

## 2 主開断面主桁を有する連続合成桁橋のリダンダンシー評価

早稲田大学大学院 学生会員 ○仲林 一樹  
 早稲田大学 会員 林 偉偉  
 早稲田大学大学院 学生会員 Heang Lam  
 早稲田大学 フェロー会員 依田 照彦

### 1. はじめに

鋼とコンクリートを用いた合成桁は、日本では古くから用いられ、現在においても頻繁に用いられている複合構造物である。特に、合成桁を連続化した連続合成桁は、単純桁よりも経済性が高く、大規模な地震に対しても有利な構造であることが知られている。本研究では、鉄道橋を対象に、実際の列車荷重を載荷し、有限要素法を用いて計4ケースの非線形解析を行うことにより、2主開断面主桁を有する既存の連続合成桁橋の終局状態までの挙動を検討した。さらに、主桁の下フランジおよびウェブ部分にクラックを想定したモデルを作成し、計10ケースの非線形解析を行うことにより、主桁にクラックが生じた時の橋梁全体のリダンダンシーについて検討を行った。クラックの位置(Case-1~Case-5)を図-2に示す。

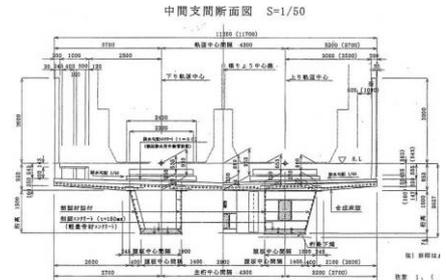


図-1 断面図

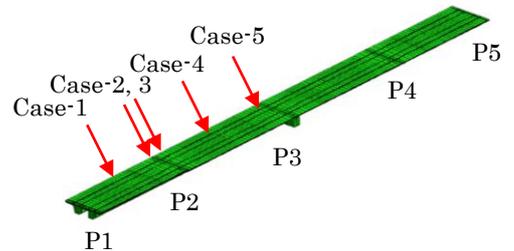


図-2 解析モデル

### 2. 対象橋梁

対象とした橋梁はプレストレスしない4径間連続合成桁橋で、支間割は第一、第四径間が30.2m、第二、第三径間が38mである。P3橋脚には馬桁と呼ばれる在来線を線路下に通すための桁が利用されている<sup>1)</sup>。

### 3. リダンダンシーの評価方法

リダンダンシーの考え方として、死荷重Dを載荷させ、次に活荷重Lを比例的に載荷させた。このとき、載荷荷重は $D + \alpha L$ と表せる。リダンダンシー指標 $\phi$ として $R_u$ を定義し、この値の大小でリダンダンシーを評価する<sup>2)</sup>。ただし、機能上の限界状態も考えられるので、最大変位がスパンの1/100に到達するときの荷重倍率 $\alpha$ を $LF_f$ とし、 $\phi$ の評価にあたっては、 $LF_f$ も用いる。さらに、今回の研究のように損傷している構造物の限界状態での $\alpha$ を $LF_d$ とする。本研究において、リダンダンシーの指標は式(2.1)に示すように $\phi_s$ で表される。NCHBR 458 REPORTによれば、橋梁上部構造のリダンダンシー指標としては、式(2.1)の $\phi_s$ が最低でも0.8以上、できれば1.2以上が推奨されている<sup>2)</sup>。

$R_u$ = 終局限界状態に対する余裕 :	$LF_u/LF_1$
$R_f$ = 機能限界状態に対する余裕 :	$LF_f/LF_1$
$R_d$ = 損傷状態下での余裕 :	$LF_d/LF_1$

$LF_u$ = 上部構造の破壊を引き起こすときの活荷重倍率 $\alpha$
$LF_f$ = 最大変位がスパンの1/100に到達するときの活荷重倍率 $\alpha$
$LF_d$ = 損傷した上部構造が破壊するときの活荷重倍率 $\alpha$
$LF_1$ = 健全な上部構造のある部材が最初に限界値に達するときの活荷重倍率 $\alpha$

$$\phi_s = \min \left[ \frac{R_u}{1.3}, \frac{R_f}{1.1}, \frac{R_d}{0.5} \right] \dots \dots \dots (2.1)$$

キーワード: リダンダンシー解析、完全合成連続鋼桁、鉄道橋、主開断面主桁  
 連絡先: 〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1 51号館 TEL: 03-5286-3399

### 4. 解析結果

解析によって得られた結果の代表例を図-3, 図-4 に示す. 荷重ケースはそれぞれ, 主桁内のクラックがある位置での応答が最大となるようなものを選んで載荷している. また, 測定点はそれぞれ第一径間中央と第二径間中央である. 各ケースとも, 損傷範囲が大きくなるにつれて初期剛性が小さくなり, 終局限界状態における活荷重倍率もより小さな値を取ることが分かった. 馬桁付近の主桁にクラックが生じた場合には, 損傷が生じてもさほど初期剛性に影響がないことが分かった.

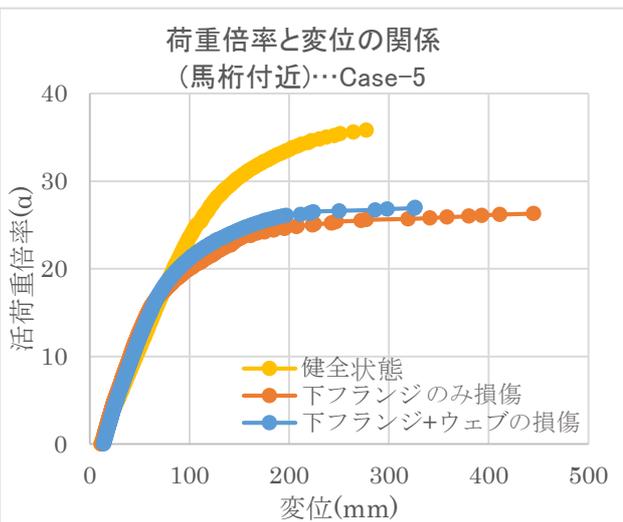
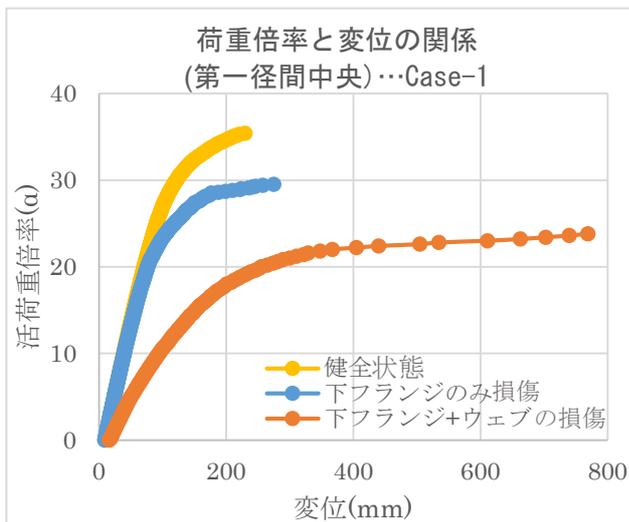


図-3 荷重変位曲線(主桁の第一径間中央にクラックがある場合)

図-4 荷重変位曲線(馬桁付近にクラックがある場合)

表-1 リダンダンシーの評価

損傷範囲	損傷ケース	LF <sub>1</sub>	LF <sub>u</sub>	LF <sub>f</sub>	LF <sub>d</sub>	R <sub>u</sub> /1.3	R <sub>f</sub> /1.1	R <sub>d</sub> /0.5	φ <sub>min</sub>	φ <sub>s</sub>
主桁の下フランジ に損傷あり	Case-1	13.5	-	35.5	29.5	-	2.4	4.4	2.4	1.3
	Case-2	17.4	35.0	-	29.0	1.5	-	3.3	1.5	
	Case-3	17.4	35.0	-	32.8	1.5	-	3.8	1.5	
	Case-4	17.9	29.5	-	26.6	1.3	-	3.0	1.3	
	Case-5	17.4	36.0	-	26.9	1.6	-	3.1	1.6	
主桁の下フランジ +ウェブに損傷あり	Case-1	13.5	-	35.5	23.8	-	2.4	3.5	2.4	1.3
	Case-2	17.4	35.0	-	29.2	1.5	-	3.4	1.5	
	Case-3	17.4	35.0	-	30.4	1.5	-	3.5	1.5	
	Case-4	17.9	29.5	-	15.8	1.3	-	1.8	1.3	
	Case-5	17.4	36.0	-	27.0	1.6	-	3.1	1.6	

### 5. リダンダンシーの検討結果

表-1 に示すように, φ<sub>s</sub> は全解析モデルにおいて推奨値の 1.2 以上となった. また, リダンダンシーの最大値は第一径間中央の主桁下フランジにクラックが生じた場合で, 4.4 であった. これらのことから, 本研究で対象とした 2 主開断面主桁を有する連続合成桁橋は十分なリダンダンシーが期待できると考えられる. また, 損傷のあるモデルにおける破壊荷重を考慮したリダンダンシーの値の最低値が 1.8 であることから, 主桁の一部だけに損傷が生じても橋のリダンダンシーはその影響を大きくは受けないと考えられる.

#### 【参考文献】

- 1) 谷口望, 藤原良憲, 久保武明: 鉄道用合成桁の実剛性の評価方法に関する研究, 構造工学論文集, Vol.57A, 2011年3月.
- 2) Liu, W. D. Ansgar, N. Ghosn, M and Moses, F(2001). "Redundancy in Highway Bridge Substructures" NCHRPREPORT458, National Academy Press.