

道路橋合成桁の最適桁高に関する検討

一支間長 20, 30, 40mの場合

Study of the optimum girder height for highway composite girder bridge
— In cases of the span length 20, 30, 40m —

北海学園大学大学院 工学研究科 ○正員 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。それに関連して、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についての考察を行った。昨年度までの研究内容²⁾は、支間長 30m の場合についてのみであったので、支間長が変化した場合においても同様の結果であるとはいえない。今年度は、支間長 20m と 40m について比較検討を行い、昨年度のデータも含めた最適桁高についての考察を行う。

すなわち、本研究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小の断面を検討し、そのときの最適桁高についての検討を目的とする。したがって、本論文における最適桁高とは、鋼桁断面が最小となるとき

2. 設計条件

基本的な設計条件は、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、支間長=30m、道路幅員=8.5m、主桁本数=4本、主桁間隔=2.6m等である。図1は、今回の設計条件に沿った断面図である。また、死荷重は比較をしやすいように一定とし、鋼重のみ支間長によって変えている。具体的には、支間長 20m では 2.0kN/m、支間長 30m では 3.3kN/m、支間長 40m では 4.0kN/m とした。これは、実橋のデータを元にした鋼重の近似式³⁾を参考に決定している。なお、本論文での設計にあたっては道路橋示方

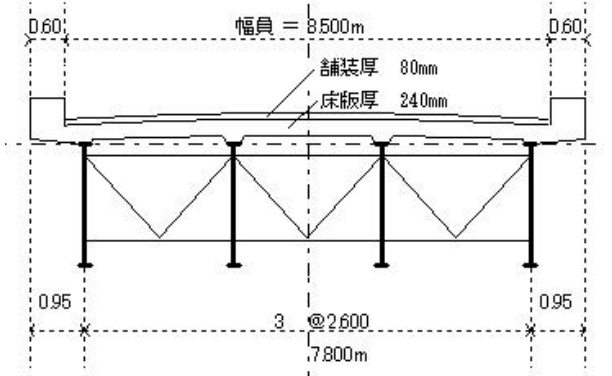


図1 設計断面図

表1 検討条件

Span	Stiffener		Horizontal		Vertical	
	Horizontal	Vertical	Horizontal	Vertical	Horizontal	Vertical
20m	×	×	×	○	○	○
30m	1/16.3 800~1400 mm		(1/23.3) 900~1600 mm		(1/19.8) 1200~1700 mm	
40m	1/22.1 1500~2300 mm		1/19.7 1400~2000 mm		1/19.7 1800~2300 mm	

×:補剛材なし, ○:補剛材あり

書⁴⁾を適用した。
横桁による分配は考慮するものとし、格子剛度が約10になるようにして横桁の寸法を決定した。

3. 支間長と補剛材の条件

今回、検討した支間長と補剛材の使用条件、桁高を表1に示す。表1に示すように、支間長 20m での検討は、垂直・水平補剛材を省略した一例のみであるが、これは道路橋示方書における鋼材の最小板厚の規定を考慮した結果、補剛材は用いない方が合理的な設計であると判断したためである。支間長 30m での検討は、昨年度の水平補剛材を省略した場合と水平・垂直補剛材を省略した場合²⁾に加え、水平・垂直補剛材を使用した場合について検討する。支間長 40m での検討は、垂直補剛材は使用し水平補剛材を省略した場合と水平・垂直の両補剛材を使用した場合について検討する。支間長 40m では、垂直補剛材を用いないと腹板厚が大きくなりすぎて、合理的ではない。

今年度、新たに検討した支間長 20m, 30m, 40m の設計結果を表2~5に示す。表2~5には、上下フランジおよび腹板の断面寸法、断面積、合成前後の断面2次モーメント、死・活荷重によるたわみを中主桁中央断面についてのみ示している。主桁の断面決定に当っては、上下フランジの最大幅を 700mm までとし、最小フランジ断面を 160×8mm と設定した。最小断面については、道路橋示方書での規定範囲内である。支間長 30m の水平補剛材を省略した場合と水平・垂直補剛材を両方省略した場合の設計結果は、文献²⁾に示している。

同じ支間長の設計結果でみると、当然ながら桁高が高くなると腹板の断面積が増すが、フランジの断面積は徐々に減少していく傾向にある。

紙面スペースの都合により表2~5では、中主桁のみを示しているが、外主桁も同様の設計を行っている。

4. 水平・垂直補剛材を両方使用した場合

まず、一般的な教科書⁵⁾～⁷⁾などで設計例に用いられている水平・垂直補剛材を両方使用した場合について検討していく。なお、水平補剛材については、1段のみとしている。

図2、3は、それぞれ表3、4に示した支間長 30m と 40m の設計断面積を示したものである。検討した桁高の範囲は、先に示した表1の通りである。それぞれ、横軸に桁高をとり、縦軸に外・中主桁各1本の断面積、右縦軸に主桁4本の総断面積をとっている。また、総断面積には近似曲線を示している。

これらの図から、主桁の総断面積は桁高に対して2次曲線がよく近似されることが見てとれる。

(1) 支間長 30m の場合

図2に示した総断面積の近似曲線から、水平・垂直補剛材を用いた支間長 30m における最小の主桁高さは 1812mm となった。これは、支間長に対して、1/16.6 である。ただし、今回の設計例では、1700～1900mm の間では断面積が大きく変わらなかったこともあり、この範囲で最小となる桁高が変動する可能性がある。したがって、これらの設計例から判断される最適桁高の範囲としては、支間長に対して 1/15.7～1/17.6 (桁高 1700～1900mm) となった。これは、設計断面積に大きな違いがなかったことに加え、設計者により断面のとり方が多少異なることもあり得ることを考慮したものである。

(2) 支間長 40m の場合

図3の近似曲線から、支間長 40m における最適主桁高さは 2100mm であることがわかる。これは、支間長に対して 1/19.7 に相当する。

支間長 40m の場合は、2000～2200mm の間で断面積が大きく変わらない結果となった。このことから、最適桁高の範囲としては、支間長に対して 1/18.2～1/20.0 (2000～2200mm) と言える。これらの結果から、水平・垂直補剛材の両方を用いた設計で

表2 支間長 20m の場合 (水平・垂直補剛材を省略した設計結果)

Web Height (mm)	800	900	1000	1100	1200	1300	1400
Top-Flange	320*16	320*14	310*12	290*11	260*11	230*13	220*13
(Sectional area cm ²)	(51)	(45)	(37)	(32)	(29)	(30)	(29)
Web	800*9	900*9	1000*9	1100*10	1200*10	1300*10	1400*11
(Sectional area cm ²)	(72)	(81)	(90)	(99)	(120)	(130)	(154)
Bottom-Flange	520*30	510*27	470*26	470*23	470*20	400*22	360*19
(Sectional area cm ²)	(156)	(138)	(122)	(108)	(94)	(88)	(68)
Sectional area (cm ²)	279	264	249	239	243	248	251
Is (cm ⁴)	323,600	372,800	424,500	461,800	543,000	636,600	706,700
Iv (cm ⁴)	1,552,000	1,730,000	1,916,000	2,091,000	2,319,000	2,597,000	2,715,000
Deflection δ_L (mm)	15.8	14.1	12.8	11.7	10.6	10.4	8.8
Deflection δ_d (mm)	59.3	51.9	45.9	40.4	35.7	31.4	28.8
Total sectional area (cm ²)	1124	1051	998	965	970	971	1001

表3 支間長 30m の場合 (水平・垂直補剛材を両方使用した設計結果)

Web Height (mm)	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000
Top-Flange	330*17	320*19	310*18	310*18	310*18	300*18	300*18
(Sectional area cm ²)	(56)	(61)	(56)	(56)	(56)	(54)	(54)
Web	1400*9	1500*9	1600*9	1700*9	1800*9	1900*9	2000*10
(Sectional area cm ²)	(126)	(135)	(144)	(153)	(162)	(171)	(200)
Bottom-Flange	530*31	530*32	510*30	480*30	450*29	450*27	440*24
(Sectional area cm ²)	(164)	(170)	(153)	(144)	(131)	(122)	(106)
Sectional area (cm ²)	346	365	353	353	348	347	360
Is (cm ⁴)	1,154,000	1,407,000	1,539,000	1,511,000	1,802,000	1,916,000	1,916,000
Iv (cm ⁴)	4,284,000	4,989,000	5,351,000	5,435,000	6,120,000	6,595,000	6,595,000
Deflection δ_L (mm)	20.7	18.6	17.5	16.7	15.3	14.2	14.2
Deflection δ_d (mm)	86.2	78.2	73.2	70.6	64.2	60.5	60.5
Total sectional area (cm ²)	1554	1493	1455	1422	1404	1397	1452

表4 支間長 40m の場合 (水平・垂直補剛材を両方使用した設計結果)

Web Height (mm)	1700	1800	1900	2000	2100	2200	2300
Top-Flange	410*24	390*23	360*21	340*20	330*18	340*16	340*14
(Sectional area cm ²)	(98)	(90)	(76)	(68)	(59)	(54)	47.6
Web	1800*9	1800*9	1900*10	2000*10	2100*11	2200*11	2300*12
(Sectional area cm ²)	(162)	(162)	(190)	(200)	(231)	(242)	276
Bottom-Flange	660*35	620*35	630*32	590*32	550*31	520*33	480*31
(Sectional area cm ²)	(231)	(217)	(202)	(189)	(171)	(172)	148.8
Sectional area (cm ²)	491	469	467	457	461	468	472
Is (cm ⁴)	2,561,000	2,716,000	2,689,000	2,977,000	3,145,000	3,415,000	3,579,000
Iv (cm ⁴)	7,729,000	8,274,000	7,861,000	9,450,000	10,000,000	11,028,000	11,430,000
Deflection δ_L (mm)	31.3	29.4	30.8	25.8	24.3	22.9	21.5
Deflection δ_d (mm)	144.0	137.4	144.6	124.3	119.3	112.7	106.1
Total sectional area (cm ²)	2017	1920	1914	1873	1884	1872	1905

表5 支間長 40m の場合 (水平補剛材を省略した設計結果)

Web Height (mm)	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2100
Top-Flange	410*26	400*23	380*21	360*18	350*16	320*17	320*15
(Sectional area cm ²)	(107)	(92)	(80)	(65)	(56)	(54)	(48)
Web	1500*13	1600*14	1700*14	1800*15	1900*16	2000*17	2100*18
(Sectional area cm ²)	(195)	(224)	(238)	(270)	(304)	(340)	(378)
Bottom-Flange	660*43	640*37	610*36	630*32	620*30	580*28	560*26
(Sectional area cm ²)	(284)	(237)	(220)	(202)	(186)	(162)	(146)
Sectional area (cm ²)	585	553	537	536	546	557	572
Is (cm ⁴)	2,352,000	2,414,000	2,542,000	2,661,000	2,871,000	3,140,000	3,382,000
Iv (cm ⁴)	7,276,000	7,412,000	7,960,000	8,576,000	9,273,000	9,786,000	10,470,000
Deflection δ_L (mm)	33.3	32.8	30.5	28.3	26.5	24.8	23.3
Deflection δ_d (mm)	156.2	153.0	145.0	138.0	130.0	121.4	111.5
Total sectional area (cm ²)	2416	2267	2201	2193	2212	2262	2318

の最適桁高は、一般に言われている経済的桁高の範囲 (1/15～1/20) に入るという結果が得られた。

支間長 30m の場合と比較すると、外・中主桁の断面積に開きがみられ、ばらついた結果となった。

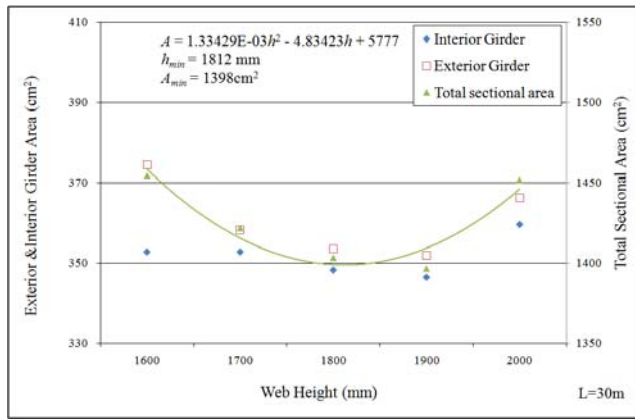


図2 支間長 30m の場合 (水平・垂直補剛材使用)

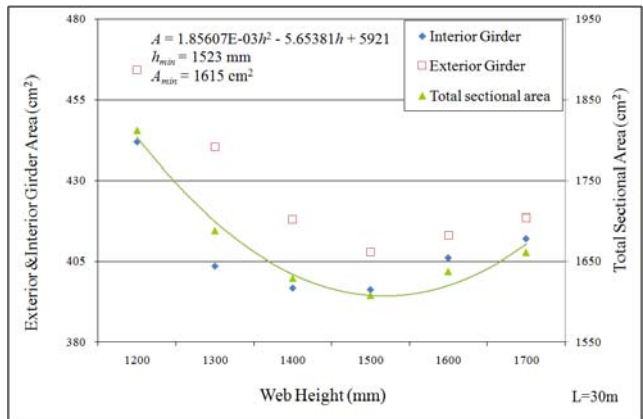


図4 支間長 30m の場合 (水平補剛材省略)

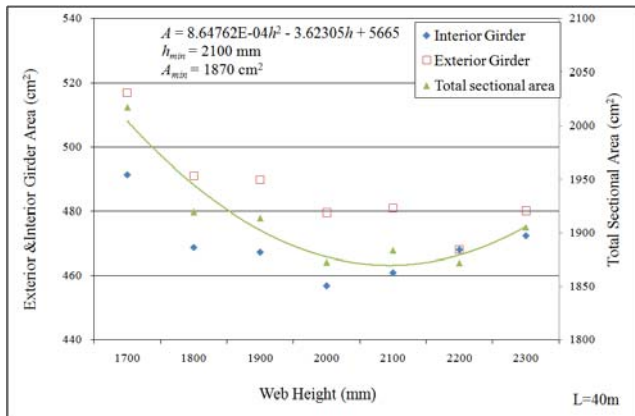


図3 支間長 40m の場合 (水平・垂直補剛材使用)

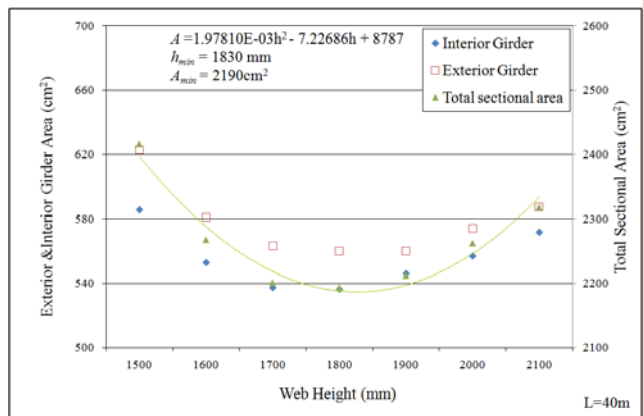


図5 支間長 40m の場合 (水平補剛材省略)

5. 水平補剛材を省略した場合

次に、水平補剛材を省略し、垂直補剛材のみを使用した設計の比較を行う。

図4、5に、支間長 30m と 40m の場合の設計断面積のグラフを示す。検討桁高の範囲は、先に示した表1の通りである。前節での比較と同様に、それぞれ横軸に桁高をとり、左縦軸に外・中主桁各1本の断面積、右縦軸に主桁4本の総断面積をとっている。また、総断面積には近似曲線を引いてある。

(1) 支間長 30m の場合

図4に示した総断面積の近似曲線から、水平・垂直補剛材を用いた支間長 30m における最小断面の主桁高さは 1523mm となった。これは、支間長に対して 1/19.8 である。今回の設計例では、1400～1500mm の間で断面積が大きく変わらない結果となった。したがって、支間長 30m に対する最適桁高の範囲としては、支間長に対して 1/19.8～1/21.4 (桁高 1400～1500mm) となった。

(2) 支間長 40m の場合

図5は、表5の設計結果を図化したものである。図5に示した総断面積の近似曲線から、水平・垂直補剛材を用いた支間長 40m における最小断面の主桁高さは 1830mm となった。これは、支間長に対して 1/22.1 である。また、1700～1900mm の間で断面積が大きく変わらない結果となった。したがって、これらの設計例から得られた最適桁高の範囲としては、支間長に対して 1/22.1～1/23.5 (桁高 1700～1900mm) となった。

水平補剛材を省略し、垂直補剛材のみを用いた設計での最適桁高は、支間長 30m, 40m の場合の両方におい

て、一般に言われている経済的桁高の範囲 (1/15～1/20) よりも若干低い結果が得られた。

6. 水平・垂直補剛材を両方省略した場合

最後に、水平・垂直補剛材の両方を省略した設計の比較を行う。図6、7に支間長 20m と 30m の場合の設計断面積のグラフを示す。検討桁高の範囲は先に示した表1の通りである。

(1) 支間長 20m の場合

図6は、表2の設計結果を図化したものである。図6に示した総断面積の近似曲線から、水平・垂直補剛材の両方を省略した場合、支間長 20m における最小断面の主桁高さは 1198mm となった。これは、支間長に対して 1/16.3 である。今回の設計例では、1100～1300mm の間で断面積が大きく変わらない結果となった。したがって、これらの設計例から得られた最適桁高の範囲としては、支間長に対して 1/15.4～1/18.2 (桁高 1100～1300mm) となった。これは、一般に言われている経済的桁高の範囲内 (1/15～1/20) に収まっている。

(2) 支間長 30m の場合

図7に示した総断面積の近似曲線から、水平・垂直補剛材を用いた支間長 30m における最小断面の主桁高さは 1285mm となった。これは、支間長に対して 1/23.3 である。今回の設計例では、1200～1300mm の間で断面積が大きく変わらない結果となった。したがって、これらの設計例から得られた最適桁高の範囲としては、支間長に対して 1/23.1～1/25.0 (桁高 1200～1300mm) となった。

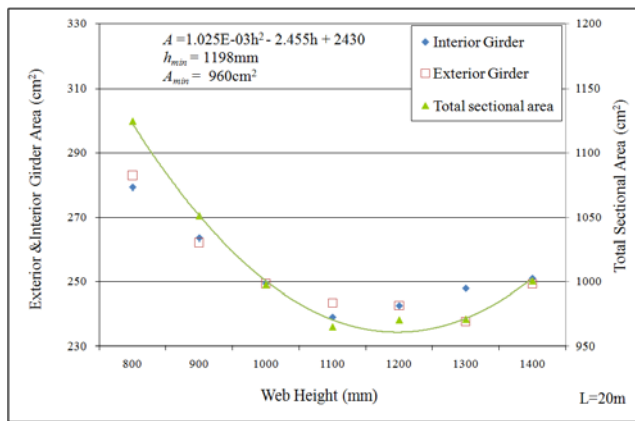


図6 支間長 20m の場合 (水平・垂直補剛材省略)

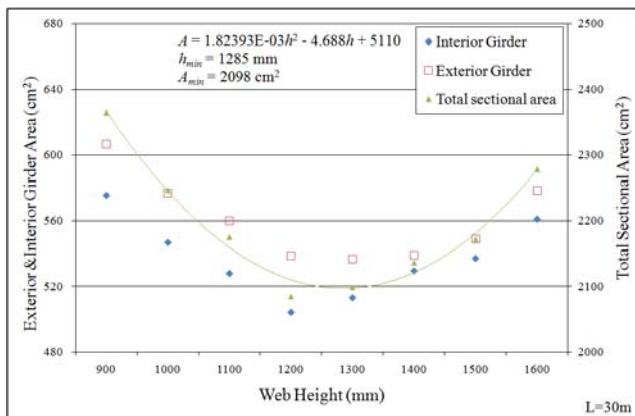


図7 支間長 30m の場合 (水平・垂直補剛材省略)

水平・垂直補剛材の両方を省略した設計での最適桁高は、支間長 30m では水平補剛材のみを省略した場合よりもさらに桁高が低くなるという結果となった。これは、一般に言われている経済的桁高の範囲内 (1/15～1/20) よりも低い。

一般に言えることは、支間長が短くなると最適桁高が低くなり、補剛材の必要性は薄れるということである。

7. 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小断面を検討し、その時の最適桁高についての検討を行った。図8にその検討結果を示す。

支間長 30～40m に対する最適桁高は、水平・垂直補剛材の使用時は一般的な経済的桁高の範囲内 (1/15～1/20) となった。水平補剛材を省略して垂直補剛材のみを使用した場合の経済的桁高は、支間長に対して 1/20～1/24 程度となった。また、水平・垂直の両補剛材を省略した場合には、支間長が短いと一般的に言われている経済的桁高の範囲 (1/15～1/20) に収まり、支間長が長くなると 1/23～1/25 程度になる。

水平・垂直補剛材を用いた設計での最適桁高の結果は、一般的に言われている経済的桁高の範囲内であったことから、この経済的桁高とは基本的に水平・垂直補剛材を使用することを前提としていることが推測できる。

水平補剛材を省略した設計での最適桁高は、水平補剛材を使用した場合よりも若干低くなった。この時、最小腹板厚についてみると、支間長 40m の場合、桁高

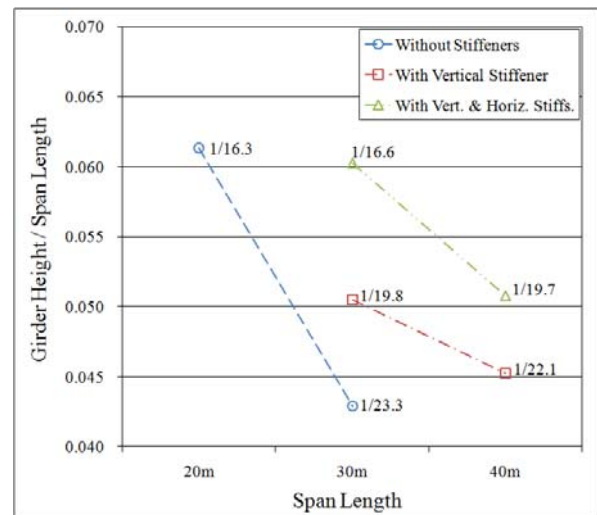


図8 最適桁高の検討結果

1700mm で 14mm、桁高 2100mm で 18mm となっている。これに対し、水平補剛材使用時は、桁高 1700mm で 9mm、桁高 2100mm で 11mm となり、約 1.5～2 倍の厚さとなっている。しかし、表 4、5 を比較すると、同じ桁高で、水平補剛材を省略した場合には、上下フランジ断面が小さくなっていることがわかる。これは、腹板が厚くなり腹板の剛性が上がったことで、その分フランジ断面を小さくできるためである。

水平・垂直補剛材の両方を省略した設計では、水平補剛材省略時よりもさらに最適桁高が低くなった。これは、補剛材を省略するにつれて腹板の必要厚が大きくなるので、桁高を低くする方が桁全体の断面を小さくすることができるためである。また、支間長 20m では支間長が比較的短いので、桁高が低く腹板が薄い設計であっても必要な腹板の剛性を保てるため、補剛材を必要としない。

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) 前田淳哉, 当麻庄司: 道路橋合成桁の最適断面に関する検討, 平成 21 年度 年次技術研究発表会, 土木学会北海道支部, 2010 年 2 月。
- 3) 当麻庄司: 鋼道路橋の鋼重実績と推定式, 構造工学論文集, Vol.52A, 2006 年 3 月。
- 4) 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。
- 5) 中井 博, 北田俊行: 新編橋梁工学, 共立出版, p. 198, 2003 年 12 月。
- 6) 林川俊郎: 橋梁工学, 朝倉書店, pp. 222-251, 2000 年 4 月。
- 7) 宮本 裕: 橋梁工学, 技報堂出版, pp. 289-312, 2004 年 4 月。