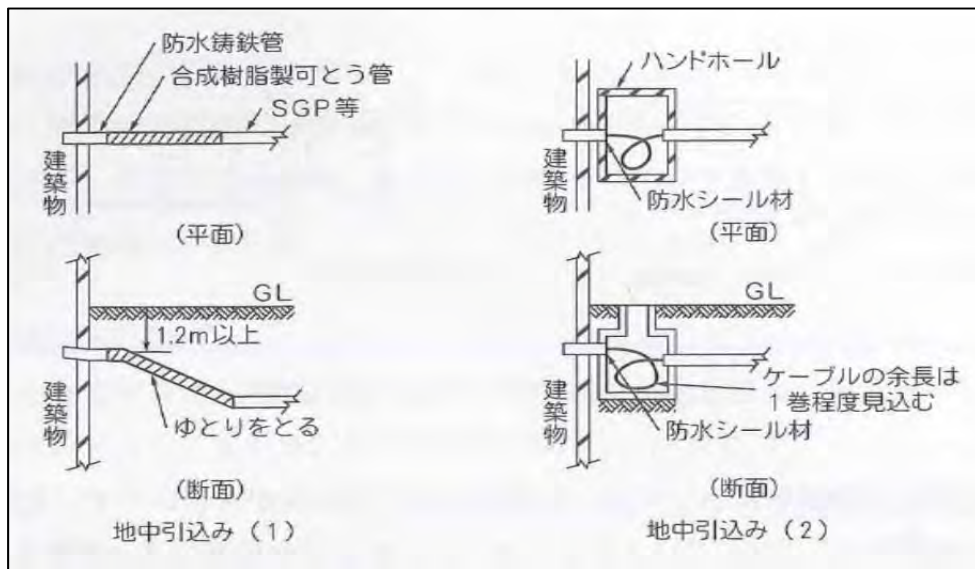
- a. 高圧絶縁電線の縁廻し線を腕金に接触しないようにする。
- b. 高圧絶縁電線の縁廻し線が腕金に接近する場合は、当該腕金にがいしで固定するなどして絶縁を図る。
- c. 経年電線は被覆の劣化やひび割れの恐れがあるため、設備更新を行う。

③ 引込みケーブル

液状化等による地盤沈下によって、キュービクルや建屋の引込み部分に張力が加わったり、地震動により配線支持物が揺れケーブルに張力が加わったりすることによってケーブルの被覆が損傷する。それらの対策として、次のことがあげられる。

- a. キュービクルや建屋の引込み部分にはハンドホール等を設けてケーブルに余長をとる。
- b. 管路が外れて、プルボックスのエッジでケーブルの被覆を傷つけないように金属の開口部をゴムで巻く等の防護措置をする。

地中引込み耐震対策例

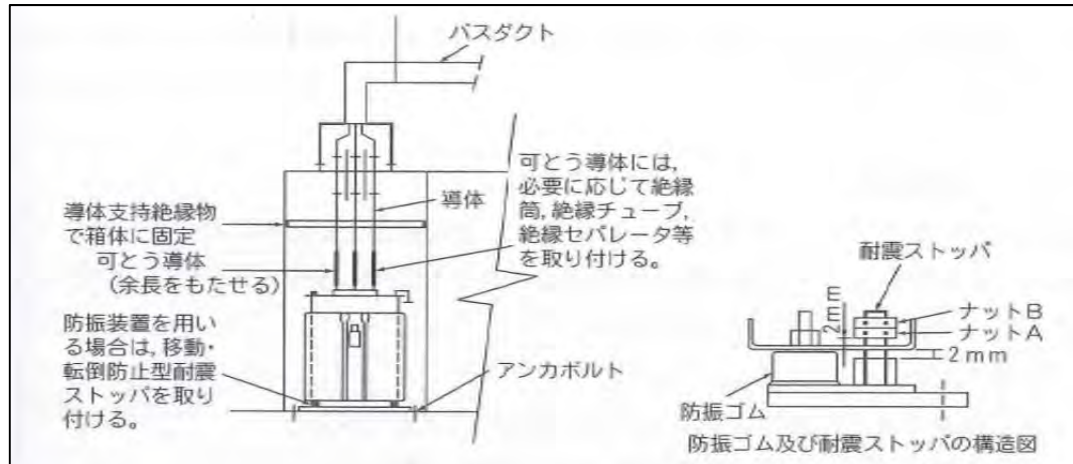


④ 変圧器・電力用コンデンサ・遮断器等の電気設備

移動、転倒、落下、漏油、ブッシング破損、リード線脱落、操作機構損傷等の対策として、次のことがあげられる。

- 変圧器等単体機器の据付けは、機器と構造体とを接合する材料が、自重に応じた地震荷重の引き抜き力及びせん断力に耐えられるよう施工し、移動・転倒のないよう堅固な基礎に据付ける。
- 機器を架台上に取付ける場合、架台は、建築構造の床、壁等に堅固に固定し、機器は、自重に応じた地震荷重に耐えられる基礎架台に取付ける。
- 防振装置を施した機器には、水平方向及び鉛直方向の耐震ストッパを設ける。耐震ストッパは、地震による衝撃に十分耐える強度を有するとともに構造体に堅固に取付ける。
- 重要電源の場合は、耐震装置を設ける。
- リード線に適当なたるみを持たせる。特に引出し線に銅バーを使用する場合は、可とう銅帯を使用するなど余裕をもたせる。
- 遮断器や断路器等の操作部や継電器は、地震動の増幅のないよう構造体に堅固に取り付ける。

変圧器等耐震対策例



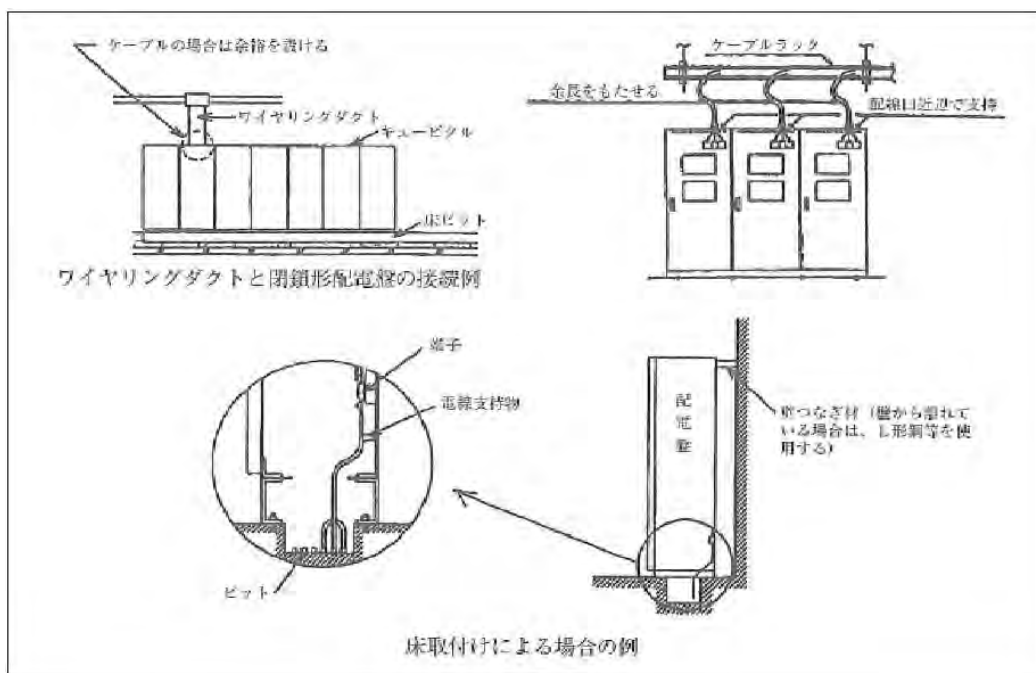
- ⑤ キュービクル内部の高低圧電線・母線、支持がいし等
断線、がいし、がい管の破損、損傷等の対策として、次のことがあげられる。
- a. 高低圧電線・母線及び機器への接続リード線は、必要に応じ、可とう性のあるものを使用し、また、適正な余長を設ける
 - b. 高低圧電線・母線と支持がいしは、揺れに対しても電気機器から適切な離隔距離が取れるようにする。
- ⑥ キュービクル
基礎のひび割れ、破損、構成材の破損等の対策として、次のことがあげられる。
- a. キュービクルの基礎強度を適切にする。コンクリートブロックは、強度がないため使用しない。
 - b. アンカーボルトの選定（径と総本数）を適切に行い、基礎と堅固に固定する。
 - c. チャンネルベース及びパイプフレーム等には、支持又は固定する機器の重量に十分耐える強度を持たせるとともに、基礎や構造体に直接固定する。
 - d. 建物の上層階や軟弱地盤など、地震動の増幅が想定される場所に設置する場合は、より堅固な固定、液状化に対しては基礎の強化や地盤改良等を検討する。
 - e. 津波に対しては、設置レベルを地面より、より高くする。また、津波による漂流物の衝突防止策を施す。
- ⑦ 非常用発電設備
移動、漏水等の対策として、次のことがあげられる。
- a. アンカーボルトの選定（径と総本数）を適切に行う。揺れの大きい屋上などに設置する場合は堅固な固定とする。
 - b. 非常用発電機冷却水配管・燃料配管の固定箇所において、地震動により揺れの変位が相違する箇所においては可とう性のある配管とする。

⑧ 配電盤

盤の転倒、傾斜、部品の飛び出し、破損等の対策として、次のことがあげられる。

- a. 配電盤は、基礎又は壁面等に堅固に取付ける。自立形などで転倒のおそれのあるものは、必要により壁・天井等との間に耐震用の支持材を取付ける。
- b. 引出し形部品等を使用する場合にあっては、地震時、飛び出しなどがないように固定を行う。
- c. 外部との主回路接続部は、端子部に大きな荷重がかからないように配慮する。

配電盤耐震対策例

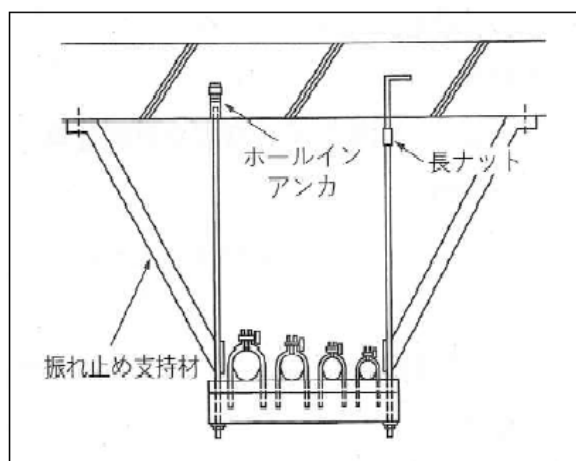


⑨ 低圧幹線・配線

揺れによる断線等の対策として、次のことがあげられる。

- a. 低圧幹線等の配線の固定において、地震により揺れ方が相違する壁面から分電盤への引き込み箇所など、揺れにより張力がかかる部分には余長を持たせ、可とう管を使用する。

幹線設備の振れ止め支持例



⑩ 負荷設備

傾斜、転倒、落下、断線等の対策として、次のことがあげられる。

- a. 屋上等、揺れが大きい場所の分電盤等のアンカーボルトは堅固な固定とする。
- b. 上層階などの地震の揺れを増幅させる箇所の分電盤等の設置は堅固とする。
- c. 上層階などの地震の揺れを増幅させる箇所の照明器具などは堅固な固定とする。
- d. 空調機の屋外機への配線等、建屋との取り合い部分の配線には余長を持たせ、可とう管を使用する。

5. 被害を受けなかった設備

今回の地震で震度が高かった地域だが、適切な耐震対策が行われていたため、被害を受けなかった設備について紹介する。

5. 1 変圧器

(変圧器 事例1)



↑ 公共施設（茨城県 水戸市）【震度6弱地域】
・ 防振ゴム・耐震ストッパを使用し、堅固に固定

(変圧器 事例2)



↑ 民間施設（茨城県 水戸市）【震度6弱地域】
・ 固定用アングルが厚く、ボルトナットで堅固に固定

(変圧器 事例3)



↑ 民間施設（茨城県 日立市）【震度6強地域】
・ ボルトナットで堅固に固定

(変圧器 事例 4)



- ↑ 民間施設（栃木県 宇都宮市）【震度 6 強地域】
- ・ 固定用アングルが厚く、ボルトナットで堅固に固定

(変圧器 事例 5)



- ← 民間施設（栃木県 宇都宮市）【震度 6 強地域】
- ・ 動力トランス（300kVA）
 - ・ 防振ゴム・耐震ストッパを使用し、適切に固定

5. 2 キュービクル

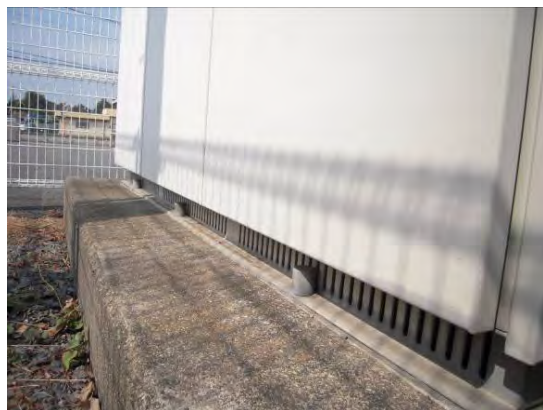
(キュービクル 事例 1)



↑ 公共施設（茨城県 水戸市）【震度 6 弱地域】

- ・ 4 階建 屋上屋外キュービクル
- ・ 官公庁仕様に沿った設計となっているため、震災の影響を受けなかった（アンカーボルトの位置、太さ、錆止めカバーなど）

(キュービクル 事例 2)



↑ 公共施設（茨城県 水戸市）【震度 6 弱地域】

- ・ 地上キュービクル
- ・ 官公庁仕様に沿った設計となっているため、震災の影響を受けなかった。（アンカーボルトの位置、太さ、錆止めカバーなど）

(キュービクル 事例 3)



↑ 民間施設（茨城県 水戸市）【震度 6 弱地域】

- ・ 地上キュービクル
- ・ キュービクルメーカーの指示通りに支持（アンカーボルトの位置、太さ）

(キュービクル 事例 4)



↑ 公共施設 (茨城県 日立市) 【震度 6 強地域】

- ・ 地上キュービクル
- ・ アンカーボルトにより適切に固定

(キュービクル 事例 5)



↑ 宿泊施設 (茨城県 日立市) 【震度 6 強地域】

- ・ 6 階建屋上キュービクル
- ・ 基礎およびキュービクルの固定が堅固

(キュービクル 事例 6)



↑ 民間施設 (栃木県 宇都宮市) 【震度 6 強地域】

- ・ 3 階建屋上キュービクル
- ・ 基礎に H 鋼を使用し、キュービクルは H 鋼に堅固に固定

(キュービクル 事例 7)



↑ 民間施設（栃木県 那須塩原市）【震度 6 弱地域】

- ・ 2 階建屋上キュービクル
- ・ キュービクルは基礎下駄にアンカーボルトで堅固に固定

おわりに ～電気技術者の皆様へ～

昨年３月１１日の東北地方太平洋沖地震により被災されました方々に心よりお見舞い申し上げますと共に、一日も早い復興をお祈り申し上げます。

さて、地震により関東管内の供給支障電力は１，２８０万キロワット、停電戸数は約４０５万軒という広範な影響がありましたが、電気に係る死傷事故の報告は“ゼロ”で、また、供給支障も一週間後には解消されました。これも一重に電気保安に携わる皆様方の日頃のご尽力の賜と心より感謝申し上げます。

地震後の停電により、ガス、水道、鉄道等の社会インフラの多くが停止し、また、夏季の重負荷期の節電対応など、改めて電気の有り難さに一般の人々が気づかれたものと思います。必要不可欠な電気ではありますが、一度取扱いを誤れば、感電や火災等の危険を被ることから、電気主任技術者や電気工事士等の電気技術者である皆様方のお仕事が如何に社会的に重要であるか、広く認識されたことと思います。

このような重責を担う電気技術者の皆様におかれましては、今回の地震における電気設備の被害の教訓から、電気設備の一層の信頼性向上に努めて頂きたく、電気安全関東委員会、日本電気協会関東支部、関東電気保安協会、東京電気管理技術者協会、東京電気設計者協会、関東東北産業保安監督部管内電気主任技術者会やボイラー・タービン主任技術者会などの関係機関と連携して、今回の地震による設備被害、復旧や対策などの状況について情報を収集し、自家用電気工作物における対策方針について取り纏めさせて頂きました。

この結果、今回の震災は関東地域における最大震度６強の地域においても、従来どおりの耐震対策が行われている設備については概ね影響はなかったものの、キュービクル等の高圧受電設備の基礎工事や変圧器等の据付工事が適切に行われなかったものについて、基礎の割れによるキュービクルの傾斜や変圧器等の移動・傾きによる地絡・短絡事故などが多数見受けられました。

皆様におかれましては、今一度、電気設備の耐震対策が十分行われているか点検され、減災に努めて頂きたくお願い申し上げます。

また、電気事業用の電気工作物については、総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会電力安全小委員会に電気設備地震対策ワーキンググループを設置して、平成２３年度内を目途に「電気設備地震対策報告書」を取り纏めることとしていますので、参考として下さい。

最後に、この報告書の取り纏めにご協力頂きました関係機関の皆様には深く感謝するとともに、わが国が大震災を乗り越え、復興にあたり最も重要なインフラの一つである電気設備の設計・施工・保守・保全あらゆる段階において、今回の経験が着実に伝承され、今後一層の電気保安の向上と減災に結びつくことを心から祈念いたします。

関東東北産業保安監督部長 守屋 猛

(参考資料)

日本電気協会「高圧受電設備規程」(JEAC-8011)「資料 1-1-5 耐震対策」(抜粋)

高圧受電設備による耐震対策の基本は、想定される地震力に対して、設備の損傷、移動転倒等の異常を認めないようにすることである。

設計方法は、地震入力を設定して建築物各所の機器・配管等の支持固定部材に加わる力を計算し、その値が支持固定部材の許容応力度内にあるか耐力判定することで支持固定設計を行う許容応力度法を用いている。

通常の場合の設計は、機器・配管等の設置場所(階)によりあらかじめ算出された地震力を選定する方法(局部震度法)を原則として採用する。建築物の動的解析が行われる場合等には個別に入力算出を行う方法を採用してもよい。

ここでは、一般的に用いられている局部震度法による耐震設計の概略及び耐震対策の実施例を示す。

[注] 具体的な耐震対策については、(財)日本建築センター発行の「建築設備耐震設計・施工指針」、(社)公共建築協会発行の「官庁設備の総合耐震計画基準及び同解説」、(社)日本電設工業協会・(社)電気設備学会発行の「建築電気設備の耐震設計・施工マニュアル」及び(社)日本電気協会発行の「変電所等における電気設備の耐震設計指針(JEAG 5003)」等を参照のこと。

1. 地震力

設備機器は、水平方向及び鉛直方向の地震力に対し、移動、転倒が生じないように固定する。

地震力は、設備機器の重心に標準の地震力が作用するものとし、水平方向及び鉛直方向の設計用標準震度を用いて算出する。

① 設計用水平地震力 F_H は、次式で求められる。

$$F_H = K_H \cdot M \cdot G \text{ [N]} = K_H \cdot W \text{ [kgf]}$$

K_H : 設計用水平震度

M : 機器の質量 [kg]

G : 重力加速度=9.80 [m/sec²]

W : 機器の重量 [kgf]

② 設計用鉛直地震力 F_V は、次式で求められる。

$$F_V = K_V \cdot M \cdot G \text{ [N]} = K_V \cdot W \text{ [kgf]}$$

$$K_V = (1/2) K_H$$

K_V : 設計用鉛直震度

局部振動法による設計用標準震度は、構造体の耐震安全性の分類、設備機器の重要度及び設置階により選定、次式で求められる。

$$K_H = Z \cdot K_S$$

K_S : 設計用標準震度 (1 表の値以上とする)

Z : 地域係数 (通常 1 としてよい。0.9, 0.8, 0.7 が適用できる地域もある。)

1 表 局部振動法による建築設備機器の設計用標準震度

	建築設備機器の耐震クラス		
	耐震クラス S	耐震クラス A	耐震クラス B
上層階、屋上 及び塔屋	2.0	1.5	1.0
中間階	1.5	1.0	0.6
地階及び 1 階	1.0(1.5)	0.6(1.0)	0.4(0.6)

〔備考 1〕 () の値は地階及び 1 階 (地表) に設置する水槽の場合に適用する。

〔備考 2〕 上層階の定義は次による。

- ・ 2～6 階建ての建築物では、最上階を上層階とする。
- ・ 7～9 階建ての建築物では、上層の 2 層を上層階とする。
- ・ 10～12 階建ての建築物では、上層の 3 層を上層階とする。
- ・ 13 階建て以上の建築物では、上層の 4 層を上層階とする。

〔備考 3〕 中間階の定義は次による。

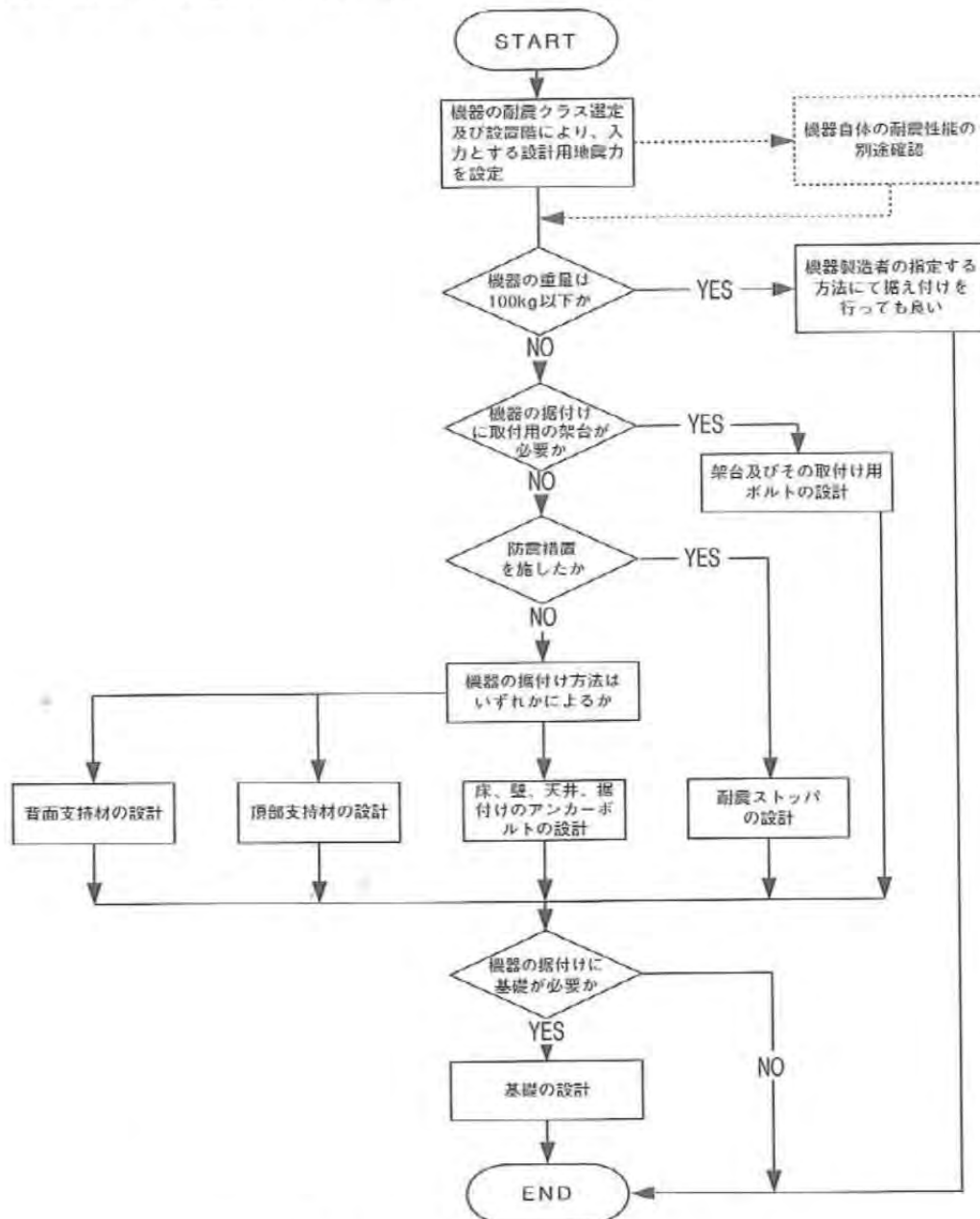
- ・ 地階、1 階を除く各階で上層階に該当しない階を中間階とする。

〔備考 4〕 耐震クラスの適用は、建築物の重要度設定を行う立場の者 (建築主、設計者等) が、判断し、決定することが原則。

通常の耐震性能の場合、基本的には耐震クラス B を使用することで一般的な耐震性は得られると考えられている。ただし、防震装置を付して据え付けられる機器 (発電装置や変圧器等) は、上位クラス (クラス A) を選定することとしている。

2. 耐震設計フロー例

設備機器の耐震設計フローの例を1図に示す。



1 図 建築電気設備機器の耐震設計フロー例

3. アンカーボルト

床に設置される機器の据え付けは、地震動時に移動・転倒しないように床・基礎にアンカーボルトなどで固定される。

このアンカーボルトには、機器に作用する地震力によって引き抜き力、せん断力（など）が加わるが、この地震力に耐え機器の転倒、移動を生じないボルトの種類及び本数を選定する。

以下に、長方形断面の機器（2図）の場合におけるアンカーボルトの選定例を示す。

① アンカーボルトの引き抜き力

水平地震力は、機器を転倒させるように作用する。

長方形断面の機器の重心位置（G）に水平方向及び鉛直方向の地震力が条件の悪い方向に同時に作用するとして、ボルト一本当たりに作用する引き抜き力（ R_b ）は、

$$R_b = \frac{F_H \cdot h_G - (W - F_V) \cdot l_G}{l \cdot n_t}$$

R_b ：ボルト一本当たりに作用する引抜き力〔kgf〕

で求められる。

② アンカーボルトのせん断力

水平地震力は、機器を水平に移動させるように働く。この水平地震力をアンカーボルト全数で受けるものとして、ボルトに作用する平均せん断応力度（ τ ）及びボルト一本当たりに作用するせん断力（ Q ）は、

$$\tau = \frac{F_H}{n \cdot A} \quad \text{又は} \quad Q = \frac{F_H}{n}$$

τ ：ボルトに作用する平均せん断応力度〔kgf/cm²〕

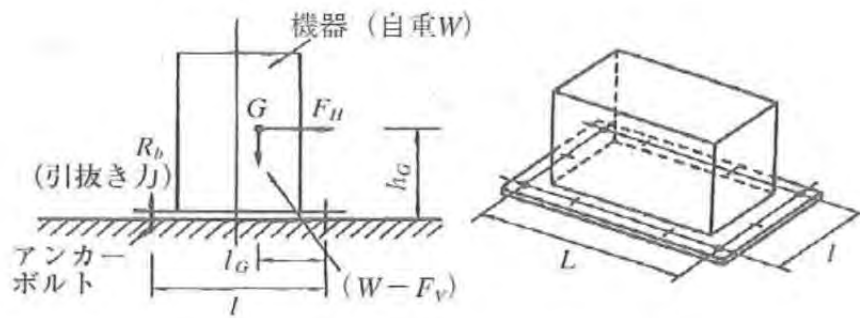
Q ：ボルト一本当たりに作用するせん断力〔kgf〕

F_H ：設計地震力〔kgf〕

A ：ボルト一本当たりの軸断面積（呼び径による断面積）〔cm²〕

n ：ボルト本数

で求められる。



- G : 機器重心位置
 W : 機器の自重 [kgf]
 R_b : アンカーボルト一本当たりの引抜き力 [kgf]
 n : アンカーボルト総本数
 n_t : 機器検討を考えた場合の引張りを受ける片側のアンカーボルト総本数
 (図において検討方向の片側に設けられたアンカーボルト本数)
 h_G : 据付け面より機器重心までの高さ
 l : 検討する方向から見たボルトスパン [cm]
 l_G : 検討する方向から見たボルト中心から機器重心までの距離 (ただし,
 $l_G \leq l/2$) [cm]
 F_H : 設計用水平地震力 ($F_H = K_H \cdot W$) [kgf]
 F_V : 設計用鉛直地震力 ($F_V = F_H / 2$) [kgf]

2 図 床置き機器 (長方形断面)

③ アンカーボルトの選定

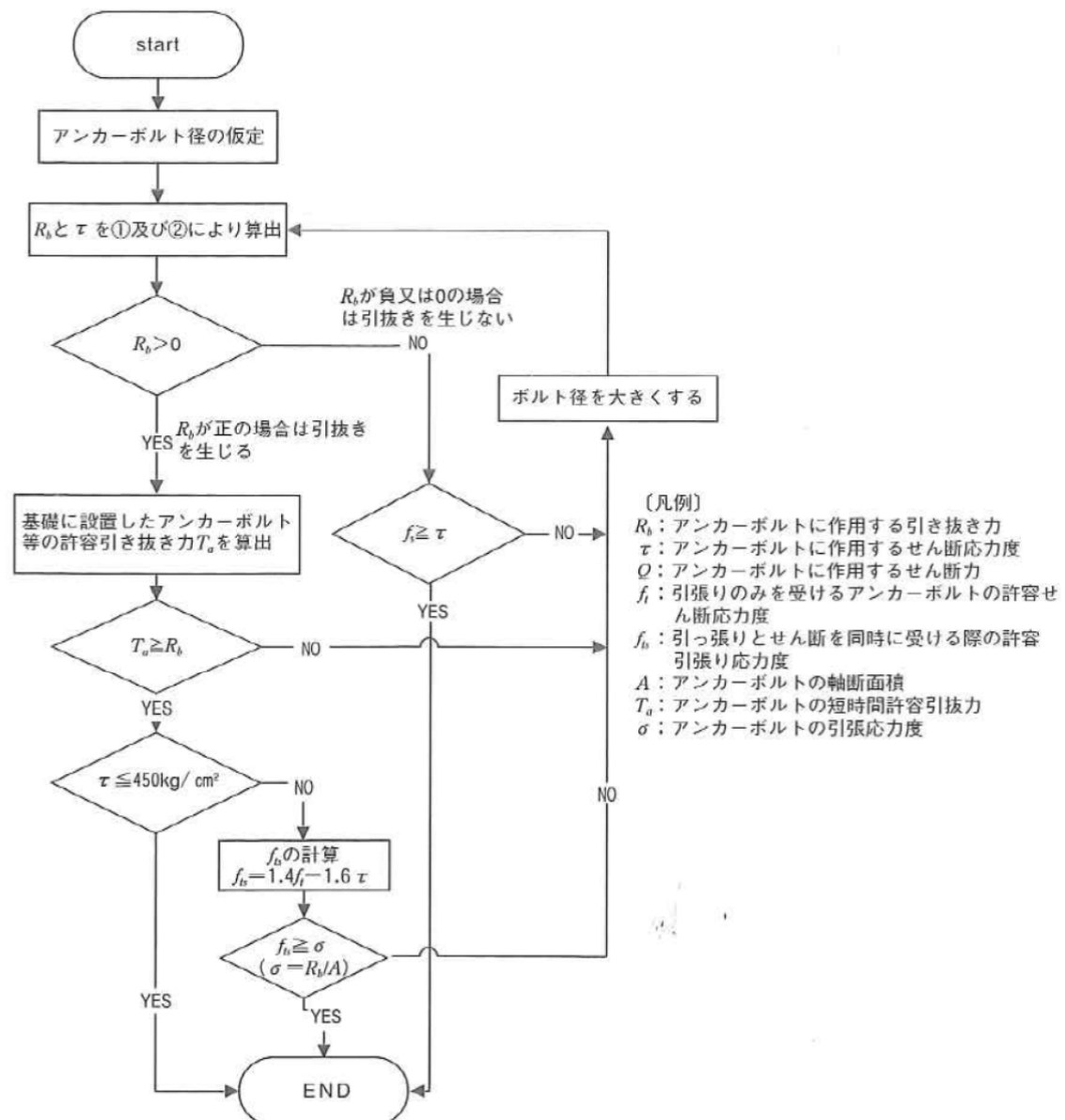
アンカーボルトの選定方法には、ボルトに作用するせん断応力度を計算する方法とボルト許容組合せ応力図を利用する方法がある。一般的には、ボルト許容組合せ応力図を利用する方法が用いられている。

a ボルトに作用するせん断応力度を計算する方法

アンカーボルトに引き抜き力 R_b とせん断応力度 τ が同時に作用する際の組合せ応力を検討し、アンカーボルト径を決定する方法であり、3 図にそのフローを示す。

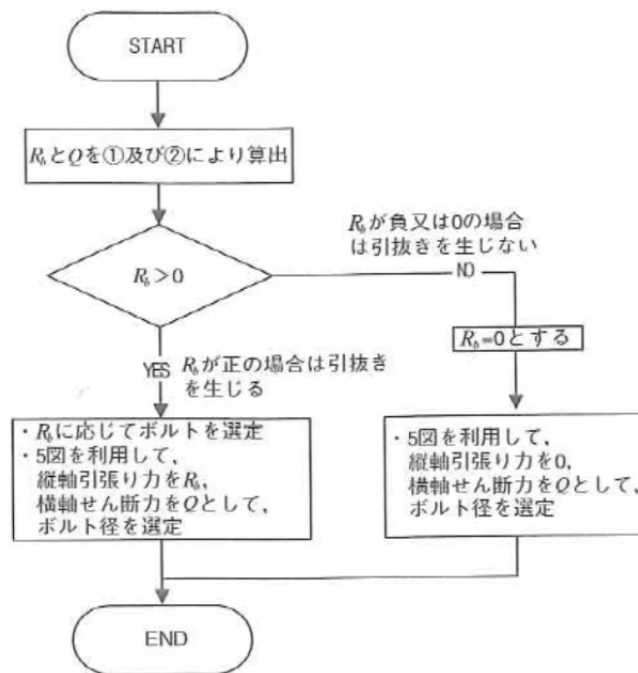
b ボルト許容組合せ応力図を利用する方法

アンカーボルトに作用する引抜き力 R_b とせん断力 Q を算出し、5 図に示すボルト許容組合せ応力図を利用しアンカーボルト径を決定する方法であり、4 図にそのフローを示す。

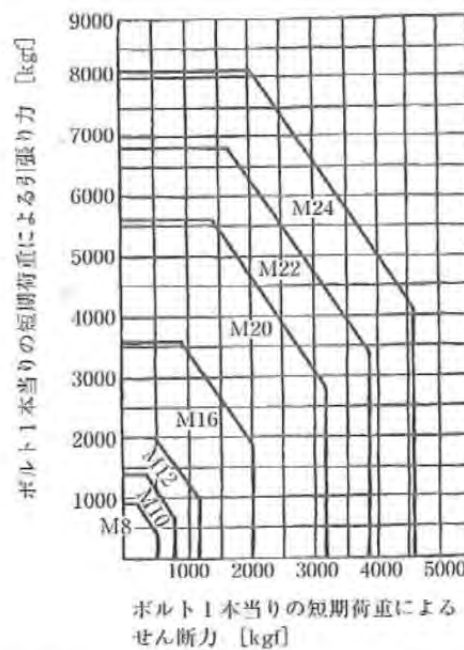


〔備考〕基礎に設置したアンカーボルト等の許容引き抜き力 T_a は、アンカーボルトの種類（L 形，J 形，あと施工アンカーボルト等）により各々計算方法が異なる。詳細は，各種耐震設計に関する指針等を参照のこと。

3 図 ボルトに作用するせん断応力度を計算する方法のフロー



4 図 ボルト許容組合せ応力図を利用する方法のフロー



5 図 SS400中ボルトの許容組合せ応力図（アンカーボルト用）

(参考文献：電気工作物の耐震設計基準)

- 日本電気協会「高圧受電設備規程」(JEAC-8011)
- 日本電気協会「変電所等における電気設備の耐震対策指針」(JEAC-5003)
- 電気学会電気規格調査会「交流しゃ断器」(JEC-181)
- 電気学会電気規格調査会「ブッシング」(JEC-183)
- (社)日本電機工業会技術資料J E M - T R 144 (配電盤・制御盤の耐震設計指針)
- (社)日本内燃力発電設備協会「自家用発電設備耐震設計のガイドライン」
- (社)日本建築学会「鋼構造設計標準」
- (財)日本建築センター「建築設計耐震設計・施工指針」
- 建築電気技術協会「電気設備工事監理指針」
- 日本配電制御システム工業会「受配電・制御システムハンドブック」
- (一社)日本電設工業協会、(社)電気設備学会「建築電気設備の耐震設計・施工マニュアル」
- J I S C 4 6 2 0 (キュービクル)
- 国交省「公共建築工事標準仕様書(電気設備工事編)」
- (独)製品評価技術基盤機構「第一種電気工事士定期講習テキスト」

著 作 権

事前了解なしに、この報告書のいかなる形の複写・転載は行わないでください。
この報告者の著作権は(社)日本電気協会関東支部に帰属します。