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

Analytical investigation on load distribution of adjacent main girder effected by the different damage size on the main girder

(株)構研エンジニアリング	〇正 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 工学部	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

鋼桁端部は伸縮装置の漏水の影響を大きく受ける部位 であり腐食損傷が生じやすい¹⁾.一方,少子高齢化や過 疎化により地方自治体が橋梁などの土木構造物の維持管 理に用いることができる予算は減少しており,必要な補 修補強工事が実施できないことが十分に考えられる.

鋼桁端部の腐食損傷が進行すると,主桁の支点耐荷力 は減少する.腐食損傷時の支点耐荷力に関しては様々な 研究が盛んに行われ,例えば Khurram et al²⁾は支点上補 剛材下端に腐食損傷を模擬した主桁供試体を用いて実験 を行い,減厚量や損傷形状から耐荷力低下傾向を検討し ている.また,有村ら³⁾は,一部の主桁端部に腐食損傷 が生じても隣接する主桁間で荷重が伝達され,健全な主 桁が腐食した桁端部の機能を補うように各支点の荷重分 担が変化することを明らかにしている.さらに,筆者ら ^{4),5)}は,隣接する主桁間の荷重伝達には端横桁や床版が 寄与し,これら部材が損傷すると荷重伝達に影響を与え, 端横桁等が健全なときと比較して小さな載荷荷重で主桁 の鉛直変位が増大することを解析的に明らかにしている.

一方,主桁本体の損傷形状が隣接する主桁間の荷重伝 達に与える影響は明らかになっていない.隣接主桁間の 荷重伝達は路面の鉛直変位,すなわち橋梁の安全性に直 結するため,主桁の損傷形状が隣接主桁間の荷重伝達に 与える影響についても明らかにする必要がある.

本研究では、地方自治体で比較的多く用いられる端横 桁を有する H 鋼桁橋に着目し、主桁下端の腐食損傷寸 法が隣接する主桁間の荷重伝達に与える影響を解析的に 検討する.

2. 解析手法および評価方法

2.1. 対象橋梁

解析対象は 1991(平成 3)年改訂の建設省制定土木構 造物標準設計 の(以降,標準設計)に示される単純活荷 重合成 H 鋼桁(設計番号 603)であり,充腹形式の端横 桁を有する道路橋である.その他諸元を表-1に示す.

2.2. 解析モデルの概要

解析は汎用構造解析プログラムである Midas/NFX⁷⁾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に示す対象橋梁全体の3次元モデル とした.主桁や補剛材,横桁は4節点シェル要素とし,

表-1 橋梁諸元

橋長	(m)	20.4	総幅員	(m)	8.2	
支間長	(m)	20.0	斜角	(°)	90	
上部構造	形式	活荷重合成桁	主桁		H912x302x18x34	
端横林	行	H596x199x10x15	中間横桁		H350x175x7x11	
分配横	桁	H596x199x10x15	支点上補剛材 PL-		PL-110x14	
中間補剛材 PL-110x9		ソールフ゜レート		PL-340x25x220		



図-1 解析モデル

表-2 解析モデルの材料特性

部材名	材質	弹性係数 <i>E</i> (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	図-2参照		



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.床版コンクリートおよび地覆 は、主桁間の荷重伝達を適切に考慮するため、8 節点ソ リッド要素でモデル化を行った. 主桁及び横桁の添接部 は、本研究の目的が局部的な応力状態を検証するもので はないため、節点を共有する剛結モデルとした. 同様に、 主桁と床版コンクリートはスタッドで結合された合成桁 であるため剛結モデルとした.また,端横桁と床版コン クリートはスラブアンカーで固定されているが、スラブ アンカーでの結合でも合成された挙動を示すことが報告 されていることから、剛結モデルとした、一方、アスフ アルト舗装は床版上面に敷設され付着強度は担保されて いないため、非構造部材として死荷重のみを考慮した. 要素分割は主桁、横桁およびソールプレートで概ね 50 ×50mmの大きさとし、模擬的な断面欠損を導入する支 点部付近の主桁下端は25×25mmに細分した.

材料特性は,表-2 に示すように主桁,横桁,補剛材 は完全弾塑性モデル,ソールプレートは弾性モデルとし た.床版は荷重載荷位置によっては引張部材となるため, 図-2 に示すように引張領域で鉄筋とコンクリートの付 着の影響を考慮した弾塑性モデルを設定した.

境界条件は,線支承による支持条件を再現するため, 支承直下のソールプレート下面で直線状に鉛直荷重を支 持し,支持軸回りの回転を許容した.また,サイドブロ ックを想定して,全支承とも橋軸直角方向の移動を拘束 した.一方,橋軸方向の移動は A-1 側を拘束し A-2 側 を許容した.

なお,残留応力や初期変形などの初期不整は正確な支 点耐荷力を算出するために必要であるが,本研究は主桁 間の荷重伝達という相対的な検討であるため,初期不整 を考慮しない基礎的な検討とした.

2.3. 荷重載荷方法と評価方法

活荷重は,隣接する主桁間の荷重分配機能を分かりや すくするため着目する主桁の床版上面の1箇所に載荷し た.具体的には,床版の局部的な圧壊を避けるため図-3に示すように 500×200mmの分布荷重として載荷した. また,死荷重は床版,地覆および鋼桁の各要素に質量を 考慮した.舗装重量は,有効幅員内に等分布荷重 (*q*=1.8kN/m²)として載荷した.

活荷重を G-1 主桁支点直上に載荷し, G-1 主桁支点の 鉛直変位量や隣接主桁支点の反力との関係を明らかにす ることで,端横桁や床版による荷重伝達を評価する.ま た,2.4 に示すように主桁の損傷寸法を変化させたケー スの解析を行うことで,主桁の損傷寸法が隣接主桁間の 荷重伝達に与える影響を検討する.なお,鉛直変位量は 橋梁としての使用限界状態を考慮して車両が通行可能な 段差程度まで評価するものとし,文献 8)を参考にδ =50mm までを評価する.

2.4. 解析ケース

主桁の損傷寸法が隣接する主桁間の荷重伝達に与える 影響を検討するため、図-4 および表-3 に示す解析ケ ースを設定した.解析ケース名に付す最初の数字は主桁



図-3 荷重載荷方法と鉛直変位着目点



図-4 主桁下端に与える損傷寸法

表-3 解析ケース

	損傷寸法				
解析ケース名	主桁腹板		垂直補剛材		
	Bw	Н	Bs	Н	
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	
Case-0-25	0	0	110	25	
Case-0-50	0	0	110	50	
Case-50-25	50	25	110	25	
Case-50-50	50	50	110	50	
Case-100-25	100	25	110	25	
Case-100-50	100	50	110	50	
Case150-25	150	25	110	25	
Case-150-50	150	50	110	50	
Case-200-25	200	25	110	25	
Case-200-50	200	50	110	50	

腹板の損傷幅,次に付す数字は損傷高を表す.また,主 桁腹板厚 t=18mm に対して垂直補剛材厚は t=14mm であ ることから,腹板欠損時は垂直補剛材も同様に欠損して いると考えられる.このため,腹板と同様に垂直補剛材 を欠損させた.また,補剛材のみ損傷したケース (Case-0-25, Case-0-50)をあわせて設定した.

3. 解析結果および考察

3.1. 解析結果概要

図-5 および図-6 に,損傷高 *H* がそれぞれ 25mm と 50mm における載荷荷重 *P* と,G1 支点の鉛直変位量 δ_{G1} の関係を示す.いずれの損傷高でも,損傷幅の増加に伴い,G1支点の鉛直変位量は増大した.また,同様の損 傷幅で損傷高が増加すると,鉛直変位量の増大が認められた.主桁支点部下端に生じた損傷寸法が増加すること で支点の鉛直変位量が増大することは,既往文献 2)な どでも示される傾向であり,本解析結果は妥当といえる.

3.2. 主桁損傷寸法と隣接支点反力の関係

次に、主桁の損傷寸法の変化が、隣接主桁間の荷重伝 達に与える影響を確認する. 図-7 および図-8 に、H が異なる各解析ケースにおける δ_{G1} と、隣接する G2 支 点反力 R_{G2} の関係を示す. 図-7、図-8 ともに δ_{G1} = 1.5mm となるまで、 R_{G2} は減少した. その後、 δ_{G1} が増 大すると R_{G2} は増加に転じ、滑らかに上昇した. 腹板の 損傷幅が変化しても R_{G2} の上昇勾配は各解析ケースで同 様である一方、腹板の損傷幅が増加すると R_{G2} は若干増 加する結果となった.

 δ_{G1} が約 1.5mm まで R_{G2} が一時的に減少するのは,図 -9 に示すように G1 主桁外側の垂直補剛材が変形する ことで G1 主桁を中心に回転し,G2 主桁側の床版が持 ち上がるような挙動となることから,隣接する G2 支点 反力が減少したためである.また,腹板が健全な Case-0-25 および Case-0-50 で G2 支点反力が一時的に大きく 減少するのは,主桁腹板が健全なため主桁支点部の鉛直 剛性が大きく,床版が持ち上がる挙動が載荷荷重の増加 後も継続するためと考えられる. R_{G2} が δ_{G1} =1.5mm 以 降に増加するのは,図-5 および図-6 より δ_{G1} が急増 することから,端横桁や床版が G2 主桁を支点とする片 持ばりのように振る舞い,G2 支点反力の増分は G1 支 点の鉛直変位に起因する分配荷重と考えられる.

ここで、各解析ケースでの分配荷重を比較するため R_{G2} が増加に転じた極小値を0として、 R_{G2} と δ_{G1} の関係 を図-10および図-11に再整理する.

図-10 および図-11 に示すように, *R*G2の極小値を 0 として再整理した反力 *R*G2,dist は, 損傷幅に関わらず一定 となった.これは, 主桁の変形後は主桁の損傷幅に関係 なく荷重分配が行われることを示している.また, 図-10 と図-11 はほぼ重なる結果となるため, 主桁の損傷 高も G2 支点への荷重分配に影響を与えないといえる.

3.3. 損傷寸法が異なる解析ケースの端横桁応力比較

主桁の損傷寸法が異なっても隣接主桁間の荷重伝達に 影響がないとするとき、主桁の損傷寸法に関わらず端横 桁の応力状態は同一となると考えられる.このため、図 -12 および図-13 に損傷幅が異なる解析ケースの Von-Mises 応力コンターを示す.同一の応力伝達状態にある ことを確認するため、サンプルは δ_{G1} がほぼ同等となる Case-50-50 の P=2000kN 時と、Case-200-50 の P=1100kN 時とする.両図より、G1 主桁周辺では損傷寸法の違い による応力の差がある.一方、端横桁の応力に大きな差 はなく、同一の応力状態にあることが分かる.よって、 主桁の鉛直変位量が同等であれば端横桁の応力状態は同 ーになると考えられる.





図-9 床版の鉛直変位(Case-0-50, P=1000kN)

4. おわりに

本研究では, 主桁下端の腐食損傷寸法が隣接する主桁 間の荷重伝達に与える影響を明らかにするため, 端横桁 を有する H 鋼桁橋を用いて解析的検討を行った.

本検討では、主桁支点部下端の損傷寸法が変化すると、 主桁の鉛直変位量や隣接主桁の支点反力に影響を与える 一方、主桁変形後の隣接主桁間の荷重伝達には影響を与 えないことが解析的に明らかとなった.

参考文献

- 木村恵子,曽根真理,並河良治,桑原正明,角湯克 典:凍結防止剤散布と沿道環境,国土技術政策総合 研究所資料 No.412, p.10, 2007
- Nauman Khurram, Eiichi Sasaki, Hiroshi Katsuchi, Hitoshi Yamada : Experimental and Numerical Evaluation of Bearing Capacity of Steel Plate Girder Affected by End Panel Corrosion, International Journal of Steel Structures, Vol.14, No.3, pp.659-676, 2014.
- 有村健太郎,有山大地,船越博行,山口隆司:桁端 部に腐食劣化の生じた鋼I桁橋の耐荷性能評価に関 する解析的検討,土木学会論文集 A1(構造・地震 工学), Vol.73, No.1, pp.232-247, 2017.
- 4) 岩渕直,宮森保紀,大島俊之,三上修一:端横桁等の損傷が支点部の耐荷性能に与える影響に関する解析的検討,土木学会第74回年次学術講演会講演概要集,I-180,2019
- 5) Sunao Iwabuchi, Yasunori Miyamori, Toshiyuki Oshima, Shuichi Mikami, Takehiko Saito : Analytical Investigation on Bearing Capacity of Steel Girder Bridge Affected by Corrosion Damage at the End Cross Beam, Proceedings of the 12th Pacific Structural Steel Conference, 4-4-5, 2019
- 全日本建設技術協会:建設省制定土木構造物標準設計, 1994.
- 7) マイダスアイティジャパン: Midas NFX User's Manual, 2012.
- 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.





図-11 G2 反力増分と G1 支点変位量の関係 (H=50mm)



図-12 Von-Mises 応力(CASE-50-50 *d*_{G1}=7.28mm)



図-13 Von-Mises 応力(CASE-200-50 δG1=7.07mm)