

橋の早期復旧を図るための鋼 I 桁橋支点部構造の破壊形態に関する研究

国土技術政策総合研究所 熊本地震復旧対策研究室 正会員 ○田中 謙士朗

国土技術政策総合研究所 熊本地震復旧対策研究室 正会員 西田 秀明

国土技術政策総合研究所 熊本地震復旧対策研究室 正会員 宮原 史

1. はじめに

平成 28 年熊本地震では、地震動だけでなく斜面崩壊等による地盤変状の影響も伴って、道路橋の上下部構造間に大きな相対変位が生じ¹⁾、橋の機能回復に長期間を要した事例があった。これを踏まえ、筆者らは地盤変状に伴って想定を超える外力が橋に作用し上下部構造間に大きな相対変位が生じた場合でも、橋の機能回復に及ぼす影響をできるだけ小さく留めることができる橋の破壊形態として、支承部に破壊を誘導する形態を選定し、この破壊形態が一定の信頼性を持って実現する設計の考え方について検討を行っている。

本報では、この一環として行っている、支承よりも先に上部構造支点部が破壊しない構造設計の考え方の確立に向けて、ゴム支承に支持された鋼 I 桁橋を対象に、支点部構造や外力の入力方向（載荷方向）の違いが支承及び支点部の破壊形態に及ぼす影響について解析的に検討した結果を示す。

2. 解析モデルおよび解析条件

対象とした橋梁は、橋長 128m の 3 径間連続非合成鋼 I 桁橋であり、積層ゴム支承に支持された上部構造のみをモデル化の対象範囲とした。作成したモデルを図-1 に示す。着目する支点は A1 支点と P1 支点とし、支点上の主桁、横桁、支点上補剛材、補強リブは弾塑性シェル要素で、その他の鋼

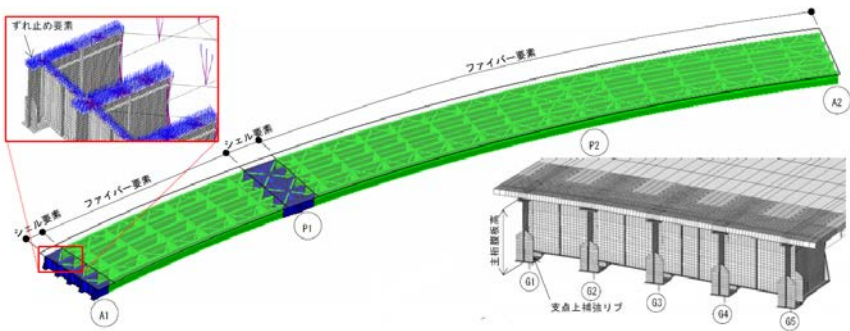


図-1 解析モデル

表-1 解析ケース

	支点上補強リブ高	載荷水平力が A1 支承線となす角度
①	主桁腹板高の 1/2	0°
②	主桁腹板高	0°
③	主桁腹板高の 1/2	約 10°

部材は弾塑性ファイバー要素でモデル化した。なお、弾塑性シェル要素でモデル化した範囲は横構が主桁腹板に取り付く補強リブ位置までとした。床版は全範囲を弾塑性積層シェル要素でモデル化した。なお、床版と主桁の接合部は設計では非合成として扱っているが、本解析ではスラブ止めの挙動を模擬するずれ止め要素を用いて水平方向の力に抵抗する水平ばねと鉛直方向の力に抵抗する鉛直ばねでモデル化し^{2), 3)}、より実際の挙動に近づけられるよう合成効果を適切に考慮した。ゴム支承は線形ばね要素でモデル化し、ソールプレート範囲は剛梁拘束、支承ばね要素の下端側は完全固定とした。材料構成則は、鋼材は等方硬化則（ひずみ硬化係数 E/100 のバイリニアモデル）を、コンクリートは等方性の損傷モデルを適用した。

上述した解析モデルに対し、各部材に死荷重を載荷したうえで、床版の全節点に対し G5 桁から G1 桁方向に水平力を漸増させた 3 次元有限要素解析を実施した。なお、解析ソフトには Abaqus を使用した。

解析ケースを表-1 に示す。支点上補強リブ高さ、外力の入力方向をパラメータとした 3 ケースについて解析を実施した。

3. 解析結果

本報では、以下、端支点部である A1 支点到に着目した結果を報告する。各ケースの G1 桁鉛直反力と水平変位の関係を図-2 に示す。なお、図-2 では、ゴム支承の 550%（破断ひずみ相当）及び 300%のひずみに相当す

キーワード 早期機能回復、耐力階層化、上部構造支点部、支承

連絡先 〒869-1404 熊本県阿蘇郡南阿蘇村大字河陽 3574 熊本地震復旧対策研究室 TEL 0967-67-2039

る変位も併記している。また、ここでいう耐力喪失とは、主桁腹板や支点上補剛材が面外変形等で死荷重を支持できなくなる状態となることを指すものとする。いずれのケースも、耐力喪失はゴム支承の破断ひずみ相当の変位より大きくなってから生じており、最終的な破壊が支承に先んじて支点部で生じることはない結果となった。しかし、主桁腹板や主桁下フランジといった支点部を構成する一部の部材では、支承が破断ひずみに達するよりも前で降伏している。

水平力の載荷方向が等しく、支点上補強リブ高さが異なるケース①と②を比較すると、各損傷イベントは支点上補強リブ高さを主桁腹板高さの1/2としたケース①で先に発生している。また、主桁腹板の降伏の順序に着目すると、ケース①では支点上補強リブ位置の主桁腹板の降伏が先行する(図-3)のに対し、ケース②では支点上補剛材位置の主桁腹板の降伏が先行する(図-4)。この理由として、ケース①では主桁腹板高さの1/2とした支点上補強リブの上端に応力が集中することにより、比較的早く降伏応力に達したと考えられ、ケース②では支点上補剛材位置となる腹板の耐力が相対的に低くなるうえに、端支点上横桁からの水平力も働くことで降伏が先行したと推測できる。次に、支点上補強リブ高さが等しく、水平力の載荷方向が異なるケース①と③を比較すると、損傷等のイベントが発生する際の変位はほとんど同じであるが、耐力喪失はA1支承線と平行に載荷したケース①がケース③に比べて小さな水平変位で生じていることがわかる。

4. まとめ

本検討で実施した3ケースの解析では、支点部構造や外力の方向によらず、支点部の耐力喪失がゴム支承の破断ひずみに先んじて生じることはない一方で、ゴム支承の破断ひずみに達するよりも前の段階で主桁腹板の降伏等が支点部に生じることや、降伏等が生じる順序が支点部構造により異なることが確認された。これらのことから、橋の機能回復に及ぼす影響をできるだけ小さく留めることができるように支承と支点部の関係を制御する観点からは、最終的な破壊状態にのみ着目して鉛直耐力力が保持できるかどうかだけではなく、ゴム支承の破断より前の段階での支点部の損傷等のイベントにも着目したうえで支点部の損傷が支承よりも先んじて生じないことを一定の信頼性をもって実現する設計法の検討が必要であるといえる。

参考文献

- 1) 国土技術政策総合研究所、土木研究所：平成28年（2016年）熊本地震土木施設被害調査報告、国総研資料No.967/土研資料No.4359、2017.3
- 2) 中島章典、溝江慶久：活荷重レベルにおける連続非合成桁の挙動に関する一考察、土木学会論文集、No.626/I-48、pp.163-172、1999.7.
- 3) Ollgaard, J.G., Slutter, R.G. and Fisher, J.W.: Shear Strength of Stud Connectors in Lightweight and Normal-weight Concrete, AISC Engineering Journal, 1971.4.

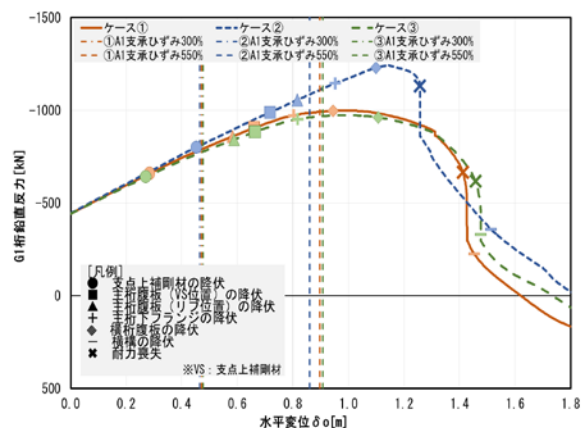


図-2 G1 桁鉛直反力-水平変位関係

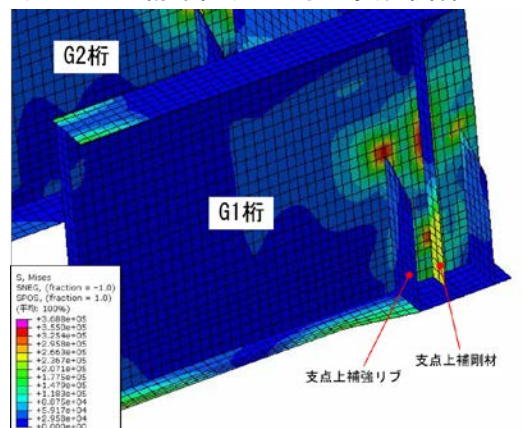


図-3 ミーゼス応力コンター図

(ケース①：主桁腹板（リブ位置）降伏時）

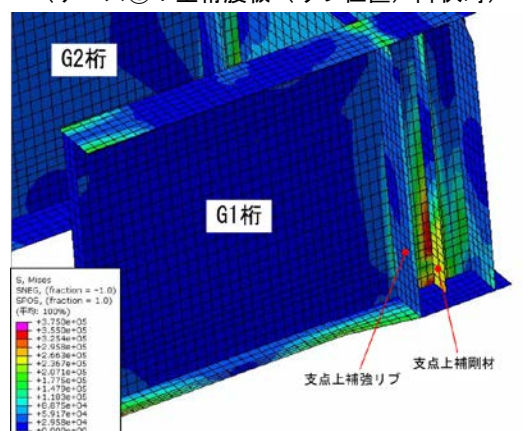


図-4 ミーゼス応力コンター図

(ケース②：主桁腹板（VS位置）降伏時）