1. はじめに

2007年に米国で起きた鋼トラス橋崩落事故1)を受け て、橋梁の設計において、リダンダンシーを確保するこ との重要性が再認識されている. 鋼橋のリダンダンシー |評価をするにあたり,有限要素解析を用いた手法²⁾が数 多く報告されているが、鋼鈑桁橋における床版のモデル 化および床版と主桁間の結合のモデル化は確立されてい ない. 結合に関しては、非合成桁においても、実橋にお けるスラブアンカーによる主桁と床版の合成効果を考慮 し³⁾, 剛体要素を用いて合成桁としてモデル化されるこ とが多いようであるが、活荷重レベルを超える状況での スラブアンカーによる合成効果は確認されていない. ま た,車両などの活荷重を直接的に受ける床版は比較的劣 化が激しい部材であるため、有限要素解析において、床 版の剛性を完全に考慮すると床版の影響を過大評価する 懸念がある.そこで本研究では、連続非合成5 主 I 桁橋 を解析対象として、床版のモデル化がリダンダンシー評 価に及ぼす影響について考察した.

2. 解析方法

(1) 解析モデル

宮城県にある4径間非合成連続鋼板桁橋⁴⁾と同規模の 橋梁(橋長183.2 m,主桁高2.3 m,主桁間隔2.35 m)を 解析対象とした.解析に用いた有限要素モデルを図-1に示す.主桁および横桁と床版は平面シェル要素,下 横構・対傾構は骨組要素を用いてモデル化し,数値解 析には,汎用解析ソフトNX NASTRANを用いて材料 非線形性を考慮した.本研究では,主に床版の影響に着 目するため,壁高欄はモデル化していない.各種材料定 数は,道路橋示方書に基づいて,Young係数は,鋼材 はすべて200 GPa,床版に用いられる RC は23.5 GPa とした.鋼材は主桁部材はSM490Y,横桁と下横構・ 対傾構はSM400A・SS400を想定した弾塑性体とし, von Misesの降伏条件で,初期降伏応力はSM490Y に ついては鋼材の厚さを考慮して355 MPaと335 MPa,

東北大学大学院工学研究科	○学生会員	熊谷 宏之
東北大学大学院工学研究科	正会員	斉木 功
熊本高等専門学校専攻科	正会員	岩坪 要
東北大学大学院工学研究科	正会員	岩熊 哲夫



図-2 荷重載荷と損傷位置

SM400A・SS400 は 235 MPa とし,硬化係数を Young 係数の 10^{-2} 倍として線形等方硬化則を用いた. RC 床 版について条件を変えた 2 つのモデルを用意した. RC を弾塑性体とし, Drucker-Prager の降伏条件で,一軸 圧縮強度 21 MPa,摩擦角 10° としたモデルを model1 とし,床版がまったくない場合を想定し, RC を弾性体 として, Young 係数を 10^{-6} 倍したモデルを model2 と する.床版と主桁間は剛体要素を用いて完全合成桁とし てモデル化した.

(2) 損傷および荷重載荷

端部Aの支承部が腐食等により損傷することを想定 して、G1桁の支承付近の下フランジ・ウェブ・上フラ ンジを桁の橋軸方向に一要素分除去することで、損傷を モデル化した.損傷部に最も大きなせん断応力が生じる ように、図-2に示す位置にB活荷重を載荷した.非線 形解析を行うにあたり、L荷重(L)を漸増させて解析 を行う.このとき、L荷重(L)に対する倍率として荷 重パラメータfを定義し、解析モデルに作用させる荷 重は、死荷重(D)を加えた後、D+f-Lとする.

Key Words: 鋼連続多主桁橋,非線形 FEM, リダンダンシー

〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06 東北大学大学院工学研究科土木工学専攻 構造強度学研究室



図-3 model2の f = 1.0時の曲げ応力分布 (変形 5倍)



図-4 model1の f = 1.0 時の鉛直方向直応力分布 (変形 5 倍)

3. 解析結果

(1) 活荷重1倍時の支点反力

表-1に,健全時の model1 と損傷時の model1 および model2 の端部 A の支点反力を示す. model1 では G1 桁と G2 桁が 10 ~ 15% 程度しか損傷の影響を受けてい ないのに対して, model2 では損傷した桁の支点反力が 約 84% 減少し,代わりに隣接する中桁の支点反力が 2 倍程度に増大していることがわかる. 図-3 に, model2 の主桁の曲げ応力分布図を示す. この図から,損傷した G1 桁は片持ち梁のように変形し,隣接する G2 桁が大 きな曲げ変形を受けていることがわかる. また,損傷し た G1 桁が対傾構で中桁と繋がっている点から中間支点 側では正曲げを受けていることから,対傾構および横桁

モデル	G1	G2	G3	G4	G5	
model1(健全)	691	646	592	549	493	
model1(損傷)	609	758	586	543	474	
model2(損傷)	110	1308	738	469	308	

表-1 活荷重1倍時の端部Aの支点反力[kN]

表-2 各モデルのリダンダンシー解析結果

モデル	支間長/100	相当塑性ひずみ 2%
model1	f = 15.0	f = 12.0
model2	f = 4.2	f = 5.0

によって G1 桁が荷重を分配し,完全な片持ち梁になっ ていないことがわかる.図-4に,model1の損傷部付 近の鉛直方向直応力分布図を示す.これをみると,床版 と主桁間の剛体要素でつながれた節点を有するウェブ要 素が大きな引張あるいは圧縮力を受けており,実際に起 きているとは考えづらい応力集中が生じていることがわ かる.

(2) リダンダンシー評価

たわみが支間長の100分の1に達するときと,主桁 部材の相当塑性ひずみが2%に達するとき,の2つを 限界状態の基準としてリダンダンシーを評価する.表-2に, model1とmodel2がそれぞれの基準に達すると きの荷重パラメータの値を示す.これをみると,床版の 剛性を考慮する場合と無視する場合で限界状態に達する ときの荷重値が3倍程度異なっていることがわかる.ま た,結果より,床版の剛性を無視しても連続鋼5主桁橋 は高いリダンダンシーを有しているとわかる.

4. まとめ

本研究による考察を以下にまとめる.

- 床版と桁を完全合成として扱うと、損傷によって は応力集中が生じるため、正確な解析ができない 可能性がある。
- 鋼鈑桁橋のような床版の性能が構造全体の冗長性
 に大きく影響する構造形式においては、床版のモデル化を適切に行う必要がある。
- 床版の剛性を考慮しなくても、対傾構や横桁によって損傷桁が荷重を分配することから、連続鋼5 主桁橋は十分なリダンダンシーを有しているといえる。

参考文献

- National Transportation Safety Board: Highway Accident Report, Collapse of I-35W Highway Bridge Minneapolis, Minnessota August 1, 2007, NTSB/HAR-08/03, Washington, D. C., 2008.
- 土木学会鋼構造委員会:鋼構造物のリダンダンシーに関 する検討小委員会報告書,2014.6.
- 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-48,163-172,1999.
- 4) 国土交通省東北地方整備局道路工事課: 工事課橋梁工事, http://www.thr.mlit.go.jp/road/kouji/kouji-index.html.
- 5) Ghosen, M. and Moses, F.: *National Cooperative Highway Research Program (NCHRP) Report 406 Redundancy in Highway Bridge Superstructures*, 1998.
- 6) 日本道路協会:道路橋示方書·同解説I共通偏II鋼橋 偏, 2012.