

## 溶接入熱とパス数の関係 (その8: フラックス入りワイヤの溶着速度)

フラックス入りワイヤ 入熱量 溶着速度  
溶着断面積 溶接パス数 算定式

正会員 ○ 後藤 和正 \*1 同 加賀美安男 \*2  
同 藤田 哲也 \*3 同 竹内 秀紀 \*4  
同 廣重 圭一 \*5 同 小倉 裕之 \*6  
同 鈴木 励一 \*7

### 1. はじめに

溶接パス数と入熱量（電流×電圧／溶接速度）には相関があることが知られている。この関係を利用し、溶接施工において溶接パス数の下限（管理溶接パス数）を定めることで、所定の入熱量以内に管理する手法が現在行われており、溶接部の機械的性能を担保する実用的手段とされている。この溶接条件と溶接パス数の関係については、施工試験を行った実績に基づき、鋼板の板厚や溶接条件ごとに定められているのが実状である。従って、施工試験を行うことなく、管理溶接パス数を溶接条件の設定のみで算出できる方法があれば有用であると考えられる。

筆者らは、これまでの成果<sup>1)</sup>から溶接入熱などの溶接条件から溶接パス数を推定する算出方法を提案した上で、溶接施工記録を用いて検証を行い、この算出方法の精度を高めてきた。当初はソリッドワイヤを使用した成果であったが、昨年度からフラックス入りワイヤを用いた立向姿勢の溶接について検証を開始した。本年は、フラックス入りワイヤによる立向き溶接の溶接施工試験結果を追加して、この溶接パス数の算出方法が適用可能であるかの検証を行った。

### 2. ビードオンプレート試験

ビードオンプレート試験は、溶接条件と溶着速度の関係を求める基礎的な試験として、開先の無い鋼板上に溶接を行い、単位時間当たりの溶着量（溶着速度）を求める試験である。ソリッドワイヤによる成果<sup>1)</sup>から、電流と溶着速度には線形の関係があり、「ワイヤ径」「ワイヤ突出し長さ」が変わると、それらの設定条件ごとに関係性が求められることが明らかとなっている。フラックス入りワイヤは、金属外皮とフラックスで構成されており、全断面が金属であるソリッドワイヤとは同一ワイヤ径でも金属部分の断面積が異なる。従って、フラックス入りワイヤの電流と溶着速度の関係は、ソリッドワイヤとは異なる可能性が高いと考えられる。

本試験は、フラックス入りワイヤの溶接条件と溶着速度の関係を明らかにすることを目的として実施した。

### 3. 試験方法

試験体は、SM490A鋼板（板厚 12mm×75mm×430mm）とした。溶接材料は 490N/mm<sup>2</sup>級、550N/mm<sup>2</sup>級および 590N/mm<sup>2</sup>級の 3 つの強度レベルとし、3 メーカー・7 銘柄のフラックス入りワイヤを使用した（表 1 参照）。いずれもワイヤ径は 1.2mmとした。フラックス入りワイヤのメーカーや銘柄が変われば金属部分の断面積や銅めっきの

有無などが異なり、溶接条件と溶着速度の関係が変化する可能性があると考え 7 銘柄と種類を多く選定した。

設定溶接条件を表 2 に示す。溶接は簡易自動溶接装置を使用して行った。溶接開始時には、まず電流を定め、ワイヤ送給速度を調整して、人の官能で良好な溶接と判断した溶接条件を適正条件（適正電圧）として試験を実施した。試験は各ワイヤについて 150、200、250、300A の 4 段階の電流条件で行った。

測定記録項目を表 3 に示す。電流及び電圧は電子データとして時間データと共に記録し、アークタイムを溶接後に確認した。ワイヤ送給量は送給装置の部品であるローラ（40.2mmφ）回転量から算出した。溶接後には、溶接金属表面に付着したスラグやスパッタ、ヒュームを除去した。溶接前後の試験体の質量を計測し、質量の増分を全溶着量とし、これをアークタイムで除すことにより、溶着速度を算出した。

### 4. 試験結果

ビードオンプレート試験の結果一覧を表 4 に示す。50S と 50Dは昨年と同様に実施<sup>1)</sup>しているなのでその結果を前回として示した。今回と前回の結果の比較を図 1 に示す。今回と前回では電流と電圧の関係に差異が発生している（図 1 左）。以前の成果からソリッドワイヤは一定の電流

表 1 ワイヤの種類と記号

メーカー	490N/mm <sup>2</sup> 級	550N/mm <sup>2</sup> 級	590N/mm <sup>2</sup> 級
A	50S	55S	60S
B	50D	55D	60D
C	-	55F	-

表 2 設定溶接条件

溶接方法	下向姿勢 自動溶接
溶接機	500A デジタル制御電源
シールドガス	100%CO <sub>2</sub> 、25 l/min
溶接条件	電流: 150,200,250,300A 電圧: 適正、溶接速度: 25cm/min
ワイヤ突出し長さ	20 mm
アークタイム	60 秒間を目標

表 3 測定記録項目

電流	電流はクランプメーター、電圧はチップ母材間測定により、データを電子データとして取込み計測。
電圧	
アークタイム	
ワイヤ送給量	ローラ回転式測定機により計測。
試験体質量	溶接前後の試験体質量を計測。

表4 ビードオンプレート試験結果

ワイヤ種類	電流 [A]	電圧 [V]	電力 [kW]	アークタイム [s]	全溶着量 [g]	溶着速度 [g/min]
50S	143	21.0	3.0	60.6	30	29.7
	190	21.9	4.2	60.8	39	38.5
	237	26.6	6.3	60.7	53	52.4
	299	28.4	8.5	60.2	69	68.8
50D	151	21.4	3.2	60.6	30	29.7
	189	22.5	4.3	60.7	44	43.5
	237	26.3	6.2	60.3	59	58.7
	295	28.1	8.3	60.3	78	77.7
55S	146	20.1	2.9	60.7	28	27.7
	192	21.3	4.1	60.5	41	40.7
	237	23.1	5.5	60.4	52	51.7
	275	26.4	7.3	60.2	68	67.8
55D	141	20.4	2.9	60.6	31	30.7
	189	22.0	4.2	60.4	44	43.7
	235	25.7	6.0	62.3	59	56.8
	296	29.7	8.8	60.4	74	73.5
55F	152	21.1	3.2	60.5	34	33.7
	190	22.4	4.3	60.2	47	46.9
	236	25.5	6.0	59.8	62	62.2
	296	30.5	9.0	60.4	80	79.5
60S	150	20.3	3.0	60.1	33	32.9
	190	21.8	4.1	60.1	43	42.9
	231	25.8	6.0	60.0	59	59.0
	283	28.6	8.1	60.6	77	76.3
60D	146	20.2	2.9	60.4	34	33.8
	188	21.9	4.1	60.2	48	47.9
	230	26.2	6.0	60.0	62	62.0
	292	29.7	8.7	60.3	79	78.7
50S(前)	150	23.9	3.6	60.5	28.4	28.2
	196	24.9	4.9	58.5	42.2	43.3
	254	28.3	7.2	57.5	58.9	61.5
	297	29.4	8.7	59.0	85.6	87.1
50D(前)	152	24.1	3.7	61.5	34.6	33.8
	203	25.8	5.2	61.0	52.3	51.4
	248	27.6	6.8	61.0	71.9	70.7
	299	29.4	8.8	61.0	96.7	95.1

に対して人の官能で適正と判断した電圧の範囲が狭かったのに対し、フラックス入りワイヤではこの適正電圧の範囲が広がったため、同じ電流でも電圧に差が生じたことが考えられる。このため同じワイヤでも同じ電流としても溶接条件が異なり、溶着速度の関係にも差異が生じている(図1中)。以上を考慮して、溶着速度を電圧要因を加えた電力(=電流×電圧)との関係について整理したところ、同じワイヤの今回と前回の差が小さくなり、かつ50Sと50Dのワイヤ種類間の差も小さくなって、一律に線形の関係があるように見受けられた(図1右)。図2に7銘柄のフラックス入りワイヤの全データについて電力と溶着速度の関係を示す。電力と溶着速度の関係は一つの直線で良好に回帰でき、ワイヤの銘柄にかかわらず線形の関係で示すことができた。

5. まとめ

フラックス入りワイヤでは、電力と溶着速度に線形の関係があることが明らかになった。この関係式を用いて、(その9)で溶接パス数算出式の検証を行う。

参考文献:1) 廣重ら;溶接入熱とパス数の関係その1~その7;日本建築学会学術講演梗概集 2011年~2014年

謝辞:本研究はAW検定協議会研究評価委員会WG18として実施した。試験に際して、ご協力を頂いた各位に謝意を表す。

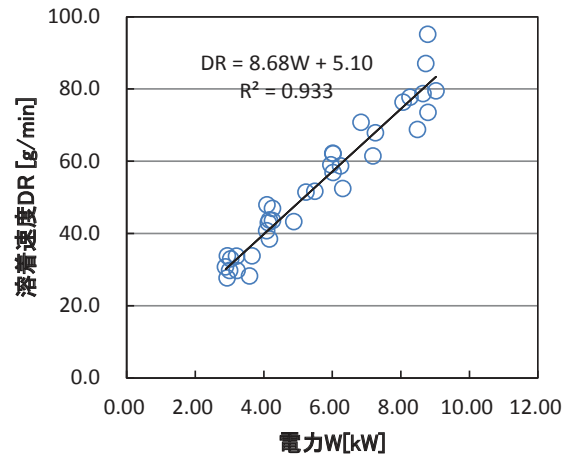


図2 電力と溶着速度の関係

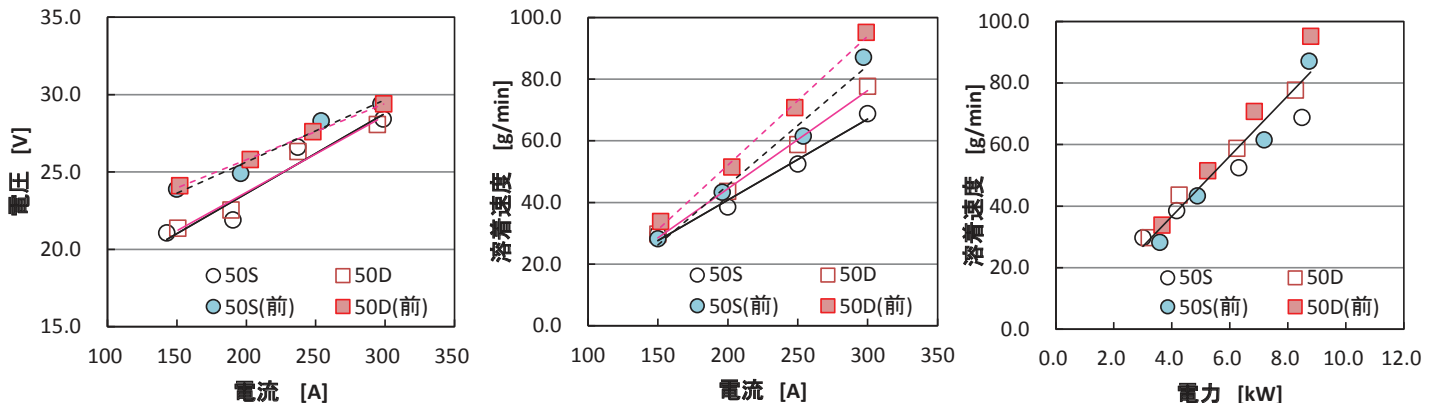


図1 今回と前回の結果の比較

- |                   |                |                              |                            |
|-------------------|----------------|------------------------------|----------------------------|
| *1 大成建設(株) 修士     | *5 (株)類設計室     | *1 Taisei Corporation.,Mr.   | *5 Rui Sekkeisitsu.Co.Ltd. |
| *2 (株)日建設計        | *6 清水建設(株)     | *2 Nikken Sekkei             | *6 Shimizu Corporation     |
| *3 (株)日本設計 博士(工学) | *7 (株)神戸製鋼所 修士 | *3 Nihon Sekkei Inc., Dr.Eng | *7 Kobe Steel, Ltd.,Mr.    |
| *4 (株)安井建築設計事務所   |                | *4 Yasui Architects,INC      |                            |

## 溶接入熱とパス数の関係 (その9：フラックス入りワイヤへの適用)

フラックス入りワイヤ 入熱量 溶着速度  
溶着断面積 溶接パス数 算定式

正会員 ○ 廣重 圭一 \*1 同 加賀美安男 \*2  
同 藤田 哲也 \*3 同 竹内 秀紀 \*4  
同 後藤 和正 \*5 同 小倉 裕之 \*6  
同 鈴木 励一 \*7

### 1. はじめに

本報では、(その8)で明らかにしたフラックス入りワイヤの電力と溶着速度の関係を用いて、フラックス入りワイヤを使用した場合において溶接パス数の算出方法の適用可能性について検証する。具体的には、立向姿勢によるフラックス入りワイヤを用いた溶接施工試験を実施し、筆者らが提案した算出方法により溶接パス数を算出し、実施パス数を比較することとした。

### 2. 溶接パス数の算出方法

溶接パス数の算出方法を以下に示す。1パスあたりの溶接で開先を埋める断面積、いわゆる溶着断面積をS(cm<sup>2</sup>)、開先断面積をAg(cm<sup>2</sup>)、余盛面積をAr(cm<sup>2</sup>)とすると、溶接パス数Npass は(1)式で計算できる。

$$N_{pass} = (A_g + A_r) / S \quad \dots (1) \text{式}$$

溶着断面積S(cm<sup>2</sup>)は、入熱量H(J/cm)、電流I(A)及び電圧V(V)の関数として(2)式で求める事ができる。DR(g/min)は溶着速度、ρ(g/cm<sup>3</sup>)は溶着金属の比重である。

$$S = \frac{H}{I \times V \times 60} \times DR \times \frac{1}{\rho} \quad \dots (2) \text{式}$$

ここで、溶着速度 DR は(その 8)によりフラックス入りワイヤでは(3)式に示すような実験式として電力 W の一次関数で求められる。a と b は定数である。

$$DR = a \times W + b \quad (a = 8.68, b = 5.10) \quad \dots (3) \text{式}$$

以上の算出式により、溶接パス数を算出する。

### 3. 溶接施工試験方法

試験体は、板厚 25mm 溶接長さ 30cm と板厚 40mm 溶接長さ 50cm の 2 種類とし、裏当金付きレ形開先(開先角度 35°、ルートギャップ 7mm)の突合せ継手の完全溶込み溶接とした。溶接ワイヤは(その 8)と同様の 7 銘柄とし、試験体鋼板はワイヤの強度レベルに合わせて SN490B、TMCP355 及び SA440B を使用した。溶接姿勢は、立向姿勢 (A6 のみ下向姿勢) について実施した。溶接は炭酸ガスシールドアーク溶接法とし、簡易自動溶接装置を用いてワイヤ突出し長さ 20mm で溶接を行った。設定溶接条件は表 1 に示す V3,V6,V7,A6,VL,VU の 6 条件とした。板厚 25mm では入熱量を一定とし、立向姿勢は 30kJ/cm と 40kJ/cm の 2 段階、下向姿勢では 40kJ/cm のみを設定し全パス同じ入熱量で溶接した。板厚 40mm では電流と電圧を一定として 1 層 1 パスとなるよう溶接速度を調整して溶接した。電流はクランプメータ、電圧はチップ母材間で測定し、データを電子データとして取り込んだ。パス間温度は溶接線中央部の開先から 10mm の母材表面に熱電対を設置

して測定した。溶接後、溶接線の中央付近から断面マクロ試験片を採取し、マクロ面の観察を行うこととした。

表1 設定溶接条件

板厚	溶接条件	電流 [A]	電圧 [V]	電力 [kW]	溶接速度 (VU, VL は実績値) [cm/min]	入熱量 (VU, VL は実績値) [kJ/cm]	パス間温度 MAX [°C]
25 mm	V3	230	27	6.2	12.5	30	250
	V6	280	32	9.0	13.5	40	350
	V7	230	27	6.2	9.5	40	350
	A6	280	32	9.0	13.5	40	350
40 mm	VU	230	27	6.2	2.6~10.1	26~141	350
	VL	180	23	4.1	2.2~10.6	23~115	350

表2 溶接条件の結果

溶接材料	溶接条件	積層数	パス数	電流 [A]	電圧 [V]	電力 [kW]	溶接速度 [cm/min]	入熱量 [kJ/cm]	パス間温度 MAX [°C]
50S	V3	5	7	230	27.0	6.2	12.5	29.8	230
	V6	5	5	274	31.7	8.7	13.5	38.7	331
	V7	6	6	230	27.0	6.2	9.5	39.2	346
	A6	6	6	282	32.2	9.1	13.5	40.3	340
	VU	7	7	229	26.0	5.9	6.1	58.5	225
	VL	10	10	183	22.5	4.1	5.2	47.6	208
50D	V3	5	7	229	27.0	6.2	12.5	29.6	228
	V6	5	5	274	31.5	8.6	13.5	38.3	331
	V7	6	6	229	27.0	6.2	9.5	39.1	336
	A6	6	6	281	32.3	9.1	13.5	40.3	326
	VU	7	7	230	26.0	6.0	6.4	56.1	248
	VL	10	10	180	22.6	4.1	5.3	46.1	217
55S	V3	5	7	229	27.0	6.2	12.5	29.7	228
	V7	6	6	229	27.0	6.2	9.5	39.2	319
	A6	6	6	282	32.1	9.0	13.5	40.2	350
	VU	8	8	226	26.1	5.9	6.6	53.7	247
	VL	10	10	176	22.5	3.9	5.1	46.5	205
55D	V3	5	7	228	27.1	6.2	12.5	29.7	228
	V7	6	6	228	27.1	6.2	9.5	39.0	342
	A6	6	6	282	31.5	8.9	13.5	39.5	346
	VU	7	7	235	26.0	6.1	6.0	61.0	221
	VL	10	10	173	22.4	3.9	5.3	43.8	237
55F	V3	5	7	229	27.1	6.2	12.5	29.7	230
	V7	6	6	230	27.0	6.2	9.5	39.2	335
	A6	6	6	281	32.1	9.0	13.5	40.1	343
	VU	8	8	227	26.2	5.9	6.1	58.4	236
	VL	10	10	173	22.5	3.9	5.9	39.7	231
60S	V3	5	7	230	26.9	6.2	12.5	29.7	241
	V7	6	6	230	27.1	6.2	9.5	39.3	325
	A6	6	6	283	31.4	8.9	13.5	39.4	336
	VU	8	8	221	26.2	5.8	6.3	55.0	235
	VL	10	10	178	22.6	4.0	5.0	48.4	191
60D	V3	5	7	230	26.9	6.2	12.5	29.7	230
	V6	5	5	264	30.6	8.1	12.7	38.1	248
	V7	6	6	230	27.0	6.2	9.5	39.3	306
	A6	6	6	281	32.0	9.0	13.5	39.9	344
	VU	8	8	225	26.3	5.9	6.1	58.2	218
	VL	10	10	181	22.6	4.1	5.1	48.1	230

#### 4. 溶接施工試験結果

溶接試験の溶接条件の結果を表 2 に示す。電流、電圧、溶接速度は平均値を示し、電力と入熱量は各平均値から算出した。なお溶接速度は溶接時間の平均から求めた。

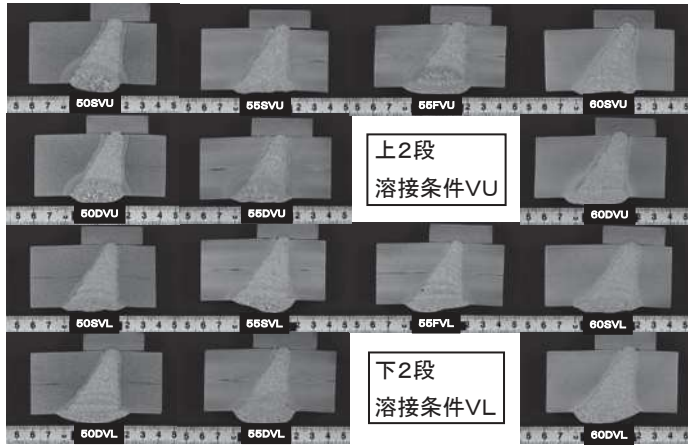


写真 1 マクロ試験結果

表 3 溶接パス数の算出値と実測値の比較

溶接材料	板厚	溶接条件	余盛面積	算出パス数	実施パス数	算出/実施
50S	25	V3	41.9	7.3	7	1.04
		V6	42.5	5.7	6	0.95
		V7	74.1	5.9	6	0.98
		A6	54.3	5.7	6	0.95
	40	VU	146	8.3	7	1.19
		VL	88	9.3	10	0.93
50D	25	V3	77.7	7.9	7	1.13
		V6	42.2	5.8	6	0.97
		V7	66.9	5.8	6	0.97
		A6	66.7	5.8	6	0.97
	40	VU	126	8.5	7	1.21
		VL	212	10.8	10	1.08
55S	25	V3	35.3	7.2	7	1.03
		V7	98.1	6.2	6	1.03
		A6	96.6	6.2	6	1.03
		VU	55	8.2	8	1.03
	40	VL	211	10.7	10	1.07
		V3	53.8	7.5	7	1.07
55D	25	V7	59.9	5.8	6	0.97
		A6	111.4	6.5	6	1.08
		VU	81	7.5	7	1.07
		VL	270	11.9	10	1.19
	40	V3	66.6	7.7	7	1.10
		V7	57.8	5.7	6	0.95
55F	25	A6	105.4	6.3	6	1.05
		VU	166	8.5	8	1.06
		VL	132	11.6	10	1.16
		V3	50.9	7.4	7	1.06
	40	V7	66.7	5.8	6	0.97
		A6	58.7	5.8	6	0.97
60S	25	VU	67	8.1	8	1.01
		VL	123	9.4	10	0.94
		V3	28.7	7.1	7	1.01
		V6	73.5	6.2	6	1.03
	40	V7	107.4	6.3	6	1.05
		A6	55.1	5.7	6	0.95
60D	25	VU	170	8.6	8	1.08
		VL	219	10.4	10	1.04
		V3	28.7	7.1	7	1.01
		V6	73.5	6.2	6	1.03
	40	V7	107.4	6.3	6	1.05
		A6	55.1	5.7	6	0.95

V6 の条件では溶接垂れが発生し試験を中止したものがあつた。いずれの条件も概ね設定条件に近い結果となつた。マクロ試験結果 (VL,VU のみ) を写真 1 に示す。

#### 5. パス数の算出と結果の検証

溶接パス数の算出値と実測値の比較を表 3 に示す。余盛面積はマクロ試験体写真から求めた。算出パス数と実施パス数の関係を図 1 に示す。算出パス数と実施パス数の比は、0.93~1.21 の範囲となり、平均は 1.04 (板厚 25mm : 1.01, 板厚 40mm : 1.08) であつた。ワイヤ銘柄、板厚、溶接姿勢、入熱量などのパラメータを変化させて行つた溶接において、算出パス数は実施パス数といずれも概ね良好に一致した。結果には一部下向姿勢 A6 の条件も含まれているが立向姿勢とほぼ同様の傾向を示した。全体的な傾向として、実施パス数が算出パス数より若干少なくなる傾向があり、この傾向は板厚 40mm の方が顕著であつた。これは、試験体の拘束が十分ではなく溶接の進行に伴う収縮で開先が狭くなつたことが原因の一つであると考えられる。写真 1 からマクロ試験体が角変形しているのが確認できる。以上から、フラックス入りワイヤにおいても提案した算出方法により溶接パス数を予測できる可能性が高いことが明らかになつた。なお、本報はワイヤ突出し長さを 20mm で固定した条件での検証であつた。実施適用するには、さらに溶接技能者による立向姿勢でのワイヤ突出し長さの実態を検証する必要がある。

#### 6. まとめ

筆者らが提案した溶接パス数の算出方法の検証を行つた結果、フラックス入りワイヤでも溶接パス数の算出方法が適用できる可能性が高いことが明らかとなつた。

参考文献: 1) 廣重ら;溶接入熱とパス数の関係その 1~その 7;日本建築学会学術講演梗概集 2011 年~2014 年

謝辞: 本研究は AW 検定協議会研究評価委員会 WG18 として実施した。試験に際して、ご協力を頂いた各位に謝意を表する。

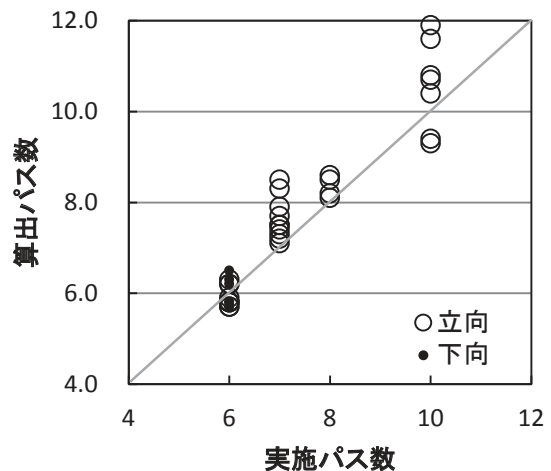


図 1 実施パス数と算出パス数の関係

- |                   |                |                              |                            |
|-------------------|----------------|------------------------------|----------------------------|
| *1 (株)類設計室        | *5 大成建設(株) 修士  | *1 Rui Sekkeisitsu.Co.Ltd.   | *5 Taisei Corporation.,Mr. |
| *2 (株)日建設計        | *6 清水建設(株)     | *2 Nikken Sekkei             | *6 Shimizu Corporation     |
| *3 (株)日本設計 博士(工学) | *7 (株)神戸製鋼所 修士 | *3 Nihon Sekkei Inc., Dr.Eng | *7 Kobe Steel, Ltd.,Mr.    |
| *4 (株)安井建築設計事務所   |                | *4 Yasui Architects,INC      |                            |