

非合成連続鉄桁橋のシステムリダンダンシーと 既設橋の耐荷力評価のためのシステム係数の検討

埼玉大学 学生員 ○熊木 和輝 正会員 奥井 義昭
東日本高速道路株式会社 正会員 佐久間 智

1. はじめに

通常の橋梁設計では、部材の終局を橋梁全体の終局とみなしている。実際の橋梁では降伏に伴い桁の剛性が変化し、その間に主桁間で荷重の再分配が生じることでより多くの荷重を受け持つことが知られている。このような挙動を、システムリダンダンシーという。

米国 AASHTO MEB¹⁾の定める既設橋の維持管理では Load rating を行い、活荷重に対する残存耐力の比を表す Rating factor(RF 値)を計算している。RF 値を計算式において、システム係数を部材耐力に乗じることで、システムリダンダンシーを考慮している。RF 値の算出式を簡略化して表すと、式(1)のようになる。

$$RF = \frac{\phi_s C - \gamma_D D}{\gamma_L(L + I)} \quad (1)$$

ここで、 C は部材耐力、 D は死荷重効果、 L は活荷重効果、 γ は荷重係数、 I は衝撃、 ϕ_s はシステム係数を表す。

我国では、定期点検の際に残存耐力に基づいた耐荷力評価はなされておらず、橋梁の維持管理にシステムリダンダンシーは考慮されていない。そこで本研究では、Load rating 導入の一環として、旧設計基準で設計された非合成連続鉄桁橋を対象とし、弾塑性解析による耐荷力の評価を行い、部材と橋梁全体系の耐荷性能を整理した。また、解析結果をもとに、現在の日本の設計基準に即した Load rating が実施できるように、システム係数を提案した。

2. システムリダンダンシーの検討方法

システムリダンダンシーの検討は、橋梁全体系と着目主桁単体の3次元 FEM モデルを用いて、弾塑性解析を実施し、曲げ耐力と最大活荷重係数を比較することで行った。対象橋梁は、4本主桁の3径間連続非合成鉄桁橋である。

橋梁全体系の FEM モデルのメッシュ図を図-1 に示す。鋼材は Mises の降伏基準に従う完全弾塑性体とした。コンクリートは全ひずみ固定ひび割れモデルを使

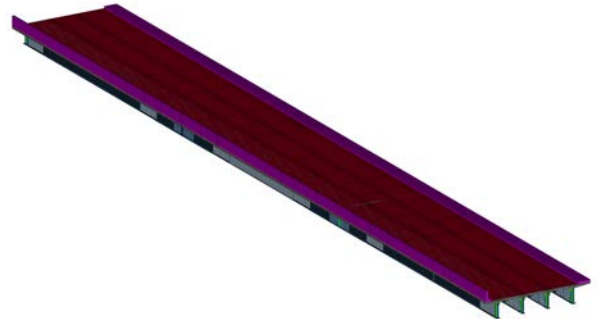


図-1 全体系モデルメッシュ図

用し、ひび割れ後の応力-ひずみ関係は、圧縮側と引張側でそれぞれコンクリート標準示方書²⁾に記載されている前川モデル、Tension stiffening モデルを用いた。

荷重は、道路橋示方書³⁾に従い、1.05倍した死荷重を載荷した後、活荷重係数を漸増させた非線形解析を実施した。活荷重の載荷位置に関しては、着目断面の曲げモーメントが最も厳しくなるような B 活荷重を影響線解析より求めて決定した。終局状態の条件として、側径間の全塑性状態と中間支点上の横倒れ座屈を考慮した。終局の判定は、側径間の下フランジのひずみが降伏ひずみの10倍に達した時、又は中間支点上の下フランジの圧縮応力が横倒れ座屈の限界値に達した時とした。

解析ケースは、外桁と内桁（以下、G1 桁と G2 桁）について、側径間の正曲げおよび中間支点上の負曲げが最大となる合計4ケースを実施した。

3. 解析結果とシステム係数

一例として、G1 桁正曲げ最大のケースにおける活荷重係数と主桁の曲げモーメントの関係を、図-2 に示す。図の縦軸の λ は活荷重係数で、凡例の Single, Whole はそれぞれ桁単体モデル、全体系モデルの結果を表す。また、 M_y , M_{pl} は、それぞれ桁の降伏モーメント、全塑性モーメントを示す。

G1 桁正曲げ着目時において、全塑性状態による終局時では、桁単体モデルと全体系モデルで曲げ耐力に差

キーワード：システムリダンダンシー、Load rating、非線形有限要素解析、鉄桁橋、システム係数

連絡先：〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保 225 埼玉大学大学院理工学研究科 TEL 048-858-3430

は見られず、全塑性モーメントにはほぼ一致した。一方で、G1 桁が降伏すると G2 桁の曲げモーメントの分担が増加し、G2 桁も降伏するとさらに隣の桁の分担が増加するという挙動を繰り返すことで、最大活荷重係数は、全体系モデルが桁単体モデルのものを上回り、システムリダダンシーの効果が確認された。この挙動は、G2 桁着目ケースにおいても発生している。

正曲げ着目時においても、支間が全塑性状態に達する前に、中間支点上が横倒れ座屈の限界状態に達した。この場合、終局時の活荷重係数も低下し、システムリダダンシーの効果も小さくなった。

負曲げに着目したケースでは、G1 桁、G2 桁ともに横倒れ座屈の制限値がフランジの降伏応力より低いため、終局に至るまで桁の降伏は生じず、システムリダダンシーはほぼ無いことが分かった。

最後に、線形解析で得られる終局時の最大活荷重係数を、非線形解析で得られる最大活荷重係数に変換する係数としてシステム係数を定義した。式(1)で RF 値を求める場合、非線形解析と線形解析における終局時の活荷重係数を各々 λ および λ^* とすると、以下の式(2)、(3)の関係が成り立つ。

$$\gamma_D D + \lambda(L + I) = \phi_s C \quad (2)$$

$$\gamma_D D + \lambda^*(L + I) = C \quad (3)$$

非線形解析では、システムリダダンシーの効果を考慮出来るため、部材耐力 C にシステム係数 ϕ_s を乗じている。

式(2)と式(3)の差をとることで、以下の式が得られる。

$$\phi_s = 1.0 + \frac{L + I}{C} (\lambda - \lambda^*) \quad (4)$$

式(4)より求めた、各解析ケースにおけるシステム係数を表-1 および表-2 に示す。

システムリダダンシーが発生する正曲げ最大ケースの全塑性状態に着目した場合、システム係数は 1.0 を上回り、G1 桁で最大で 1.16 となった。正曲げ着目時においても、支点上の横倒れ座屈による限界状態に対しては、システムリダダンシーはほぼ発生しないため、システム係数も 1.0 程度になった。

負曲げ最大のケースでは、システムリダダンシーの効果はなく、システム係数は 1.0 を下回った。これは、橋梁の耐荷力が部材の単体の耐荷力を下回ったということではなく、非線形解析において死荷重載荷時に床板が塑性化したことにより、線形解析と非線形解析の

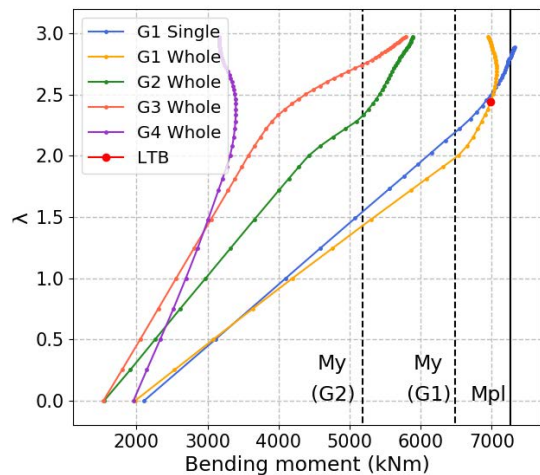


図-2 G1-Mmax 曲げモーメントの分担の変化

表-1 正曲げ着目時におけるシステム係数

荷重ケース	G1-Mmax		G2-Mmax	
	全塑性	横座屈	全塑性	横座屈
ϕ_s	1.16	1.00	1.06	0.96

表-2 正曲げ着目時におけるシステム係数

荷重ケース	G1-Mmin	G2-Mmin
ϕ_s	0.97	0.98

断面力に差が生じたことが原因であると考えられる。線形解析と非線形解析でこれらに結果に差がない場合、システム係数は 1.0 になると考えられる。

4. まとめ

非合成連続桁に対して非線形 FEM 解析を実施し、システム・リダダンシーを検討した。システム・リダダンシーのメカニズムは、荷重の増加に伴い発生する非線形性によって、各主桁の剛性が変化し曲げモーメントが主桁間で再分配されること由来することを示した。システム・リダダンシーの効果を数値化し、Load rating 時にシステム・リダダンシーを考慮出来るようにシステム係数を提案した。

連続桁で中間支点上の横倒れ座屈強度が降伏強度よりも低い場合、連続桁であってもシステム・リダダンシーの効果は期待出来ないことを示した。

参考文献

- 1) AASHTO, The Manual for Bridge Evaluation, 2018.
- 2) 土木学会, コンクリート標準示方書 [設計編], 丸善出版(株), 2017.
- 3) 日本道路協会, 道路橋示方書・同解説 I 共通編, 丸善出版(株), 2017.