

道路橋合成桁の最適断面に関する検討

Study of the optimum section for highway composite girder bridge

北海学園大学大学院 工学研究科 ○学生員 前田淳哉 (Jun-ya Maeda)
北海学園大学工学部 フェロー 当麻庄司 (Shouji Toma)

1. はじめに

筆者らは前に、道路橋合成桁橋についてベンチマークによる世界各国の設計比較を行った¹⁾。その結果、諸外国では我が国より桁高を低くとり、補剛材を用いない傾向の設計が多いということが判明した。

そこで、本論文では補剛材を省略しつつ主桁の腹板高を変えることで主桁断面を決定し、それらを比較検討して最適な主桁高さを求めることを目的とする。このとき、設計条件は文献¹⁾のベンチマーク設計に準拠する。すなわち、主要な設計条件としては、支間=30m、道路幅員=8.5m、主桁本数=4本、主桁間隔=2.6m等である。なお、本論文での設計にあたっては道路橋示方書²⁾を適用した。

2. 腹板厚さと補剛材の必要性¹⁾

図-1に、10カ国の腹板の設計結果を示す¹⁾。縦軸は腹板厚さと高さの比 (t/h)、横軸はA~Jの国別と腹板の高さ(h)と支間(L)の比を示す。ここで、Hが日本の設計である。これらの設計に対して、道路橋示方書²⁾を適用した場合、補剛材の必要の有無を表す制限値を同図中に横線で示す。腹板厚さ(縦軸)がこれらの制限値よりも上にあれば、補剛材は不要である。これを見ると、G、HおよびI国を除いて水平補剛材が不要であることがわかる。

さらに、後でも述べるようにたわみの制限値に対して余裕があることから、我が国の設計(図-1のH国)の改善策としては剛性が下がったとしても桁高をこれより低くとり、補剛材を省略する方向で設計を行うのがよいと思われる。

以下、桁高を低くした場合、補剛材との関連を含めて最適な主桁断面について検討する。

3. 水平補剛材を省略した場合

3.1 最適主桁高さ

まず、腹板を厚くすることで水平補剛材を省略した場合の設計比較を行う。表-1に、その場合の主桁高さの変化に対する設計結果を外主桁と中主桁について示す。腹板高さは900~1600mmの範囲で検討した。腹板高さ1600mmについては、図-1のH国(日本)で示した水平補剛材を一段用いた設計も比較のために示した。

表-1において、主桁断面の特徴として、桁高が低くなるにつれて、上下フランジの断面積に差がなくなっていく、I型断面のバランスが上下対称に近くなっていくことがわかる。腹板の最小厚さは、腹板高さが高い1600mmに対しても13mmとそれ程大きくはなく、十分に実用的な設計と考えられる。また、腹板高さを小さくした場合、ここでは最小厚さを9mmとして検討した。

表-1に示した設計結果を用いて、図-2に桁高を変化させた場合、外主桁と中主桁各1本の断面積および主桁4本の総断面積の比較を示す。図-2から、主桁の総断面積は桁高に対して2次曲線で近似されることが、見てとれる。桁高が高くなると最小腹板厚が大きくなって腹板の断面積が増す一方、フランジの断面積が減少する。総断面積が最小の主桁高さは、1400mm近辺にあることがわかる。桁高が1400mmより低くなると腹板厚さも小さくなるが、これによる腹板断面積の減少よりも、フランジの断面積の増加が大きくなっていく。

表-1において、桁高1600mmに対して水平補剛材の有無による比較を行うと、水平補剛材を省略した場合上下フランジの断面をわずかに小さく設計することが可能となっている。それぞれの主桁断面積の比較を行うと、フランジの断面変化よりも腹板厚の増加の影響が大きいことから、水平補剛材を使用しない方が鋼桁断面積全体

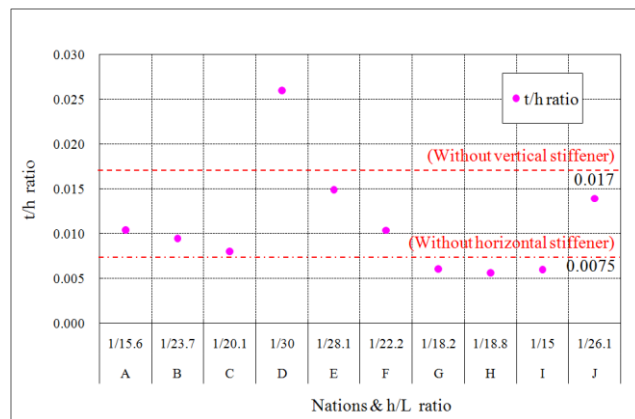


図-1 諸外国の腹板設計と補剛材の必要性

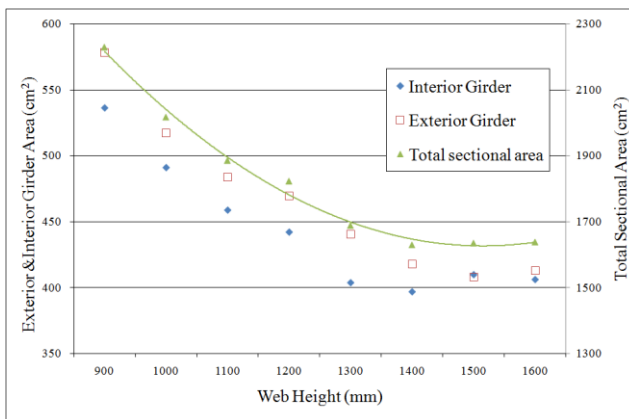


図-2 主桁断面積の比較(水平補剛材なし)

表-1 水平補剛材を省略した設計結果

Web Height (mm)		900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1600 with stiffener
Interior Girder	Top-Flange	470*29	460*25	460*22	400*22	400*19	330*19	320*16	300*16	320*18
	(Sectional area cm ²)	(136)	(115)	(101)	(88)	(76)	(63)	(51)	(48)	(58)
	Web	900*9	1000*9	1100*9	1200*10	1300*10	1400*11	1500*12	1600*13	1600*9
	(Sectional area cm ²)	(81)	(90)	(99)	(120)	(130)	(154)	(180)	(208)	(144)
	Bottom-Flange	550*58	550*52	550*47	520*45	520*38	500*36	510*35	500*30	520*30
	(Sectional area cm ²)	(319)	(286)	(259)	(234)	(198)	(180)	(179)	(150)	(156)
	Sectional area (cm ²)	536	491	459	442	404	397	410	406	358
	Is (cm ⁴)	932,000	999,000	1,087,000	1,189,000	1,231,000	1,314,000	1,448,000	1,582,000	1,539,000
	Iv (cm ⁴)	3,151,000	3,469,000	3,799,000	4,170,000	4,296,000	4,697,000	5,397,000	5,612,000	5,351,000
	Deflection δ_L (mm)	29.0	26.5	24.3	22.2	21.4	19.6	18.3	17.0	17.3
	Deflection δ_d (mm)	119.8	110.0	102.3	94.7	90.2	84.3	76.2	67.2	72.0
Exterior Girder	Top-Flange	520*29	500*25	500*22	430*22	430*19	370*19	320*17	300*15	320*19
	(Sectional area cm ²)	(151)	(125)	(110)	(95)	(82)	(70)	(54)	(45)	(61)
	Web	900*9	1000*9	1100*9	1200*10	1300*10	1400*11	1500*12	1600*13	1600*9
	(Sectional area cm ²)	(81)	(90)	(99)	(120)	(130)	(154)	(180)	(208)	(144)
	Bottom-Flange	550*63	550*55	550*50	520*49	520*44	510*38	510*34	500*32	520*32
	(Sectional area cm ²)	(347)	(303)	(275)	(255)	(229)	(194)	(173)	(160)	(166)
	Sectional area (cm ²)	578	518	484	469	441	418	408	413	371
	Is (cm ⁴)	1,023,000	1,070,000	1,164,000	1,273,000	1,346,000	1,416,000	1,464,000	1,588,000	1,612,000
	Iv (cm ⁴)	3,220,000	3,480,000	3,829,000	4,267,000	4,577,000	4,763,000	5,122,000	5,616,000	5,399,000
	Deflection δ_L (mm)	29.4	26.5	24.4	22.3	21.5	19.6	18.2	16.7	17.1
	Deflection δ_d (mm)	124.2	114.2	106.0	98.1	93.4	87.2	79.7	70.3	75.3
Total sectional area (cm ²)		2229	2017	1885	1823	1688	1630	1635	1638	1458

表-2 垂直・水平補剛材を省略した設計結果

Web Height (mm)		900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1600 with stiffener
Interior Girder	Top-Flange	520*23	480*20	390*19	340*18	340*14	300*15	320*11	330*10	320*18
	(Sectional area cm ²)	(120)	(96)	(74)	(61)	(48)	(45)	(35)	(33)	(58)
	Web	900*16	1000*17	1100*19	1200*20	1300*22	1400*24	1500*25	1600*27	1600*9
	(Sectional area cm ²)	(144)	(170)	(209)	(240)	(286)	(336)	(375)	(432)	(144)
	Bottom-Flange	520*60	520*54	510*48	520*39	460*39	450*33	470*27	400*24	520*30
	(Sectional area cm ²)	(312)	(281)	(245)	(203)	(179)	(149)	(127)	(96)	(156)
	Sectional area (cm ²)	576	547	528	504	513	530	537	561	358
	Is (cm ⁴)	916,000	993,000	1,064,000	1,139,000	1,259,000	1,432,000	1,552,000	1,721,000	1,539,000
	Iv (cm ⁴)	3,222,000	3,607,000	3,960,000	4,182,000	4,644,000	5,004,000	5,438,000	5,797,000	5,351,000
	Deflection δ_L (mm)	28.8	25.8	23.4	22.3	19.3	18.4	18.2	15.9	17.3
	Deflection δ_d (mm)	120.9	109.8	102.6	96.9	85.9	79.2	76.2	63.7	72.0
Exterior Girder	Top-Flange	520*25	480*23	390*22	340*19	340*13	300*14	300*12	300*11	320*19
	(Sectional area cm ²)	(130)	(110)	(86)	(65)	(44)	(42)	(36)	(33)	(61)
	Web	900*16	1000*17	1100*19	1200*20	1300*22	1400*24	1500*25	1600*27	1600*9
	(Sectional area cm ²)	(144)	(170)	(209)	(240)	(286)	(336)	(375)	(432)	(144)
	Bottom-Flange	520*64	520*57	520*51	520*45	480*43	460*35	460*30	420*27	520*32
	(Sectional area cm ²)	(333)	(296)	(265)	(234)	(206)	(161)	(138)	(113)	(166)
	Sectional area (cm ²)	607	577	560	539	537	539	549	578	371
	Is (cm ⁴)	984,000	1,070,000	1,165,000	1,225,000	1,301,000	1,451,000	1,605,000	1,812,000	1,612,000
	Iv (cm ⁴)	3,223,000	3,480,000	3,988,000	4,354,000	4,788,000	4,981,000	5,402,000	5,868,000	5,399,000
	Deflection δ_L (mm)	28.8	26.1	23.3	22.1	19.2	18.3	18.3	15.9	17.1
	Deflection δ_d (mm)	125.5	114.1	106.2	101.0	89.8	82.6	79.6	66.0	75.3
Total sectional area (cm ²)		2365	2247	2176	2085	2099	2137	2172	2279	1458

で1割程度大きくなる結果となっている。

3. 2 主桁の剛性とたわみ比較

図-3, 4 に、桁高を変化させた場合、それぞれ鋼桁と合成後の断面二次モーメントを外主桁と中主桁について示す。これらの図から、断面二次モーメントはほぼ主桁高さに比例していることがわかる。また、外主桁と中主桁の剛性に大きな違いはなく、バランスの取れた設計となっている。

断面二次モーメントは桁の剛性であることから、桁のたわみに反比例する。図-5, 6 に示すように、活荷重と死荷重によるたわみ量は主桁高さに反比例している。本設計では、活荷重によるたわみ制限値は支間 30m に対して 45mm であり、図-5 からいずれの主桁高さもたわみ制限に対して十分な余裕があることがわかる。

図-5 に示す活荷重による外、中主桁のたわみは、ほぼ同じである。図-6 の死荷重によるたわみは、本設計では外主桁の方がわずかに大きい、その差は小さい。このことから、主桁間隔のとり方が適切であるため外、中主桁のバランスはよく取れていると言える。

4. 水平・垂直補剛材を省略した場合

4. 1 最適主桁高さ

次に、水平補剛材と垂直補剛材の両方を省略した場合について検討してみる。その設計結果を表-2 に示す。

表-2 において、主桁断面は水平補剛材のみを省略した場合と同様に、桁高が低くなるにつれて断面の balan

スが上下対称に近づいていく傾向がみられる。しかし、腹板の最小板厚は、垂直補剛材の使用時に比べかなり大きくなり約 2 倍となる。たとえば、腹板高さを 1600mm とした場合に最小板厚は 27mm となり、垂直補剛材を使用した場合には 13mm となる。そして、圧縮側となる上フランジの板厚が非常に薄くなり、道示における自由突出板の局部座屈に対する制限値に近づいている。これらのことから、桁高が高い場合垂直補剛材まで省略する設計は、あまり実用的ではないと言える。

図-7 に、中主桁と外主桁および主桁 4 本の総断面積を示す。図-2 で示した水平補剛材省略時と同様に、ここでも主桁の総断面積は 2 次曲線で近似されることがわかる。水平補剛材を省略した場合と異なるのは、極小値

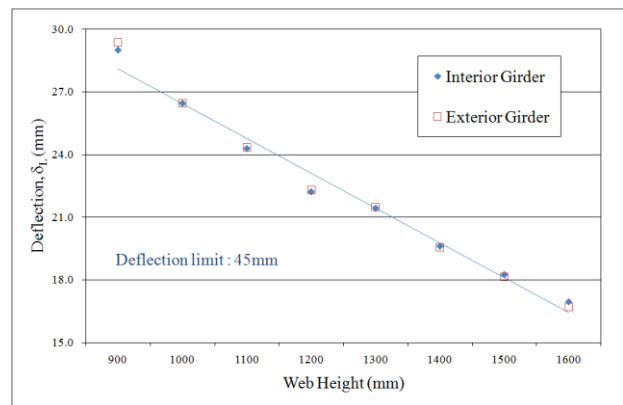


図-5 活荷重によるたわみ比較(水平補剛材なし)

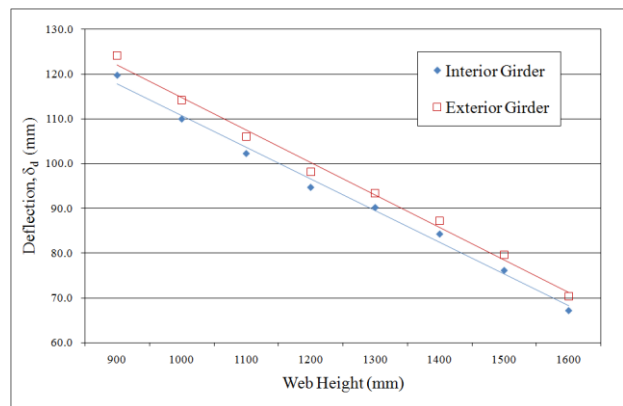


図-6 死荷重によるたわみ比較(水平補剛材なし)

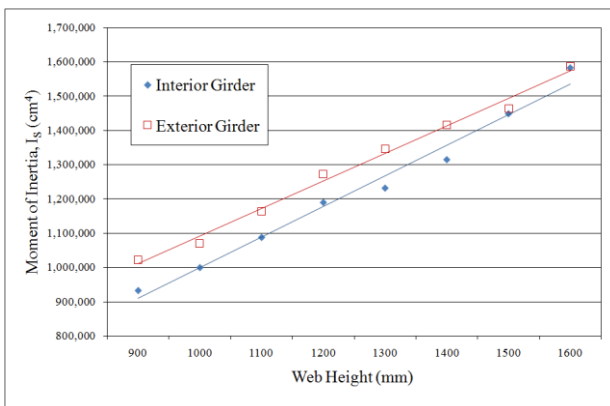


図-3 鋼桁断面の二次モーメント比較(水平補剛材なし)

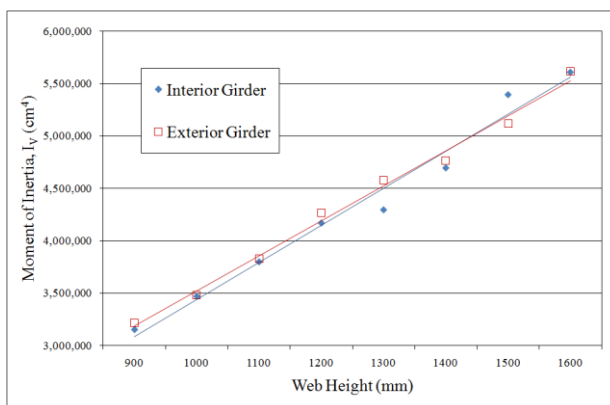


図-4 合成断面の二次モーメント比較(水平補剛材なし)

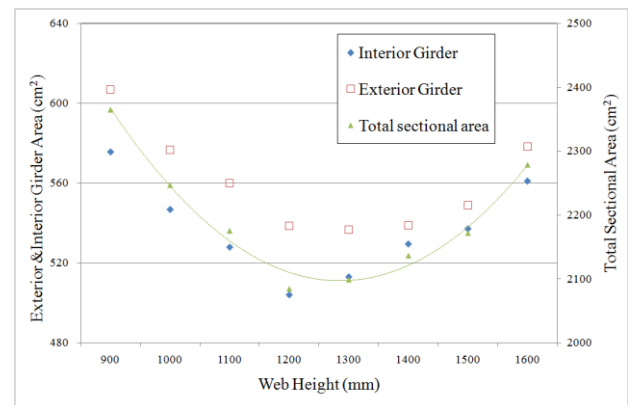


図-7 断面積比較(全ての補剛材なし)

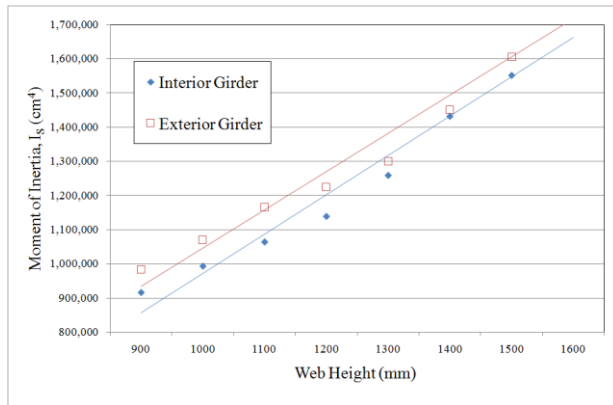


図-8 鋼桁断面の二次モーメント比較(全ての補剛材なし)

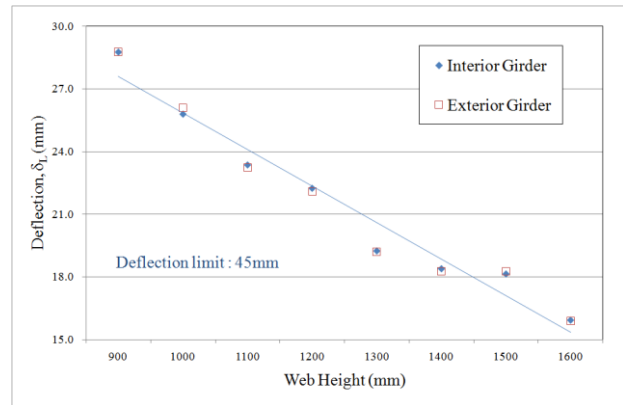


図-10 活荷重によるたわみ比較(全ての補剛材なし)

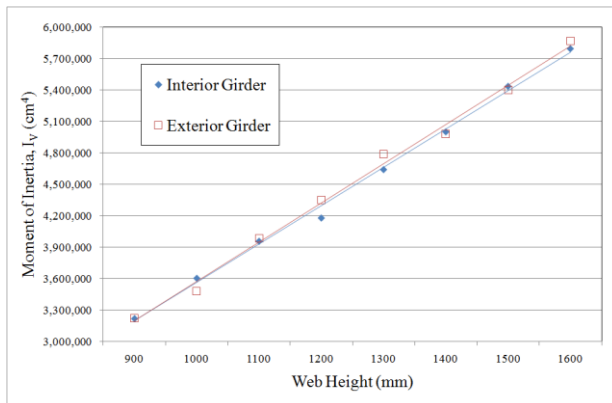


図-9 合成断面の二次モーメント比較(全ての補剛材なし)

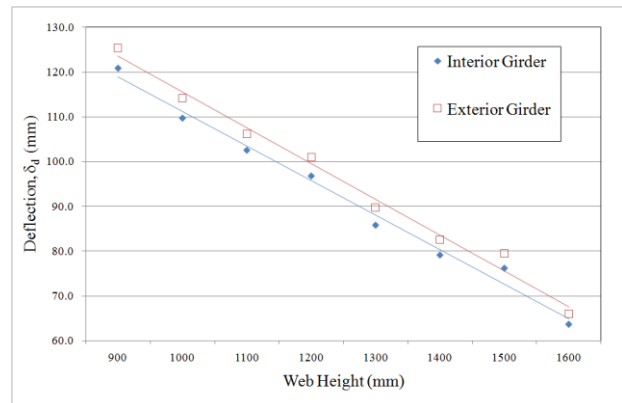


図-11 死荷重によるたわみ比較(全ての補剛材なし)

が明確である。すなわち、桁高が 1300mm 近辺において、主桁断面積の最小値をとる形となっていることが分かる。このことから、垂直補剛材を省略することによって、経済的桁高は低くなっていくと言える。

4. 2 主桁の剛性とたわみ比較

水平・垂直の両補剛材を省略した場合、図 - 8, 9 にそれぞれ鋼桁と合成後の断面二次モーメントを示す。水平補剛材を省略した場合(図 - 3, 4)と比べ、ほとんど差はなく、剛性は桁高に比例して増加していくのが分かる。

また、図 - 10, 11 に示す活荷重と死荷重によるたわみ量についても、水平補剛材のみを省略した場合の図 - 5, 6 と同様な傾向となっている。

5. まとめ

ここでは、道路橋合成桁に対して、腹板高さを変化させた場合の最適な断面を設計例により検討した。本設計例からは、水平補剛材を省略した場合の経済的桁高は、支間長に対して $1/20 \sim 1/22$ 程度であると推測できる。これは、通常言われている $1/18 \sim 1/20$ ³⁾ よりもやや低い。

また、水平・垂直の両補剛材を省略した場合の経済的桁高は、これよりもさらに若干低く、 $1/22 \sim 1/24$ 程度になる。これは、補剛材を省略することによって腹板厚さが大きくなるため、桁高を低くした方がより主桁全体の

断面積が小さくなるためである。桁高が低くなることによって剛性は低下するが、たわみ制限には十分余裕がある。

ここでの比較は主として主桁断面積によって論じているが、最適断面の要素としてその他に部材数がある。補剛材を省略して部材数を減らした方がより好ましい設計であることから、できれば桁高を低くして補剛材を用いない設計となるようにする方がよい。結論として、道路橋合成桁の設計においては水平補剛材を用いないで、垂直補剛材を用いる設計とするのが最も経済的な主桁断面を得ることが出来る設計であると思われる。

備考：本論文の作成において、主桁断面の決定には JSP-4W 単純合成桁の概略自動設計 (JIP テクノサイエンス(株)) を使用した。

参考文献

- 1) 当麻 庄司, 前田 淳哉, 吉田 宏朗: 単純合成桁橋のベンチマークによる諸外国設計の比較, 第 17 回鋼構造年次論文報告集, 2009 年 11 月。
- 2) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説, I 共通編, II 鋼橋編, 平成 14 年 3 月。
- 3) 中井 博, 北田俊行: 新編橋梁工学, 共立出版, p. 198, 2003 年 12 月。