

(108) 釧路沖地震による電力流通システムの被害とその復旧

(財)電力中央研究所 朱牟田善治、当麻純一、岩楯敏広
北海道電力(株) 坂本 容

1. はじめに

1993年1月15日20時6分に発震した釧路沖地震(M7.8)により、釧路市、白糠町、音別町など主として北海道東南部沿岸地区に、斜面の崩壊、道路陥没、地盤の液状化、港湾岸壁のクラックをはじめとして、電気、ガス、水道のライフライン損傷など、被害が発生した。本報告は、これらのうち電力流通システムの被害とその復旧の状況を現地調査結果¹⁾等に基づいて明らかにしたものである。

2. 電力流通システムの設備被害

(1) 設備被害の概要

発電設備にはほとんど物的な被害がなく、火力発電所構内の燃料タンクの支持地盤に変形や亀裂が起こり燃料補給管に7~8cmのずれが生じた程度であった。送電設備にもほとんど物的な被害がなかったが、地震力により短絡や地絡が発生したため事故遮断した送電線が5系統あった。配電設備に関しては、柱上変圧器の傾斜が7903台(釧路管内の設備総数:71,218台)で、落下したものは2台であった。配電柱の折損は12本(釧路管内の設備総数:297,919本)と少なく、そのうち5本は土砂崩れや煙突の倒壊の影響による間接被害である。通信設備には被害がなく、通信に支障は生じなかった。変電設備に関しては、系統上重要な1次変電所の変電機器(変圧器やがいし)に被害が生じ変電機能が停止したが、後述のように系統切り換え操作、負荷抑制などにより大規模・長時間の停電事故を回避できた。

(2) 変圧器の耐震安定性検討

このように、流通システムを構成する設備類の物的被害は総じて軽微であったといえようが、旧設計基準によったいくつかの変電機器では以下のような被害が認められた。1次変電所である宇門別変電所(震央距離約31km)では、187kVから66kVに変圧する3台の変圧器(A, B, Cバンク)のうち、AバンクおよびBバンクに被害があった。Aバンクでは、ブッシング破損による絶縁油の漏洩や変圧器本体の滑動(約300mm)が生じ、使用不能となった。Bバンクにおいても変圧器本体が5mm程度滑動したものの、直後の仮復旧により機能を維持できた。これら変圧器本体の水平方向の滑動により、本体ベース連結ボルトのいくつかが折損していることに着目し、変圧器の滑動に関する耐震安定性評価を行うこととした。

当該の変圧器は、1959年に製作されたもので、連結ボルト4本で台車(トラックベース)に固定され、その台車が8本のアンカーボルトで基礎に固定されている。変圧器本体(タンク)の重量は182tfである。基礎は鉄筋コンクリート製で厚さが2.25mあり、深さ2mの位置に埋設されている。地盤は、GL-2m~-3.5mまで泥炭、GL-3.5m~-6.7mまでは粘土混じりの細砂、それ以上は小砂利混じりの砂である。基礎の支持杭として直径30cm、長さ6mのコンクリートパイプが打設されている。Aバンクでは連結ボルト4本全部が折損した。Bバンクでは連結ボルト4本中2本が折損した。当該変圧器の耐震設計は、現行の耐震設計指針²⁾が適用される以前の社内規準によっていた。設計法としては震度法による静的設計で、その設計震度は水平0.35、鉛直0.117である。なお、現行の指針によってもこのような屋外変圧器本体の安定性検討は静的設計法によっているが、静的水平加速度として0.5Gが採用されている。

変圧器の剛体としての安定性は転倒、滑動について評価する必要があるが、ここでは滑動被害が認められたことから滑動について検討した結果を述べる。

図-1は変圧器本体(タンク)を示したものである。連結ボルト全部に作用する総せん断力Sを、

$$S = K_H W - \mu W(1-K_V) \quad \dots\dots(1)$$

と仮定する。したがって、連結ボルト1本あたりに作用するせん断応力 τ_B は、

$$\tau_B = \frac{S}{N A} \quad \dots\dots(2)$$

となる。ここに、N:固定ボルトの本数(M36×4)、A:固定ボルトの断面積、 μ :変圧器本体と台車の摩擦係数(0.35と仮定)。連結ボルトのせん断強度を2400 kgf/cm²として、作用せん断応力がこれに達する場合の水平震度 K_H を(1)、(2)式から求めると $K_H=0.69$ を得た。このことと、先に述べたボルトの折損状況とから、地震時に0.69G以上の水平加速度がタンクに作用したものと推測される。

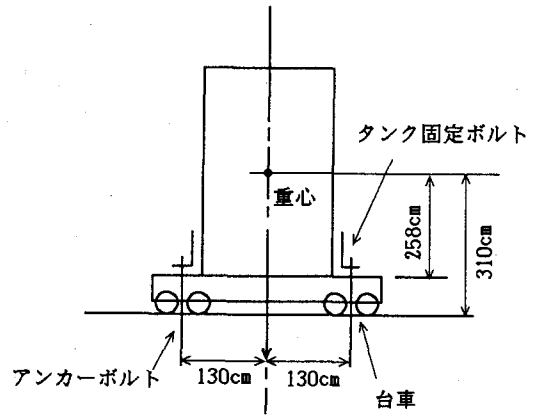


図-1 187kV変圧器本体

(3) 変電所地盤の地震動評価

宇田別変電所では地震動観測を行っていないため、ここでは遠方の岩盤上の観測波形を入力動として変電所地盤の地震応答解析を行うことにより、地盤の地震動を予備的に検討した。以下には入力動として電力中央研究所の観測点のひとつである厚岸地点(震央距離約40km)の記録³⁾を用いた結果について述べる。変電所地盤は、ボーリングによる土質柱状図を参考にして1次元の成層構造にモデル化し、N値50以上の砂礫層の出現するGL-31.5mを入力基盤表面とした(図-2)。地盤の非線形特性を修正Ramberg-Osgoodモデルで表し、時間領域の逐次積分法による入射波応答解析を行った。図-3は解析による地表面の加速度応答スペクトル(減衰5%)である。比較のために、入力動とした観測波(厚岸NS,最大0.387G)のスペクトルも示してある。応答結果には周期1sec以上のやや長周期成分が顕著であるが、これは変電所地盤の強震時の固有周期に関連したと思われる。地盤・基礎との相互作用に基づく変圧器本体(タンク)の固有周期は、構造の類似した275kV級変圧器のデータ⁵⁾を参考とすれば、概ね周期0.2sec~0.3secと考えられる。そこで、図からこの周期域でのスペクトル加速度を読めば約1Gであることがわかる。このことから、今回の地震により変圧器に作用した水平加速度が旧規準の静的加速度(0.35G)を大きく上回ったことが推定される。

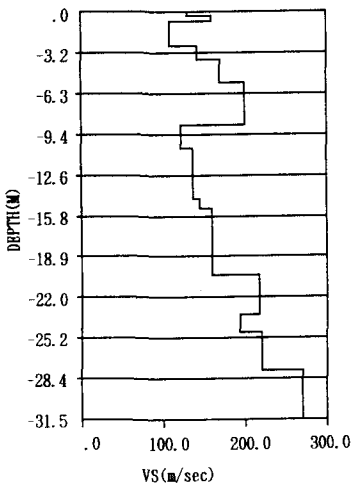


図-2 地盤のせん断波速度分布

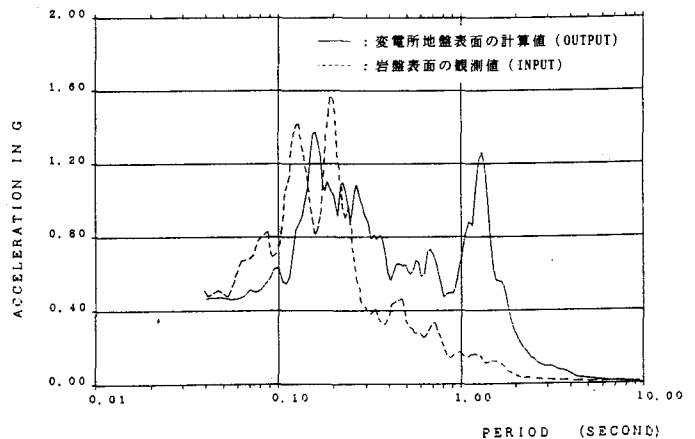


図-3 加速度応答スペクトル(減衰定数5%)

3. 電力系統の事故と復旧

(1) 系統の特徴

図-4には、今回の地震で被害を受けた釧路管内系統の代表的な2つの送電2次系統を示す。そのひとつは、道東幹線系から供給を受けていた宇円別一次変電所を起点とする宇円別2次系統である（以後、宇円別系統と呼ぶ）。もうひとつは、釧路北線から供給を受けていた東釧路一次変電所を起点とする東釧路2次系統である（以後、東釧路系統とよぶ）。×印は、遮断器によって通電が遮断され、系統が分離されていることを示す。2つの系統は、ループ構造となるところでいずれも系統が分離されており、常に1次変電所から放射状に広がる系統構成となっている。また、管内唯一の火力発電所である音別発電所は、無人のバックアップ発電所であり常時には稼働していない。通常は、負荷への供給を行う2次変電所として運用され、今回の地震においては、緊急用電源として稼働した。

(2) 系統事故の概要

57200戸（釧路管内：37050戸、帯広支店管内：19000戸、旭川管内：700戸、北見管内：400戸、苫小牧管内：50戸）に停電が発生した。このうち変電所などの電源停電（送電系統の損傷）による供給支障戸数が3630戸、配電線フィーダー故障（配電系統の損傷）による供給支障戸数が20900戸であった。

地震発生と同時に宇円別変電所の母線短絡および地絡を検知するリレー（継電器）が作動し、宇円別変電所が事故遮断した。これにより宇円別系統を構成している全変電所が全停となった。地絡と短絡は、地震による揺動でジャンパー線が鉄構に触れたことが原因で発生した（単一のジャンパー線が鉄構に接触すると地絡となり、複数のジャンパー線が鉄構に同時に接触すると短絡となる）。この宇円別変電所の全停が需要家に停電を引き起こした主な原因となった。

送電線路においては、地震時に短絡して事故遮断した線路があったが、遮断器が自動再閉路してすぐに（1分以内）送電を再開した。送電線は、設置環境が過酷であるため地震以外の要因によっても地絡、短絡がときどき発生する。送電線路に発生する地絡、短絡は、設備自体に損傷を生じさせないことが多いので、事故遮断後、自動的に遮断器が再閉路するようにシステム化されている。これに対し、変電所内の遮断器が事故遮断した場合には、自動再閉路するようにはなっていない。

(3) 系統の復旧

電力系統の復旧は、①系統切り替えによる復旧②設備修理、交換による復旧とに大きく分けることができる。系統切り替えによる復旧では、遮断器や断路器のつなぎ変えにより需要家への供給支障量を減少させる。今回のケースでは、①の復旧により、送電系統の供給支障（電源停電）をすべて解消させることができた。

地震直後、宇円別変電所の母線短絡により宇円別系統を構成しているすべての2次変電所は全停となった。この後すぐ（1分以内）、系統の境界に位置する変電所は、自動受電切り替え装置の作動により、他系統からの受電に切り替えられ、供給を再開した。

その後、各変電所の内部では、目視点検が行われ、異常の有無を確認すると段階的に系統の切り替えを繰り返し、供給を再開していった。

需要家への被害を小さく抑えるために、大口需要家である十條製紙、本州コーポレーションへの供給が契約に基づき制限された。この負荷制限が解除された15日22時45分に、送電系統の供給支障は解消された。

東釧路系統では、事故直後、東釧路変電所内の遮断器がトリップしなかったため、系統全体に被害が波及すること（系統全体が全停となる）はなかった。ただし、東釧路変電所内の2つの連絡用変圧器から漏油が発見されたため、両変圧器が機能停止し、東釧路変電所の供給電力量は、大幅に制限された（東釧路変電所は、3つの連絡用変圧器を有している）。このため、緊急用バックアップ電源である音別発電所を稼働させ、東釧路系統の2次変電所の一部を宇円別系統に取り込み、需要家への供給には支障を出さないような処置がとられた。

この後も①と②の復旧が継続して行われすべての需要家の供給支障が解消されたのは、24時間後の16日20時6分であった。図-5には、送電系統の供給支障量の経時変化を示す。

4. おわりに

本報では、1993年釧路沖地震で被害を受けた釧路管内系統の電力施設を現地調査し、検討した結果を述べた。変電所における変圧器の滑動は、旧設計基準の設計震度以上の加速度が作用したためであると結論づけられる。また、地震直後の系統切り替えの様子を調査することにより、供給支障を抑えるために効果的であった要因としてつぎの点が指摘できる：①復旧程度に応じて段階的に系統を切り替えた②2次系統の非常用ガスタービン発電所が作動した③自動切り替え受電装置が作動した④大口需要家へ負荷抑制を行った。

参考文献

- 1)井上、澤田、岩楯ほか：1993年釧路沖地震被害調査報告、電力中央研究所調査報告U92047、1993.5.
- 2)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 JEAG5003-1980」1980.
- 3)佐々木ほか「1993年釧路沖地震の加速度波形の特性について」第22回地震工学研究発表会(135)、1993.
- 4)朱牟田ほか：釧路沖地震における電力施設の被害と復旧、第3回地域安全学会論文報告集、1993.5.
- 5)電気事業連合会：変電設備耐震対策特別委員会報告書、昭和54年7月.

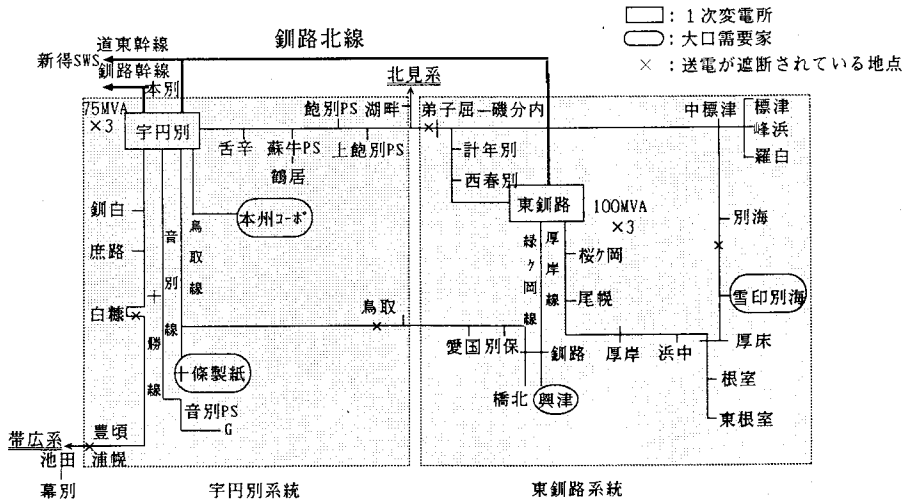


図-4 釧路管内2次系統図

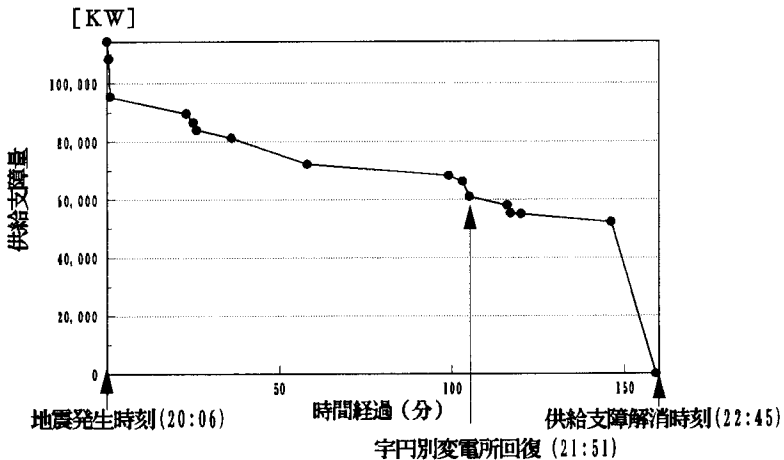


図-5 送電系統の供給支障量の推移