

金城第三高架橋の合理化設計

鷲尾 修一¹⁾ 神原 康樹²⁾

近年、価格破壊や国際化が叫ばれる背景のなかで、鋼橋建設においてもコストダウンが求められるようになってきた。それに伴って、従来鋼重を最少にするように設計すれば最も経済的であったものが、労働者の高齢化、若年労働者の製造業離れおよび熟練工の不足などから、労務コストが高くなり、鋼重最少よりも、鋼重が多少増加しても複雑な構造を単純化し工場製作工数を減少させるほうが経済的となってきた。そこでいわゆる「合理化設計橋梁」が増えてくるものと考えられる。積算方法についても部材数、材片数ならびに溶接延長などの製作工数の基となる数値を考慮することで、合理化設計に対応したものとなりつつある。

本文は、以上のような状況において一般的に提案されている合理化構造例を整理するとともに、日本道路公団から受注した金城第三高架橋に採用した合理化設計の内容について報告を行うものである。

まえがき

金城第三高架橋は、日本道路公団が建設を進めている伊勢湾岸道路の金城インターチェンジ付近の高架橋であり、図-1に示すように名港中央大橋と名港西大橋の間に位置している。金城第三高架橋は、これら一連の高架橋の一部で、本線橋4橋、

ランプ橋2橋、鋼製橋脚4基を日本鋼管(株)・駒井鉄工(株)共同企業体として受注したものである。

本橋では、種々の構造について合理化設計を行っており、「鋼桁橋合理化設計マニュアル(案)」(日本道路公団名古屋建設局H6. 2.)¹⁾などを参考として、使用材料(重量)の増加と製作工数の低減の関係を予測検討し、縦リブ本数の低減や板継ぎ溶接の省略などの合理化構造を採用するものとした。

1. 合理化構造例

箱桁橋の合理化設計において、建設省²⁾や日本道路公団などで考えられている構造例を構造形式、部材の簡素化・統一化、形鋼の利用、詳細構造、付属物、製作、塗装、架設および床版の項目でまとめると表-1のようになる。

1) 構造形式の合理化

構造形式の合理化としては主桁の少本数化を挙げているが、これは主としてI桁橋を対象に提案されているものである。PC床版を採用することで床版支間を6m程度まで大きくとり、主桁本数



図-1 位置図

1) 大阪設計部設計一課課長 2) 橋梁技術部技術課係長

表-1 合理化構造例(その2)

分類	合理化項目	内容	目的	問題点
部材の簡素化	ダイヤフラム、縦リブ配置の変更		作業の省力化 現場工期の短縮 鋼重の軽減	既設支間の長大化
部材の簡素化	補剛材の削減		作業の省力化 材料数の減少 溶接変形の防止	腹板の増厚による鋼重増
部材の簡素化	横桁間隔の長大化		作業の省力化 部材数の減少	
部材の簡素化	現場継手部の溶接構造化		孔明け工程の省略 部材数の減少	現場施工の複雑化
部材の簡素化	テーパードプレート使用		作業の省力化 材料数の減少	材料コストアップ 設計計算の複雑化
部材の簡素化	ダイヤフラム、横桁開口部の補強材の取付を片面のみにする		作業の省力化 材料数の減少	

表-1 合理化構造例(その1)

分類	合理化項目	内容	目的	問題点
構造形式	主桁の少本数化		作業の省力化 現場工期の短縮 鋼重の軽減	既設支間の長大化
部材の簡素化	補剛材の削減		作業の省力化 材料数の減少 溶接変形の防止	腹板の増厚による鋼重増
部材の簡素化	横桁間隔の長大化		作業の省力化 部材数の減少	
部材の簡素化	現場継手部の溶接構造化		孔明け工程の省略 部材数の減少	現場施工の複雑化
部材の簡素化	テーパードプレート使用		作業の省力化 材料数の減少	材料コストアップ 設計計算の複雑化
部材の簡素化	ダイヤフラム、横桁開口部の補強材の取付を片面のみにする		作業の省力化 材料数の減少	

表-1 合理化構造例(その3)

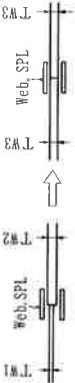

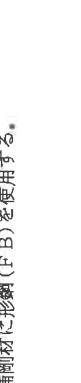


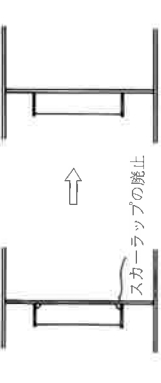
分類	合理化項目	内容	目的	問題点
部材の統一化	腹板板厚の統一化	腹板板厚を全長にわたり同一とする。 	作業の省力化 耐久性の向上	板厚統一による 鋼重増
腹板連結板の一体化	腹板連結板の一体化	モーメントプレートとシャーププレートを一体化する。 	作業の省力化 材料数の減少 美観の向上	運搬板の鋼重増 HTTB本数増
形鋼の利活用	補剛材に形鋼の使用	補剛材に形鋼(FB)を使用する。 	作業の省力化	材料入手の問題 取巻寸法使用による鋼重増
詳細構造	縦リブ貫通部のスカールラップの形状変更	縦リブ貫通部のスカールラップ形状を引張側の形状に統一する。 	作業の省力化	曲線桁および鋼床版桁へは適用不可
足場吊金具の改善	足場の腰板とフランジの溶接施工性を考慮し、足場吊り金具を腹板面に取付ける。 	溶接作業の省力化		
ダイヤフラム、桁開口部の補強材のスカールラップの廃止	ダイヤフラム、桁開口部の補強材のスカールラップの廃止 	作業の省力化		

表-1 合理化構造例(その4)





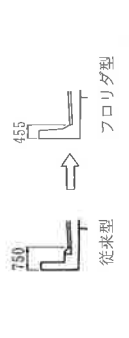
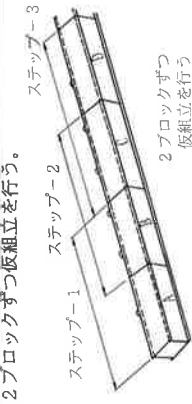
分類	合理化項目	内容	目的	問題点
詳細構造	板厚変化のナーバ一変更		作業の省力化	
	縦リブ板厚変化の板速がしの変更	片面速がしにする。 	作業の省力化	ダイヤフラムの縦リブ貫通部のスカールラップとの関係考慮
	スラブアンカーとスタッドジベ	丸鋼によるずれ止めめに替え、頭付きスタッドジベ	作業の省力化	工場の組立および桁架設時の作業性の悪化 ただし、箱桁は採用可能
	現場継手部母材のすき間の拡大	現場継手部に5mm程度、縦リブ継手部に10mm程度のすき間を設ける。 	架設時不具合の減少	
	縦リブHTTB孔の拡大	縦リブHTTB孔を26.5φとする。 	仮組時、架設時の不具合の減少	
付属物	排水構造の見直し	地盤形状の変更により、通水幅を広く確保し、排水樹間隙を大きくする。 	横引き管の減少 排水系統の簡素化	

表-1 合理化構造例(その6)

分類	合理化項目	内容	問題点	目的	合理化項目	内容	目的	問題点
付属物	検査路の合理化	点検用専用車両などで点検する。	検査路設置箇所の減少 景観の向上	検査路設置箇所の減少 景観の向上	めっき化	めっき板を採用する。	維持管理の省力化 現場工期の短縮	構造詳細の検討 必要 景観の悪化
製作	仮組立作業の省略	部材の測定データにより出来形を予測する。	工期短縮	工期短縮	張り出し架設, 送り出し架設の採用	大がかりな本体補強を行わず, ベント箇所を減じることができるところに採用する。	ベント数の低減 桁下の有効利用	補強による積重増
	逐次ブロック仮組立の実施	2ブロックずつ仮組立を行う。 	工期短縮	工期短縮	P C床版の採用	主桁の少本数化による床版支間の長大化に対応。	現場作業の省力化 現場工期の短縮	構造詳細の検討 必要
	ビード仕上げの簡素化	景観上問題とならない箇所はビード仕上げは行わない。	作業の省略化	作業の省略化	プレファブ床版の採用	グレーチング, コンポスラブ, P C合成床版などの採用。 プレキャスト壁高欄の採用。	現場作業の省力化 現場工期の短縮	構造詳細の検討 必要
塗装	工場全塗装	現場塗装は, 現場継手部のみとする。	現場工期の短縮	現場工期の短縮	移動式型枠の採用	1ユニットの床版型枠を施工ブロックごとに順次移動させる片押し施工。 鉄筋はあらかじめ地組にてブロック化する。	現場作業の省力化 現場工期の短縮	
	無塗装	耐候性鋼材の使用による無塗装を図る。	維持管理の省力化 現場工期の短縮 生涯コストの低減	安定さび形成までのさびの流出				

を減らそうということが大きな特徴である。同様の構造は箱桁橋にも適用できると考えられるため、表-1に加えるものとした。

2) 部材の簡素化・統一化

部材の簡素化・統一化の項目では、比較的容易に採用できると思われる構造を挙げているが、採用するにあたっては、その有効性を十分検討しておく必要がある。

垂直補剛材および水平補剛材の削減、主桁の1ブロック1断面、縦リブ配置の変更および横リブ配置の変更などは、母材断面が通常より大きくなるので鋼重が増えることになる。

また、現場継手の溶接構造化では、製作・架設における部材精度の向上が必要であると同時に、架設現場の状況によっては、合理化とはならない場合も考えられる。

テーパプレートの使用では、材料であるテーパプレートの入手難易度や価格も考慮する必要がある。

3) 形鋼の利用

鋼板を部材に加工する工数を削減するため、形鋼の利用が考えられている。現状においても鉸桁橋の対傾構や横構には、一般的に形鋼が使用されているが、箱桁橋の場合にも補剛材や縦リブおよびダイヤフラム開口部の補強材にFBやL形鋼などを使用してみてはどうかというものである。採用する場合には、形鋼の入手難易度も考慮する必要があるだろう。

4) 詳細構造

詳細構造の変更項目は、現状でも一般的に採用されている項目ではあるが、スラブアンカーのかわりにスタッドジベルを使用する場合は、ジベルサイズやピッチの決定方法を検討する必要がある。

他の項目については、容易に採用可能と考えられる項目であり、有効な合理化になると考えられる。

5) 付属物

排水構造の見直しは、排水柵間隔を大きくとることにより、排水管の横引き箇所を少なくするもので、将来の維持管理を容易にできると考えられる。また、検査路の省略と含めて、橋梁の景観の向上に大きく寄与するものであると思われる。

6) 製作・塗装

仮組立を省略する場合には、部材寸法計測から机上での精度確認を行うなどの精度の保証あるい

は、それに代わるものが必要になってくる。また、当然、省力化により付属物の種類は減ると思われるが、付属物の取り合いの確認方法の検討が必要である。

塗装については、耐候性鋼材を用いた無塗装仕様とする場合は、現地周辺の条件や美観上の問題を考慮する必要がある。めっき化についても美観上の問題やめっき槽に入れるための部材寸法制限などの問題があるので、採用にあたっては十分な検討が必要である。

7) 架設・床版

架設については、ペント数の減少や工期短縮あるいは安全性の向上などに効果があると考えられるものを採用する必要がある。

床版については、現場工期の短縮や主桁の少本数化による床版支間の長大化に対応できるようにするとともに、個々の現場条件などに応じて検討する必要がある。

2. 金城第三高架橋の合理化

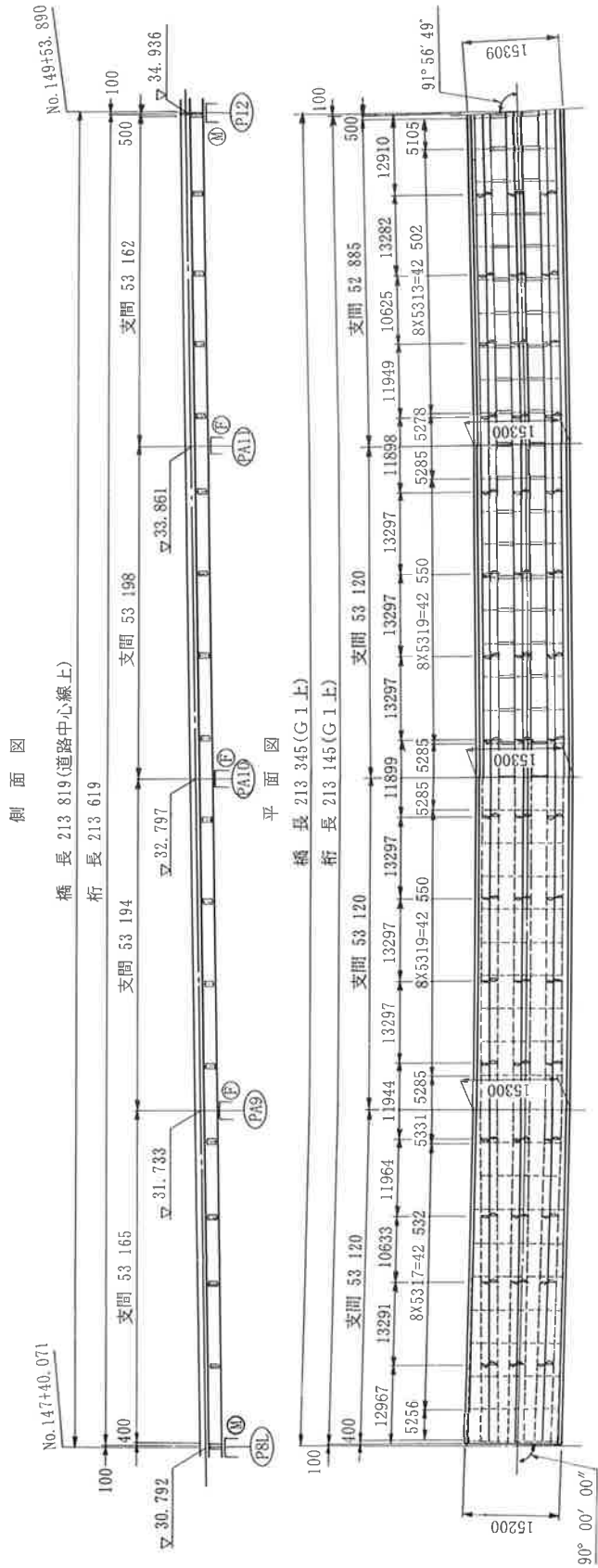
本橋のJV全体の施工範囲としては、非合成箱桁橋6橋と鋼製橋脚4基が含まれているが、本報告では、このうち図-2に示すような3主桁の非合成箱桁橋についての合理化設計の内容を記述する。

採用した合理化設計項目のうち主なものは、縦リブ本数の低減、1ブロック1断面化（板継ぎ溶接省略）およびダイヤフラム・横リブ配置の簡略化などである。なお、今回は下部工が施工済であったため、主桁の少本数化などの大きな構造変更は行わなかった。

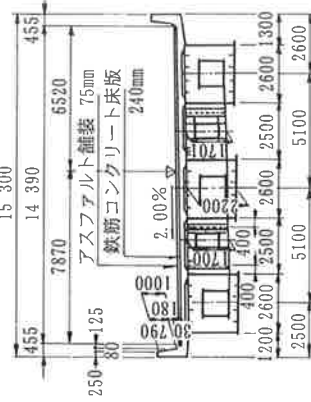
1) 縦リブ本数の決定について

通常、箱桁橋の圧縮フランジの縦リブ本数は、リブ間隔が320~450mm程度となるように決定される。連続桁の場合には、引張フランジに移行する箇所があるので構造上偶数分割とし、引張フランジとなる範囲は縦リブを1本置きに間引いて配置する。

本橋においては、縦リブ本数を低減することによる効果の予測を行い、適切な本数を決定した。本橋の場合、従来通りの設計では圧縮側7本、引張側3本となるが、表-2に示すように4ケースの縦リブ配置について鋼重および工場製作工数の比較を行った。鋼重および工数の算出は主桁1本分を対象として行い、従来の設計との比で表した。



中間部断面図



P8L 支点部断面図

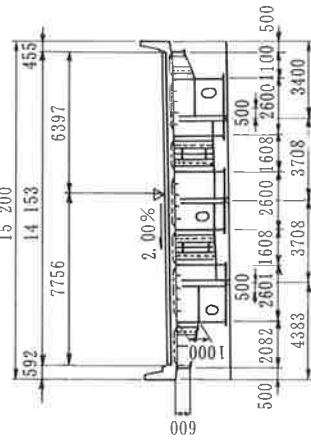


図-2 一般図

断面変化数については、基本的には1ブロック1断面としたが、1ブロック2断面の場合についても鋼重を算出した。また、鋼重増との対比を行うために、ケース②については工数まで算出した。

結果は表-2の通りとなった。これによると、工数は従来の設計に比べ92%程度となり、本橋の場合は、縦リブ配置によってそれほど大きく変わらないという結果になった。したがって、鋼重があまり大きくなならないという条件と当社の大阪工場の設備条件（縦リブ4本まで1度に溶接可能）からケース④の圧縮側4本および引張側4本という

配置に決定した。

2) 断面決定要領について

図-3に断面決定の概念図を示す。従来の設計の場合は、断面変化位置で断面決定を行い、応力余裕の大きい位置に現場継手を設けるのが一般的である。ところが、本橋のように合理化設計を行う場合は、輸送条件と架設条件からブロック長と現場継手位置（＝断面変化位置）を決めてよいことになる。したがって、その条件で断面決定を行うものとしたが、曲げモーメント形状に対して適切でない場合は若干の修正を行った。

表-2 縦リブ本数の検討

ケース	縦リブ本数		断面構成	断面変化数	鋼重比較 合理化/従来	工数比較 合理化/従来	備考
	圧縮側	引張側					
従来の設計	7	3		従来の設計	1.000	1.000	
①	5	2		1ブロック1断面	1.060	0.929	
	5	2		1ブロック2断面	1.051		
②	3	3		1ブロック1断面	1.136	0.922	
	3	3		1ブロック2断面	1.128	0.923	
③	3	1		1ブロック1断面	1.217	0.918	
	3	1		1ブロック2断面	1.215		
④	4	4		1ブロック1断面	1.083	0.927	採用
	4	4		1ブロック2断面	1.078		

※ 鋼重は縦リブ配置と断面変化数のみを考慮した概算値であり、実際の鋼重は表-3に示す。

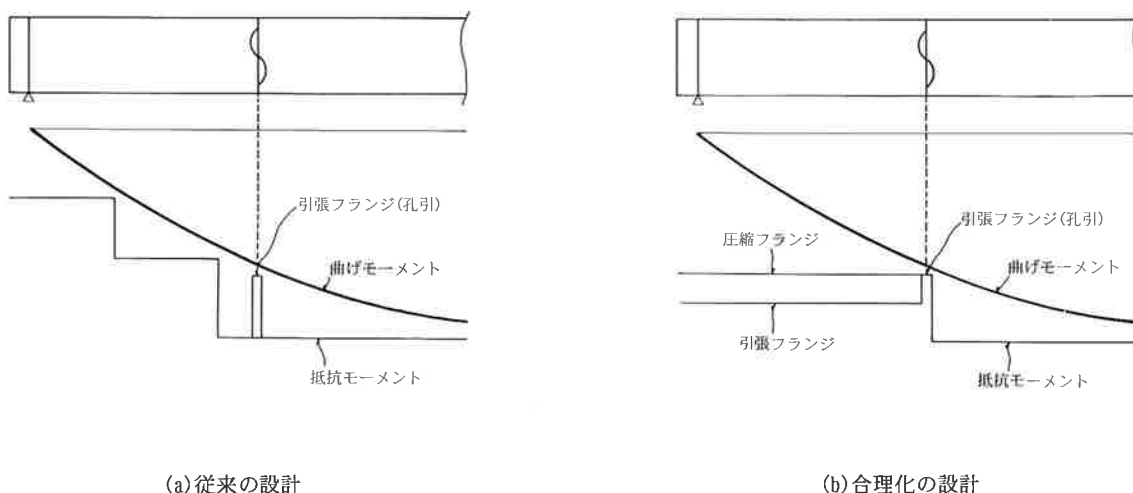


図-3 断面決定の概念図

引張フランジは、継手の設計におけるボルト孔引きによる母材断面の照査を満足させる必要がある。よって、引張フランジには見かけ上400kgf/cm²程度の応力余裕を見込んだものとなっている。一方、圧縮フランジについては、縦リブ間隔が520mmと従来の設計より大きいため、道路橋示方書鋼橋編3.2.3³⁾の圧縮応力を受ける補剛板としての必要最小板厚が12mmとなった。

ここで、従来の設計と比較するために、従来の設計と合理化設計で決定した断面構成図のうちの一部を図-4および図-5に示す。

3) 詳細構造について

詳細構造については、表-1のうち容易に採用可能であり、効果が期待できるものを選んだ。以下に、本橋で採用した詳細構造および製作、架設の合理化項目の内容を列挙する。

- ・ダイヤフラムおよび横リブ開口部の補強材の取付を片面のみにする。
- ・ダイヤフラムおよび横リブ配置の変更
- ・腹板連結板の一体化
- ・縦リブ貫通部のスカーラップ形状の変更
- ・足場用吊金具の改善
- ・ダイヤフラムおよび横リブ開口部の補強材のスカーラップの廃止
- ・板厚テーパの変更（1：5）

表-3 従来の設計と合理化設計の比較

	従来の設計	合理化設計	合理化/従来
全体鋼重(t)	904.9	1029.9	1.138
ブロック重量(t)	13.274	15.127	1.140
たわみ(mm)	133	115	0.865
材片数(個)	173	152	0.910
溶接延長(m)	742.5	539.4	0.726

ブロック重量は、材片数および溶接延長を算出したブロックの重量を示す。
たわみは第1径間中央の死荷重たわみを示す。

表-4 合理化項目別増減

合理化項目	鋼重増減(t)	材片数増減	溶接延長増減(m)
ダイヤフラム、横桁開口部の補強材の取付を片面のみにする。	-3	-6	-15.2
ダイヤフラム、横リブ配置の変更	-6	-10	-54.7
縦リブ配置の変更		-2	-57.8
1ブロック1断面	+128	-3	-73.6
腹板連結板の一体化	+5	(-8)	0
その他	+1	0	-1.8
合計	+125	-21	-203.1

()は現場継手1ヵ所当たりの参考値を示す。

- ・縦リブ板厚変化の板逃がしの変更（片面逃がし）
- ・現場継手部母材の隙間の拡大（縦リブおよび横桁）
- ・縦リブのHTB孔の拡大化（26.5φ）
- ・排水構造の見直し
- ・工場全塗装化
- ・張り出し架設の採用

部材の簡素化や部材の統一化のうち、補剛材の削減や腹板板厚の統一化については、腹板増厚による鋼重増が大きいと予測されるため、今回は採用しなかった。テーパプレートの使用や補剛材の形鋼使用については、材料入手上の問題があり採用しなかった。

以上のことをふまえて、従来の設計の構造イメージを図-6に、合理化設計による構造イメージを図-7に示す。

4) 合理化設計の結果について

鋼重、たわみ、材片数および溶接延長を算出すると表-3のようになった。また、合理化項目別に増減量を算出した結果を表-4に示す。材片数および溶接延長については1ブロック当たりを対象として算出した。従来の設計に比べ鋼重で約13%の増加となったが、材片数および溶接延長はそれぞれ91%および73%程度に減少した。

以上より、溶接工程の工数の減少にかなり効果があったと考えられる。これは、1ブロック1断面とすることで、断面変化のための突合わせ溶接箇所がなくなったことが一番の要因であり、これにより、当然のことであるが、溶接部X線検査も不要となった。また、剛性が大きくなることにより、主桁のたわみも小さくなった。

あとがき

本文では、金城第三高架橋の合理化設計の概要を述べた。本橋では、表-1に示した合理化構造例のうち主なものとしては、下記の項目を採用した。

- ①縦リブ配置の変更
- ②1ブロック1断面
- ③ダイヤフラムおよび横リブ配置の変更
- ④その他詳細構造の変更

合理化設計を行うことにより、製作の省力化という直接的な効果以外にも、主桁母材の板厚が大きくなり剛度が増加することによる耐久性の向上、

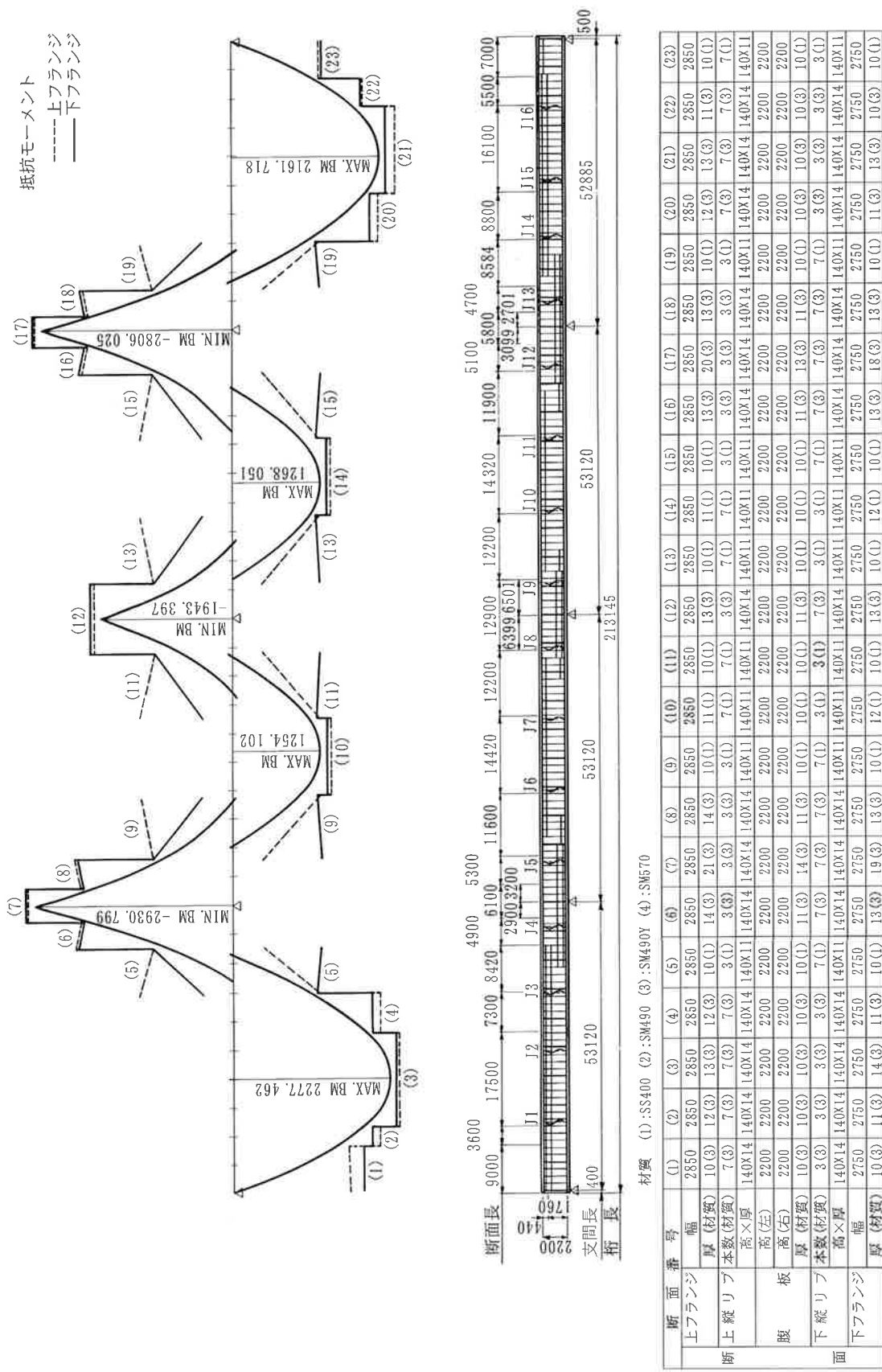
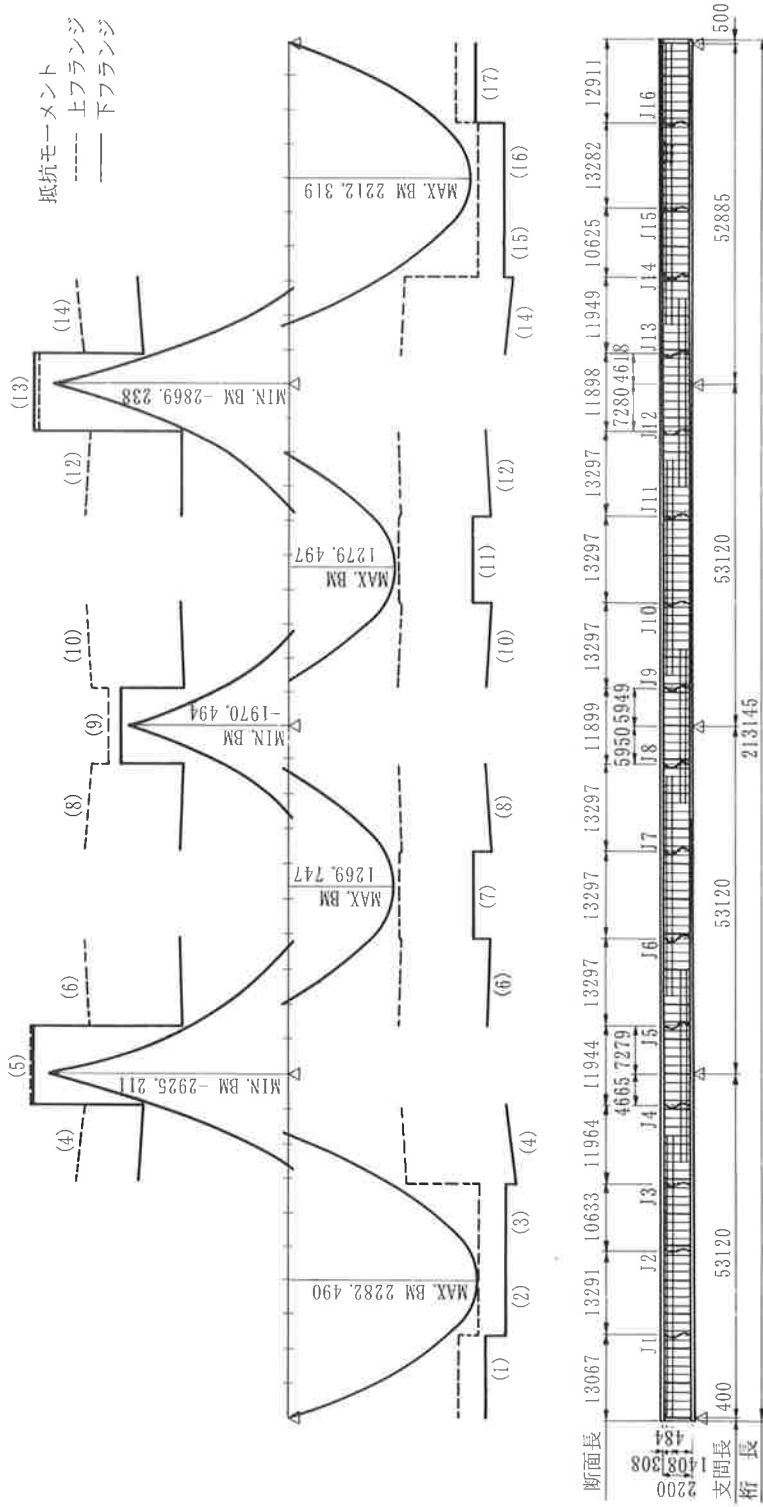


図-4 従来の設計における断面構成図



断面番号	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)
上フランジ	2850	2850	2850	2850	2850	2850	2850	2850	2850	2850	2850	2850	2850	2850	2850	2850	2850
厚(材質)	15(3)	16(3)	16(3)	12(3)	16(3)	12(3)	12(3)	12(3)	10(3)	12(3)	12(3)	12(3)	15(3)	12(3)	16(3)	16(3)	15(3)
上縦リブ	4(3)	4(3)	4(3)	4(3)	4(3)	4(3)	4(3)	4(3)	4(3)	4(3)	4(3)	4(3)	4(3)	4(3)	4(3)	4(3)	4(3)
本数(材質)	200X19	200X19	200X19	200X19	230X22	200X19	200X19	200X19	200X19	200X19	200X19	200X19	200X19	200X19	200X19	200X19	200X19
高×厚	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	230X22	200X19	200X19	200X19	200X19
版	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200
厚(材質)	10(3)	10(3)	10(3)	12(3)	14(3)	10(3)	10(3)	10(3)	11(3)	10(3)	10(3)	10(3)	14(3)	12(3)	10(3)	10(3)	10(3)
下縦リブ	4(3)	4(3)	4(3)	4(3)	4(3)	4(3)	4(3)	4(3)	4(3)	4(3)	4(3)	4(3)	4(3)	4(3)	4(3)	4(3)	4(3)
本数(材質)	200X19	200X19	200X19	200X19	230X22	200X19	200X19	200X19	200X19	200X19	200X19	200X19	230X22	200X19	200X19	200X19	200X19
高×厚	2750	2750	2750	2750	2750	2750	2750	2750	2750	2750	2750	2750	2750	2750	2750	2750	2750
下フランジ	11(3)	13(3)	13(3)	14(3)	20(3)	12(3)	10(3)	12(3)	16(3)	12(3)	10(3)	12(3)	20(3)	14(3)	13(3)	13(3)	10(3)
厚(材質)																	

図-5 合理化設計における断面構成図

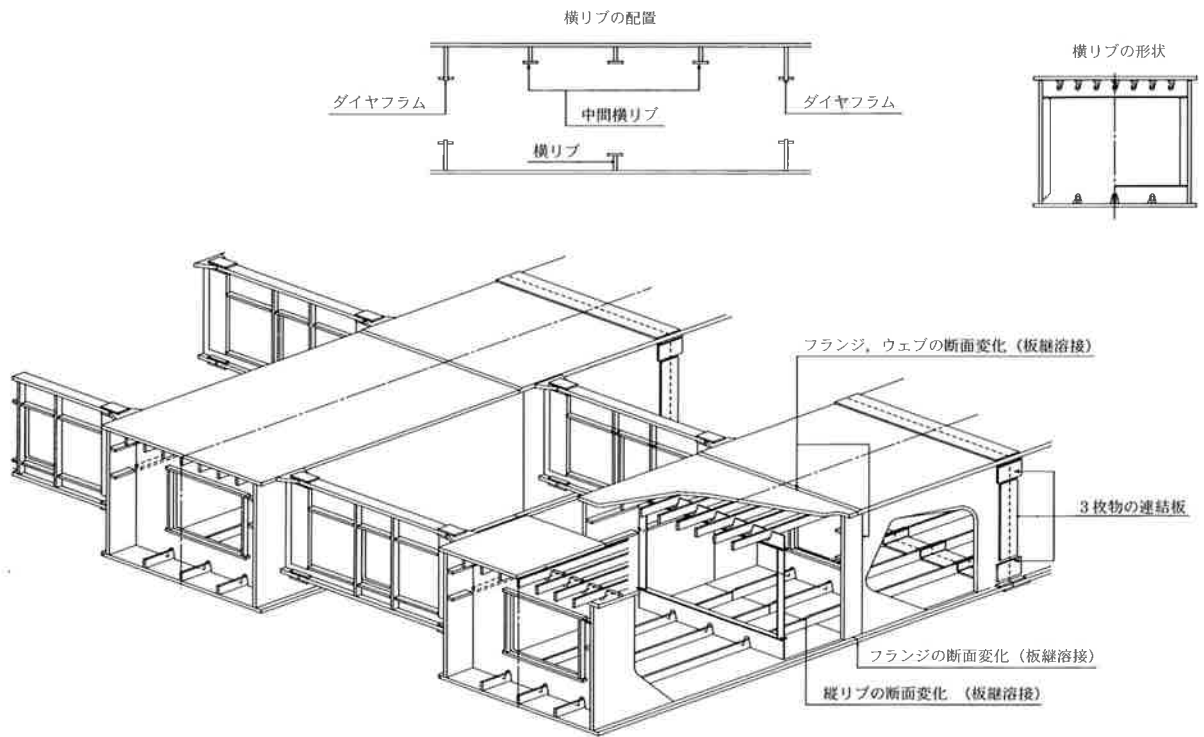


図-6 従来の箱桁の構造イメージ

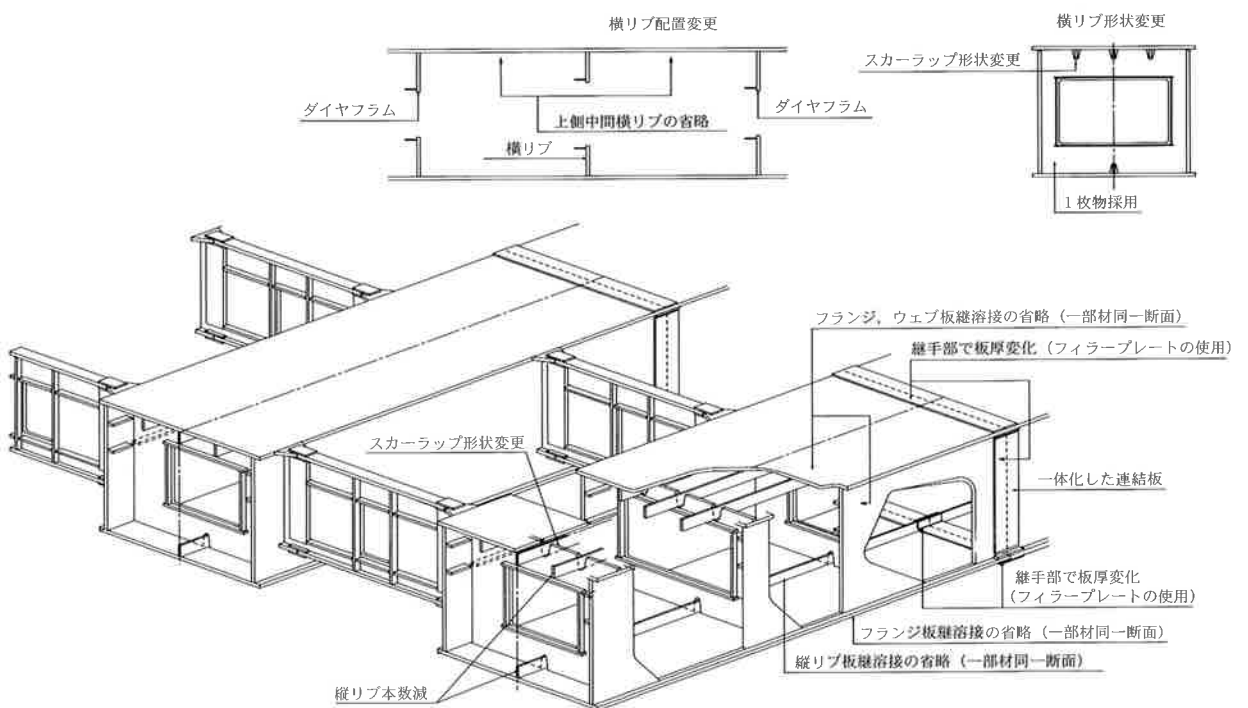


図-7 合理化設計の箱桁の構造イメージ

突合わせ溶接の省略による疲労耐久性の向上，ならびに構造の簡素化による維持管理作業の容易化などの間接的な効果も期待することができる。

今後，鋼橋の詳細構造は合理化および省力化構造に移行するものと考えられるが，これに対して本報告が参考になれば幸いである。

最後に本橋の設計に際してご指導，ご協力を頂いた日本道路公団の方々をはじめ，関係各位に深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 日本道路公団名古屋建設局構造技術課：鋼箱桁橋合理化設計マニュアル（案），1994. 2.
- 2) 建設省：鋼道路橋設計ガイドライン（案），1995. 10.
- 3) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，Ⅱ鋼橋編，1994. 2.