

マグ溶接における建築鉄骨柱－梁接合部の溶接入熱 およびパス間温度の工場溶接管理方法の検討

A Method of Controlling Welding Heat Input and Interpass Temperature for Column-to-Beam Joint Connections for Building Steel Frame by Metal Active Gas Welding

大月 喜作*¹ 千葉 正幸*² 百瀬 善明*³ 大月 真一*⁴ 桜井 謙次*³
Kisaku OTSUKI Masayuki CHIBA Yoshiaki MOMOSE Shin-ichi OTSUKI Kenji SAKURAI

岩波 陽子*⁴
Yoko IWANAMI

Summary

In the steel frame fabrication shop, qualification institution has a qualification requirement to control welding heat input and interpass temperature during the welding of a column-to-beam joint connection. A study was made on the method for measuring the welding heat input and the temperature with the aim of controlling the welding. A practical and rational control method was found that restrains the lowering of the working efficiency.

キーワード：溶接入熱量，パス間温度，溶接施工管理，温度チョーク，熱電対，積層図

1. まえがき

建築鉄骨の柱梁接合部の溶接において溶接入熱およびパス間温度に厳しい管理が求められている現状を踏まえ、別稿「軟鋼および高張力鋼用マグ溶接ソリッドワイヤYGW-11, 18を用いた溶接入熱・パス間温度の限界試験と管理値の提案」で一考察を行なった。

現状での溶接入熱およびパス間温度はJIS規定に定められた値を厳守して管理されている。ここでは工場での管理方法を検討するための試行を行なった。

2. 検討項目

溶接入熱およびパス間温度を工場で管理するために次の二点について検証を行なった。

① パス間温度測定方法の比較

溶接施工の重要な要素であるパス間温度管理において、その測定には幾つかの方法があり、より正確な温度管理を行なうにはそれぞれの測定方法の特性を知る必要がある。幾つかの測定方法について表示温度および特性を比較し、溶接施工管理に反映する。

② 溶接入熱量の計測方法

溶接入熱量算出には各パスにおける溶接電流、電圧および溶接速度を実測する必要がある。この中で溶接電流、電圧は計器により測定は比較的容易であるが、溶接速度は溶接長と各パス毎のアークタイムを求め算出することから煩雑な作業になる。精度と簡便な計測方法を決定する。

3. パス間温度測定方法

(1) 温度測定器の種類

パス間温度管理のための温度測定には下記の方法が考えられるが、今回は熱電対、接触式表面温度計、非接触式表面温度計（カメラ型放射温度計）、温度チョークについて試験を行なう。（◎印の項目）

- ◎熱電対（クラス2）
- ◎接触式表面温度計（接触子には熱電対を使用）
- ◎非接触式表面温度計（カメラ型放射温度計）
 - ・接触式表面温度計（小型放射温度計）
- ◎温度チョーク
 - ・示温材

*¹松本工場製造部次長兼製造課課長

*²松本工場製造部製造課課長代理

*³松本工場品質管理部品質管理課

*⁴松本工場製造部製造課

(2) 基準温度の設定

幾つかの測定方法を比較する場合、基準となるべき温度を設定する必要がある。今回は熱電対Kを基準温度として設定する。基準温度として熱電対Kを設定すること

は、この測定機器の接続方法が放電式溶接によって行われるため熱損失が少ない。表-1に熱電対の特性を述べる。熱電対Kクラス2であれば400℃程度のパス間温度測定においては±3℃であり差支えないと判断される。

表-1 熱電対Kの仕様 (JIS C 1602 熱電対 抜粋)

種類	等級	測定範囲	誤差	備考
K	クラス2 (旧呼称0.75級)	-40℃ ~ +333℃ 333℃越え	±2.5℃ ±0.75℃	今回使用
	クラス1 (旧呼称0.4級)	-40℃ ~ +375℃ 375℃越え	±1.5℃ ±0.4℃	

(3) 測定方法

電熱器上に設置した銅板が一定温度になるように電熱器の出力をスライダックで調整し、熱電対Kの表示温度

を目的の試験温度に安定的に一定時間保持させ、それぞれの測定温度時の銅板面において測定を行なう。

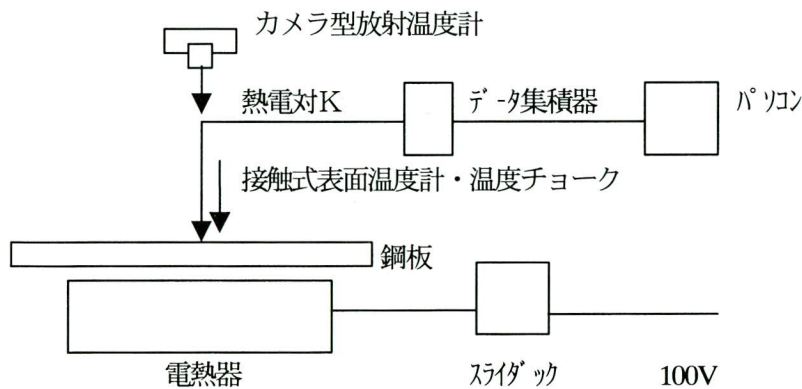


図-1 測定方法

(4) 測定事項

熱電対Kを基準温度として、表-2の種類について測定する。測定ステップは使用する温度チョーク (100, 110, 150, 240, 300, 345℃) に合せた。また、接触式表面

温度計については目的の測定温度を表示するまでの測定時間を計測し、温度チョークは目視でその溶融の有無を判断する。

表-2 測定事項

種類	表示温度	測定時間
熱電対K	基準温度	
接触式表面温度計	○	○
非接触式表面温度計 (カメラ型放射温度計)	○	
温度チョーク (100, 110, 150, 240, 300, 345℃)	○	

(5) 測定結果

表-3に測定結果を示す。

表-3 温度測定結果

熱電対K	接触式表面温度計		放射温度計表示温度 (°C)	温度チョーク 溶け開始温度(°C)
	表示温度 (°C)	測定時間 (秒)		
100	96	約10	103	91
110	100	〃	115	103
150	140	〃	156	143
240	231	〃	235	228
300	286	〃	302	295
345	339	〃	345	335

接触式表面温度計：鶴賀 Digi-Temper 3527A K-TYPE
 放射温度計：ミノルタ AUTO FOCUS AF
 温度チョーク：日油技研 サーモクレヨンM

(6) 考察および管理方法の決定

熱電対Kを基準温度として行なったそれぞれの機器の特徴をまとめ、管理方法を決定する。

- ①用いた接触式表面温度計も熱電対K-TYPEを使用し、被測定部位に対して接触により温度を測定するものである。接触式表面温度計は温度表示までにタイムラグがあり、今回の測定では約10秒必要であった。また約10°C低い温度を示す傾向が見られたが、別の報告によるとこの測定値の差は、測定温度が下がるに従い減少する傾向にあるとしている。接触式表面温度計は測定表面との接触の仕方により温度が変化するので接触子の密着に注意が必要である。
- ②用いた放射温度計は（補正機能付きで通常使用している鉄面の温度測定用に補正してある）ほぼ基準温度と同様の測定が可能である。測定は被測定部位に対して自動焦点で瞬時に測定される。注意する点は放射率を適正に合せることと被測定部位を正確にねらうことである。
- ③温度チョークの溶け始めのタイミングを厳密に判定することは難しいが、チョークの表示温度に対して5～12°C低目の温度で「溶け始める」と判断された。

それぞれの得失を整理し、工場管理に使用する機器を決定する。

・被測定部位に対して放電式溶接によって取付けられた熱電対は真に近い温度の測定が可能であり理想的である。しかしこの方法は工場製作時の測定に対しては作業性や機器の準備の点から実用的でない。しかし、溶接作

業中も含めた連続的な記録性に優れている。

・接触式表面温度計は利便性と精度の観点から現実的な工場製作時の温度管理に適している。

・放射温度計はほぼ基準温度と同様の測定が可能であるが、放射率を適正に合せることと被測定点を正確にヒットすることが重要である。今回用いたカメラ式は工場製作時の管理用としては作業性が悪く不向きであり、ハンディタイプの採用を検討する必要がある。

・今回の温度チョークの測定では約10°C低い温度を表示すると判断され、溶接パス間温度管理に対しては安全側にシフトしている。溶接作業者の自主チェックの方法としては最も現実的に適している。

従って、パス間温度の管理方法はそれぞれのツールの特徴を生かして表-4とする。

表-4 パス間温度の管理方法

管理者	主たる管理方法
溶接作業員	温度チョーク
溶接管理者	接触式表面温度計
詳細データ採取	接触式表面温度計 又 熱電対

4. 入熱量管理

(1) 入熱量の管理方法

入熱量を数値で管理するためにはその都度、各溶接パスの電流・電圧および溶接速度（アークタイムを計測し溶接長から溶接速度sを換算）を計測し入熱量 $J=60 \cdot A \cdot V / s$ により算出する必要がある。

- J : 入熱量 (J/cm)
- A : 溶接電流 (A)
- V : 溶接電圧 (V)
- s : 溶接速度 (cm/min)

しかし、実施工の中でこれらを行なう為には溶接作業者とは別に計測が必要になり現実的でない。一方、溶着量は定性的には溶接電流に比例し、溶接速度に反比例することから1パス当たりの溶着量をコントロールすれば、入熱量の制御が可能である。

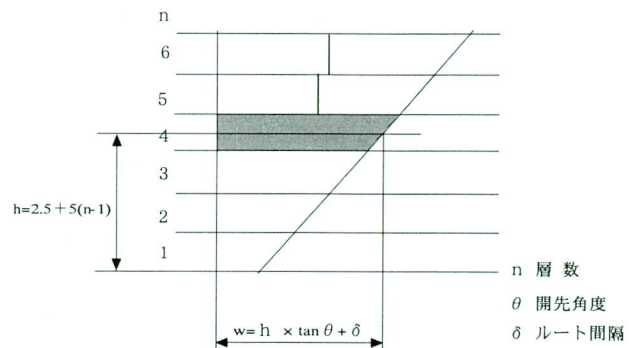


図-2 溶着量模式図

(2) 標準積層図の設定

1パス当たりの溶着量を制御する手段として、標準溶接条件（電流、電圧、速度）と標準的な積層形状を設定する。別稿「軟鋼及び高張力鋼用マグ溶接ソリッドワイヤYGW-11, 18を用いた溶接入熱・パス間温度の限界試験と管理値の提案」で行なった、板厚36mmの溶接入熱30KJ/cm（15試験体）および40KJ/cm（24試験体）の結果より標準的な条件を設定するものとする。これらの試験体の積層状況を表-5に示す。

表-5 積層状況表

溶接入熱	層数	1層1パスの限界
30KJ/cm	7	2層目
40KJ/cm	7	4層目

今回の結果では、溶接ワイヤ1.2φを使用した下向き溶接（開先角度35°、ルート間隔7mm）において1層の平均溶接高さは約5.4mmである。また、30KJ/cmと40KJ/cmの1層1パスの限界はそれぞれ2層目と4層目であったので、平均溶接高さを安全側にシフトして5.0mmとし限界溶着量を計算すると、2層目61.25 mm²、4層目96.25 mm²である。概要を図-2および表-6に示す。また、標準溶接条件は上限電流400A、電圧40V、速度15~50 cm/minである。

これらの標準溶接条件（電流、電圧、速度）と標準的な積層形状を一例として表-7および表-8に提案する。積層の層数およびパス数をこの標準以上の数値で溶接することによりそれぞれの入熱量管理がなされる。また、パス間温度測定位置は規定された「溶接線の長手方向中央の開先端より10mmの位置」である。

なお、工場での多くの実測により、溶接ワイヤ径1.2φでの横向き溶接は入熱量が30KJ/cm以下での施工となり、パス間温度のみの管理でよいことが分かっている。

表-6 積層別パス数計算表 (40KJ/cm)

レ型35° 7mm 40KJ/cm						
板厚	層数	h	w	面積	面積/96.25	パス数
5	1	2.5	8.75	43.75	0.454545455	1
10	2	7.5	12.25	61.25	0.636363636	1
15	3	12.5	15.75	78.75	0.818181818	1
20	4	17.5	19.25	96.25	1	1
25	5	22.5	22.75	113.75	1.181818182	2
30	6	27.5	26.25	131.25	1.363636364	2
35	7	32.5	29.75	148.75	1.545454545	2
40	8	37.5	33.25	166.25	1.727272727	2
45	9	42.5	36.75	183.75	1.909090909	2
50	10	47.5	40.25	201.25	2.090909091	3
55	11	52.5	43.75	218.75	2.272727273	3
60	12	57.5	47.25	236.25	2.454545455	3
65	13	62.5	50.75	253.75	2.636363636	3
70	14	67.5	54.25	271.25	2.818181818	3
75	15	72.5	57.75	288.75	3	3
80	16	77.5	61.25	306.25	3.181818182	4
85	17	82.5	64.75	323.75	3.363636364	4
90	18	87.5	68.25	341.25	3.545454545	4
95	19	92.5	71.75	358.75	3.727272727	4
100	20	97.5	75.25	376.25	3.909090909	4

表一7 標準積層例 (40KJ/cm)

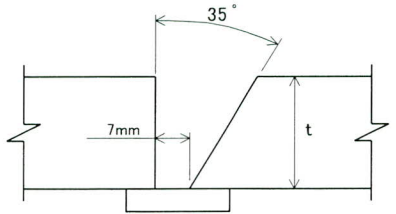
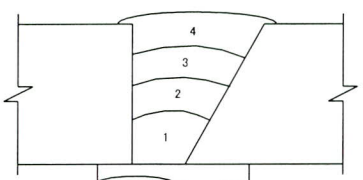
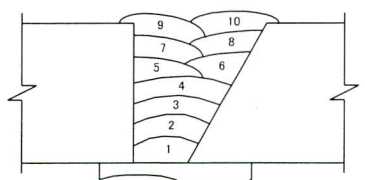
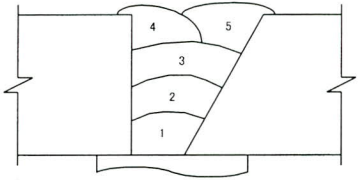
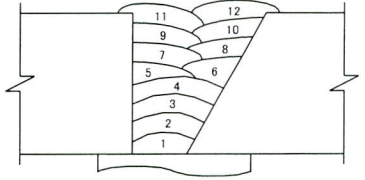
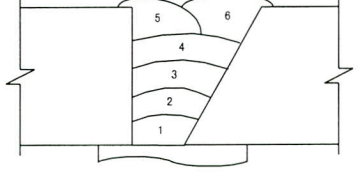
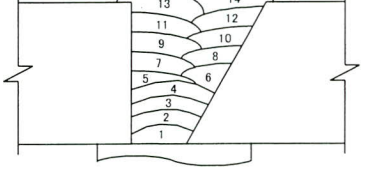
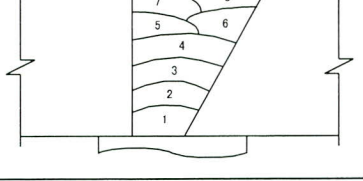
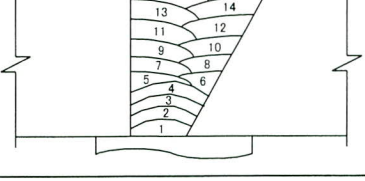
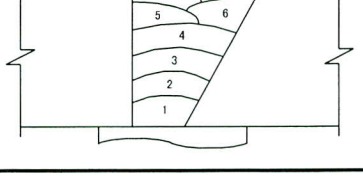
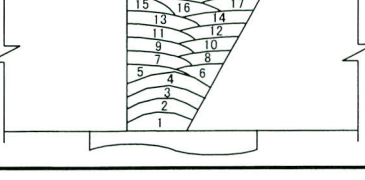
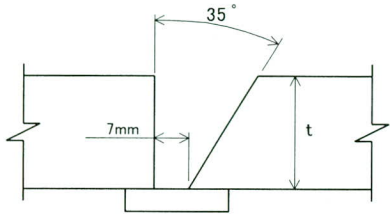
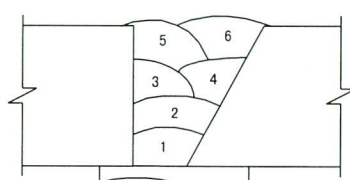
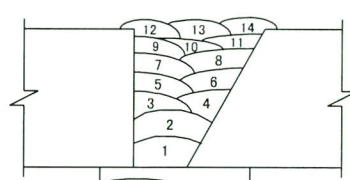
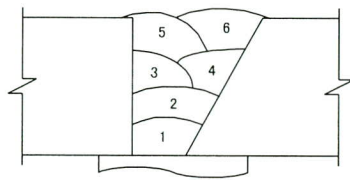
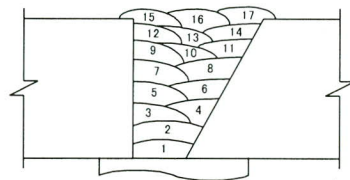
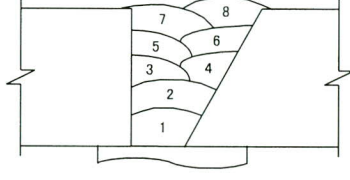
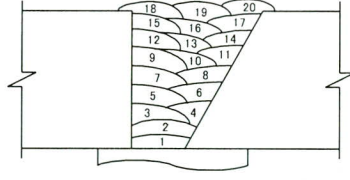
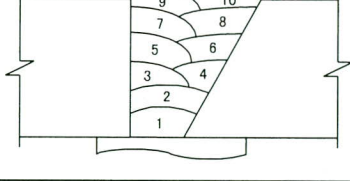
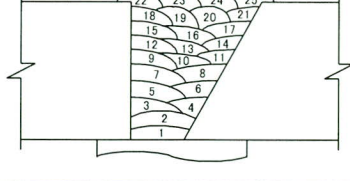
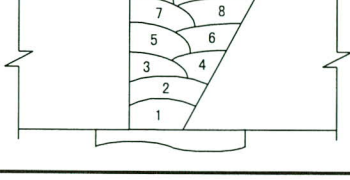
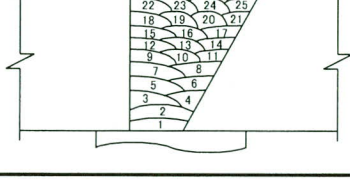
開先形状		溶接条件		入熱制限による積層方法	
		<p>標準溶接条件 溶接電流：230～400(A) 溶接電圧：23～40(V)</p>		<p>下記以上のパス数で溶接を行う。 ・1～4層：1パス ・5～9層：2パス ・10～14層：3パス</p>	
標準積層図(例)					
板厚	積層図	パス数	板厚	積層図	パス数
19		4層 4パス	36		7層 10パス
22		4層 5パス	40		8層 12パス
25		5層 6パス	45		9層 14パス
28		6層 8パス	50		10層 16パス
32		6層 8パス	60		12層 23パス

表-8 標準積層例 (30KJ/cm)

開先形状		溶接条件		入熱制限による積層方法	
		標準溶接条件 溶接電流：230～400(A) 溶接電圧：23～40(V)		下記以上のパス数で溶接を行う。 ・1～2層：1パス ・3～5層：2パス ・6～8層：3パス ・9～12層：4パス ・13～14層：5パス	
標準積層図(例)					
板厚	積層図	パス数	板厚	積層図	パス数
19		4層 6パス	36		7層 14パス
22		4層 6パス	40		8層 17パス
25		5層 8パス	45		9層 20パス
28		6層 10パス	50		10層 25パス
32		6層 11パス	60		11層 31パス

5. 今後の課題

今後の課題として、工場での溶接作業におけるパス間温度を各溶接パラメータ（板厚・溶接長・姿勢等）により実測し、パス間温度上昇の傾向が定量的に整理できれば、スラグ除去の回数および連続可能な溶接パス数が設定可能になり、現在行なっている温度チョークによる管理の軽減が図られる。そのためには、表-9に従って溶接した溶接電圧-パス間温度時経図を図-3に示したが、このようなデータの採取が必要である。

図-3で溶接電圧（電流）は断続的に示され、温度は時間の経過と共に連続的に上昇して示されている。示された温度分布の内、谷部が各溶接パスの開始温度を示したパス間温度であり、ピーク時はそれぞれの溶接パス中の最高温度（パス間温度ではない）を示している。

データ集積器による測定状況を写真-1および写真-2に示す。なお、4.(2) 標準積層図の項で前述したが、工場での多くの実測により、溶接ワイヤ径1.2φでの横向き溶接は入熱量が30KJ/cm以下で施工されており、パス間温度のみの管理でよい。

表-9 溶接状況

項目	詳細
溶接方法	炭酸ガス半自動溶接 横向き溶接
溶接材料	YGW-18 1.2φ
鋼材材質	SN490B 板厚×幅=19×200
開先形状	レ形35° ルート間隔 7mm
溶接条件制限	入熱量 40KJ/cm以下 パス間温度 350℃以下

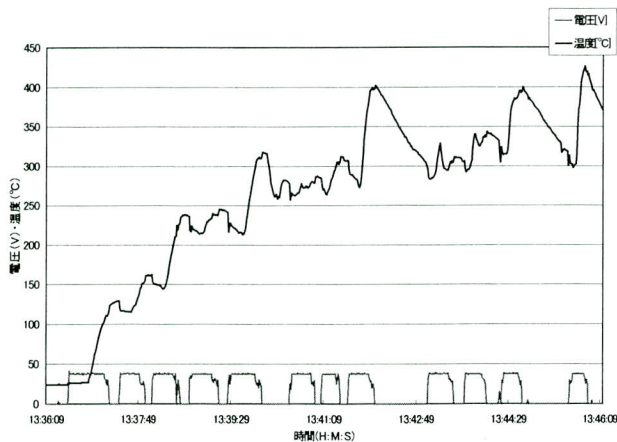


図-3 アークタイム-パス間温度図

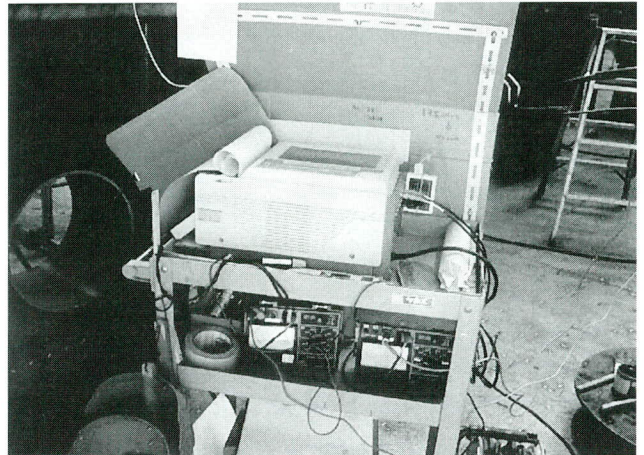


写真-1 記録計



写真-2 全景

6. まとめ

今回、工場溶接管理を溶接作業効率の低下と、管理コストアップを出来るだけ押さえながら実施する方法について検討を行なった。

結果は以下に要約される。

- 1) 溶接入熱量管理は標準積層形状の設定で行なう。
- 2) パス間温度管理について溶接技能者は温度チョーク、溶接管理者は接触式表面温度計で行なう。
- 3) 溶接管理者は溶接入熱量-パス間温度の詳細データを採取し、温度上昇の定量的整理を行ないパス間温度管理の軽減を図る。

今回決定した溶接入熱およびパス間温度管理方法について、社内教育を行う共に各溶接作業場に掲示し、日常の作業を徹底した。現在はこの管理方法の導入時期のため溶接作業者は管理シートを記入し、管理者がチェックする方法を採用している。すでに幾つもの工事に適用し

本方法で溶接施工を行えば、溶接入熱量およびパス間温度が所定の値に管理されることが確認された。

更に研鑽し建築鉄骨の製作メーカーとして品質の確保とコスト低減を目指し努力して行く所存である。微力ながら本報告が設計・監理サイドおよび製作サイドの一助になれば幸いである。

<参考文献>

1) 倉持, 加賀美, 綱島, 吉澤: 溶接条件の適性化と溶接材料の特性に関する調査研究, 鉄構技術, 2001.7

2) 中込, 細井: 建築鉄骨における溶接施工管理パス間温度管理ツールの比較評価, 鉄構技術, 2001.8

3) 鉄骨建設業協会: 入熱、パス間温度の管理について

4) 中野, 高橋, 浜氏, 武井: 軟鋼および高張力鋼用マグ溶接ソリッドワイヤYGW-11, 18を用いた溶接入熱・パス間温度の限界試験および考察, 宮地技報 No. 17, 2001

5) 中込: 溶着金属の機械的性質に及ぼす溶接入熱・パス間温度の影響 (上), 鉄構技術, 2001.5

2001. 10. 1 受付

グラビア写真説明

藁科川橋東 (鋼上部工) 工事

藁科川橋は国内最大規模の床版支間長 (鈹桁部; $L = 11.0$ m, 箱桁部; $L = 6.0$ m) を有する長支間場所打ちPC床版・多径間連続鋼2主桁橋です。

設計・施工に当たっては、実物大の模型による床版施工の実験検証、移動型枠支保工設備の開発、ハーフプレキャスト工法 (PCF床版) の開発等、構造の省力化・合理化、施工の省力化を推進するために数々の新技術を導入しています。

現在、本橋は場所打ちPC床版の施工に入っています。技術者必見の現場でありますので、一度見学されてはいかがでしょうか。 (菊地)

宍道湖大橋

都市計画道路「袖師大手前線」は国道9号と島根県庁・松江市役所など行政の中心地を結んでおり、さらに松江城・松江温泉への観光ルートでもあることから1日の交通量は32,000台にも上っている。

交通渋滞の緩和を目的として、宍道湖大橋区間700 mとその取付区間を4車線化することとなり、本工事は既設橋の下流側に車道7.5 m (2車線)、歩道4.5 mの新設橋として施工された。平成12年7月20日に新設橋は暫定供用され、現在は平成14年度完成を目指し既設橋の補強工事が進められている。

宍道湖は周囲47 km、面積 79.7 km²、全国で6番目に大きい湖で大橋川を経て中海とつながる真水と海水が混じった「汽水湖」である。

宍道湖大橋付近は宍道湖景観形成地域にあたり、委員会が設置され景観に配慮した色彩・デザインが宍道湖大橋にも採用され、湖水に浮かぶ「嫁ヶ島」を望む夕景の美しさに映えるものとなっている。 (山根)