

合成ハイブリッド桁設計法の開発研究

建設構造研究室 長井雅人

指導教官 長井正嗣

岩崎英治

1 はじめに

橋建設事業におけるコスト縮減対応として、非常にシンプルな横補剛システムをもつ鋼少数主桁橋が開発され、スパン 40~60 mで、多くの建設例を見る。一方で、上記のスパン領域以外では、逆にコンクリート系橋梁が経済的な形式として圧倒的な建設数を誇っている。鋼系橋梁案としては、(架設時)開断面箱桁橋や狭幅箱桁橋がスパン 60m 以上(80m 程度までの)の競争的形式として開発提案されているが、建設例は必ずしも多くない。さらに長スパンをターゲットとした、形鋼トラス橋、2 重合成桁橋、合成斜張橋の提案が行われているものの、形鋼トラス橋の 1 例を除いて実現していない状況にある。以上は、鋼、コンクリート系橋梁の競争に関わる現状であるが、この競争は今後も続くわけで、新たな技術開発の継続努力が欠かせない重要な課題となることは言うまでもない。

このような状況の中、本研究では、競争力アップの一手法として、フランジ、ウェブが異なる強度を有する鋼材で構成される合成ハイブリッド桁に着目して、その競争力や設計法について考察を加える。

今回、センタースパン 80,100m の 3 径間連続合成桁モデルを対象に、ASD(許容応力度設計法),LSD(限界状態設計法)設計を通し、ノン・ハイブリッド桁、ハイブリッド桁の比較・考察を行い、ハイブリッド桁導入の効果について検討を行った。同時に、せん

断強度評価も行う。

2 ハイブリッド桁とは

図-1 に示すハイブリッド桁の発想は、ウェブの主たる目的がせん断に抵抗することに着目し、鋼桁断面内のウェブに低強度材の適用、つまり相対的に低コストの鋼材を適用してコスト縮減を図ろうというものである。また、合成桁の場合、正曲げを受ける区間で、上フランジに低強度材が使用できる。

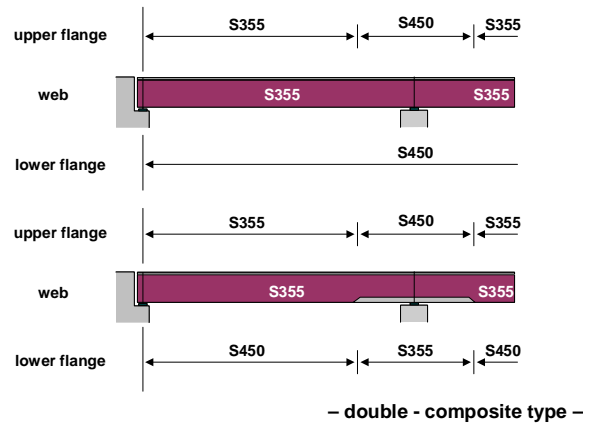


図-1 ハイブリッド桁

3 ハイブリッド桁導入に際して

現行道示は許容応力度設計法(ASD)を採用しているため、強度の低い鋼材の降伏強度で、桁の強度や安全性が支配される。つまり、現行道路橋示方書ではハイブリッド桁導入のメリットがでない。したがって、ハイブリッド桁の導入には、新しい設計法である限界状態設計法(LSD)の導入が欠かせない。許容応力度設計法(ASD)と限界状態

設計法(LSD)の照査方法の大きな違いは、鋼材降伏(σ_y)を使用限界とみなすか、終局限界、破壊とみなすかの違いである。

4 合成桁塑性モーメントの比較

正曲げ状態について考察する。塑性中立軸が一般に床版内に位置することから、ウェブ強度の差異によって終局曲げモーメントに差異が生じることになる。フランジに SM570 材、ウェブに SM490Y 材を用い、塑性モーメントについて試算する。上、下フランジ幅を 700(mm)で固定し、板厚(t_{fu}, t_{fn})を変化させる。また、ウェブも($H_w \times t_w$)=(2,500 × 18),(3,000 × 20)の 2 種類を対象とする。計算対象とした板厚 $\{t_{fn}(=t_{fn}-10)\}$ は、30,34,38,42,50,60,70(mm)である。ウェブ高 2,500mm, 3,000mm の場合、ハイブリッド桁の塑性モーメントは、それぞれのケースで、ノンハイブリッド桁の 91~95%, 87~91%程度となる。また、フランジ厚が小さい方が、ウェブ高の高い方が低下の度合いは大きくなる。

5 鋼桁曲げ強度の比較

負曲げ状態では、強度評価時の中立軸はウェブ内にある。そのため、ウェブに低強度材を採用することによる強度低下は小さいと考えてよい。尚、ここでは鉄筋の影響を無視する。上、下フランジ幅を先と同様 700(mm)とし、板厚(t_{fu}, t_{fn})を変化させる。またウェブも 2 種類を対象とし、($H_w \times t_w$)=(2,500 × 20),(3,000 × 24)の 2 ケースとする。板厚は上、下で $\{t_{fu}(=t_{fn})\}$, $\{t_{fn}(=t_{fn}-6)\}$ とし、 t_{fn} =28,32,36,40,44,58,52,60,70,80 とする。いずれも単位は(mm)である。

ウェブ高 2,500mm のケースで、ハイブリ

ッド桁の曲げ強度は 96~98%に低下し、3,000mm の場合もほぼ同じであった。これより、ハイブリッド桁にしても、曲げ強度の低下は小さいことがわかる。

6 ASD, LSD で設計された断面の考察

スパン割(65 + 80 + 65m) ,(80 + 100 + 80m) の 2 種類の長スパン 3 径間連続合成 2 主 I 桁橋を扱う。また、径間部の正曲げを受ける桁断面及び負曲げを受ける中間支点位置の桁断面について ASD,LSD で検討を行う。ここで扱う LSD では、断面積の変化のおおよその目安を確認することを目的とするため、使用限界状態[永久変形、すなわち塑性化を許さず使用性能を確保する]、終局限界状態の二つを扱い、性能が満足されているかを照査する。その際、扱う荷重は死荷重と活荷重のみで、収縮応力は考慮していない。以上の結果を表-1,2 に示す。

1)スパン 80m 径間部(正曲げ)において LSD では、使用、終局限界状態での作用と抵抗(強度)の比率の差異からわかるように、使用限界状態で断面寸法が決定されている。断面積については、LSD を採用することで、現行道示に比べて 80%程度になる。ハイブリッド桁の場合、ウェブに低強度材料を使用することから 90%程度となり、いずれも ASD に比べて断面積が小さくできる。中間支点位置断面(負曲げ)の場合、ASD ,LSD(ハイブリッド、ノンハイブリッド)いずれも同一断面となる。この理由は、a)いずれのケースも終局限界状態で断面が決定される、b)中間支点位置の抵抗断面は[鋼桁 + 鉄筋]断面で、その最大強度が降伏モーメントとなる、ためである。

2)スパン 100m の場合も同様のことが言

える。

表-1 断面積の比較(スパン 80m)

| (cm ²) | スパン(m) | 80 | | |
|--------------------|--------|------|------------|-------------|
| | | 設計法 | ASD | LSD |
| | | | non-hybrid | hybrid |
| 正曲げ | Af | 567 | 340 | 455 |
| | Aw | 600 | 600 | 600(S355) |
| | ΣAs | 1167 | 940(80.5%) | 1055(90.4%) |
| 負曲げ | Af | 1190 | 1190 | 1190 |
| | Aw | 750 | 750 | 750(S355) |
| | ΣAs | 1940 | 1940 | 1940 |

表-2 断面積の比較(スパン 100m)

| (cm ²) | スパン(m) | 100 | | |
|--------------------|--------|------|-------------|-------------|
| | | 設計法 | ASD | LSD |
| | | | non-hybrid | hybrid |
| 正曲げ | Af | 800 | 528 | 676 |
| | Aw | 600 | 600 | 600(S355) |
| | ΣAs | 1400 | 1128(80.6%) | 1276(91.1%) |
| 負曲げ | Af | 1640 | 1640 | 1640 |
| | Aw | 750 | 750 | 750(S355) |
| | ΣAs | 2390 | 2390 | 2390 |

7 ハイブリッド桁の経済性

物価版によると、SM490Y 材と SM570 材の鋼材単価は 1.00:1.25~1.30 となっている。今回、換算断面積の比較においては、小さい方の値を用いて、1.00:1.25 とした。結果を表-3 に示す。

正曲げ領域では、ウェブのみ低材質を用いた場合、換算断面積はほぼ同じとなる。ハイブリッド桁は、使用限界状態における要求性能、塑性化を許さない条件を満足するために桁断面サイズがノン・ハイブリッド桁より大きくなる。しかし、ウェブのみでなく、上フランジの低材質化をあわせ実施すると、96%~98%に低減できる。

負曲げ領域では、ASD, LSD の差異で、またハイブリッド、ノン・ハイブリッド設計の差異で断面積に差異はほとんど生じな

い。これは、いずれも終局限界状態で断面が決定されるため、終局曲げ強度がほぼ降伏モーメントのためである。この場合、ハイブリッド化の効果がより現れる。表より、換算断面積が 92%~94%に低減されていることがわかる。

よって、橋全体で考えると、5,6%程度の低減になる。

表-3 鋼材単価を考慮した換算断面積比較 (正曲げ)

| スパン(m) | non-hybrid | hybrid | hybrid |
|--------|------------|----------------|---------------|
| | | ウェブ低材質化 | 上フランジ、ウェブ低材質化 |
| 80 | 1,175 | 1,169 (99.5%) | 1,125 (95.7%) |
| 100 | 1,410 | 1,445 (102.9%) | 1,381 (97.9%) |

(負曲げ)

| スパン(m) | non-hybrid | hybrid |
|--------|------------|---------------|
| | | ウェブ低材質化 |
| 80 | 2,435 | 2,238 (91.9%) |
| 100 | 2,988 | 2,800 (93.7%) |

8 せん断強度に関する考察

ここでは、せん断座屈強度の評価として、後座屈強度を考慮し、材質 SM570, SM490Y を対象とする。計算にあたり、中間支点位置が照査の上で重要となることから、アスペクト比は 0.8, 1.0, 1.2, 1.5 とし、ウェブ高(H_w)3,000mm で、パラメータ(H_w/t_w = 100~200)を計算対象とする。アスペクト比 1.0 の場合の結果を図-2 に示す。後座屈を考慮する場合、SM570 材と SM490Y 材の強度差はアスペクト比()=0.8, 1.0, 1.2, 1.5, H_w/t_w = 100~200 で約 80~85%の低下となり、薄板になっても大きく強度が低下することはない。一方、後座屈強度が発揮できないと

すると、薄板では 35%に低下し顕著といえる。仮に、 t_w を 25mm($h_w/t_w = 120$)とする場合、Basler 式では 84%の低下、薄板では 57%の低下となる。

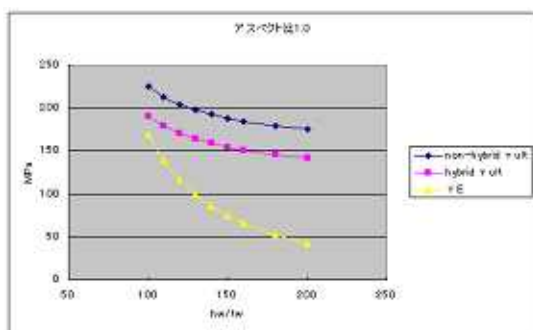


図-2 セン断強度の比較(アスペクト比 1.0)

9 結論

1) 鋼材強度の組合せは、[SM570 と SM490Y]、[SM490Y と SM400]が好ましい。

2) ハイブリッド桁の設計にあたり、その競争性が発揮できる設計を行うためには、現行道路橋示方書が採用している ASD から、新たな要求性能を定義した LSD への移行が欠かせない。

3) 正曲げを受ける合成 I 桁を対象とした場合、a) ハイブリッド桁の(塑性強度はノン・イブリッドの 85~90%程度となる。b) ASD 設計に対して、LSD での設計では、鋼断面積が約 80%になるが、ハイブリッド桁の場合は約 90%となる。

4) 負曲げを受ける場合、a) 本文で採用する限界状態の設定と、その際の要求性能を満足する設計法をベースとすれば、ウェブの鋼材強度を 1 ランク低減させても問題はない。b) ハイブリッド、ノン・ハイブリッド桁の終局曲げ強度の差異は小さい。

5) ハイブリッド桁の経済性について、a) 正曲げ領域では、ウェブのみ SM490Y を用いた場合、ノン・ハイブリッド桁との鋼材

費用の変化は小さい。b) 負曲げ領域では、換算断面積(鋼材費用)で 92%~94%に低減できる。

6) セン断強度評価について、a) 後座屈強度を考慮すると、SM490Y 材のせん断座屈強度は SM570 材に比べて 15~20%低下する。b) $\lambda = 1.0$ 、 $H_w/t_w = 120$ の場合、後座屈強度を考慮したハイブリッド桁のせん断強度はノン・ハイブリッド桁の約 85%程度に低下する。一方、弾性座屈強度は 55%程度に低下する。