

豊岡河川国道事務所管内における ネットワークの冗長化について

加藤 優一¹・中村 晋輔²

¹近畿地方整備局 大阪国道事務所 防災情報課 (〒536-0004大阪府大阪市城東区今福西2丁目12-35)

²近畿地方整備局 滋賀国道事務所 防災情報課 (〒520-0803滋賀県大津市竜が丘4番5号)

豊岡河川国道事務所は兵庫県北部に位置し、高規格道路である国道483号に管理用のCCTV等を設置し、道路管理に利用している。これらの機器は、光ケーブルを用いた大きな1つの円を描くネットワークを介して事務所と通信している。そのため、災害等で障害が発生した場合に国道483号のネットワーク上にある全ての機器が影響を受けることとなる。本稿では、上記のように災害に対して脆弱な現状のネットワークに対して、冗長性を高めることで災害に対して強靱なネットワークの構築を検討する。

キーワード 光ケーブル、冗長化、防災

1. はじめに

(1) 国道483号の概要

国道483号は、兵庫県丹波市春日町から兵庫県豊岡市上佐野を結ぶ全長約61kmの高規格道路で、その管理は豊岡河川国道事務所が行っている。但馬地域と京阪神の連携を強化する役割を持ち、また災害時には周辺道路の代替路としての役割もあり、但馬地域における国道483号の重要性は大きい。平成17年の春日和田山道路の開通より現在でも延伸が行われ、県が整備を推し進める山陰近畿自動車道との接続も計画されている。兵庫県の北部に位置するため比較的降雪量は多く、冬期は雪害体制を敷くなど雪害の影響を受けることも多い。また山間部を通るため、橋梁やトンネルなどの土木構造物が多く、道路管理上監視する箇所が多くCCTVなどの設備多く存在する。

(2) 但馬地域の環境

前述のとおり国道483号は、兵庫県の北部、日本海側に位置し、また海から山までの距離が比較的近い。日本海側の特徴的な気候として、雨雲が発達しやすく夏期は雨、冬期は雪が多くそれらに加え、年間を通じて落雷が多く、但馬地域でも同様の特徴が見られる。図2,3は夏季及び冬季における落雷日数を表したヒートマップである。兵庫県北部では、比較的頻度が高い黄色または橙色で表されており落雷の影響を受ける頻度が高い。

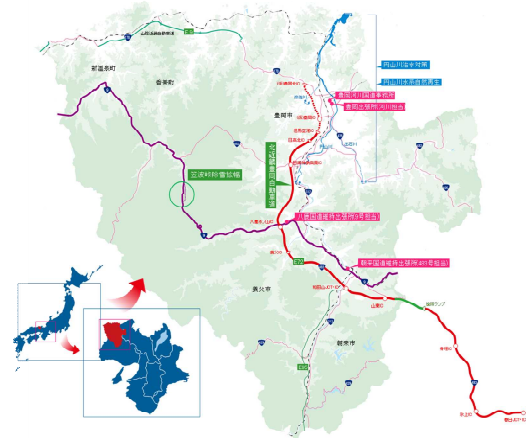


図1 豊岡河川国道事務所の管内図

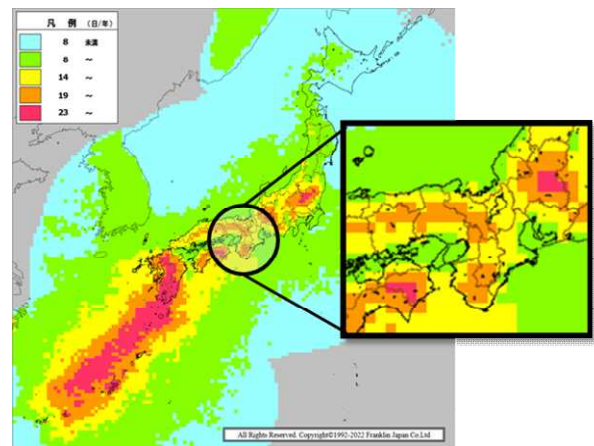


図2 夏季の落雷日数マップ

<https://www.franklinjapan.jp/raiburari/data/1355/>
を一部編集

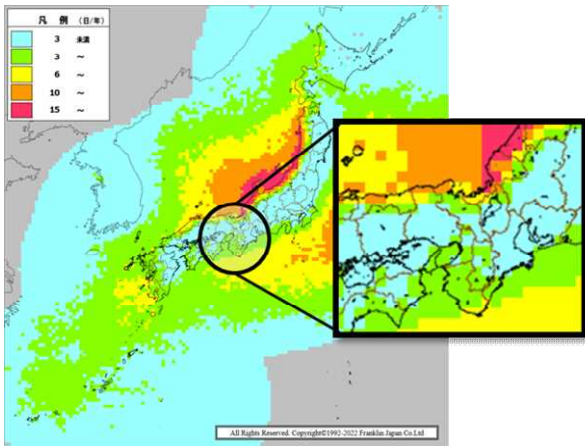


図3 冬季の落雷日数マップ

<https://www.franklinjapan.jp/raiburari/data/1347/>
を一部編集

(3) 雷害

雷が持つエネルギー量は、通常設備を稼働させるために必要なエネルギー量と比して、非常に多い。雷が直撃する直雷、落雷による電磁界の変化で生まれる誘導雷による、莫大なエネルギーが電気回路に流れ、回路が焼けるといった被害が、設備が受ける雷害として代表されるものである。直雷に対しては周囲に避雷針を、誘導雷に対しては設備の一次側に避雷器（以下「SPD」とする）を設けることが対策としては一般的である。

2. ネットワークについて

(1) ループを構成するネットワーク

データ通信を行うネットワークにおいて、データの送信または受信、その両方を行う設備をノードと呼び、ノード同士をつなぐ伝送路をリンクと呼ぶ。PCやネットワーク装置、CCTVのような設備がノードにあたり、LANケーブルや光ケーブルがリンクにあたる。ノードの内、別のネットワークとやり取りを行うようなノードを特にゲートウェイ（以下「GW」とする）と呼ぶ。円環状のループを構成するネットワークの特徴として、一つのネットワークにつき一つのノードの故障まで耐えうるようになっている。図4のように、平時では、どちらか一方の定められた方向でデータのやり取りが行われる。あるノードが故障した際には、故障したノードから見てGWと反対側にあるノードから逆方向でデータのやり取りが可能のため、故障していない全てのノードは健全に通信が可能である。

図5のように二つのノードが故障した際には、故障し

たノード間にある故障していないノードは、いずれの方向でもデータの送受信はできず、ネットワーク的に孤立しているため通信ができない。

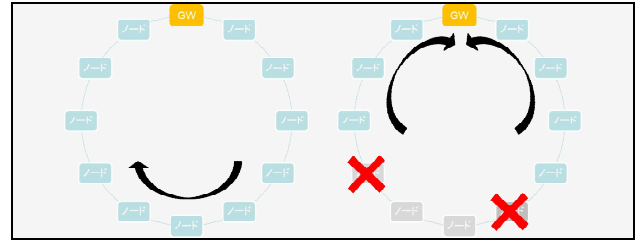


図4 平時のネットワークの挙動（左）

図5 故障時のネットワークの挙動（右）

(2) 国道483号の現況

国道483号では、CCTVをはじめ気象観測設備や融雪設備など数多くの設備を整備している。図6は現在の国道483号のネットワークを模式的に表したもので、設備をノードとし、光ケーブルで数珠繋ぎのように、大きなひとつの「円」を描きながらすべての設備を接続するような形でネットワークを構築している。この大きなネットワークは、国道483号を管轄する朝来国道維持出張所をGWとし、国道9号、円山川を経て、図上部にある丸印が表す事務所へとデータが届けられる。

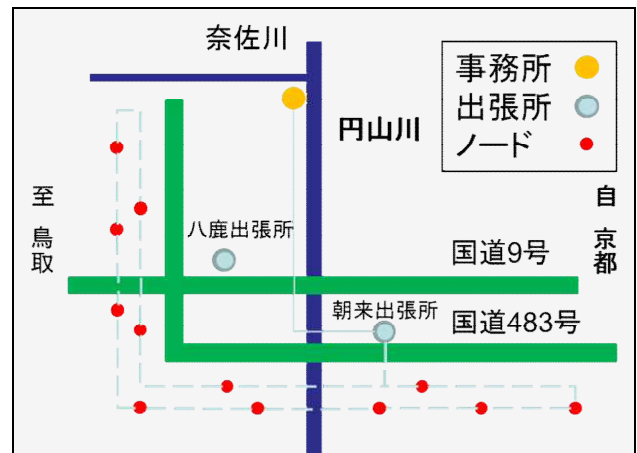


図6 国道483号のネットワークを模式的に表した図

(3) 雷害による被害と課題

前章でも述べたとおり、但馬地域では落雷が多く、その影響を受けやすい。雷の多い季節では、雷害による直接の被害のほか、電気事業者が落雷の影響で停電するといった間接的な被害を受けることもある。直雷の被害を受けることは少ないため、避雷針を設ける設備は少ないが、誘導雷対策として、ほぼすべての設備にSPDを設けており、加えて無停電で稼働する必要がある設備には無停電電源装置（以下、「UPS」とする）を設けて対策を行っている。対策を行った効果は一定程度あるものの、想定より大きな電流が流れた場合はSPDも対応できない

場合もあり、またUPSも精密機器であるため落雷により動作が止まる事もあるなど完全に雷害をなくすことは難しいのが現状であり、対策を行っていても雷害で設備は止まるものとして、その影響を減らすことを考える必要がある。

昨年度も夏に落雷による影響でネットワーク障害が発生した。図7は当時の様子を模式的に表しており、「×」のついたノードに障害が起き、停止していることを表している。停止したノードの間にあるノードがGWと通信出来ず孤立していることを表している。当時の状況は、融雪設備用のネットワーク設備が2箇所同時に停止している状況で、北側の設備を中心に大部分と疎通がとれなくなり、ネットワークとして機能しなくなるという事例であった。落雷の影響でUPSが停止し、2箇所同時に障害が発生したため、大規模なネットワーク障害になった。ネットワーク上のGWに近い2箇所で障害が発生したため、その影響範囲が広がってしまった。このような事例は、年に数回発生しており、災害時に限らず、平時においても大部分の設備が利用できなくなるという状態は、道路管理上問題である。そのため但馬地域における重要度の高い国道483号のネットワークには、障害発生時においてもその被害を最小限にし、ネットワーク全体として利用できる状態にすることが求められる。

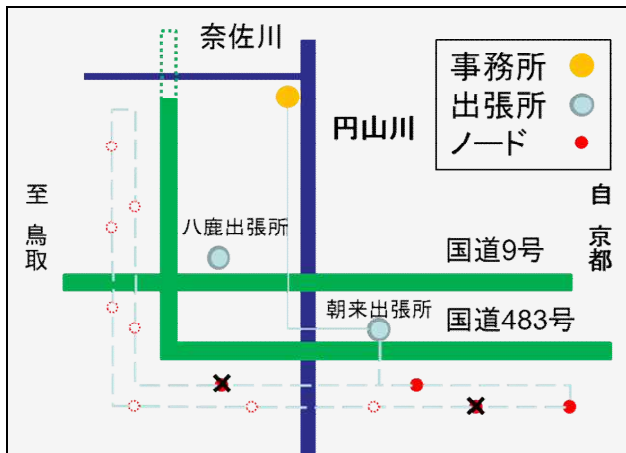


図7 障害発生時の影響を模式的に表した図

(3) 豊岡河川国道事務所管内の将来系ネットワーク

前節では、但馬地域の特性に触れつつ、国道483号のネットワークの現況と事例について述べた。ここでは少し視点を広げ豊岡河川国道事務所管内のネットワークの将来計画に触れる。

図8は管内の光ネットワークの現況を表しており、事務所から9号、483号の2路線、円山川、奈佐川、出石川の3川にそれぞれ繋がっており、その全ては円山川を経由して接続されている。特に、水害や地震等によって円山川が事務所より上流側で破堤した場合、図9で表しているように、光ケーブルの切断により全ての道路管理設備と通信が不可能になる。これは災害時の道路管理上非

常に問題である。そこで、国道483号の点線で表した今後延伸計画のある区間を利用し、奈佐川と接続することで広域の迂回路が形成でき、管内全体としてネットワークの冗長化が可能となる。

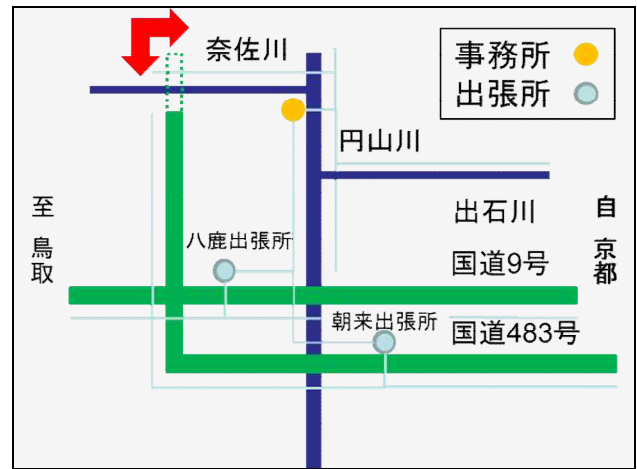


図8 現在の豊岡河川国道事務所管内の光ネットワークの系統図



図9 円山川が破堤した場合の影響図

3. 冗長化の手法

(1) 冗長化とは

ネットワークの構造を踏まえ、国道483号におけるネットワークは障害に対して弱い面があるということ、管内のネットワーク計画などをここまで述べてきた。ここでは、その脆弱性を解消するためにネットワークに冗長性を持たせる方法について将来計画を踏まえ考える。ネットワークにおける冗長性とは、ノードやリンクを複数設けることで、設備の故障や障害、その他の要因による影響を受けたとしてもネットワークを安定して使用できる状態を指す。「設備の冗長化」「ルートの冗長化」が

主な手法である。

(2) 手法

a) 案1 分割化

案1の「分割化」は、ループに対してGWがひとつであることを踏まえ、GWの数を増やし、ループの数を増やす案である。ひとつのループあたりのノード数が減り、障害発生時に影響を受ける可能性が減ることが期待される。図10は案1を模式的に表し、朝来出張所をGWとするループ、奈佐川から迂回するループのふたつのループを構成している。それぞれのループが独立することで、一方のループで障害が発生した場合でも、他方には影響を与えないため影響を受けるノードの数が半分になる。

奈佐川から迂回するループに取り込むノードに対しては、GWを朝来出張所から変更する設定変更等の作業（システムインテグレーションと呼び、以下「SI」とする）を要し、その対象数は相当数になる。また奈佐川まで延伸する計画はあるものの、未だ計画段階であり、この案を実現するには時間を要することとなる。

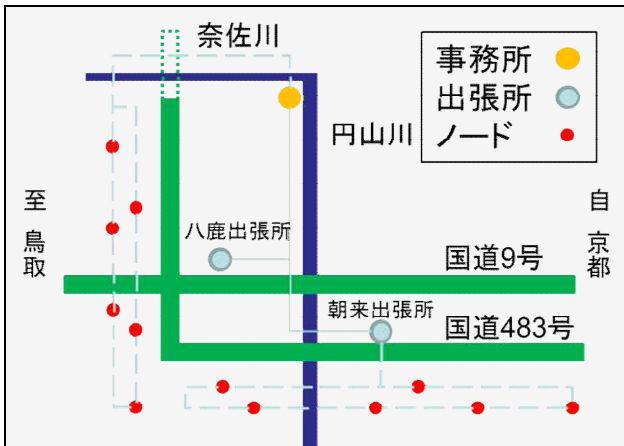


図10 案1「分割化」を模式的に表した図

b) 案2 メッシュ化

案2の「メッシュ化」は、「網目」を意味するメッシュを冠するように、網目状にネットワーク構築するものである。2つのループを相互に接続し、ネットワーク全体としてGWを二つもち、さらに迂回路が複数できることでより冗長性を高める案である。図11は案2の「メッシュ化」を模式的に表した図である。案1の「分割化」でループを分けたことに加え、2か所で相互に接続し、迂回路を設けている。平常時には独立したふたつのループとして動作し、障害が発生した際には迂回路を使用し継続して通信が行えるようになるため、より安定して運用することができる。

全てのノードに対して迂回路を設定するSIが必要となり、その数は相当数になるとともに、その実現には延伸を待つ必要があり、時間を要するという難点があるが、ネットワーク全体の冗長性は最も確保することができる。

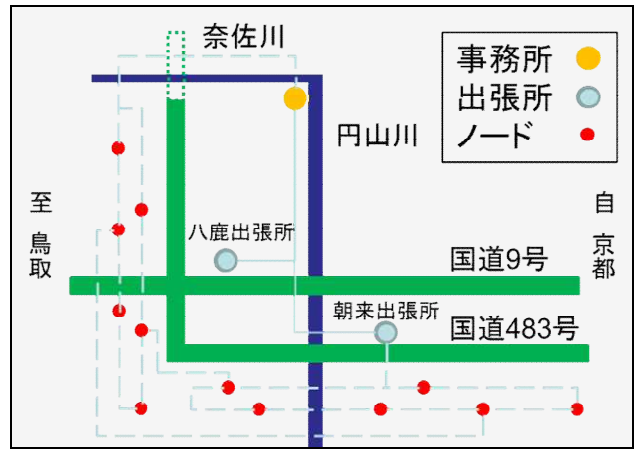


図11 案2「メッシュ化」を模式的に表した図

c) 案3 分散化

案3の「分散化」は、すべてのノードがひとつのループに同列の扱いであることを踏まえ、ひとつのループの規模を小さくする案である。常時使用する設備、非常時にも稼働させるべき設備、冬季のみ使用する設備など、設備毎に重要度、使用頻度は異なり、それぞれの設備で求められる管理レベルは異なる。図12は案3の模式図であり、小さなループを複数構成し、それらを大きなループで接続する形になっている。トンネル電気室などの常時稼働が必要な管理レベルの高い設備を小ループのGWとして大ループを構成し、小ループを電気室ごとに近いその他の設備で構成し、ノードを分散、ループの規模を小さくしている。小ループは独立しているため、それぞれの小ループで発生した障害は相互に影響を与えないほか、大ループを構成するノード数が減ることで故障の発生確率が減るためネットワークとしての安定性が増す。

この場合、小ループを構成するノードでSIが必要となり、前項にあげた案2よりコスト面で若干抑ええることが出来る。またこの案の場合、奈佐川までの延伸を待たずして施工することができる点、一括で行う必要が無く、徐々に移行する事が出来る点でも優れている。比較的速やかに取り組むことが出来る案であり、現実的といえる。

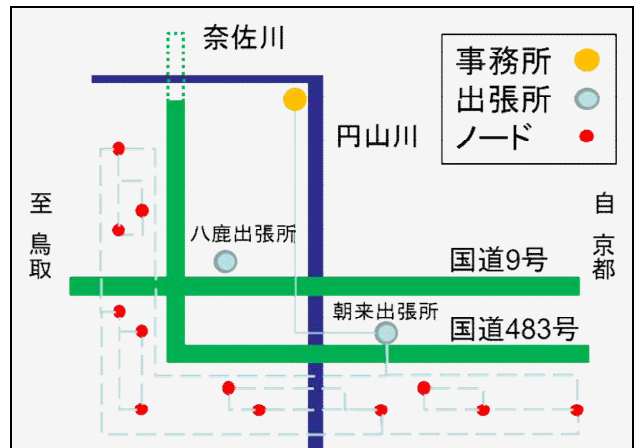


図12 案3「分散化」を模式的に表した図

4. さいごに

本稿では、但馬地域の特性、管内のネットワーク計画などに触れつつ、国道483号のネットワークに問題があることを確認し、それを解消するための案を述べてきた。3つの案をあげそれぞれの特徴、メリット、デメリットを述べ、案2が最も冗長性を確保することがきるが、案3が早期に冗長化を図れる上、現実的なものである。このことから、まず案3による対策を実施し、延伸と併せて案1による対策を実施、最後に案2のネットワークの構築を提案する。

しかし、ここまで述べてきたのは論理的な構造の観点からのみネットワークの冗長性を考えてきた。物理的に同じ場所を光ケーブルが通るなど、論理的な冗長性を確

保出来ていたとしても、実際にはそのとおりに冗長性が確保できるとは限らない。また、データが迂回する際の容量、伝送距離を考慮していない。運用に耐える容量があるかどうかなど、実際に設計、施工する際には十分な検討と確認が必要である。

本論文は著者の前任地である近畿地方整備局豊岡河川国道事務所、国道483号におけるネットワークの脆弱性の解消について行った検討内容をまとめたものである。

謝辞：「豊岡河川国道事務所管内におけるネットワークの冗長化について」の取組でご協力いただいた関係者の皆様に感謝申し上げます