

免震レトロフィット工事の工程管理について

生産材料研究室

指導教員：持田 泰秀

6143180002-0 伊原 大貴

目次

1. 研究の背景・目的
2. 仮受け工法概要
3. 全工事案件概要
4. 日作業組数の算出
5. 全工事案件結果
6. 標準歩掛の評価
7. 考察
8. まとめ

1. 研究の背景・目的

- 免震レトロフィット

既存建築物の保存・活用を目的とした耐震改修工事

→基礎免震レトロフィット工法

建物と地盤が絶縁した建物全体が免震構造

→仮受け工法

免震装置を設置するために、

一時的に上部構造を支える「仮受け」の工程

1. 研究の背景・目的

各仮受け工法は

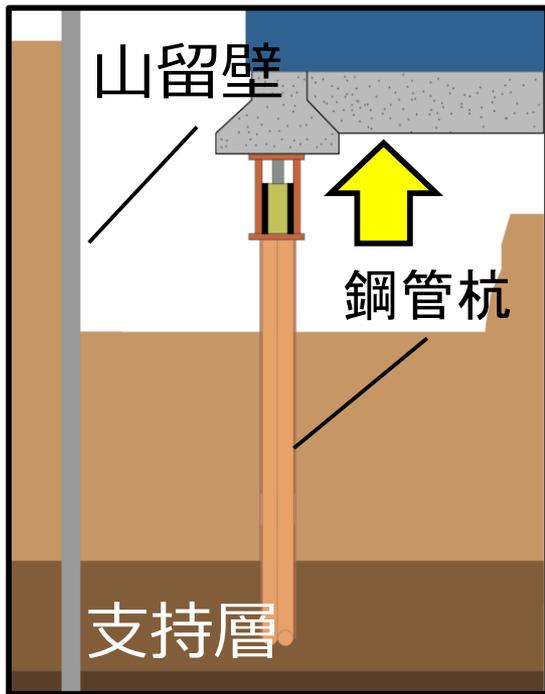
- ・各工事案件によって品質管理、工程管理に影響を及ぼす
- ・歩掛に関するデータが少ない

✓ 仮受け時の標準的手順と日作業組数の確立

✓ 仮受けに関する標準歩掛の作成

2. 仮受け工法概要

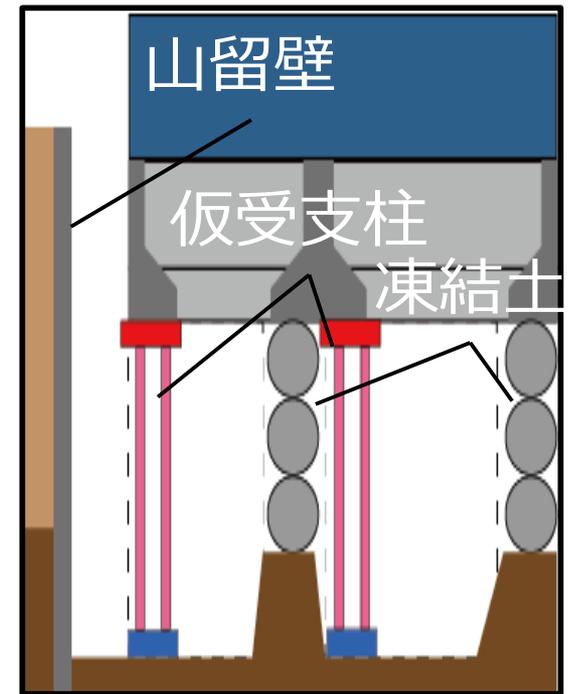
仮受け鋼管杭工法



仮受け支保工工法



凍結土工法





仮受け支保工工法施工途中
サンドル設置時



仮受け鋼管杭工法施工途中
鋼管杭圧入完了時

3.1. 全工事案件概要

建築用途

- ・ 歴史的建築物 : 4案件
- ・ 庁舎 : 5案件
- ・ 大学校舎 : 1案件
- ・ 裁判所 : 1案件

仮受け工法

- ・ 仮受け鋼管杭工法 : 4案件
- ・ 仮受け支保工工法 : 6案件
(サンドル工法 : 2案件)
- ・ 凍結土工法 : 1案件

案件名	A案件	B案件	C案件	D案件	E案件	F案件	G案件	H案件	I案件	J案件	K案件
用途	美術館	ホール	公会堂	庁舎	庁舎	県庁舎正面玄関	特定集会室	庁舎	庁舎	庁舎	裁判所
建築面積(m ²)	1587.0	1982.3	2324.0	1215.0	2995.0	330.7	1426.0	2768.0	1001.0	5878.0	2977.0
延べ床面積(m ²)	4353.8	5279.3	12802.3	6798.0	17083.0	713.3	3386.0	23128.0	4215.0	69973.0	17809.0
構造	RC造	RC造 一部S造	S造 レンガ造	SRC造	RC造	RC造	レンガ壁式	SRC造	SRC造	SRC造	SRC造
階数	地下1階 地上3階	地下1階 地上2階 塔屋3階	地下2階 地上3階	地上6階 塔屋2階	地下1階 地上8階	地上3階	地上3階	地下1階 地上8階	地上6階 塔屋1階	地下2階 地上11階	地下1階 地上8階 塔屋1階
基礎部形式	直接基礎	直接基礎	松杭 直接基礎	既成PC杭	直接基礎	壁付 ラーメン構造	直接基礎	直接基礎	杭基礎	場所打ち コンクリート杭	直接基礎
工期	22ヵ月 (16)	26ヵ月 (15)	42ヵ月 (16)	17ヵ月 (10)	26ヵ月 (12)	14ヵ月 (13)	15ヵ月 (11)	17ヵ月 (12)	20ヵ月 (11)	24ヵ月 (13)	48ヵ月 (38)
建物総重量(kN)	約98000	約120000	約300000	約100000	約340000	約27000	約82000	約450000	約92000	約900000	約346000
免震装置設置数	49基	90基	62基	34基	68基	16基	75基	96基	50基	118基	70基
工事区分	完全封鎖 による工事	完全封鎖 による工事	完全封鎖 による工事	一部居ながら による工事	居ながらに による工事	完全封鎖 による工事	完全封鎖 による工事	居ながらに による工事	居ながらに による工事	居ながらに による工事	居ながらに による工事

3.2. 全工事案件の工程表

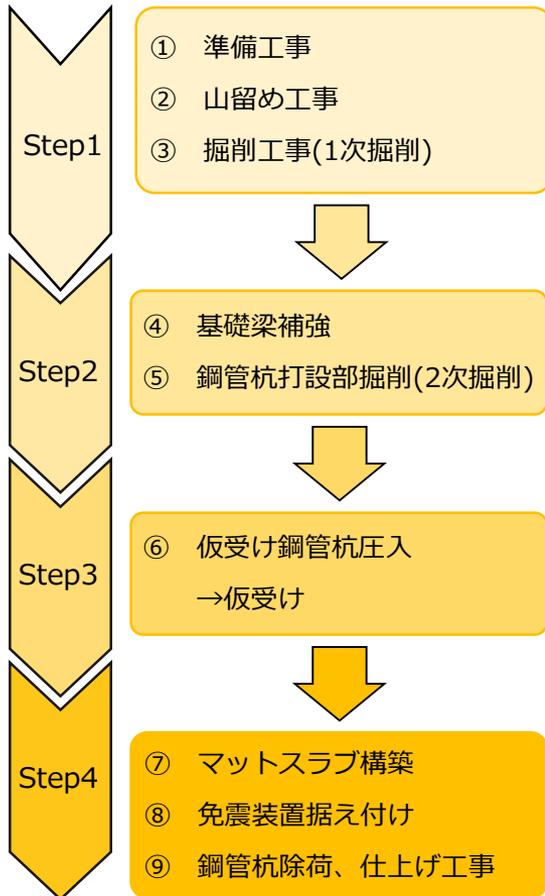
A案件	1996年												1997年												1998年		
	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3					
準備工事	準備																										
解体工事	①土間コンクリート						②ラブルコンクリート																				
土工事	③1次根切						⑤2・3次根切																				
躯体工事	④梁補強						⑦増築・免震ピット																				
仮受鋼管杭工事	⑥鋼管杭圧入												A B C D												⑨除荷		
免震部材設置工事													⑧設置														
設備・仕上げ工事	設備・仕上げ																										

J案件	2000年												2001年												2002年											
	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
準備工事	準備																																			
撤去工事													①躯体解体																							
土工事													②・③外周、基礎下根切																							
山留工事													②山留H鋼打設																							
BH杭築造工事													場所打ちコンクリート杭																							
マットスラブ打設工事													④擁壁・先行マット躯体の構築																							
鋼管杭圧入工事													⑤擁壁の基礎補強																							
免震工事	⑦H鋼設置→仮受け杭切断、⑧免震装置設置												A・B C・D E～H												I～L M～P 仮受撤去											
EXP.J取付工事													EXP.J取付、仮設スラブ切断																							
設備工事																																				

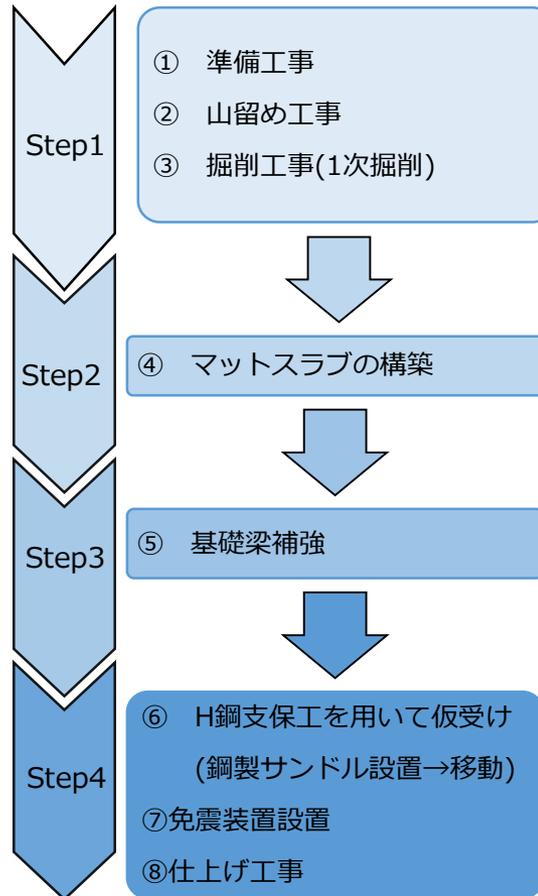
K案件	2012年												2013年												2014年												2015年												2016年																	
	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6																													
解体工事	①車寄せ撤去												←												→												凍結土解体・建物下捨てコン解体																													
土工事	③1次掘削												②山留杭工事												⑤・⑥2次掘削各工区ジャッキ盛替えまで																																									
凍結管設置工事													④凍結プラント設置、配管																																																					
凍結期間													-----																																																					
マットスラブ打設構築													⑦マットスラブ構築												1・2工区												3～7工区																													
免震基礎下部													⑧免震装置設置												1・2工区												3～7工区																													
梁補強																									梁補強												1・2工区												7工区												3～6工区					
ジャッキダウン																																																	⑨ジャッキダウン																	
仕上げ工事																																																	⑨仕上げ工事																	

3.3. 各仮受け工法の免震化フロー

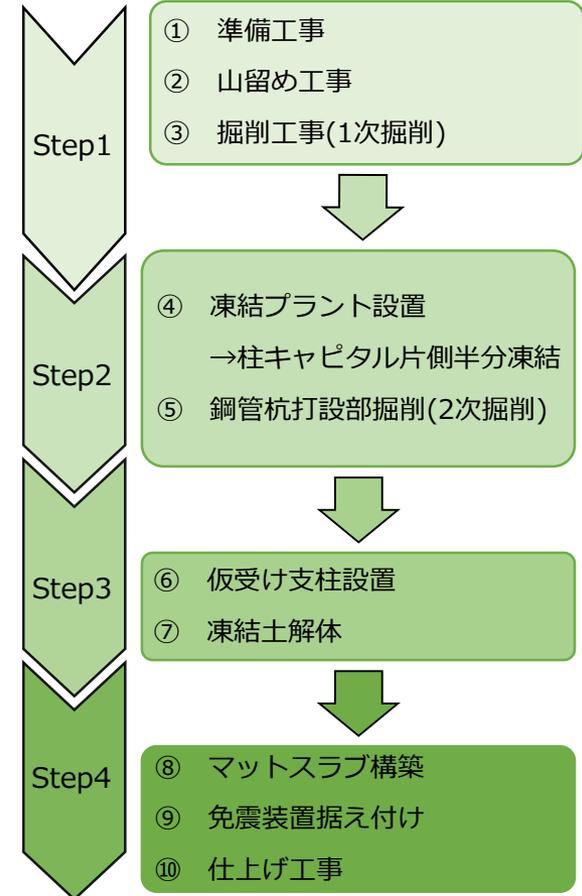
仮受け鋼管杭工法



仮受け支保工工法



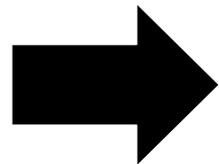
凍結土工法



4. 日作業組数の算出

- ・ **組数**の定義

施工時に複数の**工区分け**をすることで工事中の施工性や生産性が向上し、作業を計画的かつ効率的に進める


$$\underline{\text{工区}} = \underline{\text{組数}}$$

- ・ **日作業組数**について

(各工事項目における延べ作業組数) / (延べ作業日数)

で算出した**1日当たりの作業組数**

4. 日作業組数の算出

$$\Sigma B(i) = \frac{\text{延べ作業組数}(b1+b2+b3+b4+\dots)}{\text{延べ作業日数}D(d1+d2+d3+d4+\dots)} \quad \dots 1式$$

- b1 : A工区日作業組数×作業日数
- b2 : (A+B工区日作業組数)×作業日数
- b3 : (B+C工区日作業組数)×作業日数
- b4 : C工区日作業組数×作業日数
- b5 : D工区日作業組数×作業日数
- d1~5 : b1~b5間の延べ作業日数

A案件 免震装置工程表													※11月作業なし																							
工区/年月	1996年12月			1997年1月			2月			3月			4月			5月			6月			7月			8月			9月			10月			12月		
	10	20	30	10	20	30	10	20	30	10	20	30	10	20	30	10	20	30	10	20	30	10	20	30	10	20	30	10	20	30	10	20	30	10	20	30
A工区	←→			仮受け鋼管杭圧入			プレロード			b3 d3			ラップル撤去						免震部材取り付け			免震部材取り付け						除荷								
B工区	←→			b1 d1			仮受け鋼管杭圧入			プレロード			ラップル撤去						免震部材取り付け			免震部材取り付け						除荷								
C工区				b2 d2			仮受け鋼管杭圧入			プレロード			ラップル撤去						免震部材取り付け			免震部材取り付け						除荷								
D工区							b4 d4			プレロード			ラップル撤去						b5 d5			免震部材取り付け			免震部材取り付け						除荷					

5. 全工事案件概要

• 全工事項目一覽

土工事

- 1：掘削工事結果
- 2：山留め壁構築工事結果

補強工事

- 3：基礎梁補強工事結果
- 4：基礎底盤補強工事結果

仮受け工事

- 5：仮受け鋼管杭圧入工事結果
- 6：仮受け鋼管杭除荷工事結果
- 7：仮受け支保工工事H鋼設置工事結果
- 8：凍結管配管工事結果
- 9：凍結土解体工事結果

免震層構築工事

- 10：免震層底盤構築工事結果
- 11：免震装置据え付け工事結果

5.1. 土工事結果

掘削工事に関する結果

案件名	A案件	B案件	C案件	D案件	E案件	F案件	G案件	H案件	I案件	J案件	K案件
延べ掘削土量(m ³)	8270	16700	14990	7723.5	2230	8167	4600	16050	7300	33000	19847
D1:延べ作業日数	170	123	330	98	82	61	126	118	232	154	508
1日当たりの掘削土量(m ³ /日)	48.70	135.80	45.40	72.80	27.30	133.80	39.66	136.02	31.79	214.29	39.07
B1:日作業組数	1.51	3.78	1.37	2.5	1.01	4.43	1.11	4.11	1.02	5.64	1.08

山留め壁構築工事に関する結果

案件名	A案件	B案件	C案件	D案件	E案件	F案件	G案件	H案件	I案件	J案件	K案件
延べ山留め壁構築量(m ³)	1513.8	2264.66	5732.2	2387.97	3774	—	1304	3900	1870	6000	2733
延べ山留め杭本数(本)	67	217	先行エレメント:24 後行エレメント:24	218	192	—	116	255	120	252	133
D2:延べ作業日数	40	91	241	66	266	—	60	100	59	153	60
1日当たりの構築壁量(m ³ /日)	37.85	24.89	23.79	36.18	14.19	—	21.73	39.00	31.69	39.22	45.55
1日当たりの打設本数(m ³ /日)	1.68	2.38	—	3.30	0.72	—	1.93	2.55	2.03	1.65	2.22
B2:日作業組数	1.33	1.00	1.00	1.27	1.00	—	1.00	1.37	1.11	1.37	1.60

5.2. 補強工事結果

基礎梁補強工事に関する結果

案件名	A案件	C案件	G案件	K案件
延べ基礎梁補強(m ³)	715.65	1425.6	108	1155.9
D3: 延べ作業日数	70	154	55	278
1日当たりの工事量(m ³ /日)	10.22	9.26	1.96	4.16
B3: 日作業組数	5.21	4.71	1.00	2.17

基礎底盤補強工事に関する結果

案件名	B案件	D案件	E案件	F案件	I案件
延べ基礎盤補強(m ³)	2273.29	2280	1828.62	416.16	4134
D4: 延べ作業日数	88	135	132	12	160
1日当たりの工事量(m ³ /日)	25.83	30.37	26.01	34.68	25.84
B4: 日作業組数	2.00	1.18	1.01	2.42	2.00

5.3. 仮受け工事結果 -仮受け鋼管杭工事-

仮受け鋼管杭概要

案件名	A案件	B案件	C案件	D案件
使用鋼管杭	φ 355.6 × 7.9	φ 318 ~ 406	φ 508 × 7.9	φ 355.6 × 7.9
1本当たりの設計耐力 (kN/本)	1300	1300	1300	1300
延べ圧入本数	156本 (1階:90本 地下:66本)	180本	346本	125本
1本当たりの鋼管杭長さ	1階:18m 地下:13.5m	8m	7m	8m
延べ鋼管杭の長さ(m)	2529	1440	2422	1000

5.3. 仮受け工事結果 -仮受け鋼管杭工事-

圧入工事に関する結果

案件名	A案件	B案件	C案件	D案件
D5: 鋼管杭圧入日数	128日 〔 1階部分: 75日 地下部分: 66日 〕	150	120	110
1日当たりの圧入本数 (本/日)	1.22	1.2	5.77	1.14
1日当たりの圧入長さ (m/日)	19.76	9.6	40.37	8
B5: 日作業組数	1.69	1.05	2.38	1.02

除荷工事に関する結果

案件名	A案件	B案件	C案件	D案件
延べ除荷長さ(m)	324	405	779	131.3
D6: 鋼管杭除荷日数	9	30	45	10
1日当たりの 除荷本数(本/日)	17.3	6.0	7.69	12.5
1日当たりの除荷長さ (m/日)	36.02	13.50	17.30	13.12
B6: 日作業組数	4.16	2.22	2.18	1.97

5.3. 仮受け工事結果 -仮受け支保工工事-

H鋼設置工事に関する結果

案件名	E案件	F案件	G案件	H案件	I案件	J案件
1本当たりのH鋼長さ (m/本)	2 4	1 1.8	1.2	1.1	2	2
延べH鋼設置本数	780	1746	235	432	152	882
延べH鋼設置長さ(m)	2128	1962	274.4	475.2	304	1764
D7: 延べ設置日数	146	66	20	30	25	216
1日当たりの設置本数 (本/日)	5.3	26.4	11.8	14.4	6.08	4.1
1日当たりの設置長さ (m/日)	14.9	29.8	13.7	15.8	12.16	8.2
B7: 日作業組数	1.02	4.93	2.14	2.86	1.09	1.04

5.3. 仮受け工事結果 -凍結土工法-

凍結土工事概要

凍結壁(本)	13
1本当たりの凍結土量(m ³)	117~146.7
延べ凍結土量(m ³)	17000
凍結土1本当たりの凍結管設置本数(本)	5~6
凍結管1本当たりの長さ(m)	平均:31.2
延べ凍結管設置長さ(m)	2225.25

凍結管配管工事に関する結果

D8:延べ凍結管設置日数	186
1日当たりの本数(本/日)	0.39
1日当たりの設置長さ(m/日)	11.96
B8:日作業組数	1.02

凍結土解体工事に関する結果

D9:延べ解体日数	308
1日当たりの解体土量(m ³ /日)	10.15
B9:日作業組数	1.07

5.4. 免震層構築工事結果

免震層底盤構築工事に関する結果

案件名	A案件	B案件	C案件	D案件	E案件	F案件	G案件	H案件	I案件	J案件	K案件
延べ底盤構築量(m ³)	952	1188.08	4406.4	1215	2669.38	405	1853	3977.6	1001	6180	4627.7
D8:延べ作業日数	31	50	88	39	62	22	110	70	55	280	257
1日当たりの 構築量(m ³)	30.71	23.76	50.07	31.15	43.05	18.41	16.85	56.82	18.20	22.07	18.01
B8:日作業組数	2.96	1.14	2.41	1.50	2.07	1.02	1.86	2.73	2.00	2.43	1.99

免震装置据え付け工事に関する結果

案件名	A案件	B案件	C案件	D案件	E案件	F案件	G案件	H案件	I案件	J案件	K案件
延べ免震装置据付数(基)	49	90	112	34	32	16	75	72	38	98	70
D11:延べ作業日数	9	20	22	20	86	7	55	70	44	162	179
1日当たりの 据え付け数(基)	5.44	4.50	5.09	1.70	0.37	2.29	1.36	1.03	0.86	0.60	0.39
B11:日作業日数	2.50	2.54	3.01	1.51	1.24	1.00	4.55	2.83	1.73	2.72	1.24

6. 標準歩掛の評価

$$S_i = Q_i / (D_i \cdot B_i - K_i)$$

…2式

i : 工事項(1~11)

S_i : 標準歩掛

1 : 掘削工事

Q_i : 延べ工事量

2 : 山留め壁構築工事

D_i : 延べ作業日数

3 : 基礎梁補強工事

4 : 基礎底盤補強工事

B_i : 日作業組数

5 : 仮受け鋼管杭圧入工事

6 : 仮受け鋼管杭除荷工事

K_i : 延べ日作業組数による係数

7 : 仮受け支保工H鋼設置工事

8 : 凍結管配管工事

9 : 凍結土解体工事

10 : 免震層底盤構築工事

11 : 免震装置据え付け工事

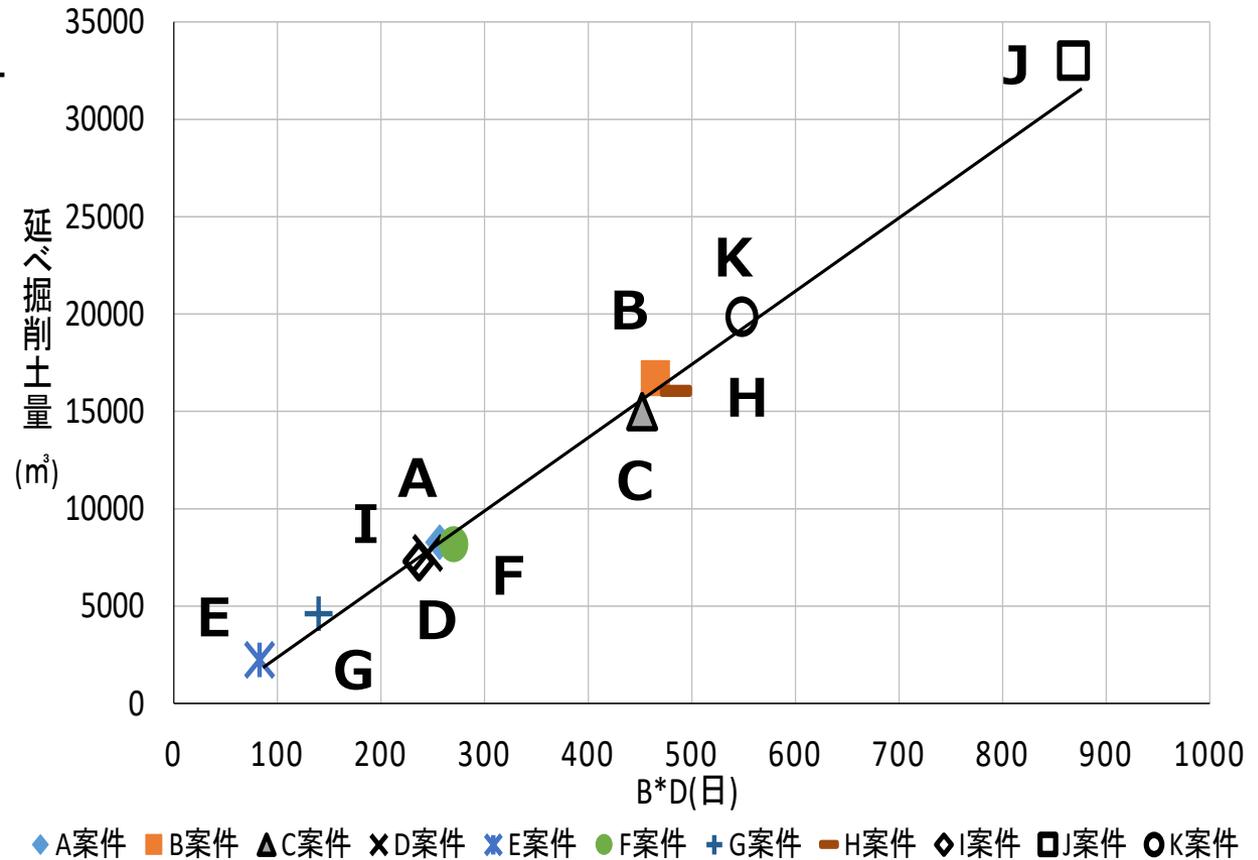
6. 標準歩掛の評価 -掘削工事評価-

$$y=38.95x-1717.4$$

S1 : 38.95

K1 : 44.1

R² : 0.994



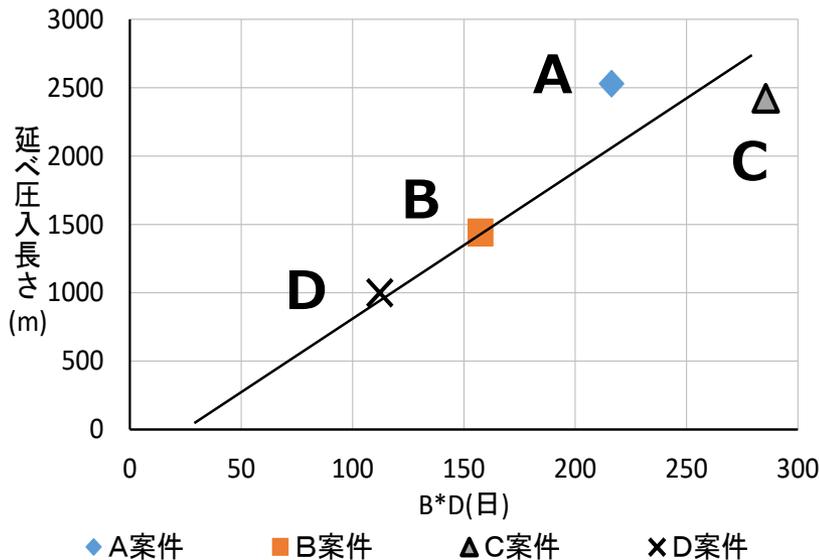
6. 標準歩掛の評価 -仮受け鋼管杭工事評価-

鋼管杭圧入工事

$$y = 10.27x - 221.8$$

S5 : 10.27 K5 : 20.7

$R^2 : 0.997$

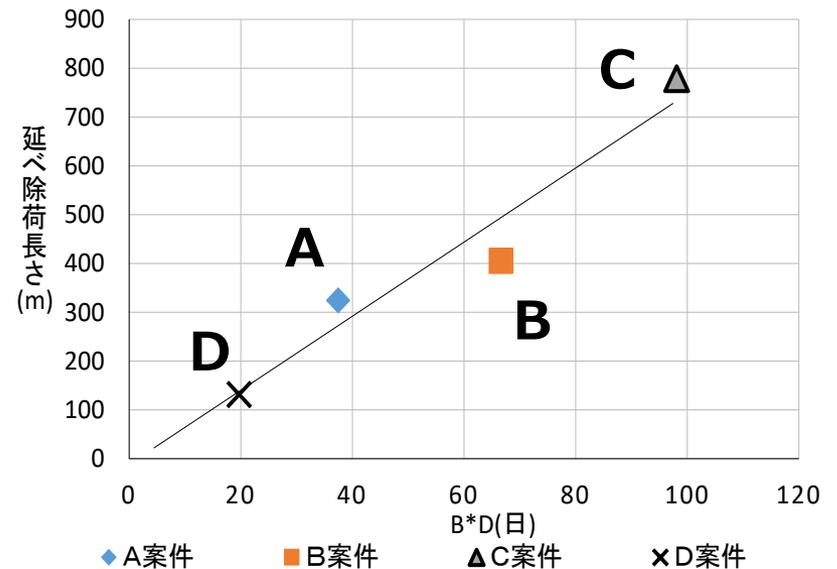


鋼管杭除荷工事

$$y = 7.66x - 15.21$$

S6 : 7.66 K6 : 1.99

$R^2 : 0.942$



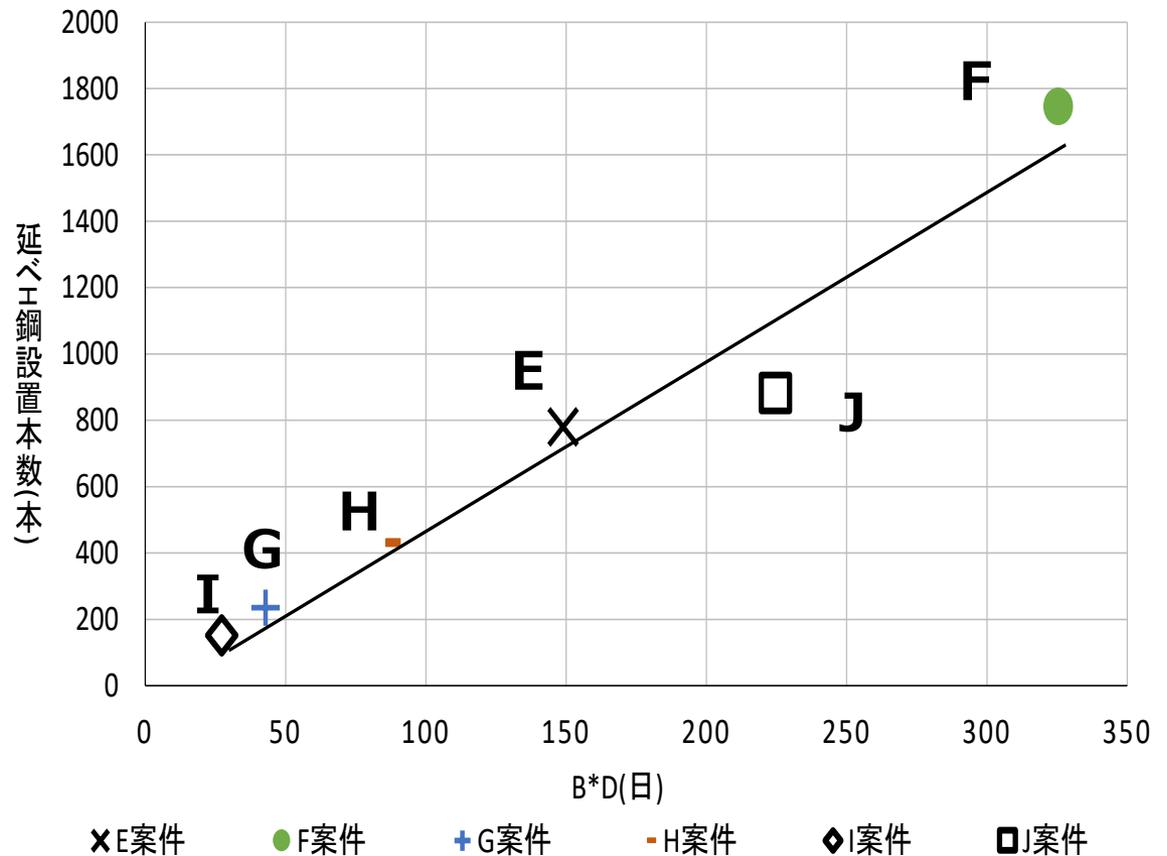
6. 標準歩掛の評価 -仮受け支保工工事評価-

$$y=4.97x-221.77$$

S7 : 4.97

K7 : 1.31

R² : 0.957



6.1. 日作業組数の評価

$$\underline{B_i = a_i \cdot (Q_i / D_i) + J_i} \quad \dots 3\text{式}$$

i : 工事項目(1~11)

B_i : 日作業組数

a_i : 日作業組数と一日当たりの
作業量の変化の割合

Q_i : 延べ作業量

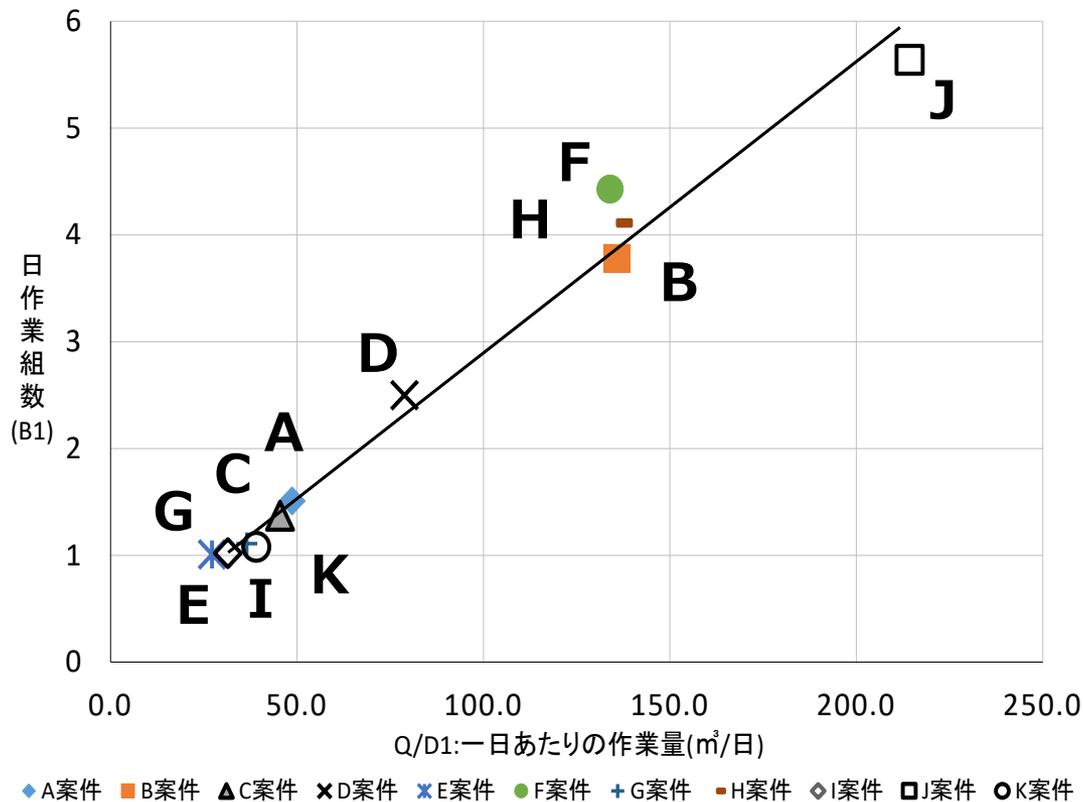
D_i : 延べ作業日数

J_i : 日作業組数の初期値

6.1. 日作業組数の評価 -掘削工事評価-

$$B1 = 0.03 (Q1/D1) + 0.22$$

$$R^2 : 0.98$$



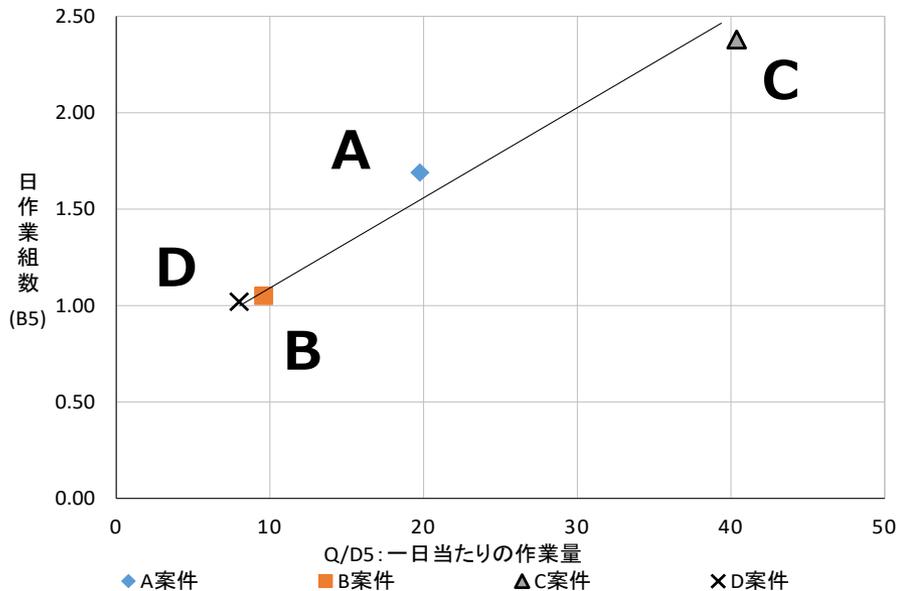
6. 1. 日作業組数の評価

-仮受け鋼管杭工事評価-

鋼管杭圧入工事

$$B5 = 0.04 (Q5/D5) + 0.71$$

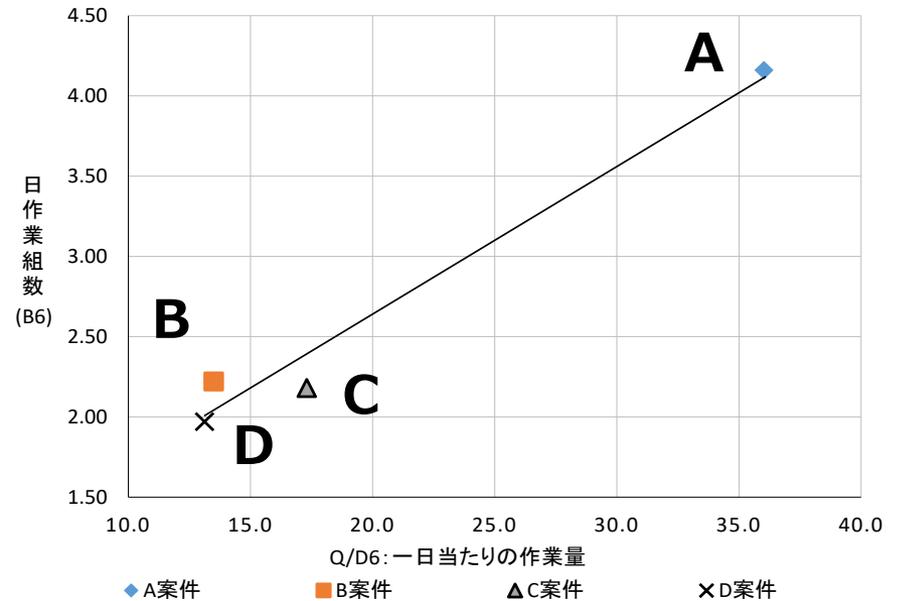
$$R^2 : 0.98$$



鋼管杭除荷工事

$$B6 = 0.09 (Q6/D6) + 0.77$$

$$R^2 : 0.97$$

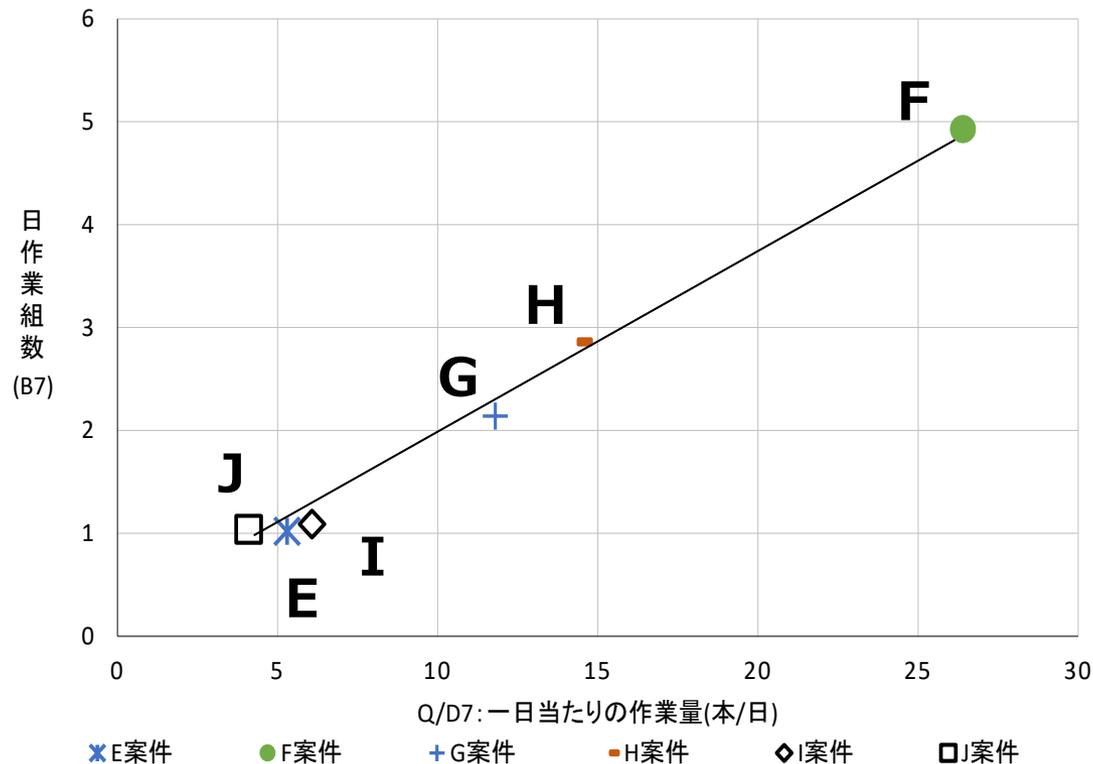


6. 1. 日作業組数の評価

-仮受け支保工工事評価-

$$B7 = 0.18 (Q7/D7) + 0.11$$

$$R^2 : 0.993$$



6.2. 工期の評価

$$\underline{D'i = Qi / (Si * Bi) + Ki / Bi} \quad \dots 4式$$

i : 工事項目(1~11)

D'i : 総合評価値による工期

Qi : 延べ作業量

Si : 標準歩掛

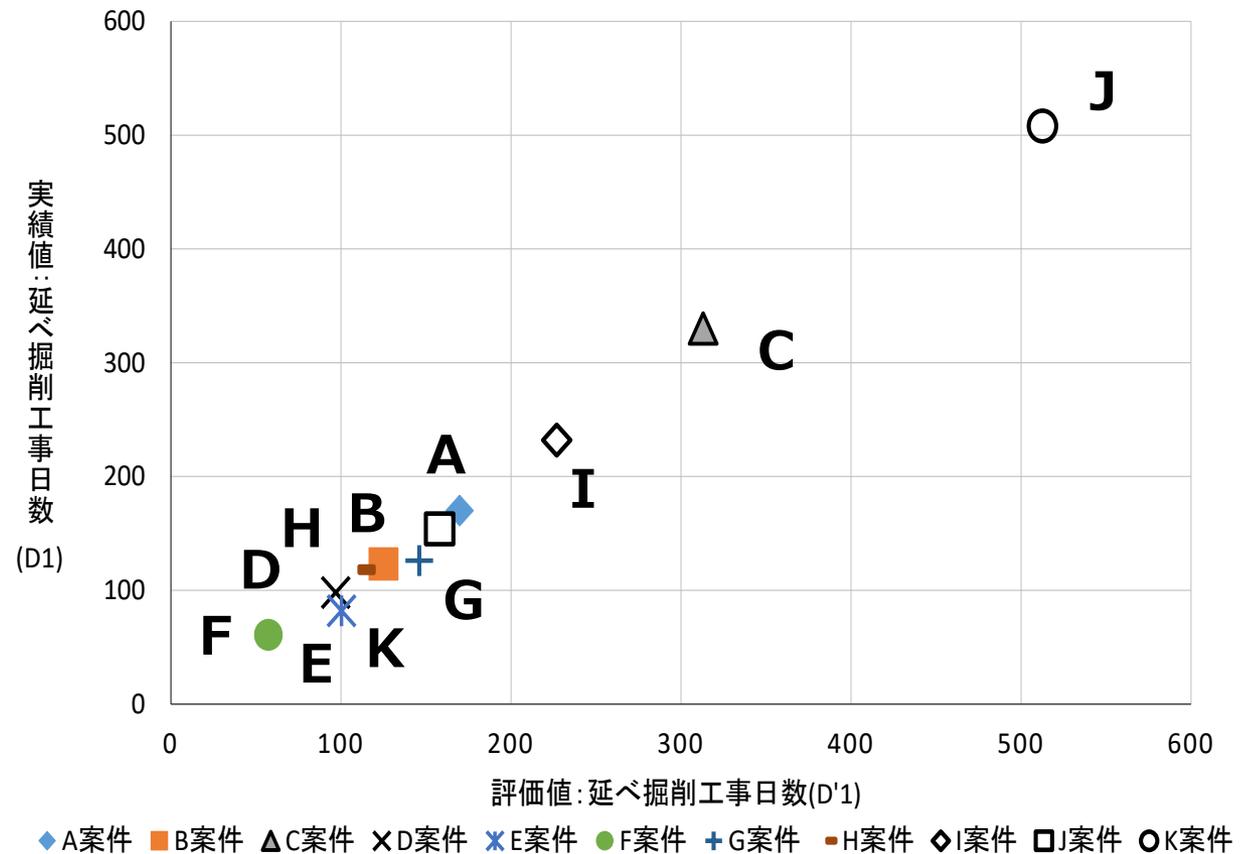
Bi : 日作業組数

Ki:延べ日作業組数による係数

6.2. 日作業組数の評価 -掘削工事評価-

誤差率

最大：18%

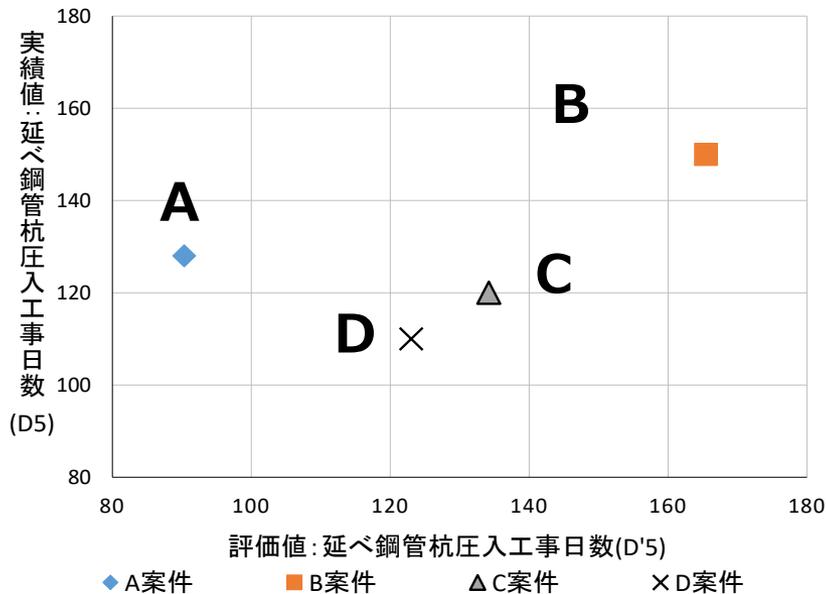


6. 1. 日作業組数の評価

-仮受け鋼管杭工事評価-

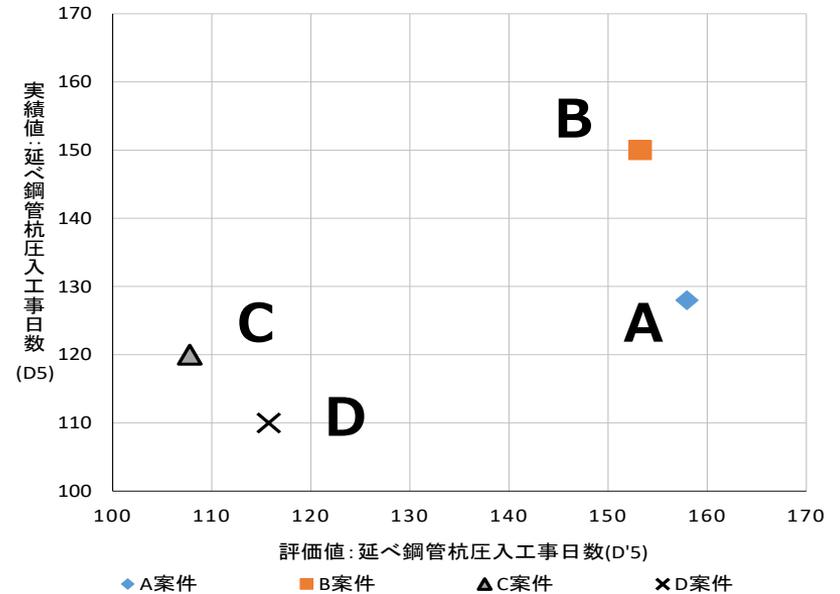
鋼管杭圧入工事
 圧入**本数**に対する評価

誤差率
 最大：42%



鋼管杭圧入工事
 圧入**長さ**に対する評価

誤差率
 最大：19%

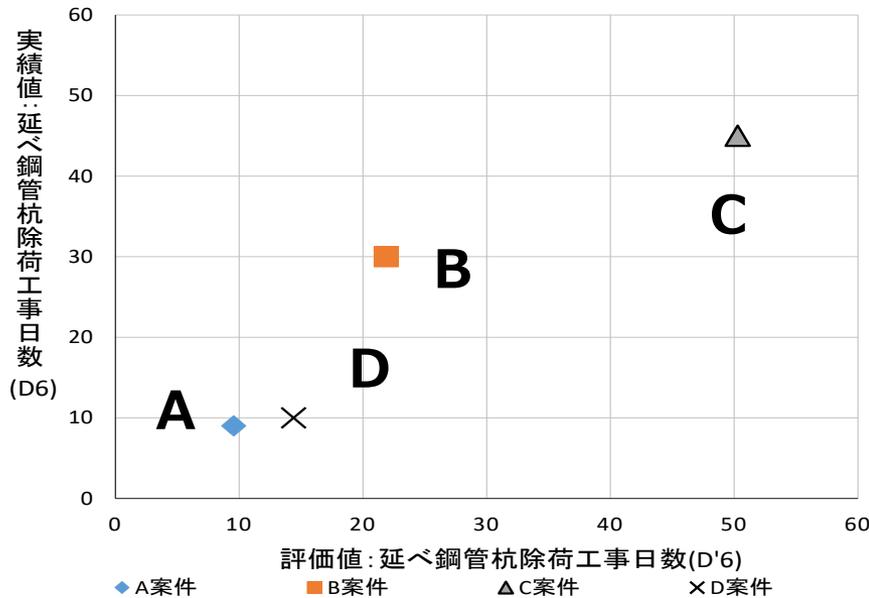


6. 1. 日作業組数の評価

-仮受け鋼管杭工事評価-

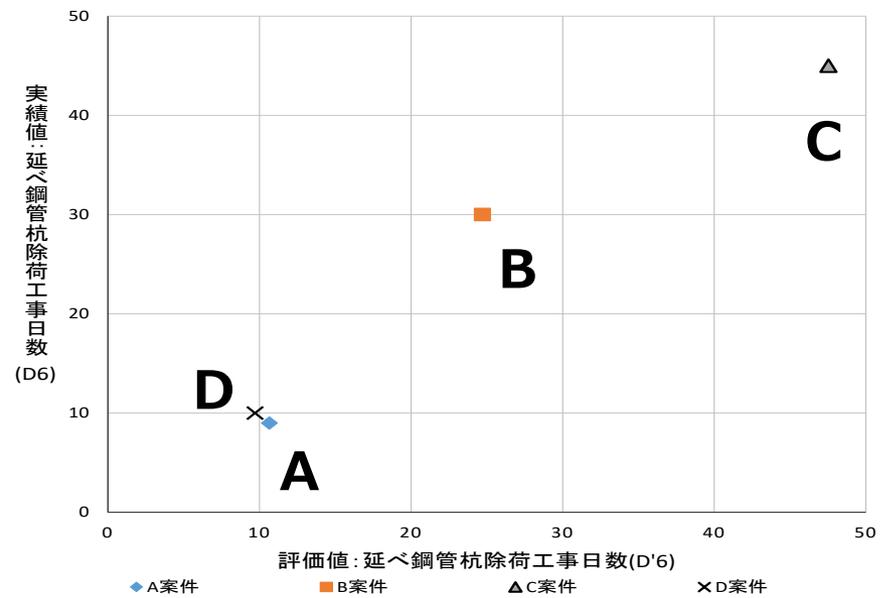
鋼管杭除荷工事
除荷**本数**に対する評価

誤差率
最大：41%



鋼管杭除荷工事
除荷**長さ**に対する評価

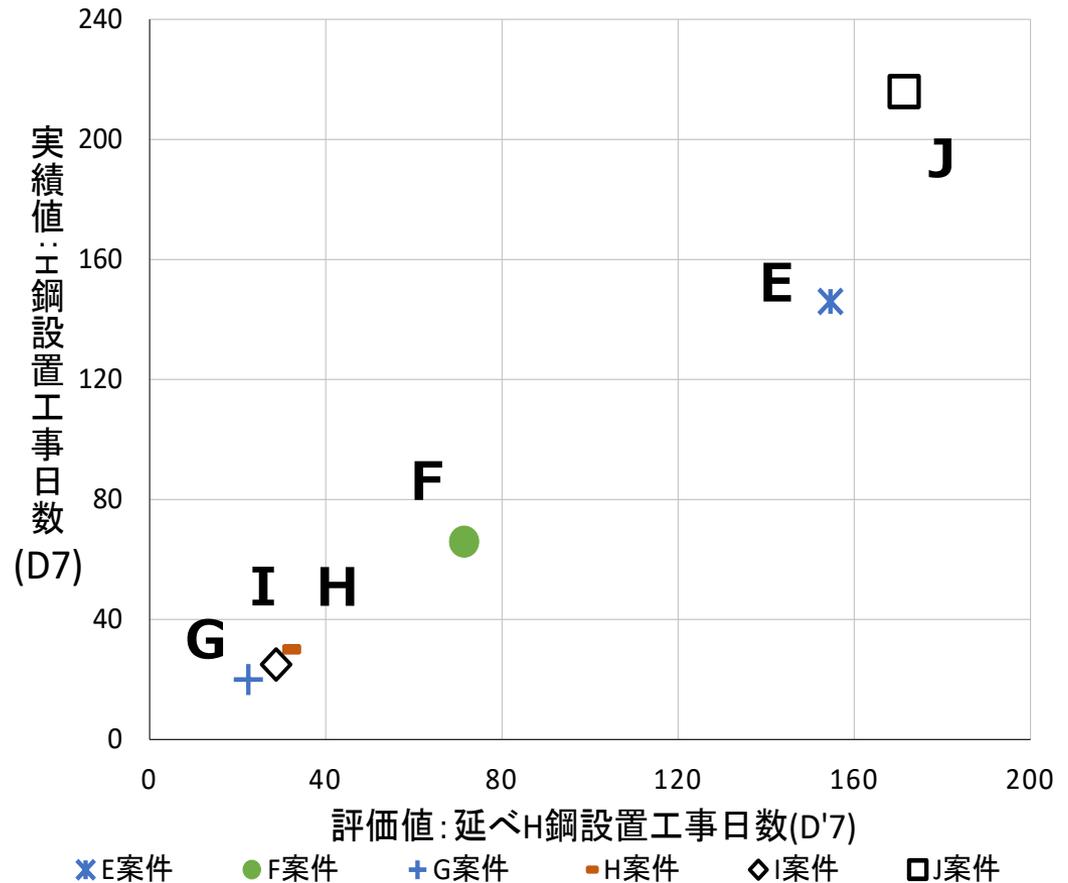
誤差率
最大：21%



6. 1. 日作業組数の評価

-仮受け支保工工事評価-

H鋼設置本数に
対する評価
誤差率
最大：26%



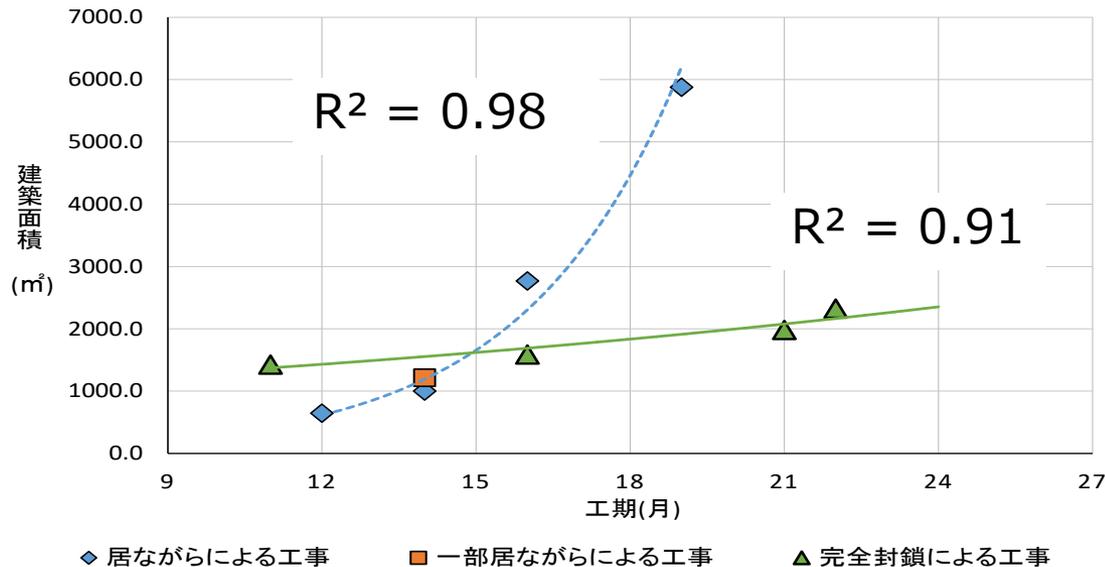
7.1. 考察 -日作業組数-

建築面積と工期の関係

- ・ 居ながらによる工事
- ・ 完全封鎖による工事

$y = 11.73e^{0.33x}$ …5式

$y = 870.23e^{0.04x}$ …6式



y : 建築面積

x : 工期 (月)

7.1. 考察 -日作業組数-

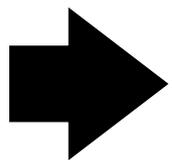
- ・居ながらによる工事

最大：約19.4ヵ月（建築面積7000m²相当）

- ・完全封鎖による工事

最大：約48ヵ月（建築面積7000m²相当）

✓日作業組数と一日当たりの工事量は比例関係



各工事を工期内に終わらせるため
必要となる組数を投入

7.2. 考察 -各工事項目に対する工期-

- ・ 仮受け鋼管杭工事

本数による評価の誤差率

各案件の1本当当たりの杭長さが異なった

- ・ 仮受け支保工工事

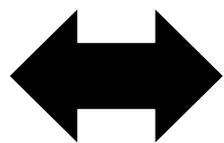
E案件：H鋼設置長さの誤差率

他の案件に比べH鋼の設置長さが多い

サンドル工法を用いたことにより一日当たりの工事量が他の案件に比べ約2倍程度多い

8. まとめ

- ・各工事項目において標準歩掛と日作業組数を用いて工期を評価出来た



工程表の作成には
工程の中で他の工事項目と重なっている部分を評価

- ・今後の展望
各工事項目の条件を細かく分けて標準歩掛や日作業組数の評価する

ご清聴ありがとうございました