(43) SRC床版を有する合成トラス鉄道橋の リダンダンシー評価法に関する解析的検討

橋本 国太郎1・杉浦 邦征2・大塚 浩介3・矢島 秀治4

¹正会員 神戸大学大学院准教授 工学研究科市民工学専攻(〒657-8501神戸市灘区六甲台町1-1) E-mail:hashimoto@person.kobe-u.ac.jp

²正会員 京都大学大学院教授 工学研究科社会基盤工学専攻(〒615-8540京都市西京区京都大学桂) ³正会員 JIPテクノサイエンス㈱ 解析ソリューション事業部(〒103-0025 東京都中央区日本橋茅場町1-2-5) (研究時,京都大学大学院生)

4正会員 JR西日本コンサルタンツ株式会社(〒532-0011大阪市淀川区西中島5-4-20中央ビル9F)

近年,鋼トラス橋の部材破断や橋梁の崩壊事故が起こったことで,特に鋼トラス橋の構造リダンダンシーに関する研究が精力的に続けられている.本研究では,横桁が床版内に埋め込まれたSRC構造である SRC床版と下弦材とが合成された下路式鋼コンクリート合成トラス鉄道橋に着目し,トラス橋が合成構造 である場合のリダンダンシー評価法に関して,FEMにより解析的に検討した.ここでは,逐次崩壊などは 考慮せず線形解析とし,この解析で得られた断面力をもとに照査式を用いてリダンダンシー評価を行った. その結果,斜材が崩壊した場合,多くの部材が限界状態を超え,床版への影響が大きいが,上弦材が崩壊 した場合は,他の部材が限界状態を超えることがなく,また床版への影響も少ないことがわかった.

Key Words : redundancy, steel-concrete composite truss bridge, steel reinforced concrete slab

1. はじめに

2007年8月、アメリカ・ミネソタ州で起きた鋼トラス 橋の落橋事故¹⁾をきっかけにして、日本においても橋梁 のリダンダンシーという考え方が浸透し、今日に至るま で様々な研究が行われている²⁴.ここで、リダンダン シーとは、構造システムを構成するある部材が損傷した とき、その構造システムがある程度の余耐力を維持し崩 壊しない性能とされている².リダンダンシー評価の研 究としては、アメリカでの落橋事故の影響もあるが、そ の多くが、一部材の損傷が橋梁全体系の耐荷力に及ぼす 影響が大きい鋼トラス橋を対象としている.文献2)では、 非合成トラスとして設計された橋梁に対してリダンダン シー解析を行った場合、非合成とした場合でも、実際に は床版の合成効果や床組への応力分担が期待できるため、 ある部材が破断しても床版や床組が部材力を負担し、橋 全体の安全性を担保している可能性が示唆されている.

一方,合成トラスとして設計された橋梁に対しては,部 材破断時に床版には想定以上の荷重が作用して損傷を受 け,崩壊するリスクが相対的に高くなる可能性がある.

そこで、本研究では、SRC 床版を有する鋼・コンク リート合成トラス鉄道橋に対して、3 次元 FEM 解析に 基づくリダンダンシー解析を行う.そして,合成構造と して設計された部材の挙動,およびそれらが橋梁のリダ ンダンシーにどの程度寄与するのかを明らかにする.ま た,どの部材がクリティカルな部材(Fracture Critical Member)であるかを把握し,部材毎にどの程度のリダ ンダンシーを有しているのかを明らかにする.それらの リダンダンシー解析結果をもとに,対象とした合成トラ ス鉄道橋の今後の維持管理に関する参考となるデータを 提供することを目的とする.

本論文では、まずリダンダンシー評価および解析手法 について述べる.次に、活荷重載荷試験をもとにした 3 次元 FEM 解析モデルを構築し、解析結果と実橋梁の計 測結果との比較を行い、その解析モデルの妥当性を検証 する.そして最後にリダンダンシー解析を行うが、その 中で、破断部材位置を変化させて解析を行い、それらが 部材のリダンダンシーに与える影響を考察する.このと き、断面欠損による引張部材の破断だけでなく、圧縮部 材が断面欠損し応力が伝達しなくなる場合も考慮する. なお、本研究における FEM 解析では線形・微小変位解 析としている.また、本研究では、鉄道橋を対象として おり、リダンダンシー評価手法や設計・解析に用いる活 荷重などは、鉄道橋の設計の考えに基づき検討を行った.

リダンダンシー評価方法と解析手順

(1) リダンダンシー評価方法

文献 2)では、リダンダンシーの評価方法として、式 (1)および(2)に示す評価式により R 値を算出し、この R 値が1以上となった場合に部材の終局状態と判定してい る.

部材照査
引張側
$$R = \frac{P}{P_p} + \left(\frac{M}{M_p}\right)_{ip} + \left(\frac{M}{M_p}\right)_{op}$$
(1)

部材照査 $R = \frac{P}{P_u} + \frac{1}{1 - (P/P_E)} \left(\frac{M_{eq}}{M_p}\right)_{in} + \frac{1}{1 - (P/P_E)} \left(\frac{M_{eq}}{M_p}\right)_{on}$ (2) 圧縮側

ここで, *ip*: 面外, *op*: 面内, *P*: 作用軸方向力, *P_n*: 全塑性軸方向力, M:作用曲げモーメント, Pu:座屈を 考慮した終局圧縮強度, Meq:等価換算曲げモーメント, M_p : 全塑性曲げモーメント, P_E : オイラー座屈強度で ある.

しかし、これらの式では、薄肉断面部材(スレンダー、 ノンコンパクト断面)や厚肉断面部材(コンパクト断 面) などの断面形状によらず R 値を決定していること や、断面照査は行わず部材照査のみにとどまっており、 正確に部材の強度を評価しているとは言い難い、そこで、 本研究では、鋼部材のリダンダンシー評価方法として、 図-1 に示すフローに基づき評価することとした. 図-1 に示すように、終局状態を照査する部材を、幅厚比パラ メータおよび軸方向力の向きの違いによって分類する. 照査する部材について、それぞれの断面耐力および部材 耐力に関する R 値 (R, R, R) を計算する. それらの R値のうちの一番大きなものをその部材の R値とした. 本研究で用いたリダンダンシー評価方法の基本的な考え 方を以下にまとめる.

断面耐力および部材耐力の算定時の部材係数など

の安全係数はすべて1.0と仮定する.また、鋼材の 基本強度としては規格値の代わりに文献 5)により 調査された平均強度を用いる.

- (2) 薄板断面に対しては、鋼・合成構造標準示方書⁹で 算定例として示されている算定式(式(3)~(8))⁷を 採用する. この式では,降伏点以下での板の局部 座屈による強度低下の影響を断面耐力に低減係数 を乗ずることにより考慮している.
- ③ 厚板断面と判定された部材に対しても、鋼・合成 構造標準示方書ので算定例として示されている断面 の塑性化の影響を考慮した耐力算定式(式(9a)~ (12e))⁷を用いて評価する.
- ④ 厚板断面に対しては塑性化以降の断面曲げ耐力を 期待できるため,断面の塑性化の影響を考慮した 曲げ強度式を用いる.また、相関式には、文献 6, 7)に示されている非線形相関式を採用する.
- I) 薄板断面の場合
- i) 軸方向力が引張の場合

所面照査
(引張側)
$$R_t = \frac{N}{N_{trd}} + \frac{M_y}{M_{trdy}} + \frac{M_z}{M_{trdz}}$$
(3)

部材照查

(圧縮側

Σ

断面照查

$$R_c = -\frac{N}{N_{trd}} + \frac{M_y}{M_{crdy}} + \frac{M_z}{M_{crdz}}$$

$$R_{s} = -\frac{N}{N_{tred}} + \frac{M_{y}}{M_{ordy}} + \frac{M_{z}}{M_{heady}}$$
(5)

(4)

ii) 軸方向力が圧縮の場合

断面照査
(引張側)
$$R_t = -\frac{N}{N_{trd}} + \frac{M_y}{M_{trdy}} + \frac{M_z}{M_{trdz}}$$
(6)

断面照査
(圧縮側)
$$R_{c} = \frac{N}{N_{crdl}} + \frac{M_{y}}{M_{crdy}} + \frac{M_{z}}{M_{crdz}}$$
(7)

部材照査
$$R_{s} = \frac{N}{N_{crd}} + \frac{M_{y}}{\left(1 - \frac{N}{N_{cry}}\right)M_{brdy}} + \frac{M_{z}}{\left(1 - \frac{N}{N_{crz}}\right)M_{crdz}}$$
(8)



図-1 リダンダンシー評価方法のフロー

作用する弱軸および強軸回りの曲げモーメント, Nml: 引張軸方向耐力, Nad:局部座屈を考慮した部材の軸方 向圧縮耐力, Natl:局部座屈を考慮した断面の軸方向圧 縮耐力, Nov, Nov: 弱軸および強軸回りのオイラー座屈 荷重, M_{nd}, M_{nd}: 断面に作用する弱軸および強軸回り の曲げモーメントによる引張側に着目した曲げ耐力,

Marty, Mart: 断面に作用する弱軸および強軸回りの曲げ モーメントによる圧縮側に着目した曲げ耐力, M_{bub}:弱 軸回りのはり部材の横ねじれ座屈を考慮した曲げ耐力で ある.

Ⅱ)厚板断面の場合

i) 軸方向力が引張の場合

断面照査
(引張側)
$$R_t = \frac{3}{4} \left(\frac{M_y}{M_{npy}} \right)^2 + \frac{M_z}{M_{npz}} \quad \left(\frac{M_y}{M_{npy}} \le \frac{M_z}{M_{npz}} \right)$$
 (9a)
 $R_t = \frac{M_y}{M_{npy}} + \frac{3}{4} \left(\frac{M_z}{M_{npz}} \right)^2 \quad \left(\frac{M_y}{M_{npy}} > \frac{M_z}{M_{npz}} \right)$ (9b)

$$M_{npy} = C \left(1 - \frac{N}{N} \right) M_{py} \le M_{py}$$
(9c)

$$M_{npz} = C \left(1 - \frac{N}{N} \right) M_{pz} \le M_{pz}$$

$$M_{npz} = C \left(1 - \frac{N}{N_{trd}} \right) M_{pz} \le M_{pz}$$
(9d)
C-1.18 (笞眯rक)

(10)

(12b)

 $R_{s} = -\frac{N}{N_{trd}} + \frac{M_{y}}{M_{crdy}} + \frac{M_{z}}{M_{brdz}}$

C=1.18(箱断面

部材照查

ただし,

ii) 軸方向力が圧縮の場合

断面照査
(圧縮側)
$$R_t = \frac{3}{4} \left(\frac{M_y}{M_{npy}} \right)^2 + \frac{M_z}{M_{npz}} \quad \left(\frac{M_y}{M_{npy}} \le \frac{M_z}{M_{npz}} \right)$$
 (11a)
 $R_t = \frac{M_y}{M_{npy}} + \frac{3}{4} \left(\frac{M_z}{M_{npz}} \right)^2 \quad \left(\frac{M_y}{M_{npy}} > \frac{M_z}{M_{npz}} \right)$ (11b)

たたし,
$$M_{npy} = C \left(1 - \frac{N}{N_{crdl}} \right) M_{py} \le M_{py}$$
 (11c)

$$M_{npz} = C \left(1 - \frac{N}{N_{crdl}} \right) M_{pz} \le M_{pz}$$
(11d)

 $(M)^{\alpha}$ $(M)^{\beta}$

C=1.18(箱断面)

照査
$$R_s = \left(\frac{M_y}{M_{nuy}}\right) + \left(\frac{M_z}{M_{nuz}}\right)$$
 (12a)
EL, $\alpha = 1.3 + \frac{N}{N} \frac{1000}{(1-1)^2} \ge 1.4$ (12b)

$$\beta = 1.3 + \frac{N}{N_c r dt} \frac{1000}{(r + r_y)^2} \ge 1.4$$
(12c)

$$\beta = 1.3 + \frac{N}{N_{crdl}} \frac{2000}{(l/r_z)^2} \ge 1.4 \tag{12c}$$

$$M_{nuy} = \left(1 - \frac{N}{N_{crd}}\right) \left(1 - \frac{N}{N_{cry}}\right) M_{py}$$
(12d)

$$M_{nuz} = \left(1 - \frac{N}{N_{crd}}\right) \left(1 - \frac{N}{N_{crz}}\right) M_{buz}$$
(12e)

ここで、 M_p, M_a: 断面の弱軸および強軸回りの全塑性 モーメント, r_y, r_z: 弱軸および強軸回りの総断面の断 面2次半径, 1:部材の有効座屈長, M_{hw}:強軸回りのは り部材としての曲げ耐力である.

なお、本橋梁は文献5)に基づき設計されているが、式 (5)に関して、文献 5)では、軸方向引張力を受ける場合、 引張応力の存在による横ねじれ座屈耐力の上昇を無視し て,N=0として照査しており,安全側の設計となってい るため、本論文では、文献7)に基づき、その効果を考慮 した. 同じく, 式(8)における設計軸方向力がオイラー の座屈耐荷力の設計値に比べて十分小さい場合を想定し て, 文献 5)では P-δ 効果によるモーメント増幅を無視 しているが、本論文では、文献 7)に基づきその効果を考 慮した.

(2) リダンダンシー解析の手順

解析の手順としては、できるだけ架設時の順序(死荷 重および活荷重の載荷順)も加味し、図-2に示すフロー で解析を行う.まず,部材削除解析としてStep-1で鋼ト ラス部材に重力として死荷重を載荷し,Step-2で他の付 属部材分(添接板やボルトなど)の死荷重を荷重として 載荷する.このStep-1およびStep-2のモデルでは床版コン クリート部は取り除いた状態である. さらに, Step-3で コンクリート部分を追加し、Step-4で床版全体に重力と して荷重を与え、Step-5で活荷重を分布荷重として与え、 Step-6で所定の部材を取り除くという載荷順序を基本と した. なお、部材(要素)の追加や除外は予め解析モデ ルを構築した後に、ABAQUSのadd機能およびremove機 能を用い行った⁸. この機能では、予め定義した要素を ある解析ステップ時には除外でき,また,除外していた 要素を次のステップで追加できる機能である. なお, 実 際には、コンクリートを部分的に逐次打設していくため、 逐次合成の影響があると考えられるが、本研究では、解 析の簡易化のため、その影響を考慮していない.



次に,解析ケースとして,削除部材位置の影響を見る ために斜材および上弦材を削除した場合の2シリーズ用 意した.解析ケースは次節で詳細に説明する.また,文 献2)では,引張部材の破断時の衝撃の影響を考慮してい るが,衝撃係数を1.854の一定値とした根拠は不明確で あり,衝撃荷重を入れることで過大評価となる可能性が あると述べられていること,また,本研究では引張部材 の破断だけでなく,圧縮部材が応力伝達しなくなる場合 も考慮することから,本解析では衝撃荷重は考慮しない こととした.

図-2に示すように,FEMによる部材削除解析を行った後,各部材の断面力を算出し,前節で説明した評価式によりR値を算定し,リダンダンシー評価を行った.

3. 解析モデルおよびその検証

(1) 解析モデル

本研究では、図-3および表-1に示す実橋梁を対象とし、 FEMにより解析モデルを構築した.解析には、汎用の有限要素解析コードABAQUS[®]を用いた.

FEM解析モデルの概要を図4に示す. なお,対象としたトラス橋は2連であるが,部材の板厚や支承条件が一部異なる他は基本的に同形式であるため,ひずみや変位を実測した1連のみをモデル化し,解析を行った.また,上弦材,斜材および横桁には応力状態をより詳細に検討するため,曲げ・せん断を考慮できるはり要素を用いた. SRC床版部のコンクリート部は積層シェル要素(鉄筋は

表-1	対象橋梁の構造諸元
橋梁形式	下路式合成トラス鉄道橋
孫 巨	488.2m
简政	=1.1m+4@60.5m+2.0m+4@60.5m+1.1m
幅員	8.9m
主構高さ	8.5m
架設竣工年	2009年

表-2	活荷重の軸重と軸間距離
1X-2	「白明里」の「明里」の「日日」に「日日」

軸重(kN)	P1	P2	P3	P4	P5	P6	合計
右レール	80.2	81.9	51.7	55.2	79.8	78.8	
左レール	84.6	82.1	57.0	55.2	83.5	80.0	870.0

	P1-P2	P2-P3	P3-P4	P4-P5	P5-P6	合計
軸距(m)	2.2	4.17	1.6	4.17	2.2	14.34

各層にリバー層として埋め込むことでモデル化し,道床 コンクリート厚も含めている)とし,横桁を埋め込み要 素としてSRC構造をモデル化した.下弦材はシェル要素 でモデル化し,下弦材とSRC床版は剛結し,一体化した. また,トラス弦材同士も剛結とした.

対象とした橋りょうでは水平力分散ゴム支承を用いて いることを考慮して,設計計算書に記載されているばね 定数を用いて,ばね要素でモデル化した.

本研究では、線形リダンダンシー解析を行うため、鋼 材およびコンクリートともに弾性体とし、鋼材では弾性 係数206GPa、ポアソン比0.3、コンクリートでは弾性係 数43GPa、ポアソン比0.2とし、鋼材の塑性化やコンクリ ートのひび割れなどは考慮していない.



列車荷重は、計測時に用いた試運転用ディーゼル機関 車(DD511192)であり、軸重および軸間距離は表-2に示 すとおりである.また、図-5に示すように、解析モデル への列車荷重の載荷は、輪重がレールとの接点から深さ 方向に45度の角度で分散すると仮定し、橋軸方向約1.1m, 橋軸直角方向約0.7mの分布荷重として床版上面に作用さ せた.また、実際には動的荷重が載荷しているが、解析 の簡略化のため静的荷重を載荷した静的解析とした.

(2) 解析モデルの検証

解析モデルの検証のための解析ケースは、実測結果と

比較するため、車両の中心位置x(m)が計測断面と一致する4ケース (x = 30.25, 31.7625, 54.45, 55.9625(m)) について解析を行った.また、影響線で比較するために、 $x = 24.0 \sim 72.6(m)$ の範囲で、計13ケースについて解析を行った.

図-3中に示す支間中央部の計測断面(C断面)における下弦材の鉛直たわみの影響線を図-6に示す.なお、実測値および解析値ともに、たわみの値は、支点沈下の影響を除去したものを用いている.図-6より、たわみの大きさは実験値と解析値が良い一致を示しているが、若干解析値が実測値に比べて大きい.これは、枕木・軌道レ



ールおよび歩道などの付属物を解析においては考慮して いないため、橋梁全体の剛性が実橋に比べて少し小さい ためと考えられる.

下弦材に生じるひずみの影響線を図-7(a)~(d)に示す. 図中凡例のひずみ計測位置①~④は、図-7(a)中に示す位 置である.解析結果と測定結果を比較すると図-7(c)では、 計測位置②の右側主構下フランジで若干のひずみ量のず れが見受けられるが、その他断面(図-7(b)~(d))では実 測値と解析値は非常に良い一致を示している.図-7(c)で の解析値と測定値とのずれは、解析上、横桁を梁要素と しているが、実際は橋軸方向や高さ方向にある程度の範 囲で拘束がある.この横桁の拘束が解析における局所的 なひずみに対し考慮できていないためと考えられる.断 面AおよびA'では、支点近傍であることから、横桁の 影響よりも支点の影響が大きく出たことから、解析値と 実測値に良い一致が見られたものと考えられる.

(3) リダンダンシー解析ケース

表-3にリダンダンシー解析の解析ケースを、図-8に部 材名称を示す.表-3および図-8より、対称性を考慮し、 上弦材はU-1~10の片側の主構から10部材、斜材もD-1~ 20の片側の主構から20部材を一部材ずつ削除し、合計で 30ケースの解析を行った.なお、各ケースとも全部材の 断面力を抽出した.

4. リダンダンシー解析結果および考察

(1) 上弦材の削除

解析結果の一例を図-9 に,解析より得られた最大 *R* 値のまとめを表-4 に示す.図-9(a)~(c)の横軸は部材番号 で,縦軸は *R* 値を示している.図-9(d)は床版表面の相当 応力コンター図である.



表-3 解析ケース

削除部材	R值			位置		
	上弦材	斜材	下弦材	上弦材	斜材	下弦材
U-1	0.547	0.905	0.615	U-5	D-2'	L-2'
U-2	0.646	0.765	0.526	U-5	D-4	L-4
U-3	0.621	0.820	0.522	U-5	D-6	L-4
U-4	0.493	0.529	0.454	U-5	D-9'	L-4
U-5	0.727	0.727	0.579	U-4	D-2	L-7'
U-6	0.451	0.519	0.451	U-3	D-2'	L-7
U-7	0.502	0.526	0.641	U-5	D-12'	L-7
U-8	0.458	0.499	0.539	U-5	D-19'	L-7
U-9	0.389	0.451	0.491	U-12	D-22'	L-12
U-10	0.581	0.581	0.506	U-11	D-29	L-7

表-4 最大R値およびその部材位置(上弦材削除の場合)



図-9に上弦材 U-2を削除した場合を示しているが、この結果より、上弦材では U-1や U-3 などの隣の部材では R 値が小さくなっていることがわかる.一方、U-5 および U-6 部材に大きな R 値の変化が見られるが、1 は超えていないことがわかる.次に、斜材では、U-2 に接合されている D-4 で大きな R 値の増加が見られる.また、部 材削除側と反対側に配置されている斜材でも U-2 に近い D-2' ~D-7' では大きな R 値の増加が見られる. しかし いずれの場合も R 値は 1 より小さい. 下弦材では R 値に ほとんど変化が見られないことがわかる.

表-4より,各々の上弦材を削除する場合,どのケース でも*R*値が1を超えていないことがわかる.しかしなが



図-11 リダンダンシー解析結果(斜材D-10削除の場合) (つづき)

削除部材	R值			位置				
	上弦材	斜材	下弦材	上弦材	斜材	下弦材		
D-1	0.700	1.637	0.736	11.5	D-2'	T 2'		
	0.700	1.287		0-5	D-2	L-2		
D-2	0.688	1.455	0.673	U-5	D-2'	L-2'		
D-3	0.520	0.610	1.088	U-5	D-2	L-2		
D-4	0.508	0.567	0.995	U-5	D-2'	L-2		
D-5	0.428	0.625	0.675	U-1	D-2	L-4		
D-6	0.430	0.641	0.740	U-1	D-2	L-4		
D-7	0.819	0.858	1.051	U-4	D-2	L-4		
D 8	1.050	1 110	1.025	II 4	D-7	L-5		
D-8	1.039	1.110	1.024	0-4		L-4		
D 0	0.080	1.032	1.145	U-4	D-2	L-4		
D-9	0.989	1.028	1.034		D-9'	L-5		
		1.087	1.005	1.005 U-5	D-9'	L-4		
D-10	0.743	1.076			D-2			
		1.021			D-9			
D-11	0.626	0.955	1.452	U-5	D-12'	L-7		
D-12	0.612	0.902	1.679	U-6	D-12'	L-7		
D-13	0.583	0.595	1.338	U-6	D-12	L-7		
D-14	0.507	0.545	1.260	U-10	D-19	L-7		
D-15	0.345	0.431	0.543	U-10	D-19	L-7		
D-16	0.379	0.449	0.589	U-5	D-12	L-7		
D-17	0.549	0.568	0.709	U-5	D-12	L-8		
D-18	0.588	0.588	0.697	U-9	D-12	L-8		
D-19	0.610	0.845	0.967	U-5	D-19'	L-9		
D-20	0.608	0.896	0.869	U-5	D-19'	L-9		

表-5 最大R値およびその部材位置(斜材削除の場合)

ら、上弦材U-1を削除した場合、斜材D-2'でR=0.9程度 となり、注意が必要な部材であることがわかる.

(2) 斜材の削除

解析結果の例を図-10 および図-11 に,解析より得られた最大*R*値のまとめを表-5に示す.

図-10 は斜材 D-1 を削除した場合の解析結果であるが, 斜材 D-1 を削除することで,その部材付近の上弦材 U-1 や U-2 では, *R*値が減少しているのに対し,その反対側 の上弦材では *R*値が増大していることがわかる.また, 削除側の上弦材 U-5 で大きな *R*値の増加が見られる.斜 材においては削除部材の隣の斜材である D-2 の *R*値が 1 を大きく超えていることがわかる.また,削除側主構と 反対側に配置された D-2'の R 値も 1 を大きく超えてい ることがわかる. また,下弦材でも R 値の増加が見ら れ,L-1 と L-2 部材で大きく R 値が増加していることが わかる.図-10(d)より,部材削除後の床版の応力が上弦 材の時よりも大きくなっていることがわかる.

次に,図-11に斜材 D-10を削除したケースを示す.斜 材 D-10を削除することで,斜材 3本(D-2,D-9,D-9')および下弦材 1本(L-4)で R値が 1を上回ってお り,終局状態を超えた状態にあることがわかる.また, 上弦材においても U-5で R値の増加が見られ,下弦材に おいても,R値が 1を超えた L-4 部材の周辺部材で大き な R値の増加が見られる.この斜材 D-10のケースが本 解析の中で R値 1を上回った部材数が一番多かった.ま た,床版の応力値もかなり大きくなっており,一部相当 応力で 40MPa 近くまで到達しており,D-1 削除のときよ り大きな応力状態であった.

表-5には、各々の斜材を削除したときのR値の最大値 をまとめているが、R値が1を上回るケースが多く出て いることがわかる.特に、D-8、D-9およびD-10を削除し たケースが最も終局限界を超える部材は多いものの、斜 材および下弦材の関係部材の終局状態を僅かに超過する 程度であるのに対し、D-1、D-2、D-11、D-12およびD-13 を削除したケースでは、終局限界を大幅に超過する部材 が現れ、注意する必要がある.

5. まとめ

本論文では, SRC 床版を有する合成トラス鉄道橋を 対象としたリダンダンシー解析を行った.本研究で得ら れた結果および今後の課題を以下にまとめる.

- 斜材を削除した場合, R 値が 1 を超えるケースが多く見られ, 斜材が応力伝達しなくなった場合, 橋梁のリダンダンシーに大きく影響を及ぼすことがわかった.
- 2) 特に支点付近の斜材が R 値に及ぼす影響が大きく, 床版の応力がかなり大きくなるケースもあることも わかった.
- 3) 上弦材を削除した場合, R 値が 1 を超えるケースはなく、上弦材が応力伝達しなくなった場合、、斜材に比べ橋梁のリダンダンシーに及ぼす影響が小さいことがわかった.また、床版に及ぼす影響も斜材の場合に比べ小さい.

4) 今後の課題として、①本研究では線形解析のみの実施であったため、幾何学的非線形性や材料非線形性を考慮した解析を実施(特にR値が1を超えるケース)することで、線形解析の適用性を検討すること、②引引張材破断時の衝撃荷重の導入方法とその影響の検討、③床版が負担している断面力を算出し、そのR値の算定方法を検討すること、および④下弦材が破断した場合の検討などが挙げられる。

参考文献

- National Transportation Safety Board: Collapse of I-35W Highway Bridge Minneapolis Minnesota, August 1 2007, HIGHWAY Accident Report, NTSB/HAR-08/03, 2008.
- 2) 永谷秀樹,明石直光,松田岳憲,安田昌宏,石井博典, 宮森雅之,小幡泰弘,平山 博,奥井義昭:我国の鋼ト ラス橋を対象としたリダンダンシー解析の検討,土木学 会論文集A, Vol.65, No.2, pp.410-425, 2009.
- 3)本田一成,後藤芳顯,川西直樹:リダンダンシーにおける鋼トラス橋の部材崩壊時の衝撃係数に関する一考察, 第64回土木学会年次学術講演会講演概要集, I-113, pp.225-226, 2009.
- 4) 大森友博,齋藤幸司,岩崎英治,長井正嗣:既設ゲルバ ートラス橋のリダンダンシー評価の検討,第64回土木学 会年次学術講演会講演概要集,1453, pp.905-906, 2009.
- 5) 鉄道総合技術研究所:鉄道構造物等設計標準・同解説 鋼・合成構造物(平成21年標準), 2009.
- 5) 土木学会:2007年制定鋼・合成構造標準示方書,設 計編,2007.
- 1) 土木学会:鋼構造物設計指針, PART A一般構造物, 平成9 年度版,鋼構造シリーズ()A, 1997.
- Dassult Systemes Simulia : Abaqus Analysis User's manual, Version 6.8, 2008.

ANALYTICAL STUDY ON REDUNDANCY ASSESSMENT FOR A COMPOSITE RAILWAY TRUSS BRIDGE WITH SRC SLAB

Kunitaro HASHIMOTO, Kunitomo SUGIURA, Kosuke OTSUKA and Shuji YAJIMA

This paper shows the redundancy assessment for the steel-concrete composite railway truss bridge with SRC slab in which lateral members are embedded analytically. The SRC slab is composited with lower chord truss members of the bridge. The bridge was modeled by finite element method and each upper chord member or diagonal chord member was cut analytically one by one, and then the redundancy of the bridge was assessed by output sectional forces from FE analysis and evaluation formulas. The analytical result showed a lot of members were over the ultimate state in the case of breaking of the diagonal member. On the other hand, almost members were safe and not over the ultimate state in the case of breaking of the upper chord member.