

# 正・負曲げを受ける合成桁の終局強度に関する実験的研究

建設構造研究室 Phan Quy Thanh  
主査 長井正嗣 教授

## 1. はじめに

橋梁建設コストの削減のため連続合成桁の建設数が増加する傾向にあるが、現状、許容応力設計法が採用されている。しかし、今後一層のコストダウンを達成するためには、塑性設計の導入が欠かせないと考えられ、そのための準備を行う必要がある。

合成桁の終局曲げ強度は、合成断面の塑性中立軸(PNA)がコンクリート床版にある場合、塑性モーメントとなる。一方、PNAが腹板内にある場合、 $D_p/D_t$  ( $D_p$ : 床版コンクリート上縁から PNA までの距離,  $D_t$ : 合成桁のコンクリート床版を含む総高)が EC(ユーロコード)では 0.15 以上、また AASHTO-LRFD(アメリカの荷重係数抵抗設計法)では、0.1 以上では、コンクリートの圧壊が先行して (Ductility 条件) 塑性モーメントが達成できないとされている。その場合、 $D_p/D_t$  に応じて塑性モーメントを低減させる表あるいは評価式が与えられている。

また、合成桁正曲げ部におけるコンパクト断面の規定が下記のように規定されている。

AASHTO/LRFD (米国)

$$\frac{2D_{cp}}{t_w} \leq 3.76 \sqrt{\frac{E}{y}} \quad (1)$$

EC (ヨーロッパ)

$$\frac{2D_{cp}}{t_w} \leq 2.84 \sqrt{\frac{E}{y}} \quad (2)$$

さて、当研究室を含む研究グループでは、これまで、終局強度評価に関する実験、解析的検討を行ってきた。そこでは、EC や AASHTO-LRFD で与えられる断面区分の規定や Ductility 条件が安全側なる結果が得られている。ただ、試験結果が 2 体と限定されていることから、本研究では、新たに合成桁の正・負曲げ試験の 2 体の追加を行い、終局曲げ強度を明らかにし、区分式や条件式の新たな推定を目指す。

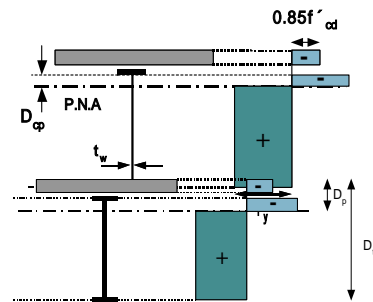


図-1  $D_p, D_t, D_{cp}$  の定義

## 2. 実験概要

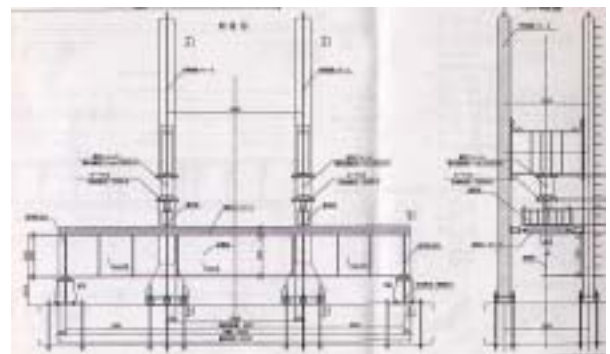


図-2 合成桁の正曲げ試験概要図

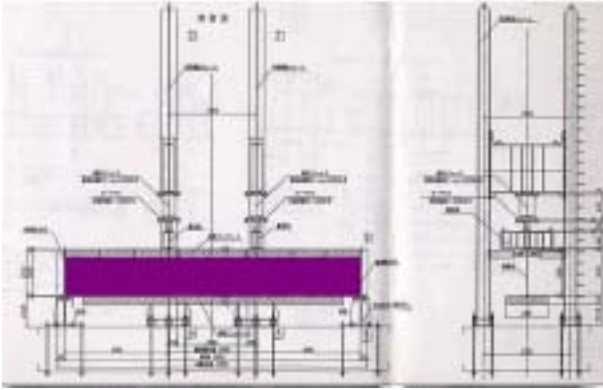


図-3 2重合成桁の負曲げ試験概要図

### 3. 合成桁の正曲げ載荷試験結果と考察

#### 3.1 正曲げ試験結果

以下は正曲げ試験のモーメント - 変位関係と床版圧壊状況の写真を示す。

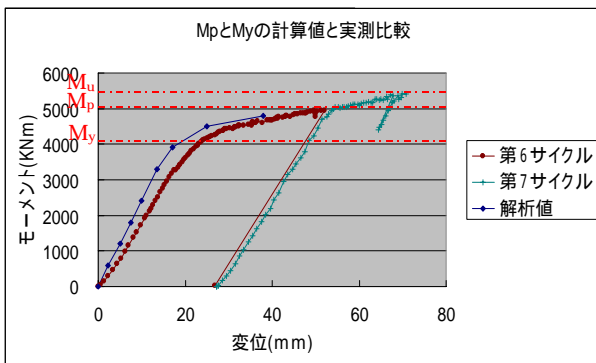


図-4 合成桁の正曲げの実測値と計算値比較



写真-1 正曲げ試験体の圧壊状況

#### 3.2 合成桁・正曲げ試験考察

正曲げ試験の実測値と計算値の比較を表-1 に

示し、図-5 は  $M_u/M_p$  と  $D_p/D_t$  の関係で Ductility 条件を示す。

表-1 . 正曲げ試験の実測値と計算値の比較

	$M_y$ KNm	$M_u$ KNm	$M_p$ KNm	$M_u/M_p$	$M_p/M_y$
計算	4115	4526	5026	0.901	1.221
実測	4120	5480	4890	<u>1.12</u>	<u>1.187</u>

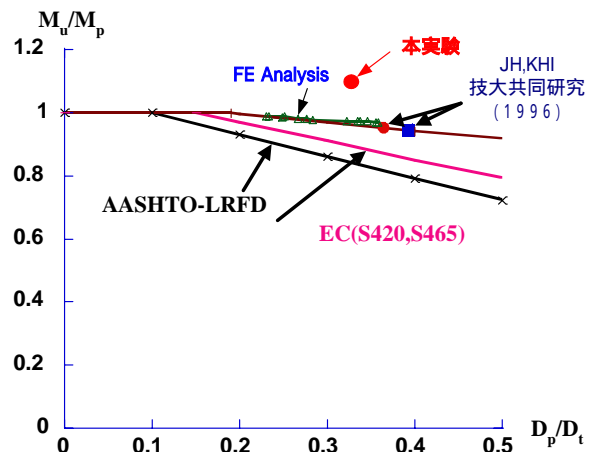


図-5 正曲げ試験  $M_u/M_p$  と  $D_p/D_t$  の関係

図-4 により、合成桁の正曲げ試験の際、終局強度が全塑性モーメントに達することがわかる。なお、実測値の変位が解析値より大きいのは残留応力の影響と考えられる。

EC(ユーロコード)によれば  $D_p/D_t$  が 0.15 以上、AASHTO-LRFD(アメリカの荷重係数抵抗設計法)では 0.1 以上で塑性モーメントが達成できないとされている。しかし、本研究の正曲げ実験では  $D_p/D_t$  が 0.24 で塑性モーメントが達成できており、従って Ductility 条件の見直しが必要と考えられる。

また、コンパクト断面、ノンコンパクト断面の区別について、表-2 に示すように本実験の  $2D_{cp}/t_w$  は EUROCODE、AASHTO-LRFD 及び提案式のコンパクト断面条件を満たし、塑性モーメントが達成できた。さらに、本実験の  $M_u/M_p$  は

1.12 であり，図-5 を見ると EUROCODE 基準，AASHTO-LRFD 基準により大きい値が得られた。従って，コンパクターと，ノンコンパクト断面の区別の基準の見直しが必要と考えられる。

表-2. コンパクト，ノンコンパクト断面の区別

$D_p$ (mm)	342	$D_{cp}$ (mm)	150	$2D_{cp}/t_w$	50	$D_{cp}/D_t$	0.106
$D_t$ (mm)	1412	$t_w$ (mm)	6	$D_p/D_t$	0.24	$M_u/M_p$	1.12
EUROCODE	$\frac{2D_{cp}}{t_w} \leq 2.84 \sqrt{\frac{E}{y}}$					69.5	Compact
AASHTO-LRFD	$\frac{2D_{cp}}{t_w} \leq 3.76 \sqrt{\frac{E}{y}}$					91.5	Compact
PROPOSED	$\frac{2D_{cp}}{t_w} \leq 4.28 \sqrt{\frac{E}{y}}$					104.4	Compact

## 4. 合成桁の負曲げ載荷試験結果と考察

### 4.1 負曲げ試験結果

以下は負曲げ試験のモーメント - 変位関係と床版圧壊状況の写真を示す。

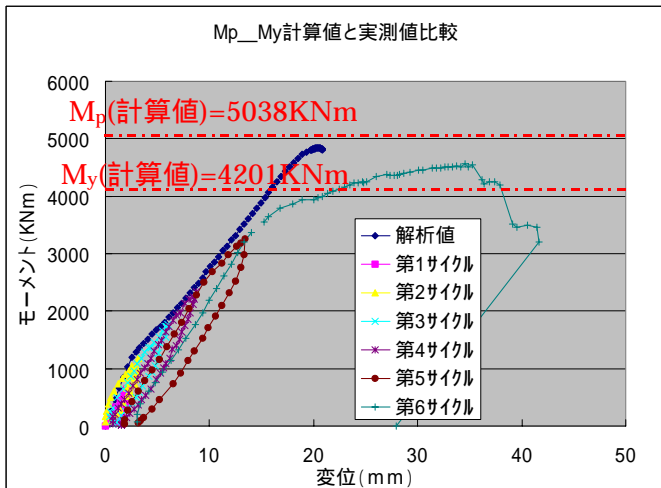


図-6 合成桁の負曲げの実測値と計算値比較



写真-2 負曲げ試験体の圧壊状況

### 4.2 合成桁・負曲げ試験考察

負曲げ試験の実測値と計算値の比較を表-3 に示し，図-7 は  $M_u/M_p$  と  $D_p/D_t$  の関係で Ductility 条件を示す。

表-3 負曲げ試験の実測値と計算値の比較

	$M_y$ KNm	$M_u$ KNm	$M_p$ KNm	$M_u/M_p$	$M_p/M_y$
計算	4201	4239	5038	0.965	1.230
実測	4179	4213	4529	<u>0.930</u>	<u>1.084</u>

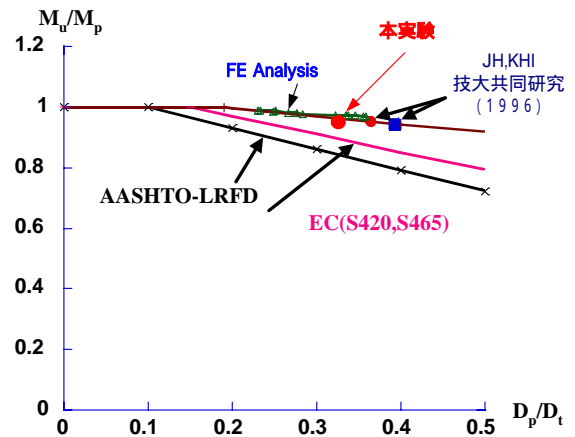


図-7 負曲げ試験  $M_u/M_p$  と  $D_p/D_t$  の関係

負曲げ載荷試験の結果に基づいて，鉛直変位と曲げモーメント関係の計算値と実測の結果を比較すると，合成桁の負曲げ試験における全塑性モーメント ( $M_p = 4760\text{KNm}$ ) が達成できなかったことが分かる。また，床版圧壊の状況はかぶりコンクリートが一部圧壊し剥離した。しかし，床版圧壊状況によると，かぶりコンクリートが剥離したが，床版の桁軸方向鉄筋や帯鉄筋がほとんど変形していないと分かる。さらに，ひび割れ及びコンクリート破壊状況に着目し，水平方向破壊だと見られ，この現象によりスタッドは要因だと考えられる。よって，スタッドは今回の負曲げ試験における全塑性モーメントが達成できなかったことの一つの要因だと考えられる。

表-4. コンパクト，ノンコンパクト断面の区別

$D_p$ (mm)	480	$D_{cp}$ (mm)	347	$2D_{cp}/t_w$	87	$D_{cp}/D_t$	0.236
$D_t$ (mm)	1472	$t_w$ (mm)	8	$D_p/D_t$	0.327	$M_u/M_p$	0.930
EUROCODE	$\frac{2D_{cp}}{t_w} \leq 2.84 \sqrt{\frac{E}{y}}$					73.1	Non-Compact
AASHTO-LRFD	$\frac{2D_{cp}}{t_w} \leq 3.76 \sqrt{\frac{E}{y}}$					96.2	Compact
PROPOSED	$\frac{2D_{cp}}{t_w} \leq 4.28 \sqrt{\frac{E}{y}}$					109.8	Compact

コンパクターと，ノンコンパクト断面の区別について，負曲げ試験体の  $2D_{cp}/t_w$  は EUROCODE のコンパクト断面の基準を満たさないが，AASHTO-LRFD 基準及び提案式のコンパクト断面基準を満たす．さらに，本実験の  $M_u/M_p$  は 0.930 であり，図-7 を見ると EUROCODE 基準，AASHTO-LRFD 基準により大きい値を得られ，JH,KH 技大共同研究(1996)の値に近い．従って，コンパクターと，ノンコンパクト断面の区別の基準の見直しが必要と考えられる．

## 5. 結論

本研究では，合成桁の正・負曲げ試験を行い，正・負モーメントが作用する合成桁の終局曲げ強度特性を明らかにする．本研究で得られた結論を要約すると以下ようになる．

我が国の合成桁の設計では，終局曲げ強度は下フランジが降伏点の強度に達する場合と定義されている．しかし，本研究の合成桁の正曲げ試験では降伏強度よりかなり高い強度すなわち塑性モーメントが達成できたことを明らかにした．今後一層のコストダウンを達成する上で塑性設計の導入が欠かせないと考えられる．

Ductility 条件に関して，EC(ユーロコード)により， $D_p/D_t$  が 0.15 以上，AASHTO-LRFD(アメリカの荷重係数抵抗設計法)では 0.1 以上で塑性モーメントが達成できないとされている．しかし，本研究の正曲げ実験では  $D_p/D_t$  は 0.24 で塑性モーメントが達成できている．そのため，Ductility 条件の見直しが必要と考えられる．

コンパクト断面，ノンコンパクト断面の区別について，正曲げ試験の  $2D_{cp}/t_w$  は EUROCODE，AASHTO-LRFD 及び提案式のコンパクト断面条件を満たし，塑性モーメントが達成できた．さらに，本実験の  $M_u/M_p$  は 1.12 であり，EUROCODE 基準，AASHTO-LRFD 基準により大きい値を得られた．従って，コンパクターと，ノンコンパクト断面の区別の基準の見直しが必要と考えられる．

本研究の 2 重合成桁の負曲げ試験において，全塑性モーメントに達成できなかったが，床版の圧壊状況に着目すると水平軸方向破壊と分かる．この現象により，スタッドは今回の負曲げ試験における全塑性モーメントが達成できなかったことの一つの要因だと考えられる．よって，今後の課題として 2 重合成桁のスタッド設計，配置方法などについて検討する必要があると考える．

## 参考文献

- 1) 色部誠, 河角誠, 安達洋: コンクリート構造物の塑性解析, 丸善, 1985
- 2) JSSC 合理化設計法部会資料: 2 重合成 2 主連続桁(コンパクト断面)の検討, 平成 16 年 11 月
- 3) 中井 博, 北田 俊行: 鋼橋設計の基礎
- 4) 長井正嗣: 橋梁工学, 共立出版, 1994 .
- 5) 北川 将士: 長岡技術科学大学建設工学専攻修士論文 合成桁の終局曲げ強度特性の解明に関する研究 平成 17 年 2 月
- 6) 中川 治士: 長岡技術科学大学建設工学専攻修士論文 連続合成桁の初期ひび割れ性状の解明に関する実験的研究 平成 17 年 2 月
- 7) (社)日本橋梁建設協会: PC 床版を有するプレストレスしない連続合成 2 主桁橋の設計例と解説, 平成 13 年 7 月
- 8) PC 床版連続合成 2 主桁橋の合理的設計, 施工法の開発研究、平成 12 年 9 月 大垣賀津雄
- 9) 経済性・耐久性を目指した次世代橋梁の開発 PC 床版連続合成 2 主桁橋の設計・施工 Ver.2.0 平成 10 年 4 月 川崎重工業株式会社