

2016年熊本地震で損傷した南阿蘇橋・制震ダンパー取り付け部の被害分析

早稲田大学 学生会員 ○藤原 昌紀, 西山 聡一郎, 須田 郁慧
正会員 秋山 充良

1. はじめに

南阿蘇橋は、制震ダンパーの RC 製取り付け部に損傷が生じ、下流側では橋台から完全に取り外れている。南阿蘇橋は、これまでに 2 度の耐震補強が施されている。平成 10 年には落橋防止システムが設置され、平成 21 年にはレベル 2 地震動の照査を満足させるため、橋軸および橋軸直角方向にダンパーが取り付けられている。この 2 度目の耐震補強時には、平成 10 年に設置済みの落橋防止構造が妨げとなったため、制震ダンパーの取り付け部は橋軸直角方向の変位制限構造を兼ねる形で橋台支承部の横に据え付けられた。橋軸方向の震動を抑える制震ダンパーの RC 製取り付け部は、その設計時に、橋台上面と取り付け部の下面でのせん断破壊を想定した照査が行われている。しかし、実際には、その面で破壊しておらず、特に下流側では、アンカー筋の先端を含む面で押抜きせん断破壊を呈している。この原因としては、I) 桁が橋軸直角方向に震動し、変位制限装置を兼ねる RC 製取り付け部に衝突し、取り付け部を損傷させた、II) 橋台背面部が周辺の地すべりに巻き込まれる形で橋軸方向に押し出され、その途中で制震ダンパーに圧縮力が作用したが、取り付け部がその力に耐えられず、取り外れた、III) 桁が橋軸方向に震動し、ダンパーに作用した引張力に RC 製取り付け部が耐えられず、取り外れた、の 3 つのシナリオが考えられた。

本稿では、3 次元 FEM 解析によりこのような破壊形態となった理由を考察し、その被害分析を行う。

2. 有限要素法による 3 次元再現解析

解析に先立ち、その妥当性を検証するため、参考文献 1) に示される実験結果を参照した。これは、杭とフーチングの縁端距離に関する検討論文であり、南阿蘇橋と同じく、杭がフーチング外側に押し出される際、フーチング部に押抜きせん断破壊をもたらしている。南阿蘇橋の解析に先立ち、まず、この実験結果を概ね再現できる FEM モデルを検討した。なお、解析コードは、DIANA10.2 である。そして、この FEM モデルを南阿蘇橋の RC 製取り付け部に適用した。解析モデルを図-3 に示す。

設計段階で想定した保有水平耐力は橋軸方向で 975kN、橋軸直角方向で 1400kN であった。一方、FEM 解析では、橋軸方向は 1049kN、橋軸直角方向は 690kN の耐力が得られた。制震ダンパー取り付け部は隅角部に存在しているが、FEM 解析では、橋軸直角方向で図-4 の右側方向に力を作用させている。この場合には、取り付け部の背面に作用力に対して抵抗する鉄筋やコンクリートがないため、解析結果は設計値を大きく下回ったものと考えられる。

橋軸方向には、ダンパーに圧縮力がかかることを想定した力を与えており、1049kN とほぼ設計時の想定通りの結果が得られている。橋軸方向でも、ダンパーに引張力が作用すると（図-4 の弱部方向）、橋軸直角方向と同様の小



図-1 南阿蘇橋



図-2 南阿蘇橋被災状況

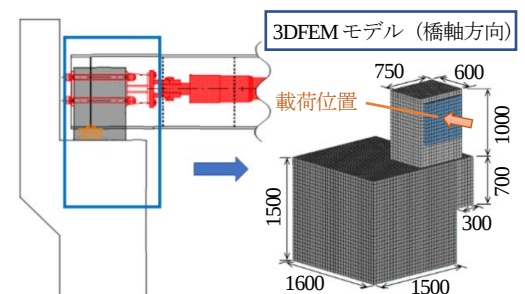


図-3 解析モデルの一例

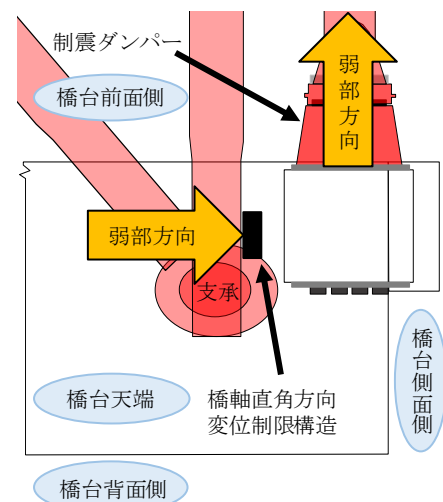


図-4 弱部方向模式図

キーワード 押抜きせん断破壊、せん断耐力階層化、制震ダンパー取付け部、FEM 解析、アンカー筋埋込み長さ

連絡先 〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1 早稲田大学理工学部社会環境工学科 TEL: 03-5286-2694

さな保有水平耐力が得られたと思われる。何れの場合も、破壊が進行する面は、取り付け部と橋台天端の間とならず（図-5 の「設計で照査した破壊面」），図-5 に示す押抜きせん断破壊となった。

南阿蘇橋の周辺で得られた観測波を用いた動的解析や，図-2 に示されるように，制震ダンパー取り付け部の橋軸直角方向内側に桁衝突痕がみられたことから，制震ダンパー取り付け部は橋軸直角方向への桁と取り付け部の衝突により損傷した可能性が高い。ただし，ジョイント部の損傷や本橋周辺の地すべりの様子から，橋軸方向への橋台の移動も考えられ，今後も継続した検討が必要である。

3. ダンパー取り付け部の照査法の提案

現状は，制震ダンパー取り付け部の下端のみでせん断耐力照査が行われており，橋台部に生じた押抜きせん断破壊が想定されていなかった。耐震設計では，想定した破壊位置に想定した破壊モードを誘導することが極めて重要である。ここでは，ダンパー取り付け部と橋台部の耐力階層化を図り，確実に制震ダンパー取り付け部の下端に破壊面を誘導するため，以下の照査式を提案する（図-6）

$$P_d < P_M < P_{SI} < P_{S2} \quad (1)$$

$$P_d < P_{SI} < P_M < P_{S2} \quad (2)$$

ここに， P_d ：制震ダンパーの最大発現力， P_M ：制震ダンパー取り付け部の曲げ耐力， P_{SI} ：制震ダンパー取り付け部のせん断耐力， P_{S2} ：橋台部の押抜きせん断耐力，である。

式(1)か式(2)のいずれかの耐力階層化を行うことにより，制震ダンパー取り付け部のせん断耐力(P_{SI})が橋台部の押抜きせん断耐力(P_{S2})を上回り，破壊面を橋台部の押抜きせん断破壊から制震ダンパー取り付け部下端へと誘導できる。

4. パラメトリック解析

押抜きせん断破壊面は，制震ダンパー取り付け部のアンカー筋の埋込み長さに依存していると仮定し，埋込み長さ（設計時はアンカー径の 15 倍である 435mm）をパラメトリックに変化させることで，保有水平耐力と破壊面への影響を調べた。埋込み長さは，橋台拡幅部と同じ長さである 700mm，アンカー径の 30 倍である 870mm，解析モデルの下端までの長さ 1500mm の 3 条件とした。表-1 に解析結果の一覧を示す。橋軸方向・橋軸直角方向ともにアンカー筋が長くなるに連れて耐力の増加が見られた。また，橋軸方向の埋込み長さ 870mm 以上のモデルにおいては，破壊面が橋台部の押抜きせん断破壊から，設計時の想定である破壊面（図-5 参照）に誘導されたが，弱部方向となる橋軸直角方向では，制震ダンパー取り付け部下端への破壊面の誘導は困難であった。弱部方向の作用力を考慮すると，橋台天端の隅角部にダンパー取り付け部を設置することは，橋軸方向・橋軸直角方向の両方向の観点から望ましくない。

5. まとめ

本稿では，南阿蘇橋のダンパー取り付け部が 2016 年の熊本地震で被災した原因について解析的な検討を行った。南阿蘇橋では，橋台天端の隅角部に落橋防止構造を兼ねる形でダンパー取り付け部が据え置かれており，桁の衝突により生じた橋軸直角方向への水平力により押抜きせん断破壊が生じたと思われる。この破壊を防ぐためには，取り付け部と橋台の一体化を図るための大掛かりな補強が必要となるため，ダンパー取り付け位置として不適と言える。

謝辞 本稿の作成にあたり，九州工業大学 名誉教授 幸左賢二先生には，被害分析の過程で多くのご助言を賜りました。また，土木学会地震工学委員会性能に基づく橋梁等構造物の耐震設計法に関する研究小委員会（矢部正明委員長）より，南阿蘇橋の構造詳細など，多くの貴重な情報の提供を受けました。ここに記して謝意を表します。

参考文献 1) 宮脇祐太，幸左賢二，白戸真大，野々村佳哲：杭とフーチングの縁端距離に関する解析的検討，第 11 回地震時保有耐力法に基づく橋梁等構造物の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集，B3-2，2008。

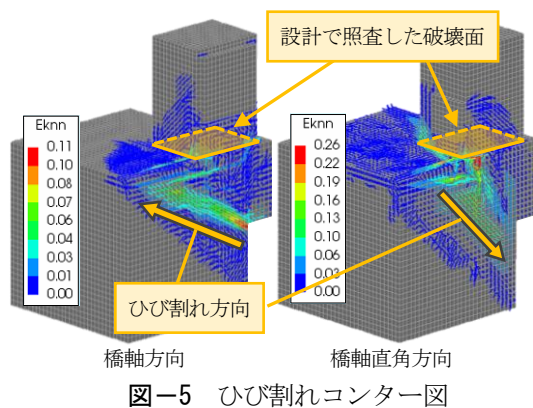


図-5 ひび割れコンター図

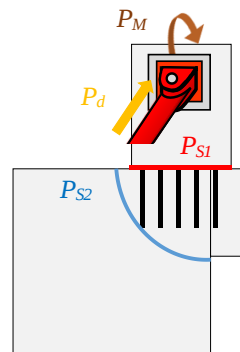


図-6 耐力階層化概要図

表-1 FEM 解析による保有耐力の比較

埋込み長さ(mm)	435	700	870	1500
橋軸方向耐力(kN)	1049	1353	1482	1496
橋軸直角方向耐力(kN)	690	874	976	1087