

熊本地震により被災した桑鶴大橋の復旧について

熊本復興事務所 工務第二課 ◎福原 茂
○嶋田 智大

1, はじめに

熊本市～阿蘇郡高森町を結ぶ主要地方道「県道 28 号熊本高森線」の道路構造物は、平成 28 年 4 月に発生した熊本地震により大きな被害を受け、現在も復旧工事が進められている。本区間の橋梁及びトンネルの復旧に当たっては、国土技術政策総合研究所及び土木研究所と復旧検討会議を行いながら工事を進めており、今回、復旧事例の少ない斜張橋の復旧の中でも国内初の事例である吊ケーブル交換について検討した内容を報告するものである。



図1 位置図

2, 桑鶴大橋の概要

支間長：L=0.2m+0.40m+99.4m+
59.4m+0.45m+0.15m=160m
上部工形式：鋼 2 径間連続斜張橋
下部工形式：逆 T 式橋台、鋼製橋脚
架設年次：平成 10 年 3 月
適用示方書：平成 6 年道示
平成 2 年道示

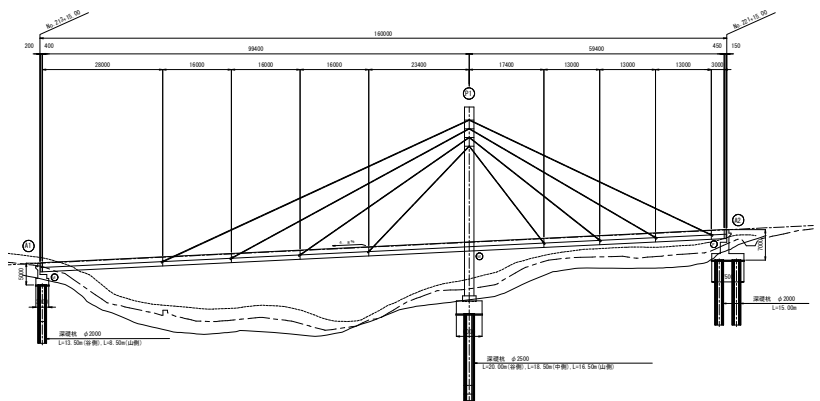


図2 側面図

3, 被災状況

3.1, 震災直後の調査により確認された被害

震災直後の状況調査を行った結果、写真1のような橋面の段差や桁の水平移動、写真2,3のようなケーブルのよれや抜けなど、通行不能となるような大きな損傷が確認された。



写真1 橋面状況



写真2、3 ケーブルのよれ・抜け

3.2, 現地詳細調査により確認された被害

3.2.1, 地盤の移動による橋梁の変位

桑鶴大橋は断層帯の北側に位置し、震災直後の状況調査からも地震による断層の動きに伴い、橋梁自体の移動が懸念されていた。周辺地盤の動きを確認するため直近にある既設の三角水準点「桑鶴」の移動量を実測した結果、北側方向に約 1.4m ずれていることが確認された。



図3 水準点の移動量

また、桑鶴大橋周辺の用地幅杭の移動量を確認したところ、全体的に地盤が北側方向に約 1.0m ずれていることが確認された。

桑鶴大橋周辺の地盤は、今回の一連の地震により大きく移動していることは事実であるが、建設当時の基準点も一緒に移動していることから、実際の下部工構造の移動量については、地震後の計測結果を基に設定を行った。

下部工構造の移動量を把握するため施工完了時の図面を基に、P1 橋脚を基点とし、A1、A2 の橋台位置を計測した結果、A1 橋台は北方向に約 35cm、A2 橋台は約 85cm 移動していることが確認された。同様に、上部工の移動量は下部工との相対移動量で算出した結果、A1 橋台上部は移動無し、P1 橋脚上部は橋軸直角方向（谷側）に約 99cm、A2 橋台上部は橋軸直角方向（谷側）に約 85cm 移動していることが確認された。

また、上部工は P1 橋脚 G1 桁（谷側）で約 2cm、G2 桁（山側）で約 15cm、A2 橋台 G1 桁（谷側）で約 63cm、G2 桁（山側）で約 39cm 浮き上がっており、上部工の傾きも確認された。

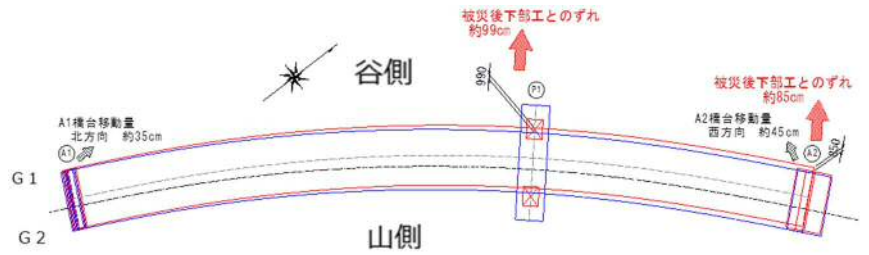


図4 上下部工の移動

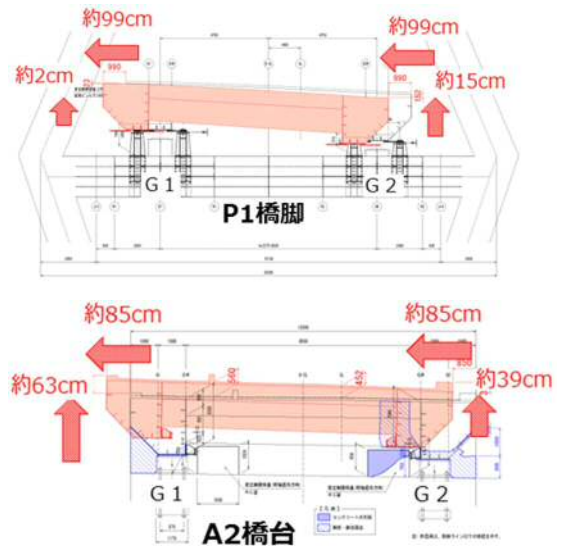


図5 桁の浮き上がり

3.2.2, 斜材ケーブルの損傷

現地詳細調査に当たって、直接目視の難しい高所の損傷状況については高所ロープ作業にて近接調査を実施し、写真4のように、ケーブルの被覆材に損傷が確認された。この損傷は、地震動により近接する照明灯との接触によるものと見られるが、ケーブル内の素線破断までは確認されなかった。

ケーブルは、図6のように素線にねじりを入れて作製されており、地震直後の調査で確認された「よれ」については、ケーブル内の素線が一部破断したことに伴い発生したと推測できる。



写真4 ケーブルの損傷状況

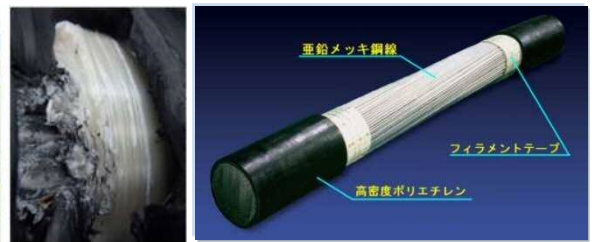


図6 ケーブル構造

4, 復旧方法

4.1, 復旧内容

復旧方針については、九州地方整備局、熊本県、国土技術政策総合研究所、土木研究所で構成する熊本地震道路復旧検討PTを開催し、対策内容について検討を行った。復旧検討PTは、損傷状況の把握、被災メカニズムの分析等を実施し、適切な補修工法及び施工計画を検討することを目的として組織されており、今回の桑鶴大橋のような上部工の移動及び国内初となるケーブルの取替えの方法、主桁及び主塔に発生する応力度、並びにケーブル張力を計測しながらの施工

等、特に高度な技術を要する復旧方法について検討を行った。検討結果を以下に示す。

4.2, 復旧方法

P Tで検討した復旧方法のうち、特徴的なものは主桁の移動、ケーブルの補修である。

主桁の移動は地盤変動により移動した下部工の影響で、支承から逸脱しており下部工に荷重を伝えるという橋梁としての構造が保たれていないため元に戻す必要がある。

また、目視点検によって「よれ」の確認されたケーブルは素線が破断している可能性があるため交換することが望ましいと判断した。1 段目、2 段目（起点側・終点側）の計 8 本は「よれ」や被覆材の損傷が確認されており、1 段目、2 段目のケーブルはすべて取替え、3 段目、4 段目のケーブルは損傷が確認されなかったため張力調整を行い再利用することとした。

4.3, 復旧手順の検討

復旧計画を定めるにあたり、動的解析等により復旧の目標となる状態は解析上確認した。なお、施工内容は「主桁のベント支持」、「ケーブルの張力を解放」、「主桁の縦断方向の変形を是正」、「主桁の横移動」、「ケーブルの復元」、「ケーブル支持点の削除」、「ケーブル張力の調整」等があり、その施工手順は複数のケースが考えられる。ケーブル張力調整が複数回必要になる等の復旧時の問題が発生するケースもあるが、以下の 2 ケースの比較を行った。

ケース 1：主桁応力度を極力無応力にすることと、主桁やケーブルも含めて完成系応力度状態に戻すことを優先した案。

(主桁の鉛直変形是正→主桁の横移動→ケーブル交換→張力調整→ベント撤去)

ケース 2：ベントによる不確実な影響を極力排除することを優先した案。

(主桁の横移動→ケーブル交換→ベント撤去→主桁の鉛直変形是正→張力調整)

各ケースの復旧ステップ毎に想定されるリスクを比較し、復旧ケースを決めるものとした。各ケースにおける復旧ステップを図 7 及び図 8 に示す。

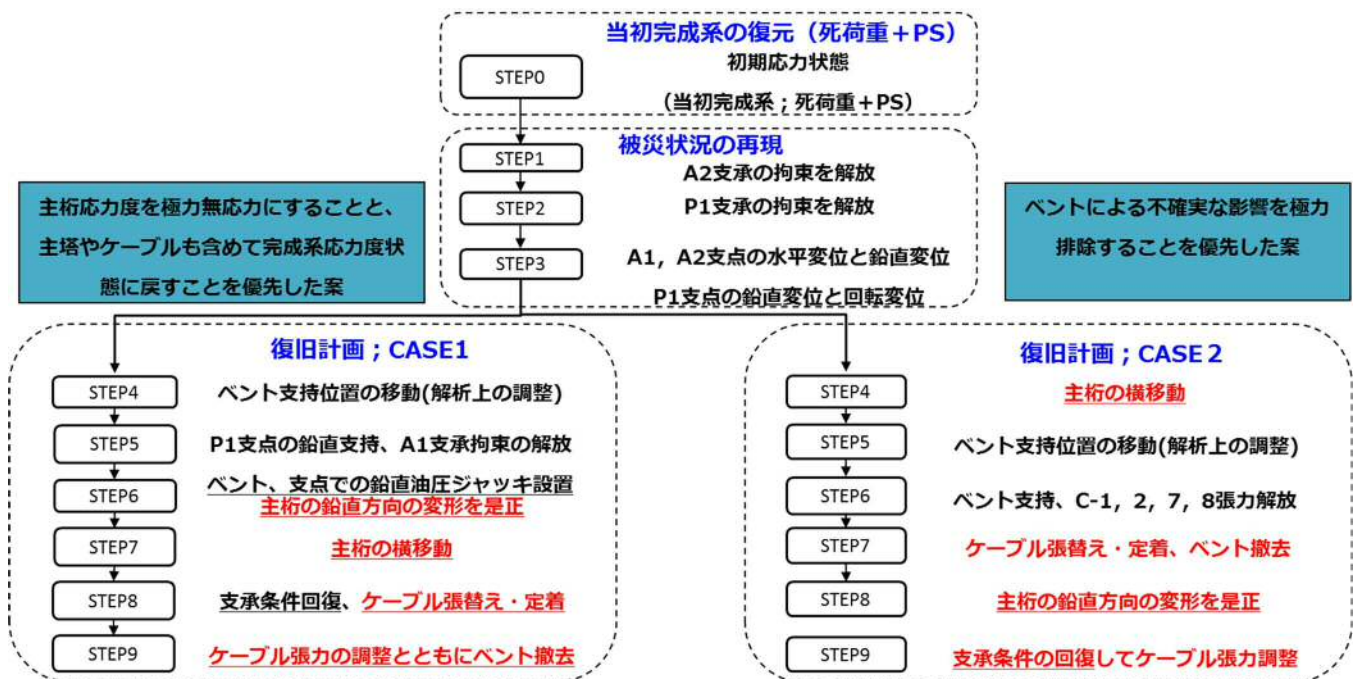


図 7 復旧ステップ

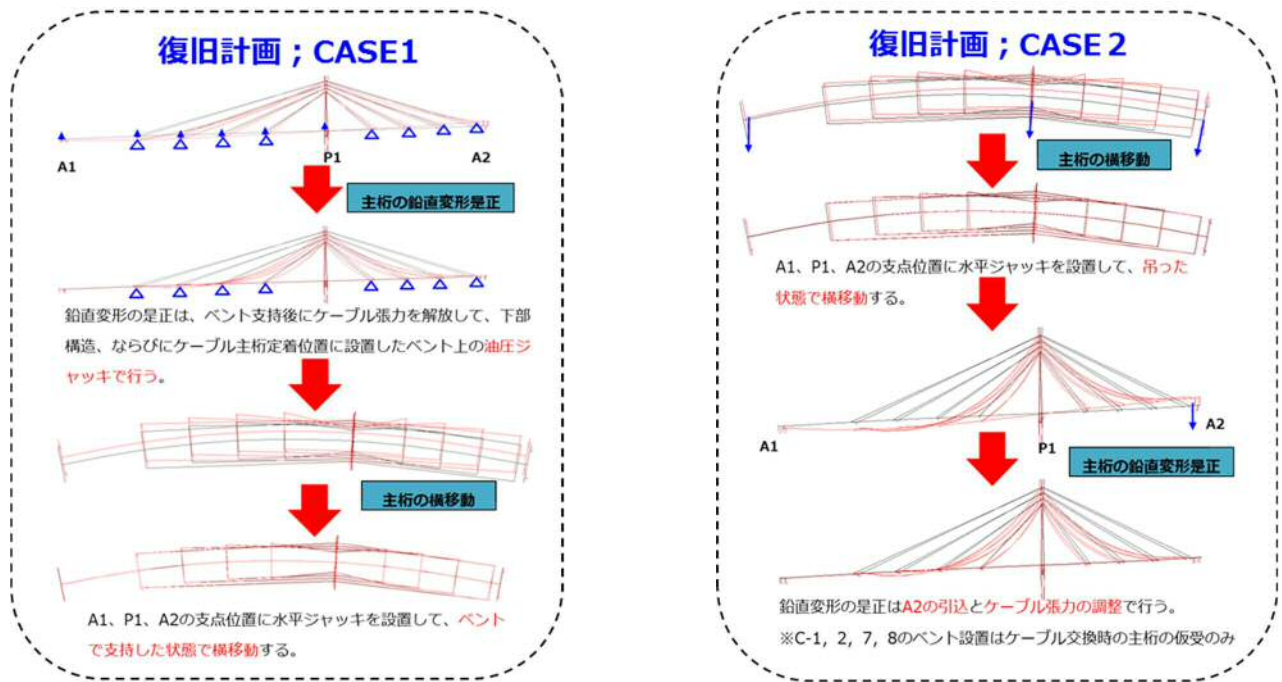


図8 復旧ステップ図

4.4. 総評

検討の結果、復旧課程において問題となる応力度の増加は両ケース共に確認されないが、ケース1では、主桁の横移動時にベント支持点が多数あることで、解析では考慮されないベントの摩擦による影響が不確定要素となり、完成形と同等の力の釣り合い状態や応力状態に戻せないリスクがある。

一方、ケース2ではケーブル張力調整前にベントを撤去するためベントの摩擦による不確定要素が少なく、架設中や架設後の応力度確定に関する信頼性が高い。

よって、ケース2の復旧ケースを採用する。

5. 施工上の留意点

採用した復旧ケースはあくまでも解析上の結果であり、実施工時にはケーブル本体及び定着部の耐力を超えないような張力導入と応力等の管理が必要と考えられる。

なお、本橋の復旧方針は、主桁を当初設計（被災前）における縦断・平面形状に戻すことで、主桁断面力が当初設計と同等となるという考えに基づき設定されているため、主桁の出来形管理が最重要項目となる。

また、復旧後の妥当性確認や各施工段階における安全性確保、各施工段階における復旧検討の再現性確認について確認するために、各部材について計測を行うことが重要である。

6. おわりに

本橋の復旧は本論にて述べた復旧方法を現在も鋭意作業中であり、特殊な解析により復旧方法を定めており、応力やケーブル張力等の解析上の数値と実施工に乖離が生じることがないとも限らない。断層付近に建設された曲線橋かつ不等径間という特徴的な斜張橋である本橋の復旧作業は、特にケーブルの張り替え等、事例が少ない。本論の検証としても、実施工時の観測を続け、確実な復旧方法の確立に役立てたい。本論が今後の橋梁補修検討の一助となれば幸いである。