

斜張橋の架設精度管理

Geometory Control for Cable Stayed Bridges

第2章 & 第3章



田中 洋

第2章 架設解析

(BACKWARD解析法とFORWARD解析)



■ FORWARD法による完成系の作成法

一般にBACKWARD法が使われるので

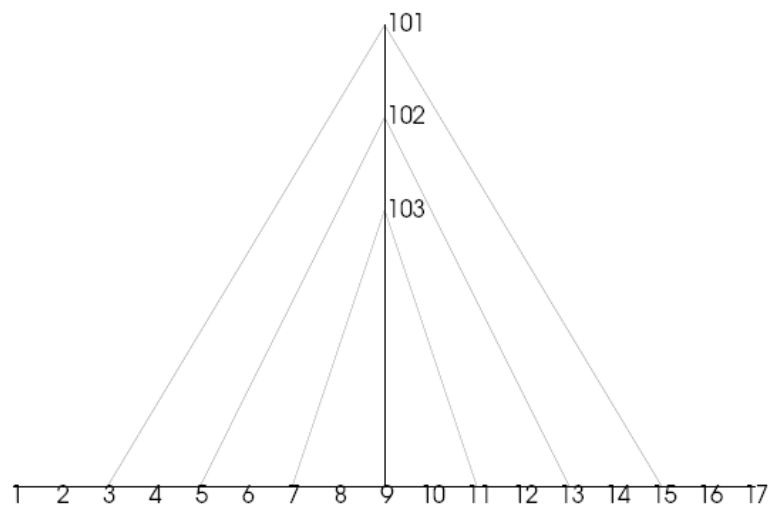
FORWARD法を中心に説明

- 1) 簡単な2径間1柱主塔のモデル用いて説明
- 2) モデルは分かりやすくするために現実性は無視
- 3) 桁の剛度とケーブル部材も最適な値となっていない



▶ 格点番号

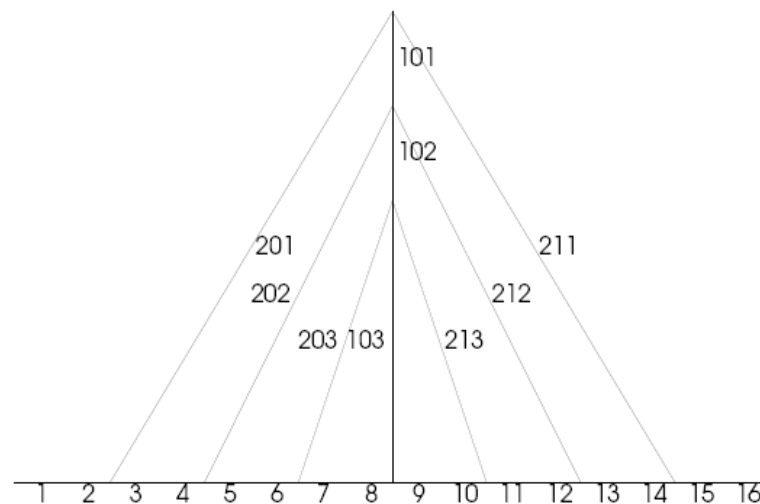
FW-BW CHECK JOINT No.



格点番号

▶ 部材番号

FW-BW CHECK MEMBER No.



部材番号



■ 荷重

死荷重(DC)

- ・ 桁 : 部材No.1～No.16 150KN/m(分布荷重)
- ・ 塔 : 部材No.101～No.103 70KN/m(分布荷重)

プレストレス(PS)

- ・ ケーブル
 - 部材No.201、No.211 1800KN
 - 部材No.202、No.212 700KN
 - 部材No.203、No.213 600KN

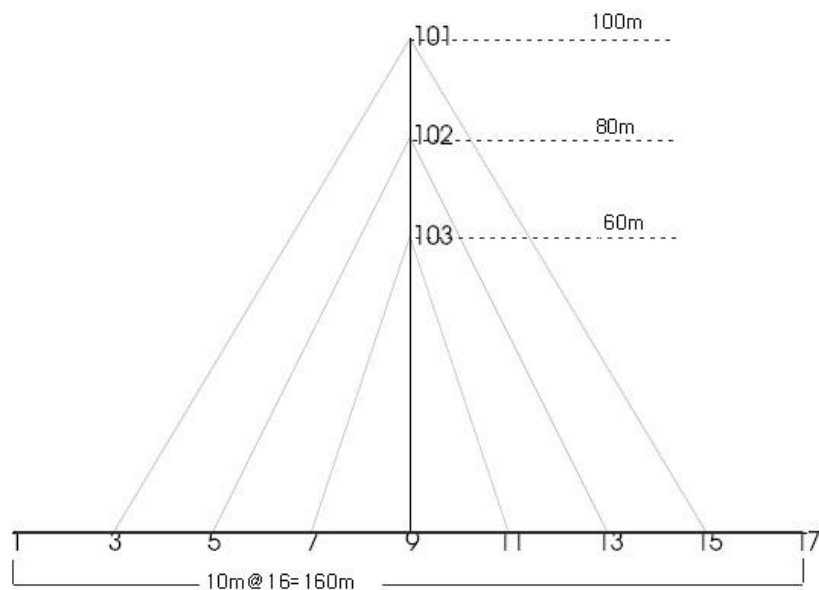
死荷重(DW)

- ・ 桁 : 部材No.1～No.16 100KN/m



▶ 完成系の座標

完成時 ①		
格点番号	X(m)	Y(m)
1	0.0000	0.0000
2	10.0000	0.0000
3	20.0000	0.0000
4	30.0000	0.0000
5	40.0000	0.0000
6	50.0000	0.0000
7	60.0000	0.0000
8	70.0000	0.0000
9	80.0000	0.0000
10	90.0000	0.0000
11	100.0000	0.0000
12	110.0000	0.0000
13	120.0000	0.0000
14	130.0000	0.0000
15	140.0000	0.0000
16	150.0000	0.0000
17	160.0000	0.0000
101	80.0000	-100.0000
102	80.0000	-80.0000
103	80.0000	-60.0000





▶ 部材データ

部材	断面積 (m ²)	剛度 (m ⁴)	ヤング係数 KN/m ²
桁	0.500	1.000	2.0×10^8
塔	1.000	2.000	2.0×10^8
ケーブル	0.010	0.000	1.95×10^8



■ 完成系の計算

以上の入力データを用いて完成系の計算を以下の手順で行う

- ① 前死荷重(DC)の計算
- ② PSの計算
- ③ 後死荷重(DW)の計算

■ 完成系の作成(微少変形法による)

完成系は1.2で計算した各系での和として計算。

Backward解析による完成系と呼ばれる。

定義は以下。

$$\text{完成系} = \text{①} + \text{②} + \text{③}$$

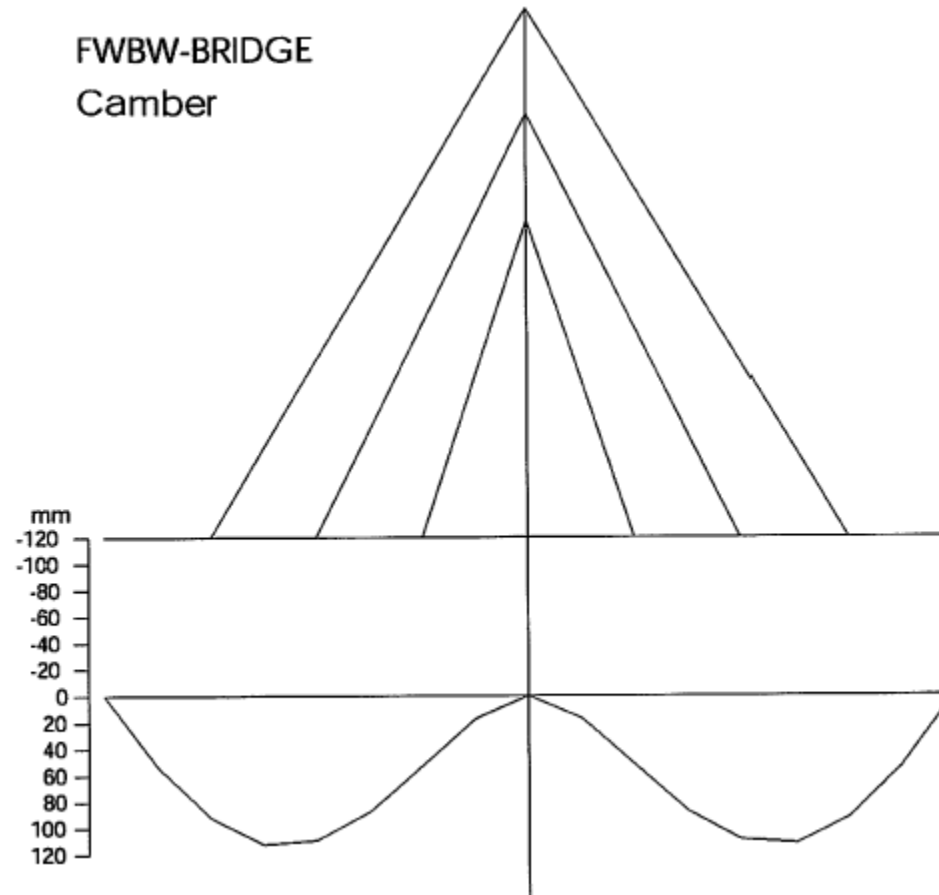


▶ 完成系たわみの計算結果

格点番号	DC ①		PS ②		DW ③		①+②+③	
	X(m)	Y(m)	X(m)	Y(m)	X(m)	Y(m)	X(m)	Y(m)
1	0.0007	0.0000	0.0007	0.0000	0.0005	0.0000	0.0019	0.0000
2	0.0007	0.0470	0.0007	-0.0247	0.0005	0.0311	0.0019	0.0534
3	0.0007	0.0818	0.0007	-0.0434	0.0005	0.0541	0.0019	0.0925
4	0.0007	0.0983	0.0006	-0.0511	0.0005	0.0650	0.0018	0.1122
5	0.0006	0.0947	0.0005	-0.0482	0.0004	0.0626	0.0016	0.1092
6	0.0005	0.0747	0.0004	-0.0368	0.0003	0.0494	0.0012	0.0873
7	0.0003	0.0442	0.0003	-0.0212	0.0002	0.0292	0.0009	0.0522
8	0.0002	0.0143	0.0001	-0.0066	0.0001	0.0095	0.0004	0.0172
9	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10	-0.0002	0.0143	-0.0001	-0.0066	-0.0001	0.0095	-0.0004	0.0172
11	-0.0003	0.0442	-0.0003	-0.0212	-0.0002	0.0292	-0.0009	0.0522
12	-0.0005	0.0747	-0.0004	-0.0368	-0.0003	0.0494	-0.0012	0.0873
13	-0.0006	0.0947	-0.0005	-0.0482	-0.0004	0.0626	-0.0016	0.1092
14	-0.0007	0.0983	-0.0006	-0.0511	-0.0005	0.0650	-0.0018	0.1122
15	-0.0007	0.0818	-0.0007	-0.0434	-0.0005	0.0541	-0.0019	0.0925
16	-0.0007	0.0470	-0.0007	-0.0247	-0.0005	0.0311	-0.0019	0.0534
17	-0.0007	0.0000	-0.0007	0.0000	-0.0005	0.0000	-0.0019	0.0000
101	0.0000	0.0046	0.0000	0.0024	0.0000	0.0019	0.0000	0.0090
102	0.0000	0.0044	0.0000	0.0021	0.0000	0.0018	0.0000	0.0083
103	0.0000	0.0037	0.0000	0.0016	0.0000	0.0015	0.0000	0.0068



FWBW-BRIDGE Camber



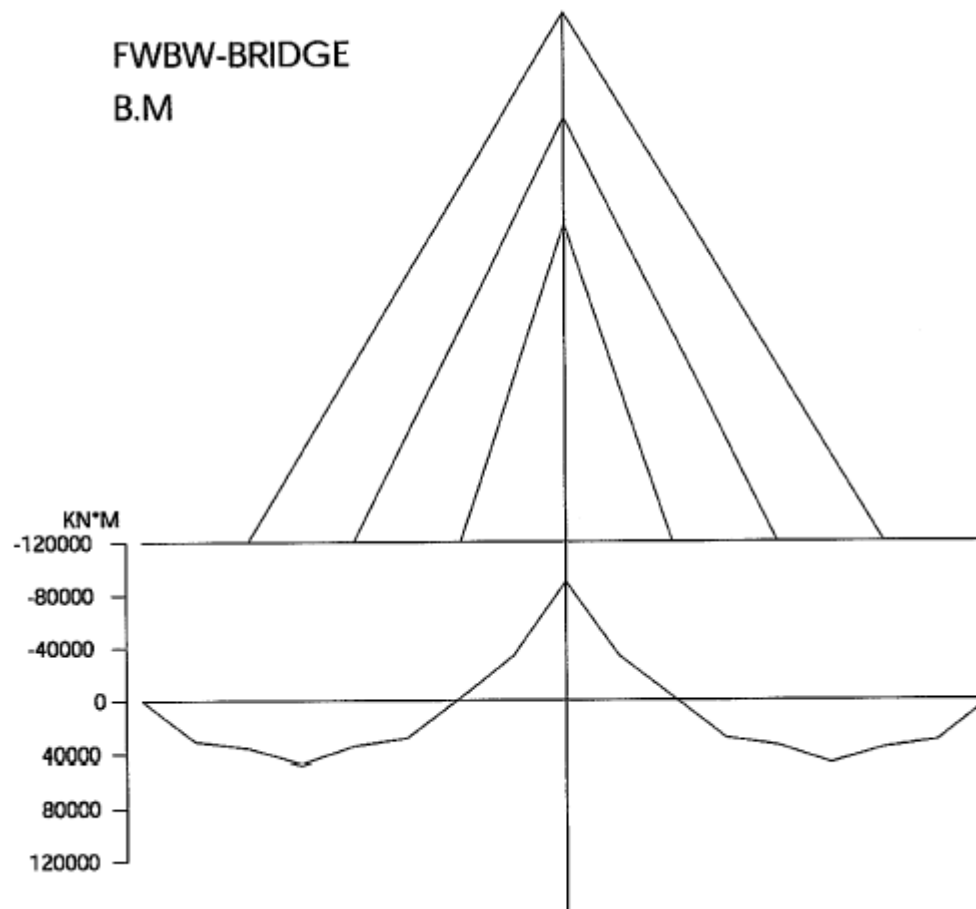


▶ 完成系 桁 曲げモーメントと軸力

格点番号	DC ①		PS ②		DW ③		①+②+③	
	MI(KM*m)	NI(KN)	MI(KM*m)	NI(KN)	MI(KM*m)	NI(KN)	MI(KM*m)	NI(KN)
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	25653.75	0.00	-12213.10	0.00	17004.13	0.00	30444.78	0.00
3	36307.51	-566.29	-24426.21	-926.09	24008.27	-382.59	35889.57	-1874.97
4	41399.43	-566.29	-21204.44	-926.09	27388.95	-382.59	47583.94	-1874.97
5	31491.36	-1351.78	-17982.67	-1239.14	20769.63	-910.88	34278.32	-3501.80
6	22292.99	-1351.78	-8499.92	-1239.14	14716.03	-910.88	28509.10	-3501.80
7	-1905.38	-1725.83	982.84	-1428.88	-1337.58	-1166.46	-2260.12	-4321.17
8	-29881.98	-1725.83	16157.70	-1428.88	-19723.74	-1166.46	-33448.02	-4321.17
9	-72858.59	-1725.83	31332.56	-1428.88	-48109.89	-1166.46	-89635.92	-4321.17
10	-29881.98	-1725.83	16157.70	-1428.88	-19723.74	-1166.46	-33448.02	-4321.17
11	-1905.38	-1351.78	982.84	-1239.14	-1337.58	-910.88	-2260.12	-3501.80
12	22292.99	-1351.78	-8499.92	-1239.14	14716.03	-910.88	28509.10	-3501.80
13	31491.36	-566.29	-17982.67	-926.09	20769.63	-382.59	34278.32	-1874.97
14	41399.43	-566.29	-21204.44	-926.09	27388.95	-382.59	47583.94	-1874.97
15	36307.51	0.00	-24426.21	0.00	24008.27	0.00	35889.57	0.00
16	25653.75	0.00	-12213.10	0.00	17004.13	0.00	30444.78	0.00
17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00



FWBW-BRIDGE B.M





► 完成系 桁反力

	DC ①		PS ②		DW ③		TOTAL	
格点番号	RX(KN)	RY(KN)	RX(KN)	RY(KN)	RX(KN)	RY(KN)	RX(KN)	RY(KN)
1	0.00	-3315.38	0.00	1221.31	0.00	-2200.41	0.00	-4294.48
9	0.00	-24369.25	0.00	-2442.62	0.00	-11599.17	0.00	-38411.04
17	0.00	-3315.38	0.00	1221.31	0.00	-2200.41	0.00	-4294.48
TOTAL	0.00	-3100.00	0.00	0.00	0.00	-1600.00	0.00	-4700.00



■ ケーブル無応力長(L₀)の計算

ケーブル無応長の計算

$$DL = L_0 \times N \times (E \times A) \quad \text{①}$$

$$L_0 + DL = L \quad \text{②}$$

DLを消去して④で求めたれる

$$L_0 \left(A + \frac{N}{EA} \right) = L \quad \text{③}$$

$$\therefore L_0 = L / \left(1 + \frac{N}{EA} \right) \quad \text{④}$$

	完成時 L	完成時 N	無応力長 L ₀	伸び DL	チェック
ケーブル番号	L(m)	N(KN)	L ₀ (m)	DL(m)	L ₀ +DL(m)
201	116.619	3644.300	116.40146	0.21754	116.61900
202	89.4427	3637.680	89.27616	0.16654	89.44270
203	63.2456	2591.100	63.16167	0.08393	63.24560
211	116.619	3644.300	116.40146	0.21754	116.61900
212	89.4427	3637.680	89.27616	0.16654	89.44270
213	63.2456	2591.100	63.16167	0.08393	63.24560

$$E = 1.95 \times 10^8 \text{ KN/m}^2$$

$$A = 0.01 \text{ m}^2$$



■ Forward完成系の計算

Forward解析に桁及び塔の初期入力座標

▶ 製作座標の計算

格点番号	完成時 ①		たわみ ②		製作座標 ③=①-②	
	X(m)	Y(m)	DX(m)	DY(m)	X0(m)	Y0(m)
1	0.0000	0.0000	0.0019	0.0000	-0.0019	0.0000
2	10.0000	0.0000	0.0019	0.0534	9.9981	-0.0534
3	20.0000	0.0000	0.0019	0.0925	19.9981	-0.0925
4	30.0000	0.0000	0.0018	0.1122	29.9982	-0.1122
5	40.0000	0.0000	0.0016	0.1092	39.9984	-0.1092
6	50.0000	0.0000	0.0012	0.0873	49.9988	-0.0873
7	60.0000	0.0000	0.0009	0.0522	59.9991	-0.0522
8	70.0000	0.0000	0.0004	0.0172	69.9996	-0.0172
9	80.0000	0.0000	0.0000	0.0000	80.0000	0.0000
10	90.0000	0.0000	-0.0004	0.0172	90.0004	-0.0172
11	100.0000	0.0000	-0.0009	0.0522	100.0009	-0.0522
12	110.0000	0.0000	-0.0012	0.0873	110.0012	-0.0873
13	120.0000	0.0000	-0.0016	0.1092	120.0016	-0.1092
14	130.0000	0.0000	-0.0018	0.1122	130.0018	-0.1122
15	140.0000	0.0000	-0.0019	0.0925	140.0019	-0.0925
16	150.0000	0.0000	-0.0019	0.0534	150.0019	-0.0534
17	160.0000	0.0000	-0.0019	0.0000	160.0019	0.0000
101	80.0000	-100.0000	0.0000	0.0090	80.0000	-100.0090
102	80.0000	-80.0000	0.0000	0.0083	80.0000	-80.0083
103	80.0000	-60.0000	0.0000	0.0068	80.0000	-60.0068



■ Forward解析による完成系の作成法

- ① 桁と塔は製作座標を初期座標とする。
- ② 桁と塔及びケーブルの死荷重を負荷する。
- ③ ケーブルの無応力をケーブル部材としてはめ込む。



■ Backward解析との比較

▶ 完成系 変位(BW-FW比較)

格点番号	BW たわみ		FW たわみ		差 BW-FW	
	DX(m)	DY(m)	DX(m)	DY(m)	DX(m)	DY(m)
1	0.0019	0.0000	0.0011	0.0000	0.0008	0.0000
2	0.0019	0.0534	0.0014	0.0533	0.0005	0.0001
3	0.0019	0.0925	0.0016	0.0924	0.0003	0.0001
4	0.0018	0.1122	0.0014	0.1120	0.0004	0.0002
5	0.0016	0.1092	0.0012	0.1090	0.0004	0.0002
6	0.0012	0.0873	0.0009	0.0871	0.0003	0.0002
7	0.0009	0.0522	0.0007	0.0521	0.0002	0.0001
8	0.0004	0.0172	0.0004	0.0172	0.0000	0.0000
9	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10	-0.0004	0.0172	-0.0004	0.0172	0.0000	0.0000
11	-0.0009	0.0522	-0.0007	0.0521	-0.0002	0.0001
12	-0.0012	0.0873	-0.0009	0.0871	-0.0003	0.0002
13	-0.0016	0.1092	-0.0012	0.1090	-0.0004	0.0002
14	-0.0018	0.1122	-0.0014	0.1120	-0.0004	0.0002
15	-0.0019	0.0925	-0.0016	0.0924	-0.0003	0.0001
16	-0.0019	0.0534	-0.0014	0.0533	-0.0005	0.0001
17	-0.0019	0.0000	-0.0011	0.0000	-0.0008	0.0000
101	0.0000	0.0090	0.0000	0.0090	0.0000	0.0000
102	0.0000	0.0083	0.0000	0.0083	0.0000	0.0000
103	0.0000	0.0068	0.0000	0.0068	0.0000	0.0000



▶ 完成系 モーメント(BW-FW比較)

格点番号	BW	FW	差 BW-FW	
	MI(KN*m)	MI(KN*m)	DMI(KN*m)	%
1	0.00	0.00	0.00	0.00
2	30444.78	30426.73	18.05	0.06
3	35889.57	35853.19	36.38	0.10
4	47583.94	47494.99	88.95	0.19
5	34278.32	34178.62	99.70	0.29
6	28509.10	28444.20	64.90	0.23
7	-2260.12	-2245.63	-14.49	0.64
8	-33448.02	-33354.34	-93.68	0.28
9	-89635.92	-89541.92	-94.00	0.10
10	-33448.02	-33354.34	-93.68	0.28
11	-2260.12	-2245.63	-14.49	0.64
12	28509.10	28444.20	64.90	0.23
13	34278.32	34178.61	99.71	0.29
14	47583.94	47494.99	88.95	0.19
15	35889.57	35853.19	36.38	0.10
16	30444.78	30426.73	18.05	0.06
17	0.00	0.00	0.00	0.00



▶ 完成系 軸力(BW-FW比較)

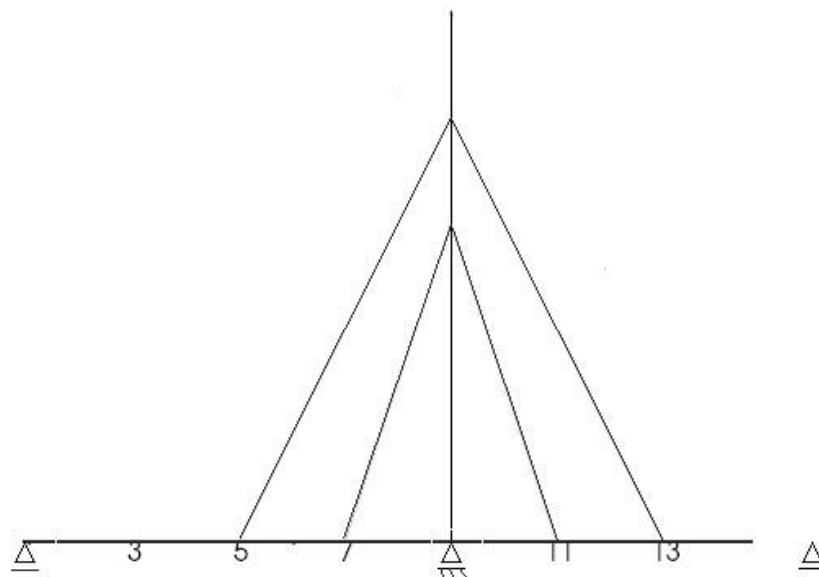
格点番号	BW	FW	差 BW-FW	
	N(KN)	N(KN)	N(KN)	%
201	3644.30	3645.47	-1.17	0.00
202	3637.68	3635.85	1.83	0.05
203	2591.10	2588.49	2.61	0.10
211	3644.30	3645.47	-1.17	-0.03
212	3637.68	3635.85	1.83	0.05
213	2591.10	2588.49	2.61	0.10



■ 架設系の比較

モデルは図参照

- 1) 架設系は部材No.14～16を除去
- 2) ケーブル部材No.201と211は未架設状態





▶ 架設系 変形後座標

格点番号	BW 座標		FW 座標		差 BW-FW	
	X(m)	Y(m)	X(m)	Y(m)	X(m)	Y(m)
1	-0.0012	0.0000	-0.0019	0.0000	0.0007	0.0000
2	9.9988	-0.0033	9.9984	-0.0034	0.0004	0.0001
3	19.9988	-0.0062	19.9985	-0.0063	0.0003	0.0001
4	29.9989	-0.0103	29.9986	-0.0103	0.0003	0.0000
5	39.9991	-0.0119	39.9988	-0.0118	0.0003	-0.0001
6	49.9993	-0.0092	49.9992	-0.0092	0.0001	0.0000
7	59.9995	-0.0028	59.9994	-0.0028	0.0001	0.0000
8	69.9998	0.0028	69.9997	0.0028	0.0001	0.0000
9	80.0000	0.0000	80.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10	90.0002	-0.0185	90.0002	-0.0186	0.0000	0.0001
11	100.0004	-0.0431	100.0005	-0.0432	-0.0001	0.0001
12	110.0007	-0.0620	110.0007	-0.0621	0.0000	0.0001
13	120.0009	-0.0659	120.0010	-0.0662	-0.0001	0.0003
14	130.0010	-0.0497	130.0012	-0.0501	-0.0002	0.0004
15						
16						
17						
101	79.9233	-100.0038	79.9229	-100.0038	0.0004	0.0000
102	79.9360	-80.0032	79.9357	-80.0032	0.0003	0.0000
103	79.9491	-60.0025	79.9489	-60.0025	0.0002	0.0000



▶ 架設系 桁 曲げモーメント

格点番号	BW	FW	差 BW-FW	
	MI(KN*m)	MI(KN*m)	DMI(KN*m)	%
1	0.00	0.00	0.00	0.00
2	29062.50	29063.00	-0.50	0.00
3	43125.00	43125.84	-0.84	0.00
4	42187.50	42188.52	-1.02	0.00
5	26250.00	26250.65	-0.65	0.00
6	20418.78	20421.95	-3.17	-0.02
7	-412.45	-391.16	-21.29	5.16
8	-16644.51	-16603.46	-41.05	0.25
9	-47876.57	-47850.91	-25.66	0.05
10	-21541.21	-21497.49	-43.72	0.20
11	-13692.83	-13666.58	-26.25	0.19
12	-3096.41	-3091.78	-4.63	0.15
13	-7500.00	-7500.30	0.30	0.00
14	0.00	0.00	0.00	0.00

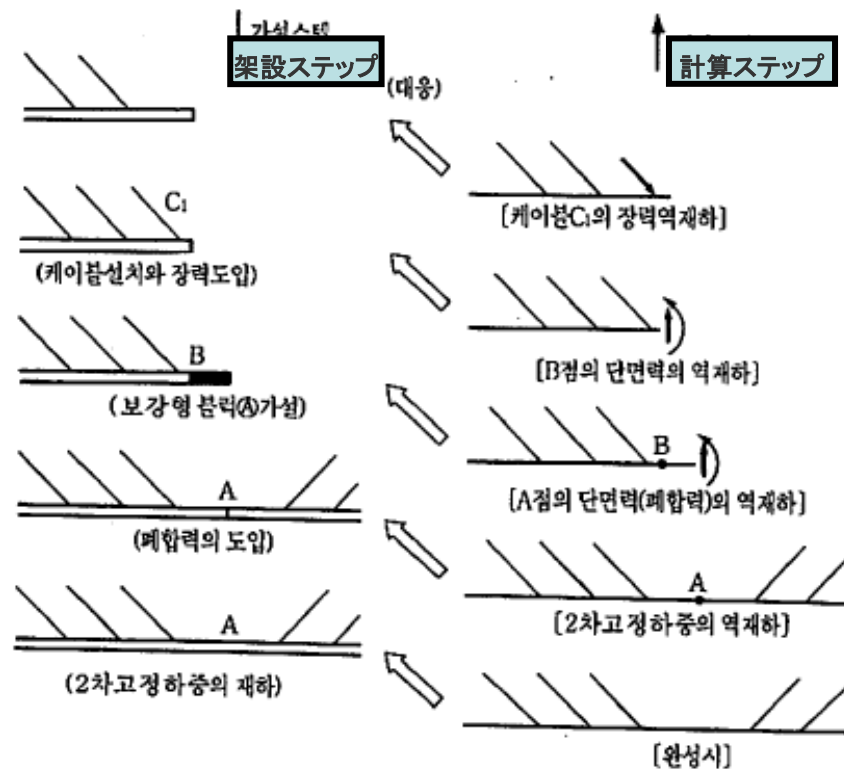


▶ 架設系 ケーブル 軸力

部材番号	BW	FW	差 BW-FW	
	NI(KN)	NI(KN)	NI(KN)	%
202	2806.97	2804.99	1.98	0.07
203	2065.93	2063.97	1.96	0.09
212	3007.91	3006.00	1.91	0.06
213	1870.81	1868.43	2.38	0.13



▶ Backward法 (詳細は割愛)





■ FORWARD法の応用

1) FORWARD解析法の長所は誤差を含む系を簡単に作成できること

例えば:

- ・ シム調整を行う架設系では前死荷重(DC)が桁に載せられている
- ・ 後死荷重(DW)はケーブルがかけられその張力調整の完了した後に載せられる

ケーブル調整を行う時点で前死荷重が10%増加していたとすれば、DCを10%増加系の計算を行えばよい



■ 誤差系の入力方法

前死荷重(DC):

$W = 150\text{KN/m}$ を $W = 150 \times 1.1 = 165\text{KN/m}$ と変更して入力

■ 誤差系の張力変動結果(下表)

1) ケーブル張力: 6~8%の増加

2) 桁の負担分: 2~4%

ケーブル負担が大きいと判断

▶ 誤差なしと誤差(DC10%増加)有りのケーブル張力比較

部材番号	誤差(なし)	誤差 (DC10%UP)	差	
	NI(KN)	NI(KN)	NI(KN)	%
202	2804.99	3041.37	236.38	8.43
203	2063.97	2210.39	146.42	7.09
212	3006.00	3262.48	256.48	8.53
213	1868.43	1995.3	126.87	6.79



▶ 誤差なしと誤差有りの塔&桁のLEVEL(m)比較

格点番号	誤差なし(目標値) 塔&桁のLEVEL(m)	誤差有り(計測値) 塔&桁のLEVEL(m)
101	79.9137	79.9234
3	-0.0051	0.0030
5	-0.0107	-0.0021
7	-0.0018	0.0016
11	-0.0464	-0.0401
13	-0.0722	-0.0550



3章 ケーブル張力調整法



最適シム量の決定法は種々あるが、ここでは田中が日本土木学会論文集で発表したファジィ満足度を最大化する方法で行う

▪(See: JSCE No.598 I -44 pp.381-390 1998.7)



未知数であるシム量{X}と張力変化{ ΔT }の関係:

$$\{\Delta T\} = [S] \{X\} \quad (1)$$

[S] : 単位シム量(10mm)による張力変化の影響マトリックス

ここで、現場計測張力誤差とシム調整を行った後の張力の関係は以下である。

{Fe} : 現場での計測張力誤差

{Fo} : シム量{X}による調整後の誤差

$$\{Fo\} = \{Fe\} + \{\Delta T\} = \{Fe\} + [S] \{X\} \quad (2)$$



- シム調整を行なった後の誤差をなるべく小さくする→最適化問題

$$\{F_L\} \leq \{F_o\} \leq \{F_U\} \quad (3)$$

$\{F_L\}$: シム調整値の誤差下限値

$\{F_U\}$: シム調整値の誤差上限値

$$\{F_L\} \leq \{F_e\} + [S] \{X\} \leq \{F_U\} \quad (4)$$

$$\{F_L\} - \{F_e\} \leq [S] \{X\} \leq \{F_U\} - \{F_e\} \quad (5)$$



ここで、「満足度: μ 」の概念を導入する

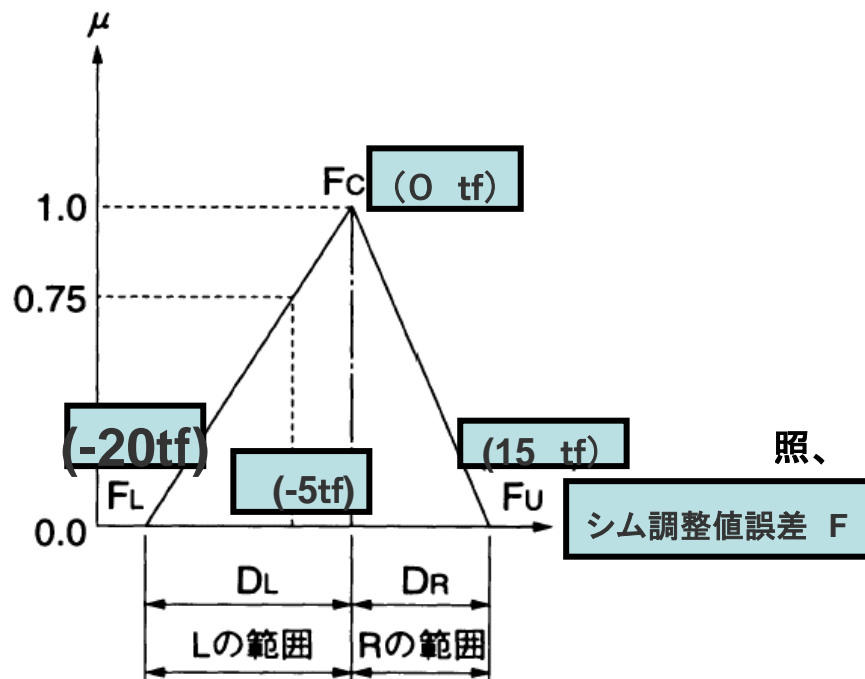


図-1 満足度の非対称メンバシップ関数

F_c シム調整値の誤差の中心値:

通常 F_c は、ゼロ(=0 kN)

左図参照,

シム調整値の誤差下限値: -20kN

シム調整値の誤差上限値: 15kN

決定した調整値誤差が-5kNとすれば、
満足度 μ は次式で定義。

$$\mu = 1 - (-5\text{kN})/(-20\text{kN}) = 0.75$$

調整誤差値: 0kNの場合

$$\mu = 1 - (0\text{kN})/(-20\text{kN}) = 1.0$$

調整誤差値: -20kNの場合

$$\mu = 1 - (20\text{kN})/(-20\text{kN}) = 0.0$$



最適化基準：架設時に調整するケーブルは複数あるので、それぞれの満足度を最大にする

Min-Max原理より、満足度の最小値を最大にする
最適化基準は次式

$$\mu(X) = \max \{ \min(\mu_1(X) \cdots \cdots, \mu_M(X)) \}$$

ここに、M はケーブル張力や桁のレベルなどの照査項目

以下例題で説明する



- 誤差系の作成法で作った架設系を例題として採用する

部材番号	誤差(なし)	誤差 (DC10%UP)	差	
	NI(KN)	NI(KN)	NI(KN)	%
202	2804.99	3041.37	236.38	8.43
203	2063.97	2210.39	146.42	7.09
212	3006.00	3262.48	256.48	8.53
213	1868.43	1995.3	126.87	6.79

格点番号	誤差なし(目標値)	誤差有り(計測値)
	塔&桁のLEVEL(m)	塔&桁のLEVEL(m)
101	79.9137	79.9234
3	-0.0051	0.0030
5	-0.0107	-0.0021
7	-0.0018	0.0016
11	-0.0464	-0.0401
13	-0.0722	-0.0650



■ 入力フォーマット

プログラム名：SHIM NFZ20

タイトル名：*SHIM NFZ *FWBW03_STEP-6

影響値の保存されたファイル名：FWBW-NV02_INF.TAP

	目標値	計測地	許容 下限値	許容 上限値	中央 値	シム 下限値	シム 上限値	シム 中央値
M202	3041.37	2084.99	-100.0	100.0	0.0	-150	150	0.0
M203	2210.39	2063.97	-100.0	100.0	0.0	-150	150	0.0
M212	3262.48	3006.00	-100.0	100.0	0.0	-150	150	0.0
M213	1995.30	1868.43	-100.0	100.0	0.0	-150	150	0.0
X101	79.9234	79.9137	-100.0	0.100	0.0	-150	150	0.0
Y3	0.0030	-0.0051	-100.0	0.100	0.0	-150	150	0.0
Y5	-0.0021	-0.0107	-100.0	0.100	0.0	-150	150	0.0
Y7	0.0016	-0.0018	-100.0	0.100	0.0	-150	150	0.0
Y11	-0.0401	-0.0464	-100.0	0.100	0.0	-150	150	0.0
Y13	-0.0550	-0.0722	-100.0	0.100	0.0	-150	150	0.0

* Mは部材、XはX座標(橋軸方向)、YはY座標(レベル)を示す。



■ 出力フォーマット

* SHIM_NFZ *FWBW03_STEP-6

ME=202	R1=3041.3700	RO=2804.9900	R=236.3800	DR=-173.9473	R+DR=62.4327	SHIM =-23.28MM)	0.3757
ME=203	R1=2210.3900	RO=2063.9700	R=146.4200	DR=-83.9873	R+DR=62.4327	SHIM =-7.85(MM)	0.3757
ME=212	R1=3262.4800	RO=3006.0000	R=256.4800	DR=-194.0473	R+DR=62.4327	SHIM =-30.49(MM)	0.3757
ME=213	R1=1995.3000	RO=1868.4300	R=126.8700	DR=-94.7682	R+DR=-32.1018	SHIM =-10.82(MM)	0.6790
JX=101	R1=79.9234	RO=79.9137	R=0.0097	DR=0.0527	R+DR=0.0624	0.3757	
JY=3	R1=0.0030	RO=-0.0051	R=0.0081	DR=-0.0022	R+DR=0.0059	0.9411	
JY=5	R1=-0.0021	RO=-0.0107	R=0.0086	DR=-0.0044	R+DR=0.0042	0.9582	
JY=7	R1=0.0016	RO=-0.0018	R=-0.0034	DR=-0.0056	R+DR=-0.0022	0.9781	
JY=11	R1=-0.0401	RO=-0.0464	R=0.0063	DR=0.0188	R+DR=-0.0251	0.7486	
JY=13	R1=-0.0550	RO=-0.0722	R=0.0172	DR=0.0452	R+DR=0.0624	0.3757	



計算の結果下記のシム調整をすればよい。

ケーブルNo.202は23.28mmのシムを抜く

ケーブルNo.203は7.85mmのシムを抜く。

ケーブルNo.212は30.49mmのシムを抜く。

ケーブルNo.213は10.82mmのシムを抜く。

シムが整数値であることから、23、8、30、10mmのシムを抜く



■ケーブル張力の改善

ケーブル番号	調整前誤差 A (kN)	調整後誤差 B (kN)	差 A-B (kN)	満足度 (μ)
202	236. 38	62. 4327	173. 9473	0. 3757
203	146. 42	62. 4327	83. 9873	0. 3757
212	256. 48	62. 4327	194. 0473	0. 3757
213	126. 87	32. 1018	94. 7682	0. 6790



シム調整後の桁レベルの改善

桁位置	調整前誤差 A (m)	調整後誤差 B (m)	差 A-B (m)	満足度 (μ)
3	0.0081	0.0059	0.0022	0.9411
5	0.0086	0.0042	0.0044	0.9582
7	0.0034	-0.0022	0.0056	0.9781
11	0.0063	0.0251	-0.0188	0.7486
13	0.0172	0.0624	-0.0452	0.3757