

端横桁の腐食損傷形状の変化による支点部の耐荷性能の解析的研究

Analytical investigation of bearing capacity around bridge end by considering the damage pattern of corrosion of end cross beam

(株)構研エンジニアリング ○正員 岩渕 直 (Sunao Iwabuchi)
 北見工業大学 工学部 正員 宮森保紀 (Yasunori Miyamori)
 北見工業大学 名誉会員 大島俊之 (Toshiyuki Oshima)
 北見工業大学 正員 三上修一 (Shuichi Mikami)
 北見工業大学 工学部 正員 齊藤剛彦 (Takehiko Saito)

1. はじめに

鋼橋の端横桁は、伸縮装置の漏水等により厳しい腐食環境にある。このため、端横桁は主桁の端部と同様に腐食による板厚減少が発生することが多い部位である。

一方、端横桁は隣接する主桁の支点を繋ぐ部材であり、一般に地震荷重などの水平荷重に抵抗する部材であるが、既往の研究では、鉛直方向荷重にも抵抗し支点部の沈下を抑制することが明らかにされている¹⁾。このため、端横桁に腐食による板厚減少が生じると、鉛直方向荷重への抵抗性能すなわち支点部の耐荷性能が減少し、荷重載荷時の支点部の鉛直変位が大きくなる。端横桁の腐食による板厚減少が支点部の耐荷性能に与える影響を解明することで、端横桁に腐食を生じた鋼橋の実際の支点部の耐荷性能が明らかになることが期待される。特に、一部の市町村道では、利用者が限られる一方で生活に不可欠な橋も多く、このような橋では実際の支点部の耐荷性能を見込むことで通行止めを回避し、一定の通行規制は伴うものの暫定的な供用が可能になるとも考えられる。

しかし、既往の研究では、載荷荷重と端横桁の腐食損傷形状に着目した支点部の耐荷性能に関する研究は少なく、支点部の鉛直変位に影響を与えやすい端横桁の腐食損傷形状も不明である。

本研究では、充腹形式の端横桁を有する単純 H 鋼桁を対象に、様々な端横桁の腐食損傷形状が支点部の鉛直変位に与える影響を解析的に検討する。具体的には、端横桁に腐食を模擬した断面欠損を与えた解析モデルを設定し、荷重載荷位置や断面欠損の形状ごとに載荷荷重と鉛直変位量の関係を整理することで支点部の鉛直変位に影響を与えやすい端横桁の腐食損傷形状を明らかにする。

2. 解析手法および評価手法

2.1. 解析モデルの概要

解析対象は地方道でも用いられる 1991 (平成 3) 年改訂の建設省制定土木構造物標準設計²⁾に示される、充腹形式の端横桁を有する単純活荷重合成 H 鋼桁 (設計番号 603) とする。

解析には汎用構造解析プログラムである Midas/NFX³⁾を使用し、材料非線形を考慮した有限変位法解析を行った。解析モデルは図-1 に示すように、対象橋梁全体の 3 次元モデルとし、主桁、補剛桁、横桁は 4 節点シェル要素、板厚方向の荷重伝達を担うソールプレートは 8 節点ソリッド要素でモデル化した。床版および地覆コンク

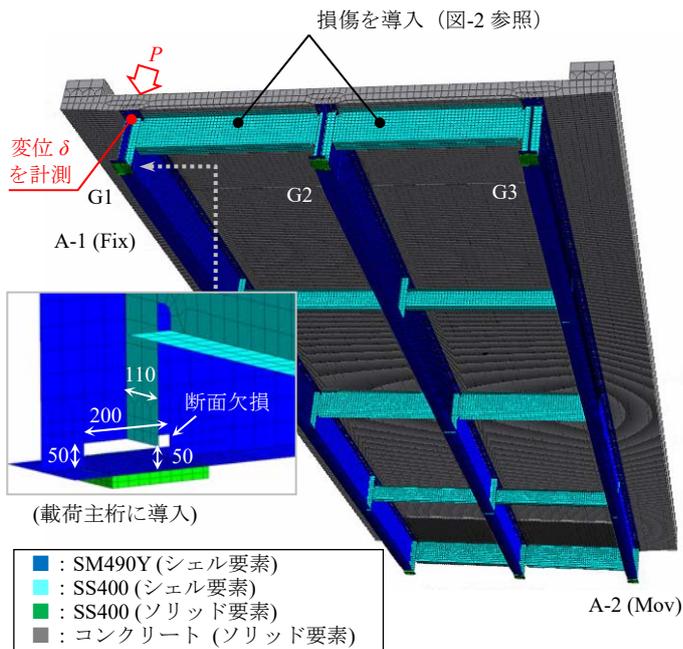


図-1 解析モデルの概要

表-1 解析モデルの材料特性

部材名	材質	弾性係数 E (GPa)	降伏点 σ_y (MPa)
主桁	SM490Y	205	355
横桁、補剛材	SS400	205	245
ソールプレート	SS400	205	弾性体
床版	RC	26.5	(引張) 2.07 (圧縮) 27

リートは各主桁間の荷重伝達を期待するため、8 節点ソリッド要素でモデル化した。床版と主桁の上フランジは剛結し、スタッドによる合成構造を再現した。床版と端横桁はスラブアンカーで固定されているが、スラブアンカーでも床版と合成された挙動が報告⁴⁾されていることから、剛結とした。一方、アスファルト舗装は床版上面に敷設され付着強度は担保されていないことから、非構造部材として死荷重として載荷した。要素分割は概ね 50mm 角とし、材料特性は表-1 に示す通りとした。また、荷重を載荷する主桁の支点部の下端には、図-1 に示す腐食損傷を模擬した幅 200mm×高さ 50mm の断面欠損を設けた⁵⁾。

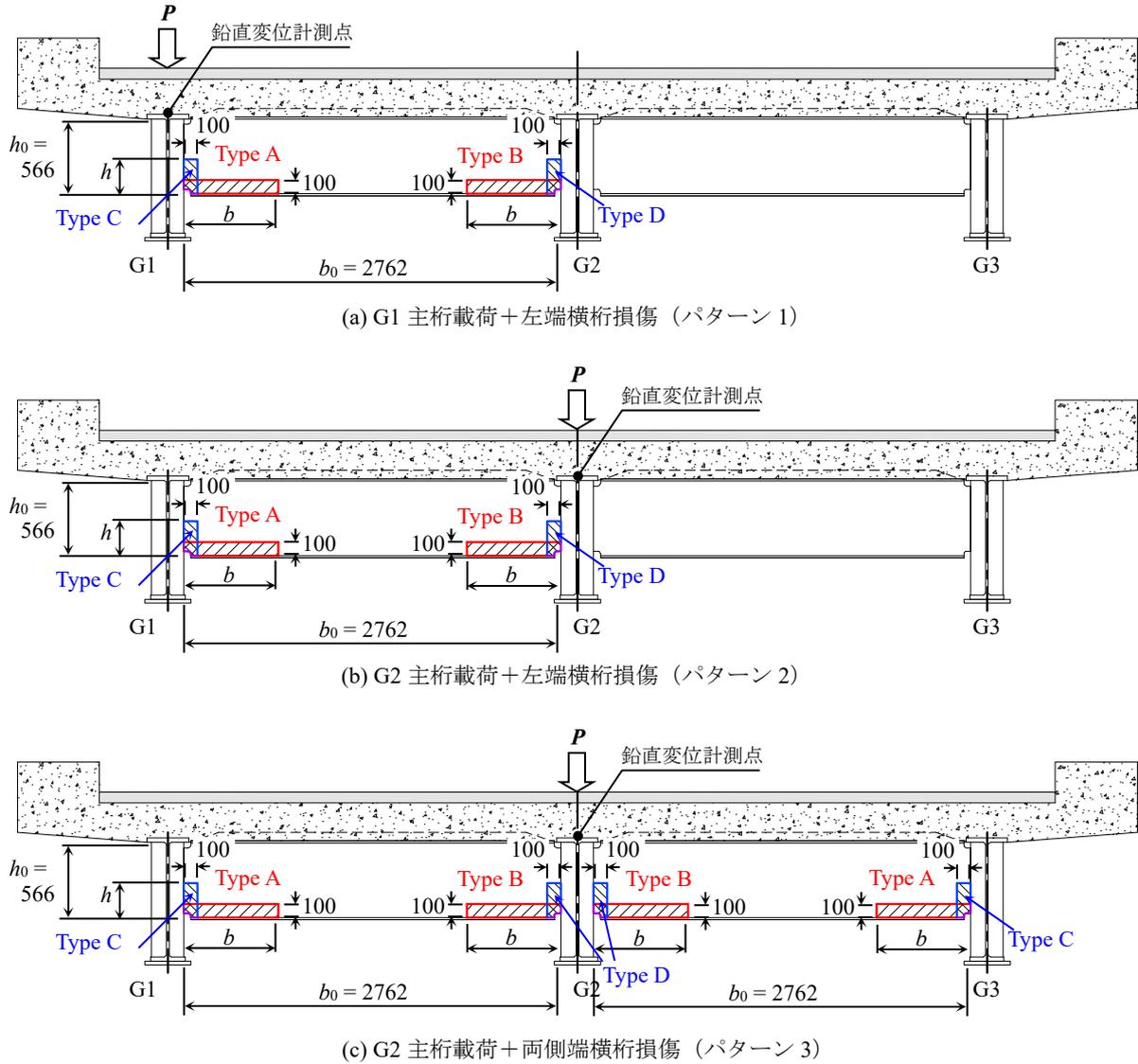


図-2 端横桁に与える腐食損傷の形状と荷重パターン

2.2. 荷重の荷重方法と路面沈下の評価方法

死荷重は床版、地覆及び鋼桁の各要素に質量を考慮し、舗装重量は有効幅員内に等分布荷重として荷重した。

活荷重は、端横桁の損傷が支点沈下に与える影響を、荷重荷重と主桁の鉛直変位量の単純な相関関係で分かりやすく評価するため、着目する主桁の床版上面の1箇所を荷重した。具体的には、床版の局所的な圧壊を避けるため分布荷重として荷重した。

路面沈下は、一定の路面沈下量 δ が生じたときの活荷重 P を用いて評価する。本研究では、文献⁶⁾を参考に $\delta=20\text{mm}$ を路面沈下の限界値と考え、そのときの各荷重パターンの荷重荷重 P と、端横桁が健全なときの荷重荷重 P_0 の比率である荷重低下率 P/P_0 を用いて評価する。

2.3. 腐食損傷の形状と荷重パターン

図-2 に、端横桁に導入する腐食損傷の形状と荷重パターンを示す。腐食損傷を模擬した断面欠損は、支点部の耐荷性能に大きな影響を与える腹板に導入する⁷⁾。外桁である G1 主桁への荷重パターンは図-2(a)に示すように、端横桁の腐食損傷の影響が大きいと考えられる左

表-2 各損傷ケースの断面欠損寸法

損傷タイプ	損傷ケース	b/b_0	損傷タイプ	損傷ケース	h/h_0
Type A	Case-A25	0.25	Type C	Case-C25	0.25
	Case-A50	0.50		Case-C50	0.50
	Case-A75	0.75		Case-C75	0.75
	Case-A100	1.00		Case-C100	1.00
Type B	Case-B25	0.25	Type D	Case-D25	0.25
	Case-B50	0.50		Case-D50	0.50
	Case-B75	0.75		Case-D75	0.75
	Case-B100 ^{*1}	1.00		Case-D100	1.00
健全	Case-0	0	全欠損	Case-100	※2

※1 CASE-A100 と同様の形状。

※2 端横桁の腹板と下フランジの断面を全て欠損。

側の端横桁に表-2 に示す損傷ケースを導入する。内桁である G2 主桁への荷重パターンでは、図-2(b)に示す左側端横桁の損傷ケースと図-2(c)に示す両側端横桁の損傷ケースについて検討する。損傷幅は、実際に発生することの多い腐食損傷の形状を考慮して 100mm とする。

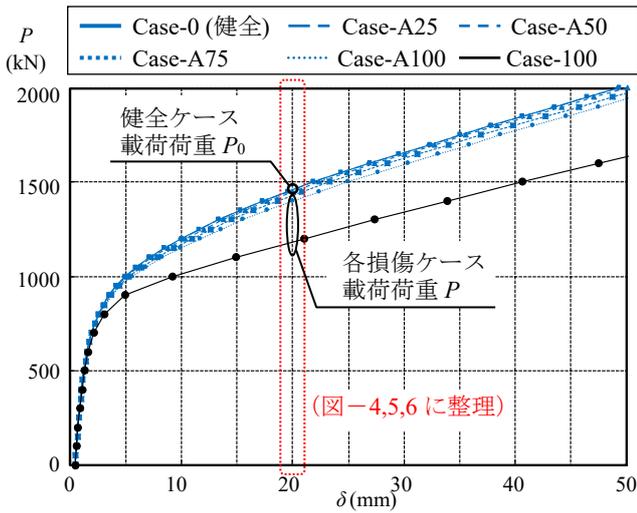


図-3 荷重変位曲線の例 (パターン1, Type A)

3. 解析結果および考察

3.1. 荷重変位曲線

図-3に、 P と δ の関係を確認するため例としてパターン1におけるType Aの荷重変位曲線を示す。健全ケース (Case-0) と比較して、端横桁に断面欠損がある損傷ケースの P は低下する。端横桁の断面欠損が拡大すると P が低下するため、端横桁の損傷は P に影響するといえる。ここで、各損傷タイプ (type A~D) が P に与える影響を検討するため、図-4から図-6に各载荷パターンにおける各損傷タイプの荷重低下率 P/P_0 を整理した結果を示す。

3.2. パターン1 (G1 载荷) の傾向

図-4より、パターン1では断面欠損の拡大に伴い、荷重载荷位置から離れた損傷であるType Dの P/P_0 が大きく低下する。一方、Type Cの P/P_0 の変化は小さい。また、Type Bは断面欠損が小さくても P/P_0 が低下する。

Type Dの P/P_0 が大きく低下するのは、図-7に示すように、大きな応力が発生するG2主桁側の端横桁腹板の断面欠損が大きく、断面欠損付近の鉛直方向の変形が大きくなるためと考えられる。一方Type Cでは、損傷の付近に大きな応力は生じなく、損傷の影響は限定的である。Type Bは b/b_0 が小さくても、応力が集中する部位の断面欠損となるため P/P_0 が低下したと考えられる。

3.3. パターン2 (G2 载荷, 左端横桁損傷) の傾向

図-5より、パターン2の大きな傾向はパターン1と同様となり、荷重载荷位置の違いによる差は小さい結果となった。ただし、荷重载荷位置から離れた損傷タイプであるType Cは、パターン1のType Dと比較して P/P_0 の低下は小さい。一方、Type Dは荷重载荷位置に近い損傷となるが、パターン1のType Cのような P/P_0 の改善はなかった。

Type Cの P/P_0 の低下が小さい理由としては、図-8に示すように、応力が大きいG2桁付近の断面欠損が小さいためと考えられる。また、G2桁付近の応力が大きい理由は、端横桁がG1桁とG3桁を支点とし単純梁のようにふるまうためと考えられる。一方、Type Dでは応力が集中する部位の損傷となるため、横桁の変形が大きくなり鉛直変位が増加したと考えられる。

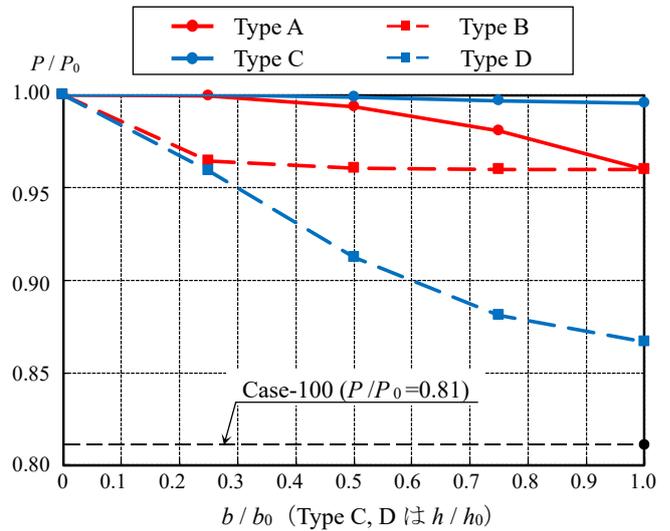


図-4 パターン1における損傷延長と荷重低下率の関係 ($\delta=20\text{mm}$)

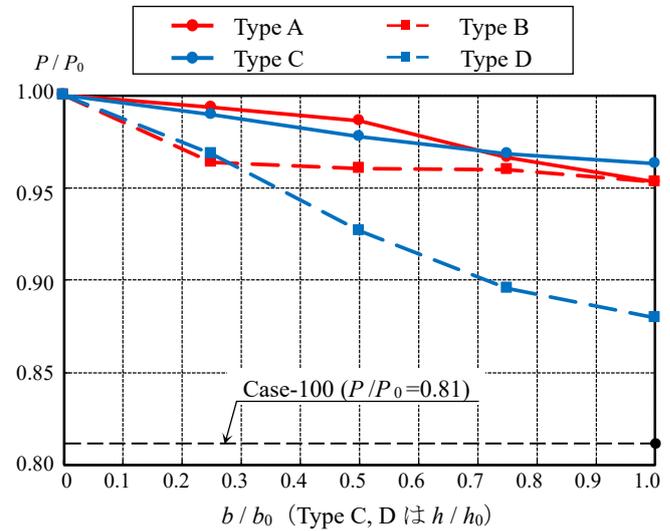


図-5 パターン2における損傷延長と荷重低下率の関係 ($\delta=20\text{mm}$)

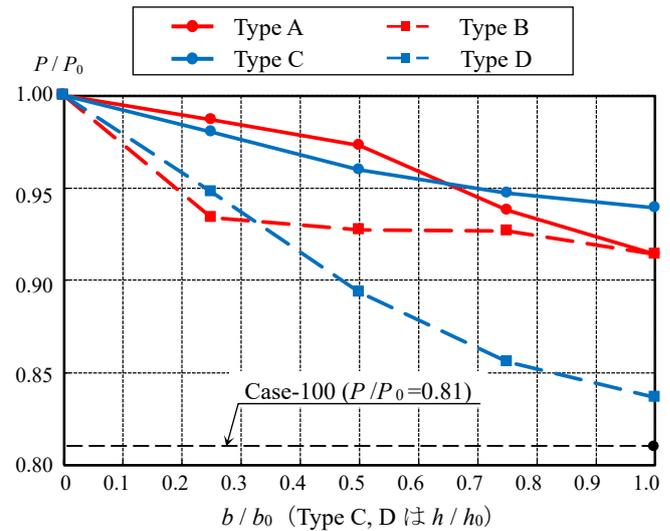


図-6 パターン3における損傷延長と荷重低下率の関係 ($\delta=20\text{mm}$)

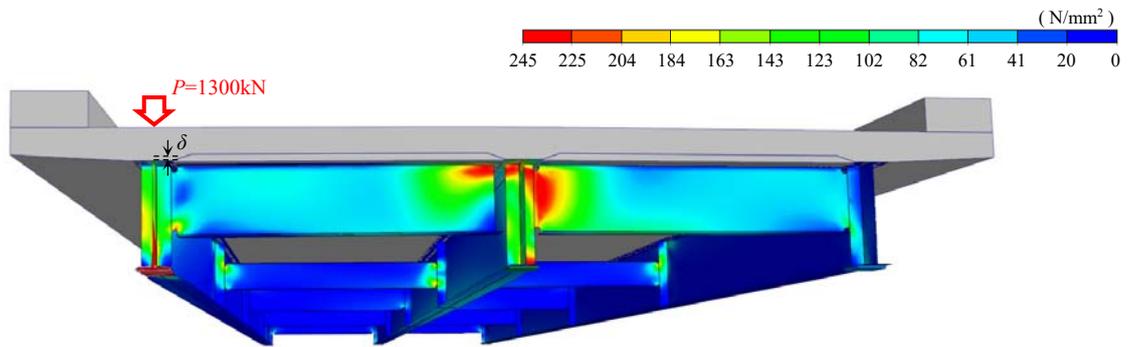


図-7 von Mises 応力コンター (パターン1, Case-D100 [$\delta=20.68\text{mm}$])

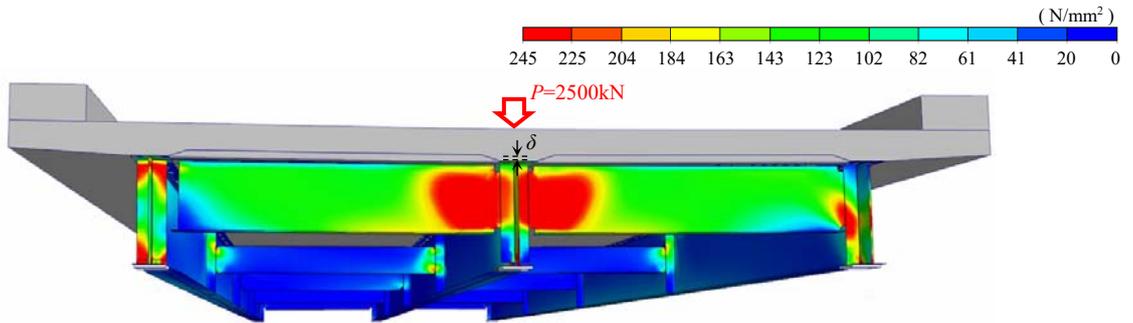


図-8 von Mises 応力コンター (パターン2, Case-C100 [$\delta=20.87\text{mm}$])

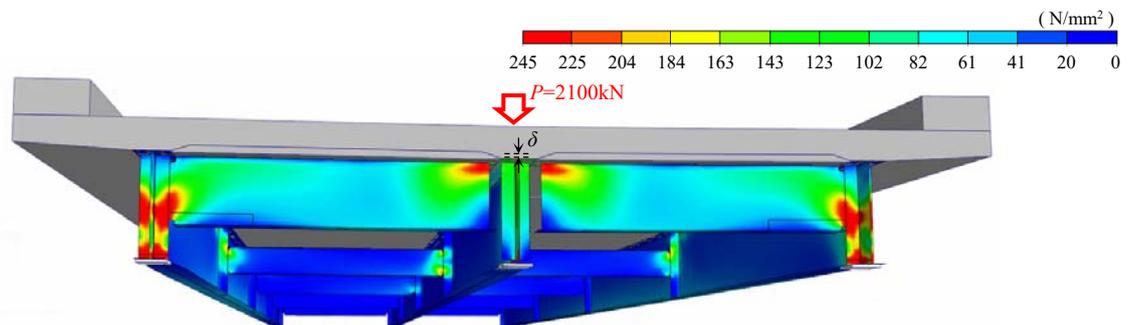


図-9 von Mises 応力コンター (パターン3, Case-D100 [$\delta=19.47\text{mm}$])

3.4. パターン3 (G1 荷重, 両側端横桁損傷) の傾向

図-6 に, パターン3 における各損傷タイプの荷重低下率を示す. パターン2 の荷重低下率を更に低下させたような傾向となり, 全体的に P/P_0 が低下した.

図-9 に示すように, パターン3 でも G2 桁付近の端横桁の応力は大きくなるため, 特に Type B や Type D で荷重低下率が減少したと考えられる. 一方, Type C も G1 桁や G3 桁付近の端横桁に大きな応力が発生する部位があるため, 荷重低下率が減少したと考えられる.

4. おわりに

本研究では, 充腹形式の端横桁を有する単純 H 鋼桁を対象に, 様々な端横桁の腐食損傷形状が支点部の鉛直変位に与える影響を解析的に検討した.

検討の結果, 内桁である G2 桁付近の端横桁に発生する応力が大きく, 荷重の載荷位置に関わらず G2 桁付近の端横桁に生じた断面欠損が主桁の鉛直変位に与える影響が大きいことが分かった. 特に, G2 桁付近に生じた縦長の断面欠損が, いずれの荷重パターンでも荷重低下率に大きな影響を与えることが解析的に明らかとなった.

参考文献

- 1) 岩渕直, 宮森保紀, 大島俊之, 三上修一, 齊藤剛彦: 端横桁および床版に損傷を生じた小規模鋼橋の支点部の耐荷性能に関する解析的検討, 構造工学論文集 Vol.66A, pp.48-58, 2020.
- 2) 全日本建設技術協会: 建設省制定土木構造物標準設計, 1994.
- 3) マイダスアイティジャパン: Midas NFX User's Manual, 2012.
- 4) 柿市琢巳, 石川敏之, 小塩達也, 山田健太郎: 鋼桁橋の横桁フランジ取り付け構造の応力実測と疲労耐久性評価, 構造工学論文集, Vol.57A, pp.852-859, 2011.
- 5) 岩渕直, 宮森保紀, 大島俊之, 三上修一, 齊藤剛彦: 主桁の損傷寸法が隣接主桁間の荷重伝達に与える影響に関する解析的検討, 土木学会北海道支部論文報告集, 第76号, A-24, 2020.
- 6) 常田賢一, 小田和広, 中平明憲, 林健二, 佐藤光代: 段差走行実験に基づく地震時の道路の性能評価および交通運用, 土木学会地震工学論文集, pp.596-604, 2007.