

開 発

二重合成 I 桁の耐荷力に関する実験

有村 英樹* 高瀬 和男**

近年、鋼橋の建設管理コストを削減する取り組みとして、形式の合理化（少数主桁橋の採用）、合成桁の採用等によりコスト削減を図られているところであるが、更なるコスト削減として、床版の拘束効果を見込み、限界状態における腹板の座屈強度を明確にすることにより、建設コストの削減が可能となると考えられる。

そこで、本実験は、鋼桁の性能照査手法の確立に向けて実橋を再現した試験桁を作成し、使用状態及び終局状態における曲げ耐荷力を確認するものであり、その実験結果を紹介するものである。

キーワード：二重合成 I 桁、コンパクト断面、耐荷力

まえがき

合成桁が正曲げを受ける場合、鋼桁単独の場合と異なり、比較的薄い無補剛腹板でも、その終局曲げ強度が塑性モーメントに達することが知られている。設計にあたり、限界状態設計法の採用は欧米では既に一般的となっているが、現行 ASD（許容応力度設計法）では、このような塑性領域での強度は扱えない。しかし、更なるコスト縮減を達成する上では、新しい設計法へのシフトは欠かせないと考える。我が国では、近年、合成桁の終局強度解明に関する取り組みが活発化しており、今後、更なる経済性の達成を考えた場合、合成桁の LSD（限界状態設計法）構築に向けた取り組みは欠かせないと考える。

そこで、本研究では、以上の対応の一貫として、合成 I 桁供試体に正曲げ、負曲げ（但し、圧縮側鋼板をコンクリートで拘束）を作用させて、それ

ぞれの曲げ耐力を検討したので、その結果を報告する。今回の実験では、鋼桁の性能照査手法の確立に向けて実橋を再現した実験桁を作成し、使用状態及び終局状態における曲げ耐荷力を確認するものである。この全断面塑性状態（コンパクト断面）での設計が可能となることにより、スパン 70～90m クラスの橋梁において、鋼桁橋梁採用が増える可能性がある。

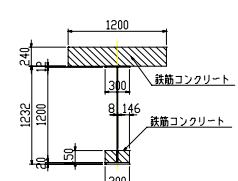
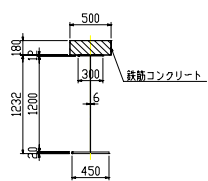
1. 実験概要

実橋の中間支点部を想定して、鋼 I 桁のフランジにコンクリート版を取付けた試験体（※負曲げ試験体は上・下フランジにコンクリート版を取り付けた二重合成桁）を用いて 2 点载荷にて、コンクリート版が圧壊するまで荷重载荷を行うものとする。表-1 に試験体の諸元を示す。図-1 に試験桁を示す。

表-1 試験体諸元

正曲げ試験体 幅厚比=200			負曲げ試験体 幅厚比=150		
コンクリート	圧縮強度	44.3	コンクリート	圧縮強度	46.4
	ヤング係数	3.11×10^4	コンクリート	ヤング係数	3.03×10^4
上フランジ	降伏強度	313	上フランジ	降伏強度	313
	引張強度	444		引張強度	444
腹板	降伏強度	336	腹板	降伏強度	304
	引張強度	332		引張強度	441
下フランジ	降伏強度	300	下フランジ	降伏強度	300
	引張強度	440		引張強度	440
			鉄筋	降伏強度	376
			SD295	引張強度	515

単位：(N/mm²)



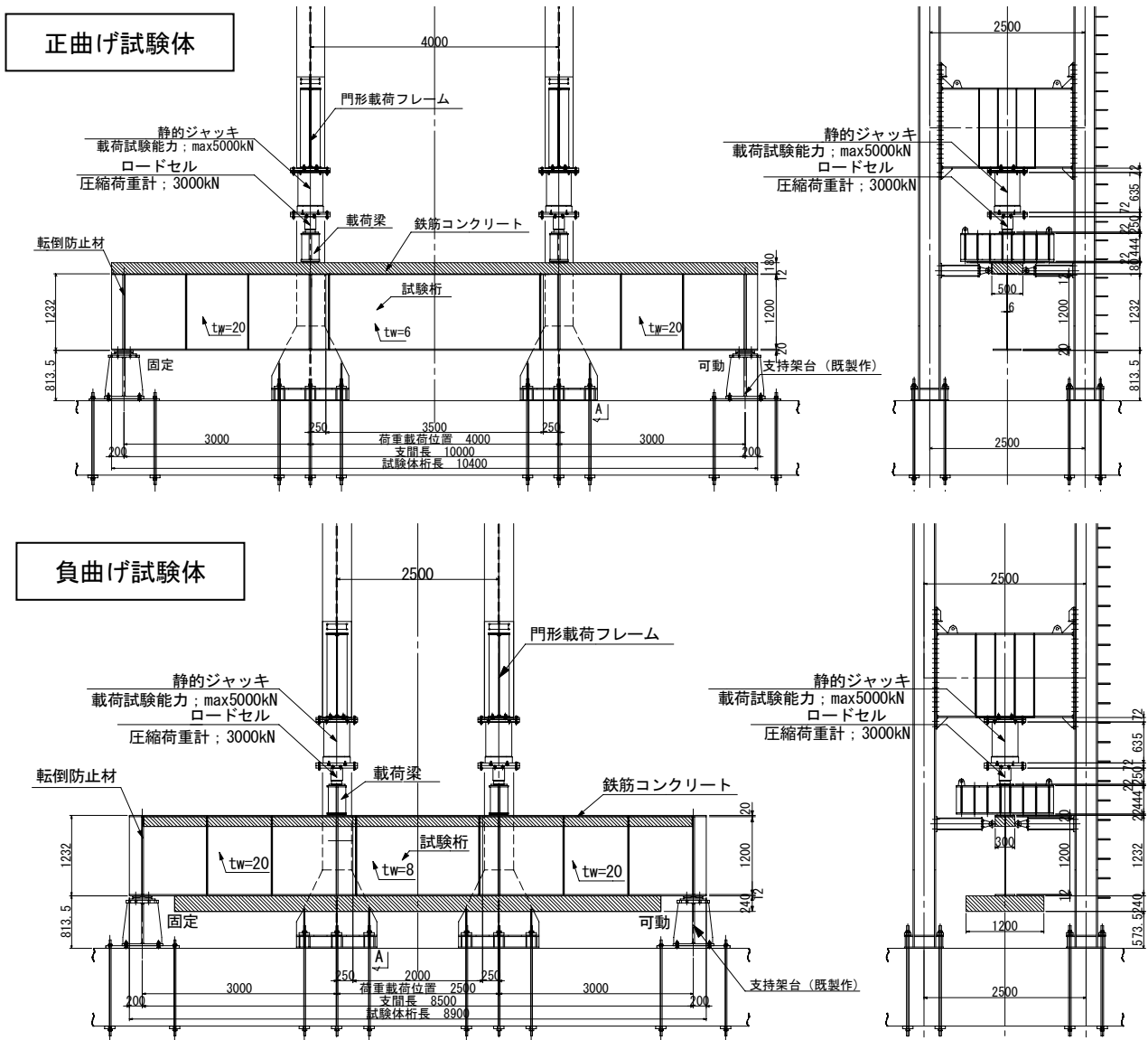


図-1 試験桁

2. 実験結果

(1) 正曲げ試験の結果

正曲げ試験体の荷重－変位曲線を図-2(a)に、圧壊状況を写真-1に示す。また1996年に実施された実験³⁾によって算出された終局モーメントの比較を表-2に示す。

第1サイクルから第5サイクルまでは、弾性領域内で荷重を載荷し、第6サイクルでコンクリートが破壊するまで載荷している。

計算で求まる鋼桁が降伏する荷重 P_y は、1,010kNであり、実験から求まる終局荷重(破壊した荷重) P_u は1,831kNであった。なお、 P_u/P_y は1.8倍と大きな比率となり、塑性モーメントが発生する荷重(P_p)を超える大きな終局強度が得ら

れた。

(2) 負曲げ試験の結果

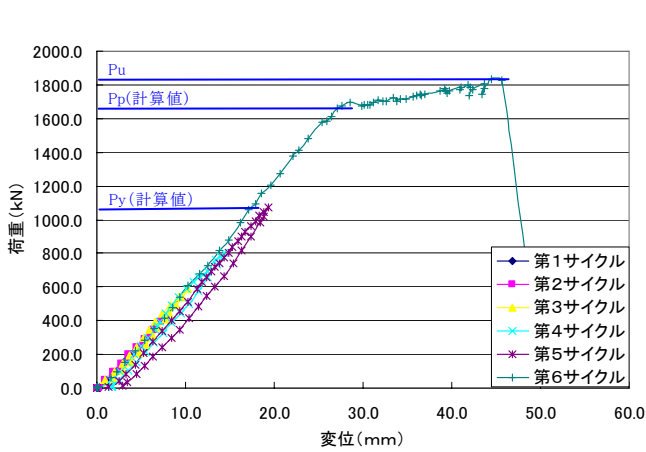
負曲げ供試体の荷重－変位曲線を図-2(b)に示す。正曲げ部と同様に、第1サイクルから第5サイクルまでは、鋼桁の弾性領域内で荷重を載荷し、第6サイクルで下床版のコンクリートが破壊するまで載荷した。

ここで、計算で求まる上床版の鉄筋が降伏する荷重 P_y は1,347kNであり、実験から求まる終局荷重 P_u は1,551kNであった。また、 P_u/P_y が小さい値となったが、これは負曲げ圧縮側のコンクリートに水平スタッドの頭に沿った水平クラックが発生しており、鋼板の座屈防止効果を低減させた可能性があり、このことが強度低下の原因と考えられる。

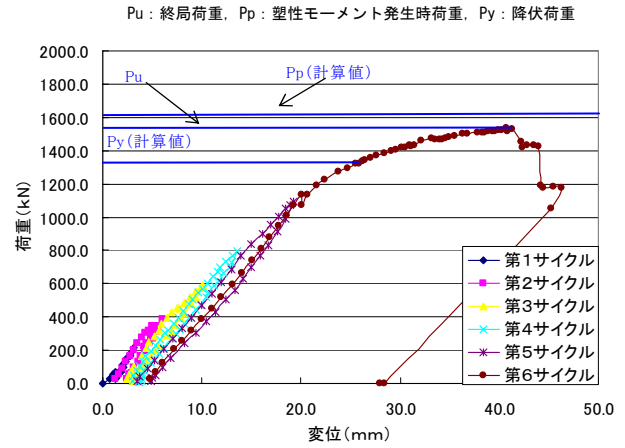
本研究では、合成 I 桁に正曲げ、負曲げを作用させて終局曲げ強度を検討した。正曲げ作用時は、(桁高さ/腹板厚)比が 200 とかなり大きいにもかかわらず、塑性モーメントが発生する荷重を超える曲げ強度が得られた。負曲げ作用時は、塑性モーメントに達しなかったが、今後、解析との検証と

強度の特定がなされる予定である。

また、せん断及び曲げとせん断の組合せ荷重による耐力も明らかにすることで、設計方法の検証がなされる予定である。



(a) 正曲げ試験



(b) 負曲げ試験

図-2 荷重-変位曲線



(a) 正曲げ試験体



(b) 負曲げ試験体



写真-1 試験体圧壊状況

表-2 実験結果

	正曲げ試験体			負曲げ試験体
	幅厚比=158 ³⁾	幅厚比=118 ³⁾	幅厚比=200	幅厚比=200
実験で得られた終局モーメント(M _u)	7.178	7.522	5.493	4.653
計算から求まる降伏モーメント(M _y)	5.776	6.345	3.030	4.041
計算から求まる全塑性モーメント(M _p)	7.375	7.747	5.030	4.890

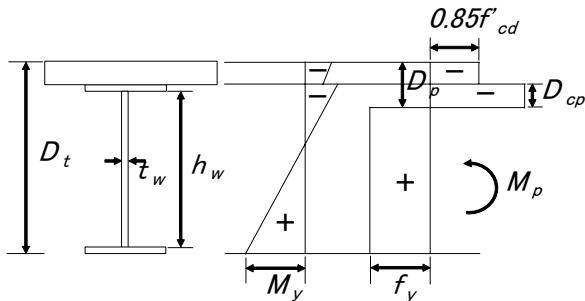
単位：(MN・m)

3. 海外の耐荷力評価

(1) Ductility 条件

合成 I 桁に正曲げモーメントが作用する場合、図-3 に示す塑性状態における腹板内の圧縮領域(D_{cp})と腹板厚(t_w)の比に応じて塑性モーメントに達することが知られ、コンパクト断面⁴⁾またはクラス1, 2断面⁵⁾と定義されている。この場合でも、コンクリート上面から塑性中立軸までの距離(D_p)が大きくなると、塑性モーメントに達する前にコンクリートの圧壊が生じて、塑性モーメントに達しないことになるため、照査を要する。これを Ductility 条件と呼ぶ。

ここでは、以上の結果や、また、文献3)の結果を参照し、合成 I 桁の曲げ強度評価について考察を加える。



(2) 海外の耐力評価式

1) AASHTO-LRFD

AASHTO-LRFD のコンパクト断面の条件式と強度評価式⁴⁾は、図-3を参照して、以下のとおり与えられる。

$$\frac{2D_{cp}}{t_w} \leq 3.76 \sqrt{\frac{E_s}{f_y}}$$

$$M_u = M_p \quad (D_p/D_t \leq 0.1)$$

$$= (1.07 - 0.7 D_p/D_t) M_p \quad (0.1 < D_p/D_t < 0.42)$$

ここで、E_sは鋼桁のヤング率、f_yは鋼桁の降伏応力度、f'_{cd}はコンクリートの圧縮強度を表す。

2) EUROCODE

EUROCODE の場合もクラス2断面に関して同様に以下のとおりとなる⁵⁾。

$$\frac{2D_{cp}}{t_w} \leq 2.85 \sqrt{\frac{E_s}{f_y}}$$

$$M_u = M_p \quad (D_p/D_t \leq 0.15)$$

$$= (1.09 - 0.6 D_p/D_t) M_p \quad (0.15 < D_p/D_t < 0.4)$$

4. 試験結果と耐力評価

図-4 に、終局曲げ強度とパラメータ(D_p/D_t)の関係を示す。図中、実線が AASHTO、破線が EUROCODE の低減係数である。なお、赤丸、青四角が今回の実験値である。正曲げで幅厚比 200 (今回実験) の場合は、終局強度が塑性モーメントを超える (M_u/M_p が 1 を超える)。正曲げの幅厚比 158, 118 (1996 年実験) は、わずかではあるが塑性モーメントに達していない(97~98%程度)。また、負曲げ (圧縮鋼板をコンクリートで拘束) は、正曲げ時に比べて小さい強度が得られているが、その原因は、2で推測しているように、水平スタッドに起因した水平ひび割れ (圧壊と異なる) 先行と考えられ今後調査予定としている。

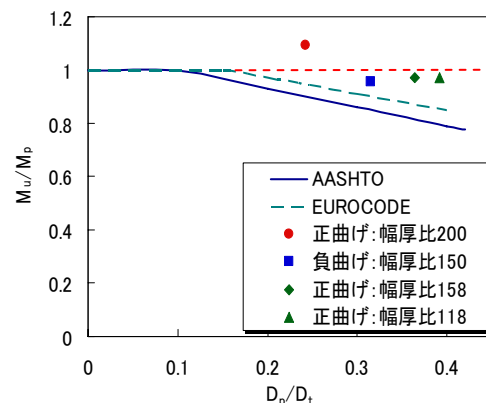


図-4 終局曲げモーメントと塑性中立軸の関係(Ductility 条件)

以上の結果から、AASHTO や EUROCODE の低減係数(コンクリートの圧壊先行による強度低下)は安全側となっていることが分かる。そのため、弾塑性有限変位解析を実施し、新たな評価式の検討がなされる予定である。

あとがき

本実験は、計画段階より中日本高速道路技術研究所の方々、長岡技術科学大学 長井教授、埼玉大学 奥井先生に多大なるご指導、ご鞭撻を頂きました。紙面を借りまして感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 北川将士・長井正嗣・岩崎英治・奥井義昭・稲葉尚文：合成桁の終局曲げ強度特性の解明に関する研究，土木学会第 60 回年次学術講演会講演概要集，2005.9.
- 2) 稲葉尚文・富田芳男・長井正嗣・岩崎英治・奥井義昭・有村英樹：合成 I 桁の曲げ強度評価に関する一考察，土木学会第 61 回年次学術講演会講演概要集,2006.9.
- 3) 大垣賀津雄，川口喜史，磯江暁，高橋昭一，川尻克利，長井正嗣：合成 2 主桁橋の鋼主桁補剛設計に関する実験的研究，構造工学論文集，Vol.44A, pp.1229-1239, 1998.
- 4) American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) (2000) LRFD bridge design specifications – 2000 interim, Washington, D.C.
- 5) European Committee for Standardization (CEN) (2003) Eurocode 4 – Design of composite steel and concrete structures。Part-1: General rules and rules for buildings, Brussels, Belgium