

少数主桁橋の安全率低減の可能性に関する検討

報告書

WG 2-1,3

第3章 少数主桁橋の安全率低減の可能性に関する検討

§1	目 的	3-1
§2	試設計	3-2
	2.1 設計方針	3-2
	2.2 設計条件	3-2
	2.3 一般図	3-3
	2.4 フランジ幅の設計	3-4
	2.5 安全率 $\alpha = 1.5$ の許容応力度	3-4
§3	試設計結果	3-6
	3.1 断面積の比較	3-6
	3.2 鋼材質量の比較	3-6
	3.3 概算工事費の比較	3-6
§4	非合成桁の合成設計	3-12
	4.1 合成桁設計	3-12
	4.2 結果の評価	3-12
§5	疲労の照査	3-16
	5.1 概要	3-16
	5.2 最大荷重単位と載荷位置	3-16
	5.3 照査継手	3-17
	5.4 格子計算	3-17
	5.5 疲労照査結果	3-17
§6	まとめおよび今後の課題	3-20

添付資料

§1 目 的

コスト縮減に向けた取り組みは、構造および設計の合理化を加速させている。日本道路公団で先行採用されている少数主桁橋、複合構造が前者の代表例であり、また、連続合成桁の採用増加は後者の一例として挙げられよう。国際的な設計規準は、ヨーロッパにおける部分安全係数方式の設計規準(英BS 1982, 独DIN 1991, 欧州コード 1992), 北アメリカにおける荷重係数設計法方式の設計規準(AASHTO 1993), 日本における許容応力度設計方式の設計規準(道路橋示方書 1996)に分類される。ただし我が国においては、平成13年12月に道路橋示方書が仕様規定型から性能照査型の規準に改訂され、今後は、ほとんど全ての設計規準が、限界状態を対象とした部分安全係数方式の照査様式を用いて、要求性能を満足しているかどうかを照査する方式になっていくものと思われる。

このような状況を踏まえ、本WGでは、少数主桁橋の設計における安全率低減の可能性を検討するため、安全率を現行の1.7から1.5へ低減した場合の試設計を行い、重量比較、工数比較、疲労照査を実施し、安全率の低減効果がどの程度あるのかを調べることにする。

また、連続合成桁橋の採用増加に伴い、非合成として設計された連続桁が果たして安全側の設計となっているのかどうか疑問となっている。そこで、上述した試設計の過程で、非合成設計された連続桁断面に対して合成桁としての設計計算を適用し、着目断面に生じる応力の比較、および、中間支点部ウェブパネルの座屈照査を実施することにより、非合成としての設計が安全側の設計となっているかどうかについて検討する。

なお、部分安全係数方式の照査フォーマットを採用する場合には、安全率を単に1.7から1.5に低減するという単純な方法では不十分であることから、本WGでは、死荷重や活荷重、乾燥収縮やクリープの影響等に関する荷重係数をパラメトリックに変化させることにより、少数主桁橋の設計における安全率低減の可能性を検討することも現在試みている。

§ 2 試設計

連続非合成桁（合成桁）の試設計を行うにあたり、ホロナイ川橋（日本道路公団札幌建設局）を参考にした。

2. 1 設計方針

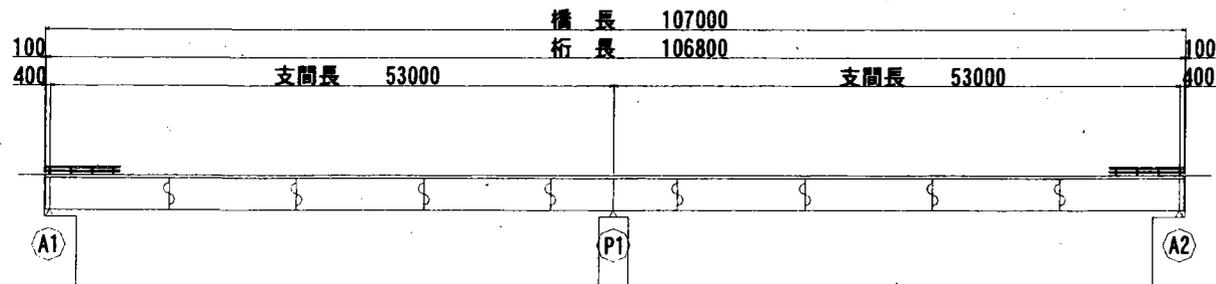
連続非合成桁の試設計は従来設計とし、連続合成桁は、「PC床版を有するプレストレスしない連続合成桁設計要領(案)」(平成8年3月31日(社)日本橋梁建設協会 連続合成桁ワーキンググループ)に準ずるものとする。安全率を1.5へ低減する場合の試設計は、安全率1.7の断面力、桁剛度をそのまま適用し、許容応力度を後述する「2. 5 安全率 $\alpha=1.5$ の許容応力度」に示す値を使用して断面決定を行うこととする。解析には、日本電子計算株式会社の「JSP4W」を使用する。

2. 2 設計条件

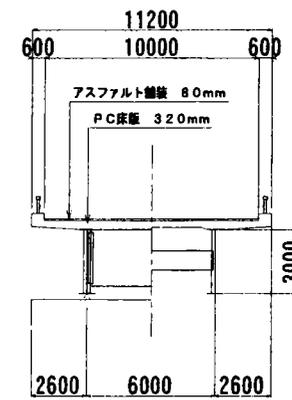
形	式	2径間連続2主桁橋							
床	版	PC床版							
橋	長	107.000 m							
支	間	2@53.000m							
平	面	直線							
幅	員	11.200 m (総幅員) 10.000 m (有効幅員)							
床	版	厚	32 cm ← JH2集より, (4×6+11) × 0.9						
舗	装	厚	80 mm						
ウ	エ	ブ	高	3000 mm					
ウ	エ	ブ	厚	16 mm 以上					
水	平	補	剛	材	1段使用・道示による				
垂	直	補	剛	材	道示による				
フ	ラ	ン	ジ	板	厚	差	25mm 以下, 厚い側母材の1/2以下, 最小板厚差 3mm		
上	フ	ラ	ン	ジ	局	部	座	屈	合成後は考慮しない
中	間	支	点	部	材	質	SM570		
一	般	部	材	質	SM490Y				
断	面	変	化	位	置	ホロナイ川橋の基本寸法に近い箇所			
主	桁	現	場	継	手	現場溶接			
横	桁	間	隔	5.3 m (10@)					
中	間	横	桁	断	面	H形鋼 700×200			
コ	ン	ク	リ	ー	ト	強	度	$\sigma_{CK} = 40\text{N/mm}^2$	
そ	の	他	ホロナイ川橋の基本寸法に従う						
			ひび割れ状態の照査は土木学会コンクリート標準示方書による						

構造一般図

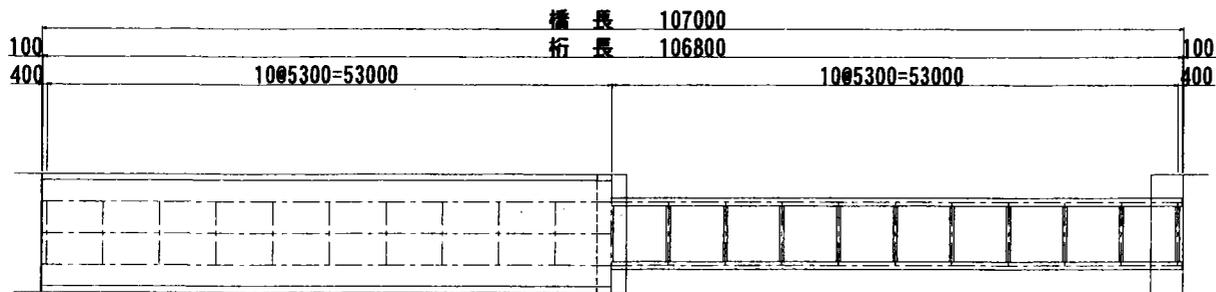
側面図 S=1/200



断面図 S=1/100



平面図 S=1/200



設計条件	
橋長	107.000m
桁長	106.800m
支間長	2@53.000m
有効幅員	10.000m
斜角	90°00'00''
活荷重	B活荷重
舗装厚	80mm
床版厚	320mm

2. 4 フランジ幅の決定

主桁フランジ幅は、600～900mm の範囲で経済比較を行い下記のとおり決定した。

- ・連続非合成桁 上フランジ幅 750mm, 下フランジ幅 750mm
- ・連続合成桁 上フランジ幅 600mm, 下フランジ幅 800mm

2. 5 安全率 $\alpha=1.5$ の許容応力度

「道示Ⅱ 2.2 鋼材の許容応力度」にならい、安全率を 1.5 とした場合の許容応力度を以下のとおりとする。

表 2. 1 許容軸方向引張応力度および許容曲げ引張応力度 (N/mm²) $\alpha=1.5$

	SS400 SM400 SMA400W	SM490	SM490Y SM520 SMA490W	SM570 SMA570W
40以下	155	210	235	290
40をこえ 75以下	145	195	220	275
75をこえ 100以下			215	270

表 2. 2 基準降伏点および安全率

鋼 種	SS400 SM400 SMA400W		SM490		SM490Y SM520 SMA490W			SM570 SMA570W		
	40以下	40をこえ100以下	40以下	40をこえ100以下	40以下	40をこえ75以下	75をこえ100以下	40以下	40をこえ75以下	75をこえ100以下
基準降伏点 (N/mm ²)	235	215	315	295	355	335	325	450	430	420
許容軸方向引張応力度 (N/mm ²)	155	145	210	195	235	220	215	290	275	270
安全率	1.52	1.48	1.50	1.51	1.51	1.52	1.51	1.55	1.56	1.56

表 2. 3 許容曲げ圧縮応力度 (N/mm²) $\alpha=1.5$

(圧縮フランジがコンクリート床版などで直接固定されている場合および箱形断面, π 形断面の場合)

	SS400 SM400 SMA400W	SM490	SM490Y SM520 SMA490W	SM570 SMA570W
40以下	155	210	235	290
40をこえ 75以下	145	195	220	275
75をこえ 100以下			215	270

表 2. 4 許容せん断応力度 (N/mm²) $\alpha=1.5$

	SS400 SM400 SMA400W	SM490	SM490Y SM520 SMA490W	SM570 SMA570W
40以下	90	120	135	165
40をこえ 75以下	85	115	130	160
75をこえ 100以下			125	155

表 2. 5 自由突出板の局部座屈に対する許容応力度 $\alpha = 1.5$

鋼種	鋼材の板厚(mm)	局部座屈に対する許容応力度(N/mm ²)	
SS400 SM400 SMA400W	40以下	155	: $b/12.8 \leq t$ 26000 (t/b) ² : $b/16 \leq t < b/12.8$
	40をこえ 100以下	145	: $b/13.6 \leq t$ 26000 (t/b) ² : $b/16 \leq t < b/13.6$
SM490	40以下	210	: $b/11.2 \leq t$ 26000 (t/b) ² : $b/16 \leq t < b/11.2$
	40をこえ 100以下	195	: $b/11.5 \leq t$ 26000 (t/b) ² : $b/16 \leq t < b/11.5$
SM490Y SM520 SMA490W	40以下	235	: $b/10.5 \leq t$ 26000 (t/b) ² : $b/16 \leq t < b/10.5$
	40をこえ 75以下	220	: $b/10.9 \leq t$ 26000 (t/b) ² : $b/16 \leq t < b/10.9$
	75をこえ 100以下	215	: $b/11.0 \leq t$ 26000 (t/b) ² : $b/16 \leq t < b/11.0$
SM570 SMA570W	40以下	290	: $b/9.5 \leq t$ 26000 (t/b) ² : $b/16 \leq t < b/9.5$
	40をこえ 75以下	275	: $b/9.7 \leq t$ 26000 (t/b) ² : $b/16 \leq t < b/9.7$
	75をこえ 100以下	270	: $b/9.8 \leq t$ 26000 (t/b) ² : $b/16 \leq t < b/9.8$

表 2. 6 許容曲げ圧縮応力度 (N/mm²) $\alpha = 1.5$ (表-2.2.3(a)に規定する以外の場合)

	鋼種	鋼材の板厚(mm)	局部座屈に対する許容応力度(N/mm ²)		
Aw/Ac ≤ 2	SS400 SM400 SMA400W	40以下	155	$1/b \leq 4.5$ 155-2.72 (1/b-4.5) $4.5 < 1/b \leq 30$	
		40をこえ 100以下	145	$1/b \leq 5.0$ 145-2.49 (1/b-5.0) $5.0 < 1/b \leq 30$	
	SM490	40以下	210	$1/b \leq 4.0$ 210-4.31 (1/b-4.0) $4.0 < 1/b \leq 30$	
		40をこえ 100以下	195	$1/b \leq 4.0$ 195-4.08 (1/b-4.0) $4.0 < 1/b \leq 30$	
	SM490Y SM520 SMA490W	40以下	235	$1/b \leq 3.5$ 235-5.21 (1/b-3.5) $3.5 < 1/b \leq 27$	
		40をこえ 75以下	220	$1/b \leq 4.0$ 220-4.76 (1/b-4.0) $4.0 < 1/b \leq 27$	
		75をこえ 100以下	215	$1/b \leq 4.0$ 215-4.53 (1/b-4.0) $4.0 < 1/b \leq 27$	
	SM570 SMA570W	40以下	290	$1/b \leq 5.0$ 290-7.48 (1/b-5.0) $5.0 < 1/b \leq 25$	
		40をこえ 75以下	275	$1/b \leq 4.5$ 275-7.03 (1/b-4.5) $4.5 < 1/b \leq 25$	
		75をこえ 100以下	270	$1/b \leq 4.5$ 270-6.80 (1/b-4.5) $4.5 < 1/b \leq 25$	
	Aw/Ac > 2	SS400 SM400 SMA400W	40以下	155	$1/b \leq 9/K$ 155-1.36 (K1/b-9) $9/K < 1/b \leq 30$
			40をこえ 100以下	145	$1/b \leq 10/K$ 145-1.25 (K1/b-10) $10/K < 1/b \leq 30$
SM490		40以下	210	$1/b \leq 8/K$ 210-2.15 (K1/b-8) $8/K < 1/b \leq 30$	
		40をこえ 100以下	195	$1/b \leq 8/K$ 195-2.04 (K1/b-8) $8/K < 1/b \leq 30$	
SM490Y SM520 SMA490W		40以下	235	$1/b \leq 7/K$ 235-2.61 (K1/b-7) $7/K < 1/b \leq 27$	
		40をこえ 75以下	220	$1/b \leq 8/K$ 220-2.38 (K1/b-8) $8/K < 1/b \leq 27$	
		75をこえ 100以下	215	$1/b \leq 8/K$ 215-2.27 (K1/b-8) $8/K < 1/b \leq 27$	
SM570 SMA570W		40以下	290	$1/b \leq 10/K$ 290-3.74 (K1/b-10) $10/K < 1/b \leq 25$	
		40をこえ 75以下	275	$1/b \leq 9/K$ 275-3.51 (K1/b-9) $9/K < 1/b \leq 25$	
		75をこえ 100以下	270	$1/b \leq 9/K$ 270-3.40 (K1/b-9) $9/K < 1/b \leq 25$	

§ 3 試設計結果

下記のケースにおける試設計結果総括表を、表3.1～表3.4に示す。

非-1.7：2径間連続非合成I桁（安全率:1.7）

非-1.5：2径間連続非合成I桁（安全率:1.5）

合-1.7：2径間連続合成I桁（安全率:1.7）

合-1.5：2径間連続合成I桁（安全率:1.5）

3.1 断面積の比較

非-1.7を100とした場合の断面積の比較を、図3.1に示す。

非合成桁どうし（非-1.7と非-1.5）の比較では、安全率を1.5にすることにより約7%断面積が減少している。安全率の比率分($1-1.5/1.7=0.12$)程、断面積が減少しないのは、Webの座屈安全率の低減を考慮していないので、Web板厚が両ケース共通（最小板厚）となった影響である。

非合成桁と合成桁（非-1.7と合-1.7）との比較では、合成桁とすることにより、中間支点部以外の断面で、20%以上断面積が減少している。ここで、合成桁の中間支点部断面積が、非合成桁より大きくなるのは、合成設計することによる、クリープ、乾燥収縮、温度変化の影響により、中間支点部近傍の作用断面力が大きくなることに起因している。（§4. 非合成桁の合成設計を参照）

3.2 鋼材質量の比較

非-1.7を100とした場合の鋼材質量の比較を、図3.2に示す。

各ケースとも、小型材片質量は変化しない。

大型材片質量、加工鋼材質量については、非合成桁の安全率を1.5にすること（非-1.7と非-1.5の比較）により6～7%程度の減少、合成設計（非-1.7と合-1.7の比較）することにより、9～11%程度の減少、さらに、合成設計でかつ安全率を1.5にした場合（非-1.7と合-1.5の比較）では、14%～17%程度減少している。

3.3 概算工事費の比較

非-1.7を100とした場合の工場製作費、架設工事費、全体工事費の比較を、図3.3に示す。

非合成桁どうし（非-1.7と非-1.5）の比較では、安全率を1.5にすることにより、工場製作費で2%、架設工事費で1%、全体工事費で2%の減少となっている。

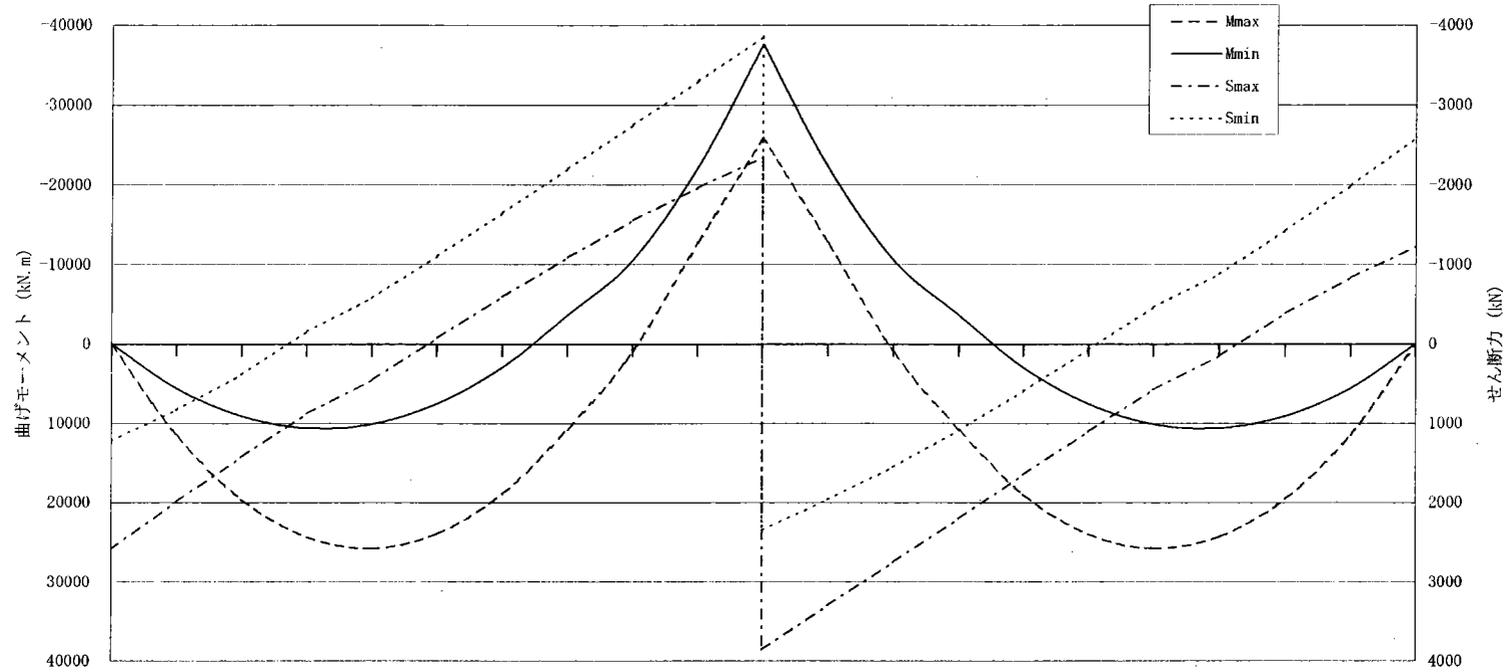
合成設計をした場合（非-1.7と合-1.7の比較）では、それぞれ、5%、1%、3%の減少となり、さらに安全率を1.5とした場合（非-1.7と合-1.5の比較）では、6%、2%、4%の減少となった。

各々の比較ケースについて、加工鋼材質量の減少幅と比べると、全体工事費の減少幅は1/3程度、工場製作費の減少幅は1/2程度、架設工事費の減少幅は1/7程度であり、加工鋼材質量の減少幅ほど各工事費は減少していない。この理由としては、工場製作費については現在の積算体系の影響が、架設工事費についてはPC床版の工事費が増加する影響が考えられる。

工場製作の積算体系は、小型材片数および小型材片質量の影響が大きく、よって今回のように大型材片質量が減少しても、それに比例して工場製作費は減少しない。

一方、架設工事費については、架設工事費全体に占めるPC床版の工事費の割合が大きいため（今回は架設工法をTC+ベントとしたので、架設工事費全体に占める桁架設費の割合が小さい）、加工鋼材質量減少による、架設工事費への影響が小さいためと考えられる。

表-3.1 非-1.7 連続非合成I桁 $\alpha=1.7$



断面番号	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	
部材長(mm)	11262.5	11925	11925	11925	11925	11925	11925	11925	11262.5	
U. Fig.	材質	SM490Y	SM520	SM520	SM490Y	SM570	SM490Y	SM520	SM490Y	
	断面構成	750×35	750×45	750×44	750×35	750×57	750×35	750×44	750×35	
	応力度(N/mm ²)	-200.6	-206.9	-208.2	198.7	246.9	198.7	-208.2	-206.9	-200.6
	許容応力度	-210.0	-210.0	-210.0	210.0	255.0	210.0	-210.0	-210.0	-210.0
Wcb.	材質	SM490Y			SM570	SM490Y				
	断面構成	3000×16			3000×16	3000×16				
	応力度(N/mm ²)	53.9	28.3	41.6	67.3	80.4	67.3	41.6	28.3	53.9
	許容応力度	120.0	120.0	120.0	120.0	145.0	120.0	120.0	120.0	120.0
L. Fig.	材質	SM490Y	SM520	SM520	SM490Y	SM570	SM490Y	SM520	SM490Y	
	断面構成	750×33	750×45	750×44	750×38	750×60	750×38	750×44	750×45	750×33
	応力度(N/mm ²)	206.5	206.9	208.2	-190.6	-239.4	-190.6	208.2	206.9	206.5
	許容応力度	210.0	210.0	210.0	-193.6	-241.4	-193.6	210.0	210.0	210.0

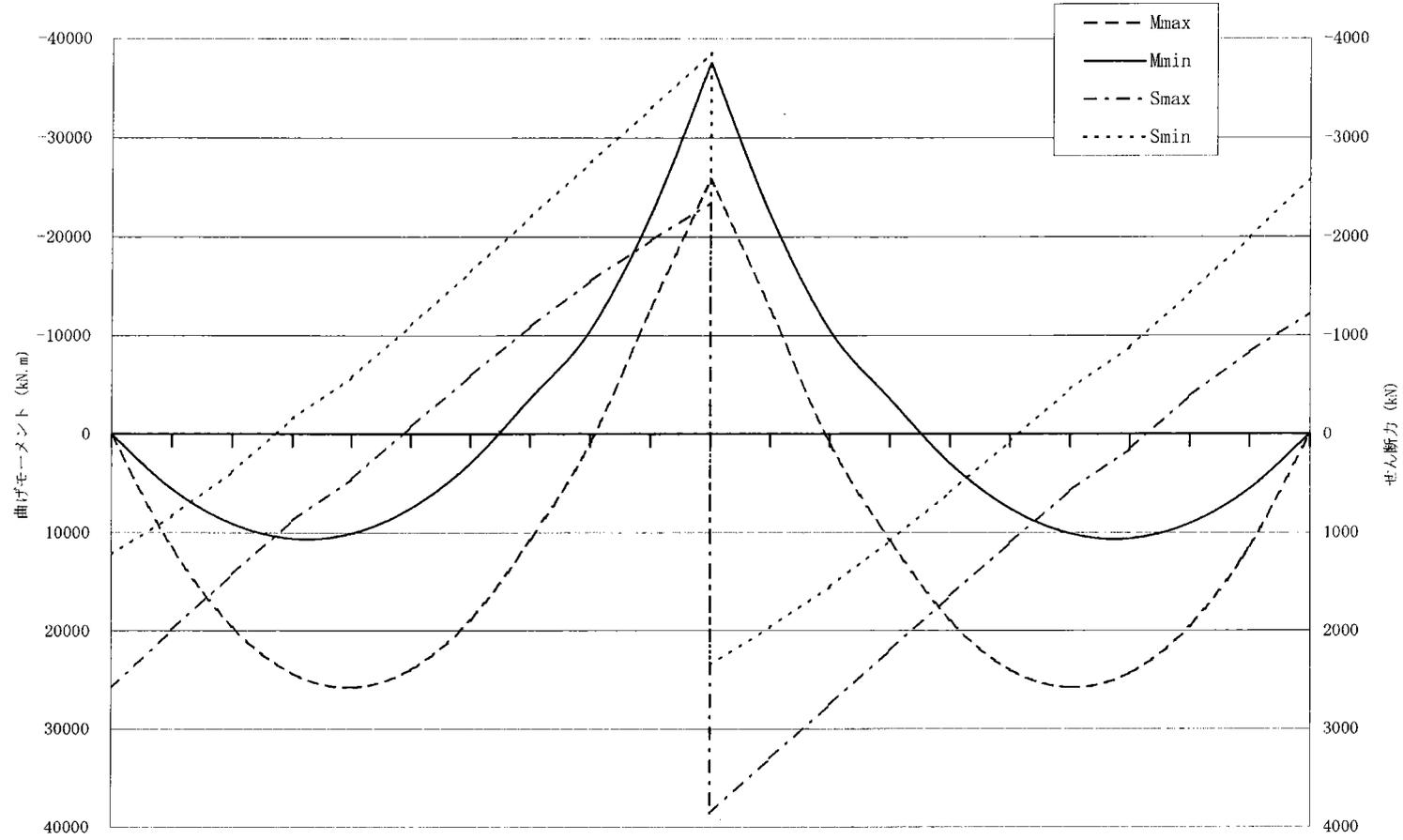
表-3.2 非-1.5 連続非合成1桁 $\alpha=1.5$ 

表-3.3 合-1.7 連続合成1桁 $\alpha=1.7$

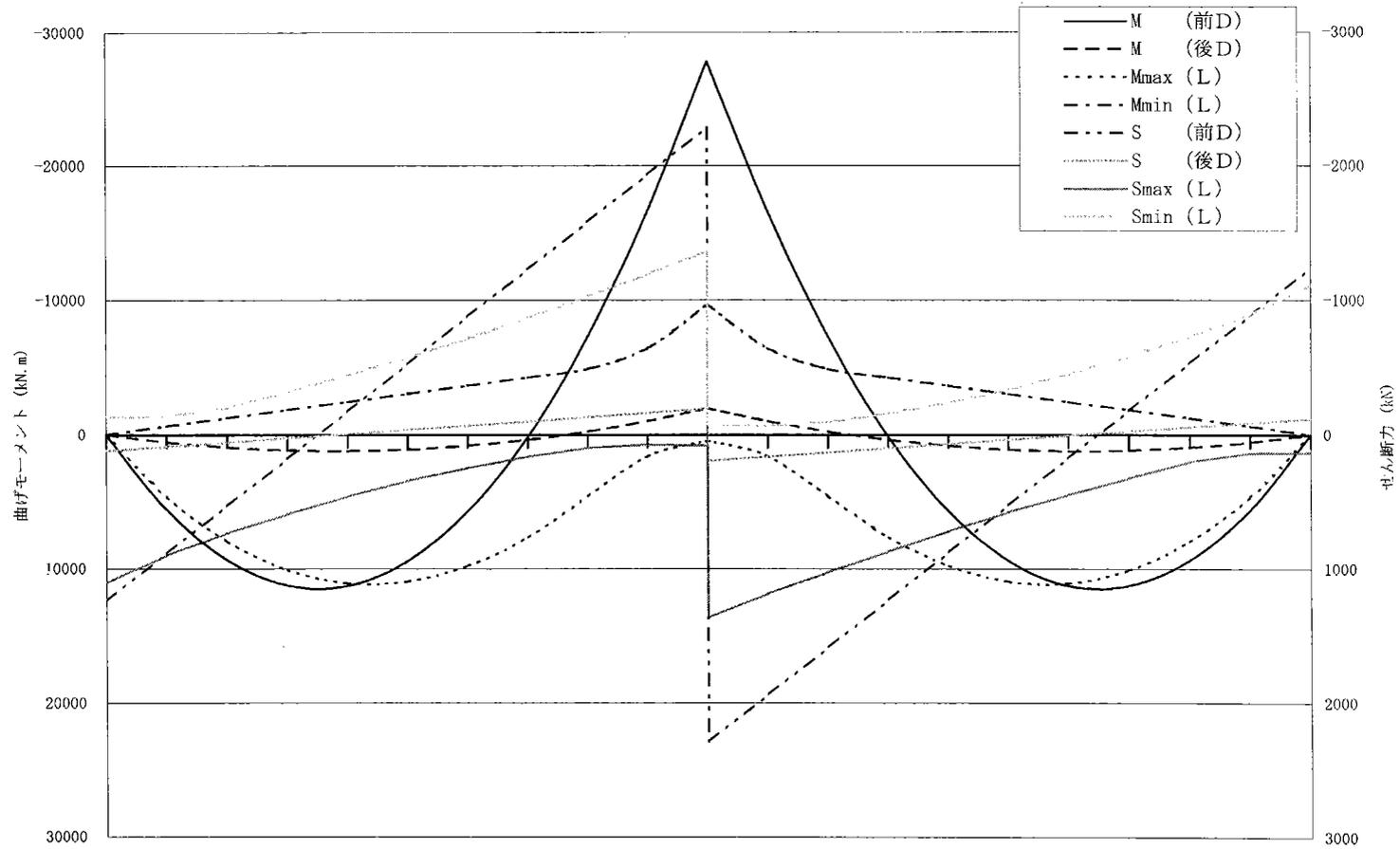
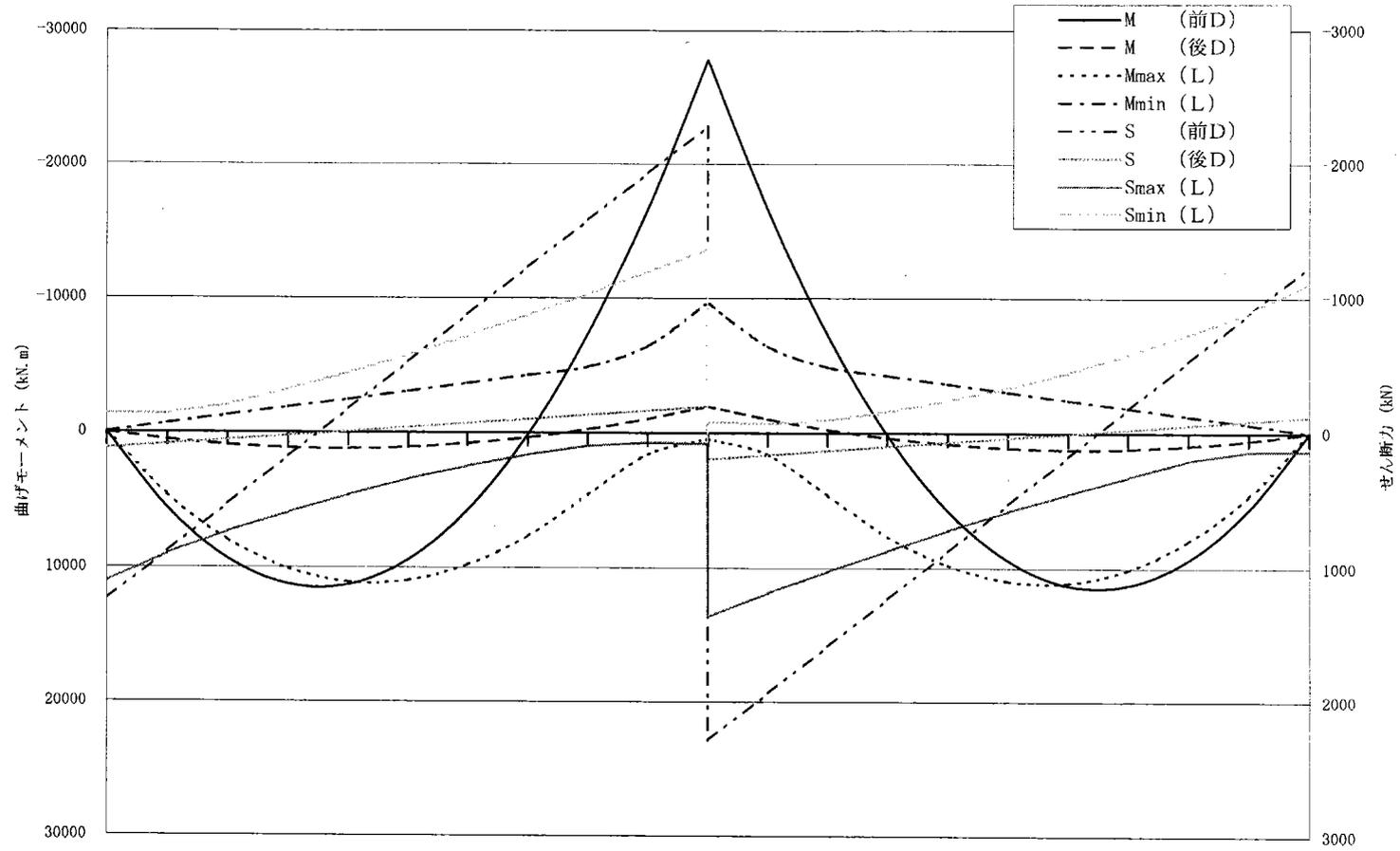


表-3.4 合-1.5 連続合成I桁 $\alpha=1.5$



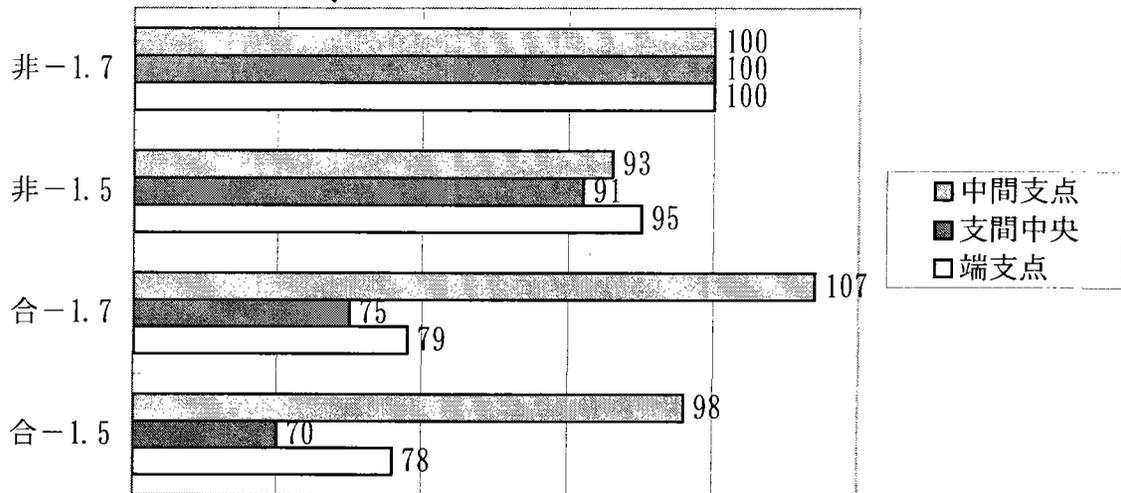


図 3.1 断面積の比較

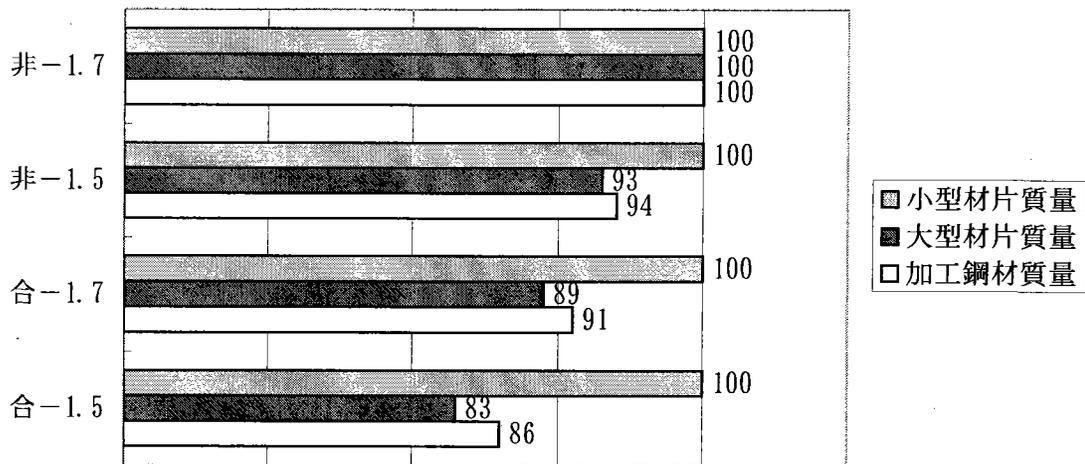


図 3.2 鋼材質量の比較

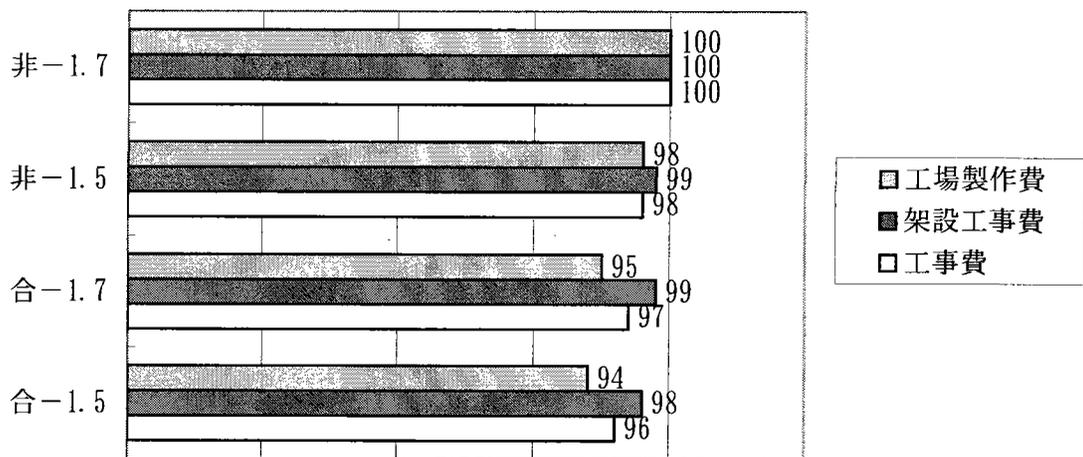


図 3.3 概略工事費の比較

§ 4 非合成桁の合成設計

4. 1 合成桁設計

(1) 目的

非合成桁として設計された桁は、スラブアンカー等のずれ止めにより床版と結合されることから、実際には合成桁としての挙動を示していることが知られている。そこで、本文は非合成桁として設計された桁のプロポーシオンをそのままに合成桁として設計し、非合成設計の結果と比較することで、問題点等が見出せるかどうかを検討するものである。

(2) 対象非合成桁

対象非合成桁については非合成桁の試設計（非-1.7）とし、試設計で決定しているプロポーシオンをそのままとして合成設計を行うものとする。合成設計を行うにあたっては、合成桁の試設計（合-1.7）と同様に設計を行うものとする。

比較項目については、断面力（曲げモーメント）、応力度、剛度およびたわみとし、比較断面は支間中央断面および中間支点上断面とする。

なお、該当断面の形状を図 4.1 に示す。

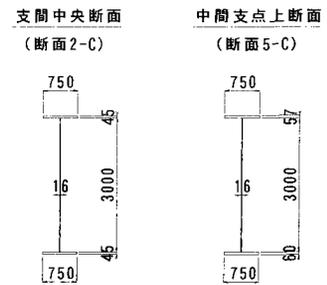


図 4.1 断面形状

4. 2 結果の評価

(1) 応力度結果一覧

非合成桁（非-1.7）を合成設計した場合の応力度結果一覧を表 4.1 に示し、表中の断面名称に対応する位置を図 4.2 に示す。なお、断面-6 以降の応力度結果については、対称系であるため省略する。

表 4.1 応力度結果一覧

		断面1-L	断面1-R	断面2-C	断面3-L	断面4-L	断面4-R	断面5-C
σ_{su}, σ_{sl} [N/mm ²]	①死 + 活	0.0 0.0	-112.6 180.5	-114.8 182.7	-113.4 183.9	-55.0 111.9	152.3 -167.2	208.6 -221.9
	②①+刈+乾	-26.4 7.2	-138.9 181.3	-138.8 179.3	-136.8 178.7	-76.2 99.1	170.1 -195.9	225.4 -245.4
	③②+桁高温	-46.1 12.4	-248.8 155.3	-243.0 153.2	-241.0 149.9	-169.1 55.0	128.7 -251.0	189.9 -287.0
	④②+コン高温	-6.8 1.9	-120.1 184.1	-120.9 186.4	-119.2 188.0	-59.1 117.3	211.4 -140.9	260.9 -203.7
	⑤合成前	0.0 0.0	-105.7 108.8	-105.2 105.2	-103.6 103.6	-47.9 45.9	120.1 -115.1	162.5 -157.5
	σ_a	①	-210.0 210.0	-210.0 210.0	-210.0 210.0	-210.0 210.0	-210.0 210.0	210.0 -193.6
	②	-241.5 210.0	-241.5 210.0	-241.5 210.0	-241.5 210.0	-241.5 210.0	210.0 -193.6	255.0 -241.4
	③	-273.0 241.5	-273.0 241.5	-273.0 241.5	-273.0 241.5	-273.0 241.5	241.5 -222.6	293.3 -277.6
	④	-273.0 241.5	-273.0 241.5	-273.0 241.5	-273.0 241.5	-273.0 241.5	241.5 -222.6	293.3 -277.6
	⑤	-242.0 262.5	-242.0 262.5	-242.0 262.5	-242.0 262.5	-242.0 262.5	262.5 -242.0	318.8 -301.7
τ, τ_a	[N/mm ²]	53.6 120.0	28.1 120.0	10.5 120.0	15.4 120.0	40.5 120.0	66.3 120.0	79.6 145.0
合成応力度		0.200	0.772	0.729	0.749	0.387	1.136	1.160



断面2-C : 合成前死荷重曲げモーメントが最大となる位置
断面5-C : 中間支点位置

図 4.2 断面名称

(2) 合成桁評価による諸元の比較

非合成設計と合成設計の比較について、断面力（曲げモーメント）を表 4.2, 応力度（ σ_{su} , σ_{sl} ）を表 4.3, 主桁剛度を表 4.4, たわみを表 4.5, 応力分布を図 4.3 に示す。なお、断面 2-C については、非合成設計の場合には最大曲げモーメント位置, 合成設計の場合には合成前死荷重曲げモーメントが最大となる位置の結果を示す。

表 4.2 断面力（曲げモーメント）の比較

(単位:kN・m)

		非合成設計	合成設計	合成設計/非合成設計
断面 2-C	死荷重	注1	14,359	—
	活荷重	注1	11,096	—
	合計	25,779	25,455	0.987
断面 5-C	死荷重	注1	-26,621	—
	活荷重	注1	-9,103	—
	合計	-37,623	-35,724	0.950

注1 : 電算システムの都合上結果が出力されない。

表 4.3 応力度の比較

		断面2-C			断面5-C			
		非合成設計	合成設計	合成/非合成	非合成設計	合成設計	合成/非合成	
σ_{su}, σ_{sl} [N/mm ²]	①死 + 活	-206.9 206.9	-114.8 182.6	0.555 0.883	246.9 -239.4	208.6 -221.9	0.845 0.927	
	②①+桁+乾	— —	-138.7 179.3	— —	— —	225.4 -245.4	— —	
	③②+桁高温	— —	-242.9 153.2	— —	— —	189.9 -287.0	— —	
	④②+コン高温	— —	-120.9 186.4	— —	— —	260.9 -203.7	— —	
	⑤合成前	— —	-105.1 105.1	— —	— —	162.5 -157.5	— —	
σ_a	①	-210.0 210.0	-210.0 210.0	— —	255.0 -241.4	255.0 -241.4	— —	
	②	— —	-241.5 210.0	— —	— —	255.0 -241.4	— —	
	③	— —	-273.0 241.5	— —	— —	293.3 -277.6	— —	
	④	— —	-273.0 241.5	— —	— —	293.3 -277.6	— —	
	⑤	— —	-242.0 262.5	— —	— —	318.8 -301.7	— —	

表 4.4 主桁剛度の比較 (単位 : cm^4 , mm^4)

	非合成設計	合成設計	合成設計 / 非合成設計
断面 2-C	19,247,681	43,769,202	2.274
断面 5-C	24,115,234	30,949,371	1.283

	鋼桁断面	合成断面 (断面 2-C)	鋼断面 (断面 5-C)
有効幅	750	5548.9	4482.7

表-4.5 たわみの比較

(単位:mm)

		非合成設計	合成設計	合成設計/非合成設計
断面 2-C	死荷重	79.8	76.5	0.959
	活荷重	64.2	27.6	0.430

たわみの許容値 $\delta_a=106.0\text{mm}$

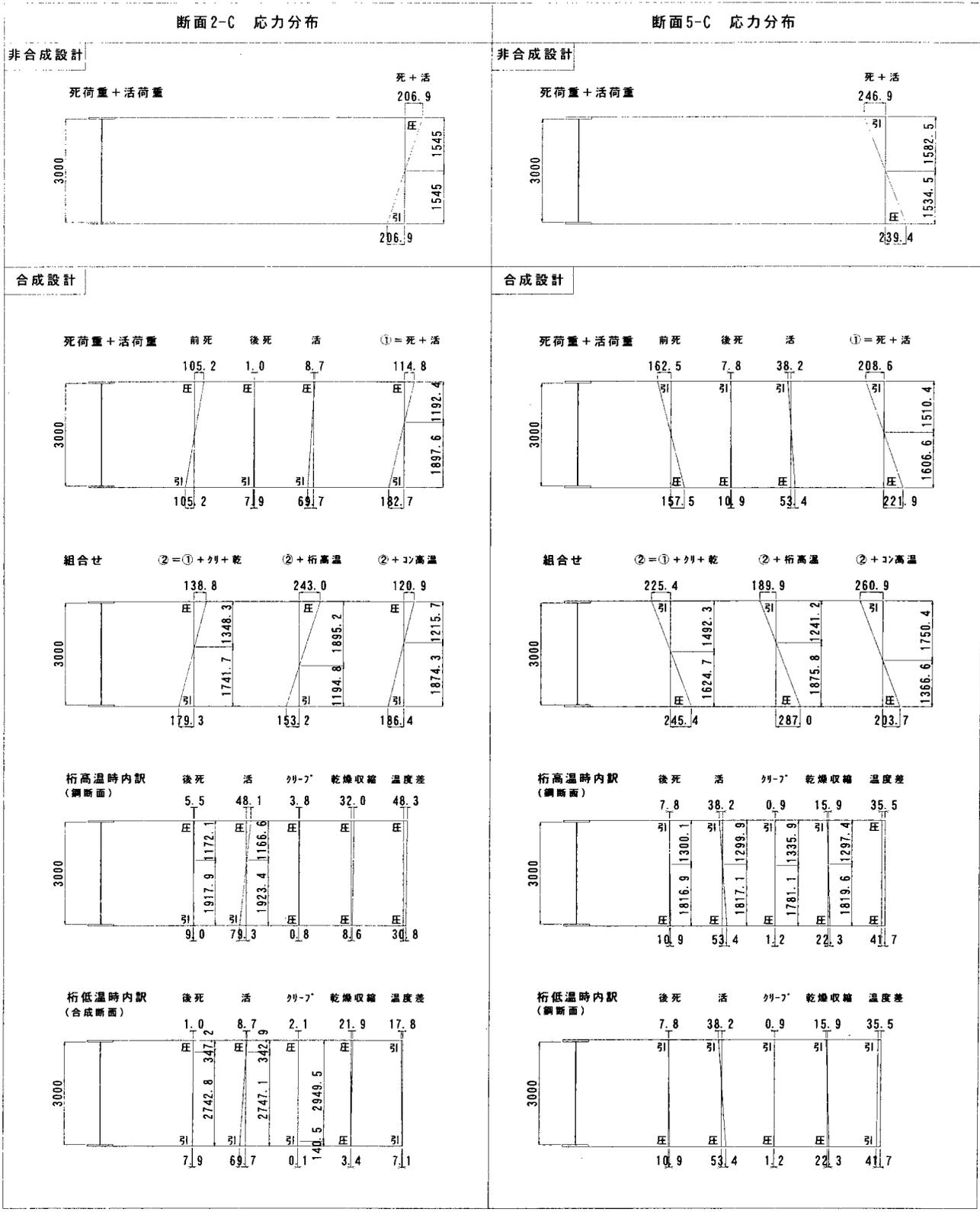


図-4.3 応力分布の比較

(3) 中間支点上付近のウェブパネル座屈照査

中間支点上付近(断面5-C)のウェブパネルについて座屈照査を行う。座屈照査は、道路橋示方書Ⅱ鋼

橋編の解 8.4.5 式を満足するかどうかを判定するものとする。

$$\left(\frac{t}{b}\right)^2 \geq \frac{v_B \sigma_c}{(425R)^2} \left\{ \frac{1+\psi}{4\kappa_\sigma} + \sqrt{\left(\frac{3-\psi}{4\kappa_\sigma}\right)^2 + \left(\frac{\eta}{\kappa_\tau}\right)^2} \right\} \dots\dots\dots(解8.4.5)$$

組合せについては、①=死荷重+活荷重、②=①+クリープ+乾燥収縮、③=②+温度変化(桁高温)の3ケースとする。なお、ケース③の座屈照査を行う際の応力度は常時換算値(/1.15)を使用するものとする。

断面 5-C のウェブパネルの応力分布を図 4.4、座屈照査結果を表 4.6 に示す。

表 4.6 ウェブパネル座屈照査結果

単位: cm, N/mm²

	パネル1			パネル2		
	①	②	③	①	②	③
パネル高	240.0	240.0	240.0	60.0	60.0	60.0
補剛材間隔	132.5	132.5	132.5	132.5	132.5	132.5
U.FLG 側応力	-200.8	-216.8	-157.6	130.8	145.6	161.7
L.FLG 側応力	130.8	145.6	161.7	213.7	236.2	241.6
せん断応力	79.6	79.6	69.2	79.6	79.6	69.2
α	0.552	0.552	0.552	2.208	2.208	2.208
ψ	-1.535	-1.489	-0.974	0.612	0.616	0.670
η	0.609	0.547	0.428	0.372	0.337	0.287
R	1.054	1.049	0.997	0.839	0.838	0.833
kσ	24.626	24.626	24.015	4.906	4.894	4.747
kτ	21.520	21.520	21.520	6.160	6.160	6.160
νB	1.255	1.257	1.274	1.329	1.342	1.367
必要腹板厚	1.51	1.58	1.75	1.32	1.39	1.44
腹板厚	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60
判定	ok	Ok	out	ok	ok	ok

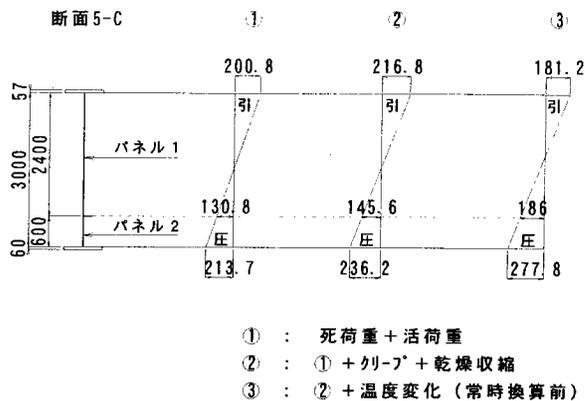


図-4.4 応力分布

(4) まとめ・考察

非合成設計された桁を合成桁として照査した結果以下のことがわかった。

- ・ 発生断面力は5%程度の変動であり大差は無かった。
- ・ 合成後の主桁剛度は、支間中央および中間支点上で、それぞれ 2.3 倍、1.3 倍の評価となるため、活荷重たわみは 43%と大幅に低減された。
- ・ 前項と同様の理由から全体的に死+活荷重応力度は低減されるが、中間支点付近の断面においては、クリープ、乾燥収縮および温度差による影響から、発生応力度が許容応力度を超過することとなった。特に鋼桁下フランジ圧縮応力が、温度差により最大 55N/mm²も発生することの影響が大きい。
- ・ ウェブパネルの座屈照査では、中間支点上において、許容値を満足しない結果となった。これは、特に温度差による圧縮応力度が増加したこと、非合成桁の場合に比べて中立軸が 20%程度上方

になったことによるものと考えられる。

上記の結果より、非合成桁として設計された連続桁は、床版合成の影響を考慮すると、必ずしも安全側の設計であるとは言えないことがわかった。しかし、中間支点における損傷報告も一般的には報告されていないことから、より合理的な合成桁の設計に向けた中間支点における実挙動の解明・評価が必要と考えられる。

§ 5 疲労の照査

安全率 1.5 及び 1.7 で設計された非合成桁について疲労照査を行い、安全率 1.5 で設計された桁について疲労強度が確保されているか確認する。

5. 1 概要

「鋼構造物の疲労設計指針・同解説 1993 年 4 月（社）日本鋼構造協会」の”簡便な疲労照査”に従い、本橋の疲労照査を行う。すなわち下記のとおり、最大荷重単位（T-60）により着目継手に生じる最大応力範囲が一定振幅応力に対する応力範囲の打ち切り限界以下であることを確認する。

$$\gamma_b \cdot \gamma_w \cdot \gamma_i \cdot \Delta \sigma_{\max} \leq \Delta \sigma_{ce} \cdot C_R \cdot C_t$$

$\Delta \sigma_{\max}$: 最大荷重単位による最大応力範囲

$\Delta \sigma_{ce}$: 一定振幅応力に対する応力範囲の打ち切り限界

γ_b : 冗長度係数 non-redundant 部材として 1.1

γ_w : 重要度係数 一般として 1.0

γ_i : 検査係数 定期的な検査を行うとして 0.9

C_R : 平均応力の影響係数 $C_R = \{1.3(1-R)/(1.6-R)\}$ R は応力比
(原則として本照査においては、平均応力の影響は無視する。

但し、 $\sigma_{\max}, \sigma_{\min}$ とも圧縮領域にある場合は $C_R = 1.3$ とする.)

C_t : 板厚の影響係数 $C_t = 4\sqrt{(25/t)}$ t は板厚(mm)

ただし、 $t < 25$ のとき $C_t = 1.0$

上記照査を満足しない場合には溶接を仕上げることにする。

5. 2 最大荷重単位と載荷位置

簡便な疲労照査では T-20 軸重の 3 倍の最大荷重単位 T-60 を用いる。T-60 (1 軸あたり 300kN) は 1 台載荷とし、車線中央に載荷する。動的影響として、衝撃係数 $i = 20 / (50 + L)$ の 1/2 を考慮する。

表 5.1 衝撃係数と軸重 (衝撃込み)

衝撃用スパン長 L (m)	衝撃係数 i/2	軸重 P (kN)	
第 1 径間	53.0	0.097	329.13
中間支点	53.0	0.097	329.13
第 2 径間	53.0	0.097	329.13

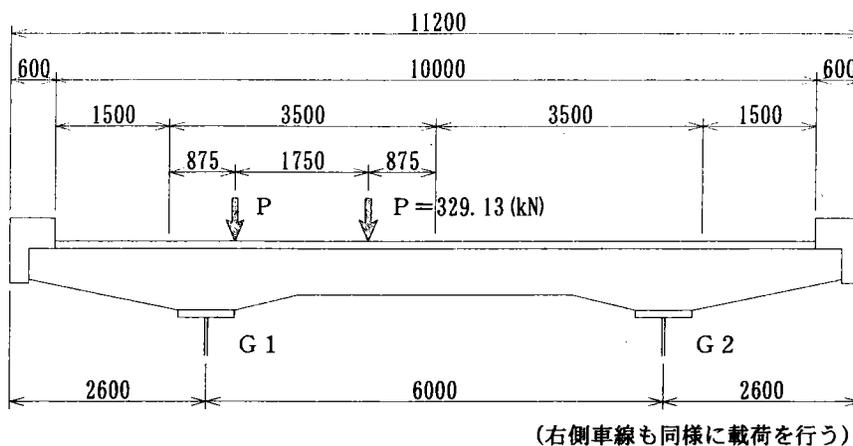


図 5.1 T-60 荷重載荷位置

5. 3 照査継手

照査は主桁について行い、着目継手および疲労等級は下記とする。

- ①横桁位置垂直補剛材上端：E等級 $\Delta\sigma_{ce} = 62\text{Mpa}$
- ②横桁位置垂直補剛材下端：E等級 $\Delta\sigma_{ce} = 62\text{Mpa}$
- ③継ぎ手位置上フランジ：D等級 $\Delta\sigma_{ce} = 84\text{Mpa}$
- ④継ぎ手位置下フランジ：D等級 $\Delta\sigma_{ce} = 84\text{Mpa}$

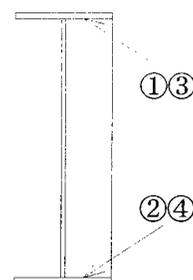


図 5.2 照査継手

横桁位置垂直補剛材

- ①：十字溶接継手・荷重非伝達型・非仕上げのすみ肉溶接継手
- ②：十字溶接継手・荷重非伝達型・溶接の始終点を含むすみ肉溶接継手

継ぎ手位置

- ③：横突合せ溶接継手・非仕上げ継手・(2)良好な形状の裏波を有する片面溶接
- ④：横突合せ溶接継手・非仕上げ継手・(2)良好な形状の裏波を有する片面溶接

5. 4 格子計算

(1) 格子計算モデル (平面モデル)

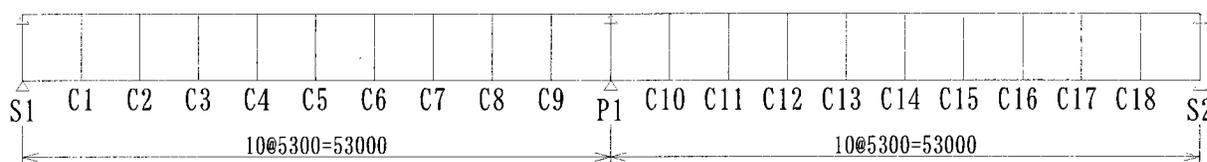


図 5.3 格子解析モデル

(2) 剛度

非合成桁 (安全率 1.7, 1.5) の設計に用いた仮定剛度を使用する。

5. 5 疲労照査結果

(1) 安全率 1.7 で設計された主桁の疲労照査結果

横桁位置 (疲労強度等級 E) と継手位置 (疲労強度等級 D) の照査を行った結果、横桁位置 C5 の下フランジ側で 1 箇所照査を満たさなかったが、疲労強度等級を E(80) から D(100) に上げることにより、

疲労照査を満たす結果になった。

(2) 安全率 1.5 で設計された主桁の疲労照査結果

安全率 1.7 の桁と同様に横桁位置（疲労強度等級 E）と継手位置（疲労強度等級 D）の照査を行った結果、横桁位置 C4, C5, C6, C7 のいずれも下フランジ側で照査を満たさなかった（表 5.2）。

対策として安全率 1.7 と同様に疲労強度等級を E(80)から D(100)に上げることにより、疲労照査を全て満たす結果になった（表 5.3）。

(3) 疲労照査結果

今回の疲労照査において安全率 1.7 と 1.5 で設計された桁について行ったが、どちらの場合も溶接止端部を仕上げることにより疲労照査を満たす結果となった。

安全率 1.5 の場合は 1.7 に比べフランジ厚が薄いため応力的にはより厳しい結果になったが安全率 1.5 の場合でも簡便な疲労照査を満たし、所定の疲労強度があることが確認できた。

§ 6 まとめおよび今後の課題

今回の報告書のまとめを以下に列挙し、今後の課題について述べる。

6. 1 非・合成設計の比較と安全率の低減

- 許容応力度の安全率を1.7→1.5に低減しても、全体工事費は2%程度しか変わらない。
- 非合成→合成設計をする事により、全体工事費は3%減少する。
- 工場製作費を安くするには、大型材片質量の削減のみならず、小型材片数および小型材片質量も合わせて削減しなくてはならない。
- そのためには、許容応力度の安全率を1.7から1.5に変更するだけでなく、
 1. 腹板の座屈係数の低減 → 腹板の最低板厚の低下
 2. 腹板の少補剛設計（合成桁）→ 小型材片数・質量の減少、腹板板厚の減少等が必要となる。
- 架設工事費は、PC床版工事費の占める割合が大きいため、鋼重減による効果が少ない。
（特に桁の架設工法がTC+ベントの場合）

6. 2 非合成桁の合成設計

- 発生断面力は5%程度の変動であり大差は無い。
- 合成後の主桁剛度は、支間中央および中間支点上で、それぞれ2.3倍、1.3倍の評価となるため、活荷重たわみは43%と大幅に低減される。
- 前項と同様の理由から全体的に死+活荷重応力度は低減されるが、中間支点付近の断面においては、クリープ、乾燥収縮および温度差による影響から、発生応力度が許容応力度を超過することとなった。特に鋼桁下フランジ圧縮応力が、温度差により最大55N/mm²発生する。
- ウェブパネルの座屈照査では、中間支点上において許容値を満足しない。これは、特に温度差による圧縮応力度が増加したことと、非合成桁の場合に比べて中立軸が20%程度上方になったことによるものと考えられる。

6. 3 疲労設計

- 安全率1.7の桁の場合、横桁位置（疲労強度等級E）と継手位置（疲労強度等級D）の照査を行った結果、横桁位置C5の下フランジ側で1箇所照査を満たさなかったが、疲労強度等級をE(80)からD(100)に上げることにより、疲労照査を満たす結果になった。
- 安全率1.5の桁の場合は、横桁位置C4、C5、C6、C7のいずれも下フランジ側で照査を満たさなかったが、前項と同様に疲労強度等級をE(80)からD(100)に上げることにより、疲労照査を全て満たす結果になった。
- 安全率1.5の場合は1.7に比べ主桁フランジ厚が薄いため応力的にはより厳しい結果になったが溶接止端部を仕上げることにより簡便な疲労照査を満たし、所定の疲労強度があることが確認できた。

6. 4 今後の課題

死荷重や活荷重、乾燥収縮やクリープの影響等に関する荷重係数、および、材料強度に関する安全係数をパラメトリックに変化させながら少数主桁橋の設計を実施し、荷重係数や安全係数の大小と、総鋼重や工数、工費等の増減との関係を把握する。