

鋼RC複合多径間ラーメン橋梁の提案

Proposed Steel-RC Hybrid Continuous Rigid-Frame Bridge

鳥越 弘行* 清水 功雄**
Hiroyuki TORIGOE Isao SHIMIZU

Summary

Unlike a prestressed concrete continuous rigid-frame bridge, a continuous rigid-frame bridge whose steel beams are connected rigidly to the tops of the reinforced concrete piers is a hybrid structure which enables rational design and earthquake resistance because the weight of the beams is light, and small-scale piers and foundation work are possible. In addition, for the field erection of the steel beams, cantilever erection without support at both sides of the rigid connection on the pier top is possible, resulting in highly safe erection work and an economically favorable structure. This report introduces hybrid structures with rigid connections, compares different types of girders, and discusses erection equipment.

1. まえがき

鋼とコンクリートの複合構造物として、鋼桁と鉄筋コンクリート橋脚を橋脚頭部において剛結した多径間ラーメン橋梁（以下、鋼RC複合ラーメン橋と称す）は、PC多径間ラーメン橋と比較して桁部の自重が軽く、橋脚・基礎工が小規模となる合理的な構造でありかつ地震時水平変位の少ない耐震性のすぐれた構造である。

また、高橋脚を必要とする箇所においては、鋼連続桁と比較しても鋼RC複合ラーメン橋は、高価なシュウを必要とせず、剛性・振動減衰性大のRC橋脚が有効に働いて鋼桁部の載荷荷重による鉛直たわみ量および振動が少なくなるばかりでなく、基礎工も小規模化が可能となる経済的な構造である。

鋼RC複合ラーメン橋は、また、鋼桁部の架設を橋脚頭部からのカンチレバー工法とした場合に、橋脚頭部が剛結結合されるため架設施工中の安全性が高く、ベント等の仮設物が不要となる利点がある。この剛結構造の利点を活かして、新開発の仮受装置付架設機を使用すれば、高橋脚を有する高架橋・海洋橋・峡谷橋・河川橋等で架設工法に制限が有る場合でも、能率的な施工を行うことができ、上下部工を合せた橋梁建設の総工事費において、他種構造物、例えばPC多径間ラーメン橋等と比較しても十分に経済性がありかつ建設工期の短縮が可能な構造物であると云える。

鋼とコンクリート材料の特性を活かした合理的な複合構造物である鋼RCラーメン橋梁を推奨すると共に、種々検討を行なって来た。本文では鋼桁とRC橋脚との剛結構造、鋼RC複合3径間ラーメン橋の試設計と他種構造との比較および仮受け装置付き架設機等について報告する。

2. 鋼RC複合ラーメン橋の特長と架設工法の概要

鋼RC複合ラーメン橋は、主桁部にはコンクリート構造と比較して自重の軽量の鋼箱桁または鋼トラス桁を使用し、橋脚にはRC橋脚を使用するのを基本として、この異種構造部材を橋脚頭部において剛結結合した鋼とRCの複合構造物であり、構造イメージを写真-1・写真-2に示す。

(1) 鋼RC複合ラーメン橋の特長

鋼RC複合ラーメン橋の構造に関する特長を下記に示す。

- ① 鋼桁は、橋脚と剛結されるため高価なシュウが不要である。
- ② 上部鋼桁の曲げモーメントの一部をRC橋脚にも負担させ、RC橋脚を有効に働かせることが出来るので、鋼桁のたわみ量が小さく、長大支間橋梁の設計に有利である。

* 技術本部技術開発部次長
** 技術本部技術開発部付課長

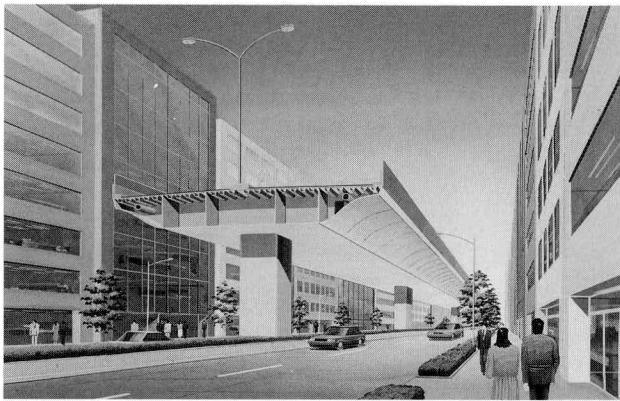


写真-1 鋼RC複合ラーメン橋(箱桁)のイメージ

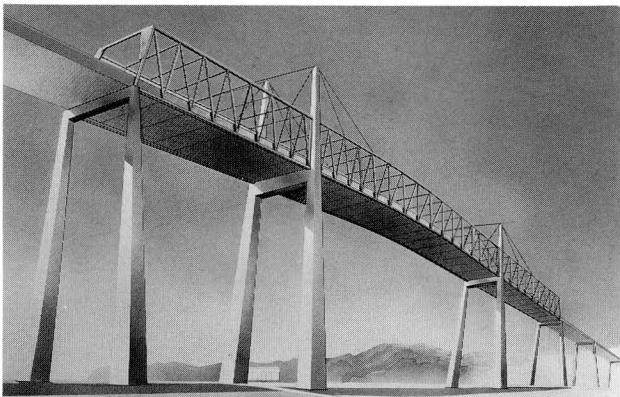


写真-2 鋼RC複合ラーメン橋(トラス)のイメージ

- ③ 上部鋼桁は同種のPC構造に比して自重が軽いため、橋脚を含めた下部構造が小規模となり経済的となる。
- ④ 剛性・振動減衰性とも大きいRC橋脚が有効に作用するので、地震時の水平変位量が少なく、また、特別の装置を用いなくても地震力を各橋脚に分散できる耐震的構造である。
- ⑤ 設計は、鋼桁部を橋脚頭部からヤジロベエ式に左右にカンチレバー架設する工法を基本として、鋼橋桁とRC橋脚との複合構造のラーメン橋として解析する。

(2) 鋼RC複合ラーメン橋の架設工法概要

鋼RC複合ラーメン橋の鋼桁部の現場架設は、RC橋脚と鋼桁との剛結結合の利点を活用し、橋脚頭部から左右ヤジロベエ式にバランスを取りながらカンチレバー架設工法を適用することが可能であり、従来の構造形式の鋼桁カンチレバー架設と比較して有利な面が多い。鋼RC複合ラーメン橋におけるカンチレバー架設工法の特長

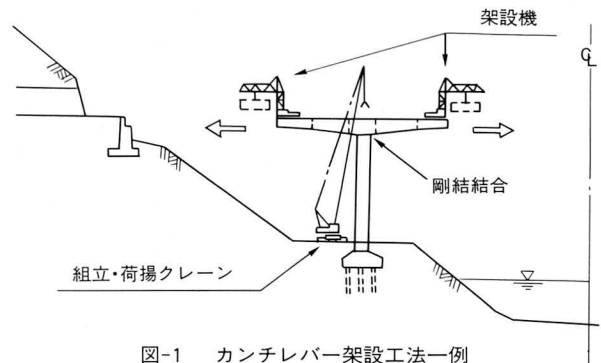


図-1 カンチレバー架設工法一例

を下記に示す。

- ① 支保工・斜支保工を用いたり、側径間をアンカー桁として先行架設せずにカンチレバー架設が可能である。
- ② 安定したRC橋脚に鋼桁部が架設時より剛結されているため、カンチレバー架設時に発生するねじりに対して安全性が高く曲線桁等にも利用可能である。
- ③ カンチレバー架設にはトラベラークレーンが一般的で、地形条件によってはケーブルクレーンの利用も考えられるが、専用の仮受装置付架設機(別途後述する)を使用すれば架設時の鋼桁ブロックは迅速にして安全確実に取り付けられる。そこで、鋼桁現場継手に現場溶接工法を採用することの可能性が大となり、ボルト継手部の無い美観上すぐれた構造とすることも可能である。また、現場架設作業は、一定手順の繰返し作業となるため、安全でかつ工期短縮につながる。

- ④ 鋼桁は支間中央で閉合せラーメン橋とするが、閉合にあたっては現場実測による調整桁を考えている。

以上のように、高橋脚を有する橋梁で地形等の条件によりカンチレバー架設工法をとらざるを得ない箇所の峡谷橋、河川橋等の場合には、この鋼RC複合ラーメン橋は有利な構造物であり、デビダーク工法等によるPCラーメン橋と架設時の安全性・総建設工事費・建設工期等の面で十分対抗出来得る構造物であると云える。

3. 鋼桁とRC橋脚との剛結構造

一般の鋼橋では、上部の鋼桁から下部のRC橋脚への載荷重の伝達はシューを介して行われるが、鋼RC複合ラーメン橋ではRC橋脚頭部においてシューを使用せず鋼桁とRC橋脚を剛結結合した構造である。鋼部材とRC部材の性質の異なる異種部材の剛結結合であり、また

応力集中の大きいラーメン隅角部での結合であるため種々の検討が必要となる。最近、土木建築の分野で、この種の異種部材継手構造の研究が盛んであるが、ここでは鋼RC複合ラーメン橋構造における隅角部の剛結結合方式について検討した事項について述べる。

一般的に、ラーメン隅角部の剛結構造として、上部工が鋼トラス桁の場合は図-2(a)、(b)、(c)のように

- (a) 鋼トラス垂直材をRC橋脚に埋込むタイプ。
- (b) 鋼トラスの格点または弦材をアンカーボルトまたはPC鋼材で、RC橋脚に結合するタイプ。
- (c) 鋼トラス下弦材格点をアンカーボルトまたはPC鋼材で、RC橋脚に結合するタイプ。

等が考えられる。また上部工が鋼箱桁・鋼鈹桁の場合には図-3(a)、(b)のように

- (a) 鋼桁をRC橋脚上において、PC鋼材等で結合するタイプ。

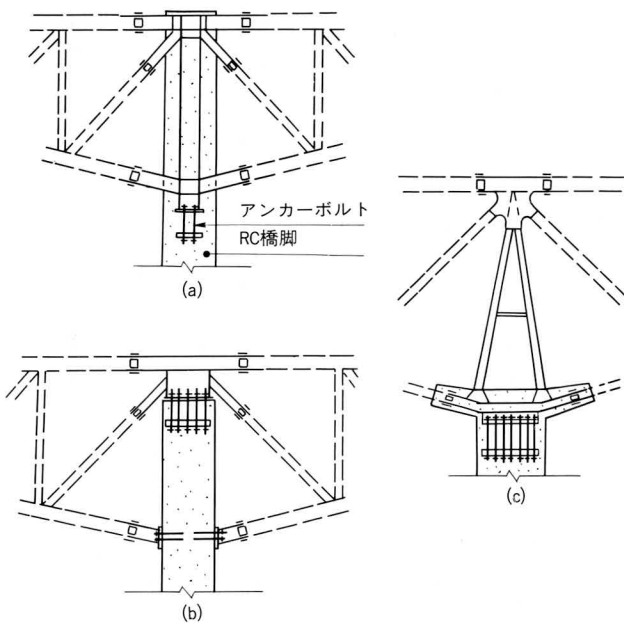


図-2 トラス桁剛結構造イメージ

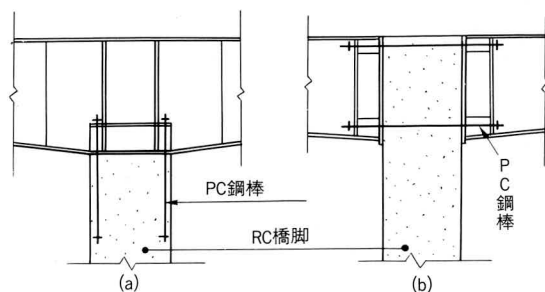


図-3 鋼箱桁・鈹桁剛結構造イメージ

- (b) 鋼桁をRC橋脚の両側にPC鋼材等で結合するタイプ。
等が考えられる。

(1) 上部工が鋼箱桁の場合の剛結構造

上部工が鋼箱桁の場合についての剛結構造としては、次の形式のものが考えられる。

- ① PC方式
- ② SRC方式
- ③ アンカーフレーム方式

アンカーフレーム方式については、高架橋の鋼橋脚下端部における鋼脚柱とRCフーチングの結合箇所に多く採用され、設計基準にも規定されている。しかし、鋼RC複合ラーメン橋においては、剛結部が橋脚頭部であり種々の制約・条件が多いため、アンカーフレーム方式では鋼桁下端部とRCの接合面にはだすき（微小の開口）が発生する恐れがある。したがって、剛性・耐力の低下およびくり返し応力による疲労強度低下が問題になると想定されるので、この方式を除き検討を行なった。

- (a) PC方式

図-4のように、RC橋脚頭部にPC鋼棒を埋込む（デッドアンカー・シース使用）。橋脚コンクリート打設は正規の高さより数cm下方で打止めして、鋼箱桁フランジ部のPC鋼棒用貫通孔にPC鋼棒を通しながら鋼箱桁を架設して高さ調整装置付き埋込架設ボルトを使って正規の位置にセットする。鋼箱桁の内部から注入孔を利用し、鋼

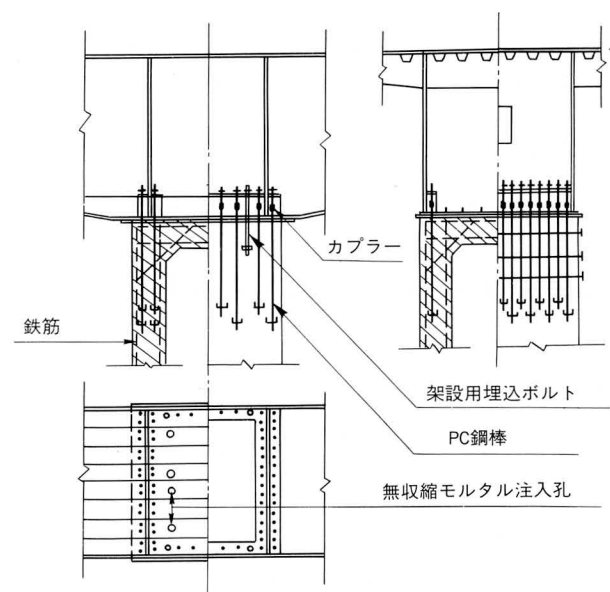


図-4 PC方式剛結構造

箱桁下フランジとRC橋脚頭部の数cmの間げきに流動性の良い無収縮モルタル・エポキシモルタル等を注入する。注入物の硬化の後、鋼箱桁のダイヤフラム箇所および腹板箇所の内部でPC鋼棒にプレストレスを導入して締結し剛結結合構造とする。

PC方式の長所を下記に示す。

- ① 荷重状態にかかわらず、鋼桁とRC橋脚の結合箇所にはだすき（微小開口）を発生させない。また結合箇所附近のRC橋脚に曲げひび割れを発生させない。
- ② くり返し荷重による剛結部の疲労強度低下が少なく、耐久性があり、剛性の低下が無い。
- ③ 応力の伝達機構が明解である。水平せん断力に対しては、鋼とコンクリートの摩擦力により十分に抵抗出来る。
- ④ 結合箇所の鋼桁架設、剛結結合施工が容易である。

今後の検討課題としては下記の事項を考えている。

- ① 鋼桁下フランジ下端とRC橋脚の接点に注入施工する無収縮モルタルあるいはエポキシ樹脂モルタル等の注入材の選定とその充填性の確認。
- ② PC鋼棒中間埋込定着部の位置およびその附近の局部応力の検討。
- ③ 鋼桁の架設施工精度から決まる鋼桁下フランジのPC鋼棒用孔径の余裕量とカプラー使用の可否。

(b) SRC方式

RC橋脚頭部に小規模アンカーフレームを埋込み、鋼箱桁内のダイヤフラムと腹板近くで鋼桁をRC橋脚上部の正規の位置にセットして締結する。鋼箱桁下フランジ部に設けた開口部からRC橋脚の鉄筋を箱桁内部に貫通させて、鋼桁ダイヤフラムと腹板に溶接したスタッドジベル等と鉄筋を一体としてコンクリートを打設する。鋼桁からの応力伝達は、桁のダイヤフラムおよび腹板から一部分はアンカーボルトにより、また他の一部分はジベル等を介して鉄筋コンクリートによりRC橋脚に伝達するのがSRC構造方式である。

図-5のように、アンカーボルトの一部をPC鋼棒に置きかえて、PC鋼棒併用とすることにより、剛結部のはだすき、およびコンクリートの曲げひび割れの防止になるとともに剛度と耐久力が増して一層信頼性の有る剛結結合構造となる。鋼桁下フランジの開口部による断面欠損は、左右の鋼桁下フランジ部にスタッドジベルを使用した鉄筋コンクリート補強と補強ベースプレートで十

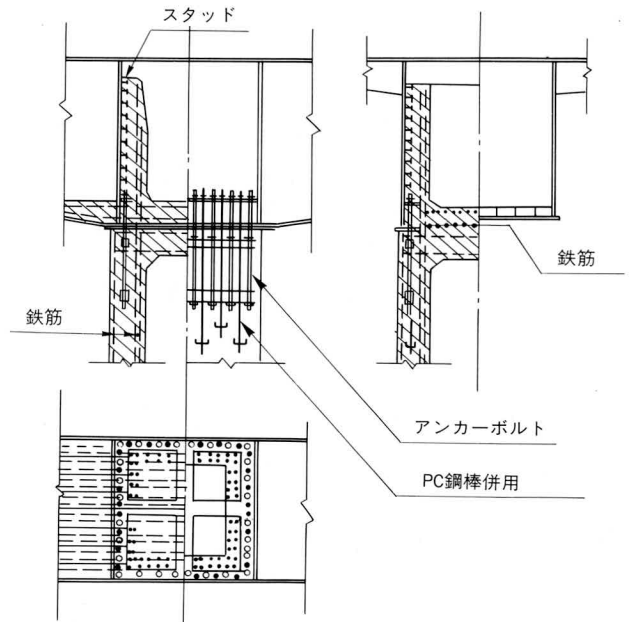


図-5 SRC方式剛結構造

分対処する事が可能である。SRC方式の長所短所を下記に示す。

長所として

- ① 剛性、終局強度共に大きな剛結構造である。
- ② 鋼桁の応力集中箇所（ダイヤフラム、腹板）が鉄骨鉄筋コンクリート構造になり、局部応力に対して安全性が大である。
- ③ 鋼桁架設の施工性は良い。

短所としては

- ① 剛結部の構造が複雑であり、特に鋼箱桁内の鉄筋コンクリート施工に難点がある。
- ② 応力伝達機構が複雑で、PC方式のように明確でないところがある。

今後の検討課題としては、応力伝達機構の解明と設計法の確立が必要である。（現在は、累加強度設計を考えている。）

4. 鋼RC複合ラーメン橋の試設計と他種構造との比較

鋼RC複合3径間連続ラーメン道路橋の試設計と同規模の他種構造との比較を行なった結果を示す。

(1) 鋼RC複合3径間連続ラーメン道路橋試設計

(a) 設計条件

構造形式	上部工形式	鋼床版箱桁
	橋脚形式	R C中空断面
	橋梁構造寸法	図-6参照
	基礎形式	場所打R C杭 $l = 20\text{m}$
荷重条件	活荷重	T L-20、T T-43
	温度変化	鋼桁部 $\pm 35^\circ\text{C}$
	設計水平震度	$K_h = 0.26$
設計法	鋼床版箱桁	許容応力設計法
	剛結構造部	限界状態設計法
	R C橋脚	〃
	基礎工	〃

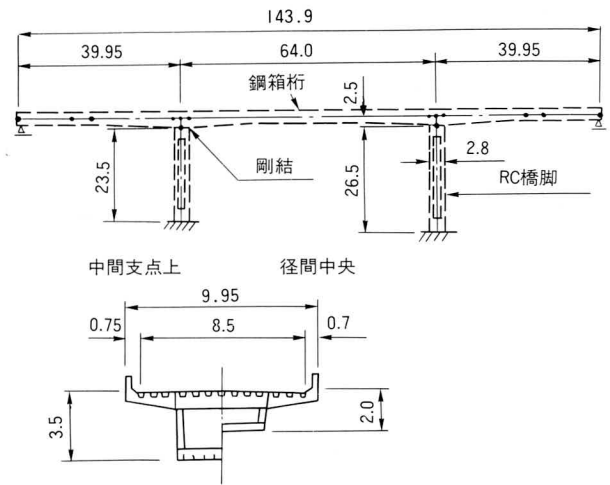


図-6 構造寸法 (m)

(b) 構造解析モデル

鋼桁の架設は、R C橋脚頭部より両側にヤジロベーク式にカンチレバー架設を行い、バランスの取れた状態で中央径間中央で鋼桁を閉合した後に両端鋼桁ブロックを架設することを考慮している。構造解析モデルを図-7に

示す。

(b) 設計断面力

鋼桁部の設計断面力を表-1、R C橋脚部の設計断面力を表-2に示す。

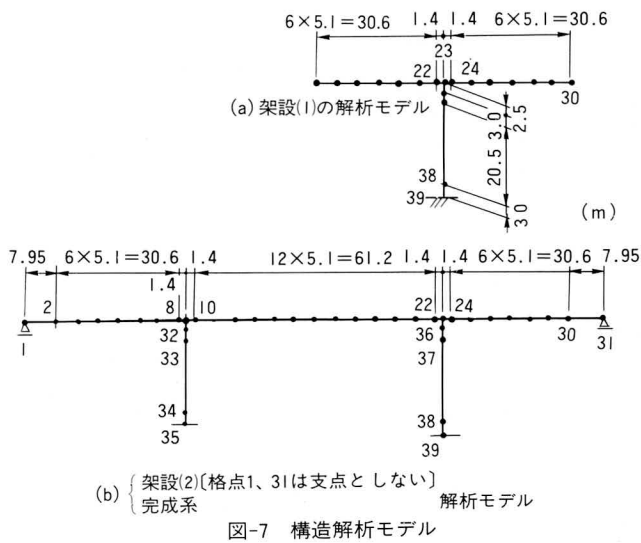
表-1 鋼桁部設計断面力
曲げモーメント (t・m)

格点	架設1	架設2	橋面荷重	死合計	活最大	活最小	死活最大	死活最小	温度	DL(MA)+T	DL(MA)-T	DL(MN)+T	DL(MN)-T
15	-45.5	-55.6	416.8	315.7	912.0	-81.4	1227.7	234.3	-106.8	974.7	1160.4	110.9	296.6
16	0.0	-53.9	462.1	408.2	869.0	-60.9	1277.2	347.3	-111.6	1013.6	1207.7	205.0	399.0
17	-45.5	-52.1	415.9	318.3	806.6	-76.9	1124.9	241.4	-116.5	876.9	1079.5	108.6	311.2
22	-1680.7	-43.4	-1188.8	-2912.9	230.7	-1688.2	-2682.2	-4601.1	-140.8	-2454.8	-2209.9	-4123.4	-3878.5
23	-1853.0	-42.9	-1343.2	-3239.1	242.0	-1889.0	-2997.1	-5128.1	-142.1	-2729.7	-2482.6	-4582.8	-4335.7
23	-1853.0	-836.6	-996.3	-3735.9	22.5	-1383.5	-3713.4	-5119.4	276.7	-2988.4	-3469.7	-4211.0	-4692.3
24	-1680.7	-852.1	-866.4	-3399.2	26.5	-1202.5	-3372.7	-4601.7	267.0	-2700.6	-3165.0	-3769.3	-4233.7
28	-182.1	-349.3	243.7	-287.7	694.0	-154.0	406.3	-441.7	125.7	462.6	244.0	-274.8	-493.4
29	-45.5	-223.7	292.4	23.2	729.3	-110.7	752.5	-87.5	90.4	733.0	575.7	2.5	-154.7
30	0.0	-98.0	249.5	151.5	592.7	-67.4	744.2	84.1	55.1	695.0	599.2	121.0	25.2

せん断力 (t)

格点	架設1	架設2	橋面荷重	死合計	活最大	活最小	死活最大	死活最小	温度	DL(MA)+T	DL(MA)-T	DL(MN)+T	DL(MN)-T
15	17.9	0.3	17.9	36.1	73.5	-42.3	109.6	-6.2	-1.0	94.4	96.2	6.3	4.5
16	0.0	0.3	-0.1	0.2	56.7	-57.0	56.9	-56.8	-1.0	48.6	50.3	-50.3	-48.5
17	-17.9	0.3	-18.0	-35.6	42.1	-73.9	6.5	-109.5	-1.0	4.8	6.5	-96.1	-94.3
22	-119.6	0.3	-107.8	-227.1	9.6	-174.6	-217.5	-401.7	-1.0	-190.0	-188.3	-350.2	-348.4
23	-126.6	0.3	-112.7	-239.0	9.6	-181.3	-229.4	-420.3	-1.0	-200.3	-198.6	-366.3	-364.6
23	126.6	24.6	95.3	246.5	160.2	-0.6	406.7	245.9	-6.9	347.7	359.7	207.8	219.8
24	119.6	24.6	90.3	234.5	155.6	-0.7	390.1	233.8	-6.9	333.2	345.2	197.3	209.3
28	35.7	24.6	18.5	78.8	67.9	-30.3	146.7	48.5	-6.9	121.6	133.6	36.2	48.2
29	17.9	24.6	0.6	43.1	47.3	-47.9	90.4	-4.8	-6.9	72.6	84.6	-10.2	1.8
30	0.0	24.6	-17.4	7.2	29.0	-70.1	36.2	-62.9	-6.9	25.5	37.5	-60.7	-48.7

DL(MA) = 死荷重合計 + 活荷重最大
DL(MN) = 死荷重合計 + 活荷重最小
+T, -Tは温度上昇、降下を表す。



(c) 剛結結合の設計

剛結結合はP C鋼棒締付によるP C方式剛結構造とする。剛結構造諸元を図-8に示す。

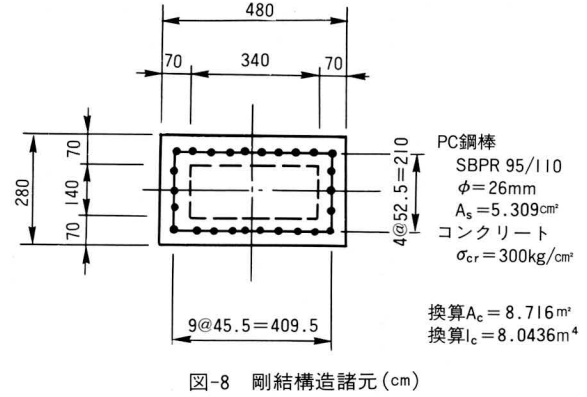


表-2 RC橋脚部設計断面力

終局限界状態ケース(1) 1.05D ₀ +1.20D ₁ +EQ								N ; 軸力 (t) M ; 曲げモーメント (t・m) S ; せん断力 (t)		
格点		架設1	架設2	橋面荷重	死合計	地震1	地震2	地震合計	永+地左	永+地右
36	N	253.2	24.3	208.0	541.0	9.3	5.1	15.9	556.9	525.1
	M	0.0	731.7	-300.9	407.2	-804.3	-403.8	-1329.1	-921.9	1736.3
	S	0.0	-44.8	18.1	-25.0	53.9	57.3	125.4	100.4	-150.3
39	N	908.8	24.3	208.0	1229.4	9.3	5.1	15.9	1245.2	1213.5
	M	0.0	-455.9	185.9	-255.6	2772.3	1113.5	4247.1	3991.5	-4502.7
	S	0.0	-44.8	18.4	-25.0	222.0	57.3	301.9	276.9	-326.8
終局限界状態ケース(2) D ₀ +D ₁ +EQ										
格点		架設1	架設2	橋面荷重	死合計	地震1	地震2	地震合計	永+地左	永+地右
36	N	253.2	24.3	208.0	485.5	9.3	5.1	14.1	499.9	471.1
	M	0.0	731.7	-300.9	430.8	-804.3	-403.8	-1208.1	-777.3	1638.9
	S	0.0	-44.8	18.4	-26.4	53.9	57.3	111.2	84.8	-137.6
39	N	908.8	24.3	208.0	1141.1	9.3	5.1	14.4	1155.5	1125.7
	M	0.0	-455.9	185.9	-270.0	2772.3	1113.5	3885.8	3615.8	-4155.8
	S	0.0	-44.8	18.4	-26.4	222.0	57.3	279.3	252.9	-305.7
使用限界状態 *D ₀ +D ₁ +0.5L+0.5T								*		
格点		架設1	架設2	橋面荷重	死合計	活荷重	死+活	温度	死+温度	死+活+温度
36	N	253.2	24.3	208.0	495.5	130.8	616.3	-6.0	479.5	547.9
	M	0.0	731.7	-300.9	430.8	928.1	1358.9	270.6	701.4	1030.2
	S	0.0	-44.8	18.4	-26.4	-51.5	-77.9	-59.3	-85.7	-81.8
39	N	908.8	24.3	208.0	1141.1	86.4	1227.5	-6.0	1135.1	1181.3
	M	0.0	-455.9	185.9	-270.0	-591.9	-861.9	-1300.3	-1570.3	-1216.1
	S	0.0	-44.8	18.4	-26.4	-50.2	-76.6	-59.3	-85.7	-81.2

① 終局限界状態

設計断面力 (格点36) $1.05D_0 + 1.20D_1 + EQ$

$N = 525.1t$

$M = 1736.3tm$

$S = 150.3t$

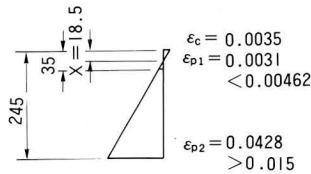


図-9 終局限界ひずみ

$C = 0.85 \times f_{cd} \times A_c$

$0.85 \times 230 \times 480 \times 18.5 \times 0.8 \times 10^{-3} = 1389t$

$T_1 = A_{s1} \times E_p \times \epsilon_{p1}$

$53.09 \times 2.0 \times 10^6 \times 0.0031 \times 10^{-3} = 329t$

$T_2 = A_{s2} \times 0.93 \times \delta_{pu}$

$= 53.09 \times 0.93 \times 11000 \times 10^{-3} = 543t$

$N' = C - T_1 - T_2 = 1389 - 329 - 543 = 517t$

$\doteq N = 525.1t$

$M_u = 1389 \times 1.326 - 329 \times 1.05 + 543 \times 1.05 = 2067t$

$M_{ud} = M_u / \gamma_b = 2067 / 1.15 = 1797t \cdot m$

安全率の照査 $M_{ud} / M_d = 1797 / 1736.3 = 1.04 > 1.0$

② 使用限界状態

設計断面力 (格点36) は表-2 によるが、軸力については総有効プレストレス力により支配される。計算結果を表-3、4、5、6 に示す。

表-3 設計断面力

載荷状態	曲げモーメント (t・m)	軸力 (t)	せん断力 (t)
プレストレス力	0	828.0	0
永久荷重	430.8	485.5	26.4
活荷重	928.1	130.8	51.5

表-4 コンクリート曲げ応力度 (kg/mm²)

載荷状態	上縁	下縁	鋼材位置
永久荷重	17.0	2.0	3.9
永久荷重 + 活荷重	33.2	-14.2	-8.2

表-5 鋼材の応力度 (kg/mm²)

増加応力度	$\Delta \sigma_p = 0.92$
有効引張応力度	$\sigma_{pe} = 60.00$
引張応力度	$\sigma_p = 60.92$

表-6 限界値

コンクリート圧縮	$0.4 \cdot \sigma_{ck} / \gamma_c = 120 \text{ kg/cm}^2$
コンクリート引張	$0.5 \cdot \sigma_{ck}^{(2/3)} / \gamma_c = -22.4 \text{ kg/cm}^2$
P C 鋼棒	$0.7 \sigma_{pu} / \gamma_s = 77.00 \text{ kg/mm}^2$

この試設計では、載荷時の P C 鋼材の引張応力度増加率が $60.92 / 60 = 1.015$ であり、P C 鋼材の疲労による強度低下については問題は無いが、P C 鋼材の増量または高強度材の使用により、総有効プレストレス力を増加させて、P C 鋼材の引張応力増加とコンクリート引張応力を押さえるのが良いと考えられる。

③ 試設計一般図

試設計の一般図を図-10 に示す。

(2) 鋼RC複合ラーメン橋と他種構造との比較

比較対象としての他種構造として、4.(1)の試設計と同規模の P C 3 径間連続ラーメン橋 (デビダーク工法) と鋼 3 径間連続桁橋 (中間支点ピン支承) を選んだ。P C 3 径間連続ラーメン橋については、「橋梁下部・基礎構造物の設計」(技報堂出版) の新示方書によるコンクリート構造物の設計例シリーズの諸元・計算例を引用させていただいた。その構造・部材寸法を図-11 に示す。

(a) 下部工の各種構造設計断面力比較

RC 橋脚部の設計断面力の比較を表-7 に示す。

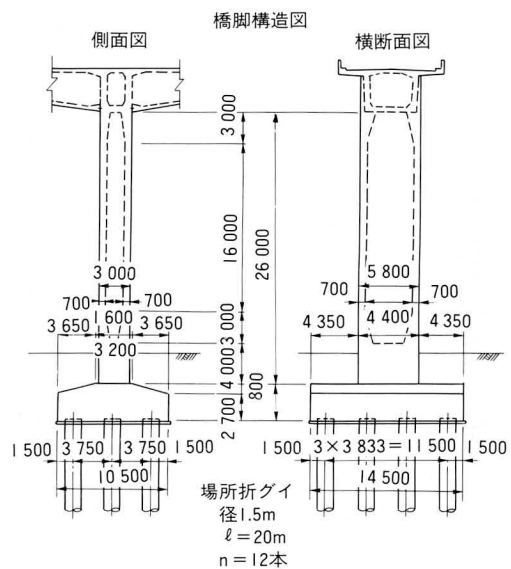


図-11(a) PC 3 径間連続ラーメン橋部材寸法

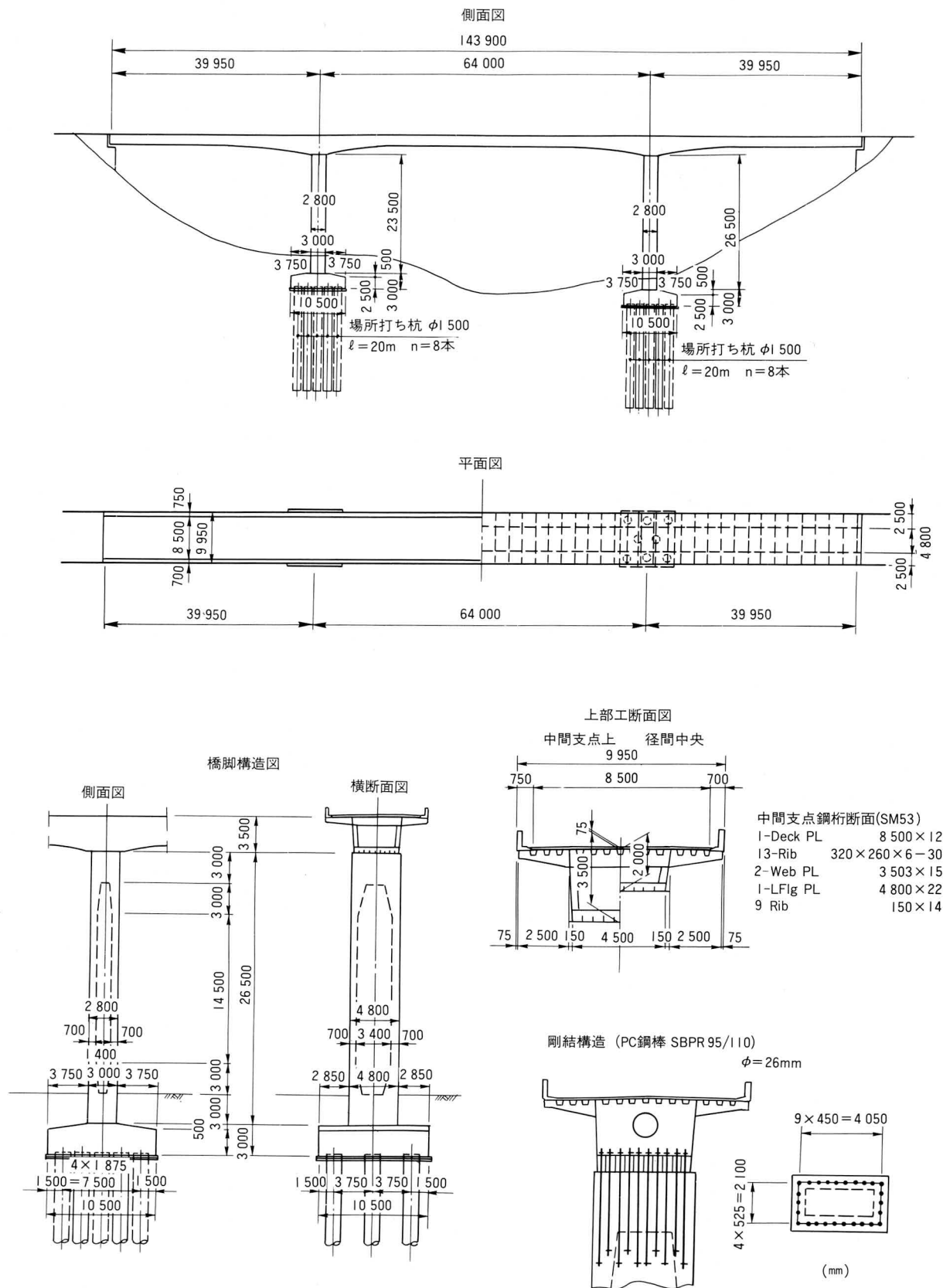


図-10 鋼RC複合3径間連続ラーメン橋梁一般図

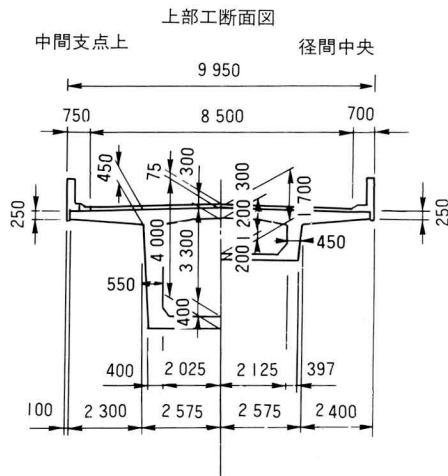


図-11(b) PC 3 径間連続ラーメン橋部材寸法

表-8 数量比較表

構造形式		鋼RC複合 3径間連続 ラーメン橋	PC 3径間連 続ラーメン橋
橋面積		2,464㎡	2,464㎡
上部工	PSコンクリート	—	990㎡
	鋼桁重量	500 t	—
下部工	RC橋脚 コンクリート	498㎡	571㎡
	フーチング コンクリート	622㎡	981㎡
	場所打ガイ φ=1.5 m	320 m	480 m

(b) 各種構造の上下部工の総使用材料数量比較
鋼RC複合3径間連続ラーメン橋とPC 3径間連続ラ
メン橋との使用材料数量の比較を表-8に示す。

一般的な鋼3径間連続橋との比較は、鋼RC複合3径間連続ラーメン橋の方が、上下部工共に2~3%の数量減になったが、この比較は径間割により左右されることを考えると、一般的には鋼シューが不要となるだけであり数量的には微少と思われる。ここでは数量比較を省略した。

表-7 橋脚部分設計断面力比較表(橋軸方向)

橋脚	設計断面力	鋼RC複合3径間 連続ラーメン橋 (剛結)		鋼3径間 連続桁 (ピン支承)		PC 3径間 連続ラーメン橋 (剛結)	
		曲げモーメント M(t·m)	軸力 N(t)	曲げモーメント M(t·m)	軸力 N(t)	曲げモーメント M(t·m)	軸力 N(t)
橋脚上端部 (格点36)	自重 D ₀	732	278	0	329	1,868	1,167
	橋面工荷重 D ₁	— 301	208	0	214	— 312	210
	初期プレストレスカ P	—	—	—	—	307	— 16
	クリープ・乾燥収縮 CS	—	—	—	—	-1,058	— 39
	活荷重・衝撃 L+i	928	144	0	145	863	121
	温度変化 T	± 271	± 6	0	2	± 164	± 3
	地震の影響 EQ	± 1,235	± 16	0	5	± 3,955	± 25
	(終局限界状態)	1.05D ₀ +1.20D ₁ +EQ M=1,736 N= 525 S= 150				D ₀ +D ₁ +P+CS+EQ M=4,765 N=1,297 S= 374	
橋脚下端部 (格点39)	自重 D ₀	— 456	933	154	975	1,634	1,935
	橋面工荷重 D ₁	186	208	145	214	208	210
	初期プレストレスカ P	—	—	—	—	— 685	— 16
	クリープ・乾燥収縮 CS	—	—	—	—	-1,370	— 39
	活荷重・衝撃 L+i	— 592	144	557	145	— 386	121
	温度変化 T	± 1,300	± 6	± 1,303	± 2	± 512	± 3
	地震の影響 EQ	± 3,882	± 16	± 4,905	± 5	± 7,153	± 25
	(終局限界状態)	1.05D ₀ +1.20D ₁ +EQ M=-4,503 N= 1,214 S= 327		1.05D ₀ +1.20D ₁ +EQ M=5,682 N=1,281 S= 305		D ₀ +D ₁ +P+CS+EQ M=-7,366 N= 2,065 S= 578	
設計水平震度 K _h =0.26 共通 温度変化 コンクリート部材±15℃ 鋼部材±35℃							

(c) その他の比較

鋼RC複合ラーメン橋は、鋼連続桁橋と比較して荷重による変位量が約30%になる利点がある。桁部のたわみ、橋軸方向の水平変位を表-9に示す。(鋼桁部を同断面とした場合)

表-9 変位量

荷重 格点	構造形式	鋼RC複合 3径間連続 ラーメン橋	鋼3径間 連続桁 (中央ピン支承)
		(mm) たわみ=12.5	(mm) たわみ=23.7
活荷重L	側支間 28	(mm) たわみ=12.5	(mm) たわみ=23.7
	中央支間 16	たわみ=26.7	たわみ=54.1
地震EQ	桁部 1~31	橋軸方向 変位=34.0	橋軸方向 変位=50.2

また、地震時の構造物橋軸方向固有振動周期(T)については、PC3径間連続ラーメン橋は一次モードが非常に卓越してT=0.564Sとなっている。鋼RC複合3径間連続ラーメン橋のTは、道路橋示方書V耐震設計編4.4.2を準用して下記式により算出すると次の通りとなる。

$$\delta = \frac{\sum W_i \cdot U_i^2}{\sum W_i \cdot U_i} = \frac{2438.74}{2096.26} = 1.163$$

$$T = 2.01 \sqrt{\delta} = 2.01 \times \sqrt{1.163} = 2.167S$$

Wi: 上下部工の節点iの重量(t)

Ui: 地盤面より上の上下部工の重量を橋軸方向に作用させた場合の節点iにおける変位(m)

鋼3径間連続桁(中間支点ピン支承)のTは、上記と同様に算出すると次の通りとなる。

$$\delta = \frac{5025.04}{3015.17} = 1.667 \quad T = 2.01 \times \sqrt{1.667} = 2.595sec$$

5. 仮受装置付架設機の開発と架設工法

(1) 開発の目的

鋼桁橋の設計時に架設工法や架設機械を特定することは、特殊な大ブロック工法などの他はまれであって、通常は、完成形に対してそのつど現場の状況などから、工法を選定する手順を取ることが一般的である。

筆者らは、鋼桁の計画にあたり、能率の良い専用架設機の使用を前提として、前述の鋼RC複合ラーメン橋あ

るいは、鋼連続桁の設計を行うことにより、製作・架設を含めた総工事費の低減と、能率の向上が可能であると考えた。

さらに、近年市街地ばかりでなく、橋梁の景観が重視されるに従い、できるだけ高力ボルト継手を避け、現場溶接継手の採用が望まれる傾向にある。溶接技術の進歩とも合まって、全断面現場溶接が採用されたものも数例あり、先に、土木学会田中賞を受賞した当社施工の“桜橋”(東京都台東区)もその一例である。

このような状況から、現場溶接継手を無理なく施工でき、地形条件等に余り左右されない、トラペザ形の架設機の開発を(株)三井三池製作所と共同で行ってきた。

本文で提案している鋼RC複合ラーメン橋では、カンチレバー架設を前提としていることもあり、この仮受け装置付架設機的能力を十分に活かせると思われるので、ここにその概要を紹介することにする。

(2) 主な機能と特長

図-12に架設機の概要図を示し、その特長と機能を列記する。

- ① 基本構造は、架設桁を仮受けできる仮受け装置、

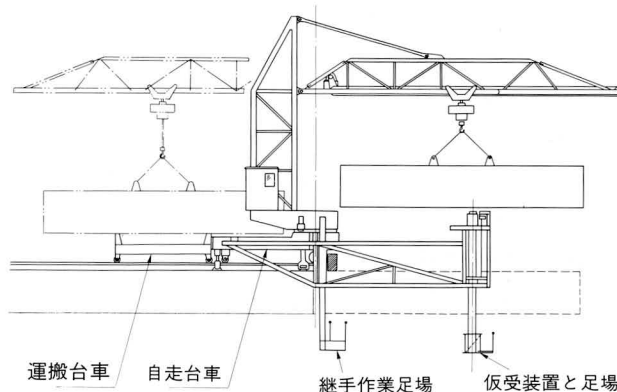
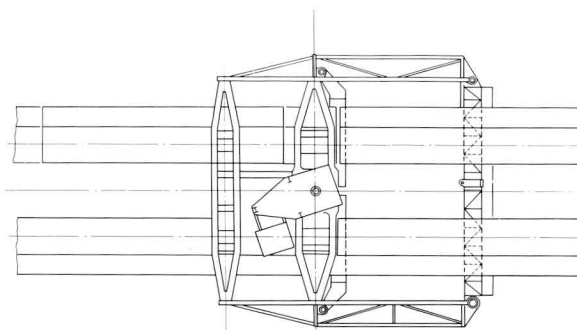


図-12(a) 橋梁架設機概要図

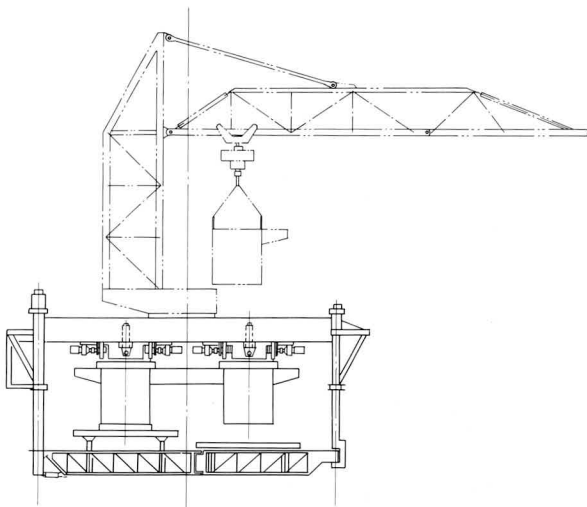


図-12(b) 橋梁架設機概要図 (正面図)

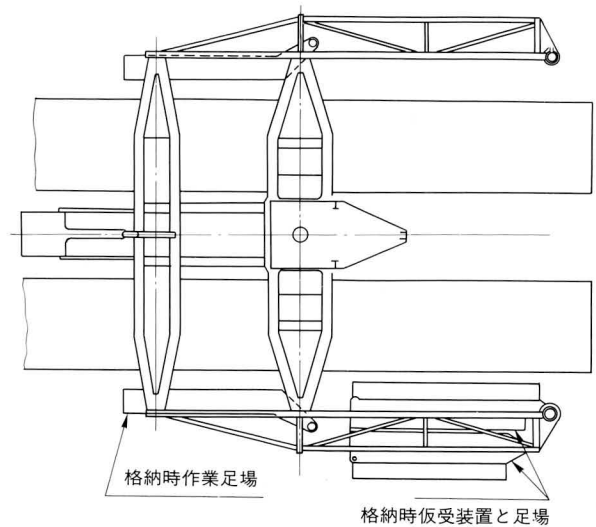
全旋回型クレーン及び自走台車を組合せた一種のトラベラクレーンである。

- ② クレーンは桁上での偏心を極力少なくするように設計されたタワークレーン型である。
- ③ 本装置の特長である仮受け装置では、桁位置の調整装置を内蔵しており、継手部仕口の調整が自由にできる。従って溶接継手の場合でも開先位置の微調整が能率よく行なえるばかりでなく、大規模な拘束治具を必要としないため、拘束による溶接変形などを最少限に抑えることができる。
- ④ 仮受け装置は、作業現場の側面と下面を覆う形で、足場・防護工が設けられており、作業現場に事前に移動する構造なので、作業員の安全はもとより、下面の交通に対しての防護も確実にできる。
- ⑤ この装置は、橋脚や支保工などを通過する時には、図-13のような折りたたみ機構が作動し、スムーズに移動できる工夫がされていることも、大きな特長の一つである。

(3) 仮受け装置付架設機を用いた施工方法

標準的な架設方法は、図-14の架設段階図のようになる。

- ① 桁上に設置した軌道上を仮受装置付架設機の台車が定位置まで自走し、ジャッキとアップリフト止めにより固定される。架設桁は台車により桁上を運搬する。
- ② 架設桁部材をクレーンにて吊り上げる。
- ③ 仮受装置上に置き位置を調整する。
- ④ 溶接あるいはボルトにて接合する。



格納時仮受装置と足場

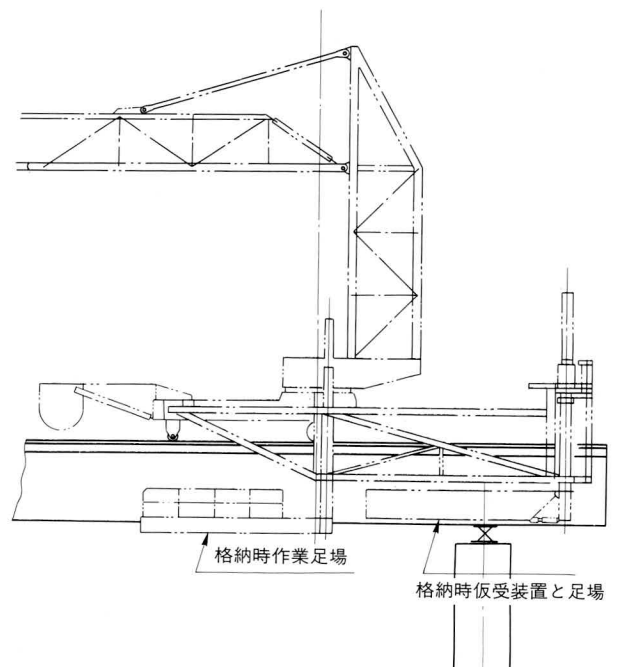


図-13 橋脚・支保工通過時姿図

(4) 仮受装置付架設機を用いた全断面溶接継手の施工

全断面溶接継手の施工は、仮受装置の支点調整装置により、きわめて能率良く仕口の調整を行い、仮拘束ができるばかりでなく、作業足場や溶接装置など一式ごと、定位置に移動できるので、段取りの能率も良く、防風設備なども十分に行うことができる。

当社開発のOWP工法(箱桁全断面溶接工法)は下フランジを含めて、箱桁外面から片面自動溶接を行う工法であり、本架設装置との組合せにより、十分な効果を期待できる。

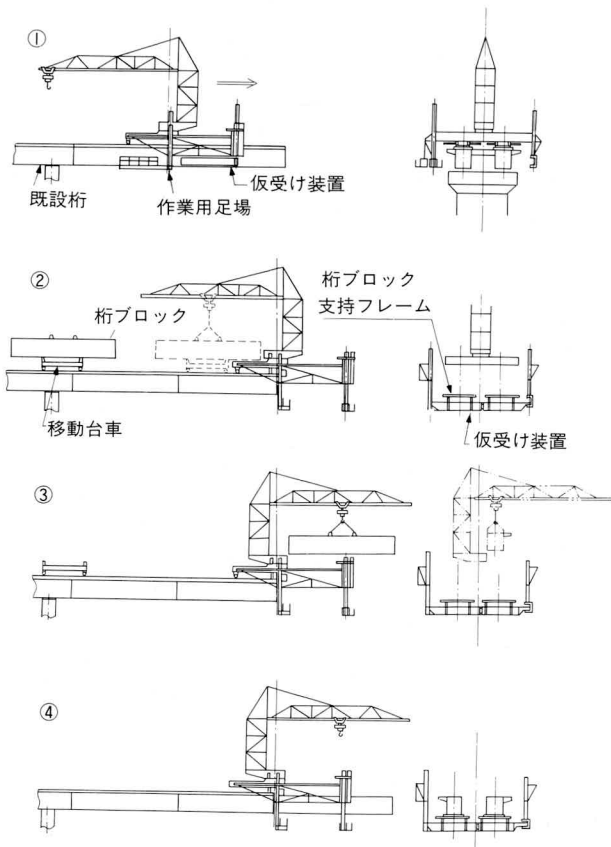


図-14 架設段階図

たとえば、写真-3に示したような市街地路上での高架橋の施工では、本架設装置に装備されている仮受け装置と移動全面足場防護工により、大巾な車線規制を必要としない。従って、昼間の施工が可能になり、能率的であるばかりでなく、夜間工事での騒音の問題などが解決されると考えている。

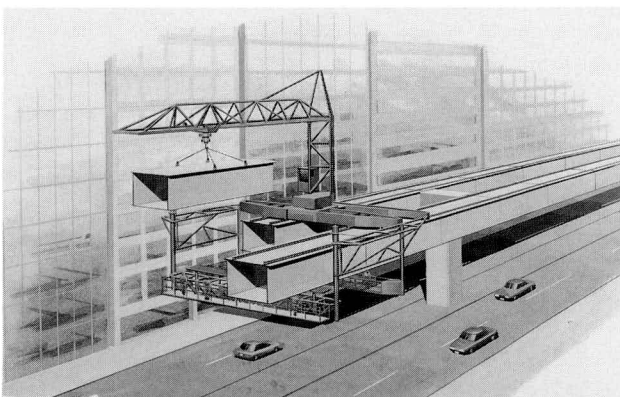


写真-3 市街地路上での架設作業

6. 今後の課題と展望

鋼PC複合ラーメン橋は、鋼桁構造とRC橋脚を剛結結合した構造であり、その剛結構造とすることで各種利点が追求できる構造物である。この剛結部は、構造上の継目で異種材料間の結合であると同時に施工継目となる箇所であり、応力集中が大であり強度低下が懸念されるので、その構造決定には作用力、施工性などを十分に考慮して決定する必要がある。PC方式剛結構造では、一般のPC構造と比較して中間埋込定着にする場合はPC鋼棒の長さが短くなることから、作業性の良いアンボンドPC鋼棒の使用が考えられる。この場合はPC鋼材の防錆・強度および耐力の低下についての検討・確認が必要となる。また、鋼RC複合ラーメン橋の架橋地点の地形・構造規模等の諸条件によっては、RC橋脚本体をPC構造とした鋼PC複合ラーメン橋とすることも考えられる。

また、鋼桁構造とRC橋脚の剛結結合の位置については、応力集中の大きい橋脚頭部隅角部を避け、剛結結合位置を橋脚頭部より下方の曲げモーメントが減少する橋脚中間部とすることも考えられる。剛結結合位置を変えることにより各種の有利点も考えられ、またこの種の鋼部材とRC部材の接合に関する研究³⁾⁴⁾も進められているのでそれらを参考として、有利さを求め剛結結合位置の基礎的検討を考えている。次に鋼RC複合ラーメン橋構造は長大支間化の検討の外に、美観・景観と建設工事作業制約が特に問題となる都市内高架道路橋・街路上新交通システム構造物等への適用を研究する必要がある。その目的は鋼桁架設作業近代化のため

- ① 鋼RC複合ラーメン橋の開発推進
- ② OWP全断面溶接を用いた現場溶接工法の実用化
- ③ 仮受装置付橋梁架設機の開発推進

を一連の開発テーマとして考えており、今後検討を進めるつもりである。

7. あとがき

この鋼RC複合ラーメン橋の構造と構造特質を活かしたカンチレバー架設工法を一セットにした橋梁構造の発想は当社の上前行孝社長によるものであります。また、このレポート中の仮受装置付架設機は当社と宮地建設・三井三池製作所との共同開発中のものであります。

鋼RC複合ラーメン橋に含まれる種々の問題点・課題は今後解決へ向けて势力的に解析・検討を推進するつもりではありますが、開発担当者だけでは不明な点多々あります。そこで、社内外の諸先輩のアドバイス・御指導がいただければ幸いです。

終りになりますが、PC方式による剛結結合構造は、阿部英彦氏：鋼梁とコンクリート柱の合成ラーメンの研究²⁾を主として参考にさせていただきましたことを記し感謝いたします。

〈参考文献〉

- 1) 田島・阿部ほか：引張ボルト接合によるラーメン隅角部に関する実験的研究、土木学会誌、Vol.52、No.4 1967-4
- 2) 阿部：鋼梁とコンクリート柱の合成ラーメンの研究（岡本編：鋼構造の研究、奥村教授還暦記念出版、1977-6）
- 3) 田島・町田：プレストレスによる鋼部材と鉄筋コンクリート部材の軸方向接合工法に関する研究、土木学会構造工学論文集Vol.32A、1986-3
- 4) 中村ほか：鋼橋脚と鉄筋コンクリート橋脚の接合に関する実験、コンクリート工学Vol.7、No.11 1969-11
- 5) 橋梁下部・基礎構造物の設計（新示方書によるコンクリート構造物の設計例シリーズ第3巻）、技報堂出版、1987-5
- 6) 成宮ほか：箱桁全断面溶接に用いる上向き片面自動溶接工法の開発と適用、宮地技報、No.4 1988

グラビア写真説明

港第二工区高架橋 阪神高速道路、大阪港線（大阪市港区港晴～同市西区本田、延長約5km）は、昭和54年に着工し、平成元年3月完成予定である。この路線の開通により、大阪湾の沿岸に計画されている大阪湾岸道路（神戸市～泉佐野市、延長約80km）と、都心部の環状線を中心とする阪神高速道路網とが結ばれることになり、内陸部の交通緩和に大きく寄与することになる。

本橋は、湾岸道路の一部としてすでに供用中の港大橋に直結する大阪港線の港晴地区に施工されたもので、東行（大阪都心方面行）が上層、西行（関西新空港方面行）が下層の二層構造となっている。施工場所周辺は、安治川沿いに倉庫群が林立しており、その道路付近はトラック、フォークリフトの出入が激しく、このような道路上が施工地点であることから、本橋の架設工法は主として海上からのフローティングクレーンによる大ブロック一括架設で行った。（熊田）

第113工区（下津）高架橋 製鉄工業の代名詞でもある北九州市は、百万を越す人口を抱えて御多分にもれず交通渋滞に悩まされ、この緩和のため昭和47年より北九州都市高速道路が着工されました。下津高架は、同市小倉北区を東西に貫通する主要幹線・1号線のほぼ中央に位置しています。この路線は更に西進して「鉄の街」八幡に連絡します。

写真の橋は、下津高架の「その3工区」として昭和59年末より製作開始のダブルデッキで、上は2径間連続鉄桁2連、下は4径間連続鉄桁1連です。途中文化遺産発掘等で1年間の工事中止を経て、ようやく63年2月架設完了し、同年12月に部分開通されました。（佐甲）

船渡大橋（豊実2号橋） 本橋は新潟県の東端に位置し、阿賀野川に架かる、真紅のニールセンローゼ橋である。船渡大橋は、菱潟大橋と徳石大橋とに挟まれ、名前のとおり本橋が架橋されるまでは、渡し船で人々が往来をしており、道路整備を開始して以来まさに10数年の年月を経て開通した住民待望の橋梁である。今まで10分～30分かけて迂回通学してものが数分程度に短縮され、小、中学生にとっても待望久しい橋梁である。生活道路としての重要性は無論の事、町起こしの一環として、本橋を含む阿賀野川五橋及び麒麟山の紅葉を觀賞する阿賀野ライン下りの計画もある。（中村佐）